

岩溶山区矿坑顶板冒落导水裂隙带高度估算有关问题讨论

——以贵州省黔西县青龙煤矿为例

陈萍

(贵州省地质矿产勘查开发局, 贵州 贵阳 550004)

[摘要]贵州省岩溶山区水文地质条件极为复杂,常规的经验公式对矿井顶板冒落导水裂隙带高度估算结果常常小于矿井实际开采形成的高度,简单、机械地采用常规的经验公式估算矿井顶板冒落导水裂隙带高度并以此确定顶板充水水源的来源,可能导致矿井水防治设计的失误,并影响到了矿井防治水工作。本文以青龙煤矿为例,阐述了该矿矿床水文地质结构特征、勘探阶段估算和矿山开采中实际产生的矿坑顶板冒落导水裂隙带高度差异,分析了造成估算误差的主要原因,提出了岩溶山区矿井顶板冒落裂隙带高度经验公式修正的建议。

[关键词]矿坑顶板;导水裂隙带高度;岩溶山区

[中图分类号]TD163⁺.1;P64 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1000-5943(2015)01-0053-06

1 问题提出

矿坑顶板冒落导水裂隙带高度是判断固体矿产井工开采的矿区中矿井充水层(或充水水源)的重要依据,“矿坑顶板冒落导水裂隙带”高度计算合理与否,直接影响到矿井充水水源的来源、矿井涌水量预测目标层确定以及涌水量预测结果的合理性。我国现行的相关勘探规范、规程、教科书中都列出了较多的用于计算开采条件下矿坑顶板冒落导水裂隙带的高度的经验公式,并对不同的经验公式的也明确了适用条件,但是在贵州省岩溶山区矿山的实际开采中发现,计算结果常常与生产实际情况差异较大,根据勘探报告提供的冒落裂隙带高度及矿井涌水量预测结果制定的排水工程不能有效地满足矿井防治水的需要,并对正常的生产造成较大的影响。因此,针对岩溶山区的水文地质特点,开展在矿坑顶板冒落导水裂隙带高度估算中出现的上述问题的研究,对合理确定岩溶区矿坑充水水源(充水层)、矿井涌水量预测、矿山开采排水设计和矿井水害防治都具有重要的意义。本文以贵州省黔西县青龙煤矿为实例,通过“探”、“采”资料的对比分析,对岩溶山区

矿井顶板冒落导水裂隙带高度估算的有关问题开展讨论,以期对岩溶山区的矿产资源勘探和开采起到一定的指导作用。

2 矿床水文地质特征

2.1 水文地质条件概况

青龙煤矿区出露地层从老至新依次为中二叠统玄武岩($P\beta$)、二叠系上统龙潭组(P_3l)及长兴组(P_3c)、下三叠统夜郎组(T_1y)。区内断裂构造发育,其中以走向北东的 F_1 、 F_2 、 $F_{2支}$ 、 F_4 四条断裂为主(图1)。矿区地势总体南东高、北西低,主干河流驮煤河流经矿区北部边缘,为当地侵蚀基准面。

矿区含煤岩系为二叠系上统龙潭组(P_3l),含16、17等7层可采煤层,总厚平均11.38 m。夜郎组玉龙山段(T_1y^2)石灰岩在区内大面积分布,地表形成众多的封闭岩溶洼地,洼地中发育了落水洞、漏斗,钻孔揭露地下岩溶发育带主要分布在地表以下约150 m以内,含岩溶水,富水性强;二叠系上统龙潭组—三叠系下统夜郎组沙堡湾段($P_3l-T_1y^1$)岩性以泥岩及粉砂岩为主,含基岩裂

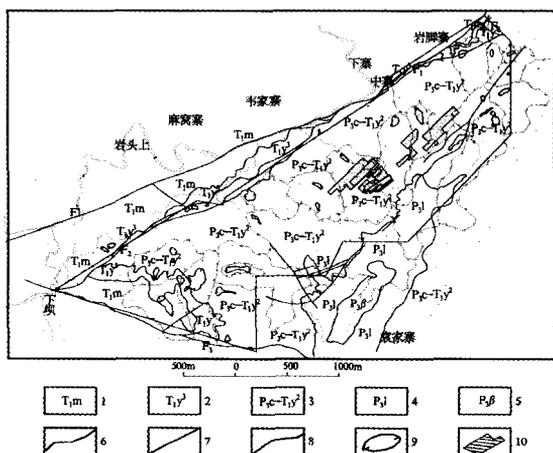


图1 贵州省黔西县青龙煤矿水文地质略图

Fig. 1 Hydrogeological sketch of Qinglong coal mine in Qianxi of Guizhou

1—三叠系下统茅草铺组;2—三叠系下统夜郎组九级滩段;3—二叠系上统长兴组至三叠系下统夜郎组玉龙山段;4—二叠系上统龙潭组;5—二叠系峨眉山玄武岩组;6—地层界线;7—断层;8—地表分水岭;9—岩溶洼地;10—地下采空区

隙水,岩层透水性差、含水性弱、具有相对隔水的特点。含煤地层龙潭组(P₃1)中最上一层可采煤层16号顶与夜郎组玉龙山段(T₁y²)含水层底板之间相对隔水层厚72.01~137.65 m(表1),平均厚度103.5 m。

2.2 矿山开采现状及矿井水文地质问题

青龙煤目前采空区面积0.4645 km²,11609工作面开采疏干水位降深78 m。矿山从2007年开始投产以来,随着矿井的开拓、采空区的扩展,雨季频繁出现矿井突水,2012年矿井涌水量从2007年的48.9 m³/d增加到342.8 m³/d,最大涌水量与正常涌水量的比值从2007年的1.956倍上升到5.65倍,而且矿井涌水量峰值在时间上从滞后降水演变为与暴雨同步。矿井突水点的位置大部分并不出现在断裂带上,突水的通道主要和与矿井连通的导水裂隙带有关。

综上,无论从天然条件下的矿床水文地质条件还是开采条件下水文地质条件发生的变化,青龙煤矿在贵州省内岩溶山区的矿山中具有典型的代表性。

3 研究方法及数据采集

3.1 研究方法

以青龙煤矿在勘探和开采过程中取得的水文

地质资料为基础,以水文地质学、系统理论学为支撑,以“探”、“采”资料对比分析为手段开展研究工作。针对青龙煤矿矿床水文地质特征,在充分收集开采前期勘探资料以及矿山开采后实际资料的基础上,分析青龙煤矿实际开采形成的导水裂隙带高度,揭示常规估算公式估算矿井顶板冒落导水裂隙带高度与开采实际影响高度之间的差异、分析形成的原因并提出相关的建议。

3.2 数据采集途径

矿区内地质结构、可采煤层的层数及厚度、可采煤层顶板岩性及厚度等基础性数据直接引用青龙煤矿原勘探报告;矿山现状采空区的面积、开采疏干水位降深、矿井充水量动态序列数据及水文地质条件的变化过程等数据主要采集于矿山生产记录。除上述基础和生产数据采集外,有针对性地开展了少量现场的核实踏勘。

4 数据分析

4.1 煤层顶板隔水层厚度统计

根据勘探钻孔实际揭露资料,对16号煤层顶板隔水层厚度及其空间变化进行统计分析。统计分析结果见表1。统计结果表明,区内16号煤层顶板隔水层厚度一般为65~140 m(表1),平均厚度100.57 m。空间变化较大。

4.2 矿井冒落导水裂隙带高度经验估算

根据我国现行《矿区水文地质工程地质勘探规范》(GB12719—1991),分别采用下述经验公式对矿井顶板冒落导水裂隙带高度进行估算。

$$H_f = \frac{100 M}{3.3 n + 3.8} + 5.1 \dots\dots\dots (1)$$

$$H_f = \frac{100 M}{2.4 n + 2.1} + 11.2 \dots\dots\dots (2)$$

公式一为矿层顶板为砂质页岩、泥质砂岩、页岩时的计算公式,公式二为矿层顶板为石灰岩、砂质页岩时的计算公式。青龙煤矿矿井顶板冒落导水裂隙带高度估算结果见表2。

将各勘探点揭露的16号煤层隔水顶板厚度和估算的矿井顶板冒落导水裂隙带高度在同一坐标系中绘制成曲线(图2),分析表明,无论按照何

表 1 青龙煤矿矿井 16 号煤层顶板厚度统计表

Table 1 The thickness statistics of No. 16 coal seam of Qinglong coal mine

孔 号	16 号煤层顶板隔水层厚 (m)						
Z01-2	64.89	Z4-1	83.33	ZK103	94.6	ZK302	110.47
J2-3	66.51	Z3-1	83.77	ZK102	97.09	Z3-2	118.92
ZK303	72.01	Z1-1	82.78	Z2-3	102.88	J4-2	134.56
Z01-1	76.98	J3-3	86.19	J5-1	107.25	J4-3	137.65
ZK901	77.70	J3-2	97.05	ZK403	107.51	J6-1	139.83
ZK402	81.63	J2-2	90.21	Z12-1	108.04	Z15-1	141.15
Z6-1	82.36	ZK301	90.7	ZK902	108.36	Z6-2	171.43

表 2 青龙煤矿矿井顶板冒落导水裂隙带高度估算成果表

Table 2 The height estimation results of mine roof water-conducting crack zone of Qinglong coal mine

孔 号	煤层数 (层)	采用煤层厚度 (m)	估算冒落导水裂隙带高 (m)		孔 号	煤层数 (层)	采用煤层厚度 (m)	估算冒落导水裂隙带高 (m)	
			公式一	公式二				公式一	公式二
Z01-2	5	7.28	40.04	62.8	ZK103	4	8.45	54.81	83.4
J2-3	5	8.84	48.65	73.89	ZK102	4	8.89	69.99	87.2
ZK303	2	5.55	58.47	91.6	Z2-3	3	7.11	57.00	87.7
Z01-1	3	6.36	51.52	79.6	J4-3	5	9.79	53.32	80.6
ZK901	3	4.40	37.21	58.8	J5-1	5	10.50	56.82	85.7
ZK402	3	5.28	43.64	68.0	ZK403	3	6.71	54.08	83.4
Z6-1	2	4.67	50.00	78.9	Z12-1	3	5.02	41.74	65.2
Z4-1	2	3.96	43.18	64.7	ZK902	3	6.05	49.26	76.3
Z3-1	5	6.52	44.69	57.4	ZK302	4	12.37	95.39	117
Z1-1	4	8.93	57.69	87.5	Z3-2	5	11.03	59.44	89.4
J3-3	5	8.79	48.4	73.54	J4-2	7	11.42	47.55	71.2
J3-2	6	11.86	55.35	83.07	J6-1	3	5.02	41.74	65.2
J2-2	3	8.03	63.71	97.54	Z15-1	6	9.82	46.71	70.7
ZK301	3	5.10	42.32	66.0	Z6-2	4	8.36	54.28	82.7

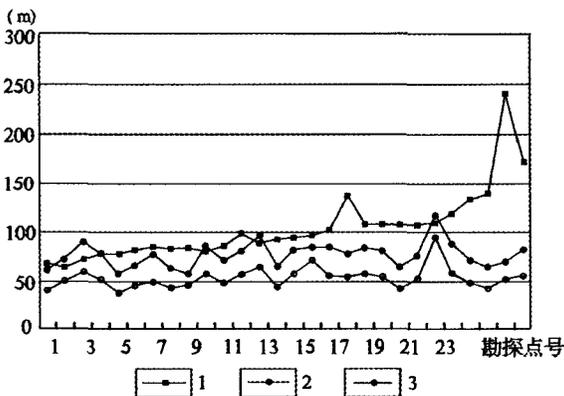


图 2 16 号煤层顶板隔水层厚度与矿井顶板冒落导水裂隙带估算高度关系图

Fig. 2 Relation of No. 16 roof aquiclude thickness and mine roof water-conducting crack zone height estimation

1—顶板隔水层厚度曲线;2—公式一估算冒落导水裂隙带高度曲线;3—公式二估算冒落导水裂隙带高度曲线

种岩性顶板公式估算的开采顶板冒落导水裂隙带高度几乎均小于 16 号煤层上覆隔水顶板厚度,因此在理论上,矿井顶板充水水源主要来自于 16 号煤层上覆龙潭组至夜郎组沙堡湾段 ($P_3l-T_1y^1$) 碎屑岩中的基岩裂隙水,夜郎组玉龙山段 (T_1y^3) 岩溶含水层中地下水对矿井充水基本上不存在影响。因此,矿区为顶板直接进水为主的裂隙充水矿床。

4.3 矿井涌水量动态特征分析

2007 年以来历年矿井涌水量演化过程见图 3。图中反映出,2007 年至 2009 年矿井涌水量基本处于稳定状态,年内涌水量变化率 1.9 倍,为基岩裂隙水的动态特征,反映出该期间矿井充水主要来自矿井顶板碎屑岩中的基岩裂隙水;随着开

采的推进,2010年中期开始至2011年涌水量明显加大,涌水量年变化率达到3.13倍,反映出矿井充水水源已经开始有新水源的加入,分析为矿井顶板冒落导水裂隙带已经开始延伸进入上覆玉龙山组,玉龙山组中少量的岩溶水已经间接地向矿井充水;到2012年矿井涌水量骤然增加,涌水量呈现巨变,年变化率达到5.65倍,表现为典型的岩溶水的动态特征,反映出该期间地下采空区顶板冒落导水裂隙带已经全面延伸进入上覆玉龙山组,玉龙山组中岩地下溶水已经成了矿井的直接且为主要的充水水源。

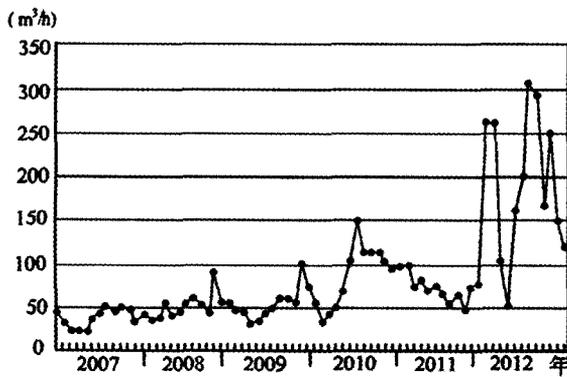


图3 青龙煤矿矿井涌水量历时曲线图

Fig. 3 Duration curve of water inflow of Qinglong coal mine

4.4 矿井涌水量与大气降水关系分析

将2007年至2012年历年矿井涌水量动态序列资料和同期大气降水量绘成相关曲线图(图4),图中反映出,2009年以前,矿井涌水量峰值相对大气降水一般滞后1~2个月;从2010年开始,矿井涌水量峰值与大气降水的滞后期明显缩短;进入2012年,矿井涌水量峰值基本上与大气降水呈现同步。上述现象也揭示出矿井充水通道从煤层顶板隔水层中向上覆玉龙山组岩溶含水层的发展过程,到2012年,矿井顶板冒落导水裂隙带已经完全进入玉龙山组岩溶含水层,并通过岩溶洞穴和溶蚀裂隙沟通了地表封闭岩溶洼地,暴雨期汇集于岩溶洼地中的大气降水通过岩溶和导水裂隙通道迅速的向矿井直接充水。

4.5 矿区地表水文条件变化特征分析

调查和访问表明,矿区在开采以前,雨季大气降水后区内均能产生一定的地表径流,矿山投入

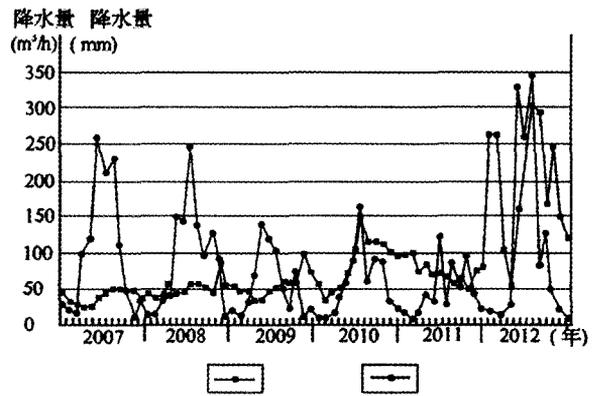


图4 青龙煤矿矿井涌水量历时曲线图

Fig. 4 Duration curve of water inflow of Qinglong coal mine

1—矿井涌水量历时曲线;2—大气降水历时曲线

开采后特别是进入2012年,大气降水后降水量基本上全部直接转入地下,地表已经不再产流,揭示了矿区内地表以下的岩层的透水性能得到了较大幅度的增加,间接地反映出了地下开采矿井顶板冒落导水裂隙带已经与 T_{1y}^2 岩溶含水层中的岩溶空间全面贯通。

5 结果与讨论

5.1 结果

(1)根据矿山开采的实测数据分析,一是随开采的延续,矿井涌水量大幅度增加,矿井涌水量动态从基岩裂隙水特征演变为岩溶水的特征;二是矿井涌水的峰值从滞后1~2月演变成与降水同步;三是矿区内从降水后地表产流逐渐演变为无径流产生;四是近年暴雨后矿井多次出现突水等现象,说明了矿山采空区顶板冒落裂隙带的实际高度已经进入了夜郎组玉龙山段(T_{1y}^2)岩溶含水层并与岩溶发育带连通。根据表1中16号煤层顶板隔水层厚度分析,目前矿井的导水裂隙带高度已经远远超过了16号煤层上覆隔水顶板平均厚度100.57m。

(2)青龙矿山矿井顶板冒落导水裂隙带已经完全进入了夜郎组玉龙山段(T_{1y}^2)岩溶含水层并与岩溶发育带连通,矿床水文地质类型已经从开采初期的裂隙水充水为主的矿床演变成了岩溶水充水为主的矿床。

(3)相对实际开采引发的导水裂隙带高度,常规的经验公式对矿井顶板冒落导水裂隙带高度估算结果是偏小的,即使采用顶板岩性为刚性的

石灰岩、砂质页岩条件的计算公式,其估算的结果仍然偏小,用其指导生产,可能造成矿山开采排水设计失误并影响正常矿山的生产。

5.2 讨论

(1) 常规预测公式估算误差原因分析

我国现行《矿区水文地质工程地质勘探规

范》(GB12719—1991)中推荐的“冒落带导水裂隙带最大高度经验公式”^[1]见表 3。

分析经验公式可以看出,公式本身及其使用条件仅仅考虑了矿层顶板的岩性和倾角,而没有考虑矿层顶板岩层中构造节理、裂隙以及岩溶含水层中岩溶发育情况,是导致了估算的矿井冒落导水裂隙带高度小于实际高度的主要原因。

表 3 冒落带导水裂隙带最大高度经验公式表

Table 3 Experimental formula of the biggest water-conducting crack zone height of caving zone

煤层倾角 (°)	岩石抗压强度 (MPa)	岩石名称	顶板管理方法	冒落带最大高度(m)	导水裂隙带 (包括冒落带最大)m
	40~60	辉绿岩、石灰岩、硅质石英岩、砾岩、砂砾岩、砂质页岩等	全部陷落	$H_c = (4 \sim 5) M$	$H_f = \frac{100 M}{2.4 n + 2.1} + 11.2$
0~54	20~40	砂质页岩、泥质砂岩、页岩	全部陷落	$H_c = (3 \sim 4) M$	$H_f = \frac{100 M}{3.3 n + 3.8} + 5.1$
	<20	风化岩石、页岩、泥质砂岩、粘土岩、第四系和第三系松散层等	全部陷落	$H_c = (1 \sim 2) M$	$H_f = \frac{100 M}{5.1 n + 5.2} + 5.1$
	40~60	辉绿岩、石灰岩、硅质石英岩、砾岩、砂砾岩、砂质页岩等	全部陷落		$H_f = \frac{100 mh}{4.1 h + 133} + 8.4$
55~85	<40	砂质页岩、泥质砂岩、页岩、粘土岩、风化岩石、第三系和第四系松散层等	全部陷落	$H_c = 0.5 M$	$H_f = \frac{100 mh}{7.5 h + 293} + 7.3$

注:①表中:M—累计采厚(m);n—煤层分层厚度(m);h—采煤工作面小阶段垂高(m);②冒落带、导水裂隙带最大高度,对于缓倾斜和倾斜煤层,系指从煤层顶面算起和法向高度;对于急倾斜煤层,系指从开采上限起的垂向高度;③岩石抗压强度为饱和单轴极限强度。

(2) 预测公式推荐与修正建议

对表 2 中不同经验公式对矿井顶板冒落导水裂隙带高度估算的结果统计分析,公式一的估算结果较实际值偏小超过 83%,公式二的估算结果较实际值偏小超过 23%,可以认为,公式二的估算结果总体上较为接近于实际开采条件下的导水裂隙带高度。鉴于此,建议以公式二为基础,对估算公式增加一个 1.3-1.6 的修正系数 λ(式 3),在实际的生产中,应结合勘探矿区具体的水文地质条件,当矿区地质构造较简单时可采用低值,构造较复杂条件下可采用高值。

$$H_f = \lambda \frac{100 M}{2.4 n + 2.1} + 11.2 \dots\dots\dots (3)$$

贵州省岩溶山区的矿床的水文地质条件远比非岩溶地区复杂得多,有效的、能够全面指导岩溶山区矿井顶板冒落导水裂隙带高度估算公式的修正系数需要通过大量实际的矿山开采资料的统计分析才能有效建立。本文以青龙煤矿勘探和生产

实际资料为基础,探讨了常规经验公式在估算岩溶山区矿井顶板冒落导水裂隙带高度存在的问题、分析了原因并提出了修正建议。

致谢:本文引用的相关资料主要来源于贵州省地矿局 105 地质大队编制的《贵州省黔西县青龙井田青龙煤矿资源储量核实报告》,在编写中得到贵州省地矿局王明章研究员的指导,在此一并表示感谢。

[参考文献]

- [1] 《矿区水文地质工程地质勘探规范》(GB12719—1991)。
- [2] 贵州省地矿局 102 地质大队. 贵州省黔西煤矿青龙井田(一期)精查地质报告[R]. 2003.
- [3] 贵州省地矿局 105 地质大队. 贵州省黔西县青龙井田青龙煤矿资源储量核实报告[R]. 2014.
- [4] 沈继芳,于青春,胡章喜. 矿床水文地质学[M]. 武汉:中国地质大学出版社. 1992.
- [5] 王明章,等. 贵州岩溶区地下水与地质环境[M]. 北京:地质出版社,2013.

- [6] 虎维岳,田干. 我国煤矿水害类型及其防治对策[J]. 煤炭科学技术,2010. 1.
- [7] 王磊. 贵州矿井水害防治现状分析及防治措施[J]. 科协论坛,2010,10.
- [8] 胡宏清. 喀斯特煤矿山矿井突水预测及水害防治研究—以贵州黔西新红林煤矿为例[D]. 贵州大学,2007. 6.
- [9] 王学杰. 马路坪矿段深部开采涌水量预测及防治研究[D]. 中南大学,2004. 6.

Discussion about Mine Roof Water-conducting Crack Zone Height Estimation in the Karst Mountain Area

——with Qinglong Coal Mine in Qianxi as an Example

CHEN Ping

(Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration & Development, Guiyang 550004, Guizhou, China)

[Abstract] The hydrogeological condition is complex in the karst mountain area of Guizhou, the mine roof water-conducting crack zone height estimated by conventional formula is usually smaller than the actual height, if the source of roof water is ensured by the conventional formula, the mine water prevention design may has mistake. In this paper, Qinglong coal mine is taken as the example, the hydrogeological condition, the height difference of estimation in exploration stage and exploitation stage are narrated, the reasons which cause the difference are analysed, then the revised suggestions are given for mine roof water-conducting crack zone height calculation.

[Key words] Mine roof; Water-conducting crack zone; Karst mountain area

(上接第 52 页)

(4) 建议今后对相同地质条件对萤石矿的勘查,选择测线点距 10 m、供电 AO 极距不超过 320 m 的工作装置较为适宜,个别地段视具体情况可适当加密测线点距进行勘查,可以取得较好的地质勘查效果。

[参考文献]

- [1] 牛云飞. 贵州望谟萤石资源保护与利用评述[J]. 矿产保护与利用,2009(6):20-23.
- [2] 沈阳,吴双红,等. 三极电测深法在黄土洞穴探测中应用[J]. 工程地球物理学报,2013,10(2):186-189.
- [3] 柳建新,龚露,等. 三极激电测深法在新疆戈壁滩找水中的应用[J]. 工程地球物理学报,2013,10(6):745-751.
- [4] 贵州省地质调查院. 贵州省务川-沿河萤石矿(铅锌)找矿战略选区项目成果报告[R]. 2014.
- [5] 贵州省地质调查院. 贵州省务川-沿河萤石矿(铅锌)找矿战略选区物探成果报告[R]. 2014.
- [6] 唐世庚,薛颖. 大功率激电(IP)三极测深在铜矿勘查中的应用[J]. 华北国土资源,2009(4):55-57.
- [7] 何继善. 双频激电法[M]. 北京:高等教育出版社,2006.

Application of Tripolar IP Sounding in Fluorite Mine Exploration in Shuitian of Yanhe, Guizhou

MENG Ying-hua, ZHANG Ting-ting, ZHANG Xi-jun

(Guizhou Academy of Geologic Survey, Guiyang 550005, Guizhou, China)

[Abstract] The fluorite deposit in this area is low-temperature hydrothermal type, the orebody is mainly found in fault and joint fracture zone. By tripolar IP sounding, the IP section is tested in the mining area, the IP anomaly is found in the fluorite concealed distributing area and shows obvious abnormal features of low resistance and high polarization. According to the geologic features, orebody features and relative information of the mining area, it's thought the effect of IP anomaly is well, it shows this way has some actual effect for low temperature hydrothermal fluorite exploration.

[Key words] Tripolar IP sounding; Low temperature hydrothermal type; Fluorite; Yanhe Guizhou