

环境影响评价中水文参数对矿井涌水预测的影响分析

梁 策¹, 熊 薇², 孔慈明^{3*}, 李绍锦⁴, 郑 鑫³, 张雪梅³

¹云南省核工业二〇九地质大队, 云南 昆明

²云南省环境科学学会, 云南 昆明

³曲靖市环境工程评估中心, 云南 曲靖

⁴曲靖市坤润环保科技有限公司, 云南 曲靖

收稿日期: 2024年4月3日; 录用日期: 2024年5月4日; 发布日期: 2024年6月14日

摘 要

矿井涌水量的预测对于地下水环境影响评价具有很重要的意义, 根据矿区的水文地质条件, 获取实测水文参数, 分析参数的准确性, 在此基础上研究对矿井涌水预测的影响。结果表明, 影响矿井涌水的因素包括地形地貌与地质构造、含水层直接充水、地表水入渗以及水文地质参数的取值等。在预测矿井涌水量时应综合考虑多种因素, 以获得更为精确的预测值, 为采掘类建设项目地下水环境影响评价提供依据。

关键词

环境影响评价, 地下水, 水文参数, 矿井涌水

Analysis of the Impact of Hydrological Parameters on Mine Water Inflow Prediction in Environmental Impact Assessment

Ce Liang¹, Wei Xiong², Ciming Kong^{3*}, Shaojin Li⁴, Xin Zheng³, Xuemei Zhang³

¹No. 209 Geological Brigade of Yunnan Nuclear Industry, Kunming Yunnan

²Yunnan Environmental Science Society, Kunming Yunnan

³Qujing Environmental Engineering Assessment Center, Qujing Yunnan

⁴Qujing Kunrun Environmental Protection Technology Co. Ltd., Qujing Yunnan

Received: Apr. 3rd, 2024; accepted: May 4th, 2024; published: Jun. 14th, 2024

*通讯作者。

文章引用: 梁策, 熊薇, 孔慈明, 李绍锦, 郑鑫, 张雪梅. 环境影响评价中水文参数对矿井涌水预测的影响分析[J]. 环境保护前沿, 2024, 14(3): 444-452. DOI: 10.12677/aep.2024.143061

Abstract

The prediction of mine water inflow is of great significance for the assessment of groundwater environmental impact. Based on the hydrogeological conditions of the mining area, the measured hydrological parameters are obtained, the accuracy of the parameters is analyzed, and the impact on mine water inflow prediction is studied on this basis. The results indicate that the factors affecting mine water inflow include topography and geological structure, direct water filling of aquifers, surface water infiltration, and the values of hydrogeological parameters. When predicting mine water inflow, multiple factors should be comprehensively considered to obtain more accurate prediction values, providing a basis for groundwater environmental impact assessment of mining construction projects.

Keywords

Environmental Impact Assessment, Groundwater, Hydrological Parameters, Mine Water Inflow

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在矿山开采过程中, 矿井涌水是影响区域地下水环境的一个重要因素, 矿井水的疏干可能会造成区域地下水位下降, 进而对周边饮用水源造成影响, 对生态环境造成破坏。准确预测矿井的涌水量, 对矿山采取相应的环境保护措施具有很重要的指导意义[1]。自 20 世纪 40 年代初矿井涌水量预测方法开始应用以来, 矿井涌水量预测方法不断涌现, 不同的矿井涌水量预测方都有各自的适应条件[2]。近几十年来, 国内外学者针对不同类型矿井涌水量的预测方法展开了大量研究, 代表性的方法有统计分析和确定性模型法等[3]。随着计算机技术的飞速发展, 数值模拟方法逐渐在矿井涌水量预测领域广泛使用, 但是利用 Modflow 等数值模拟软件对矿井涌水量进行预测时, 往往仅概化相应的水文地质边界条件, 对原始较为复杂的水文地质实际条件做出了适当简化, 对于真实的水文地质特征和相应的实测参数考虑不全面, 会影响模型预测的精度[4]。本文对影响矿井涌水量的水文参数进行分析, 通过利用不同实测手段获取的水文参数, 在验证相关参数准确性的基础上, 采用不同方法进行涌水量预测, 为矿井涌水量预测的准确性提供参考[5], 为今后采掘类建设项目地下水环境影响评价提供支撑。

2. 研究区概况及地质构造

2.1. 研究区概况

研究区范围是由 40 个拐点坐标圈定而成的斜长条形, 呈北西~南东向展布, 南北长 10 km, 东西宽 0.70~2.50 km, 面积 14.02 km²。区域地形北东高, 南西低, 为一整体向南西倾斜的斜坡及沟谷地形, 沟谷发育, 切割较深, 地形起伏较大, 一般地形坡度 15°~40°, 一般标高为 1900~2400 m, 为研究区最低侵蚀基准面, 相对高差 1341.10 米, 属高中山地貌。

矿区地层呈北西 - 南东向展布, 倾向南西(198°~245°), 倾角 20°~60°。出露地层为泥盆系中统(D₂)灰、浅灰色中厚~块状灰岩夹白云质灰岩; 三叠系上统大箐组(T₃dq)砂岩夹泥岩、粉砂岩、泥质粉砂岩及煤层或煤线; 第四系全新统(Q_h)粘土、粉砂、细砂、砂砾及大砾石、滚石等。

2.2. 基底构造

泥盆系中统(D₂)灰岩的古地形直接控制着含煤地层和煤层层数、厚度的赋存变化规律。一般灰岩的产状大于含煤地层产状，为角度不整合关系，而基底地形的起伏变化情况则是：矿区南段为基岩隆起地带，致使煤层缺失；矿区南段及外围三号及一号井为斜坡带，煤层厚度浅部至深部有变薄的趋势，矿区中段及北段为凹陷带，煤层层数多，煤层厚度增大，矿区基底地形可概括为五隆四凹的古地形特点，而煤层的发育情况则为凹陷地带最好，斜坡带次之，隆起带最差。

2.3. 断层构造

矿区位于向斜北东翼，断裂相对发育，主要构造线呈北西 - 南东向延伸，为单斜构造。共分布 F₁、F₂、F₃、F₄、F₅ 五条断层，断层特征如下表 1。

Table 1. List of different fault characteristics

表 1. 不同断层特征一览表

断层编号	性质	走向	倾向(°)	倾角(°)	走向长(m)	落差(m)
F ₁	正断层	南东 - 北西	237~245	60~70	9000	80
F ₂	逆断层	南西 - 北东	335~350	约 65	3000	30
F ₃	逆断层	北东 - 南西	300~305	约 50	1800	45~50
F ₄	逆断层	北东 - 南西	136~145	约 45	2000	45
F ₅	逆断层	北东 - 南西	305~315	50	1300	25~30

除 F₁ 断层外，其余断层均位于采区外，且距离较远，对矿床充水不会产生影响。F₁ 断层走向约 140°，倾向南西，倾角 60°~70°，西盘下降，东盘上升，为正断层，走向长近 9 km，断距大于 100 m，可见断层角砾岩，断层带宽度 5~9 m，以断层角砾岩为主，方解石呈胶结状，透水性差，对矿床充水无影响。

3. 矿区实测水文参数

3.1. 地表水

研究区旱雨季分明，气候温和，年降雨量 850~1017 mm。年降雨多集中在 6~10 月，降水量占全年的 80%。雨季随着降雨的持续，大气降雨不断垂直入渗补给地下水，会对矿井涌水产生直接影响。

区内主要分布有五条溪沟，流向由北东向南西，现场采用浮标法实测得到汇水面积 2.1~3.5 km³，流量一般为 5~20 L/s 不等。旱季水量较小，大部分干涸，雨季雨水汇集流量增大。最大洪峰流量约 1~3.5 m³/s。随着开采产生采空塌陷区，地表水会从塌陷区裂隙进入矿坑，其中一条溪沟直接流经矿区上部，雨季最大流量 1.5 m³/s，对矿井涌水有一定的影响。

3.2. 地下水

两区所处的向斜东、西部均出露泥盆系中统灰岩，中间为三叠系上统大箐组地层，形成向斜储水构造形态，控制了大箐组裂隙含水层、泥盆系中统岩溶含水层的分布和地下水的补给、径流、排泄关系。区域上构成了一个完整的向斜储水构造，形成了矿床充水的有利条件。由于地下水赋存介质的不同，区域含水层主要包括上部裂隙含水层和下部岩溶含水层。

地下水的相关水文地质参数主要通过现场抽水试验[6]结合地球物理测井成果资料综合分析得到，地

球物理测井技术可以更真实的估计水文地质参数[7]，抽水试验数据与地球物理测井成果互相验证，所得结果与钻孔岩芯进行比对，在最大程度上保证了参数的准确性。

裂隙含水层：位于宽缓向斜轴部，由三叠系上统大箐组(T₃dq)组成，呈片状出露，岩层一般主要发育有三组节理，其中以走向为 10°~20°、293°~310°的二组节理最为发育。另一组走向约 77°，显示出一定的张性特征，有利于地表水体的补给，如图 1。

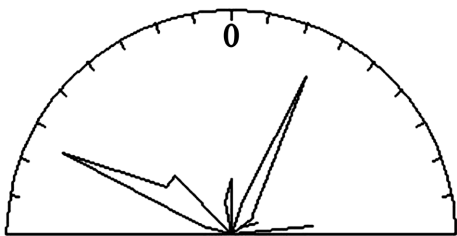
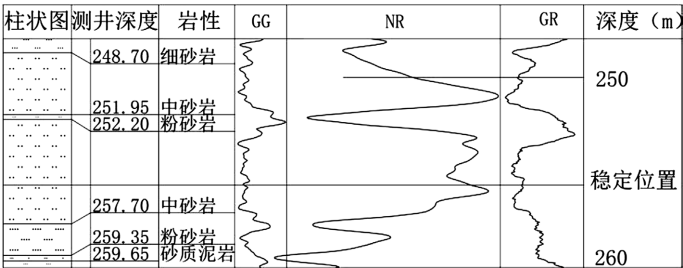


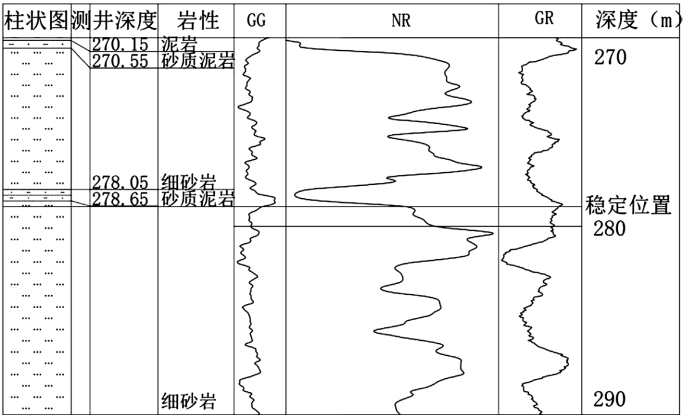
Figure 1. Rose diagram of fracture trend in the mining area
图 1. 矿区裂隙走向玫瑰花图

三叠系上统大箐组下段(T₃dq¹)裂隙弱含水层由不同粒级的粗、中、细、粉砂岩及泥岩，煤层组成，平均厚度 154 m。裂隙较为发育，含少量裂隙水，富水性弱，根据现场抽水实验数据，含水层渗透系数 0.001405 m/d，为弱裂隙含水层，是矿床的直接充水含水层。

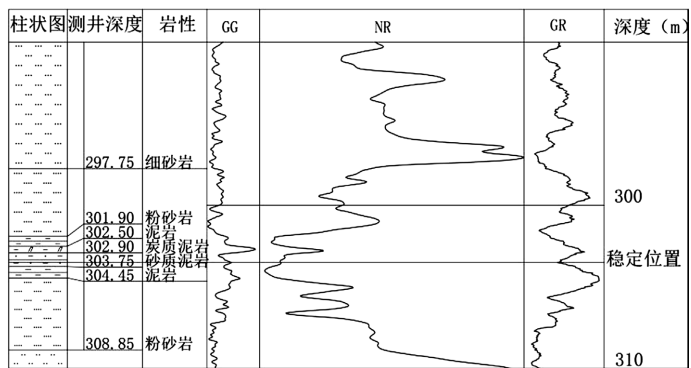
通过对矿区两个钻孔的抽水和地球物理测井资料进行综合分析，在抽水过程中，一共出现了三个降深稳定段和对应的流量稳定段，柱状图与数字测井曲线如图 2。第一次降深稳定深度为 255.03 m，NR 电位曲线呈中、高幅正异常，GR、GG 曲线则呈平缓的低值反应，对应的地层岩性主要为砂岩，产生涌水的主要为上下砂岩含水层，距离第一层煤层层底厚度为 24.71 m，对煤层的开采基本没有影响；



(a) 第一次降深稳定段



(b) 第二次降深稳定段



(c) 第三次降深稳定段

Figure 2. Digital well logging curve of fractured aquifer and corresponding borehole histogram
图 2. 裂隙含水层数字测井曲线与对应钻孔柱状图

第二次降深稳定深度为 278.68 m，对应的地层岩性主要为砂质泥岩，NR 曲线呈现较低值，上下砂岩含水层 NR 曲线中高幅正异常，距离第二层煤层层底厚为 15.59 m，对煤层的开采有影响；第三次降深稳定深度为 303.45 m，对应的地层岩性主要为砂质泥岩，而距离第三层煤层层底厚度为 33.48 m，对煤层的开采基本没有影响。各流量稳定段岩性与钻孔柱状图对应深度岩性一致，如下表 2。

Table 2. Summary of geophysical well logging and pumping test results
表 2. 地球物理测井与抽水试验成果汇总

降深稳定段	埋深(m)	充水岩层	流量(L/S)	与煤层距离(m)
1	255.03	砂岩	0.016	上：24.71
				下：8.060
2	278.68	砂岩	0.083	上：8.710
3	303.45	砂岩	0.0955	上：33.48

综上，对煤层开采产生影响的主要为抽水试验第二次降深稳定段对应的流量降深位置地层，深度 278.68 m，对应地层岩性主要为砂质泥岩，是造成矿床充水的直接因素。

岩溶含水层：主要位于向斜东、西两翼，由泥盆系中统灰岩岩溶较强含水层(D₂)组成，灰色、灰白色，中~厚层状灰岩、白云岩，呈条带状出露，含有较丰富的岩溶裂隙水。地表主要为岩溶化山地，偶见有落水洞、漏斗、岩溶洼地等岩溶发育形态，地下水的径流一般沿地层层面或沿断层带径流，径流方向总体上为由北东向南西。此层为含煤地层基底，距最底煤层一般间距平均为 135.62 m。对煤层开采基本无影响。

3.3. 探采矿井及探硐

矿区南东相邻煤矿主井井口标高 1676.351 m，沿走向已开采 800~1000 m 左右。井巷内除局部岩石破碎带见有滴水，淋水。水流量 0.6 L/s，为其上部 3 个通风及安全井下渗水流。风井初见水位标高为 1727 m，井巷控制面积 171,800 m²，井巷最低开采标高 1670 m，水位降深 43 m。矿井排水量井口不定期实测排水量为 85~155 m³/d。

东侧相邻煤矿主井井口标高 1758.0 m，主巷下山积水坑抽出水流量 1 L/s，为其上部通风及安全井下渗水流。风井初见水位标高 1859 m，井巷控制面积 160,100 m²，井巷最低开采标高 1750 m，水位降深 109 m。

矿井排水量井口不定期实测排水量 1711~2160 m³/d。

开采平硐标高 2021.91~2166.18 m, 探硐产生排水量合计 206.67~384.22 m³/d, 平均水位标高为 2092.09 m, 井巷控制面积 443,673 m², 井巷最低开采标高 1973 m, 水位降深 119 m。井巷内除局部岩石破碎带见有滴水、淋水, 采空区巷道有小股涌水外, 大部分井巷仅潮湿。

4. 矿坑涌水量预测

4.1. 计算范围及水文地质边界条件

根据资源量分布情况, 先期开采水平为 2000 m 标高, 矿井为一个统一排水系统。先期开采地段范围作为预算范围, 东以煤层露头线及矿界为界, 西、南以煤层底板 2000 m 等高线垂直投影线为界, 北以矿界为界, 面积 443,673 m², 水文地质边界条件东侧煤层露头线为计算边界, 其它为无限补给边界。

4.2. 涌水量预测

通过对研究区地质构造以及矿区实测水文地质参数的综合分析, 本次涌水量的预测应包括地表水和地下水两部分。

地表水垂直入渗:

① 大气降雨入渗

气象资料显示, 矿区年平均降雨量 850~1017 mm, 多集中在 6~9 月, 经推算巷道经过含水体的积水面积 443,673 m², 降雨入渗系数取 0.2, 则涌水量为:

$$Q_1 = 2.74 \times a \times W \times A \quad [8] \quad (1)$$

式中: Q_1 为涌水量(m³/d); W 为年平均降水量(mm/a); a 为降雨入渗系数; A 为巷道经过含水体的积水面积(m²)。

计算可得: $Q_1=677\text{m}^3/\text{a}$

② 沟溪入渗

溪沟补给地下水时, 补给量的大小主要取决于河流的径流量、河床的受水面积、河水的含砂量及河床物质结构的渗透性、河水位与地下水位的高差、含水层的岩性结构、地下水的开采强度以及河床的过水时间等。通过采用灰色回归模型法进行河流入渗量进行预测[9]。

$$P(Q) = 18.063e^{0.0113Q} - 18.319 \quad (2)$$

式中: Q 为溪谷流量, 经实测直接流经矿区上部溪沟流量 1.5 m/s。

经计算可得: $P(Q) = 80 \text{ m}^3/\text{d}$

地下涌水:

地下涌水分别采用最常用的地下水动力学大井法与水文地质比拟法进行预测[10]。

① 地下水动力学法预测直接充水含水层产生的矿井涌水

由于开采后地表可产生塌陷, 且地下水位降至含水层的底板。直接充水含水层对矿井涌水量的一般值、最大值计算如下:

$$Q_{\text{一般}} = 1.366 \cdot k \cdot a \left(2HM - M^2 - h^2 \right) / \left(\lg R_0 - \lg r_0 \right) \quad (3)$$

$$Q_{\text{最大}} = 1.366 \cdot k \cdot a \cdot \lambda \left(2HM - M^2 - h^2 \right) / \left(\lg R_0 - \lg r_0 \right) \quad (4)$$

式中: k 为渗透系数(m/d), 采用钻孔对含水层的抽水试验成果平均值 0.001405 m/d; M 为直接充水含水

层厚度(m), 取平均厚度 154 m; h 为开采降深至含水层底板, 剩余水头高度为 0 m; H 为水头高度(m), 采用 1001 孔(2115.91 m)、探硐 TD₂ (2174.18m)、TD₃ (2088.18 m)、TD₅ (1972.41 m)四个点含水层静止水位标高的平均值(2088 m)与预算水平 2000 m 标高之差, 即 88 m。 λ 为涌水量最大变化系数, 采用生产探硐排水量长观资料, $\lambda = Q_{o\text{最大}} \div Q_{o\text{一般}} = 384.22 \div 206.67 = 1.86$; a 为边界进水边长系数, $a = \text{进水边长} \div \text{边界总长} = 4085 \div 5209 = 0.78$ 。

$$R_o = R + r_o \quad (5)$$

式中 R_o 为预测坑道系统大井引用影响半径, R 为潜水含水层影响半径, r_o 为大井引用半径(m)。

$$R = 2 \times S \sqrt{HK} \quad (6)$$

式中 K 为渗透系数(m/d), 即 0.001405 m/d; H 为水头高度(m), S 为水位降深, $S = H = 88$ m; 计算得 $R = 62$ m。

$$r_o = P/2\pi \quad (7)$$

预测范围块段大致为不规则状, 其周长 $P = 5209$ m, 计算得 $r_o = 829$ m。

综上, $R_o = R + r_o = 62 + 829 = 891$ m

将上述参数代入公式(3)、(4)计算得:

$$Q_{\text{一般}} = 252 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_{\text{最大}} = Q_{\text{一般}} \times \lambda = 469 \text{ m}^3/\text{d}$$

② 比拟法预测矿井涌水量

采用水文地质比拟法计算, 由于无生产矿井, 矿区生产探硐与预算的未来矿井开采的水文地质条件较相似, 作为比拟矿井计算水量较合理。其适用公式为:

$$Q_{\text{一般}} = Q_{o\text{一般}} \cdot (F/F_o) \cdot (S/S_o) \quad (8)$$

$$Q_{\text{最大}} = Q_{o\text{一般}} \times \lambda \quad (9)$$

式中 F_o 为生产探硐开采巷道控制面积; S_o 为硐口初见水位平均标高(2092)与开采底界最低标高(1973)差; $Q_{o\text{一般}}$ 为排水量长观资料一般值; λ 为流量变化系数, 与涌水量最大变化系数数值相同; F 为开采水平 2000 m 首采区开采面积; S 为水位降深(m)。

根据矿井开采设计、抽水及生产探硐资料, F_o 取 443673m², S_o 为 119m, $Q_{o\text{一般}}$ 为 207 m³/d, F 为 719,158 m², S 采用 1001 孔(2115.91 m)、TD₂ (2174.18)、TD₃ (2088.18)、TD₄ (2021.91)标高的平均值(2092.09)与 2000 m 水平的差值, 为 92 m。

将上述参数代入相应公式(8)、(9)中计算得:

$$Q_{\text{一般}} = 259 (\text{m}^3/\text{d})$$

$$Q_{\text{最大}} = 482 (\text{m}^3/\text{d})$$

5. 预测结果及影响因素分析

5.1. 预测结果

通过不同方法对矿井涌水量预测结果如下表3。

Table 3. Mine water inflow prediction list
表 3. 矿井涌水量预测一览表

预测方法	地表水		地下水		总涌水量 (m ³ /d)
	大气降雨入渗 (m ³ /d)	溪沟入渗 (m ³ /d)	一般涌水量 (m ³ /d)	最大涌水量 (m ³ /d)	
地下水动力学法	677	80	252	469	1226
水文地质比拟法	/	/	259	482	482

通过以上预测结果可以看出,采用地下水动力学法预测矿井一般涌水量为 252 m³/d,最大涌水量为 469 m³/d;采用水文地质比拟法预测矿井水一般涌水量为 259 m³/d,最大涌水量为 482 m³/d。

总体来说两种方法预测结果基本一致,地下水动力学法预测值偏小且仅考虑岩层充水因素,未考虑大气降雨入渗及溪沟水入渗的影响;水文地质比拟法虽选取近似水文地质条件进行比拟,也将大气降雨垂直入渗的水量考虑进去,但预测结果偏小,具有一定的不确定性。

5.2. 涌水量预测影响因素分析

通过矿井涌水量预测结果可以看出,影响涌水量预测的最主要因素为水文参数,预测矿井涌水在综合考虑各种影响因素的同时,应重点考虑水文参数。

矿区的地形地貌及地质构造控制着地表水及地下水的赋存,矿区中段及北段为凹陷带,发育溪沟,有利于地表水体的汇集,应考虑溪沟水下渗产生的矿井涌水。

除了含水层直接充水形成矿井涌水外,雨季大气降雨入渗的水量很大,是对矿井涌水重要的影响因素之一,预测结果表明,大气降雨会使涌水量成倍增长[11]。

在对矿井涌水量进行计算时,参数的取值直接影响计算结果,水文参数的合理取值对科学准确的预测矿井涌水量具有很重要的意义。

6. 结论

通过对矿区地形地貌及地质构造的调查分析,采用不同的手段获取影响矿井涌水的水文参数,在此基础上,对矿井涌水量进行了预测,分析了水文参数对矿井涌水预测的影响。

(1) 水文参数直接影响预测结果。在采掘工程建设项目环境影响评价过程中应尽可能客观的获取水文参数,通过对钻孔抽水资料、地球物理测井资料等综合进行分析,并钻孔岩芯等信息对结果进行验证,基本能真实反映矿床直接充水含水层的富水性及导水性,获取的水文地质参数是可靠的。

(2) 地下水动力学法预测结果与水文地质比拟法预测结果相对误差较小,但地下水动力学法忽略了雨季地表水入渗补给的影响。在降雨量很大的雨季,溪沟水流量急剧增大,由于受到大气降雨和溪沟入渗的影响,矿井涌水预测值是旱季的数倍;水文地质比拟法由于采用近似水文地质条件类比,不确定性较大,结果偏保守。

7. 讨论

(1) 在矿山采掘类建设项目环境影响评价工作中,应在充分收集已有区域水文地质等资料,分类判断基础资料的真实性和可用性,为矿井涌水预测提供基础资料。

(2) 应结合已有资料综合考虑可能的影响因素进行矿井涌水的预测,在以实测水文参数预测的同时综合考虑大气降雨垂直入渗补给对涌水量造成的影响,为项目地下水环境影响评价提供可信的数据,指导环评提出更可行的环境保护措施。

参考文献

- [1] 许世华. 矿井水的来源及其防治措施[J]. 矿业安全与环保, 2002, 29(z1): 84-86.
- [2] 兰璇. 煤层重复采动矿井涌水动态变化规律及矿井水利用研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国矿业大学, 2023.
- [3] 陈酩知, 刘树才, 杨国勇. 矿井涌水量预测方法的发展[J]. 工程地球物理学报, 2009, 6(1): 68-72.
- [4] 林蔚如. 眼前山铁矿露天转井下开采矿井涌水预测研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学, 2016.
- [5] 刘云艳. 白音华四号矿厚煤层大采高分层开采矿井涌水规律研究[D]: [硕士学位论文]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2023.
- [6] Wu, Q., Hu, B.X., Wan, L., *et al.* (2010) Coal Mine Water Management: Optimization Models and Field Application in North China. *Hydrological Sciences Journal*, **55**, 609-623.
<https://doi.org/10.1080/02626661003798310>
- [7] Hubbard, S.S. and Rubin, Y. (2000) Hydrogeological Parameter Estimation Using Geophysical Data: A Review of Selected Techniques. *Journal of Contaminant Hydrology*, **45**, 3-34. [https://doi.org/10.1016/S0169-7722\(00\)00117-0](https://doi.org/10.1016/S0169-7722(00)00117-0)
- [8] 赵晓光. 基于大气降雨入渗系数法和科斯加科夫公式的煤矿矿井涌水预测[J]. 内蒙古煤炭经济, 2014(8): 137, 141.
- [9] 杜文堂. 河流入渗量灰色回归预测模型[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2000, 19(4): 364-367.
- [10] 华解明. “大井法”预测矿井涌水量问题探讨[J]. 中国煤炭地质, 2009, 21(6): 45-47.
- [11] 张本臣, 刘喜信, 孙传斌. 矿坑涌水量预测的影响因素分析[J]. 吉林地质, 2006, 25(1): 58-61.