

分类号-----

U D C-----

密级-----

编号-----

中南大學

CENTRAL SOUTH UNIVERSITY

硕士学位论文

论文题目 会东铅锌矿三维矿床模型开发
与应用研究

学科、专业 矿业工程

研究生姓名 杨念哥

导师姓名及
专业技术职称 李夕兵 教授

分类号 VDC _____

密级 _____

硕士学位论文

会东铅锌矿三维矿床模型开发与应用研究

作者姓名： 杨念哥
学科专业： 矿业工程
学院(系、所)： 资源与安全工程学院
指导教师： 李夕兵（教授）

论文答辩日期 _____

答辩委员会主席 _____

中 南 大 学

2008 年 月

摘 要

矿床模型是借助计算机技术、地质统计学理论等建立起来的关于矿体空间形态、资源空间分布，矿床地质环境以及采矿工程的数字化矿化模型，是实现储量计算、计算机辅助设计、生产进度计划编制、生产管理及采矿过程虚拟仿真的基础。三维数字化矿床模型是矿山信息化、数字化矿山建设基础，是矿山信息化建设的第一步。

三维数字矿床模型是一组相关的基于真三维空间矿床模型的组合，主要包括：地质数据库、实体模型、块体模型。它们之间是一种相互依存关系，其构建过程存在先后顺序。作者按照矿床模型构建流程分别阐述了地质数据库，矿体、地表地形、采矿工程等的实体模型和块体模型的创建方法。文中利用地质统计学理论分析了大樑子铅锌矿床铅锌品位分布规律，通过设置搜索椭球体以修正距离幂次反比法对各向异性矿床的适用性，并依此进行品位估算，计算出矿床的矿石与金属储量。通过储量计算结果与以往会东铅锌矿地勘结果对照，本文中的品位计算、储量计算结果比较准确，符合矿床实际情况。

通过三维数字矿床模型的建立，实现了在真三维空间中矿体、地质构造、采矿工程以及地表地形的可视化显示与交互；为矿山提供了基于真三维空间进行采矿工程设计的环境与手段，为矿山进行科学的生产进度计划编制提供基础与依据。

文中通过分析会东铅锌矿目前的生产实际情况，提出模块化分期，分步实施建设信息化、数字化矿山的思路。并研究了基于泄漏电缆技术的矿山地表/井下综合通讯系统建设方案和基于虚拟现实技术的虚拟矿山建设方法与解决方案。

信息化、数字矿山建设是一项基础性工作，它对矿山生产技术与管理水平的影响与提高是全面的和长期的，本文研究成果的应用将显著提高矿山的生产技术与管理水平。

关键词： 矿床模型，储量计算，地质统计学，数字矿山

ABSTRACT

Deposit model is a digital mineralizing model of orebody spatial morphology, spatial distribution of resource, geo-environment of deposit and mining engineering. It is based on information technology and the theory of geostatistics. It is the foundation to realize reserves estimation, CAD, production scheduling Establishment, virtual simulation of stoping process and production management. 3D digital deposit model is the foundation of construction of mine informatization.

3 D digital deposit model is a group of related real 3D space digital deposit modeles. It usually includes geodatabase, solid model and block model etc. There were interdependent relations among them, and they are created in sequence. The author has discussed the method of creating geodatabase, solid model of orebody, surface terrain, mine engineering and block model, according to the flow chart of constructing deposit model. This paper analysed the distribution of lead and zinc grade in Daliangzi lead-zinc deposit by geostatistics. The search ellipsoid was set up to enhance the adaptability of distance power inverse ratio method to anisotropic deposit, and the grade and the reserves of ore and metal are estimated by this method. The calculated results are reliable and consistent with practical matters of deposit by contrasting the former results of geological exploration.

The visual display and interaction of orebody, geologic structure, mine engineering and surface terrain in real 3D space are realized by establishing 3D digital deposit model. It affords an environment and means to mine engineering design based on real 3D space. It provides basis for scientific production scheduling Establishment, too.

A solution to building informational and digital mine is offered after the practical matter of production in Huidong lead-zinc mine analysed. The scheme of setting up integrated communication system in surface and underground based on the leaky cable technology and how to create virtual mine based on virtual reality technology are studied.

Informational and digital mine establishment is a foundational work of mine. It affects production technology and management roundly and chronically. The application of research results that were achieved in this paper will improve the level of production technology and management in mine remarkably.

KEY WORDS: deposit model, reserves estimation, geostatistics, digital mine

目 录

摘 要.....	I
ABSTRACT.....	II
第一章 绪论.....	1
1.1 研究的背景与意义.....	1
1.2 国内外研究现状.....	2
1.3 矿业工程软件简介.....	3
1.4 建设信息化、数字化矿山的必要性.....	4
1.5 会东铅锌矿数字化、信息化矿山建设方法与步骤.....	6
1.6 矿床模型类型与建模方法.....	7
1.6.1 地质数据库.....	9
1.6.2 实体模型.....	10
1.6.3 块体模型.....	10
1.7 三维矿床模型建模主要数据来源与依据.....	11
1.8 矿业工程软件选择.....	12
第二章 会东铅锌矿地质数据处理与地质数据库设计.....	13
2.1 地质数据库构建流程.....	13
2.2 地质数据库结构.....	14
2.3 数据表结构及表的字段属性.....	15
2.4 矿床勘探原始数据预处理.....	16
2.4.1 钻孔数据的预处理.....	17
2.4.2 坑探、槽探等非钻孔数据的预处理.....	18
2.4.3 特高品位处理与数据修正.....	22
2.5 样品组合与数据分析.....	25
2.6 本章小结.....	27
第三章 会东铅锌矿三维实体模型构建与应用研究.....	29
3.1 实体建模数据来源及其分析处理.....	29
3.2 建模方法与过程.....	32
3.3 矿段体积矿量报告.....	36
3.4 工程实体建模与基于 Surpac 采矿工程设计.....	37
3.5 本章小结.....	38
第四章 矿床块体模型与储量计算分析研究.....	39
4.1 矿床品位估算与储量计算方法.....	39
4.1.1 传统矿产储量计算方法及其局限性.....	39
4.1.2 地质统计学的诞生、发展、现状及其优点.....	44
4.1.3 随机过程与区域化变量.....	46
4.1.4 结构分析与变异函数拟合.....	47
4.1.5 克吕格法.....	49
4.2 建立矿床块体模型.....	52
4.2.1 块体模型的几个概念.....	52

4.2.2	块体模型创建过程.....	53
4.2.3	块体模型几何参数的确定与属性设置.....	54
4.2.4	创建空块体模型.....	56
4.2.5	定义约束.....	58
4.2.6	组合样统计学分析与品位估算方法选择.....	59
4.2.7	块体模型属性赋值与品位估算.....	72
4.3	品位分析与储量计算.....	75
4.4	本章小结.....	83
第五章	研究总结与工作展望.....	85
5.1	研究总结.....	85
5.2	工作展望.....	86
5.2.1	基于泄漏电缆通讯技术的矿山综合通讯系统方案.....	86
5.2.2	基于虚拟现实技术的虚拟矿山建设初探.....	88
	参考文献.....	91
	附件 1:	94
	附件 2:	101
	致谢.....	104
	攻读硕士期间主要研究成果.....	105

第一章 绪论

1.1 研究的背景与意义

进入 21 世纪，世界采矿业面临着巨大的机遇。一方面，现代高新技术的发展给矿业带来了机遇，如矿山设备大型化、智能化，以及计算机技术、信息技术等在矿业领域的应用，已成为矿业科技发展的源泉和动力；同时，智能科学、系统科学等新兴学科的兴起、发展、交叉与融合不断拓展着人们的视野，冲击着传统的思维方式，深刻地影响和改变着传统的采矿工业。因此利用现代高新技术改造传统产业是矿业的发展趋势和历史必然。从矿山长远发展来看，结合会东铅锌矿目前实际情况，开展数字化、信息化矿山建设是提高矿山生产技术与管理水平有效且可行的办法与途径。建立三维数字矿床模型是信息化、数字化矿山建设最基本、最核心的第一步。数字化矿山首先要将矿床资源、地质环境与采矿工程数字化。因此，开展会东铅锌矿三维矿床模型开发与应用研究既是要满足矿山实际生产需求，也具有保证矿山可持续发展的意义。

会东铅锌矿大樑子矿床第一期投产于 1972 年，经过近 40 年的露天开采，露天开采境界内矿石已基本采完，会东铅锌矿适时开始了第二期工程建设——大樑子矿床露天转地下开采工程建设。此前经过多次的地质勘探，基本控制了地采范围内的资源储量情况，二期工程开拓、采准工程设计与工程施工已基本完成，且形成了初步生产能力。由于矿山从建矿至今一直采用露天方式采矿，因而在露天转地下开采时，矿山生产技术人员没有地下采矿经验与足够的相应技术准备，对地下采矿与露天采矿的差异以及工程技术难度很难有足够的认识，而且露天采矿与地下采矿的生产技术工作从人员配备与技术特点都相差较大，所以大樑子二期工程转入地下开采之后矿山可能将面临技术力量与技术手段跟不上生产需求的窘境。因而此时引入新的技术手段，改变现有生产与管理模式，大幅度提升会东铅锌矿现有技术与管理水平，提高工作效率就变得尤为重要。另一方面，利用露天转地下开采这一时机，进行技术水平与技术手段提升，也能发挥其最理想的实际效果。

1.2 国内外研究现状

三维数字矿床模型研究及矿业软件的开发和应用开始于 20 世纪 70 年代。经过近 40 年的发展,三维数字矿床模型研究与应用已取得相当成熟的研究成果,如今矿业软件已形成了相当的规模。其中以矿床模型为代表的矿业软件发展迅速,西方采矿大国相继推出用于地质资料处理、矿床建模、采矿设计、计划编制、测绘图形处理等方面的矿业商业化软件,装备了许多矿山,特别是澳大利亚、北美和南非的一些矿山,取得了很好的经济效益。目前国际市场的矿业工程软件很多,如 Surpac、Datamine、Micromine、Mintec、Lynx、MinCom、Vulcan、MineMap 等等。这些软件的主体功能类似,但由于大多是在矿山公司专用软件基础上发展起来的,因此各自都有自己的优势和侧重点,有些侧重于地质建模,有些侧重于露天和地下采矿等。综合来看,国外矿业软件一般具有如下特点:(1)采用模块式的软件结构;(2)采用通用性的数据库结构,一般都支持 ODBC;(3)具有强有力的作图功能;(4)方便的用户二次开发设计接口;(5)微机与工作站兼顾;(6)注重售后技术支持^[1]。

我国也经历了两次矿业软件开发研究与应用热潮。第一次热潮自 20 世纪 80 年代中期开始,一些高等院校与科研设计单位开始引进国外的矿业软件进行消化吸收,并进行了一些自主研发工作,以期开发出具有自主知识产权,并更符合我国矿业国情的矿业软件。经过长期的研究及国家的经费支持,取得过许多科研成果,并在许多国内矿山进行实际应用,取得了一定的社会与经济效益。但由于方方面面的原因,我国目前尚未推出成功的商业化矿业软件。第二次热潮始于本世纪初,但这次热潮主要是由国外商业矿业软件进入我国矿业市场引导起来的。上世纪 90 年代末,国外矿业软件逐步发展成熟,随着本世纪初我国矿业经济形势的好转,国内大部分矿业公司开始开展数字化、信息化矿山建设(如金川、铜陵、江铜、云铜、首钢等),Datamine、Surpac、Micromine、Mintec 等借此机会于本世纪初成功进入中国市场,并引起各大矿业集团、高等院校、科研设计院所高度重视,纷纷引进和开展应用研究。目前市场上成熟的矿业软件产品主要是澳大利亚、加拿大等国际产矿大国的产品,但通过这两年的引进、借鉴与吸收,国产矿业软件也有所发展。中南大学资源与安全工程学院下属的迪迈科技有限公司和北京东澳达科技有限公司都于 2008 年初推出了其具有自主知识产权国产矿业软件。

1.3 矿业工程软件简介

Surpac 是澳大利亚 Surpac 国际软件公司 (Surpac Software International, 简称 SSI) 开发的, 是一套三维交互式图形软件系统, 具有地表测量数据处理、地质勘探数据分析和采矿设计功能。其应用领域主要包括勘探和地质模型、露天和地下采矿设计和采掘进度计划编制以及排土场和复垦设计等。2006 年 SSI 公司与澳大利亚的 GeoCom 公司合并为 Gemcom 国际软件公司。目前, Gemcom 公司已成为全球最大的矿业软件公司之一, 其矿业软件的国际市场占有率名列前茅。在全球 90 多个国家和地区有 Gemcom 软件的用户, 在我国也有包括金川集团有限公司、首钢矿业公司在内的 40 多个授权用户^[1]。

英国 Datamine 国际软件有限公司 (Datamine International Limited) 开发的 Datamine 采矿软件系统, 包括地质信息处理、矿床模型构造、采矿设计、矿山调度与计划等模块。它最大的特点是屏幕上的作图功能, 可以将露天或地下矿山设计所需要的各种图形, 包括钻孔及岩芯分布、矿体及主要开拓巷道位置或露天矿坑等, 以三维彩色的形式显示出来。该软件的核心是一个包含许多 CAD 特点的交互式作图平台, 能够方便地显示并调整钻孔、矿体模型、地表模型等。其应用主要在地质勘探数据处理、露天或地下矿设计、矿山调度以及生产计划编排等四个方面。

澳大利亚 Micromine 公司开发的 Micromine 是一套用来处理地质勘探和采矿数据的中英文双语版软件。软件以模块化构建, 共有 7 个模块, 为用户提供地质勘探数据解译、三维建模、资源评估和采矿设计等功能。Micromine 可提供地质、测量和采矿工程师需要的、不需要数月现场培训的所有功能。

Surpac、Datamine、Micromine 等软件在国际矿业软件市场有较好的占有率, 利用这些软件形成的资源量/储量报告以及所提交的项目设计也为国际证券市场认可。随着这些软件在中国的推广, Surpac、Datamine、Micromine 都通过了我国国土资源部储量司的认定, 国土资源部储量司分别于 2001 年 5 月、2003 年 9 月、2004 年 9 月对 Datamine 5.0 版、Micromine 9.1 版、Surpac 5.0 版的资源储量计算部分进行认定, 认定这些软件可以在我国矿产勘查和矿山设计、生产的资源储量估算中推广应用。

北京东澳达科技有限公司按照其研发计划将于 2007 年年底推出其具自主知识产权的国产矿业软件——3D Mine。从目前的发布的测试版来看, 它充分吸收国外相关软件的优点, 并结合我国矿业特点与实际情况进行开发, 将重点放在符合我国矿山实际要求的露天与地下采矿设计, 而矿床建模则力求兼容国外软件。这应该是我国发展矿业软件正确发展方向和思路。

1.4 建设信息化、数字化矿山的必要性

矿山企业作为国家的基础产业之一,在国家的发展中具有重要的地位和作用。总体而言,矿山企业具有以下一些特征^[1]:

- 矿山是以自然资源开发利用为对象的生产企业。赋存于地壳浅层中的矿产资源,不仅其所赋存的地质环境非常复杂,而且,对矿体本身而言,其空间位置、形态、元素品位分布等均极富变化。
- 随着开采活动的进行,可供开采的资源量随之发生变化,而人们对矿山资源情况的掌握程度也会随之发生变化,由掌握程度变化而引起的资源及其周围岩体的空间分布将可能出现变动。同时,在矿山企业生产经营过程中,由于市场的变化,其资源情况也需要及时地进行变更和修正。
- 一个完整的地下矿山系统,由提升、运输、通风等多个子系统构成。矿山总系统不是这些子系统的简单叠加,其中任何一个子系统性能不良或出现问题,对整个系统的性能都会产生极大的影响。因此,只有各子系统配套、协调运行,矿山系统的整体性能才能得到极大的提高和发挥。露天矿山系统构成上虽与地下矿山有所不同,但性能上具有与上述完全相同的特征。
- 无论地下矿山采用哪一种采矿方法,其主要作业场所都会随着时间的推移而不断发生变化,正常的生产过程一般都要经历采切、凿岩、崩矿、出矿、充填等环节,与其他加工企业工艺流程相比,具有离散(即工艺不连续)、分散(即作业场所多)等特征。
- 无论是露天矿山,还是地下矿山,在有固定的设备和人员的同时,往往更多的是那些位置不断改变的设备 and 人员。
- 在矿山生产过程中,不仅在生产系统内部存在大量的多源、异质信息流动,而且在系统与外部环境之间,如电力、设备供应、矿产品需求市场等均存在着信息的交换和流动。
- 矿山一般都位于比较偏僻的地方,相对于地下矿山而言,露天矿山的作业环境处于暴露状态,环境条件稍好。而地下矿山则具有井下作业环境相对恶劣、空间狭长、电磁屏蔽性强、噪音大等特征。

矿山企业具有的这些特征,使得其决策、设计、生产计划、生产调度与过程控制、安全生产等各个方面都非常复杂,必须在整个过程中按照系统工程理论,科学地进行规划、设计和生产,才能发挥整个系统的良好性能。

另外,长期以来国内的矿山企业一直处于劳动密集型的机械化初级水平,管理粗放,技术和装备水平落后,决策、设计、生产等许多环节往往依赖于经验,矿山技术与管理人员从事工程设计,交流与信息管理主要以原始的“手工”方式

进行。手工绘图、描图以及以平面图的方式体现三维空间里的地质体与采矿工程等。后来大部分矿山将 **AutoCAD** 引入到矿山工作中，很大程度地改善了技术人员的工作条件，提高了工作效率，但在地质、测量和采矿设计工作中，手工或借助 **AutoCAD** 系统，还是在平面状态下进行工作，且采用多边形法计算储量和进行采矿设计，无疑会导致如下几方面的问题：

- 手工作业、工作强度大、速度慢。目前国内很多矿山为满足计划编制需要而进行的地质储量计算工作进度非常缓慢，日常测量工作由于人手不够，甚至已经出现了空白；
- 对资源和岩体环境的三维分布状态掌握不准。采用 **AutoCAD** 进行储量计算和设计，技术人员直接看到的只是一些平剖面图，对于这些图件所反映的三维信息主要靠技术人员的空间想象力主观判断，而对于复杂的地下环境，无论在速度方面还是质量方面，都不能满足要求；
- 生产计划粗略、不精细。由于上述原因，国内矿山的生产计划编制时，储量通常采用一个估算的平均数，无疑将导致计划工作的不准；
- 采矿设计具有盲目性、施工措施被动。由于在二维情况下进行采矿设计，对相邻两个已知图件之间的地质情况主要靠设计人员空间想象力主观臆定。因此，在设计时往往导致工程布置位置不合理，缺乏前瞻性，在施工过程中出现问题后才去着手考虑采取什么样的措施，造成极大的浪费，甚至出现一些安全事故。

所谓数字化、信息化矿山建设就是利用当今飞速发展的信息技术、计算机技术来建立矿产资源、地质条件、采矿工程等等三维数字模型（如图 1-1 所示），并在此基础上实现资源与开采环境数字化，技术装备智能化、生产过程控制可视化（如图 1-2 所示），信息传输网络化、生产管理与决策科学化。利用现代信息技术来建设、改造矿业这一传统产业，显著提高矿山各专业技术人员的技术水平与工作效率、改善工作条件，是矿业生产技术与管理水平提高的必由之路，其必要性主要体现在以下几个方面：

- 矿业生产技术、科学管理水平的提高需要进行矿山数字化建设
- 矿山数字化建设能明显改善技术人员的工作强度，提升自动化程度与工作效率，使矿山地质、测量、采矿等生产技术与管理人员从繁重而又单调的手工作业中解脱出来，将时间与精力投向真正体现其生产技术水平与提高矿山生产效率和经济效益的工作中去
- 矿山数字化建设能革命性地改变矿山信息的维护与管理模式，并显著加强矿山各专业技术人员之间的信息沟通，提高协作效能。

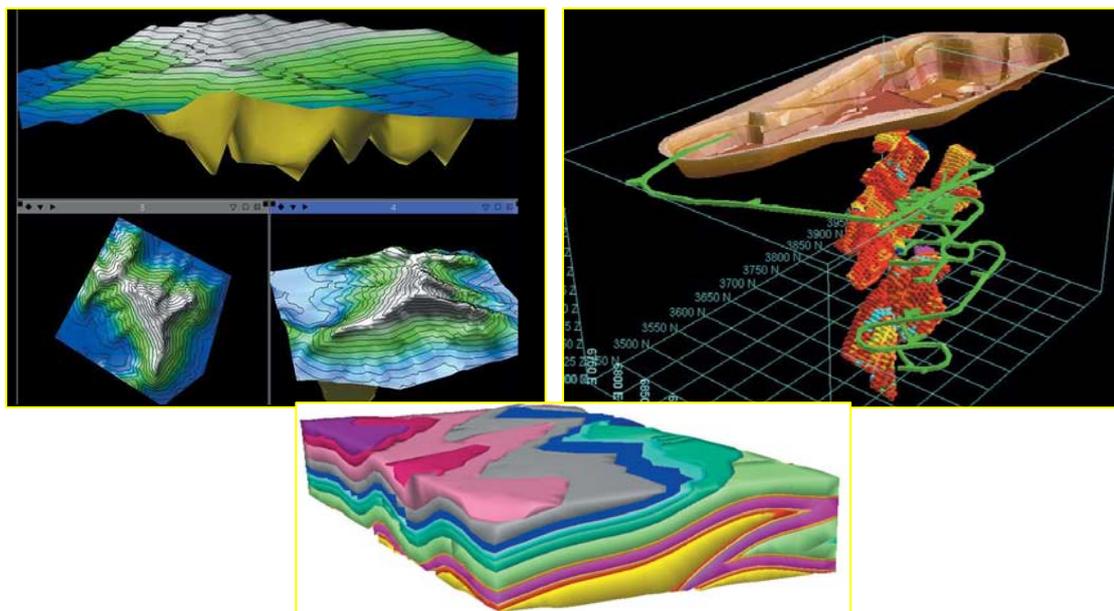


图 1-2 数字化矿床模型

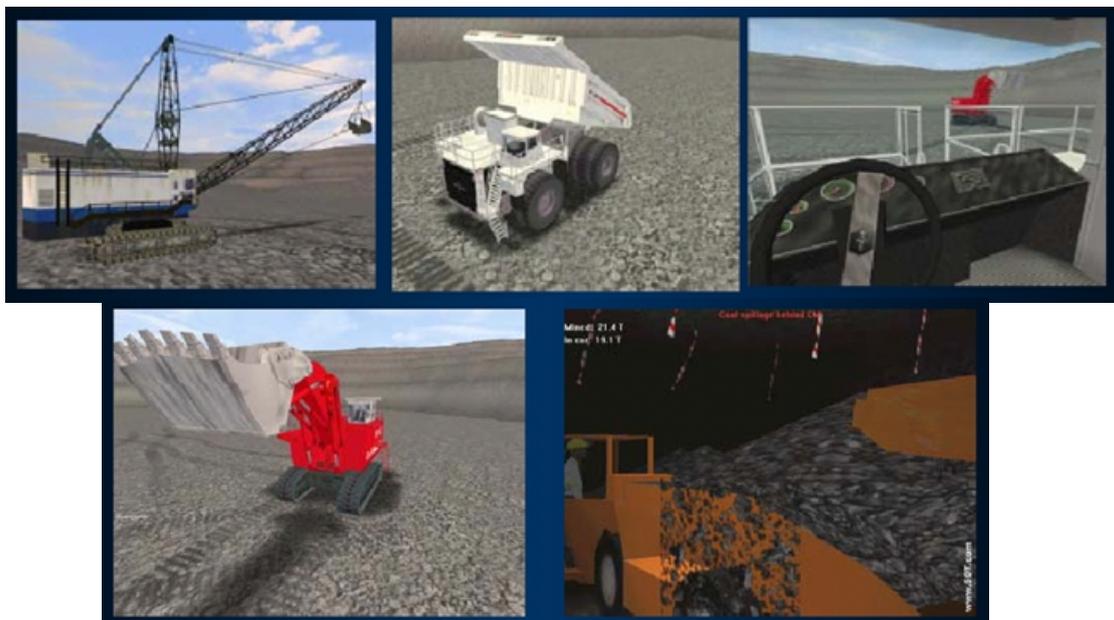


图 1-2 采矿设备与生产过程虚拟现实仿真技术

1.5 会东铅锌矿数字化、信息化矿山建设方法与步骤

数字化、信息化矿山建设是一个系统工程，其长期目标是：实现资源与开采环境数字化、技术装备智能化、生产过程控制可视化、信息传输网络化、生产管理与决策科学化。结合当今世界科技的发展水平及我国矿业现阶段的技术装备与管理水平，总体规划分步实施是会东铅锌矿数字化、信息化矿山建设的必经之路，就目前而言，会东铅锌矿数字化、信息化矿山建设的具体步骤应该是：

(1) 采用成熟的矿业软件以及虚拟现实技术, 实现从矿产资源、采矿工程方案优化、设计、生产计划与开采环境的数字化、模型化与可视化, 实现地质、测量、采矿三大矿山专业技术人员工作的高效、可靠和科学;

(2) 采用先进传感器与网络技术, 实现矿山生产过程、设备、安全与开采环境监控等数据的自动采集、智能分析与可视化处理;

(3) 建立以光纤、泄漏电缆或无线通讯等为主体的多媒体通讯网络, 形成语音、视频与数据同网传输的网络体系, 实现矿山数据的分布式共享;

(4) 采用工业以太网、PLC 智能控制及视频监控系統, 实现对矿井提升、运输、通风、排水等系统及设备的智能化集中监控。

(5) 采用先进的生产管理系统, 实现矿山生产人员与移动设备的定位、跟踪及生产过程智能化调度与控制, 全面提升矿山的生产管理与决策的科学性。

矿山数字化、信息化建设不是一个简单引入若干设备、软件的过程, 它应该是一个生产与管理方式质的飞跃, 涉及的内容与生产环节也相当多, 建设数字化、信息化矿山的方法与流程如图 1-4 所示。

由于会东铅锌矿采矿场目前的生产技术人员配备有所欠缺, 一方面急需提高工作效率, 但另一方面也制约了数字化、信息矿山建设的进程。所以在总体规划基础之上, 应该充分考虑轻重缓急的原则。经与会东铅锌矿商讨, 确定首先应该完成的工作是建立大樑子矿床三维数字矿床模型。只有在建立矿床模型之后, 才能实现矿产资源、采矿工程以及开采环境等的数字化, 才可能实现基于矿床模型的采矿工程设计、生产过程中的储量与品位控制、编排生产进度计划等等。根据会东铅锌矿现状与生产实际需求, 本论文的重点是建立大樑子三维数字矿床模型, 研究任务包括: 大樑子矿床地质数据库建立、1 号矿体 I ~ V 矿段实体模型、I ~ V 矿段块体模型、地表 DTM 模型、断层等地质构造 DTM 模型、矿山二期工程露天转地下开采开拓采准工程实体模型等等, 其构建流程如图 1-5 所示。

1.6 矿床模型类型与建模方法

矿床模型是借助计算机、地质统计学等技术建立起来的关于矿体分布、空间形态、构造以及矿山地质属性的数字化矿化模型, 是实现储量计算、计算机辅助采矿设计、生产进度计划编制、生产管理以及采矿虚拟仿真的基础。从图 1-3 我们也可以看出, 三维矿床模型并不是一个简单的模型, 而是一组相关的基于真三维空间矿体模型的组合, 其中主要包括: 地质数据库 (Geological Database 或 GeoDatabase)、实体模型 (Solid Model)、块体模型 (Block Model)。这些模型之间是一种相互依存的关系, 且其构建存在先后流程关系。图 1-4 所示的是基于 Surpac 软件建立一个三维矿床模型的整体流程。

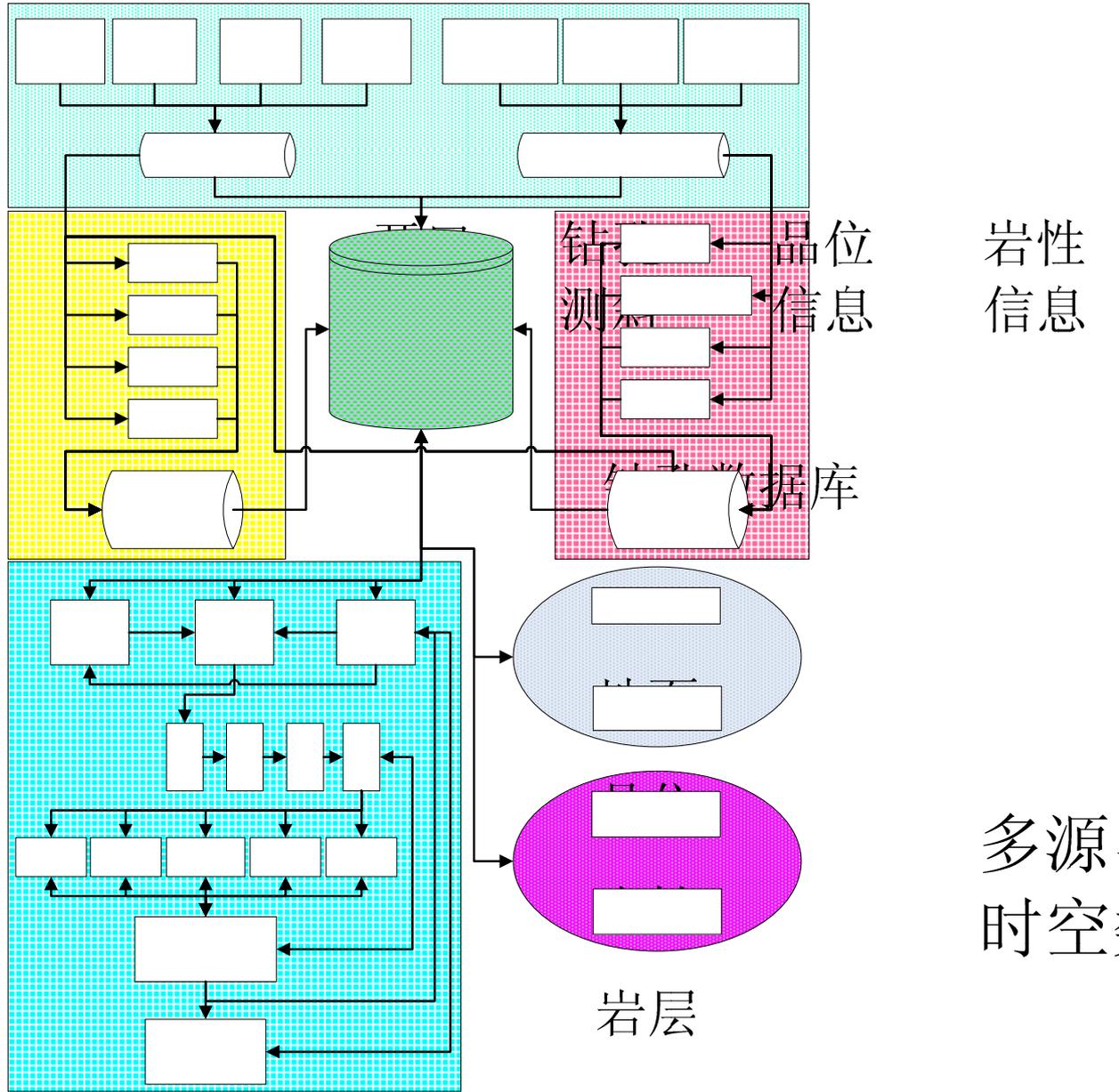


图 1-3 数字化矿山建设总体框架^[1]

矿床块
段模型

采矿
设计

采掘
计划

工程
状态

长
期

年
度

季
度

月
份

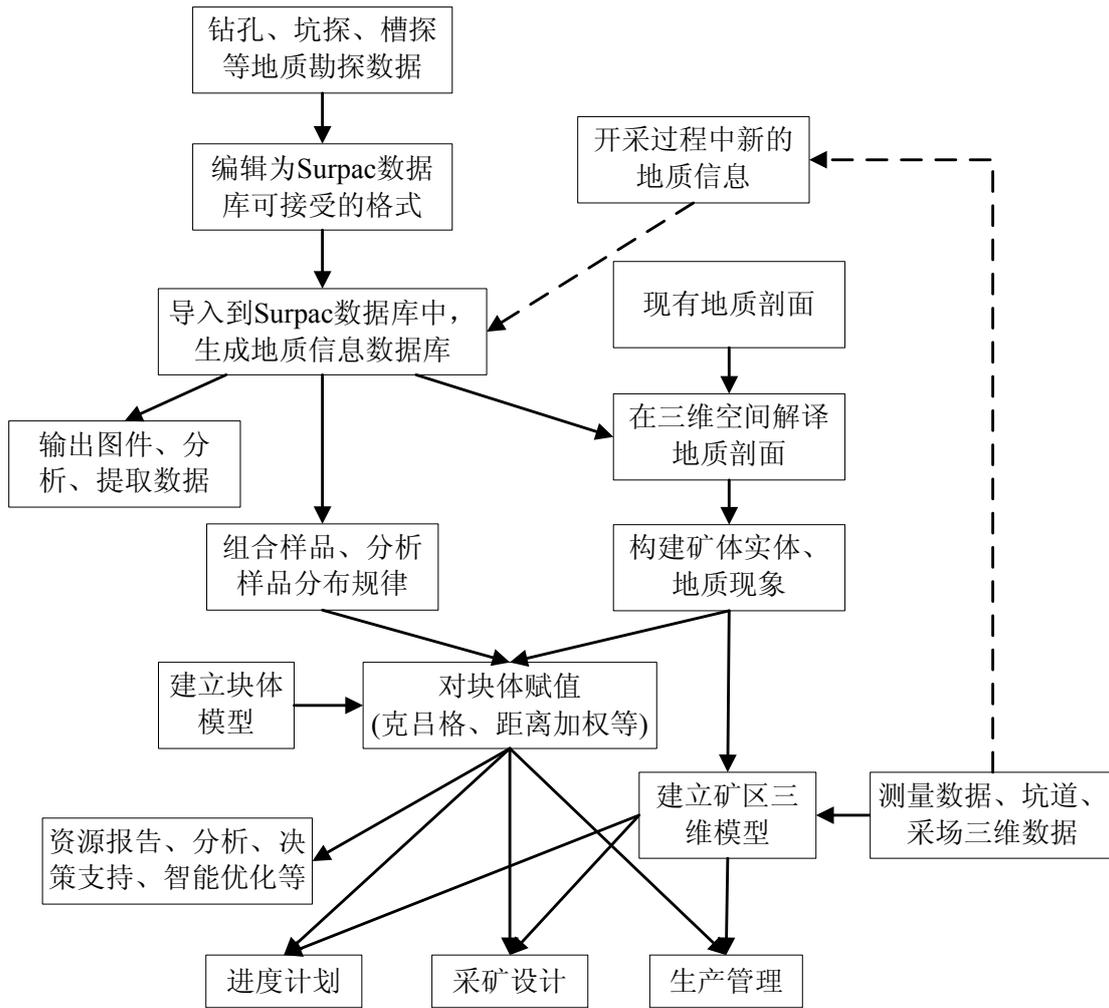


图 1-4 基于 Surpac 建立三维矿床模型建模基本流程

1.6.1 地质数据库

地质数据库的数据来源于原始地质勘探资料、数据，一般由以下几种形式获得：

- 钻探——通过钻孔来获取基本岩性信息和取样分析数据
- 坑探——地下坑道取样获得数据
- 槽探——地表刻槽取样获得数据

其中，钻孔勘探是最常用的方法，但不管是哪种勘探形式，最终都会形成地质信息编录数据表。通过对原始地质信息表的规范化处理可形成多个满足构建关系数据库的二维表，并依此建立地质数据库。

地质数据库存储和管理的信息的主体为地质勘探结果，包括勘探工程的空间信息、样品的品位化验数据、矿岩物理力学性等等。所有这些信息都具有其三维空间位置属性，所以构建的地质数据库就是一个以真三维空间为基础的勘探数据模型。地质数据库所反映的钻孔数据都在三维图形空间中真实地表现出来，且数

据的管理、修正都可在三维空间中以“图形”方式进行交互。直观地说就是，一旦建立了地质数据，就可以在三维空间显示地质勘探工程，如钻孔轨迹线、岩性及描述、矿石品位、坑探取轨迹等，在三维空间显示与管理地质现象与勘探信息。

1.6.2 实体模型

实体模型也称线框模型，用来描述地质体（如矿体）、地质构造、地形、三维轮廓和采矿工程等三维空间位置与形状。实体模型具有以下功能：

- 快速计算体积和表面积
- 任意方位切割剖面
- 用于空间约束，如内、外约束
- 实体之间进行并、交、差等布尔运算
- 与地质数据进行交互

在传统的地质现象表达与描述中，通常以二维平面图和剖面图来表示地质勘探结果，这种方式表达信息不充分，缺乏直观，且容易造成信息传递的前后不一致。实体模型一般来说我们将其分成两种类型：**DTM**、**3dm**，两者都采用三角网的方式来表征物体的空间特征。**DTM**，即表面模型，用来描述地形、断层等曲面，是一个不封闭的三角网；**3dm**，由一系列相邻三角网封闭成内外不透气的实体，常用来描述矿体。**DTM**有“上”、“下”两面之分，**3dm**有内外之分。采用实体模型描述矿体、采矿工程、地形、断层等的形态和所属信息的流程如图 1-5 所示。

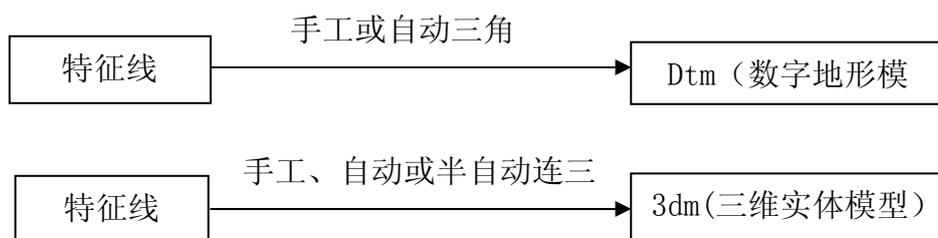


图 1-5 实体建模流程^[2]

1.6.3 块体模型

块体模型（也称块段模型）是矿床品位估算与储量计算的基础，块体模型的基本思想是将矿床在三维空间内按照一定的尺寸划分为许多的单元块，然后根据已知的地质勘探样品的品位数据（往往利用地质数据库管理）及其空间变异特征对填满整个矿床范围内的单元块的品位进行推算，并在此基础上进行储量计算。块体模型的块体属性可以根据需要设置，一般除了必要的品位属性以外，往往还有体重、矿岩类型等。

块体模型的研究和应用始于上个世纪 60 年代初, 是由美国 Kennecott 铜矿公司首先提出来的, 其实质是用一系列大小相同的正方体(或长方体)来表示矿体, 每一块体的品位通过克立格法、距离反比法或其他估值方法确定, 并认为其品位为一常数^[1]。其时, 块体模型主要用于描述浸染状金属矿床的空间分布, 到目前为止, 该技术仍被认为是描述在三维空间成渐变的品位或质量的空间分布的最佳技术。它的主要特点是形态简单, 规律性强, 编程容易, 特别利于品位和储量的估算。当然块体模型也有明显的缺点: 块体模型描述矿体形态的能力差, 矿体边界误差大, 尤其对于复杂矿体的描述, 其误差有时大得让人难以接受。要减小块体模型在边界处的误差, 就必须减小块体尺寸。然而, 用地质统计学方法估值时, 块体的大小与信息样品间距有关, 一般取最小信息样品间距的 0.5 倍。当样品稀疏时, 描述的矿体边界十分粗糙。

Axelsson 等人在第四届 APCOM 会议上提出了一个可变尺寸的三维块体模型, 即变块模型^[3]。所谓变块模型是指在某一方向上块体的尺寸可以变化, 这样在构模时, 可以使模型中部块体尺寸较大, 边界块体尺寸较小, 从而增加了边界模拟的精度。到 70 年代, 变块模型有了新的进展, 出现了 SEAMSYS 控制数据软件包和 OBMRYZ 咨询系统, 它允许块体尺寸在一维或多维方向变化, 使变块模型更加灵活实用。到 80 年代末, 英国 Datamine 国际软件集团公司推出了 Datamine 系统核心数据库, 该系统的特点是在矿体的各部分随意变换块段大小, 能够表示品位的细致变化, 可以处理较复杂的地质结构, 但考虑到计算机性能和模型构造精度的要求, 该方法显然具有一定的局限性。为了更精确地模拟矿体边界, 就必须把边界部分的块段划分得更小, 然而, 对于这些小块的估算不一定可靠, 往往将废石估成矿石, 或将矿石估成废石, 而且计算机性能有限, 故此模型的发展受到一定的限制^[4]。事实上, 目前主要的矿业工程软件如 Surpac、Datamine 都是采用变块模型的方式构建矿床块体模型。

1.7 三维矿床模型建模主要数据来源与依据

建立三维矿床模型需要的数据资料几乎涵概了该矿床所有地质、采矿工程主体设计工程与已施工工程(实测), 一般包括:

- 所有探矿工程取样、岩性记录, 定位 (X, Y, Z) 测斜记录及其他记录
- 现在图件 (平面图、纵剖面图、构造线图、解译图……)
- 储量计算指标 (矿石类型、体重、各种属性)
- 地形等高线图或测量点坐标记录表
- 坑道工程, 露天采场的实例记录 (图件)
- 矿山总体设计方案图

大樑子三维数字矿床模型建模数据、图件依据主要有：1991年生探资料与1991年“各中段单工程品位.xls”、“边坡地槽样品位.xls”文件；昆明地质勘查院编写的《四川省会东县大樑子铅锌矿床 1884—1944 米中段勘探报告》及其附图；会东铅锌矿采矿场地形图及地测科地表地形与露天采场测量测点数据；会东铅锌矿二期工程设计及附图。

1.8 矿业工程软件选择

目前成熟的商业化矿业工程软件主要有：Surpac、Datamine、Micromine、Mintec、Lynx、MinCom、Vulcan、MineMap 等等。其中前三个在国际上的市场占有率较高，在国内的推广应用也比较成功。由于方方面面的原因，国产矿业工程软件尚未取得足够的市场，即将正式发布的商业化国产矿业工程软件只有中南大学资源与安全工程学院所属的迪迈公司开发的 DMine 和北京东澳达科技有限公司开发的 3DMine。国外的矿业工程软件由于比较重视市场运作，发展一直比较好，Surpac、Datamine、Micromine 在本世纪初开始进入中国市场，由于都很重视售后技术支持，在国内矿业公司中都有较好的用户与工程实际应用。客观地说，很难准确评价哪个软件的是最优的，每个软件都有自己的特点与优势，当然也有其不尽如人意的地方。通过软件功能与性价比的综合评估，最终与会东铅锌矿共同选定 Surpac 矿业工程软件来建立会东铅锌矿三维矿床模型，并在此基础上进行矿山信息化、数字化建设研究。

第二章 会东铅锌矿地质数据处理与地质数据库设计

地质数据库是建立整个会东铅锌矿三维矿床模型的第一步，是创建实体模型、块体模型等的基础。如果创建地质数据库过程中存在瑕疵，则会降低整个矿床模型的可靠性。本次地质数据库的建立数据基础是矿方提供的几次地质勘探的原始勘探数据，包括《四川省会东县大梁子铅锌矿床 1884—1944 米中段勘探报告》以及其它一些地质及工程图件、资料。

2.1 地质数据库构建流程

地质数据库创建流程如图 2-1 所示，地质数据创建前首先应对原始勘探数据进行分析、校验和修正。矿山以往地质勘探结果往往是以纸质编录报表的形式存放，因此需要将这部分报表录入到电子文档中（往往是 excel 表格）。由于编录数据繁多，不可避免可能会有记录或输入一类的错误，因此对数据文件的数据检查是非常重要的。另外还有一种情况也是需要检查和修正，在地质编录工作中一般习惯将品位远低于边界品位或经目测为围岩的样品以非数字的形式描述，如“<0.02”，由于数据库中品位是数值型字段，所以在将原始数据文件导入数据前应将其处理成数值，具体处理方法可改为 0 或一个极小的品位值^[5]。

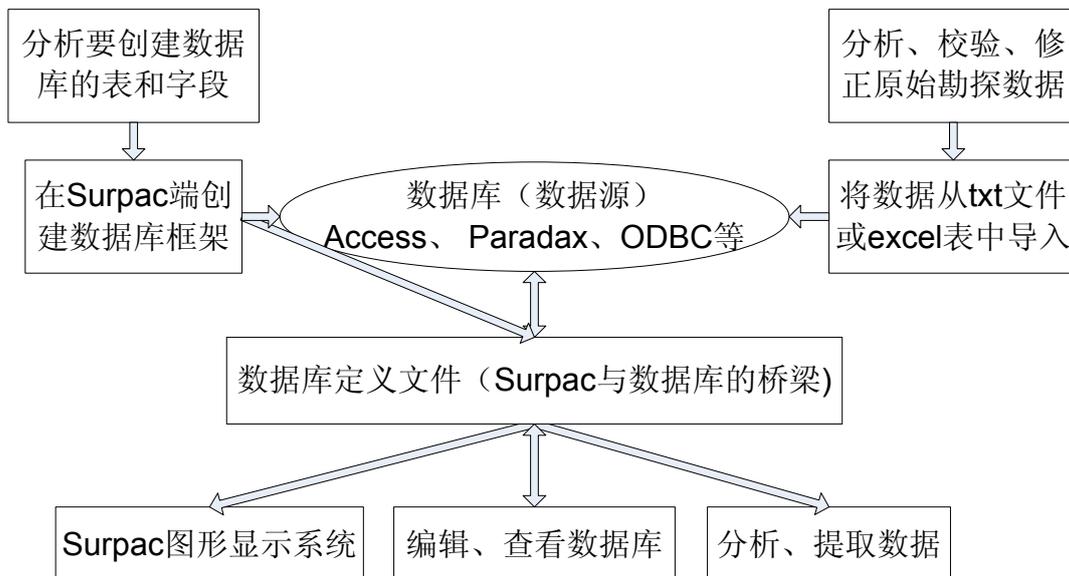


图 2-1 地质数据库构建流程

在准备好勘探数据后就应该对这些数据进行分析进而构建地质数据库框架，也就是建立数据库中的数据表以及相应表的各个字段和这些字段的属性等^[6]。由于 Surpac 支持数据源，因此后台数据库形式相当灵活。数据库形式的选择主要

是考虑矿床规模、勘探程度以及矿床复杂性等,归根到底是看地质勘探数据量以及是否需要基于网络共享^[7]。一般数据量情况下可以选择个人数据库形式,如 Access、Paradox,如果数据量相当大或有在网络中共享这些数据的需求则可以选择 SQL Server、Sybase、Oracle 等^[8]。地质数据库是利用后台数据库进行存储的,但所有数据的管理、操作都是在 Surpac 中完成的,并由 Surpac 自动维护数据库结构和数据表之间的关系,所以为了保障数据库的安全性及不破坏数据表之间的关系,原则上不要在 Access、SQL Server 等数据库软件中修改数据。

2.2 地质数据库结构

Surpac 中地质数据库中包含可选表和强制表两种数据表类型,强制表是一个完整的地质数据库必不可少的表,而可选表则是根据勘探数据的具体情况来选择的。Surpac 地质数据库中有 collar (定位表)、survey (测斜表)、translation (转换表)等几个强制表。collar 表存储钻孔(如果是坑探或槽探等其它勘探形式,均可将其视为钻孔)孔口坐标、钻孔最大深度、钻孔轨迹线是直线还是曲线等信息。survey 表存储钻孔的测斜信息,如测斜深度、倾角、倾向等。translation 表一般可由系统维护,存储一些等同于数值的字符代码。另外除了强制表是作为一个 Surpac 的地质数据库必须要有的表外,用户一般还需要创建几个可选表,最常见的是 sample 表,可能还有 geology 表等其它根据需要可创建的数据表。在这里虽然 sample 表是可选表,但 sample 表是用来存储取样样品化验值数据的,所以一个完整的 Surpac 地质数据库都会有 sample 表。

地质数据库中的数据表也可分为如下三类:

- **间隔型表(interval)**: 要求深度开始值和深度结束值,也即 depth_from 和 depth_to 字段,通常我们使用该类型。
- **点型表(point)**, 例如风化表,仅仅要求样品发生点的深度,即 depth_to 字段,其它的 y, x 和 z 字段存储的是计算后的样品深度坐标。
- **离散的样品表(discrete)**: 用来存储有唯一样品 id 号的点数据,这里要求 samp_id 以及其空间位置,例如 Y, X 和 Z 坐标,离散的样品表实际上满足存储和后来处理地化土壤样品的需要。

以上三种数据表类型,间隔型表用得最多。创建数据表时需要选择表的类型,一旦选择了表类型, Surpac 就会给相应的表创建几个强制字段,这些强制字段构成该数据表的基本字段,用户根据需要再添加其它可选字段。

定义地质数据库数据表及相应的字段的过程就是构建数据库结构的过程,定义好了数据库结构就意味着构建了数据库的基本的框架,下一步就是准备好原始

数据并导入地质数据库中。而在 Surpac 中创建地质数据库结构的过程可用图 2-2 来说明。

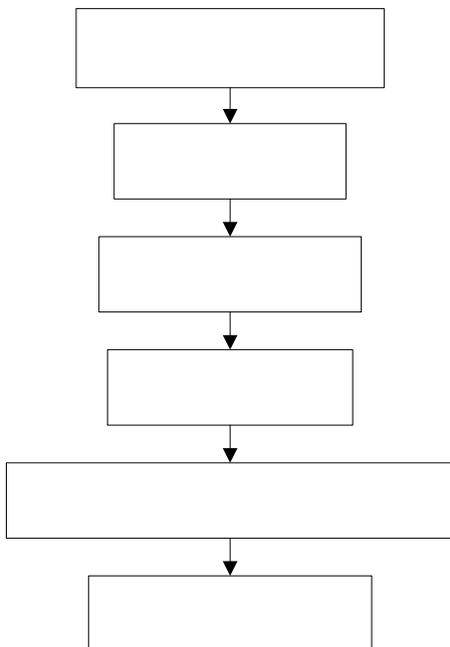


图 2-2 创建“空”地质数据库过程

通过分析会东铅锌矿多年积累的地质勘探数据，我们建立了 collar、survey、translation、styles、sample、inside_orebody 等几个数据表。

2.3 数据表结构及表的字段属性

在以上创建的几个数据表中，translation 和 styles 表由系统创建和维护，而 collar、survey、sample、inside_orebody 四个表则自定义创建。由系统创建的两个数据表在这就不做累述，collar、survey、sample、inside_body 四个自定义表的结构及其相应的字段属性见表 2-1。

表 2-1 自定义表及其字段属性

表	字段	数据类型	允许空值	数据长度	小数位数	最小值	最大值	大小写
collar	hole_id	character	N	12				upper
	hole_path	character	N	8				mixed
	max_depth	real	N	11	3	0	9999	
	x	real	N	11	3	-999999	9999999	
	y	real	N	11	3	-999999	9999999	
inside_orebody	z	real	N	11	3	-999999	9999999	
	depth_from	real	N	7	2	0	9999	
	depth_to	real	N	7	2	0	9999	
	hole_id	character	N	12				upper

	inside	character	Y	10				mixed
	samp_id	character	Y	10				upper
	x_from	real	N	11	3			
	x_to	real	N	11	3			
	y_from	real	N	11	3			
	y_to	real	N	11	3			
	z_from	real	N	11	3			
	z_to	real	N	11	3			
sample	depth_from	real	N	7	2	0	9999	
	depth_to	real	N	7	2	0	9999	
	hole_id	character	N	12				upper
	pb	real	Y	10	4	0	99	
	samp_id	character	Y	10				upper
	x_from	real	N	11	3			
	x_to	real	N	11	3			
	y_from	real	N	11	3			
	y_to	real	N	11	3			
	z_from	real	N	11	3			
	z_to	real	N	11	3			
	zn	real	Y	10	4	0	99	
survey	azimuth	real	N	6	2	0	360	
	depth	real	N	7	2	0	9999	
	dip	real	N	6	2	-90	90	
	hole_id	character	N	12				upper
	x	real	N	11	3			
	y	real	N	11	3			
	z	real	N	11	3			

创建完包含上述几个表的空的数据库后,大樑子矿床地质数据库的基本框架就基本搭成,下一步工作就是将地质勘探数据充实进去,形成完整的大樑子矿床地质数据库。

2.4 矿床勘探原始数据预处理

大樑子矿床地质数据库的建立以原始地质勘探数据及成果图为基础。会东铅锌矿从初期勘探至今经历过多次不同单位、不同级别和不同勘探形式的勘探,由于种种原因许多原始地质数据已经丢失,现存的编录数据、资料也存在不规范、不完整等问题,所以对已有的勘探数据的规范、预处理就显得尤其重要。

大樑子铅锌矿床虽然经历了多次不同形式的勘探形式,但早期的钻探数据已基本丢失,目前有利用价值和可靠的主要是各个勘探中段水平的坑探数据及部分地表槽探数据。

2.4.1 钻孔数据的预处理

由于 Surpac 定义地质数据库时将所有勘探形式都看成钻探形式,也就是说,数据框架的构建就是针对钻探形式设计的,因此钻探数据的预处理是基本也是最简单的。迄今为止,大柩子铅锌矿区仅于 1980 年施工了一个地表探矿钻孔(编号 ZK002,设计方位角 208° 40',倾角 80°),由于时代久远,且根据昆明地质勘查院与会东铅锌矿 2000 年左右的进一步勘探结果表明该钻孔勘探结果可能存在较大偏差,因而此次地质数据库的构建并没有采信该钻孔结果。在此只是说明钻孔数据的预处理方法,并没有真正对钻探数据的预处理,但这对以后矿山可能补充钻探工程数据库数据更新是很有必要的。

一般来说,钻探的数据编录数据最终都要反映如表 2-2 所示的勘探数据内容。将表 2-2 规范化并分离即可得到表 2-3 所示的四个二维表,并由此来构建关系数据库^[2]。

表 2-2 钻探所获得地质信息的基本形式

钻孔工程号	工程号起点坐标	测斜数据	自	至	岩石描述	品位描述

表 2-3 勘探信息规范化二维数据表

工程号	工程号起点坐标

工程号	距孔口距离	倾角	方位

工程号	自	至	岩石描述

工程号	自	至	品位描述

由表 2-3 所构建起来的四个表分别对应着地质数据库中的 collar、survey、geology、sample 表。其中 geology 表为地质岩性表,当然该表并不是一定会有,也可能依据勘探信息不同创建其它可选数据表。从表 2-3 中可以看出每个表都包含同一个字段——“工程号”,这是构建关系数据库“关系”的关键字段。也就是说这些数据表都是通过“工程号”联系起来的,是这些数据表必不可少的字段。这四个表构成的关系如图 2-3 所示。

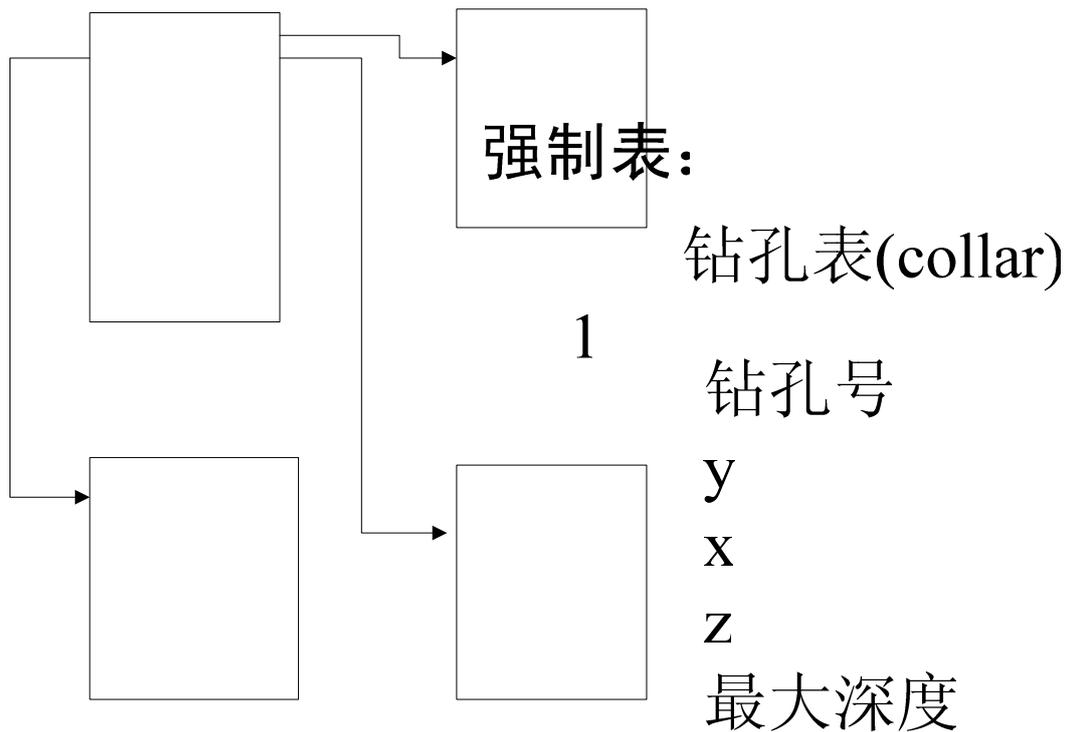


图 2-3 地质数据库中数据表之间的关系

原始的地勘数据往往以纸质的编录表及图纸的形式存放，或者以类似于表 2-2 的 excel、txt 电子文档形式存储，所以首先应将这些数据规范化为表 2-3 所示的二维数据表，其文件格式可以是 excel 的“csv”或纯文本“txt”格式，一般要求纯文本二维表格的列以“,”隔开。

2.4.2 坑探、槽探等非钻孔数据的预处理

坑探工程是大柰子铅锌矿床的主要探矿工程，施工了从 1884~2193 年中段，其中沿脉+穿脉工程进尺超过 15000 米。根据昆明地质勘查院提交的《四川省会东县大柰子铅锌矿床 1884-1944 米中段勘探报告》对坑探工程质量评价坑道的施工质量较好，其断面形态多为拱形，中段坑道分别对 27~4 勘探线间的 1 号矿体进行较为系统的控制，控制工程沿走向的最大间距为 90m，最小间距仅 15m，沿倾斜方向的最大距离为 107m，最小间距仅 23m。因此大柰子铅锌矿床地质数据库的数据来源与构建基础是坑探工程与部分地表槽探数据，这些数据是能较客观反映矿区资源状况和满足工程实际要求的。

如前所述，Surpac 中构建地质数据库时将所有勘探形式都视为钻孔形式，因此我们需要将坑探、槽探工程结果转换成钻孔工程数据格式，同样最终完成的地质数据库在三维空间中反馈给我们的也是钻孔形式。由于钻孔工程是通过钻取

岩芯来获得样品的，因此钻孔具有开口位置、钻探方向以及钻孔孔深等信息，样品也是按照从孔口到孔底依次排列，因此在数据规范化时二维数据表中数据排列也要按照这种形式。所以我们将一个坑（槽）探工程人为指定一端为孔口，另一端为孔底，为了数据组织方便，一般指定数据表中排在前面的样品为孔口。坑（槽）探的取样由于其取样可能不连续，因此在不连续取样时一定要添加一个空样以准确定位后续样品的空间位置。坑（槽）探所缺失的测斜数据则要根据坑道（地表刻槽）的走向、方位等来确定（AutoCAD 文件中）。

矿方提交的坑探、槽探结果主要有：“各中段单工程品位.xls”、“边坡地槽样品.xls”几个 excel 格式文件以及各中段资源储量估算平面 CAD 图文件。从 excel 文件（数据内容与形式见表 2-4）中我们可以得到的信息主要是各样品的铅、锌品位数据、各样品长度，而勘探工程以及各样品的空间定位信息则需要从 CAD 图（见图 2-4）中获得。在这种数据来源的条件下，如果按照本章 2.4.1 节所述的常规方式规范出几个二维数据表然后将其导入地质数据库将是十分困难的。尽管 Surpac 提供的地质数据库数据导入方式需要将所有信息都规范化到二维数据表格中，但在本论文研究中，如果按照 Surpac 常规方式处理，需要从 AutoCAD 文件中去获取“钻孔”轨迹以及坑探样的空间定位信息，这样就存在两个问题：一是工作量相当大，另外就是可能会导致钻孔及样品空间定位不准确。为此，作者放弃采用传统的地质数据库地质数据的导入方式，而采用 Surpac 提供的 TCL 语言编写一个专门针对这种情况的数据导入工具来完成地质勘探数据导入。这个二次开发数据导入工具的导入数据的流程如图 2-5 所示。

表 2-4 探矿工程品位表

2004 中段					
矿段	储量类别	工程名称	OP1	工程量	
		样号	样长	品位 (%)	
				Zn	Pb
2 矿段		80	1.48	15.6	0.15
		81	1.4	2.06	0.08
		82	1.58	1.92	0.02
		83	1.4	1.56	0.03
		84	1.45	0.32	0.01
		85	1.38	0.14	0.01
		86	1.46	0.11	0.01
		87	1.46	1.03	0.01
		88	1.32	4.94	0.05
		89	1.12	4.59	0.04
		90	1.48	2.49	0.05
		91	0.89	50.19	0.19
	0	1.85	11.28	0.17	

		1	1.67	44.18	0.32
		2	0.5	11.64	0.1
		3	1.3	9.76	0.154

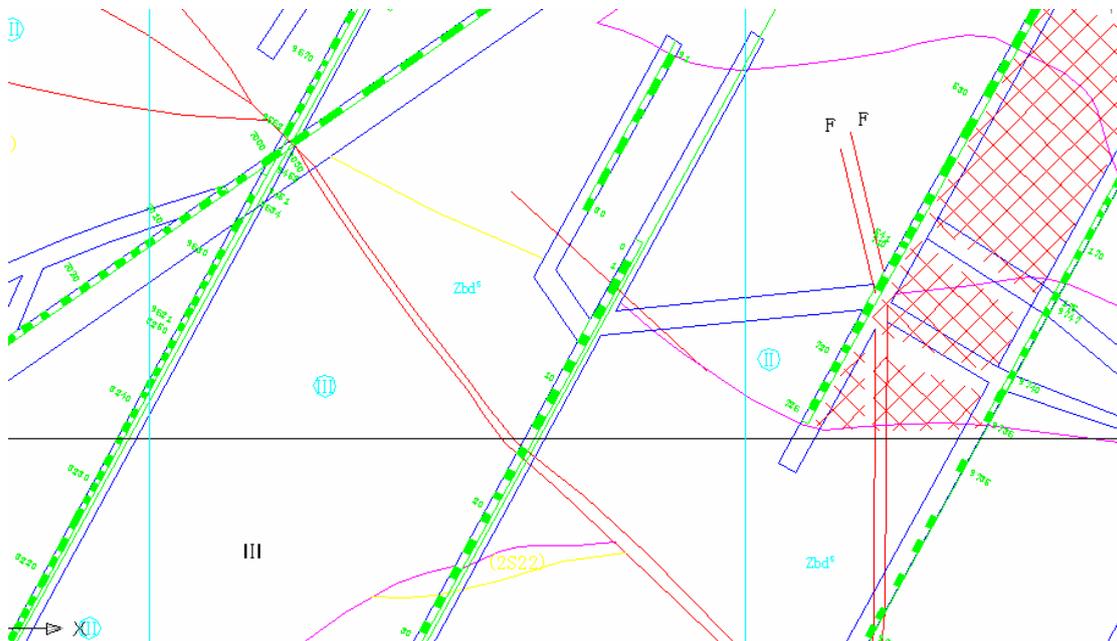


图 2-4 中段资源储量估算平面图

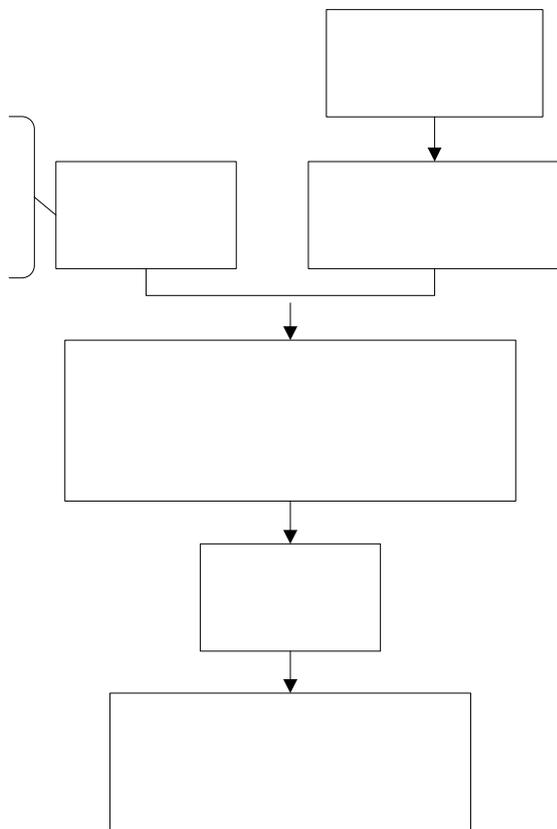


图 2-5 利用线文件向地质数据库中导入数据流程

图 2-5 展现了二次开发工具实现地质数据导入的过程与实现原理,这种方式导入数据最大的好处是不必要严格按照 Surpac 地质数据库各数据表的形式规范化出数据文件,节省了从中段资源储量估算平面图逐个样品获取其位置信息与工程测斜信息的工作,而且也避免了在中段资源储量估算平面图手工量算坐标与测斜数据可能导致误差,保证了样品的空间定位精度。尽管数据导入的方式采用非常规的方式,但地质数据库的基本结构与框架是由 Surpac 规定的,在这里不同的仅仅是数据“填充”至数据库中的方式不同而已,因此定义地质数据库方法与过程没有任何变化。如前所述,由于在坑道中取样时有时会因为通过目测确定基本没有品位而放弃某段的取样,因此规范化数据一个重要工作就是对照数据表格与 AutoCAD 文件,确定样品的空间连续性,如出现不连续取样则添加一个空样,其样长取不连续间距,各化验值取 0 品位。但如果因其它原因造成样品在空间上的不连续,则应在此处将样品数据分开,按不同的坑探工程对待。有时为了导入数据的方便,将两个不同的工程利用插入空样的办法连成一个工程进行数据导入,这种情况一定注意在数据导入到地质数据库中后要将该空样记录从数据库中删除,否则这个空样(品位为 0,而实际可能有品位)可能会人为将品位估算结果拉低,造成的储量计算结果有较大偏差。

样品的空间定位的过程:(1)在中段资源储量估算平面图等 AutoCAD 文件中根据样品位置作出相应的样品空间中排列曲线——取样轨迹线,并将其导入到 Surpac 中生成线文件,在这里要着重注意坑道中的取样位置、取样是否连续,取样标高等问题,另外每组数据要对应一条独立的线段,且线段的方向要与样品数据排序一致;(2)根据规范化的数据表中样长数据逐次沿取样轨迹线生“钻孔”迹线的节点,并连成该组数据的完整“钻孔”迹线;(3)根据“钻孔”迹线节点坐标以及样长计算每个样品开始与结束坐标。

上述的确定“钻孔”迹线及样品开始、结束坐标的过程是采用图形与样长数据来计算地质数据库各数据表所需的钻孔及相应样品的空间定位数据(包括孔口坐标、测斜数据、样品开始与结束深度等等),也就是说这些数据是由程序计算并同时完成导入的,这样就省去了大量的人工数据计算与验证工作。

依照上述方法,处理并导入了所有完整的坑(槽)探工程数据,初步形成了大樑子铅锌矿床地质数据库。图 2-6 是在三维空间中显示所有“钻孔”。

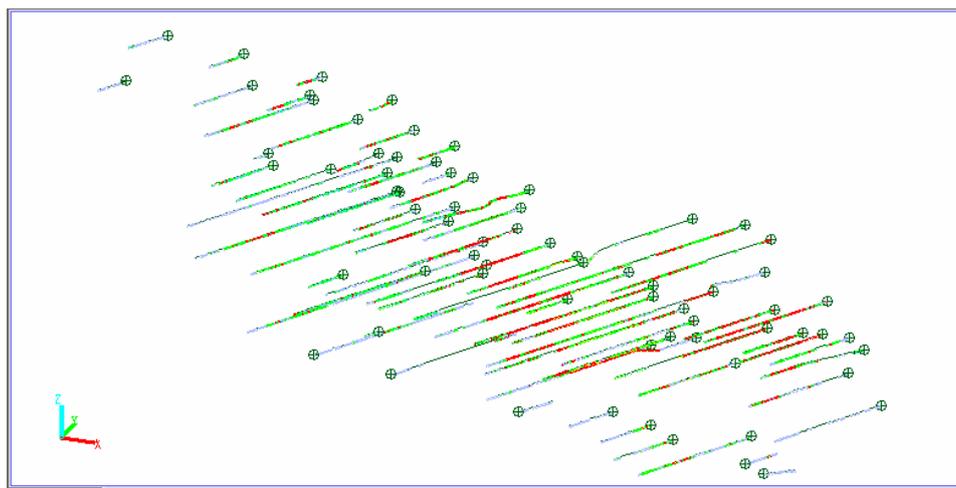


图 2-6 地质数据库在三维空间中按风格显示钻孔

2.4.3 特高品位处理与数据修正

前一节的工作是完成地质数据库的创建与数据导入,建立地质数据库除了管理、存储地质勘探成果外,很重要的一个目的是作为建立块体模型的基础。地质数据库不但要存储和管理原始勘探,而且要对数据库中存储的原始勘探数据进行分析处理,以指导块体模型的建立。

特高品位(也称风暴品位)是指高出一般样品品位很多倍的高品位^[9]。高出的倍数与品位变化系数有关。特高品位是客观存在的真实的勘探结果,但特高品位的存在对创建块体模型以及品位估值、储量计算与品位分析都是不利的。因为从统计的角度讲,特高品位属于异常品位,尽管特高品位值是真实可靠的,但由于其出现的偶然性,势必会使对该样品周围矿石进行品位估算时品位虚高,最终导致储量计算与品位分析结果偏差很大^[10]。因此导入原始勘探数据后必须要分析该矿床特高品位,并对特高品位进行合适处理。特高品位处理方法一般有:^[11]

- 计算平均品位时将特高品位除去;
- 以整个坑道或块段的平均品位代替特高品位;
- 用特高样品相邻的两个样品的平均值代替;
- 用一般样品的最高值代替,等等。

中国地质调查局工作标准《固体矿产推断的内蕴经济资源量和经工程验证的预测资源量估算技术要求》(DD2002-01)关于特高品位的定义与处理方式:“单样品品位达矿体平均品位的6~8倍者即为特高品位,当矿体品位变化系数较大时,采用上限值,变化系数较小时采用下限值。在资源估算时,对特高品位就进行处理。首先应对样品的副样做内检分析,证明原分析结果可靠后,用原分析结果作为特高品位值。处理办法是,以特高品位所在工程或影响块段的平均品位代替该样品的品位值,如仍大于矿体平均品位的6~8倍时,应再次按上述方法处理。”

如矿体中特高品位构成的连续富矿体时，应单独圈算。”^[12]在本论文中我们采用特高品位相邻几个样品的加权平均值代替的办法来处理特高品位，但为了让地质数据库忠于原始数据，在 **sample** 表中添加 **zn_m**、**pb_m** 两个品位字段，用它来存放处理过特高品位的品位值，原始品位记录并不在数据库中修改。后续进行样品组合及构建块体模型是所引用的数据为修正过后的品位数据（非原始数据）。

本次处理和导入的样品共 5017 个，按原始铅、锌品位数据分别做出其直方图（如图 2-7 所示）。从图中可以知锌品位分布合理，而铅品位分布则存在异常——分析得其主要原因是存在一个品位值为 191 的错误品位。在此出现一个铅品位为 191 我们分析是当初原始编录或输入至计算中时操作人员误操作造成的，因此将该样周边几个样取加权平均来修正这个异常品位。经查数据库与原始记录，该样是 1980 中段 OP2 工程的 462 号样，该样及邻近几个样的原始编录数据见表 2-5 所示，在 1980 中段资源储量估算平面图上 OP2 工程的 462 号样的取样位置如图 2-8 所示。根据表 2-5 与图 2-8 我们认为 462 号样的铅品位值取 461、463、464、465 四个样的长度加权平均值可能更接近实际情况，即 $(1.95 \times 1 + 2.67 \times 0.96 + 9.6 \times 1.02 + 0.62 \times 1.05) / (1 + 0.96 + 1.02 + 1.05) \approx 3.71$ ，将 462 号样铅品位修正为 3.71。修正后重新做铅品位分布直方图（图 2-9），从图 2-9 中可以发现大樑子铅锌矿床铅品位分布规律比锌品位分布规律复杂，但综合分析原始数据与察看直方图，铅、锌品位值都可以按正常品位对待，无需处理特高品位。图 2-8、2-9 包含了所有样品的化验值，但在下一节只针对矿体内部的取样进行样品组合，利用组合样数据进行数据分析来指导块体模型的建立及后续储量计算与品位分析。

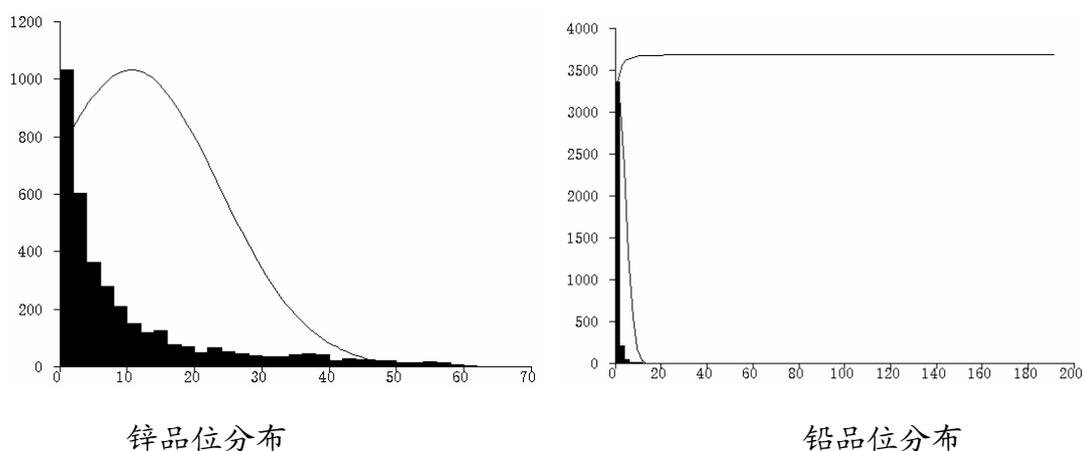


图 2-7 原始取样化验锌、铅品位分布

表 2-5 1980 中段 OP2 坑探工程原始编录数据

1980 中段					
矿段	储量类别	工程名称	OP2	品位 (%)	
		样号	样长	Zn	Pb
...
II	表内矿	461	1	27.1	1.95
		462	1.17	36.1	191
		463	0.96	47.72	2.67
		464	1.02	33.83	9.6
		465	1.05	31.52	0.62
...

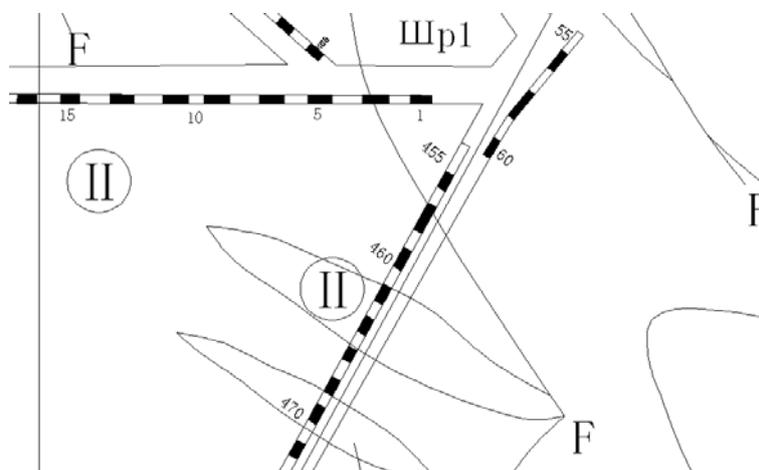


图 2-8 1980 中段资源储量估算平面图 (局部)

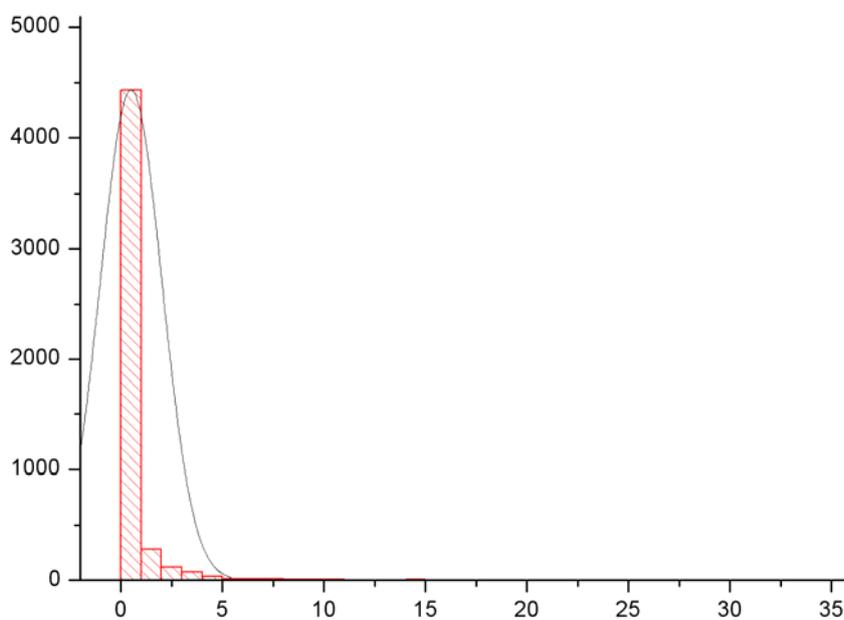


图 2-9 修正异常值后的铅品位分布

2.5 样品组合与数据分析

实际坑探过程中, 样品取样长度会依现场条件来确定, 其样长总体分布不会集中于一点 (图 2-10 所示), 为便于构建块体模型与数据分析, 应将原始取样数据进行组合样处理^{[13][14]}, 通过图 2-10 可看出绝大多数原始样品长度在 1 米左右, 因此在此将组合样的长度确定为 1 米。

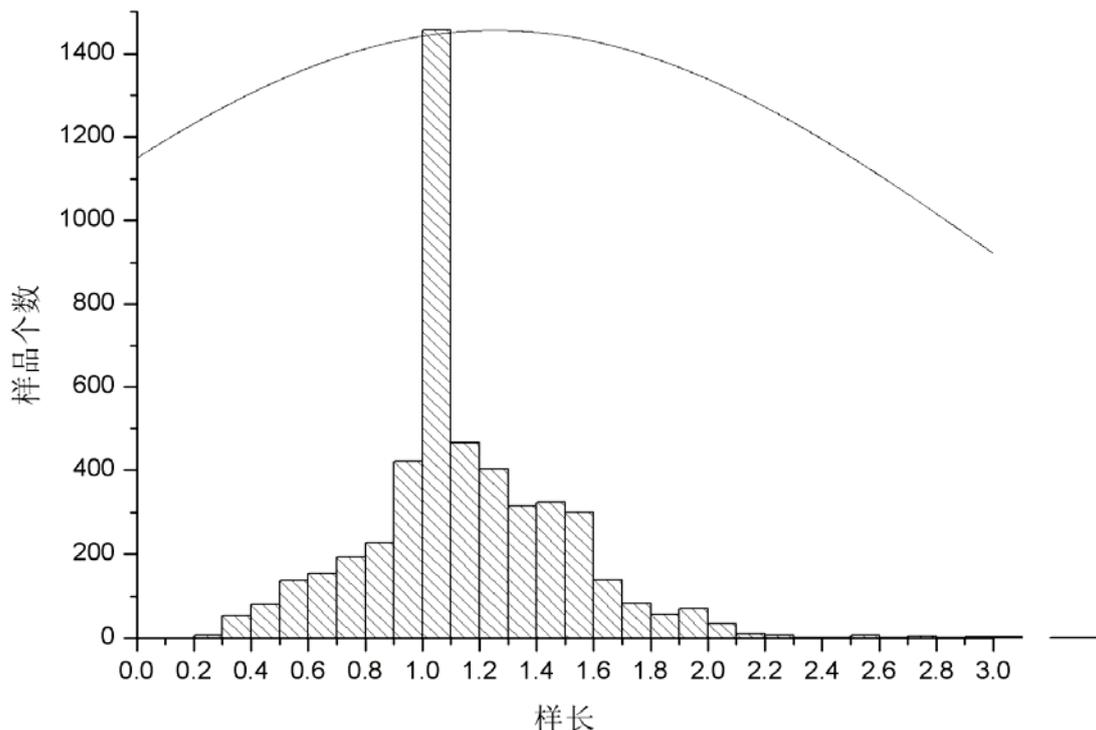


图 2-10 原始取样长度分布

由于样品组合时不涉及圈定矿体以外的样品, 因此在组合样之前, 应先确定样品与矿体的空间位置关系。在这里可以很方便地利用 Surpac 软件的“钻孔与实体相交” (这里的实体包括 DTM 与 3DM 实体) 功能来提取位于矿体内部的样品。“钻孔与实体相交”的前提是已经有完整矿体实体模型, 从理论上讲, 实体模型的创建是基于地质数据库的, 其创建过程是: 基于地质数据库进行地质解译→形成各平面与纵剖面图→利用剖面图连实体模型。由于在以往的地质勘探工作中已完成地质解译与剖面图成图工作, 因此本论文就没有必要重复。在对已有的图件进行验证与补充解译的基础上直接使用原剖面线进行连实体工作。因此本章没有对地质解译进行论述。详细的创建大梁子铅锌矿床矿体实体模型研究在第三章阐述。

根据以往地质勘探结论, 大梁子铅锌矿床共有两个铅锌矿体, 1 号矿体为主矿体, 赋存于由 F_{15} 和 F_1 所构成的地堑式构造中, 1 号矿体分布于 16~27 线之间。根据矿体与地堑式断块中次级断块的关系, 可将 1 号矿体分为九个矿段, 其编号分别为 I、II、III、IV、V、VI、VII、VIII、IX, 其中最主要的是 I~V 号矿

段,其余 4 个矿段由于规模小,勘探工作程度低,且多为氧化矿,工业意义不大。所以本论文针对的建模对象为大柘子铅锌矿床 1 号矿体 I~V 号矿段。I~V 矿段在矿石类型、成矿等方面都有所不同,因而在组合样品、建立块体模型、进行储量计算与品位分析时应将各矿段分别处理与计算分析。根据这个结论,在组合样时针对 I~V 号矿段的铅、锌品位分别做组合样。为了使组合样只针对矿体内部的样品,在进行组合样操作时指定 `inside_orebody` 表的 `inside` 字段作为区带选择标志,即根据 `inside` 字段的值来判定该样品是属于第几个矿段抑或是在围岩中取的样。`inside_orebody` 表是通过“钻孔与实体相交”操作将数据“填充”进去的。

针对 I~V 号矿段的铅、锌品位(修正字段 `pb_m`, `zn_m`)分别进行 10 次“组合样”操作即获得 10 个组合样线串文件(见表 2-6),在这些线串文件中线段的每个节点代表组合样的质心位置,节点的描述字段 `d1` 存放该组合样的组合样品值,从这里可知组合样操作并没有修改地质数据库中的数据,而是将计算结果放在新生成的线串文件中。通过组合样操作将矿体内所样品进行重新组合,并按加权平均重新计算其品位值,除矿体边界的组合样品外内部所有新组合的样长均等于 1 米,这样有利用后续的数据分析与基于地质统计学的品位估值计算。图 2-11 显示的是组合样与矿体空间关系——即组合样包含在矿体实体模型内部。

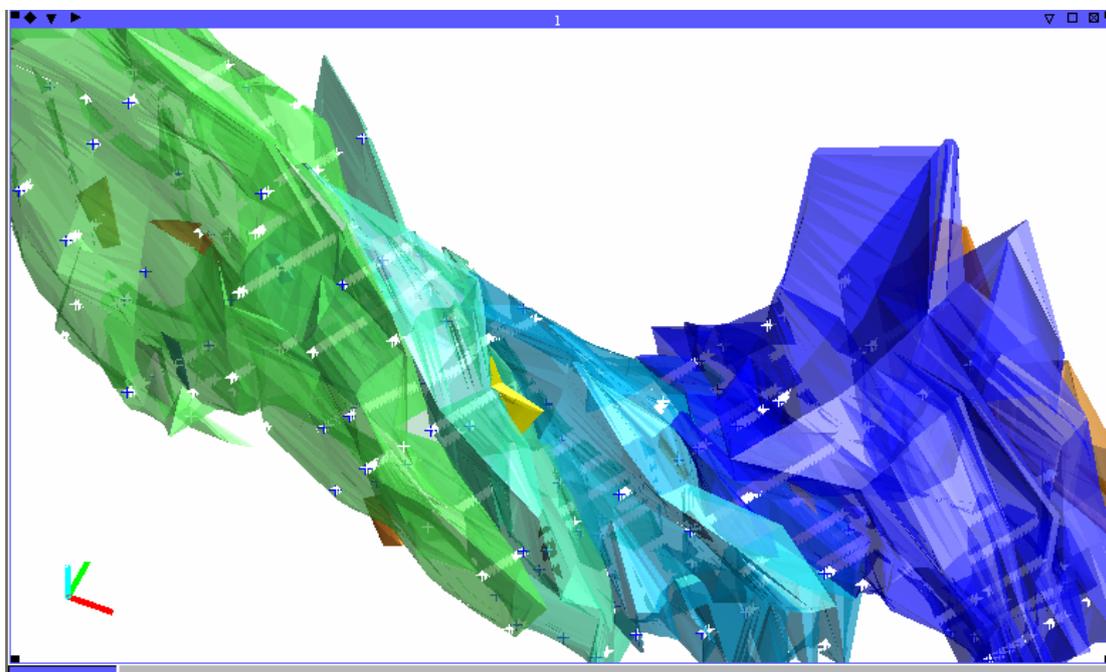


图 2-11 组合样与矿体空间关系

表 2-6 组合样线串文件列表

组合样线串文件	矿段号	组合对象	组合字段	区带标识值	备注
铅组合样_矿段 1.str	1	铅品位 (修正后)	sample 表 pb_m 字段	ORE1	
铅组合样_矿段 2.str	2			ORE2	
铅组合样_矿段 3.str	3			ORE3	
铅组合样_矿段 4.str	4			ORE4	
铅组合样_矿段 5.str	5			ORE5	
铅组合样_矿段 1-5.str	1~5				
锌组合样_矿段 1.str	1	锌品位 (修正后)	sample 表 zn_m 字段	ORE1	
锌组合样_矿段 2.str	2			ORE2	
锌组合样_矿段 3.str	3			ORE3	
锌组合样_矿段 4.str	4			ORE4	
锌组合样_矿段 5.str	5			ORE5	
锌组合样_矿段 1-5.str	1~5				

通过组合样操作后得到铅、锌组合样个数为 3686 个，重新对铅、锌品位做品位分布直方图如图 2-12 所示，由图中我们可以得出这样一个结论：大柩子铅锌矿床 1 号矿体以锌为主，且锌品位较高，而铅品位低且分布规律较复杂，具有跳跃性。

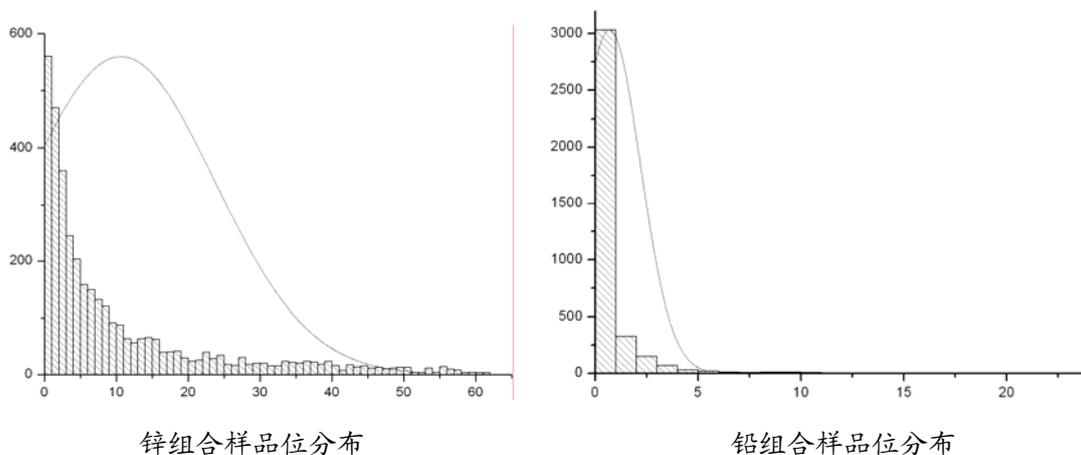


图 2-12 组合样品品位分布直方图

2.6 本章小结

本章的研究目的是针对会东铅锌矿历次地质勘探结果，通过结合勘探工程特点对原始勘探数据分析、校验、修正，并依此构建会东铅锌矿大柩子铅锌矿床地质数据库，进而在此地质数据库基础上进一步分析矿床铅、锌品位在空间上的分布规律，为构建矿床实体模型与块体模型提供先决条件。

本章完成的研究内容主要有以下几个方面：

- 通过分析以往历次地勘原始数据，修正了数据编录和数据录入时人为失误导致的数据不合理现象。
- 通过分析矿床铅、锌品位的空间分布性质，完成了铅、锌品位的特高品位分析与合理处理。
- 完成了数据库设计，并根据原始数据来源条件提出一种新的地质数据库数据导入方式——利用线文件将地勘数据（包括样品品位、空间坐标位置、工程测斜数据等）导入地质数据库。同时，在导入数据过程中，通过插入空样将不连续工程接续起来的方法，简化了地质数据库数据准备工作，并提高了样品的空间定位精度。
- 完成了 I ~ V 矿段铅、锌品位的组合样计算。会东铅锌矿大樑子矿床由多个矿段组成，其中 I ~ V 矿段为主要的工业矿段。由于这五个矿段在成矿条件、矿石类型等方面存在较大差异，因此在组合样计算时针对不同矿段的铅、锌品位都分别进行。另外为了区分样品分别隶属于不同矿段，在地质数据中添加了一个 **Inside_orebody** 数据表以存储样品的矿段属性。

根据从矿山所收集到的地勘原始数据分析，如果按照常规 Surpac 构建地质数据的流程来创建地质数据库与导入数据，需要手工量算每个样品的空间坐标信息与工程测斜数据，这样工作量无疑相当巨大，而且容易造成很大的样品空间定位误差。本章所采用的“利用线文件导入地勘数据”及“插入空样接续不连续勘探工程”方法有效地解决了会东铅锌原始编录数据与常规构建地质数据库对数据来源与格式要求不匹配的问题，是一种解决这类有缺陷的特定数据条件有效且实用的创新。

第三章 会东铅锌矿三维实体模型构建与应用研究

在 Surpac 中实体模型是用来描述三维空间的物体的，是 Surpac 三维模型的基础。它不仅描述物体的轮廓，还具备有以下功能：^[2]

- 快速计算体积和表面积
- 任意方位的切割剖面
- 可用于空间的约束，如内、外约束
- 体之间，体与面可进行并、交、差运算
- 与地质数据库相交

建立大樑子铅锌矿床实体模型有如下实际意义：

- 在真三维空间直观反映矿体产状、地表地形、露天坑以及各种地质构造
- 通过矿体实体模型与数据库相交，可提取所有位于矿体内部的勘探样品
- 为块体模型定义约束提供约束条件，确定块体模型各块体属性的计算范围
- 与块体模型结合进行矿体矿量、金属量的计算
- 为采矿工程设计提供三维环境，并随时提供任意方位的剖面
-

因此矿床实体模型是会东铅锌矿三维矿床模型基础之一，是本论文必不可少的研究内容。

3.1 实体建模数据来源及其分析处理

在 Surpac 中利用实体模型描述一个矿山的基本思路如图 3-1 所示。在创建实体模型之前需要准备能表征物体形状、轮廓的特征线或点^[15]。这些线、点来源于地质解译、测量等多种手段。一般来说创建矿体的特征线是通过在三维地质数据库中通过地质解译得来的一系列剖面，包括勘探线纵剖面与各中段水平面，由于以往的地质勘探工作中已经完成了地质解译并形成了一系列相应的纵剖与水平剖面，因此本论文并没有重复地质解译与圈定矿体的工作，而是直接利用原有地质工作成果。

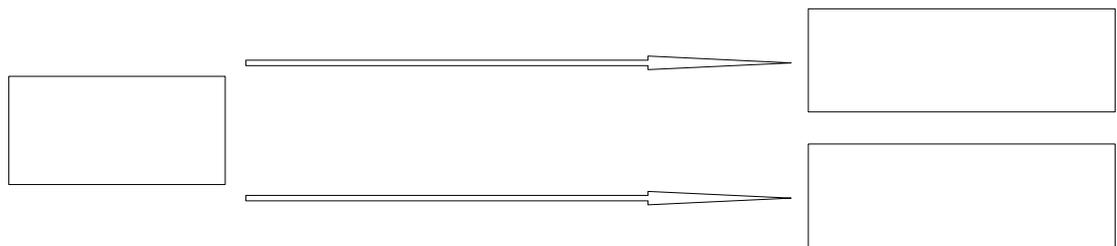
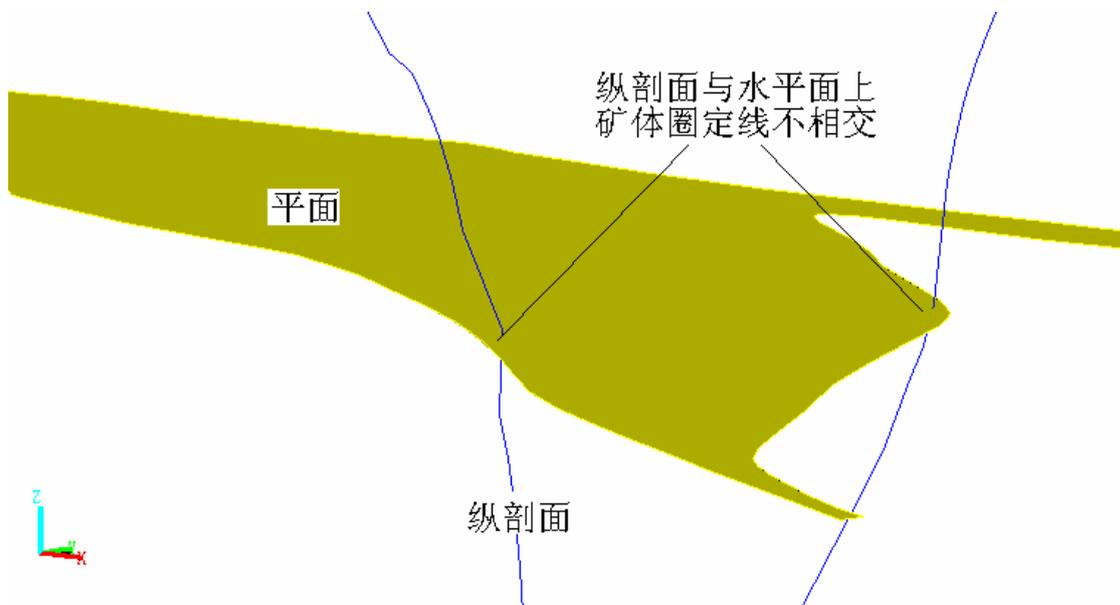


图 3-1 创建实体模型思路^[2]

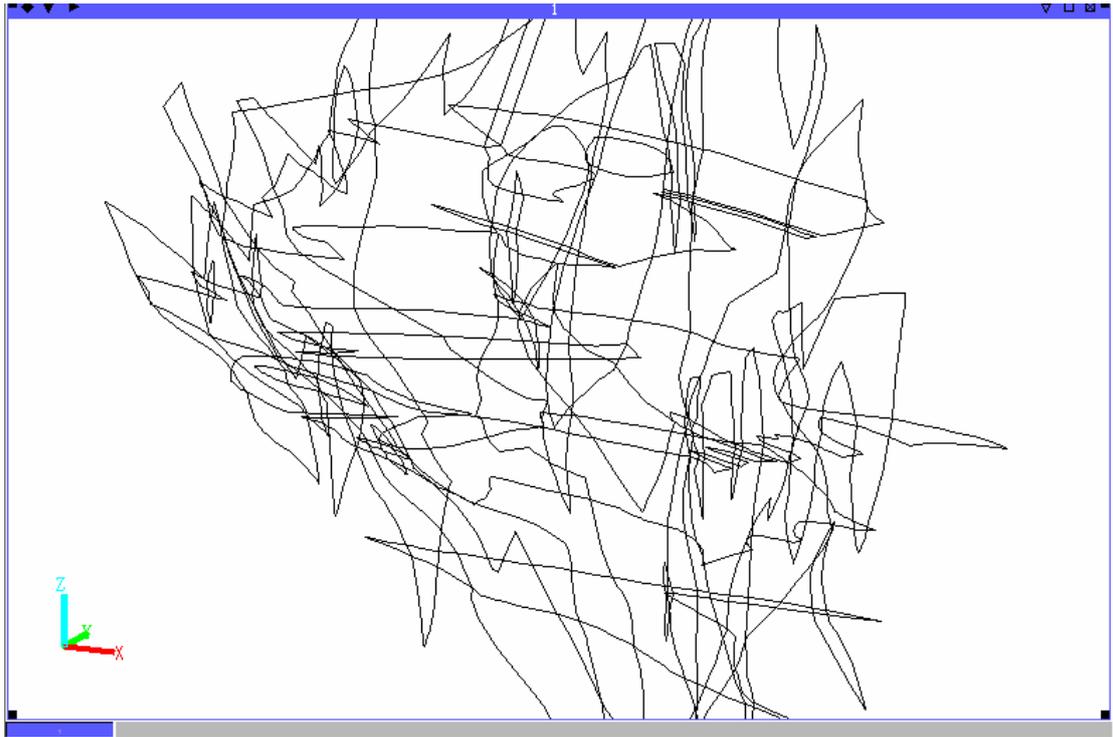
自动连三角网

创建矿体实体模型主要依据的图件有：大梁子铅锌矿床 4~27 号勘探线剖面图、大梁子铅锌矿床各勘探中段资源储量估算平面图。大梁子铅锌矿床的勘探形式主要是坑探，勘探线间距 30 米左右，勘探水平高差 20~50 米。从纵剖面图与平面图上各自提取圈定的矿体，得到相互正交的两组矿体剖面线。理论上讲，同一矿体的纵剖面与平剖面在相交线上，表示矿体边界的矿体圈定线应严格相交于相交线上，但由于矿体圈定分别在纵、平剖面上进行，且矿体圈定具有一定的不确定性，如果圈定完矿体后不对相应的纵、平剖面上的矿体圈定线进行校验，很容易出现纵剖面与平面上的矿体圈定线不相交的情况（如图 3-2），这种情况在空间关系上是错误的。为此在提取出每个剖面上的矿体圈定线后很重要的一个工作就是校验这种空间逻辑错误，在发现这种错误的地方重新查证原始勘探结果，再局部进行地质解译与矿体圈定^[16]。大梁子铅锌矿床前后经历了数次地质勘探，前后有多个单位参与，更重要的是勘查精度不一样时，得到的图件不可避免地会存在矿体圈定结果的不完全一致，因此我们的校正原则是尽量依据近期的勘探结果、严格忠于原始勘探编录。

手动或半自动连三角网，



a 纵剖面与水平面矿体圈定不一致



b 校正后的 II 号矿段矿体圈定线

图 3-2 矿体剖面线修正

地表地形、露天坑与断层等建立的是 DTM 实体模型，即一个由三角网构成的开放曲面，而矿体实体模型是一个称之为 3dm 的封闭三角网。创建 3dm 用来连实体的线段（特征线）要求是封闭线段，而创建 DTM 则可以是开放线段。断层等地质构造面创建实体模型的特征线从各水平面图与纵剖面图提取，然后“由当前层创建 DTM”或“段间连三角网”制作相应曲面——DTM 模型。地表与露天坑实体模型创建基于等高线、坡顶坡底线、地表测点（大量的离散点）等等，利用“由当前层创建 DTM”功能全自动创建。地表测点数据是利用 Surpac 直接从全站仪读入的，当然如果是目前 Surpac 不支持的全站仪则可从全站仪中导出以二维表形式存放测点数据的文本文件，再在 Surpac 中从读取文本文件中的测点数据，将测点数据与坡顶坡底线、等高线等一起创建地表 DTM（图 3-3）。

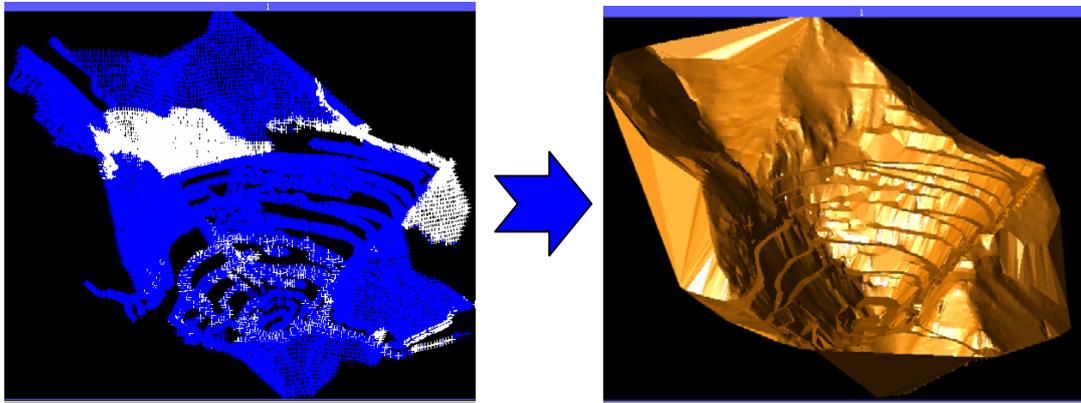


图 3-3 创建地表实体模型

3.2 建模方法与过程

矿体建模过程如图 3-4 所示。本次矿体建模范围为 1 号矿体的 I~V 矿段，5 个矿段的纵剖面与水平剖面均从相应的 AutoCAD 文件中提取。在 AutoCAD 中一般是在 XY 平面做图，所以纵剖面图在导入至 Surpac 后需要进行线文件 2D~3D 空间转换，其目的是将一个在 XY 平面上“躺着”的纵剖面“立起来”，并通过旋及缩放与拉伸将纵剖面“放到”它真正的三维空间去。同样水平面的也需通过坐标平移将其“放到”其正确标高。为了“连实体”操作的方便，5 个矿段进行“特征线”分别提取至不同的线串文件中，分开“连实体”。

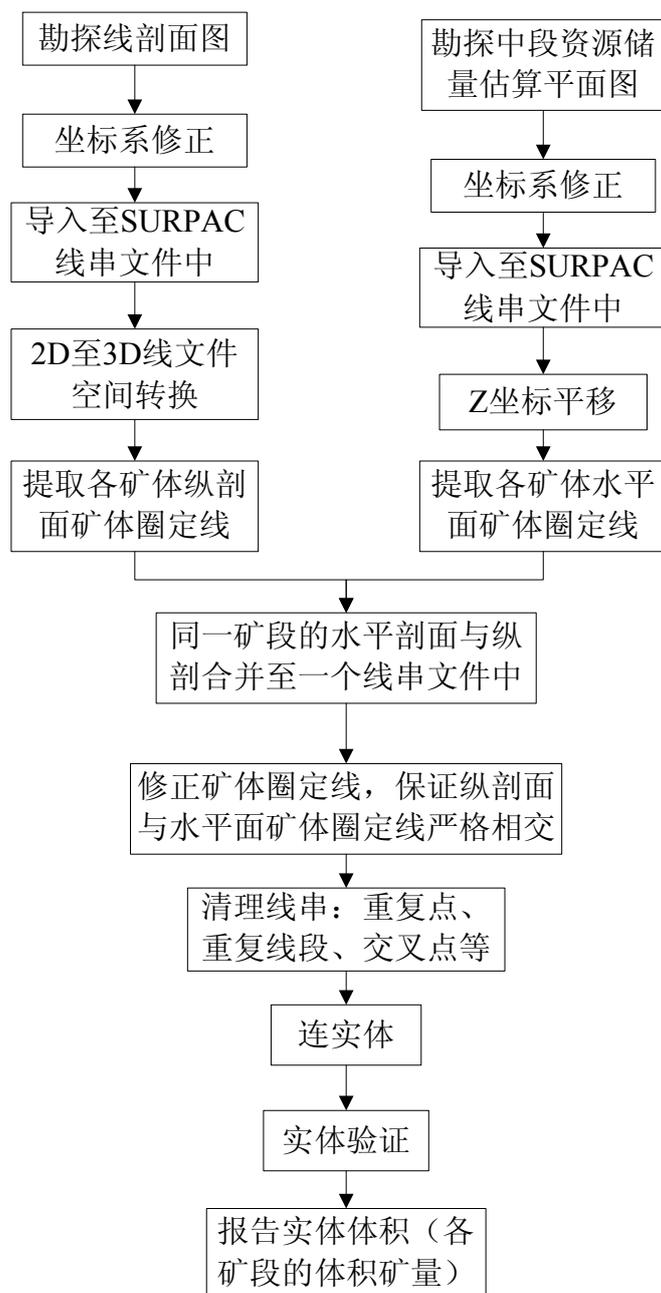
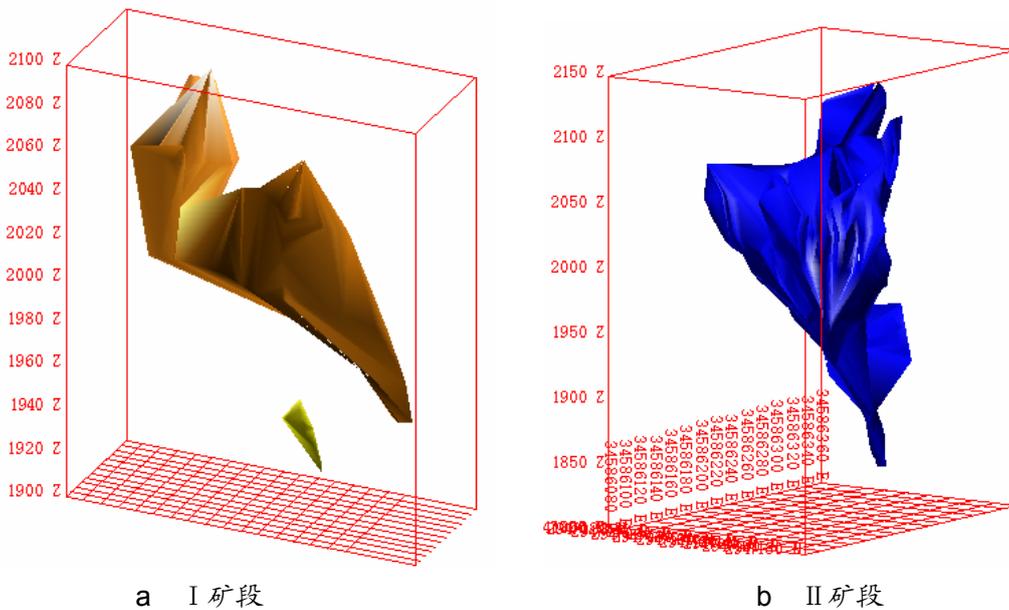


图 3-4 矿体实体建模过程

Surpac 中常规方法是利用一组平行剖面来连实体, 在连实体过程中两个平行剖面间可通过控制线控制剖面间实体演变趋势^[17]。这里控制线起到了局部控制作用。在本论文中, 我们事实上获得了在三维空间中正交的两组剖面(纵方向与水平方向), 这两组剖面分别在两组正交的平面中控制了矿体形态。根据坑探工程特点——水平巷道内连续取样, 我们认为在水平面内的矿体圈定结果客观性要相对高于纵剖面。另外勘探中段高差为 20~50 米, 勘探线间距约为 30 米左右, 二者比较接近。因此在这里我们以水平剖面为主体, 以纵剖面来控制水平剖面间过度趋势来连实体。

图 3-5 分别是 I~V 矿段及 1 号矿体整体的实体模型, 图中展现的各矿段形态直观, 空间关系清楚。从整体上看 1 号矿体为透镜状, 中间厚大, 上下两端厚度小。5 个矿段中 I 矿段体积最小, 形态也相对简单; II~V 矿段体积都较大, 但 II 矿段为矿山一期工程的主采矿段, 露天回采已采至 II 矿段厚大部位以下标高, III 矿段也消耗了部分矿量, 而 IV、V 矿段主体在露天采场西南边帮以下, 因此基本保存了大部分矿量。从空间关系上看, 5 个矿段以几个控矿段断层为界, 基本无明显间隙。



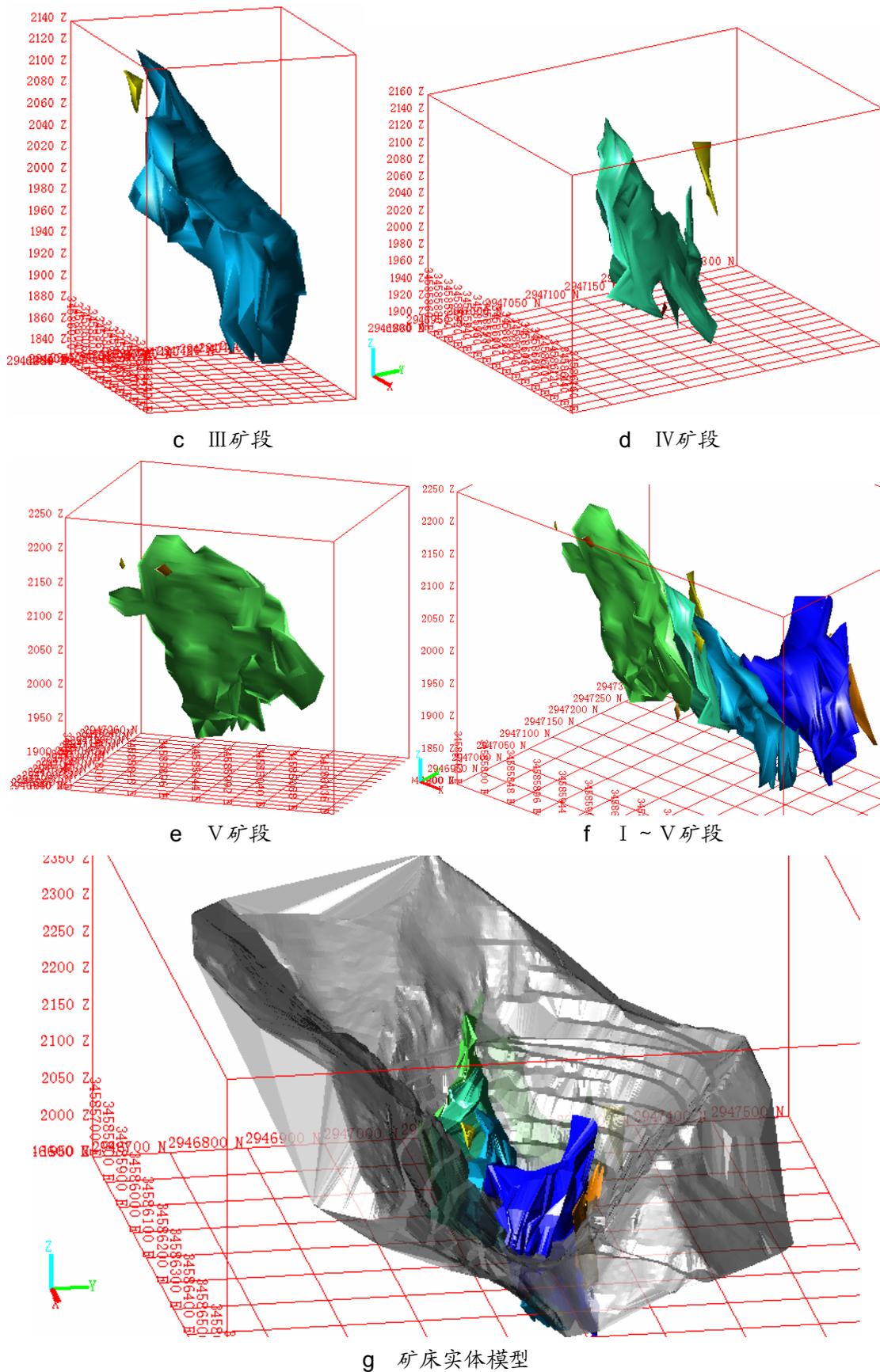


图 3-5 矿体实体模型

注：矿体实体建模时没有完全“还原”已被露采回采了的矿体。

地表地形与露天采场实体模型（如图 3-6）建立依据的是采矿场地测科利用全站仪实测的大量测点并结合坡顶坡底线、等高线自动生成。在露天采场正式闭坑以前，可随时方便、快捷地根据最新测量结果修正地表 DTM 实体模型。地表实体建模结果的文件为：“地表.dtm”、“地表.str”。

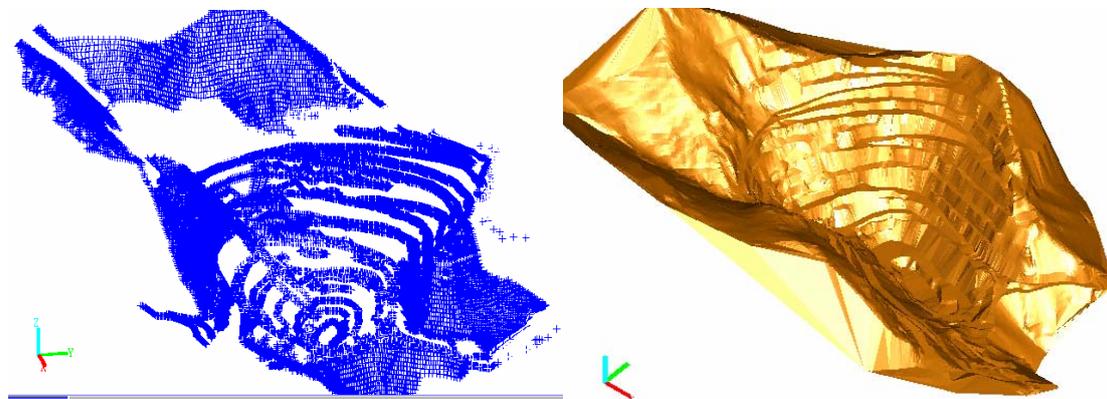


图 3-6 地表地形测量结果与地表 DTM 模型

表 3-1 是 I ~ V 矿段实体建模文件与相应实体编号对照表，各矿段主矿体实体编号与矿段名对应。矿体实体为正实体，在矿体中包裹的夹石为负实体，这样在报告矿段体积矿量时夹石体积可从中剔除，也便于其作为块体模型创建约束的约束条件。

表 3-1 矿体实体建模型文件附表

文件名	矿段	实体号	三角网号	实体性质	夹石包裹体
1 矿段.dtm 1 矿段.str	I 矿段	1	1	正一矿体	
		15	1	正一矿体	
		16	1	正一矿体	
		17	1	负一夹石	1 号体
2 矿段.dtm 2 矿段.str	II 矿段	2	1	正一矿体	
		15	1	负一夹石	2 号体
3 矿段.dtm 3 矿段.str	III 矿段	3	1	正一矿体	
		15	1	正一矿体	
		16	1	负一夹石	3 号体
		17	1	负一夹石	3 号体
4 矿段.dtm 4 矿段.str	IV 矿段	4	1	正一矿体	
		15	1	正一矿体	
		16	1	正一矿体	
		17	1	正一矿体	
		18	1	负一夹石	4 号体
5 矿段.dtm 5 矿段.str	V 矿段	5	1	正一矿体	
		15	1	正一矿体	
		16	1	负一夹石	5 号体
		17	1	负一夹石	5 号体
		18	1	负一夹石	5 号体

		19	1	负一夹石	5号体
		20	1	正一矿体	
		21	1	负一夹石	5号体
		22	1	负一夹石	5号体

3.3 矿段体积矿量报告

矿体实体模型建立一个很重要的功能就是能报告各实体的体积,也就是说可以得到各矿段的体积矿量。I~V矿段段体积矿量表见表3-2。各矿段的体积报告文件见附件1。

表3-2 体积矿量报告表

矿段号	实体编号	体积(m ³)	矿段矿石总体积(m ³)
I	1	56756.3	58008.7
	15	226.647	
	16	1085.69	
	17	<i>-59.959</i>	
II	2	1322066	1321815
	15	<i>-251.86</i>	
III	3	1191692	1192452
	15	1418.83	
	16	<i>-441.34</i>	
	17	<i>-217.91</i>	
IV	4	966811	975973
	15	8579.79	
	16	632.434	
	17	231.902	
	18	<i>-281.93</i>	
V	5	2233982	2229265
	15	114.85	
	16	<i>-1433.5</i>	
	17	<i>-1373.9</i>	
	18	<i>-1209.8</i>	
	19	<i>-490.7</i>	
	20	313.011	
	21	<i>-431.01</i>	
	22	<i>-205.67</i>	
1号矿体 I~V矿段总体积矿量			5777513

表3-2为1号矿体I~V矿段实体建模所得的矿石体积矿量,如前所述,实体建模时未能完全复原矿体已采部分,而且因为露天采场采矿尚未结束,最终开采境界未完全确定,另外对于1884米以下的资源情况因勘探工程未及,也不能

准确圈定，因此所计算的体积矿量不是最终二期工程地下采矿的可采矿量。在这里报告只有一定的参考价值，可靠的储量计算、品位分析等在第四章中建立块体模型的基础上进行分析计算，并给出相应的矿石储量报告。

3.4 工程实体建模与基于 Surpac 采矿工程设计

创建三维数字矿床模型一个重要的作用是为矿山的工程设计、生产技术与管理提供一个基于真三维空间的数字矿山环境^[18]。这样一个数字矿山环境使得矿山的资源、工程、生产工艺、生产管理在一个直观的、可视化的真三维空间里充分展现。采矿工程进行实体建模，并利用矿床地表、矿体实体模型以及矿床块体模型，将很好地指导生产过程中的各种工程设计工作，为其提供更科学、更便捷的设计手段与依据。真三维空间里的工程设计直观，且利于技术人员之间，技术人员与矿山管理人员、技术人员与工程施工人员之间的技术沟通与交流^[19]。

井巷实体建模有三种主要的方式^[2]：(1)根据井巷中心线生成实体井巷模型，(2)根据巷道轮廓生成工程实体，(3)根据工程实测数据生成实体巷道。前两种方式一般用于工程设计阶段，这两种方式的实体模型能很好地表现工程设计方案，工程实体形状规则；第三种是针对已施工工程，一般是根据实测巷道的顶底板及边帮实测的导线与控制点数据生成实体模型，能真实地反映巷道实际施工效果，且能方便快捷地得到工程采掘工程量等数据。本论文针对大樑子二期工程设计的开拓系统工程进行了实体建模（图 3-7）。图 3-8 可以清晰反映出开拓系统工程与矿体及地表地形、露天开采境界的空间位置关系。工程实体模型结合通过块体模型得到的矿床铅锌品位分布来分析工程与矿体品位分布关系，从而指导采矿方案选择与方案设计，并制定合理的采掘进度计划。

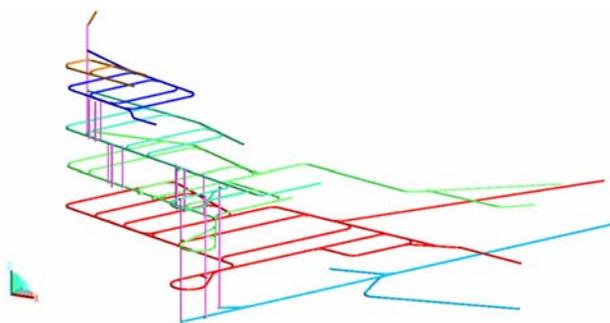
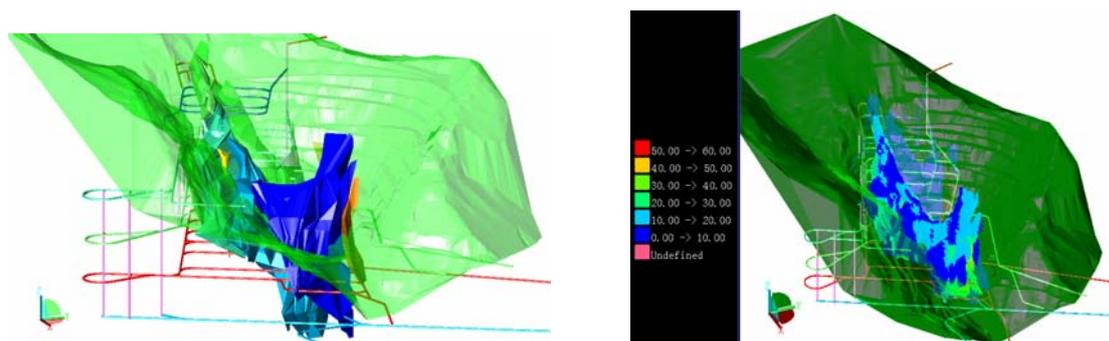


图 3-7 开拓系统实体模型



a 开拓工程与地表及矿体空间关系 户 b 开拓系统与地表及矿床品位分布关系
图 3-8 开拓系统与矿体、露天采场空间位置关系

Surpac 中的采矿工程设计针对露天采矿与地下采矿有不同的设计方法与功能模块。虽然目前会东矿的露天采场尚未完全结束，但已基本无相关设计要求，地下采矿设计功能主要是以下几个方面的功能：井巷工程设计、采场设计、中深孔爆破设计、采区（盘区、采场）设计等等。

3.5 本章小结

本章主要完成了会东铅锌矿大樑子矿床 I ~ V 矿段的实体模型、地表地形及露天坑的 DTM 模型以及二期工程开拓系统主体工程的实体模型，并利用矿体实体模型计算了各矿段的体积矿量。以上实体模型为创建块体模型提供了模型范围、约束条件等关键数据基础。

在创建矿体实体模型时，作者提出了一种将水平剖面与纵剖面结合连实体的矿体实体创建方法。尽管这种方法在效率上与单独使用水平剖面或纵剖面连实体有所欠缺，但作者认为这种方法提高了模型的准确度。另外这种方法也容易发现和校正地质解译过程可能出现的水平剖面与纵剖面结果不一致。

第四章 矿床块体模型与储量计算分析研究

4.1 矿床品位估算与储量计算方法

开采一个矿床,首先必须估算其品位和储量。一个矿床的矿量、品位及其空间分布是对矿床进行技术经济评价、可行性研究、矿山设计以及开采的基础,是矿山投资决策、生产管理的重要依据^[20]。因此,品位估算、矿体圈定和储量计算是一项影响深远的工作,其质量直接影响到投资决策的正确性和矿山规划、设计以及开采计划与生产管理的优劣^[21]。然而,准确地估算出一个矿床的矿量、品位绝非易事。大部分矿体被深深地埋于地下,即使有露头,也只能提供靠近地表的局部信息。进行矿体圈定和矿量、品位估算的已知数据主要来源于极其有限的钻孔岩芯或槽探、坑探等各种勘探形式的取样。已知数据量相对于被估算的量往往是一比几十万乃至几百万的关系,即对一吨岩芯进行取样化验的结果,可能要用推算几十万乃至几百万吨的矿量及其品位。所以有人说矿量、品位估算是世界上最大胆的外推。因此,矿体圈定与矿量、品位估算不仅是一项十分重要的工作,而且是一项极具挑战性的工作。

4.1.1 传统矿产储量计算方法及其局限性

一个矿床是否可采,主要取决于矿石的平均品位及储量,或者说,矿石的可采块段用它的平均品位及储量来表征。为了得到这两个重要的标志,必须有如下几个基本信息:

- (1) 精确而足够的样品数——品位化验结果;
- (2) 空间测量结果——平面图及剖面图;
- (3) 矿石、脉石及围岩的密度测量——比重;
- (4) 地质界线及其投影——岩石学及构造特征;
- (5) 边界品位——经济上可采的最低品位;
- (6) 采矿时的可能回采率;
- (7) 采矿时的可能贫化率。

上述的第5、6、7这三个信息与采矿工程有关。一个矿床的矿石储量的地质估计和工程估计只有充分考虑和参照采矿、冶炼方法及市场情况才有意义。为了计算矿产储量,重要的是要得到有用组分的平均品位、矿石体重及矿块的体积。

根据中国地质调查局工作标准——“**固体矿产推断的内蕴经济资源量和经工程验证的预测资源量估算技术要求 (DD2002-01)**”，资源量估算方法可根据矿床特点、勘查技术方法及工程分布情况，选择适宜的资源储量估算方法，一般可采用地质块段法或平行断面法。从“标准”来看，推荐使用地质块段法和平行断面法，但也应根据具体地质情况可选用适宜的资源量估算方法。

4.1.1.1 平行断面法

断面法就是用地质勘探断面，把矿体划分为若干块段，先分别计算每个块段的面积，体积和储量，然后将各个块段储量相加，即为矿体的总储量。如果是用一系列垂直剖面划分块段的，就叫垂直断面法。若用一系列水平断面划分块段的就叫水平断面法。除外，还有根据断面是否彼此平行，而分为平行断面法或不平行断面法。

平行断面法把相邻两个平行断面间的块段，作为储量计算基本单元，在断面图上根据既定的工业指标，先将矿体边界线圈定以后，利用求积仪或曲线仪，或采用透明方格纸、几何图形等方法；测量断面图上矿体的面积。然后再计算相邻断面间各块段的体积、块段体积的计算，通常有以下几种情况：

当相邻两断面的矿体形状相似，且其相对面积差小于 40% 时，用梯形公式计算体积。

$$V = \frac{L}{2}(S_1 + S_2) \quad (4-1)$$

式中：V——块段的矿体体积；

L——两断面之间的距离；

S₁、S₂——分别为 I、II 断面矿体的面积。

当相邻两断面的矿体形状相似且其相对面积差大于 40% 时，用截面圆锥体公式计算体积。

$$V = \frac{L}{3}(S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \cdot S_2}) \quad (4-2)$$

当相邻断面矿体形状不同，不论其面积相差多少，只要有一对对应相等时（长度或厚度），均可用梯形公式计算体积。

矿体两端边缘部的块段，由于只有一个断面控制，根据矿体尖灭的特点，其体积可用不同的公式计算。

当矿体作楔形尖灭时，块段体积可用楔形公式计算：

$$V = \frac{L}{2} \cdot S_1 \quad (4-3)$$

式中：S₁——I 断面矿体的面积；

L——I 断面到尖灭点间的距离。

当矿体作锥形尖来时，块段体积可用锥形公式计算：

$$V = \frac{L}{3} \cdot S_1 \quad (4-4)$$

计算块段的体积后，块段的矿石储量按式(4-5)计算：

$$Q = V \cdot \bar{d} \quad (4-5)$$

式中：Q——块段的矿石储量；

V——块段的矿体体积；

\bar{d} ——块段矿石的平均体重。

计算各相邻断面间的金属储量，即：

$$P = Q \cdot \bar{C} \quad (4-6)$$

式中：P——块段的金属储量；

\bar{C} ——块段矿石的平均品位（采用算术平均法或加权平均法）。

最后计算全矿体的体积、矿石和金属储量。将所有块段的体积、矿石量、金属量各自相加，即：

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \cdots + V_n = \sum_1^n V_i \quad (4-7)$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \cdots + Q_n = \sum_1^n Q_i \quad (4-8)$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \cdots + P_n = \sum_1^n P_i \quad (4-9)$$

式中：V、Q、P——全矿体的体积、矿石量及金属储量；

V_1 、 V_2 ……； Q_1 、 Q_2 ……； P_1 、 P_2 ……；分别为每个块段的体积、矿石量和金属储量。

4.1.1.2 地质块段法

地质块段法根据矿床地质特点（如矿石工业品级自然类型、矿床开采技术条件）或勘探程度，把矿体划分成许多小块段，即理想的具有一定厚度的板状矿体。先用算术平均法计算第一块段的储量，各块段储量和总和即为矿体的总储量。

按矿床地质特征和勘探程度的不同，根据勘探工程的分布，在平面图上，将矿体划分为若干块段。每一块段的面积可用求积仪或方格纸测定，其厚度是根据该块段内全部穿过矿体的工程得到的厚度，用算术平均法计算得来。平均品位和矿石体重也都是用算术平均法确定。某一块段的体积（ V_i ）和矿石量（ Q_i ）及金属量（ P_i ）按式(4-10)~(4-12)计算：

$$V_i = S_i \cdot \bar{m} \quad (4-10)$$

$$Q_i = V_i \cdot \bar{d} \quad (4-11)$$

$$P_i = Q_i \cdot \bar{C} \quad (4-12)$$

式中： S_i ——某一块段的平面面积；
 \bar{m} ——某一块段的平均厚度；
 \bar{d} ——某一块段的平均体重；
 \bar{C} ——某一块段的平均品位。

$$\text{则 总矿石量} = \sum_1^n Q_i \quad (4-13)$$

$$\text{总金属量} = \sum_1^n P_i \quad (4-14)$$

地质块段法在勘探坑钻较密且分布较均匀的条件下，各块段计算储量的参数越多时，则计算结果越正确，因此每个块段中必须有足够数目的坑钻，这种方法可以使用在任何形状和产状的矿体，矿体的大小及勘探工程布置，对它没有影响。如果矿体品位与厚度变化很小，且它们之间没有依赖关系时，更适用于此方法。

4.1.1.3 距离幂次反比法(distance power inverse ratio method)

平行断面法与地质块段法都是几何学方法，它们的一大缺点是往往不考虑勘探工程在矿体平面图上的分布特点和相互关系，以及储量计算块段品位所造成的影响，而是把各个钻孔品位看成是孤立的，相互之间毫无联系的，然而实际情况往往不是这样，由于勘探工程布置得不均匀便会影响到储量计算的结果。因此有人提出在圈定矿体的平面内，可以按每个钻孔划分为一个单元（小块段），它的品位与周围毗邻的所有或者接近全部钻孔的品位之间，存在一定的空间关系，即两者距离的某种函数关系，一般情况是根据距离的远近给定不同的权数（所有钻孔权数之和必须等于一）。并由此而形成该块段周围各钻孔品位的线性组合。这样便可以求得以每个钻孔为中心孔的单元（小块段）品位，然后再根据平面图上圈定的各种矿体边界线块段的面积，求的块段平均品位，平均厚度和平均体重等参数，计算块段或矿体的矿石储量和金属储量。所以距离幂次反比法实质是一种计算以每个钻孔为中心的单元品位的方法。距离幂次反比法是形成线性组合的特定权数与距离的幂次成反比。这里的幂次经常使用的是2次，有些情况下也可以取3次或2/3次幂，这往往根据经验来确定。距离幂次反比法计算公式如式(4-15)。

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \left(\frac{1}{d_i^p}\right)}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}} \quad (4-15)$$

式中： C ——某中心钻孔的单元品位（待估值）；
 C_i ——某毗邻单元的品位；

- d——中心钻孔与毗邻某钻孔的距离（即待估单元中心与某已知品位单元中心的距离）；
- n——样品数；
- p——幂次。

在运用距离幂次反比法计算某钻孔的品位时，首先根据统计理论需要确定一个参与该钻孔品位计算的影响范围，常用影响半径表示，确定影响半径 r 有两种方法，一种是根据经验加以确定，譬如取勘探线间距的 1.5 倍左右；另一种是采用图解法（坐标图）加以确定。

图解法具体做法：如图 4-1 a 所示为某矿钻控工程布置平面图，如果选取 10m 半径，以中心孔为圆心作图，则其中有 5 个钻孔，通过计算可以得出 5 个钻孔和中心钻孔之间的距离，求这五个距离的平均值(d')。然后再计算那五个钻孔，每个钻孔的品位与中心钻孔的品位之差，也求它们的平均值(C')。这样就可以在图 4-1 b 中依坐标来定一个点。

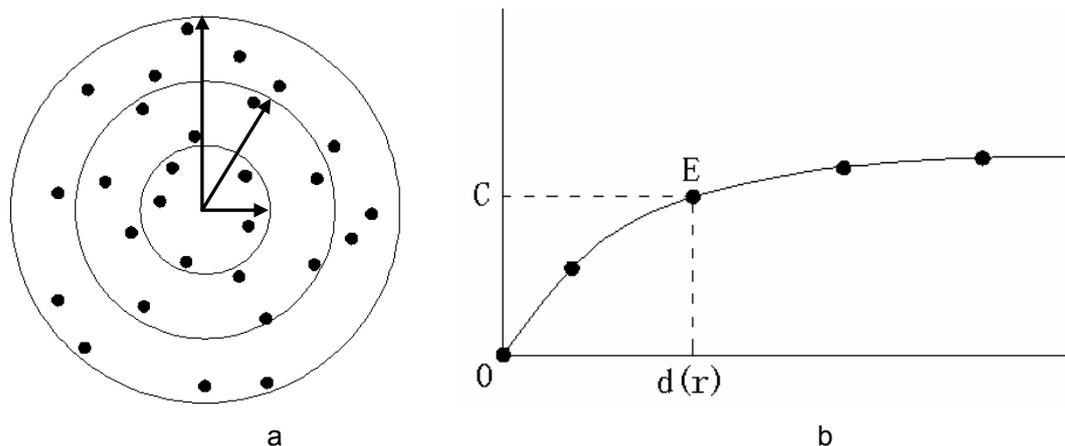


图 4-1 图解法确定影响半径

然后再用 20m, 30m, 40m 做半径，同样在坐标图上可以得到一系列的点，把它们联成曲线，可以看出该曲线开始由弧形变成一条水平横线。找出折点 E，其在横轴上的投影点 d。即为所求的影响半径 (r)。大于 r 的值，表明两钻孔间品位差的平均值已基本不再变动，也就是说，两者品位之间已完全失去联系，或者说超过 r 以外的钻孔和中心孔的影响的权值是不一样的。距离越远影响越权值越小。故取距离 n 幂次的倒数，至于幂值取一般取 1~3。

从上述也可以看出距离幂次反比法没有考虑周围各钻孔的方向效应(即各向异性)，即给予各方向以相等的权数。所以 R.彼道克斯 (Bideaux) 认为距离幂次反比法应该这样修正：当某矿体品位沿不同方向变化不同时，在确定影响范围时不应是圆形，而应是与各向异性相适应的椭圆形。通过这样的修正，能明显改进距离幂次反比法在矿体品位变化有明显各向异性的条件下的品位估算与储量计算的适用性。

30m
20m
10m

4.1.1.4 传统储量计算方法的特点与局限性

传统的储量计算方法有如下几个特点和不足：

- (1) 简单地把部分钻孔的品位当作一个块段的品位，或者把部分钻孔的品位延伸到某一块段，即使是距离幂次反比法也只是给予一个块段或一个点以周围样品的线性组合，换句话说，不管用什么样的加权方法，都是把若干样品的品位延伸到一个大的体积上去，这对于复杂矿床来说，由于矿石品位变化大，一个样品的品位不可能正好是它影响范围的品位时，如果计算方法又没有很好地考虑品位空间的变异性的话，就必然存在着系统的偏差。
- (2) 未充分考虑品位的空间变异性。尽管在计算储量时也作大量的品位变化曲线，但主要用于确定矿床的勘探类型及勘探网度，在这个基础上，再考虑品位等值外推的规模以及矿块品位估算的原则。从计算品位及储量的公式可知，传统方法在计算一个剖面或一个块段上有用（有害）元素的平均含量时，只是应用矿体厚度、矿体剖面面积，样品长度及剖面距离等几何因素来加权，而品位的空间变异性（即矿化的空间结构特点）却未予以应有的考虑。
- (3) 传统方法能够给出一个矿体或一个矿块的平均品位，但却不能给出对于矿山设计至关重要的矿化强度的变异性。
- (4) 常用统计方法先将矿体上所采样品的品位值作直方图，然后将将矿石进行分级。这种不考虑矿化的空间特征而确定的直方图和矿石分级，对于采矿设计显然是不够的，因为在进行采矿设计时，必须知道品位和各品级矿石在矿体中的具体分布，特别要知道有经济价值的矿块的大小和位置。此外，应用传统方法（除距离幂次反比法外）所求得的矿石储量和金属量以及相应的开采境界无法适应于经济条件变化及采矿方法不同所引起的边界品位变化。
- (5) 传统方法检验储量计算精度时，通常是选用一个矿块，对它的储量用同种方法计算两次或多次，视其相对误差的大小来估计，或者用两种方法计算同一块段储量，再计算两者之间的相对意味着来估计精度。因此，计算方法本身没有衡量计算精度的方法及标准。

4.1.2 地质统计学的诞生、发展、现状及其优点

南非地质学家、采矿工程师 D. G. 克吕格 (D. G. Krige) 博士于 1951 提出计算矿产储量的新方法——按照样品与待估块的相对空间位置和相关程度来计算块段品位及储量，并使估计误差为最小。后来法国的马特隆 (G. Matheron)

对克吕格提出的方法进行研究，并于 1962 年提出了区域化变量（regionalized variable）的概念，由此诞生了地质统计学。根据地质统计学理论，矿化特征可以用区域化变量的空间分布来表征，而研究区域化变量空间分布的主要数学工具是半变异函数（Semivariogram，也称变异函数，Variogram，二者在定义上相差 1/2，无本质区别）^[22]。

4.1.2.1 地质统计学的现状

经过多年的发展，地质统计学已初步形成一套完整的理论体系，并提出了一些重要的方法和技巧。按照射影理论（projection theory），地质统计学可以称之为“概率射影估计”（probabilistic projection estimation, PPE）。从可能估计量的最广空间出发来定义最佳可能估计量，然后，逐步限制射影空间并放宽先决条件，就可依次将地质统计学分为：多元高斯分布法（Multivariate Gaussian Approach）、二元高斯分布法（Bivariate Gaussian Approach，也称析取克吕格法，Disjunctive Kriging）、简单克吕格法（Simple Kriging）、泛克吕格法（Universal Kriging）、普通克吕格法（Ordinary Kriging）。一般来说，方法的向量空间越宽广，向量面广泛程度越高，先决条件越高，它的投影估计值就越好，但由于它的假设性也越强，从而降低方法的坚实性（robustness）。所以，在可能的条件下，最好用普通克吕格法（即 $K=1$ ）或泛克吕格法。

泛克吕格法、普通克吕格法及简单克吕格法属于线性地质统计学的范畴，而析取克吕格（即二元高斯分布法）、多元高斯分布法则属于非线性地质统计学。当进行地质储量的局部估计和可回采储量的总体估计时，由于所研究的只是有限品位数据，而且其前提条件也只限于随机函数 $Z(x)$ （如品位）的二阶矩，因而应用线性地质统计学进行估计。当对随机函数 $Z(x)$ 了解较多，需要取得更为精确的可回采储量的局部估计量时，必须考虑到每一个具体块段的具体条件来进行估计，这时，就要应用非线性地质统计学。在多年的研究中，线性地质统计学已成功应用于生产实践，而非线性地质统计学由于费用昂贵，困难较多，目前主要还是研究较多，实际生产应用较少。

地质统计学最先在地质和采矿中得到应用，随着理论发展成熟以及一些方法与技巧的积累，地质统计学逐渐应用于大气学、海底地形学、森林学、水文学、地形学、及物探和化探的异常处理等方面，也就是说当研究具随机性又具有结构性的某些变量在空间的分而时，都可以应用地质统计学。

4.1.2.2 地质统计学的优点

G. 马特隆曾给地质统计学下定义：“地质统计学就是随机函数的形式体系在勘探与估计自然现象上的应用。”而孙洪泉则在文献^[23]中将地质统计学定义为：“地质统计学是以变差函数作为基本工具，在研究区域化变量的空间分布结

构特征规律性的基础上,综合考虑空间变量的随机性和结构性的一种数学地质方法。”

地质统计学与传统的计算储量方法和经典的概率统计方法在地质采矿的应用相比主要有以下一些优点:

- (1) 地质统计学并不是将经典统计方法简单地用于地质、采矿领域,而是从地质、采矿的实际出发,对原有的数学理论与方法加以选择、创新,使之更有效地解决地质、采矿中的问题。
- (2) 地质统计学最大限度地利用勘探工程所提供的各种信息。在使用克吕格法估计矿床中某一块段变量的平均值时,充分考虑了待估块段与信息样品之间的空间位置关系、信息样品彼此之间的空间位置关系以及区域化变量空间分布的结构特征等方面的因素。
- (3) 地质统计学不仅可以进行储量的整体估计,还可以进行储量的局部估计。在基本开采方法已确定的条件下,可以分别算出最小开采块的品位和储量,使勘探报告的储量能更好地满足矿山设计要求,有利于矿床勘探、矿山设计和矿山开采三个阶段的互相衔接。
- (4) 估计精度高,至少可以避免系统误差。
- (5) 能具体地给出估计精度的概念。地质统计学中的克吕格方差是度量估计精度的很好尺度。
- (6) 应用地质统计学方法与计算机结合,使得储量计算既可提高计算质量,也可节省人力,提高效率。

4.1.3 随机过程与区域化变量

在概率论中我们知道:在相同条件下进行一系列试验时,变量可以取预先不能确定的这样或那样的数值,这种变量称之为随机变量^[24]。而在实际问题中,我们经常遇到的试验的结果不是数字,而是函数。在相同条件下重复试验时,每次试验的结果的函数形式也不一样,这就是随机函数研究的内容。随机函数的定义是:

设随机试验 E 的样本空间为 $\Omega = \{\omega\}$, 若对每一个 $\omega \in \Omega$ 都有一个函数 $Z(x_1, x_2, \dots, x_n; \omega)$ 与之对应 ($x_i \in X_i, i=1, 2, \dots, n$), 且当自变量 $x_i (i=1, 2, \dots, n)$ 取任意固定值 $x_{10}, x_{20}, \dots, x_{n0}$ 时, $Z(x_{10}, x_{20}, \dots, x_{n0}; \omega)$ 为一随机变量, 则称 $Z(x_1, x_2, \dots, x_n; \omega)$ 为定义在 (X_1, X_2, \dots, X_n) 上的一个随机函数。

简单地说,依赖于参数的随机变量叫做随机函数。这些参数叫做随机函数的自变量。

随机函数的自变量可以是一个，也可以是多个。通常把只依赖于时间参数 $t(x_1 = t)$ 的随机函数叫做随机过程，记为 $Z(t, \omega)$ ，或简记为 $Z(t)$ 。当随机函数 Z 依赖于多个自变量时，称为随机场。而以空间点 \mathbf{x} 的三个直角坐标 x_u, x_v, x_w 为自变量的随机场 $Z(x_u, x_v, x_w; \omega) = Z(\mathbf{x})$ 称为一个区域化变量。区域化变量在观测前，可以看作是随机场，观测后就得到 $Z(\mathbf{x})$ 的一个实现。每一个实现 $Z(\mathbf{x})$ 就是一个普通的三元实函数（或空间点函数）。

在地质、采矿领域中，许多变量可以看成区域化变量，例如矿体厚度、顶底板标高、地下水头高度、矿石品位等。对于像厚度这样的地质现象，可以看成是区域化变量的二维空间分布；而矿化现象可以看成是金属元素含量这个区域化变量在三维空间中的变化。区域化变量正是地质统计学研究的对象。

从地质学的观点来看，区域化变量可以反映地质变量的以下特征：

- (1) 局部性。区域化变量只限于一定的空间内，这一空间称为区域化的几何域。而区域化变量一般是按几何承载来定义的，承载变了就会得到不同的区域化变量。
- (2) 连续性。不同的区域化变量具有不同的连续性。有些变量的空间变化具有良好的连续性（如矿体厚度），而有些变量则具有平均的连续性（如矿石品位）；另外一些变量则连这种意义下的连续性也不存在了（如金的品位）。
- (3) 异向性。区域化变量在各个方向上如果性质相同，则称为各向同性，若在各个方向上性质不同，则称为各向异性。
- (4) 可迁性。区域化变量在一定范围内具有明显的空间相关性，但超出这一范围之后，相关关系变得很弱，甚至消失。这一性质称为可迁性。

由于区域化变量具有上述的特殊性质，经典概率统计方法不能处理这类问题，而地质统计学中的一个基本工具——变异函数（也叫变差函数、变程方差函数），就能较好地研究区域化变量的这种特殊性质。

4.1.4 结构分析与变异函数拟合

为了表征一个矿床或矿体的金属品位等特征量的变化，经典统计方法通常采用均值、方差等一类参数。但这些量只能概括地质体某一特征的全貌，无法反映其局部的变化特征。地质统计学在经典统计学的基础上，充分考虑到地质变量的空间变化特征——相关性和随机性，并以反映地质现象区域化的随机函数——变异函数作为工具，来研究地质和采矿工作中的各种问题。

假设空间点 \mathbf{x} 只在一维 \mathbf{x} 轴上变化，把区域化变量 $Z(\mathbf{x})$ 在 $\mathbf{x}, \mathbf{x}+\mathbf{h}$ 两点处的值的方差之半定义为 $Z(\mathbf{x})$ 在 \mathbf{x} 方向上的变异函数，记为 $\gamma(\mathbf{x}, \mathbf{h})$ ，即

$$\begin{aligned} \gamma(x, h) &= \frac{1}{2} \text{Var}[Z(x) - Z(x + h)] \\ &= \frac{1}{2} E[Z(x) - Z(x + h)]^2 - \frac{1}{2} \{E[Z(x) - Z(x + h)]\}^2 \end{aligned} \tag{4-16}$$

注：有时也将 $2\gamma(x, h)$ 称为变异函数，而称 $\gamma(x, h)$ 为半变异函数。

在实践中，样品数量总是有限的，把由有限实测样品值构成的变异函数称之为试验变异函数，记为 $\gamma^*(h)$ ，在满足二阶平稳假设的条件下，计算试验变异函数公式为

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \tag{4-17}$$

式中 $\gamma^*(h)$ —— 变异函数的一个估计量；

$N(h)$ —— 在 h 方向上相距 $|h|$ 的数据点对数；

$Z(x_i)$ —— 参加试验变异函数计算，在点 x_i 处的样品品位值；

$Z(x_i+h)$ —— 参加试验变异函数计算，在点 x_i+h 处的样品品位值。

由于 h 为向量，故在求取试验变异函数时，就应分别计算不同方向的试验变异函数。通常根据矿体的产状，分别计算矿体的走向、倾向、反倾向和垂直或水平方向的试验变异函数。

试验变异函数的计算依赖于有效数据的构形，式(4-17)试验变异函数的计算公式，在有效数据空间相对位置规则的情况下才可使用。

在实际工作中，有效数据的排列通常是非列线且不等距的，即有效数据的构形是不规则的。此时，先将数据组合成角度组，然后组合成距离组，如图 4-2 所示。为了构造 α 方向的变异函数，每一个数据值 $Z(x_0)$ 都要与位于弧 $[\alpha \pm \Delta\alpha]$ 内的所有其它数值组合，在此角度组内，可以将数据组合成距离组 $[r \pm \epsilon(r)]$ 。这样，凡是落在角度范围 $[\alpha \pm \Delta\alpha]$ 和距离范围 $[r \pm \epsilon(r)]$ 内的数据点都可以看成是 x_0 点在 α 方向上相距为 r 的数据点。

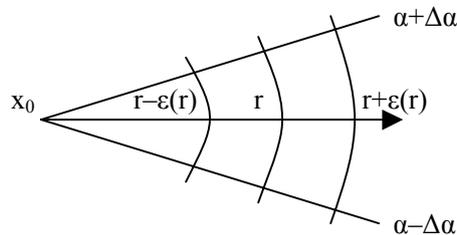


图 4-2 非列线不等间距的组合

在求出不同方向上的试验变异函数值以后，需要选择适当的模型对其进行拟合，由于球状模型使用的普遍性，选择球状模型进行拟合，拟合的方法则采用加权多项式回归法。

设对不同的 h 已经算出相应的变异函数值 $\gamma^*(h_i)$ ，且对每一个 h_i 参加计算的数据对的数目为 N_i 。现在要对它拟合一个球状模型：

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & h = 0 \\ C_0 + C \left(\frac{3}{2} \frac{h}{a} - \frac{1}{2} \frac{h^3}{a^3} \right) & 0 < h \leq a \\ C_0 + C & h > a \end{cases} \quad (4-18)$$

因为在 $h=0$ 和 $h>a$ 两种情况下， $\gamma^*(h)$ 均为常数，所以，我们只须讨论当 $0 < h \leq a$ 时的情形。此时有：

$$\gamma(h) = C_0 + \left(\frac{3C}{2a} \right) h + \left(\frac{-C}{2a^3} \right) h^3$$

$$\text{令 } y = \gamma(h), x_1 = h, x_2 = h^3, b_0 = C_0, b_1 = \frac{3C}{2a}, b_2 = \frac{-C}{2a^3}$$

则上式可写为：

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 \quad (4-19)$$

这样，对球状模型变异函数的拟合问题就转化为多元线性回归问题。可用最小二乘法求得 b_0 ， b_1 ， b_2 的值。

变异函数的拟合可采取以下步骤：

- ① 计算变异函数实验点；
- ② 确定需要拟合的实验变异点个数；
- ③ 确定头三个实验点权系数；
- ④ 加权最小二乘法计算 C_0 、 C 、 a ；
- ⑤ 绘制实验变异曲线和理论变异曲线；
- ⑥ 观察实验变异曲线的拟合程度；
- ⑦ 若要调整实验点个数和权系数转②；
- ⑧ 人工修改变异参数然后转⑤，直至获得满意的拟合曲线。

4.1.5 克吕格法

克吕格方法（Kriging）又称空间局部插值法，是以变异函数理论和结构分析为基础，在有限区域内对区域化变量进行无偏最优估计的一种方法，是地统计学的主要内容之一。南非地质与采矿工程师 D.R.Krige（1951年）在寻找金矿时首次运用这种方法，法国著名统计学家 G.Matheron 随后将该方法理论化、系统化，并命名为 Kriging，即克吕格方法^{[1][25]}。

克吕格方法的适用范围为区域化变量存在空间相关性，即如果变异函数和结构分析的结果表明区域化变量存在空间相关性，则可以利用克吕格方法进行内插

或外推；否则，是不可行的^[26]。其实质是利用区域化变量的原始数据和变异函数的结构特点，对未知样点进行线性无偏、最优估计。无偏是指偏差的数学期望为 0，最优是指估计值与实际值之差的平方和最小。也就是说，克吕格方法是根据未知样点有限邻域内的若干已知样本点数据，在考虑了样本点的形状、大小和空间方位，与未知样点的相互空间位置关系，以及变异函数提供的结构信息之后，对未知样点进行的一种线性无偏最优估计。

克吕格方法与距离幂次反比插值方法类似的是，两者都通过对已知样本点赋权重来求得未知样点的值，可统一表示为：

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \omega_i Z(x_i) \quad (4-20)$$

式中， $Z(x_0)$ 为未知样点的值， $Z(x_i)$ 为未知样点周围的已知样本点的值， ω_i 为第 i 个已知样本点对未知样点的权重， n 为已知样本点的个数^[27]。

不同的是，在赋权重时，反距离权插值方法只考虑已知样本点与未知样点的距离远近，而克吕格方法不仅考虑距离，而且通过变异函数和结构分析，考虑了已知样本点的空间分布及与未知样点的空间方位关系。

4.1.5.1 克吕格方法的具体步骤

用克吕格方法进行插值的主要步骤如图 4-3 所示。

在克吕格插值过程中，需注意以下几点：

(1) 数据应符合前提假设

(2) 数据应尽量充分，样本数尽量大于 80，每一种距离间隔分类中的样本对数尽量多于 10 对

(3) 在具体建模过程中，很多参数是可调的，且每个参数对结果的影响不同。如：块金值：误差随块金值的增大而增大；基台值：对结果影响不大；变程：存在最佳变程值；拟合函数：存在最佳拟合函数

(4) 当数据足够多时，各种插值方法的效果相差不大。

4.1.5.2 克吕格方法的分类与方法选择

目前，克吕格方法主要有以下几种类型：普通克吕格（Ordinary Kriging）、简单克吕格（Simple Kriging）、泛克吕格（Universal Kriging）、协同克吕格（Co-Kriging）、对数正态克吕格（Logistic Normal Kriging）、指示克吕格（Indicator Kriging）、概率克吕格（Probability Kriging）、析取克吕格（Disjunctive Kriging）等。不同的方法有其适用的条件，按照图 2-2 的流程图所示步骤，当数据不服从正态分布时，若服从对数正态分布，则选用对数正态克吕格；若不服从简单分布时，选用析取克吕格。当数据存在主导趋势时，选用泛克吕格。当只需了解属性值是否超过某一阈值时，选用指示克吕格。当同一事物的两种属性存在

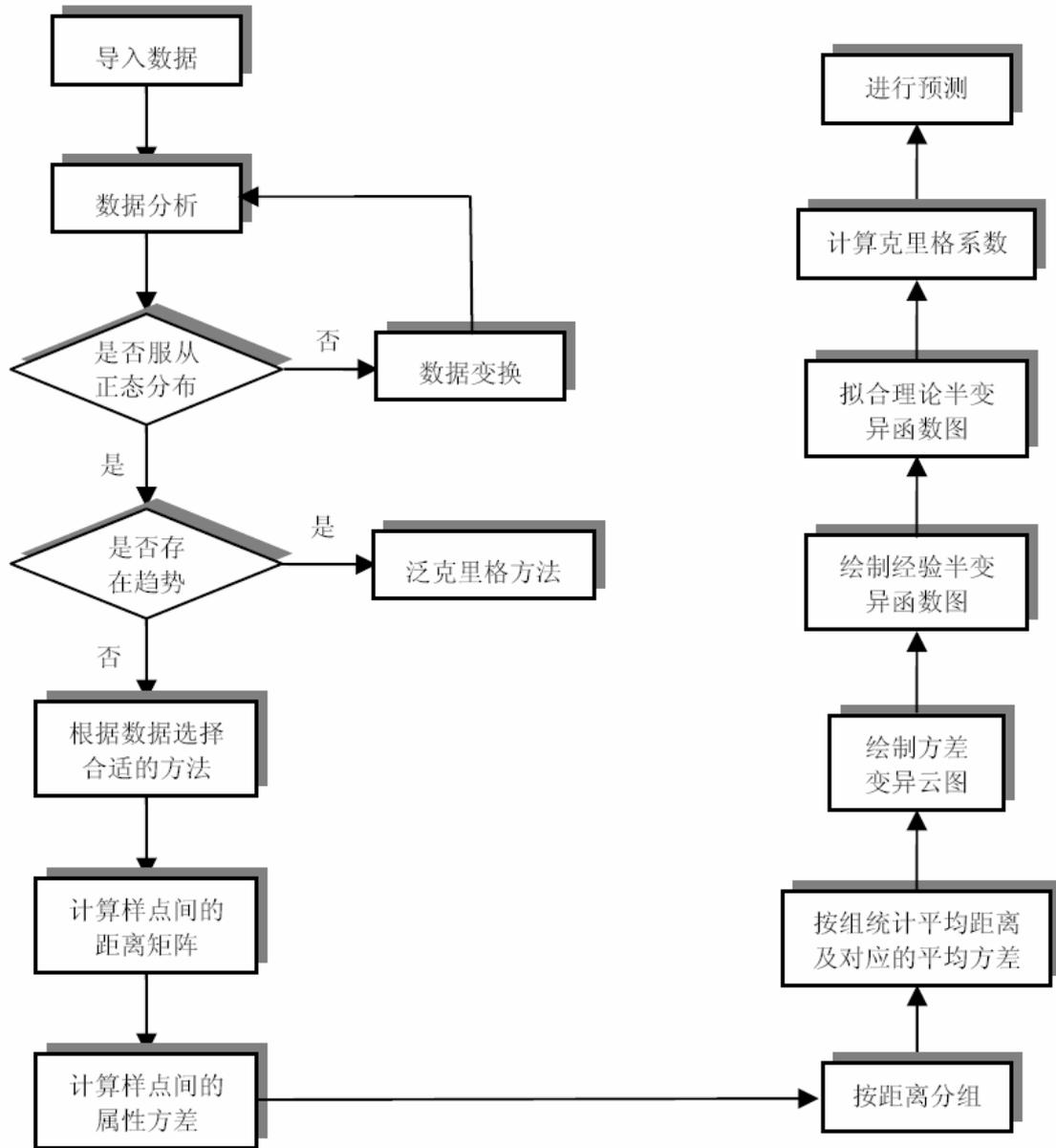


图 4-3 克吕格方法的主要步骤

相关关系，且一种属性不易获取时，可选用协同克吕格方法，借助另一属性实现该属性的空间内插。当假设属性值的期望值为某一已知常数时，选用简单克吕格。当假设属性值的期望值是未知的，选用普通克吕格。

4.1.5.3 普通克吕格法

尽管地质统计学的估算方法有多种，但最基本、应用最广泛的是从矿产储量计算发展起来的普通克吕格法。普通克吕格是区域化变量的线性估计，它假设数据变化成正态分布，认为区域化变量 Z 的期望值是未知的。

经过变异函数的拟合和交叉验证后，便可进行克吕格品位估值。克吕格估计值及其方差的计算公式为：

$$Z_K^* = \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha} Z_{\alpha}, \sigma_K^2 = \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha} \bar{\gamma}(V, v_{\alpha}) + \mu - \bar{\gamma}(V, V) \quad (4-21)$$

式中： Z_K^* ——待估单元块的品位估计值；
 λ_{α} ——待估单元块周围第 α 个样品信息点的权系数；
 Z_{α} ——待估单元块周围第 α 个样品信息点的品位值；
 σ_K^2 ——克吕格估计方差。

权系数 λ_i 和 μ 可通过下列克吕格方程组求得：

$$\begin{cases} \sum_{\beta=1}^n \lambda_{\beta} \bar{\gamma}(v_{\alpha}, v_{\beta}) + \mu = \bar{\gamma}(v_{\alpha}, V) \\ \sum_{\beta=1}^n \lambda_{\beta} = 1 \end{cases} \quad (\alpha = 1, 2, \dots, n) \quad (4-22)$$

4.2 建立矿床块体模型

建立块体模型与品位模型是高效、准确进行储量计算，合理制定采掘进度计划的基础，且利于选择合理采矿方法并能指导采矿工程设计。当前矿业软件中通行的概念是将块体模型与地质统计学相结合，应用数学方法对品位分布进行建模，由于品位分布在资源中受地质因素控制而明显存在，从而形成一定约束条件下的品位模型。块体模型的精度取决于块体模型的结构和属性。在资源储量估算中，利用块体模型可以准确地进行资源量和品级报告。

Surpac 块体模型是可视化数据库的一种格式，其结构不仅可以存储和操作数据，还能修补来自于数据中的信息，这是和传统的数据库不同的地方，存储数据的时候更像内插替换一个值，而不是度量一个值。另外一个主要的不同在于这个值具有空间参照性。第三个不同在于块体模型在打开的时候完全放在了内存中，实现了动态操作，如画等值线等操作，当然同时对计算机内存也提出了较高的要求。

块体单元是块体模型的基本组成单元，每一个都和一个记录关联，这个记录以空间为参照，每个点的信息可以通过空间点来修改而并不仅仅是取决于其精确测量，空间参照就是一些额外的操作，对数据库的容量进行操作和查询，空间操作的方式是 INSIDE/ABOVE, 在实体和表面文件中可以用，对于外部和下部空间的操作使用逻辑非操作，即 NOT INSIDE/NOT ABOVE。

4.2.1 块体模型的几个概念

Surpac 针对块体模型定义了如下一些术语：

原点

块体模型的原点就是左下角的最小的那个坐标点，坐标都使用笛卡尔坐标，原点是一些其它参数，如方位、倾角、插入的参照点。

范围

模型的范围包括了 x, y, z 方向的范围。

方位

模型的方位是指模型主轴与水平方向的角度，方位为 0 表示模型没有旋转，仍然是南北方向的。正值时表示顺时针角度，负值表示逆时针角度。

倾角

模型的倾角是指垂直方向的角度，也就是与模型方向角平面正交方向的倾角，负值倾角是指模型向下倾斜的方位角度，倾角为 0 就是表示模型的方位平面处于水平正常状态。

侧伏角

模型的侧伏角是指模型旋转前的水平线在旋转后与水平面的角度，这也是模型的倾斜度的参照，负的侧伏角表示模型整个看起来在水平方向以下，值为 0 表示水平块沿模型的方位方向分布。

用户块的大小（即块度）

块的大小是指 Y, X 和 Z 方向的大小。用户块的大小也取决于使用模型的目的，参考数据空间的情况，例如等级控制、资源计算、露天矿优化等。

4.2.2 块体模型创建过程

块体模型创建基本过程是：确定块体模型参数→创建空模型→定义属性字段→为块体属性赋值（直接赋值或估值）。而完整的创建块体模型与矿床品位模型的一般流程如图 4-4 所示，其中组合样品工作已经在建立地质数据库时完成。

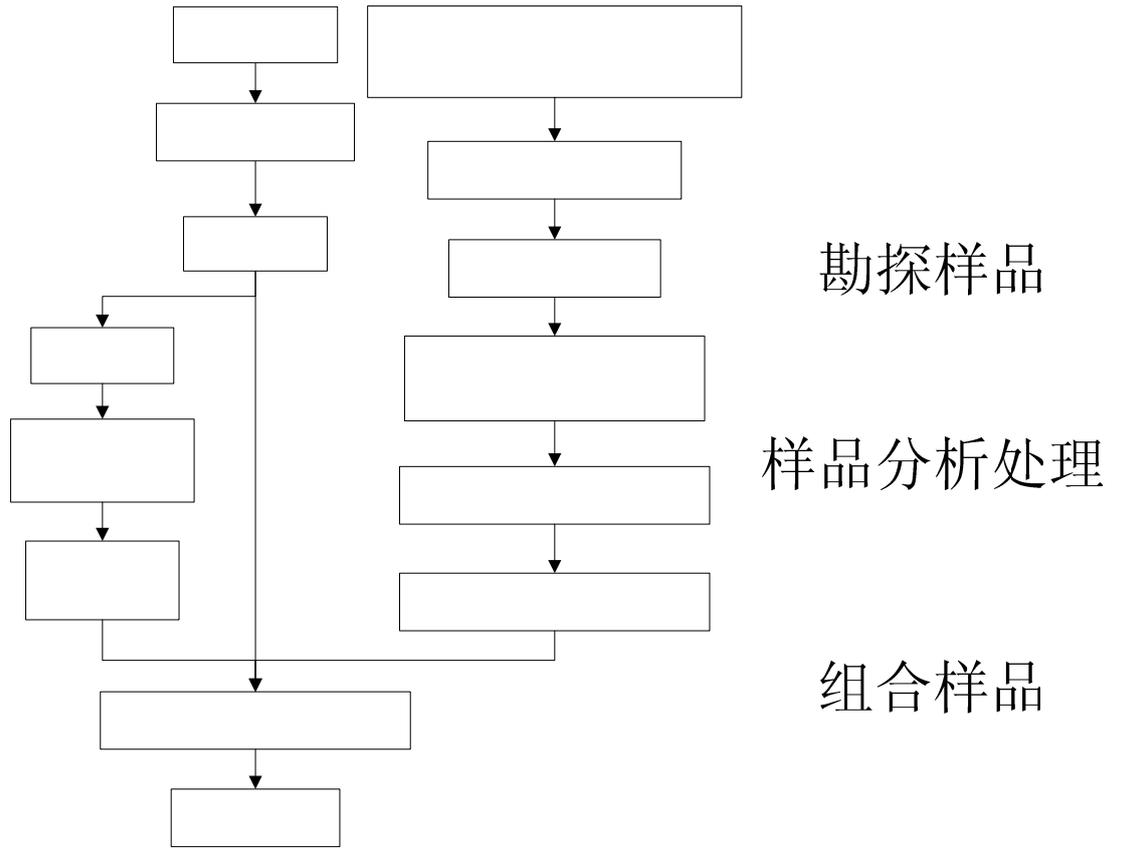


图 4-4 块体模型、品位模型创建流程

4.2.3 块体模型几何参数的确定与属性设置

块体模型的几何参数包括：坐标范围、块度、块体旋转参数等。所有这些参数都是根据矿体赋存产状、地质勘探工程等来确定。

矿床块体模型的坐标范围主要由矿体赋存范围决定。块体模型应该将矿体全部包裹其中，但超出范围越小越好。本论文研究对象——大柩子铅锌矿床 1 号矿体主矿段是 I ~ V 矿段。根据 I ~ V 矿段的实体模型（如图 4-5）空间坐标范围确定会东铅锌矿大柩子铅锌矿床块体模型坐标范围如表 4-1 所示。

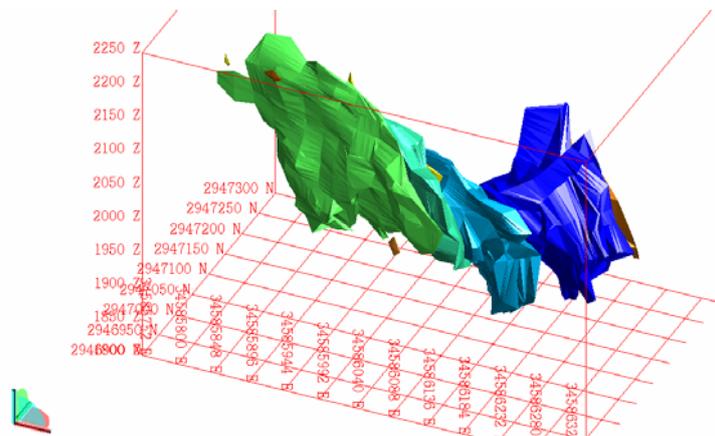


图 4-5 I ~ V 矿段实体模型坐标范围

勘探样品

样品分析处理

组合样品

分析样品

计算变异函数

并拟合

变异函数

各属性赋值或估计

品位模型

表 4-1 矿床块体模型空间坐标范围

	最小坐标值	最大坐标值
X (北)	2946950	2947266
Y (东)	34585750	34586342
Z	1830	2200

注：上表中 XY 为大地测量坐标，对应到 Surpac 中 XY 坐标要交换，这是因为大地测量 X 坐标表示南北向坐标，而 Surpac 中正好相反。

如前所述，大樑子铅锌矿床 1 号矿体（本论文研究对象）主矿段是 I ~ V 矿段，而 I ~ V 矿段虽然在空间上联系紧密，相互之间无明显空隙，但 5 个矿段由于分别被不同的控矿断层所控制，其成矿、品位分布、矿石类型都有所区别。也因此建立实体模型 5 个矿段分开创建实体模型。但创建块体模型时我们并不需要针对 I ~ V 矿段分别建立 5 个块体模型，其理由可从创建块体模型的目的与作用分析得出：建立矿床块体模型的目的是为了进行品位估算、储量分析等，由于在前面我们分别对 5 个矿段都建立了自己的实体模型，因而可以很方便地针对 5 个矿段创建约束条件，以满足进行品位估算及块体属性赋值时能方便、准确地将属于不同矿段的块体区分开来。因此，在这里创建 5 个块体模型固然可行，但只创建一个块体模型也完成能满足要求，并能节省工作量和减少计算误差，甚至更利于制定采掘进度计划等需要将整体考虑 1 号矿体的工作。

块体模型将所要表征的地质体进行块体划分，每个块体都赋予各种需要存储的属性，如矿岩的体重、矿石的品位等等。当块体块度足够小时，块体模型就能很好地表现整个地质体，但块体块度的选择不能无限小。块体块度的选择应根据以下几个方面来确实：

- 地质勘探时取样的平均样长
- 计算机的运算能力
- 工程需要
- 矿体三维形态

不管地质勘探控制的级别有多高，取样永远只能抽取少量的样品，未取到样的位置必须要依据已取样的信息来进行推断。根据统计学品位估值计算的要求，块体块度最小不应小于以平均样长。小于平均样长的块度在理论上已失去可靠性与合理性。由于 PC 机运算能力较之以前已不可同日而语，目前主流配置已经能满足一般块体模型品位赋值运算的运算要求，因此块体模型块度可取平均样长的 1~10 倍。块体的三维尺寸（即块度在 X、Y、Z 三个方向的长度比值）以及块体模型要否正规（即不偏转）则一般根据矿体三维形态来确定。

在第二章我们对原始坑探的取样长度进行了分析，从图 2-10 看以知道坑探取样长度主要集中在 1 米左右，去除建立地质数据库过程中为保证取样连续性而加入的空样，样品平均长度为约为 1 米。也因为如此在进行样品组合时，组合样长度也选择 1 米。根据 I ~ V 矿段的实体模型三维形态以及工程要求，大樛子铅锌矿床块体模型用户块尺寸（即块度）取 $2 \times 4 \times 2$ 米（ $Y \times X \times Z$, Surpac 坐标），次级分块标准为标准分块，最小分块尺寸为 $1 \times 2 \times 1$ 米。

没有属性的块体是没有实际意义的，块体的属性用来反映地质体在块体单元位置的各种性质，如矿石体重、矿石品位等等。大樛子铅锌矿床块体模型属性字段的设置见表 4-2。大樛子矿床是一个多金属矿床，除了铅、锌之外还有其它多种有用金属元素，但矿床主矿产为锌，最重要的共生元素为铅。本论文研究过程中无法获得较完整的其它元素的品位信息，所以暂时只考虑铅、锌两种元素的品位估值与储量计算等，也暂时只创建铅、锌的块体品位属性字段。铅、锌品位的小数位数依据原始品位数据最长小数位数为 4 来确定，添加 ore_segment 字段的目的是为了区分每个块体是属于哪个矿段，或者是围岩还是大气（即地表以上）。因为大樛子矿床是由 5 个主要矿段构成，且每个矿段的成矿机理、品位分布、矿石类型都不尽相同，因此在进行品位估值时要根据不同矿段的成矿规律以及取样信息分别进行，这就要求块体有一个“身份标识”，以确定其属于哪个矿段。

表 4-2 块体模型属性字段表

字段名称	数据类型	小数位数	缺省值	取值范围	意义
density	实数	2	0	≥ 0	体重
grade_pb	实数	4	0	0~100	铅品位
grade_zn	实数	4	0	0~100	锌品位
ore_segment	整数	0	0	-1 0 1 2 3 4 5	块体属于哪个矿段或围岩、空气等

4.2.4 创建空块体模型

根据已确定的块体模型的几何参数和属性，创建会东铅锌矿大樛子矿床块体模型。块体模型的摘要（Summary）如图 4-6 所示。



图 4-6 块体模型摘要

从图 4-6 可以看出大梁子矿床块体模型总块体数 34648 个。依据这样的块体数量，对块体模型进行赋（估）值运算以及利用块体模型进行储量计算等工作以目前主流配置的个人计算机是可以承受的其计算工作量的，也符合矿山生产实际中的工程要求。另外，建立矿床块体模型时，模型坐标范围的选取也相当重要，首先必须保证模型将所有矿体包涵在内，其次模型不宜太大，太多的非矿体块体只会增加计算工作量和降低模型的可操作性与实用性。上面我们创建的块体模型与 I ~ V 号矿段的空间关系如图 4-7 所示，从图中可以看出，模型坐标范围合理。

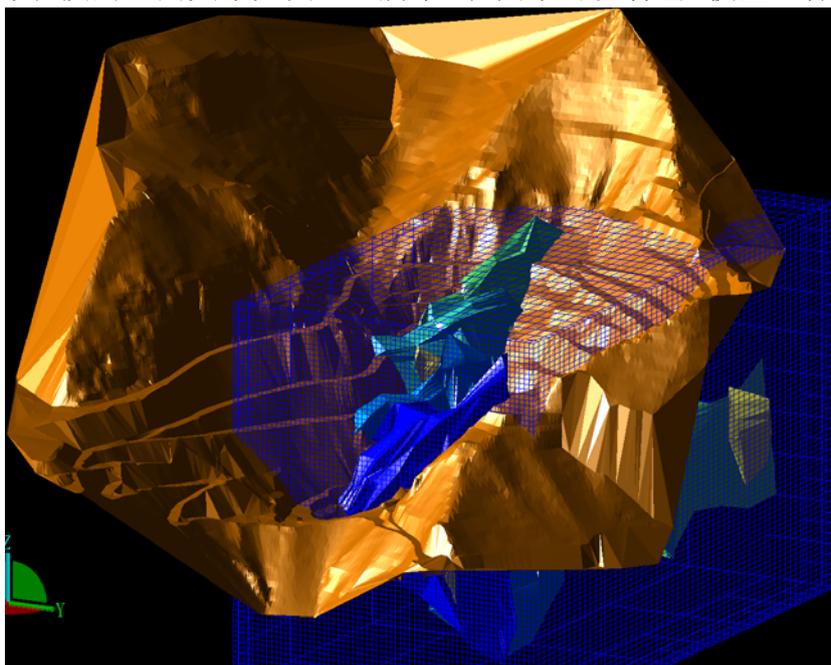


图 4-7 块体与实体模型空间关系

4.2.5 定义约束

约束是空间操作和对象的逻辑组合，其信息可以修改和查补。通过逻辑条件创建的约束文件是对块体模型的显示、报告和存储以进行限定及指定块体选择范围。在进行属性的赋/估值操作前，先定义了几个块体模型约束以确定每次赋/估值操作的块体作用范围。根据需要定义 5 大矿段、围岩乃至地表以上的约束等等（表 4-3 为约束文件列），定义这些约束主要利用了 I ~ V 号矿段、地表及露天坑地形等实体模型，通过各个实体模型进行逻辑运算得出各约束文件所表示范围。当然不是每次约束都有必要定义一个约束文件，如果该约束使用频率不高，则只必要在使用该约束时临时定义。在 Surpac 中定义诸如矿体范围的约束相当简便，但有一点必须注意：我们在建立实体模型时每个矿段的小矿体以及夹石都以不同的实体表示（体号与三角网号都不相同），且夹石一般用负的实体表示，在这种情况下 Surpac 不能以该矿段的整个 dtm 文件来定义矿体约束，而应该以每个实体（不同的体号与三角网号）之间的逻辑运算来表示，如“1 号矿段.con”约束文件的逻辑运算如图 4-8 所示。

表 4-3 约束文件表

约束文件名	表示范围	约束文件名	表示范围
1 号矿段.con	1 号矿段矿体块体	2 号矿段.con	2 号矿段矿体块体
3 号矿段.con	3 号矿段矿体块体	4 号矿段.con	4 号矿段矿体块体
5 号矿段.con	5 号矿段矿体块体	1-5 号矿段.con	1-5 号矿段矿体块体
围岩.con	围岩块体	空气.con	地表及露天坑以上块体
地采矿体.con	1-5 号矿段地表及露天坑以下矿体块体		

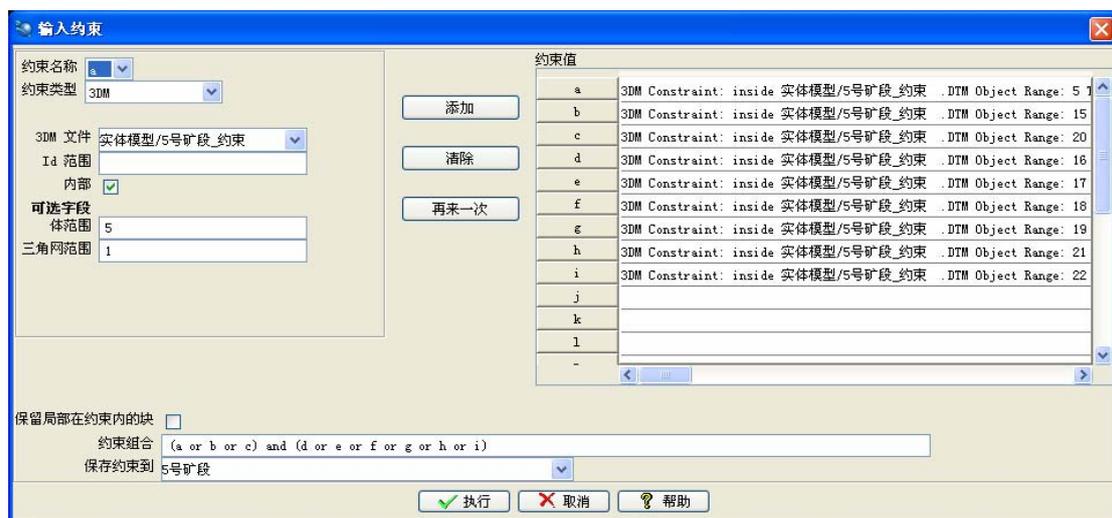


图 4-8 定义约束文件

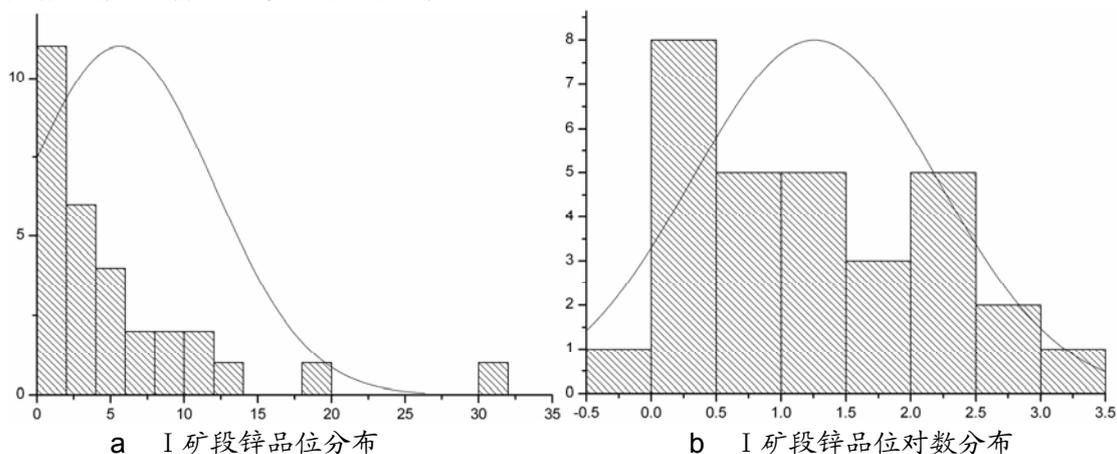
约束文件的使用要注意文件存放位置问题,因为约束文件往往是利用实体模型文件或其它约束文件定义的,定义时约束文件与所引用的实体模型文件(包括 **dtm** 和 **str**)或其它约束文件在计算机文件系统中的相互关系必须维持,一旦这种关系被破坏,约束文件即将失去作用,因此在拷贝或移动这些文件时应该作为一个整体进行拷贝或移动。

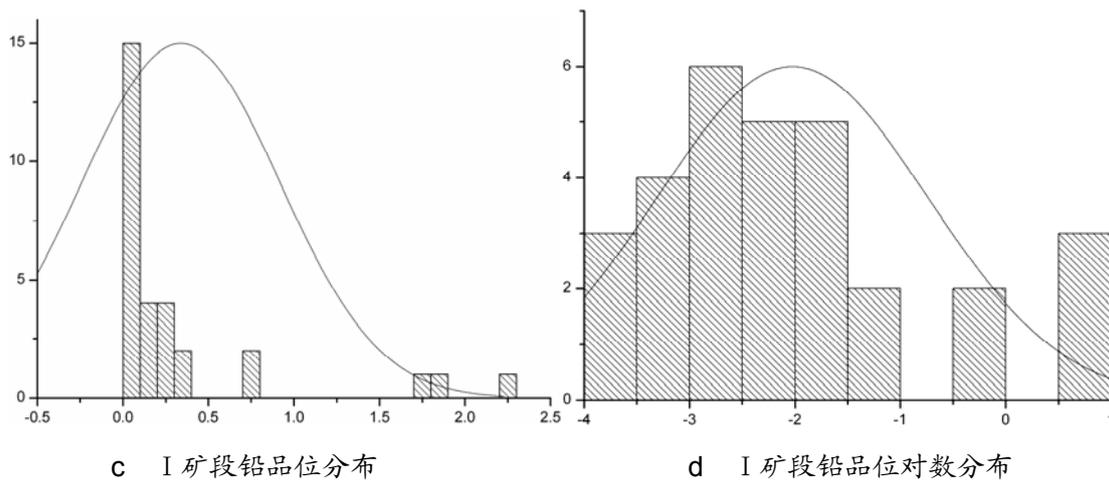
4.2.6 组合样统计学分析与品位估算方法选择

在第二章中针对 I ~ V 矿段的铅锌品位分别创建了组合样文件。在此对每个组合样文件中的组合样进行分析。对组合样数据进行统计学分析可以提供不少有关矿床的有用信息,因此统计学分析常常是取样数据分析的第一步。对组合样数据进行统计学分析的主要目的是确定^[28]:

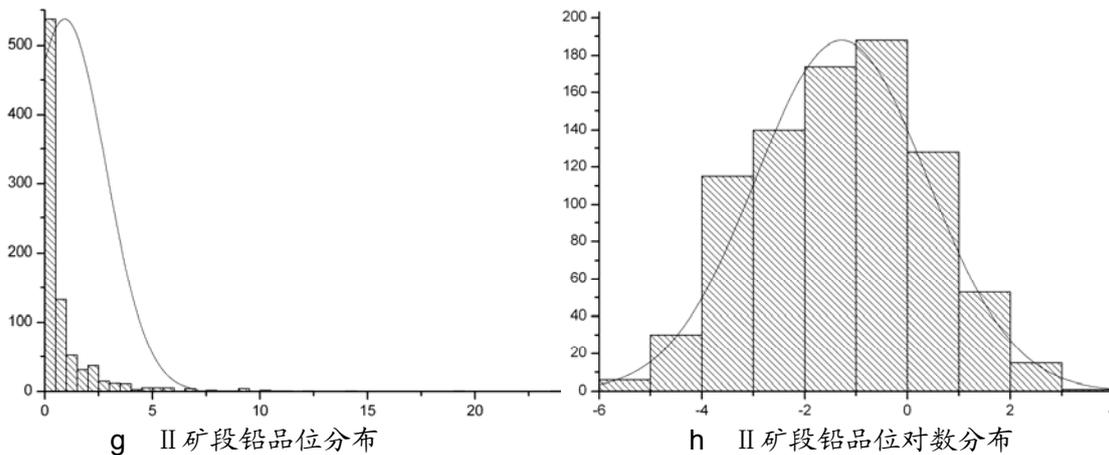
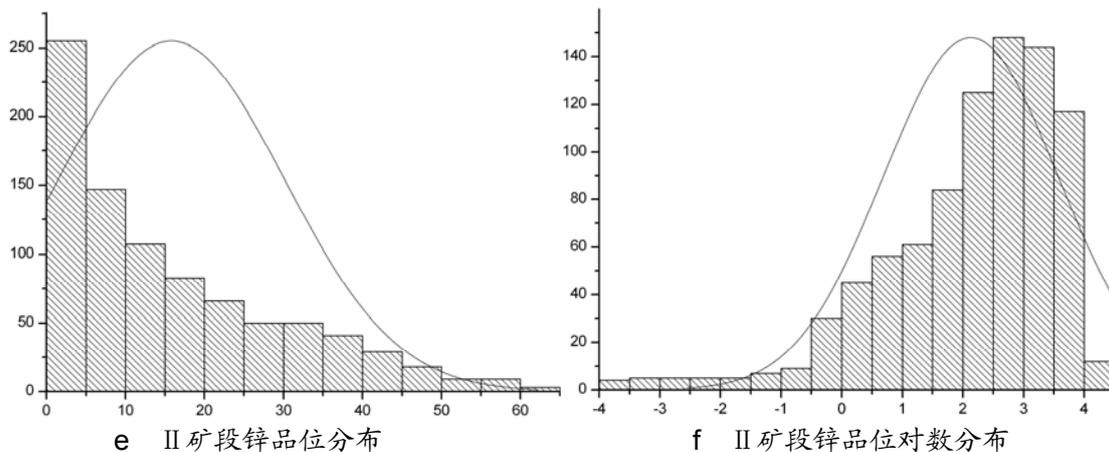
- 品位的统计分布规律及其特征值;
- 品位变化程度;
- 样品是否属于不同的样本空间;

为了确定品位的统计分布规律,首先将 I ~ V 矿段锌、铅组合样品品位值绘成如图 4-9 所示的直方图。图中横轴为品位,纵轴为落入每一品位段的样品数。从直方图的轮廓线形状可以看出品位大体上属于何种分布;从直方图在横轴方向的分散程度可看出品位的变化程度。

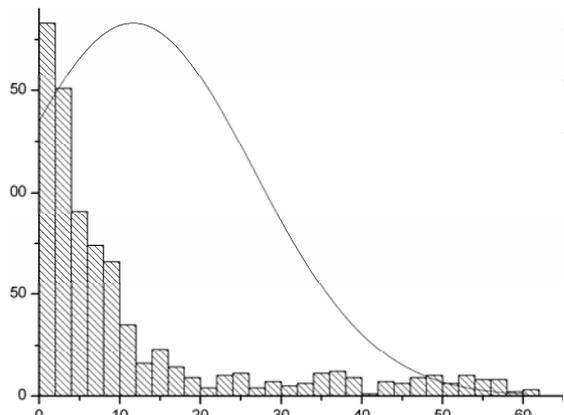




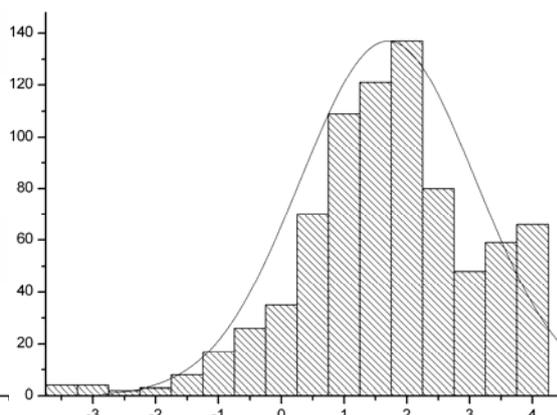
I 矿段



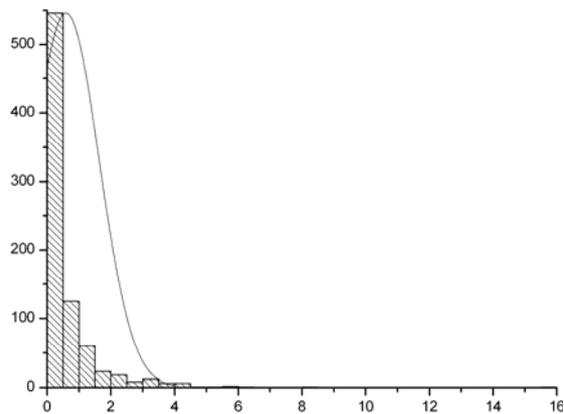
II 矿段



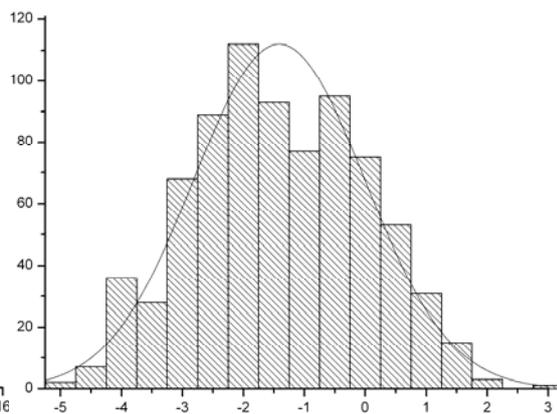
i III矿段锌品位分布



j III矿段锌品位对数分布

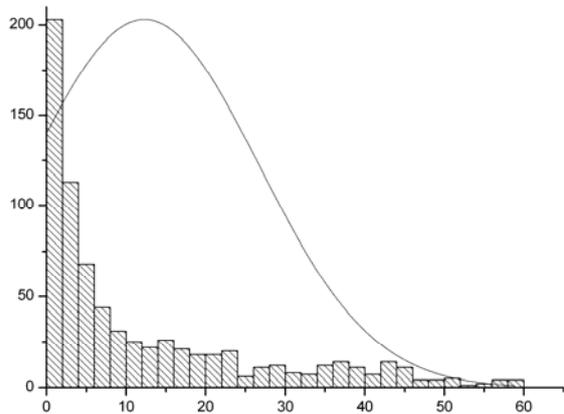


k III矿段铅品位分布

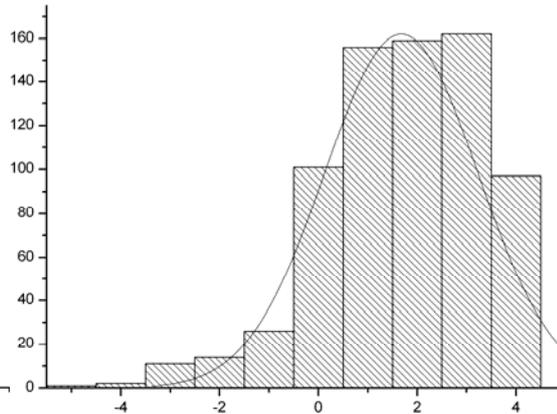


l III矿段铅品位对数分布

III矿段



m IV矿段锌品位分布



n IV矿段锌品位对数分布

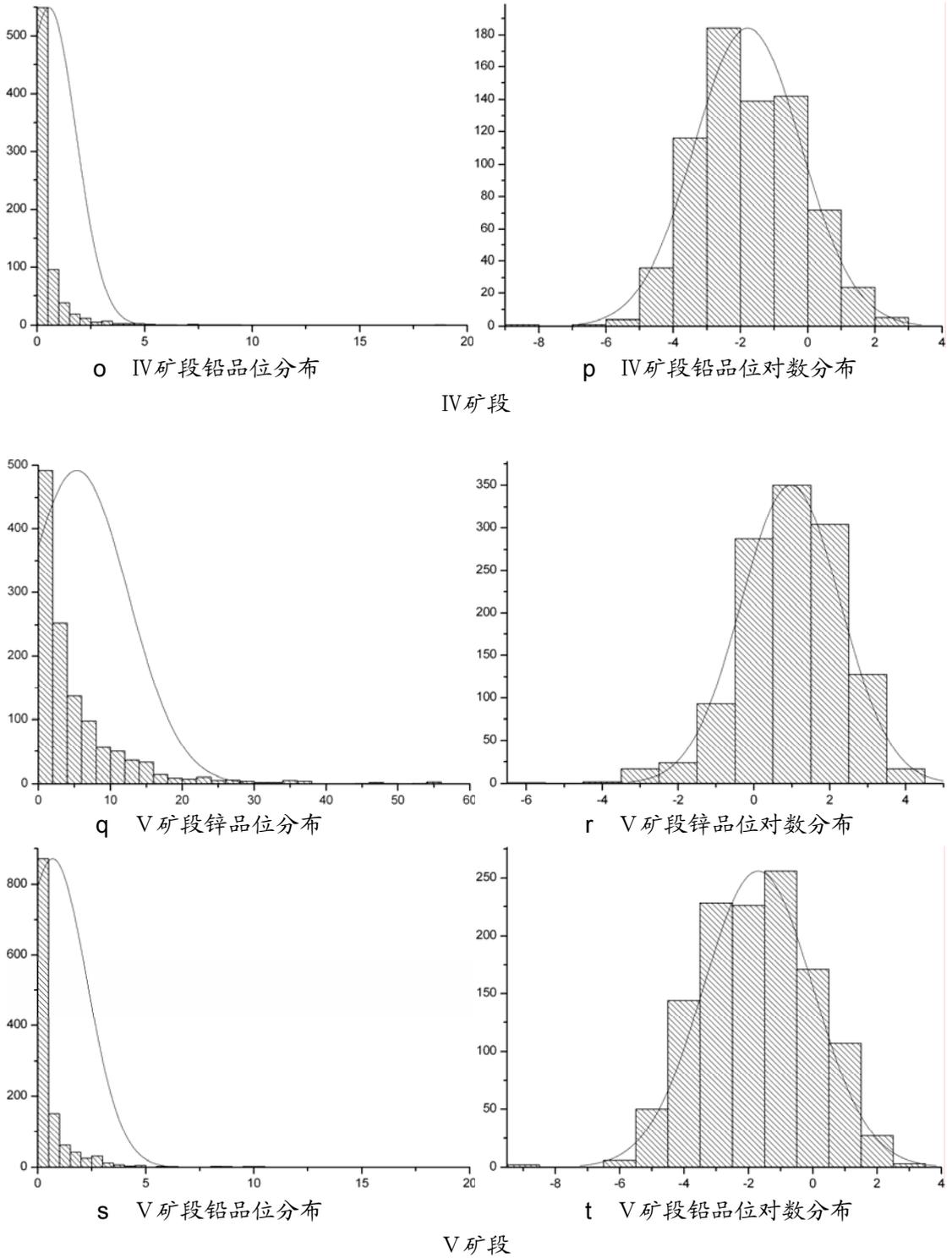


图 4-9 组合样品品位分布与品位对数分布

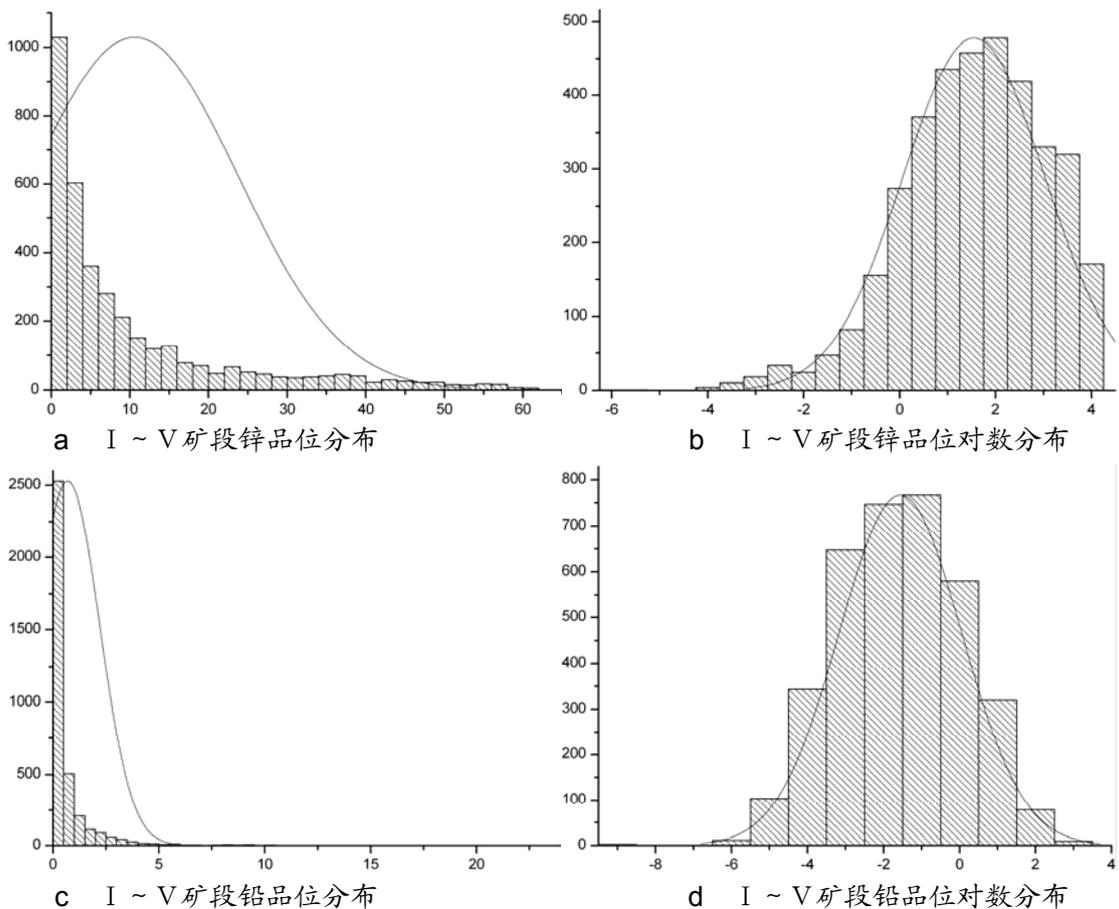


图 4-10 I ~ V 矿段组合样合并后的品位分布与对数品位分布

从图 4-9 可以看出，大樑子 1 号矿体 I ~ V 矿段的锌、铅品位分布基本都呈对数正态分布，对数分布无双峰现象。5 个矿段的锌品位分布基本相似，5 个矿段的铅品位分布也基本相似，但锌与铅的品位分布明显不同。铅品位分布分散，平均品位低，这也验证了以往地质勘探的结论——主矿产为锌，共生矿为铅。

在得到组合样品品位分布呈对数正态分布后，即可开始计算各组合样的实验变异函数，掌握组合样品分布的各向异性规律。计算实验变异函数利用的是 Surpac Vision 的地质统计学模块的“Variogram Model”功能。典型的半变异函数与其对应的协方差函数图如图 4-11。在次需要针对各个组合样分别计算各个方向的实验半变异函数，也就要得它们的块金值 (Nugget)、变程 (Range)、基台值 (Sill)，并对比各方向的这几个值以判断品位分而在三维空间上是否存在各向异性，差由此确定品位估算方法与相应参数。

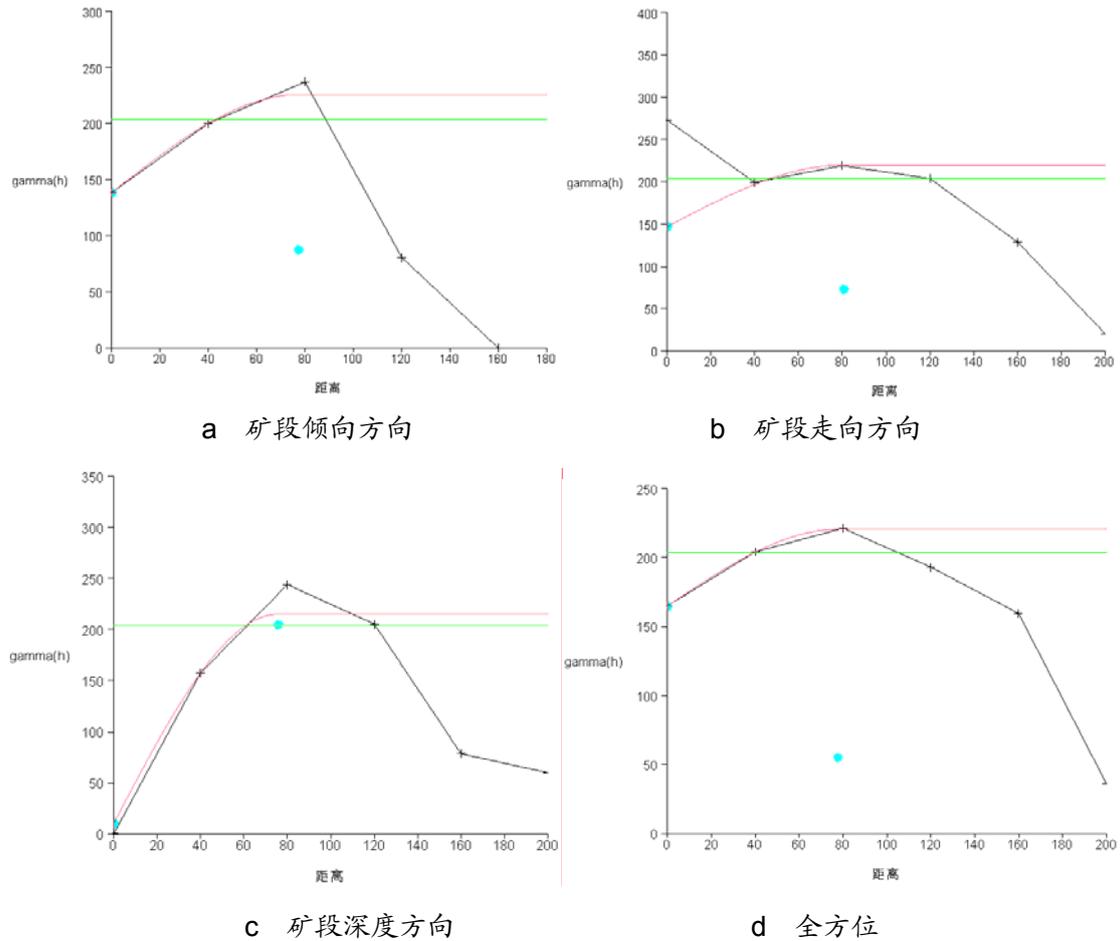


图 4-13 II 矿段锌品位实验变异函数曲线

铅品位

II 矿段铅品位计算三个方位+全方位的标准变异图，相应参数与结果见表 4-5，实验变异函数曲线见图 4-14，II 矿段铅品位的实验变异函数曲线与理论曲线差异较大，估算结果可能会有较大误差。

表 4-5 II 矿段铅品位实验变异函数分析参数与结果表

方位	倾伏角	扩张角	块金值	基台值	变程	样品数目	均值	方差	标准差
28	15	22.5	0.94	2.6	119	849	0.94	3.69	1.92
118	0	22.5	0.62	11.9	182	842	0.95	3.72	1.93
208	75	22.5	0.18	2.25	25	817	0.95	3.7	1.92
全方位			2.1	3.6	174.5	850	0.94	3.69	1.92

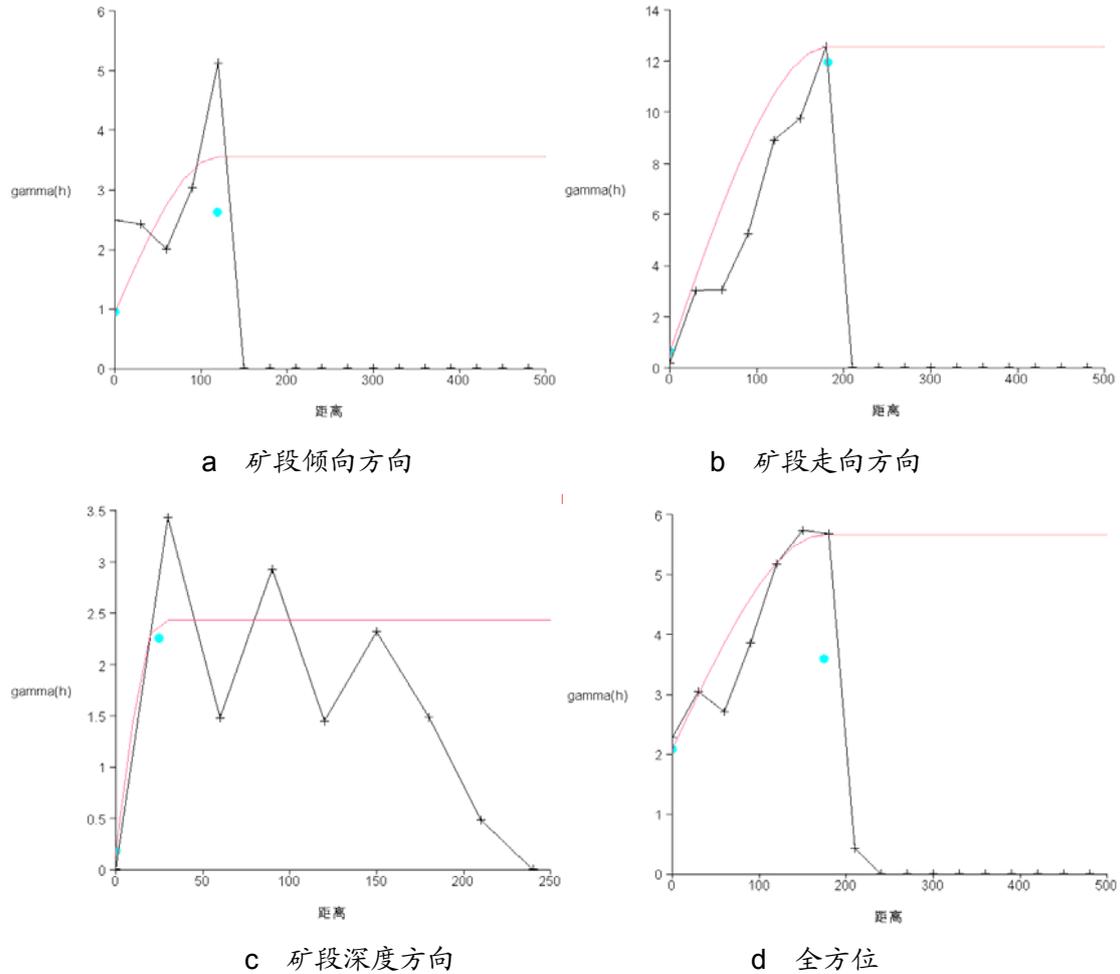


图 4-14 II 矿段铅品位实验变异函数曲线

III 矿段

锌品位

III 矿段锌品位计算三个方位+全方位的标准变异图，相应参数与结果见表 4-6，实验变异函数曲线见图 4-15。

表 5-6 III 矿段锌品位实验变异函数分析参数与结果表

方位	倾伏角	扩张角	块金值	基台值	变程	样品数目	均值	方差	标准差
34	20	22.5	82.4	118	59.1	790	12	225.8	15
304	0	22.5	119.9	156	64.9	768	12	229	15.1
214	70	22.5	115.3	107.2	61.3	790	12	225.8	15
全方位			90.3	177.5	61.3	790	12	225.8	15

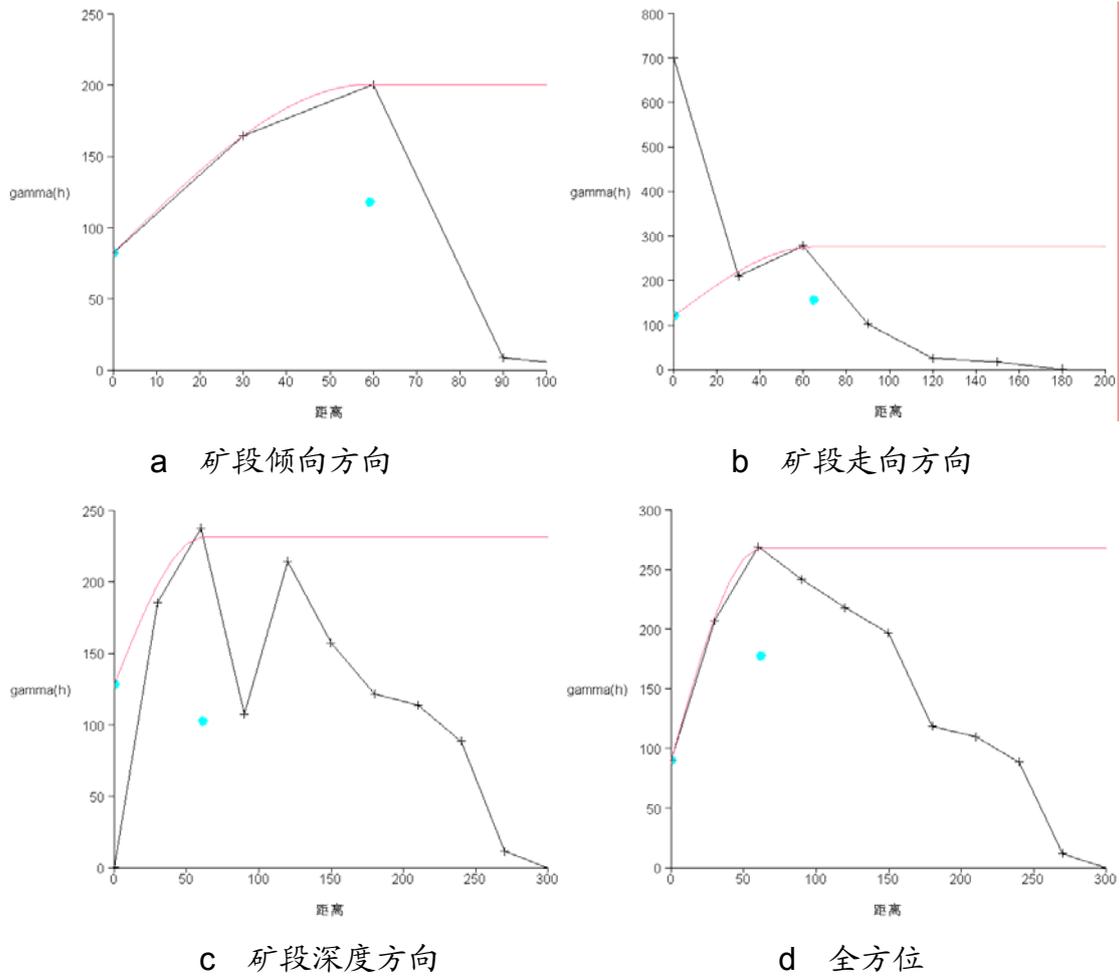


图 4-15 III矿段锌品位实验变异函数曲线

铅品位

III矿段铅品位计算三个方位+全方位的标准变异图，相应参数与结果见表 4-7，实验变异函数曲线见图 4-16。

表 4-7 III矿段铅品位实验变异函数分析参数与结果表

方位	倾伏角	扩张角	块金值	基台值	变程	样品数目	均值	方差	标准差
34	20	22.5	0.2	0.88	62.1	786	0.61	1.1	1.1
304	0	22.5	0.17	4.5	151	764	0.59	1.1	1.05
214	70	22.5	0.57	0.43	140.8	786	0.61	1.1	1.05
全方位			0.79	0.45	133.9	786	0.61	1.1	1.05

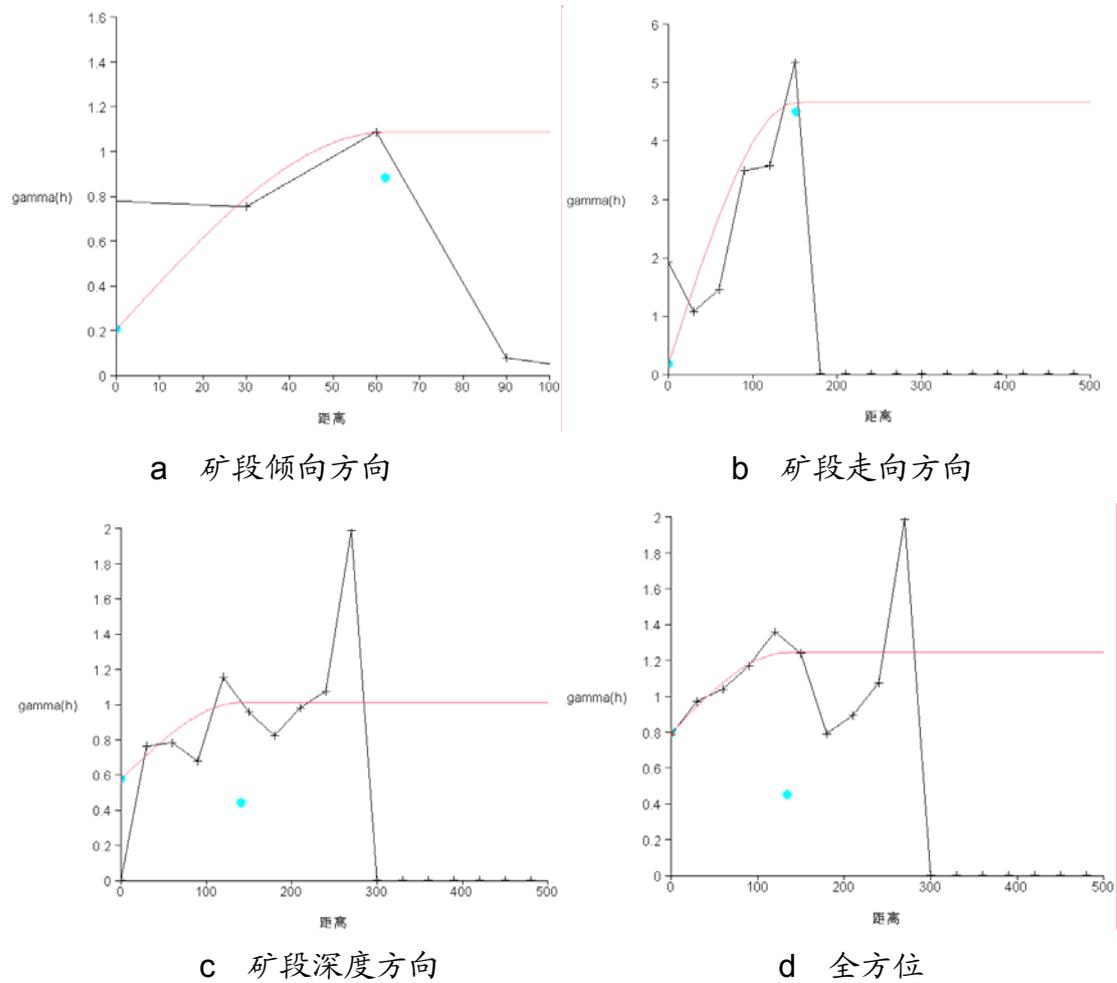


图 4-16 III矿段铅品位实验变异函数曲线

IV矿段
锌品位

IV矿段锌品位计算三个方位+全方位的标准变异图，相应参数与结果见表4-8，实验变异函数曲线见图4-17。

表 4-8 IV矿段锌品位实验变异函数分析参数与结果表

方位	倾伏角	扩张角	块金值	基台值	变程	样品数目	均值	方差	标准差
42	25	22.5	170.9	269.3	32.8	45	15.1	265.9	16.3
312	0	22.5	4.9	212.3	49.6	728	12.6	206.2	14.3
222	65	22.5	191.2	75	90.4	705	13	208	14.4
全方位			142	101	91.5	730	12.6	205.9	14.4

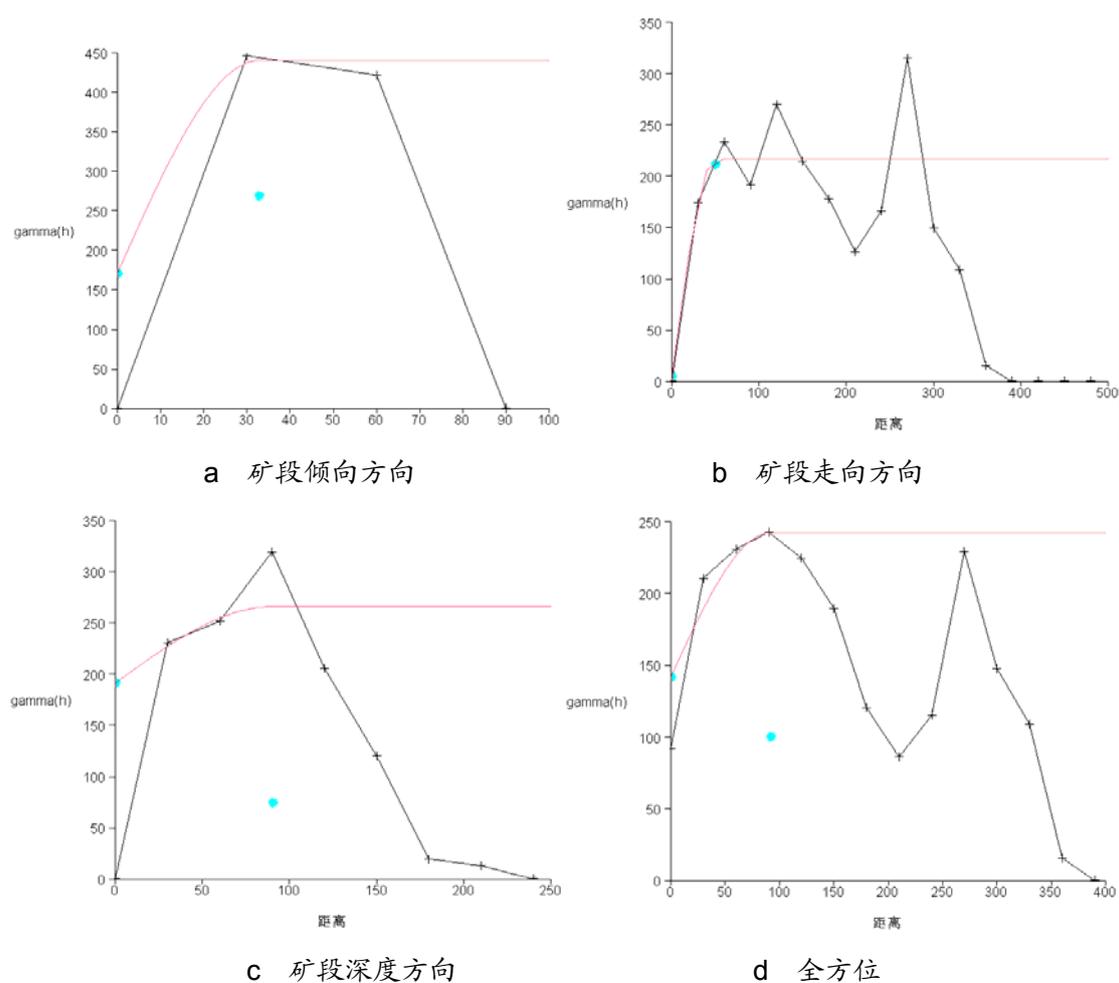


图 4-17 IV矿段锌品位实验变异函数曲线

铅品位

IV矿段铅品位计算三个方位+全方位的标准变异图，相应参数与结果见表 4-9，实验变异函数曲线见图 4-18。

表 4-9 IV矿段铅品位实验变异函数分析参数与结果表

方位	倾伏角	扩张角	块金值	基台值	变程	样品数目	均值	方差	标准差
42	25	22.5	0.05	0.21	30.6	45	0.57	0.4	0.63
312	0	22.5	0.66	2.2	182	731	0.56	1.62	1.27
222	65	22.5	0.51	0.7	145.4	708	0.56	1.66	1.3
全方位			0.75	1.3	182	733	0.56	1.62	1.27

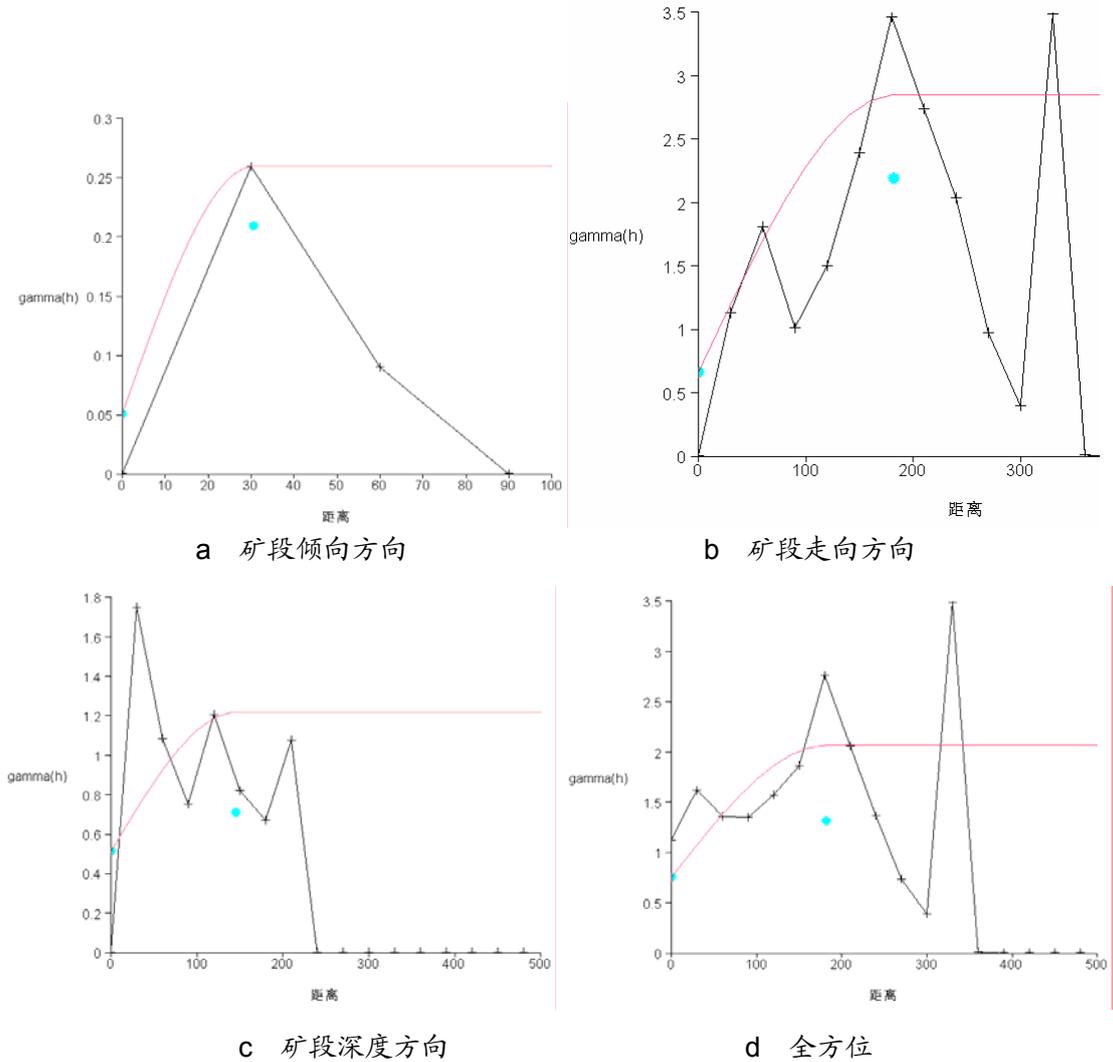


图 4-18 IV 矿段铅品位实验变异函数曲线

V 矿段

V 矿段锌品位计算三个方位+全方位的标准变异图，相应参数与结果见表 4-10，实验变异函数曲线见图 4-19。

表 4-10 V 矿段锌品位实验变异函数分析参数与结果表

方位	倾伏角	扩张角	块金值	基台值	变程	样品数目	均值	方差	标准差
60	20	22.5	0.2	21.3	78.8	690	4.4	23.8	4.9
330	0	22.5	5.5	45	87	1130	5.1	46.9	6.8
240	70	22.5	35.4	19.4	85.5	1222	5.4	51	7.1
全方位			0.8	65	154	1225	5.4	51	7.1

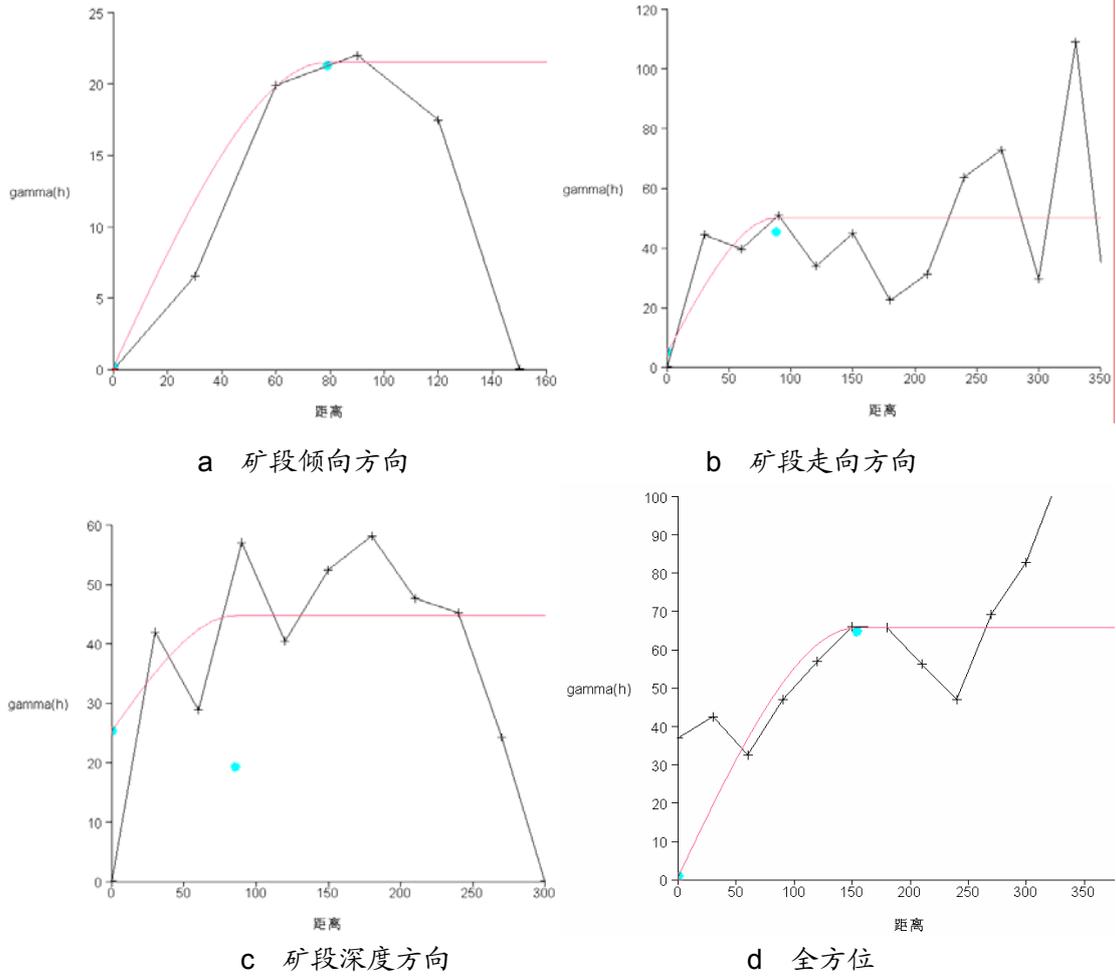


图 4-19 V 矿段锌品位实验变异函数曲线

铅品位

V 矿段铅品位计算三个方位+全方位的标准变异图，相应参数与结果见表 4-11，实验变异函数曲线见图 4-20。

表 4-11 V 矿段铅品位实验变异函数分析参数与结果表

方位	倾伏角	扩张角	块金值	基台值	变程	样品数目	均值	方差	标准差
60	20	22.5	0.21	3.17	56.2	691	0.82	3.3	1.8
330	0	22.5	0.47	2.6	188.5	1133	0.74	2.7	1.64
240	70	22.5	2.26	0.85	65.3	1225	0.69	2.5	1.59
全方位			2.37	0.82	51.7	1228	0.69	2.5	1.59

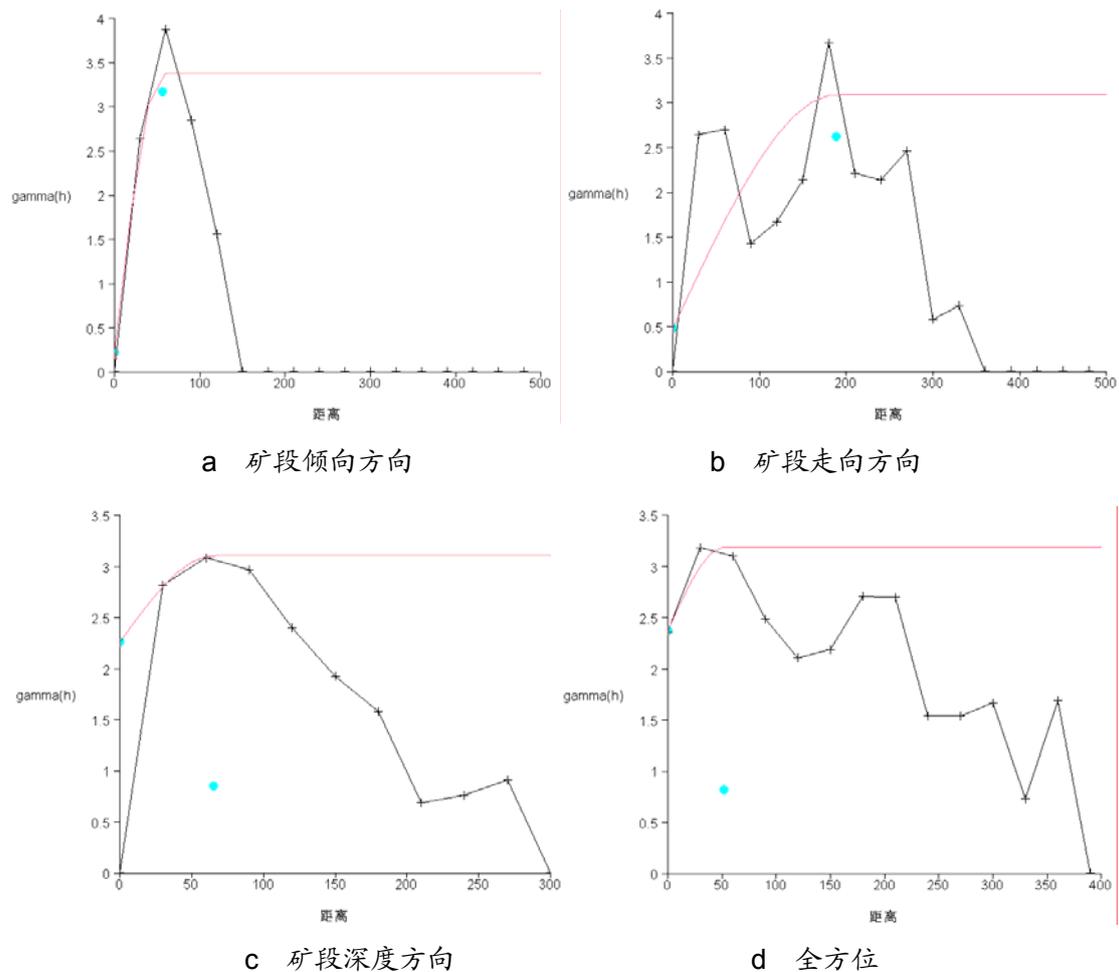


图 4-20 V 矿段铅品位实验变异函数曲线

通过对 5 个矿段的锌、铅品组合样品位的实验变异函数求算，发现对于锌金属来说，其品位分布没有明显的各向异性，而铅组合样品位的实验变异函数曲线很不正规，作者分析可能是本文研究所能获得的沿走方向的取样数据缺乏所致。在矿山生产实践中，国际上通常的做法是：在对矿床进行初步评价或是数据量不足时，选用较简单的方法（一般是距离 N 次方反比法）。当有了足够的数据，对矿床进行正式可行性评价时，选用地质统计学法。地质统计学法也常被用于开采过程中局部范围内的矿岩重新圈定和品位、矿量计算。因此选定距离幂次反比法为块体模型块体品位属性估算方法。

4.2.7 块体模型属性赋值与品位估算

块体属性赋值有两种类型：一种情况是属性值是一个已知的确定值，其赋值过程是利用约束条件提取块体赋值范围进行直接赋值；另一种是情况属性值必须按照一定规则通过参照若干其它数据进行计算得出，再对特定块体进行赋值。直接赋值还是通过计算估值应根据块体属性的意义确定。在上面建立的大樑子矿床块体模型中块体有四个属性：`density`、`grade_pb`、`grade_zn`、`ore_segment`。

根据以上的分析, **density**、**ore_segment** 两个属性采用直接赋值, 而代表铅、锌品位的 **grade_pb**、**grade_zn** 属性则采用统计学的方法进行估值。

ore_segment 的赋值最为简单, 根据大樑子 1 号矿体 5 个主要矿段的特点, 利用约束分别对属于 I ~ V 号矿段的块体 **ore_segment** 属性分别赋予整数 1 ~ 5, 围岩赋予整数 0, 地表以上部赋予整数-1。

density 属性从理论上讲应该采用统计学的办法进行估值, 但本论文研究所能获得的勘探取样数据没有较完整的矿岩体重取样数据, 只能采用分块段赋平均值的办法进行赋值。通过前期地质工作分析, 采取这样的体重赋值方式是能满足储量计算与工程实际要求。我们对矿石体重的赋值主要依据冶金工业部西南地质勘察局昆明地质调查所做的“大樑子铅锌矿床 I ~ V 矿段储量计算纵投影图”进行分矿段和块段赋值。围岩与空气的体重由于未参与矿量、储量计算分析, 所以直接分别赋予 3 和 0。

根据冶金工业部西南地质勘察局昆明地质调查所做的“大樑子铅锌矿床 I ~ V 矿段储量计算纵投影图”, 矿石体重按地质块段计算了块段平均值。由于地质块是根据为了便于按照地质块段对矿石块体进行体重赋值, 建立每个勘探面实体模型 (DTM), 并将相邻两个面连合成一个闭合的实体 (3dm), 其目的是利用它们以及高程值等通过逻辑运算得到块段的约束条件。当每个块段都能得到这样的约束后, 就可以利用约束对块段进行直接的矿石体重赋值了。按照这个方法也可以对锌、铅品位进行直接, 因为以往的地勘探工作中已经计算了这些块段的平均品位值, 且以往的储量也是利用这个方法计算出来的, 但这对生产过程中的品位控制、编排生产进度计划是不利的, 而地质块段法从理论上讲其计算结果误差可能会比距离幂次反比法和地质统计学的克吕格方法大, 甚至会大很多, 所以本论文不使用这种对品位进行直接赋块段平均值的做法。

品位估算

中国地质调查局工作标准《固体矿产推断的内蕴经济资源量和经工程验证的预测资源量估算技术要求》(DD2002-01)关于资源量估算方法说明: “根据矿床特点、勘探技术方法及工程分布情况, 选择适宜的资源量估算方法, 一般可采用地质块段法或平行断面法。”^[12]标准要求选择估算方法的前提是根据矿床特点、勘探技术方法及工程分布情况。本论文利用 Surpac 软件的块体模型来进行品位分析与储量计算, 选用的距离幂次反比法与矿山常用地质块段法、平行断面法有所区别, 最终的分析计算结果也肯定会有一定的出入。根据理论与以往的经验来看, 两者相左的情况应该在采矿工程所能接受的范围以内。在本章第一节中已对传统的品位分析与储量计算方法与地质统计学的方法进行一个简单的分析与比较。

通过分析本章上一节的计算结果，5个矿段确实在平均品位上存在有区别，特别是V矿段的锌品位与其它四个矿段相比小了很多。虽然最终都采用距离幂次反比法进行品位估算，但必须将5个矿段对应的块体分开进行。由于在这里采用的修正后的距离幂次反比法——即通过设置搜索椭球体的参数来满足品位分布在不同方向上的各向异性，因此估算过程中关键有两点：一是组合样与块体区带一定要对应，块体区带利用约束条件定义（见图4-21）；另一点就是为每次估值设置合适的搜索椭球体，设置椭搜索椭球体各参数的依据是本章上一节的分析计算结果。各次品位估算搜索椭球体参数设置如表4-12所示。另外一个距离的幂次根据铅锌矿床一般经验取值2，即距离平方反比法。

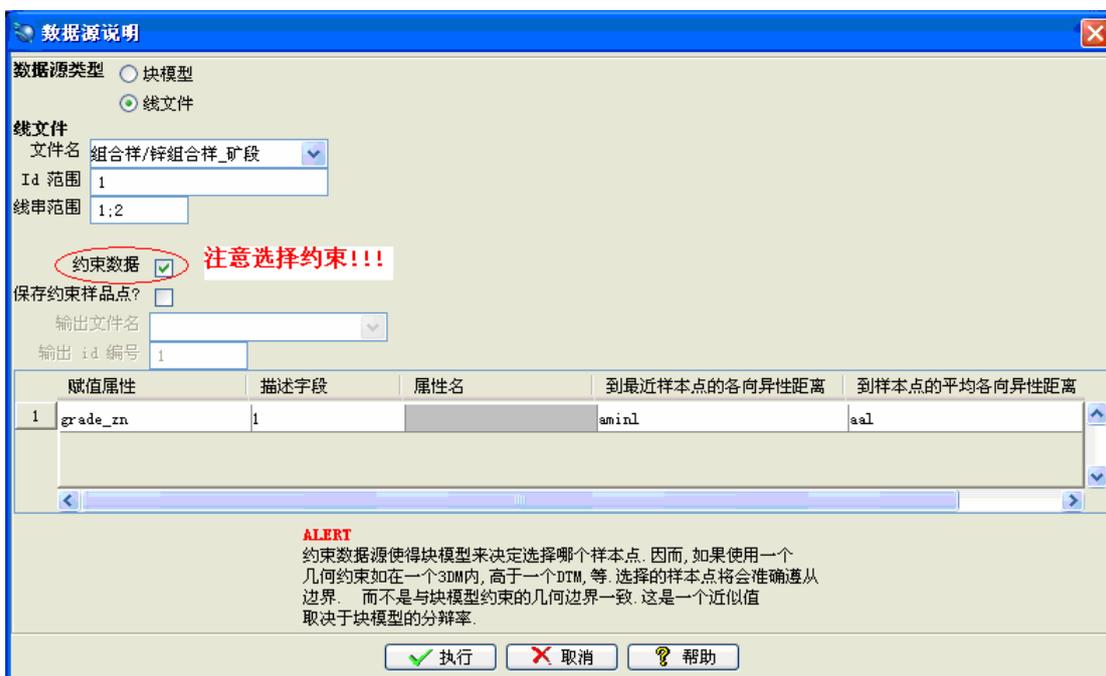


图 4-21 估值数据源设置

表 4-12 搜索椭球体参数表

矿段	元素	最大搜索半径	最大垂直搜索距离	主、半主轴之比	主、最短轴之比	走向	倾伏角	倾角
I	Zn	200	200	1	1	0	0	0
	Pb	200	200	1	1	0	0	0
II	Zn	500	400	1	1	0	0	0
	Pb	500	400	2	7	118	0	15
III	Zn	300	300	1	1	0	0	0
	Pb	300	300	2	1	124	0	0
IV	Zn	450	300	2	3	132	90	0
	Pb	450	300	1.25	6	132	0	90
V	Zn	450	400	1	1	0	0	0
	Pb	450	400	3	3	150	0	0

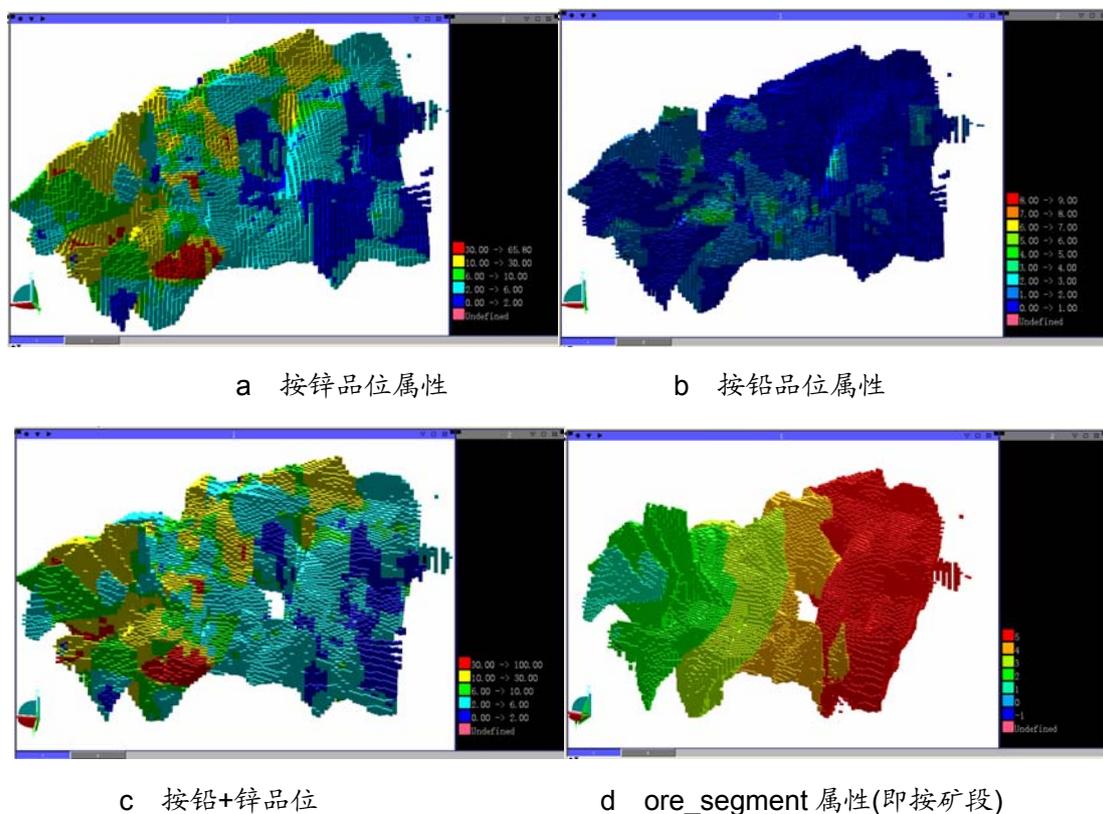
Surpac 进行品位估算是会自动计算“到最近样本点的各向异性距离”、“到样本点的平均各向异性距离”、“样本数量”三个参数并存储到块体模型中去，如果估算时指定这几个参数的块体属性字段，则会相对应存入块体，如果没有则自动创建属性字段，在此我们将它们会别指定为如表 4-13 所示的几个字段名，在进行品位分析时这几个属性能体现某个块体估值的可靠性等。

表 4-13 块体属性字段对应表

属性意义	到最近样本点的各向异性距离	到样本点的平均各向异性距离	样本数量
属性字段名	aminl_zn/pb	aal_zn/pb	sc_zn/pb

4.3 品位分析与储量计算

根据建立的块体模型对矿床品位进行分析，图 4-22 显示了矿体锌、铅以及铅+锌的品位分布情况。从块体模型及图示可以看出矿体品位分布整体看东部比西部高，特别是 V 矿体西部往深部方向品位较低。对照锌与铅的品位分布情况，铅品位比锌品位不在一个层次，因此本大樑子铅锌矿床实际上是主体矿产是锌，共生铅及其它金属。^[29]



注：图中铅+锌品位是简单相加，也可进行加权相加。

图 4-22 按块体属性显示块体模型

利用块体模型针对 I-V 矿段进行分层储量计算, 结果见表 4-14~4-20。对比昆明地质勘查院《四川省会东县大梁子铅锌矿床 1884-1944 米中段勘探报告》计算结果, 储量计算结果基本相符。

表 4-14 I 矿段分层储量计算表 (含部分露采矿量)

I 矿段储量计算报告						
高程	铅+锌品位	体积 (m ³)	矿量 (吨)	锌平均品位	铅平均品位	铅+锌平均品位
1884.0 -> 1944.0	0.0 -> 1.0	0	0	0	0	0
	1.0 -> 6.0	113	325	2.032	0.094	2.126
	6.0 -> 12.0	0	0	0	0	0
	12.0 -> 100.0	31	98	28.411	1.67	30.082
小计		144	423	8.118	0.458	8.576
1944.0 -> 1980.0	0.0 -> 1.0	0	0	0	0	0
	1.0 -> 6.0	4013	11596	2.645	0.337	2.982
	6.0 -> 12.0	0	0	0	0	0
	12.0 -> 100.0	0	0	0	0	0
小计		4013	11596	2.645	0.337	2.982
1980.0 -> 2004.0	0.0 -> 1.0	0	0	0	0	0
	1.0 -> 6.0	5556	16058	3.346	0.341	3.687
	6.0 -> 12.0	9694	28088	7.886	0.329	8.214
	12.0 -> 100.0	131	395	34.046	0.614	34.661
小计		15381	44540	6.481	0.336	6.816
2004.0 -> 2046.0	0.0 -> 1.0	0	0	0	0	0
	1.0 -> 6.0	3356	9784	4.494	0.174	4.668
	6.0 -> 12.0	30363	88388	8.024	0.31	8.334
	12.0 -> 100.0	213	622	23.032	0.444	23.475
小计		33931	98794	7.769	0.298	8.066
2046.0 -> 2094.0	0.0 -> 1.0	0	0	0	0	0
	1.0 -> 6.0	1963	5765	4.424	0.109	4.533
	6.0 -> 12.0	2600	6968	7.843	0.299	8.142
	12.0 -> 100.0	0	0	0	0	0
小计		4563	12733	6.295	0.213	6.508
总计		58031	168086	6.963	0.304	7.268

表 4-15 II 矿段分层储量计算表 (含部分露采矿量)

II 矿段储量计算报告						
高程	铅+锌品位	体积(m ³)	矿量 (吨)	锌平均品位	铅平均品位	铅+锌平均品位
1820.0 -> 1884.0	0.0 -> 1.0	0	0	0	0	0
	1.0 -> 6.0	4969	15503	1.68	0.452	2.132
	6.0 -> 12.0	213	663	6.74	0.745	7.485

	12.0 -> 100.0	0	0	0	0	0
小计		5181	16166	1.887	0.464	2.351
1884.0 -> 1944.0	0.0 -> 1.0	0	0	0	0	0
	1.0 -> 6.0	18031	56258	3.049	0.522	3.571
	6.0 -> 12.0	34144	106529	8.724	0.66	9.384
	12.0 -> 100.0	44225	137898	23.703	1.326	25.029
小计		96400	300684	14.532	0.94	15.471
1944.0 -> 1980.0	0.0 -> 1.0	719	2118	0.223	0.093	0.316
	1.0 -> 6.0	906	2754	3.269	0.619	3.888
	6.0 -> 12.0	40519	124627	8.744	0.961	9.705
	12.0 -> 100.0	164306	513229	23.183	1.367	24.55
小计		206450	642728	20.223	1.281	21.503
1980.0 -> 2004.0	0.0 -> 1.0	2025	6240	0.671	0.068	0.739
	1.0 -> 6.0	17425	51980	4.037	0.334	4.371
	6.0 -> 12.0	47088	139615	7.562	1.051	8.613
	12.0 -> 100.0	161938	492544	23.344	0.879	24.223
小计		228475	690379	18.494	0.866	19.359
2004.0 -> 2046.0	0.0 -> 1.0	1319	3868	0.669	0.04	0.709
	1.0 -> 6.0	60825	176556	3.905	0.38	4.285
	6.0 -> 12.0	144813	418778	8.357	0.521	8.878
	12.0 -> 100.0	284413	838805	20.444	0.793	21.237
小计		491369	1438006	14.84	0.661	15.502
2046.0 -> 2094.0	0.0 -> 1.0	0	0	0	0	0
	1.0 -> 6.0	12450	34498	3.393	0.849	4.243
	6.0 -> 12.0	133550	370750	7.906	1.459	9.366
	12.0 -> 100.0	129213	358264	14.643	1.421	16.064
小计		275213	763513	10.863	1.414	12.277
2094.0 -> 2124.0	0.0 -> 1.0	0	0	0	0	0
	1.0 -> 6.0	994	2723	3.381	1.78	5.161
	6.0 -> 12.0	1150	3151	8.363	1.736	10.099
	12.0 -> 100.0	13725	37882	14.151	1.769	15.92
小计		15869	43756	13.064	1.767	14.831
2124.0 -> 2153.0	0.0 -> 1.0	0	0	0	0	0
	1.0 -> 6.0	25	69	3.901	1.783	5.684
	6.0 -> 12.0	400	1096	6.3	2.472	8.772
	12.0 -> 100.0	1775	4876	14.241	3.281	17.522
小计		2200	6040	12.683	3.117	15.8
总计		1321156	3901271	15.495	0.984	16.478

表 4-16 III矿段分层储量计算表 (含部分露采矿量)

III矿段储量计算报告						
高程	铅+锌品位	体积(m ³)	矿量(吨)	锌平均品位	铅平均品位	铅+锌平均品位
1820.0 -> 1884.0	0.0 -> 1.0	0	0	0	0	0
	1.0 -> 6.0	30213	98191	3.67	0.635	4.306
	6.0 -> 12.0	24875	80844	6.317	1.254	7.571
	12.0 -> 100.0	325	1056	10.244	2.063	12.306
小计		55413	180091	4.897	0.921	5.818
1884.0 -> 1944.0	0.0 -> 1.0	14606	47470	0.247	0.145	0.393
	1.0 -> 6.0	67106	218069	3.34	0.499	3.839
	6.0 -> 12.0	83731	272127	7.474	0.882	8.357
	12.0 -> 100.0	142363	462678	36.966	1.047	38.013
小计		307806	1000344	19.87	0.84	20.71
1944.0 -> 1980.0	0.0 -> 1.0	6113	18077	0.25	0.076	0.326
	1.0 -> 6.0	70650	212016	3.953	0.286	4.239
	6.0 -> 12.0	110644	331733	7.237	0.832	8.069
	12.0 -> 100.0	105250	324770	34.512	0.99	35.502
小计		292656	886595	16.3	0.744	17.044
1980.0 -> 2004.0	0.0 -> 1.0	0	0	0	0	0
	1.0 -> 6.0	62994	184661	4.016	0.373	4.389
	6.0 -> 12.0	69188	203314	7.023	0.767	7.79
	12.0 -> 100.0	39131	117886	25.856	0.805	26.661
小计		171313	505861	10.314	0.632	10.946
2004.0 -> 2046.0	0.0 -> 1.0	0	0	0	0	0
	1.0 -> 6.0	118425	339684	4.258	0.299	4.558
	6.0 -> 12.0	70144	203789	7.707	0.263	7.971
	12.0 -> 100.0	48394	144182	21.807	0.463	22.27
小计		236963	687655	8.96	0.323	9.283
2046.0 -> 2094.0	0.0 -> 1.0	0	0	0	0	0
	1.0 -> 6.0	42394	117423	4.511	0.223	4.733
	6.0 -> 12.0	62525	178698	7.911	0.411	8.322
	12.0 -> 100.0	15131	44000	14.835	0.619	15.453
小计		120050	340120	7.633	0.373	8.006
2094.0 -> 2124.0	0.0 -> 1.0	0	0	0	0	0
	1.0 -> 6.0	63	194	2.639	0.078	2.717
	6.0 -> 12.0	2988	8577	8.73	1.124	9.854
	12.0 -> 100.0	4500	12517	15.618	1.259	16.877
小计		7550	21288	12.724	1.194	13.918
总计		1191750	3621954	13.655	0.651	14.306

表 4-17 IV 矿段分层储量计算表 (含部分露采矿量)

IV 矿段储量计算报告						
高程	铅+锌品位	体积 (m ³)	矿量 (吨)	锌平均 品位	铅平均 品位	铅+锌平 均品位
1884.0 -> 1944.0	0.0 -> 1.0	338	955	0.38	0.212	0.593
	1.0 -> 6.0	52113	147479	3.367	0.834	4.202
	6.0 -> 12.0	1700	4811	6.335	0.615	6.95
	12.0 -> 100.0	294	831	15.856	0.355	16.21
小计		54444	154077	3.509	0.821	4.33
1944.0 -> 1980.0	0.0 -> 1.0	256	699	0.321	0.256	0.577
	1.0 -> 6.0	90544	260194	2.834	0.935	3.768
	6.0 -> 12.0	6863	20874	7.348	1.189	8.537
	12.0 -> 100.0	10300	31649	19.344	2.161	21.505
小计		107963	313416	4.796	1.074	5.87
1980.0 -> 2004.0	0.0 -> 1.0	119	361	0.405	0.084	0.489
	1.0 -> 6.0	42788	121794	2.749	0.864	3.612
	6.0 -> 12.0	20225	61799	8.451	0.603	9.054
	12.0 -> 100.0	68025	209447	22.602	0.657	23.259
小计		131156	393400	14.212	0.712	14.924
2004.0 -> 2046.0	0.0 -> 1.0	225	676	0.59	0.089	0.68
	1.0 -> 6.0	37794	108130	2.92	0.531	3.451
	6.0 -> 12.0	48450	146909	8.886	0.358	9.243
	12.0 -> 100.0	206813	645836	24.31	0.52	24.83
小计		293281	901551	19.213	0.495	19.708
2046.0 -> 2094.0	0.0 -> 1.0	581	1744	0.792	0.162	0.954
	1.0 -> 6.0	73981	223310	3.255	0.158	3.412
	6.0 -> 12.0	89669	269136	9.143	0.262	9.405
	12.0 -> 100.0	123831	381736	22.539	0.468	23.007
小计		288063	875925	13.463	0.325	13.788
2094.0 -> 2124.0	0.0 -> 1.0	106	319	0.791	0.172	0.962
	1.0 -> 6.0	50025	152042	3.844	0.102	3.946
	6.0 -> 12.0	33394	102798	8.964	0.09	9.054
	12.0 -> 100.0	363	1123	15.447	0.484	15.931
小计		83888	256281	5.945	0.099	6.044
2124.0 -> 2153.0	0.0 -> 1.0	0	0	0	0	0
	1.0 -> 6.0	12788	38566	3.683	0.037	3.72
	6.0 -> 12.0	2763	8675	8.799	0.086	8.885
	12.0 -> 100.0	0	0	0	0	0
小计		15550	47241	4.622	0.046	4.668
总计		974344	2941891	13.084	0.51	13.594

表 4-18 V 矿段分层储量计算表 (含部分露采矿量)

V 矿段储量计算报告						
高程	铅+锌品位	体积(m ³)	矿量(吨)	锌平均品位	铅平均品位	铅+锌平均品位
1884.0 -> 1944.0	0.0 -> 1.0	150	428	0.676	0.233	0.909
	1.0 -> 6.0	45256	128861	3.911	0.477	4.388
	6.0 -> 12.0	42519	121127	6.363	0.505	6.868
	12.0 -> 100.0	0	0	0	0	0
小计		87925	250415	5.092	0.49	5.582
1944.0 -> 1980.0	0.0 -> 1.0	38	107	0.676	0.233	0.909
	1.0 -> 6.0	195806	557674	3.409	0.496	3.904
	6.0 -> 12.0	78825	224549	6.531	0.717	7.248
	12.0 -> 100.0	750	2138	11.646	0.731	12.377
小计		275419	784468	4.325	0.56	4.884
1980.0 -> 2004.0	0.0 -> 1.0	2656	7536	0.734	0.068	0.802
	1.0 -> 6.0	199606	567621	2.767	0.592	3.359
	6.0 -> 12.0	84563	240967	6.996	1.258	8.254
	12.0 -> 100.0	5844	16655	11.535	0.784	12.319
小计		292669	832779	4.148	0.784	4.932
2004.0 -> 2046.0	0.0 -> 1.0	4619	13033	0.717	0.103	0.82
	1.0 -> 6.0	399375	1134798	2.779	0.705	3.484
	6.0 -> 12.0	139594	397129	7.029	1.417	8.446
	12.0 -> 100.0	14019	39822	11.896	1.083	12.979
小计		557606	1584782	4.056	0.888	4.944
2046.0 -> 2094.0	0.0 -> 1.0	619	1757	0.774	0.164	0.938
	1.0 -> 6.0	299594	856313	3.164	0.698	3.862
	6.0 -> 12.0	167294	477622	7.157	1.144	8.302
	12.0 -> 100.0	71144	205810	15.194	0.548	15.742
小计		538650	1541502	6.005	0.816	6.82
2094.0 -> 2124.0	0.0 -> 1.0	206	600	0.856	0.081	0.938
	1.0 -> 6.0	106988	316318	3.306	0.411	3.716
	6.0 -> 12.0	107825	318921	7.593	0.954	8.547
	12.0 -> 100.0	69819	207536	15.032	0.348	15.38
小计		284838	843375	7.811	0.601	8.411
2124.0 -> 2153.0	0.0 -> 1.0	150	443	0.803	0.038	0.841
	1.0 -> 6.0	49488	146373	4.461	0.062	4.523
	6.0 -> 12.0	41188	122791	8.957	0.189	9.147
	12.0 -> 100.0	43100	127337	15.761	0.136	15.897
小计		133925	396944	9.473	0.125	9.598
2153.0 -> 2200.0	0.0 -> 1.0	0	0	0	0	0
	1.0 -> 6.0	25013	72520	4.45	0.021	4.471
	6.0 -> 12.0	8788	26262	9.644	0.219	9.864
	12.0 -> 100.0	24419	73105	15.794	0.093	15.888

小计	58219	171887	10.069	0.082	10.151
总计	2229250	6406151	5.602	0.695	6.296

表 4-19 I-V 矿段分层储量计算表 (含部分露采矿量)

I-V 矿段储量计算报告						
高程	铅+锌品位	体积(m ³)	矿量(吨)	锌平均品位	铅平均品位	铅+锌平均品位
1820.0 -> 1884.0	0.0 -> 1.0	0	0	0	0	0
	1.0 -> 6.0	35181	113693	3.399	0.61	4.009
	6.0 -> 12.0	25088	81507	6.321	1.25	7.57
	12.0 -> 100.0	325	1056	10.244	2.063	12.306
小计		60594	196256	4.649	0.884	5.533
1884.0 -> 1944.0	0.0 -> 1.0	15094	48853	0.254	0.147	0.401
	1.0 -> 6.0	182506	550673	3.45	0.586	4.036
	6.0 -> 12.0	162094	504593	7.461	0.742	8.203
	12.0 -> 100.0	186850	601306	33.895	1.11	35.005
小计		546544	1705425	15.279	0.804	16.084
1944.0 -> 1980.0	0.0 -> 1.0	6406	18883	0.255	0.084	0.338
	1.0 -> 6.0	357750	1031480	3.36	0.564	3.924
	6.0 -> 12.0	235975	699091	7.279	0.829	8.108
	12.0 -> 100.0	279450	868181	27.236	1.254	28.49
小计		879581	2617634	12.303	0.86	13.163
1980.0 -> 2004.0	0.0 -> 1.0	4800	14137	0.698	0.068	0.767
	1.0 -> 6.0	327900	940762	3.087	0.566	3.654
	6.0 -> 12.0	230444	672841	7.292	0.969	8.261
	12.0 -> 100.0	274925	836484	23.275	0.811	24.087
小计		838069	2464223	11.074	0.757	11.831
2004.0 -> 2046.0	0.0 -> 1.0	6163	17577	0.702	0.089	0.79
	1.0 -> 6.0	619356	1767765	3.193	0.581	3.774
	6.0 -> 12.0	432925	1253693	7.87	0.729	8.599
	12.0 -> 100.0	553200	1667264	21.851	0.666	22.517
小计		1611644	4706298	11.039	0.649	11.688
2046.0 -> 2094.0	0.0 -> 1.0	1200	3502	0.783	0.163	0.946
	1.0 -> 6.0	430269	1236969	3.32	0.557	3.877
	6.0 -> 12.0	454931	1301158	7.891	0.945	8.836
	12.0 -> 100.0	338144	986097	17.75	0.836	18.586
小计		1224544	3527726	9.037	0.778	9.815
2094.0 -> 2124.0	0.0 -> 1.0	313	919	0.834	0.113	0.946
	1.0 -> 6.0	157975	470989	3.479	0.319	3.798
	6.0 -> 12.0	144219	429991	7.942	0.763	8.705
	12.0 -> 100.0	88219	258489	14.933	0.6	15.533

小计		390725	1160388	7.682	0.546	8.228
2124.0 -> 2153.0	0.0 -> 1.0	150	443	0.803	0.038	0.841
	1.0 -> 6.0	62175	184632	4.296	0.058	4.354
	6.0 -> 12.0	43913	131249	8.92	0.203	9.123
	12.0 -> 100.0	44875	132213	15.705	0.252	15.957
小计		151113	448537	9.008	0.157	9.166
2153.0 -> 2200.0	0.0 -> 1.0	0	0	0	0	0
	1.0 -> 6.0	25013	72520	4.45	0.021	4.471
	6.0 -> 12.0	8788	26262	9.644	0.219	9.864
	12.0 -> 100.0	24419	73105	15.794	0.093	15.888
小计		58219	171887	10.069	0.082	10.151
总计		5761031	16998374	10.883	0.716	11.599

表 4-20 I-V 矿段地采部分分层储量计算表

I-V 矿段地采部分储量计算报告						
高程	铅+锌品位	体积(m ³)	矿量(吨)	锌平均品位	铅平均品位	铅+锌平均品位
1820.0 -> 1884.0	0.0 -> 1.0	0	0	0	0	0
	1.0 -> 6.0	35181	113693	3.399	0.61	4.009
	6.0 -> 12.0	25088	81507	6.321	1.25	7.57
	12.0 -> 100.0	325	1056	10.244	2.063	12.306
小计		60594	196256	4.649	0.884	5.533
1884.0 -> 1944.0	0.0 -> 1.0	15094	48853	0.254	0.147	0.401
	1.0 -> 6.0	182506	550673	3.45	0.586	4.036
	6.0 -> 12.0	162094	504593	7.461	0.742	8.203
	12.0 -> 100.0	186850	601306	33.895	1.11	35.005
小计		546544	1705425	15.279	0.804	16.084
1944.0 -> 1980.0	0.0 -> 1.0	6406	18883	0.255	0.084	0.338
	1.0 -> 6.0	357750	1031480	3.36	0.564	3.924
	6.0 -> 12.0	235975	699091	7.279	0.829	8.108
	12.0 -> 100.0	279450	868181	27.236	1.254	28.49
小计		879581	2617634	12.303	0.86	13.163
1980.0 -> 2004.0	0.0 -> 1.0	4800	14137	0.698	0.068	0.767
	1.0 -> 6.0	323256	927104	3.061	0.573	3.634
	6.0 -> 12.0	222275	648984	7.266	0.989	8.255
	12.0 -> 100.0	245275	747003	23.242	0.872	24.114
小计		795606	2337228	10.664	0.781	11.446
2004.0 -> 2046.0	0.0 -> 1.0	5100	14491	0.707	0.099	0.806
	1.0 -> 6.0	550269	1566685	3.093	0.615	3.708
	6.0 -> 12.0	274425	794245	7.62	0.878	8.498
	12.0 -> 100.0	297094	906958	22.747	0.605	23.352

小计		1126888	3282380	9.608	0.674	10.282
2046.0 -> 2094.0	0.0 -> 1.0	1200	3502	0.783	0.163	0.946
	1.0 -> 6.0	353881	1014508	3.156	0.603	3.76
	6.0 -> 12.0	221144	635761	7.793	0.911	8.704
	12.0 -> 100.0	146675	437273	18.118	0.452	18.571
小计		722900	2091043	7.691	0.664	8.355
2094.0 -> 2124.0	0.0 -> 1.0	313	919	0.834	0.113	0.946
	1.0 -> 6.0	92313	272218	3.163	0.409	3.573
	6.0 -> 12.0	95806	282179	7.555	1.046	8.601
	12.0 -> 100.0	52275	154968	14.804	0.224	15.028
小计		240706	710283	7.445	0.621	8.066
2124.0 -> 2153.0	0.0 -> 1.0	150	443	0.803	0.038	0.841
	1.0 -> 6.0	42856	126479	4.354	0.063	4.417
	6.0 -> 12.0	18006	53255	8.306	0.225	8.531
	12.0 -> 100.0	39844	117604	15.878	0.131	16.009
小计		100856	297781	9.607	0.119	9.726
2153.0 -> 2200.0	0.0 -> 1.0	0	0	0	0	0
	1.0 -> 6.0	24988	72445	4.452	0.021	4.472
	6.0 -> 12.0	1500	4400	7.536	0.029	7.565
	12.0 -> 100.0	9556	28397	16.849	0.059	16.908
小计		36044	105242	7.926	0.031	7.957
总计		4509719	13343271	10.545	0.727	11.272

4.4 本章小结

创建矿床块体模型及储量计算与品位分析是本论文的重点。本章主要完成了以下几个方面的研究工作：

- 讨论和总结了常规储量计算方法及距离幂次反比法和基于地质统计学的储量计算方法，并对比了它们之间的区别和优越性。
- 在第二、三章中完成的地质数据库、矿床实体模型等基础上创建了会东铅锌矿大樑子矿床块体模型。
- 通过组合样数据分析，获得了各矿段铅、锌品位在空间分布上和各向异性规律，并依此选取适应该规律的品位估值方法——修正的距离平方反比法，并确定了相应的计算参数。
- 完成了块体各属性的赋值与估值。其中品位估值根据矿床特征采取分矿段分别进行，矿石体重的估算利用地质块段求加权平均各块整体赋值的方法。
- 完成了矿床储量计算与品位分析，为矿山二期工程的生产提供生产进度编制、采矿方法设计等的科学依据。

根据对组合样数据的分析结果,铅、锌品位估算采用修正的距离平方反比法。修正的距离幂次反比法通过设置搜索椭球体来使估算方法提高对品位分布在空间上存在各向异性的适用性。普通的距离幂次反比法认为不同方向的已知样品值对待估值的权值贡献只与距离相关,即各向同性,这与工程实际存在较大出入。在本论文中,作者采用 R.彼道克斯(Bideaux)提出思想对距离幂次反比法进行修正:当某矿体品位沿不同方向变化不同时,在确定影响范围时不应是球形,而应是与各向异性相适应的椭球形。通过这样的修正,能明显改进距离幂次反比法在矿体品位变化有明显各向异性的条件下的品位估算与储量计算的适用性。当然很明显,与克吕格方法最大区别是修正后的距离幂次反比法估值依然不是无偏估计,因此其可能存在误差风险要大于克吕格法,但由于矿山所能提供的原始地勘数据存在缺陷,作者认为在此采用修正的距离幂次反比法是合适的估算方法,且通过与以往几次的储量计算结果对比验证了它是能满足工程实践需要的。

第五章 研究总结与工作展望

5.1 研究总结

三维数字矿床模型是信息化、数字化矿山的基础。通过建立会东铅锌矿大樑子矿床三维数字矿床模型,完成矿山资源、地质环境与采矿工程等的数字化、可视化,对矿山的信息化建设具有基石性的重要意义。本文在建立大樑子三维数字矿床模型的基础上,对矿床铅、锌品位分布进行分析,并计算出矿石与金属储量及各分层矿石平均品位。

本论文取得了如下主要研究成果:

(1)在分析处理矿山以往地质勘探结果的基础上,建立了大樑子铅锌矿床地质数据库,并据此分析了铅锌品位的空间分布规律。

(2)建立了大樑子铅锌矿床 1 号矿体 I ~ V 矿段的实体模型,并计算出各矿段的体积矿量;建立了矿山地表地形、露天采场与矿山二期工程地下采矿开拓系统主体工程实体模型,实现了在真三维空间中矿体、地质构造、采矿工程以及地表地形的可视化显示与交互;为矿山提供了基于真三维空间进行采矿工程设计的环境与手段。

(3)建立了大樑子铅锌矿床块体模型。针对 I ~ V 矿段分别分析了其铅锌品位分布规律,并采用可适用于各向异性的修正的距离幂次反比法分别估算了块体铅锌品位,在此基础上计算 I ~ V 矿段乃至整个矿床各分层矿石、金属储量、平均品位,直至整个 1 号矿体总储量。分析计算结果对照以往地勘成果,体现了其可靠性,并为矿山采矿工程设计与生产进度计划编制提供了依据与基础。

信息化、数字化矿山建设是一项基础性的工作,它对矿山的改变是全面性和长效性的。本论文研究成果的应用将显著提高矿山的生产技术与管理水平。

本文的研究过程中,作者在如下几个方面具有创新性:

- 针对矿山历次勘探结果中样品空间位置及工程的测斜信息没有原始数据编录,而只在 AutoCAD 图中编录的情况,作者开发了利用线文件导入地勘数据的 Surpac 软件二次开发应用工具。该方法实现了图形方式导入样品空间定位信息,避免了使用常规导入数据不可避免的巨大量算工作量,减少了量算误差。

- 利用插入空样的方法将一些断续的勘探工程接续为一个工程的方法，大幅度地减少了数据导入工作量。
- 采用纵、平剖面结合的方式进行原始地质解译结果的校正和矿体实体模型连实体，较好地保证了地质解译结果的准确性，提高了实体模型与矿山地质实际的一致性。
- 采用修正后的距离幂次反比法以适应样品金属品位空间分布上的各向异性。

5.2 工作展望

根据本论文提出的会东铅锌矿数字化、信息化矿山建设流程，矿山在下一步的数字化、信息化矿山建设工作中应该继续遵循“总体规划、分步实施”原则。通过分析矿山特点与目前生产实际情况，在本论文研究的基础上，作者建议会东铅锌矿数字化、信息化矿山建设下一阶段应该开展如下两个方面的研究与建设：

- 基于泄漏电缆通讯技术的地表/井下综合通讯系统
- 基于虚拟现实技术的虚拟矿山

5.2.1 基于泄漏电缆通讯技术的矿山综合通讯系统方案

会东铅锌矿一期工程是露天采矿，在地表实现通讯无论是采用有线还是无线方式都相当便利，但进行二期工程的地下开采后，常规的通讯技术就很难满足要求。目前矿山地表使用的通讯手段主要是：有线电话、对讲机及移动电话，这些手段与技术无一能完全满足井下-井下、井下-地表间的通讯要求^[30]。随着现代矿山通讯技术的发展，目前可适用于井下矿山的通讯技术已有许多新的技术手段与设备。其中在国际上用得比较成熟的有以泄漏电缆为基础的无线+有线井下通讯技术，该技术目前在我国的煤炭矿山也有许多成功的应用案例^{[31]-[36]}。综合考虑矿山的实际需求与客观条件，在会东铅锌矿二期工程建立一套基于泄漏电缆通讯技术的矿山综合通讯系统能从根本上解决目前矿山办公区、露天采场与井下的有效通讯问题。

矿山井下受巷道非自由空间的限制，在巷道中电波受到传播信道的制约，矿井巷道被视为无线电通讯的禁区。以往采用的载波通讯，移动的通讯设备体积大、通讯设备需与动力线路连接，不但给使用造成不便，还受动力网谐波影响产生噪音、以及与动力网直接接触等危害。可井下作业的设备运行、流动的作业人员之间和生产组织人员之间有机地联系以要求有一套安全、可靠的通讯系统。在井下通讯巷道架设一泄漏电缆，由该电缆传送射频无线电信号的同时，也可向周围进行有线辐射，从而起到传输线和天线的的作用，即形成了有线与无线相结合的通讯

方式。由于泄漏电缆的这种特性,可使其周围形成一连续的无线电波泄漏场,以至在巷道的任何截面都有无线电波的场强。该电缆和移动电台的天线进行双向可逆的藉合,将移动电台和基地台之间的复杂的距离电磁波,转化为移动电台下泄漏电缆之间的简单的近距离传播。为使信号能够远距的输送,在电缆的一定长度上加设中间继电器放大器,补偿损失的能量,以此保证通讯覆盖范围内的可靠通讯。

矿山综合通讯系统是相对于目前我国矿山功能相对单一的通讯系统而言的,构建矿山综合通讯系统是矿山井下智能化开采的内在要求,也是矿山通信系统发展的必然趋势。这是因为:

(1)矿山井下智能化开采的目的是为了实现矿山最优经济生产,而在条件发生变化时维持最优产值是个连续优化过程,在此过程中必须考虑到各个相关因素,其中矿山井下实时、动态、海量数据的传输是非常重要的,为此目标,必须构建井下信息高速公路。

(2)长期以来,国内矿山基本的井下通讯系统采用有线电话方式,同时,矿山在建设和生产过程中,为了满足其他方面通讯的要求,还分别针对不同系统分别建立了与所建系统相应的通讯网络(如监测系统的通讯网络)。当前国内矿山井下通讯系统和技术概括起来,存在以下一些问题:①重视井下长期固定作业地点,忽视相对移动大的作业地点。有线方式很难顾及到不断移动的工作场所和人员设备。②重视自上而下的联络,忽视自下而上的联络。目前的通讯方式属于点对面的形式,即地面的人只能向井下各中段总机联系,不能直接与想找的人联系。③重视地表/井下之间的纵向通讯,忽视井下各采场、各掘进作业面、各个天井等生产作业地点之间的横向通讯。④矿山井下各种监测、监控系统繁多,相互独立,自成体系,信息不能互通,整体可靠性差,维修、维护困难,由于没有整体的综合通信平台,通讯网络建设重复投资频繁、且信息不能综合利用,难以从系统工程的整体角度来对矿山进行统一的自动化调度管理。

为使无线信号覆盖井下工作空间,泄露电缆通讯系统主要通讯媒介采用一种横向屏蔽得到适当削弱的通讯电缆(每段电缆 400 米左右,电缆之间由中继放大器连接),因此不仅能够在纵向上象有线电缆那样传输信号,同时也可以在横向上向外发射和接收无线信号,事实上它是一种无线/有线的综合通信平台,该平台可以传输普通的语音信号、摄像头采集的视频信号、各种监测和控制设备采集和发出的数据信号。

同时,泄露通讯系统还可以在前端机部分通过电话内联装置,实现同已有公众电话网(包括矿山的内部电话网和公共电话网)的连网通讯。另外,即使井下在电缆接头部位发生岩体坍塌事故,只要塌落体覆盖区域不超过 25m 以上,系统通讯不会中断。

在会东铅锌矿信息化、数字化矿山建设的过程中，基于泄露电缆通信平台可以采用模块化分期、分步进行建设，在统一的一套平台基础上，矿山可以根据自己的特点和建设需要，实现不同的功能。不会为满足不同目的而重复投资建设所需的通讯网络（见图 5-1）。若矿山数据流量特别高，泄露电缆不能满足需要，该系统还可以和光缆联合应用，从而建立综合通讯平台，就会东铅锌矿目前的规模初步分析看，泄露电缆应该完全能满足数据流量的需求。

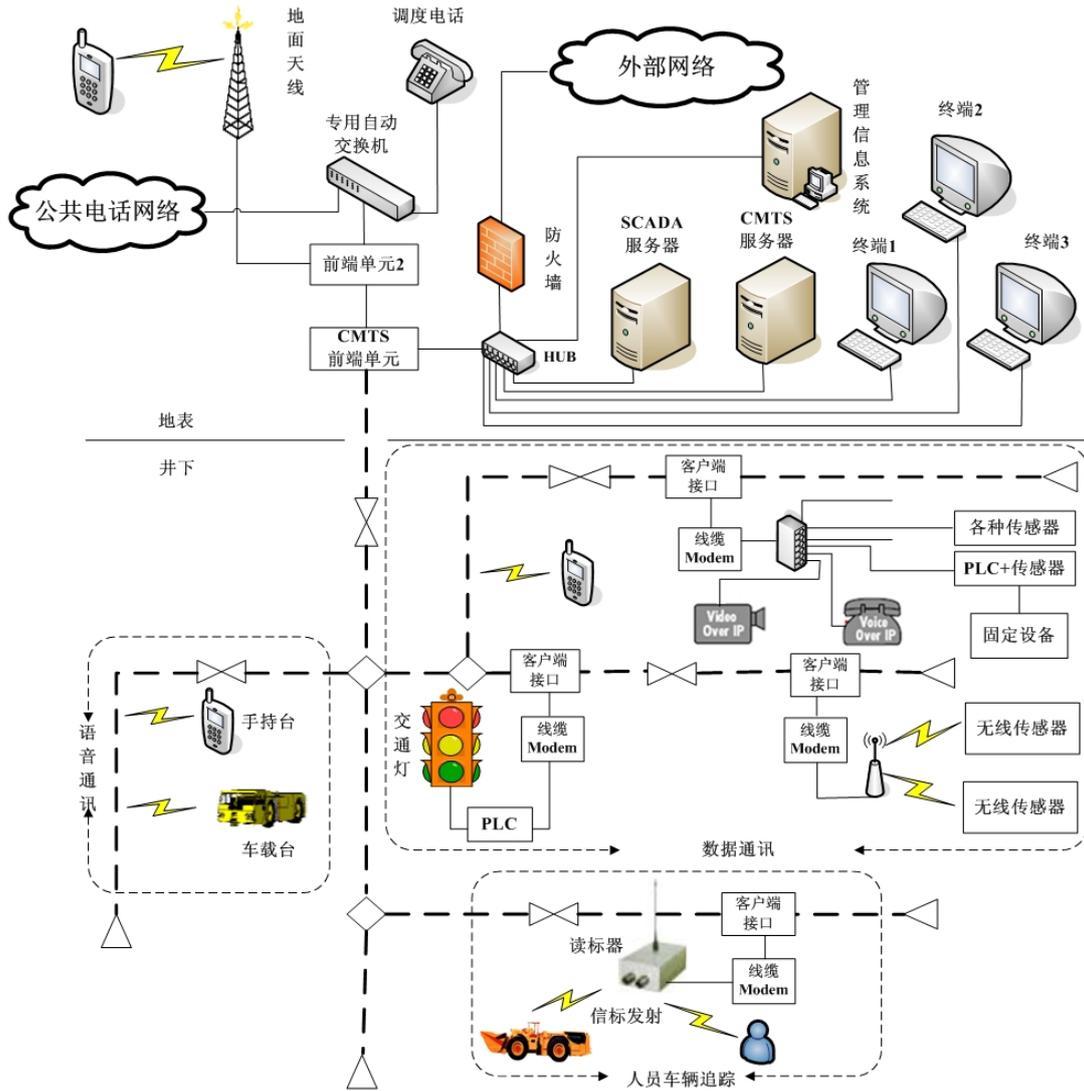


图 5-1 地表/井下综合通讯网络的拓扑结构图^[1]

5.2.2 基于虚拟现实技术的虚拟矿山建设初探

虚拟矿山如同数字矿山、数字地球一样，还是一个正在发展和演变的概念，虚拟矿山是虚拟现实技术在矿山中的应用。数字矿山和虚拟矿山内涵有所不同，前者是基于网络，虚拟的、非真实的矿山，属于虚拟地理环境的范畴；后者基于虚拟现实技术，是对真实矿山的模拟，属于地学虚拟环境，处于数字矿山的可视

化阶段。二者的联系在于，数字矿山和虚拟矿山都是对矿山的新型的表达方式，他们都依赖于网络技术、虚拟现实技术等现代信息技术。^{[37][38]}

虚拟矿山是指利用计算机虚拟现实技术建立的为用户提供一种模拟矿山的操作环境，使用户有一种仿佛置身于真实矿山一样的临境感，形成一个逼真的、具有视觉、听觉、触觉的感官世界，同时，还可以通过感觉、语言、手势等方式进行交互式操作的虚拟空间。用户不仅可以沉浸在虚拟矿山中，而且可以进行查询、分析、评价、规划和决策。虚拟矿山具有两个重要特征，其一为沉浸感，其二为交互性。沉浸感特征要求计算机所创造的虚拟城市能使用户产生身临其境的感觉，即具有立体视觉、听觉甚至触觉的感觉；交互性特征使用户能用人类熟悉的方式对虚拟矿山中的实体，进行观察和操纵，即人们能通过视觉听觉、嗅觉、体势、手势或口令参与到信息处理的城市环境中去，与虚拟物体进行交互，如移动由计算机生成的虚拟物体并产生符合物理的、力学的和生物原理的行为和逼真的感觉。^{[39]-[45]}

虚拟矿山建设具有如下重要意义：

- 为矿山创建一个真实的、身临其境的三维立体场景，在场景中可全方位、多方式、自由控制地漫游
- 构建一个良好地矿山展示平台，虚拟现实场景给人的沉浸感、交互性将带来无与伦比冲击效果
- 提供一个更直观、更方便的矿山工程设计方案展现与交流平台，便于多种方案的展现与对比。
- 通过虚拟采矿工艺流程，有利于生产工艺可行性、科学性验证
- 便于构建井可视化监控系统
- 便于生产过程中井下人员管理、设备监管以及运输系统调度等
- 可展现不同时期、不同阶段的矿山发展变化与对比
- 形成标准的三维矿山信息平台，并为矿山管理服务
- 可提供一个生产技术人员培训平台，使新进技术人员可迅速掌握矿山地质、采矿、生产等各方面基本情况

结合会东铅锌矿具体生产实际与条件，作者初步拟定了建设会东铅锌矿矿山虚拟现实仿真系统的开发流程（见图 5-2）。通过本论文的工作已经完成了三维数字矿床模型的开发，因此在建设矿山虚拟仿真系统时，虚拟场景基本要素已具备，只需要再补充诸如设备、人员等其他场景元素的建模。因此场景与人的交互是研究会东铅锌矿虚拟矿山的重点，也是体现其作用与意义的关键点。

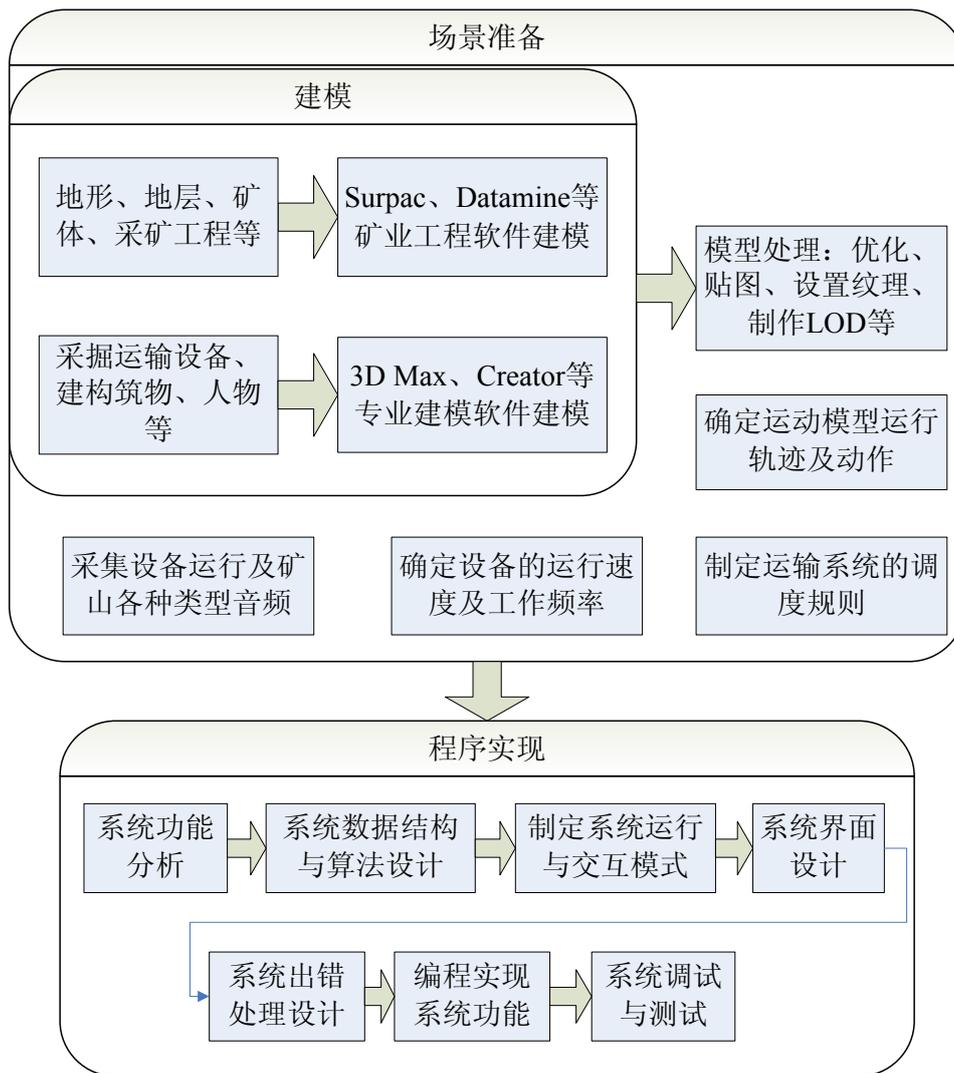


图 5-2 矿山虚拟现实系统开发流程

参考文献

- [1] 古德生, 李夕兵等. 现代金属矿床开采科学技术. 北京: 冶金工业出版社
2006
- [2] Surpac 国际软件公司. Surpac Vision 软件使用手册. 2004
- [3] Axelson A H. A practical Approach to Computer Utilization in Mine Planning. In:
4th APCOM, 1964
- [4] K. Diekmann. System modeling and simulation of processes of visualization. In:
29th APCOM, 2001
- [5] 李宏泽, 郭为国. 矿井地质钻孔数据库管理系统的建立与应用. 江苏煤炭,
1998(3)
- [6] 潘秀保. 地质数据库及其在安庆铜矿储量计算中的应用. 中国矿山工程,
1989(4)
- [7] 孙豁然, 余静. 建立矿山地质数据库的新方法. 金属矿山, 1988(11)
- [8] 李广英. 地质数据库的逻辑设计. 矿产与地质, 1998(02)
- [9] 赵鹏大等. 矿产勘查理论与方法. 武汉: 中国地质大学出版社 2001
- [10] 赵鹏大, 李万亨等. 矿床勘查与评价. 北京: 地质出版社 1988
- [11] B.M.克列特尔, 赵鹏大等译. 矿床的普查与勘探. 北京: 中国工业出版社,
1963
- [12] 中国地质调查局. DD2002—01. 固体矿产推断的内蕴经济资源量和经工程
验证的预测资源量估算技术要求. 北京: 地质出版社, 2002
- [13] 采矿设计手册 矿产地质卷 上 北京: 中国建筑工业出版社 1989
- [14] 卡日丹, 袁宝华等译. 矿产的普查与勘探. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990
- [15] 赵鹏大等. 地质勘探中的统计分析. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990
- [16] 赵鹏大, 胡旺亮, 李紫金. 矿床统计预测. 北京: 地质出版社, 1994
- [17] 潘冬, 李向东. 基于 SURPAC 的矿山三维地质模型开发. 采矿技术, 2006,
6(3): 499~501
- [18] 罗周全 刘晓明 苏家红等. 基于 Surpac 的矿床三维模型构建. 金属矿山,
2006, 4: 33~36
- [19] 杨建宇, 秦德先, 胡志军. Surpac 在大厂 92 号矿体经济评价中的应用. 昆明
理工大学学报(理工版), 2007, 32(2):1-3

- [20] 徐静, 胡乃联. Surpac 软件在某金铜矿山的应用研究. 黄金科学技术, 2007, 15(1): 54~58
- [21] 卢晋敏, 陈广平, 丁威. 大黑山钼矿三维矿体模型的构建. 矿业工程, 2007, 5(3): 68~70
- [22] 候景儒, 黄竞先. 地质统计学及其在矿产储量计算中的应用. 北京: 地质出版社 1982
- [23] 孙洪泉. 地质统计学及其应用. 徐州: 中国矿业大学出版社 1990
- [24] 刘方成, 秦德先, 燕永锋等. 地质统计学及其在云南金宝山铂钯矿的应用. 地质与资源, 2005, 14(4): 293-296
- [25] 邓明国, 王巨民, 秦德先等. 对数 Kriging 在矿体储量计算中的应用. 金属矿山, 2006(10): 49~51
- [26] 周智勇. 基于分形与地质统计学理论的矿床建模技术研究及实践: [硕士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2006
- [27] 孙洪泉, 康永尚, 杜惠芝等. 实用地质统计学程序集. 北京: 地质出版社 1997
- [28] A.J. 辛克莱. 概率图在矿床勘探中的应用. 北京: 地质出版社, 1981
- [29] 刘家铎, 张成江等. 攀西地区金属成矿系统. 北京: 地质出版社 2007
- [30] 冯茂林, 石立新. 现代矿山通讯系统. 矿山机械, 2001, 29(9): 35~37
- [31] 董维武. 国外矿山通讯系统(TTE)研究现状. 中国煤炭, 2007, 33(2): 74~76
- [32] 魏建伟, 王李管. 基于泄漏通讯技术的矿山井下综合通信网络. 江西有色金属
- [33] 周浩, 崔际. 井下无线通信系统在晓南矿的应用. 煤矿安全, 2006, 37(9): 34~36
- [34] 马文彪. 矿井无线电泄漏通讯系统. 同煤科技, 2002, (2): 11~12
- [35] 赵金明, 毛宝霞, 免光润. 矿井无线漏泄通信系统在煤矿的应用. 矿山机械, 2005, 33(3): 119
- [36] 王子君. 煤矿井下无线通讯与定位考勤系统. 煤矿安全, 2007, 38(2): 44~47
- [37] 伯迪著, 魏迎梅等译. 虚拟现实技术(第二版). 北京: 电子工业出版社 2005
- [38] 杨念哥, 李庶林. 矿山灾害信息管理与查询系统的开发. 矿业研究与开发, 2002, 22(6): 21~23
- [39] 洪炳镛. 虚拟现实及其应用. 北京: 国防工业出版社 2005
- [40] 杨念哥, 李庶林. 金属矿山地质灾害信息管理系统的开发. 中国地质灾害与防治学报, 2003, 14(1): 64~67

- [41] 舍曼等著, 魏迎梅等译. 虚拟现实系统——接口、应用与设计. 北京: 电子工业出版社 2004
- [42] 埃肯因等著, 普建涛译. 实时计算机图形学(第2版). 北京大学出版 2004
- [43] 杨成林, 周科平, 杨念哥等. 地下矿山运输系统建模与仿真. 数学的实践与认识, 2007, 37(23): 26~30
- [44] 张海明, 孙燕, 郭丹. 基于 OpenGL 的三维虚拟煤矿系统的实现. 科学技术与工程, 2007, 7(4)
- [45] 赖特, 利普查克著, 徐波译. OpenGL 超级宝典(第三版). 人民邮电出版社 2005

附件 1:

I ~ V 矿段的体积报告文件

注: 为矿山地质资料保密原因, 体积报告中隐去了三角网的坐标范围

***** I 矿段体积报告文件*****

实体模型报告

图层名: 1 矿段.dtm

体 = : 1

三角网 = : 1

验证 = 通过

状态 = 实心体

表面积 = : 22758.613

体积 = : 56756.304

体 = : 15

三角网 = : 1

验证 = 通过

状态 = 实心体

表面积 = : 689.731

体积 = : 226.647

体 = : 16

三角网 = : 1

验证 = 通过

状态 = 实心体

表面积 = : 3191.685

体积 = : 1085.687

体 = : 17

三角网 = : 1

验证 = 通过

状态 = 空心体

表面积 = : 134.064

体积 = : -59.959

Totals

表面积 = : 26774.093

体积 = : 58008.679

***** II 矿段体积报告文件*****

实体模型报告

图层名: 2 矿段.dtm

体= : 2

三角网 = : 1

验证 = 通过

状态 = 实心体

表面积 = : 198550.041

体积 = : 1322066.467

体= : 15

三角网 = : 1

验证 = 通过

状态 = 空心体

表面积 = : 404.957

体积 = : -251.855

Totals

表面积 = : 198954.998

体积 = : 1321814.612

***** III 矿段体积报告文件*****

实体模型报告

图层名: 3 矿段.dtm

体= : 3

三角网 = : 1
验证 = 通过
状态 = 实心体
表面积 = : 134070.471
体积 = : 1191692.094

体 = : 15
三角网 = : 1
验证 = 通过
状态 = 实心体
表面积 = : 1706.531
体积 = : 1418.834

体 = : 16
三角网 = : 1
验证 = 通过
状态 = 空心体
表面积 = : 811.101
体积 = : -441.338

体 = : 17
三角网 = : 1
验证 = 通过
状态 = 空心体
表面积 = : 383.034
体积 = : -217.910

Totals

表面积 = : 136971.137
体积 = : 1192451.680

*****IV矿段体积报告文件*****

实体模型报告

图层名: 4 矿段.dtm

体 = : 4

三角网 = : 1

验证 = 通过

状态 = 实心体

表面积 = : 152613.274

体积 = : 966810.740

体 = : 15

三角网 = : 1

验证 = 通过

状态 = 实心体

表面积 = : 6425.154

体积 = : 8579.792

体 = : 16

三角网 = : 1

验证 = 通过

状态 = 实心体

表面积 = : 833.600

体积 = : 632.434

体 = : 17

三角网 = : 1

验证 = 通过

状态 = 实心体

表面积 = : 579.506

体积 = : 231.902

体 = : 18

三角网 = : 1

验证 = 通过

状态 = 空心体

表面积 = : 448.076

体积 = : -281.930

Totals

表面积 = : 160899.611

体积 = : 975972.939

***** V 矿段体积报告文件*****

实体模型报告

图层名: 5 矿段.dtm

体= : 5

三角网 = : 1

验证 = 通过

状态 = 实心体

表面积 = : 311752.418

体积 = : 2233981.884

体= : 15

三角网 = : 1

验证 = 通过

状态 = 实心体

表面积 = : 224.666

体积 = : 114.850

体= : 16

三角网 = : 1

验证 = 通过

状态 = 空心体

表面积 = : 1311.125

体积 = : -1433.453

体= : 17

三角网 = : 1

验证 = 通过

状态 = 空心体
表面积 = : 874.964
体积 = : -1373.913

体= : 18
三角网 = : 1
验证 = 通过
状态 = 空心体
表面积 = : 1145.445
体积 = : -1209.849

体= : 19
三角网 = : 1
验证 = 通过
状态 = 空心体
表面积 = : 813.490
体积 = : -490.700

体= : 20
三角网 = : 1
验证 = 通过
状态 = 实心体
表面积 = : 596.159
体积 = : 313.011

体= : 21
三角网 = : 1
验证 = 通过
状态 = 空心体
表面积 = : 656.682
体积 = : -431.008

体= : 22
三角网 = : 1

验证 = 通过
状态 = 空心体
表面积 = : 343.480
体积 = : -205.665

Totals

表面积 = : 317718.429
体积 = : 2229265.158

附件 2:

会东铅锌矿大樑子三维数字矿床模型电子文件清单

地质数据库文件:

- 会东铅锌矿.mdb
- 会东铅锌矿.ddb
- 铅组合样_矿段 1.str
- 铅组合样_矿段 2.str
- 铅组合样_矿段 3.str
- 铅组合样_矿段 4.str
- 铅组合样_矿段 5.str
- 铅组合样_矿段 1-5.str
- 锌组合样_矿段 1.str
- 锌组合样_矿段 2.str
- 锌组合样_矿段 3.str
- 锌组合样_矿段 4.str
- 锌组合样_矿段 5.str
- 锌组合样_矿段 1-5.str

实体模型文件:

- 地表
 - 地表.dtm
 - 地表.str
- 开拓系统
 - 开拓系统.dtm
 - 开拓系统.str
 - 2 方形断面.str
 - 20 巷道断面.str
 - 20 圆断面.str
 - 25 巷道断面.str
 - 25 圆断面.str
 - 27 巷道断面.str
 - 30 巷道断面.str
 - 30 圆断面.str
 - 35 巷道断面.str
 - 40 巷道断面.str
- 矿体
 - 1 号矿段.dtm
 - 1 号矿段.str
 - 2 号矿段.dtm
 - 2 号矿段.str

3 号矿段.dtm
3 号矿段.str
4 号矿段.dtm
4 号矿段.str
5 号矿段.dtm
5 号矿段.str
1-5 号矿段.dtm
1-5 号矿段.str
4-27 勘探线面实体
0.dtm
0.str
1.dtm
1.str
2.dtm
2.str
3.dtm
3.str
4.dtm
4.str
5.dtm
5.str
7.dtm
7.str
9.dtm
9.str
11.dtm
11.str
13.dtm
13.str
15.dtm
15.str
17.dtm
17.str
19.dtm
19.str
21.dtm
21.str
23.dtm
23.str
25.dtm
25.str
27.dtm
27.str

块体模型文件：

大梁子块体模型.mdl

约束

1 矿段.con

2 矿段.con

3 矿段.con

4 矿段.con

5 矿段.con

1-5 矿段.con

地采矿体.con

空气.con

围岩.con

致 谢

本文是在导师李夕兵教授的悉心关怀与指导下完成的。攻读学位期间，工作与学习上一直承蒙李老师的支持与指导。导师的学术水平受人敬仰，工作与科研工作作风一直是作者的学习榜样。有李老师这样一位导师兼工作上的领导实是作者人生之万幸！在此向李老师致以最衷心的感谢！

在此还要特别感谢周科平教授，周教授作为作者工作上的领导及科研团队的学术带头人，无论是工作、学习还是生活上对作者都有无微不至的关怀，作者的成长离不开周教授的帮衬与督导。当然也要感谢作者课题组的肖雄、邓红卫、胡建华几位老师，感谢你们无私的帮助与协作。同时也感谢资源与安全工程学院领导与各位老师的支持与帮助。

高峰博士、陈庆发博士以及周科平教授所有的博士与硕士研究生对作者完成研究与论文提供了许多帮助，在此深表感谢。

另外，会东铅锌矿的各位领导、工程技术人员在本文的研究工作给予充分的支持与协作，在此一并表示感谢！

特别感谢我的爱人胡爱平博士，在我学习期间无论在家庭还是精神上都给予了我无尽的爱，使我无后顾之忧。也感谢我四岁的儿子杨逸轩，为我辛苦工作和学习中增添了许多快乐和前进的动力。

衷心感谢各位专家、教授对本论文的评审和指教！

本文中引用了许多同行与学者研究成果与资料，在此一并表示感谢！

攻读硕士期间主要研究成果

一、参与科研项目

1. “十·五”国家科技攻关项目（2003BA612A-10-1）——复杂充填体下顶板诱导崩落连续采矿综合技术研究
2. “十·一五”国家科技支撑计划项目（2006BAB02A02）——松软破碎金属矿床安全高效开采综合技术研究
3. 云锡区域矿山生产系统优化及信息化、现代化矿山研究
4. 会东铅锌矿矿床三维模型与应用研究
5. 云锡卡房多金属矿采矿环境再造采矿嗣后充填技术研究
6. 喀拉通克铜镍矿松软件破碎矿体开采综合技术研究

二、发表学术论文

1. 杨念哥, 陈庆发, 高峰. 缓倾斜巷式采场收敛基线布置与位移计算[J]. 采矿技术, 2008年第1期
2. 李杰林, 周科平, 苏家红, 杨念哥, 胡建华. 矿岩自燃发火巷道烟气流动的数值模拟及评价[J]. 矿冶工程, 2006年第4期
3. 杨成林, 周科平, 杨念哥, 邓红卫. 地下矿山运输系统建模与仿真[J]. 数学的实践与认识, 2007年第37卷第23期
4. 杨成林, 周科平, 高文翔, 杨念哥. 改进的最小费用理论在盲竖井选址中的应用[J]. 数学的实践与认识, 2008年第38卷第1期
5. 胡建华, 周科平, 古德生, 杨念哥. 采矿与岩土工程专业数字化应用能力培养的教学探讨[J]. 现代教育通讯, 2007年第3期

三、获奖情况

2007年获中国有色金属工业协会科技进步一等奖, 排名第13位。