

新疆阿舍勒铜锌矿床三维 矿体模拟及资源评估^①

吴健生⁽¹⁾,黄浩⁽²⁾,杨兵⁽²⁾,庞春勇⁽²⁾,周正武⁽²⁾,张普斌⁽²⁾
陈郑辉⁽³⁾,肖克炎⁽³⁾

((1)中国科学院地理所;(2)中色矿业有限责任公司;(3)中国地质科学院成矿远景区划室)

摘要:在 VULCAN 的软件环境下对新疆阿舍勒矿体进行三维计算机模拟和可视化研究,建立阿舍勒铜锌矿的三维矿体模型和地质模型,以便更直观的研究和分析矿体的形态变化规律;同时在把矿体细分为小的长方体块的基础上,利用现代数学地质统计方法中的距离反比法和普通克立格方法对矿体进行品位估算和储量计算。

关键词:阿舍勒铜矿;三维矿体模拟;VULCAN 数学地质统计方法;品位估算

中图分类号: P618. 41; P618. 43; P624. 7 文献标识码: B 文章编号: 1001- 5663
(2001)02- 0119- 05

1 矿区地质^[1]

1.1 区域成矿地质环境

阿舍勒铜锌矿位于新疆维吾尔自治区的哈巴河县城北偏西约 31公里处。研究区东西长 2km,南北宽 1km,深度 1150m,地表海拔高程为 800~ 1100m,相对高差 300m左右,地貌类型属构造侵蚀、剥蚀形成的低山丘陵区。

矿区位于阿尔泰地槽褶皱系琼库尔-阿巴宫褶皱带西段之阔勒能复向斜南西翼。区内区域地层受区域构造控制。矿区内主要出露有上古生界下-中泥盆统托克萨雷组(D_{1-2t}),中泥盆统阿舍勒组(D_{2as})和上泥盆统齐也组(D_{3q}),下石炭统红山嘴组(C_{1h}),新生界第三系和第四系在区内零星分布。区内构造复杂,褶皱、断裂发育,褶皱中 4号向斜与矿的赋存有重大关系,向斜轴向近 SN,向 S扬起,枢纽略具波状起伏,形态有一定的变化:北段呈向 E倾斜的紧闭倒转型,西翼倾向 80°,倾角 45°~ 70°;东翼倒转,倾向 90°~ 105°,倾角 55°~ 75°,倒转向斜轴面倾向东,倾角 75°~ 80°,枢纽扬起角 45°左右;南段为正常紧闭型,西翼倾向 70°,倾角 60°,东翼倾向 240°,倾角 70°左右,轴面近于直立,略向东倾,枢纽扬起角较小,约 15°~ 25°。区内岩浆活动强烈,地表矿化、蚀变广泛发育。大多数蚀变带呈不规则带状和条带状,呈 NW向和近 SN向展布,与地层分布基本一致,属于火山热液作用的同生蚀变。

1.2 矿体地质

矿床范围内的地层及主体构造线呈近 SN向展布(见图 1),以 F16断层破碎带为界,东西

① 收稿日期: 2000- 11- 14 作者简介: 吴健生(1965-),男,湖南新化县人,中科院在读博士,高级工程师。

两侧分别为II号和I号矿化蚀变带,一号铜锌矿床分布于I号矿化蚀变带内,由三个矿体组成,编号分别为I、II、III矿体 I矿体形严格受地层、褶皱构造控制;II、III矿体形态则受与I矿体同生成矿期的同生裂隙的控制

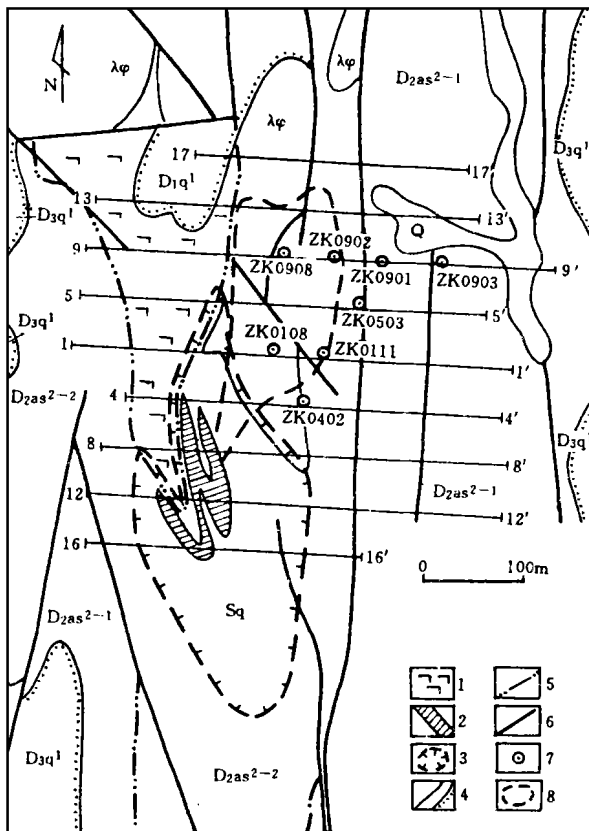


图 1 阿舍勒铜锌矿床地质及勘探工程布置略图

(据新疆地矿局第四地质大队资料编制)

Q-第四系 D_{3q}¹-齐也组 D_{2as}²⁻³-阿舍勒组第二岩性段上亚段 D_{2as}²⁻²-阿舍勒组第二岩性段中亚段 D_{2as}²⁻¹-阿舍勒组第二岩性段下亚段 λφ-钠长石英斑岩 Sq-次生石英岩 1- 细碧岩 2- 铁帽
3- 黄铁矿化绢云母化强硅化蚀变带 4- 地质界线和不整合界线 5- 岩性段和岩性亚段界线 6- 断裂 7- 勘探线及孔位 8- I 号矿体地表水平投影范围

I号矿体分布于18-17勘探线间,总体SN向展布,为半隐伏-隐伏矿体,构造上位于4号向斜回转端内侧及两翼。矿体上覆地层为阿舍勒组第二岩性段上亚段(D_{2as}^{2e})的玄武熔岩,下伏地层为阿舍勒组第二岩性段中亚段(D_{2as}^{2b})的蚀变火山-沉积碎屑岩。主矿体呈层状,似层状分布于中上亚段的层间界面附近,与上下地层整合接触,同步褶皱,形态严格受向斜构造的控制,呈向N倾伏,向S扬起,矿体东翼向西倒转的紧闭向斜形态

II号矿体产于阿舍勒组第二岩性段中亚段(D_{2as}^{2b})中上部位,位于I号矿体之下,矿体近SN向展布,地表与I号矿体平行分布,深部与其倒转翼及回转端部位斜交,逐渐向E偏离I矿体,并呈逐渐尖灭趋势

III号矿体赋存在阿舍勒组第二岩性段上亚段(D_{2as}^{2a})的玄武熔岩中,隐伏于1-5线附近,

呈一脉状展布。

2 阿舍勒矿区三维模型的建立

本次研究主要利用阿舍勒矿区内 16 勘探线至 13 勘探线间的地质、工程资料,进行矿区内矿体、地质的三维可视立体模型的研究。利用 VULCAN 软件建立矿区的钻孔(包括钻孔、探槽、硐探等,以下简称钻孔)三维模型,然后根据钻孔中不同元素采样分析结果建立矿体的三维空间模型,在此基础上对矿体进行空间分析和品位估算、储量计算。

2.1 钻孔的三维立体模型

在建立钻孔三维立体模型时,需要三个方面的信息:① 钻孔的总体位置信息,包括钻孔的起点三维空间位置(X、Y、Z)及钻孔的长度;② 钻孔空间变化信息,即钻孔的测斜数据;③ 对钻孔的取样信息:采样位置、样品代号、分析结果、对样品的地质描述(包括岩性代号、矿体代号)以及样长等。根据这些资料在软件中建立与原始资料相关内容的空间数据库。可在 VULCAN 软件系统中建立钻孔的三维立体模型,根据样品化学分析的数据范围进行分段且赋以不同的颜色(即制作图例),即可显示钻孔的空间形态及元素的相关信息,可以动态地在空间任意方向观看钻孔的三维模型和任意旋转钻孔,而且可以随意的放大、缩小,直观显示钻孔空间的位置及其变化状态,有利于对钻孔的空间变化进行分析,分析样品的变化规律,为矿体、地质体的三维模拟作准备。

2.2 矿体三维模型

创建了钻孔的空间位置,也就提供了建立矿体三维可视化模型及地质三维模型的基础。从剖面着手,根据前人已有的资料,利用矿体在勘探线剖面的投影形状,构建其空间的大致赋存形态,在计算机上根据剖面进行矿体的初步圈定。

首先利用 VULCAN 软件能连续显示剖面的功能,以可视宽度为 100m,剖面间距为 100m,在剖面上圈定矿体的边界线,根据各剖面的矿体边界进行矿体的二维模拟,以 Delauney 方法连接矿体,形成矿体的三维空间模型。此时,可进行矿体的体积、表面积等的计算,也可以通过对矿体进行空间旋转、放大、缩小等操作,从三维空间形态上分析矿体的空间展布规律,分析矿体的形态和空间变化。

I 号矿体主矿体(Cu11)总体 SN 向展布,为一个向 N 倾伏,向 S 扬起,矿体 E 翼向 W 倒转的紧闭向斜形态。在矿体的西翼又分支出 Cu12、Cu13 两个小矿体,在矿体的东翼又分支出 Cu14 小矿体。

II 号矿体位于 I 号矿体之下,矿体近 SN 向展布,地表与 I 号矿体平行分布,深部与其倒转翼及回转端部位斜交,逐渐向 E 偏离 I 矿体,并呈逐渐尖灭趋势。

III 矿体产于 I 号矿体凹部,矿体规模小,呈一脉状。

2.3 储量计算

根据矿体的三维空间大小及延伸状态,可以利用“块模型”(BLOCKMODEL)的方法对矿体进行分割,同时可以使用“细分块”(SUB-BLOCK)对边界进行精确的模拟,克立格法是地质统计学储量计算的核心,克立格法是一种无偏的、误差最小的最优储量计算方法,它利用若干临近钻孔或坑道的样品品位来估计处于这些样品中间的某个块段或者某个点的品位^[4]。克立格法是品位估算、储量计算的基础,利用变异函数求出金属元素的空间分布特征参数:块金常数、基台值和变程;以及利用克立格方程组估计矿块的平均品位和平均方差。VULCAN 软

件提供了 Gislib软件包,本次研究采用了半变异函数,相关半变异函数作为实验的对象。在软件进行自动拟和变异曲线时,采用的理论数学模型有:球状模型,指数模型,高斯模型。最终得到阿舍勒矿区的相关信息参数,为下一步的品位估算提供参数。

普通克立格法的要点是对于任一待估块段 V 的真值 Z_V 的估计值, \hat{Z}_k 是估计临域内 n 个信息值 Z_a 的线性组合 ($\hat{Z}_k = \sum \lambda_a Z_a$)。在品位估算时,在阿舍勒矿区的实验中采用 Gislib 的普通克立格法进行品位估算,作为对比,选用距离反比法 (Inverse Distance) 进行估算。理论数学模型根据实际情况选择球状模型。

进行储量计算时,不仅可对剖面、块段(中段)、整个矿体进行储量计算,而且对任意范围内、任意铜品位区间的矿体进行储量计算。表 1 为阿舍勒铜锌矿区四种矿产储量计算结果与勘探报告的对比结果,表 2 则是单一的铜矿利用不同的品位估计方法估算的品位和不同方法计算的储量结果,而表 3 是 500 米标高以上且块段厚度为 100m 的范围内铜的储量计算结果。

经过品位估算和储量计算,可在任意方向、任意位置对矿体进行剖面的切制,亦可切制一定厚度的块段。在剖面上,在空间上,矿体的富集、贫化均一目了然。

表 1 储量计算结果对比表

	矿体代号	品位条件	平均品位 (%)	矿石体积 (万 m ³)	矿石量 (万 t)	金属量 (t)
实验结果	Cu- ore	Cu- ivd> = 0.3	2.1335	808.95	340566.7	726606.74
勘探报告	Cu- ore	Cu- ivd> = 0.3	2.43	897.16	3777.05	919454.0
实验结果	Zn- ore	Zn- ivd> = 0.5	2.239	352.79	1591.0699	356240.55
勘探报告	Zn- ore	Zn- ivd> = 0.5	2.78	325.61	1468.49	408333.0
实验结果	Ag- ore	Ag- ivd> = 1.0	0.001412	1797.72	7568.4074	1068.61
勘探报告	Ag- ore	Ag- ivd> = 1.0	0.001871	1610.43	6779.89	1286.59
实验结果	S- ore	S- ivd> = 8.0	27.597	1568.76	6604.486	18226273.79
勘探报告	S- ore	S- ivd> = 8.0	27.889	1611.58	6784.78	18922160.86

表 2 铜矿不同方法储量计算结果对比表

计算方法	理论数学模型	平均品位 (%)	矿石量 (万 t)	金属量 (t)
普通克立格法 (Ordinary kriging)	球状模型	2.1335	340566.7	726606.74
距离反比法 (Inverse Distance)		2.1515	337627.09	726422.77
普通克立格法 (Ordinary kriging)	高斯模型	2.1331	340647.52	726690.35

表 3 500 标高以上块段厚度为 100m 铜矿体计算结果表

品位条件	平均品位 (%)	矿石体积 (m ³)	矿石量 (万 t)	金属量 (t)
0.0 < Cu < 0.3	0.061267666	1746000	735.0660	47528.98512
0.3 < Cu < 0.5	0.400996888	257000	108.1970	5967.75
0.5 < Cu < 1.0	0.724339862	440000	185.2400	19462.10482
1.0 < Cu < 2.0	1.396923204	467000	196.6070	27848.43176
2.0 < Cu < 3.0	2.50951533	394000	165.8740	39003.35722
3.0 < Cu < 4.0	3.576353635	618000	260.1780	88083.78499
4.0 < Cu < 5.0	4.448791549	553000	232.8130	86457.3734
5.0 < Cu < 6.0	5.525113923	241000	101.4610	42596.75186
6.0 < Cu < 99.9	6.274467559	89000	37.4690	17128.39638

3 地质三维立体模型

在建立地质三维模型过程中,采用层的方法(Layer),不同的地质内容以地质界线为界分为不同的层,将矿体的边界作为地质体(近矿围岩)的内层界面,用不同的颜色表示不同的地质内容。阿舍勒矿区地质三维模型选定的范围是16勘探线至13勘探线间的地质内容。主要包括:上泥盆统齐也组(D_3q),中泥盆统阿舍勒组第二岩性段上亚段(D_2as^{2c}),中亚段(D_2as^{2b}),下亚段(D_2as^{2a})次生石英岩(Sq),阿舍勒旋回钠长石英斑岩($\lambda\varphi D_2$),由于钻孔分布不均及对深部控制程度不同的影响,深部地质内容根据矿区受倒转紧闭向斜控制推测而定。借鉴矿体三维立体模型建立的方法,又考虑到地质体间的连续性,以面作为地质界线,即上层地质体的底面(Button)作为下层地质体的顶面(Top),逐步完成地质三维模型的建立。

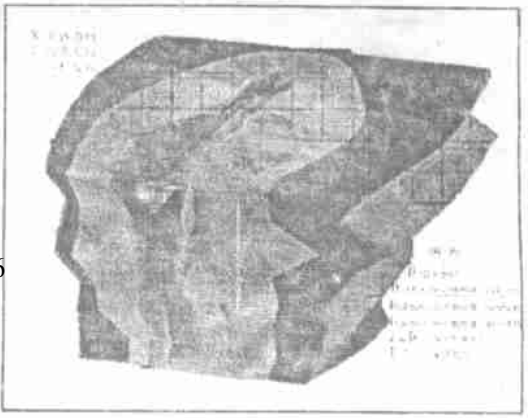


图2 三维地质体模型

从图2的二维地质体模型可以明显看出,矿区一带向斜枢纽向S仰起,背斜向N倾伏,核部为(D_2as^{2c}),上覆齐也组第一岩性段(D_3q^1)的少量下部地层卷入;翼部依次为(D_2as^{2b})及(D_2as^{2a})向斜轴向近南北,向南扬起,枢纽略具波状起伏,形态有一定的变化:北段呈向东倾斜的紧闭倒转型,东翼倒转,倒转向斜轴面倾向E,南段为正常紧闭型。

4 结论

通过对矿体、地质体三维模型在计算机实现的研究,有以下的认识和收获:

(1)通过建立矿区矿体、地质体三维模型,不仅对地质有一个全新的认识,而且有助于进一步认识地质体,改变传统的平面思维方式,从三维空间的角度,分析地质体的空间展布规律。为今后的地质研究和矿山生产提供了一种直观、先进的方法,也是三维可视化技术在地学领域的有效应用。

(2)阿舍勒铜锌矿区矿体三维模型显示:矿体三维形态大致反映了研究区的实际情况。地质体三维模型也较好的反映了本区的地质情况。

(3)储量计算方面由于国外与国内在勘探中存在不同的思维方式,结果的表达上存在不同。本次实验的储量计算结果与勘探报告结果对比,实验所得结果的各项指标大都低于勘探报告。原因有:1)由于地表部分及部分钻孔上部为氧化矿,没有化学分析资料,不参与储量计算;2)由于在圈定矿体时,16线及13线均不外推,深部未控制部分不外推,所以矿体的矿石量和金属量要偏少,但是二者相差不大;3)在工程网度控制不够的位置,可能导致品位小于边界品位,使结果偏低。

参考文献:

- [1] 王全明,冯京,庄道泽,等.阿舍勒铜锌矿床特征与隐伏矿类比求同法预测[M].北京:地质出版社,1997.12.
- [2] MAPTEK Pty Ltd, KRJA Systems Inc. Help of Vulcan Software. 1995-1998.
- [3] 侯景儒,尹镇南,李维明,等.实用地质统计学[M].北京:地质出版社,1998.
- [4] 沈步明,沈远超.金属矿山地质数据库与地质统计学[M].北京:科学出版社,1994.