

# 马坑铁矿地下水流场变化特征与疏干防治对策

陈跃升<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质大学(武汉); 2. 福建马坑矿业股份有限公司)

**摘 要** 福建马坑铁矿属水文地质条件复杂的顶板直接岩溶充水矿床,开采以来不断发生的岩溶水涌(突)水灾害严重制约着矿区安全生产。地下水流场的形态是矿区水文地质条件的综合反映,利用不同时期的岩溶水动态观测数据,绘制并分析了矿区多个时段岩溶水的流场形态,总结发现随着矿区岩溶水不断疏干,矿区岩溶水系统补给、径流与排泄更多受断层破碎带的控制,同时也因岩溶发育及岩性的不同而有所差异,地下水流场形态变化在空间上不仅没有很好的一致性,也明显地制约着矿区岩溶水的全面疏干。针对矿区流场形态变化的主控因素,提出了具有针对性的疏干防治对策。

**关键词** 岩溶充水矿区 地下水流场 地下水防治

## Variation of Groundwater Flow Field and the Dewatering Countermeasures in Makeng Iron Mine

Chen Yuesheng

(China University of Geosciences(Wuhan); 2. Fujian Makeng Mining Co., Ltd.)

**Abstract** Makeng Iron Mine in Fujian belongs to a roof karst water-filled mine with complicated hydro-geological conditions. From mining start some years ago, sudden water inflow accidents constantly happened and have severely restricted the safety production. The groundwater flow field form mainly reflects the comprehensive hydro-geological condition. The paper adopted the karst water level data of different periods to draw and analyze the karst water flow field form in each period. It is summarized that with continuously dewatering of karst water, the recharge, runoff and discharge conditions of karst water system in Makeng mine is mainly controlled by the fault and also varied with karst development and lithology differences. And groundwater flow field form not only has no good consistency in space, but obviously restricts the overall dewatering of karst water in mine. For the main factors in variation of flow field form, a targeted dewatering countermeasure is proposed.

**Keywords** Karst water-filled mine, Groundwater flow field, Groundwater control

地下水流场的形态是所在区域水文地质条件的综合反映。在水文地质条件复杂的岩溶充水矿区,勘探阶段常常通过大型抽水试验形成的流场形态来判断岩溶发育特征和边界的水文地质性质,给初期的矿山涌水量定量评价预测提供基础依据<sup>[1-2]</sup>。随着矿山开采规模与深度不断加大,地下水流场的形态在多种外界因素(井下涌突水、疏干试验、井下探放水)的干扰下不断发生变化,可以逐步暴露矿区深部及边界性质等方面的一些水文地质问题。上世纪80年代初,福建马坑铁矿完成了全面的资源详勘工作,并进行了大型的抽放水试验;本世纪初马坑铁矿开始形成了规模性开采能力,但一直遭受岩溶水的威胁,为此矿区于2008年建成了全自动的地下水无线监测系统,以实时监测地下水动态。矿区在整

个勘探到开采过程中积累了不同时期较为丰富的水位观察数据,本研究充分利用这些动态资料,根据各个时期流场的形态特征来深化矿区水文地质条件认识,为深部岩溶水防治提供更加详细的水文地质依据。

## 1 矿区基本水文地质特征及面临的主要问题

马坑矿区位于福建省西南部龙岩市曹溪镇马坑村,具有储量大、层位稳定、可选性好等特点。该铁矿属于顶板直接充水的岩溶矿床,断层构造发育、主要矿体埋藏深度大,矿区水文地质条件复杂。自从

陈跃升(1965—),男,中国地质大学(武汉),博士研究生;福建马坑矿业股份有限公司,董事长,高级工程师;364000 福建省龙岩市曹溪镇崎漈村马坑矿业公司。

形成规模性开采以来,矿区面临的突水、涌水问题十分突出,特别是随着开采深度的增加,构成矿体顶板的船山—栖霞组( $C_{3c} \sim P_{1q}$ )碳酸盐岩岩溶水成为矿区安全开采的主要威胁:一方面岩溶水水压逐渐加大,矿坑突水的频率明显增加,矿坑涌水量也明显加大;另一方面随着地下水疏干降深和范围的增加,岩溶水的补给范围、径流方式和排泄条件都发生了很大改变<sup>[3]</sup>。

矿区范围内自南东向北西依次分布有下石炭系林地组( $C_{11}$ )、中石炭系经畲组( $C_{2j}$ )、上石炭系船山组( $C_{3c}$ )和下二叠系栖霞组( $P_{1q}$ )、文笔山组( $P_{1w}$ )与加福组( $P_{1j}$ ),岩层整体向北西倾斜。多属含水性较弱或相对隔水岩层,唯船山—栖霞组为一套可溶性的碳酸盐沉积地层,含水量丰富,为矿坑主要充水岩层。矿体主要赋存于其下中石炭统经畲组。

矿区岩溶含水层的边界为一个四周受断层切割并明显错开的相对独立地层,其西部边界为溪马河断层、南部由 $F_1$ 断层切割、东部是天山凹断层,北部边界则由马坑—观音座莲北段、陈坑—新厝断层及陈坑—崎瀨断层等构成。

矿区地下水以大气降水为主要补给来源,补给区主要分布于矿区东部的灰岩裸露和隐伏区,其次南部与东部接受砂岩及花岗岩裂隙水的侧向补给。天然条件下矿区地下水径流方向主要为2个方向:NE—SW和SE—NW。矿区岩溶水在中部和西部有一定量泉水、溪沟排泄,最终流入矿区西部溪马河;矿区岩溶地下水主要向北部径流至崎瀨泉处排泄。随着矿山不断向深部开采,地下水位目前已低于溪马河水位,除崎瀨泉雨季尚有一定流量外,区内其它泉水点完全消失,溪沟流量减少或断流或变为季节性河流,地下水的天然排泄已基本由人工开采取代。另外,由于本区断裂构造十分发育,这些规模不等、性质不同发育的断层,不仅切割、沟通了矿区主要充水岩层,同时在地表普遍出露,矿区主要水系多次流经断层出露和分布区,在断层导水情况下,极有可能构成开采条件下新的充水水源<sup>[4]</sup>。

## 2 矿区地下水天然流场特征

地下水的天然流场的展布反映的是补、排关系的自然流场形态。从矿区天然条件下流场中可以看到在东部和西部之间有一个较宽的水位平台区,为矿区地下水径流区的主要范围,在东部高水位—平水位和平水位—低水位之间,分别形成等水位线密集的台阶。东部主要接受补给,西部则是排泄为主,

而且排泄条件不畅。

天然情况下矿区的水位在450~600 m标高左右,这时的等水位线图综合反映了其水流和整个含水层的岩溶发育特征。矿区内岩溶裸露及第四系覆盖区主要分布于天山凹断层上盘、中矿段 $F_{10}$ 断层至 $F_{13}$ 断层一带、以及西矿段太保林一带。由于中矿段岩溶含水层中北东向展布的辉绿岩侵入,分割了两侧的岩溶含水层,使得两侧含水层的水力联系较弱。其南侧的地下水向南西径流至 $F_{10}$ 断层,进而进入西矿段水2附近岩溶洼地对应的径流带。辉绿岩北侧的岩溶水则向西北径流。

在矿区东部与小娘坑区域之间发育着局部的地表分水岭,这种地表分水岭使得天山凹北部的灰岩裸露区的岩溶水与中矿段矿区之间的地下水水力联系较小。该区域的岩溶水在裸露区接受了大气降水补给后,向西北方向径流。

天然情况下平台区地下水排泄去路主要有:部分地下水受到溪马河断层的阻挡,水流转向,从泉3处排泄;部分地下水通过北西向断层形成的63~65线岩溶强发育带与 $F_1$ 断层带处的岩溶强发育区沟通,从而使得矿区内的地下水从泉1处排泄;部分地下水沿 $F_2$ 断层上盘的岩溶发育带,向3号沟排泄;另还有部分地下水通过矿区北部 $F_3$ 断层观7至 $F_{10}$ 断层段向北西径流。

## 3 矿区详勘阶段人工流场特征

矿区在20世纪80年代详勘阶段,曾利用水5等双主孔群孔分别进行了雨、旱季的放水试验,历时分别为45 d和74 d,当时漏斗中心最大降深分别为24 m和40 m。旱季放水试验展现了更完整的流场形态,一定程度上比较充分暴露了矿区水文地质的边界条件(图1和图2)。

无论雨季或旱季试验,中部均形成形似“元宝”的最大降落漏斗中心,元宝的主要延伸方向分别是自水5—ZK637和水5—ZK62方向。该中心各孔大多在放水后1~2 min内开始平盘下降,反映出与主孔水力联系极为密切,具裂隙—溶洞水径流特征。

2个主要延伸方向也分别指示了主孔排水的主要补给方向为北东方向与东南方向,两者之中显然以前者与本区灰岩走向一致的自然补给区为主,后者只是岩溶泄水点的倒流而已。

地下水流与岩溶发育情况往往是相一致的<sup>[5-6]</sup>。2个主要延伸方向也分别指示了矿区的2个主要岩溶发育区域。东南的ZK637方向和西矿带北西向

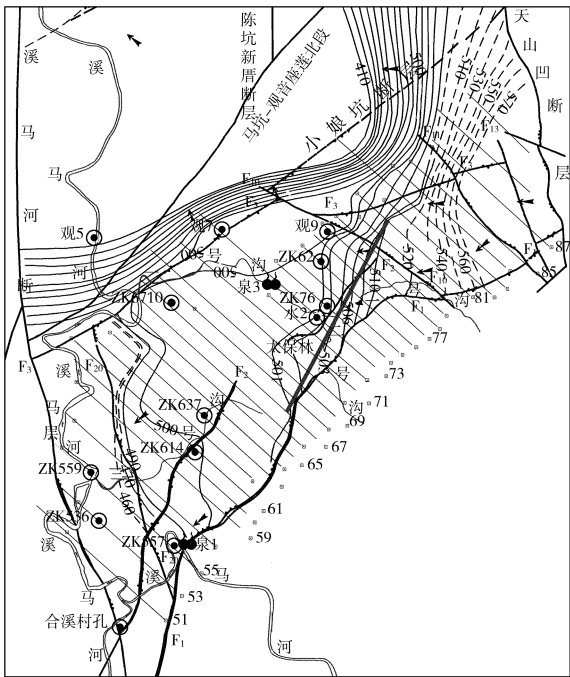


图 1 矿区天然条件下地下水流场

—实、推测正断层；—实、推测逆断层；—观测孔；  
—硅化带；—等水位线、标高；  
—地下水放水孔；—实、推测断层

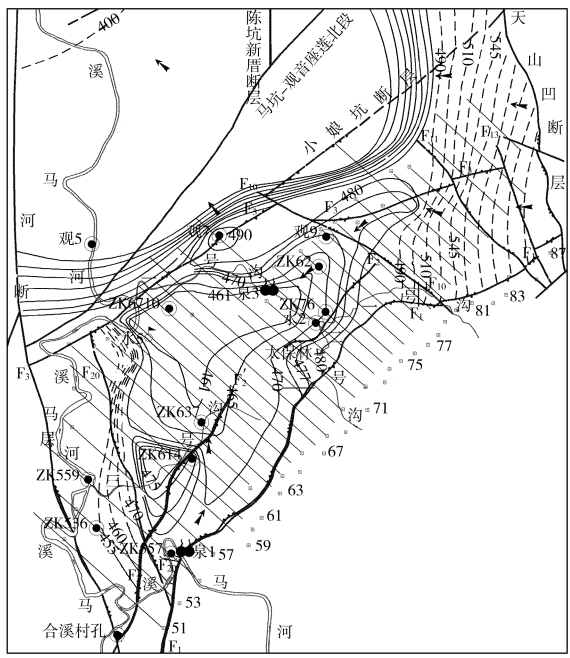


图 2 矿区旱季放水试验后地下水流场

—实、推测正断层；—实、推测逆断层；—观测孔；  
—等水位线、标高；—地表放水孔；—实、推测断层

岩溶发育带吻合，北东 ZK62 方向与泉 3 所在处的岩溶发育带一致。

试验期间，主孔西面 F<sub>20</sub> 断层西侧观测孔水位下

降甚小或不降而升，说明该断层主要表现为阻水断层；主孔北西的 F<sub>3</sub> 断层(F<sub>10</sub> 以西部分)北部观测孔也与 F<sub>20</sub> 西侧各孔类似降深甚小，说明该断层此段导水性极其微弱，但本断层东段(F<sub>10</sub> 以东)，等水位线有跨越断层向北西扩展的现象，说明该断层东西 2 段有不同的导水性；F<sub>1</sub> 断层在 67 线南段部分，试验期间断层两侧观测孔最大降深值极其接近，说明该断层在此区间内具有很好导水性<sup>[7]</sup>。

4 开采条件下地下水流场特征

4.1 矿区地下水自动监测系统介绍

马坑矿区曾多次开展不同目的的水文地质调查和勘察，但缺乏连续的动态监测工作。自 20 世纪 80 年代初地质详勘之后，20 多年来，各项水文地质工作一直处于中断状态，矿区地下水运动特征与水量都不清楚。自 2004 年马坑正式规模性开采后，为掌握现状条件下矿区地下水的动态情况，逐步建立了矿区地下水动态监测系统，现已建成 14 个地下水自动监测点。自 2008 年初至今，不同监测孔已获得了 1~2 a 的地下水水位数据。开采条件下矿区地下水流场形态变化较快，利用自动监测水位数据可以方便地绘出各时期矿区地下水流场形态，便于从中获取有用的水文地质信息。

4.2 疏干试验前流场特征

开采阶段矿区地下水主要通过井下生产巷道揭露的涌突水点出水排泄，2008 年 8 月 29 日矿区地表疏干孔水 5 开始抽水前，由于矿区东部东回风井和一期巷道长期生产排水，形成了一个较大的降落漏斗，东部灰岩裸露区和覆盖区获得的部分降雨补给在此处被阻截，到达矿区中部乃至西部的水量减少。其次，矿区西回风井在 2008 年 3 月发生的突水及附近钼矿等矿坑的涌水，在矿区西南部也形成了一定范围的降落漏斗。地下水主要径流方向为从水 5 孔附近的高水位平台流经水 2、ZK62 等孔，向一期巷道出水点汇集；西回风井的涌水量主要来自 F<sub>1</sub> 断层破碎带积水及 63~65 线强岩溶富水带，部分可能来自溪马河的渗漏补给<sup>[8]</sup>。2 个降落漏斗的出水量占当时矿区总出水量的 50% 左右，为矿区众多出水点中较大的 2 处。东部漏斗中心水位从天然条件下 +500 m 左右降至 +390 m 左右，矿区内部的观测孔水位下降了 41.56~77.59 m。位于 F<sub>3</sub> 断层北侧的观 5 降幅仅 1.96 m，说明溪马河断层在此段的隔水性较好；F<sub>3</sub> 西段北侧的观 7 下降了 66.29 m(表 1)，与详勘阶段水 5 放水试验反应差别较大，说明该断

表1 不同时期各地下水监测孔水位降幅

监测孔	降幅/m (旱季放水试验)	降幅/m (2008-07— 2008-09)	降幅/m (2008-09— 2008-12)	降幅/m (2008-09— 2009-11)
观 5	0.88	1.96	0.62	0.84
ZK557	15.03	41.59	8.67	38.91
ZK62	34.91	71.71	15.28	48.37
ZK6710	40.53	64.56	33.87	85.69
ZK76		76.74	19.69	138.42
水 2	31.71	77.59	20.46	
观 9	26.04	69.94	14.17	83.04
ZK637	40.28	62.08	34.01	89.43
ZK614	25.56	71.28	22.35	67.12
观 7	8.07	66.29		36.91
水 5	40.17	62.22	48.18	

地表疏干孔开始工作后,到 2008 年 12 月 2 月试验结束,水 5 孔抽水在水 5、ZK637 附近形成一个新的低水位平台,在原有下降漏斗的基础上增加了水 5 孔为中心的降落漏斗(疏干试验前后水流场分别见图 3 和图 4)。主要径流方向为 37—水 5 和水 2—水 5 方向,北东向延伸方向与阶段不太一致,稍向南偏,这与矿区岩溶发育规律为一致,随着标高的降低,水 5 北东方向的岩溶变弱,而东南  $F_2$  沿线的岩溶发育带则变为相对的地下水径流带。这一点从水 5 抽水过程水 2 和水 2 两孔降深速度的变化也可看出,开始阶段 K62 孔降速高于水 2,随着水位的逐渐降低,水 2 孔降速逐渐小于水 2 孔降速。

疏干试验期间矿区内岩溶水水位普遍下降 34.01 ~ 8.67 m, 距离水 5 较近且水力联系较好的 ZK6710 和 ZK637 孔降幅最大, 分别为 33.87 m 和 34.01 m;  $F_{20}$  断层西部的 ZK559 与 ZK536 仍在自流, 疏干试验期间流量未有明显变化, 证明  $F_{20}$  断层阻水性没有发生较大改变。

矿区 2009 年 10 月流场特征见图 5 所示。

分别发生于 2009 年 2 月和 10 月的矿区东部副井 -70 m 和中部措施竖井 +242 m 的突水,尤其是后者使得附近地下水位迅速下降,在地表疏干孔停止工作后,又增加了以副井和措施竖井为中心的 2

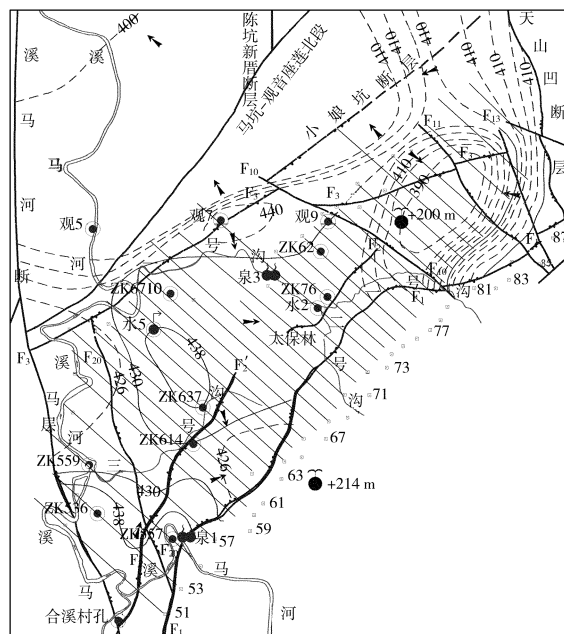









图3 疏干试验前地下水流场

 一实、推测正断层;  一实、推测逆断层;  一观测孔;  
 一实、推测断层;  一 等水位线、标高;  
 一地表抽水孔;  一 空水点

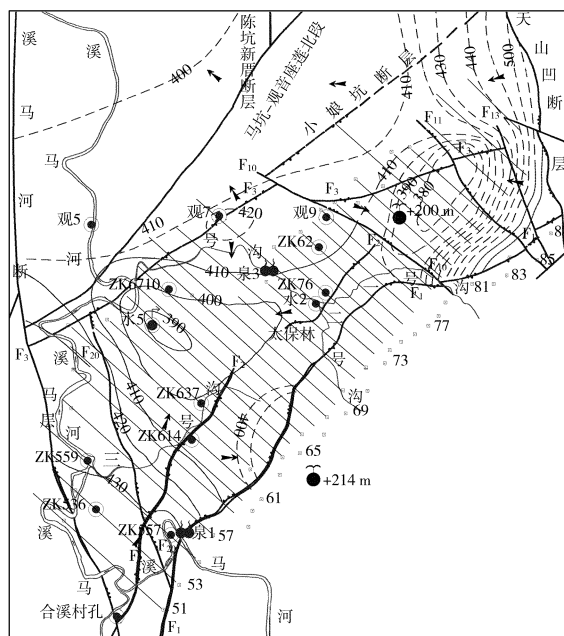









图4 疏干试验后地下水流场

 一实、推测正断层; 
  一实、推测逆断层; 
  一观测孔; 
  一实、推测断层; 
  一 等水位线、标高; 
  一地表抽水孔; 
  一空气点

个降落漏斗,原水 5 平台区向一期巷道流经水 2 附近的地下水部分被措施竖井降落漏斗阻截,而原东回风井和一期巷道出水点形成的降落漏斗由于一期



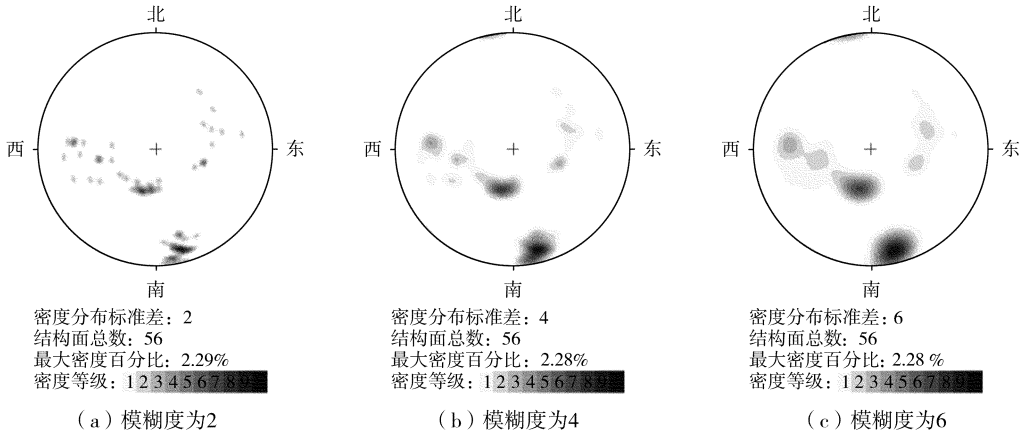


图3 模糊统计密度

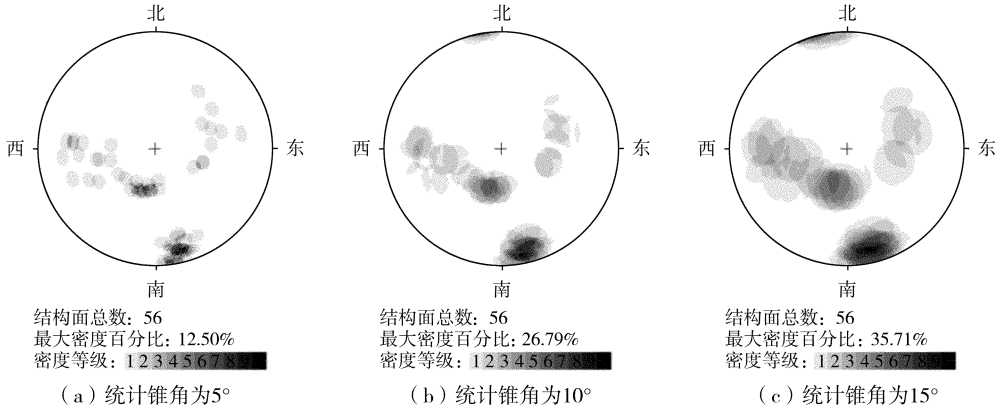


图4 极点等密度

参 考 文 献

[1] Hoek E,Bray J W. 岩石边坡工程[M]. 北京:冶金工业出版社,1983.

[2] 周玉新,周志芳,等. 岩体结构面产状的综合模糊聚类分析[J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(13):2283-2287.

[3] 孙广忠. 岩体结构力学[M]. 北京:科学出版社,1988.

[4] 钱 辉,董火根,等. 极射赤平投影中的数学方法[J]. 高校地质学报,1997,9(3):328-337.

[5] 陈 魁. 应用概率统计[M]. 北京:清华大学出版社,2000:46-49.

(收稿日期 2010-08-11)

(上接第 98 页)

当矿体附近的岩溶水位降至预定水平后,周围岩溶水仍有较高的残余水头,若要将矿区岩溶水彻底疏干则是一件长期而较艰难的工作。

(3)矿区岩溶水系统主要受断层破碎带(往往也是岩溶发育区域)的影响,表现出一定的不统一性,主要受 63~65 线及 F<sub>2</sub> 等断层破碎带的控制,未来疏干重点在 +200 m 水平,建议疏干孔重点布置于 63~65 线间。井下生产中涌突水易发区段应特别注意,严格按照相关规程进行探放水<sup>[9]</sup>。

参 考 文 献

[1] 张 艳,祖树正,郭东欣. 流场分析法在矿区水文地质工作中的应用[J]. 世界地质,1999,18(4)65-68.

[2] 张仲根,唐忠林,骆祖江. 水文地质概念模型的水动力场研究

方法——“流场分析法”[J]. 江苏地质,2007,31(2):143-146.

[3] 吴振岭,白喜庆. 峰峰煤矿区岩溶地下水流程演化规律[J]. 地下水,2009,31(1):23-27.

[4] 陈彦美,陈植华,王 涛. 福建省某铁矿岩溶水疏干试验方案优化设计[J]. 金属矿山,2008(4):27-30.

[5] 王大纯,张人权,史毅虹,等. 水文地质学基础[M]. 北京:地质出版社,1995.

[6] 袁道先,刘再华,林玉石,等. 中国岩溶动力系统[M]. 北京:地质出版社,2002.

[7] 吴章鋐. 对矿区地下水动态观测工作的一些认识[J]. 水文地质工程地质,1981(3):14-17.

[8] 陈跃升. 复杂岩溶矿区降水开采条件下的地表水渗漏定量评价[J]. 金属矿山,2008(12):83-86.

[9] 沈继芳,于青春,胡 章,等. 矿床水文地质学[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1992. (收稿日期 2010-08-19)