

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2022.03.030

矿井涌水量预测方法的比较研究 ——以甘肃大庄煤矿为例

张子祥¹, 李文鑫²

(1. 甘肃煤炭地质勘查院, 甘肃 兰州 730000; 2. 甘肃煤田地质局一四九队, 甘肃 兰州 730000)

摘 要:矿井涌水量是矿井设计、生产和防排水系统设置及制定矿井防治水措施的主要依据;涌水量预测方式的选择十分重要。笔者采用大井法、廊道法和比拟法对大庄煤矿矿井涌水量进行了计算,并和矿井实际涌水量进行了误差分析,结果表明:①吉哈尔特和库萨金经验公式求出的影响半径一般偏小很多,造成矿井涌水量计算结果偏大,在实践中不适用。②矿井生产阶段比拟法比解析法要更加精确。③在解析法预测涌水量中,建议使用实测影响半径,若无法取得,建议用补给模数法公式计算引用影响半径。④在解析法中,若已有生产矿井的涌水量资料,可考虑利用大井法、集水廊道法公式反求影响半径,在此基础上计算矿井涌水量。若补给条件差,以消耗储存量为主的生产矿井,矿井涌水量计算建议首先采用适合边界条件的非稳定流泰斯公式预测涌水量。

关键词:大庄煤矿;矿井涌水量;误差分析

中图分类号:P618.11;TD742

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2022)03-0355-06

Comparative Study on Prediction Methods of Mine Inflow —A Case Study of Dazhuang Coal Mine in Gansu Province

ZHANG Zixiang¹, LI Wenxin²

(1. Gansu Institute of Coal and Geology Exploration, Lanzhou 730000, Gansu, China; 2. Gansu Coalfield Geology bureau 149 geological team, Lanzhou 730000, Gansu, China)

Abstract: Mine inflow is the main basis of mine design, production, drainage system and water prevention and control measures. It is very important to choose the prediction method of water inflow. This paper adopted the method, corridor method, analogy method in the coal mine water inflow of Dazhuang colliery was calculated, and the error analysis and the actual location of the mine, the results show that: ①George Hal and library sargent empirical formula and the smaller the radius of influence of general many, cause water inflow slants big, calculation results is not applicable in practice. ②Comparison method is more accurate than analytical method in mine production stage. ③It is recommended to use the measured influence radius in the analytic method to predict the inflow of water. If it cannot be obtained, it is recommended to use the formula of run-off recharge module to calculate the reference influence radius. ④In the analytical method, if the existing in the production of the mine water inflow data, can consider to use big well method,

收稿日期:2021-07-26;修回日期:2021-12-18;网络发表日期:2022-08-15;责任编辑:贾晓丹

作者简介:张子祥(1964-),男,注册岩土工程师、正高级工程师,主要从事水文地质、工程地质、煤田地质。E-mail:575796981@qq.com。

water corridor method formula reverse radius of influence, on the basis of the calculation of mine water inflow, if supply condition is poor, mainly consume storage production mine, the mine water inflow of unsteady flow calculation suggest suitable boundary conditions were first introduced in theis formula to predict water inflow.

Keywords: Dazhuang colliery; mine inflow; error analysis

矿井涌水量是矿井设计、生产、防排水系统设置及制定矿井防治水措施的主要依据。矿井涌水量计算是矿床水文地质勘查中一项重要而复杂的工作,也是矿床水文地质勘查中的根本任务之一(华解明,2009)。管恩太(2005)、陈酩知(2009)、杨海军(2012)及虎维岳(2016)对于预测涌水量的各种方法进行了探讨,概述了各种方法的原理、应用现状及使用条件。涌水量预测方法已经有大量的实例研究,温文富(2011)在实例中比较了比拟法和解析法,认为比拟法受限于实测资料的积累程度,大井法边界条件确定比较困难,影响半径与实际差异很大;华解明,2009)也认为“大井法”具有简单方便的特点,但不适用大降深和不规则矿井的涌水量计算预测;戴岩柯(2010)在实例中比较了水均衡法和数值模拟法,认为水均衡法适用于水文地质条件简单的矿山,数值模拟法适用于条件较复杂的矿山,前者时间快、成本低;张子祥(2015)对比了大井法、水平廊道法和比拟法,建议采用比拟法进行涌水量预测;段俭君(2013)用 SPSS 软件建立了矿井涌水量的多元回归方程,实现了矿井涌水量的可靠预测;张奔(2021)利用 MATLAB 编程对实例年度最大涌水量进行了预测,精度可靠。

目前,在实际工作中,水文地质条件简单或中等的矿床大多采用大井法、廊道法及比拟法预测涌水量。由于受勘探工作量限制,勘探阶段一般只进行单孔抽水试验,矿井涌水量依据单孔抽水试验取得的参数,利用吉哈尔特和库萨金经验公式求取影响半径,并在此基础上结合裘布依大井法公式预测矿井涌水量。但在实践过程中,利用吉哈尔特或库萨金经验公式结合裘布依大井法公式预测的矿井涌水量与实际矿井涌水量相差较大,大多情况下,预测的涌水量远大于矿井实际涌水量。依据相关统计资料,目前国内预测矿井涌水量与矿井实际涌水量相比,误差小于 30% 的仅有 10%,90% 的矿区误差超过 50%,有的误差甚至达到数十倍。鉴于此,笔者以甘肃大庄煤矿为例,采用稳定流的裘布依大井法、

泰斯非稳定流大井法、廊道法及比拟法分别计算矿井涌水量,并和实际矿井涌水量进行对比,分析各种方法使用条件及产生误差的原因,并提出采用补给模数法理论计算影响半径的方法,为合理计算矿山涌水量提供参考。

1 研究区概况

1.1 井田概况

大庄煤矿地处甘肃陇东黄土高原之间的过渡地带,属于半干旱-半湿润气候,地貌属于低山丘陵区。大庄煤矿构造形态为一缓倾斜的单斜构造,地层自上而下分别为第四系、上新统甘肃群、下白垩统志丹群、中侏罗统安定组、直罗组、中一下侏罗统延安组及上三叠统延长群。主采煤 5 层平均厚度为 9.82 m,发育在中一下侏罗统延安组底部(张子祥,2006)。

1.2 水文地质条件

本区大气降水平均为 600 mm,大气降水及地表水对未来矿井开采是否造成影响取决于煤层开采后上覆岩层中形成的导水裂隙带能否延伸至地表。经计算,煤 5 层开采后导水裂隙带并未延伸至第四系含水层底界和矿井开采煤层之间的第 1 隔水层。由此判定,井田内地表水及大气降水对矿井开采影响较小,按规范可以不考虑,所以井田内大气降水及地表水对矿井开采基本无影响。

井田内以煤 5 层为界,按岩性组合可划分出 3 个含水层和 3 个隔水层,具体如下。

(1)第 1 含水层。全新统砂砾卵石层孔隙潜水含水层,由砂、砾卵石层组成,含水层厚 3~7 m,渗透系数为 10~210 m/d,单位涌水量为 0.59~4.98 L/s·m。该含水层底板为上新统甘肃群隔水层,井田煤层开采后形成的导水裂隙带高度达不到第一含水层,全新统砂砾卵石层孔隙潜水下渗不到井下,所以第一含水层对矿井充水基本无影响。

(2)第 2 含水层。下白垩统志丹群第一组砾岩、砂砾岩孔隙裂隙承压含水层,岩性为紫红色、黄绿色

砾岩、砂砾岩;含水层平均厚度为 160.48 m,单位涌水量为 0.025~0.35 L/s·m。依据该区 1:10 万水文地质普查报告,本区白垩系志丹群第一组含水层和煤 5 层顶板以上至中一下侏罗统延安组中部砂岩承压含水层合计地下水径流模数为 0.53 L/s·km²;含水层主要在露头附近接受大气降水入渗补给,其他区域被上部隔水层覆盖,补给条件差。该井田煤 5 层开采后形成的导水裂隙带高度能够达到本含水层,该含水层富水性中等,是未来向矿井充水的主要含水层。

(3)第 3 含水层。煤 5 层顶板以上至中一下侏罗统延安组中部砂岩承压含水层,主要由延安组煤 5 层顶板以上中粗砂岩构成,含水层平均厚度为 25.92 m。渗透系数 0.002 4~0.042 m/d,单位涌水量 0.000 87~0.003 5 L/s·m,具较高承压水头,含水层下部和煤层顶板直接接触,属矿井天然的直接充水含水层,补给来源是井田边界附近露头区大气降水入渗,由于补给条件差,含水层富水性弱,综合分析该含水层对未来矿井开采影响小。

(4)第 1 隔水层。上新统甘肃群一下白垩统志丹群第 2、第 3 组隔水层,垂向剖面上位于第 1 含水层和第 2 含水层间,全井田分布;岩性为泥岩、砂质泥岩,平均厚度为 318.96 m,为良好隔水层。

(5)第 2 隔水层。中侏罗统直罗组上段隔水层,垂向剖面上位于第 2 含水层和第 3 含水层间;岩性为泥岩、砂质泥岩,平均厚为 48.3 m,为良好隔水层。

(6)第 3 隔水层。中下侏罗统延安组下段隔水层,垂向剖面上位于主要第 3 含水层底部以下;岩性为泥岩、砂质泥岩、碳质泥岩、煤层,平均厚度为 16.15 m,为良好隔水层。

2 矿井涌水量计算方法

2.1 目前矿井开采情况

大庄煤矿于 2011 年 3 月正式投入生产,截至 2021 年 3 月,年产量为 220×10⁴t,开采工作面呈不规则多边形,井巷范围周长为 6 304 m,开拓面积为 2 243 921 m²,工作面水位降低 450 m,矿井初期平均涌水量为 92 m³/h;2021 年 3 月矿井平均正常涌水量为 60 m³/h。矿井涌水来自煤层顶板第 2、第 3 含水层,第 1 含水层对矿井基本无影响,所以只计算该矿井第 2、第 3 含水层对矿井的总体涌水量。

2.2 计算方法选择

该矿井位于鄂尔多斯盆地,含水层倾角小,补给

边界和排泄边界距离矿井超过 50 km,含水层可以近似假定为无边界含水层,基本符合无边界裘布依公式和泰斯公式的适用条件。本次计算采用裘布依稳定流大井法、泰斯非稳定流大井法、集水廊道法及比拟法等。稳定流大井法计算中牵涉到影响半径,由于影响半径计算采用不同方法,计算的涌水量也不尽相同。笔者对影响半径分别按库萨金经验公式、吉哈尔特经验公式和补给模数法理论公式计算。

2.2.1 引用影响半径(R_0)计算

(1)吉哈尔特经验公式。

$$R=10S_w\sqrt{K} \quad (1)$$

$$r_0=\sqrt{\frac{F}{\pi}} \quad (2)$$

$$R_0=r_0+R \quad (3)$$

(1)、(2)、(3)式中: R 为依据含水层抽水试验结果按经验公式计算得出的影响半径(m), S_w 为含水层水位降深(m), K 为含水层渗透系数(m/d), F 为矿坑开拓面积(m²), R_0 为开采地段矿坑排水引用影响半径(m), r_0 为开采地段假想大井半径(m)。

(2)库萨金经验公式。

$$R=2S_w\sqrt{KM} \quad (4)$$

$$r_0=\sqrt{\frac{F}{\pi}}$$

$$R_0=r_0+R$$

(4)式中: M 为含水层平均厚度(m);其他参数意义同上。

(3)补给模数法理论公式。

地下水补给模数 M_0 (L/s·km²)是单位面积产生的地下水平均流量,水文地质计算中一定范围的地下水补给量可以表达为地下水补给模数(M_0)和补给范围面积的乘积。将以上原理应用到矿井排水中,认为引用影响半径范围的面积(S_0)和地下水补给模数(M_0)的乘积就是未来矿井的涌水量(Q);由此可列出方程组(5),由方程组(5)可推导出矿坑排水含水层引用影响半径理论公式(6),将公式(6)和裘布依公式(7)联立,通过迭代可求得矿坑引用影响半径 R_0 。该区地下水补给模数(M_0)依据勘查区 1:10 万水文地质普查说明书中的资料。

$$\begin{cases} M_0 \times S_0 = Q \\ S_0 = \pi R_0^2 \end{cases} \quad (5)$$

$$R_0 = \sqrt{\frac{Q}{\pi M_0}} \quad (6)$$

(5)、(6)式中： M_0 为地下水径流模数(L/s·km²)， S_0 为引用影响半径范围的面积(km²)， Q 为地下水涌入坑道流量(m³/d)，其他参数意义同上。

2.2.2 涌水量计算公式

(1)裘布依大井法公式(承压转无压)。

$$Q=\frac{1.366K(2HM-M^2-h_w)}{(\lg R_0-\lg r_0)} \tag{7}$$

(7)式中： h_w 为矿坑含水层疏干过程中动水位高度(m)， H 为含水层承压水头高度(m)；其他参数意义同上。

(2)集水廊道法公式(双侧进水)。

$$Q=\frac{KM(H-h_w)L}{R} \tag{8}$$

(8)式中： L 为矿井开采地段进水廊道长度(m)；其他参数意义同上。

(3)泰斯非稳定流大井法公式。

$$Q=\frac{4\pi TS_w}{\ln \frac{2.25Tt}{r_0^2\mu}} \tag{9}$$

(9)式中： T 为导水系数(m²/d)， t 为大井排水时间(d)， μ 为弹性释水系数(无量纲)；其他参数意义同上。

(4)比拟法(富水系数法)公式。

$$Ka=\frac{Qx}{Px} \tag{10}$$

$$Q=Ka \cdot P \tag{11}$$

(10)、(11)式中： Ka 为富水系数(m³/t)， Q_x 可类比的已生产矿井涌水量(m³/d)， P_x 为可类比的已生产矿井煤炭产量(t/d)， P 为大庄煤矿产量(t/d)；其他参数意义同上。

2.3 确定计算参数

2.3.1 含水层水文地质参数(K、M、H)及降深(S_w)的确定

取该矿井水文地质参数8个水文孔混合抽水试验的平均值，点数大于6个，参数平均值可基本代表本区的特征值，即平均渗透系数(K)取0.0085 m/d，含水层平均厚度(M)取200.30 m，承压水水头高度(H)平均值取486.27 m，涌水计算中水位降深(S_w)取开采地段内水位降到第3含水层底板的平均深度值为486.27 m；由于含水层疏干过程中动水位降到含水层底板，所以动水位高度 h_w 取零。

2.3.2 涌水量计算中引用影响半径及进水廊道长度的确定

(1)用吉哈尔特经验公式计算的影响半径(R)。

截止2021年3月矿井开采地段呈多边形，面积约243 921 m²，概化的坑道系统大井半径(r_0)计算如下：

$$R=10S_w\sqrt{k}=10\times486.27\times\sqrt{0.0085}=448\text{ m}$$

$$r_0=\sqrt{\frac{F}{\pi}}=\sqrt{\frac{243\,921}{3.14}}=845\text{ m}$$

相应的大井引用影响半径： $R_0=r_0+R=845+448=1\,293\text{ m}$

(2)用库萨金经验公式计算影响半径(R)。

$$R=2S_w\sqrt{KM}=2\times486.27\times\sqrt{0.0085\times200.3}=1\,269\text{ m}$$

相应的大井引用影响半径： $R_0=r_0+R=845+1\,269=2\,114\text{ m}$

(3)补给模数法公式计算引用影响半径(R_0)。据1：10万水文地质普查报告中该区的矿井第2、第3含水层地下水补给模数为0.53 L/s·km²，换算单位后为4.58×10⁻⁵ m³/d·m²，将补给模数法引用影响半径理论公式(6)和裘布依公式(7)联合进行迭代计算，得出引用影响半径 R_0 为4 099 m。

(4)廊道长度确定(L)。依据实际开掘长度并结合等水位线图综合确定，长度为3 152 m。

2.3.3 导水系数(T)、弹性释水系数(μ)及排水时间(t)确定

取8个水文孔抽水试验结果，导水系数平均值为1.703 m²/d，弹性释水系数为4×10⁻⁵；矿山自2011年3月开采，截止2021年3月，排水时间为3 670 d。

2.3.4 比拟法计算中富水系数(K_p)确定

与大庄煤矿同处一个煤田且矿井开采方式及充水条件相似的煤矿有8个，8个煤矿的总产量(P_x)为300×10⁴ t，正常总涌水量(Q_x)为136 m³/h；用公式(10)求得开采阶段平均富水系数(K_a)为：

$$K_a=\frac{Qx}{Px}=\frac{136\times24\times365}{300\times10^4}=0.397(\text{m}^3/\text{t})$$

大庄矿目前煤炭年产量(P)为220×10⁴ t，平均富水系数 K_a 取0.397 m³/t。用 $Q=P\times K_a$ 可计算出该矿目前开采范围正常涌水量为2 392 m³/d。

3 预算结果及误差对比分析

将以上参数分别代入大井法、廊道法、比拟法计算公式，可得出不同方法及不同影响半径的涌水量预测结果，具体见表1。

表 1 大庄矿井涌水量不同方法预测结果及误差统计表

Tab. 1 Prediction results and error statistics of water inflow by different methods in Dazhuang coal mine

涌水量预 测方法	大井法				廊道法			比拟法	矿井开采
影响半径 计算方法	用吉哈尔 特经验公 式计算	用库萨金 经验计算	用补给模 数法公式 计算	用泰斯非稳定 流公式求开 采 3 670 天 时涌水量	用吉哈尔 特经验公 式计算	用库萨金 经验计算	用补给模 数法公式 计算	$Ka\ 0.397$ (m^3/t) 年产量 220 万 t	3 670 天 时涌水量 观测值
涌水量预测 结果(m^3/d)	9 715	4 509	2 569	1 678	9 340	3 299	1 022	2 392	1 400
预测涌水量和 实际观测涌水 量的差值(m^3/d)	8 275	3 069	1 129	238	7 900	1 859	—418	952	/
误差率(%)	575	213	78	19	649	129	—29	66	/

从表 1 可以看出大井法中由于影响半径计算方法不同,计算结果相差很大,最大误差达 575%,最小为 17%,误差大小依次为:用吉哈尔特影响半径经验公式计算的涌水量误差>用库萨金影响半径经验公式计算的涌水量误差>用补给模数法影响半径公式计算涌水量误差;用泰斯非稳定流公式计算的涌水量误差小于稳定流公式计算的涌水量;廊道法计算的涌水量误差小于大井法计算的涌水量误差。

4 误差原因分析

(1)稳定流“大井法”在地下水补给量和排泄量平衡、水力坡度较小、水文地质参数均一及补给半径不变的条件下适用;但在矿井开采过程中,在大降深、大流量和开采范围逐渐扩大的条件下,矿井排水造成的水力坡度已超过裘布依公式适用条件,并且由于煤层开采造成含水层产生裂隙,致含水层渗透系数增大;则变化后的含水层水文地质条件不符合裘布依公式成立的条件。

(2)裘布依公式中影响半径 R 代表地下水定水头补给半径,而抽水排放过程是含水层影响半径不断扩大的过程,只有补给排泄再次平衡后才有可能形成稳定的定水头补给半径。而吉哈尔特和库萨金经验公式计算出的影响半径是随降深增大而增大,与裘布依公式计算中补给半径是定值相互矛盾,所以吉哈尔特和库萨金影响半径经验公式仅在水文孔做短暂稳定流抽水试验中进行粗略求参时适用,对

于长时间、大流量和大降深的疏干排水计算不适用。实践观测资料也证明用吉哈尔特和库萨金影响半径经验公式计算的影响半径远小于实际影响半径,尤其低渗透地层更是如此;用经验公式计算的影响半径(R)甚至比坑道概化半径(r_0)还小,造成矿坑涌水量计算中引用影响半径 $R_0(R+r_0)$ 和坑道概化半径 r_0 的差值变小,引起“大井法”涌水量计算公式中 $\lg(R_0/r_0)$ 值变小,这样涌水量计算结果必然偏大。

(3)采用吉哈尔特和库萨金经验公式,结合裘布依公式求出的涌水量只反映了排水初期某个降深时含水层供水能力;该井田主要含水层大部分被隔水层覆盖,含水层只在露头附近接受大气降水补给,补给条件差,预测公式不能体现含水层补给量的参数,致使预测结果产生偏差。

(4)补给模数法理论公式计算的引用影响半径受矿坑涌水量 Q 及地下水补给模数 M_0 影响,即用地下水补给模数法求出的影响半径代入裘布依稳定流公式计算涌水量,其不仅考虑了含水层参数 H 、 M 、 K 、 R_0 和开采范围(r_0)及地下水降深 S_w 等全部参数,还包含了反映矿区的岩性、地形及降水量等地下水补给条件的补给模数(M_0),相应预测的涌水量精度要高于用吉哈尔特和库萨金经验公式求出的影响半径代入裘布依公式求出的涌水量。

(5)用泰斯公式求出的涌水量误差较小的原因是公式中没有影响半径这个数据。对于补给条件差,以消耗储存量为主的矿井,只要公式选择符合边界条件,涌水量可靠程度主要取决于导水系数、弹性

释水系数及排水时间长短,不可控的参数相对较少,只要参数取值代表性好,预测的涌水量精度相应较高。

(6)本次采用的类比矿井大多为小矿井,位于本矿井外围,煤层埋藏较浅,补给条件相对较好,所以求出的富水系数(Kp)大于预测的大庄煤矿富水系数(Kp);其次由于周边小煤矿的排水造成本矿井补给条件变差,故误差达到66%,但整体看,误差小于以吉哈尔特和库萨金经验公式计算出的影响半径代入裘布依公式求出的矿井涌水量。

5 结论

(1)吉哈尔特和库萨金经验公式计算出的影响半径明显偏小,造成矿井涌水量计算结果偏大,在实践中不适用。

(2)矿井生产阶段比拟法比解析法要更精确。

(3)在解析法预测涌水量中建议使用实测影响半径,若无法取得,建议用补给模数法公式计算引用影响半径。

(4)在解析法中,若已有生产矿井的涌水量资料,可考虑利用大井法、集水廊道法公式反求影响半径,在此基础上计算矿井涌水量;对补给条件差,以消耗储存量为主的生产矿井,建议优先采用适合边界条件的非稳定流泰斯公式预测矿井涌水量。

参考文献(References):

管恩太,武强. 矿井涌水量预测评述[J]. 中州煤炭, 2005, (1): 7-8.

张子祥,张兴隆. 甘肃华亭矿区大庄井田勘探报告[R]. 兰州, 2006.

ZHANG Zixiang, ZHANG Xinglong. Exploration Report of Liujiahe Well Field in Gansu Huating Mining Area[R]. Lanzhou, 2006.

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.

HUA Jieming. Questioning on Mine Water Inflow “Virtual Large Diameter Well” Method Prediction[J]. Coal Geology of China, 2009, 21(6): 45-47.

陈略知,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.

CHEN Mingzhi, LIU Shucui, YANG Guoyong. The Development of Mining Water Inflow Predict Method[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2009, 6(1): 68-72.

戴岩柯,崔世新,张坤. 水均衡法和数值模拟法在矿坑深部涌水量预测中的比较—以西石门铁矿为例[J]. 地下水, 2010, 32(1): 24-48.

DAI Yanke, CUI Shixi, ZHANG Kun. Comparison of water equalization method and numerical simulation method in prediction of water inflow in deep mine—Take Xishimen Iron Mine as an example[J]. Ground Water, 2010, 32(1): 24-48.

温文富,曹文丽. 比拟法和解析法在某矿井涌水量预测中的分析比较[J]. 煤炭科技·地质与勘探, 2011, 37(7): 38-39.

WEN Wenfu, CAO Wenli. Comparative analysis for analogue method and analytical method in prediction of water inflow in some coal mine[J]. Coal Science and Technology Geology and Exploration, 2011, 37(7): 38-39.

杨海军,王广才. 煤矿突水水源判别与水量预测方法综述[J]. 煤田地质与勘探, 2012, 40(3): 48-58.

YANG Haijun, WANG Guangcai. Summarization of methods of distinguishing sources and forecasting inflow of water inrush in coal mines [J]. Coal Geology Exploration, 2012, 40(3): 48-58.

段俭君,徐会军,王子河. 相关分析法在矿井涌水量预测中的应用[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(6): 114-116.

DUAN Jianjun, XU Huijun, WANG Zihe. Correlational Analysis Method Applied to Prediction of Mine Water Inflow Quantity [J]. Coal Technology, 2013, 41(6): 114-116.

张子祥. 甘肃核桃峪煤矿矿井涌水量的计算与分析[J]. 中国煤炭地质, 2015, 27(2): 32-56.

ZHANG Zixiang. Estimation and Analysis of Mine Water Inflow in Hetaoyu Coalmine, Gansu[J]. Coal Geology of China, 2015, 27(2): 32-56.

虎维岳,闫丽. 对矿井涌水量预测问题的分析与思考[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(1): 13-38.

HU Weiyue, YAN Li. Analysis and consideration on prediction problems of mine water inflow volume[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(1): 13-38.

张奔,谢小平. 矿井涌水原因分析及涌水量预测研究[J]. 煤炭技术, 2021, 40(7): 109-113.

ZHANG Ben, XIE Xiaoping. Analysis of Causing Water Inflow in Mine and Research of Water Inflow Prediction [J]. Coal Technology, 2021, 40(7): 109-113.