

贵州开阳县明泥湾磷矿区水文地质特征及 矿坑涌水量预测研究

张明选

(贵州省地矿局区域地质调查研究院, 贵阳 550081)

摘要:磷矿区是我国重要的战略性矿产资源。本文以贵州省开阳县明泥湾磷矿区为研究对象,系统分析了该磷矿区的水文地质特征,包括含水层、地下水动态,并结合矿区的断裂构造特征,探讨了矿坑涌水的主要影响因素。通过比拟法、稳定流法的预测方法,对矿坑涌水量进行了定量预测,评估了不同开采方案下的涌水量变化趋势。研究表明,矿区水文地质条件复杂,F3、F4断层对矿坑充水具有显著影响,局部存在突水风险。基于研究结果,提出了针对性的矿坑水防治措施,为矿山安全开采和环境保护提供了科学依据。

关键词:水文地质;矿坑涌水量;预测模型;比拟法;稳定流法

中图分类号:P641.4

文献标志码:A

文章编号:1672-2736(2025)05-0064-11

0 引言

贵州开阳地区是我国重要的磷矿资源基地之一。矿区复杂的水文地质条件及断裂构造对矿山开采提出了严峻挑战,特别是矿坑涌水问题直接影响矿山的安全性和经济效益。近年来,国内外学者在矿坑涌水量预测方面开展了大量研究,提出了经验公式法、稳定流法和数值模拟法等多种预测方法^[1]。然而,针对明泥湾磷矿区的水文地质特征及矿坑涌水量的系统性研究仍较为缺乏。本文通过综合分析矿区的地质构造、含水层特征及地下水动态,利用数值模拟,建立了适用于该矿区的矿坑涌水量预测模型,为矿山开采提供科学依据,同时为类似矿区的水文地质研究提供参考。

1 矿区概况

1.1 自然地理概况

明泥湾磷矿位于贵州省贵阳市开阳县,隶属于贵州省贵阳市开阳县永温镇。矿区有通村公路与开阳县、与息烽县相接。区内属侵蚀溶蚀型中、低山峰丛谷地地貌,地势总体南高北低,海拔

最高点位于矿区南东部野猫洞附近山顶,最低点位于矿区北西部洋水河河谷。矿区内现状条件未发现地质灾害,人类工程活动主要为在浅部进行的磷矿开采及深部井巷开采,对地质环境破坏程度较小(图1)。

1.2 地质概况

矿区内不同地质时期的地层特征表现为青白口纪下江期为浅变质半深海斜坡相陆源碎屑和火山碎屑浊积岩沉积;南华纪南沱期为陆相冰碛砾岩、砂泥岩沉积;震旦纪早期为混积滨岸-陆棚相的陆源细碎屑岩和少许内源岩混杂沉积,晚期为台地相碳酸盐相沉积;寒武纪早期为滨岸-陆棚相碎屑岩、粘土岩夹少量碳酸盐岩沉积,中晚期为浅海台地相碳酸盐沉积;二叠世早中期为滨岸碎屑-碳酸盐沉积,乐平期为以陆屑和碳酸盐交互沉积为主的潮坪含煤建造,其间伴有峨嵋山玄武岩喷溢活动,长兴期为潮下低能沉积环境的碳酸岩与硅质岩沉积组合;早三叠世印度期为浅海陆棚相砂泥岩夹灰岩沉积。这些地层特征反映了区域从青白口纪到早三叠世的沉积环境演变和构造演化过程(表1)。

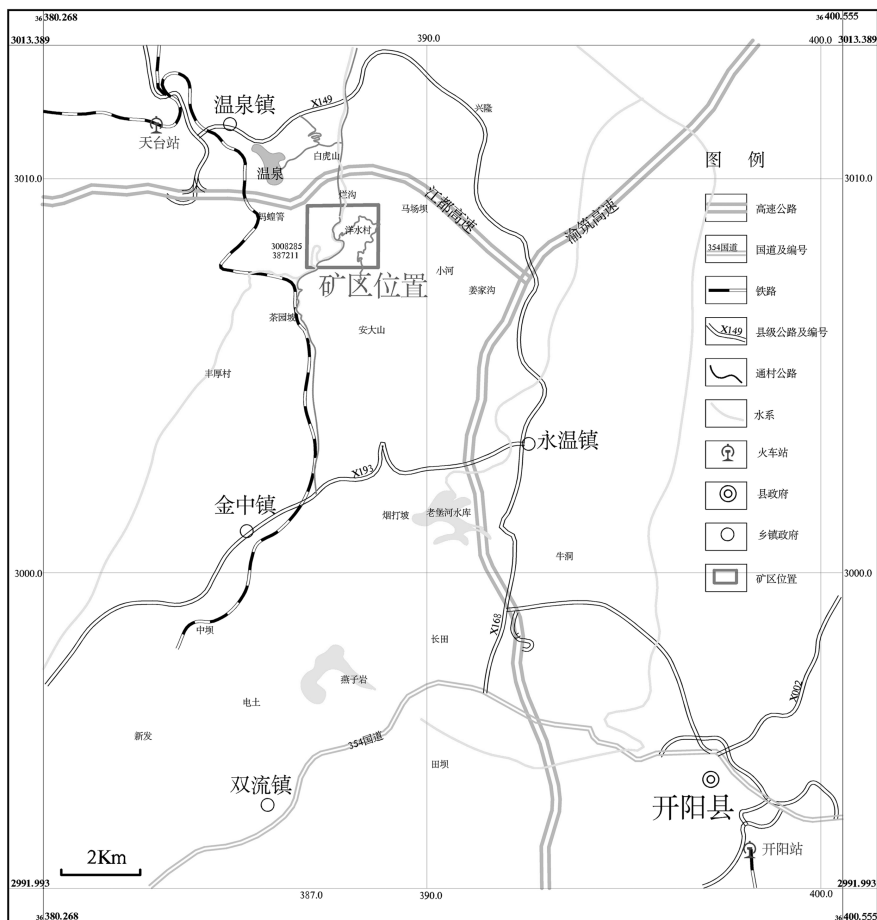


图 1 矿区交通位置图

表 1 区域地层简表

界	系	统	组	年代地层	地层代号	厚度 (m)	岩性描述
中生代	三叠系	下统	嘉陵江组	T_{1-2j}	320~540	灰岩、白云岩,顶部为溶塌角砾白云岩。	
			夜郎组	T_{1y}	250~517	顶部粘土岩;中部灰岩、白云质灰岩;底部粘土岩夹泥灰岩、泥晶灰岩。	
	中统	乐平统	大隆组	P_3d	0~6	硅质岩夹粘土岩。	
			长兴组	P_3ch	7~38	含燧石团块生物碎屑泥晶灰岩。	
			龙潭组	P_3l	67~320	粘土岩、粉砂岩、硅质岩夹泥晶灰岩及煤。底部含黄铁矿软锰矿。	
	二叠系	阳新统	峨嵋山玄武岩组	P_{2-3em}	0~103	块状拉斑玄武岩夹凝灰岩、凝灰质粘土岩。	
			茅口组	P_2m	>100	泥晶生物屑灰岩、燧石团块灰岩,中部夹硅质岩。	
			栖霞组	P_2q	187~330	泥晶生物屑灰岩、燧石团块灰岩,上部夹白云岩。	
				梁山组	P_2l	123~207	粘土岩、粉砂岩、砂岩夹硅质岩及煤。

续表

界	系	统	组	年代地层	地层代号	厚度 (m)	岩性描述
古 生 界	寒 武 系	第三 统	芙蓉 统	娄山关组	$\in_{3-4}l$	>300	微-细晶白云岩、淀晶内碎屑白云岩夹藻屑白云岩、泥质泥晶白云岩。
			石冷水组	\in_3sh	156~196	微晶白云岩、泥质白云岩,顶部石英粉砂岩。	
			高台组	\in_3g	10~20	含粉砂白云质粘土岩,底部鲕粒白云岩。	
	武 隆 系	第二 统	清虚洞组	\in_2q	156~212	上部泥至微晶白云岩、泥质白云岩;下部微晶灰岩夹钙质粘土岩。	
			金顶山组	\in_2j	140~185	含云母粉至细砂岩、粉砂质页岩夹鲕粒灰岩。	
	芬 兰 系	纽芬 兰 统	明心寺组	\in_2m	310~350	细砂岩、粉砂质粘土岩、粘土岩,上部夹灰岩。	
			牛蹄塘组	$\in_{1-2}n$	35~70	炭质粘土岩、粉砂质粘土岩,底部硅质岩、磷块岩。	
			震旦系	上统	灯影组	$Pt_3^{3b} \in_1dy$	209~290
	古 生 界	南 华 系	下统	陡山沱组	Pt_3^3d	9~40	块状磷块岩、硅质岩、白云岩、砂泥岩。
				南沱组	$Pt_3^{2c}n$	>140	粘土岩、粉砂质粘土岩夹冰碛砾岩及岩屑砂岩。
青 白 口 系	板 溪 群	清水江组	$Pt_3^{1d}q$	>500	浅变质凝灰质板岩、变余粉砂质粘土岩、变余砂岩。		

矿区的主要构造框架由 NNE 向的洋水背斜构成(图 2、图 3)。该背斜沿 NNE 走向延伸约 40km,呈带状构造,其中部在金中一带隆起。矿区内的断层构造主要为 NNE 和 NE 向。NNE 向断层分布于背斜两侧,随着背斜的南北倾伏,断层快速汇聚。东翼地层总体向东倾斜,多为逆冲断裂,断裂间距较大,导致下部磷块层与岩层的叠合。西翼构造总体向西倾斜,主要为正断层。

2 矿区水文地质特征

2.1 隔水层特征

矿区内存在多个相对隔水层,其水文地质特征如下:南华系南沱组在区内为隐伏地层,钻探过程中表现为漏失量小,富水性弱;震旦系陡山沱组同样为隐伏地层,在钻孔施工中冲洗液消耗量较低,富水性较弱。寒武系纽芬兰统-第二统牛蹄塘组出露于矿区西南部,无泉点出露。

2.2 含水层特征

根据各岩层的富水性和透水性特征,区内岩层可划分为清虚洞组-娄山关组($\in_2q - \in_{3-4}O_1l$)和灯影组两个含水层,以及牛蹄塘组-金顶山组($\in_{1-2}n - \in_2j$)和南沱组两个隔水层,具体划分如表 1 所示。其中,灯影组岩溶含水层直接位于磷矿层顶板,而南沱组隔水层则位于磷矿层底板。在矿区的北东部,清虚洞组-娄山关组岩溶含水层出露于地表,与灯影组含水层之间被牛蹄塘组-金顶山组巨厚隔水层分隔。此外,区内构造未形成灯影组含水层与上覆清虚洞组-娄山关组含水层之间的水力联系,表明两者之间不存在显著的水力连通性。这一划分和特征分析为矿区水文地质条件的评价和矿床充水机制的研究提供了重要依据(表 2)。

2.3 断层的水文地质特征及矿床充水影响

区内断裂构造较为发育,共发育 7 条断层,

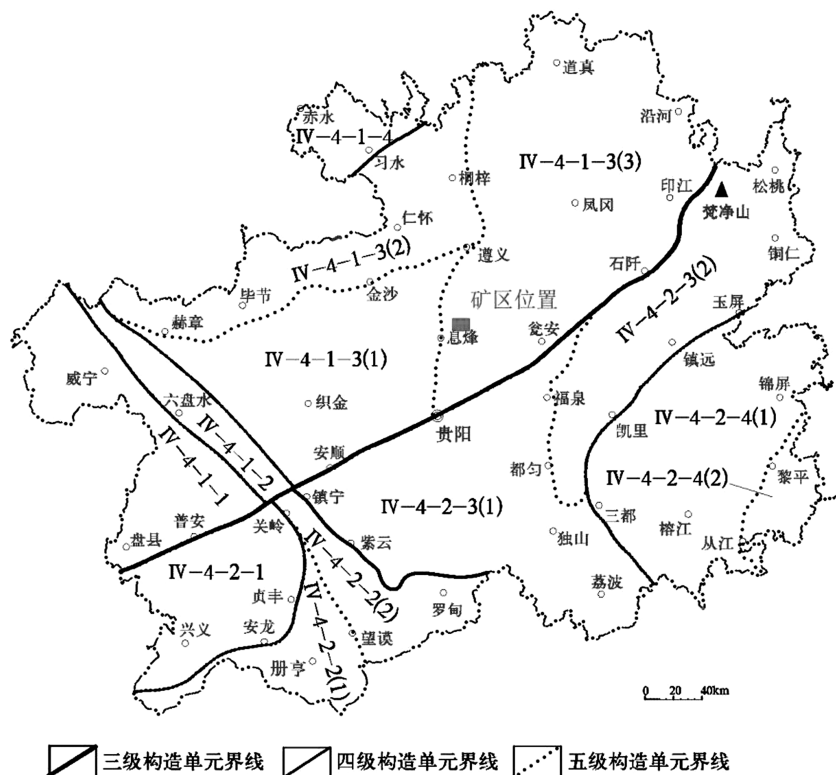


图2 贵州省构造单元分区图(据贵州省区域地质志,2017)

表2 区内岩层划分

底层代号	柱状	厚度(m)	地层岩性	富水性
$\epsilon_{1-2}^{n-} - \epsilon_{2j}$		>600	砂岩、粘土岩	弱 (隔水层)
$Pt_3^{3b} \epsilon_{1,dy}$		275.87	白云岩	中等 (含水层)
		2.28	矿岩	弱 (隔水层)
$Pt_3^{3b} - nPt_3^{2c}n$		>140	粘土岩、粉砂质 岩粘土岩	

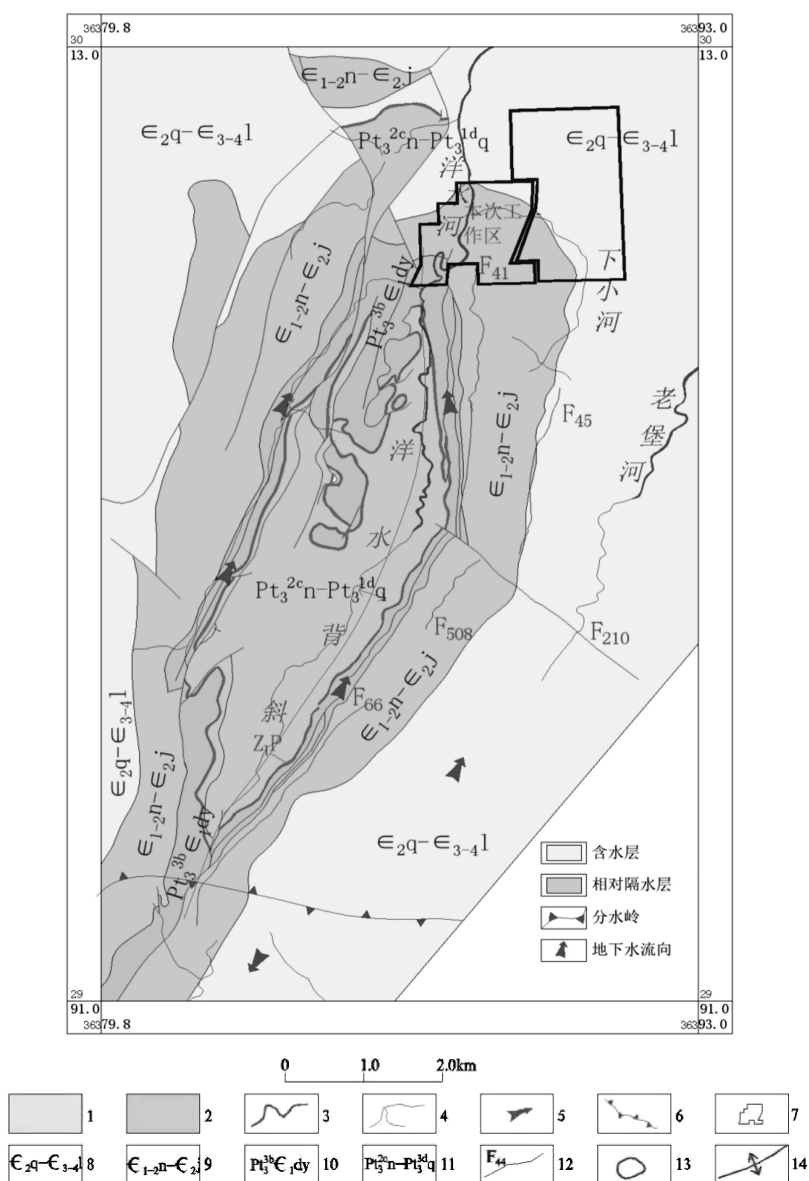
地质构造复杂程度属中等类型。其中,F1、F2、F6和F7断层对矿床充水影响较小,F3和F5断层对矿床充水具有一定影响,而F4断层作为逆断层,发育宽度较大且与F3断层构成共轭关系,对矿床充水影响最为显著。总体而言,区内断层的发育特征及其对矿床充水的影响存在显著差

异,F4断层是影响矿床水文地质条件的主要构造因素,其他断层的影响相对有限(图4)。

3 地下水的补径排条件

3.1 地下水补给条件

矿区作为洋水背斜水文地质单元的一部分,



1—含水层;2—相对隔水层;3—洋水河;4—地表溪沟及支流;5—地下水流向;6—分水岭;7—勘查区范围;8—寒武系第三-芙蓉统娄山关组——第二统清虚洞组;9—寒武系纽芬兰统-第二统牛蹄塘组——第二统金山组;10—展旦系上统-寒武系纽芬兰统灯影组;11—南华系下统南沱组-青白口系清水江组;12—断层及编号;13—磷矿层露头;14—洋水背斜

图4 区域水文地质略图

性较差,导致上部清虚洞组-娄山关组岩溶含水层向基岩裂隙含水层的越流补给条件较差。由此可知灯影组含水层的地下水补给主要依赖于大气降水、洋水河的侧向补给以及上部含水层的有限补给。

3.2 地下水径流条件

在天然条件下,受地形和地质构造的控制,

含水层地下水在接受补给后,主要沿地层走向由南向北径流。受含水介质特性的影响,地下水总体上呈现统一的流场特征,但由于断裂构造的存在,流场表现出一定的不均匀性^[2]。然而,受明泥湾矿山排水的显著影响,灯影组地下水流场已发生显著改变。具体表现为灯影组地下水在明泥湾矿井排水的影响下,形成了以矿井为中心的径向流场,并沿背斜核部发育出集中径流带。这

一流场变化表明,矿山排水活动对区域地下水系统的天然径流模式产生了显著干扰,可能导致地下水资源的重新分布和水动力条件的改变^[3]。

3.3 地下水排泄条件

在天然条件下,灯影组地下水的排泄主要受重力驱动,以水平径流的方式向下游含水层补给,并沿地层走向向北径流,最终在地形切割较深的地带排泄^[4]。但受明泥湾矿井生产排水的显著影响,区内灯影组地下水的排泄模式发生了显著变化。目前,地下水集中以明泥湾矿井排泄基准面为主要排泄点,形成了以矿井为中心的集中排泄模式。这一变化表明,矿山排水活动对天然地下水排泄路径和排泄方式产生了显著干扰,可能导致区域地下水系统的动态平衡发生改变,并对下游含水层的补给条件产生影响^[5]。

4 矿坑涌水量预测

4.1 预测标高及范围

明泥湾磷矿采用竖井独立提升结合斜坡道采掘的开采方式,矿山系统为独立建井并独立排水。本次研究的预测区与明泥湾生产矿井相连,涌水量预测基于最终状态下的涌水量^[6]。随着开采活动的推进,预测区与明泥湾矿采区将形成统一的地下采空区,并最终纳入同一开采系统进行统一排水。因此,本文以明泥湾矿及其首采区为研究对象,以明泥湾磷矿未来首采区的涌水量预测为核心,提出了相应的计算方法。矿区标高-10m 以上,首采区水平面积大约为 4561468m²。

4.2 矿床水文地质概念模型建立

受明泥湾磷矿多年开采疏干排水的影响,矿区及其所在区域地下水系统的补给、径流和排泄条件以及地下水流场均发生了显著变化。矿区位于明泥湾矿山开采疏干排水的影响范围内,灯影组含水层中的地下水位已出现大幅度持续下降,原始天然状态下的矿床水文地质条件发生了根本性改变^[4]。基于此,本文对勘探区的水文地质条件进行了概化表达,将其分为“开采前”和“开采后”两种状态。

(1) 水文地质边界条件。预算范围内南、北、东面灯影组($Pt_3^{3b} \in_1 dy$)岩溶含水层连续分布,为无限边界,西侧洋水河河床灯影组段,为恒定补给段的定流量补给边界。边界断层 F8 为阻水断层、区域地下水系统边界,为阻水边界。

(2) 含水层特征。勘探区主要充水含水层灯影组($Pt_3^{3b} \in_1 dy$)厚度总体稳定,变化不大;岩层倾角 8~12°,平均 10°接近水平;含水介质以裂隙为主,并兼有小规模的溶蚀孔洞;水文地质试验成果反映岩层含水性透水性较均匀。据此,将区内灯影组含水层概化为“均质、等厚、各向同性”。

(3) 地下水动力类型。天然条件下,矿区充水含水层深埋地下,为含水性透水性较好的灯影组($Pt_3^{3b} \in_1 dy$),顶板为含水性和透水性差的牛蹄塘组—金顶山组隔水层,地下水动力特征具承压水性质;预测区南西部灯影组($Pt_3^{3b} \in_1 dy$)含水层裸露地表,地下水动力特征表现为潜水性质。未来开采条件下,矿坑排水过程为承压~无压运动。

(4) 地下水流场特征。开采条件下,灯影组($Pt_3^{3b} \in_1 dy$)地下水流场将从矿段四周向突水点径流,地下水的运动形成阻水边界附近地下水向积水构筑物(矿井)的承压-无压运动(图 5)。

(5) 地下水位及其变化特征。首采区处在西侧老矿山群矿井疏干排水的影响区内,现状条件下区内的地下水位实际上是受相邻矿山疏干排水“干扰下降”后的“残余水柱”。未来本区的开采排水必然与相邻矿山相互干扰,首采区开采地下水位的下降值为矿区与矿山疏干排水水位下降值的叠加。

4.3 矿井涌水量计算数学模型建立

矿井涌水量预测方法根据矿床水文地质概念模型确定,根据开采条件下地下水流场概化结果^[7],拟采用比拟法和稳定流法分别预算终采状态下-10m 水平矿井的正常涌水量和最大涌水量。

根据对矿床水文地质条件的概化结果,拟采用比拟法和稳定流法预算矿井涌水量^[8]。因

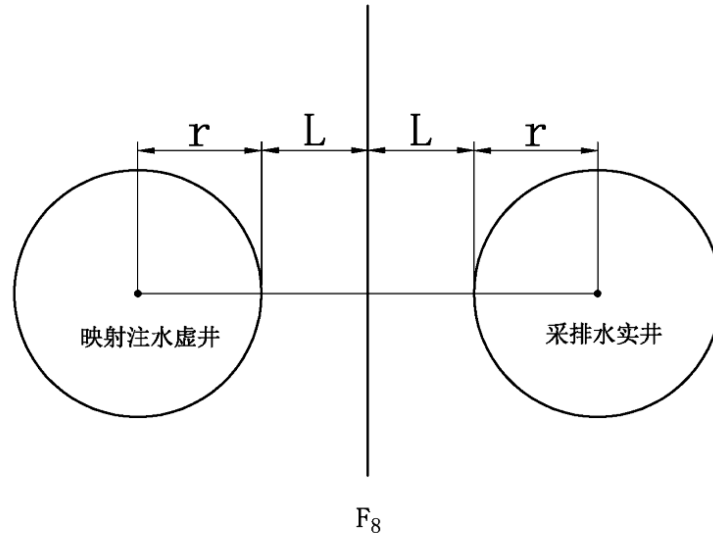


图5 概念模型图

资源储量核实区范围与明泥湾磷矿目前采取范围处在同一个矿权范围内,属于同一水文地质单元,本次预算范围为明泥湾磷矿矿区范围的深部延伸,水文地质条件相似^[9]。因明泥湾磷矿抽排水量包含了洋水河的渗漏补给量,因此在扣除洋水河渗漏补给量情况下,采用经验公式进行矿井涌水量预测,预测公式如下:

(1) 比拟法计算公式

明泥湾磷矿开采地段含矿体及顶板含水层与目前明泥湾磷矿采区的条件一致,开采方法一致,充水方式相近。根据收集多年矿坑抽排水量及采空区面积的数据分析,矿坑涌水量与矿坑面积大致成正比,可采用比拟法经验公式进行本次涌水量预测^[10]:

$$Q_2 = Q_1 \left(\sqrt{\frac{F_2}{F_1}} \right)^m \left(\sqrt{\frac{F_2}{F_1}} \right)^n \quad (1)$$

$$Q_{\text{Max}} = \lambda * Q \quad (2)$$

式中: Q_1 表示已建矿井的实际排水量(m^3/d); Q_2 表示预测新矿井正常涌水量(m^3/d); Q_{Max} 表示新采区最大涌水量的预测值(m^3/d); λ 表示变化系数; Q 表示多年平均涌水量; F_1 表示已采出的旧矿山的实际开采面积(m^2); F_2 表示新矿井开采面积(m^2);对 m 、 n 两个矿井的经验未知资料进行了分析,得出了 $m=4$ 、 $n=2$ 的经验值。

(2) 稳定流法计算数学模型

针对该地区充水含水层的厚度较大,为了方便计算,可以把含水层作为一个承压水系统进行近似处理^[11-13]。在此基础上,将首采区归纳为一大口井,利用承压水完整井裘布依公式,通过概化的地下水运动概念模型,构建首采区地下水运动概念模型^[14],预算区内地下水向阻水边界附近集水井运动的涌水量计算公式:

$$Q = \frac{2.73kMS}{\lg R_0 - \lg r_0} \quad (3)$$

主井排水水位降深:

$$s_1 = \frac{0.366Q}{kM} \lg \frac{R}{r_0} \quad (4)$$

虚井排水水位降深:

$$s_2 = \frac{0.366Q}{kM} \lg \frac{r'}{r_0} \quad (5)$$

预算区干扰降深:

$$S = s_1 + s_2 = \frac{0.366Q}{kM} \left(\lg \frac{R}{r_0} + \lg \frac{r'}{r_0} \right) \quad (6)$$

$$r_0 = \sqrt{\frac{F}{\pi}} \quad (7)$$

$$R = 10S_2 \sqrt{K} \quad (8)$$

$$R_0 = R + R_0 \quad (9)$$

$$Q_{\text{Max}} = \lambda * Q \quad (10)$$

式中: Q 表示预测新矿井正常涌水量(m^3/d); Q_{Max} 表示预测新矿井最大涌水量(m^3/d); s_1 、 s_2

表示分别为开采排水实井、映射虚井排水对预算区造成的水位降深(m); S 表示预算区干扰实际降深(m); S_1 表示老矿井的实际下降深度(m); S_2 表示新矿疏干排水水位下降深度(m); M 表示含水层厚度(m); r_0 表示大井引用半径(m); R_0 表示大井引用影响半径(m); R 表示大井影响半径(m); λ 表示变化系数。

4.4 水文地质参数取值

本次工作取邻矿区 SZK1 和 SZK2 钻孔平均值为区内充水层渗透系数, $K=0.105\text{m/d}$ 。明泥湾磷矿灯影组平均厚度为 275.87m。矿区疏干排水降深采用当前勘探区灯影组“剩余”地下水位标高与预测标高的差值求得,即为-10m 水平正常水位降深为 $S_2=154.48-(-10)=164.48\text{m}$;疏干降深为 164.48m,疏干降深为 $164.48\text{m}^{[14]}$ 。未来开采状态下,地下水将被疏干至矿层顶板,因此,承压水头高度 $H=S_2=164.48\text{m}$ 。

疏干排水面积根据各中段水平之上拟开采矿体平面投影面积确定^[15]。在涌水量预算图上量取-10m 水平之上拟开采矿体水平投影面积 F_2 为 4561468m^2 。-10m 水平之上“大井”引用半径 1204.97m。大井影响半径(R)、大井引用影响半径(R_0) -10m 水平分别为 532.98m, 1737.95m。通过对各中部大型矿井的平面布置,对其与 F_8 断裂的直线距离进行了模拟,则开采虚井中心距开采区中心的距离 r' 为 $4163.14\text{m}^{[16]}$ 。

根据年矿山生产资料,明泥湾磷矿开采面积为 F_1 为 1559274m^2 ,明泥湾最低排水标高为 80m。按照明泥湾磷矿的实际地下水抽排量,对明泥湾地区的地下水进行了模拟计算,得出了该地区的正常地下水排出量分别为 $37971\text{m}^3/\text{d}$ 和 $52151\text{m}^3/\text{d}$,最大涌水量变化系数 λ 为 1.37。明泥湾磷矿实际水位降深采用明泥湾磷矿初始钻孔揭露的灯影组含水层平均水位标高 723.18m 与目前开采最低标高差值,即 S_1 为 $723.18-80=643.18\text{m}$ 。

4.5 涌水量预算结果及评价

4.5.1 涌水量预算结果

根据建立的数值模型(式 1~式 10)和水文

地质参数,以矿区各中段水平为约束,分别预算其正常涌水量和最大涌水量。

(1)比拟法预算结果:矿区-10m 水平正常涌水量为 $67106\text{m}^3/\text{d}$,最大涌水量为 $91935\text{m}^3/\text{d}$ 。洋水河入渗量正常涌水量为 $Q_3=16323\text{m}^3/\text{d}$,最大涌水量 Q_3 最大为 $24059\text{m}^3/\text{d}$, -10m 水平矿井涌水总量正常值为 $83429\text{m}^3/\text{d}$,最大值为 $115994\text{m}^3/\text{d}$ 。

(2)稳定流法预算结果:矿区-10m 水平正常涌水量为 $81772\text{m}^3/\text{d}$,最大涌水量为 $112027\text{m}^3/\text{d}$ 。-10m 水平矿井涌水总量正常值 $98095\text{m}^3/\text{d}$,最大涌水量为 $136086\text{m}^3/\text{d}$ 。

4.5.2 涌水量预算结果评述

根据建立的数值模型(式 1-式 10)和水文地质参数,预测结果见表 3。

表 3 矿坑涌水量预测结果表

预测方法	预测结果(m^3/d)	
	正常涌水量	最大涌水量
比拟法	83429	115994
稳定流法	98095	136086

从表格中可以看出,用两种方法计算出的矿井涌水量存在一定的差别,总体上讲,区段内的水文地质条件总体上是合理可行的,结算结果具有很高的可信度。

其中,稳定流法的计算结果主要是因为对含水介质进行了均质处理,而求得的平均渗透系数略大,这个渗透系数 K 是由邻近矿区前期的大量水文试验进行综合分析选择出来的,数值具有可靠性、代表性。比拟法是以明泥湾矿区的实际排洪资料为基础,更加贴近未来明泥湾磷矿开发的全过程,更加符合矿区的实际排水状况。实际生产中,为保证安全,矿坑涌水量一般取大值。正常涌水量为 $98095\text{m}^3/\text{d}$,最大涌水量为 $136086\text{m}^3/\text{d}$ 。

此次矿坑涌水量与明泥湾目前生产矿井开采系统贯通,届时在对该区进行开采时需持续疏干排水。

5 矿坑水防治措施

5.1 如何进行矿坑水防治

(1) 根据矿区水文地质条件分析,研究区内主要有震旦系上统灯影组($Pt_3^{3b} \in_1 dy$)白云岩含水层和寒武系清虚洞组至娄山关组($\in_{2q} - \in_{3-4} O_1 l$)白云岩、灰岩含水层两层。其中灯影组($Pt_3^{3b} \in_1 dy$)含水层是区内主要充水含水层,寒武系清虚洞组至娄山关组($\in_{2q} - \in_{3-4} O_1 l$)含水层因有巨厚隔水层相隔对区内矿床充水无影响。

(2) 研究区矿床充水类型为以岩溶含水层充水为主,顶板直接进水,水文地质条件中等的岩溶裂隙充水矿床。

(3) 通过稳定流法、比拟法进行计算,对比实际数据,本文更倾向于推荐比拟法的计算结果作为矿山开采设计依据。

5.2 当前防治措施

为确保明泥湾邻矿区的安全开采,降低涌水风险,需采取综合防治措施。在地面防水方面,应修建截水沟、排水渠等地面排水系统,防止地表水流入矿坑,同时对矿区内的河流如洋水河进行改道或修筑防洪堤,减少地表水对矿坑的补给^[15]。此外,对地表岩溶发育区进行封堵或注浆处理,减少地表水通过岩溶裂隙下渗。在井下防水方面,需预留防水矿柱,特别是在断层带和岩溶发育区,防止地下水涌入矿坑,并对断层破碎带和裂隙发育区进行注浆加固,增强围岩稳定性。

在排水措施方面,需设计完善的井下排水系统,包括主排水泵站和辅助排水设施,确保矿坑涌水能够及时排出。根据矿坑涌水量预测结果,合理选择排水设备的型号和数量,加强水文地质监测,实时掌握地下水动态变化,特别是在断层带和岩溶发育区,设置监测点,及时发现涌水隐患。此外,可考虑对矿坑水进行综合利用,如处理后用于矿区生产或灌溉,实现水资源的循环利用,减少对环境的影响。

6 结语

本研究通过对贵州开阳明泥湾磷矿区水文

地质特征的深入分析,结合矿坑涌水量预测结果,系统总结了矿区的水文地质条件及其对矿山开采的影响,针对水文地质特征和涌水量预测结果提出了地面防水、井下防水及排水系统优化等综合防治措施,为矿山安全开采提供了科学依据。未来,建议进一步加强矿区水文地质监测,优化防治措施,并结合矿坑水的综合利用,实现资源开发与环境保护的协调发展。

参考文献(References):

- [1] 何黎明,刘亚兰.水文地质条件对矿泉水赋存的控制作用研究——基于A地的勘察实践[J].黑龙江国土资源,2025,23(02):54-61.
- [2] 李海豫,夏源,邓忠.广西河池某矿水文地质特征分析及涌水量预测[J].地下水,2024,46(04):6-9.
- [3] 唐福瑞.韩咀煤业充水因素分析及涌水量预测研究[J].能源技术与管理,2024,49(03):122-124+211.
- [4] 周亚楠,崔毅斌.煤矿动态预测涌水量的不确定性分析与风险应对措施[J].能源与环保,2024,46(11):281-286.
- [5] 崔义文,文相正.青海红旗沟—深水潭金矿水文地质条件及矿坑涌水量预测研究[J].矿产勘查,2020,11(01):195-199.
- [6] 戴柳珍,朱焕然,左涛,等.浅谈岩溶区涌水量预测中比拟法公式系数m和n的修正方法——以瓮福磷矿区为例[J].地下水,2020,42(06):22-23.
- [7] 杜远生,周琦,余文超,等.贵州南华纪—震旦纪沉积大地构造及其对沉积矿产的控制作用[J].贵州地质,2018,35(04):282-290.
- [8] 施强,王春帅,毕炳坤,等.豫西雷门沟铅矿水文地质条件分析及涌水量预测[J].矿产勘查,2020,11(12):2742-2748.
- [9] 宋小军,曾道国,蔡健龙,等.贵州省福泉市英坪磷矿矿床地质特征及成因探讨[J].西部探矿工程,2019,31(11):189-194.
- [10] 宋小军,曾道国,蔡健龙,等.贵州省福泉市英坪磷矿矿石特征及成因分析[J].矿产与地质,2019,33(02):203-212.
- [11] 宋小军,曾道国,蔡健龙,等.贵州英坪磷矿Ⅱ号

- 矿体地质特征及控矿因素[J]. 矿产勘查, 2020, 11 (01): 136-149.
- [12] 王赫生, 孟显超, 戴飞虎, 等. 江苏省阜宁县地下水生态水位及生态需水量研究[J]. 华东地质, 2023, 44(02): 141-149.
- [13] 李亮, 龚建师, 王赫生, 等. 安徽省亳州市浅层地下水化学特征及成因机理[J]. 华东地质, 2023, 44 (03): 345-356.
- [14] 宋小军, 曾道国, 蔡健龙, 等. 贵州英坪铅镍多金属矿地质特征及成矿条件[J]. 矿产勘查, 2019, 10 (09): 2270-2279.
- [15] 施建, 刘小亮. 贵州瓮安磷矿区水文地质特征研究[J]. 冶金丛刊, 2016, 38(08): 200-201.
- [16] 唐座, 杨星, 张明选, 等. 贵州路发实业有限公司贵州省开阳县永温乡明泥湾磷矿资源储量核实及勘探报告[R]. 贵阳: 贵州省地矿局区域地质调查研究院, 2024.

作者简介:

第一作者/通讯作者: 张明选, 1988 年生, 男, 贵州瓮安人, 贵州省地矿局区域地质调查研究院, 工程师, 主要研究方向为矿区水文地质勘查及评价工作。Email: 1315115890@qq.com

Hydrogeological Characteristics and Prediction of Mine Water Inflow in Mingniwan Phosphate Mine Area of Kaiyang County, Guizhou Province

ZHANG Mingxuan

(Guizhou Provincial Institute of Regional Geological Survey, Guiyang 550081, China)

Abstract: Phosphate mining areas are vital strategic mineral resources in China. Taking Mingniwan phosphate deposit in Kaiyang County, Guizhou Province as the research object, this paper systematically analyzes the hydrogeological characteristics of the mine, including aquifer system, groundwater dynamics and chemical characteristics. The main influencing factors of water gushing in mine are discussed based on the fault structure characteristics of mine area. With numerical simulation and steady flow method, the quantity of mine water inflow is quantitatively predicted, and the variation trend of water inflow under different mining schemes is evaluated. The research results show that the hydrogeological conditions of the mining area are complex, and F3 and F4 faults have a significant impact on the water filling of the mine with local risk of water inrush. The relevant measures for mine water control are ultimately put forward, which provides scientific basis for mine safety mining and environmental protection.

Key words: phosphate deposit; water inflow; prediction model; analogy method; steady flow method