

目 录

第一篇 桥 梁

第一章 桥梁工程原材料	3
第一节 桥梁工程所用材料的种类	3
第二节 石料	4
第三节 水泥混凝土	10
第四节 钢材	20
复习思考题	31
第二章 桥梁工程基础	35
第一节 地基容许承载力确定	35
第二节 泥浆性能指标及成孔质量检测	40
第三节 灌注桩完整性检测	41
第四节 基桩承载力检测	50
复习思考题	55
第三章 桥梁上部结构	59
第一节 桥梁上部结构的组成	59
第二节 桥梁支座	59
第三节 桥梁橡胶伸缩装置	64
第四节 混凝土构件强度检测方法及其评定	66
第五节 预应力锚具、夹具和连接仪器的检测	81
第六节 张拉设备校验	86
第七节 悬吊结构试验检测	87
第八节 钢结构无损检测	88
复习思考题	90
第四章 桥梁荷载试验及状态监测	94
第一节 桥梁基本知识	94
第二节 桥梁荷载试验	96
第三节 桥梁动载试验	112
第四节 桥梁运营状况监控	115
复习思考题	124

第二篇 隧 道

第一章 基本知识	131
第一节 公路隧道的类型、组成和特点	131
第二节 公路隧道常见的质量问题	124
第三节 公路隧道的要求	134
第四节 公路隧道工程质量检测的内容	138
复习思考题	141
第二章 超前支护与预加固围岩	144
第一节 常用的辅助施工方法和施工质量检测	144
第二节 注浆材料性能试验、注浆效果检查方法	145
复习思考题	147
第三章 开挖	149
第一节 隧道开挖的方法与工序	149
第二节 隧道开挖质量评定标准	152
第三节 超欠挖测定方法	153
第四节 激光断面仪法	155
复习思考题	155
第四章 初期支护	157
第一节 支护方式及其适用范围	157
第二节 初期支护的作用及施工工艺	157
第三节 锚杆加工与安装质量检测的内容	158
第四节 锚杆拉拔力的测试方法	159
第五节 砂浆锚杆砂浆注满度检测方法	159
第六节 端锚式锚杆施工质量无损检测	160
第七节 喷射混凝土质量检测及其影响因素	160
第八节 钢支撑施工质量检测	162
第九节 地质雷达检测初期支护缺陷的方法	162
复习思考题	166
第五章 防排水	169
第一节 隧道防排水的目的、原则及质量要求	169
第二节 常用防排水材料主要性能检测方法	170
第三节 排水系统施工质量检查	190
第四节 防水板的施工及质量检测	191
第五节 止水带	192
复习思考题	192
第六章 隧道施工监控量测	196
第一节 监控量测项目	196

第一章 桥梁工程原材料

【主要内容】

本章介绍石料的主要力学性能试验方法;普通混凝土试件的制作及物理力学性能的测试方法;桥梁用钢材的力学性能测试方法以及焊接钢筋质量检测方法等。

【要求】

了解:桥梁工程所用材料的种类以及用途。

熟悉:石料的技术标准;普通混凝土的力学性能;桥梁用钢材的主要力学性能。

掌握:石料的力学性能试验方法;普通混凝土试件的制作方法和普通混凝土的抗压强度和弹性模量的测试方法;普通混凝土收缩、徐变测试方法(工程师);桥梁用钢材的力学性能测试方法以及焊接钢筋质量检测方法。

第一节 桥梁工程所用材料的种类

一、砂石材料

砂石材料包括天然的或经人工轧制的石料、集料和砂,是桥涵工程建设中用量最大的一种建筑材料。它可以直接(或经过加工)用在桥涵的圬工结构中,也可以加工成各种尺寸作为水泥混凝土的集料。

二、水泥、水泥砂浆和水泥混凝土

(1)水泥 水泥是一种人造水硬性胶凝材料。水泥与水混合后,经过一系列的物理化学作用,形成坚硬的结构体,以满足各种实际工程的需要。它是桥梁建筑中最重要的建筑材料之一。

(2)砂浆 由水泥、砂和水按一定的比例混合而成,经过一定的凝结、硬化时间后形成强度。常分为砌筑砂浆和抹面砂浆两类。砌筑砂浆能把块体材料(砖、石、砌块)黏结为整体结构,主要用于拱桥的拱圈、中小桥涵的墩台、基础、锥坡和挡土墙等;抹面砂浆主要用于结构表面装饰。

(3)水泥混凝土 用水泥为胶结材料,用普通砂石为集料,并以普通水为原材料,按专门设计的配合比,经搅拌、成型、养护而得到的复合材料。现代水泥混凝土中,为了调节和改善其工艺性能和力学性能,还加入各种化学外加剂和磨细矿质掺和料,经过一定的凝结、硬化时间后形成强度,用于各种工程结构。它是所有建筑材料中用途最广、用量最大的材料之一。

三、桥涵用钢及制品

按其形状来分可分为型材、棒材(或线材)和异型材(特种形状)三类。

型材主要包括型钢和钢板,主要用于钢桥建筑。

线材主要包括钢筋、预应力钢筋、高强钢丝和钢绞线等,它是钢筋混凝土桥梁建筑中使用的重要材料之一。

异型材是为特殊用途而制作的,如预应力混凝土中用的锚具、夹具和大变形伸缩件中使用的异型钢梁等。

四、其他材料

包括水泥混凝土外掺剂、地基及基础处理的材料、桥梁防水材料、交通安全设施材料等。

第二节 石 料

一、石料的技术标准

桥涵工程使用的石料制品有片石、块石、粗料石和拱石等,主要用于砌体工程,如桥涵拱圈、墩台、基础、锥坡等。

1. 石料分类 (分类)

I. 岩浆岩类:包括花岗岩、正长岩、辉绿岩、闪长岩、橄榄岩、玄武岩、安山岩、流纹岩等。

II. 石灰岩类:包括石灰岩、白云岩、泥灰岩、凝灰岩等。

III. 砂岩和片麻岩类:包括石英岩、砂岩、片麻岩、石英片麻岩等。

IV. 砾石类。

2. 石料的分级 (分级)

1级:最坚硬的岩石。

2级:坚硬的岩石。

3级:中等强度的岩石。

4级:较软的岩石。

3. 石料制品的主要物理力学性质

✓(1) 石料的强度等级。

✓(2) 抗压强度。

✓(3) 抗冻性。

✓(4) 坚固性指标。

4. 石料制品规格和几何尺寸要求

(1) 片石 一般为爆破法开采的石块,其厚度不应小于 15cm(卵形和薄片者不得使用);用于镶面的片石,表面应比较平整,尺寸较大者应稍作凿整。

(2) 块石 形状大致方正,上下面大致平整,厚度在 20~30cm,宽度一般为厚度的 1.0~1.5倍,长度约为厚度的 1.5~3.0倍。

(3) 粗料石 外形大致方正,呈六面体,厚度为 20~30cm,宽度为厚度的 1.0~1.5倍,长为厚度的 2.5~4.0倍,其表面凹陷深度不大于 2cm。

(4) 拱石 按设计要求采用粗料石或块石,主要用于石拱桥的拱圈砌筑。

二、石料的力学性能试验方法

1. 石料单轴抗压强度试验

1) 仪器设备

(1) 压力试验机,其测量精度为 $\pm 1\%$,试件破坏荷载应大于压力试验机全程的 20%且小

于压力试验机全程的 80%，同时应具有加荷速度指示装置或加荷速度控制装置。

(2) 切石机或钻石机、磨平机等岩石加工设备。

(3) 烘箱、干燥器、游标卡尺(精度 0.1mm)、角尺及水池等。

2) 试样

桥梁工程的石料试验,采用立方体试件,边长为 $70\text{mm} \pm 2\text{mm}$,每组试件共 6 个。

有显著层理的岩石,分别沿平行和垂直层理方向各取试件 6 个,试件上、下端面应平行和磨平,试件端面的平面度公差应小于 0.05mm,端面对于试件轴线垂直度偏差不应超过 0.25mm。

3) 试验步骤

(1) 对试件编号,量取试件尺寸(精确至 0.1mm),对立方体试件在顶面和底面上各量取其边长,以各个面上相互平行的两个边长的算术平均值计算其承压面积。

(2) 试件的含水状况可根据需要选择烘干状况、天然状况、饱和状况。

试件烘干方法:将试件放入温度为 $105^{\circ}\text{C} \sim 110^{\circ}\text{C}$ 的烘箱内烘至恒重,烘干时间一般为 12~24h,取出置于干燥器内冷却至室温($20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$),称其质量,精确至 0.01g。

试件饱和可有如下三种方法:

① 自由吸水法:将称量后的试件置于盛水容器内,先注水至试件的 1/4 处,以后每隔 2h 分别注水至试件高度的 1/2 和 3/4 处,6h 后将水加至高出试件顶面 20mm,以利试件内空气逸出。试件全部被水淹没后再自由吸水 48h。

② 用煮沸法饱和试件:将称量后的试件放入水槽,注水至试件高度的一半,静置 24h,再加水使试件浸没,煮沸 6h 以上,煮沸停止后静置水槽冷却取出试件擦去表面水分,称其质量。

③ 用真空抽气法饱和试件:将称量后的试件置于真空干燥器内,注入洁净水,水面高出试件顶面 20mm,开动抽气机,抽气时真空压力需达 100MPa,保持此真空状态直至无气泡发生为止(不少于 4h)。经真空抽气的试件放置在原容器中,在大气压力下静置 4h,取出试件擦去表面水分,称其质量。

将试件置于压力机的承压板中央。以 $0.5 \sim 1.0\text{MPa/s}$ 速率进行加荷直至破坏,记录破坏荷载及加载过程出现的现象。

4) 岩石抗压强度按式(1-1-1)计算:

$$R_i = \frac{P_i}{A_i} \quad (i=1, 2, \dots, 12) \quad (1-1-1)$$

式中: R_i ——第 i 个试件的抗压强度(MPa);

P_i ——第 i 个试件的极限破坏荷载(N);

A_i ——第 i 个试件的截面积(mm^2)。

5) 岩石软化系数按式(1-1-2)计算:

$$K_p = \frac{R_w}{R_d} \quad (1-1-2)$$

式中: K_p ——软化系数;

R_w ——岩石饱和状态下的单轴抗压强度(MPa);

R_d ——岩石烘干状态下的单轴抗压强度(MPa)。

单轴抗压强度试验结果应同时列出每个试件的试验值及同组的平均值;有显著层理的岩石应分别报告垂直和平行两个方向的试件强度平均值,计算精确至 0.1MPa。

软化系数计算精确至 0.01。3 个试件平行测定,取算术平均值,其中的 3 个值中最大与最小不

超过 20%。否则,应另取第 4 个试件试验,取最接近的 3 个值的算术平均值作为试验结果。

2. 石料的单轴压缩变形试验

1) 目的和适用范围

石料的单轴压缩变形试验用于测定岩石在单轴压缩应力条件下的轴向及径向应变值,据此计算岩石的弹性模量及泊松比。试验分为电阻应变仪法和千分表法。坚硬和较坚硬的岩石应采用电阻应变仪法,较软岩石采用千分表法。

2) 仪器设备

- (1) 切石机或钻石机、磨平机等岩石加工设备。
- (2) 惠斯顿电桥、万用表、兆欧表、千分表。
- (3) 电阻应变仪。
- (4) 电阻应变片(丝栅长度大于 15mm)及粘贴电阻应变片用的各种工具及黏结剂等。
- (5) 压力试验机或万能试验机。
- (6) 其他设备:金属屏蔽线、恒温烘箱及其他试件加工设备。

3) 试样

从岩石中制取直径为 $50\text{mm} \pm 2\text{mm}$, 高径比为 2:1 的圆柱体试件,试件含水状况及烘干和饱和方法同单轴抗压试验。同一含水状况下每组试件不少于 6 个,试件端面的平面度公差小于 0.05mm,端面对于试件轴线垂直度偏差不应超过 0.25° 。

4) 试验步骤

- (1) 先测定其中 3 个试件单轴抗压强度。
- (2) 电阻应变仪法
 - ① 选择电阻应变片:应变片栅长大于岩石矿物最大颗粒粒径的 10 倍,小于试件半径。
 - ② 贴应变片:试件以相对面为一组,分别贴纵向和横向应变片(若只求弹性模量,只需贴纵向一对即可)数量均不少于 2 片。
 - ③ 焊接导线:将各应变片的线头分别焊接导线,编号并固定。
 - ④ 按电阻应变仪的使用说明书进行操作,接电源并检查电压,调整灵敏度系数,将试件测量导线接好,放在压力试验机球座上,接温度补偿应变片。
 - ⑤ 将试件反复预压 2~3 次,加荷压力约为岩石极限强度的 15%。
 - ⑥ 按规定的加载方式和荷载分级,加载速度应为 $0.5 \sim 1.0 \text{MPa/s}$,分级读数,直至试件破坏,读数不少于 10 组测量值。
 - ⑦ 记录加载过程及破坏时出现的现象,对破坏后的试件进行描述。

(3) 千分表法

对于较坚硬的岩石,可将测量表架直接安装在试件上测量试件的纵、横向变形。对于变形较大、强度较低的软岩,可将测表安装在磁性表架上。磁性表架安装在试验机的下承应压板上,纵向测表表头与上承压板边缘接触,横向表头直接与试件接触,测读初始读数,两对相互垂直的纵向测表和横向测表应分别安装在试件直径的对称位置上。其他步骤同上。

(4) 结果整理

- ① 按式(1-1-3)计算各级应力:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

(1-1-3)

式中: σ ——应力(MPa);

P ——与所测各组应变值相应的荷载(N);

A ——试件的截面积(mm^2)。

②绘制应力与纵向应变及横向应变关系曲线,在应力与应变曲线上找出加载量最大值的0.8倍和0.2倍的点,并作割线,以该割线的斜率表示该试件的弹性模量,按式(1-1-4)计算,计算结果精确至100MPa:

$$E = \frac{\sigma_{0.8} - \sigma_{0.2}}{\epsilon_{L0.8} - \epsilon_{L0.2}} \quad (1-1-4)$$

式中: E ——弹性模量;

$\sigma_{0.8}$ 、 $\sigma_{0.2}$ ——加载量最大值的0.8倍和0.2倍时试件应力(MPa);

$\epsilon_{L0.8}$ 、 $\epsilon_{L0.2}$ ——应力为 $\sigma_{0.8}$ 、 $\sigma_{0.2}$ 时的纵向应变值。

③以同一应力下的纵向和横向应变按式(1-1-5)计算弹性泊松比 μ :

$$\mu = \frac{\epsilon_{H0.8} - \epsilon_{H0.2}}{\epsilon_{L0.8} - \epsilon_{L0.2}} \quad (1-1-5)$$

式中: μ ——弹性泊松比;

$\epsilon_{H0.8}$ 、 $\epsilon_{H0.2}$ ——应力为 $\sigma_{0.8}$ 、 $\sigma_{0.2}$ 时的横向应变值。

④按式(1-1-6)、式(1-1-7)分别计算割线模量和相应的泊松比 μ :

$$E_{50} = \frac{\sigma_{50}}{\epsilon_{L50}} \quad (1-1-6)$$

$$\mu = \frac{\epsilon_{H50}}{\epsilon_{L50}} \quad (1-1-7)$$

式中: E_{50} ——岩石的变形模量,即割线模量(MPa);

μ_{50} ——岩石的泊松比;

σ_{50} ——加载量最大值的0.5倍时试件应力(MPa);

ϵ_{H50} ——应力为 σ_{50} 时的横向应变值;

ϵ_{L50} ——应力为 σ_{50} 时的纵向应变值。

⑤每组试验3个试件平行试验,试验结果为3个试件的平均值,同时列出每个试件的试验结果。

3. 石料抗冻性试验(T 0241—1994)

(1) 冻融次数的规定

严寒地区(最冷月的月平均气温低于 -15°C)为25次;寒冷地区(最冷月的月平均气温低于 $-15^{\circ}\text{C} \sim -5^{\circ}\text{C}$)为15次。

(2) 仪器设备

试件加工设备:切石机、钻石机及磨平机。

冰箱:温度能控制在 $-15^{\circ}\text{C} \sim -20^{\circ}\text{C}$ 。

天平:感量0.01g,称量大于500g。

放大镜。

烘箱:能使温度控制在 $105^{\circ}\text{C} \sim 110^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 试样

采用立方体试件边长为 $70\text{mm} \pm 2\text{mm}$,每组不少于3个。此外再制备同样试件3个,用于做冻融系数试验。

(4) 试验步骤

①对试件编号,用放大镜详细检验,并作外观描述,然后量出每个试件的尺寸,计算受压面积。将试件放入烘箱,在 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 下烘至恒量,烘干时间一般为 $12 \sim 24\text{h}$,待在干燥器内冷却至室温后取出,立即称其质量 m_s ,精确至 0.01g 。

②按吸水率试验方法,让试件吸水饱和,然后取出擦去表面水分,放在铁盘中,试件与试件之间应留有一定间距。待冰箱温度下降到 -15°C 时,将铁盘连同试件一起放入冰箱,并立即开始计时。冻结 4h 后取出试件,放入 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的水中融解 4h ,如此反复冻融至规定次数为止。

③每隔一定的冻融循环次数(如 10 次、 15 次、 25 次等),详细检查各试件有无剥落、裂缝、分层及掉角等现象,并记录检查情况。

④称取冻融试验后试件的饱水质量 m'_t ,再将其烘至恒量,称其质量 m_t ,并按单轴抗压强度的试验方法测定其冻融试验后的试件饱水抗压强度,另取 3 个未经冻融试验的试件测定其饱水抗压强度。

(5)质量损失率计算

试件冻融后的质量损失率按式(1-1-8)计算(精确至 0.01):

$$L = \frac{m_s - m_t}{m_s} \times 100 \quad (\text{I-1-8})$$

式中: L ——冻融后的质量损失率(%);

m_s ——试验前烘干试件的质量(g);

m_t ——试验后烘干试件的质量(g)。

冻融后的质量损失率取 3 个试件试验结果的算术平均值。

(6)冻融后的吸水率按式(1-1-9)计算(精确至 0.1%):

$$w'_{sa} = \frac{m'_t - m_t}{m_s} \times 100 \quad (\text{1-1-9})$$

式中: w'_{sa} ——岩石冻融后的吸水率(%);

m_t ——冻融后的饱水质量(g)。

(7)耐冻系数计算

试件经冻融试验后的抗压强度与冻融试验前的抗压强度的比值称为耐冻系数,耐冻系数按式(1-1-10)计算(精确至 0.01):

$$K_f = \frac{R_t}{R_s} \quad (\text{1-1-10})$$

式中: K_f ——冻融系数;

R_t ——若干次冻融试验后的试件饱水抗压强度(MPa);

R_s ——未经冻融试验的试件饱水抗压强度(MPa)。

(8)评定指标

评定指标有如下三个方面。

①一般要求冻融后的质量损失率 $L \leq 2\%$ 。

②耐冻系数 $K \geq 75\%$ 。

③试件外形无变化。

4. 石料磨耗率试验

磨耗性是石料抵抗撞击、摩擦等综合作用的性能,用磨耗率来定量描述它。我国现行试验规程(JTG E42—2005)粗集料磨耗试验以洛杉矶法为标准方法。试验方法如下。

(1)仪器与材料

①洛杉矶磨耗试验机:圆筒内径 710mm±5mm,内侧长 510mm±5mm,两端封闭,投料口的钢盖通过紧固螺栓和橡胶垫与钢筒紧闭密封。钢筒的回转速率为 300~33r/min。

②钢球:直径约 46.8mm,质量为 390~445g,大小稍有不同,以便按要求组合成符合要求的总质量。

③台秤:感量 5g。

④标准筛:符合要求的标准筛系列,以及筛孔为 1.7mm 的方孔筛一个。

⑤烘箱:能使温度控制在 105℃±5℃ 范围内。

⑥容器:搪瓷盘等。

(2) 试验步骤

①将不同规格的集料用水冲洗干净,置烘箱中烘干至恒重。

②对所使用的集料,根据实际情况按表 1-1-1 选择最接近的粒级类别,确定相应的试验条件,按规定的粒级组成备料、筛分。其中水泥混凝土用集料宜采用 A 级粒度;沥青路面及各种基层、底基层的粗集料,表中的 16mm 筛孔也可用 13.2mm 筛孔代替。对非规格材料,应根据材料的实际粒度,从表 1-1-1 中选择最接近的粒级类别及试验条件。

粗集料洛杉矶试验条件

表 1-1-1

粒度类别	粒级组成 (mm)	试样质量 (g)	试样总质量 (g)	钢球数量 (个)	钢球总质量 (g)	转动次数 (转)	适用的粗集料	
							规格	公称粒径 (mm)
A	26.5~37.5	1 250±25	5 000±10	12	5 000±25	500		
	19.0~26.5	1 250±25						
	16.0~19.0	1 250±10						
	9.5~16.0	1 250±10						
B	19.0~26.5	2 500±10	5 000±10	11	4 850±25	500	S6	15~30
							S7	10~30
	16.0~19.0	2 500±10					S8	10~25
C	9.5~16.0	2 500±10	5 000±10	8	3 320±20	500	S9	10~20
							S10	10~15
							S11	5~15
	4.75~9.5	2 500±10					S12	5~10
D	2.36~4.75	5 000±10	5 000±10	6	2 500±15	500	S13	3~10
							S14	3~5
E	63~75	2 500±50	10 000±100	12	5 000±25	1 000	S1	40~75
	53~63	2 500±50						
	37.5~53	5 000±50					S2	40~60
F	37.5~53	5 000±50	10 000±75	12	5 000±25	1 000	S3	30~60
	26.5~37.5	5 000±25					S4	25~50
G	26.5~37.5	5 000±50	10 000±50	12	5 000±25	1 000	S5	20~40
	19~26.5	5 000±25						

注:①表中 16mm 也可用 13.2mm 代替。

②A 级适用于未筛碎石混合料及水泥混凝土用集料。

③C 级中 S12 可全部采用 4.75~9.5mm 颗粒 5 000g;S9 及 S10 可全部采用 9.5~16mm 颗粒 5 000g。

④E 级中 S2 中缺 63~75mm 颗粒可用 53~63mm 颗粒代替。

③分极称量(准确至 5g),称取总质量(m_1),装入磨耗机圆筒中。

④选择钢球,使钢球的数量及总质量符合表 1-1-1 规定,将钢球加入钢筒中,盖好筒盖,紧固密封。

⑤将计数器调整到零位,设定要求的回转次数,对水泥混凝土集料,回转次数为 500 转,对沥青混合料集料,回转次数应符合表 1-1-1 的要求。开动磨耗机,以 30~33r/min 转速转动至要求的回转次数为止。

⑥取出钢球,将经过磨耗后的试样从投料口倒入接受容器(搪瓷盘)中。

⑦将试样用 1.7mm 的方孔筛过筛,筛法试样中被撞击磨碎的细屑。

⑧用水冲干净留在筛上的碎石,置 105℃±5℃烘箱中烘干至恒重(通常不少于 4h),准确称量(m_2)。

(3)计算

按式(1-1-11)计算粗集料洛杉矶磨耗损失,精确至 0.1%。

$$Q = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1-1-11)$$

式中:Q——洛杉矶磨耗损失(%);

m_1 ——装入圆筒中试样质量(g)。

第三节 水泥混凝土

水泥混凝土是以普通水泥为胶结材料,用普通砂石为集料,并以普通水为原材料,按专门设计的配合比,经搅拌、成型、养护而得到的复合材料。现代水泥混凝土中为了调节和改善其工艺性能和力学性能,还加入各种化学外加剂和磨细矿质掺和料。

普通水泥混凝土主要技术性质包括新拌混凝土拌和物的工作性、硬化混凝土的强度、变形和耐久性。

普通混凝土的力学性能包括抗压强度(R_y)、轴心抗压强度(R_x)、静力受压弹性模量、劈裂抗拉强度(R_{pl})和抗折强度(R_w)等。

一、普通混凝土试件的制作方法

1. 试件尺寸公差

公差包括尺寸公差和形位公差。试件的形位公差是否符合要求,对其力学性能,特别是对高强混凝土的力学性能影响甚大。对试件承压面平面公差主要是靠试模内表面的平面度来控制,而试件相邻面夹角公差不但靠试模相邻面夹角控制,而且还取决于每次安装试模的精度。所以,要使试件的形位公差符合要求,不但应采用符合标准要求的试模来制作试件,而且必须高度重视对试模的安装。

2. 普通混凝土试件的制作方法

1)混凝土试件的制作应符合下列规定:

(1)成型前,应检查试模尺寸并符合有关规定;尤其是对高强混凝土,应格外重视检查试模的尺寸是否符合试模标准的要求。特别应检查 150mm×150mm×150mm 试模的内表面平整度和相邻面夹角是否符合要求。试模内表面应涂一薄层矿物油或其他不与混凝土发生反应的

脱模剂

(2)普通混凝土力学性能试验每组试件所用的拌和物应从同一盘混凝土或同一车混凝土中取样。在试验室拌制混凝土时,其材料用量应以质量计。对于称量的精度:水泥、掺和料、水和外加剂为 $\pm 0.5\%$,集料为 $\pm 1\%$ 。

(3)取样或试验室拌制的混凝土应在拌制后尽量短的时间内成型,一般不宜超过15min。

(4)根据混凝土拌和物的稠度确定混凝土成型方法,坍落度不大于 70mm 的混凝土宜用振动振实;大于 70mm 的宜用捣棒人工捣实,检验现浇混凝土或预制构件的混凝土,试件成型方法宜与实际采用的方法相同。

(5)圆柱体试件的制作见《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T 50081—2002)附录A。

2)混凝土试件制作应按下列步骤进行:

(1)取样或拌制好的混凝土拌和物应至少用铁锹来回拌和3次。

(2)用振动台振实制作试件应按下述方法进行:

①将混凝土拌和物一次装入试模,装料时应用抹刀沿各试模壁插捣,并使混凝土拌和物高出试模口。

②试模应附着或固定在振动台上,振动时试模不得有任何跳动,振动应持续到表面出浆为止,不得过振。

③刮除试模上口多余的混凝土,待混凝土临近初凝时,用抹刀抹平。

3)人工插捣制作试件应按下述方法进行:

(1)混凝土拌和物应分两层装入模内,每层的装料厚度大致相等。

(2)插捣应按螺旋方向从边缘向中心均匀进行,在插捣底层混凝土时,捣棒应达到试模底部;插捣上层时,捣棒应贯穿上层后插入下层 $20\sim 30\text{mm}$;插捣时捣棒应保持垂直,不得倾斜,然后应用抹刀沿试模内壁插拔数次。

(3)每层插捣次数按 10000mm^2 截面积内不得少于12次。

(4)插捣后应用橡皮锤轻轻敲击试模四周,直至插捣棒留下的空洞消失为止。

(5)刮除试模上口多余的混凝土,待混凝土临近初凝时,用抹刀抹平。

4)用插入式振捣棒振实制作试件应按下述方法进行:

(1)将混凝土拌和物一次装入试模,装料时应用抹刀沿各试模壁插捣,并使混凝土拌和物高出试模口。

(2)宜用直径为 $\phi 25\text{mm}$ 的插入式振捣棒,插入试模振捣时,振捣棒距试模底板 $10\sim 20\text{mm}$,且不得触及试模底板,振动应持续到表面出浆为止,且应避免过振,以防止混凝土离析;一般振捣时间为 20s ,振捣棒拔出时要缓慢,拔出后不得留有孔洞。

(3)刮除试模上口多余的混凝土,待混凝土临近初凝时,用抹刀抹平。

5)试件的养护

(1)试件成型后应立即用不透水的薄膜覆盖表面。

(2)采用标准养护的试件,应在温度为 $20\text{C}\pm 5\text{C}$ 的环境中静置 $1\sim 2\text{d}$ 然后编号、拆模。拆模后应立即放入温度为 $20\text{C}\pm 2\text{C}$,相对湿度为 95% 以上的标准养护室中养护,或在温度为 $20\text{C}\pm 2\text{C}$ 的不流动的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 饱和溶液中养护(因为水泥石中存在 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 是水泥水化和维持水泥石稳定的重要前提,如果养护水不是 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 饱和溶液,那么混凝土中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 就会溶出,这就影响水泥的水化进程从而影响混凝土的强度)。标准养护室内的试件应放在支架上,彼此间隔 $10\sim 20\text{mm}$,试件表面应保持潮湿,并不得被水直接冲淋。

(3)同条件养护试件的拆模时间可与实际构件的拆模时间相同,拆模后,试件仍需保持同条件养护。

(4)标准养护龄期为 28d(从搅拌加水开始计时),非标准养护龄期一般为 1d、3d、7d、60d、90d 和 180d。

二、混凝土的力学性能测试方法

1. 抗压强度试验

1) 试验步骤

(1)检查所采用的压力试验机是否符合要求,并选择合适的量程。

(2)从养护地点取出后立即进行试验。先将试件表面与上下承压板面擦干净,然后将试件安放在试验机的下压板或垫板上,试件的承压面应与成型时的顶面垂直。试件的中心应与试验机下压板中心对准,开动试验机,当上压板与试件或钢垫板接近时,调整球座,使其接触均衡。

(3)在试验过程中应连续均匀地加荷,混凝土强度等级小于 C30 时,加荷速度取 $0.3 \sim 0.5 \text{ MPa/s}$,混凝土强度等级不小于 C30 且小于 C60 时,取 $0.5 \sim 0.8 \text{ MPa/s}$,混凝土强度等级不小于 C60 取 $0.8 \sim 1.0 \text{ MPa/s}$ 。

(4)当试件接近破坏开始急剧变形时,应停止调整试验机油门直至破坏,然后记录破坏荷载 F 。

2) 抗压强度结果计算及确定

(1) 混凝土立方体抗压强度计算

混凝土立方体抗压强度应按式(1-1-12)计算:

$$f_{cc} = \frac{F}{A} \quad (1-1-12)$$

式中: f_{cc} ——混凝土立方体试件抗压强度(MPa);

F ——试件破坏荷载(kN);

A ——试件承压面积(mm^2)。

抗压强度计算结果精确至 0.1MPa。

(2) 混凝土立方体抗压强度值的确定

一般情况下取 3 个试件测值的算术平均值作为该组试件的强度值(精确至 0.1MPa)。但当 3 个值中的最大值或最小值中,如有一个与中间值的差值超过中间值的 15% 时,则把最大值及最小值一并舍除,取中间值作为该组试件的抗压强度值;若最大值和最小值与中间值的差值均超过中间值的 15%,则该组试件的试验结果无效。

在试验中采用非标准试件时,其抗压强度值应乘以尺寸换算系数,并应在报告中注明。

2. 轴心抗压强度试验

1) 试验步骤

(1)检查所采用的压力试验机是否符合要求,并选择合适的量程。当混凝土强度等级不小于 C60 时,试件周围应设防崩裂网罩。

(2)从养护地点取出后立即进行试验,先将试件表面用干毛巾擦干净,然后将试件安放在试验机的下压板或垫板上,试件的承压面应与成型时的顶面垂直。试件的中心应与试验机下压板中心对准,开动试验机,当上压板与试件或钢垫板接近时,调整球座,使接触均衡。

(3)应连续均匀地加荷,不得有冲击。所用加荷速度与抗压强度试验时相同。

(4) 试件接近破坏而开始急剧变形时,应停止调整试验机油门,直至破坏。然后记录荷载 F 。

2) 试验结果计算及确定

(1) 混凝土试件轴心抗压强度计算

混凝土试件轴心抗压强度应按式(1-1-13)计算:

$$f_{cp} = \frac{F}{A} \quad (1-1-13)$$

式中: f_{cp} ——混凝土棱柱体试件抗压强度(MPa);

F ——试件破坏荷载(N);

A ——试件承压面积(mm²)。

混凝土棱柱体抗压强度计算结果精确至 0.1MPa。

(2) 混凝土棱柱体抗压强度值的确定

一般情况下取三个试件测值的算术平均值作为该组试件的强度值(精确至 0.1MPa)。但当三个测值中的最大值或最小值中,如有一个与中间值的差值超过中间值的 15%时,将最大值与最小值一并舍除,取中间值作为该组试件的抗压强度值;若最大值和最小值与中间值的差值均超过中间值的 15%,则该组试件的试验结果无效。

(3) 非标准试件强度值的确定

当混凝土强度等级小于 C60 时,用非标准试件测得的强度值均应乘以尺寸换算系数。

3. 静力受压弹性模量试验

1) 试验步骤

(1) 检查所采用的压力试验机是否符合要求,并选择合适的量程。

(2) 检查微变形测量仪是否满足以下要求:微变形测量可采用千分表、电阻应变片测长仪和激光测长仪等;但其测量精度不低于 0.001mm,微变形测量仪的标距应为 150mm。

(3) 将 6 个试件从养护地点取出,用毛巾擦干净试件表面,取 3 个试件按测定混凝土轴心抗压强度的方法先测定混凝土的轴心抗压强度,另 3 个试件用于测定混凝土的弹性模量。

(4) 将变形测量仪安装在试件两侧的中线上并对称于试件的两端。然后将试件安放在试验机的下压板或垫板上,仔细调整试件在压力试验机上的位置,试件的中心应与试验机下压板中心对准,开动试验机,当上压板与试件或钢垫板接近时,调整球座,使接触均衡。

(5) 加荷至基准应力为 0.5MPa 的初始荷载值 F_0 ,保持恒载 60s 并在以后的 30s 内记录每测点的变形读数 ϵ_0 。然后立即连续均匀地加荷至应力为轴心抗压强度 f_{cp} 的 1/3 荷载值 F_a ,保持恒载 60s 并在以后的 30s 内记录每一测点的变形读数 ϵ_a 。所用加荷速度与抗压强度试验时相同。

(6) 当两侧变形值之差与它们平均值之比大于 20%时,应重新对中试件,再重复以上试验。如果无法使其减少到低于 20%时,则此次试验无效。

(7) 确认试件对中后,以与加荷速度相同的速度卸荷至基准应力 0.5MPa(F_0),恒载 60s,然后用同样的加荷和卸荷速度以及 60s 的保持恒载(F_0 及 F_a)至少进行两次反复预压。在最后一次预压完成后,在基准应力 0.5MPa(F_0)持荷 60s,并在以后的 30s 内记录每一测点的变形读数 ϵ_0 ;再用同样的加荷速度加荷至 F_a ,持荷 60s,并在以后的 30s 内记录每一测点的变形读数 ϵ_a 。

(8) 卸除变形测量仪,以同样的速度加荷至破坏,记录破坏荷载。如果试件的抗压强度与 f_{cp} 之差超过 f_{cp} 的 20%时,则应在报告中注明。

2) 试验结果计算及确定

(1)混凝土静力受压弹性模量计算

混凝土静力受压弹性模量值按式(1-1-14)计算:

$$E_c = \frac{F_a - F_0}{A} \times \frac{L}{\Delta n} \quad (1-1-14)$$

式中: E_c ——混凝土弹性模量(MPa);

F_a ——应力为 1/3 轴心抗压强度时的荷载(N);

F_0 ——应力为 0.5MPa 时的初始荷载(N);

A ——试件承压面积(mm²);

L ——测量标距(mm);

Δn ——最后一次从 F_0 加荷至 F_a 时试件两侧变形的平均值,

$$\Delta n = \epsilon_a - \epsilon_0 \quad (1-1-15)$$

式中: ϵ_a —— F_a 时试件两侧变形的平均值(mm);

ϵ_0 —— F_0 时试件两侧变形的平均值(mm)。

(2)静力受压弹性模量值的确定

弹性模量按三个试件测值的算术平均值计算。如果其中有一个试件的轴心抗压强度值超过用以确定检验控制荷载的轴心抗压强度值的 20% 时,则弹性模量值按另两个试件测值的算术平均值计算;如有两个试件超过上述规定时,则此次试验无效。

4. 劈裂抗拉强度试验

1) 试验步骤

(1)检查所采用的压力试验机是否符合要求,并选择合适的量程。

(2)检查所采用的垫块、垫条及支架是否符合以下规定:垫块应为半径为 75mm 的钢制弧形垫块,垫块的长度与试件相同;垫条为三层胶合板制成,宽度为 20mm,厚度为 3~4mm,长度不小于试件长度,垫条不得重复使用;支架为钢支架。

(3)试件从养护地点取出后立即进行试验。先将试件表面与上下承压板面擦干净,然后将试件放在试验机下压板的中心位置,劈裂承压面和劈裂面应与试件成型时的顶面垂直。在上、下压板与试件之间垫以圆弧形垫块及垫条各一条,垫块与垫条应与试件上、下面的中心线对准并与成型时的顶面垂直。

(4)开动试验机,当上压板与圆弧形垫块接近时,调整球座,使接触均衡。加荷应连续均匀,当混凝土强度等级小于 C30 时,加荷速度取每秒钟 0.02~0.05MPa;当混凝土强度等级不小于 C30 且小于 C60 时,取每秒钟 0.05~0.08MPa;当混凝土强度等级不小于 C60 时,取 0.08~0.10MPa/s。至试件接近破坏时,应停止调整试验机油门直至试件破坏,然后记录破坏荷载。

2) 试验结果计算及确定

(1)混凝土劈裂抗拉强度按式(1-1-16)计算:

$$f_{ts} = \frac{2F}{\pi A} = 0.637 \frac{F}{A} \quad (1-1-16)$$

式中: f_{ts} ——混凝土劈裂抗拉强度(MPa);

F ——试件破坏荷载(N);

A ——试件劈裂面面积(mm²)。

劈裂抗拉强度计算结果精确到 0.01MPa。

(2)劈裂抗拉强度值的确定

以三个试件测值的算术平均值作为该组试件的强度值(精确至 0.01MPa)。若三个测值中的最大值或最小值中,如有一个与中间值的差值超过中间值的 15% 时,则把最大及最小值一并舍去,取中间值作为该组试件的抗压强度值;如最大值与最小值与中间值的差均超过中间值 15%,则该组试件的试验结果无效。当采用非标准试件测得的劈裂抗拉强度值时,应乘以尺寸换算系数 0.85;当混凝土强度等级不小于 C60 时,宜采用标准试件;使用非标准试件时,换算系数应由试验确定。

5. 抗折强度试验

1) 试验步骤

(1) 检查所采用的压力试验机是否符合要求,并选择合适的量程。要求试验机应能施加均匀、连续、速度可控的荷载,并带有能使两个相等荷载同时作用在试件跨度 3 分点处的抗折试验装置。试件的支座和加荷头应采用直径为 20~40mm,长度不小于 $b+10\text{mm}$ 的硬钢圆柱,支座立脚点固定铰支,其他应为滚动支点。

(2) 标准试件尺寸为 $150\times 150\times 550\text{mm}$ 和 $150\times 150\times 600\text{mm}$ 两种。试件从养护地取出后,将试件表面擦干净,检查试件,试件在长向中部 1/3 区段内不得有表面直径超过 5mm、深度超过 2mm 的孔洞。

(3) 装置试件,安装尺寸偏差不得大于 1mm。试件承压面应为试件成型时的侧面,支座及承压面与圆柱的接触面应平稳、均匀,否则应垫平。

(4) 均匀、连续施加荷载。当混凝土强度等级小于 C30 时,加荷速度取 $0.02\sim 0.05\text{MPa/s}$;强度等级不小于 C30 且小于 C60 时,取 $0.05\sim 0.08\text{MPa/s}$;当混凝土强度等级不小于 C60 时,取 $0.08\sim 0.10\text{MPa/s}$ 。至试件接近破坏时,停止调整试验机油门直至试件破坏,然后记录破坏荷载和试件下边缘断裂位置。

2) 抗折强度试验结果计算及确定

(1) 若试件下边缘断裂位置处于两个集中荷载作用线之间,则试件的抗折强度 f_t 按式 (1-1-17) 计算:

$$f_t = \frac{FL}{bh^2} \quad (1-1-17)$$

式中: f_t ——混凝土抗折强度(MPa);

F ——试件破坏荷载(N);

L ——支座间跨度(mm);

h ——试件截面高(mm);

b ——试件截面宽度(mm)。

抗折强度计算结果精确至 0.1MPa。

(2) 以三个试件测值的算术平均值作为该组试件的强度值(精确至 0.01MPa);若三个测值中的最大值或最小值中如有一个与中间值的差值超过中间值的 15% 时,则把最大及最小值一并舍去,取中间值作为该组试件的抗压强度值;如最大值与最小值与中间值的差均超过中间值的 15%,则该组试件的试验结果无效。

(3) 若三个试件中有 1 个折断面位于两个集中荷载之外,则混凝土抗折强度值按另两个试件的试验结果计算。若这两个测值的差值不大于这两个测值的较小值的 15% 时,则该组试件的抗折强度值按这两个测值的平均值计算,否则该组试件的试验无效。

(4) 若有两个试件的下边缘断裂位置位于两个集中荷载作用线之外,则该组试件试验无效。

(4)当试件尺寸为 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 400\text{mm}$ 的非标准试件时,应乘以尺寸换算系数 0.85;当混凝土强度等级不小于 C60 时,宜采用标准试件;使用非标准试件时,尺寸换算系数应由试验确定。

6. 普通混凝土收缩测试方法

收缩变形是混凝土材料因物理和化学作用产生体积缩小的总称。收缩能使混凝土产生内应力,导致桥梁结构发生变形,甚至裂缝,从而降低其强度和刚度;此外收缩还能使混凝土内部产生微裂缝,破坏混凝土的微结构,降低混凝土的耐久性。对预应力钢筋混凝土结构,由于混凝土收缩,会产生应力损失。混凝土的收缩值是桥涵施工控制时所必需测量的试验数据之一。

在工程应用中,通常是测定以干缩为主的总收缩值。按我国现行行业标准规定,混凝土收缩测试试件,经 3d 标准养护后,在温度为 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为 $60\% \pm 5\%$ 条件下,测定 1d、3d、7d、14d、28d、60d、90d 和 180d 等不同龄期的收缩值,具体步骤如下。

1) 试件的制作及养护

(1) 试件尺寸

收缩试验采用棱柱体试件,每组 3 个,试件的尺寸应根据混凝土中集料的最大粒径按表 1-1-2 选定。

混凝土试件尺寸选用表

表 1-1-2

试件尺寸(mm)	集料的最大粒径(mm)	试件尺寸(mm)	集料的最大粒径(mm)
100×100×515	31.5	200×200×515	63
150×150×515	40		

注:集料最大粒径指的是符合《普通混凝土用碎石或卵石质量标准及检验方法》(JGJ 53—1992)中规定的圆孔筛的孔径。

(2) 试件的制作

试件的制作方法与普通混凝土力学性能测试时制作试件的方法及有关規定完全相同,另外有以下几点应注意。

①试件两端应预埋测头或留有埋设测头的凹槽。测头应由不锈钢或其他不锈钢材料制成,并应具有如图 1-1-1 所示的外形和尺寸。

②非标准试件采用接触式引伸仪时,所用试件的长度应至少比仪器的测量标距长出一个截面边长。测钉应粘贴在试件两侧面的轴线上。

③使用混凝土收缩仪,制作试件的试模应具有能固定测头或预留凹槽的端板。使用接触式引伸仪时,可用一般棱柱体试模制作试件。试件成型时如用机油作隔离剂,则所用机油的黏度不应过大,以免阻碍试件以后的湿度交换,影响测值。

(3) 试件的养护

如无特殊规定,试件应带模养护 1~2d(视当时混凝土实际强度而定)。拆模后应立即粘贴或埋好测头或测钉,送至温度为 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为 95% 以上的标准养护室养护。其主要仪器设备如下。

①变形测量仪器 有两种形式:混凝土收缩仪:测量标距 540mm,装有精度为 0.01mm 的百分表或测微器;其他形式的变形测量仪表:其测量标距不应小于 100mm 及最大集料粒径 3

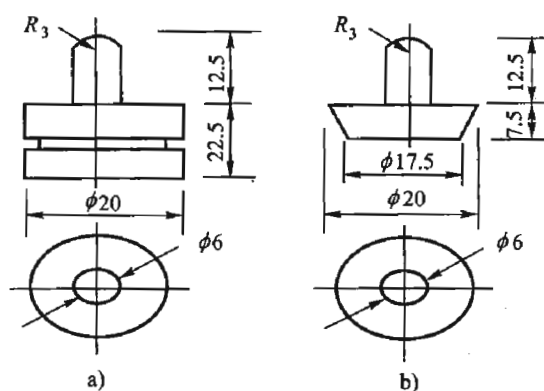


图 1-1-1 收缩测头(尺寸单位:mm)

a) 预埋测头;b) 后埋测头

倍。并至少能达到相对变形为 20×10^{-6} 的测量精度。

②测量装置 测量混凝土变形的装置应具有钢或石英玻璃制作的标准杆,以便在测量前及测量过程中校核仪表的读数。

③恒温恒湿室 能使室温保持在 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$,相对湿度保持在 $60\% \pm 5\%$ 。

(4) 试验步骤及注意事项

①测定代表某一混凝土收缩性能的特征值时,试件应在 3d 龄期(从搅拌混凝土加水时算起)从标准养护室取出并立即移入恒温恒湿室测定其初始长度,此后至少应按以下规定的时间间隔测量其变形读数:1d、3d、7d、14d、28d、45d、60d、90d、120d、150d、180d(从移入恒温恒湿室内算起)。

②测定混凝土在某一具体条件下的相对收缩值时(包括在徐变试验时的混凝土收缩变形测定),应按要求的条件安排试验。对非标准养护试件如需移入恒温恒湿室进行试验,应先在该室内预置 4h,再测其初始值,以使它们具有同样的温度基准。测量时应记下试件的初始干湿状态。

③测量前应先使用标准杆校正仪表的零点,并应在半天的测定过程中至少再核 1~2 次(其中一次在全部试件测读完后)。如复核时发现零点与原值的偏差超过 $\pm 0.01\text{mm}$,调零后应重新测定。

④试件每次在收缩仪上放置的位置、方向均应保持一致。为此,试件上应标明相应的记号。试件在放置及取出时应轻稳,勿使其碰撞表架及表杆。如发生碰撞,则应取下试件,重新用标准杆复核零点。用接触式引伸仪测定时,也应注意使每次测量时,试件与仪表保持同样的方向性。每次读数应重复 3 次。

⑤试件在恒温恒湿室内应放置在不吸水的搁架上,底面架空,其总支承面积不应大于 100 倍的试件截面边长(mm),相邻试件之间应至少留有 30mm 的间隙。

⑥需要测定混凝土自缩值试件,在 3d 龄期时从标准养护室取出后应立即密封处理,密封处理可采用金属套或蜡封。采用金属套时,试件装入后应盖严焊死,不得留有任何能使内外湿度交换的缝隙。外露测头的周围也应用石蜡反复封堵严实。采用蜡封时至少应涂蜡 3 次,每次涂蜡前应用浸蜡的纱布或蜡纸包缠严实,蜡封完毕后应套以塑料袋加以保护。自缩试验期间,试件应无质量变化,如在 180d 试验间隙内质量变化超过 10g,该试件的试验结果无效。

(5) 混凝土收缩值计算

混凝土收缩值按式(1-1-18)计算:

$$\epsilon_{st} = \frac{L_0 - L_t}{L_b} \quad (1-1-18)$$

式中: ϵ_{st} ——试验期为 t 天的混凝土收缩值, t 从测定初始长度时算起;

L_b ——试件的测量标距,用混凝土收缩仪测定时应等于两测头内侧的距离,即等于混凝土试件的长度(不计测头凸出部分)减去 2 倍测头埋入深度(mm);

L_0 ——试件长度的初始读数(mm);

L_t ——试件在试验期为 t 时测得的长度读数(mm)。

取三个试件值的算术平均值作为该混凝土的收缩值,计算精确到 10×10^{-6} 。

作为相互比较的混凝土收缩值为不密封试件于 3d 龄期自标准养护室移入恒温恒湿室中放置 180d 所测得的收缩值。

7 普通混凝土徐变测试方法

混凝土在持续荷载作用下,随时间增加的变形称为徐变,亦称蠕变。在预应力混凝土桥梁构件中,由于混凝土的徐变,可使钢筋的预应力受到损失,因此,徐变是预应力混凝土结构极为

关注的问题。但是,徐变也能消除钢筋混凝土内的部分应力集中,使应力较均匀地重新分布,对于大体积混凝土,能消除一部分由于温度变形所产生的破坏应力。徐变试验步骤如下。

1) 试件的制作及养护

(1) 试件尺寸

徐变试验采用棱柱体试件,每组 3 个,试件的尺寸应根据混凝土中集料的最大粒径按规定选定。

(2) 试件的制作与养护

试件的制作方法与普通混凝土力学性能测试时制作试件的方法及有关规定完全相同,另外有以下几点应注意。

①采用外装式变形测量装置时,徐变试件两侧面应有安装测量仪表的测头,测头宜采用埋入式。采用内埋式应变测量装置时,应注意使测头埋设在试件中部并保持其轴线与试件长轴一致,试模的侧壁应具有能在成型时使测头定位的装置。在对粘结的工艺及材料确有把握时,允许采用胶粘。

②如无特殊要求,试件拆模后应立即送入标准养护室养护到 7d 龄期(自混凝土搅拌加水开始算起),然后移入恒温恒湿室待试。

③如需确定在具体使用条件下的混凝土徐变值,则应根据具体情况确定试件的养护及试验制度。

④制作徐变试件时,应同时制作相应的棱柱体抗压试件和收缩试件以供确定试验荷载大小及测定收缩值之用。收缩试件与徐变试件相同,并装有与徐变试件相同的测量装置。抗压试件及收缩试件应随徐变试件一并养护。

2) 加荷时间

加荷时间有以下两方面:

(1)对比或检验混凝土的徐变性能时,试件应在 28d 龄期时加荷;

(2)当研究某一混凝土的徐变特性时,应至少制备 4 组徐变试件,并分别在龄期为 7d、14d、28d、90d 时加荷。

3) 仪器设备

(1) 徐变仪

其基本形式如图 1-1-2 所示,它包括上、下压板,弹簧持荷装置以及 2~3 根承力丝杆。弹簧及丝杆的数量、尺寸应按徐变仪所要求的试验吨位而定。在试验荷载下,丝杆的拉应力一般不应大于材料屈服点的 30%,弹簧的工作压力不应超过允许极限荷载的 80%,但工作时弹簧的压缩变形也不得小于 20mm,以使它具有足够的调整能力。有条件时也可采用两个试件串叠受荷,以提高设备的利用率。

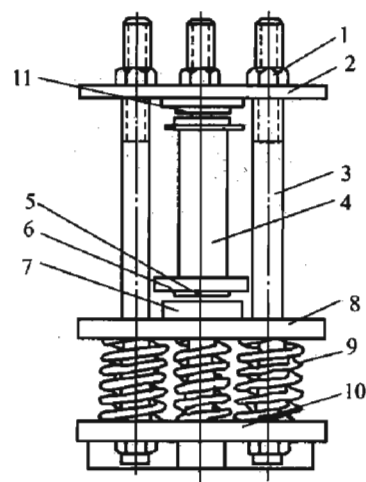


图 1-1-2 徐变仪

1-螺母;2-上压板;3-丝杆;4-试件;5、11-球铰;6-垫板;7-定心;8-下压板;9-弹簧;10-底盘

(2) 加荷装置

包括加荷架、千斤顶及测力装置,现分列如下。

①加荷架由接长杆及顶板组成,用以承受加荷时的反力。加荷时加荷架与徐变仪丝杆顶部相连。

②千斤顶一般为起重千斤顶,其吨位应大于所要求的试验荷载。

③测力装置:标准箱(压力环)或其他形式的压力测定装置,其测量精度应达到所加荷载的1%,其量程应能使试验压力值不小于全量程的20%,也不大于全量程的80%。

(3)变形测量装置

可采用外装的带接长杆的千分表、差动式应变计或移动式的接触式引伸仪,它应能保证所测量的应变值至少具有 20×10^{-6} mm 的精度。

(4)温、湿度

恒温恒湿室能使室温保持在 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度保持在 $60\% \pm 5\%$ 。

4)试验步骤

(1)试验前应充分做好准备工作,需要粘贴测头或测点的应在前一天粘好,仪表安装好后应仔细检查,不得有任何松动或异常现象。加荷用的千斤顶、测力计等也应予以检查。

(2)把同条件养护的棱柱体抗压强度试件取出试压,取得混凝土的棱柱体抗压强度。

(3)把徐变试件放在徐变仪的下压板上,此时试件加荷千斤顶、测力计及徐变仪的轴线应重合。再次检查变形测量仪表的调零情况,记下初始读数。

(4)试件放好后,开始加荷。试验时取徐变应力为所测得的棱柱体抗压强度的40%。如果采用外装仪表或接触式引伸仪,用千斤顶先加压至徐变应力的20%进行对中。两侧变形相差应小于其平均值的10%,如超出此值,应松开千斤顶,重新调整后,再加荷到徐变应力的20%,检查对中的情况。对中完毕后,应立即继续加荷直到徐变应力,读出两边的变形值。此时,两边变形的平均值即为在徐变荷载下的初始变形值。从对中完毕到测初始变形值之间的加荷及测量时间不得超过1min。拧紧承力螺杆上端的螺帽,放松千斤顶,观察两边变形值的变化情况,此时,试件两侧的读数相差应不超过平均值的10%,否则应予以调整。调整应在试件持荷情况下进行,调整过程中所产生的变形增值应计入徐变变形之中。再加荷到徐变应力,检查两侧变形读数,其总和与加荷前读数相比,误差不应超过2%,否则应予以补足。

(5)按下列试验周期(由试件加荷时起算)测定混凝土试件的变形值:1d、3d、7d、14d、28d、45d、60d、90d、120d、150d、180d、360d。

(6)在测读变形读数的同时应测定同条件放置的收缩试件的收缩值。

(7)试件受压后应定期检查荷载的保持情况,一般在7d、28d、60d、90d各校核一次,如荷载变化大于2%,应予以补足。

5)试验结果计算

(1)混凝土的徐变值计算

混凝土的徐变值按式(1-1-19)计算:

$$\epsilon_{ct} = \frac{\Delta L_t - \Delta L_0}{L_b} - \epsilon_{st} \quad (1-1-19)$$

式中: ϵ_{ct} ——加荷 t 天后的混凝土徐变值;

ΔL_t ——加荷 t 天后混凝土的总变形值(mm);

ΔL_0 ——加荷时测得的混凝土初始变形值(mm);

L_b ——测量标距(mm);

ϵ_{st} ——同龄期混凝土的收缩值。

(2)混凝土的徐变度计算

混凝土的徐变度应按式(1-1-20)计算:

$$C_t = \frac{\epsilon_{ct}}{\alpha} \quad (1-1-20)$$

式中: C_t ——加荷 t 天混凝土的徐变度 (MPa^{-1});

α ——徐变应力 (MPa)。

(3) 混凝土的徐变系数计算

混凝土的徐变系数按式(1-1-21)计算:

$$\varphi_t = \frac{\epsilon_{ct}}{\epsilon_0} \quad (1-1-21)$$

式中: φ_t ——加荷 t 天的混凝土徐变系数;

ϵ_0 ——混凝土在加荷时测得的初始应变值, 即:

$$\epsilon_0 = \frac{\Delta L_0}{L_b} \quad (1-1-22)$$

第四节 钢 材

一、桥涵用钢材的分类

桥涵用钢材的分类可按形状、化学成分、生产工艺、质量、用途等多种分类方法分类。

(1) 按其形状分类

可分为型材、棒材(或线材)和异型材(特种形状)3类。

①型材主要包括型钢和钢板, 主要用于钢桥建筑。

②线材主要包括钢筋、预应力钢筋、高强钢丝和钢绞线等, 它是钢筋混凝土桥梁建筑中使用的重要材料之一。

③异型材是为特殊用途而制作的, 如预应力混凝土中用的锚具、夹具和大变形伸缩装置中使用的异型钢梁等。

(2) 按含碳量分类

低碳钢: 含碳量小于 0.25%;

中碳钢: 含碳量 0.25%~0.6%;

高碳钢: 含碳量大于 0.6%。

(3) 合金钢分类

低合金钢: 含合金元素总量小于 5%;

中合金钢: 含合金元素总量在 5%~10%;

高合金钢: 含合金元素总量大于 10%。

二、桥梁用钢材的主要力学性能及表面质量要求

1. 桥梁用钢材的主要力学性能

1) 强度

强度是钢材力学性能的主要指标, 包括屈服强度和抗拉强度。

(1)屈服强度也称屈服极限,它是钢材开始丧失对变形的抵抗能力,并开始产生大量塑性变形时所对应的应力。

中碳钢和高碳钢没有明显的屈服点,通常以残余变形 0.2% 的应力作为屈服强度。

(2)抗拉强度是钢材所能承受的最大拉应力。即当拉应力达到强度极限时,钢材因完全丧失了对变形的抵抗能力而断裂。

屈服强度与抗拉强度的比值叫屈强比,用来比较结构的可靠性和钢材的有效利用率。屈强比越小,结构可靠性越高;但比值太小,则钢材的利用率太低。

2)塑性

塑性是钢材在受力破坏前可以经受永久变形的性能,通常用伸长率和断面收缩率表示。

(1)伸长率是钢材受拉发生断裂时所能承受的永久变形能力。试件拉断后标准长度的增量与原标准长度之比的百分率即伸长率。

(2)断面收缩率是指试件拉断后缩颈处横断面积的最大缩减量占原横断面积的百分率。

3)冷弯性能

冷弯性能是钢材在常温条件下承受规定弯曲程度的弯曲变形能力,并可在弯曲中显示钢材缺陷的一种工艺性能。

4)硬度

硬度是钢材抵抗其他较硬物体压入的能力,实际上硬度为钢材抵抗塑性变形的能力。

5)冲击韧性

冲击韧性是钢材在瞬间动荷载作用下抵抗破坏的能力。

6)耐疲劳性

钢材在交变应力(随时间交替变更的应力)的反复作用下,往往在工作应力远小于抗拉强度时发生骤然断裂,这种现象称为“疲劳破坏”。钢材抵抗疲劳破坏的能力称为耐疲劳性。

7)良好的焊接性

良好的焊接性是指钢材的连接部分焊接后力学性能不低于焊件本身,以防止产生硬化脆裂和内应力过大等现象。

2. 钢筋表面质量要求

钢筋外表面不得有严重锈蚀、麻坑、裂纹、结疤、折叠、夹砂、夹层等缺陷。热轧带肋钢筋表面允许有凸块,但不得超过横肋高度,表面上其他缺陷的深度和高度不得大于所在部位尺寸的允许偏差。钢筋表面不得有油污和其他影响使用的缺陷。

三、桥梁用钢材的力学性能测试方法

1. 试件取样

1)组批规则

钢筋按批进行检查验收,每批应由同一牌号、同一外形、同一规格、同一生产工艺和同一交货状态的钢筋组成,每批不大于 60t。

2)取样数量

各类钢筋取样数量见表 3-1-3

各类钢筋每组试件数量

表 3-1-3

钢筋种类	每组试件数量		
	拉伸试验	弯曲试验	反向(复)弯曲试验
热轧带肋钢筋	2 根	2 根	1 根(反向弯曲)
热轧光圆钢筋	2 根	2 根	/
低碳热轧圆盘条	2 根	2 根	/
冷轧带肋筋	逐盘 1 个	每批 2 个	2 根(反复弯曲)

3) 取样方法

(1) 规定取 2 个试件的, 均应从任意两根(两盘)中分别切取每根钢筋上切取一个拉伸试件、一个冷弯试件;

(2) 低碳热轧圆盘条, 冷弯试件应取自同盘的两端;

(3) 试件切取时, 应在任意一端截去 500mm 后切取;

(4) 一般试件长度为:

拉伸试件 $L \geq 10d + 200\text{mm}$

弯曲试件 $L \geq 5d + 150\text{mm}$

2. 试验项目及方法

1) 屈服强度和抗拉强度

钢筋拉伸试验在试验机上进行时, 当测力度盘的指针停止转动后恒定负载或第一次回转的最小负荷即为所求屈服点的荷载。

屈服强度(σ_s)以 MPa 表达, 并按式(1-1-23)计算:

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} \quad (1-1-23)$$

式中: F_s ——相当于所求屈服应力时的荷载(N);

A_0 ——试件原截面面积(mm^2)。

中碳钢和高碳钢没有明显的屈服点, 采用分级加荷, 求出弹性直线段相应于小等级负荷的平均伸长增量, 由此计算出偏离直线段后各级负荷的弹性伸长。从总伸长中减去弹性伸长即为残余伸长。通常以残余伸长 0.2% 的应力作为屈服强度, 表示为 $\sigma_{0.2}$, 并按式(1-1-24)计算:

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{A_0} \quad (1-1-24)$$

式中: $F_{0.2}$ ——相当于所求应力的荷载(N);

A_0 ——试件原横截面积(mm^2)。

抗拉强度是向试件连续加荷直至拉断, 由测力度盘或拉伸曲线上读出最大负荷 F_b 。抗拉强度(σ_b)以 MPa 表达, 按式(1-1-25)计算:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} \quad (1-1-25)$$

式中: F_b ——试件拉断前的最大荷载(N);

A_0 ——试件原横截面积(mm^2)。

2) 塑性

工程中钢材塑性指标通常用伸长率和断面收缩率表示,钢筋一般可进行伸长率单项抽验。当试件拉断后,标距长度的增量与原标距长度之比的百分率即为伸长率。伸长率(δ_n)以%表达,并按式(1-1-26)计算:

$$\delta_n = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-1-26)$$

式中: L_1 ——试件拉断后标距部分的长度(mm);

L_0 ——试件原标距长度(mm);

δ_n ——长、短比例试件的伸长率,分别以 δ_5 、 δ_{10} 表示,定标距试件伸长率应附该标距长度数值的脚注,如 $L=100\text{mm}$ 或 200mm ,则伸长率分别以 δ_{100} 、 δ_{200} 表示。

为了避免由于试样断裂位置不符合所规定的条件而必须报废试样,可以使用如下方法测定断后伸长率:在试验前将原始标距(L_0)细分为 N 等分。试验后,以符号 X 表示断裂后试样短段的标距标记,以符号 Y 表示断裂试样长段的等分标记,此标记与断裂处的距离最接近于断裂处至标距标记 X 的距离。如 X 与 Y 之间的分格数为 n ,按如下方法测定断后伸长率。

(1)如 $N-n$ 为偶,测量 X 与 Y 之间的距离和测量从 Y 至距离为 $(N-n)/2$ 个分格的 Z 标记之间的距离。按照式(1-1-27)计算断后伸长率:

$$\delta = \frac{XY + 2YZ - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-1-27)$$

(2)如 $N-n$ 为奇数,则测量 X 与 Y 之间的距离,和测量从 Y 至距离分别为 $(N-n-1)/2$ 和 $(N-n+1)/2$ 个分格的 Z' 和 Z'' 标记之间的距离。按照式(1-1-28)计算断后伸长率:

$$\delta = \frac{XY + YZ' + YZ'' - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-1-28)$$

3) 硬度

按现行规范检测钢硬度的方法主要有布氏硬度和洛氏硬度两种。

(1) 试验仪器

(1) 布氏硬度试验法

① 布氏硬度试验机。

② 钢球 钢球应用淬火硬钢制成,其硬度值应不低于维氏硬度 HV850;钢球直径为 2.5mm、5.0mm 或 10.0mm;钢球表面光洁度应不低于 12,并在 5 倍放大镜下观察无任何表面缺陷。

③ 试件 试件表面应制成光滑平面,以便压痕边缘足够清晰而保证测量压痕直径的准确性,试件表面无氧化皮或其他外来污物;制作试件时,不应使试件表面因受热或加工硬化而改变其硬度。

(2) 洛氏硬度试验法

① 洛氏硬度试验机。

② 试件 试件试验面必须精细制备使其平坦,不带有油脂、氧化皮、裂缝、显著加工痕迹、凹坑及外来污物。试件表面加工时应避免因受热或冷加工改变金属的性能;对于弯曲面的试件,其曲率半径不得小于 15mm,如半径为 5~15mm,则测得硬度值需加以修正;试件表面层最小厚度不小于卸除主负荷后压头压入深度的 8 倍。

4) 试验方法

(1) 布氏硬度法

①试验应在 $10^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ 温度下进行。

②根据试件的硬度、厚度选用钢球直径和试验力。

③将试件放在支撑台上,加初负荷使试件与钢球互相接触,必须使所施加作用力与试验平面垂直、平稳均匀地施加负荷,不得受到冲击和振动,并按规定时间保持负荷。

④卸下负荷,用测微显微镜测量压痕直径,从相互垂直方向各测 1 次(或从直读式硬度机上读出压痕直径)。钢球直径为 10mm、5mm 或 2.5mm 时,压痕直径测量分别精确到 0.02mm、0.02mm 和 0.01mm,压痕两直径之差应不超过较小直径的 2%。

⑤试验后压痕直径的大小应在 $0.25D < d < 6D$ 范围内,否则试验结果无效,另行选择相应的负荷重新试验。

⑥试验后试件边缘及背面呈现变形痕迹时,试验无效,另选择直径较小钢球及相应负荷重新试验。

⑦压痕中心距试件边缘应不小于压痕直径的 2.5 倍,两压痕中心间距不小于压痕直径的 2.5 倍;试验布氏硬度值 HB 小于 35 的金属时,上述距离分别为压痕直径的 3 倍和 6 倍。

⑧HB 可根据压痕直径计算。当 $\text{HB} \geq 100$ 时,硬度值取整数;当 $\text{HB} = 10 \sim 100$ 时,计算到小数一位;当 $\text{HB} < 10$ 时,计算到小数两位。

(2) 洛氏硬度法

①试验在 $10^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ 温度下进行。

②根据试件的硬度选用试验条件。

③试件的试验面、支撑面、试台表面和压头表面应清洁。试件应稳固地放置在试台上,以保证在试验过程中不产生位移及变形。

④在任何情况下,不允许压头与试台及支座触碰。试件支撑面、支座和试台工作面上均不得有压痕。

⑤试验时,必须保证试验力方向与试件的试验面垂直。

⑥在试验过程中,试验装置不应受到冲击和振动。

⑦施加初始试验力时,指针或指示线不得超过硬度计规定范围,否则应卸除初始试验力,在试件另一位置试验。

⑧调整示值指示器至零点后,应在 2~8s 内施加全部主试验力。

⑨应均匀平稳地施加试验力,不得有冲击及振动。

⑩施加主试验力后,总试验力的保持时间应以示值指示器指示基本不变为准。

总试验力保持时间推荐如下:对于施加主试验力后不随时间继续变形的试件,保持时间为 1~3s;对于施加主试验力后随时间缓慢变形的试件,保持时间为 6~8s;对于施加主试验力后随时间明显变形的试件,保持时间为 25~30s。

⑪达到要求的保持时间后,在 2s 内平稳地卸除主试验力,保持初始试验力,从相应的标尺刻度上读出硬度值。

⑫两相邻压痕中心间距离至少应为压痕直径的 4 倍,但不得小于 2mm。任一压痕中心距试样边缘距离至少应为压痕直径的 2.5 倍,但不得小于 1mm。

⑬在每个试件上的试验点数应不少于 4 点。对大批量试件的检验,点数可适当减少。

3. 冲击韧性

1) 主要仪器设备

(1) 冲击试验机

①冲击试验机的标准打击能量为 $300\text{J} \pm 10\text{J}$ 或 $150\text{J} \pm 10\text{J}$, 打击瞬间摆锤的冲击速度应为 $5.0 \sim 5.5\text{m/s}$ 。根据需要也可使用其他冲击能量的试验机。

②试验机的试样支座及摆锤刀刃尺寸应符合规定。

③冲击试验机的其他技术条件应符合《摆锤式冲击试验机的检验》(GB 3808—2002)规定。

④对于高温或低温冲击试验, 温度控制装置应能将试验温度稳定在规定值的 $\pm 2^\circ\text{C}$ 之内。

⑤使用液体介质加热或冷却试样时, 恒温槽应有足够容量和介质, 并应有使介质温度均匀的装置。

(2)测温用的玻璃温度计最小分度值应不大于 1°C , 误差应符合规定, 测温热电偶应符合 II 级热电偶要求。

(3)测温仪器(数字指示装置或电位差计)的误差应不超过 $\pm 0.1\%$ 。

(4)热电偶参考端温度应保持恒定, 偏差应不超过 0.5°C 。

2) 试验要求

(1) 试样

①规定以 $10\text{mm} \times 10\text{mm} \times 55\text{mm}$ 带有 V 形缺口的试样为标准试样。试样的尺寸及偏差应符合规定。试样缺口底部应光滑, 无与缺口轴线平行的明显划痕。进行仲裁试验时, 试样缺口底部的光洁度不应低于 7。

②试样毛坯切取的部位、取向、数量均应按照相应技术条件的规定。毛坯切取和试样加工过程中, 不应受加工硬化或热影响而改变金属的冲击性能。

③试样的标记不应影响支座对试样的支承, 也不应使缺口附近产生加工硬化。一般可标记在试样的端面、侧面或缺口背面距端面 15mm 以内, 但不应标在支承面上。试样在加工和保存期间应防止锈蚀, 缺口部位应避免划伤。

(2)试验前应检查摆锤空打是否指零(摆锤自由下垂时, 使被动指针紧靠主动指针并对准最大冲击能量处, 扬起摆锤空打, 被动指针应指零位), 其偏差不应超过最小分度值的 $1/4$ 。

(3)试样的放置应紧贴支座, 并能使摆锤刀刃打击在背向缺口的一面。试样缺口对称面应位于两支座对称面上, 其偏差不应大于 $\pm 0.2\text{mm}$ 。

(4)试验时检查试样尺寸用的量具精度不应低于 0.02mm 。

(5)当没有规定具体温度时, 试验温度一般为 $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 。

3) 结果计算

钢材冲击韧性 A_k 按式(1-1-29)和式(1-1-30)计算:

$$A_k = F(H-h) \quad (1-1-29)$$

$$A_k = FL(\cos\beta - \cos\alpha) \quad (1-1-30)$$

式中: F ——摆锤静载(N);

L ——摆锤重心到立柱间距离(m);

H ——摆锤扬起时的高度;

h ——摆锤回落时的高度。

4. 冷弯性能试验

它是钢筋在常温条件下进行的一项工艺性试验。试验可在配备弯曲装置的压力机或万能试验机上进行。常用弯曲装置有支辊式、V 形模具式、虎钳式、翻板式等 4 种, 其中使用最多的是支辊式弯曲装置。支辊长度应大于试样宽度或直径, 支辊半径应为 $1 \sim 10$ 倍试

样厚度,且支辊应具有足够的硬度。支辊间距离应符合规定,在试验期间应保持不变。弯曲压头直径应符合规定,弯曲压头宽度应大于试样直径,且应具有足够的硬度。试验时将试样放在满足以上条件的设备上缓缓弯曲至规定的弯曲角度。若无裂纹、起层或断裂等现象,则认为合格。如钢材含碳、磷量较高或受过不正常的热处理,则冷弯试验往往不能合格。

5. 反复弯曲试验

反复弯曲试验时,应将试样一端夹紧,然后绕着规定半径的圆柱形表面使试样弯曲 90° ,再向相反方向弯曲,如此反复。弯曲圆弧半径、圆弧顶部至拨杆底面的距离以及拨杆的孔径应按试件尺寸进行选择。

试样从起始位置向左右弯曲 90° 后返回至起始位置,作为第一次弯曲;再由起始位置向左右弯曲 90° ,再返回起始位置作为第二次弯曲;依次连续反复弯曲。试样折断时的最后一次不计。

弯曲次数达到或超过有关标准中所规定的弯曲次数为合格。

6. 焊接钢筋质量检测方法

钢筋接头一般应采用焊接,螺纹筋可采用挤压套筒接头或锥螺纹接头。钢筋的焊接应优先选用闪光对焊,当缺乏闪光对焊条件时,也可采用电弧焊、电渣压力焊、气压焊等。不同焊接方法的质量检测内容和标准如下。

1) 钢筋闪光对焊接头

(1) 批量规定

在同一台班内,由同一焊工按同一焊接参数完成的300个同类型(指钢筋级别和直径均相同的接头)接头作为一批。一周内连续焊接时可以连续计算,一周内累计不足300个接头时,也按一批计算。

(2) 外观检查

每批抽查10%的接头,并不得少于10个。

(3) 焊接等长预应力钢筋(包括螺丝端杆与钢筋)时,可按生产时同等条件制作模拟试件。

(4) 螺丝端杆连接接头可只做拉伸试验。

(5) 力学性能试验

包括拉伸试验和弯曲试验。应从每批成品中切取6个试件,3个进行拉伸试验,3个进行弯曲试验。试验结果应符合下列要求。

① 3个热轧钢筋接头试件的抗拉强度均不得小于该级别钢筋规定的抗拉强度,如热处理III级钢筋接头试件的抗拉强度均不得小于HRB400钢筋的抗拉强度。

② 应至少有2个试件断于焊缝之外,并呈延性断裂。

当试验结果有1个试件的抗拉强度小于上述规定值,或有2个试件在焊缝或热影响区发生脆性断裂时,应再取6个试件进行复验。

③ 预应力钢筋与螺丝端杆闪光对焊接头拉伸试验结果,3个试件应全部断于焊缝之外,呈延性断裂。

④ 当试验结果有1个试件在焊缝或热影响区发生脆性断裂时,应从成品中再切取3个试件进行复验;当仍有1个试件在焊缝或热影响区发生脆性断裂时,应确认该批为不合格品。

⑤ 模拟试件的试验结果不符合要求时,应从成品中再切取试件进行复验,其数量和要求应与初始试验时相同。

⑥闪光对焊接头弯曲试验时,应将受压面的金属毛刺和镦粗变形部分消除,且与母材的外表齐平。

⑦弯曲试验可在万能试验机、手动或电动液压弯曲试验器上进行。焊缝应处于弯曲中心,弯心直径和弯曲角应符合规定,当弯至 90° 时,至少有2个试件不得发生破断。

⑧当试验结果有2个试件发生破断时,应再取6个试件进行复验;当仍有3个试件发生破断,应确认该批接头为不合格品。

2) 钢筋电弧焊接头

(1) 批量规定

以300个同类型接头为一批,不足300个时仍作为一批。

(2) 外观检查

应在接头清渣后逐个进行目测或量测,检查结果应符合下列要求。

①焊缝表面平整,不得有较大的凹陷、焊瘤。

②接头处不得有裂纹。

③咬边深度、气孔、夹渣的数量和大小以及接头偏差,不得超过规定的数值。

④坡口焊及熔槽帮条焊接头,其焊缝加强高度不大于3mm。

外观检查不合格的接头,经修整或补强后,可再次提交二次验收。

(3) 强度检验试验

从成品中每批切取3个接头做拉伸试验,试验结果应符合下列要求。

①3个热轧钢筋接头试件的抗拉强度均不得低于该级别钢筋的规定抗拉强度值,如热处理III级钢筋接头试件抗拉强度均不得小于HRB400钢筋规定的抗拉强度。

②至少有2个试件呈塑性断裂,3个试件均断于焊缝之外。

当检验结果有1个试件的抗拉强度低于规定指标或有2个试件发生脆性断裂时,应取双倍数量的试件进行复验。复验结果若仍有1个试件的抗拉强度低于规定指标,或有1个试件断于焊缝,或有3个试件呈脆性断裂时,则该批接头即为不合格品。

3) 电渣压力焊

(1) 接头质量检查

电渣压力焊接头应逐个进行外观检查。在做力学性能试验时,从每批接头中随机切取3个试件做拉伸试验,应符合下列要求。

①在一般构筑物中,以300个同级别钢筋接头作为一批。

②在现浇钢筋混凝土结构中,每一施工区段中以300个同级别钢筋接头作为一批,不足300个接头仍作为一批。

(2) 外观检查质量要求

电渣压力焊接头外观检查结果应符合下列要求。

①接头焊毕,应停歇适当时间,才可回收焊剂和卸下焊接夹具。敲去渣壳,四周焊包应较均匀,凸出钢筋表面的高度至少4mm。

②电极与钢筋接触处,无明显的烧伤缺陷。

③接头处的弯折角不大于 4° 。

④接头处的轴线偏移不超过0.1倍钢筋直径,同时不大于2mm。

外观检查不合格的接头应切除重焊,或采取补强措施。

(3) 拉伸试验质量要求

电渣压力焊接头拉伸试验结果,3个试件的抗拉强度均不得低于该级别钢筋规定的抗拉强度值。

当试验结果有1个试件的抗拉强度低于规定指标,应取6个试件进行复验,若仍有1个试件的抗拉强度低于规定指标,则确定该批接头为不合格品。

4) 气压焊

(1) 接头质量检查

气压焊接头应逐个进行外观检查。当进行力学性能试验时,应从每批接头中随机切取3个接头做拉伸试验。在梁、板的水平钢筋连接中,应另切取3个接头做弯曲试验,且应按下列规定抽取试件:以300个接头作为一批,不足300个接头仍作为一批。

(2) 外观检查质量要求

气压焊接头外观检查结果应符合下列要求。

① 偏心量 e 不得大于钢筋直径的0.15倍,同时不得大于4mm,当不同直径钢筋焊接时,按较小钢筋直径计算。当超过限量时,应切除重焊。

② 两钢筋轴线弯折角不得大于 4° ,当超过限量时,应重新加热矫正。

③ 镦粗直径 d 不得小于钢筋直径的1.4倍,当小于此限量时,应重新加热镦粗。

④ 镦粗长度 l 不得小于钢筋直径的1.2倍,且凸起部分平缓圆滑。当小于此限量时,应重新加热镦长。

⑤ 压焊面偏移 d_h 不得大于钢筋直径的0.2倍。

(3) 拉伸试验质量要求

气压焊接头拉伸试验结果,3个试件的抗拉强度均不得低于该级别钢筋规定的抗拉强度,并断于压焊面之外,呈延性断裂。若有1个试件不符合要求时,应切取6个试件进行复验,若仍有1个试件不符合要求,该批接头为不合格品。

(4) 弯曲试验质量要求

气压焊接头弯曲试验时,应将试件受压面的凸起部分除去,与钢筋外表面齐平。弯心直径应符合规定。

弯曲试验可在万能试验机、手动或电动液压弯曲试验器上进行。压焊面应处在弯曲中心点,弯至 90° ,3个试件均不得在压焊面发生破断。

当试验结果有1个试件不符合要求,应切取6个试件进行复验,若仍有1个试件不符合要求,该批接头为不合格品。

5) 钢筋机械连接接头检测

钢筋机械连接接头检测项目是根据钢筋机械连接接头的性能等级和应用场合来确定的。其项目有静力单向拉伸性能(包括强度、极限变形、残余变形)、高应力反复拉压(包括强度和残余变形)、大变形反复拉压(包括强度和残余变形)、抗疲劳、耐低温等各项性能。基本要求是:接头抗拉强度达到或超过母材抗拉强度的标准,并具有高延性及反复拉压性能。

对直接承受动力荷载的结构,其接头应满足设计要求的抗疲劳性能。设计无要求时,对连接 HRB335 的钢筋的接头,其疲劳性能应能经受应力幅度为 100MPa,上限应力为 180MPa 的 200 万次循环加载。对连接 HRB400 的钢筋的接头,其疲劳性能应能经受应力幅度为 100MPa,上限应力为 190MPa 的 200 万次循环加载。

6) 金属螺旋管检测

(1) 金属螺旋管检测项目

包括外观、尺寸、集中荷载下径向刚度、荷载作用后抗渗漏、抗弯曲渗漏等。

(2) 质量要求

外观要求:外观应清洁,内外表面无油污,无引起生锈的附着物,无孔洞和不规则的折皱,咬口无开裂、无脱扣。

抗渗漏性能:在规定的集中荷载和均布荷载作用后,或在弯曲情况下,不得渗出水泥浆,但允许渗水。

四、预应力钢材试验检测

1. 预应力混凝土用钢筋、钢丝和钢绞线的力学性能和表面质量要求

预应力混凝土用钢筋有热处理钢筋、冷拉钢筋和热轧螺纹钢筋。预应力混凝土用的钢丝有冷拔低碳钢丝、冷拉或消除应力的光圆钢丝、螺旋肋钢丝和刻痕钢丝。消除应力钢丝包括低松弛钢丝和普通松弛钢丝两种。桥涵工程用钢丝一般为低松弛钢丝。

(1) 热处理钢筋

热处理钢筋由热轧螺纹钢筋经淬火和回火的调质处理而成。经热处理后改变了钢筋的内部组织结构,其性能得到改善,抗拉强度提高到预应力钢筋所需要的强度等级。热处理钢筋按其螺纹外形分为有纵肋和无纵肋。热处理钢筋的力学性能有屈服强度、抗拉强度和伸长率等指标。

表面质量要求:钢筋表面不得有肉眼可见的裂纹、结疤、折叠;允许有凸块,但不得有超过横肋高度的凸块;表面允许有不影响使用的缺陷,但不得沾油污。

尺寸偏差应符合有关规范的要求。

(2) 冷拉钢筋

冷拉钢筋是将钢筋在常温下拉伸超过屈服点,以提高钢筋的屈服极限、强度极限和疲劳极限的一种加工工艺。但经冷拉后会降低钢筋的延伸率、断面收缩率、冷弯性能和冲击韧性。预应力混凝土结构所用钢筋,主要要求具有高的屈服强度、变形极限等强度性能。而对延伸率、断面收缩率、冷弯性能和冲击韧性要求不高。冷拉钢筋的力学性能包括屈服强度、抗拉强度、伸长率和冷弯性能。

表面质量要求:钢筋冷拉后,表面不应发生裂纹;冷弯试验后无裂纹、鳞落或断裂现象。

(3) 精轧螺纹钢筋

精轧螺纹钢筋是用热轧方法直接生产的一种无纵肋钢筋。钢筋的连接是在端部用螺纹套筒进行连接接长。其力学性能包括屈服点、抗拉强度、冷弯性能和10h松弛率。

表面质量要求:钢筋表面不得有横向裂纹、结疤和机械损伤,钢筋表面允许有不影响力学性能和连接的缺陷。

(4) 冷拔钢丝

冷拔钢丝是把直径6~8mm的普通碳素钢筋条用强力拉过比它本身直径还小的硬质合金拉丝模。这时钢筋同时受到纵向拉力和横向压力的作用,截面变小,长度拉长,经过几次拉丝,其强度比原来有极大的提高。冷拔钢丝的力学性能要求包括抗拉强度、伸长率和180°反复弯曲次数。

表面质量要求:钢丝表面不得有裂纹和机械损伤。

(5) 高强钢丝

高强钢丝有冷拉钢丝、消除应力钢丝和消除应力刻痕钢丝。

冷拉钢丝是用盘条钢筋通过拔丝模或轧辊经冷加工而成、以盘卷供货的钢丝。力学性能要求包括抗拉强度、规定非比例伸长应力、最大力下总伸长率、弯曲次数、弯曲半径、断面收缩率、每210mm 扭矩的扭转次数和初始应力相当于70%公称抗拉强度时1000h后应力松弛率。

消除应力钢丝是按一次性连续处理方法生产的钢丝。生产工艺如下：钢丝在塑性变形下进行的短时热处理，得到的是低松弛钢丝；钢丝经过矫直工序后在适当的温度下进行的短时的热处理，得到的是普通松弛应力钢丝；消除应力钢丝的力学性能要求包括抗拉强度、规定非比例伸长应力、最大力下总伸长率、弯曲次数、弯曲半径、初始应力相当于公称抗拉强度的百分数和1000h后应力松弛率。

刻痕钢丝是钢丝表面沿着长度方向具有规则间隔的压痕。其力学性能要求包括抗拉强度、规定非比例伸长应力、最大力下总伸长率、弯曲次数、弯曲半径、初始应力相当于公称抗拉强度的百分数和1000h后应力松弛率。

表面质量要求：钢丝表面不得有裂纹、小刺、机械损伤、氧化铁皮及油污；回火成品表面允许有回火颜色，表面允许有浮锈，但不得锈蚀成目视可见的麻坑。

(6) 钢绞线

钢绞线是钢厂用优质碳素结构钢经过冷加工、再经回火和绞捻等加工而成，塑性好、无接头、使用方便，专供预应力混凝土结构使用。其力学性能要求包括抗拉强度、整根钢绞线的最大力、规定非比例延伸力、最大力总伸长率和1000h后应力松弛率等。

表面质量要求：钢绞线表面不得带有降低钢绞线与混凝土黏结力的润滑剂、油渍等物质，允许有轻微的浮锈，但不得锈蚀成肉眼可见的麻坑。

2. 预应力混凝土用钢筋、钢丝和钢绞线的力学性能检测

1) 组批规则

各种预应力混凝土用钢筋、钢丝、钢绞线应按批进行检查和验收，每批应由同一批号、同一外形、同一规格、同一生产工艺和同一交货状况的钢筋组成。

2) 取样、复验规则

(1) 热处理钢筋

每批钢筋的质量不大于60t。从每批钢筋中抽取10%的盘数(不小于25盘)进行表面质量和尺寸偏差检查。如果不合格，则应逐盘检查，从每批钢筋中抽取10%的盘数(不小于25盘)进行力学性能试验。试验结果如有一项不合格时，该盘不合格的应报废，并从未试验的钢筋中取双倍数量的试样进行复验；如仍有一项不合格，则该批钢筋为不合格。

(2) 冷拉钢筋

冷拉钢筋应分批进行检验，每批质量不得大于20t。每批钢筋的级别和直径均应相同。每批钢筋外观经逐根检查合格后，再从任选的两根钢筋上各取一套试件进行拉力试验和冷弯试验，如有一项不合格时，则取双倍数量的试件重做全部各项试验；如仍有一根不合格，则该批钢筋为不合格。

计算冷拉钢筋的屈服强度和抗拉强度时，采用冷拉前的公称截面面积。冷弯试验后，冷拉钢筋的外观不得有裂纹、鳞落或断裂现象。

(3) 精轧螺纹钢

应分批进行检验，每批质量不大于100t。对表面质量逐根进行目视检查，外观合格后在每批中任选两根钢筋截取试件进行拉伸试验，如有一项不合格时，则取双倍数量的试件重做全部各项试验；如仍有一根不合格，则该批钢筋为不合格。拉伸试验的试件不允许有任何形式的

加工。

(4) 冷拔低碳钢丝

应逐盘进行抗拉强度、伸长率和弯曲试验。从每盘钢丝上任一端截去不少于 500mm 后再取两个试样,分别进行拉力和 180° 反复弯曲试验,试验结果应符合要求。弯曲试验后不得有裂纹、鳞落或断裂现象。

(5) 高强钢丝

应分批检验,每批质量不大于 60t。先从每批中抽查 5%,但不少于 5 盘,进行形状、尺寸和表面检查,如不合格,则将该批钢丝逐盘检查。在上述检查合格的钢丝中抽取 5%,但不少于 3 盘,在每盘钢丝的两端取样进行抗拉强度、弯曲和伸长率试验。试验结果如有一项不合格时,该盘不合格的应报废,并从同批未试验过的钢丝中取双倍数量的试样进行该不合格项的复验;如仍有一项不合格,则该批钢丝为不合格。

(6) 钢绞线

每批钢绞线的质量不大于 60t。从每批钢绞线中任取 3 盘,并从每盘所选的钢绞线端部正常部位截取一根试样进行表面质量、直径偏差和力学性能试验。如每批少于 3 盘,则应逐盘进行上述试验。试验结果如有一项不合格时,该盘不合格的应报废,并从该批未试验过的钢绞线中取双倍数量的试样进行该不合格项的复验;如仍有一项不合格,则该批钢绞线为不合格。

3) 规定非比例延伸力测试

钢绞线规定非比例延伸力采用的是引伸计标距的非比例延伸达到原始标距 0.2% 时所受的力 ($F_{p0.2}$)。为方便供方日常检验,也可以测定规定总延伸达到原始标距 1% 的力 (F_{d1}),其值符合本标准规定的 $F_{p0.2}$ 值时可以交货,但仲裁试验时测定 $F_{p0.2}$ 。测定 $F_{p0.2}$ 和 F_{d1} 时,预加负荷为规定非比例延伸力的 10%。

4) 应力松弛性能试验

应力松弛是预应力筋在恒定长度下应力随时间而减小的现象。目前,桥涵施工中普遍要求测量预应力钢筋的松弛率。

应力松弛性能试验时,要求试验期间试样的环境温度始终保持在 $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 内。试验标注长度不小于公称直径的 60 倍。试样制备后不得进行任何热处理加工和冷加工。初始负荷应在 3~5min 内均匀施加完毕,持荷 1min 后开始记录松弛值。允许用 100h 的测试数据推算 1000h 的松弛率值。

复习思考题

一、单项选择题

1. 下列说法正确的是()。

- A. 冷拉后的钢筋强度会提高,塑性、韧性会降低
- B. 冷拉后的钢筋韧性会提高,塑性会降低
- C. 冷拉后的钢筋硬度增加,韧性提高,但直径减小
- D. 冷拉后的钢筋强度提高,塑性不变,但脆性增加 ☒

2. 块石为形状大致方正,上下面大致平整,厚度在 20~30cm,宽度一般为厚度的()。

- ☒ A. 1.0~1.5 倍
- B. 1.5~3.0 倍
- C. 2.5~4.0 倍
- D. 1.0~3.0 倍

3. 石料单轴抗强度试验方法,从岩石试样或岩芯中制取立方体边长为()的试件,取()试验结果的算术平均值作为抗压强度测定值。

- A. 70mm±5mm 3个试件 B. 50mm±5mm 3个试件
C. 70mm±2mm 6个试件 D. 50mm±2mm 6个试件
4. 石料单轴抗压强度试用真空抽气法饱和试件抽气时真空压力需达()。
A. 10MPa B. 100MPa C. 50MPa D. 1MPa
5. 混凝土静力抗压弹性模量试验标准试件尺寸为()。
A. 150mm×150mm×600mm B. 150mm×150mm×150mm
C. 150mm×150mm×300mm D. 150mm×150mm×550mm
6. 混凝土抗压强度试验在试验过程中应连续均匀地加荷,混凝土强度等级小于 C30 时,加荷速度取()。
☒ A. 0.3~0.5MPa/s B. 0.5~0.8MPa/s
C. 0.8~1.0MPa/s D. 0.3~0.8MPa/s
7. 混凝土徐变试验时取徐变应力为所测得的棱柱体抗压强度的()。
A. 100% B. 40% C. 60% D. 80%
8. 布氏硬度法试验应在()温度下进行。
A. 20℃±2℃ B. 20℃±5℃ ☒ C. 10℃~30℃ D. 20℃~30℃
9. 电渣压力焊接头处的弯折角不大于()。
A. 2° ☒ B. 4° C. 1° D. 5°
10. 钢绞线质量检验每批钢绞线的规定为()。
A. 100t ☒ B. 60t C. 20t D. 每盘

二、多项选择题

1. 下列钢材属于异型材有()。
A. 工字钢 B. 钢绞线
C. 钢桁架 D. 锚具
E. 变形伸缩件中的钢梁
2. 石料抗冻性试验测试项目包括()。
A. 抗压强度 B. 耐冻系数
C. 质量损失率 D. 吸水率
3. ()钢筋需做反复冷弯试验。
A. 热轧钢筋 B. 冷拉钢丝
C. 钢绞线 D. 刻痕钢丝
E. 低碳钢
4. 砂石材料包括天然的或经人工轧制的()。
A. 石料 B. 碎石
C. 砂 D. 天然沙砾
E. 石屑
5. 石料分类中下列属于岩浆岩类的有()。
A. 花岗岩 B. 石英岩
C. 玄武岩 D. 凝灰岩
E. 正长岩
6. 冻融试验的评定指标有如下方面()。

A. 质量损失率 $Q_{\text{冻}} \leq 5\%$

B. 耐冻系数 $K \geq 75\%$

C. 试件外形无变化

D. 质量损失率 $Q_{\text{冻}} \leq 2\%$

E. 耐冻系数 $K \geq 85\%$

7. 热处理钢筋表面不得有肉眼可见的()。

A. 裂纹

B. 结疤

C. 折叠

D. 凸块

E. 油污

8. 混凝土徐变试验结果包括()。

A. 加荷时测得的初始变形值

B. 徐变度

C. 徐变系数

D. 温度变形

E. 徐变值

9. 布氏硬度试验机试验用钢球应符合下列要求:钢球应用淬火硬钢制成,其硬度值应不低于维氏硬度 HV850;钢球直径为()。

A. 2.5mm

B. 5.0mm

C. 10.0mm

D. 15mm

E. 5.0mm 或 10.0mm

10. 精轧螺纹钢是用热轧方法直接生产的一种无纵肋钢筋,其力学性能包括()。

A. 屈服点

B. 抗拉强度

C. 冷弯性能

D. 180°反复弯曲试验

E. 松弛率

三、判断题

1. 轴心抗压强度试验中当混凝土强度等级不小 C35 时,试件周围应设防崩裂网罩。 ()

2. 在试验室拌制混凝土时,其材料用量应以质量计,对于称量的精度:水泥、掺和料、水和外加剂为 $\pm 0.5\%$,集料为 $\pm 1.5\%$ 。 ()

3. 钢材的屈强比越大,结构可靠性越高。 ()

4. 预应力钢材的松弛试验,其环境温度应保持在 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 范围内。 ()

5. 劈裂抗拉强度值的确定,如最大值与最小值与中间值的差均超过中间值 15%,则该组试件的试验结果无效。 ()

6. 混凝土抗折强度试验,三个试件中若有两个的下边缘断裂位置位于两个集中荷载作用线之外,则该组试件试验无效。 ()

7. 混凝土收缩值取三个试件值的算术平均值作为该混凝土的收缩值,但当三个值中的最大值或最小值中如有一个与中间值的差值超过中间值的 15% 时,则把最大值及最小值一并舍除,取中间值作为该组试件的抗压强度值。 ()

8. 增加水泥用量可使混凝土强度增加,徐变减少。 ()

9. 为减少水泥混凝土的收缩变形,可采用蒸汽养护、低水灰比、高浆集比,或掺氯盐早强剂等措施。 ()

10. 应力松弛是预应力筋在恒定长度下应力随时间而增加的现象。目前,桥涵施工中普遍要求测量预应力钢筋的松弛率。 ()

四、问答题

1. 简述石料单轴抗压强度试验试件饱和方法。

2. 简述石料抗冻性试验步骤。

3. 简述石料的单轴压缩变形试验目的、常用的方法和适用范围。

4. 简述桥梁工程用钢材的主要力学性能。

5. 简述高碳钢屈服强度试验的步骤及注意事项。
6. 简述钢筋冷弯性能试验的步骤及注意事项。
7. 简述混凝土试件制作步骤。
8. 简述测量混凝土收缩值的试验步骤及注意事项。
9. 简述测量混凝土徐变值的试验步骤及注意事项。
10. 简述混凝土抗压弹性模量的测定方法与步骤。

第二章 桥梁工程基础

【主要内容】

本章主要介绍桥梁工程常用基础的形式、地基承载能力的确定及其试验检测方法、桩基完整性现场检测方法。

【要求】

了解:桥梁工程常用基础形式。

熟悉:地基容许承载力的各种确定方法;灌注桩完整性的各种检测方法;基桩承载力的各种确定方法(工程师)。

掌握:如何按规范法确定地基的容许承载力;荷载板试验方法;标准贯入试验方法;泥浆性能检测方法;反射波法检测基桩完整性时现场操作步骤、波形分析(工程师)和注意问题;声波透射法检测基桩完整性时现场操作步骤、数据处理方法(工程师)和注意问题;基桩静荷载试验方法和现场注意问题。

桥梁基础是将桥梁墩、台所承受的各种荷载传递到地基上的结构物,是确保桥梁安全使用的关键部位。桥梁工程常用基础形式有扩大基础(明挖浅基础)、桩基础和沉井基础等不同的结构形式。随着桥梁技术的不断发展,一些新的基础形式(如地下连续墙基础、组合式基础等)也逐渐在桥梁工程中得到应用。

公路桥涵常用的基础分为:浅基础、深基础和深水基础。一般将埋置深度在5m以内者称为浅基础;由于浅层土质不良,须把基础埋置于较深的良好地层上,埋置深度超过5m者称为深基础。基础埋置在土层内深度虽较浅(不足5m),但在水下部分较深,称为深水基础(如深水中桥墩基础)。基础可由不同材料构筑,目前我国公路结构物基础大多采用混凝土或钢筋混凝土结构。在石料丰富地区,按照就地取材原则,也常用石砌基础,只有在特殊情况下(如抢修,建临时便桥等)根据实际条件采用钢、木结构。

地基与基础类型方案选择应考虑的因素有:

1. 上部构造条件:型式、规模、容许沉降等;
2. 地基条件:地形、地质、持力层深度及倾斜情况、水文、地基土层的分布情况和地震等;
3. 施工条件:已有建筑物的影响,运输条件,材料供应,振动、噪声和安全性等;
4. 工期要求;
5. 施工费用。

第一节 地基容许承载力确定

地基容许承载力的确定一般可由以下几种途径。

- (1)在土质基本相同的条件下,参照邻近结构物地基容许承载力。
- (2)根据现场荷载试验或触探试验资料。

(3)按地基承载力理论公式计算。

(4)按现行规范提供的经验公式计算。

桥涵地基的容许承载力,可根据地质勘测、原位测试、野外荷载试验以及邻近旧桥涵调查对比,由经验和理论公式计算综合分析确定。当缺乏上述资料时,可按《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTJ 024—85)推荐的方法确定地基容许承载力,对地质和结构复杂的桥涵地基应根据现场荷载试验确定容许承载力。

一、按规范确定地基承载力

按规范法确定地基的容许承载力,首先确定土的类别名称,通常是把一般黄土地基根据塑性指数、粒径、工程地质特性等分为六类即黏性土、砂类土、碎卵石类土、黄土、冻土及岩石,然后再确定土的状况,土的状况是指土层所处的天然松密和稠度状况。黏性土的天然状况是按液性指数分为坚硬、半坚硬、硬塑、软塑和流塑状态,砂性土根据相对密度分为稍松、中等密实、密实状态;碎卵石类土则按密实度分为密实、中等密实及松散;最后确定土的容许承载力。

按规范确定地基承载力 $[\sigma]$ 须先确定地基基本容许承载力 $[\sigma_0]$,即基础宽度 $b \leq 2\text{m}$,埋置深度 $h \leq 3\text{m}$ 时地基的容许承载力。当基础宽度 $b > 2\text{m}$,埋置深度 $h > 3\text{m}$,且 $h/b \leq 4$ 时可以按式(1-2-1)对容许承载力予以提高,地基容许承载力确定按地基土分类进行。

$$[\sigma] = [\sigma_0] + K_1 \gamma_1 (b - 2) + K_2 \gamma_2 (h - 3) \quad (1-2-1)$$

式中: $[\sigma_0]$ ——当基础最小边宽度 $b \leq 2\text{m}$,埋置深度 $h \leq 3\text{m}$ 时,地基土容许承载力(kPa),可根据地基土的有关物理力学指标直接从规范查表;

b ——基础验算剖面底面最小边宽(或直径)(m),当 $b < 2\text{m}$ 时,取 $b = 2\text{m}$;当 $b > 10\text{m}$ 时,按 10m 计算;

h ——基础底面的埋置深度(m),对于受水流冲刷的基础,由一般冲刷线算起;不受水流冲刷的基础,由天然地面算起;当 $h < 3\text{m}$ 时,取 $h = 3\text{m}$;

γ_1 ——基底下持力层土的天然重度(kN/m^3),如持力层在水面以下且为透水性土时应取浮重度;

γ_2 ——基底以上土的重度(如为多层土时用换算重度)(kN/m^3),如持力层在水面以下且为不透水性土时,不论基底以上土的透水性质如何,应一律采用饱和重度,如持力层为透水性土时,应一律采用浮重度;

K_1 、 K_2 ——按持力层土类确定在基础宽度和深度方面的修正系数,其值按持力层土类查表选用。

1. 黏性土、黄土地基承载力

对于黏性土和黄土地基,可在现场取有代表性的土样(一般每个基础的地基不少于4个土样)进行土工试验,得到地基土的物理力学指标,由规范求出承载力。

(1)对于老黏性土和残积黏性土地基,可取土样进行压缩试验,求得土样压缩模量查表确定容许承载力。

(2)对于一般黏性土和新近沉积黏性土地基,测土样含水量、湿重度、液限、塑限和颗粒密度,求出土样天然孔隙比和液性指数,查表确定容许承载力。

(3)对新近堆积黄土地基,按土含水比(天然含水量 w 和液限 w_L 的比值)查表确定容许承载力。

(4)对于一般新黄土地基,按天然含水量和液限比(液限 w_L 与天然孔隙比 e 的比值)查表确定容许承载力;

(5)对于老黄土地基,按天然孔隙比 e 和含水比 w/w_L 查表确定容许承载力。

2. 砂土、碎石土地基承载力

对于砂类土、碎石土可根据其分类、密实度和湿度按规范给出的容许承载力查表确定地基承载力。

砂土的密实度可用相对密度表示,碎石土的密实度根据钻探情况按规范而定,湿度主要是细砂和粉砂,分为水上和水上分别查表。

3. 岩石地基承载力

岩石地基承载力根据岩石级别和岩石的破碎程度查表确定容许承载力。

4. 多年冻土地基承载力

多年冻土地基承载力根据土的分类和基础底面的月平均最高土温查表确定容许承载力。

二、现场荷载试验

现场荷载试验是一种原位试验方法。该方法能克服室内压缩试验土样处于无侧胀条件下单向受力状态的局限性,可模拟建筑物基础与地基之间实际受力变形状态。

1. 试验原理

现场荷载试验是将荷载板置于欲试验的土层表面,在荷载板上分级施加荷载。测记每级荷载作用下荷载板沉降量的稳定值,加载至总沉降量为 25mm,或达到加载设备的最大容量为止,然后分级卸载,记录土的回弹值。根据试验记录,绘制荷载 P 和沉降量 S 的关系曲线。分析研究地基土的强度和变形特性,求得地基土的容许承载力与变形模量等力学数据。

地基在荷载作用下达到破坏状态的过程可以分为 3 个阶段,如图 1-2-1 所示。

(1) 压密阶段(直线变形阶段)

相当于 $P-S$ 曲线上的 oa 段,接近于直线,土中各点剪应力均小于土抗剪强度,土体处于弹性平衡状态,曲线上相应于 a 点的荷载称为比例界限 P_r 。

(2) 剪切阶段

相当于 $P-S$ 曲线上的 ab 段。这一阶段 $P-S$ 曲线已不再保持线性关系,沉降增长率 $\Delta S/\Delta P$ 随荷载的增加而增大。地基土中局部范围内(首先在基础边缘处)的剪应力达到土的抗剪强度,土体发生剪切破坏,随着荷载的继续增加,土中塑性区的范围也逐步扩大,直到土中形成连续的滑动面而破坏,相应于 $P-S$ 曲线上 b 点的荷载称为极限荷载 P_u 。

(3) 破坏阶段

相当于 $P-S$ 曲线上的 bc 段。当荷载超过极限荷载后,即使不增加荷载,沉降也不能稳定, $P-S$ 曲线陡直下降。这一阶段,土中塑性区范围的不断扩展,最后在土中形成连续滑动面,土从荷载板四周挤出隆起,地基土失稳而破坏。

2. 试验设备

荷载板:圆形或方形(50cm×50cm 或 70.7cm×70.7cm)面积 2 500cm² 或 5 000cm² 的刚

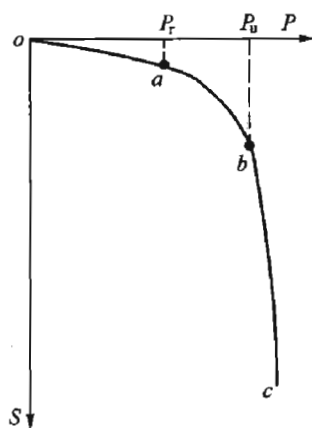


图 1-2-1 荷载强度与沉降量的关系

性板、千斤顶、百分表、反力架、压重(或锚桩)等。

3. 试验方法

试验加荷方法应采用分级维持荷载沉降相对稳定法(慢速法)或沉降非稳定法(快速法)。

试验的第一级荷载(包括设备质量)应接近卸去土的自重。每级荷载增量(即加荷等级)一般取被试验地基土层预估极限承载力的 $1/8 \sim 1/10$ 。施加的总荷载应尽量接近试验土层的极限荷载。荷载的量测精度应达到最大荷载的 1% , 沉降值的量测精度应达到 0.01mm 。

各级荷载下沉降相对稳定标准一般采用连续 2h 的每小时沉降量不超过 0.1mm , 或连续 1h 的每 30min 的沉降量不超过 0.05mm 。

试验点附近应有取土孔提供土工试验指标, 或其他原位测试资料。试验后, 应在承压板中心向下开挖取土试验, 并描述 2 倍承压板直径(或宽度)范围内土层的结构变化。静力载荷试验过程中出现下列现象之一时, 即可认为土体已达到极限状态, 应终止试验:

- (1) 承压板周围的土体有明显的侧向挤出或发生裂纹。
- (2) 在 24h 内, 沉降随时间趋于等速增加。
- (3) 荷载 P 增加很小, 但沉降量却急剧增大, $P-S$ 曲线出现陡降阶段, 或相对沉降已等于或大于 $0.06 \sim 0.08$ 。

4. 试验数据处理

利用试验数据绘制 $P-S$ 曲线, 确定地基土的承载力和变形模量。

(1) 确定地基土的承载力

① 当 $P-S$ 曲线有较明显的直线段, 一般就用这直线段的拐点对应的压力 P_r 为地基土的承载力。

② 对于 $P-S$ 曲线拐点不明显时, 可绘制 $\lg P - \lg S$ 曲线, 取 $\lg P - \lg S$ 曲线拐点推算容许承载力。

③ 根据实践经验, 可以取相应于沉降 S 等于荷载板宽度(或直径) B 的 2% 时对应的荷载作为地基的容许承载力。

(2) 确定地基土的变形模量

按式(1-2-2)计算地基土的变形模量 E_0 :

$$E_0 = (1 - \mu^2) \frac{\pi B}{4} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta S} \quad (1-2-2)$$

式中: B ——承压板直径(m), 当为方形板时, $B = 2\sqrt{A/\pi}$, A 为方形板面积(m^2);

$\Delta P/\Delta S$ —— $P-S$ 关系曲线直线段斜率(kPa/m);

μ ——地基土的泊松比, 对于砂土和粉土, $\mu = 0.33$, 可塑-硬塑黏性土 $\mu = 0.38$, 对于软塑-流塑黏性土和淤泥质黏性土, $\mu = 0.41$ 。

5. 注意事项

(1) 荷载板试验的受压面积比较小, 加荷后受影响的深度不会超过 2 倍承压板边长或直径, 而且加荷时间也比较短, 因此不能通过荷载板试验提供建筑物长期沉降资料。

(2) 静力荷载试验资料的应用是有条件的, 在进行荷载试验时, 要充分估计到试验影响范围的局限性, 注意分析试验成果与实际建筑地基之间可能存在的差异。

(3) 当地基压缩层范围内土层单一而且均匀时, 可以直接在基础埋置高程处进行荷载板试验。如果地基压缩层范围内土层是成层变化的, 或者是不均匀的, 则要进行不同尺寸的承压或

不同深度的荷载板试验。遇到这种情况时,可以采用其他原位测试方法和室内土工试验,来确定荷载上压板影响不到的土层的工程力学性能。

(4)如果地基土层起伏变化很大时,还应在不同的地点做荷载板试验。

三、标准贯入试验

标准贯入试验(SPT)是一种重型动力触探法,采用质量为 63.5kg 的穿心锤,以 76cm 的落距,将一定规格的标准贯入器先打入土中 15cm,然后开始记录锤击数目,将标准贯入器再打入土中 30cm,用此 30cm 的锤击数作为标准贯入试验的指标 N 。标准贯入试验是国内外广泛应用的一种现场原位测试手段。

1. 试验设备

- (1)落锤:质量为 63.5kg 的穿心锤,自由落距 76cm。
- (2)贯入器:标准规格的圆筒形探头,由两个半管组成。
- (3)触探杆:直径 $\phi 42\text{mm}$ 的钻杆。
- (4)锤垫、导向杆和自动落锤装置。

2. 试验方法

(1)用钻机先钻到需要进行标准贯入试验的土层,清孔后,换用标准贯入器,并量测深度尺寸。

(2)将贯入器垂直打入试验土层中,贯入速率为 15~30 击/min,并记录锤击数,包括先打 15cm 的预打击数、后 30cm 中每 10cm 的锤击数以及 30cm 的累计锤击数 N 。

若遇比较密实的砂土,贯入不足 30cm 的锤击数超过 50,则按式(1-2-3)换算锤击数 N :

$$N = \frac{30n}{\Delta S} \quad (1-2-3)$$

式中: n ——所选取的锤击数;

ΔS ——相应于 n 的锤击量(cm)。

(3)旋转探杆,提出贯入器,并取出贯入器中的土样进行鉴别、描述、记录,必要时送试验室分析。

(4)由于钻杆的弹性压缩会引起功能损耗,钻杆过长时传入贯入器的功能降低,因而减少每击的贯入深度,也就提高了锤击数,所以需要根据杆长对锤击数进行修正。

$$N = \alpha N_0 \quad (1-2-4)$$

式中: N_0 ——实际记录的锤击数;

α ——修正系数,按钻杆长度延用;

N ——修正后的锤击数。

3. 标准贯入试验的应用

标准贯入试验已积累了大量的实践资料,砂性土和黏性土一些物理性质和标准贯入试验锤击数的经验关系,可供工程中使用。

- (1)根据 N 估计砂土的密实度。
- (2)根据 N 估计天然地基的容许承载力 $[\sigma_0]$ 。
- (3)根据 N 估计黏性土的状态。
- (4)根据 N 估计土的内摩擦角 ϕ 。

4. 注意问题

(1) 重视钻进工艺及清孔质量,对贯入器开始贯入 15mm 的击数予以纪录,以判断孔底是否有残土或土的扰动程度。

(2) 注意钻杆及导向杆垂直,防止在孔内摇摆。

(3) 对试验段(即贯入 15~45cm 部分)要求测定每锤击一次后的累计贯入量。一次贯入量不足 2cm 时,记录每贯入 10cm 的锤击数。绘制锤击数与累计贯入量的关系曲线,以分析土层是否均匀,最后选取 30cm 试验段的锤击数作为 N 值记录下来。

第二节 泥浆性能指标及成孔质量检测

钻孔灌注桩施工时泥浆一般有护壁、浮渣、防塌孔及润滑等作用。4

调制的泥浆及经过循环净化的泥浆指标,应根据钻孔方法和地层情况采用不同性能指标,一般可参照规范选用。

1. 相对密度 γ_x

可用泥浆相对密度计测定。将要量测的泥浆装满泥浆杯,加盖并洗净从小孔溢出的泥浆,然后置于支架上,移动游码,使杠杆呈水平状态(即水平泡位于中央),读出游码左侧所示刻度,即为泥浆的相对密度 γ_x 。

若工地无以上仪器,可用一口杯先称其质量设为 m_1 ,再装满清水称其质量 m_2 ,再倒去清水,装满泥浆并擦去杯周溢出的泥浆,称其质量设为 m_3 ,则:

$$\gamma_x = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \quad (1-2-5)$$

2. 黏度 η

用工地标准漏斗黏度计测定。用两端开口量杯分别量取 200mL 和 500mL 泥浆,通过滤网滤去大砂粒后,将泥浆 700mL 均注入漏斗,然后使泥浆从漏斗流出,流满 500mL 量杯所需时间(s),即为所测泥浆的黏度。

校正方法:漏斗中注入 700mL 清水,流出 500mL,所需时间应是 15s,其偏差如超过 $\pm 1s$,测量泥浆黏度时应校正。

3. 静切力 θ

工地可用浮筒切力计测定。量测时,先将约 500mL 泥浆搅匀后,立即倒入切力计中,将切力筒沿刻度尺垂直向下移至与泥浆面接触时,轻轻放下。当它自用下降到静止不动时,读出浮筒上泥浆面所对应的刻度,即为泥浆的初切力。取出切力筒,擦净粘着的泥浆,用棒搅动筒内泥浆后、静止 10min,用上述方法量测,所得即为泥浆的终切力。它们的单位均为帕(Pa)。

4. 含砂率

工地可用含砂率计测定。量测时,把调好的泥浆 50mL 倒进含砂率计,然后再倒进清水,将仪器口塞紧摇动 1min,使泥浆与水混合均匀。再将仪器垂直静放 3min,仪器下端沉淀物的体积(由仪器刻度上读出)乘 2 就是含砂率(有一种大型的含砂率计,内装 900mL,从刻度读出的数不乘 2 即为含砂率)。

5. 胶体率(%)

胶体率是泥浆中土粒保持悬浮状态的性能。测定方法可将 100mL 泥浆倒入 100mL 的量杯中,用玻璃片盖上,静置 24h 后,量杯上部泥浆可能澄清为水,测量时其体积如为 5mL,则胶

率为 $100 - 5 = 95$, 即 95%。

6. 失水率 (mL/30min)

用一张 $12\text{cm} \times 12\text{cm}$ 的滤纸, 置于水平玻璃板上, 中央画一直径 3cm 的圆, 将 2mL 的泥浆滴入圆圈内, 30min 后测量湿圆圈的平均直径减去泥浆摊平的直径 (mm), 即为失水率。在滤纸上量出泥浆皮的厚度 (mm) 即为泥皮厚度。泥皮愈平坦、愈薄则泥浆质量愈高, 一般不宜厚于 $2 \sim 3\text{mm}$ 。

7. 酸碱度

即酸和碱的强度简称, 也有简称为酸碱值的。pH 值是常用的酸碱标度之一。工地测量 pH 值方法, 可取一条 pH 试纸放在泥浆面上, 0.5s 后拿出来与标准颜色相比, 即可读出 pH 值。也可用 pH 酸碱计, 将其探针插入泥浆, 直接读出 pH 值。

8. 钻孔灌注桩成孔质量检测内容和标准

- (1) 桩位偏差: 对于群桩不得大于 100mm ; 单排桩不得大于 50mm 。
- (2) 孔径: 不小于设计。
- (3) 桩倾斜度: 垂直桩允许偏差不超过 1% ; 斜桩不应超过设计斜度的 $\pm 2.5\%$ 。
- (4) 孔底沉淀厚度: 对于摩擦桩沉淀厚度应符合设计要求, 当设计无要求时, 对于直径 $\leq 1.5\text{m}$ 的桩沉淀厚度 $\leq 300\text{mm}$; 对于直径大于 1.5m 或桩长大于 40m 或土质较差的桩, 沉淀厚度 $\leq 500\text{mm}$; 支承桩的沉淀厚度不得大于设计规定值。

第三节 灌注桩完整性检测

一、灌注桩完整性检测方法

1. 钻芯检验法

用地质钻机在桩身沿长度方向钻取芯样, 通过对芯样的观测和测试确定桩的质量。这种方法只能反映钻孔范围内小部分混凝土质量, 且设备庞大、费工费时、价格贵, 只能用于抽样检查, 一般抽检总桩数的 $3\% \sim 5\%$, 或作为对无损检测结果的校核手段。

2. 振动检验法

它是在桩顶用各种方法 (例如锤击、敲击、电磁激振器、电水花等) 施加一个激振力, 使桩体乃至桩土体系产生振动, 或在桩内产生应力波, 通过对波动及振动参数的种种分析, 以推定桩体混凝土质量及总体承载力的一类方法。其主要包括敲击法和锤击法、稳态机械阻抗法、瞬态机械阻抗法、水电效应法等方法。

3. 超声波脉冲检验法

其方法是在桩的混凝土灌注前沿桩的长度方向平行预埋若干根检测用管道, 作为超声发射和接收的通道。检测时探头分别在两个管子中同步移动, 沿不同深度从不逐点测出横截面上超声脉冲穿过混凝土时的各项参数, 并按超声测缺原理分析每个断面上混凝土的质量。

4. 射线法

以放射性同位素辐射线在混凝土中的衰减、吸收、散射等信息为检查的一种方法。当射线穿过混凝土时, 因混凝土的质量不同或因存在缺陷, 接收仪所记录的射线强弱发生变化, 据此来判断桩的质量。

二、反射波法

反射波法有设备轻便灵活、现场检测工作量小、检测效率高、检测费用低等优点。

1. 基本原理

反射波法基本理论是在桩顶进行竖向激振,弹性波沿着桩身向下传播,在桩身存在明显波阻抗界面(如桩底、断桩或严重离析等部位)或桩身截面积变化(如缩径或扩径)部位将产生反射波。经接收、放大滤波和数据处理,可识别来自桩身不同部位的反射信息,据此计算桩身波速、判断桩身完整性。

2. 适用范围

(1)反射波法是通过分析实测桩顶速度响应信号的特征来检测桩身的完整性,判断桩身缺陷位置及影响程度,判断桩端嵌固情况。

(2)反射波法适用于混凝土灌注桩和预制桩等刚性材料桩的桩身完整性检测

(3)使用反射波法时,被检测桩的桩端反射信号应能有效识别。

3. 仪器与设备

(1)仪器宜由传感器、放大器、滤波器、记录、处理、监视系统以及激振设备和专用附件组成。

(2)传感器可选用宽频带的速度型或加速度型传感器。速度型传感器灵敏度应大于 200mV/cm/s ,加速度型传感器灵敏度应大于 100mV/g 。

(3)放大系统增益应大于 60dB ,长期变化量应小于 1% 。折合输入端的噪声水平应低于 $3\mu\text{V}$ 。频带宽度应不窄于 $10\sim 1000\text{Hz}$,滤波频率可调整。

(4)模/数转换器的位数不应小于 8bit 。采样时间宜为 $50\sim 100\mu\text{s}$,可分数档调整。每个通道数据采集寄存器的容量不应小于 1kbit 。

注:bit 为二进制计数数字量的位数。

(5)多道采集系统应具有一致性,其振幅偏差应小于 3% ,相位偏差应小于 0.1ms 。

(6)可根据激振条件试验要求及改变激振频谱和能量,选择符合材质和质量要求的激振设备,以满足不同的检测目的。

4. 现场检测技术

(1)检测前的准备工作

①检测前首先应收集有关技术资料。

②根据现场实际情况选择合适的激振设备、传感器及检测仪,检查测试系统各部分之间是否连接良好;确认测试系统处于正常工作状态。

③桩顶应凿至新鲜混凝土面,并用打磨机将测点和激振点磨平。

④应测量并记录桩顶截面尺寸。

⑤混凝土灌注桩的检测宜在成桩 14d 以后进行

(2)传感器的安装应符合的规定

①传感器的安装可采用石膏、黄油、橡皮水泥等耦合剂,黏结应牢固,并与桩顶面垂直。

②对混凝土灌注桩,传感器安装在距桩中心 $1/2\sim 1/3$ 半径处,且距离桩的主筋不宜小于 50mm 。当桩径不大于 1000mm 时不宜少于 2 个测点;当桩径大于 1000mm 时不宜少于 4 个测点。

③对混凝土预制桩,当边长不大于 600mm 时不宜少于 2 个测点;当边长大于 600mm 时

不宜少于 3 个测点。

④对预应力管桩不应少于 2 个测点。

(3) 激振时应符合的规定

①混凝土灌注桩、混凝土预制桩的激振点宜在桩顶中心部位；预应力混凝土管桩的激振点和传感器的安装点与桩中心连线的夹角不应小于 45° 。

②激振锤和激振参数宜通过现场对比试验选定。短桩或浅部缺陷桩的检测宜采用轻锤短脉冲激振；长桩、大直径桩或深部缺陷桩宜采用重锤宽脉冲激振，也可采用不同的锤垫来调整激振脉冲宽度。

③采用力棒激振时，应自由下落；采用力锤敲击时，应使其作用力方向与桩顶面垂直。

(4) 检测工作应遵守的规定

①采样频率和最小采样长度应根据桩长和波形分析确定。

②各测点的重复次数不应少于 3 次，且检测波形具有良好的一致性。

③当干扰较大时，可采用信号增强技术进行重复激振，提高信噪比；当信号一致性较差时，应分析原因，排除人为和检测仪器等干扰因素，重新检测。

④对存在缺陷的桩应改变条件重复检测，相互验证。

5. 检测数据分析与判定

(1) 桩身完整性分析宜以时域曲线为主，辅以频域分析，并结合施工情况、岩土工程勘察资料和波形特征等因素进行综合分析判定。

(2) 桩身波速平均值的确定

①当桩长已知、桩端反射信号明显时，选取相同条件下不少于 5 根 I 类桩的桩身波速计算平均值：

$$c_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i \quad (1-2-6)$$

$$c_i = \frac{2L \times 1000}{\Delta T} = 2L \cdot \Delta f \quad (1-2-7)$$

式中： c_m ——桩身波速平均值(m/s)；

c_i ——第 i 根桩的桩身波速计算值(m/s)；

L ——完整桩桩长(m)；

ΔT ——时域信号第一峰与桩端反射波峰间的时间差(ms)；

Δf ——幅频曲线桩端相邻谐振峰间的频差(Hz)，计算时不宜取第一与第二峰；

n ——基桩数量($n \geq 5$)。

②当桩身波速平均值无法按上述方法确定时，可根据本地区相同桩型及施工工艺的其他桩基测试结果，并结合桩身混凝土强度等级与实践经验综合确定。

(3) 桩身缺陷位置应按式(1-2-8)计算：

$$x = \frac{1}{2000} \Delta t_x \cdot c = \frac{1}{2} \cdot \frac{c}{\Delta f_x} \quad (1-2-8)$$

式中： x ——测点至桩身缺陷之间的距离(m)；

Δt_x ——时域信号第一峰与缺陷反射波峰间的时间差(ms)；

Δf_x ——幅频曲线所对应缺陷的相邻谐振峰间的频差(Hz)；

c ——桩身波速(m/s)，无法确定时用 c_m 值替代。

(4) 灌注桩采用时域信号分析时，应结合有关施工和岩土工程勘察资料，正确区分由扩径

处产生的二次同相反射与因桩身扩大急速恢复原桩径处的一次同相反射。

(5)对于嵌岩桩,当桩端反射信号为单一反射波且与锤击脉冲信号同相时,应结合岩土工程勘察和设计等有关资料以及桩端同向反射波幅的高低来推断嵌岩质量。

(6)桩身完整性类别应按下列原则判定

I类桩:桩端反射较明显,无缺陷反射波,振幅谱线分布正常,混凝土波速处于正常范围。

II类桩:桩端反射较明显,但有局部缺陷所产生的反射信号,混凝土波速处于正常范围。

III类桩:桩端反射不明显,可见缺陷二次反射波信号,或有桩端反射但波速明显偏低。

IV类桩:无桩端反射信号,可见因缺陷引起的多次强反射信号,或按平均波速计算的桩长明显短于设计桩长。

(7)实测曲线判读解释的基本方法

①反射波波形规则,波列清晰,桩底反射波明显,易于读取反射波到达时间,以及桩身混凝土平均波速较高的桩为完整性好的单桩。

②缺陷存在可能性的判读

判断桩身缺陷存在与否,需先在实测曲线中分辨桩底反射信号(这对缺陷的定性及定量解释是有帮助的),然后分析有无缺陷的反射信号。桩底反射明显,一般表明桩身完整性好,或缺陷轻微、规模小。另外,可换算桩身平均纵波速 v_{pm} ,从而评价桩身是否有缺陷及其严重程度。

③反射波到达时间小于桩底反射波到达时间,且波幅较大,往往出现多次反射,难以观测到桩底反射波的桩,系桩身断裂。

④桩身混凝土严重离析时,其波速较低,反射波幅减少,频率降低。

⑤缩径与扩径的部位可按反射历时进行估算,类型可按相位特征进行判别,如图 1-2-2 所示。

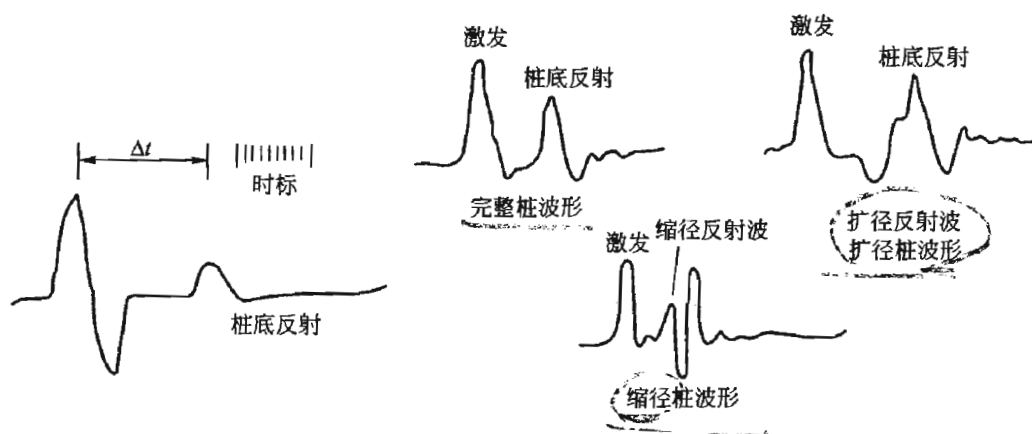


图 1-2-2 波形分析图

⑥多次反射及多层反射问题。当实测曲线中出现多个反射波至时,应判别它是同一缺陷面的多次反射,还是桩间多处缺陷的多层反射。前者,即缺陷反射波在桩顶面与缺陷面间来回反射,其主要特征:反射波至时间成倍增加(倍程),反射波能量有规律递减。多次反射现象的出现,一般表明缺陷在浅部,或反射系数较大(如断桩)。它是桩顶存在严重离析或断裂(断层)的有力证据。

多层反射往往是杂乱的,不具有上述规律性。不只表明缺陷可能有多处,而且由下层缺陷反射波在能量上的相对差异,可推测上部缺陷的性质及相对规模。

(8)检测报告应包括的内容

①桩身混凝土波速值。

②桩身完整性描述,包括缺陷位置、性质及类别。

③时域曲线图,并注明桩底反射位置。

④桩位编号及平面布置示意图、地质柱状图。

⑤检测报告格式参照《公路工程基桩动测技术规程》(JTG/T F81-01—2004)。

6. 注意问题

(1)露出于桩头的钢筋对波形的影响

由于灌注桩考虑到以后的承台问题,桩头均有钢筋露出,这对实测波形有一定影响。这是因为在桩头激振时,钢筋所产生的回声极易被检波器接收,之后又与反射信息叠加在一起。克服这一影响因素的方法是将检波器用细砂或粘土屏蔽起来,使检波器收不到声波信息。

(2)桩头破损对波形的影响

预制桩在贯入过程中,桩头可能产生破损,灌注桩头表面松散,这将使弹性波能量很快衰减,从而削弱桩间及桩底反射信息,影响了波形的识别。克服其对波形影响的有效途径是将破损处或松散处铲去。

三、声波透射法

该法是在桩的混凝土灌注前沿桩的长度方向平行预埋若干根检测用管道,作为超声发射和接受换能器的通道。检测时,探头分别在两个管子中同步移动,沿不同深度逐点测出横截面上超声波穿过混凝土时的各项参数,并按超声测缺原理分析每个断面上的混凝土的质量。

1. 检测方式

(1)双孔检测

在桩内预埋两根以上的管道,把发射探头和接收探头分别置于两根管道中。

(2)单孔检测

在某些特殊情况下,只有一个孔道可供检测使用。这时可采用单孔测量方式,换能器放置在一个孔中,探头之间的用隔声材料隔离。

(3)桩外孔检测

当桩的上部结构已施工,或桩内未预埋管道时,可在桩外的土基中钻一孔作为检测通道。检测时在桩顶上放置一较强功率的低频平探头,向下沿桩身发射超声脉冲,接收探头从桩外孔中慢慢放下。

2. 判断桩内缺陷的基本物理量

(1)声时值

缺陷区的夹杂物声速较低或声阻抗明显低于混凝土的声阻抗,超声脉冲穿过缺陷或绕过缺陷时,声时值增大。因增大的数值与缺陷尺度大小有关,所以声时值是判断缺陷有无和计算缺陷大小的基本物理量。

(2)波幅(或衰减)

当波束穿过缺陷区时,部分声能被缺陷内含物所吸收,部分声能被缺陷的不规则表面反射和散射,到达接收探头的声能明显减少,反映为波幅降低。

(3)接收信号的频率变化

当超声脉冲穿过缺陷区时,声脉冲中的高频部分首先被衰减,导致接收信号主频下降,即所谓频漂,其下降百分率与缺陷的严重程度有关。

(4)接收波形的畸变

由于缺陷区的干扰,部分超声脉冲波被多次反射而滞后到达接收探头。这些波束的前锋到达接收探头的时间参差不齐,相位也不尽一致,叠加后造成接收波形的畸变。

3. 检测仪器与设备

目前常用的检测装置有两种。一种是用一般超声检测仪和发射及接收探头所组成。探头在声测管内的移动由人工操作,数据读出后再输入计算机处理。另一种是全自动智能的测桩专用的检测装置。它由超声发射和接收装置、探头自动升降装置、测量控制装置、数据处理计算机系统四大部分组成。

声波检测仪器的技术性能应符合下列规定。

(1)检测仪系统应包括信号放大器、数据采集及处理存储器、径向振动换能器等。

(2)检测仪应具有一发双收功能。

(3)声波发射应采用高压阶跃脉冲或矩形脉冲,其电压最大值不小于1000V,且分档开调。

(4)接收放大与数据采集器应符合下列规定。

①接收放大器的频带宽度为5~200kHz,增益不应小于100dB,放大器的噪声有效值不大于 2μ ,波幅测量值范围不小于80dB,测量误差小于1dB。

②计时显示范围不大于2000 μ s,计时误差小于2%。

③采集器模—数转换精度不应低于8bit,采集频率不应小于10MHz,最大采样长度不应小于32kB。

(5)径向振动换能器应符合下列要求。

①径向水平面无指向性。

②谐振频率宜大于25kHz。

③在1MPa水压下能正常工作。

④收、发换能器的导线均应有长度标注,其标注长度允许误差不大于10mm。

⑤接收换能器宜带有前置放大器,频带宽度宜为5~60kHz。

⑥单孔检测采用一发双收一体型换能器,其发射换能器至接收换能器的最近距离不应小于30cm,两换能器的间距宜为20cm。

4. 测前准备和要求

(1)预埋检测管应符合下列规定

①桩径不大于1500mm时,应埋设三根管;桩径大于1500mm时应埋设四根管。

②声波检测管宜采用钢管,其内径应比换能器外径大15mm。管的连接宜采用螺纹连接,并且不漏水。

③检测管应牢固焊接或绑扎在钢筋笼的内侧,且相互平行、定位准确,并埋至桩底,管口高出桩顶面300mm以上。

④声测管管底应封闭,管口应加盖。

⑤声测管的布置以路线前进方向的顶点为起始点,按顺时针旋转方向进行编号和分组,每两根为一编号。

(2)检测前的准备工作应符合下列规定

①被检测的混凝土龄期应大于14d。

②声测管内应灌满清水,且保证畅通。

③标定超声波检测仪发射至接收的系统延迟时间 t_0 。

④准确量测声测管的内外径和两相邻声测管外壁间的距离,精度为 $\pm 1\text{mm}$ 。

⑤取芯孔的垂直度误差不应大于 0.5% ,检测前应进行孔内清洗。

(3)检测方法应符合下列要求

①测点间距不宜大于 250mm ,发射与接收换能器应同步,高程相差不大于 20mm 。

②同一根检测过程中,声波发射电压应保持不变。

③大于声时和波幅值出现异常的部位,应采用水平加密、等差同步或扇形扫测,结合波形分析确定缺陷的位置及严重程度。

④现场检测前测定声波检测仪发射至接收系统的延迟时间 t_0 ,并按式(1-2-9)计算声时修正值 t' :

$$t' = \frac{D-d}{v_i} + \frac{d-d'}{v_w} \quad (1-2-9)$$

式中: D ——检测管外径(mm);

d ——检测管内径(mm);

d' ——换能器外径(mm);

v_i ——检测管壁厚度的声速(km/s);

v_w ——水的声速(km/s);

⑤混凝土中声波传播时间和速度按式(1-2-10)和式(1-2-11)计算:

$$t = t_i - t_0 - t' \quad (1-2-10)$$

$$\left. \begin{aligned} v_i &= \frac{l}{t_i} \\ v_m &= \sum_{i=1}^n \frac{v_i}{n} \end{aligned} \right\} \quad (1-2-11)$$

式中: t ——声时值(μs);

t_i ——超声波第 i 测点声时值(μs);

t_0 ——声波检测仪发射至接收系统的延迟时间(μs);

t' ——声时修正值(μs);

v_i ——第 i 测点声速值(km/s);

l ——两根检测管外壁间的距离(mm);

v_m ——混凝土声速平均值(km/s);

n ——测点数。

⑥单孔折射法的声时、声速值应按式(1-2-13)和式(1-2-14)计算:

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad (1-2-12)$$

$$v_i = \frac{h}{\Delta t} \quad (1-2-13)$$

式中: Δt ——两个换能器间的声时差(μs);

t_1 ——近道接收换能器的声时(μs);

t_2 ——远道接收换能器声时(μs);

v_i ——第 i 测点声速值(km/s);

h ——两个换能器间的距离(mm)。

⑦声波检测仪发射至接收系统的延迟时间 t_0 的测定方法参见有关章节。

5. 现场检测步骤

(1) 将装设有扶正器的接收及发射换能器置于检测管内, 调试仪器的有关参数, 直至显示出清晰的接收波形, 且使最大波幅达到显示屏的 $2/3$ 左右为宜。

(2) 检测宜由管底部开始, 将发射与接收换能器置于同一高程, 测取声时、波幅或频率, 并进行记录。

(3) 发射与接收换能器同步升降, 测量点距离小于或等于 250mm , 各发射与接收相对高差不应大于 20mm , 并随时校正。

(4) 一根桩有多根检测管时, 应分组进行测试, 并编号。

6. 检测数据处理与判定

1) 声速判据(概率法)

当实测声速 v_i 低于声速临界值 v_D 时应将其作为可疑缺陷区。

声速临界值采用正常混凝土声速平均值与 2 倍声速标准差之差, 即:

$$v_D = \bar{v} - 2\sigma_v \quad (1-2-14)$$

$$\bar{v} = \sum_{i=1}^n v_i / n \quad (1-2-15)$$

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2}{n-1}} \quad (1-2-16)$$

式中: $\bar{v}$ ——声速平均值(km/s);

n ——测点数;

v_i ——混凝土中第 i 测点声速值(km/s);

σ_v ——声速标准差。

2) 相邻测点间声时的斜率和差值乘积判据(简称 PSD 判据)

设测点的深度为 H , 相应的声时值为 t , 则声时值随深度变化的关系, 可用如下的函数式表达:

$$t = f(H) \quad (1-2-17)$$

当桩内存在缺陷时, 由于在缺陷与完好混凝土界面处声时值的突变, 所以在 $t = f(H)$ 的实测曲线中, 在缺陷处只表现为斜率的变化。该斜率可用相邻测点的声时差值与测点间距离之比求得, 即:

$$S_i = \frac{t_i - t_{i-1}}{H_i - H_{i-1}} \quad (1-2-18)$$

式中: i ——测点位置或序号;

S_i ——第 $i-1 \sim i$ 测点之间的斜率;

t_i, t_{i-1} ——相邻两测点的声时值;

H_i, H_{i-1} ——相邻两测点的深度。

但是, 斜率只反映了相邻两测点声时值的变化速率。为了使判据进一步反映缺陷的大小, 就必须加大声时差值在判据中的权数。因此, 判据可写成:

$$K_i = S_i(t_i - t_{i-1}) = \frac{(t_i - t_{i-1})^2}{H_i - H_{i-1}} \quad (1-2-19)$$

其中, K_i 即为 i 点的 PSD 判据值, 其余各项同前。

(1)临界判据值及缺陷大小与 PSD 判据的关系。

实验证明,PSD 判据对缺陷十分敏感,而对于因声测管不平行,或混凝土强度不等原因所引起的声时变化,基本上没有反映。这是由于非缺陷因素所引起的声时变化都是渐变过程,虽然总的声时变化量可能很大,但相邻点间的声时差却很小,因而 K_i 值很小,所以采用 PSD 判据基本上消除了声测管不平行,或混凝土不均匀质等因素所造成的声时变化对缺陷判断的影响。

(2)判断方法

为了对全桩各测点进行判别,必须将各测点的 K_i 值求出,并描成“H-K”曲线进行分析,凡在 K 值较大的地方,即大于临界判据 K_0 的,均可列为可疑区,作进一步的细测。

3)波幅(衰减量)判据法

用波幅平均值减 6dB 作为波幅临界值,当实测波幅低于波幅临界值时,应将其作为可疑缺陷区。

$$A_D = A_m - 6 \quad (1-2-20)$$

$$A_m = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{n} \quad (1-2-21)$$

式中: A_D ——波幅临界值(dB);

A_m ——波幅平均值(dB);

A_i ——第 i 个测点相对波幅值(dB);

n ——测点数。

4)多因素概率分析法

多因素的概率法就是运用声时、频率、波幅或声速、频率、波幅等参数,通过其总体的概率分布特征,获得一个综合判断值 NFP 来判断缺陷的一种方法。

各测点的综合判据值 NFP 按式(1-2-22)计算:

$$NFP_i = \frac{v'_i F'_i A'_i}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v'_i F'_i A'_i) - ZS} \quad (1-2-22)$$

式中: NFP_i ——第 i 测点的综合判据;

v'_i, F'_i, A'_i ——第 i 点的声速、频率、波幅的相对值,即分别除以该桩各测点中最大声速、频率、波幅后所得的值;

S ——上述三个参数相对值之积为样本的标准差;

Z ——概率保证系数,它是根据与样本相拟合的夏里埃(Charliar)分布率幂函数及样本的偏移系数、峰凸系数及其保证率所决定的。

根据 NFP 判据的性质可知,当 NFP 越大,则混凝土质量越好;当 $NFP_i < 1$ 时,该点应判为缺陷。同时,根据实践所得的经验数据可作为判断缺陷性质的参考。

5)桩身完整性评价

I 类桩:各声测剖面每个测点的声速、波幅均大于临界值,波形正常。

II 类桩:某一声测剖面个别测点的声速、波幅略小于临界值,但波形基本正常。

III 类桩:某一声测剖面连续多个测点或某一深度桩截面处的声速、波幅小于临界值,PSD 值变大,波形畸变。

IV 类桩:某一声测剖面连续多个测点或某一深度桩截面处的声速、波幅明显小于临界值,PSD 值突变,波形严重畸变。

7. 注意问题

(1) 声波检测管可采用钢管、塑料管或钢质波纹管,可焊接或绑扎在钢筋笼的内侧,检测管之间应互相平行,管内应注满清水。

(2) 检测由检测管底部开始。发射电压值应固定,并应始终保持不变,放大器增益值也应始终固定不变。

(3) 每组检测管测试完成后,测试点应随机重复抽测 10%~20%。其声时相对标准差不应大于 5%;波幅相对标准差不应大于 10%。并对声时及波幅异常的部位应重复抽测。

第四节 基桩承载力检测

现有确定基桩承载力的检测方法有两种:一种是静荷载试验,另一种是各种桩的动测方法。

一、基桩静荷载试验

依据现行地基基础规范:单桩承载力宜通过现场静载试验确定,在同一条件下试桩数量不宜少于总桩数的 1%,并不少于 3 根。就地灌注桩的静载试验应在混凝土强度达到能承受预定破坏荷载后开始。斜桩做静载试验时,荷载方向应与斜桩轴线相同。

1. 试验前的准备工作

(1) 试桩的桩顶如有破损或强度不足时,应将破损或强度不足段凿除后修补平整。

(2) 做静推试验的桩如果为空心桩,则应在直接受力部位填充混凝土。

(3) 做静压、静拔试验的桩,为便于在原地面施加荷载,在承台底面以上波幅或局部冲线以上部分设计不能考虑的摩擦力应予扣除。

(4) 做静压、静拔试验的桩,桩身需通过尚未固结新近沉积的土层或湿陷性黄土、软土等土层对桩侧产生向上的负摩擦力部分,应在桩表面涂刷涂层,或设置套管等方法予以消除。

(5) 在冰冻季节试桩时,应将桩周围的冻土全部融化。其融化范围:静压、静拔试验时,离试桩周围不小于 1m;静推试验时,不小于 2m。融化状态应保持到试验结束。

(6) 在结冰的水域做试验时,桩与冰层之间应保持不小于 100mm 的间隙。

2. 静压试验

(1) 试验目的:通常用来确定单桩承载能力和荷载与位移的关系,以及校核动力公式的准确程度。

(2) 试验方法:采用慢速维持荷载法,若设计无特殊要求,采用单循环加载法。

(3) 试验时间:静压试验应在冲击试验后立即进行;对于钻孔灌注桩,须待混凝土达到能承受设计要求的荷载后才可进行试验。

(4) 加荷装置:一般采用油压千斤顶加载。千斤顶的反力装置可选用下列三种形式之一。

① 锚桩承载梁反力装置:提供的反力应不小于预估最大试验荷载的 1.3~1.5 倍,锚桩一般采用 4~6 根。锚桩与试桩的中心间距,当试桩直径(或边长)小于或等于 800 时,可为试桩直径的 5 倍,大于 800mm 时上述距离不得小于 4m。

② 压重平台反力装置:利用平台上的压重作为试验的反力装置。压重不得小于预估最大试验荷载的 1.2 倍。压重要在试验前一次加上。试桩与压重平台支承边缘的距离与锚桩与试桩的中心间距相同。

③锚桩压重联合反力装置:当最大加载量超过锚桩的抗拉拔力时,可在承载梁上放置或悬挂一定重物,由锚桩和重物共同承受千斤顶的反力。

(5)测量位移的装置:一般使用 1/20 光学仪器或力学仪器,如水平仪、位移计等。支承仪表的基准架应有足够的刚度和稳定性,基准梁一端应自由支承,不受温度影响引起上拱或下挠。基准桩应埋入地表以下一定深度,不受气候影响。基准桩中心与锚桩、试桩中心之间的距离应符合下列规定:锚桩承载反力系统时,基准桩与试桩、锚桩中心间距应大于或等于 4 倍试桩直径;压重平台承载反力系统时,基准桩与试桩、压重平台边缘中心间距应大于或等于 2m。

(6)加载方法

①加载重心应与试桩轴线相一致。加载时应分级进行,使荷载传递均匀,无冲击。

②荷载分级:每级加载为预估最大荷载的 $1/10 \sim 1/15$;当桩下端为巨粒土、粗粒土或坚硬的黏质土,第一级可按 2 倍的分级荷载加载。

③预估最大荷载:对施工检验性桩,一般可取设计荷载的 2 倍。

(7)沉降观测

①下沉未达到稳定状态不得进行下一级加载。

②每级加载的观测时间规定为:每级加载完毕后,每隔 15min 观测一次;累计 1h 后每隔 30min 观测一次。

(8)稳定标准

每级加载下沉量在下列时间内如不大于 0.1mm 即可认为稳定:

①桩端下为巨粒土,砂类土、坚硬黏质土,最后 30min。

②桩端下为半坚硬和细粒土,最后 1h。

(9)加载终止及极限荷载取值

①总位移量大于或等于 40mm,本级荷载的下沉量大于或等于前一级荷载下沉量的 5 倍时,加载即可终止。取此终止时荷载小一级的荷载为极限荷载。

②总位移量大于或等于 40mm,本级荷载加上后 24h 未达到稳定,加载即可终止。取此终止时荷载小一级的荷载为极限荷载。

③巨粒土、密实砂类土以及坚硬的黏质土中,总沉降量小于 40mm,但荷载已大于或等于设计荷载乘以设计规定的安全系数,加载即可终止。取此时的荷载为极限荷载。

④施工过程中的检验性试验,一般加载应继续到桩的 2 倍设计荷载为止。如果桩的总沉降量不超过 40mm,及最后一级加载引起的沉降不超过前一级的沉降的 5 倍,则该桩可以停止试验。

⑤极限荷载的确定有时比较困难,应绘制荷载—沉降曲线($P-S$ 曲线)、沉降—时间曲线($S-t$ 曲线)。必要时,还应绘制 $S-\lg t$ 曲线、 $S-\lg P$ 曲线(单对数法)、 $S-[1-P/P_{\max}]$ 曲线(百分率法)等综合比较,确定比较合理的极限荷载值。

(10)桩的卸载和回弹量观测

①卸载应分级进行,每级卸载量为两个加载级的荷载。每级卸载后,应观测桩顶的回弹量,观测办法与沉降相同。直到回弹稳定后,再卸下一级。回弹稳定标准与下沉稳定标准相同。

②卸载到零后,至少在 2h 内每 30min 观测一次。如果桩尖下为砂类土,则开始 30min 内,每 15min 观测一次;如果桩尖下为黏质土,第一小时内,每 15min 观测一次。

3. 静拔试验

(1)试验时间:一般到按复打规定的休止时间以后进行。对于钻挖轧灌注桩,须待灌注的

混凝土强度达到设计要求的强度后才可进行。静拔试验也可在静压试验后进行。

(2)加载装置:可采用油压千斤顶加载。千斤顶的反力装置一般采用两根锚桩和承载梁组成,试桩和承载梁用拉杆连接,将千斤顶置于两根锚桩之上,顶推承载梁,引起试桩上拔。

(3)加载方法:一般采用慢速维持荷载法进行。施加的静拔力必须作用于桩的中轴线。加载应均匀、无冲击。每级加载量不大于预计最大荷载的 $1/10 \sim 1/15$ 。

(4)位移观测:每级加载完毕后,每隔 15min 观测一次;累计 1h 后,每隔 30min 观测次。下沉未达到稳定不得进行下一级加载。

(5)稳定标准:位移量小于或等于 0.1mm/h ,即可认为稳定。

(6)加载终止:勘测设计阶段,总位移量大于或等于 25mm ,加载即可终止;施工阶段,加载不应大于设计容许抗拔荷载。

4. 静推试验

1) 试验方法

对于承受反复水平荷载的基桩,采用多循环加卸载的方法;对于承受长期水平荷载的基桩,采用单循环加载的方法。

2) 加载装置

(1)一般采用两根单桩通过千斤顶相互顶推加载;或在两根锚桩间平放一根横梁,用千斤顶顶向试桩加载;有条件时可利用墩台或专设反力座以千斤顶向试桩加载。千斤顶与试桩接触处宜安设一球形铰座,保证千斤顶作用力能水平通过试桩轴线。

(2)加载反力结构的承载力应为预估最大试验荷载的 $1.3 \sim 1.5$ 倍,其作用方向的刚度不应小于试桩。反力结构与试桩之间净距按设计要求确定。

(3)固定百分表的基准桩宜设在桩侧面靠位移的反方向,与试桩净距不小于试桩直径的 1 倍。

(4)多循环加载卸载试验法按下列规定进行。

①加载分级:可按预计最大试验荷载的 $1/10 \sim 1/15$,一般可采用 $5 \sim 10\text{kN}$,过软的土可采用 2kN 级差。

②加载程序与位移观测:各级荷载施加后,恒载 4min 测读水平位移,然后卸载至零,2min 后测读残余水平位移。至此,完成一加载循环,如此循环 5 次,便完成一级荷载的试验观测。加载时间应尽量缩短,测量位移间隔时间应严格准确。

③加载终止条件:当出现下列情况之一时即可终止加载。

- a. 桩顶水平位移超过 $20 \sim 30\text{mm}$ (软土取 40mm)。
- b. 桩身已经断裂。
- c. 桩侧地面明显裂纹或隆起。

(5)多循环加卸载法的资料整理:由试验资料绘制水平荷载—时间—桩顶位移关系曲线($H-t-x$ 曲线)、水平荷载—位移梯度关系曲线($H-x/H$ 曲线)。

(6)多循环加卸载临界荷载(H_{cr})、极限荷载(H_u)及水平抗推容许承载力的确定。

①临界荷载:相当于桩身开裂,受拉混凝土不参加工作时的桩顶水平力,其数值可按下列方法综合确定:

- a. 取 $H-t-x$ 曲线出现突变点的前一级荷载。
- b. 取 $H-x/H$ 曲线的第一直线段终点所对应的荷载。
- c. 取曲线第一突变点对应的荷载。

②极限荷载可按下列方法综合确定:

- a. 取曲线明显陡降的前一级荷载。
- b. 取曲线各级荷载下水平位移包络线向下凹曲的前一级荷载。
- c. 取曲线第二直线终点所对应的荷载。
- d. 桩身断裂或钢筋应力达到流限的前一级荷载。

③水平抗推容许荷载:为水平极限荷载除以设计规定的安全系数。

3)单循环加载试验法的规定执行

- (1)加载分级与多循环相同。
- (2)加载后测读位移量与静压试验的方法相同。
- (3)静推稳定标准:如位移量小于或等于 0.05m/h 即可认为稳定。
- (4)终止加载条件:勘测设计阶段的试验,水平力作用点处位移量大于或等于 50mm ,加载即可终止;施工检验性试验,加载不应超过设计的容许荷载。

5. 注意问题

(1)加载装置要安全可靠,保证有足够的加载量,不能发生加载量达不到要求而中途停止试验的事故。

(2)设置基准点时应满足以下几个条件:基准点本身不变动,没有被接触或遭破损的危险,附近没有振源,不受直射阳光与风雨等干扰,不受试桩下沉的影响。

(3)当量测桩位移用的基准梁采用钢梁时,为保证测试精度需采取下述措施:基准梁的一端固定,另一端必须自由支承,防止基准梁受日光直接照射;基准梁附近不设照明及取暖炉,必要时基准梁可用聚苯乙烯等隔热材料包裹起来,以消除温度影响。

(4)测量仪器安装前应予校验,擦干润滑。

二、基桩高应变动力检测(凯斯法)

1. 基本原理

凯斯法以现代波动理论为基础,导出了一套简捷的分析计算公式。其借助于现代的振动测量和信号处理技术,在锤击桩的过程中检测桩头的受力和运动响应信息,借助计算机分析技术,较全面地考虑桩和土及其相互作用的各种因素,通过复杂的运算,获得桩的承载力。

2. 检测仪器及设备

试验仪器应具有现场显示、记录、保存实测力与加速度信号的功能,并能进行数据处理、打印和绘图。

(1)数据采集装置的模/数转换。

(2)力传感器宜采用工具式应变传感器。应变传感器安装谐振频率应大于 2kHz ,在 $0\sim 1000\mu\epsilon$ 测量范围内的非线性误差不应大于 $\pm 1\%$,由于导线电阻引起的灵敏度降低不应大于 1% 。

(3)安装后的加速度计在 $2\sim 3000\text{Hz}$ 范围内灵敏度变化不应大于 $\pm 5\%$,冲击加速度不大于 $10000\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$,其幅值非线性误差不应大于 $\pm 5\%$ 。

(4)打桩机械或类似的装置都可作为锤击设备。重锤宜用铸钢或铸铁制作。当采用自由落锤时,锤的重力应大于预估的单桩极限承载力的 1% 。

(5)桩的贯入度可用精密水准仪、激光变形仪等光学仪器测定。

3. 检测方法

1) 混凝土桩桩头的处理

桩头顶面应水平、平整;桩头中轴线与桩身中轴线应重合,桩头截面积应与原桩身截面积相同;桩头主筋应全部直通至桩顶混凝土保护层之下,各主筋应在同一高度上。

距桩顶 1 倍桩径范围内,宜用厚度为 3~5mm 的钢板围裹或距桩顶 1.5 倍桩径范围内设置箍筋,间距不宜大于 150mm。桩顶应设置钢筋网片 2~3 层,间距 60~100mm。

桩头混凝土强度等级宜比桩身混凝土提高 1~2 级,且不得低于 C30;桩顶应设置桩垫,并根据使用情况及时更换;桩垫宜采用胶合板、木板和纤维板等材质均匀的材料。

2) 传感器的安装

(1) 传感器应分别对称安装在桩顶以下桩身两侧。传感器与桩顶之间的垂直距离,对于一般桩型,不宜小于 2 倍桩的直径或边长;对于大直径桩,不得小于 1 倍桩的直径或边长。

(2) 安装传感器的桩身表面应平整,安装面范围内的材质和截面尺寸应与原桩身等同。

(3) 应变传感器的中心与加速度传感器中心应位于同一水平线上,两者之间的水平距离不宜大于 10cm。

3) 现场检测参数设定

(1) 桩的参数设定

现场检测时桩头测点处的桩截面面积、桩身波速、桩材质量密度和弹性模量应按测点处桩的实际情况确定。

① 测点下桩长和截面积的设定值应符合下列规定:测点下桩长应取传感器安装点至桩底的距离;对于预制桩,可采用建设或施工单位提供的实际桩长和桩截面积作为设定值;对于混凝土灌注桩,测点下桩长和截面积设定值宜按建设或施工单位提供的施工记录确定。

② 桩身波速设定应符合下列规定:对于普通钢桩,波速值可设定为 5120m/s;对于混凝土预制桩,宜在打入前实测无缺陷桩的桩身平均波速作为设定值;对于混凝土灌注桩,在桩长已知的情况下,可用反射波法按桩底反射信号计算桩的平均波速作设定值。

③ 桩身质量密度设定应符合下列规定:对于普通钢桩,质量密度应设定为 7.85t/m³;对于普通混凝土预制桩,质量密度可设定为 2.45~2.55t/m³;对于普通混凝土灌注桩,质量密度可设定为 2.40t/m³。

桩材弹性模量设定值应按式(1-2-23)计算:

$$E = \rho v^2 \quad (1-2-23)$$

式中: E ——桩材弹性模量(kPa);

v ——桩身内应力波传播速度(m/s);

ρ ——桩材质量密度(kg/m³)。

4. 测试技术要求

检测时要记录每根桩的有效锤击次数,应根据贯入度及信号质量确定。检测时宜实测每一锤击力作用下桩的贯入度,单击贯入度不宜小于 2.5mm,但也不宜大于 10mm。

采用自由落锤为锤击设备时,宜重锤低击,最大锤击落距不宜大于 2.5m。

检测时应及时检查采集数据的质量。如发现测试系统出现问题、桩身有明显缺陷或缺陷程度加剧,应停止检测,进行检查。

1) 基桩承载力判定

(1) 锤击后出现下列情况之一,其信号不得作为分析计算依据

①力的时程曲线最终未归零。

②严重偏心锤击,一侧力信号呈现受拉。

③传感器出现故障。

④传感器安装处混凝土开裂或出现塑性变形。

(2)检测承载力时选取锤击信号,应符合下列规定

①预制桩初打,宜取最后一阵中锤击能量较大的击次。

②预制桩复打和灌注桩检测,宜取其中锤击能量较大的击次。

(3)分析计算前,应根据实测信号按下列方法确定桩身波速平均值

①桩底反射信号明显时,可根据下行波上升沿的起点到上行波下降沿的起点之间的时差与已知桩长值确定。

②桩底反射信号不明显时,可根据桩长、混凝土波速的合理取值范围以及邻近桩的桩身波速值综合判定。

2)凯斯法判定桩承载力

凯斯法判定单桩极限承载力的公式如下:

$$Q_{uc} = \frac{1}{2} \{ (1 - J_c) [F(t_1) + Z \cdot V(t_1)] + (1 + J_c) [F(t_1 + 2L/c) - Z \cdot V(t_1 + 2L/c)] \} \quad (1-2-24)$$

$$Z = A \cdot E / c \quad (1-2-25)$$

式中: Q_{uc} ——单桩轴向抗压极限承载力(kN);

J_c ——凯司法阻尼系数;

t_1 ——速度信号第一峰对应的时刻(ms);

$F(t_1)$ —— t_1 时刻的锤击力(kN);

$V(t_1)$ —— t_1 时刻的振动速度(m/s);

Z ——桩身截面力学阻抗(kN·s/m);

E ——桩身材料弹性模量(kPa);

A ——桩身截面面积(m²);

c ——桩身波速(m/s);

L ——测点以下桩长(m)。

凯斯法适用范围和优点如下。

(1)适用范围:凯斯法判定单桩极限承载力只限于中、小直径桩;用于混凝土灌注桩时,桩身材质应均匀,且有可靠经验。

(2)优点:凯斯法有较完整的理论体系,测试较简单,尤其对打入桩,可在沉桩过程中同步进行测试;可对施工进行监测,并可作为确定打入桩的停打标准手段;传感器为工具式,装卸方便,能重复使用和进行实时分析。

复习思考题

一、单项选择题

1. 按规范方法确定容许承载力时,当基础宽度 $b > 2m$, 埋置深度 $h > 3m$, 且 h/b 符合下列

() 条件时可以对容许承载力予以提高。

A. $h/b > 1/4$

B. $h/b > 2$

C. $h/b \leq 4$

D. $b/h \geq 4$

2. 对于老黏性土地基,可按土样的()来确定容许承载力。
 - A. 天然含水量 ω 和液限 ω_L 的比值
 - B. 压缩模量
 - C. 含水比 ω/ω_L
 - D. 天然孔隙比 e 和含水比 ω/ω_L
3. 多年冻土地基承载力的确定是根据土的分类和基础底面的()。
 - A. 年平均最高土温
 - B. 月平均最低土温
 - C. 月平均最高土温
 - D. 最高土温
4. 反射波法检测桩基,对混凝土灌注桩,传感器安装位置一般在距桩中心至半径处的()。
 - A. 1/2
 - B. 1/3
 - C. 1/4
 - D. 1/2~1/3
5. 现场荷载试验中,各级荷载下沉降相对稳定标准一般采用连续 2h 的每小时沉降量不超过()。
 - A. 1mm
 - B. 0.05mm
 - C. 0.5mm
 - D. 0.1mm
6. 正常混凝土的波速范围一般在()范围内。
 - A. 2 500~3 500m/s
 - B. 3 500~4 500m/s
 - C. 4 500~5 500m/s
 - D. 2 000~6 000m/s
7. 桩基检测桩径为 2 000mm 时,应埋设检测管为()。
 - A. 2 根
 - B. 3 根
 - C. 4 根
 - D. 4 根以上
8. 钻芯检验法桩基只能用于抽样检查,一般抽检总桩数的()。
 - A. 1%
 - B. 3%
 - C. 3%~5%
 - D. 1%~3%
9. 桩荷载试验时,桩端下为半坚硬和细粒土时每级加载稳定标准为:下沉量在下列时间内如不大于 0.1mm 即可认为稳定()。
 - A. 最后 1d
 - B. 最后 1h
 - C. 最后 30min
 - D. 最后 2h
10. 桩的荷载试验锚桩承载梁反力装置,提供的反力应不小于()。
 - A. 预估最大试验荷载的 1.5~2.0 倍
 - B. 预估最大试验荷载的 1.2 倍
 - C. 预估最大试验荷载的 1.3~1.5 倍
 - D. 设计荷载的 2 倍

二、多项选择题

1. 桥梁工程基础的形式有()。
 - ☒ A. 扩大基础
 - ☒ B. 桩基础
 - ☒ C. 沉井基础
 - ☒ D. 地下连续墙基础
 - ☒ E. 组合式基础
2. 对于一般黏性土地基,要确定土样天然孔隙比和液性指数,必须测土样()。
 - ☒ A. 含水量
 - ☒ B. 干重度
 - ☒ C. 液限
 - ☒ D. 塑限
 - ☒ E. 颗粒密度
3. 桩基孔底沉淀厚度当设计无要求时,对于直径大于 1.5m 的桩沉淀厚度()。
 - A. $\leq 150\text{mm}$
 - B. $\leq 200\text{mm}$
 - C. $\leq 300\text{mm}$
 - ☒ D. $\leq 500\text{mm}$
4. 用规范法检测地基承载能力,与下列参数有关()。
 - A. 土的压缩模量 E_s
 - B. 天然含水量 W

基础埋置深度

- C. 相对密度 D_r
5. 成孔质量检测内容包括()。 P41
- ☒ A. 桩位偏差 ☒ B. 桩顶高程
- ☒ C. 孔径 ☒ D. 桩倾斜
- ☒ E. 孔底沉淀厚度
6. 钻孔灌注桩施工时泥浆一般有()。 P40
- ☒ A. 护壁作用 ☒ B. 浮渣作用 ☒ C. 防塌孔作用 ☒ D. 润滑作用
7. 采用凯斯法测桩时,应预先将桩的()等按试桩的实际情况确定。
- A. 桩长 B. 桩身波速
- C. 桩身混凝土质量密度 D. 桩身截面积
- E. 混凝土水灰比
8. 超声波检测判断桩内缺陷的基本物理量为()。
- A. 声时值 B. 波幅(或衰减)
- C. 接收信号的频率 D. 接收波形的畸变
- E. 声波检测仪的延迟时间 t_0
9. 凯斯法判定单桩极限承载力桩垫材料宜采用()。
- A. 钢板 B. 胶合板
- C. 橡胶板 D. 纤维板
- E. 木板
10. 凯斯法判定单桩极限承载力适用于()。
- A. 任何直径的灌注桩 B. 打入钢管桩
- C. 预制桩 D. 中、小直径灌注桩
- E. 钢板桩

三、判断题

1. 同一根钻孔灌注桩,应根据地质情况分段,选用不同性能指标的泥浆。 ()
2. 钢管声测管的接收信号比塑料管声测管的强,故一般采用钢管声测管。 ()
3. 对于一般新黄土地基,按天然孔隙比 e 和含水比 w/w_L 查表确定容许承载力。 ()
4. 预埋检测管应符合下列规定:桩径小于 1.0m 时应埋设双管;桩径在 1.0~2.5m 时应埋设三根管;桩径 2.5m 以上应埋设四根管。 ()
5. 超声波检测桩基各发射与接收相对高差不应大于 50mm,并随时校正。 ()
6. 超声波检测时,PSD 判据对混凝土强度不均匀所引起的声时变化,基本上没有反应。 ()
7. 斜桩做静载试验时,荷载方向应与斜桩轴线相同。 ()
8. 桩基静压试验,对于钻孔灌注桩,须待混凝土达到能承受设计要求的 80% 才可进行试验。 ()
9. 桩的垂直静荷载试验锚桩与试桩的中心间距,当试桩直径(或边长)小于或等于 800 时,可为试桩直径的 5 倍,大于 800mm 时上述距离不得小于 3m。 ()
10. 凯斯法判定单桩极限承载力,所用重锤宜用铸钢或铸铁制作。当采用自由落锤时,锤的重力应大于预估的单桩极限承载力的 2%。 ()

四、问答题

1. 如何按规范法确定地基的容许承载力？
2. 简述地基荷载试验方法及指标的确定方法。
3. 简述标准贯入试验方法及确定指标。
4. 简述泥浆主要性能检测方法。
5. 简述反射波法检测基桩完整性时现场操作步骤和注意事项。
6. 简述反射波法检测基桩完整性时波形分析的方法和步骤。
7. 简述声波透射法检测基桩完整性时现场操作步骤和注意事项。
8. 简述声波透射法检测基桩完整性的检测数据处理与判定方法。
9. 简述反射波法和超声波法检测桩身完整性的评价标准。
10. 简述基桩静荷载试验方法和现场注意事项。

第三章 桥梁上部结构

【主要内容】

本章主要介绍桥梁工程上部构造的组成部分、桥梁支座、伸缩装置的试验检测方法以及混凝土强度测试及评定方法。

【要求】

了解:桥梁上部结构的组成部分。

熟悉:桥梁支座和伸缩装置的类型、构造及适用条件;悬吊结构的检测方法;预应力筋用锚具、夹具和连接器检测方法(员掌握);静载锚固性能试验方法;张拉设备校验的校验方法(员掌握);钢构件缺陷的各种无损检测方法等。

掌握:板式橡胶支座的力学性能、外观质量和解剖检验的相关要求;板式橡胶支座的力学性能的测试方法;桥梁伸缩装置的分类与检测项目;钻芯法、回弹法、超声法、超声—回弹综合法和拉拔法等测定内容、适用范围、现场操作步骤和注意问题;混凝土强度评定方法;混凝土构件强度和缺陷的无损检测方法(员熟悉)。

第一节 桥梁上部结构的组成

一、桥梁支座

承重结构与墩、台的支承处所设置的传力装置,称为支座。

二、桥跨结构

桥跨结构是在线路中断时跨越障碍的主要承载结构。分为:1)梁式桥;2)拱式桥;3)刚架桥;4)吊桥;5)组合体系桥等。

三、桥面构造

桥面构造包括:桥面铺装、排水防水系统、人行道(或安全带)、缘石、栏杆、护栏和伸缩缝等。

第二节 桥梁支座

一、桥梁支座分类

桥梁支座是连接桥梁上部结构和下部结构的重要结构部件。它能将桥梁上部结构的反力和变形(位移和转角)可靠地传递给桥梁下部结构,从而使结构的实际受力情况与计算的理论图式相符合。

桥梁支座必须满足以下功能要求。首先桥梁支座必须具有足够的承载能力,以保证安全

可靠地传递支座反力。其次支座对桥梁变形(位移和转角)的约束应尽可能地小,以适应梁体自由伸缩及转动的需要。此外支座应便于安装、养护和维修,并在必要时进行更换。桥梁支座分类方法如下:

1. 按支座变形可能性分类有:固定支座、单向活动支座、多向活动支座等;
2. 按支座用材料分类有:钢支座、聚四氟乙烯支座、橡胶支座、混凝土支座、铅支座等;
3. 按支座的结构型式分类有:弧形支座、摇轴支座、辊轴支座、板式橡胶支座、四氟板式橡胶支座、盆式橡胶支座、球型支座等。

二、板式桥梁橡胶支座构造特性

1. 板式桥梁橡胶支座构造特性

板式桥梁橡胶支座通常由若干层橡胶片与以薄钢板为刚性加劲物组合而成,各层橡胶与上下钢板经加压硫化牢固地黏结成为一体。支座在竖向荷载作用下,具有足够的刚度,主要是由于嵌入橡胶片之间的钢板可以限制橡胶的侧向膨胀。在水平力作用下,支座的水平位移量取决于橡胶片的净厚度。支座的上下面及四边都有橡胶保护层。

2. 板式桥梁橡胶支座构造分类及适用条件

- (1)按支座形状划分:分为矩形板式桥梁橡胶支座和圆形板式桥梁橡胶支座。
- (2)按橡胶种类划分:分为氯丁橡胶(CR)支座(适用温度 $-25^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$)和天然橡胶(NR)支座(适用温度 $-35^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$)。
- (3)按结构形式划分:分为普通橡胶支座和聚四氟乙烯滑板式支座。

3. 型号

以下列示支座型号表示方法。

例1 公路桥梁矩形普通氯丁胶支座,短边尺寸为300mm、长边尺寸为400mm、厚度为47mm的支座,表示为:GJZ300×400×47(CR)。

例2 公路桥梁圆形四氟滑板天然胶支座,直径为300mm、厚度为54mm的支座,表示为:GYZF₄300×54(NR)。

4. 支座抗压弹性模量 E 和形状系数 S 的计算

支座抗压弹性模量和形状系数按式(1-3-1)、式(1-3-2)、式(1-3-3)计算:

$$E = 5.4GS^2 \quad (1-3-1)$$

$$\text{矩形支座} \quad S = \frac{l_{0a} \times l_{0b}}{2t_1(l_{0a} + l_{0b})} \quad (1-3-2)$$

$$\text{圆形支座} \quad S = \frac{d_0}{4t_1} \quad (1-3-3)$$

式中: E ——支座抗压弹性模量(MPa);

G ——支座抗剪弹性模量(MPa);

S ——支座形状系数;

l_{0a} ——矩形支座加劲钢板短边尺寸(mm);

l_{0b} ——矩形支座加劲钢板长边尺寸(mm);

t_1 ——支座中间单层橡胶片厚度(mm);

d_0 ——圆形支座加劲钢板直径(mm)。

三、板式桥梁橡胶支座检验方法

主要检验项目有支座成品力学性能检验、支座成品解剖检验和外观、几何尺寸检验等。

1. 试样、试验条件和试验设备要求

(1) 试样: 随机抽取实样, 每种规格试样数量为三对, 各种试验试样通用。试样试验前应暴露在标准温度 $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 下, 停放 24h 以使试样内外温度一致。

(2) 试验条件: 试验室的标准温度为 $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, 且不能有腐蚀性气体及影响检测的振源。

(3) 仪器设备: 试验机宜具备下列功能: 微机控制, 能自动、平稳连续加载、卸载, 自动持荷, 自动采集数据, 自动绘制应力—应变图形, 自动储存数据和打印结果。试验用承载板应具有足够的刚度, 厚度应大于平面最大尺寸的 $1/2$, 平面尺寸大于被测试样的平面尺寸, 在最大荷载下不应发生挠曲。剪切试验机构的水平油缸、负荷传感器的轴线应和中间钢拉板对称轴线相重合, 确保试样水平轴向受力。

试验机的级别为 1 级是指相对误差允许值为 1.0%, 试验机正压力使用可在最大压力值的 0.4%~90% 范围内, 水平力的使用可在最大力值的 1%~90% 范围内。

测量支座变形量的仪表量程应满足测量支座试样变形量的需要, 测量转角变形量的分度值为 0.001m, 测量竖向压缩变形量和水平位移变形量的分度值为 0.01mm。

2. 抗压弹性模量检验

试验方法为通过中心受压试验, 得出橡胶支座的应力—应变曲线, 并据此求出支座的抗压弹性模量, 实测出使用应力下支座的最大压缩量并观察支座在受压情况下的工作状态。

1) 试验步骤

(1) 将橡胶支座成品直接置于试验加荷装置承压板上, 对准中心, 加荷至压力应为 1.0MPa, 在承载板的四角对称安装四只位移计。

(2) 预压。将压应力以 $0.03 \sim 0.04 \text{MPa/s}$ 速率加压至 $\sigma = 10 \text{MPa}$, 持荷 2min, 然后卸至 1.0MPa。持荷 5min, 记录百分表初始值, 预压三次。

(3) 正式加载。每一加载循环自 1.0MPa 开始, 以 $0.03 \sim 0.04 \text{MPa/s}$ 速率加压至 $\sigma = 4 \text{MPa}$, 持荷 2min, 读取百分表读数, 然后以同样速率每 2MPa 为一级逐级加载, 每级持荷 2min 后采集变形数据直至平均压应力 σ 为止, 然后卸载至压应力为 1.0MPa。10min 后进行下一加载循环。加载过程连续进行三次。

(4) 以承载四角所测得的变位平均值为各级荷载下试样的累计压缩变形 Δ_c , 按试样橡胶层的总厚度 δ_i 求出在各级试验荷载作用下试样的累计压缩应变 ϵ_i 。

2) 抗压弹性模量的计算

试样实测抗压弹性模量按下列公式(1-3-4)计算:

$$E_1 = \frac{\sigma_{10} - \sigma_4}{\epsilon_{10} - \epsilon_4} \quad (1-3-4)$$

式中: E_1 ——试样实测抗压弹性模量计算值, 精确至 1MPa;

σ_4, ϵ_4 ——第 4MPa 级试验荷载下的压应力和累积压缩应变值;

$\sigma_{10}, \epsilon_{10}$ ——第 10MPa 级试验荷载下的压应力和累积压缩应变值。

每一块试样的抗压弹性模量 E 为三次加载过程所得的三个结果的算术平均值。单项结果和算术平均值之间的偏差不应大于算术平均值的 3%。否则应对该试样重新复核试验一次。

3. 极限抗压强度检验

以 0.1MPa/s 的加荷速率加载试样极限抗压强度 R_a 。不小于 70MPa 为止, 绘制应力—时间图, 并随时观察试样受力状况及变形情况, 试样是否完好无损。

4. 抗剪弹性模量检验

橡胶支座抗剪弹性模量试验是以正压力为容许压应力, 并在抗剪过程中保持不变的情况下, 采用 2 块支座用中间钢拉板推或拉组成双剪装置, 橡胶支座的顶面或底面必须以实桥(钢筋混凝土梁、钢梁)设计图纸一致, 而且中间钢拉板的对称轴应和加压设备中轴处在同一垂直面上, 剪切变形量的量测一般采用 2 个大标距的位移传感器或百分表, 正压力和剪切力一般采用力传感器进行量测控制。正式试验前应进行预载, 以控制安装偏差和消除初应力, 正式加载时, 施加水平力至剪应力 $\tau=0.1\text{MPa}$ 后持荷 5min, 然后卸载至剪应力为 0.1MPa 后记录位移计初始值。

正式加载: 每一加载值循环自 $\tau=0.1\text{MPa}$ 开始, 每级剪应力增力 0.1MPa, 持荷 1min, 读取位移计读数, 至 $\tau=1.0\text{MPa}$ 为止, 然后卸载剪应力为 0.1MPa。10min 后进行下一循环。加载过程连续进行三次。

将各级水平荷载下位移计所测出的试样累积为水平变形式 Δ_s , 按试样橡胶层的总厚度 δ 求出在各级试验荷载作用下试样的累计剪切应变 γ_i 。

按式(1-3-5)计算抗剪弹性模量:

$$G_1 = \frac{\tau_{1.0} - \tau_{0.3}}{\gamma_{1.0} - \gamma_{0.3}} \quad (1-3-5)$$

式中: G_1 ——试样的实测抗剪弹性模量计算值, 精确至 1%(MPa);

$\tau_{1.0}$ 、 $\gamma_{1.0}$ ——第 1.0MPa 级试验荷载作用下的剪应力和累积剪应变(MPa);

$\tau_{0.3}$ 、 $\gamma_{0.3}$ ——第 0.3MPa 级试验荷载作用下的剪应力和累积剪应变(MPa)。

每两个检验支座所组成试样的综合抗剪弹性模量 G_1 为这组试件三次加载所得到的三个结果的算术平均值。但各单项结果与算术平均值之间的偏差不应大于算术平均值的 10%, 否则该试样应重新进行一次试验。

5. 抗剪黏结性能试验

整体支座抗剪黏结性能试验方法与抗剪弹性模量试验方法相同, 将压应力以 0.03~0.04MPa/s 连续地增至平均压应力 σ , 绘制应力—时间图, 并在整个试验过程中保持不变。然后以 0.02~0.03MPa/s 的速率连续施加水平力, 当剪应力达到 2MPa, 持荷 5min 后, 水平力以连续均匀的速度连续卸载, 在加、卸载过程中绘制应力—应变图。试验中随时观察试件受力状态的变化情况, 水平力卸载后试样是否完好无损。

6. 抗剪老化试验

将试样置于老化箱内, 在 $70^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 温度下经 72h 后取出, 将试样在标准温度 $23^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 下, 停放 48h, 再在标准试验室温度下进行剪切试验, 试验与标准抗剪弹性模量试验方法步骤相同。老化后抗剪弹性模量 G_2 的计算方法与标准抗剪弹性模量计算方法相同。

7. 摩擦系数检验

摩擦系数试验,除要求必须对四氟板与不锈钢板进行检验外,对橡胶与混凝土、橡胶与钢板间摩擦系数试验可按需要或用户要求进行检验。

(1)将试样按规定摆好,对准试验机承压板中心位置。

(2)将压应力以 $0.03 \sim 0.04 \text{ MPa/s}$ 的速率连续施加至平均压应力 $[\sigma]$,绘制应力—时间图,并在整个摩擦系数试验过程中保持不变。其预压时间为 1h 。

(3)以 $0.002 \sim 0.003 \text{ MPa/s}$ 速率连续地施加水平力,直至支座试样与混凝土板、钢板、不锈钢板试样接触面间发生滑动时为止,记录此时水平剪应力。试验过程连续进行三次。

(4)摩擦系数按式(1-3-6)、式(1-3-7)、式(1-3-8)计算:

$$\mu_t = \frac{\tau}{\sigma} \quad (1-3-6)$$

$$\tau = \frac{H}{A_0} \quad (1-3-7)$$

$$\sigma = \frac{R}{A_0} \quad (1-3-8)$$

式中: μ_t ——四氟滑板与不锈钢板表面的摩擦系数,精确至 0.01 ;

τ ——接触面发生滑动时的平均剪应力(MPa);

σ ——支座的平均压应力(MPa);

H ——支座承受的最大水平力(kN);

R ——支座最大承压(kN);

A_0 ——支座有效承压面积(mm^2)。

(5)结果

每对试样的摩擦系数为三次试验结果的算术平均值。

8. 允许转角检验

在外荷载作用下,支座在发生竖向压缩的同时,由于梁体的挠曲作用还产生转动。支座转动时,一侧的橡胶被压缩,而另一侧则逐渐被抬起。如果竖向压缩回弹变形值大于其总压缩量,支座边缘必将出现脱空现象。这是检验橡胶支座的厚度在梁体端部在可能出现最大转角的作用下能否满足设计要求的必要条件。

检测时,在距支座中心 600mm 处,安装使支座产生转动的千斤顶和测力传感器,并在假定梁体的四角安置位移传感器或百分表。

首先进行预压,将压应力缓缓增至 $[\sigma]$,维持 5min 然后卸载至应力为 1.0MPa 。如此反复预压三遍。

正式加载:施加压力至 $[\sigma]$,停 5min 读数;维持 $[\sigma]$ 不变,用油压千斤顶对中间工字梁施加一个向上的力 P ,使其达到预期转角的正切值(偏差不大于 5%);停 5min 后,读取千斤顶力 P 及百分表的读数。

9. 判定规则

(1)实测抗压弹性模量、抗剪弹性模量、老化后抗剪弹性模量和四氟板试样与不锈钢钢板的摩擦系数应满足有关规范规定的要求。

(2)支座在不小于 70MPa 的压应力时,橡胶层未被挤坏,中间层钢板未断裂,四氟板与橡胶未发生剥离,则认为试样的极限抗压强度是满足要求的。

(3) 支座在两倍剪应力作用下,橡胶层未被剪坏,中间层钢板未断裂错位,卸载后,支座变形恢复正常,认为该试样抗剪黏结性能满足要求。

(4) 试样的容许转角正切值,混凝土、钢筋混凝土桥在 1/300、钢桥在 1/500 时,试样边缘最小变形值大于或等于零时,认为试样容许转角是满足要求的。

(5) 三块(或三组)试样中,有两块(或两组)不能满足要求时,则认为该批产品不合格。若有一块(或一组)试样不能满足要求时,则应从该批产品中随机再取双倍试样对不合格项目进行复验,若仍有一项不合格,则判定该批产品不合格。

10. 支座外观质量检测

(1) 支座外形尺寸检测: 支座外形尺寸应用钢直尺量测,厚度应用游标卡尺或量规量测。对于矩形支座,除应在四边上量测长短边尺寸外,还应量测平面与侧面对角线尺寸,厚度应在赛边中点及对角线中心处量测;对圆形支座,其直径、厚度应至少量测四次,测点应垂直交叉,并量测圆心处厚度,外形尺寸和厚度实测的平均值,其尺寸偏差应符合有关规定。

(2) 支座外观检测: 支座外观用目测方法或量具逐块进行检查。检测项目: 气泡、杂质;凹凸不平;四侧面裂纹、钢板外露;掉块、崩裂、机械损伤;钢板与橡胶粘结处开裂或剥离;表面平整度;四氟滑板划痕、碰伤、敲击;四氟滑板与橡胶支座粘结错位等项目。每块支座不允许存在两项以上的缺陷。

11. 解剖检验

解剖检验项目有: 支座用钢锯锯后检验项目有橡胶层厚度、钢板与橡胶粘结、剥离胶层后橡胶的性能等。均应满足表 3-3-1 的要求

产品支座解剖检验要求

表 3-3-1

名 称	解剖检验标准
锯开后胶层厚度	胶层厚度应均匀 r_1 为 5mm 或 8mm 时,其偏差为 $\pm 0.4\text{mm}$; r_1 为 11mm 时,其偏差不得大于 $\pm 0.7\text{mm}$; r_1 为 15mm 时,其偏差不得大于 $\pm 1.0\text{mm}$
钢板与橡胶黏结	钢板与橡胶黏结应牢固,且无高层现象,其平面尺寸偏差为 $\pm 1\text{mm}$; 上下保护层偏差为 $(+0.5, 0)\text{mm}$
剥离胶层(应按 HG/T2198 规定制成试样)	剥离胶层后,测定的橡胶性能,其拉伸强度的下降大应大于 15%,扯断伸长率的下降不应大于 20%

第三节 桥梁橡胶伸缩装置

一、桥梁橡胶伸缩装置的作用及分类

桥梁橡胶伸缩装置的主要作用是满足桥梁上部结构变形的需要,并保证车辆通过桥面时平稳。桥梁橡胶伸缩装置按照伸缩体结构不同可划分为四类。

1. 模数式伸缩装置

其伸缩体由中钢梁和 80mm 的单元橡胶密封带组合而成的伸缩装置。适用于伸缩量为 160~1200mm 的公路桥梁工程。

2. 梳齿板式伸缩装置

$\leq 30\text{ cm}$

其伸缩体由钢制梳齿板组合而成的伸缩装置。一般适用于伸缩量不大于 300mm 的公路桥梁工程。

3. 橡胶式伸缩装置

橡胶式伸缩装置分为板式橡胶伸缩装置和组合式橡胶伸缩装置两种。

(1) 板式橡胶伸缩装置: 伸缩体由橡胶、钢板或角钢硫化为一体的板式伸缩装置。它适用于伸缩量小于 60mm 的公路桥梁工程。

(2) 组合式橡胶伸缩装置: 伸缩体中橡胶板和钢托板组合而成的组合式橡胶伸缩装置。适用于伸缩量不大于 120mm 的公路桥梁工程。

4. 异形钢单缝式伸缩装置

伸缩体完全由橡胶密封带组成的伸缩装置。由单缝钢和橡胶密封带组成的单缝式伸缩装置, 适用于伸缩量不大于 60mm 的公路桥梁工程。由边梁钢和橡胶密封带组成的单缝式伸缩装置, 适用于伸缩量不大于 80mm 的公路桥梁工程。

二、检测项目

(1) 模数式伸缩装置应进行拉伸、压缩、纵向、竖向、横向错位试验, 测定水平摩阻力、变位均匀性。应按实际受力荷载测定中梁、支承横梁及其连接部件应力、应变值。并对试样进行振动冲击试验, 对橡胶密封带进行防水性能试验。

(2) 梳齿板式伸缩装置应进行拉伸、压缩试验, 测定水平摩阻力、变位均匀性。

(3) 橡胶伸缩装置应进行拉伸、压缩试验, 测定水平摩阻力及垂直变形; 且试验应在 $15^{\circ}\text{C} \sim 28^{\circ}\text{C}$ 温度下进行。

(4) 异形钢单缝伸缩装置应进行橡胶密封带防水试验。

(5) 尺寸偏差: 伸缩装置的尺寸偏差, 应采用标定的钢直尺、游标卡尺、平整度仪、水准仪等测量。橡胶伸缩装置平面尺寸除量测四边长度以外, 还应量测对角线尺寸, 厚度应在四边量测 8 点取其平均值。模数式和梳齿式伸缩装置应每 2m 取其断面量测后, 取其平均值。

(6) 外观质量: 产品的外观质量, 应用目测方法和相应精度量具逐步进行检测, 不合格产品可进行一次修补。

(7) 内在质量橡胶板式伸缩装置解剖检验应每 100 块取 1 块, 沿中横向锯开进行规定项目检验。

(8) 原材料伸缩装置中使用的钢材、橡胶、不锈钢板、聚四氟乙烯板、硅脂等应按《公路桥梁伸缩缝装置》中规定的方法进行试验。

三、判定规则

(1) 进厂原材料检验应全部项目合格后方可使用, 不合格的材料不能应用于生产。

(2) 出厂检验时, 若有一项指标不合格, 则应从该批产品中再随机抽取双倍数目的试样, 对不合格的项目进行复检, 若仍有一项不合格则判定该批产品不合格。

(3) 形式检验时, 整体性试验全部满足要求为合格, 若检验项目中有一项不合格, 则从该批产品中再随机抽取双倍数目的试样, 对不合格项目进行复检; 若复检仍有一项目不合格, 则判定该批产品不合格。

第四节 混凝土构件强度检测方法及其评定

一、钻芯取样法

1. 测定内容

钻芯取样法检验混凝土强度指从混凝土结构物中钻取芯样和检查芯样,测定混凝土的劈裂抗拉强度或抗压强度,作为评定结构的主要品质指标。也可作为抽检混凝土均匀性和内部缺陷的指标。

2. 适用范围

- (1) 对试块抗压强度的测试结果有怀疑时。
- (2) 因材料、施工或养护不良而发生混凝土质量问题时。
- (3) 混凝土遭受冻害、火灾、化学侵蚀或其他损害时。
- (4) 需检测多年使用的建筑结构或构造物中混凝土强度时。

3. 现场操作步骤

1) 芯样钻取

在钻取芯样应尽可能避免在靠近混凝土构件的接缝或边缘钻取。

芯样直径应为混凝土所有集料最大粒径的 3 倍,任何情况下不小于集料最大粒径的 2 倍。

2) 钻取的芯样数量应满足的规定

- (1) 按单个构件检验时,每个构件钻取芯样数不少于 3 个,对较小构件至少应取 2 个。
- (2) 对构件局部区域检验时,应由要求检验的单位确定取芯位置及数量。

(3) 芯样的高度

芯样抗压试件的高度和直径之比应在 1~2 的范围之内。

(4) 钻取芯样检查

每个芯样应详细描述有关裂缝、分层、麻面或离析等,并估计集料的最大粒径、形状种类及粗细集料的比例与级配,检查并记录存在的气孔的位置、尺寸与分布情况。

(5) 芯样的测量

在芯样的中间两个垂直方向测量确定芯样的平均直径 d ,精确至 mm;取芯样直径两端侧面测定钻取后芯样的长度。

(6) 试件的制作

芯样端面必须平整。芯样两端平面应与轴线垂直,误差不应大于 1° 。必要时应磨平或用硫磺胶泥(硫磺)或水泥砂浆(水泥净浆)抹顶等方法处理。

(7) 芯样抗压强度 f_{cu} 按式(1-3-9)计算:

$$f_{cu} = \alpha \cdot \frac{P}{A} = \alpha \cdot \frac{AP}{\pi d^2} \quad (1-3-9)$$

式中: f_{cu} ——混凝土芯样抗压强度(MPa);

P ——极限荷载(N);

A ——受压面积(mm^2);

d ——芯样截面的平均直径(mm);

α ——不同高径比芯样试件混凝土强度换算系数。

结果计算精确至 0.01MPa。

4. 注意问题

- (1) 对混凝土强度等级低于 C10 的结构, 不宜采用钻芯法检测。
- (2) 芯样试件内不应含有钢筋。如不能满足此项要求, 每个试件内最多只允许含有 2 根直径小于 2mm 的钢筋, 且钢筋应与芯样轴线基本垂直并不得露出端面。
- (3) 将芯样取出并稍晾干后, 应标上芯样的编号, 并应记录取芯构件名称、取芯位置、芯样长度及外观质量等, 必要时应拍摄照片。
- (4) 芯样在搬运之前应采用草袋、废水泥袋等材料仔细包装, 以免碰坏。
- (5) 芯样有裂缝或有其他较大缺陷时不得用作抗压强度试验。
- (6) 硫磺胶泥(或硫磺)补平法一般适用于自然干燥状态下抗压试验的芯样试件补平。砂浆(或水泥净浆)补平法一般适用于潮湿状态下抗压试验的芯样试件补平。
- (7) 补平层应与芯样结合牢固, 以使受压时补平层与芯样的结合面不提前破坏。
- (8) 经端面补平后的芯样高度小于 $0.95d$ (d 为芯样试件平均直径), 或大于 $2.05d$ 时, 不得用作抗压强度试验。

二、回弹法

1. 回弹法的基本原理

回弹法是采用回弹仪的弹簧驱动重锤, 通过弹击杆弹击混凝土表面, 并以重锤被反弹回来的距离(称回弹值指反弹距离与弹簧初始长度之比)作为强度相关指标来推算混凝土强度的一种方法。

2. 测定内容

对试件的检验结果有怀疑或供检验用的试件数量不足时, 可采用回弹法检测, 并将检测结果作为处理混凝土质量问题的一个主要依据。

另外, 施工阶段如构件拆模、预应力张拉或移梁、吊装时, 回弹法可作为评估混凝土强度的依据。

3. 适用范围

回弹法的使用前提, 是要求被测结构或构件混凝土的内外质量基本一致, 因此, 当混凝土表层与内部质量有明显差异, 例如遭受化学腐蚀或火灾、硬化期间遭受冻伤等或内部存在缺陷时, 不能用回弹法评定混凝土强度。

4. 现场操作步骤

1) 每一构件的测区, 应符合下列要求。

- (1) 对长度不小于 3m 的构件, 其测区数不少于 10 个, 对长度小于 3m 且高度低于 0.6m 的构件, 其测区数量可适当减少, 但不应少于 5 个。
- (2) 相邻两测区的间距应控制在 2m 以内, 测区离构件边缘的距离不宜大于 0.5m。
- (3) 测区应选在使回弹仪处于水平方向, 检测混凝土浇筑侧面, 当不能满足这一要求时, 可选在使回弹仪处于非水平方向, 检测混凝土浇筑侧面、表面或底面。
- (4) 测区宜选在构件的两个对称可测面上, 也可选在一个可测面上, 且应均匀分布。在构件的受力部位及薄弱部位必须布置测区, 并应避免预埋件。
- (5) 测区的面积宜控制在 0.04m^2 。

(6)检测面应为原状混凝土面,并应清洁、平整,不应有疏松层和杂物,且不应有残留的粉末或碎屑。

(7)对于弹击时会产生颤动的薄壁、小型构件应设置支撑固定。

2)测点宜在测区范围内均匀分布,相邻两测点的净距一般不小于 20mm,测点距构件边缘或外露钢筋、预埋件的距离一般不小于 30mm,测点不应在气孔或外露石子上,同一测点只允许弹击一次。每一测区应记取 16 个回弹值,每一测点的回弹值读数精确至 1。

3)检测时,回弹仪的轴线应始终垂直于结构或构件混凝土检测面,缓慢施压,准确读数,快速复位。

4)回弹值测量完毕后,应选择不小于构件数的 30%测区数在有代表性的位置上测量碳化深度值。

5)测量碳化深度值时,可用合适的工具在测区表面形成直径约 15mm 的孔洞,其深度大于混凝土的碳化深度。然后除净孔洞中的粉末和碎屑,不得用水冲洗。应立即用浓度为 1% 酚酞酒精溶液滴在孔洞内壁的边缘处,再用深度测量工具测量已碳化与未碳化混凝土交界面到混凝土表面的垂直距离多次,取其平均值,该距离即为混凝土的碳化深度值。每次读数精确至 0.5mm。

6)回弹值的计算

(1)计算测区平均回弹值时,应从该测区的 16 个回弹值中剔除 3 个最大值和 3 个最小值,然后将余下的 10 个回弹值按下列公式(1-3-10)计算:

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^{10} R_i}{10} \quad (1-3-10)$$

式中: R_m ——测区平均回弹值,精确至 0.1;

R_i ——第 i 个测点的回弹值。

(2)回弹仪非水平方向检测混凝土浇筑侧面时,应按下列公式(1-3-11)修正:

$$R_m = R_{ma} + R_{aa} \quad (1-3-11)$$

式中: R_{ma} ——非水平方向检测时测区的平均回弹值,精确至 0.1;

R_{aa} ——非水平方向检测时回弹值的修正值,按规范查用。

(3)回弹仪水平方向检测混凝土浇筑表面时,应按下列公式(1-3-12)、式(1-3-13)修正:

$$R_m = R_m^t + R_a^t \quad (1-3-12)$$

$$R_m = R_m^b + R_a^b \quad (1-3-13)$$

式中: R_m^t 、 R_m^b ——水平方向检测混凝土浇筑表面、底面时,测区的平均回弹值,精确至 0.1;

R_a^t 、 R_a^b ——混凝土浇筑表面、底面回弹值的修正值,按规范查用。

(4)如检测时仪器非水平方向且测试面非混凝土的浇筑侧面,则应先对回弹值进行角度修正,然后再对修正后的值进行浇筑面修正。

7)混凝土强度的推算

(1)结构或构件第 i 个测区混凝土强度换算值,可按平均回弹值 R_m 及求得平均碳化深度值 d_m 由规范查得。有地区或专用测强曲线时,混凝土强度换算值应按地区或专用测强曲线换算得出。

$$R_n = 0.025 0 \bar{N}^{2.0108} \times 10^{-0.0358L} \quad (1-3-14)$$

(2)由各测区的混凝土强度换算值可计算得出结构或构件混凝土的强度平均值。当测区数不少于10个时,还应计算强度标准差。

(3)构件混凝土强度推定值 $f_{cu,e}$ 的确定

①当按单个构件检测中,以最小值作为该构件的混凝土强度推定值,即:

$$f_{cu,e} = f_{cu,min}^c \quad (1-3-15)$$

②当按批量检测时,应按公式(1-3-16)、式(1-3-17)计算:

$$f_{cu,el} = m_{f_{cu}}^c - 1.645 S_{f_{cu}}^c \quad (1-3-16)$$

$$f_{cu,e2} = m_{f_{cu,min}}^c \quad (1-3-17)$$

式中: $m_{f_{cu,min}}^c$ ——该批每个构件中最小的测区混凝土强度换算值的平均值(MPa),精确至0.1MPa。

取两者中的较大值为该批构件的混凝土强度推定值。

(4)对于按批量检测的构件,当该批构件混凝土强度标准差出现下列情况之一时,则该批构件应全部按单个构件检测。

①当该批构件混凝土平均值小于25MPa时:

$$S_{f_{cu}}^c > 4.5 \text{MPa} \quad (1-3-18)$$

②当该批构件混凝土强度平均值不小于25MPa时:

$$S_{f_{cu}}^c > 5.5 \text{MPa} \quad (1-3-19)$$

5. 注意事项

1)回弹法测强的误差比较大,因此对比较重要的构件或结构物强度检测必须慎重使用。

(1)符合下列条件的混凝土才能采用全国统一测强曲线进行测区混凝土强度换算。

(2)混凝土采用的材料、拌和用水符合现行国家有关标准。

(3)不掺外加剂或仅掺非引气型外加剂。

(4)采用普通成型工艺。

(5)采用符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》的钢模、木模及其他材料制作的模板。

(6)自然养护或蒸汽养护出池后经自然养护7d以上,且混凝土表层为干燥状态。

(7)龄期为14~1000d。

(8)抗压强度为10~60MPa。

2)当有下列情况之一时,测区混凝土强度值不得按全国统一测强曲线进行测区混凝土强度换算,但可制定专用测强曲线或通过试验进行修正。

(1)粗集料最大粒径大于60mm。

(2)特种成型工艺制作的混凝土。

(3)检测部位曲率半径小于250mm。

(4)潮湿或浸水混凝土。

(5)当构件混凝土抗压强度大于60MPa时可采用标准能量大于2.207J的混凝土回弹仪,

并应另行制定检测方法和专用测强曲线进行检测。

三、超声一回弹综合法

超声一回弹综合法检测混凝土强度。它较之单一的超声或回弹非破损检验方法具有受混凝土龄期和含水量影响小、精度高、适用范围广等优点,它也是对常规检验补充的一种办法,当对结构的混凝土强度有怀疑时,可按此办法进行检验,以推定混凝土的强度,作为处理其质量问题的依据。

1. 现场操作步骤

1) 测区布置规定

(1) 当按单个构件检测时,应在构件上均匀布置测区,每个构件上的测区数不应少于10个。

(2) 对同批构件按批抽样检测时,构件抽样数应不少于同批构件的30%,且不少于10件,每个构件测区数不应少于10个。

(3) 对长度小于或等于2m的构件,其测区数可适当减少,但不应不少于3个。

2) 当按批抽样检测时,符合下列条件的构件才可作为同批构件

(1) 混凝土强度等级相同。

(2) 混凝土原材料、配合比、成型工艺、养护条件及龄期基本相同。

(3) 构件种类相同。

(4) 在施工阶段所处状态相同。

3) 构件的测区,应满足下列要求

(1) 测区布置在构件混凝土浇筑方向的侧面。

(2) 测区均匀分布,相邻两测区的间距不宜大于2m。

(3) 测区避开钢筋密集区和预埋件。

(4) 测区尺寸为200mm×200mm。

(5) 测试面应清洁、平整、干燥,不应有接缝、饰面层、浮浆和油垢,必要时可用砂轮片清除杂物和磨平不平整处,并擦净残留粉尘。

4) 结构或构件的每一测区,宜先进行回弹测试,后进行超声测试

2. 回弹值的计算

超声一回弹综合法中回弹值的测试和计算与回弹法相同。

3. 超声声速值的测量与计算

(1) 超声测点应布置在回弹测试的同一测区内。

(2) 测量超声声时值时,应保证换能器与混凝土耦合良好。

(3) 测试的声时值应精确至0.1μs,声速值应精确至0.01km/s。超声测距的测量误差不大于±1%。

(4) 在每个测区内的相对测试面上,应各布置3个测点,且发射和接收换能器的轴线应在同一轴线上。

(5) 测区声速应按式(1-3-20)、式(1-3-21)计算:

$$v = l/t_m \quad (1-3-20)$$

$$t_m = (t_1 + t_2 + t_3)/3 \quad (1-3-21)$$

式中: v ——测区声速值(km/s);

l ——超声测距(mm);

t_m ——测区平均声时值(μ s);

t_1, t_2, t_3 ——分别为测区中3个测点的声时值。

(6) 当在混凝土的顶面与底面测试时,测区声速值应按下列公式(1-3-22)修正:

$$v_a = \beta v \quad (1-3-22)$$

式中: v_a ——修正后的测区声速值(km/s);

β ——超声测试面修正系数,在混凝土浇筑面的顶面及底面测试时, $\beta = 1.034$;在混凝土侧面测试时, $\beta = 1$ 。

4. 混凝土强度的推定

1) 构件第 i 个测区的混凝土强度换算值 $f_{cu,i}^c$ 应采用修正后的测区回弹值 R_{ai} 及修正后的测区声速值 v_{ai} , 优先采用专用或地区测强曲线推定。当无该类测强曲线时,可按规范查阅混凝土强度或按下列式(1-3-23)、式(1-3-24)计算。

(1) 粗集料为卵石时

$$f_{cu,i}^c = 0.0038(v_{ai})^{1.23}(R_{ai})^{1.95} \quad (1-3-23)$$

(2) 粗集料为碎石时

$$f_{cu,i}^c = 0.008(v_{ai})^{1.73}(R_{ai})^{1.57} \quad (1-3-24)$$

式中: $f_{cu,i}^c$ ——第 i 个测区混凝土强度换算值(MPa),精确至 0.1MPa;

v_{ai} ——第 i 个测区修正后的超声声速值(km/s),精确至 0.01km/s;

R_{ai} ——第 i 个测区修正后的回弹值,精确至 0.1。

2) 当结构所用材料与制定的测强曲线所用材料有较大差异时,须用同条件试件块或从结构构件测区钻取的混凝土芯样进行修正,试件数量应不少于 3 个,得到的测区混凝土强度换算值应乘以修正系数。

3) 结构或构件的混凝土强度推定值 $f_{cu,i}^c$ 可按下列条件确定。

(1) 当按单个构件检测时,单个构件的混凝土强度推定值 $f_{cu,i}^c$ 取该构件各测区中最小的混凝土强度换算值 $f_{cu,min}^c$ 。

(2) 当按批抽样检测时,该批构件的混凝土强度推定值应按公式(1-3-25)计算:

$$f_{cu,e}^c = m_{f_{cu}}^c - 1.645S_{f_{cu}}^c \quad (1-3-25)$$

式中各测区混凝土强度换算值的平均值 $m_{f_{cu}}^c$ 及标准差 $S_{f_{cu}}^c$,应按公式(1-3-26)、式(1-3-27)计算:

$$m_{f_{cu}}^c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cu,i}^c \quad (1-3-26)$$

$$S_{f_{cu}}^c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cu,i}^c)^2 - n(m_{f_{cu}}^c)^2}{n-1}} \quad (1-3-27)$$

(3) 当同批测区混凝土强度换算值标准差 $S_{f_{cu}}^c$ 过大时,该批构件的混凝土强度推定值也可按公式(1-3-28)计算:

$$f_{cu,e} = m_{f_{cu,min}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m f_{cu,min,i}^c \quad (1-3-28)$$

式中: $m_{f_{cu,min}}$ ——该批每个构件中最小的测区混凝土强度换算值的平均值(MPa);

$f_{cu,min,i}^c$ ——第 i 个构件中的最小测区混凝土强度换算值(MPa);

m ——抽取的构件数。

4) 当属同批构件按批抽样检测时,若全部测区强度的标准差出现下列情况时,则该批构件应全部按单个构件检测:

(1) 当混凝土强度等级低于或等于 C20 时: $S_{f_{cu}} > 4.5 \text{ MPa}$;

(2) 当混凝土强度等级高于 C20 时: $S_{f_{cu}} > 5.5 \text{ MPa}$ 。

5. 注意事项

(1) 操作回弹仪时,回弹仪的轴线始终应与测试面垂直。

(2) 超声声时测量时,换能器与混凝土之间的良好耦合是十分重要的。

(3) 同批构件的条件是:混凝土强度等级相同、混凝土原材料、配合比、成型工艺、养护条件基本相同,构件种类相同,在施工阶段所处状态相同。

(4) 如缺少专用或地区测强曲线时,在采用《桥涵工程试验检测技术》书中附录 I 中的附表 1 的基准测强曲线前,应进行验证,验证方法如下。

① 选用该地区常用混凝土的原材料,按最佳配合比配制强度等级为 C10、C20、C30、C40、C50 的混凝土,制作边长为 150mm 立方体试块各 3 组,采用自然养护。

② 使用符合技术要求的回弹仪和超声波检测仪。

③ 按龄期为 28d、60d 和 90d 进行综合法测试及试块抗压试验。

④ 根据每个试块测得的回弹值和超声声速值由教材附录 I 中的附表 2 和附表 3 查出强度值 $f_{cu,i}$ 。

⑤ 将实测试块抗压强度 $f_{cu,i}$ 与查表所得的抗压强度 $f_{cu,i}^c$ 计算相对标准误差:

$$e_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cu,i}/f_{cu,i}^c - 1)^2}{n-1}} \times 100\% \quad (1-3-29)$$

如 $e_r \leq \pm 15\%$,可使用《桥涵工程试验检测技术》(人民交通出版社)附录 I 中的附表 1 和附表 2 的测强曲线;如 $e_r \geq \pm 15\%$,应另建立专用测强曲线或地区测强曲线。

四、后拔出法检测混凝土强度

后拔出法检测混凝土强度,是指在硬化混凝土表面进行钻孔、磨槽、嵌入锚固件,使用拔出仪进行拔出试验,测定极限拔出力,并根据预先建立的拔出力与混凝土强度之间的相关关系检测混凝土强度。

1. 适用范围

当对构件或结构混凝土强度有怀疑时,或对旧结构混凝土强度检验时,可用本方法进行检测,检测结果可作为评价混凝土强度的依据。

2. 现场检测步骤

1) 试验前宜具备下列有关资料:

(1) 工程名称及设计、施工、建设单位名称。

(2) 结构或构件名称、设计图纸及图纸要求的混凝土强度等级。

(3) 粗集料品种及最大粒径。

(4) 混凝土浇筑和养护情况以及混凝土的龄期。

(5) 结构或构件存在的质量问题等。

2) 测点布置应符合下列规定

(1) 按单个构件检测时,应在构件上均匀布置 3 个测点。当 3 个拔出力中的最大拔出力和最小拔出力与中间值之差均小于中间值的 15% 时,仅布置 3 个测点即可;当最大拔出力或最小拔出力与中间值之差大于中间值的 15% (包括两者均大于中间值的 15%) 时,应在最小拔出力测点附近再加测 2 个测点。

(2) 当同批构件按批抽样检测时,抽检数量应不少于同批构件总数的 30%,且不少于 10 件,每个构件不应少于 3 个测点。

(3) 测点宜布置在构件混凝土成型的侧面,如不能满足这一要求时,可布置在混凝土成型的表面或底面。

(4) 测点应避开接缝、蜂窝、麻面部位和混凝土表层的钢筋、预埋件。

3) 钻孔

钻头应始终与混凝土表面保持垂直,垂直度偏差不应大于 3°
成孔尺寸应满足下列要求:

(1) 钻孔直径 d_1 应比规定值大 0.1mm,且不宜大于 1.0mm。

(2) 钻孔深度 h_1 应比锚固深度 h 深 20~30mm。

(3) 锚固深度 h 应符合规定,允许误差为 $\pm 0.8\text{mm}$ 。

(4) 环形槽深度 c 应为 3.6~4.5mm。

4) 磨槽

磨槽时,磨槽机的定位圆盘应始终紧靠混凝土表面回转,磨出的环形槽形状应规整。

5) 安装锚固件

将胀簧插入成型孔内,通过胀杆使胀簧插锚固台阶完全入环形槽内,保证锚固可靠。

6) 拔出试验

摇动拔出仪的摇把,对锚固件施加拔出力,加荷速度控制在 0.5~1kN/s。加载至混凝土开裂破坏、测力显示器读数不再增加为止。

3. 混凝土强度换算及推定

1) 混凝土强度换算值计算

2) 单个构件混凝土强度推定

(1) 单个构件的拔出力计算值,应按下列规定取值:

当构件 3 个拔出力中的最大或最小拔出力与中间值之差均小于中间值 15% 时,取小值作为该构件拔出力计算值;当加测时,加测的 2 个拔出力值和最小拔出力值一起取平均值,再与前一次的拔出力中间值比较,取小值作为该构件拔出力计算值。

(2) 将单个构件拔出力计算强度换算值(修正系数 η 乘以强度换算值)作为单个构件混凝土强度推定值 $f_{cu,e}$

$$f_{cu,e} = f_{cu}^e \quad (1-3-30)$$

3) 抽检构件的混凝土强度推定

(1) 将同批构件抽样检测的每个拔出力按公式计算强度换算值(或用公式得到的修正系数

η 乘以强度换算值)。

(2) 混凝土强度的推定值 $f_{cu,e}$ 按下列公式(1-3-31)、式(1-3-32)计算:

$$f_{cu,e1} = m_{f_{cu}} - 1.645 S_{f_{cu}} \quad (1-3-31)$$

$$f_{cu,e2} = m_{f_{cu,min}} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^n f_{cu,min,j}^c \quad (1-3-32)$$

式中: $m_{f_{cu}}$ ——批抽检每个构件混凝土强度换算值中的平均值(MPa), 精确至0.1MPa;

$f_{cu,min,j}^c$ ——第 j 个构件混凝土强度换算值中的最小值(MPa), 精确至0.1MPa;

m ——批抽检的构件数。

$m_{f_{cu,min}}$ ——批抽检构件混凝土强度换算值最小值的平均值(MPa), 精确至0.1MPa, 按式(1-3-33)计算:

$$m_{f_{cu,min}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cu,i}^c \quad (1-3-33)$$

其中: $f_{cu,i}^c$ ——第 i 个测点混凝土强度换算值;

$S_{f_{cu}}$ ——批抽检构件混凝土强度换算值的标准差(MPa), 精确至0.1MPa, 按式(1-3-34)计算:

$$S_{f_{cu}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cu,i}^c)^2 - n(m_{f_{cu}})^2}{n-1}} \quad (1-3-34)$$

其中: n ——批抽检构件的测点总数;

取两式中较大值作为该批构件的混凝土强度推定值。

(3) 对于按批抽样检测的部件, 当全部测点的强度标准差出现下列情况时, 则该批构件应全部按单个构件检测。

当混凝土强度换算值的平均值小于或等于 25MPa 时, $S_{f_{cu}} > 4.5\text{MPa}$ 。

当混凝土强度换算值的平均值大于 25MPa 时, $S_{f_{cu}} > 5.5\text{MPa}$ 。

4. 注意问题

(1) 对结构或构件进行检测时, 应采取有效措施防止拔出仪及机具脱落摔坏或伤人。

(2) 当拔出试验出现异常时, 应做详细记录, 并将该值舍去, 在其附近补测一个点。

(3) 拔出试验后, 应对拔出试验造成的混凝土破损部位进行修补。

五、混凝土强度评定方法

1. 混凝土立方体试件的取样原则

结构混凝土立方体试验制取组数是以不同等级及不同配合比的浇筑地点或拌和地点随机制取, 浇筑一般体积的结构物(如基础、墩台)时, 每一单元结构应制取 2 组。连续浇筑大体积结构时, 每 8m^3 或每一工作班应制取 2 组。

桥梁上部构造主要构件长度在 16m 以下时应制取 1 组; 16~30m 时制取 2 组; 31~50m 长时应制取 3 组; 50m 以上者不少于 5 组。

对小型构件每批或每个工作班至少应制取 2 组; 对于钻孔桩每条至少应制取 2 组。

当桩长在 20m 以上时不少于 3 组; 对桩径大、灌注时间很长时不少于 4 组。另外还要根

据施工的需要,再另外制取几组作为拆模、张拉和吊装等施工阶段强度依据。

2. 结构混凝土强度评定

结构混凝土强度的合格标准评定的常规方法是在浇筑或拌和现场制取试件,以 28d 龄期的极限抗压强度值进行统计评定。规范规定,对于大桥等重要工程及中小桥、涵洞工程的取样试件大于或等于 10 组时,应以数理统计方法下述条件按评定:

$$\bar{R}_n - K_1 S_n \geq 0.9R \quad (1-3-35)$$

$$R_{\min} \geq K_2 R \quad (1-3-36)$$

小于 10 组时按下列条件评定:

$$\bar{R}_n \geq 1.15R \quad (1-3-37)$$

$$R_{\min} \geq 0.95R \quad (1-3-38)$$

六、混凝土构件缺陷的无损检测方法

可用于探伤的无损检测手段有超声脉冲法和射线法两大类,其中射线法因穿透能力有限,以及操作中需解决人体防护等问题,在我国使用较少。目前最有效的方法是超声脉冲法。

1. 混凝土超声探伤判别缺陷的基本依据

(1)根据低频超声在混凝土中遇到缺陷时的绕射现象,按声时及声程的变化,判别和计算缺陷的大小。

(2)根据超声波在缺陷界面上产生反射,因而到达接收探头时能量显著衰减的现象判断缺陷的存在及大小。

(3)根据超声脉冲各频率成分在遇到缺陷时被衰减的程度不同,因而接收频率明显降低,或接收波频谱产生差异,也可判别内部缺陷。

(4)根据超声波在缺陷处的波形转换和叠加,造成接收波形畸变的现象判别缺陷。

2. 声学参数测量

(1)声时测量时,应将发射换能(以下简称 T 换能器)和接收换能器(以下简称 R 换能器)分别耦合在测区同一测点对应位置上,用“衰减器”将接收信号首波调至一定高度,再调节游标脉冲,用其前沿对准首波前沿基线弯曲的起始点,读取调节游标脉冲,用其前沿对准首波前沿基线弯曲的起始点,读取声时值 t_i (精确至 $0.1\mu s$)。该测点混凝土声时值应按式(1-3-39)计算:

$$t_{ct} = t_i - t_0 \quad (1-3-39)$$

式中: t_{ct} ——第 j 点混凝土声时值(μs);

t_i ——第 i 点测读声时值(μs);

t_0 ——声时初读数,当采用厚度振动式换能器时,可参照仪器使用说明书测得,当采用径向振动式换能器时,可按“时—距”法测得。

(2)波幅测量时,应在保持换能器良好耦合状态下采用下列两种方法之一进行读数。

①刻度法:将衰减固定在某一衰减位置,从仪器波屏上读取首波幅度(格数)。

②衰减值法:采用衰减器将首波幅度调至一定高度(如 5mm 或刻度一格),读取衰减器上

的 dB 值。

(3) 频率测量时,应先将游标脉冲调至首波前半个周期的波谷(或波峰),读取声时值 t_1 (μs),再将游标脉冲调至相邻的波谷(或波峰),读取声时值 t_2 (μs),由此即可按式(1-3-40)计算出该点(第 i 点)第一周期波的频率 f_i (精确至 0.1kHz)。

$$f_i = \frac{1\,000}{t_2 - t_1} \quad (1-3-40)$$

(4) 波形观察时主要观察接收信号的波形是否畸变或观察包络线的形状,必要时可描绘或拍照。

(5) 声时初读数 t_0 的测定方法

超声波仪器上显示的发射和接收这两个信号之间的时间 t' ,除了超声波在被测物体中传播的时间外,尚包括以下几部分时间:电延迟时间、电声转换时间和声延迟时间。这三部分延迟构成了仪器粗读时间 t' 与超声波在被测物体中传播时间 t 的差异。这种时间上 t 的差异统称仪器零读数,常用符号 t_0 来表示。不同的超声仪,不同的换能器, t_0 值均不同,应分别标定。

① 平面振动式换能器声时初读数 t_0 的标定方法

a. 直接相对法

把发射、接收换能器隔着耦合剂层相对,直接用超声仪测量声时读数,此即为零读数 t_0 。适用于精度要求不高或测距较大的情况下标定。

b. 长短测距法

利用某种匀质材料(如有机玻璃)制成长方块或长度不同的两段。准确测量其长方向距离 l_1 和短距离 l_2 ,用超声波仪测量二方向的仪器读数 t_1 和 t_2 (以耦合剂耦合)。因为材料均匀两个方向的声速应相等,于是有:

$$\frac{l_1}{t_1 - t_0} = \frac{l_2}{t_2 - t_0} \quad (1-3-41)$$

则

$$t_0 = \frac{l_1 t_2 - l_2 t_1}{l_1 - l_2} \quad (1-3-42)$$

c. 标准试棒法

即制作一种标准棒,用已由上述方法取代了 t_0 值的设备(陈世友与换能器)来准确测出该试棒的“真正声时值”并刻在试棒上。当使用者欲测量自己设备的 t_0 值时,只需将换能器与标准棒对准(黄油耦合),测出仪器粗读时间 t' 与标准试棒上所标出的时间之差即设备的 t_0 值。

② 径向振动方式换能器声时初读数(t_0)的测量方法

将两个径向振动换能器保持其轴线相对平行,置于清水中同一水平高度,逐次调节两个换能器轴线间距,并测量其距离 l_i 和读取相应的声时值 t_i ($i=1,2$),由仪器、换能器及其高频电缆所产生的声时初读数 t_0 按式(1-3-43)计算:

$$t_0 = (l_1 \times t_2 - l_2 \times t_1) / (l_1 - l_2) \quad (1-3-43)$$

径向振动式换能器在钻孔中进行对测时,声时初读数应按式(1-3-44)计算:

$$t_{00} = t_0 + \frac{d_1 - d_2}{v_w} \quad (1-3-44)$$

式中: t_{00} ——孔中测试的声时初读数(μs);

t_0 ——仪器设备的声时初读数(μs);

d_1 ——钻孔直径(mm);

d_2 ——换能器直径(mm);

v_w ——水中声速,按水温查有关资料。

当采用一只厚度振动式换能器和一只径向振动式换能器进行检测时,声时初读数可取该厚度振动式换能器和径向振动式换能器的声时初读数之和的一半。

3. 测前准备

1) 测前应掌握和取得有关结构情况的资料

- (1) 工程和结构名称。
- (2) 混凝土原材料品种和规格。
- (3) 混凝土浇筑和养护情况。
- (4) 结构尺寸和配筋施工图或钢筋隐蔽图。
- (5) 结构外观质量及存在问题。

2) 对检测面的要求

测区混凝土表面应清洁、平整,必要时可用砂轮磨平或用高强度等级快凝砂浆抹平。换能器应通过耦合剂与结构表面接触,耦合层中不得夹杂泥沙或空气。

3) 测点间距

普测的测点间距宜为 200~500mm(平测法例外),对出现可疑数据的区域,应加密布点进行细测。

4) 换能器频率的选择

换能器频率的选择原根据测点间距和结构最小横截面尺寸进行选择。

5) 换能器的布置方法

- (1) 直穿法:两只换能器对面布置(直接传播)。
- (2) 斜穿法:两只换能器在相邻面布置(半直接传播)。
- (3) 平测法:两只换能器布置在同一表面(间接传播或表面传播)。
- (4) 钻孔法:一对换能器分别置于两个对应钻孔中,采用孔中对测、孔中斜测、孔中平测。

4. 混凝土缺陷检测

1) 混凝土均匀性检测

构件内部或各构件之间的混凝土不均匀性可引起脉冲速度的差异,这种差异又和质量的差别相连。脉冲速度的测量为研究匀质性提供了手段。而为达此目的,就得选定足以均匀地布置该混凝土结构一定体积的若干测点,测点间距一般为 200~500mm,测点布置时应避开与声波传播方向相一致的钢筋。

各测点的声速值按式(1-3-45)计算:

$$v_i = \frac{l_i}{t_{di}} \quad (1-3-45)$$

式中: v_i ——第 i 点混凝土声速值(km/s);

l_i ——第 i 点声径长度或称测距值(mm);

t_{di} ——第 i 点混凝土的声时值(μs)。

各测点混凝土的声速平均值 m 和标准差 S_r 及离差系数 C_v 分别按式(1-3-46)、式(1-3-47)

式(1-3-48)计算:

$$m_v = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \quad (1-3-46)$$

$$S_v = \sqrt{(\sum v_i^2 - nm_v^2)/(n-1)} \quad (1-3-47)$$

$$C_v = S_v/m_v \quad (1-3-48)$$

式中: m_v ——声速平均值(km/s);

n ——测点数;

v_i ——第 i 点的声速值(km/s);

S_v ——声速标准差;

C_v ——声速离差系数。

根据声速的标准差和离差系数,可以相对比较相同测距的同类结构或各部位混凝土均匀性的优劣。

2) 混凝土结合面质量检测

混凝土结合面(简称结合面),系指前后两次浇筑间隔时间大于 3h 的混凝土之间所形成接触面,如施工缝、修补加固等。

混凝土结合面检测时,被测部位及测点的确定应满足以下要求:

- (1) 测试前应查明结合面的位置及走向,以正确确定被测部位及布置测点。
- (2) 结构的被测部位应具有使声波垂直或斜穿结合面的一对平行测试面。
- (3) 所布置的测点应避开平行声波传播方向的主钢筋或预埋铁件。

混凝土结合面质量检测可采用斜测法布置测点,布置测点时应注意以下几点:

- ① 使测试范围覆盖全部结合面或有怀疑的部位。
- ② 各对 T、R 换能器连线的倾斜角及测距应相等。
- ③ 测点的间距视结构尺寸和结合面外观质量情况而定,可控制在 100~300mm。

按布置好的测点分别测出各点的声时、波幅和频率值对某一测区各测点声时、波幅和频率值分别进行统计和异常值判断,当通过结合面的某些测点的数据被判为异常,并查明无其他因素影响时,可判定混凝土结合面在该部位结合不良。

3) 混凝土表面损伤层检测

检测表面损伤厚度时,被测部位和测点的确定应满足以下要求:

- (1) 根据结构的损伤情况和外观质量选取有代表性的部位布置测区。
- (2) 结构被测表面应平整并处于自然干燥状态,且无接缝和饰面层。
- (3) 测点布置时应避免 T、R 换能器的连线方向与附近主钢筋的轴线平行。

表面损伤层检测宜选用频率较低的厚度振动式换能器。

测试时 T 换能器应耦合保持不动,然后将 R 换能器依次耦合在测点 1、2、3、...位置上,读取相应的声时值 t_1 、 t_2 、 t_3 、...,并测量每次 R、T 换能器之间的距离 l_1 、 l_2 、 l_3 、...。R 换能器每次移动的距离不宜大于 100mm,每一测区的测点数不得少于 5 个。

当结构的损伤层厚度不均匀时,应适当增加测区数。

以各测点的声时值 t_i 和相应测距值 l_i 绘制“时—距”坐标图。由图可以得到声速改变所形成的拐点,算出损伤混凝土的声速(v_f)和未损伤混凝土的声速(v_s)。

4) 混凝土不密实区和空洞检测

进行混凝土不密实区和空洞检测时,结构的被测部位及测区应满足以下要求:

(1)被测部位应具有一对(或两对)相互平行的测试面。

(2)测区的范围应大于有怀疑的区域。

(3)在测区布置测点时,应避免 T、R 换能器的连线与附近的主钢筋轴线平行。

根据被测结构实际情况,可按下列方法之一布置换能器。

①结构具有两对互相平行的测试面时可采用对测法。在测区的两对相互平行的测试面上,分别画间距为 200~300mm 的网络,并编号确定对应的测点位置。

②结构中只有一对相互平行的测试面时可采用斜测法。即在测区的两个相互平行的测试面上,分别画出交叉测试的两组测点位置。

③当结构的测试距离较大时,为了提高测试灵敏度,可在测区适当位置钻出平行于侧面的测试孔。测孔直径 40~50mm,深度视测试需要而定,结构侧面采用厚度振动换能器,用黄油耦合。测孔中有用径向振动式换能器,用水耦合。

每一测点的声时、波幅、频率和测距的测量,应分别按规定进行。测区混凝土声时(或声速)、波幅、频率测量值的平均值(m_x)和标准(S_x)应按式(1-3-49)、式(1-3-50)计算:

$$m_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (1-3-49)$$

$$S_x = \sqrt{(\sum_{i=1}^n X_i^2 - nm_x^2)/(n-1)} \quad (1-3-50)$$

式中: X_i ——第 i 点的声时(或声速)、波幅、频率的测量值;

n ——一个测区参与统计的测点数。

测区中的异常数据可按以下方法判别。

①将一测区各测点的波幅、频率或(由声时计算的)声速由大到小按顺序排列,即 $X_1 \geq X_2 \geq \dots \geq X_N \geq X_{N+1} \dots$,将排在后面明显小的数据视为可疑,再将这些可疑数据中最大的一个(假定 X_n)连同其前面的数据按公式计算出 m_x 及 S_x 值,并代入下面的公式(1-3-51),计算出异常情况的判断值(X_0)。

$$X_0 = m_x - \lambda_1 \cdot S_x \quad (1-3-51)$$

式中: λ_1 ——异常判定系数,按统计数的个数查表。

将判断值(X_0)与可疑数据的最大值(X_n)比较,如 X_n 小于或等于 X_0 ,则 X_n 及排列于其后的各数据均为异常值;当 X_n 大于 X_0 ,应再将 X_{n+1} 放进去重新进行统计计算和判别。若耦合条件保证不了测幅稳定,则波幅值不能作为统计法的判别。

②当测位中判出异常测点时,可根据异常测点的分布情况,按式(1-3-52)进一步判别其相邻测点是否异常:

$$X_0 = m_x - \lambda_2 S_x \text{ 或 } X_0 = m_x - \lambda_3 S_x \quad (1-3-52)$$

式中 λ_2 、 λ_3 按统计数的个数查表,当测点布置为网格状时取 λ_2 ,当单排布置测点(如在声测孔中检测)时取 λ_3 。

③当测区中某些测点的声速值、波幅值或频率值被判为异常值时,可结合异常测点的分布及波形状况确定混凝土内部存在不密实区和空洞的范围。

当判定缺陷是空洞时;可按以下的方法估算其尺寸。

④空洞尺寸估算方法

设检测距离为空洞中心(在另一对测试面上,声时最长的测点位置)距一个测试面的垂直距离为 l_h ,声波在空洞附近无缺陷混凝土中传播的时间平均值为 m_{ta} ,绕空洞传播的时间(空洞处的最大声时)为 t_h ,空洞半径为 r 。

根据 l_h/l 值和 $(t_h - m_{ta})/m_{ta} \times 100\%$ 值,查得空洞半径 r 与测距 l 的比值,再计算空洞大致尺寸 r 。

如被测部位只有一对可供测试的表面,空洞尺寸可用式(1-3-53)计算:

$$r = \frac{l}{2} \sqrt{\left(\frac{t_h}{m_{ta}}\right)^2 - 1} \quad (1-3-53)$$

式中: r ——空洞半径(mm);

l ——T、R 换能器之间的距离(mm);

t_h ——缺陷处的最大声时值(μs);

m_{ta} ——无缺陷区的平均声时值(μs)。

5) 浅裂缝检测

需要检测的裂缝中,不得有水或泥土等夹杂物。如有主钢筋穿过裂缝且与 T、R 换能器的连线大致平行,布置测点时应注意使 T、R 换能器连线至少与该钢筋轴线相距 1.5 倍的裂缝预计深度。

平测法:

当结构的裂缝部位只有一个可测表面,可采用平测法检测,平测时应在裂缝的被测部位以不同的测距同时按跨缝和不跨缝布置测点进行声时测量。

(1) 不跨缝声时测量:将 T 和 R 换能器置于裂缝同一侧,以两个换能器内边缘间距(l'),绘制“时—距”坐标图,用统计的方法求出两者的关系式。

每测点超声实际传播的距离应为:

$$l_i = l'_i + a \quad (1-3-54)$$

式中: l_i ——第 i 点的超声实际传播距离(mm);

l'_i ——第 i 点的 R、T 换能器内边缘间距(mm);

a ——“时—距”图中 l' 轴的截距或回归所得的关系式的常数项(mm)。

(2) 跨缝的声时测量:将 T、R 换能器分别置于以裂缝为轴线的对称两侧,两换能器中心连线垂直于裂缝走向,以 $l' = 100\text{mm}$ 、 150mm 、 200mm 、 250mm 、 300mm 、... 分别读声时值 t_i^0 。

(3) 当结构的裂缝部位具有两个相互平行的测试表面时,可采用斜测法检测。将 T、R 换能器分别置于对应测点 1、2、3、... 的位置,读取相应声时值 t_i 和波幅值 A_i 及频率值 λ 。

(4) 平测法的裂缝深度可按式(1-3-55)计算:

$$d_{ci} = \frac{l_i}{2} \sqrt{\left(\frac{t_i^0}{t_i}\right)^2 - 1} \quad (1-3-55)$$

式中: d_{ci} ——裂缝深度(mm);

t_i 、 t_i^0 ——分别代表测距为 l_i 时不跨缝、跨缝平测的声时值(μs)。

以不同测距取得的 d_{ci} 的平均值作为该裂缝的深度值 (d_c)。如所得的 d_c 值大于原测距中任一个 l'_i , 则应把该 l'_i 距离的 d_{ci} 舍弃后重新计算 d_c 值。

(5) 裂缝深度的确定方法

a 跨裂缝测量中, 当在某测距发现首波反向时, 可用该测距及两个相邻测距的测量值计算的 h_{ci} 值, 取此三点的平均值作为裂缝深度值;

b 难于发现首波反向时, 将 l'_i 与 m_{bc} 相比较, 凡测距 l'_i 小于 m_{bc} 和大于 $3m_{bc}$, 应剔除该组数据, 然后取余下 h_{ci} 的平均值, 作为该裂缝的深度值 (h_c)。

双面斜测法

当结构的裂缝部位具有两个相互平行的测试表面时, 可采用双面斜测法检测, 如图 3-3-1 所示, 将 T、R 换能器分别置于两测试表面对应测点 1、2、3... 的位置, 读取相应声时值 t_i 、波幅 A_i 及主频率 f_i 。如 T、R 换能器的连线通过裂缝, 则接收信号的波幅和频率明显降低, 根据波幅和频率的突变, 可以判定裂缝深度以及是否在平面反向贯通。

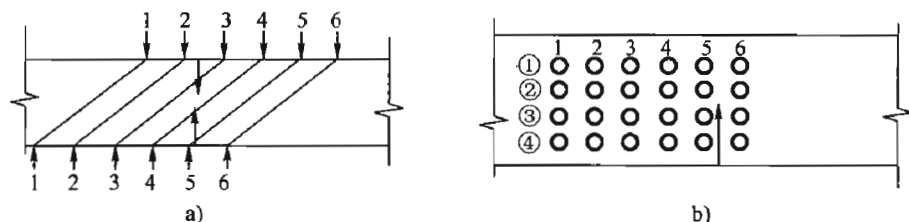


图 3-3-1 倾斜测裂缝测点布置示意图

a) 平面图; b) 立面图

6) 深裂缝检测

(1) 被检测结构应满足下列要求:

- ① 允许在裂缝两旁钻测试孔。
- ② 裂缝中不得充水或泥浆。

(2) 被测结构上钻取的测试孔应满足下列要求:

- ① 孔径应至少比裂缝预计深度深 700mm, 经测试如浅于裂缝深度, 则应加深钻孔。
- ② 对应的两个测试孔, 必须始终位于裂缝两侧, 其轴线应保持平行。
- ③ 两个对应测试孔的间距宜为 2000mm, 同一结构的各对应测孔间距应相同。
- ④ 宜在裂缝一侧多钻一个较浅的孔, 测试无缝混凝土的声学参数, 供对比判别之用。

(3) 深裂缝检测应选用频率为 20~40kHz 的径向振动式换能器, 并在其接线上做出等距离标志 (一般间隔 100~500mm)。

(4) 测试前应先向测试孔中注满清水, 然后将 T 和 R 换能器分别置于裂缝两侧的对应对应孔中, 以相同高程等间距从上至下同步移动, 逐点读取声时、波幅和换能器所处的深度。

(5) 以换能器所处深度 (d) 与对应的波幅值 (A) 绘制 $d-A$ 坐标图。随着换能器的下移, 波幅逐渐增大, 当换能器下移至某一位置后, 波幅达到最大值并基本稳定, 该位置所对应的深度便是裂缝深度 d_c 。

第五节 预应力锚具、夹具和连接仪器的检测

锚具是在后张法预应力结构或构件中为保持预应力筋的张拉力将其传递到混凝土上所用的永久性锚固装置。

夹具是先张法预应力混凝土结构或构件施工时,为保持预应力筋的拉力并将其固定在张拉台座(或设备)上的临时性锚固装置;或者为后张法预应力结构或构件施工时,能将千斤顶(或其他张拉设备)的张拉力传递到预应力筋上的临时性锚固装置(又称工具锚)。

连接器为用于连接预应力筋的装置。

一、产品分类与代号

(1)锚具、夹具和连接器按锚固方式不同,可分为夹片式、支撑式、锥塞式和握裹式四种。

(2)锚具、夹具和连接器的代号可以用两个汉语拼音字母表示。第一位字母为预应力体系代号,由研制单位选定,无研制单位者可省略不写。第二位字母为锚具(M)、夹具(J)和连接器(L)代号。锚具、夹具和连接器的标记由代号、预应力钢材直径、预应力钢材根数三部分组成。例:锚固9根直径15.2mm预应力混凝土用钢绞线的QM型群锚锚具,标记为QM15—9。

二、常规检测项目及抽样方法

(1)常规检测项目有外观、硬度和静载锚固性能试验。

(2)同一类产品、同一原材料,用同一种工艺一次投料生产的产品为一组批,每个抽检组批不得超过1000套。外观检测抽取10%,且不少于10套。对其中有硬度要求的零件做硬度检验,硬度检验抽取5%。静载锚固性能检验抽取3套试件的锚具、夹具和连接器。

(3)疲劳试验和周期性荷载试验及辅助性试验各抽取3套试件。

预应力锚具按锚固性能分为I类和II类两种,I类锚具用于承受动、静载作用的预应力混凝土结构,II类锚具仅用于有黏结的预应力混凝土结构中预应力筋应力变化不大的部位。

三、技术要求

1. 锚具

(1)锚具静载锚固性能由预应力锚具组装件的静载试验测定的锚具效率系数 η_a 和达到实测极限拉力时的总应变 ϵ_{apu} 来确定。锚具静载锚固性能符合下列要求:

$$\eta_a \geq 0.95, \epsilon_{apu} \geq 2.0\% \quad (1-3-56)$$

(2)在预应力筋—锚具组装件达到实测极限应力时,应当是由于预应力筋的断裂,而不是由于夹具的破坏所致。

(3)预应力筋—锚具组装件,尚需满足循环次数为200万次的疲劳性能试验。即经过200万次循环荷载后,锚具零件不应疲劳破坏。预应力筋在锚具夹持区域发生疲劳破坏的截面面积不应大于试件总截面面积的5%。

(4)用于抗振要求结构的锚具,预应力筋—锚具组装件还应满足循环次数为50次的周期荷载试验。即试件经50次循环荷载后预应力筋在锚具夹持区域不应发生破断、滑移和夹片松脱现象。

(5)锚固过程中预应力筋的内缩量不大于6mm。

(6)锚口摩阻力不大于2.5%。

2. 夹具

(1)夹具的效率系数要求:

$$\eta_a \geq 0.92$$

(1-3-57)

(2)在预应力筋—夹具组装件达到实测极限应力时,应当是由于预应力筋的断裂,而不是由于夹具的破坏所致。而夹具的全部零件均不应出现肉眼可见的裂缝或破坏。夹具应具有良好的自锚性能、松锚性能和重复使用性能。

(3)连接器

在先张法或后张法施工中,在张拉预应力后永久留在混凝土结构或构件中的连接器必须符合锚具的性能要求;若在张拉后还需放张和拆卸的连接器必须符合夹具的要求。

四、静载锚固性能试验

1. 试验要求

(1)试验用的预应力筋—锚具、夹具或连接器组装件应由全部零件和预应力筋组装而成。组装时零件必须擦拭干净,不得在锚固零件上添加影响锚固性能的物质。束中各根预应力筋应等长平行,其受力长度不得小于 3m。

(2)对于预应力筋在锚具夹持部位不弯折的组装件,可以不安装结束口状的锚下垫板;如预应力筋在锚具夹持部位有偏转角度而必须使预应力钢材在某个位置弯折时,可以在此处安装轴向可移动的偏转装置。

(3)单根钢绞线的组装试件,不包括夹持部分的受力长度不应小于 0.8m,并参照试验设备确定。

(4)试验用预应力钢材应经过选择,全部力学必须严格符合标准要求,同时其直径公差应在锚具、夹具和连接器产品设计的允许范围之内。对符合要求的预应力钢材应先进行母材性能试验,试件不应少于 3 根,证明符合标准要求后才可用于组装件试验。

(5)在锚具确定适用于某一等级的预应力钢材后,试验用的预应力钢材生存极限抗拉强度平均值 f_{pm} 不应高于产品系列中高一级的抗拉强度标准值 f_{ptk} 。

(6)试验用的测力系统,其不确定度不得大于 2%;测量总应变的量具,其标注不确定度不得大于标距的 0.2%,指示应变的不确定度不得大于 0.1%。

2. 试验方法

1)对于先安装锚具、夹具或连接器再张拉预应力筋的预应力体系,可直接用试验机或试验台座加载。加载前必须将各根预应力钢材的初应力调匀,初应力可取钢材抗拉强度标准值 f_{ptk} 的 5%~10%。正确的加载步骤为:按预应力钢材抗拉强度标准值的 20%、40%、60%、80%分 4 级等速加载,加载速度宜为 100MPa/min,达到 80%后持荷 1h,再逐步加到破坏。

(1)在试验过程中测量项目

①有代表性的若干根预应力钢材与锚具、夹具或连接器之间在预应力筋应力达到 $0.8f_{ptk}$ 时的相对位移 Δa 。

②锚具、夹具或连接器若干有代表性的零件之间在预应力筋应力达到 $0.8f_{ptk}$ 时的相对位移 Δb 。

③试件的实测极限拉力 F_{apu} ,将其代入式(1-3-58)。

计算静载锚固效率系数 η_k :

$$\eta_k = \frac{F_{apu}}{\eta_p F_{pm}} \quad (1-3-58)$$

式中: F_{apu} ——预应力筋—锚具组装件的实测极限拉力;

F_{pm} ——按预应力钢材试件实测评断荷载平均值计算的预应力筋的实际平均极限抗拉力；

η_p ——预应力筋—锚具组装件中预应力钢材为 1~5 根时， $\eta_p=1$ ；6~12 根时， $\eta_p=0.99$ ；13~19 根时， $\eta_p=0.98$ ；20 根以上时， $\eta_p=0.97$ 。

④达到实测极限拉力时的总应变 ϵ_{apu} ，由式(1-3-59)计算：

$$\epsilon_{apu} = \frac{L_2 - L_1 - \Delta a}{L_0} \times 100\% \quad (1-3-59)$$

式中： L_1 ——千斤顶活塞初始行程读数；

L_2 ——试件破坏时活塞终了行程读数；

Δa ——预应力钢材与锚具、夹具或连接器专家在预应力筋达到极限拉力 F_{apu} 时的相对位移。

(2)试验过程中应观察的项目

①在预应力筋达到 $0.8f_{ptk}$ 时持荷 1h，观察锚具、夹具或连接器的变形。

②试件破坏的部位和形式。

a. 用试验机进行单根预应力筋—锚具组装件试验时，在应力达到 $0.8f_{ptk}$ 时，持荷时间可以缩短，但不少于 10min。

b. 对于先张拉预应力筋再锚固的预应力体系，应先用施工用的张拉设备，按预应力钢材抗拉强度标准值的 20%、40%、60%、80% 分 4 级等速张拉达到 80% 后锚固，持荷 1h，再用试验设备逐步加载至破坏。

五、其他试验

1. 疲劳试验

预应力锚具组装件进行疲劳试验时，应根据预应力筋种类不同选取试验应力上限和应力幅度。

(1)预应力筋为钢丝、钢绞线或热处理钢筋时，试验应力上限取预应力钢材抗拉强度标准值的 65%，应力幅度取 80MPa。

(2)预应力筋为冷拉 II、III、IV 级钢筋时，试验应力上限取预应力钢材的抗拉强度标准值的 80%，应力幅度取 80MPa。

试验选用的疲劳试验机(一般采用脉冲千斤顶)的脉冲频率不应超过 500 次/min。

疲劳试验时以 100MPa/min 的速度加载至试验应力的下限值，再调节应力幅度达到规定值后，开始记录循环次数。试验过程中观察记录锚具和连接器部件与钢绞线疲劳损伤情况及变形情况，疲劳的钢绞线的断裂位置、数量和相应的疲劳次数。并用标准表记录疲劳试验结果。

2. 周期荷载试验

进行周期荷载试验时，预应力钢材为钢丝、钢绞线或热处理钢筋时，试验应力上限取预应力钢材抗拉强度标准值的 80%，下限取预应力钢材抗拉标准值的 40%。

预应力钢材为冷拉 II、III、IV 级钢筋时，试验应力上限取预应力钢材抗拉强度的标准值，下限取预应力钢材抗拉强度标准值的 40%。周期荷载设备、仪器的锚具组装形式和静载试验相同。

组装好试件后,以约 100MPa/min 的速度加载至试验应力上限值,再卸荷至试验应力下限值为第一周期,然后荷载自下限值经上限值再回复到下限值为一个周期。依此程序重复 50 个周期,并用标准表记录周期荷载试验结果。

3. 辅助性试验

对于新型锚具、夹具和连接器应进行辅助性试验,包括锚具、夹具的内缩量试验、锚口摩阻损失试验和张拉锚固工艺试验。

(1) 锚具和夹具的内缩量试验

内缩量试验使用的设备、仪器及试件安装与静载试验相同,试验施加的张拉力力有关规范规定的最大张拉控制应力,内缩量可测量锚固处预应力筋相对位移计算出。试件组装后测量每根预应力筋的 a_i 值,用试验设备张拉试件至预应力筋张拉控制应力后锚固,测量每根预应力筋的 a_i' 值,计算出每根预应力筋的内缩量 Δa_i 和锚具组装件的内缩量 Δa :

$$\begin{aligned}\Delta a_i &= a_i - a_i' \\ \Delta a &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta a_i\end{aligned}\quad (1-3-60)$$

式中: n ——锚具组装件中预应力筋的根数。

内缩量试验试件数不少于 3 个,试验结果取其平均值,并用标准表记录。

(2) 锚口摩阻损失试验

锚口摩阻损失试验使用的设备和仪器也和静载试验相同,试件安装好后,用试验设备张拉组装件至预应力筋的张拉控制应力,进行锚固,测出锚具前后预应力筋拉力差值 ΔF 。按式 (1-3-61) 计算锚口摩阻损失:

$$u = \frac{\Delta F}{n p F_{pk}} \times 100\% \quad (1-3-61)$$

式中: n ——锚具组装件中预应力筋的根数;

F_{pk} ——预应力筋抗拉强度标准值;

p ——最大张拉控制应力与预应力筋抗拉强度值标准之比,对钢丝和钢绞线 $p=0.8$,对于冷拉粗钢筋 $p=0.95$ 。

锚口摩阻损失试验试件数不应少于 3 个,试验结果取其平均值,并用标准表记录。

(3) 张拉锚固工艺试验

试验设备仪器及试件组装形式与静载试验相同,用试验设备按预应力筋最大张拉控制应力 25%、50%、75% 和 100% 分 4 级张拉锚具组装件,每张拉 1 级荷载锚固 1 次,张拉完毕后,放松张拉应力。通过张拉、锚固工艺试验作如下观察:

- ① 分级张拉或因张拉设备倒换行程需要临时锚固的可能性。
- ② 经过多次张拉锚固后预应力筋内各根预应力钢材受力的均匀性。
- ③ 张拉发生故障时,将预应力筋全部放松的可能性。

六、检测结果判定

1. 外观检验

如表面无裂缝,影响锚固能力的尺寸符合设计要求,应判定为合格;如此尺寸有一套结果记录表格超过允许偏差,应另取双倍数量的试件重做检验,如仍有一套试件不符合要求,则应逐套检查,合格者方可使用。如发现一套有裂纹,即应对全部产品进行逐件检验,合格者方可

使用。

2. 硬度检验

硬度检验每个零件测试3点,当硬度值符合设计要求的范围应判为合格。如有1个零件不合格,则应另取双倍数量的零件重做检验;如仍有1个零件不合格,则应逐个检验,合格者方可使用。

3. 静载锚固能力检验

静载试验应连续进行3个组装件的试验,全部试验结果均应做出记录,并计算锚具、夹具或连接器的锚固效率系数和相应的总应变。三个结果均应满足规定,不得进行平均。若有一个试件不符合要求,则另取双倍数量的零件重做检验;如仍有一个试件不合格,则该批为不合格。

第六节 张拉设备校验

常用的张拉设备由油压千斤顶和配套的高压油泵、压力表以及外接油管等组成。

一、张拉设备校验时间的规定

- (1) 新千斤顶初次使用前。
- (2) 油压表指针不能退回零时。
- (3) 千斤顶、油压表和油管更换或维修后。
- (4) 当千斤顶使用超过6个月或张拉超过200次以上。
- (5) 在使用过程中出现其他不正常现象。

二、用长柱压力试验机校验

压力试验机的精度不得低于 $\pm 2\%$ 。校验时,应采取被动校验法,即在校验时用千斤顶顶试验机,这样活塞运行方向、摩擦力的方向与实际工作时相同,校验比较准确。

用压力试验机校验的步骤如下。

- (1) 千斤顶就位当校验穿心式千斤顶时,将千斤顶放在试验机台面上、千斤顶活塞面或撑套与试验机压板紧密接触,并使千斤顶与试验机的受力中心线重合。
- (2) 校验千斤顶开动油泵,千斤顶进油,使活塞杆上升,顶试验机上压板。在千斤顶顶试验机的平缓增加负荷的过程中(此时不得用试验机压千斤顶),自零位到最大吨位将试验机被动标定的结果逐点标定到千斤顶的油压表上。

标定点应均匀地分布在整個测量范围内,且不少于5点,当采用最小二乘法回归分析千斤顶的标定经验公式时需10~20点。各标定点应重复标定3次,取平均值,并且只测读进程,不得读回程。

- (3) 对千斤顶校验数值采用标准表记录,并可根据校验结果绘制千斤顶校验曲线供预应力筋钢材张拉时使用,亦可采用最小二乘法求出千斤顶校验的经验公式,供预应力筋张拉时使用。

三、用标准测力计校验

用水银压力计、测力环、弹簧拉力计等标准测力计校验千斤顶,是一种简单可靠的方法。校验时,开动油泵,千斤顶进油,活塞杆推出,顶压测力计。当测力计达到一定吨位 T_1 时,立

即读出千斤顶油压表相应读数 P_1 , 同样方法可得 T_2, P_2, T_3, P_3 ; 此时 $T_1, T_2, T_3, \dots$ 即为相应于油压表读数 $P_1, P_2, P_3, \dots$ 的实际作用力。将测得的各值绘成曲线, 实际使用时, 即可由此曲线找出要求的 T 值和相应的 P 值。

四、用电测传感器校验

传感器是在金属弹性元件表面贴上电阻应变片所组成的一个测力装置。当金属元件受外力作用变形后, 电阻片也相应变形而改变其电阻值。改变的电阻值通过电阻应变仪测定出来, 即可从预先标定的数据中查出外力的大小。将此数据再标定到千斤顶油压表上, 即可用以进行作用力的控制。

第七节 悬吊结构试验检测

悬吊结构桥梁主要包括斜拉桥和悬索桥(吊桥), 这两种桥型近十年来在我国发展很快, 其检测体系有待于完善。

一、斜拉桥施工控制与测试

1. 结构分析

(1) 结构分析时要选用合理的计算图式, 考虑施工过程中结构的逐步形成和体系转换、临时支承的设置和卸除, 以及结构各部分的强度增长, 合理估计主梁架设过程中各阶段的施工荷载。

(2) 结构分析计入非线性影响。结构分析要计入混凝土收缩徐变对结构变形和内力的影响, 考虑温度对变形和内力的影响, 还应考虑风荷载等偶然因素对结构内力的不利影响分析控制。

(3) 由于斜拉桥施工过程中受力变形的影响因素(混凝土收缩、徐变、温度), 变化的复杂性、随机性和不可逆性, 使得精确地计算斜拉桥施工过程变形十分困难, 所以工程界提出了不同的算法模拟斜拉桥施工中的行为, 如倒拆法、正算法。

2. 施工控制的原则与方法

一般斜拉桥施工时, 主梁架设阶段确保主梁的线形顺直正确是第一位的, 即以高程控制为主。

二期恒载施工时为保证结构的整体受力变形处于理想状态, 拉索张拉时以索力控制为主。

3. 施工测试

施工测试的主要内容如下。

(1) 结构的几何位置和变形。主要观测主梁轴线和索塔顶端位置, 主梁挠度和塔顶水平位移, 测试设备为: 精密水准仪、经纬仪、测距仪等。

(2) 应力测试。主要测试斜拉索索力、支座反力和主梁、塔的应力在施工中的变化。主梁和索塔中的应力可以预埋钢弦式应变计测试。

(3) 温度测试。观测主梁、索塔和斜拉索的温度, 以确定结构温度, 监控主梁挠度和索塔位移随温度和时间变化规律。测定温度时可采用热电偶、红外温度计等测试。

二、索力测试

斜拉桥斜拉索索力测定的方法如下:

(1) 电阻应变片测定法。

- (2)拉索伸长量测定法。
- (3)索拉力垂度关系测定法。
- (4)张拉千斤顶测定法。
- (5)压力传感器测定法。
- (6)振动测定法。

方法(1)~(3)从理论上讲是可行的,但实施会遇到较多的实际问题,一般不予采用;方法(4)、(5)测定拉索张拉过程的索力变化较方便,但不能测定成桥后索力;振动测定法实测斜拉索的固有频率,利用索的张力和固有频率的关系计算索力。

振动法可采用激振器激振或人工激振,亦可采用环境随机振动法。测试时用索夹或绑带将传感器固定在拉索上,进行激振和信号采集,现场分析,可以很方便测求索力。

经理论分析知拉索初应力较小时计算索力应计入垂度的影响。为了减小垂度对实测索力的影响,建议采用4阶以上频率计算索力。

第八节 钢结构无损检测

一、超声波探伤方法

1. 脉冲反射法

(1)纵波探伤

超声波垂直入射到工件中,当通过界面A缺陷和底面B时,均有部分超声波反射回来,这些反射波各自经历了不同的往返路程回到探头上,探头又重新将其转变为电脉冲,经接收放大器放大后,即可在荧光屏上显现出来。其对应各点的波型分别称为始波(A')、缺陷波(F')和底波(B')。当被测工件中无缺陷存在时,则在荧光屏上只能见到始波A'和底波B'。缺陷的位置(深度AF)可根据各波形之间的间距之比等于所对应的工件中的长度之比求出,即:

$$AF = \frac{AB}{A'B'} \times A'F' \quad (1-3-62)$$

其中AB是工件的厚度,可以测出;A'B'和A'F'可从荧光屏上读出。

缺陷的大小可用当量法确定。这种探伤方法叫纵波探伤或直探头探伤。振动方向与传播方向相同的波称纵波;振动方向与传播方向相垂直的波称横波。

(2)横波脉冲反射法

当入射角不等于零的超声波入射到固体介质中,且超声波在此介质中的纵波和横波的传播速度均大于在入射介质中的传播速度时,则同时产生纵波和横波。又由于材料的弹性模量E总是大于剪切模量G,因而纵波传播速度总是大于横波的传播速度。根据几何光学的折射规律,纵波折射角也总是大于横波折射角。当入射角取得足够大时,可以使纵波折射角等于或大于90°,从而使纵波在工件中消失,这时工件中就得到了单一的横波。横波入射工件后,遇到缺陷时便有一部分被反射回来,即可以从荧光屏上见到脉冲信号;若探头离工件端面很近,会有端面反射,因此应该注意与缺陷区分;若探头离工件端面很远且横波又没有遇到缺陷,有可能由于过度衰减而出现单波情况(超声波在传播中存在衰减)。

横波探伤的定位在生产中采用标准试块调节或三角试块比较法。缺陷的大小同样用当量法确定。

2. 穿透法

穿透法是根据超声波能量变化情况来判断工件内部状况的,它是将发射探头和接收探头分别置于工件的两相对表面。发射探头发射的超声波能量是一定的,在工件不存在缺陷时,超声波穿透一定工件厚度后,在接收探头上所接收到的能量也是一定的。而工件存在缺陷时,由于缺陷的反射使接收到的能量减小,从而断定工件存在缺陷。

根据发射波的不同种类,穿透法有脉冲波探伤法和连续波探伤法两种。

穿透法探伤的灵敏度不如脉冲反射法高,且受工件形状的影响较大,但较适宜检查成批生产的工件。如板材一类的工件,可以通过接收能量的精确对比而得到高的精度。

二、射线探伤

射线探伤是利用射线可穿透物质和在物质中有衰减的特性来发现缺陷的一种探伤方法。按探伤所用的射线不同,射线探伤可以分为 X 射线、 γ 射线和高能射线探伤三种。

1. X 射线照相法的探伤原理

照相法探伤是利用射线在物质中的衰减规律和对某些物质产生的光化及荧光作用为基础进行探伤的。从射线强度的角度看,当照射在工件上射线强度为 J_0 ,由于工件材料对射线的衰减,穿过工件的射线被减弱至 J_1 。若工件存在缺陷时,因该点的射线透过的工件实际厚度减少,则穿过的射线强度 J_1 、 J_2 比没有缺陷的点的射线强度大一些。从射线对底片的光化作用角度看,射线强的部分对底片的光化作用强烈,即感光量大。感光量较大的底片经暗室处理后变得较黑。因此,工件中的缺陷通过射线在底片上产生黑色的影迹,这就是射线探伤照相法的探伤原理。

2. X 射线探伤照相法的工序

(1)确定产品的探伤位置和对探伤位置进行编号。在探伤工作中,抽查的焊缝位置一般选在:①可能或常出现缺陷的位置;②危险断面或受力最大的焊缝部位;③应力集中的位置。

对选定的焊缝探伤位置必须按一定的顺序和规律进行编号,以便容易找出翻修位置。

(2)选取软片、增感屏和增感方式,探伤用的软片一般要求反差高、清晰度高和灰雾少。增感屏和增感方式可根据软片或探伤要求选择。

(3)选取焦点、焦距和照射方向。照射方向尤其重要,一定选择最佳透照角度。

(4)放置铅字号码、铅箭头及象质计。一定按《钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级》(GB 3323)要求放置。

(5)选定曝光规范。曝光规范要根据探伤机型事先作出,探伤时按工件的厚度和材质选取。

(6)进行暗室处理。

三、磁粉检测法和渗透检测法

1. 磁粉检测法

用于检测磁性材料和构件表面的裂纹以及其他缺陷。检测方法:先将构件磁化后,在构件表面上均匀喷撒微颗粒的磁粉(磁粉平均粒径为 $5\sim 10\mu\text{m}$),一般用四氧化三铁或三氧化二铁

作为磁粉。如果构件没有缺陷,则磁粉在构件表面均匀分布。当构件上有缺陷时,由于缺陷(如裂纹、气孔等)内含有空气或非金属,其磁导率永远小于构件的磁导率;由于磁阻的变化,位于构件表面或近表面的缺陷处产生漏磁场,形成一个小磁极。磁粉将被小磁极所吸引,缺陷处由于堆积比较多的磁粉而被显示出来,形成肉眼可以看到的缺陷图像。

2. 渗透检测法

液体渗透检测法是利用黄绿色的荧光渗透液或红色的着色渗透液对窄狭缝隙良好的渗透性,经过渗透清洗、显示处理以后显示放大的探伤显示痕迹。用目测法来观察,对缺陷的性质和尺寸作出适当的评价。

复习思考题

一、单项选择题

1. 公路桥梁矩形普通氯丁胶支座,短边尺寸为 300mm、长边尺寸为 400mm、厚度为 47mm 的支座,表示为()。

A. GJZ400×300×47(CR)

B. GJZ300×400×47(NR)

C. GJZ300×400×47(CR)

D. GYZF300×400×47(CR)

2. 氯丁橡胶支座适用温度为()。

A. $-25^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$

B. $-35^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$

C. $-15^{\circ}\text{C}\sim 80^{\circ}\text{C}$

D. $-20^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$

3. 板式桥梁橡胶支座检验试样试验前应暴露在标准温度为()下,停放 24h 以使试样内外温度一致。

A. $23^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$

B. $20^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$

C. $23^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$

D. $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$

4. 板式桥梁橡胶支座检验试验机的级别为 1 级示值相对误差允许值为 1.0%,试验机正压力使用可在最大压力值的范围为()。

A. 1%~90% 范围内

B. 0.4%~90%

C. 20%~90%

D. 20%~80%

5. 梳齿板式伸缩装置其伸缩体由钢制梳齿板组合而成的伸缩装置。一般适用于伸缩量为()。

A. 600mm 以下

B. 120mm 以下

C. 80mm 以下

D. 300mm 以下

6. 正常混凝土的波速范围一般在下列哪个范围()。

A. 2 500~3 500m/s

B. 3 500~4 500m/s

C. 4 500~5 500m/s

D. 2 000~6 000m/s

7. 橡胶支座检验时环境温度和相对湿度要求是()。

A. $20\pm 2^{\circ}\text{C}$, $(60\pm 5)\%$

B. $23\pm 5^{\circ}\text{C}$, $(65\pm 5)\%$

C. $20\pm 5^{\circ}\text{C}$, $(60\pm 5)\%$

D. $20\pm 2^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 $\geq 90\%$

8. 抗剪老化试验将试样置于老化箱内,在 $70^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 温度老化时间为()。

A. 24h

B. 72h

C. 1 000h

D. 48h

9. 锚具硬度检验每个的测试点数为()。

A. 12 个

B. 3 个

C. 6 个

D. 1 个

10. 回弹法测点宜在测区范围内均匀分布,相邻两测点的净距一般不小于()。

A. 10mm

B. 20mm

C. 30mm

D. 200mm

11. 锚具静载锚固性能符合下列要求()。

A. $\eta_a \geq 0.90$, $\epsilon_{apu} \geq 2.0\%$

B. $\eta_a \geq 0.95$, $\epsilon_{apu} \geq 2.0\%$

C. $\eta_a \geq 0.90, \epsilon_{apu} \geq 1.7\%$

D. $\eta_a \geq 0.95, \epsilon_{apu} \geq 1.7\%$

12. 周期荷载试验组装好试件后,以约 100MPa/min 的速度加载至试验应力上限值,再卸荷至试验应力下限值为第一周期,然后荷载自下限值经上限值再回复到下限值为一个周期。重复次数为()。

A. 100 万次

B. 200 次

C. 50 次

D. 200 万次

13. 混凝土均匀性检测测点布置时应避开与声波传播方向相一致的钢筋,间距一般为()。

A. 不大于 250mm

B. 200~500mm

C. 300~500mm

D. 50~100mm

14. 静载锚固性能试验试验用的预应力筋—锚具、夹具或连接器组装件应由全部零件和预应力筋组装而成。束中各根预应力筋应等长平行,其受力长度不得小于()。

A. 60cm

B. 3m

C. 30d

D. 10d

15. 调试超声波检测仪时,测得 $t_0 = 5\mu s$,已知某测点声距 $L = 40cm$,仪器显示声时为 105 μs ,则超声波在混凝土中传播的声速为()。

A. 3 636m/s

B. 3 810m/s

C. 4 000m/s

D. 3 000m/s

二、多项选择题

1. 桥面构造包括()。

A. 桥面铺装

B. 排水管

C. 伸缩缝

D. 人行道

E. 锥坡

2. 抗压弹性模量检验预压时应符合下列要求()。

A. 将压应力以 0.03~0.04MPa/s 速率加压至 $\sigma = 10MPa$

B. 将压应力以 1MPa/s 速率加压至 $\sigma = 10MPa$ 。

C. 持荷 3min,然后卸至 1.0MPa

D. 持荷 5min,然后卸至 1.0MPa

E. 持荷 2min,然后卸至 1.0MPa

3. 经端面补平后的芯样高度应符合下列要求()。

A. 小于 2.05d

B. 小于 2.0d

C. 大于 0.95d

D. 大于 0.90d

E. 在 0.85d~2.1d 之间

4. 下列哪些情况回弹值应进行修正()。

A. 回弹仪非水平方向检测混凝土浇筑侧面

B. 回弹仪水平方向检测混凝土浇筑表面

C. 回弹仪水平方向检测混凝土浇筑侧面

D. 混凝土表面碳化深度为 2mm

E. 回弹仪非水平方向检测混凝土浇筑底面

5. 锚具的试验项目包括()。

A. 静载试验

B. 动载试验

C. 周期性荷载试验

D. 辅助性试验

6. 模数式橡胶伸缩装置作相对错位试验包括()。

A. 纵向错位

B. 横向错位

C. 切线向错位

D. 竖向错位

7. 超声法检测浅裂纹时,应注意()。

A. 裂缝预计深度 $\leq 500mm$

B. 换能器对称裂缝轴线布置

- C. 混凝土中应无主钢筋
8. 混凝土缺陷检测换能器的布置方法有()。
- A. 直穿法 B. 斜穿法 C. 平测法 D. 钻孔法 E. 孔外法
9. 回弹法检测混凝土强度同批构件的条件是()。
- A. 混凝土强度等级相同 B. 混凝土原材料、配合比相同
- C. 成型工艺相同 D. 养护条件基本相同
- E. 所处环境状态相同
10. 回弹法测强适应混凝土抗压强度为()
- A. 15MPa 以上的混凝土 B. 20~60MPa 混凝土
- C. 30MPa 以上混凝土 D. 10~60MPa 混凝土
11. 混凝土立方体试件的取样原则规定()。
- A. 浇筑一般体积的结构物(如基础、墩台)时,每一单元结构应制取 2 组
- B. 连续浇筑大体积结构时,每 80m³ 或每一工作班应制取 1 组
- C. 构件长度在 16m 以下时应制取 2 组
- D. 31~50m 长时应制取 3 组
- E. 构件长度 50m 以上者不少于 5 组
12. 锚具、夹具和连接器按锚固方式不同,可分为()。
- A. 夹片式 B. 支撑式 C. 锥塞式 D. 握裹式 E. 螺纹锚固
13. 张拉设备校验时间的规定为()。
- A. 新千斤顶初次使用前 B. 油压表指针不能退回零时
- C. 千斤顶、油压表和油管更换或维修后 D. 张拉大型构件前
- E. 在使用过程中出现其他不正常现象
14. 斜拉桥施工测试的主要内容有()。
- A. 结构的几何位置 B. 应力测试
- C. 结构变形 D. 温度测试
- E. 频率测试
15. 钢结构无损检测方法有()。
- A. 超声波探伤方法 B. X 射线探伤方法
- C. 高能射线探伤 D. 激光探伤方法
- E. 磁粉检测法

三、判断题

1. 回弹法相邻两测区的间距应控制在 2m 以内,测区离构件边缘的距离不宜大于 1.0m。 ()
2. 板式桥梁橡胶支座检验随机抽取实样,每种规格试样数量为三对,各种试验试样通用。 ()
3. 支座检验判定规则规定:三块(或三组)试样中,有两块(或两组)不能满足要求时,则应从该批产品中随机再取双倍试样对不合格项目进行复验,若仍有一项不合格,则判定该批产品不合格。 ()
4. 预应力钢材的松弛试验,其环境温度因保持在 20℃+2℃ 范围内。 ()
5. 在进行预应力锚具组装件疲劳实验时,如预应筋为钢丝,试验应力上限取预应力钢材抗拉强度标准值的 65%,如预应力筋为冷拉 II、III 级钢筋时,实验应力上限取预应力钢材抗拉强度标准值的 80%,应力幅度皆为 80MPa。 ()

6. 采用回弹法确定的混凝土强度误差一般在 5% 以内。 ()
7. 若混凝土试块中有两个测值与中值的差值均超过中值的 15% 时, 则该组混凝土强度不合格。 ()
8. 换能器频率的选择应根据测点间距和结构最小截面尺寸进行选择。 ()
9. 校验千斤顶时, 用千斤顶顶试验机压板。 ()
10. 张拉设备校验时间的规定: 当千斤顶使用超过 12 个月或张拉超过 100 次以上应进行校验。 ()

四、问答题

1. 简述板式橡胶支座抗压弹性模量的检测方法。
2. 简述板式橡胶支座外观质量和解剖检验要求。
3. 简述桥梁伸缩装置的分类与检测项目。
4. 简述回弹法检测混凝土强度的原理。
5. 简述回弹法检测混凝土强度的适用范围和步骤。
6. 简述超声法检测混凝土强度的适用范围、现场操作步骤和注意事项。
7. 简述超声一回弹综合法检测混凝土强度的现场操作步骤和注意事项。
8. 简述混凝土超声探伤判别缺陷的基本依据。
9. 简述超声波检测混凝土浅裂缝的方法。
10. 简述斜拉桥斜拉索索力测定的方法。

第四章 桥梁荷载试验及状态监测

【主要内容】

本章主要介绍桥梁静、动荷载试验及运营状态监测的方法、内容及其数据分析和承载能力评定。

【要求】

了解:桥梁荷载试验与运营状态监测的目的、意义、内容和方法(工程师)。桥梁荷载试验的目的、内容和意义(检测员)。

熟悉:桥梁基本知识(工程师);荷载试验、运营状态监测所需观测的参数以及各种传感器、放大器、记录装置的功能、技术要求、校准方法及使用方法;荷载试验荷载效率系数和校验系数的定义与计算(工程师);运营状态监测数据的处理方法及资料的整理(工程师)。

掌握:桥梁荷载试验的准备工作;各种桥型的测点设置、加载工况;电阻应变片的选用(工程师)、粘贴和温度补偿方法,以及现场使用时应注意的问题,弦式应变计的原理和使用方法(检测员);试验过程中的观测内容和终止加载的控制条件;实测数据的修正方法(工程师);桥梁承载力的评定方法(工程师);结构振动测试的基本概念和桥梁动载试验时频率、阻尼和冲击系数的测量、分析方法与评定等(工程师);桥梁运营状态监测系统的基本构成(工程师);传感器的安装与更换(工程师);信号传输的基本方式(工程师);索结构力参数的测量(工程师);桥梁养护管理系统的要求及功能(工程师)。

第一节 桥梁基本知识

一、桥梁工程的基本组成

桥梁一般由桥跨结构、桥墩和桥台、基础和调治构造物等四大部分组成。

(1)桥跨结构:是在线路中断时跨越障碍的主要承载结构。

(2)桥墩和桥台:是支撑桥跨结构并将恒载和车辆等活载传至地基的建筑物。通常设置在桥两端的称为桥台,它除了上述作用外,还与路堤相衔接,以抵御路堤土压力,防止路堤填土的滑坡和坍落。在路堤与桥台衔接处,一般还在桥台两侧设置石砌的锥形护坡。

(3)基础:基础是将桥梁墩、台所承受的各种荷载传递到地基上的结构物,是确保桥梁安全使用的关键部位。有扩大基础(明挖浅基础)、桩基础和沉井基础等不同的结构形式。随着桥梁技术的不断发展,一些新的基础形式(如地下连续墙基础、组合式基础等)也逐渐在桥梁工程中得到应用。

(4)调治构造物:指为引导和改变水流方向,使水流平顺通过桥孔并减缓水流对桥位附近河床、河岸的冲刷而修建的水工构造物。如桥台的锥形护坡、台前护坡、导流堤、护岸墙、丁坝、顺坝等,对保证河道流水顺畅和防止破坏生态环境有着极其重要的作用。

二、桥梁工程的分类

1. 按桥梁的基本体系划分

1)梁式桥:梁式桥是一种在竖向荷载作用下无水平反力的结构。由于外力的作用方向与

承重结构的轴线接近垂直,故与同样跨径的其他结构体系相比,梁内产生的弯矩最大,通常用抗弯能力强的材料来建造。这种桥梁结构简单、施工方便。

2)拱式桥:拱式桥的主要承重结构是拱圈或拱肋,这种结构在竖向荷载作用下,桥墩或桥台将承受水平推力。同时,这种水平推力将显著抵消荷载所引起在拱圈内的弯矩。因此,与同跨径的梁相比,拱的弯矩和变形要小很多。鉴于拱桥的承重结构以受压为主,通常就可用抗压能力强的圬工材料和钢筋混凝土等来建造。

3)刚架桥:刚架桥的主要承重结构是梁或板和立柱或竖墙整体结合在一起的刚架结构,梁和柱的连接处具有很大的刚性。

在竖向荷载作用下,梁部主要受弯,而在柱脚处也具有水平反力,其受力状态介于梁桥和拱桥之间。因此,对于同样的跨径,在相同的荷载作用下,刚架桥的跨中正弯矩要比一般梁桥小。根据这一特点,刚架桥跨中的建筑高度就可以做得较小。

4)吊桥:传统的吊桥均用悬挂在两边塔架上的强大缆索作为主要承重结构。在竖向荷载作用下,通过吊杆使缆索承受很大的拉力,通常就需要在两岸桥台的后方修筑非常巨大的锚碇结构。吊桥也是具有水平反力的结构。现代的吊桥上,广泛采用高强度钢丝编制的钢缆,以充分发挥其优异的抗拉性能,因此结构自重较轻,就能以较小的建筑高度跨越其他任何桥型无与伦比的特大跨度。吊桥的另一特点是:成卷的钢缆易于运输,结构组成构件较轻,便于无支架悬吊拼装。

5)组合体系桥:根据结构的受力特点,由几个不同体系的结构组合而成的桥梁称为组合体系桥。组合体系桥实质是利用梁、拱、吊三者的不同组合,上吊下撑以形成新的结构。

2. 按用途来划分

有公路桥、铁路桥、公路铁路两用桥、农用桥、人行桥、运水桥及其他专用桥梁。

3. 桥涵按跨径分类

按多孔跨径总长和单孔跨径的不同分为特大桥、大桥、中桥、小桥和涵洞,见表 1-4-1。

表 1-4-1

桥涵分类	特大桥	大桥	中桥	小桥	涵洞
多孔跨径总长 $L(m)$	$L > 500$	$100 \leq L \leq 1000$	$30 < L < 100$	$8 \leq L \leq 30$	—
单孔跨径 $L_K(m)$	$L_K > 150$	$40 \leq L_K \leq 150$	$20 \leq L_K < 40$	$5 \leq L_K < 20$	$L_K < 5$

注:单孔跨径系指标准跨径而言。

4. 按主要承重结构所用的材料划分

有圬工桥、钢筋混凝土桥、预应力混凝土桥、钢桥、木桥以及钢、混凝土组合体系等。

5. 按上部结构行车道位置划分

可分为上承式桥、下承式桥和中承式桥。

三、与桥梁布置和结构有关的主要尺寸和术语名称

低水位:是指在枯水季节的最低水位。

高水位:是指在洪峰季节河流中的最高水位。

设计洪水位:是指桥梁设计中按规定的设计洪水频率计算所得的高水位。

净跨径:对于梁式桥是设计洪水位上相邻两个桥墩(或桥台)之间的净距;对于拱式桥是每孔拱跨两个拱脚截面最低点之间的水平距离。

计算跨径:对于有支座的桥梁,是指桥跨结构相邻两个支座中心之间的距离;对于拱式桥,

是两相邻拱脚截面形心点之间的水平距离。

标准跨径:对于梁式桥,它是指两相邻桥墩中线之间的距离,或墩中线至桥台背前缘之间的距离;对于拱桥,则是指净跨径。

总跨径:是多孔桥梁中各孔净跨径的总和。

多孔跨径总长:为多孔桥梁中各孔标准跨径的总长。

桥梁全长:是桥梁两端两个桥台的侧墙或八字墙后端点之间的距离;对于无桥台的桥梁为桥面系行车道的全长。

桥梁高度:是指桥面与低水位之间的高差,或为桥面与桥下线路路面之间的距离。

建筑高度:是指桥上行车道路面高程至桥跨结构最下缘之间的距离。

第二节 桥梁荷载试验

一、荷载试验的目的、内容及意义

1. 检验桥梁设计与施工质量

对于一些新建的大、中型桥梁或者具有特殊设计的桥梁。在竣工后一般要求进行荷载试验,以检验桥梁整体受力性能和承载力是否达到设计文件和规范的要求,并把试验结果作为评定工程质量优劣的主要技术资料 and 依据。

2. 判断桥梁结构的实际承载力

旧桥由于构件局部发生意外损伤,使用过程中产生明显的病害,设计荷载等级偏低等原因,有必要通过荷载试验判定构件损伤程度及承载力、受力性能的下降幅度,确定其运营荷载等级。同时,旧桥荷载试验也是改建、加固设计的重要依据。

3. 验证桥梁结构设计理论和设计方法

对于桥梁工程中的新结构、新材料和新工艺,应通过荷载试验验证桥梁的计算图式是否正确,材料性能是否与理论相符,施工工艺是否达到预期目的。

二、荷载试验的主要内容

- (1)明确荷载试验的目的。
- (2)试验的准备工作。
- (3)加载方案设计。
- (4)测点设置与测试。
- (5)加载控制与安全措施。
- (6)试验结果分析与承载力评定。
- (7)试验报告编写。

一般包含三个阶段:桥梁结构的考察和试验准备、加载试验与观测、测试结果的分析与评定。

三、荷载试验的准备工作

1. 试验孔(或墩)的选择

对多孔桥梁中跨径相同的桥孔(或墩)可选1~3孔具有代表性的桥孔(或墩)进行加载试验。选择时应综合考虑以下因素:

- (1)该孔(或墩)计算受力最不利。
- (2)该孔(或墩)施工质量较差、缺陷较多或病害较严重。
- (3)该孔(或墩)便于搭设脚手架,便于设置测点或便于实施加载。

2. 搭设脚手架和测试支架

脚手架和测试支架应分开搭设互不影响,脚手架和测试支架应有足够的强度、刚度和稳定性。脚手架要保证工作人员的安全、方便操作。

测试支架要满足仪表安装的需要,不因自身变形影响测试的精度,同时还应保证试验时不受车辆和行人的干扰。

晴天或多云天气下进行加载试验时,阳光直射下的应变测点,应设置遮挡阳光的设备,以减小温度变化造成的观测误差。雨季进行加载试验时,则应准备仪器、设备等的防雨设施,以备不时之需。

3. 静载试验加载位置的放样和卸载位置的安排

静载试验前应在桥面上对加载位置进行放样,以便于加载试验的顺利进行。应预先放样,且用不同颜色的标志区别不同加载工况时的荷载位置。

静载试验荷载卸载的安放位置应预先安排。卸载位置的选择既要考虑加、卸载方便,离加载位置近一些,又要使安放的荷载不影响试验孔(或墩)的受力。

4. 试验人员组织及分工

应根据每个试验人员的特长进行分工,每人分管的仪表数目除考虑便于进行观测外,应尽量使每人对分管仪表进行一次观测所需的时间大致相同。为使试验有条不紊地进行,应设试验总指挥1人,其他人员的配备可根据具体情况考虑。

5. 其他准备工作

加载试验的安全设施、供电照明设施、通信联络设施、桥面交通管制等工作应根据荷载试验的需要进行准备。

四、常见桥型的试验工况和测点设置

1. 试验荷载工况的确定

荷载工况选择应反映桥梁设计的最不利受力状态,简单结构可选1~2个工况,复杂结构可适当多选几个工况,但不宜过多。

以下介绍常见桥型静荷载试验工况。

(1) 简支梁桥

跨中最大正弯矩工况。
L/4 最大正弯矩工况。
支点最大剪力工况。
桥墩最大竖向反力工况。

4

(2) 连续梁桥

主跨跨中最大正弯矩工况。
主跨支点负弯矩工况。
主跨桥墩最大竖向反力工况。
主跨支点最大剪力工况。
边跨最大正弯矩工况。

✓(3) 悬臂梁桥(T形刚构桥)

支点(墩顶)最大负弯矩工况。

锚固孔跨中最大正弯矩工况。

支点(墩顶)最大剪力工况。

挂孔跨中最大正弯矩工况。

✓(4) 无铰拱桥

跨中最大正弯矩工况。

拱脚最大负弯矩工况。

拱脚最大推力工况。

正负挠度绝对值之和最大工况。

✓(5) 刚架桥

跨中截面最大弯矩工况。

柱腿截面最大应力工况。

节点附近截面最大应力工况。

✓(6) 悬索桥

主梁控制截面最大弯矩应力工况。

主梁扭转变形工况。

主梁控制截面位移和挠度工况。

塔顶最大水平变位工况。

塔柱底截面最大应力工况。

钢索(主缆、吊索)最大拉力工况。

✓(7) 斜拉桥

主梁跨中最大正弯矩工况。

主梁最大负弯矩工况。

主塔塔顶顺桥方向最大水平位移工况。

斜拉索最大索力工况。

主梁最大挠度工况。

此外,对桥梁施工中的薄弱截面或缺陷修补后的截面可以专门进行荷载工况设计,以检验该部位或截面对结构整体性能的影响。

荷载试验一般安排标准汽车车列(对小跨径桥也可用单车:)在不同车速时的跑车试验,跑车时速一般定为 5km、10km、20km、30km、40km、60km;如需测定桥梁承受活载水平力性能时做车辆制动试验;测定桥梁自振频率作跳车后的余振观测,并在无荷载时进行脉动观测。

2. 测点设置

(1) 主要测点的布设

测点的布设不宜过多,但要保证观测质量。对主要测点的布设应能控制结构的最大应力(应变)和最大挠度(或位移)。常用桥梁体系的主要测点布设如下。

① 简支梁桥:跨中挠度;支点沉降,跨中截面应变。

② 连续梁桥:跨中挠度;支点沉降,跨中和支点截面应变。

③ 悬臂梁桥:悬臂端部挠度、支点沉降,支点截面应变。

④ 拱桥:跨中, $L/4$ 处挠度,拱顶 $L/4$ 和拱脚截面应变。

挠度观测测点一般布置在桥中轴线位置。截面抗弯应变测点应设置在截面横桥向应力可能分布较大的部位,沿截面上、下缘布设,横桥向测点设置一般不少于3处,以控制最大应力的分布。

(2) 其他测点的布设

根据桥梁调查和检算工作的深度,综合考虑结构特点和桥梁目前状况等可适当加设以下测点:

- ① 挠度沿桥长或沿控制截面桥宽方向分布。
- ② 应变沿控制截面桥宽方向分布。
- ③ 应变沿截面高分布。
- ④ 组合构件的结合面上、下缘应变。
- ⑤ 墩台的沉降、水平位移与转角,连拱桥多个墩台的水平位移。
- ⑥ 剪切应变。
- ⑦ 其他结构薄弱部位的应变。
- ⑧ 裂缝的监测测点。

对于剪切应变测点一般采取设置应变花进行观测。为了方便,对于梁桥的剪应力也可在截面中性轴处主应力方向设置单一应变测点来进行观测。梁桥的实际最大剪应力截面应设置在支座附近而不是支座上。

(3) 温度测点的布设

选择与大多数测点较接近的部位设置1~2处气温观测点,此外可根据需要在桥梁主要测点部位设置一些构件表面温度观测点,或进行单点补偿。

五、荷载试验的仪器设备

桥梁荷载试验需观测结构的反力、应变、位移、倾角、裂缝等物理量,因此常见的仪器设备有:百分表、千分表、位移计、应变仪、应变计(应变片)、精密水准仪、经纬仪、倾角仪、刻度放大镜等。这些测试仪器按其工作原理可分为机械测试仪器、电测仪器、光测仪器等。

机械式仪器具有安装与使用方便、迅速、读数可靠的优点,但需要搭设观测脚手架,而且使用试验人员较多,观测读数费时,不便于自动记录。

电测仪表安装调试比较麻烦,影响测试精度的因素也较多,但测试记录较方便,便于数据自动采集记录,操作安全。

(一) 机械式位移计

机械式位移计包括百分表、千分表及张线式位移和挠度计等;其构造和工作原理基本相同,主要区别在于精度和量程不同。

1. 百分表的基本构造和使用方法

将测杆触头抵在测点上,借助弹簧的使用,使其接触紧密。当测点沿(或背向)测杆方向发生位移时,推动(或放松)测杆,使测杆的平齿带动小齿轮、小齿轮又和它同轴的大齿轮一起转动,最后使指针齿轮和指针旋转,经过一系列放大之后,便在表盘上指示出位移值。

使用时,百分表装在表座上(目前大都采用磁性表座),表架安装在临时专门搭设的支架上,支架应具有一定的刚度,避免支架本身的变形,并与被测结构物分开。

1) 安装按以下步骤进行:

- (1) 将百分表轴颈插于表架横杆上的颈箍相应孔中,并旋紧螺栓;
- (2) 接通磁路:顺时针旋转磁体开关至限位处,磁性表座即与被吸附面吸牢;

(3)调节:旋松螺栓,并移动连接杆,可将表调节到需要的位置;

(4)微调:旋转微调螺栓即能达到微调;

(5)切断磁路:逆时针旋转磁体开关至限位处,磁性表座即可由吸附面上取下。

2)使用时应注意的事项

(1)使用时,只能拿取外壳,不得任意推动测杆,避免磨损机件,影响放大倍数。注意保护触头,触头上不得有伤痕。

(2)安装时,要使测杆与欲测的位移的方向一致,或者与被测物体表面保持垂直。并注意位移的正反方向和大小,以便调节测杆,使百分表有适宜的测量范围。

(3)百分表架要安设稳妥,表架上各个螺丝要拧紧,但当颈夹住百分表的轴颈时,不可夹得过紧,否则会影响测杆移动。

(4)百分表安装好,可用铅笔头在表盘上轻轻敲击,看指针摆动情况。若指针不动或绕某一固定值在小范围内左右摆动,说明安装正常。

(5)百分表使用日久或经过拆洗修理后,必须进行标定,标定可在专门的百分表、千分表校正仪上进行。千分表与百分表使用作方法完全相同。

2. 位移计

(1)用位移计测挠度与变位

用位移计测挠度或某点的位移时,要注意位移的相对性,位移计的定点(表壳)和动点(测杆)必须分别和相对位移的两点连接。

位移计可装在各种表架上,通常用颈箍夹住表的轴颈,也可用其他方式将表壳或轴颈固定在某一个定点,测杆可直接顶住试件测点。

(2)用位移计测应变

应变,就是结构上某区段纤维长度的相对变化($\epsilon = \Delta L/L$)。应变仪就是用来测定这个长度变化的仪器。

采用特制的夹具将位移计安装在结构表面测定应变,可用钢、铜或铝合金等制成的固定位移计和顶杆的夹具,按照选定的标距以粘贴或预埋的方式固定在结构需量测应变的部位上。

粘贴方法:在混凝土结构上贴夹具时,应先将混凝土表面用砂轮打磨,除去泥灰再用细砂布略微磨光,用丙酮等擦净随后用胶黏剂将夹具按选定的标距粘上,待胶黏剂固化后,即可安装位移计进行量测。

量测结构构件的轴向应变,常用的量测标距对混凝土为10~20m,对砖石砌体则更大。

(二)手持式应变仪

此仪器的主要部分是千分表,它固定在一根金属杆上,其测杆则自由地顶在另一金属杆的突出部分上、两金属杆之间用两片富有弹性的薄钢片相连,因而能平行地相对移动,每根金属杆的一端带有一个尖形插轴,两插轴间的距离 L 即仪器的标距。二次读数差即为结构在区段 L 内的变形 ΔL ,除以标距 L 即得杆件的应变值。仪器不是固定在测点上,而是读数时才安上去。

为了保证仪器工作稳定可靠,标距两端的小孔必须钻得和仪器的插轴钢尖相吻合。测孔的制作方法如下:

(1)钢结构可在杆件上直接钻孔。

(2)圬工或木质构件则可粘贴特制的钢脚标(用环氧树脂黏结剂粘贴)。

使用此种仪器,尚有一温度影响问题,为了达到补偿目的,采取“横向温度补偿法”。在布置测应变的测点的同时,在垂直方向布置测点。

(三)水准管式倾角仪

水准管式倾角仪的构造,其原理是利用高灵敏度的水准管来测定结构节点、截面或支座处转角。水准管安置在弹簧片上,一端铰接于基座弹簧片使另一端上升,但被测微计的微调螺丝顶住。将仪器用夹具装在测点后,用微调螺丝使水准管的气泡调平居中,结构变形后气泡漂移,再转动微调螺丝使气泡重新居中;度盘上前后两次读数差即代表该测点的转角。这种仪器最小读数有的可达 $1''\sim 2''$,量程为 3° 。

(四)连通管

利用物理学上“连通器中处于水平平面上的静止液体的压强相同”的原理。使用前先沿桥跨方向布置直径为 $10\sim 15\text{mm}$ 的白塑料软管,然后在每个测点位置剪断管子,接上三通,把三通开口的一端管子竖起来绑在支架上,最后灌水(或其它有色液体)至标尺位置,桥梁试验时加,卸载会引起桥梁结构下挠,此时水管中的水平液面仍需持平,但每个测点的相对水位会发生变化,读取这个变化值,经简单计算即可得到桥梁的挠度。计算方法:将各级加载稳定以后水管上读数减去未加载前水管上读数,然后对各点测值进行支座沉降修正,即为各点的挠度。

(五)电阻应变仪

用电阻式应变仪测试桥梁结构应变时需用应变仪和电阻应变片(应变计)配合使用。

1. 电阻应变片

1) 电阻应变片优点

电阻应变片又称电阻应变计,简称应变片或电阻片,它有如下的一些优点。

(1)灵敏度高。电阻应变仪可以精确地分辨出 1×10^{-6} 应变。

(2)电阻片尺寸小且粘贴牢固。

(3)电阻片质量小。

(4)可以在高温($800\sim 100^\circ\text{C}$)、低温($-100\sim 70^\circ\text{C}$)、高压(上万个大气压)、高速旋转(几千转/mm $\sim$ 几万转/mm)、核辐射等特殊条件下成功地使用。

此外,由于应变片输出是电信号,就易于实现测量数字化和自动化。

2) 电阻应变片的构造

绕线式应变片主要由敏感元件、基底、覆盖层和引出线等几部分组成。

(1)敏感丝栅是应变片的主要元件,一般由康铜、镍铬合金制成。

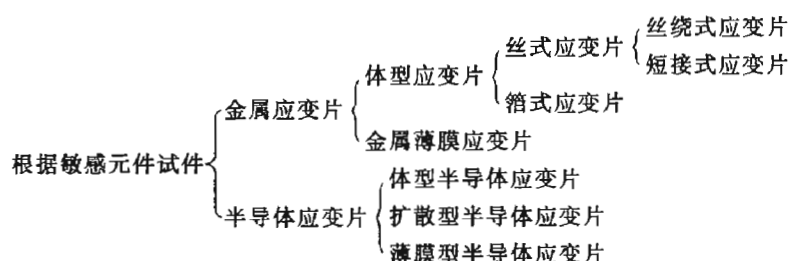
(2)基底和覆盖层起定位和保护应变片几何形状的作用,也起到与被测试件之间电绝缘作用。纸基常用厚度 $0.015\sim 0.02\text{mm}$ 的机械强度高、绝缘性能好的纸张制作。胶基则用性能稳定、绝缘度高、耐腐蚀的聚合胶制成。

(3)引出线是用以连接导线的过渡部分,一般用直径约为 $0.15\sim 0.30\text{mm}$ 的金属丝。

(4)黏结剂把丝栅基底和覆盖层牢固地黏结成一个整体。

3) 电阻应变片的分类

根据不同的方法,有如下图 1-4-1 分类。



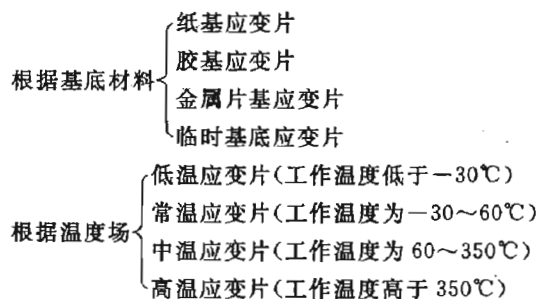


图 1-4-1 电阻应变片的分类

此外,按敏感栅的长度分,有大标距应变片和小标距应变片;按敏感栅形状分,有单轴应变片和应变花。还有各种特殊用途的应变片如防磁应变片、防水应变片、埋入式应变片、层式应变片、可拆式应变片、疲劳寿命片、测压片、无基底式应变片、大应变片、裂缝探测片、温度自补偿应变片等。

(1) 金属应变片的工作原理

金属应变片的工作原理在于导体的“电阻应变效应”。所谓电阻应变效应是指导体或半导体在机械变形(伸长或缩短)时,其电阻随其变形而发生变化的物理现象金属导体产生电阻应变效应,主要是因为电阻丝的几何尺寸改变引起阻值的变化。

(2) 电阻应变片的选用

选用应变片时应根据应变片的初始参数及试件的受力状态、应变梯度、应变性质、工作条件、测试精度要求等综合考虑。

对于一般的结构试验,采用 120Ω 纸基金属丝应变片就可满足试验要求。其标距可结合试件的材料来选定,如钢材常用 $5\sim 20\text{mm}$,混凝土则用 $40\sim 150\text{mm}$,石材用 $20\sim 40\text{mm}$ 。

(3) 电阻应变片的粘贴技术

① 黏结剂

对应变胶的性能要求是:黏结强度高(剪切强度一般不低于 $3\sim 4\text{MPa}$),电绝缘性能好,化学稳定性及工艺性好等。

常规桥梁试验粘贴应变片的应变胶一般为快干胶和热固性树脂胶等。

501 快干胶和 502 快干胶是借助于空气中微量水分的催化作用而迅速聚合固化产生黏结强度的。该类胶黏结强度能满足桥梁应变测试要求。

环氧树脂胶是靠分子聚合反应而固化产生黏结强度的。它有较强的剪切强度和防水性能,电绝缘性能好。环氧树脂胶可以自制,其配方如下:

环氧树脂 100%;邻苯二甲酸二丁酯:5%~20%;乙二胺:6%~7%。

注意:乙二胺有毒,须通风操作。

② 应变片的粘贴技术

选片:用放大镜对应变片进行检查,保证选用的应变片无缺陷和破损。

定位:先初步画出贴片位置、用砂布或砂轮机将贴片位置打磨平整,钢材光洁度达到 $\nabla 3\sim \nabla 5$,混凝土表面无浮浆,必要时涂底胶处理,待固化后再次打磨。在打磨平整的部位准确画出测点的纵、横中心及贴片方向。

贴片:用镊子夹脱脂棉球蘸酒精(或丙酮)将贴片位置清洗干净,用手握住应变片引出线,在其背面均匀涂抹一层胶水,然后放在测点上,调整应变片的位置,使其可准确定位。在应变片上覆盖小片玻璃纸,用手指轻轻滚压,挤出多余胶水和气泡。用手指轻按 $1\sim 2\text{min}$,待胶水初步固化后即可松手。

△ 干燥固化:干燥才能固化,当气温较高,相对湿度较低的短期试验,可用自然干燥,时间一般 1~2d。人工干燥:待自然干燥 12h 后、用红外线灯烘烤,温度不要高于 50℃;还要避免骤热。烘干到绝缘电阻符合要求时为止。

应变片的防护:在应变片引线端贴上接线端子,把应变片引线和连接导线分别焊在接线端子上,然后立即涂防护层,以防止应变片受潮和机械损伤,受潮会影响应变片的正常工作,故防潮就显得十分重要。

△ (4) 电阻应变测量的温度补偿

用应变片测量应变时,它除了能感受试件受力后的变形外,同样也能感受环境温度变化,并引起电阻应变仪指示部分的示值变动,这称为温度效应。

温度变化从两方面使应变片的电阻值发生变化。第一是电阻丝温度改变 $\Delta t(^{\circ}\text{C})$,其电阻将会随之而改变 ΔR_{β} :

$$\Delta R_{\beta} = \beta_1 R \Delta t \quad (1-4-1)$$

式中: β_1 ——电阻丝的电阻温度系数($1/^{\circ}\text{C}$);

R ——应变片的变原始电阻值(Ω)。

第二是因为材料与应变片电阻丝的线膨胀系数不相等,但二者又粘合在一起,这样温度改变 $\Delta t(^{\circ}\text{C})$ 时,应变片中产生了温度应变,引起一附加的电阻的变化 ΔR_{α} :

$$\Delta R_{\alpha} = K_t(\alpha_j - \alpha) \Delta t R \quad (1-4-2)$$

式中: K_t ——贴好的应变丝对温度应力的灵敏系数;

α_j ——试件材料的线膨胀系数($1/^{\circ}\text{C}$);

α ——电阻丝的线膨胀系数($1/^{\circ}\text{C}$)。

因此,总的温度效应是二者之和:

$$R_t = \Delta R_{\alpha} + \Delta R_{\beta} = [K_t(\alpha_j - \alpha) + \beta_1] R \Delta t \quad (1-4-3)$$

$$\beta = K_t(\alpha_j - \alpha) + \beta_1 \quad (1-4-4)$$

$$\Delta R_t = \beta R \Delta t \quad (1-4-5)$$

式中: β ——贴好的应变片总的电阻温度系数。

温度效应的应变值为:

$$\epsilon_t = K_0 \beta_1 R \Delta t \quad (1-4-6)$$

这个 ϵ_t 称视应变。

消除温度效应的应变值主要是利用惠斯登电桥桥路的特性进行,称为温度补偿。还有采用应变片温度自补偿的办法,即使用一种特殊的应变片。

测量应变片 R_1 (简称工作片)贴在受力构件上,它既受应变作用又受温度作用,故 R_1 是由两部分组成。即:

$$\Delta R_1 = \Delta R_{\epsilon} + \Delta R_t \quad (1-4-7)$$

补偿片 R_2 贴在一个与试件材料相同并置于试件附近,具有同样温度变化条件但不承受外力作用的小试块上,它只有 $\Delta R_2 = \Delta R_t$ 的变化。电桥对角线上的电流计的反应为 $\Delta R_1 - \Delta R_2 = \Delta R_{\epsilon}$,测得结果仅是试件受力后产生应变值,而温度效应所产生的视应变就消除了。

△ 为保证补偿效果,对补偿片的设置应考虑如下因素:

① 补偿片与工作片应该是同批产品,具有相同电阻值、灵敏系数和几何尺寸。

② 贴补偿片的试块材料应与试件的材料一致,并应做到热容量基本相等。

③补偿片的贴片、干燥、防潮等处理工艺必须与工作片完全一致。

④连接补偿片的导线应与连接工作片的导线同一规格。同一长度,并且相互平行靠近布置或捆扎成束。

⑤补偿片与工作片的位置应尽量接近,使二者处于同样温度场条件下,以防不均匀热源的影响。

⑥补偿片的数量多少,根据试验材料特性、测点位置、试验条件等决定;一般情况下,钢结构可用一个补偿片同时补偿 10 个工作片;对混凝土材料或木材可用一个补偿片补偿 5~10 个工作片,也可以采用单独补偿。

目前除采用桥路补偿外,还有采用应变片温度自补偿的办法,即使用一种特殊的应变片,当温度变化时,其电阻增量等于零或相互抵消而不产生视应变。

2. 应变仪

1) 测量电路

测量电路是应变仪的重要组成部分,其作用是将应变片的电阻变化转换为电压(或电流)的变化。应变片电测一般采用两种测量电路,一种是电位计式电路,一种是桥式电路,通常采用惠斯登电桥。

如图 1-4-2 惠斯登电桥具有四个电阻,其中任一个都可以是应变片电阻,电桥的对角接入输入电压,另一对角来测量输出电压。电桥的一个特点是,四个电阻达到某一关系时,电桥输出为零,这样我们就能应用很灵敏的检流计来测量输出。由于这一特点使电桥能够精确地测量微小的电阻变化。

根据电桥的测量电路,对应变电桥的测量方法有下列几种。

(1) 单点测量

单点测量时,组成测量电桥的四个电阻中, R_1 为电阻片电阻,其余 3 个为精密电阻(无电阻变化),则:

$$\Delta E = \frac{1}{4} u K \epsilon_1 \quad (1-4-8)$$

(2) 半桥测量

其方法是将半桥接电阻片,另半桥为精密电阻($\Delta R_3 = \Delta R_4 = 0$),则:

$$\Delta E = \frac{1}{4} u K (\epsilon_1 - \epsilon_2) \quad (1-4-9)$$

(3) 全桥测量

其方法是组成测量电桥的四个电阻全由电阻片组成,即:

$$\Delta E = \frac{1}{4} u K (\epsilon_1 - \epsilon_2 + \epsilon_3 - \epsilon_4) \quad (1-4-10)$$

由此也可看出,电桥的增减特性:相邻的输出符号相反,电桥输出具有相减特性;相对两臂符号相同,电桥输出具有相加特性。

根据电桥的这些特性,我们就可以采用不同的测量(电阻片接线)方法进行选择。

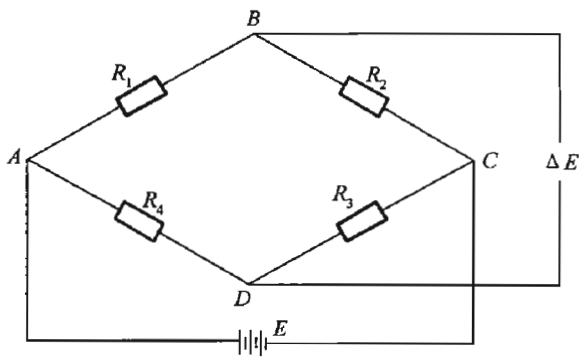


图 1-4-2 惠斯登电桥

2) 电阻应变仪

电阻应变仪按使用内容不同,分为静态应变仪、动态应变仪和静动态应变仪。

(1) 国产 YJS—14 型静态数字应变仪

YJS—14 型静态数字应变仪是一种静态应变自动测量装置,能自动平衡(或不需平衡)、自动换点、自动测量、数字显示和自动打印,并可与计算机联机进行数据处理。YJS—14 型主要由如下五个部分组成:

① 转换器它在控制器控制下将各测点依次接入桥路,以便进行测量。

② 电阻应变仪由桥压线性放大器和数字电压表组成。

③ 运算器由储存和运算两单元组成。

④ 控制器包括采样控制和数字钟两部分。

⑤ 输出装置分为打印输出和信息输出两种。

YJS—14 型数字应变测量装置的工作过程就是把应变测点组成惠斯登电桥。电桥的初始不平衡采用初始值存储的办法,即把每一个测点的初始不平衡值通过放大和 A/D 转换器转换成数字信号,记入对应序号内存中。在测量时,测量信号也转换成数字信息送入运算器,运算器从内存中取出对应测点的转换或测量区段的选择均由控制器控制。

(2) 日本产 7V08 数据采集仪

7V08 型数据采集仪是应变仪的换代产品,该仪器是由单板机组成的一个计算机控制系统,可由键盘或面板触摸功能键直接输出数据或程序,主要是通过接口来输出模拟信号(电压、电流、应变、温度等),并通过 A/D 转换来完成存储、记录、转换、运算和输出。

该系统按线扫描箱采用直流电桥,因此,分布电容等不影响电桥平衡。在测试现场用接线箱连接,在 100mm 内连接电缆可与应变仪连接,测试数据记录和一次计算可进行程序控制或按键控制。

(六) 传感器

1. 应变式测力传感器

圆柱(或筒)形弹性元件承受轴向压力,而粘贴在元件上面的应变片感受其应变。知道元件的截面积,即可求得压力。为了提高量测的灵敏度和达到温度补偿,在元件上粘贴 8 片应变片,并组成全桥式接线。

2. 电子式位移传感器

电子式位移传感器是一种位移测量计,属于一次仪表,它只能检测试件的位移,而本身不能显示其数值,因此,使用时必须依赖二次仪表进行显示或指示。

1) 电阻式位移计

YHD 型电子位移计是电阻式位移计的一种,它主要由机械传动机构、应变电桥和滑线电阻等组成。

YHD 型位移计的工作原理也是利用应变电桥进行测量的。在仪器内部设置四个无感电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 和 R_4 ,在 R_1 和 R_2 之间用一根电阻丝串联起来组成应变电桥。当试件产生位移时,位移计的测杆的便沿着导向槽做轴向移动,带动触点在电阻丝上滑动。在两个桥臂上都产生电阻的变化。如触点向右移动时,AB 桥臂的电阻增为 $R_1 + \Delta R$;BC 桥臂的电阻则减为 $R_2 - \Delta R$,则输出:

$$\Delta U = \frac{U}{4} \left(\frac{\Delta R}{R_1} + \frac{\Delta R}{R_2} \right) = \frac{1}{2} U \frac{\Delta R}{R} \quad (1-4-11)$$

电阻式位移传感器的特点是结构简单输出信号大,但因存在着活动触点,寿命受磨损影响。

2) 应变式位移传感器

应变式位移传感器,主要由测杆、悬臂梁、应变片和弹簧等组成。将两个弹性元件、弹簧和悬臂梁串联,在矩形截面悬臂梁根部正、反面分别贴上2片应变片,组成应变电桥。结构位移时推动弹性变形,再用应变片来感受弹性元件的变形来实现位移的测量。

(七) 钢弦应变计和光纤传感器

1. 钢弦应变计

1) 工作原理

钢弦式传感器是以被张紧的钢弦作为敏感元件,利用其固有频率与张力的函数关系,根据固有频率的变化来反映外界作用力的大小。

如图1-4-3振弦固定在上、下两夹块之间,用紧固螺栓固紧,给弦加一定的初始张力 T ,在弦的中间固定着软铁块、永久磁铁和线圈构成弦的激振器,同时又兼作弦的拾振器。夹块和膜片相连感受压力。

若使弦按固有频率振动,必须首先给弦以激励力,振弦是依靠线圈中的电流脉冲所产生的电磁吸力来产生激励作用。当电流脉冲到来时,磁铁的磁性大大增强,钢弦被磁铁吸住。当电流脉冲过去后,磁铁的磁性又大大减弱,钢弦立即脱离磁铁而产生自由振动。并使永久磁铁和弦上的软铁块间的磁路间隙发生变化,从而造成了变磁阻的条件,在兼作拾振器用的线圈中将产生与弦的振动同频率的交变电势输出。这样通过量测感应电势的频率即可检测振弦张力的大小。

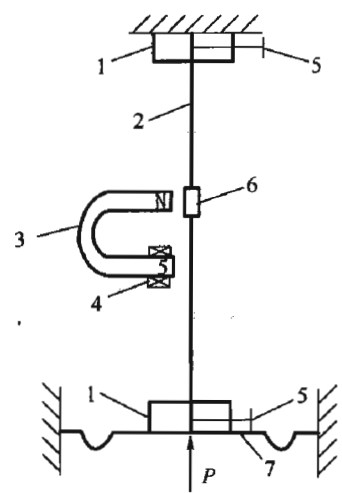


图 1-4-3 管弦式传感器结构原理

工程上常用的有:钢弦式应变传感器、钢弦式压力传感器、钢弦式荷载传感器和钢弦式位移传感器。桥梁检测中常用的是钢弦式应变传感器。

2) 钢弦式应变传感器

钢弦式应变传感器又分为:钢弦式表面应变传感器、钢弦式钢筋应力传感器和钢弦式内部应变传感器。

(1) 钢弦式表面应变传感器

钢弦式表面应变传感器主要用于结构物表面应变的测量。当传感器工作之前,钢弦具有的固有频率为 f_0 ,结构受力之后,传感器的两支架间发生相对位移,钢弦的长度改变了 ΔL ,钢弦拉紧的程度发生了变化。因为钢弦的固有频率 f_0 ,已变成了 f_1 ,则相应钢弦的应变也变成了 ϵ_1 。根据标定的 $f \sim \epsilon$ 关系曲线,即可确定结构受力后产生的表面应变值。有了结构表面应变值也可以得到结构的实际受力状态。

钢弦式表面应变传感器的安装是应将应变计固定在配套的底座上,底座与结构物之间可用胶黏结、螺栓连接或焊接。安装时首先在结构物表面预定位置固定应变计的两块底板。为确保两底座之间的距离与应变计的标距一致,并在同一轴线上,须用与底座配套的定位标准杆定位。应变计安装完成后,应使其初始频率与出厂标定的初始频率一致。具体方法是先将应变计的一端紧固在底板上,调整另一端的微调螺母,使应变计的初频与出厂标定的初频一致,

然后扭紧固定螺钉。

(2) 钢弦式钢筋应力传感器

钢弦式钢筋应力传感器主要由应变管、钢弦夹紧部件、电磁激励线圈等组成。常用于测量钢筋混凝土结构中的钢筋应力。

钢弦式钢筋应力传感器埋设时,应将两端的拉杆焊接在被测钢筋上,焊接面积不小于钢筋的有效面积;亦可采用两根短头钢筋夹在焊点两侧并焊牢。焊接时必须对钢筋应力计进行水冷却,以免由于焊接时的高温传到应力计上损坏应力计内部的电器元件。焊接前后应分别对钢弦式钢筋应力传感器的初始频率进行测试,测试结果应和标定表的零点频率相同。

(3) 钢弦式内部应变传感器

钢弦式内部应变传感器多埋于混凝土、钢筋混凝土等结构中,主要用于结构物内部应变的长期观测。应变传感器中的钢弦在受力应变管中展开,一同被固定在混凝土结构物中,通过两端的端板与混凝土紧密加固,而中间受力的应变管用布缠绕,与混凝土隔开,则由传感器的凸缘带动应变管变形,使钢弦内应力发生变化,用频率测定出钢弦受力变形后的频率值,通过标准曲线的比较,得到混凝土的真正变形。

钢弦式内部应变传感器为薄壁圆筒结构,可根据混凝土的不同强度等级选用不同规格的应变计。

2. 光纤传感器的原理和使用方法

国内外近年的科学研究和工程实践表明光纤布拉格光栅传感技术是继电测技术之后传感技术发展的新阶段,它满足了现代桥梁结构监测的高精度、远距离、分布式和长期性的技术要求。可广泛应用于对桥梁结构的应力、应变、温度等参数以及内部裂缝、变形等结构参数的实时在线、分布式检测,能够测量工程结构的外部荷载以及本身对荷载的响应。因而被作为当今工程结构检测中首选的传感方式,以实现工程结构多处目标信息的监控和提取。

1) 光纤传感器的优点

(1) 光纤传感器体积小重量轻,结构简单,安装方便,埋入土木工程结构内部几乎不受温湿度和绝缘不良的影响;

(2) 光纤传感器的应用场合,其电器回路不受电器设备和雷电等电磁场干扰的影响;

(3) 光缆容量大,可以实现多通道多用途测量,可以省去大量导线的配置和接线的麻烦,省力、省事;

(4) 灵敏度高,精度高;

(5) 光纤技术的数字化信号,具有高速远距离传送信息的突出优点,可以实现对超高层建筑和超大跨度桥梁的远距离量测量和健康监测。

根据可以调制的光波参数,光纤传感器可分为强度型、相位型、频率型和波长型等目前已得到广泛应用的光纤传感器主要是频率型即振弦式光纤传感器。

2) 布拉格光栅的制作及基本构造

紫外写入技术是光纤光栅制作技术上的巨大进步,其基本原理是利用含锗光纤在波长 250nm 附近有一因锗相关缺陷而形成的吸收峰,当光纤受这一波长附近的紫外光照射后,会引起光纤折射率的永久性变化。目前常用的紫外写入技术采用的是相位掩模板法,即用紫外光照射相位掩模板或振幅掩模板,在板后的光敏光纤中形成光栅。制作光栅的光纤为通信普通单模光纤。布拉格光栅的基本构造如图 3-4-4

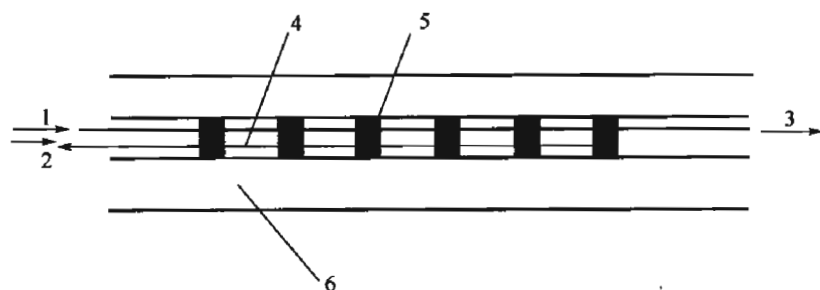


图 1-4-4 光栅基本构造示意图

1. 输入信号; 2. 反射信号; 3. 传输信号; 4. 光纤光芯; 5. 紫外写入光栅; 6. 光纤布拉格光栅周期

3) 光纤布拉格光栅的传感原理

光纤布拉格光栅传感技术是通过检测光纤内部写入的光栅反射或透射布拉格波长的变化，实现对被测结构的应变和温度量值的绝对测量，布拉格波长的变化反映了外界参量的变化。

而光纤光栅的反射或透射波长光谱主要取决于光栅周期 A 和反向耦合模的有效折射率 n ，任何使这两个参量发生改变的物理过程都将引起光栅布拉格波长的漂移。

在所有引起光栅布拉格波长漂移的外界因素中，最为直接的是应变参量。因为无论是对光栅进行拉伸还是压缩，都势必导致光栅周期 A 的变化，并且光纤本身所具有的弹光效应使得有效折射率 n 也随外界应力状态的变化而变化，这为采用光纤布拉格光栅制成光纤应变传感器提供了最基本的物理特性。同样，温度变化也会引起光栅布拉格波长的漂移。在轴向应力和温度变化单独作用下，可以分别得到轴向应力和温度变化引起的波长漂移公式。

布拉格光栅传感系统由光源、传感头和波长探测装置三个基本部分组成，光源将光入射到传输光纤中一段包括布拉格波长的狭窄光谱被光栅反射回波长探测装置，在没有被反射的透射光谱中就缺少了这段光谱，应变和温度引起的布拉格波长漂移就可以通过反射光和透射光的光谱获得。

六、荷载效率系数和检验系数

1. 荷载效率系数

荷载试验应尽量采用与控制荷载相同的荷载，而组成控制荷载（标准设计荷载）的车辆是由运营车辆统计而得的概率模型。当客观条件所限，采用的试验荷载与控制荷载有差别时，为保证试验效果，在选择试验荷载的大小和加载位置时采用静载试验效率 η_q ，动载试验效率 S_d 进行控制。

(1) 静载试验效率 η_q

$$\eta_q = \frac{S_s}{S(1+\mu)} \quad (1-4-12)$$

式中： S_s ——静载试验荷载作用下控制截面内力计算值；

S ——控制荷载作用下控制截面最不利内力计算值；

μ ——按规范采用的冲击系数，平板挂车、履带车、重型车辆，取“ $\mu=0$ ”。

η_q 值可采用 0.8~1.05，当桥梁的调查、检算工作比较完善而又受加载设备能力所限， η_q 值可采用低限；当桥梁的调查、检算工作不充分，尤其是缺乏桥梁计算资料时， η_q 值应采用高限。一般情况下 η_q 值不宜小于 0.95。

(2) 动载试验效率

$$\eta_d = \frac{S_d}{S(1+\mu)} \quad (1-4-13)$$

式中: S_d ——动载试验荷载作用下控制截面最大计算内力值;

S ——标准汽车荷载作用下控制截面最大计算内力值(不计入汽车荷载冲击系数)。

η_d 值一般取用 1。动载试验的效率不仅取决于试验车型及车重,而且取决于实际跑车时的车间距。因此在动载试验跑车时应注意保持试验车辆之间的间距,并采用实际测定跑车时的车间距作为修正动载试验效率 η_d 的计算依据。

2. 荷载检验系数

为了评定结构整体受力性能,需对桥梁荷载试验结果与理论分析值比较;以检验新建桥是否达到设计要求的荷载标准,或判断旧桥的承载能力。为了量化以及描述试验值与理论分析值比较的结果,此处引入结构校验系数:

$$\eta = \frac{S_e}{S_s} \quad (1-4-14)$$

式中: S_e ——试验荷载作用下量测的弹性变位(或应变)值;

S_s ——试验荷载作用下的理论计算变位(或应变)值。

S_e 与 S_s 的比较可用实测的横截面平均值与计算值比较,也可考虑荷载横向不均匀分布而选用实测最大值与考虑横向增大系数的计算值进行比较。

比较时可以将结构位移、应变等试验值与理论计算值列表进行比较,对结构在最不利荷载工况作用下主要控制测点的位移、应力的实测值与理论分析值,要分别绘出荷载位移($P \sim \Delta$)曲线;荷载应力($P \sim \sigma$ 曲线)并绘出最不利荷载工况作用下位移沿结构(纵、横向)分布曲线和控截面应变(沿高度)分布图,绘制结构裂缝分布图(对裂缝编号注明长度、宽度、初裂荷载以及裂缝发展情况)等进行分析。

七、试验过程中的观测内容和终止加载的条件

1. 试验过程中的观测内容

(1) 温度稳定观测

仪表安装完毕后,一般在加载试验之前应对各测点进行一段时间的温度稳定观测;中间可每隔 1min 读数一次。观测时间应尽量选择在加载试验时外界气候条件对观测造成误差的影响范围,用于测点的温度影响修正。

(2) 仪表的测读与记录

仪表的测读应准确、迅速,并记录在专门的表格上,以便于资料的整理和计算。记录者应对所有测点量测值变化情况进行检查,看其变化是否符合规律。

当采用仪器自动采集数据记录时,应对控制点的应变和位移进行监控,测试结果规律异常时,应查明原因采取补救措施。

(3) 加载稳定时间控制

选择一个控制观测点(如简支梁的跨中挠度或应变测点),在每级加载(或卸载)后立即测读一次,计算其与加载前(或卸载前)测读值之差值 S_g ,然后每隔 2min 测读一次,计算 2min 前后读数的差值 ΔS ,并按式(1-4-15)计算相对读数差值 m :

$$m = \frac{\Delta S}{S_g} \quad (1-4-15)$$

当 m 值小于 1% 或小于量测仪器的最小分辨率时即认为结构基本稳定, 可进行各观测点读数。

(4) 裂缝观测

加载试验中裂缝观测的重点是结构承受拉力较大部位及旧桥原有裂缝较长、较宽的部位。在这些部位应测量裂缝长度、宽度, 并在混凝土表面沿裂缝走向进行描绘。加载过程中观测裂缝长度及宽度的变化情况, 可直接在混凝土表面进行描绘记录, 也可采用专门表格记录。必要时可将裂缝发展情况绘制在裂缝展开图上。

(5) 加载过程的观察

加载试验过程应对结构控制点位移(或应变)、结构整体行为和薄弱部位破损实行监控, 并将结果随时汇报给指挥人员作为控制加载的依据。

随时将控制点位移与计算结果比较, 如实测值超过计算值较多, 及时向试验指挥人员报告, 待查明原因再决定是否继续加载。

加载过程中应指定人员随时观察结构各部位可能产生的新裂缝, 注意观察构件薄弱部位是否有开裂、破损, 组合构件的结合面是否有开裂错位, 支座附近混凝土是否开裂, 横隔板的接头是否拉裂, 结构是否产生不正常的声响, 加载时墩台是否发生摇晃现象等。如发生上述这些情况应报告试验指挥人员, 以便采取相应的措施。

2. 终止加载控制条件

发生下列情况应中途终止加载:

(1) 控制测点应力值已达到或超过用弹性理论按规范安全条件反算的控制应力值时。

(2) 控制测点变位(或挠度)超过规范允许值时。

(3) 由于加载, 使结构裂缝的长度、缝宽急剧增加, 新裂缝大量出现, 缝宽超过允许值的裂缝大量增多, 对结构使用寿命造成较大的影响时。

(4) 拱桥加载时沿跨长方向的实测挠度曲线分布规律与计算值相差过大或实测挠度超过计算值过多时。

(5) 发生其他损坏, 影响桥梁承载能力或正常使用时。

八、实测数据的修正方法

1. 测值修正

根据各类仪表的标定结果进行测试数据的修正, 如考虑机械式仪表校正系数、电测仪表率定系数、灵敏系数、电阻应变观测的导线电阻影响等。当这类因素对测值的影响小于 1% 时可不予修正。

2. 温度影响修正

一般可采用综合分析的方法来进行温度影响修正, 即利用加载试验前进行的温度稳定观测数据, 建立温度变化(测点处构件表面温度或空气温度)和测点测值(应变和挠度)变化的线性关系, 然后按式(1-4-16)进行温度修正计算:

$$S = S' - \Delta t \cdot K_t \quad (1-4-16)$$

式中: S ——温度修正后的测点加载测值变化;

S' ——温度修正前的测点加载测值变化;

Δt ——相应于 y 观测时间段内的温度变化($^{\circ}\text{C}$);

K_t ——空载时温度上升 1°C 时测点测值变化量。

$$K_t = \frac{\Delta S}{\Delta t_1} \quad (1-4-17)$$

中: ΔS ——空载时某一时间区段内测点测值变化量;

Δt_1 ——相应于 ΔS 同一时间区段内温度变化量。

温度变化量的观测对应变宜采用构件表面温度,对挠度宜采用气温。

3. 支点沉降影响的修正

当支点沉降量较大时,应修正其对挠度值的影响,修正量 C 可按式(1-4-18)计算:

$$C = \frac{l-x}{l}a + \frac{x}{l}b \quad (1-4-18)$$

中: C ——测点的支点沉降影响修正量;

l ——A 支点到 B 支点的距离;

x ——挠度测点到 A 支点的距离;

a ——A 支点沉降量;

b ——B 支点沉降量。

九、桥梁承载能力的评定

经过荷载试验的桥梁,应根据整理的试验资料分析结构的工作状况,进一步评定桥梁承载力,为新建桥验收做出鉴定结论,或作为旧桥承载力鉴定检算的依据,并纳入桥梁承载能力鉴定报告和桥梁承载力鉴定表。

1. 结构工作状况

(1) 校验系数 η

校验系数 η 是评定结构工作状况、确定桥梁承载能力的一个重要指标。不同结构形式的梁其 η 值常不相同。一般要求 η 值不大于 1。 η 值越小结构的安全储备越大。

(2) 实测值与理论值的关系曲线

由于理论的变位(或应变)一般系按线性关系计算,所以如测点实测弹性变位(或应变)与理论计算值成正比,其关系曲线接近于直线,说明结构处于良好的弹性工作状况。

(3) 相对残余变位(或应变)

测点在控制荷载工况作用下的相对残余变位(或应变) S_p/S_t 越小说明结构越接近弹性工作状态。一般要求 S_p/S_t 值不大于 20%,当 S_p/S_t 大于 20% 时,应查明原因。如确系桥梁强度不足,应在评定时,酌情降低桥梁的承载能力。

(4) 动载性能

当动载试验效率 η_0 接近 1 时,不同车速下实测的冲击系数最大值可用于结构的强度及稳定性检算。

结构随自振频率、活载强迫振动频率及阻尼系数等对桥梁承载能力的影响可参考其他有关资料进行分析。

2. 结构的强度及稳定性

采用荷载试验主要挠度测点的校验系数 η 来评定结构的强度和稳定性。检算时用荷载试验的梁桥检算系数 Z_2 代替《公路旧桥承载能力鉴定方法》中旧桥检算系数 Z_1 ,对桥梁结构效应予以提高或折减。

砖石和混凝土桥:

$$S_d(\gamma_{s0}\psi\sum\gamma_{s1}Q)\leq R_d\left(\frac{R^i}{\gamma_m},\alpha_K\right)\times Z_2(1-\zeta_e) \quad (1-4-19)$$

钢筋混凝土及预应力混凝土桥:

$$S_d(\gamma_g G, \gamma_q \sum Q)\leq \gamma_b R_d\left(\frac{\zeta_c R_c}{\gamma_c}, \frac{\zeta_s R_s}{\gamma_s}\right)\times Z_2(1-\zeta_e) \quad (1-4-20)$$

根据 η 值可在表中查取 Z_2 的取值范围,再根据下列条件确定 Z_2 值。符合下列条件时, Z_2 值可取高限,否则应酌减,直至取低限。

- (1)加载内力与总内力(加载内力+恒载内力)的比值较大,荷载试验效果较好。
- (2)实测值与理论值线性关系较好;相对残余变位(或应变)较小。
- (3)桥梁结构各部分无损伤,风化、锈蚀、裂缝等较轻微。

3. 地基与基础

当试验荷载作用下墩台沉降、水平位移及倾角较小,符合上部结构检算要求,卸载后变位基本回复时,认为地基与基础在检算荷载作用下能正常工作。

4. 结构的刚度

试验荷载作用下,主要测点挠度校验系数 η 应不大于 1。各点的挠度不超过“桥规”规定的如下允许值。

圬工拱桥:一个桥范围内正负挠度的最大绝对值之和不小于 $L/1000$,履带车和挂车验算时需提高 20%。

钢筋混凝土桥:梁桥主梁跨中	$L/600$;
梁桥主要悬臂端	$L/300$;
桁架、拱桥	$L/300$ 。

5. 裂缝

对于新建桥试验荷载作用下预应力结构不应出现裂缝、钢筋混凝土结构裂缝不超过“桥规”容许值:

$$\delta_{\max} \leq [\delta] \quad (1-4-21)$$

通过对桥梁结构工作状态、强度稳定性、刚度和抗裂性各项指标进行综合评定,并结合结构下部评定和动力性能评定结论,综合给出桥梁承载能力评定结论,并写入桥梁承载能力鉴定报告。

第三节 桥梁动载试验

一、结构动力测试的基本概念

桥梁结构承受车辆、人群、风力和地震等动力荷载作用下产生振动。桥梁振动的动力特性(频率、振型和阻尼比)是评定桥梁承载能力状态的重要参数。桥梁结构振动问题涉及振源(输入)、结构(系统)和响应(输出)。它们的关系为:振源(输入)→结构(系统)→响应(输出)。

在结构振动问题中输入、系统和输出中知其中两者,可以求第三者,所以桥梁的动载试验可以划分为三类基本问题:

- (1)测定桥梁荷载的动力特性(数值、方向、频率)。
- (2)测定桥梁结构的动力特性(自振频率、阻尼、振型)。

(3)测定桥梁在动荷载作用下的响应(动位移、动应力)。

二、桥梁动载试验的测试仪器

1. 测振传感器

通常所指的测值传感器为惯性传感器:它是由惯性质量、阻尼和弹簧组成一个动力系统,这个动力系统固定在振动体上(即传感器的外壳固定在振动体上),与振动体一起振动。通过测量惯性质量相对于传感器外壳的运动,就可以得到振动体的振动。由于这是一个非直接测量的方法,所以,这个传感器动力系统的动力特性对测量结构具有很重要的影响。

2. 磁电式速度传感器

磁电式速度传感器是根据电磁感应的原理制成的。它由磁钢和壳体相固连,并通过壳体安装在振动体上,与振动体一起振动;芯轴和线圈组成传感器的系统质量,通过弹簧片(系统弹簧)与壳体连动。振动体振动时,系统质量与传感器壳体之间发生相对位移,因此,线圈与磁钢之间也发生相对运动。根据电磁感应定律,感应电势($E = Blnv$)的大小与相对运动的速度成正比。确定运动速度的大小。

3. 磁带记录仪

磁带记录仪是利用磁记录技术在磁带上记录(储存)被测信号的一种记录仪器。主要由磁带、磁头、记录放大器和重放放大器三部分组成。

4. 信号处理机

一般信号处理机先将输入信号通过低通抗混淆滤波器和前置放大器,然后经过模数转换器,将模拟电量信号转换成数字信号输入给计算机,在数据处理硬件和软件的支持下对各种数据处理,最后将分析结果显示在屏幕上或通过打印机打印出来。

5. 桥梁动态测试系统

基于计算机控制的一体化动态数据测试系统是动载试验的主要仪器。一般该系统主要由激振装置、传感器、信号采集系统和信号分析系统四大部分组成。

三、桥梁动载试验的激振方法

1. 自振法(瞬态激振法)

自振法的特点是使桥梁产生有阻尼的自由衰减振动,记录到的振动图形是桥梁的衰减振动曲线。为使桥梁产生自由振动,一般常用突加载荷和突卸荷载两种方法。

2. 突加载荷法(冲击法)

对于中、小型桥梁结构,可用落锤激振器(或枕木)垂直地冲击桥梁,激起桥梁竖直方向的自由振动。如果水平方向冲击桥面缘石,则可激起横向振动。

工程界常利用试验车辆在桥面上驶越三角垫木,利用车轮的突然下落对桥梁产生冲击作用,激起桥梁的竖向振动。为了获得简支梁桥的第一振型,则冲击荷载作用于跨中部位,测第二振型时冲击荷载应加于跨度的四分之一处。

冲击法引起的自由振动,一般可记录到第一固有频率的振动图形。如用磁带记录仪录取结构某处之响应,通过频谱分析,则可获得多阶固有频率的参数。

3. 突然卸载法(位移激振法)

采用突然卸载法时,在结构上预先施加一个荷载作用,使结构产生一个初位移,然后突然卸去荷载,利用结构的弹性性质使其产生自由振动。

4. 共振法(强迫振动法)

激振设备有机械式激振器、电磁式激振器和电气液压式振动台。

共振法是利用激振器,对结构施加激振力,使结构产生强迫振动,从而改变激振力的频率使结构产生共振现象,并借助共振现象来确定结构的动力特性。

在桥梁的动载试验中,常用载重车队由低到高的不同速度驶过桥梁,使结构产生不同程度的强迫振动。在若干次运行车辆荷载试验中,当某一行驶速度产生的激振力的频率与结构的固有频率相接近时,结构便产生共振现象,此时结构各部位的振动响应达最大值。在车辆驶离桥跨以后,结构作自由衰减振动,这时可由记录到的波形曲线分析得出结构的动力特性。

5. 脉动法

对于大跨度悬吊结构,如悬索桥、斜拉索桥跨结构、塔墩以及具有分离式拱肋的大跨度下承式或中承式拱桥,可利用结构由于外界各种因素所引起的微小而不规则的振动来确定结构的动力特性。这种微振动通常称为“脉动”,它是由附近的车辆、机器等振动或附近地壳的微小破裂和远处的地震传来的脉动所产生。结构的脉动有一重要特性,就是它能明显地反映出结构的固有频率。

在进行桥梁的动载试验中,首先应考虑采用车辆荷载作为试验荷载,以便确定桥梁在使用荷载作用下动力特性及响应。

四、桥梁动载试验数据分析

1. 结构固有频率的测定

按照前面叙述的激振方法,使桥梁产生自由振动,通过测试系统实测记录结构的衰减振动波形。在记录的振动波形曲线上,可根据时标符号直接计算出结构的固有频率 f_0 :

$$f_0 = \frac{Ln}{t_1 S} \quad (1-4-22)$$

式中: L ——两个时标符号间的距离(mm);

n ——波数;

S —— n 个波长的距离(mm);

t_1 ——时标的间隔(常用 1s、0.1s、0.01s 三种标定值)。

在计算频率时,为消除冲击荷载的影响,开始的一、二个波形应舍弃,从第三个波形开始计算分析。

2. 结构阻尼的测定

桥梁结构的阻尼特性,一般用对数衰减率或阻尼比 D 来表示。由振动理论得知,对数衰减率为:

$$\delta = \ln \frac{A_i}{A_{i+1}} \quad (1-4-23)$$

式中: A_i 、 A_{i+1} ——相邻两个波的振幅值,可直接从衰减曲线上量取。

实践中,常在衰减曲线上量取 m 个波形,求得平均的衰减率:

$$\delta_s = \frac{1}{m} \ln \frac{A_i}{A_{i+m}} \quad (1-4-24)$$

由振动理论得知,对数衰减率 δ 与阻尼比 D 的关系为:

$$\delta = \frac{2\pi D}{\sqrt{1-D^2}} \quad (1-4-25)$$

对于一般材料的阻尼比都很小,因此:

$$D \approx \frac{\delta}{2\pi} \quad (1-4-26)$$

按照前述的方法,可求出结构的动力特性。

应当指出,上述分析中,包含有载重汽车这一附加质量的影响。

3. 振型的测定

采用共振法测定振型时,将若干传感器安装在结构各有关部位,当激振装置激发结构共振时,同时记录结构各部位的振幅和相位,比较各测点的振幅及相位便可绘出振型曲线。

振型的测定一般采用两种方法。一是在结构上同时安装许多传感器,另一种方法只用一个传感器,测试时要不断改变它的位置,以便测出各点的振幅。这种方法需要对传感器多次拆卸和安装,并且还需要有一个作用参考点不能移动的传感器,各次测定值均应同参考点对应比较。

五、结构动力响应的测定

动力荷载作用在结构上产生的动挠度,一般较同样的静荷载所产生的相应静挠度要大。动挠度与静挠度的比值称为活荷载的冲击系数。活载冲击系数综合反映了荷载对桥梁的动力作用。它与结构的形式、车辆运行速度和桥面的平整度等有关。

冲击系数的测定以使车辆荷载以不同的速度驶过桥梁,并逐次记录跨中的时历曲线,按冲击系数定义计算即可:

$$1 + \mu = \frac{Y_{d \max}}{Y_{s \max}} \quad (1-4-27)$$

六、桥梁结构动力性能评价

桥梁结构动力性能的各参数,如固有频率、阻尼比、振型、动力冲击系数等,及动力响应的大小,是宏观评价桥梁结构整体刚度、运营性能的重要指标;也是一些规范评价桥梁安全运营性能的主要尺度。在实测中,通常通过以下几个方面来评价桥梁结构的动力性能。

(1) 比较桥梁结构频率的理论值与实测值,如果实测值大于理论值,说明桥梁结构的实际刚度较大,反之则说明桥梁结构的刚度偏小,可能存在开裂或其他不正常的现象。

(2) 根据动力冲击系数的实测值来评价桥梁结构的行车性能,实测冲击系数较大则说明桥梁结构的行车性能差,桥面平整度不良,反之亦然。

(3) 实测阻尼比的大小反映了桥梁结构耗散外部能量输入的能力,阻尼比大,说明桥梁耗散外部能量输入的能力大,振动衰减的快;阻尼比小,说明桥梁耗散外部能量输入的能力差,振动衰减慢。但是过大的阻尼比可能是由于桥梁结构存在开裂或支座工作不正常等现象引起的。

第四节 桥梁运营状况监控

一、桥梁养护检查的内容

桥梁养护检查分为经常检查、定期检查和特殊检查。

1. 桥梁检查的作用

1) 经常检查: 主要指对桥面设施、上部结构、下部结构及附属构造物的技术状况进行的检查。

2) 定期检查: 为评定桥梁使用功能, 制定管理养护计划提供基本数据, 对桥梁主体结构及其附属构造物的技术状况进行的全面检查, 它为桥梁养护管理系统搜集结构技术状态的动态数据。

3) 特殊检查: 特殊检查是查清桥梁的病害原因、破损程度、承载能力、抗灾能力, 确定桥梁技术状况的工作。

2. 桥梁检查的内容

1) 经常检查的内容:

(1) 外观是否整洁, 有无杂物堆积, 杂草蔓生。构件表面的涂装层是否完好, 有无损坏、老化变色、开裂、起皮、剥落、锈迹。

(2) 桥面铺装是否平整, 有无裂缝、局部坑槽、积水、沉陷、波浪、碎边; 混凝土桥面是否有剥离、渗漏, 钢筋是否露筋、锈蚀, 缝料是否老化、损坏, 桥头有无跳车。

(3) 排水设施是否良好, 桥面泄水管是否堵塞和破损。

(4) 伸缩缝是否堵塞卡死, 连接部件有无松动、脱落、局部破损。

(5) 人行道、缘石、栏杆、扶手、防撞护栏和引道护栏(柱)有无撞坏、断裂、松动、错位、缺件、剥落、锈蚀等。

(6) 观察桥梁结构有无异常, 变形, 异常的竖向振动、横向摆动等情况, 然后检查各部件的技术状况, 查找异常原因。

(7) 支座是否有明显缺陷。活动支座是否灵活, 位移量是否正常。支座的经常检查一般可以每季度一次。

(8) 桥位区段河床冲淤变化情况。

(9) 基础是否受到冲刷损坏、外露、悬空、下沉, 墩台及基础是否受到生物腐蚀。

(10) 墩台是否受到船只或漂浮物撞击而受损。

(11) 翼墙(侧墙、耳端)有无开裂、倾斜、滑移、沉降、风化剥落和异常变形。

(12) 锥坡、护坡、调治构造物有无塌陷、铺砌面有无缺损、勾缝脱落、灌木杂草丛生。

(13) 交通信号、标志、标线、照明设施以及桥梁其他附属设施是否完好。

(14) 其他显而易见的损坏或病害。

2) 定期检查

定期检查以目测观察结合仪器观测进行, 必须接近各部件仔细检查其缺损情况。定期检查的主要内容有:

(1) 桥面系构造的检查:

a. 桥面铺装层纵、横坡是否顺适, 有无严重的裂缝(龟裂、纵横裂缝)、坑槽、波浪、桥头跳车、防水层漏水。

b. 伸缩缝是否有异常变形、破损、脱落、漏水, 是否造成明显的跳车。

c. 人行道构件、栏杆、护栏有无撞坏、断裂、错位、缺件、剥落、锈蚀等。

d. 桥面排水是否顺畅, 泄水管是否完好、畅通, 桥头排水沟功能是否完好, 锥坡有无冲蚀、塌陷。

e. 桥上交通信号标志、标线、照明设施是否损坏、老化失效, 是否需要更换。

f. 桥上避雷装置是否完善。避雷系统性能是否良好。

g. 桥上航空灯、航道灯是否完好、能否保证正常照明结构物内供养护检修的照明系统是否完好。

h. 桥上的路用通信、供电线路及设备是否完好。

(2) 钢筋混凝土和预应力混凝土梁桥的检查:

a. 梁端头、底面是否损坏,箱形梁内是否有积水,通风是否良好。

b. 混凝土有无裂缝、渗水、表面风化、剥落、露筋和钢筋锈蚀,有无碱集料反应引起的整体龟裂现象。混凝土表面有无严重碳化。

c. 预应力钢束锚固区段混凝土有无开裂,沿预应力筋的混凝土表面有无纵向裂缝。

d. 梁(板)式结构的跨中、支点及变截面处,悬臂端牛腿或中间铰部位,刚构的固结处和桁架节点部位,混凝土是否开裂、缺损和出现钢筋锈蚀。

e. 装配式梁桥应注意检查联结部位的缺损状况。

组合梁的桥面板与梁的结合部位及预制桥面板之间的接头处混凝土有无开裂、渗水。

横向联结构件是否开裂,连接钢板的焊缝有无锈蚀、断裂,边梁有无横移或向外倾斜。

(3) 拱桥的检查:

a. 主拱圈的拱板或拱肋是否开裂。钢筋混凝土拱有无露筋、钢筋锈蚀。圯工拱桥砌块有无压碎、局部掉块,砌缝有无脱离或脱落、渗水,表面有无苔藓、草木滋生,拱铰工作是否正常:空腹拱的小拱有无较大的变形、开裂、错位,立墙或立柱有无倾斜、开裂。

b. 拱上立柱(或立墙)上下端、盖梁和横系梁的混凝土有无开裂、剥落、露筋和锈蚀。中、下承式拱桥的吊杆上下锚固区的混凝土有无开裂、渗水,吊杆锚头附近有无锈蚀现象,外罩是否有裂纹,锚头夹片、楔块是否发生滑移,吊杆钢索有无断丝。采用型钢或钢管混凝土芯的劲性骨架拱桥,混凝土是否沿骨架出现纵向或横向裂缝。

c. 拱的侧墙与主拱圈间有无脱落,侧墙有无鼓突变形、开裂,实腹拱拱上填料有无沉陷。肋拱桥的肋间横向联结是否开裂、表面剥落、钢筋外露、锈蚀等。

d. 双曲拱桥拱肋间横向联结拉杆是否松动或断裂,拱波与拱肋结合处是否开裂、脱开,拱波之间砂浆有无松散脱落,拱波顶是否开裂、渗水等。

e. 薄壳拱桥壳体纵、横向及斜向是否出现裂缝及系杆是否开裂。

f. 系杆拱的系杆是否开裂,无混凝土包裹的系杆是否有锈蚀。

g. 钢管混凝土拱桥裸露部分的钢管及构件检查参见钢桥检查有关内容,同时还应检查管内混凝土是否填充密实。

(4) 钢桥的检查:

a. 构件(特别是受压构件)是否扭曲变形、局部损伤。

b. 铆钉和螺栓有无松动、脱落或断裂,节点是否滑动、错裂。

c. 焊缝边缘(热影响区)有无裂纹或脱开。

d. 油漆层有无裂纹、起皮、脱落,构件有无锈蚀。

e. 钢箱梁封闭环境中的湿度是否符合要求,除湿设施是否工作正常。

(5) 通道、跨线桥与高架桥的检查:

通道、跨线桥与高架桥的结构检查同其他般公路桥梁。通道还应检查通道内有无积水,机械排水的泵站是否完好,排水系统是否畅通。跨线桥、高架桥还应检查防抛网、隔音墙是否完好通道、跨线桥与高架桥下的道面是否完好,有无非法占用情况等。

(6) 悬索桥和斜拉桥的检查:

- a. 检查索塔高程、塔柱倾斜度、桥面高程及梁体纵向位移,注意是否有异常变位。
- b. 检测索体振动频率、索力有无异常变化,索体振动频率观测应在多种典型气候下进行。每观测周期不超过6年。
- c. 主梁或加劲梁的检查,按预应力混凝土及钢结构的相应要求进行。
- d. 悬索桥的锚碇及锚杆有无异常的拨动,锚头、散索鞍有无锈蚀破损,锚室(锚洞)有无开裂、变形、积水,温湿度是否符合要求。
- e. 主缆、吊杆及斜拉索的表面封闭、防护是否完好,有无破损、老化。
- f. 悬索桥的索鞍是否有异常的错位、卡死、辊轴歪斜,构件是否有锈蚀、破损,主缆索跨过索鞍部分是否有挤扁现象。
- g. 悬索桥吊杆上端与主缆索的索夹足否有松动、移位和破损,下端与梁连接的螺栓有无松动。
- h. 逐束检测索体是否开裂、鼓胀及变形,必要时可剥开护套检查索内干湿情况和钢索的锈蚀情况。检查后应做好保护套剥开处的防护处理。
- i. 逐个检查锚具及周围混凝土的情况,锚具是否渗水、锈蚀,是否有锈水流出的痕迹,周围混凝土是否开裂必要时可打开锚具后盖抽查锚杯内是否积水、潮湿,防锈油是否结块、乳化失效,锚杯是否锈蚀。
- j. 逐个检查索端出索处钢护筒、钢管与索套管连接处的外观情况。检查钢护筒是否松动脱落、锈蚀、渗水,抽查连接处钢护筒内防水垫圈是否老化失效,筒内是否潮湿积水。
- k. 索塔的爬梯、检查门、工作电梯是否可靠安全,塔内的照明系统是否完好。

(7) 支座的检查

- a. 支座组件是否完好、清洁,有无断裂、错位、脱空。
- b. 活动支座是否灵活,实际位移量是否正常,固定支座的锚销是否完好。
- c. 支承垫石是否有裂缝。
- d. 简易支座的油毡是否老化、破裂或失效。
- e. 橡胶支座是否老化、开裂,有无过大的剪切变形或压缩变形,各夹层钢板之间的橡胶层外凸是否均匀。
- f. 四氟滑板支座是否脏污、老化,四氟乙烯板是否完好,橡胶块是否滑出钢板。
- g. 盆式橡胶支座的固定螺栓是否剪断,螺母是否松动,钢盆外露部分是否锈蚀,防尘罩是否完好。
- h. 组合式钢支座是否干涩、锈蚀,固定支座的锚栓是否紧固,销板或销钉是否完好。
- i. 摆柱支座各组件相对位置是否准确,受力是否均匀。
- j. 辊轴支座的辊轴是否出现不允许的爬动、歪斜。
- k. 摇轴支座是否倾斜。
- l. 钢筋混凝土摆柱支座的柱体有无混凝土脱皮、开裂、露筋,钢筋及钢板有无锈蚀。

(8) 墩台与基础的检查

- a. 墩台及基础有无滑动、倾斜、下沉或冻拔。
- b. 台背填土有无沉降或挤压隆起。
- c. 混凝土墩台及帽梁有无冻胀、风化、开裂、剥落、露筋等。
- d. 石砌墩台有无砌块断裂,通缝脱开、变形,砌体泄水孔是否堵塞,防水层是否损坏。
- e. 墩台顶面是否清洁,伸缩缝处是否漏水。

f. 基础下是否发生不许可的冲刷或淘空现象,扩大基础的地基有无侵蚀。桩基顶段在水位涨落、干湿交替变化处有无冲刷磨损、颈缩、露筋,有无环状冻裂,是否受到污水、咸水或生物的腐蚀必要时对大桥、特大桥的深水基础应派潜水员潜水检查。

3) 特殊检查

特殊检查应委托有相应资质和能力的单位承担。在下列情况下应作特殊检查:

- (1) 定期检查中难以判明损坏原因及程度的桥梁。
- (2) 桥梁技术状况为四、五类者。
- (3) 拟通过加固手段提高荷载等级的桥梁。
- (4) 条件许可时,特殊重要的桥梁在正常使用期间可周期性进行荷载试验。

桥梁遭受洪水、流冰、滑坡、地震、风灾、漂流物或船舶撞击,因超重车辆通过或其他异常情况影响造成损害时应进行应急检查。

特殊检查应根据桥梁的破损状况和性质,采用仪器设备进行现场测试、荷载试验及其他辅助试验,针对桥梁现状进行检算分析,形成鉴定结论。

二、桥梁养护管理系统的要求

(1) 桥梁养护管理系统首先要有各种自动监测设备和信号的采集、传输、储存和显示系统,能储存和显示各种类型数据(数字、文档、图形及视频、音频信息等),如包含桥梁外观照片的静态图像信息和桥梁示意图、各桥孔结构配置资料、桥梁外观及环境动态影像资料、桥梁或孔的损坏照片、桥梁评估报告文档资料等。

(2) 系统能综合运用各种信息系统和现代数据库技术,把桥梁的各项要素与地理要素的空间属性联系起来,把有关属性信息存入数据库中,既可以从地图上的路段、桥梁、涵洞等地理要素查询得到相应对象的数字、文档、图形、图像及视频、音频等信息,也可以由路段编号、桥梁编号等标识信息查询得到其他空间方面的信息。

(3) 现代的桥梁养护管理系统要求提供桥梁评估的功能,帮助桥梁养护管理部门了解桥梁建成的技术状况,以制定相应的养护、维修措施,为编制桥梁养护计划提供重要依据。

三、桥梁养护管理系统的功能

一般桥梁养护管理系统包括以下几个功能。

- (1) 数据管理:包括数据录入、删除、更新、修改、校验、备份、恢复等。
- (2) 统计查询:包括基本视图、统计报表、统计图表、高级查询等。
- (3) 评价决策:包括理论模型的建立、评价计算分析、评价输出等。
- (4) 费用模型:包括处治对策分析确定、确定方案及工程数量、确定费率和计算费用、费用查询和修改、费用分析报表等。
- (5) 维修计划:包括维修排序、检查计划、养护报告等。
- (6) 地理信息。

四、桥梁运营状态监测的目的、意义

由于桥梁在运营期间受到气候、氧化、腐蚀或老化等因素,以及长期在各种作用下遭受损害,其刚度和强度会随时间的增加而降低,这不仅影响了安全行车,更会缩短桥梁的使用寿命。因此有必要在桥梁结构分析、计算机通信及网络、现代传感器检测、监测技术、桥梁的评估与养

护管理为一体的,基于监测、状态评估和桥梁养护管理等方面的健康监测评估系统,用以监测和评估桥梁营运状态,为养护管理提供科学依据。

大型桥梁工程的健康监测与评估管理系统是一种基于内在的环境振动响应和数据分析、损失识别技术和外部的桥梁调查检测相结合的先进的计算机监测和管理系统,它突破了传统的仅靠目测和外管检测的结构养护管理模式,能有效提高大型桥梁工程结构的运营养护管理水平和效率,有助于保障结构及行车的安全。其最大的亮点是采用集成技术,将现代的计算机、传感、信号处理技术、软件开发、桥梁结构分析与检测技术等相融合,在各种平台上,用功能全面、强大、操作简便的桥梁健康监测与评估管理系统软件,将桥梁信息、桥梁管理、日常养护、桥梁检测、荷载试验及结构状态评估等功能相综合,为大跨桥梁的健康监测和状态评估管理提供科学的手段和方法。

五、桥梁运营状态监测的内容和方法

1. 桥梁运营状态监测的内容

桥梁运营状态监测的主要内容包括以下几个方面。

(1)荷载:包括风、地震、温度、交通荷载等。

(2)几何监测:监测桥梁各部位的静态位置、动态位置、沉降、倾斜、线形变化、位移等。

(3)结构的静动力反应:监测桥梁的位移、转角、应变应力、索力、裂缝、动力反应(加速度、频率、频谱和模态)等物理参数。

(4)非结构部件及辅助设施:支座、振动控制设施等。

2. 监测方式

(1)人工监测:配备简单的仪器,用人工做地毯式监测,用模糊分级描述桥梁状况,一般可作为定期监测,突发性事件后的特别监测。这种方法费时、费力,可靠性差。但是,它能够和管理层提供辖区内大批桥梁的宏观印象,以制定桥梁管理的技术和经济对策,是一种不可忽视的管理手段。目前各国的桥梁管理系统绝大多数都是基于这种模式。

(2)自动监测:①用固定在桥梁上的专用设备,适时地监测桥梁的工作参数;②由专用设备和软件对工作参数进行识别加工,得到能反映桥梁工作状态的状态信息;③再用特定的方法分析这些状态信息并与桥梁的健康档案相比较,给出桥梁的健康状况或损伤状况。一般适用于特大的或重要的桥梁在线监测。这种方法自动化程度高,是当前研究热点和发展方向。

(3)联合监测:考虑到前两种方法的实际情况,用各种小型的自动化程度较高的仪器,配合人工监测,是一个比较可行的方案。

六、桥梁运营状态监测系统

1. 监测系统的基本构成

桥梁运营状态监测系统的主体功能是:各类控制点的数据采集和采集数据的处理计算,实时采集、前期检测、设计、竣工验收等数据的分类管理、检索、安全维护和共享;根据实时采集及前期检测数据对桥梁进行结构分析计算和反复演算;根据结构分析计算数据对桥梁结构状况进行模糊聚类分析和动态模拟,拟合出桥梁变化趋势和安全结构极限预警。本系统的体系结构非常庞大且复杂。各功能模块间既相互紧密地联系且又有其各自的独立性,所以系统必须清晰地进行各功能模块划分,使其既能独立完成各自工作又能相互依赖实时完成整体工作。各功能模块之间的关系可参见图 1-4-5。

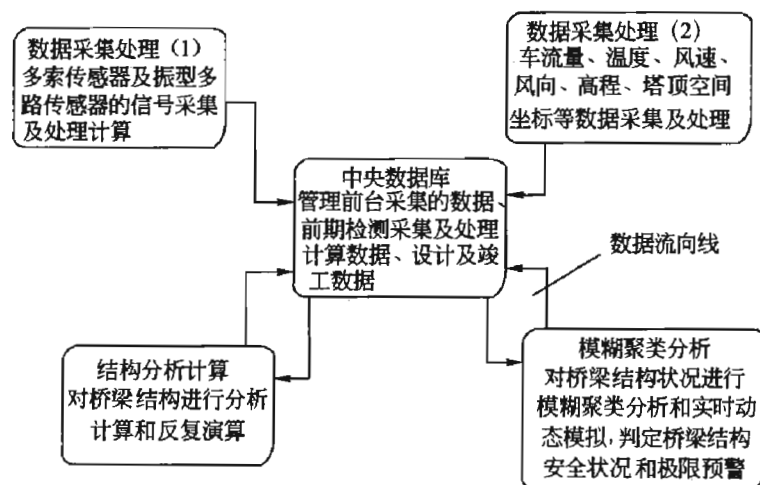


图 1-4-5 功能模块之间的关系图

系统的硬件设备主要有各类数控应变测试仪、数据采集系统:光纤传感器及解调仪、高精度的水准仪和全站仪、智能电测位移传感器和采集系统、动力测试和数据采集、传输分析系统、各类加速度传感器、索力测试分析仪、计算机服务器、便携式计算机、埋入式荷重传感器、交通车辆控制系统,混凝土超声波检测分析仪等。

2. 运营状态监测所需观测的参数及常规监测传感器和手段

(1)位移。包括绝对位移和相对位移,静位移和动位移。常规监测仪器有:位移(量程)计、倾斜仪、(高程、方位、距离)测量设备、GPS、数字成像机等。

(2)变形。例如静、动挠度;静、动应变等。常规监测仪器有:上述位移传感器、电阻应变仪、压电式应变仪、振弦应变仪、分布式光纤应变计等。

(3)力。例如索的张拉力。常规监测仪器有:压力环、磁弹性张力计、油压计、剪力销等。

(4)动力参数。例如速度、加速度,可转换成频率、振型,再转换成张力、位移。常规监测仪器有:速度计、伺服(或压电)加速度计等。

(5)外观和完整率。例如气蚀、磨损、裂缝、剥落。常规监测仪器有:刻度放大镜、数字成像机、超声探测仪、地面雷达等。

(6)物理化学现象。例如混凝土碱-集料反应,混凝土中性化(碳化、酸雨、氯蚀)、钢材锈蚀。常规监测仪器有:用化学试剂检验、由外观特征判断、钢筋锈蚀仪等。

(7)环境。例如风速(向)空气(或桥体)温度、地震、交通量(和荷载)。常规监测仪器有:风向(速)计、空气(或埋入式)温度计、当地的地震观测仪、交通量观测仪、埋入(或移动)式称重仪、摄像机等。

3. 信号传输的基本方式

(1)总控制站与各桥接驳站之间用单模光纤;定位测站与接驳站之间用多模光纤。

(2)每个 GPS 仪需要三条非同步串行传输管道操作,分别用作:①资料收集;②差分信息传送;③遥控。各自传送速度为 19 200Baud。

(3)信息传输到桥梁总控室内首先进入运作工作站(GPS-OWS),再进入分析工作站(GPS-AWS)最后进入桥梁监测系统。

运作工作站:用来进行信息和图像处理,以时程数显和动画显示三轴位移和扭转振幅当系统故障或位移超限时发出报警。

分析工作站:对运作工作站初步处理和分析的信息,进行分析评估,并用作进阶图像处理

和执行图输入输出。

以上信息最后进入桥梁监测系统,与其他监测设备的信息综合在一起对桥梁进行评估。

4. 传感器的安装与更换

采用适时监测。布置传感器要注意以下四个方面基本原则。

(1) 正确的力学模型

首先需要对桥梁的内力分布和变形特征作全面的分析。例如:竣工的恒载内力,梁拱的线形高程,塔墩的斜度和高程、频率和振型。如果实测值与理论值相差太大,则需要查明原因。判别无误后,采用逆分析法修正桥梁计算模式,再与实桥检验数据核实。反复修正的结果,才能作为监测的模型。

(2) 合适的监测参数

确定需要而且可能检测的参数。例如:索或纤细拉杆的拉力、梁的挠度变化、高耸塔墩的水平位移、悬挂桥梁的纵横摆动、匀质材料的点应变、混凝土材料的区间应变、外界环境影响、全局和构件的振动频率、一阶振型等。

(3) 恰当的监测位置

确定必要和最佳的检测位置。例如:正负挠度峰值点、振型曲线区间峰值点、应力峰值点、索或纤细拉杆等。

(4) 可靠的传感通信系统

选择操作方便,耐候性好而且精度合适的传感器和通信处理系统是保证监测结果可信度的基础。

5. 索结构力参数的测量

斜拉桥的理想受力状态是主塔受压、斜索受拉的形式;主塔受压是由对称分布的斜索将静荷载作合理传递而形成的。因此斜索张拉力的大小和变化情况决定着主塔以及整体结构的受力变形状态。斜索张拉力常用的测量方法分为直接法和间接法两类。例如压力表测定法、电测法等属直接法。通常用以施工过程中的监控测量;振动频率法是一种间接测量法,多用于成桥后的检测工作。

(1) 索力的测定

① 压力表测定法

施工过程中,索的张拉均使用油压千斤顶。根据千斤顶油缸中液压和索力的关系,只需测定油缸中的油压即可求得索力。通常在使用之前,必须将千斤顶相配套的油压表进行严格地标定;在千斤顶的满荷载范围内,划分若干加载级别,建立张力吨位与油压表读数间的相关曲线,以并施工时参考。

② 电测法

电测法是运用电阻应变片测量的原理,将粘有电阻应变片的张拉连杆或筒式压力传感器接在千斤顶上,把索力的变化转成电信号,由电阻应变仪或电子秤反映出来。

③ 钢索测力仪法

钢索测力仪是 20 世纪 80 年代发展起来的一种测力仪器,其原理是根据张紧的完全柔性弦作横向振动时,张力与自振频率之间的关系,通过测取弦的自振频率来计算弦的张拉力。

④ 振动频率法

利用斜索随环境变化时发生随机振动的特征,来测求斜索频率的振动法。将高精度拾振

器采集的信号进行频谱分析,由功率谱图上的峰值判断斜索的各阶频率,然后在根据频率与索力之间的关系求出索力。

(2) 振动频率的测定

计算索力要使用索的自振频率,因此索频测试的结果精确度将直接影响索力检测的准确性。目前用于索力检测的各种仪器,配有频谱分析系统的振动信号采集装置即可胜任频率的测试。其基本原理是用加速度传感器拾取振动系统的加速度信号,经过电荷放大器放大处理后进入仪器进行分析,作两次积分运算后,建立时间—位移曲线;再进行傅里叶变换得出频率与振幅的关系;由此判断测试体系的各阶自振频率。

6. 运营状态监测数据的处理方法及资料的整理

当监控量测结果发生异常时,根据监控量测的各种数据来分析诊断结构可能发生的损伤、损伤部位和损伤程度。目前损伤识别方法主要有无模型的识别方法和有模型的识别方法两种。

(1) 无模型的识别方法

它们不使用结构模型,属于这类方法的有:基于 FRF 的损伤识别指标方法,包括 Waveform Chain Code(WCC)、Adaptive Template Methods(ATMA)和 Signature Assurance Criteria(SAC);此外还有人工神经网络、ABMA 模型、模型识别等。

(2) 有模型的识别方法

即使用结构的有限元模型进行识别,这类方法可分为两种。

① 基于模态参数的识别方法

第一步,动测后进行模态参数识别;第二步,构造损伤指标,识别损伤,或用模态参数直接确定结构刚度变化 $d[K]$ 。

② 直接的系统识别方法

直接由结构的响应,确定结构刚度 $[K]$ 。由模态参数确定刚度矩阵的变化或刚度矩阵都是参数估值(或称逆)问题,只能定义误差函数最小进行求解。

(3) 动态有模式法

动态有模式法主要的有以下几种。

① 修正矩阵范数极小化法

该方法第一步用动态不平衡结点力识别损伤位置,第二步是用误差矩阵范数极小化方法迭代得到损伤程度。

② 子结构修正法

该方法是基于模态修正理论,用结构模态数据修正结构刚度的子结构算法,主要有修正矩阵、最小二乘法和凝聚法的应用。

③ 加权灵敏度法

该方法第一步用残余力向量判断损伤位置;第二步用加权灵敏度法判断损伤程度。

④ 定带宽特征值反问题

一维及拟一维结构的刚度中远离主对角元的元素,其绝对值较小。可以认为这些元素对损伤影响很小,因此可以将刚度分离成两部分,一个是靠拢主对角元的狭带宽矩阵,剩余元素称为其余阵。经分析计算得到损伤后结构刚度。

⑤ 应变响应法

通常应变模态对损伤的灵敏度较高,可以用应变差作为评价损伤的指标。但是对于非致密的粗粒混凝土材料测定应变误差较大,须选择可靠的传感器。在致密材料,例如金属结构

上,可以优先考虑采用这种方法。但是应该贴有足够的应变片,因为应变片不能像拾振器那样方便地移动。

(4)神经网络法

神经网络是一种非线性动力学系统,其特色在于信息的分布式存储和并行协同处理。神经网络由许多单元组成,这些单元类似于生物神经系统的单元,称之为神经元。单个神经元的结构很简单,而且功能很有限,但是大量的神经元构成的神经网络功能很强大。

神经网络损伤识别法实际就是用一些已知损伤的响应(输入向量,目标向量)去训练或设计一个神经网络,然后再用实测的损伤响应去仿真,得到损伤位置及程度。使用时可用来预测比已知损伤更为复杂的损伤情况。

从不同的角度对生物神经系统作不同组织和抽象层次的模拟。神经网络模型按网络结构可分为前馈型网络和反馈型网络;按层次可分为神经元层次模型、组合式模型、网络层次模型、神经网络层次模型、智能型模型。具有代表性的网络模型有感知器型前馈网络、BP型前馈网络、径向基函数(RBF)网络、双向联想记忆(BMA)模型、Hopfield型反馈网络等。

复习思考题

一、单项选择题

1. 桥梁按单孔跨径分类序列属于中桥的是()。 P95
A. 20m B. 40m C. 100m D. 150m
2. 计算跨径是指()。 P95
A. 墩中线至桥台背前缘之间的距离 ~~×~~
B. 桥墩中线之间的距离
C. 相邻两个墩台支座之间距离
D. 相邻两个桥墩(或桥台)之间的净距
3. 对于旧桥荷载试验的目的是()。 P96
A. 检验桥梁设计
B. 判断桥梁结构的实际承载力
C. 验证桥梁结构设计理论
D. 检验桥梁施工质量
4. 检测简支梁桥的最大压应力,其应变片应()。
A. 贴在跨中截面上缘
B. 贴在跨中截面侧面中间
C. 贴在 1/4 截面上缘
D. 贴在支点截面上
5. 对于混凝土结构一般采用 120Ω 纸基金属丝应变片,标距为()。 P102
A. 5~200mm B. 40~150mm C. 20~40mm D. 5~20mm
6. 静载试验效率 η_s 一般采用()。 P108
A. 0.8~1.0 B. 0.85~1.05 C. 0.9~1.1 ~~D. 0.8~1.05~~
7. 电阻应变仪的输出单位为微应变,一个应变等于()。 P101
A. $1 \times 10^3 \mu\epsilon$
B. $1 \times 10^{-3} \mu\epsilon$
C. $1 \times 10^{-6} \mu\epsilon$
D. $1 \times 10^6 \mu\epsilon$
8. 试验荷载作用下,主要测点挠度校验系数 η 应不大于 1。各点的挠度不超过“桥规”规定的允许值。对于钢筋混凝土桥不能超过()。 P112
A. $L/1000$ B. $L/600$ C. $L/300$ D. $L/500$
9. 在测定简支梁的一阶振型时,激振力应作用在()。

A. 四分之一截面

B. 跨中截面

C. 四分之一截面和跨中截面

D. 四分之三截面

10. 已测出简支梁两支点的竖向位移分别为 1.2mm 和 1.6mm, 跨中的竖向位移为 9.4mm, 则跨中挠度为()。

A. 6.1mm

B. 8.0mm

C. 9.4mm

D. 8.2mm

二、多项选择题

1. 桥梁高度是指()。

A. 桥面与低水位之间的高差

B. 为桥面与桥下线路路面之间的距离

C. 桥上行车道路面高程至河床间的距离

D. 桥跨结构最下缘与低水位之间的高差

E. 桥面与设计水位之间的高差

2. 多孔跨径总长是指()。

A. 多孔桥梁中各孔净跨径的总和

B. 多孔桥梁中各孔计算跨径的总和

C. 多孔桥梁中各标准净跨径的总和

D. 桥梁两端两个桥台的侧墙或八字墙后端点之间的距离

E. 对于无桥台的桥梁为桥面系行车道的全长

3. 荷载试验的目的是()。

A. 检验桥梁设计质量

B. 判断桥梁结构的实际承载力

C. 验证桥梁结构设计理论

D. 验证桥梁结构设计方法

E. 检验桥梁施工质量

4. 桥梁荷载试验对多孔桥梁中跨径相同的桥孔(或墩)可选 1~3 孔具有代表性的桥孔(或墩)进行加载试验。选择时应综合考虑以下因素()。

A. 该孔(或墩)计算受力最不利

B. 该孔施工质量较差

C. 该孔施工质量较好

D. 缺陷较多或病害较严重

E. 便于设置测点或便于实施加载

5. 荷载工况选择应反映桥梁设计的最不利受力状态, 对于简支梁桥应选择以下工况()。

A. 跨中最大正弯矩工况

B. $L/4$ 最大正弯矩工况

C. 支点最大剪力工况

D. 桥墩最大竖向反力工况

E. 支点负弯矩工况

6. 简支梁桥测点的布设()。

A. 跨中挠度

B. 支点沉降

C. 跨中截面应变

D. 墩台的沉降

E. 应变沿截面高度分布

7. 连续梁桥试验荷载工况应选取()。

A. 主跨跨中最大正弯矩

B. 主跨跨中最大负弯矩

C. 主跨支点最大正弯矩

D. 主跨支点最大负弯矩

8. 荷载试验时发生下列情况应中途终止加载()。

A. 控制测点变位超过计算值时

- B. 控制测点应力值已达到或超过控制应力值
 - C. 挠度超过规范允许值时
 - D. 由于加载,使结构裂缝的长度、缝宽急剧增加
 - E. 拱桥加载时沿跨长方向的实测挠度曲线分布规律与计算值相差过大。
9. 桥梁结构静载性能分析,主要包括()。
- A. 结构的强度及稳定性分析
 - B. 结构的刚度分析
 - C. 结构的抗裂度分析
 - D. 结构的裂缝宽度分析
10. 实测冲击系数较大则说明桥梁结构()。
- A. 桥面平整度不良
 - B. 可能是由于桥梁结构存在开裂
 - C. 支座工作不正常
 - D. 承载能力差
 - E. 行车性能差

三、判断题

1. 桥梁设计洪水位是指在洪峰季节河流中的最高水位。 ()
2. 桥梁荷载试验时,工况选择应反映桥梁的最不利受力状态。 ()
3. 动载试验效率 η_d 值一般可采用 0.8~1.05,当桥梁的调查、检算工作比较完善而又受加载设备能力所限, η_d 值可采用低限;当桥梁的调查、检算工作不充分,尤其是缺乏桥梁计算资料时, η_d 值应采用高限。 ()
4. 静载试验效率系数与实际加载车辆重力无关。 ()
5. 桥梁荷载试验时,为保证结构安全,其荷载工况不能置于可能产生最大挠度位置。 ()
6. 桥梁荷载试验一般选择在晚上加载,因为晚上车辆比较少。 ()
7. 桥梁静载检测的温度修正,对应变宜采用构件表面的温度。 ()
8. 静载试验效率是评定结构工作状况的主要依据。 ()
9. 桥梁结构阻尼比小,说明桥梁结构的刚度偏小,可能存在开裂或其他不正常的现象。 ()
10. 桥梁荷载试验在描述试验值与理论值分析比较时,引入结构检验系数 η ,其等于试验荷载作用下量测的应力状态值与试验荷载作用下理论计算应力值之比, η 越大,表明结构刚度较大,材料强度较高。 ()

四、问答题

1. 简述桥梁荷载试验的准备工作。
2. 简述终止加载控制条件。
3. 什么是电阻应变测量的温度效应? 简述消除温度影响的方法。
4. 以钢筋混凝土简支 T 梁为例,简述静力加载试验过程的裂缝观测内容,一般步骤及注意事项。
5. 简述位移计安装的一般步骤及注意事项。
6. 简述贴电阻应变片的主要步骤及注意事项。
7. 以单箱单室三跨三向预应力混凝土连续箱梁桥(大跨径桥)为例,简述中跨跨中截面。应力测点的布置原则,并画出此断面的应力测点布置图。
8. 画出振动测试仪器的配置挂图(不要求具体型号)。
9. 简述桥梁承载力的评定方法。

10. 简述桥梁动载试验时频率、阻尼和冲击系数的测量、分析方法与评定。
11. 简述桥梁运营状态监测系统的基本构成。
12. 简述一般桥梁养护管理系统包括哪些功能。
13. 桥梁运营状态监测的主要内容有哪些？
14. 简述桥梁运营状态监测的方式。
15. 简述运营状态监测信号传输的基本方式。
16. 简述运营状态监测所需观测的参数。
17. 简述布置传感器基本原则。
18. 简述索力的测定方法。
19. 简述运营状态监测数据的处理方法。