

昆阳磷矿二矿水文地质特征及斜井工程防治水探讨

Discussion on Hydrogeological Characteristics of Kunyang Phosphate's No. 2 Mine and Water Control in Inclined Shaft Engineering

申大元, 宁国军(中国华冶科工集团有限公司, 北京 100176)

摘要:昆阳磷矿二矿矿床成矿地质背景复杂,震旦系晚期至寒武系海洋地质环境为地区磷的富集沉积创造了良好条件;但同时多回旋的大规模白云岩随着成矿作用成为上下盘直接围岩或间接含水层,而后随着地壳运动的挤压变形形成昆明前缘凹陷地西南部分香条冲背斜构造等地质行迹,矿区地层和工业矿体基本为SE倾斜的单斜构造。通过分析和实践,斜井施工防治水宜疏不宜堵,采用探地雷达超前探水(溶洞)地质钻探验证相结合及地质钻探手段探水、放水降压,保障了工程安全施工。

关键词:水文地质; 探水; 斜井工程; 防治水

中图分类号: TD163

文献标志码: A

文章编号: 1672-609X(2022)01-0086-04

Abstract: The mineralization geological setting of the Kunyang Phosphate's No. 2 deposit is complex, and the marine geological environment from the late Sinian to the Cambrian has created favorable conditions for the enrichment and deposition of phosphorus in the region; However, at the same time, the large-scale dolomite with multiple cycles became the direct surrounding rock or indirect aquifer of the upper and lower walls along with mineralization, and then with the compression and deformation from the crustal movement, the Xiangtiaochong anticline structure and other geological traces in the southwest part of the Kunming Front Sag, and the strata and industrial orebodies in the mine area are basically SE-dipping monoclinic structures. Analysis and practice shows that the water should be preferably drained instead of blocked when it comes to water control during the construction of inclined shafts and the use of ground penetrating radar for water detection (karst cave) along with geological drilling verification, as well as the use of geological drilling methods for water detection, water draining for pressure relief have helped ensure the safe construction of the project.

Key words: hydrogeology; water detection; inclined shaft; water control

1 前言

昆阳磷矿自20世纪60年代初露天开采生产以来,生产规模不断扩大。昆阳磷矿二矿是露天转地下的首座矿山,设计规模200万t/年。采用斜井胶带提升、辅助斜坡道及竖井联合开拓方式,上向分层充填采矿法,采用尾砂碎石混合充填工艺。

胶带斜井主体工程要从岩矿顶盘按设计 -14° 坡度大致垂直穿过岩(矿)层下盘,再从下盘沿海口组白云岩岩层走向掘进胶带平巷,因此工程必须要穿过多层含水层及相对隔水层,直到下盘寒武系鱼户村组含水层中。中段开拓巷基本处在中等-富含水层中,斜井是矿山施工的第一条竖向开拓工程,也

是矿山防治水工作的重要组成部分,通过实践选用探地雷达超前工程预测、钻孔验证以及顶底盘富水地层采用钻孔探水和排水的方案是可行的、有效的。

昆阳磷矿二矿区域大地构造处于扬子准地台南西缘,康滇古陆与牛首山古陆之间昆明前缘凹陷的西南部分,属川滇早寒武世成矿带所形成两隆三洼的古地理构造格局的华宁-澄江沉积中心西缘,所涉及的区域地质背景为北起富民,南至昆阳,处滇池聚磷区南西,东邻昆阳磷矿一至四采区,西接待云寺磷矿区,北部为海口磷矿,位于晋宁县二街镇境内。

矿区地处分水岭-缓坡地带,矿区地形北高南低,北东高,南西低,地形有利于自然排水。矿区位于香条村背斜南翼,地层为向南倾覆的单斜构造,地表依次出露震旦系、寒武系、泥盆、石炭系及第四系地层,地质构造简单,地表岩溶裂隙浅部发育,深部不发育。矿区岩层倾角较缓,一般为 15° 左右,岩体局部破碎,矿坑边坡较稳定,上部矿体与下部矿体之

[作者简介] 申大元(1964-),男,青海省互助土族自治县人,高级地质工程师,从事地质及资源开发工作。

[引用格式] 申大元,宁国军.昆阳磷矿二矿水文地质特征及斜井工程防治水探讨[J].中国矿山工程,2022,51(1):86-89.

间存在不连续软弱夹层。

寒武系、震旦系白云岩概化为统一含水层,是矿床直接充水含水层,空间富水性分布不均一,垂向上呈现上弱下强趋势,平面上由北自南富水性逐渐减弱;间接顶板含水层为大塘组、宰格组及威宁组碳酸盐岩岩溶裂隙含水层,富水性弱~中等,与直接充水含水层间有海口组、沧浪铺组及筇竹寺组砂页岩地层,为稳定矿层顶板隔水层,斜井掘进过程中将穿过碳酸盐岩岩溶裂隙含水层及砂岩裂隙含水层形成的潜水,寒武系、震旦系白云岩概化统一含水层形成的承压水。地下水属岩溶裂隙水,矿床水文地质类型属中等偏复杂型。

矿区地层由老至新有震旦系灯影组(Z_2dn)、寒武系下统渔户村组($\epsilon 1y$)、中谊村组($\epsilon 1z$)、筇竹寺组($\epsilon 1q$)、沧浪铺组($\epsilon 1c$)、泥盆系中统海口组($D2h$)、上统宰格组($D3z$)、石炭系下统大塘组($C1d$)、中统威宁组($C2W$)、二叠系下统倒石头组($P1d$)及第四系(Q)。

矿区构造简单。断层构造不发育,仅发育两条且规模小的断裂构造,均为正断层,走向为南东-北西向,倾角 70° 左右,对矿体影响不大,矿床类型为寒武纪早期形成的沉积型磷块岩矿床。

矿区位于二街河流域中部,属于地下水补给径流区。矿区所处水文地质单元内最低侵蚀基准面 $1\ 880\text{ m}$,也是首采地段标高,范围矿体基本处于当地最低侵蚀基准面之下。寒武系震旦系白云岩概化为统一含水层,为矿床直接充水含水层,空间富水性分布不均一,垂向上呈现上弱下强趋势,平面上由北自南富水性逐渐减弱;间接顶板含水层为大塘组、宰格组及威宁组碳酸盐岩岩溶裂隙含水层,富水性弱~中等,与直接充水含水层间有海口组、沧浪铺组及筇竹寺组砂页岩地层,为稳定矿层顶板隔水层。矿区内构造不发育,仅有两条小的正断层,断层上下盘水力联系较差,后期近断层开采时可能增强矿体下部含水层之间的水力联系。

2 斜井工程场地水文地质条件

矿区气候温和,多年平均气温 $15.1\text{ }^\circ\text{C}$,年平均降雨量 900.4 mm ,每年5~10月为雨季,多年平均蒸发量 $1\ 892.8\text{ mm}$,年平均风速 2.6 m/s ,最多风向南风,年平均相对湿度 72.7% ,区域气候属北亚热带高原季风气候。

胶带斜井地层主要由人工填积层、第四系坡残积层、泥盆系上统宰格组、泥盆系中统海口组、寒武系下统沧浪铺组、寒武系下统筇竹寺组一至四段、寒

武系下统中谊村组、寒武系下统渔户村组,岩性主要由白云岩、砂岩、页岩、白云质粉砂岩、粉砂质泥岩、磷块岩等构成,其中宰格组、海口组、沧浪铺组、筇竹寺组及中谊村组为相对隔水层,其余为含水层。地下水为岩溶裂隙水类型,以潜水和承压水形式存在,潜水标高约 $2\ 040\text{ m}$,承压水水头标高 $2\ 002.36\text{ m}$;斜井潜水段正常涌水量 $301\text{ m}^3/\text{d}$,承压水段正常涌水量 $591\text{ m}^3/\text{d}$,斜井正常总涌水量 $892\text{ m}^3/\text{d}$ 。潜水段涌水量受地形影响,地下水补给条件有限,场地位置较高,地下有利于地下水径流排泄,井巷掘进初期水量较大,后期因地下水补给条件有限可能涌水量变小。斜井为岩溶裸露区,雨季受降雨下渗会增大井巷涌水量;斜坡道西测地表水体(山心塘)水面标高 $2\ 050.28\text{ m}$,高于设计的井巷道,地表水体周边为白云岩,地表水存在沿着岩溶裂隙通道影响井巷,尤其雨季汇集水体水位升高,加大井巷涌水量,威胁井巷安全。

矿坑水主要补给来源为大气降水补给、露天采坑入渗补给、二街河渗漏补给和地下水的侧向补给。潜水段涌水量受地形影响,地下水补给条件有限,加上场地位置较高,地下有力地下水径流排泄,井巷掘进初期水量较大,后期因地下水补给条件有限可能涌水量变小。

3 探水方法选择

昆阳磷矿二矿水文地质条件中等,矿床开采技术条件为中等型复合问题矿床。工程主体要从岩矿顶盘 -14° 坡度大致垂直穿过岩(矿)层下盘,再从下盘沿海口组白云岩岩层走向掘进胶带平巷,所以工程要穿过多层含水层及相对隔水层,直到下盘寒武系渔户村组含水层中,且大部分工程处在中等-富含水层中,探水方法选择的主要依据有以下三方面原因。

(1)斜井工程掘进必须穿过13层地层,其中5层含水层大致相间分布,中间分布2层页岩及砂岩相对隔水层,各含水层之间通过裂隙等构造存在水力联系。

(2)随着工程掘进及时分段进行探水和排水,有利于形成降水漏斗,缓解深部承压水压力,防止工程突水。

(3)矿体顶底盘厚大白云岩是矿床顶底盘直接富水含水层补给,开拓、采切落矿之前必须排水疏干。

因此,矿床防治水宜“疏”不而宜“堵”,必须有针对性地进行预判,选用适宜的探水方法,使其技术上可行、经济上合理、安全上可靠,最终达到探水、放水、疏干降压的效果。

在胶带斜井浅部,工程虽处在矿体顶板筒接含水层中,但所处位置较高,时下处旱季,大气降水补给有限,可不需专项探水工作。工程中部位处在稳定的矿体顶板相对隔水层,一般岩性为砂岩、页岩等,为防止构造导水及附近钻孔等不确定导水因素,采用探地雷达进行探水和探不良地质体,在雷达成果反应异常地段采用单孔钻孔验证。在工程下部直到斜井终端,巷道处在矿体顶底板直接富含水层中,适合采用钻孔探水方法。

4 探地雷达探水探溶洞

探地雷达是利用超高频脉冲电磁波探测地下介质分布的一种地球物理勘探方法,它可以分辨地下0.1 m尺度的介质分布,为预防胶带斜井及1 890 m中段胶带平巷掘进过程中水患和溶洞对工程的危害,采用ProEx型探地雷达进行跟踪超前探测指导工程施工。

斜井地质雷达探水特别注意了它的适宜性,只选择了斜井井颈段244~605 m范围内,岩性为砂岩-炭质页岩-粉砂岩互层地段,为相对隔水层,通过探地雷达解决构造裂隙水和人为勘察工程等造成导水涌水问题。通过雷达探测发现,工程出现两处异常现象,探测时异常介质与围岩介质有明显的电性差异,图像分析及地质解译为富水地段,并采用钻探验证和巷道揭露真实,为张性构造裂隙涌水,其中第二段532 m处涌水量较大为 $23 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

实践证明,通过采用探地雷达方法探水,操作简单高效、成本低廉,适应性强,尤其是不良地质体与其周围介质之间存在的物性差异较大时,二者之间的物性差异更明显。孔隙度和含水率对介质的 μ 和 ε (导电率和介电常数)均有较大影响^[1],造成接触带两侧存在一定的电性差异,电磁波在界面附近波形幅值有所增大,反射波能量增强,易于分析判断。

5 钻孔探水工程实践

钻探探水(溶洞)适宜斜井工程502 m以下的富含水层中。依据斜井工程施工工艺,探水钻孔采用3孔,3孔平行巷道腰线扇形布置,能够满足探水要求。开孔位置选在斜井巷道中心线上,机高距离地板1.2 m处,2号、3号孔终孔距巷道帮3 m为宜,具体钻孔布置如图1所示,钻孔参数见表1。



图1 钻孔布置扇形断面示意图(斜坡段)

表1 钻孔参数

孔号	工程量/m	倾角/(°)	方位角/(°)	备注
1	100	-14	316°30'00"	斜井中心
2	100	-14	319°35'43.72"	右帮
3	100	-14	313°24'16.28"	左帮

首先对孔口管进行压水试验。开孔钻进孔深5 m($\phi 115$ 钻孔),预埋 $\phi 93$ mm套管,空口管外露300~500 mm,孔口管外安装高压闸阀,接通注高压水阀进行压水试验。孔口管能承受2 MPa压力,延续时间不少于10 min且不漏水时方可合格,试压过程详细记录,有专人检查孔口管外及钻场附近的情况,如发现钻场及钻孔周围有渗水、跑水等现象要停止试压,继续加固孔口管,直至试压合格。钻进时应以清水为主,成孔后用清水冲洗孔壁、裂隙和孔底岩粉,冲洗时间不得少于30 min^[2]。

钻进过程中随时注意水压或水量变化,有突水征兆或钻孔涌水量达 $20 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,立即退出钻杆,关闭孔口阀门采取措施,根据矿坑排系统能力控制放水量。钻进过程中如果不涌水,则一直钻进设计孔深为止。对出水量、出水位置和回水颜色以及岩石破碎、掉钻、溶洞的位置与距离进行详细记录。对每段钻进出现的反常现象均应详细记录,交接班时必须仔细交底。每钻进3口孔为1个单循环,单孔钻进深度100 m,每钻探100 m后掘井90 m,预留10 m安全距离岩帽,再进行下一循环探掘。

探水钻孔技术、施工安装要求:

①探水孔孔位偏移允许误差正负100 mm;

②钻孔偏斜率 $\leq 1.5\%$;

③孔深误差 ≤ 200 mm;

④岩矿心采取率 $\leq 25\%$;

⑤钻孔的孔径和深度应符合设计要求,每段结束后孔内残留岩粉不应超过50 cm。

对孔口管进行压水试验。开孔钻进孔深5 m,孔口管外安装高压闸阀,接通注高压水阀进行压水试验。孔口管能承受2 MPa压力(随工程逐步递增),延续时间不少于10 min且不漏水时方可合格。

6 排水

6.1 工程及涌水量预测

斜井施工过程中从井口至斜坡道联络道381.5 m为第一段,再到水泵房管子联络道303.6 m为第二段,剩余斜坡段94.06 m到达平直段为第三段,平直段76 m。

6.2 排水设备的选择与计算

1) 正常涌水量时水泵必须的排水能力

$$Q_B = 1.2Q = 1.2 \times 37.17 = 44.60 \text{ m}^3/\text{h}$$

式中: Q_B ——正常涌水量时水泵必须的排水能力, m^3/h ;

Q ——单台水泵排量。

2) 水泵扬程 H_B 的估算

$$H_B = (H_p + H_x) / N_y = (151 + 5) / 0.75 = 208 \text{ m}$$

式中: H_p ——排水高度, 取 151 m;

H_x ——吸水高度(潜水泵不需核算在内), 取 5 m;

N_y ——管路效率(对于倾斜衍射的管路), 取 0.75。

3) 排水设备初选

根据矿井涌水量必须排水能力为 $44.60 \text{ m}^3/\text{h}$, 选择型号 5DA-8×5 水泵 4 台(2 组水泵二级接力), 流量 60 m^3 , 扬程 208 m 满足排水需求。

4) 验算排水时间

正常涌水期每天必须的排水时间 T

$$T = 24Q_B / nQ = 24 \times 44.60 / 1 \times 60 = 17.84 \text{ h}$$

式中: Q_B ——正常涌水量时水泵必须的排水能力, m^3/h ;

Q ——5DA-8×5 水泵单台水泵排量, 取 60 m^3 ;

n ——几台水泵。

5) 排水管路直径 D

$$D = \sqrt[4]{Q / 3600\pi v} = \sqrt[4]{60 / 3600 \times 3.14 \times 1.5} = 0.119 \text{ m}$$

式中: Q ——5DA-8×5 水泵单台水泵排量, 取 60 m^3 ;

v ——最有利的排水流速, 取 1.5 m/s 。

因此, 选用排水标准管径 120 mm。

6) 临时水仓设置

临时排水采用 2 组水泵共四台(一备一用), 二级接力的方式进行。在距井口 605 m 附近设置临时水仓, 容积 150 m^3 , 用来储存矿体顶板直接含水层及其斜井深部涌水; 第二段水仓设在 1890 m 中段 2 号胶带斜井联巷, 负责深部各工程施工排水。

6.3 工程实际涌水量及对比:

至此斜井工程已掘至底部及平直段附近, 总体而言浅部基本没有地下水, 只是工程含水层低盘有零星滴水; 中部相对隔水层出现二次裂隙水涌水, 其中第二段涌水较大 $23 \text{ m}^3/\text{d}$; 底部涌水较大, 超出预期。斜井工程地质预测和工程揭露涌水量见表 2。

表 2 斜井工程地质预测和工程揭露涌水量比较表

斜井工程部位	地层及岩性	预测单位涌水量/ $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$	实际单位用水量/ $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$	备注
浅部含水层	石炭系泥盆系白云岩	10	无涌水, 局部滴水	施工时旱季
中部相对隔水层	寒武系页岩砂岩及粉砂岩		23	2 处涌水
深部矿体顶底板含水层	寒武系中宣村组海口组白云岩	892	1 156.7	遇含水层初期涌水

鉴于此, 临时排水系统采用 2 组水泵二级接力的方式, 深部涌水量大于预期, 但排水设备及管路安装满足了预期要求。

7 结论

在地质综合分析研判的基础上, 通过探地雷达预测工程不良地质体, 雷达成果显示异常时采用钻探验证, 中等-富含水层地段选用钻探手段进行探水(溶洞), 经过工程开挖排水系统的设置达到预期, 取得了良好效果。主要总结为:

(1) 在工程承压水水位以浅的部位, 尽管处于潜水地带, 因工程相对处在较高地段, 施工初期为当地旱季季节, 没有地下水补给来源, 不建议专门探水, 为工程施工赢得了时间。

(2) 探地雷达及验证钻孔相结合的方法适宜工程中相对隔水层中, 探地雷达便于施工、探地效果

好、探测周期短等优点, 并采用钻孔验证异常的方法, 确保探水效果和工程施工。

(3) 斜井深部只采用钻孔探水, 其目的是准确探明富含水层中涌水位置及水量、水压的大小, 并通过钻孔及辅助工程施工达到了探水、放水、降压的目的。

综上所述, 依据工程水文地质特征, 因地制宜选用探水手段进行工程探水(溶洞), 合理设置排水系统, 并经过工程掘进揭露验证, 达到了预期目标, 可在同类或相似岩溶地区矿山工程得以借鉴。

[参考文献]

- [1] 孙家宁, 何磊. 龙塘沿铁矿井巷工程探地雷达超前预报[J]. 现代矿业, 2017, 33(5): 178-180, 191.
- [2] 田水泉, 于兴社, 马文丰, 等. 中关铁矿防治水技术研究与应用[J]. 河北冶金, 2019(3): 23-25.