

成矿后构造破坏对矿床勘查类型的影响及勘查类型系数优化

毛党龙^{1,2}, 傅群和^{1,2}, 刘敏², 周旭林^{1,2}, 吴盛^{1,2}

(1. 湖南省矿产资源储量评审中心, 湖南长沙 410007; 2. 湖南省地质科学研究院, 湖南长沙 410007)

[摘要] 现行勘查规范中, 主要依据五个地质因素划分勘查类型, 其中构造复杂程度因素对划分勘查类型的影响权重约 10%。通过对多个矿床勘查类型的分析以及勘查工作经验的总结, 研究构造复杂程度对矿床勘查类型的影响, 发现成矿后构造破坏程度对矿床勘查类型划分的影响可能被低估。本文以湘潭锰矿为例, 该矿床具有成矿后构造复杂、对矿体的破坏大等特点, 勘探时将其划分为第Ⅱ勘查类型, 以相应的勘查工程网度进行勘查, 未能有效控制矿体; 如果充分认识成矿后构造复杂、对矿体破坏大的实际情况, 提高构造破坏程度对矿床勘探类型划分的影响权重, 湘潭锰矿就会被确定为第Ⅲ勘查类型, 方可有效控制矿体, 也更符合地质实际。本文尝试将构造复杂程度对划分勘查类型的影响权重增大至 25%, 其勘查类型系数由 0.1~0.3 调整为 0.1~0.9, 即第Ⅰ、第Ⅱ、第Ⅲ勘查类型的五个地质因素类型系数之和分别由 2.5~3.0、1.8~2.4、1.0~1.7 调整为 3.0~3.6、2.2~2.9、1.0~2.0。在更充分认识成矿后构造破坏程度对勘查类型的影响后, 可进一步优化矿床勘查类型系数, 更合理地确定矿床勘查类型, 进而改进对矿床的控制程度和勘查程度的评价。

[关键词] 矿床勘查类型 类型系数 地质因素 成矿后构造破坏 湘潭锰矿

[中图分类号] P621+.6 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2017)05-08

Mao Dang-long, Fu Qun-he, Liu Min, Zhou Xu-lin, Wu Sheng. Analysis of the influence of structural complexity on the exploration type and optimization of the exploration type coefficient[J]. Geology and Exploration, 2017, 53(5): 0960-0967.

0 引言

勘查工程间距的大小是决定资源储量估算结果和评价可靠性的根本因素, 目前国内地质勘查工作中的勘查工程间距基本依据矿床勘查类型确定。合理划分矿床勘查类型是地质勘查工作合理性的前提。合理划分矿床勘查类型不仅对矿体空间展布实现有效控制, 同时也对勘查成本进行有效控制。也就是说, 合理划分矿床勘查类型能在尽可能少的投入下实现矿体的有效控制, 以实现降低投资风险和失误的目的, 使得有效控制矿体和减少工程投入二者之间达到平衡(Shumilin, 2003; 高航校等, 2014; 高帮飞, 2016)。

现行规范经过十几年的实践, 随着社会经济发
展、科技进步及矿床勘查工作的大量实践经验与认
知积累, 在地质勘查方面已经发现了一些滞后于我
国国情和矿情的内容, 使得地质勘查规范在实际运
用中存在一定问题, 需要及时调整、补充和完善。越
来越多的国内专家学者也呼吁要对各类地质勘查规
范进行修订(胡魁等, 2002, 2009, 2010; 赵先良,
2007; 丁嘉榆等, 2013)。

本文以成矿后构造破坏程度对矿床勘查类型的
划分影响开展研究, 依据构造特征的具体情况, 对成
矿后构造进行分类分级, 在此基础上再综合考虑其
在矿床勘查类型划分中所占的权值, 以此进一步完
善勘查类型划分因素。

[收稿日期] 2017-01-05; **[修改日期]** 2017-06-22; **[责任编辑]** 陈伟军。

[基金项目] 国家矿产资源储量技术标准体系建设项目之子课题《重要有色金属与贵金属及稀土稀有矿床合理勘查程度研究》(课题编号: CB2015-2-5)资助。

[第一作者] 毛党龙(1970年-), 男, 高级工程师, 长期从事矿产勘查和矿产资源储量评审工作, 主要研究方向为矿产勘查。E-mail: 1275438231@qq.com。

1 矿床勘查类型研究中存在的问题

目前,我国已经对绝大多数固体矿产勘查类型的确定原则都制定了清晰明确的规范,以指导地质勘查工作的科学部署(吕古贤,2015)。对找矿过程中合理确定勘查类型、减少勘查工程的投入、较好地控制矿体,为最短周期内查明矿产资源储量、减少投资风险和失误,起到了十分重要的作用。

矿体规模、矿体形态复杂程度、内部结构复杂程度、矿石有用组分分布均匀程度和构造复杂程度是现行固体矿产地质勘查规范总则确定矿床勘查类型的五个主要地质因素。但稀有金属、有色金属、岩金及稀土矿产等各单矿种的勘查规范,大部分以矿体厚度稳定程度替代内部结构复杂程度,作为确定矿床勘查类型的主要地质因素之一,实现对矿床勘查类型确定。

由于矿产资源埋藏于地下,具有一定的复杂性和隐蔽性特征,仅依据勘查初期的探矿工程确定的矿体规模、形态、内部结构、品位以及构造复杂程度来分析矿床勘查类型,易出现较大偏差。矿床的勘查类型不仅取决于上述几个地质因素,一般矿床成因、破矿构造类型等也是决定有色、贵金属等矿床特征的主要地质因素。工作实践中发现,矿床成因类型对合理划分铅锌矿床勘查类型、确定矿床勘查工程间距有重要影响。将矿床成因类型这一地质因素纳入到划分矿床勘查类型主要地质因素之中,依据其对湖南省的主要铅锌矿床的勘查类型重新分析,发现重新确定的勘查类型与勘查工程间距与矿床勘查开发实际更为吻合(赵亚辉等,2016年)。

现行勘查规范中,主要依据五个地质因素划分勘查类型,其中构造复杂程度因素对划分勘查类型的影响权重约10%。通过对多个矿床勘查类型的分析以及勘查工作经验的总结,研究成矿后构造的破坏程度对矿床勘查类型的影响,发现成矿后构造破坏程度对矿床勘查类型划分的影响可能被低估。有些规模较大、形态较简单、矿体厚度较稳定、有用组分分布较均匀、构造复杂的矿床,根据规范的权重赋值,被确定为第Ⅱ勘查类型、甚至第Ⅰ勘查类型,但按照第Ⅱ勘查类型或第Ⅰ勘查类型的参考工程间距,不能有效控制矿体及控矿构造,此时构造复杂程度对矿体勘查类型的确定可能是起决定作用的。许温复等(2006)在对新余式前寒武纪含铁石英岩型矿床的勘查类型的研究过程中发现,该类型矿床褶皱构造呈现出复杂、奇特且多样的特征,通过探采对

比结果发现,对于具复杂构造背景的新余式铁矿,单纯依赖工程加密并不能对矿体作出有效的控制。另外,现行的勘查规范中对于构造复杂程度这一地质因素的分析,一般仅指断层对矿体分布的破坏程度,而忽视了褶皱构造对矿体复杂程度的影响。事实上褶皱构造不仅对矿体形态产生影响,对于矿体的厚度稳定程度以及矿体品位也将产生一定的影响,背斜轴部往往是许多大中型矿床产出的有利场所,褶皱对成矿物质的迁移和富集具有内在的控制作用(王雷等,2010;汪建宇,2011)。控矿构造是后续成矿富集的基础,不可避免的是,它也会造成小型错动和变形现象。在划定勘查类型时,应积极采取类比等分析方法,以探究控矿构造是否真实存在,对其发育特点与组合形态进行分析,进而对勘查类型的实际影响程度评判。

2 构造复杂程度对划分矿床勘查类型的影响分析

现行勘查规范中,构造对矿体破坏程度的勘查类型系数为0.1~0.3,占整个类型系数之和约10%的权重,认为对确定矿床勘查类型影响较小。实际勘查工作中发现,当构造与矿体走向基本平行,而且密度较稀时,即使维持某一勘查类型的网度,也可控制和查明其对矿体的影响。如贵州开阳磷矿体:按Ⅰ勘查类型,采用B级网度(300m×150m)基本可控制主要走向逆断层F31和次级派生逆断层F32(图1a),不需另布钻孔,仅需在某条剖面上沿倾向方向加布个别钻孔即可控制和查明断裂对矿体的影响。同样,当构造与矿体走向基本垂直,而且断裂密度较稀时,也不需另布钻孔,只需在某条剖面上沿走向方向加布个别钻孔即可控制和查明断裂对矿体的影响。

但对于纵横交错且断面较陡的断层,有时采用加密一倍勘探线的办法,也不能很好地控制断层,达不到查明断层产状、断距以及断层对矿体破坏程度的目的。因此,必须采用与矿体(层)分别控制的方法进行研究。譬如加1~2条勘探线,兼顾部分剖面工程,布置钻孔控制这些断裂构造,方能满足生产对地质勘查工作中不同储量级别控制研究程度的要求(图1b)。可见,构造对矿体破坏程度对勘查类型的划分的影响是显而易见的,但构造对矿体破坏程度的勘查类型系数取0.1~0.3,仅占整个类型系数之和的比重为10%是否合理,需要进一步研究(俞中辉等,2007;马国桃,2010;李建彪,2015)。

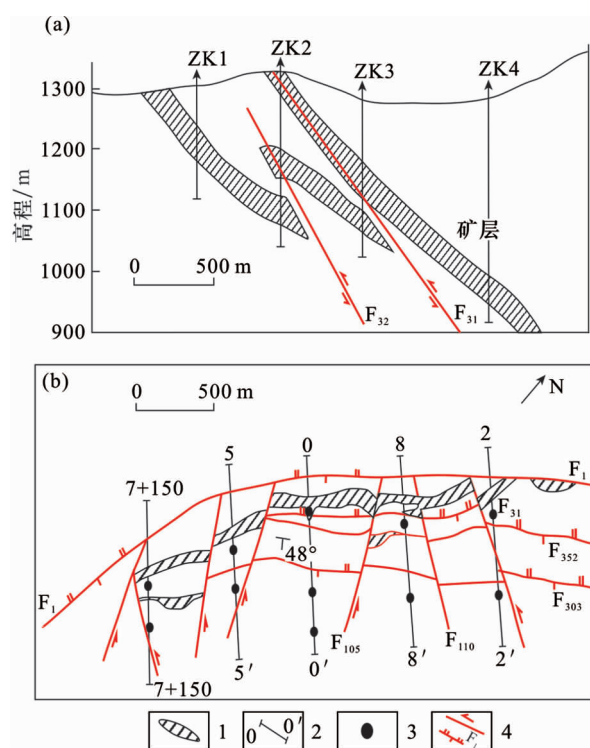


图1 贵州开阳磷矿矿体分布图(据夏士均等,1989)

Fig.1 Distribution of phosphorus ore bodies in the Kaiyang deposit, Guizhou (after Xia et al., 1989)

a - 简单构造区矿体剖面分布图; b - 复杂构造区矿体平面分布图;

1 - 矿体; 2 - 勘探线; 3 - 钻孔; 4 - 断层

a - cross section of ore body distribution with simple structure; b - plane of ore body distribution with complex structure; 1 - ore body; 2 - prospecting line; 3 - drill hole; 4 - fault

3 构造复杂程度对矿床勘查类型系数的优化 - 以湘潭锰矿为例

湘潭锰矿位于连续褶皱带仙女山背斜北翼,背斜轴向 NEE-SWW。矿区内地层出露有板溪群,江口组、湘锰组、洪江组等。区内曾发生过多期复杂的构造运动,由于矿体、地层时代古老,成矿后经历多次地壳运动,使断层性质与相互关系趋于复杂,褶皱也在多期的构造中遭受改造,在大的褶皱中有次级褶皱,次级褶皱中又有小的褶皱,小的褶皱中,还有小的起伏;同时首次形成的构造,遭受后期多次破坏,并且每次又可产生新的构造;如此经久反复,使本矿区的构造面貌较为复杂(张聪建等,1989;刘燕群,2013;史富强等,2016)。矿区自东而西有狮形山紧闭倒转向斜、冷水冲连续褶皱带等;断层类型包括走向断层、横断层、斜断层等;矿区范围内地层中节理发育,主要有三种:X型节理、纵节理、横节理,

以前者为主,后两种节理次之。

3.1 矿体特征

碳酸锰矿体赋存于震旦系下统的黑色页岩下部,呈层状产出,层位稳定。矿体厚度一般为0.5m~2.5m,由于褶曲影响和断层破坏,矿体厚度变化大,具体表现为时薄时厚,连续性较差。锰矿品位一般为18%~28%。矿石构造主要为块状,条带状,次为碎裂状,呈隐晶微粒结构。

3.2 储量对比

本次研究选择开采结束的+50m、+30m二个中段进行探采对比。对比重点为矿石储量、矿体形态。“地质勘探”阶段在这两个中段提交B+C级矿石量11.69万t。“地质勘探”(后称“地勘”)、“生产勘探”(后称“生勘”)和“最终”储量及其计算参数对比见表1。由表1可以看出,“地勘”与“生勘”、“最终”矿量相比,“地勘”储量偏低。主要原因是由于“生勘”查明了F74断层上、下盘矿体的形态、规模、产状,使矿体在纵投影和平面图上显示出50m~60m宽的矿体重复。这样,中段内增加了矿体面积,抵消了一些因“生勘”和“最终”确定的无矿带、表外矿、浅部边界变化等原因造成的面积变化。

由于“生勘”、“最终”矿体厚度增大了0.4m和0.6m,使矿量增加,其厚度误差率分别为37.27%和54.55%。“生勘”和“最终”与“地勘”比较,因面积变化减少,但厚度变化增加,致使矿量分别增加1.89万t和0.47万t,矿量误差率(以“地勘”为基数)分别为+16.19%和+3.98%。

“最终”与“生勘”比较,由于新的构造出现和原断层无矿带,表外矿的扩大,使面积减少了0.6289万平方米;但“最终”矿体厚度增加了0.19m。这样因面积变化减少矿量2.69万t、因厚度变化增加矿量1.26万t,两者相互抵消,使矿量减少了1.43万t,矿量误差率(以“生勘”为基数)为-10.51%。

3.3 构造对比

本区地质构造复杂,经三次地质勘探都未能查清主要控矿断裂构造。如原有F77、F75、F74、F66、F65等一系列走向断层,实属一条纵贯全区走向的F74正断层。该断层西起鹅公塘,东至清水塘,全长1200余米,一般断距为50m左右。矿段内小断层十分发育,经勘探、开采共发现断层49条,断层密度达1条/598m²,其中多为正断层,而逆断层仅有1条,断层以走向NW、NNW和NE、NNE为主,这些断层将矿体切割成大小不等的矿块,矿体连续性差(图2)。

表1 湘潭锰矿地勘、生勘和最终储量及其计算参数对比表

Table 1 Comparison of calculation parameters for geological prospecting, production exploration and final reserve of Xiangtan manganese ore

中段	项目	地勘	生勘与地勘对比			最终与地勘对比			最终与生勘对比	
			生勘	绝对差	相对差/%	最终	绝对差	相对差/%	绝对差	相对差/%
+50m	矿量	62348.2	68515	6166.8	9.89	55304.9	-7043.3	-11.30	-13210.1	-19.28
	面积	19667.4	14639.3	-5028.1	-25.57	10464.4	-9203	-46.79	-4174.9	-28.52
	厚度	1.11	1.64	0.53	47.75	1.85	0.74	66.67	0.21	12.80
	体重	2.856	2.856	0	0.00	2.856	0	0.00	0	0.00
	品位	24.59	24.19	-0.4	-1.63	25.11	0.52	2.11	0.92	3.80
+30m	矿量	54573.8	67340	12766.2	23.39	66273.3	11699.5	21.44	-1066.7	-1.58
	面积	17530.1	17151.4	-378.7	-2.16	15037.4	-2492.7	-14.22	-2114	-12.33
	厚度	1.09	1.37	0.28	25.69	1.54	0.45	41.28	0.17	12.41
	体重	2.858	2.858	0	0.00	2.858	0	0.00	0	0.00
	品位	23.47	24.57	1.1	4.69	24.86	1.39	5.92	0.29	1.18
合计	矿量	116922	135855	18933	16.19	121578	4656.2	3.98	-14276.8	-10.51
	面积	37197.5	31790.7	-5406.8	-14.54	25501.8	-11696	-31.44	-6288.9	-19.78
	厚度	1.1	1.51	0.41	37.27	1.70	0.6	54.55	0.19	12.58
	体重	2.856	2.856	0	0.00	2.856	0	0.00	0	0.00
	品位	24.07	24.38	0.31	1.29	24.97	0.9	3.74	0.59	2.42

注:单位:矿量(t)、面积(m²)、厚度(m)、品位(%)。

区内矿体因受地质构造控制,成矿后岩层强烈褶皱、断裂构造切割破坏,造成矿体形态复杂,产状多变,厚度变化大。特别是通过对 F74 断层结构的重新认识,将原生产勘探认为连续的矿体,由 F74 断层切割成上、下两盘不同形态产出的矿体,上盘矿体呈平卧至斜卧褶皱;下盘矿体呈单斜产出,倾向 NW,倾角为 45°~65°,该断层控制了矿体南缘浅部边界,使矿体底板位移较大(图 3)。矿体底板上移最大达 11m,底板下移最大为 11.5m,一般为 2m~6m。平面上底板位移一般为 2m~10m,最大为 17m,倾向最大位移达 60m,这给后期的矿山生产造成了较大影响。

湘潭锰矿体现为成矿后构造复杂,矿体形态变大,原勘探时划分为第Ⅱ勘查类型不合适,网度偏稀,未能有效控制矿体的空间展布。其主要原因是,规范将矿体构造复杂程度对矿床勘查类型划分和网度确定的影响权重定得较低。通过探采对比和生产实际,发现在稳定区用 150m×75m 求 332 资源量,而构造集中复杂地段以 75m×75m 求 332 资源量才能有效控制矿体。

因此,成矿后构造对矿体破坏程度的勘查类型系数赋值为 0.1~0.3,不足以准确划分矿床的勘查

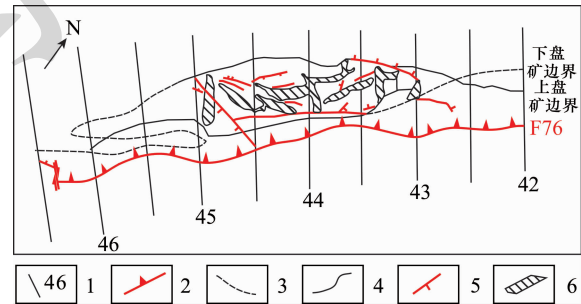


图2 湘潭锰矿+50m中段矿体构造简图

Fig.2 Structural diagram of middle-section ore bodies at +50m level of the Xiangtan manganese deposit

1-勘探线;2-地表断层;3-推断矿体边界;4-开采矿体边界;
5-盲断层;6-无矿带
1-exploration line;2-surface fault;3-inferred orebody boundary;
4-exploited orebody boundary;5-blind fault;6-ore-free zone

类型。

4 勘查类型的地质因素及其类型系数的优化建议

在现行规范根据主要矿体的规模、矿体形态(及内部结构)复杂程度、矿体厚度稳定程度、矿石有用组分分布均匀程度和构造对矿体的破坏程度等

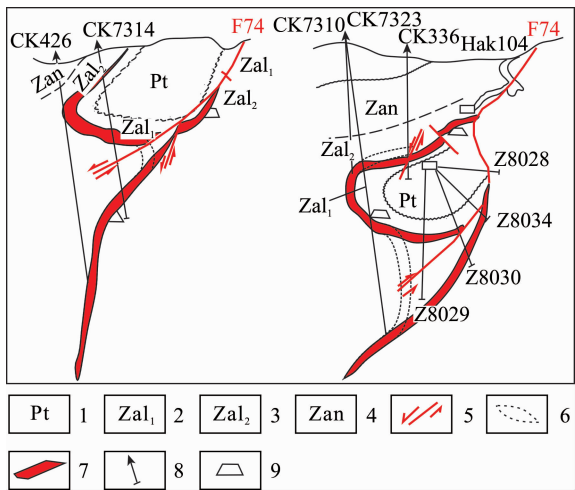


图 3 湘潭锰矿勘探线剖面矿体对比图

Fig. 3 Comparison of ore bodies on exploration lines of Xiangtan manganese mine

1 - 灰绿色页岩; 2 - 砂岩; 3 - 黑色页岩; 4 - 冰碛岩; 5 - 断层; 6 - 地勘圈定矿体; 7 - 开采圈定矿体; 8 - 钻孔; 9 - 坑道
1 - gray green shale; 2 - sandstone; 3 - black shale; 4 - moraine; 5 - fault; 6 - delineation of ore bodies in exploration stage; 7 - delineation of ore bodies in the development stage; 8 - drilling; 9 - tunnel

五个地质因素综合确定矿床的勘查类型的基础上。尝试将成矿后构造对矿体破坏程度的勘查类型系数调整为 0.1~0.9:当成矿后(断层、褶皱)构造没有对矿体造成破坏或破坏很小时,勘查类型系数赋值为 0.8~0.9;对矿体破坏较小时,勘查类型系数赋值为 0.6~0.7;对矿体破坏较大时,勘查类型系数赋值为 0.2~0.5;褶皱发育、断层等构造纵横交错,主要矿体多处被错断、强烈褶皱,造成矿体不连续、强烈变形时,勘查类型系数赋值为 0.1。充分体现构造对勘查类型的影响,才能合理划分勘查类型、准确确定合理的勘查网度。其它地质因素的勘查类型系数暂不调整,则各地质因素的勘查类型系数之和的最大值调整为 3.6、最小值调整为 1.0。

优化调整类型系数的赋值后,矿床勘查类型仍与现行规范一致,划分为三种勘查类型:第Ⅰ勘查类型为简单型,五个地质因素类型系数之和为 3.0~3.6;第Ⅱ勘查类型为中等型,五个地质因素类型系数之和为 2.2~2.9;第Ⅲ勘查类型为复杂型,五个地质因素类型系数之和为 1.0~2.1。对全国 15 个典

表 2 类型系数优化前后矿床勘查类型划分对比表

Table 2 Comparison of deposit prospecting types before and after optimization of type coefficients

序号	矿区名称	五个地质因素						勘查类型
		规模	形态	厚度	组分	构造	合计	
1	红透山铜锌矿	0.9	0.3	0.4	0.4	0.2	2.2	优化前Ⅱ
		0.9	0.3	0.4	0.4	0.7	2.7	优化后Ⅱ
2	新城金矿	0.9	0.6	0.6	0.4	0.3	2.8	优化前Ⅰ
		0.9	0.6	0.6	0.4	0.8	3.3	优化后Ⅰ
3	平果那豆铝土矿	0.5	0.5	0.5	0.6	0.3	2.4	优化前Ⅱ
		0.5	0.5	0.5	0.6	0.9	3.0	优化后Ⅰ
4	三道庄钨钼矿	0.9	0.6	0.6	0.4	0.3	2.8	优化前Ⅰ
		0.9	0.6	0.6	0.4	0.9	3.4	优化后Ⅰ
5	金堆城钼矿	0.9	0.5	0.6	0.4	0.3	2.7	优化前Ⅰ
		0.9	0.5	0.6	0.4	0.9	3.3	优化后Ⅰ
6	多宝山铜矿 X 矿体	0.9	0.4	0.6	0.6	0.2	2.7	优化前Ⅰ
		0.9	0.4	0.6	0.6	0.7	3.2	优化后Ⅰ
7	柿竹园矿区 柴山多金属矿	0.9	0.5	0.4	0.4	0.2	2.4	优化前Ⅱ
		0.9	0.5	0.4	0.4	0.6	2.8	优化后Ⅱ
8	二道沟铅锌矿	0.3	0.2	0.4	0.2	0.3	1.4	优化前Ⅲ
		0.3	0.2	0.4	0.2	0.7	1.8	优化后Ⅲ
9	高旺金矿 (岩脉破坏大)	0.6	0.2	0.4	0.4	0.1	1.7	优化前Ⅱ
		0.6	0.2	0.4	0.4	0.1	1.7	优化后Ⅲ

续表 2

Continued Table 2

序号	矿区名称	五个地质因素						勘查类型
		规模	形态	厚度	组分	构造	合计	
10	铜山铜矿	0.5	0.2	0.2	0.2	0.3	1.4	优化前Ⅲ
		0.5	0.2	0.2	0.2	0.7	1.8	优化后Ⅲ
11	凤凰山铜矿	0.6	0.2	0.2	0.2	0.3	1.5	优化前Ⅲ
		0.6	0.2	0.2	0.2	0.7	1.9	优化后Ⅲ
12	桃林铅锌矿	0.9	0.4	0.4	0.4	0.2	2.3	优化前Ⅱ
		0.9	0.4	0.4	0.4	0.6	2.7	优化后Ⅱ
13	湘潭锰矿 (构造破坏大)	0.6	0.2	0.6	0.6	0.1	2.1	优化前Ⅱ
		0.6	0.2	0.6	0.6	0.1	2.1	优化后Ⅲ
14	可可托海稀有 金属矿 3 矿体	0.9	0.4	0.2	0.2	0.2	1.9	优化前Ⅱ
		0.9	0.4	0.2	0.2	0.7	2.4	优化后Ⅱ
15	阿舍勒铜矿	0.6	0.4	0.4	0.4	0.3	2.1	优化前Ⅱ
		0.6	0.4	0.4	0.4	0.8	2.6	优化后Ⅱ

型矿床的勘查类型系数优化调整前、后对比的结果显示(表2),多数矿床勘查类型未发生变化,但湘潭锰矿的勘查类型和高旺金矿由第Ⅱ勘查类型调为第Ⅲ勘查类型,那豆铝土矿由第Ⅱ勘查类型调为第Ⅰ勘查类型(布申斯基,1984;徐红伟,2015)。

勘查实践证明,湘潭锰矿(断层破坏大)和高旺金矿(岩脉破坏大)按照第Ⅱ勘查类型确定的工程间距,不能有效控制矿体;而按照第Ⅲ勘查类型确定的工程间距则可有效控制主要矿体。探采对比表明,那豆铝土矿按照第Ⅱ勘查类型确定的工程间距进行勘查显得勘查过量,按第Ⅰ勘查类型的工程间距抽稀后,仍能有效控制矿体,可节约大量的勘查工作量。

5 结论

(1)通过分析构造复杂程度对划分矿床勘查类型的影响,发现(成矿后)构造对矿体的破坏程度对勘查类型划分的影响是明显的,现行勘查规范中构造复杂程度因素对勘查类型系数的赋值权重较小,对划分勘查类型的影响被低估。

(2)尝试将构造破坏矿体的程度对确定勘查类型的影响权重增大,其勘查类型系数应由0.1~0.3调整为0.1~0.9,占勘查类型系数之和的权重由10%增致25%;第Ⅰ、第Ⅱ、第Ⅲ勘查类型的五个地质因素类型系数之和分别调整为3.0~3.6、2.2~2.9、1.0~2.1。通过增大构造复杂程度对勘查类型

的影响,进一步优化矿床勘查类型系数,对合理地划分矿床勘查类型,进而对提高矿床的合理控制程度和合理勘查程度产生积极影响。

[References]

- Ding Jia-yu, Deng Guo-qin. 2013. Main problems in the current ionic adsorption rare earth exploration specifications and their amendment proposals[J]. *Noferrous Metals Science and Engineering*, 4(4):96-102 (in Chinese with English abstract)
- Gao Bang-fei. 2016. Analysis of reasonable exploration engineering spacing causing the mineral resources estimation bias[J]. *China Mining Magazine*, 25(2):150-155 (in Chinese with English abstract)
- Gao Hang-xiao, Ren Xiao-hua, Guo Jian. 2014. A method of determining grid spacing in surveys for classification of mineral reserves[J]. *Geology and Exploration*, 50(2):340-345 (in Chinese with English abstract)
- Hu Kui. 2002. Relation between classification for reserves/resources and exploration stages[J]. *Geology and Exploration*, (3):64-69 (in Chinese with English abstract)
- Hu Kui. 2009. Several Principle points regarding mineral resources & reserves classification code revision[J]. *Resources & Industries*, 5:122-125 (in Chinese with English abstract)
- Hu Kui. 2010. The modification scheme on China 1999 classification of solid mineral resources/ reserves[J]. *China Mining Magazine*, 19(1):7-16 (in Chinese with English abstract)
- Li Jian-biao. 2015. Geological features of ore bodies and exploration type of the Heshangtian tungsten deposit in Northern Guangdong Province[J]. *Geology and Exploration*, 51(4):646-654 (in Chinese with English abstract)
- Liu Yan-qun. 2013. Geological characteristics and prospecting prospects of Xiangtan manganese ore[A]. *Proceedings of the 2013 annual meeting of the Geological Society of China*[C]. Beijing: Geological

- Society of China;168-172 (in Chinese)
- Lü Gu-xian. 2015. The types of geological exploration in metallic orefield and their evaluation scheme [J]. *Earth Science Frontier*, 22 (4): 13-21 (in Chinese with English abstract)
- Ma Guo-tao, Ma Dong-fang, Gao Da-fa, Wang Ming-jie, Li Jian-zhong, Yao Peng, Zhu Xiang-ping, Chen Min-hua, Liang Qiong. 2010. Geological characteristics of Heiniudong copper and zinc deposit in Jiulong county, Sichuan province and determination of its deposit exploration type [J]. *Mineral Resources and Geology*, 24 (6): 485-494 (in Chinese with English abstract)
- Ministry of Nature Resources in Russian Federation. 1999. Supervising method of gold deposit reserves classification [M]. Moscow: Science: 4-8 (in Russian)
- Shi Fu-qiang, Zhu Xiang-kun, Yan Bin, Liu Yan-qun, Zhang Fei-fei, Zhao Ni-na and CHU Ming-kai. 2016. Geochemical characteristics and metallogenic mechanism of the Xiangtan manganese ore deposit in Hunan Province [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 35 (3): 443-455 (in Chinese with English abstract)
- Shumilin MV, Mashkovcev GA, Naurmov SS. 2003. Some problems of Russia in UN framework of resources reserves and classification [J]. *National Geology*, (4/5): 71-77 (in Russian)
- Wang Jian-yu, Jia Da-cheng, Gao Wen, Xu Ai-jun, Ren De-kui. 2011. Ore-controlling structures and orebody enrichment laws of Wufeng gold deposit in Yanji, Jilin [J]. *Gold*, 32 (10): 23-26 (in Chinese with English abstract)
- Wang Lei, Han Run-sheng, Huang Jian-guo, Hu Yi-duo, Yang Yong. 2010. Fault tectono-geochemical features and metallogenic prognosis for 59# ore body area of the Fengshan copper deposit, Yimen, Yunan [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 34 (2): 233-238 (in Chinese with English abstract)
- Xia Shi-jun, Wu Xi-lin. 1989. A discussion how to determine exploration types, reasonably choose exploration nets and raise geological exploration degrees [J]. *Geology of Guizhou*, 6 (2): 153-157 (in Chinese with English abstract)
- Xu Hong-wei, Gao Za-qi, Liu He-xu. 2015. The discussion on the exploratory grids degree of bauxite mine in western of Guinea [J]. *J. Changchun Inst. Tech. (Nat. Sci. Ed.)*, 16 (4): 68-73 (in Chinese with English abstract)
- Xu Wen, Chen Feng, Tang Qi-hong. 2006. Application of structural analysis in Xinyu iron ore exploration [J]. *Journal of East China Institute of Technology, (Supplement)*: 205 (in Chinese with English abstract)
- Yu Zhong-hui, Zhang Yu-sheng, Lu Xiu-quan, Hu Chun-ting, Li Chen-hui, Jiang Lan-fang, Zhang Han-cheng. 2007. Geological characteristics and prospecting types of Yang Jingou scheelite deposit [J]. *Geology and Exploration*, 43 (4): 8-12 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Cong-jian. 1989. Study on the characteristics of fault structure and the exploration degree of the exploration area in the pioneer area of manganese [J]. *China Manganese Industry*, 4: 4-8 (in Chinese)
- Zhao Xian-liang. 2007. Discussion on "National standard for the classification of the reserve of solid mineral resource" and "General rules for rationalizing solid minerals and geological prospecting" [J]. *Study on Technical Economy*, 20 (6): 7-10 (in Chinese with English abstract)
- Г. И. Бушинский. 1984. The bauxite geology [M]. Beijing: Geological Publishing House: 63-66 (in Chinese)
- [附中文参考文献]
- 丁嘉榆, 邓国庆. 2013. 现行离子型稀土勘查规范存在的主要问题与修订建议 [J]. *有色金属科学与工程*, 4 (4): 96-102
- 高帮飞. 2016. 合理勘查工程间距导致资源储量估算偏差的原因分析 [J]. *中国矿业*, 25 (2): 150-155
- 高航校, 任小华, 郭健. 2014. 资源量分类中勘查工程间距的确定方法研究 [J]. *地质与勘探*, 50 (2): 340-345
- 胡魁. 2002. 论矿产资源储量分类与勘查阶段的关系 [J]. *地质与勘探*, (3): 64-69
- 胡魁. 2009. 论矿产资源分类标准修订中的几个原则问题 [J]. *资源与产业*, 5: 122-125
- 胡魁. 2010. 固体矿产资源储量 1999 分类修订方案 [J]. *中国矿业*, 19 (1): 7-16
- 李建彪. 2015. 粤北禾尚田新型钨矿矿体特征及勘查类型 [J]. *地质与勘探*, 51 (4): 646-654
- 刘燕群. 2013. 湘潭锰矿地质特征及外围找矿远景分析 [A]. 中国地质学会, 2013 年学术年会论文摘要汇编 [C]. 北京: 中国地质学会: 168-172
- 吕古贤. 2015. 金属矿田地质勘探类型及其评价方案 [J]. *地学前缘*, 22 (4): 13-21
- 马国桃, 马东方, 高大发, 汪名杰, 李建忠, 姚鹏, 祝向平, 陈敏华, 梁鲸. 2010. 四川省九龙县黑牛洞富铜锌矿床地质特征及矿床勘查类型的确定 [J]. *矿产与地质*, 24 (6): 485-494
- 史富强, 朱祥坤, 闫斌, 刘燕群, 张飞飞, 赵妮娜, 褚明恺. 2016. 湖南湘潭锰矿的地球化学特征及成矿机制 [J]. *岩石矿物学杂志*, 35 (3): 443-455
- 汪建宇, 贾大成, 高文, 徐爱军, 任德奎. 2011. 吉林延吉五凤金矿床构造控矿及矿体富集规律 [J]. *黄金*, 32 (10): 23-26
- 王雷, 韩润生, 黄建国, 胡一多, 杨勇. 2010. 云南易门凤山铜矿床 59# 矿体分布区断裂构造地球化学特征及成矿预测 [J]. *大地构造与成矿学*, 34 (2): 233-238
- 夏士均, 吴锡林. 1989. 对如何确定勘探类型、合理选择网度、提高地质勘探程度的讨论 [J]. *贵州地质*, 6 (2): 153-157
- 徐红伟, 高灶其, 刘合旭. 2015. 几内亚西部红土型铝土矿勘查工程间距的探讨 [J]. *长春工程学院学报 (自然科学版)*, 16 (4): 68-73
- 许温复, 陈峰, 汤其鸿. 2006. 构造剖析在新余式铁矿勘查中的应用实例 [J]. *东华理工学院学报, (增刊)*: 205
- 俞中辉, 张玉生, 卢秀全, 胡春亭, 李晨辉, 姜兰芳, 张汉成. 2007. 杨金沟白钨矿床地质特征及矿床勘查类型讨论 [J]. *地质与勘探*, 43 (4): 8-12
- 张聪建. 1989. 湘锰先锋区断层构造特点及矿区勘探程度的研究 [J]. *中国锰业*, 4: 4-8
- 赵先良. 2007. 实施《固体矿产资源/储量分类》和《固体矿产地质勘查规范总则》国家标准之我见 [J]. *中国国土资源经济*, 20 (6): 7-15
- 布申斯基. 1984. 铝土矿地质学 [M]. 北京: 地质出版社: 63-66

Analysis of the Influence of Structural Complexity on the Exploration Type and Optimization of the Exploration Type Coefficient

MAO Dang-long^{1,2}, FU Qun-he^{1,2}, LIU Min², ZHOU Xu-lin^{1,2}, WU Sheng^{1,2}

(1. The Mineral Resources and Resources Evaluation Center of Changsha, Changsha, Hunan 410007;

2. Hunan Research Academy of Geological Sciences, Changsha, Hunan 410007)

Abstract: The current exploration code is based on five geological factors to classify exploration, in which the influence weight of structural complexity is about 10%. Through analysis of multiple types of mineral deposits and exploration experience summary, this work has studied the influence of structural complexity on the type deposit exploration, and found that the influence degree of structural destruction on the classification of ore deposits may be underestimated. This paper presents a case study of the Xiangtan manganese mine on this subject, which is featured by complicated structure after mineralization and intense destruction of ore bodies. During the exploration, this deposit was classified into type II, and surveyed at a corresponding grid of the project, failing to control ore bodies effectively. If the post-mineralization structural complexity and the actual situation of the ore-body destruction had been fully recognized in advance, then their weights in classification of the survey type should be raised and the mine should be viewed as type III, which are more consistent with the real geological conditions and favorable for effective controlling of ore bodies. As an attempt, this work raised the weight for the mine to 25%, and the exploration type coefficient is changed from 0.1~0.3 to 0.1~0.9, namely the sums of coefficients of five geological factors for survey types I, II, and III are changed from 2.5~3.0, 1.8~2.4, 1.0~1.7, 2.2~2.9, 1.0~2.1 into 3.0~3.6, 2.2~2.9, 1.0~2.1, respectively. By such changes, the effect of structural complexity on the exploration type has been adequately considered, which permits to further optimize the type coefficients of mineral deposits, reasonably determine the types of exploration, and better evaluate the degrees of control and prospecting to the mine.

Key words: type of deposit prospecting, type coefficient, geological factors, post-mineralization structure, structural destruction degree, Xiangtan manganese ore

