

向 刚, 王明章, 曾牡丹, 等. 黔中某矿区灯影组断控白云岩富水性差异研究及防治水意义[J]. 中国岩溶, 2023, 42(3): 402-412.
DOI: 10.11932/karst2022y19

黔中某矿区灯影组断控白云岩富水性差异研究及防治水意义

向 刚¹, 王明章², 曾牡丹¹, 王嘉铭¹, 樊善兴¹

(1. 贵州省地质矿产勘查开发局一〇四地质大队, 贵州 都匀 558000;
2. 贵州省地质矿产勘查开发局, 贵州 贵阳 550000)

摘 要: 黔中地区矿床水文地质条件复杂, 磷矿的主要充水层灯影组富水性中等至强, 矿坑突水严重影响区域磷矿资源的安全开采。因此, 掌握该区域灯影组的富水性特征极为重要。文章依托贵州省 2020 年矿产资源大精查项目资料, 采用研究与生产相结合、典型矿区解剖的方法开展该矿床灯影组富水性研究。结果表明: 黔中地区大湾磷矿为顶板直接充水的岩溶矿床, 充水层灯影组的岩性、结构以及断裂构造是控制矿床充水条件的主要因素, 灯影组含水性和透水性具有明显的“平面分块”和“垂向分层”的分布规律。充分利用该特征对于矿井防水设计并指导矿山开采, 对保障黔中磷矿安全生产、降低开采成本具有重要意义。

关键词: 富水性; 灯影组; 岩溶矿床; 大湾磷矿; 黔中地区

中图分类号: TD745; P641.46 **文献标识码:** A

文章编号: 1001-4810 (2023) 03-0402-11

开放科学(资源服务)标识码 (OSID):



0 引 言

黔中地区是我国磷矿的主要产区之一, 具有矿层厚度大、矿石品位高、品质优良的特点。磷矿资源的开发利用, 对保障贵州省乃至全国农业生产、推动经济社会发展起到了极为重要的作用。由于磷矿资源在地质构造上主要产于白岩、洋水等背斜区域, 赋存于震旦系上统陡山沱组中, 为深埋藏于地下、顶板灯影组地下水直接充水的岩溶充水矿床。充水层灯影组厚度大, 地层时代老, 地史上经历的构造运动多, 断裂构造发育、岩层节理裂隙发育, 因此, 矿床水文地质条件较复杂。过去的勘查和开发中基本上都简单的将容矿层陡山沱及上覆灯影组白云岩概化为

均质同一充水含水层, 导致矿山开采设计对矿山开采指导性不强, 一定程度影响磷矿资源的安全开采, 查明矿床水文地质条件及矿井水害成为磷矿资源勘查、矿山设计和矿山开采的重要任务之一。多年来, 不同的勘查设计单位和矿山生产企业为此做了不懈努力, 但由于矿床水文地质条件的复杂性, 矿山“突水”、“淹井”事故仍时有发生。为此, 开展该类矿区矿床水文地质调查研究, 对矿业开采开发、安全生产及绿色矿山建设, 具有重要意义。

研究工作以贵州省 2020 年矿产资源大精查项目资料为支撑, 以福泉市大湾磷矿为研究基地, 在充分收集磷矿资源勘查和开采的相关资料及资料“二次开发”的基础上, 采用地面调查、地球物理勘探、

资助项目: 贵州省 2020 年矿产资源大精查项目(XNNK-KC-[2022]-0002); 贵州省地矿局地质科研一般科学研究项目(黔地矿科合[2019]8号、[2020]5号)

第一作者简介: 向刚(1983-), 男, 硕士, 水工环高级工程师, 主要从事矿区水文地质勘查工作。E-mail: xianggang1997v@126.com。

收稿日期: 2022-01-07

钻探、地球物理测井以及水文地质试验等手段,通过综合分析和归纳总结,掌握区内磷矿床的水文地质结构、矿床充水特征,以期为大湾磷矿矿产资源勘查和开发提供依据,为黔中地区磷矿勘查和开发提供借鉴。

1 研究区基本特征

1.1 区域地质概况

黔中地区磷矿资源主要赋存在白岩背斜轴部及两翼的震旦系陡山沱组中,赋矿地层老、断层发育。磷矿上覆充水层灯影组厚度大、富水性强不均匀,为顶板直接进水的岩溶充水矿床^[1]。福泉市大湾磷矿位于白岩背斜西翼,其磷矿储量巨大、品味高,区内构造发育。区域构造主要为白岩-高坪复背斜以及切错该背斜的小坝断层 F_1 。矿区所在水文地质单元南部以拦马坳至扁担山一线为地表分水岭。北部边界位于白岩背斜轴部转背岩一带, $C_{1-2}n+C_2m$ 组炭质页岩、粉砂岩富水性弱,为地下水隔水边界^[2]。单元西部和东部均以 $C_{1-2}n+C_2m$ 组为隔水边界;单元西部有一条SN向的压性断层小坝断层(F_1)^[3]。矿区位于白岩背斜西翼,位于水文地质单元径流区,地下水径流方向为NE向(图1)。

整个白岩背斜区域分布着大量的磷矿露天开采区和井下开采区,其中露天开采区主要分布在背斜轴部(图2),最低开采标高已至972 m。井下开采矿山主要分布在白岩背斜的两翼和倾伏端,最低开采标高已至800 m左右。

1.2 研究区水文地质特征

研究区分布地层由老至新有南华系南沱组($Pt_3^{2c}n$),震旦系陡山沱组(Pt_3^{3d})、灯影组($Pt_3^{3b}C_1dy$),寒武系牛蹄塘组($C_{1-2}n$)、明心寺组(C_2m)、金顶山组(C_3j)和第四系(Q)^[4]。研究区地表出露寒武系金顶山组和明心寺组,磷矿的主要充水含水层为灯影组,隐伏在深部,平均厚度229.54 m,为磷矿直接顶板,该层溶孔溶隙发育,富水性中等偏强。研究区平面上分布有SN向的压性断层(F_1 、 F_2),和NW向的张性断裂(F_{13})(图3)。

灯影组地下水主要来自上游的侧向径流补给,其次为区内大气降水通过上覆岩层的垂直入渗补给。

天然条件下,地下水沿地层走向从南西往北东径流。地下水径流通道主要为岩石中发育的溶孔溶隙,在断层带附近岩石破碎,节理发育,断层节理裂隙形成径流通道。地下水径流形式主要表现为裂隙流,断层带附近表现为股状涌入^[5]。

研究区先期开采范围矿层标高为+800~+450 m,矿区范围最低排泄基准面标高(1 050.5 m)。受矿床水文地质结构控制,矿床充水层灯影组顶底均被相对隔水层封闭,地形条件不利于地下水的自然排泄(图3)^[6]。

2 研究区工程布置

2.1 工程布置

研究区东部下坝山一带无断层发育,为正常块段,布置一组多孔抽水试验,观测孔呈近“十字”形分布,其中主孔为ZK908,观测孔分别为ZK907(观1)、ZK900(观2)、ZK902(观3)、ZK510(观4)、ZK709(观5)、ZK1304(观6)。研究区SN向压性断层为 F_1 和 F_2 ,在断层附近分别布置水文试验孔SGZK1和ZK710;研究区NW向张性断裂 F_{13} ,在其附近布置水文试验孔ZK909(图3-图5)。

在研究区,从南西往北东依次布置ZK601、ZK602、ZK710、ZK711、ZK712、ZK906、ZK909、ZK1111、ZK1305等水文测井孔,对研究区灯影组地层从走向上和倾向上分别进行控制(图3)。

2.2 数据采集

矿区基础地质条件(地层、构造、水文地质)数据采集主要根据地面调查、地面地球物理勘查获取。

充水层灯影组水文地质结构特征根据勘探过程中的钻探、简易水文地质测量、地球物理测井等手段采集;研究区充水层灯影组不同构造附近地层富水性、渗透性参数通过现场抽水试验(单孔抽水试验、多孔抽水试验)获取。

3 结果与分析

3.1 充水层灯影组的地质结构

将物探测井曲线^[7-8]、岩芯孔隙率和钻孔动水位曲线展示在垂向上进行对比分析,灯影组富水性和透水性在垂向上差异较大,在其中下部存在一段硅

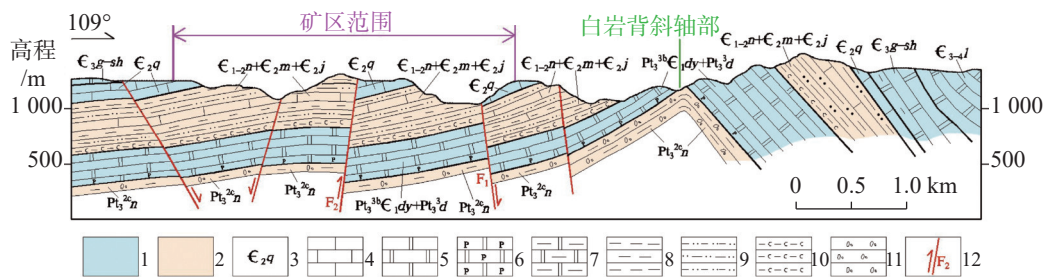


图 2 A-A'水文地质剖面图

1-碳酸盐岩含水岩组, 富水性中等至强 2-基岩裂隙水含水岩组, 富水性弱 3-地层代号 4-灰岩 5-白云岩
6-含磷白云岩 7-泥质白云岩 8-泥岩 9-泥质粉砂岩 10-炭质泥岩 11-冰碛砾岩 12-断层及编号

Fig. 2 A-A' hydrogeological section

1. water-bearing formation comprised of carbonate rocks with medium to high water abundance 2. water-bearing formation comprised of bedrock fissure water with low water abundance 3. stratigraphic code 4. limestone 5. dolomite 6. phosphorous dolomite 7. argillaceous dolomite 8. mud rock 9. argillaceous siltstone
10. carbon mudstone 11. moraine conglomerate 12. fault and numbering

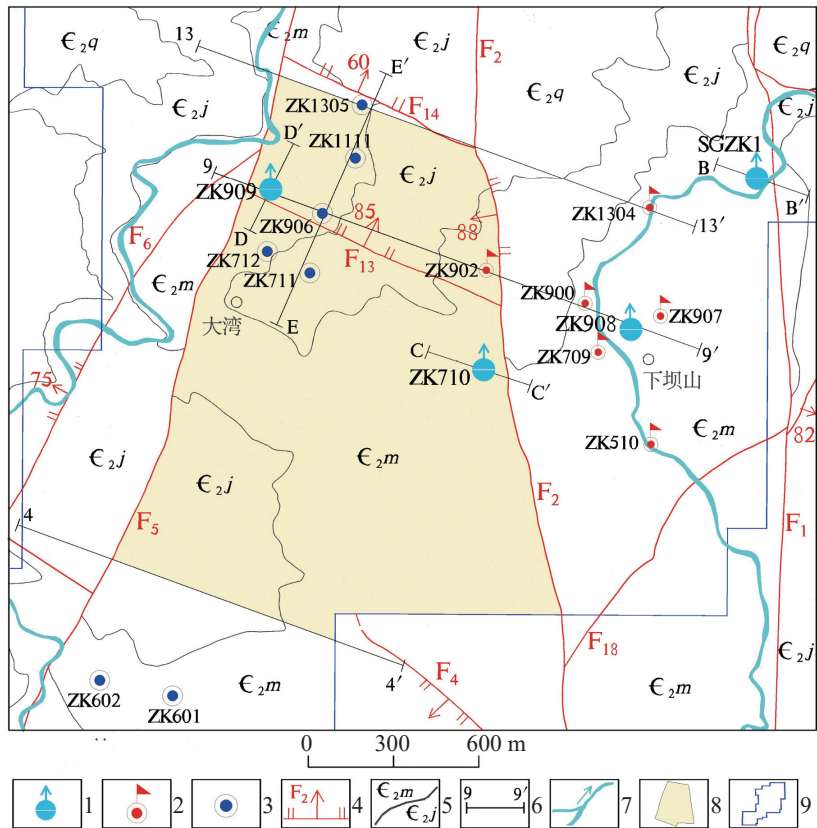


图 3 研究区工程平面布置图

1-抽水试验钻孔 2-多孔抽水试验观测孔 3-测井钻孔 4-断层 5-地层代号及界线 6-剖面线 7-河流 8-先期开采范围 9-矿区界线

Fig. 3 Plan of the project in the study area

- 1-pumping test borehole 2-porous pumping test observation hole 3-logging hole 4-fault 5-stratigraphic code and boundary
6-section line 7-river 8-initial mining area 9-mine boundary

质白云岩层, 该层裂隙不发育、含水性较差、透水性较弱, 为弱含水段。根据测井曲线和简易水文地质编录确定该弱含水段厚度范围为 39.93~123.84 m (表 1), 其中 ZK711、ZK906、ZK1111、ZK1305 呈 NE 向分布, 剖面上显示该弱含水段连续分布, 并将

灯影组分为 I、II 上下两段^[9-10](图 6)。
3.2 灯影组垂向上富水特征
物探曲线显示, 裂隙含水段均分布在灯影组 I 段和 II 段中^[11-12], 钻孔简易水文地质编录显示, 岩芯

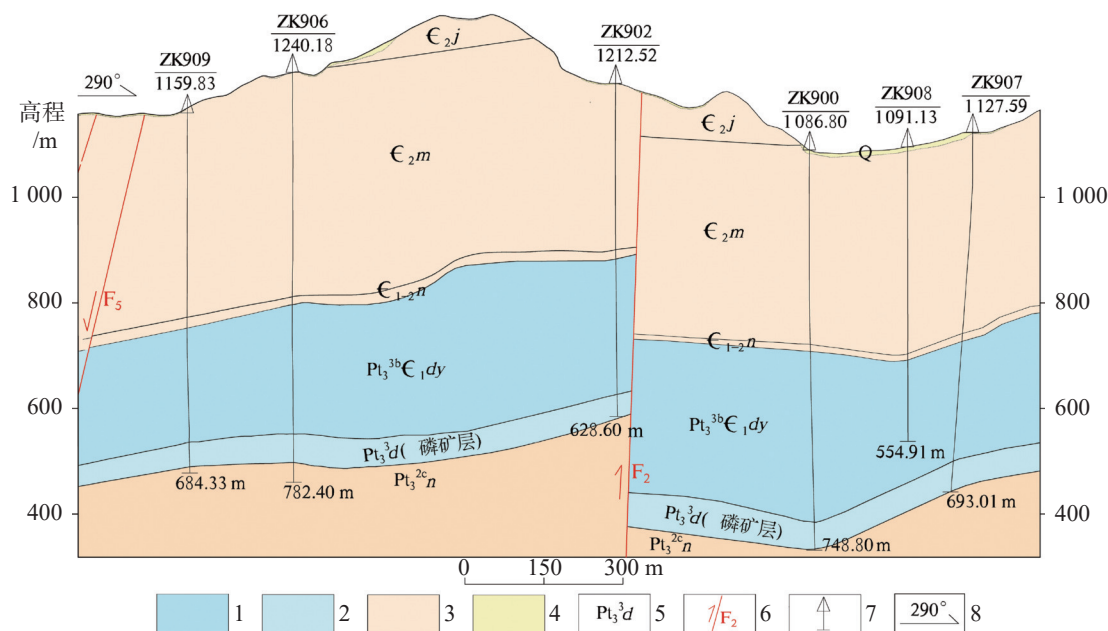


图4 9线水文地质剖面图

1-碳酸盐岩含水岩组,富水性中等至强 2-碳酸盐岩含水岩组,富水性弱 3-基岩裂隙水含水岩组,富水性弱
4-孔隙水,富水性弱 5-地层代号 6-断层 7-钻孔 8-剖面方位

Fig. 4 Hydrogeological section of Line No. 9

1. water-bearing formation comprised of carbonate rocks with medium to high water abundance 2. water-bearing formation comprised of carbonate rocks with low water abundance 3. water-bearing formation comprised of bedrock fissure water with low water abundance 4. pore water with low water abundance 5. stratigraphic code 6. fault 7. borehole 8. profile azimuth

孔隙率、钻孔动水位曲线在Ⅰ段和Ⅱ段中存在明显的差异,Ⅱ段的岩芯更破碎、孔隙率值比Ⅰ段稍大。ZK710和ZK909孔对灯影组Ⅰ段和Ⅱ段分层抽水试验数据显示,灯影组下段的岩石渗透系数值更大,与灯影组下段的岩芯更为破碎,孔隙率值更大结论相吻合,其抽水参数值见表2。

3.3 不同性质断层带附近灯影组富水性

研究区内分布有相对阻水的压性断层 F_1 、 F_2 和导水的张性断裂 F_{13} ^[13],分别平行于和垂直于主构造线。在 F_1 、 F_2 、 F_{13} 断层旁分别开展水文地质试验求取参数,并与研究区东部无断层发育的正常块段多孔抽水试验参数值进行对比。

研究区多孔抽水试验历时21 d,其中主孔抽水量 $19.57 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$,主孔水位降深值61.06 m,主孔抽水与各个观测孔观测水位同步进行,采用单对数曲线进行参数计算^[14-16],各个观测孔参数值见下表3。

SGZK1、ZK710钻孔分别位于压性断层 F_1 、 F_2 附近,ZK909钻孔位于张性断层 F_{13} 附近(图3,图5),试验段均为灯影组全段,其抽水试验参数值分别见表4、表5。

研究数据显示,研究区无断层发育的正常块段

灯影组岩石渗透系数值为 10^{-2} 级,压性断层旁岩石渗透系数值(K)比正常块段区域大一个数量级左右,而张性断层附近岩石渗透系数值(K)比压性断层附近区域大5倍左右,说明受张性断层影响的灯影组岩石节理裂隙更发育,钻孔岩芯更破碎,富水性更强,而压性断层附近区域灯影组岩石含水性和富水性次之,正常块段的灯影组富水性最小。

ZK906孔位于 F_{13} 张性断层旁,其测井曲线显示出2处明显的裂隙含水段^[17],分别在466.33~471.19 m和484.01~489.4 m,具体表现为电阻率低、声波时差高、自然伽马值低^[18],在484.01~489.4 m段井温显示异常,2处含水段对应区域,其钻孔动水位曲线下降明显(图7),物探解译结果与钻孔简易水文编录结果相吻合。ZK906孔人工井液电阻率测井图中, ρ_1 和 ρ_2 、 ρ_2 和 ρ_3 的测量间隔时间为20 min, ρ_3 和 ρ_4 测量间隔30 min, ρ_4 和 ρ_5 测量间隔120 min,曲线显示在469.34~472.58 m、485.86~489.4 m段存在井液电阻率异常,且盐化后的井液电阻率在很短时间内恢复至与背景值 ρ_0 相接近(图8),说明该裂隙段地下水活动强烈,且岩芯破碎,地下水溶蚀的迹象明显,表明受张性断层影响的岩石富水性更强^[19]。

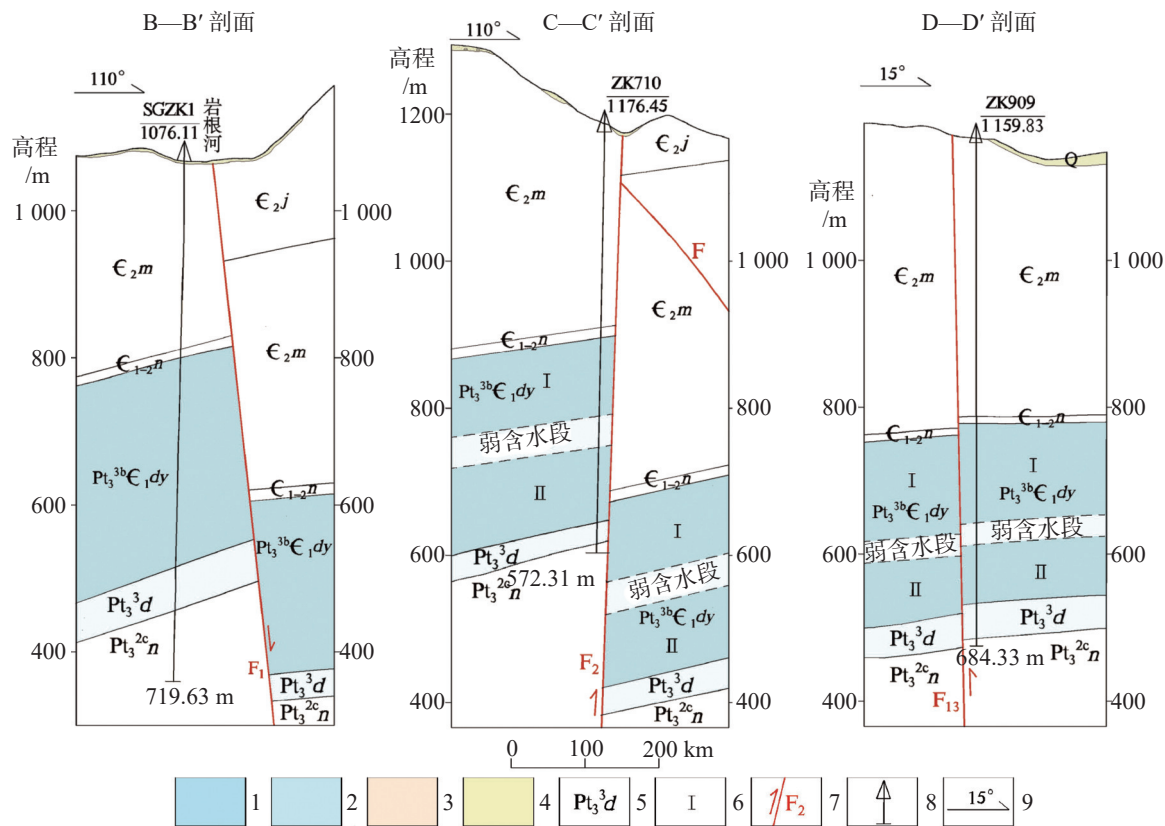


图 5 水文试验孔与断层位置剖面示意图

1-碳酸盐岩含水岩组，富水性中等至强 2-碳酸盐岩含水岩组，富水性弱 3-基岩裂隙水含水岩组，富水性弱
4-孔隙水，富水贫乏 5-地层代号 6-灯影组分段编号 7-断层 8-钻孔 9-剖面方位

Fig. 5 Sections of the hydrologic test hole and the fault position

1. water-bearing formation comprised of carbonate rocks with medium to high water abundance 2. water-bearing formation comprised of carbonate rocks with low water abundance 3. water-bearing formation comprised of bedrock fissure water with low water abundance 4. pore water with poor water abundance
5. stratigraphic code 6. Dengying Formation section numbering 7. fault 8. borehole 9. profile azimuth

表 1 灯影组中下部弱含水层统计表

Table 1 Statistics of weak permeable layers in the middle and lower parts of the Dengying Formation

钻孔编号	弱含水段埋深位置/m	厚度值/m	备注
ZK601	542.50~591.00	48.50	
ZK602	501.76~625.60	123.84	
ZK710	386.00~428.68	42.68	
ZK711	533.36~655.00	121.64	
ZK712	606.89~665.80	58.91	
ZK906	519.01~562.00	42.99	
ZK909	524.75~564.68	39.93	
ZK1111	444.48~521.50	77.02	
ZK1305	520.69~620.80	100.11	

4 讨论与结论

4.1 讨 论

文章以大湾磷矿区为研究场区，针对磷矿水文

地质条件及相关问题开展了研究，研究成果对黔中磷矿区的矿产资源勘查、矿山设计及矿山开采具有借鉴意义，但是，由于本次研究投入的实物工作量依然有限，并且不同矿山具体的水文地质条件也有一定的差异，故在未来磷矿勘查和开采过程中，应不断

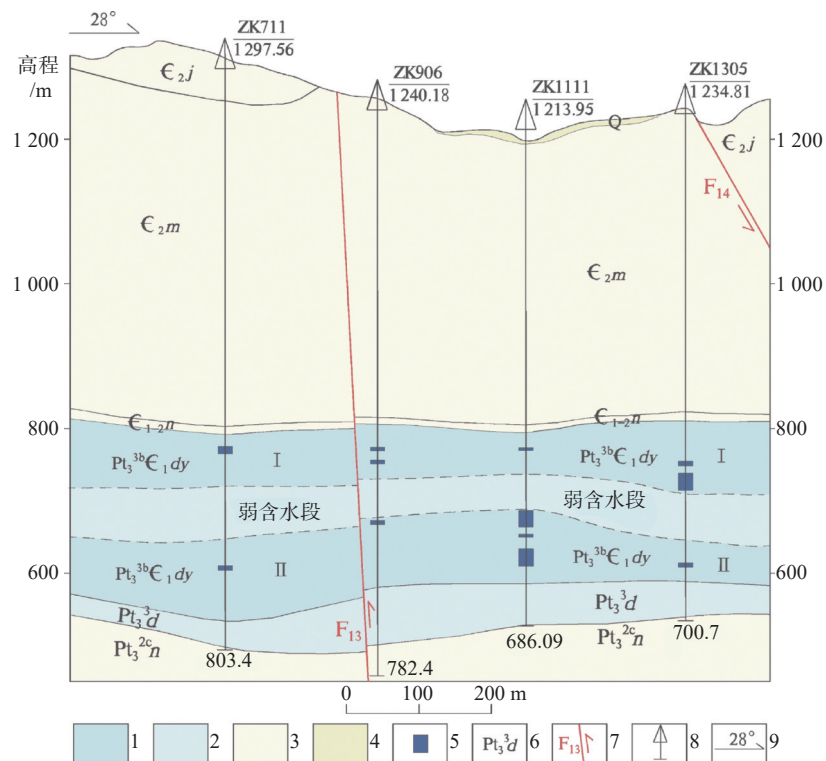


图 6 灯影组走向上含水段划分图

1-碳酸盐岩含水岩组,富水性中等至强 2-碳酸盐岩含水岩组,富水性弱 3-基岩裂隙水含水岩组,富水性弱
4-孔隙水,富水贫乏 5-测井显示含水段 6-地层代号 7-断层 8-钻孔 9-剖面方位

Fig. 6 Division of aquifer sections along the Dengying Formation

1. water-bearing formation comprised of carbonate rocks with medium to high water abundance 2. water-bearing formation comprised of carbonate rocks with low water abundance 3. water-bearing formation comprised of bedrock fissure water with low water abundance 4. pore water with poor water abundance
5. water-bearing section while logging 6. stratigraphic code 7. fault 8. borehold 9. profile azimuth

表 2 灯影组分层抽水试验参数表

Table 2 Parameters of the stratified pumping test of the Dengying Formation

孔号	抽水段	降次	涌水量 (Q)/m ³ ·d ⁻¹	降深(S)/m	含水层厚度(M)/m	渗透系数(K)/m·d ⁻¹
ZK710	I	1	220.49	13.7	118.58	0.144
		2	136.34	8.50	118.58	0.132
	II	1	357.26	21.44	68.13	0.297
		2	200.45	11.97	68.13	0.275
ZK909	I	1	385.26	5.00	110.29	0.688
		2	271.98	3.53	110.29	0.642
	II	1	485.40	7.80	60.22	1.190
		2	220.49	3.55	60.22	1.049

表 3 多孔抽水试验观测孔参数表

Table 3 Parameters of observation holes for the porous pumping test

观测孔	距主孔距离(r)/m	降深值(S)/m	导水系数值(T)/m ² ·d ⁻¹	含水层厚度(M)/m	渗透系数(K)/m·d ⁻¹
观1(ZK907)	145	16.44	10.61	282.96	0.037
观2(ZK900)	174	9.97	17.80	345.30	0.051
观3(ZK902)	542	4.53	18.17	281.57	0.064
观4(ZK510)	450	5.62	14.67	300.33	0.049
观5(ZK709)	131	6.80	17.72	285.18	0.062
观6(ZK1304)	406	4.70	17.91	296.61	0.060

表 4 压性断层附近抽水试验参数表
Table 4 Parameters of the pumping test near the piezotropic fault

孔号	抽水段	降次	涌水量 (Q)/m ³ ·d ⁻¹	降深(S)/m	含水层厚度(M)/m	渗透系数(K)/m·d ⁻¹
ZK710	全段	1	330.05	10.00	186.13	0.186
		2	213.67	6.47	186.13	0.171
SGZK1	全段	1	392.17	10.00	234.80	0.173
		2	249.09	6.35	234.80	0.154

表 5 张性断层附近抽水试验参数表
Table 5 Parameters of the pumping test near the tensional fault

孔号	全段	降次	涌水量 (Q)/m ³ ·d ⁻¹	降深(S)/m	含水层厚度(M)/m	渗透系数(K)/m·d ⁻¹
ZK909	全段	1	495.54	3.00	170.51	0.955
		2	256.61	1.55	170.51	0.841

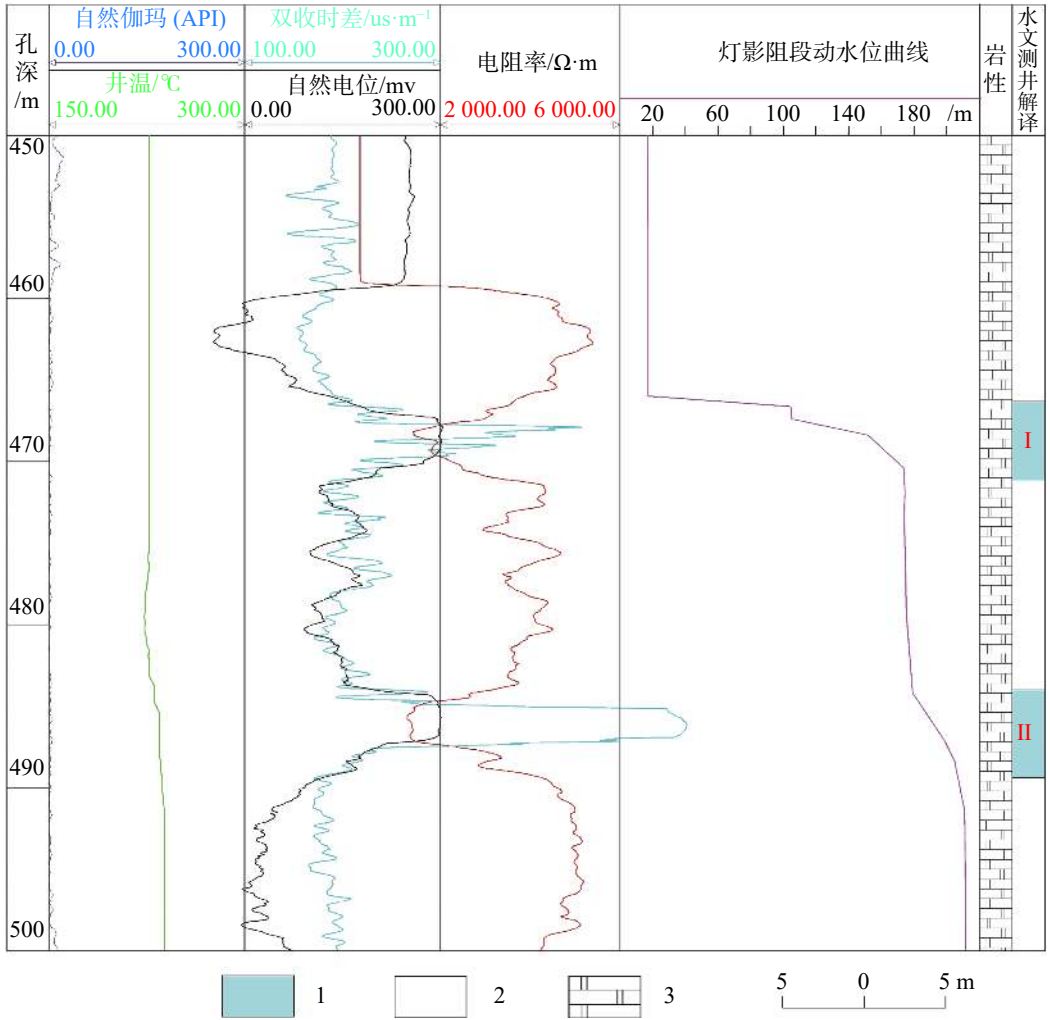


图 7 ZK906 测井曲线与动水位曲线图
1-含水段 2-弱透水段 3-白云岩

Fig. 7 Curves of geophysical logs and groundwater levels in ZK906 drilling well
1-water-bearing section 2-weak pervious section 3-dolomite

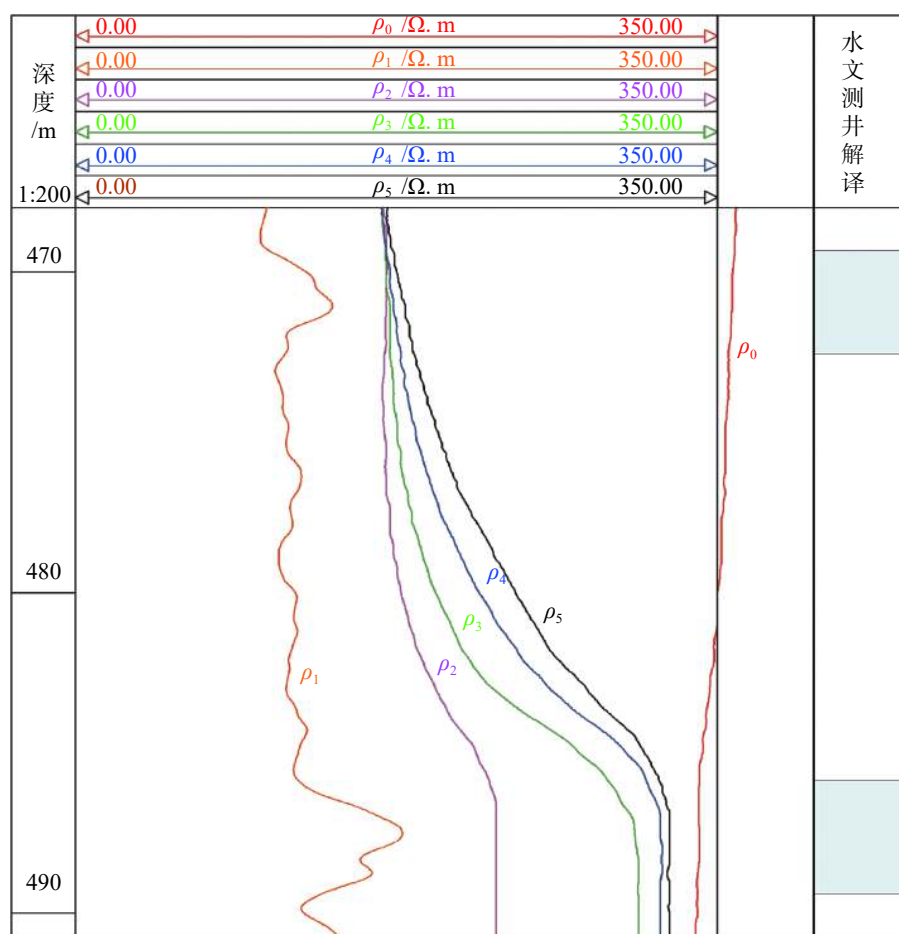


图 8 ZK906 测井盐化曲线图

Fig. 8 Salinity curve of ZK906 drilling well

加强该区域的综合分析研究和经验总结。

4.2 结 论

(1)受地质构造影响,黔中磷矿区灯影组岩石具有“垂向分层”和“平面分块”的特征。“垂向分层”反映为灯影组岩石在垂向上的分段性——上、下段之间间隔一定厚度的硅质岩弱含水层,Ⅱ段为磷矿的直接充水水源、Ⅰ段为间接充水水源,且Ⅱ段的富水性和渗透性强于Ⅰ段;

(2)与构造线延伸方向一致的断层具有阻水特征,断层带对矿山开采矿坑充水影响小;而垂直构造线方向的断层具有良好的导水性,成为导通灯影组Ⅰ、Ⅱ段地下水的通道,并成为矿井集中充水甚至突水的地带;

(3)在矿床水文地质勘探中,应重点勘查灯影组上、下分段的结构以及不同段的富水性和渗透性,查明张性断层带的水文地质特征;在矿山开采设计中应充分利用灯影组上下段之间相对隔水的硅质岩段,

避免或减少井巷工程对硅质岩段的破坏,并注意留足横张断裂带的防水矿柱空间;在矿山开采中,应加强井巷和矿坑采空区顶板的保护,控制采空区顶板冒落导水裂隙带的形成,并避免沟通上部强富水段。在开采工程接近横张断裂带前,应做好超前探水工作。

参考文献

- [1] 王明章, 张林, 王伟, 陈萍, 陈登齐, 洪运胜. 贵州省岩溶区地下水与地质环境[M]. 北京: 地质出版社, 2015.
WANG Mingzhang, ZHANG Lin, WANG Wei, CHEN Ping, CHEN Dengqi, HONG Yunsheng. Groundwater and geological environment in karst area of Guizhou Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2015.
- [2] 宁黎元, 熊舒宁. 数值模拟查明地下水系统隐伏边界位置及其性质方法探讨[J]. 贵州地质, 2012, 29(1): 48-51.
NING Liyuan, XIONG Shuning. Study on the hidden boundary location and its property of groundwater system by numerical simulation[J]. Guizhou Geology, 2012, 29(1): 48-51.
- [3] 寇西昌. 贵州瓮福磷矿小坝矿段群孔抽水及其实用意义[J]. 贵州地质, 1987(2): 211-223.

- KOU Xichang. Many cores unwatering and its practice significance, Xiaoba mine gallery, Wengfu phosphate mine, Guizhou[J]. *Guizhou Geology*, 1987(2): 211-223.
- [4] 贵州省地质调查院. 贵州志/中国区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 2017.
- Guizhou Provincial Institute of Geological Survey. The Regional Geology of China, Guizhou Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2017.
- [5] 蒲开兴, 蒲庆隆, 曾凡祥, 蔡健龙, 任永林. 贵州福泉市英坪磷矿水文地质条件与深部工程突水灾害防治[J]. *中国地质调查*, 2021, 8(5): 101-107.
- PU Kaixing, PU Qinglong, ZENG Fanxiang, CAI Jianlong, REN Yonglin. Study on the hydrogeological conditions and prevention of water invasion hazard in deep engineering of Yingping phosphate mine in Fuquan City of Guizhou Province[J]. *Geological Survey of China*, 2021, 8(5): 101-107.
- [6] 陈萍, 王明章. 基于地下水开发的岩溶地下水系统类型划分方案探讨[J]. *中国岩溶*, 2015, 34(3): 234-237.
- CHEN Ping, WANG Mingzhang. A classification scheme of karst groundwater systems based on groundwater exploitation[J]. *Carsologica Sinica*, 2015, 34(3): 234-237.
- [7] 郭崇光, 李振栓, 赵莹, 杨展. 水文地球物理测井方法与应用[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2006.
- [8] 韩凯, 梁永平, 严良俊, 梁东辉, 申豪勇, 唐春雷. 综合物探调查晋祠断裂对晋祠泉流域岩溶水控制作用效果分析[J]. *中国岩溶*, 2020, 39(5): 745-752.
- HAN Kai, LIANG Yongping, YAN Liangjun, LIANG Donghui, SHEN Haoyong, TANG Chunlei. Control of the Jinci fault on karst water in the Jinci spring basin revealed by integrated geophysical surveys[J]. *Carsologica Sinica*, 2020, 39(5): 745-752.
- [9] 王明章, 幸绍汉, 王清友, 陈忠详, 朱春孝, 黄根荣. 贵州省遵义市西北郊高坪水源地供水水文地质初勘报告[R]. 遵义: 贵州省地质矿产局第二水文地质工程地质大队, 1991.
- [10] 王明章. 贵州寒武系白云岩山间盆地型水源地混合模拟问题探讨: 以海龙坝水源地为例[J]. *中国岩溶*, 1993, 12(1): 36-47.
- WANG Mingzhang. Approach on hybrid simulation for groundwater field of Cambrian dolostone intermontane basin in Guizhou: A case of Hailongba[J]. *Carsologica Sinica*, 1993, 12(1): 36-47.
- [11] 李富, 邓国仕, 袁建飞, 王德伟, 唐业旗, 周一敏. 断层破碎带综合地球物理找水模式: 以甘田坝村探采结合井为例[J]. *中国岩溶*, 2019, 38(3): 344-352.
- LI Fu, DENG Guoshi, YUAN Jianfei, WANG Dewei, TANG Yeqi, ZHOU Yimin. Comprehensive geophysical model for water prospecting in fault fracture zone: A case study of water supply well siting at Gantianba village[J]. *Carsologica Sinica*, 2019, 38(3): 344-352.
- [12] 程亚平, 蒋灵芝, 黎柳月, 李善民, 冯志秦. 综合物探技术探测平果铝厂赤泥堆场岩溶发育特征[J]. *中国岩溶*, 2016, 35(6): 688-698.
- CHENG Yaping, JIANG Lingzhi, LI Liuyue, LI Shanmin, FENG Zhiqin. Integrated geophysical prospecting technology to detect the characteristics of karst development in red mud dump of Pingguo aluminum plant[J]. *Carsologica Sinica*, 2016, 35(6): 688-698.
- [13] 杨兴玉, 孟庆田, 向刚, 陆跃荣, 宋普洪, 刘波, 何永川, 王嘉铭. 贵州省福泉市大湾磷矿勘探报告[R]. 都匀: 贵州省地质矿产勘查开发局一〇四地质大队, 2021.
- YANG Xingyu, MENG Qingtian, XIANG Gang, LU Yuerong, SONG Puhong, LIU Bo, HE Yongchuan, WANG Jiaming. Exploration Report of Dawan phosphate mine, Fuquan City, Guizhou Province[R]. Duyun: 104 Geological Brigade of Guizhou Geological and Mineral Exploration and Development Bureau, 2021.
- [14] 孙其昌. 在大泉边进行多孔多阶段非稳定流抽水试验水文地质参数的计算及水位预报[J]. *中国岩溶*, 1987, 6(4): 55-61.
- SUN Qichang. Calculation of hydrogeological parameters: Multiple-stage multiple-well unsteady flow pumping test beside a large karst spring[J]. *Carsologica Sinica*, 1987, 6(4): 55-61.
- [15] 金光炎. 地下水文学初步与地下水资源评价[M]. 南京: 东南大学出版社, 2009.
- [16] 吕全标, 胡晓农, 曹建华, 黄芬, 朱昊. 基于钻孔抽水试验和示踪试验的岩溶地区含水层结构研究[J]. *中国岩溶*, 2017, 36(5): 727-735.
- LV Quanbiao, HU Xiaonong, CAO Jianhua, HUANG Fen, ZHU Hao. Aquifer structure of karst areas derived from borehole pumping and tracer tests[J]. *Carsologica Sinica*, 2017, 36(5): 727-735.
- [17] 冯来泉. 物探测井在地热开发中的应用[J]. *地球学报*, 2000, 21(2): 212-215.
- FENG Laiquan. The application of geophysical logging to geothermal development[J]. *Journal of the Earth*, 2000, 21(2): 212-215.
- [18] 王明章, 陈萍, 王中美, 王诗扬. 贵州省岩溶地下水系统及地下水赋存规律研究[M]. 北京: 地质出版社, 2018.
- WANG Mingzhang, CHEN Ping, WANG Zhongmei, WANG Shiyang. Research on karst groundwater system and groundwater occurrence conditions in Guizhou Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2018.
- [19] 向刚, 曾牡丹, 王嘉铭, 陈体云, 何永川, 张华湘, 杨子林. 钻孔简易水文地质编录与测井结合对岩溶含水层含水性划分探讨: 以福泉市大湾磷矿为例[J]. *贵州地质*, 2021, 38(2): 208-212.
- XIANG Gang, ZENG Mudan, WANG Jiaming, CHEN Tiyun, HE Yongchuan, ZHANG Huaxiang, YANG Zilin. Division of water-bearing property with combination of simple hydrogeological logging and borehole logging: Take Dawan phosphate mine of Fuquan for example[J]. *Guizhou Geology*, 2021, 38(2): 208-212.

Study on the difference of water-bearing capacity of fault-controlled dolomites in Dengying Formation of a mining area in central Guizhou and its significance of water control

XIANG Gang¹, WANG Mingzhang², ZENG Mudan¹, WANG Jiaming¹, FAN Shanxing¹

(1. 104 Geological Brigade of Guizhou Geological and Mineral Exploration and Development Bureau, Duiyun, Guizhou 558000, China;

2. Guizhou Geological and Mineral Exploration and Development Bureau, Guiyang, Guizhou 550000, China)

Abstract The central region of Guizhou Province enjoys global fame of its areas with large-scale production rich in phosphorus. For a long time, the phosphate rock resources in this area have provided a reliable guarantee for the domestic economic development. At present, this region has also become an important raw material base of phosphate rocks and a production base of fine phosphate chemicals in China. After decades of mining, phosphorus mines in this area have gradually changed from open pits to underground ones and from shallow to deep, and thus the hydrogeological conditions of deposits become increasingly complex. Dengying Formation, the main aquifers of phosphate rocks, is composed of dolomite with the water-bearing medium of solution pores and cracks. It is a water-bearing formation comprised of pure carbonate rocks with medium to high water abundance. Consequently, the high cost of mine drainage has imposed a heavy burden on mining enterprises. In addition, mine water inrush has severely threatened the exploitation safety of phosphate rock resources in this region. Therefore, it is very important to research the characteristics of water abundance of the Dengying Formation.

The phosphate mine of Dawan, a water-filling deposit with deeply covered karst, is located on the western flank of the Baiyan anticline. The high bearing capacity of groundwater and complicated hydrogeological conditions of Dengying Formation are representative and typical in the Baiyan anticline area. Due to the super large scale and high grade of phosphate ore resources, the phosphate mine of Dawan was listed as a key project of mineral resource exploration in Guizhou Province in 2020. During the exploration work, a large amount of geological data was obtained through surface surveys, geophysical and hydrological logging, drilling, and hydrogeological experiments. In this paper, a study on the water abundance of the Dengying Formation of the deposit has been conducted based on the data from the exploration of the phosphate mine as well as the anatomy of typical mining areas. The research results show that the phosphate mine in Dawan is a karst deposit with water-filled roof, and the lithology, structure and fracture structure of the Dengying Formation in the water-filled layer are the main factors controlling the water-filling condition of the deposit. With an obvious distribution law, the water content and permeability of Dengying Formation present obvious characteristics of "plane partition" and "vertical stratification". In the plane of exploration area, there is a significant difference in water abundance of the Dengying Formation near and far from the structural area. The differences in fault properties also result in different water abundance of the Dengying Formation. In the vertical direction, there is a weak permeable layer with poor water content and relative water resistance in the middle and lower parts of the Dengying Formation. The waterproof design of mine based on the characteristics of water abundance in Dengying Formation is of great significance to ensure the safe production of the phosphate mine in central Guizhou, and to reduce the cost of mining drainage.

Key words characteristics of water abundance, Dengying Formation, karst deposit, the phosphate mine of Dawan, central Guizhou

(编辑 杨 杨)