

矿山数字化信息系统及其应用研究

秦德先, 陈爱兵, 燕永锋, 高志武, 杨建宇

(昆明理工大学国土资源工程学院, 昆明 650093)

[摘要] 应用矿床数学经济模型软件包、地理信息系统软件, 在 PC 机平台上建立了十余个矿山的数字化信息系统, 并用于矿山生产动态管理、生产规划、生产方案与系统优化决策、资源的合理开发利用、老矿山边部、深部找矿增储等, 有益于提高矿业开发的社会经济效益。

[关键词] 矿山数字化信息系统; 动态管理; 资源合理利用; 矿山成矿预测

[中图分类号] TD2; TD8 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2005)04-0047-07

信息、通讯、监控等科学技术的发展, 为矿山数字化信息系统的建设提供了机遇。矿产资源是现代国民经济发展最重要的物质基础。目前, 我国 90% 以上的一次能源、80% 以上的工业原料和 30% 以上的生产生活用水均来自矿产资源; 矿业和以矿产品为原料的加工工业产值占了国民生产总值的 30%; 矿产品及相关能源、原材料进出口总额约占全国进出口总额的 15%。因此, 矿产资源的可持续供应是我国经济发展、国家安全和工业竞争的重要保障。进入 21 世纪以来, 我国持续、稳定、高速的国民经济增长, 对保障矿产资源供给表现出了更为强劲的要求。解决好矿产资源有限与需求量增加的矛盾, 矿山资源危机与矿产资源浪费严重的矛盾, 矿产开发与环境污染的矛盾, 是关系到社会经济可持续发展的重要问题^[1], 也是本文研究的宗旨。矿山数字化信息系统是应用矿产经济、数学地质、信息技术的原理与方法, 通过计算机及软件把矿床地质、矿产开发等有关信息, 以地理坐标为标准有机集成起来, 并通过数学分析研究, 建立这些数据的三维空间联系, 实现矿山数字化、可视化, 从而解决矿山生产动态管理、生产方案优化决策、矿山生产规划、矿床边深部找矿增储、资源的合理开发利用等技术问题, 以便减少资源的浪费和

环境污染, 提高矿业开发的社会经济效益。

1 系统的主要内容及目标

这里所指的矿山数字化信息系统由 4 个亚系统组成, 即矿区地表(浅部)数字化信息亚系统、矿床三维立体经济模型数字化信息亚系统、探采工程数字化信息亚系统、矿产资源规划及矿山开发方案对比优化决策亚系统。主要研究内容列于图 1。

目前系统使用的软件以昆明理工大学开发的矿床数学经济模型软件包^[2]为主, 在地形建模中应用了中国地质大学研制的 MAPGIS 软件, 在三维可视化中应用了 MICROMINE 矿业软件系统。

昆明理工大学开发的矿床数学经济模型软件包, 以 Windows 98 (2000/NT 或更高) 为操作平台, 采用目前流行的 Access 数据库, 以先进的可视化编程语言 Visual Basic 6.0 为开发工具, 结合矿山生产实际开发而成。该软件包是近 10 年来昆明理工大学矿产地质研究所学校多学科的优势, 组织地质、矿业工程、经济管理、计算机、数学等专业的科研人员, 结合我国矿山实际, 系统研究和编制的。其主要功能有: 地质数据的录入, 样品组合, 品位数据的统计分析, 地形建模, 岩性建模, 变异函数计算, 理论拟合, 交叉验证, 品位估计,

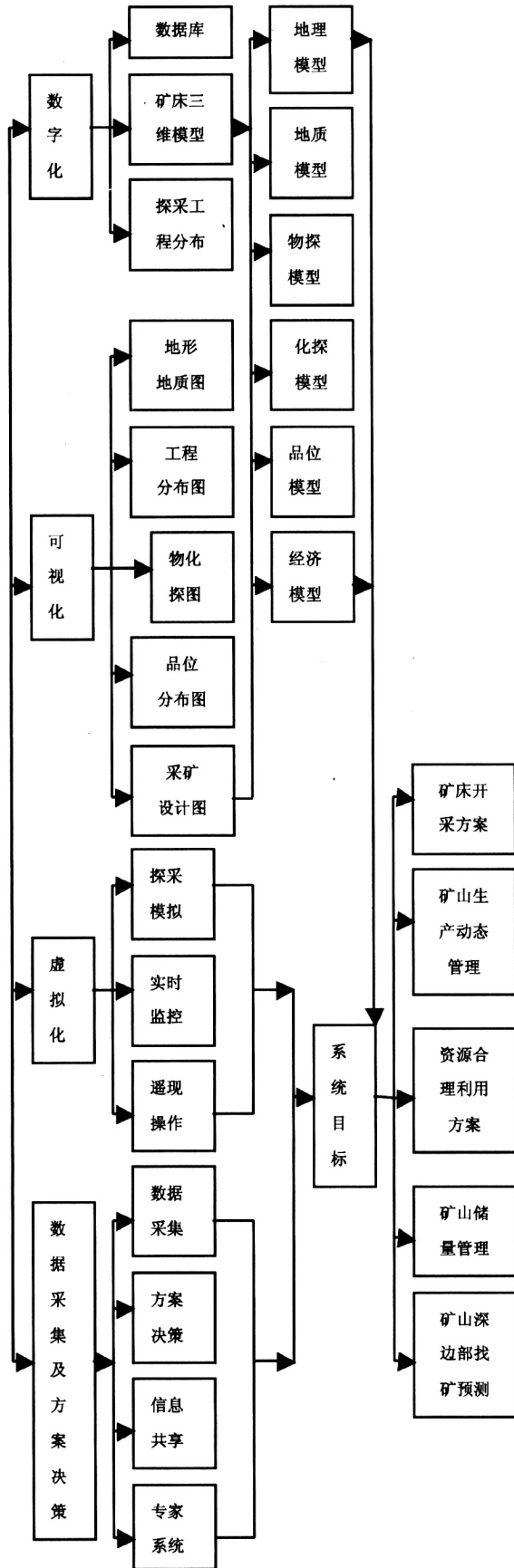


图 1 系统内容与目标框架结构图

Fig.1 The frame of systematic content and goal

储量计算, 经济评价, 采矿设计, 储量计算及图形绘制。

目前, 该软件已能与国内矿山企业普遍使用的 MAPGIS, AUTOCAD 等软件结合于一体, 并进行了创新性的二次开发, 使之能够更好地为我国矿山生产服务。该软件与国内外目前同类软件相比有以下优点:

中文界面, 操作简单, 结合中国国情, 易推广和易普及;

提供以文本格式为主、数字化仪录入为辅两种录入手段, 具有完备的错误报警、误差校正方法等功能;

灵活多样的查询、编辑和输出功能以及规范化的报表、图形输入样式;

提供了与其他数据库和相关软件接口的功能, 使该系统的数据库可被其他数据库管理系统和相关软件查询和编辑;

直接面向矿山生产设计者, 完成设计者要做的各种计算和绘图工作, 内容覆盖了矿山地质、矿山设计的全过程。

该软件已推广应用于云南易门狮子山铜矿、凤山铜矿、大姚铜矿、元江金矿、个旧锡矿、晋宁磷矿、华宁火特磷矿、江川清水沟磷矿、圭山煤矿、广西大厂铜坑锡矿、高峰锡矿、甘肃白银厂铜矿、四川会理铅锌矿等省内外 14 个矿床, 说明适用的矿床矿种类型多, 包括金属、非金属、煤田和磷化工矿产。

该软件配合完成了包括国家“九五”科技攻关等 10 余项科研项目。根据广西大厂锡矿、云南火特磷矿、晋宁磷矿、江川清水沟磷矿、大姚铜矿、易门铜矿、圭山煤矿等 8 个矿山企业的实际应用表明, 应用该软件每年可为矿山增收节支 5.393×10^8 元, 如果按矿山服务年限 10 年计, 创经济效益总计可达 5.393×10^9 元。另外, 在科研中新增加的金属储量有金 10 t, 铜 4×10^4 t, 锡 5 488 t、锌 42 610 t。

MICROMINE 国际矿业软件系统, 是澳大利亚 MICROMINE 矿业软件有限公司开发的, 目前在世界拥有客户 2 500 家。该软件系统包括地质模拟、矿体模型、露天矿设计、井下开采设计等 20 个模块。自 2003 年起, 昆明理工大学与 MICROMING 公司合作, 在全国范围开展了矿山数字化与生产动态管理研究。昆明理工大学负责地

质研究、软件汉化、说明书的翻译、人员培训、咨询服务等技术支持。并根据用户所提出的特殊要求，结合中国矿山具体实际，为用户提供有针对性的个性服务。

10年来，我们对比使用过3个国外同类软件，即美国的DEPOSIT MODEL，英国的DATEMINE软件和澳大利亚MICROMINE软件。MICROMINE软件系统则有适用范围较广，覆盖了矿产地质普查、勘探到矿山设计、生产全过程；计算和显示速度快；三维显示功能强；易于操作和普及等4大特点。

2 矿山数字化信息系统的应用

2.1 矿山的生产动态管理

包括资料数据的动态查询、矿体的动态圈定、计算机的自动成图。

2.1.1 资料数据的动态查询 原始资料数据库和矿床模型是矿山三维空间数字化的基本组成部分，实质上是矿床地质勘探、生产探矿和矿山开采的三维空间数字化成果。以计算机为工具建立的原始资料数据库和矿床模型，可代替原有地质资料馆中的核心内容，也就是说有了原始资料数据库和矿床模型后，原来地质资料馆内的探、采资料可作为历史文物束之高阁，不必再艰难、烦琐和低效地去查阅了。需要什么数据，可随时在计算机上高效、便捷地查询到。例如需要某个钻孔、坑道工程的资料，或者某个探矿工程某一空间位置的取样化验品位，只要你给出这个工程的名称或孔口坐标，在计算机上立即就可以查到；需要任何剖面、任何中段或任何采场矿体的产状、空间分布、厚度、品位等资料数据，只要给出其空间位置或名称，在计算机上立即可查找到。而且，可以根据需要，对这些资料数据进行增删、补充、修改。

2.1.2 动态多方案圈定矿体和多目标决策 矿床数字化后，矿山企业可根据采、选、冶、运、管成本，产品的市场价格，并考虑矿产的充分合理利用，动态多方案圈定矿体，进行多方案对比，选择最优矿体开采方案。矿床工业指标是可变的。即使是同一矿种类型的几个矿床，矿床规模、矿体埋深、厚度、矿石品位组分往往差异较大；采矿方法、成本和矿石选矿性能、成本也不会一样；矿床所处的自然地理及交通也会有差异。如广西大厂锡矿与云南个旧锡矿，大厂锡矿92号矿体与100号

矿体，差异都很大。由于这个原因，矿床的工业指标也不可能是千篇一律。国家制定的矿床工业指标，是指一般情况而言，有一定参考作用，但对于一个具体矿床而言，不能生搬硬套，应根据矿床具体情况作合理调整，使之符合矿床实际。矿床工业指标的变化，会产生连锁反应，即“一动百摇”。如边界品位的变化，会引起矿体形态（个数）、产状、平均品位、矿石储量、设计生产能力、矿山服务年限等变化，甚至引起采选工艺、成本指标、有用组分回收率与矿山生产经济效益的变化。矿床数字化后就可以选择多个指标动态圈出多种方案矿体。如大厂某锡矿，边界品位国家定为0.15%（质量分数，以下同），我们可把除Sn外的其它有用组分的含量按生产成本和产品价格折算成锡的含量，并按Sn 0.10%，0.15%，0.20%，0.25%，0.30%，0.40%，0.50%，0.60%，0.70%，0.80%等10个指标分别圈出10种矿体方案，每个方案都会得出一组矿体参数、加工参数和经济参数。在此基础上，应用多目标决策的方法优选出最优方案供企业使用。根据当时锡的市场价格和生产成本，考虑到资源的合理利用，优选出的最优方案是Sn的边界品位为0.30%，相应的矿体平均品位为1.01%。这种矿体多方案圈定和多目标决策，可根据生产成本和产品的市场价格的变化，随时进行调整^[3]。

需要指出的是，这种多方案圈定矿体和多目标决策，只有在用计算机数字化后方能进行，用传统方法是无能为力的。假如一个中型铜矿床，勘探结束后用一种边界品位并按传统方法圈定矿体，计算储量，包括制图等需二三十人和3~6个月时间方能完成。但如果矿床数字化后，用10种边界品位分别圈定10种矿体，用计算机分别计算储量和制图，只要2人3天时间就可以完成。

2.1.3 自动成图 矿山数字化后，可自动生成矿体图。矿体图包括矿体纵横剖面图、中段图、岩性图、探矿工程图与取样分析结果的纵横剖面图、中段图。还可生成矿体等厚线图、品位等值线图和矿体顶底板等高线图。可以根据需要绘制任一范围，任一方向，任一比例尺的图纸。矿体剖面图只要给出剖面的两个端点的坐标，或一个端点的坐标和方位，就可立即绘出图纸。中段图可以绘制任一水平中段、任一范围和比例尺的图纸，只要给出标高便可立即绘制出来。矿床数字化后，还可在计算机上

快速计算出任一三维空间范围内的矿体平均品位、储量，并绘制出表格。这些图纸和表格可在计算机中随时绘出，供矿山地质、矿山设计和矿山生产动态管理之用。

2.1.4 矿山主要要素三维立体显示 矿山主要要素包括：地形、地物、矿区地质、矿体形态、产状、探采工程系统等，从图2可以看到断裂、矿体、各种探采工程的三维空间分布关系。

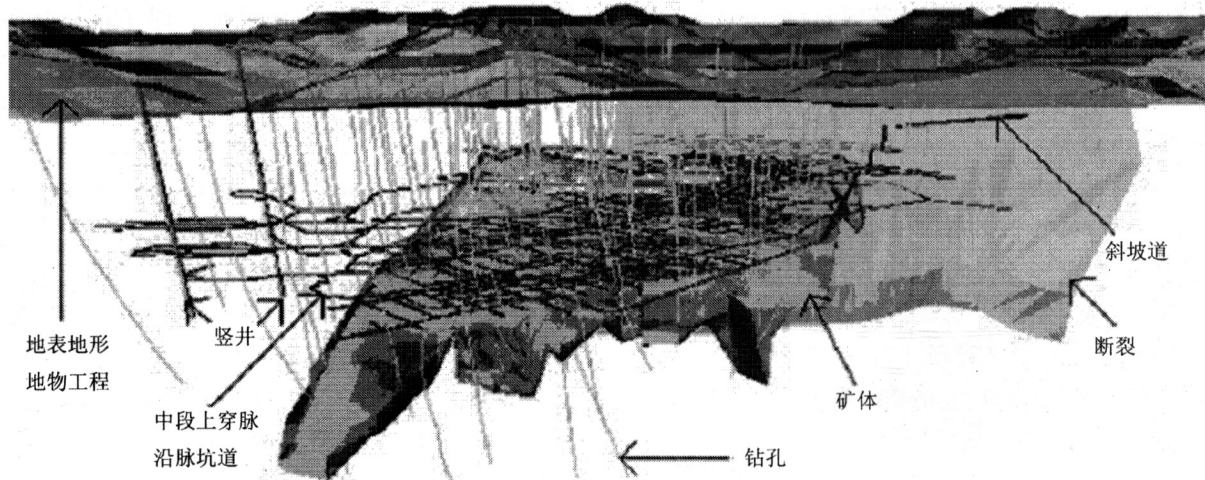


图2 广西大厂铜坑矿三维立体显示

Fig.2 The three dimensional display of copper pit mine in Dachang of Guangxi

2.2 实现资源的合理开发利用，减少资源浪费和环境污染

2.2.1 中低品位矿石的利用 以云南省磷矿为例加以说明。云南省磷矿的资源量、富矿储量均居全国首位。但现储量中富矿储量也只占25%，故其中贫矿石的利用是一个大应该重视的问题。近年不少磷矿山，主要开采五氧化二磷 $\geq 30\%$ 的富矿销售，大量中贫矿石堆积如山，既浪费了资源又污染了环境，滇池水体磷超标严重，可能主要与此有关。矿床数字化后，可根据不同产品的厂家对原料的要求，通过有目的、有计划地采矿，富矿石与中低品位矿石按一定比例配矿成为商品矿石，从而增加了中贫矿石的利用率。

华宁县有3个大型磷矿床，储量几亿吨，交通运输方便。县磷化工公司近年已新建了规模为年产黄磷 2.3×10^4 t黄磷厂。但磷矿石主要外购于澄江、江川，县磷矿尚未开发利用。用澄江、江川矿石不但运距远，而且 SiO_2 低、 CaO 高， SiO_2/CaO 低，作为黄磷生产的矿石原料，还得到石屏硅石来配矿，大大增加了成本。华宁县磷矿矿石具有高硅、低镁、 P_2O_5 品位中等的特征，是生产黄磷较好的原料。通过数字化和建立数学经济模型，可定量查明矿床三维空间 P_2O_5 品位及 SiO_2 、 CaO 、

MgO 等组分的含量分布规律，只要定点采矿和按一定比例配矿，高低不同品级矿石可以同时利用，这样既可充分合理地开发利用矿产资源，又可满足黄磷厂就近供料，大大降低生产成本，提高效益。

江川清水沟磷矿过去只采28%以上的矿石，中贫矿石堆在荒坡之上，经过雨水冲刷，污染了星云湖。矿床数字化后，2001年通过配矿，经财务计算，已利用了低品位矿石 5.6×10^4 t，为企业增收节支约400万元。

2.2.2 多组分矿物资源的综合利用 以广西大厂92号矿体为例加以说明。据广西215队提交的勘探报告，大厂92号矿体，按当前技术经济条件，仅以单指标锡圈定矿体，该矿体为贫矿，无法开采。经矿床建模后，综合考虑锡、铅、锌、锑等元素，即根据生产成本和产品的市场价格，将伴生有用组分铅、锌、锑、银品位折算为锡的品位，再计算出矿体的综合品位，用综合指标圈定矿体，计算储量。结果矿石储量增加了2倍，品位增加了约1倍，提高了矿山企业的经济效益，充分合理地利用了矿产资源，延长了矿山服务年限，为矿山的可持续发展提供了科学依据（表1）。

2.2.3 品位指标优化和资源的充分合理利用 以元江金矿为例加以说明。1982年提交的云南元江

金矿的详细勘探报告，是后来矿山建设设计和生产的主要地质依据。限于当时的科学技术条件，湿法冶金和加工工艺水平不高，矿山生产的最终产品是浮选精矿。当时氧化矿因浮选回收率低，勘探时重视不足，研究程度低，品位指标定得过高，边界品位为 1 g/t，工业品位为 2.5 g/t。近年来湿法冶炼技术发展迅速，堆浸、全泥氰化-炭浆工艺水平不断提高，根据采选冶成本和产品的市场价格，过去圈定氧化矿的工业指标过高，已将大量矿石划为废石，既浪费了资源，又污染了环境。通过矿床数字化后，优化工业指标，重新圈定矿体和计算储量，

新增金储量有 10 t，为充分合理利用矿产资源，提高矿山生产的经济效益提供了科学依据^[4]。

2.2.4 矿物模型用于选矿的配矿和提高选矿回收率 以广西大厂锡矿 100 号矿体加以说明。广西大厂锡矿 100 号矿体锡、铅、锌、锑、银 5 种金属都是富矿，世界罕见。主要金属矿物组分磁黄铁矿、铁闪锌矿、脆硫铅锑矿、锡石等。选矿结果表明，锡的选矿回收率除与锡石矿物含量有关外，还与磁黄铁矿、铁闪锌矿、脆硫铅锑矿等矿物含量有定量关系（图 3，4）。因此在品位建模的基础上，可根据元素赋存规律、金属品位与矿物含量之间的关系

表 1 华锡铜坑矿 455 m 首采块段矿石量及综合平均品位表

Table 1 The ore volume and synthetical average grade of 455 m first exploitation block of copper pit mine in HUA-Sn

标高 /m	边界品位≥0.3 %		边界品位≥0.4 %		边界品位≥0.5 %		边界品位≥0.6 %		边界品位≥0.7 %	
	矿石量/kt	平均品位/%	矿石量/kt	平均品位/%	矿石量/kt	平均品位/%	矿石量/kt	平均品位/%	矿石量/kt	平均品位/%
455.0	117	1.192	109	1.256	105	1.284	103	1.3	100	1.321
450.0	143	1.316	138	1.347	131	1.399	120	1.473	114	1.517
445.0	170	1.39	164	1.428	151	1.511	143	1.562	131	1.645
440.0	212	1.427	206	1.455	195	1.511	182	1.579	166	1.673
435.0	246	1.451	245	1.458	236	1.493	229	1.524	215	1.583
430.0	282	1.572	280	1.581	276	1.596	268	1.629	260	1.657
425.0	314	1.674	311	1.687	307	1.701	305	1.71	299	1.728
420.0	338	1.711	335	1.727	332	1.735	328	1.752	323	1.767
415.0	401	1.611	392	1.638	390	1.644	383	1.663	379	1.675
410.0	410	1.618	404	1.636	398	1.654	388	1.684	384	1.694
405.0	431	1.609	428	1.62	421	1.639	413	1.661	405	1.68
总计	3064		3012		2942		2862		2776	

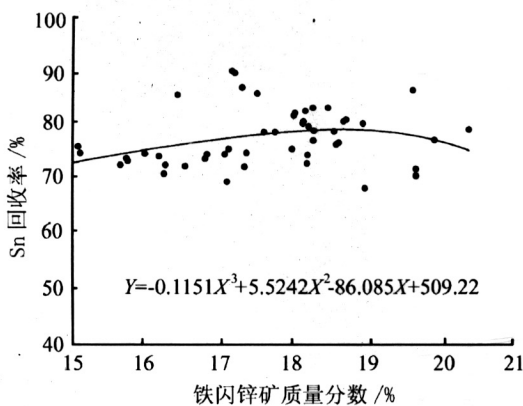


图 3 铁闪锌矿含量与锡的回收关系

Fig.3 The recovery relation between the content of newboldite and Sn

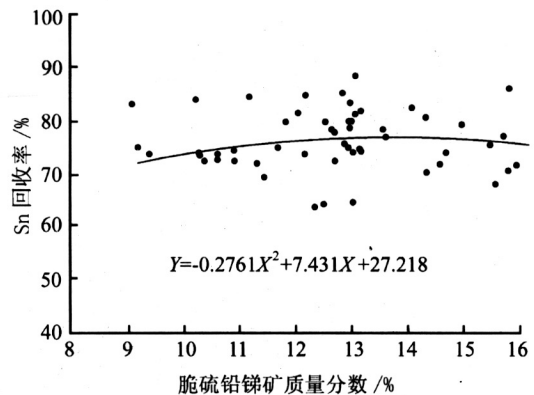


图 4 脆硫铅锑含量与锡的回收关系

Fig.4 The recovery relation between the content of jamesonite and Sn

系，建立起矿物模型，查明三维空间各矿物定量分布规律。在此基础上，通过定点采矿和按比例配矿，可保持人选矿石中矿物含量有利配比，从而提高选矿回收率，降低选矿药剂的用量。

2.3 资源储量管理和矿山生产规划

通过建立矿山数字化，可随时掌握各个矿体各类矿石储量、矿山各级储量总量、已开采储量、保有储量以及开拓储量、采准储量、备采储量的数量、质量及其空间分布规律，为矿山制定近期生产计划和长远长期的发展规划（表2，表3）。

表2 广西大厂锡矿储量统计

Table 2 The reserves statistics of in Dachang Sn mine of Guangxi

矿体 编号	计算 指标	边界品位 0.3%		边界品位 0.4%		边界品位 0.5%		边界品位 0.60%	
		金属量/t	平均品位/%	金属量/t	平均品位/%	金属量/t	平均品位/%	金属量/t	平均品位/%
92号	Sn	A	0.68	0.85A	0.82	0.73A	0.96	0.62A	1.03
	综合	2.81A	1.05	2.7A	1.14	2.58A	1.23	2.45A	1.32
细脉带	Sn	0.2A	1.02	3.69A	1.14	0.17A	1.25		
100号	Sn	0.21A	2.41	0.21A	2.50	0.207A	2.60		
总计		4.22A		7.45A		3.687A		3.07A	

表3 广西大厂锡矿储量分类统计

Table 3 The division statistics of reserves of in Dachang Sn mine of Guangxi

矿体 编号	矿产资源储量分类									三级储量		
	111	121	122	111b	121b	122b	2m11	2m21	2m22	开拓	采准	备采
92号	0.82A	0.13A	0.05A							0.30A	0.047A	0.025A
细脉带	0.12A									0.12A	0.012A	0.0032A
100号	0.16A	0.11A				0.15A				0.13A	0.02A	0.01A
总计	1.1A	0.24A	0.05A			0.15A				0.55A	0.079A	0.0382A

注：表中储量数据以主矿体92号矿体总储量A为基准，按比例表示。

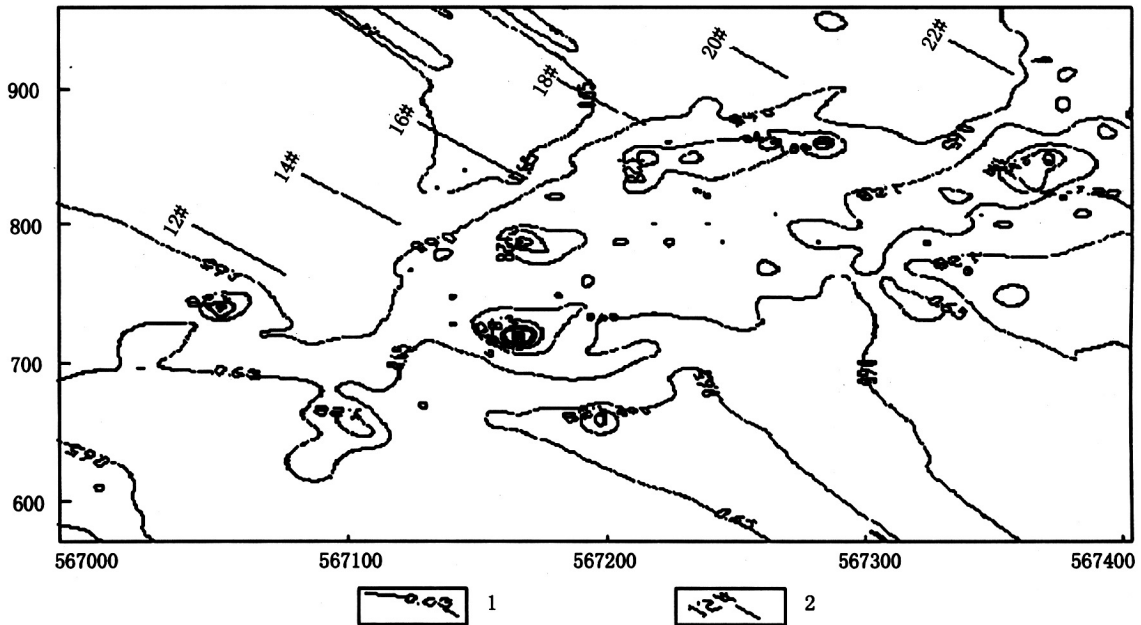


图5 广西大厂某矿体锡矿化强度平面

1—锡等值线；2—勘探线及编号投影图

Fig.5 The plane of Tin mineralize intensity of X ore body in Dachang Sn mine of Guangxi

1—isoline; 2—reconnoitre line and projection chart of serial number

2.4 老矿山深边部找矿预测

在老矿区找矿的优点是：老矿区成矿地质条件优越，找到矿的机率大；前期研究基础好，已知找矿信息多，找矿工作的周期短，成本低；已有现成的矿山生产系统和外部条件，找到矿接着就可开采，节省了矿山建设时间和投资，矿山生产成本降低。老矿山深部、边部找矿预测，以期增加储量，延长矿山生产年限，对矿业的可持续发展，提高矿山的经济效益具有重要意义。在地质规律研究的基础上，通过矿山数字化，研究矿化强度变化性，包括变化规律和变化的方向性，从而进行成矿预测。

文献 [4, 5] 反映了对广西大厂锡矿的地质研究结果，提出了“矿裂谷成矿背景、喷流沉积成矿、改造叠加致富”、“层、岩、构”控矿及“四楼一梯”矿床结构模型的成矿理论和找矿思路，即中、晚泥盆世在丹池成矿带裂谷下沉，发生了多次喷流热水沉积成矿，形成了 4 个层位的层状矿体（简称四楼），自下而上代表性的矿体是 D₂^b 生物礁灰岩中的 100 号矿体、D₂^a 硅质灰岩中 95、96 号矿

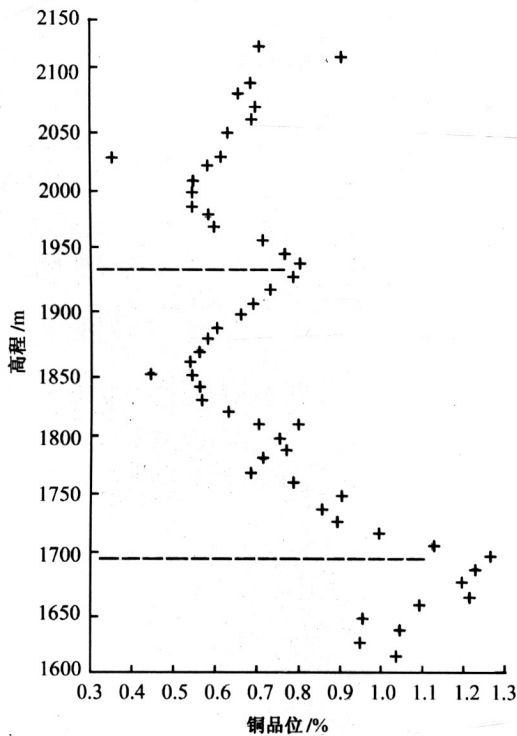


图 6 矿体 Cu 平均品位垂向变异 (边界品位 ≥ 0.3%)

Fig.6 The vertical variance of Cu's average grade of ore body

体、D₃^a 硅质岩中的 92 号矿体及 D₃^b 硅质灰岩中的 91 号矿体。燕山期构造和花岗岩作用对前期含矿喷沉积地层和层状矿体进行了叠加改造作用，形成了大脉状矿、脉状矿和细脉带矿体（简称一梯），从而构成了矿床的“四楼一梯”结构模型。在此理论指导下通过建立矿床数学经济模型和矿化强度变化性研究，发现现有细脉带矿体的矿化强度等值线继续往矿体北东延伸，暗示矿体北东方向还有盲矿存在。工程验证结果，找到了一个锡锌盲富矿体，计有矿石量 38 × 10⁴t，含锡 1.41%，锌 10.98%，潜在价值为 5.39 亿元。

大姚铜矿数学经济模型研究，按照合同要求建模范围的下界为深部 1 700 m 标高，考虑到模型的完整性，模型往下建到了 1 600 m，结果在 1 680 m 标高发现了一个铜高值带（图 6，图 7）可新增铜储量约 4 × 10⁴t。

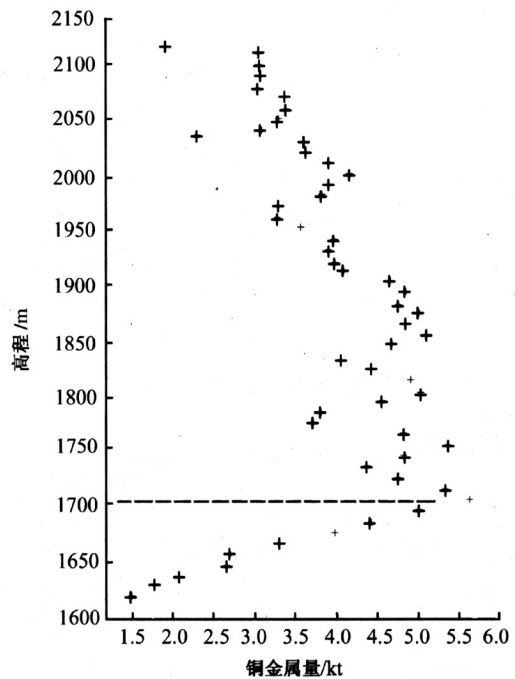


图 7 矿体 Cu 金属量垂向变异

Fig.7 The vertical variance of Cu's metal content of ore body

参考文献

[1] 林幼斌, 秦德先. 我国矿产资源开发利用的形势分析与对策, 中国人口资源环境与可持续发展战略研究 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2000, 2000. 1824~1825

(下转第 63 页)

- [4] 胡宗波, 张波. 同步整流器中 MOSFET 的双向导
电特性和整流损耗研究 [J]. 中国电机工程学报,
2002, 22 (3): 88~93

Research of an Interleaved Low-Voltage/High-Current DC - DC Converter

Wang Ping, Sun Xu, Song Liangyu

(School of Electric & Automation Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

[Abstract] In the recent years, the operating voltages of most high-performance microprocessors were lower than that of the previous ones and the research of low-voltage/high-current DC - DC converter was enhanced. Among all topologies, the current-doublers topology is optional. In the current-doublers topology, the ripple current of the output filter capacitor is reduced because the ripple current of the two inductors partially cancel each other and the required value of the filter inductance is significantly decreased. To further decrease the ripple current of output filter capacitor, this paper introduce a new method that a few of current-doublers are interleaved. This paper gives the switch signal waveforms and simulation model of the circuit. PSpice is used, which is a simulation tool for electronic system. The result of simulation achieves the ideal effect. Finally, the design is tested by an experiment.

[Key words] low-voltage/high-current DC - DC converter; current-doublers; interleaved

(cont. from p.53)

- [2] 燕永锋, 秦德先. 矿床数学经济模型及其在元江金矿的应用 [J]. 矿物学报, 2001, 21 (4): 619~624
- [3] 秦德先, 洪托, 燕永锋, 等. 广西大厂锡矿 92 号矿体矿床地质与经济 [M]. 北京: 地质出版社, 2000
- [4] 秦德先, 刘春学. 云南元江金矿矿床模型及矿产经济 [J]. 矿物学报, 2001, 21 (4): 609~612
- [5] 秦德先, 陈健文, 田毓龙. 广西大厂长坡锡矿地质与成因 [J]. 有色金属矿产与勘查, 1998, (7) 3: 146~152

Researching on the Digital Information Systems of Mine and Its Application

Qin Dexian, Chen Aibing, Yan Yongfeng, Gao Zhiwu, Yang Jianyu

(Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of
Science and Technology, Kunming 650093, China)

[Abstract] The article introduces several digital information systems of mine which established on PC platform by the author using the software package of mathematical economic modal of deposit, GIS software, and furthermore putting them into solving the dynamic management of mine produce, produce programming, produce scheme and decision optimization of systems, rational utilization of the resource, searching ore and increasing reserves on the margin or in the deep part of those old mines. etc, so improving the socialize economic efficiency of mining exploitation.

[Key words] mine digital information systems; dynamic management; rational utilization of resources; ore-forming prediction of mine