

# 大型地下磷矿山穿越含水层技术研究

李晓军

中国水利水电第九工程局有限公司, 贵州 贵阳 550081

**摘要:** 随着露天矿山相继转入地下开采, 地下矿山占比越来越大。在建设及开采过程中, 突涌水是不可忽视的风险因素, 极易引发群体事故, 危害安全生产。加强矿山水害管理, 提高应急处置能力, 很有现实意义。本文旨在论证大型地下磷矿山穿越含水层技术施工的可行性及高效性。

**关键词:** 地下矿山; 含水层施工; 排水系统; 注浆固结; 短掘短支

## Research on Technology of Crossing Aquifer in Large Underground Phosphorus Mines

Li Xiaojun

SINOHYDRO BUREAU 9 CO., LTD. Guiyang, Guizhou 550081

**Abstract:** As open-pit mines are successively converted to underground mining, the proportion of underground mines is increasing. During the construction and mining process, water inrush is a non-negligible risk factor that can easily cause group accidents and endanger safe production. It is of great practical significance to strengthen the management of mine water disasters and improve emergency response capabilities. This article aims to demonstrate the feasibility and efficiency of technical construction for large underground phosphorus mines crossing aquifers.

**Keywords:** underground mine; aquifer construction; drainage system; grouting consolidation; short excavation and short support

### 引言

磨坊深部磷矿位于贵州省福泉市北西约37km, 矿区属高坪矿区北段, 南起磨石口, 北抵龙王田, 呈南北向长条形状。地理坐标: 东经 $107^{\circ}20'15'' \sim 107^{\circ}21'18''$ , 北纬 $26^{\circ}58'15'' \sim 27^{\circ}00'28''$ , 矿区南北长4.93km, 东西宽0.33~2.29km, 面积3.82k m<sup>2</sup>。

磨坊深部磷矿150万t/a地下采矿开拓工程主胶带斜井井筒总长1828.6m, 坡度 $i=22\%(12^{\circ}24'27'')$ ; 净断面宽4.5m, 高3.5m, 周长14.48m, 面积14.32m<sup>2</sup>; 锚网喷支护段开挖断面宽4.8m, 高3.8m, 周长15.54m, 面积16.57m<sup>2</sup>; 钢拱架、锚网喷支护段开挖断面宽5.06m, 高4.13m, 面积19m<sup>2</sup>; 衬砌支护段开挖断面宽5.4m, 高4.3m, 周长17.48m, 面积21.01m<sup>2</sup>。

磨坊深部磷矿150万t/a地下采矿开拓工程主胶带斜井、回风斜巷及后续中段巷、运输平巷均需进入含水层施工, 含水层巷道总长约7000m, 且在完全进入含水层前存在约500m的隔水层与含水层交界面软弱带, 遇水易垮落, 交接面软弱带与含水层存在导水通道。地质复杂, 存在多处地质破碎带, 板岩遇水易软化离层, 造成冒顶事故。<sup>[1]</sup>含水层中存在溶洞, 可能与预掘进巷道存在联系, 可能突发涌水; 目前已局部揭露含水层, 导致巷道发生冒顶, 并伴随涌水涌砂, 处置冒顶及涌水耗费时间共2个月, 严重影响施工进度及安全。

### 一、水文地质背景

磨坊深部磷矿地层由老到新依次为: 新元古界青白口系下江时期清水江组( $Pt_3^{1d}q$ )、南华系上统南沱冰碛岩组( $Pt_3^{2cn}$ )、震旦系下统陡山沱组( $Pt_3^{3d}$ )和震旦系上统-寒武系组芬兰统灯影组( $Pt_3^{3b} \in 1dy$ )、古生界寒武系组芬兰统-第二统牛蹄塘组( $\in 1-2n$ )、寒武系第二统明心寺组( $\in 2m$ )、金顶山组( $\in 2j$ )及第四系(Q)<sup>[6]</sup>。

隔水层巷道主要布置在青白口系下江时期清水江组( $Pt_3^{1d}q$ )灰绿色薄至中厚层变余凝灰质粉砂岩与变余凝灰质粘土岩的韵律

组成。含水层巷道主要布置在、震旦系下统陡山沱组( $Pt_3^{3d}$ )和震旦系上统-寒武系组芬兰统灯影组( $Pt_3^{3b} \in 1dy$ )。

磨坊深部磷矿矿区断裂构造发育, 地形有利于自然排水。区内主山脊线与构造线一致, 呈北北东-南南西方向条带状展布。磨坊河自南而北纵贯矿区, 形成小型V-U型河谷。次一级山脊、沟谷横向分布并列相间。

年平均降雨量为1120.0mm; 年平均蒸发量为1088.1mm; 最大年降雨量为1999年1503.1mm, 最小年降雨量为2011年726.3mm。每年4月中下旬到11月为雨季, 12月到翌年2月有间断冰冻。区内相对湿度一般80%左右。

作者简介: 李晓军(1984.03-), 男, 汉族, 河南安阳, 大学本科, 高级工程师, 研究方向: 金属非金属矿山施工, 工作单位: 中国水利水电第九工程局有限公司。

矿区最低侵蚀基准面为1098m，矿体大部分位于最低侵蚀基准面之下。矿区补给条件良好，含水层的富水性中等。地下水类型以岩溶裂隙水充水为主，矿区的充水方式主要是矿井顶板直接进水。地质构造条件简单偏中等，断裂破碎带的含水性较弱或与围岩相当，一般不单独构成矿坑充水的主要因素。磷矿床矿区水文地质勘探类型为以顶板直接进水的岩溶充水矿床，水文地质条件中等，属三类二型。

## 二、含水层情况

根据水文地质与物探报告设计探放水孔5个，编制施工方案，完成2#探水孔施工，单孔水量130m<sup>3</sup>/h，无水压，3月后涌水量减小至90m<sup>3</sup>/h。继续施工3#、4#、5#孔，其中，3#、4#孔为出水孔，采用止水阀止水，未进行放水。

掌子面已施工探放水孔4个，孔径 $\phi$ 94mm，水平向上10°，放水孔终孔深度62m，其中：18m遇水，水质清、岩层硬；19-56m水质浑、岩层软；57-62m水质清、岩层硬，19-56m处于含水层与隔水层交界面软弱带，56m后完全进入硅质白云岩含水层施工，按照前期含水层施工经验，硅质白云岩岩层稳定性好，工作面水呈淋雨状。

根据探放水孔水量变化分析：主胶带斜井k1+177m至k1+195m段为隔水层板岩，水量稳定、无水压。k1+195m至k1+255m段为隔水层与含水层交界面软弱带，水量及水压均无变化，k1+255m以后进入含水层，水量水压再通过探放水孔进行验证。

## 三、穿越含水层工艺

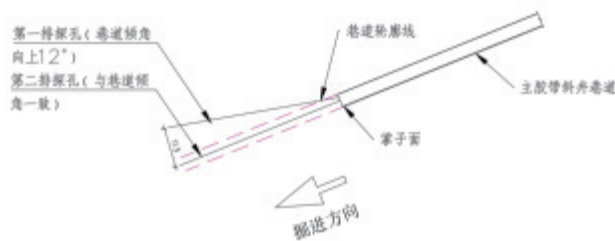
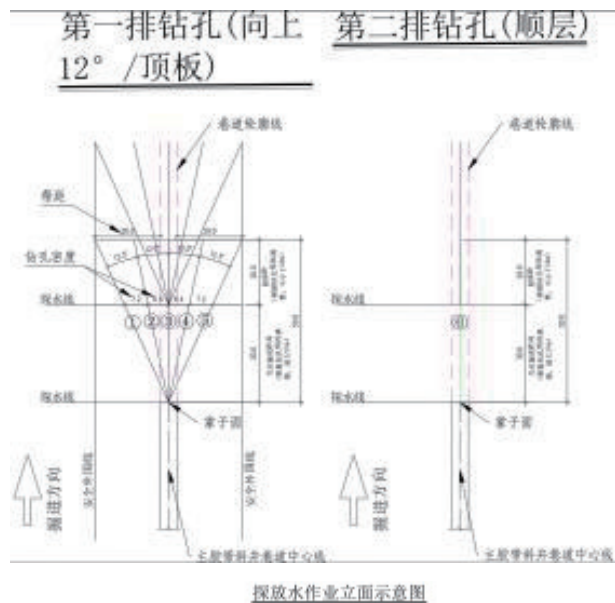
主胶带斜井原排水系统只能满足现工作面排水能力，针对进入含水层施工，新建了排水系统。新系统水仓容量1500m<sup>3</sup>，最大排水能力600m<sup>3</sup>/h以上。钻探施工时两帮分别设置临时水窝，配置大流量小扬程水泵，抽水至环形水仓内。两侧分次机械半幅掘进，双水泵交替作业，短掘短支，采用加密钢拱架+锚网喷+加密超前管棚的支护工艺。

影响巷道稳定性的因素有岩体性质、岩体结构、地下水、地应力、地质构造、工程技术等。穿越含水层施工从以上几种因素中分析，技术重难点为掌子面放水控制、k1+177m至k1+195m段隔水层板岩施工、k1+195m至k1+255m段隔水层与含水层交界面软弱带施工及过断层施工<sup>[1]</sup>。

### 1. 掌子面放水控制

矿山防治水坚持“预测预报，有疑必探，先探后掘，先治后采”原则，采取“防、堵、疏、排、截、避”综合治理措施。水文地质条件中等。施工采用物探化探结合，钻探验证的方式<sup>[7]</sup>。

在强含水层及高水压地层中作业应遵守下列规定：边探边掘，打钻孔超前探水，每次钻孔数量不少于4个；主胶带斜井从现掌子面k1+177m开始，每次钻探作业钻进孔深50m，超前距最小20m，允许钻进距离最大30m，每次探放水作业布置两排6个钻孔<sup>[9]</sup>。



探放水钻孔的位置、方向、数目、超前距离等根据水压大小、岩层或矿层硬度、厚度和节理发育程度确定，根据实际情况进行设计，必须满足规范要求。

### 1) 超前距

水害威胁大时，超前距不小于20m；根据巷道所处岩层地质结构、巷道断面及静水压，确定探水超前距，水压大于2MPa时，每增加0.1MPa，超前距增加1m；

### 2) 止水套管安装

主胶带斜井探放水孔，呈扇面形布置在巷道的前方；水压<1Mpa时，安装5m长度 $\phi$ 108mm孔口止水套管，2Mpa>水压>1Mpa时，止水长度增加至10m，采用干海带+孔口锚杆加固，止水套管安装完成后，进行泄水闸阀、止水闸阀、压力表安装。

止水套管施工完成后，进行耐压检测。注浆泵水压试压，<sup>[9]</sup>试压力不低于2Mpa，延续时间不少于30min。试压过程要详细记录，专人检查止水套管端口及掌子面附近的情况，如发现孔口管端口及掌子面周围有渗水、跑水等现象，停止试压。进行注水泥浆固结孔口管，直至试压压力达到巷道可承受最大地下水压且无泄漏后再继续钻进。

孔口管无异常后端头焊接法兰盘，法兰盘上安装封水闸阀与防喷阀后进行套孔钻进。套孔钻进采用 $\Phi$ 94mm无芯钻头进行。钻进时作业人员定期检查孔内岩粉及沉渣，经常冲孔，确保孔底干净，防止发生埋钻卡钻。

钻进过程中实时观察、测量钻孔涌水，做好钻孔记录，准确

记录探孔的岩层状况、出水的层位、水量，根据钻进速度及返屑情况进行岩性层位判别。

### 2. k1+177m 至 k1+195m 段隔水层板岩施工

隔水层内施工采用机械半幅开挖掘进，掘进循环控制在0.5m内，采用短掘快支，上下双层布置、20cm 间距的4.5m 注浆小导管超前支护；每0.5m 进行钢拱架 + 锚网喷支护作业，预防冒顶风险，疏放堵水措施严格按照掌子面放水控制措施执行。

### 3. k1+195m 至 k1+255m 段隔水层与含水层交界面软弱带施工

施工前严格按照掌子面放水措施钻探施工，根据水文地质信息选择施工工艺：<sup>[3]</sup>若岩石较完整，则采用逐排超前预注浆，形成截水帷幕，机械半幅开挖，短掘快支通过。

施工工艺：超前管棚 / 注浆小导管施工→超前预注浆→机械半幅开挖→支护

注浆小导管与超前管棚采用上下双层布置、交错布置，超前管棚角度为巷道倾角向上5°，注浆小导管角度为巷道倾角向上15-20°，每根管棚与临近注浆小导管间距15cm，长度5m，隔水帷幕影响范围为断面两帮及顶拱，每排截水帷幕5m 长，开挖3m 后施工下一排隔水帷幕，每两排截水帷幕间搭接长度2m；截水帷幕完成后采用机械半幅开挖掘进，掘进循环控制在0.5m 内，短掘快支，每0.5m 进行钢拱架 + 锚网喷支护作业。

按《有色金属矿山井巷工程质量验收规范》要求，倾斜巷道支架的迎山角应符合规范。主胶带斜井角度为12.7°，支架架设时有2°-3° 迎山角<sup>[8]</sup>。

岩石极破碎时，采用全断面超前预注浆通过交界面软弱带。<sup>[10]</sup>根据勘探线、实际方位、实际倾角确定孔位，测量孔内涌水量。根据含水层深度，确定堵水范围、注浆层位和部位选择注浆方式和止浆方法，预算注入量。

施工工艺：注浆孔施工→掌子面封堵→全断面预注浆→超前管棚施工→机械半幅开挖→支护

双排超前管棚施工，使用4.5m/ 根管棚，每两循环超前管棚搭接长度超过2m；管棚间距、数量符合设计规定；进入钻探施工测得软弱层大致范围后，通过每排超前管棚钻孔确定软弱层精确位置，管棚上布置注浆孔，根据现场情况实施注浆作业。注浆孔大小  $\phi 10\text{mm}$ ，注浆孔间距200mm，梅花形布置。

全断面施工注浆孔，巷道断面边缘注浆孔向外偏10° 施工，每循环长度5m，掌子面采用18# 工字钢 +5mm 厚钢板封堵，注浆作业完成后进行上下双层布置、20cm 间距的4.5m 超前管棚施工，采用机械半幅开挖掘进，掘进循环控制在0.5m 内，每0.5m 进行钢拱架 + 锚网喷支护作业。

注浆采用水泥 - 水玻璃双液浆进行劈裂注浆，<sup>[4]</sup>水泥 - 水玻璃浆液克服了单液水泥浆凝结时间长且不能控制、结石率低等缺点，提高了注浆效果。浆液比通过试验段形成的固结体质量确定。

钢拱采用18# 矿用工字钢制作，安装支护间距0.5m/ 榀，超前管棚防护，在钢拱架上搭接超前管棚，规格  $\phi 42 \times 4\text{mm}$ ，单根钢管长4.5m，壁厚4mm，钢管向上偏角5° 施工，钢管间距

10cm。连接筋用  $\phi 22$  螺纹钢制作，间距800mm；钢拱架上单层铺设  $\phi 6.5\text{mm}$  钢筋网，网度150mm\*150mm；管棚前端插入掌子面基岩，末端与钢拱架拱顶部采用焊接等刚性连接。

### 4. 含水层施工

全断面进入含水层掘进视现场围岩性质确定，拟用全断面一次爆破、分次爆破、小爆破 + 机械掘进、机械掘进四种方式。

遇软弱带时采用弱爆破 + 机械掘进工艺

钻孔直径  $\phi 40\text{mm}$ ，掏槽眼两排共8个，采用楔形掏槽，炮孔与工作面夹角70°，孔深2m，单孔装药量1.8kg。掏槽辅助眼两排共8个，炮孔与工作面夹角80°，孔深1.8m，单孔装药量1.5kg。底板眼一共5个，炮孔与工作面夹角呈90°，孔深1.8m，单孔装药量1.5kg。起拱线以下辅助眼共6个，炮孔与工作面夹角90°，孔深1.8m，单孔装药量1.5kg。起拱线以上辅助眼共9个，炮孔与工作面夹角90°，孔深1.8m，不装药。

起拱线以下周边眼共8个，起拱线以上周边眼12个，孔深1.8m，间距500mm，全部布置在断面轮廓线上，各炮孔互相平行，孔底落在同一平面上，炮孔与工作面夹角基本90°，为下一排周边眼施工方便一般向巷道边帮外偏移1-2°，仅起拱线以下周边眼装药，单孔装药量0.9kg。每循环爆破作业使用炸药42kg。

### 5. 过断层施工

于断层50m 距离外进行物探与化探结合探水、钻探的方式探清特殊地质构造情况，探孔通过全断面并竖向呈扇形分布，若不能探清地质情况，在地表增设勘探孔进行探测；针对探明的信息采取地面、工作面预注浆结合，形成全断面截水帷幕，隔断断层内以及溶洞周边可能存在的导水通道，防止涌水涌砂，在巷道掘进范围前方进行全断面注浆固结，巷道在固结体中进行机械掘进，超前管棚联合钢拱架锚网喷加强加密支护，防止冒顶，必要时增设钢筋混凝土二次衬砌支护，通过断层带。

## 四、主要结论

大型地下磷矿山穿越含水层技术研究在含水岩层以及含水岩层与隔水岩层交界面软弱带中施工工艺上做出了创新，保障了于富水区域进行井巷作业的施工安全、质量以及整体施工进度，将为同属矿业、隧道及类似工程项目提供冒顶处置的施工思路和实践经验。

## 参考文献

- [1]《井巷工程》东兆星、刘刚，徐州：中国矿业大学出版社，2013。
- [2]《矿山安全工程》陈宝智，北京：冶金工业出版社，2009。
- [3]《岩土加固技术》韩立军，徐州：中国矿业大学出版社，2005。
- [4]《岩土注浆理论与工程实例》郎健政，北京：科学出版社。
- [5]《金属非金属矿山安全规程》GB 16423-2020。
- [6]《贵州省磨坊地区深部磷矿体特征及其古地理意义》向明坤，杨正坤、刘波，西部探矿工程期刊，2019。
- [7]《金属非金属地下矿山防治水安全技术规范》AQ 2061-2018。
- [8]《有色金属矿山井巷工程质量验收规范》GB 51036-2014。
- [9]《唐安煤矿疏放老空水的实践》张刚，内蒙古煤炭经济期刊，2016。
- [10]《唐安煤矿疏放老空水的实践》王志忠，城市建设理论研究期刊，2013。