

波状挡边带式输送机的设计与计算(1)——波状挡边带式输送机的发展

宋伟刚¹ 王丹¹ 陈霖²

1 东北大学机械工程与自动化学院 110004 2 青岛华夏胶带有限公司 266109

摘要: 波状挡边带式输送机是当前应用广泛、充满活力的新型带式输送机,在介绍波状挡边带式输送机的发展概况的基础上,给出了它的主要应用领域和应用实例,介绍了与其结构特点类似的袋式带式输送机。讨论了波状挡边带式输送机的发展方向;指出其在向大运量、高提升高度、高带速、大带宽的发展同时,波状挡边带式输送机与其他种类的通用输送带带式输送机的结合、灵活的布置方式和灵活的姿态变化是今后的发展方向。

关键词: 波状挡边带式输送机; 口袋式带式输送机; 卸船机

1. 波状挡边带式输送机发展概况

波状挡边带式输送机是一种特殊结构输送带的带式输送机。这种结构的输送机是专为大倾角输送物料所设计的。

普通带式输送机由于受到物料与输送带摩擦系数的限制,其输送物料的倾角不能过大,一般最大倾角只能达到 $18^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 。提高输送机倾角的方法有采用深槽的托辊组、圆管输送机、压带式带式输送机和花纹输送带输送机。波状挡边带式输送机是实现大倾角输送物料的重要形式。

20世纪60年代德国的 Svedala Flexowell 公司就开始研制这种带式输送机,其注册名称为 FLEXWELL,同时该公司与汉诺威大学合作,建立了波状挡边带式输送机的试验台,使之得到不断地完善和发展。20世纪80年代末开始向大型化方向发展。其产品已有55000余台,分布于90多个国家和地区,应用于煤炭、冶金、建材、化工、水电、矿山和港口等部门。它的技术专利已被英国 Dowty 公司、日本 Bando 公司等购买并获准生产,现已形成遍布全球的挡边输送机系列产品制造销售网。

“FLEXWELL”的波状挡边带式输送机当输送能力在2000t/h以下和带速在5m/s以下时提升高度可达500m;当提升高度为50m,输送能力可达10000t/h。当提升高度200m、带宽2400mm、带速3.75m/s、挡边高630mm时输送能力为6000t/h,输送物料块度可达400mm,可用于露天矿大倾角运输,也可以用于井深500m的竖井提升。

1969年此技术被引进美国和加拿大,但当时在北美洲由于土地不那么昂贵,因此并没有引起重视从而没有得到推广。直到1989年世界最大的胶带生产厂——美国胶带服务公司创建了挡边输送带部,才使波状挡边带式输送机在北美洲得到发展。

美国的 Lake Shore Ming 公司、英国的 Dowty Meco、Namec、法国的 Bandabor 等公司均生产这种大倾角带式输送机。

波状挡边带式输送机技术在连续卸船机上的应用迅速发展,芬兰 Kone 公司、德国 Koch 公司、瑞士

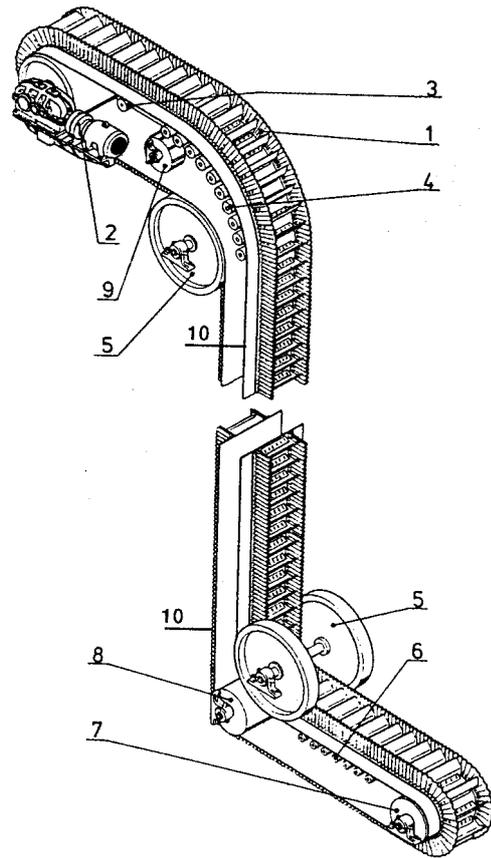


图1 波状挡边输送机

- 1-波状挡边输送带; 2-驱动单元; 3-承载托辊;
- 4-改向曲线; 5-改向压盘; 6-受料托辊; 7-拉紧滚筒
- 8-改向滚筒; 9-振打清扫器; 10-导向轮(图中指示位置)

Buhler 公司生产的连续卸船机均成功应用了其提升与输送技术。特别是日本的日立公司、石川岛公司及三菱公司等生产的散粮连续卸船机，其垂直提升和水平输送采用同一条输送带完成，更加展现了波状挡边输送机技术的巨大优势。

我国从 80 年代中期开始从国外引进了一些挡边输送机。如湛江港为了适应港口散装化肥进口业务繁忙的需要，从德国 Thyssen 公司引进了 9 套散装化肥灌包设备，其中有 9 台倾角为 35°的移动式挡边输送机。这些引进设备大部分运行情况良好，在一定程度上为我们完善挡边输送机的技术和研制开发大型挡边输送机提供了有益的借鉴。

同时，我国从 80 年代初开始研制波状挡边带式输送机，1990 年北京起重运输机械研究所开发出 D J 型波状挡边带式输送机系列图纸，并开始推广使用。经过 10 余年的生产和使用实践，波状挡边带式输送机技术不断地完善和改进。1998 年，北京起重运输机械研究所、青岛运输设备厂等作为主要起草单位，制定了《波状挡边带式输送机》行业标准(JB/T8908-1999)，推广了我国波状挡边带式输送机的发展。目前已经有 50 多个主机厂生产了 5000 多台波状挡边输送机。据调查国内每年波状挡边带式输送机的需求量大约为 1500~2000 台。

我国自贡运输机械总厂于 1999 年 12 月为四川省投资公司电冶有限公司生产了 1 台提升高度 104.5m、带宽 800mm、输送量 140t/h 的波状挡边带式输送机，该机的提升高度是亚洲之最。目前国内波状挡边带式输送机系列参数为:带宽 1600mm、挡边高 400mm、带速 2.5m/s、倾角 90°、输送量 300t/h。

相比之下，国内目前能够生产的波状挡边输送机，运输能力、提升高度、运行带速都较低，缺乏必要的理论和实验研究，同时扩大应用范围也是输送机械行业需要重点研究的课题。对输送带本身应进一步研究基带的刚度、挡边及隔板的结构形式以及二者与基带粘结的新工艺，这样才能更好地满足国内各行业对波状挡边带式输送机的需求。

表 1 典型的波状挡边带式输送机系统

使用场合	投入运行时间	输送量, t/h	提升高度, m	输送带扭转角
芝加哥隧道工程(II)	1989	1200	91.4	17
达拉斯下水道工程	1990	363	47.2	90
波士顿隧道工程(I)	1991	880	132	90
芝加哥隧道工程(III)	1991	907	107	90
波士顿隧道工程(II)	1992	454	94.5	180
巴布亚新几内亚金矿	1992	350	203	(带宽 1600mm)
得克萨斯州	1993	454	38.7	180
纽约供水道工程	1994	500	172	30
四川省电冶有限公司	1999	140	104.5	

2. 波状挡边带式输送机的特点

挡边带式输送机结构的最大特点是使用波状挡边输带来代替普通输送带。其工作原理和结构组成与通用带式输送机类似，而且大部分零部件可以直接应用通用带式输送机的零部件。可以说，它是链式提升机、斗式提升机的替代产品。波状挡边带式输送机的主要优点是：

- (1) 许用的输送机倾角大，最大可以

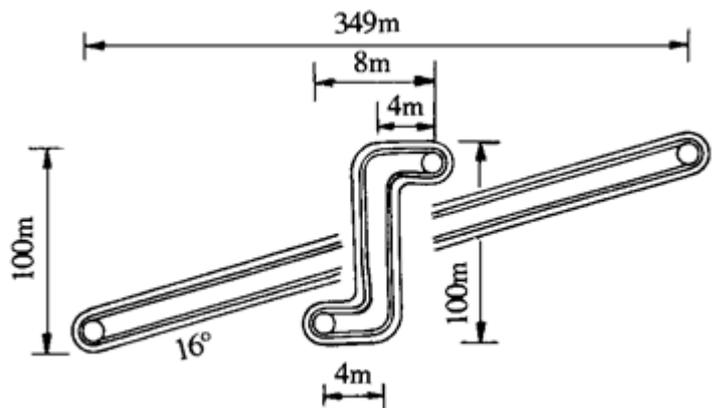


图 2 垂直提升波状挡边带式输送机与普通带式输送机占地比较

达 90° ，它是大倾角输送和垂直提升的理想设备。可以减少占地面积，节省设备投资和土建费用，具有良好的综合经济效益，图 2 为垂直提升波状挡边带式输送机与普通带式输送机占地比较；

(2)与其他提升设备相比，具有通用带式输送机的结构简单的优点，便于维修和使用；

(3)运行平稳、噪声小；

(4)运行可靠。没有链传动设备经常出现的长链、飘链、断链现象和斗式提升机经常发生的打滑、掉斗现象。它的可靠度几乎和通用带式输送机相同；

(5)由于不存在装料时的挖掘阻力和运行时物料的内摩擦、外摩擦力，因而能耗小；

(6)垂直挡边带式输送机还可以在机头和机尾设置任意长度的水平输送段，便于与其他输送设备的衔接。

2. 波状挡边带式输送机的应用

(1)在竖井中的应用

自 1979 年以来，挡边输送机逐步在地下采矿工程和地下建筑工程的竖井中投入使用，与传统的箕斗、罐笼等矿井提升机械相比，它具有成本低、竖井开拓费用低、效率高等优点。在美国芝加哥一期卫生工程的隧道工程竖井中，挡边输送机以 2.3m/s 的速度将物料从井底提升到地面，其输送量为 998t/h，提升高度为 80m。1989 年美国芝加哥市二期卫生工程的隧道工程竖井中采用的挡边输送机，其输送量高达 1200t/h，是世界上竖井中使用的输送量最大的挡边输送机。1992 年 6 月，一台世界上提升高度最大的挡边输送机在巴布亚新几内亚的地下金矿的竖井中投入了使用。其提升高度达 203m，输送量为 350t/h，带宽为 1600mm，带速为 2m/s，挡边高为 300mm。投产后效果明显，生产成本下降了 15%。表 1 是 1988 年以来美国 Lake Shore Ming 公司和德国 Svedala Flexowell 公司为美国隧道工程竖井提供的几台挡边输送机的使用情况。目前两公司正在合作为两个矿山设计竖井用挡边输送机，一台用于 400m 深的竖井中，其输送量为 1360t/h；另一台用于 243m 深的竖井中，输送量为 2720t/h。据资料介绍，目前在竖井中使用的挡边输送机的最大输送量和最大提升高度分别可达 4000t/h 和 500m。

(2)在自卸船上的应用

自 1982 年以来，挡边输送机开始用在自卸船上。作为自卸船自卸系统的提升设备，与链斗式提升机、倾斜带式输送机及压带式输送机等提升设备相比，它具有占用空间小、效率高等优点。投资低及可多港口卸货等特点，在世界许多国家的沿海和内河航运中被广泛采用，并且正在向高效、大吨位方向发展。加拿大船舶公司的“CSL 革新者号”散货船 1986 年被改装成自卸船，其自卸系统的提升设备采用了垂直挡边输送机，卸料能力高达 4500t/h，即每天的卸料量达 10 万 t。该挡边输送机带宽为 2000mm，挡边高为 500mm，提升高度为 31m，带速为 3m/s。

1991 年，日本三菱造船厂为英国钢铁公司建造的两艘远洋自卸船投入使用，它是目前世界上最大的自卸船。这两艘自卸船均采用垂直挡边输送机作为其自卸系统的提升设备。该挡边输送机最大输送量高达 6000t/h，远远超过了世界上其它传统卸料系统的卸料率。它的带宽为 2400mm，挡边高为 630mm，带速为 3.75m/s。

(3)在连续卸船机上的应用

世界上第一台挡边带式卸船机由瑞士 Buhler 公司研制并于 1982 年 4 月开始在西班牙塔拉格纳港投入运转，用于卸煤炭、散粮和磷酸盐。其卸煤能力为 850t/h，卸粮能力为 1000t/h，带宽为 1250mm，挡边高为 200mm，带速为 3m/s，提升高度为 40m。

1983 年，由芬兰 Kone 公司研制的第一台挡边带式卸船机安装在丹麦奥本罗的煤炭中转码头并投入运转，其卸煤能力为 1500t/h，带宽为 1400mm，挡边高为 400mm，带速为 3.3m/s。德国 PWH 公司曾为荷兰研制了一台卸铁矿石和煤的挡边带式卸船机，卸货能力为 3000t/h，是目前世界上卸货能力最大的挡边带式卸船机。此外，德国 Svedala Flexowell 公司正在研制卸货能力为 4000t/h 的挡边带式卸船机。

波形挡边带波形挡边带是卸船机的主要工作构件，它具有好的弯折性能和一定的轴向扭转特性。而且同链斗式提升机和胶带斗提升机相比，波形挡边带的自重轻，工作速度可高达 2~3.5m/s，而链斗式提

升机工作速度一般在 1.4m/s 左右。

日立公司采用无覆盖带的波形挡边带，隔板为 T 型，结构简单，但是垂直臂在向后摆动过大(小于 0° 提升)时，胶带的填充率将明显降低，影响卸船机的作业效率。因此，与石川岛公司、三菱公司带有覆盖带的卸船机相比，其垂直臂向后摆动角度要小一些。但是，不带覆盖带的卸船机结构简单，且不存在主带与覆盖带之间的相对摩擦，降低了维护成本。另外，采用单胶带而不用覆盖带，重量较轻，胶带的驱动和张紧装置形式简单，布置方便。石川岛公司、三菱公司的波形挡边带均有覆盖带。由于带有覆盖带，所以物料的填充率较高，对于同样生产率的卸船机，其波形挡边带的有效宽度尺寸要小一些。但是，波形挡边带和覆盖带的托辊布置形式、张紧装置等比不带覆盖带时要复杂得多。

图 3 为日本三家公司的波形挡边带式输送机的示意图。现有波形挡边带式卸船机的一个最大特点，是垂直提升和水平输送由同一条输送带完成。但是在垂直臂摆动和水平臂俯仰时，输送带要产生很大的伸缩量，因此

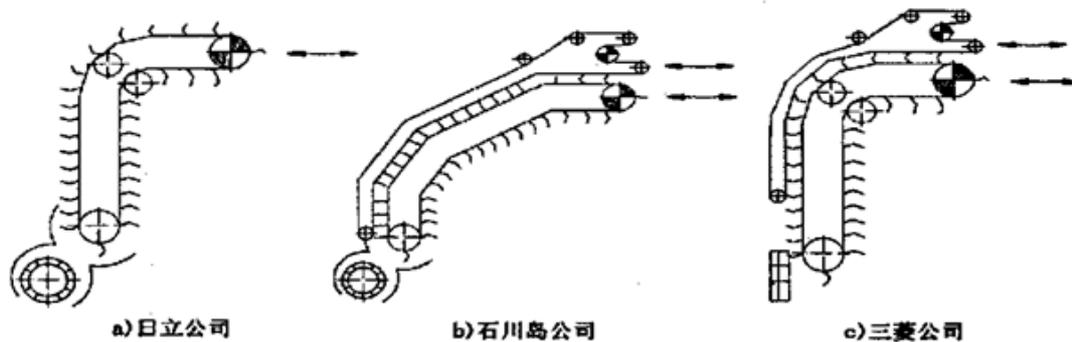


图 3 各公司的波形挡边带式输送机示意图

输送带的张紧是一个复杂的问题。有无覆盖带，张紧方式也大不一样，但大体可分为两种类型。三菱公司和

石川岛公司的卸船机除有波形挡边带外，还有覆盖带，张紧装置比较复杂，但原理一致。以三菱公司为例，覆盖带在水平段的尾部(卸料点)采用液压油缸拖动小滑车张紧，行程为 2100mm。波形挡边带由于垂直段下端(取料头部)为接料区段，水平段尾部为卸料区段，空间尺寸有限，所以都不宜有过长的伸缩量，因此在两端都设有张紧装置。其中头部采用液压缸张紧，行程为 300mm；尾部采用螺栓张紧，行程为 400mm。由于卸料点处滚筒既是张紧滚筒，又是驱动滚筒，所以既要满足张紧要求，同时又要保证波形挡边带和覆盖带之间没有相对运动，这为驱动装置的设计与布置增加了难度。

华能福州电厂煤码头引进了日本三菱公司制造的机械式连续卸船机，其垂直提升设备采用了带宽为 2000mm，挡边高为 400mm，最大输送量为 1500t/h 的挡边输送机。

青岛港务局前湾港矿石码头的机械式连续卸船机是由国内自行研制的，其垂直提升设备采用了挡边输送机，但输送带是由美国提供的。该机带宽为 1600mm，挡边高为 400mm，最大输送量为 1600t/h。自 1994 年泊位建成投产后，到 1997 年底累计接卸矿石约 180 万 t。在维修时发现波状挡边带基带表面橡胶已基本磨光，局部带芯裸露并损坏；带边磨损脱层；基带拉伸残余变形大，运行时跑偏严重，已到了必须更换新带的程度。后由青岛华夏胶带公司成功地进行了国产化。

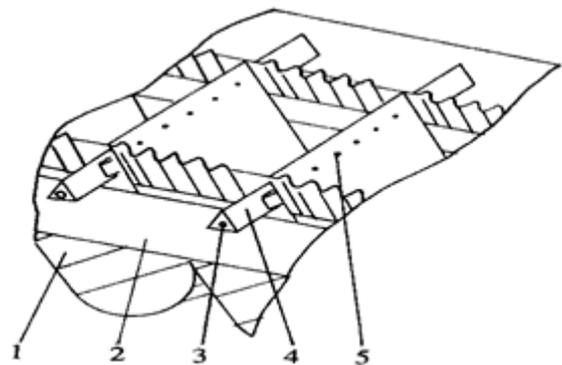


图 4 袋式胶带结构形式 1 料袋 2 窄带 3 钢管 4 三角形杆 5 螺栓

3 袋式带式输送机

20 世纪 90 年代中期，德国 Svevala 公司利用波状挡边输送带和高效斗式提升机技术开发出袋式带式输送机，其商品名称为 Pocket Lift。这种输送机可以内袋或外袋的形式垂直提升物料，可用于地下采矿、采石厂、隧道挖掘、水泥厂、装卸船，甚至可以用来垂直提升温度高的、粘性的、大块的和粉状的物料。这种输送机的输送带横向刚度比波状挡边带式输送机的大，因此它能有效地避免掉带，从而可大大地提高提升高度。图 4 为料袋式胶带结构形。这种输送机可实现高输送能力和大提升高度，如用 ST5400 型窄钢芯带垂直提升 150m，输送量可超过 3000t/h，甚至垂直提升 300m 时输送量仍能达到 1000t/h。输送量可高达 6000m³/h 的系统正在设计。口袋间距为 500mm 的口袋式带式输送机系列的主要技术参数见表 2

表 2 500mm 的袋式带式输送机系列的主要技术参数

口袋宽度/mm	600			800			1000		
输送能力/(m ³ /h)	333			467			600		
横杆长度/mm	1000			1200			1400		
窄带宽度/mm	300	400	500	300	400	500	300	400	500
总宽度/mm	1400	1600	1800	1600	1800	2000	1800	2000	2200
输送带每米质量/(kg/m)	76	85	93	88	96	105	100	108	116

4 波状挡边带式输送机的发展趋势

原理上，各种结构的带式输送机都可以采用波状挡边输送带构成新型的波状挡边带式输送机。因而，波状挡边带式输送机除在大运量、大带宽、高提升高度的发展方向发展外，今后的发展应该主要体现在下面几个方面。

(1) 支撑方式的改变：输送机的稳定运行，输送带的支撑方式起着重要的作用，波状挡边输送带的单位长度质量大于通用输送带，从而使其支撑与导向变得更加灵活。图 5-7 分别描述了采用环状吊挂、索道和轨道的波状挡边输送机和口袋式带式输送机的构想^[1]。特别是索道波状挡边输送机已经在工程实际中应用，理论上，单机长度可达 25km^[5]。

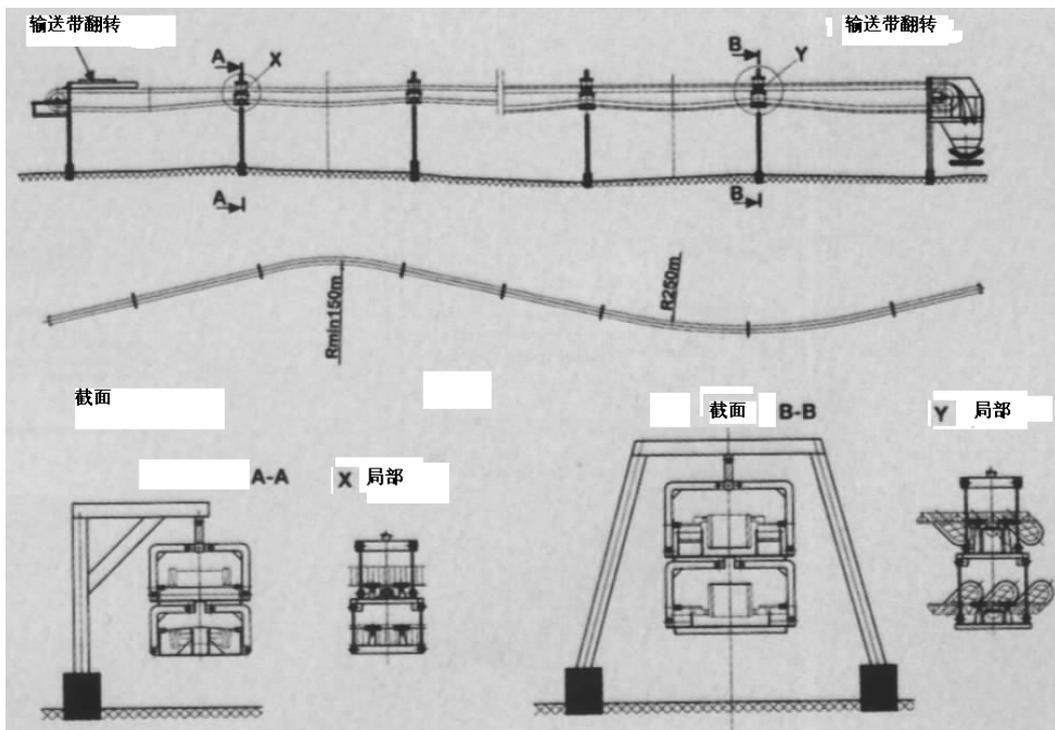


图 5 环状波状挡边输送机和环状口袋式带式输送机结构示意图

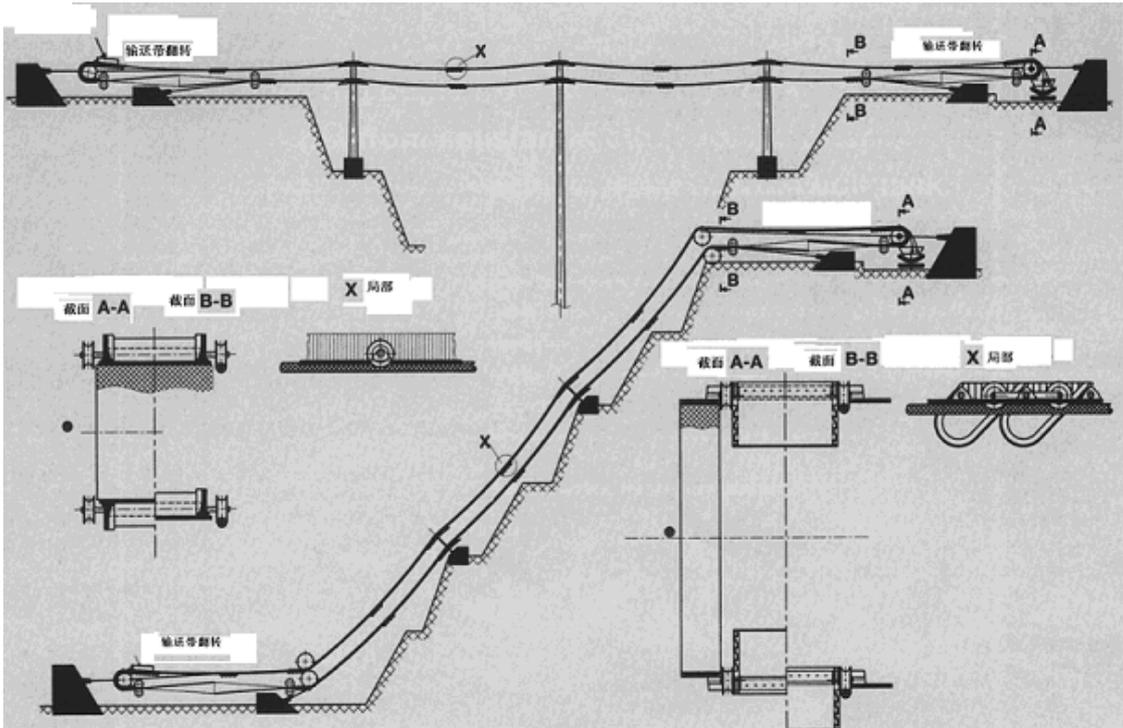


图 6 索道波状挡边输送机 and 索道口袋式带式输送机结构示意图

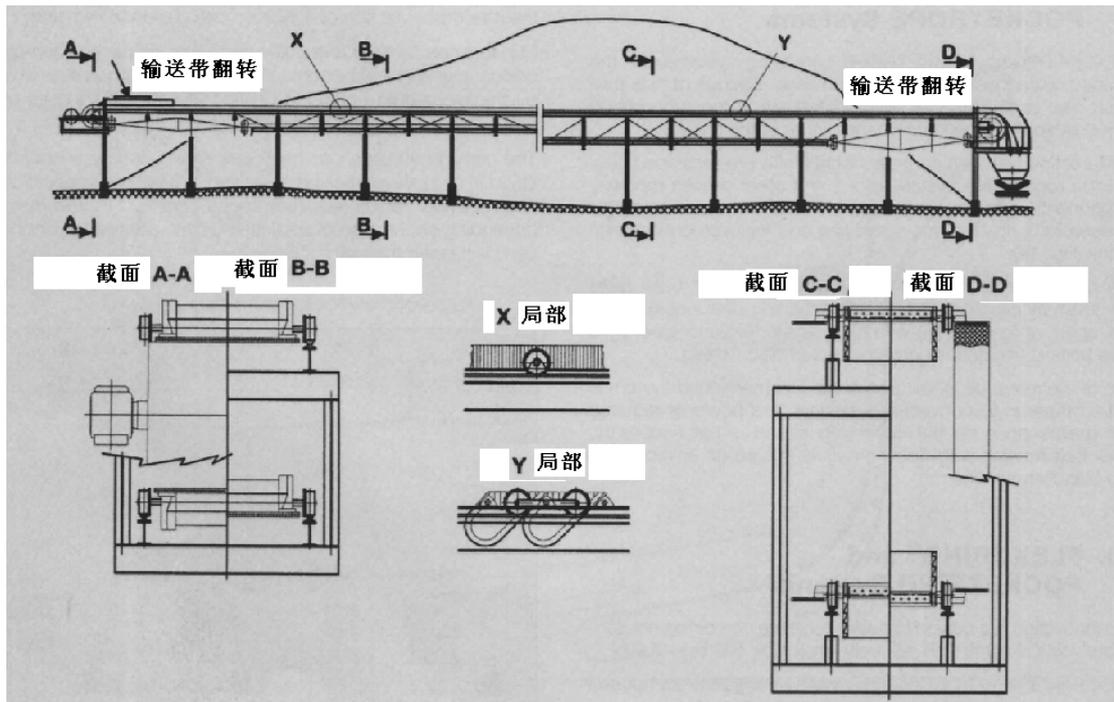


图 7 轨道波状挡边输送机 and 轨道口袋式带式输送机结构示意图

(2)灵活的布置方式：波状挡边带式输送机可以如同通用带式输送机一样，成为移动或移置输送机，即可以移动，也可以移置，从而适矿山开采的需要；波状挡边带式输送机适用于大倾角输送物料的特点与平面转弯技术的结合可以充分适应矿山开采和企业内部空间的限制，给其带来更加广泛的应用领域。

(3)由于波状挡边带式输送机的大倾角输送物料能力，使同一条输送机可以适应在不同工作要求的不同倾角的范围远远地优于通用带式输送机，目前已经应用改变倾角进行卸船，这种“变形金刚”的特点(如图 8)，今后将在各种不同的领域中应用，例如大坝的堆积、地铁工程的挖掘等。

参考文献

[1] J. W. Paelke, R. Günther, Extending the scope of continuous vertical conveyor systems by employing steel and aramid high-strength tension members [J], Bulk Solids Handling, 2002,22(2), 135-146

[2] R. Hinkelmann, Zur Auslegung schnellaufender Vertikalförderanlagen für stetige Massengutförderung[J], Braunkohle, 1987, 39(7), 242-249

[3] H. Strewick, Observations of the Deflection Curve for Vertical Conveyors for Bulk Material[J], Bulk Solids Handling, 1997,17(1), 69-72

[4] F. Kessler, J. Paelke, Vertical Conveyors for Bulk Materials—The Economic Solution[J], Bulk Solids Handling, 1998,18(3), 443-448

[5] C. Pillichshammer, H. Trieb and H. Fiebbe, RopeCon –A new way of long-distance conveyor[J], Bulk Solids Handling, 2002,22(5), 386-389

[6] 王鹰, 杜群贵, 特种带式输送机的发展[J], 起重运输机械, 2003(9), 1-4

[7] 陈霖, 陈国栋, 波状挡边带的国产化, 起重运输机械[J], 2001(5), 21-22

[8] 高恒超, 夏炎, 波状挡边带式输送机发展简介, 起重运输机械[J], 1998(6), 3-6

[9] 杜月波, 垂直带式提升机, 建筑机械化[J], 2000(5), 56-58

[10] 张喜军, 垂直提升波状挡边带式输送机凸弧段物料受力及运动分析, 起重运输机械[J], 1997(8), 11-13

[11] 张德文, 俞晓红, 日本波形挡边带式卸船机的技术分析, 港口装卸[J], 1998(6), 12-15

[12] 宋伟刚, 陈霖. 波状挡边带式输送机的结构特点及其改进设计[J]. 港口装卸, 2003.3, 25-27

[13] 宋伟刚, 散状物料带式输送机设计[M], 沈阳: 东北大学出版社, 2000

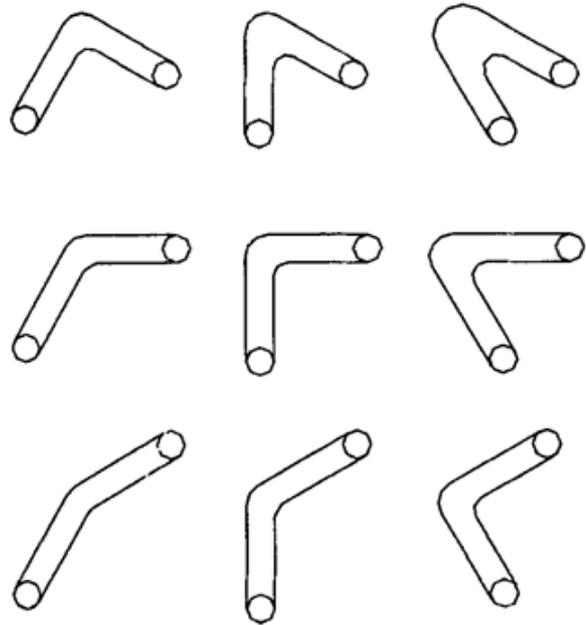


图 8 卸船机波状挡边带式输送机的各种姿态

作者简介: 宋伟刚, 1963 年生, 东北大学教授, 1984 年毕业于阜新矿业学院, 1988 年毕业于东北大学工程机械专业获硕士学位, 1996 年获博士学位, 主要从事现代物流技术与装备、机电一体化和机器人技术的研究, 著有“散状物料带式输送机设计”(东北大学出版社, 2000)、“物流工程及其应用”(机械工业出版社, 2003)等, 发表论文 60 余篇。

The design and calculation of the belt conveyor of corrugated sidewall (1) ——The development of the belt conveyor of corrugated sidewall

Song Weigang, Wang Dan, Chen Lin

(School of Mechanical Engineering & Automation, Northeastern University, 110004)

Abstract: The belt conveyor of corrugated sidewall is a new type of throbbing belt conveyor with wide application today. In this paper on the base of introducing the development survey of the belt conveyor of corrugated sidewall, the author gave the main applied field and applied examples of it, and introduced the pocket conveyor whose characteristic is similar to it. In this paper it also discussed the developmental direction of the belt conveyor of corrugated sidewall. The author pointed out that besides developing on heavier load, higher lift, higher velocity, and wider width, the integrating with other kinds of belt conveyor which made of universal conveyor belt, the flexible disposal and the flexible changing of the pose is the developmental direction of the belt

conveyor of corrugated sidewall r in the future.

Key words: belt conveyor of corrugated sidewall, pocket conveyor, ship unloader

Fig.1 Isometric design of belt conveyor of corrugated sidewall

Fig.2 Different in space requirements between vertical and gradient conveyors

Fig.3 The belt conveyor of corrugated sidewall of different corp.

Fig.4 The configuration of pocket belt

Fig.5 The structure sketch map of flexoring and pocketring conveying system

Fig.6 The structure sketch map of flexopepe and pocketrope conveying system

Fig.7 The structure sketch map of flexorail and pocketrail conveying system

Fig.8 The different pose of the flexowell conveyor in the use of unloading from ship

Table 1 The type of system for belt conveyor of corrugated sidewall

Table 2 The main technical parameter of the pocket conveyor in 500mm series