



移动扫码阅读

王锋利. 矿井不同生产时期涌水量计算方法优选研究[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(12): 177–183. doi: 10.13199/j.cnki.cst.2019.12.026

WANG Fengli. Study on optimization of mine water inflow calculation methods in different production periods[J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(12): 177–183. doi: 10.13199/j.cnki.cst.2019.12.026

矿井不同生产时期涌水量计算方法优选研究

王 锋 利

(中国煤炭地质总局 水文地质局, 河北 邯郸 056004)

摘 要: 基于矿井涌水量计算方法众多, 每种方法都有其特有的应用局限性, 为了在矿井服务年限内不同时期合理选择精度较高的涌水量计算方法, 以大同煤田北区塔山、东周窑、马脊梁、燕子山、四台及同忻 6 对矿井为例, 选取矿井中参数易采集的、计算易于掌握的水文地质比拟法、相关分析法和解析法对各矿井涌水量计算方法进行分析对比。研究结果表明: ①矿井勘察期, 此时井田内无实测涌水量资料, 水文地质参数尚未查明, 利用相同矿区邻近矿井涌水量资料采用水文地质比拟法进行预测, 预测精度高; ②矿井设计、基建期, 涌水量计算为井筒建设和大巷开拓服务, 以马脊梁矿为例, 解析法计算矿井涌水量相对误差为 19.77%, 水文地质比拟法相对误差为 36.20%。因此, 该期涌水量计算宜采用解析法进行预测; ③燕子山矿为试产矿, 相关分析法计算矿井涌水量相对误差为 3.56%, 而采用解析法计算相对误差达到 28% 以上, 该阶段采用相关分析法预测矿井涌水量更为可靠。④塔山矿和同忻矿均已达产, 通过对比分析, 该阶段矿井涌水量采用水文地质比拟法计算相对误差均在 20% 以内。因此, 在矿井稳产期, 采用吨煤富水系数或水文地质比拟法计算简单明了, 且预测精度较高。

关键词: 矿井涌水量; 方法选择; 相关分析法; 水文地质比拟法; 解析法

中图分类号: P641

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2019)12-0177-07

Study on optimization of mine water inflow calculation methods in different production periods

WANG Fengli

(Bureau of Hydrogeology, China National Administration of Coal Geology, Handan 056004, China)

Abstract: There were numerous methods to calculate the mine water inflow rate, and each method has its application limitation. In order to choose a reasonable and accurate calculation method of water inflow in different stages of mine service life, six coal mines which located in northern part of Datong coalfield including Tashan, Dongzhouyao, Majiliang, Yanzishan, Sitai and Tongxi mines are taken as research examples. The hydro-geological comparison method, correlation analysis method and analytical method with easy-to-collect parameters and easy-to-understand calculations were selected to calculate the water inflow from each mine. The research results show that: ①In the mine exploration stage, there is no measured water inflow data in the field, and hydro-geological parameters have not yet been determined. But using hydro-geological analogy method to make predictions by using water inflow data from adjacent mines in the same mining area can improve prediction accuracy; ②During the mine design and infrastructure construction stage, the mine water inflow volume is calculated to serve the construction of the shaft and the roadway. Such as Majiliang Mine, the relative error of the analytical method to calculate the water inflow volume is only 19.77% and the relative error of the hydro-geological analogy method is 36.20%. Therefore, the calculation of water inflow at this stage is suitable to use the analytical method to predict the hydro-geological parameters found in the proposed well-bore and the first mining area; ③Yanzishan Mine is a trial production mine, the relative error of the calculation method is 3.56%, and the relative error calculated by the analytical method reaches more than 28%. So the correlation analysis method, is more reliable to predict the mine water inflow. ④Both Tashan Mine and Tongxin Mine have reached production. Through comparative analysis, the relative errors of mine water inflow volume calculated using the hydro-geological analogy method are within 20%. Therefore, in stable production stage, the hydro-geological analogy method using the water-rich coefficient per ton of coal is simple and clear, and the prediction accuracy is also high.

Key words: mine water inflow rate; method selection; correlation analysis method; hydro-geological comparison method; analytical method

收稿日期: 2019-09-25; 责任编辑: 曾康生

作者简介: 王锋利(1984—), 男, 山西临猗人, 高级工程师。E-mail: 465566568@qq.com

0 引言

矿井涌水量是矿井服务年限内不可或缺的重要参数,对矿井水害防治具有重要意义,是伴随着矿井从资源勘查、设计、基建及生产到矿井闭坑全生命周期的重要数据,是矿井生产系统及水害防治技术方案制定的基础依据^[1-2]。矿井涌水量计算方法较多,包括涌水量曲线方程法、水文地质比拟法、解析法、相关分析法、水均衡法、数值法等^[3-5]。尽管矿井涌水量计算方法众多,但不同方法均各有利弊及其适用条件。

一个矿区的涌水量与地下水补给排条件、含水层厚度、区域水文地质系统边界、采掘区域构造发育情况以及开采规模等诸多因素息息相关。每种矿井涌水量计算方法均是在一定适用条件下,综合考虑地下水水文地质条件的基础上建立的计算模型,对于广大矿床水文地质工作者以及防治水管理人员来说意义重大。陈酩知等^[2]统计发现矿井涌水量计算结果与实测值相对误差小于30%的仅有10%,相对误差超过50%的矿区占80%,有的甚至相对误差达数十倍,较大的计算误差对矿区防治水工作指导意义大幅降低。导致此种情况的原因除了计算方法适用条件和参数未考虑周全外,更多是因为未考虑涌水量预测时间的超前性、空间位置的确定性、水量大小随时间变化等特性^[6-8],计算时直接套用某一计算方法所致。

生产矿井涌水量计算方法中的水文地质比拟法、相关分析法和解析法因其易于掌握,参数容易采集,为现今较为流行的矿井涌水量计算方法^[9]。①解析法是根据地下水动力学的井流理论,在一定边界条件和初始条件下建立地下水运动的定解问题方程,利用定解问题的解析解来预算矿井涌水量^[10-11],其中解析法以“大井法”最为常见,该方法将整个采掘工程区看成是导致矿井涌水的大直径抽水井^[12],这种模型的建立和实际采掘情况存在一些差异;②水文地质比拟法是利用采矿、地质和水文地质条件的相似性,开采条件基本相同的生产矿井已有的涌水量观测资料,来预测生产矿井及新建矿井的涌水量^[12-14],所谓的条件相似是一个相对概念,绝对的相似是没有的,地质构造与水文地质可能相似,但矿井生产因素及充水时间均不相同^[15],矿井采掘活动的过程会存在较大差异,因此采用水文地质比拟法,需严格考虑时间过程;③相关分析法是利

用矿井开采过程中多年累计的涌水量、日产量、日进尺、采空区面积等资料,采用统计学原理,构建涌水量与日产量、日进尺及采空区面积的统计模型,然后运用数理统计相关知识检验统计模型相关程度及显著性,最终选择相关性最高的统计模型预测矿井涌水量^[16],该方法适用于开采多年、具有多年矿井涌水量观测资料的矿井,能够一定程度上减小水文地质参数不确定性引起的预测精度^[17-18],弥补水文地质勘查程度不高或水文地质参数缺乏的不足,使矿井涌水量预算可靠性提高^[19-20],但相关分析法应用需要矿井有多年涌水量、日产量、日进尺、采空区面积等累计资料,这对于拟建矿井和基建矿井,其应用受到限制。基于上述各涌水量计算方法的应用条件及存在缺点,矿井在设计建设生产不同阶段对涌水量计算方式的选择显得十分迷茫。为解决选择合适计算方法的问题,笔者选取大同煤田北区的塔山、东周窑、马脊梁、燕子山、四台及同忻6对矿井进行涌水量计算并对比分析,采用相关分析法、解析法、水文地质比拟法计算6个井田不同生产阶段矿井涌水量,并将计算结果同实测涌水量进行对比,对矿井不同阶段选择合理的涌水量计算方法进行系统探讨。

1 大同煤田北区概况

大同煤田北区位于大同煤田东北部(图1)。该井田为赋存有侏罗纪和石炭-二叠纪双纪煤田。其上部侏罗纪煤田开采历史悠久,资源已近枯竭,随着山西煤炭资源整合加快和同煤集团的规划发展,自2008年开始大同煤田各矿井逐步从侏罗系向石炭-二叠系延深,其石炭系井田由西向东依次为东周窑、马脊梁、燕子山、塔山、四台、同忻等井田。

石炭-二叠系煤层主采煤层有3层,即3煤、5煤及8煤,其中在塔山东部、同忻、燕子山、东周窑4个矿井3煤、5煤合并为同一层煤,即3-5煤,四台矿仅赋存8煤。大同煤田北区塔山矿从2006年已经在该井矿东部一、二盘区进行石炭系3-5煤开采;同忻矿从2010年开始进行石炭系的3-5煤开采;东周窑矿2011年开始开采石炭系的5煤;燕子山矿处于试生产阶段;四台矿和马脊梁矿均完成了前期勘查,开始基建。根据各矿实际情况及已有实测资料,本次大同煤田北区6个井田采用解析法、相关分析法及水文地质比拟法进行计算并比较。

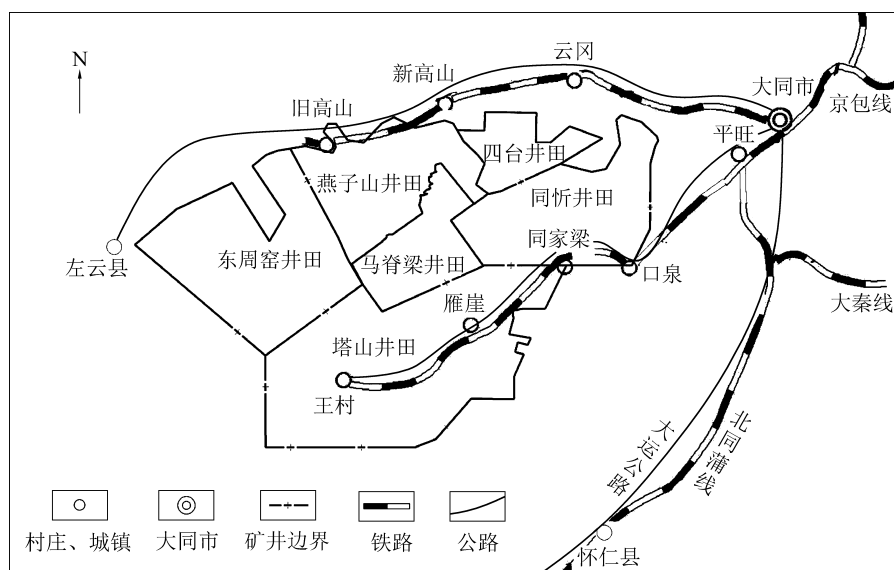


图 1 大同煤田北区井田分布

Fig.1 Distribution of the mine field in north Datong Coalfield

2 矿井涌水量各计算方法

2.1 相关分析法

依据其现有涌水量记录,笔者采用相关分析法计算的矿井包括塔山、同忻及燕子山矿。

2.1.1 塔山矿矿井涌水量计算

运用 SPSS 软件结合塔山矿 2006—2012 年开采 3-5 煤涌水量实测数据,其矿井涌水量与日产量、日进尺及采空区面积呈线性相关,采用相关分析法,可得如下相关方程和相关系数。

1) 涌水量 Q 与日产量 T 相关方程为

$$Q=0.010\ 594T+915.709\ 6 \quad (1)$$

相关系数 $r_1 = 0.469\ 4$

2)涌水量 Q 与日进尺 l 相关方程为

$$Q=9.620\ 186l+773.044\ 2 \quad (2)$$

相关系数 $r_s = 0.409\ 699$

3)涌水量 Q 与采空面积 S 相关方程为:

$$Q=0.213\ 905S+1\ 023.417 \quad (3)$$

相关系数 $r_3 = 0.470\ 217$

从相关系数来看,矿井涌水量与采空区面积相关系数相对更好,矿井涌水量预算宜采用采空区面积进行计算。塔山矿 2012 年已达产,产能基本稳定,笔者计算采用 2012 年数据进行计算,2012 年该矿采空区面积为 $2\,411.50 \sim 5\,454.30 \text{ m}^2/\text{d}$,平均为 $3\,499.67 \text{ m}^2/\text{d}$ 。矿井正常涌水量计算采用式(3),平均采空区面积,最大值为 $5\,454.30 \text{ m}^2$,代入式(3)得塔山矿在开采 3-5 煤时正常涌水量为

$$Q_{3-5} = 1\,772 \text{ m}^3/\text{d} = 73.83 \text{ m}^3/\text{h}$$

矿井最大涌水量 $Q_{3-5} = 2\ 189.67\ \text{m}^3/\text{d} = 91.24$

$$\text{m}^3/\text{h}_0$$

2.1.2 同忻矿矿井涌水量计算

依据矿井涌水量相关资料,其涌水量在与日产量、日进尺及采空区面积均呈线性相关,其相关系数分别为 $r_1 = 0.293\ 35$, $r_2 = 0.062\ 85$, $r_3 = 0.192\ 0$ 。依据其相关系数,本次计算采用日产量与涌水量面积进行预测。已知资料日产量均值 $32\ 139.09\ \text{t/d}$ 得出矿井正常涌水量为 $1\ 991.31\ \text{m}^3/\text{d} = 82.97\ \text{m}^3/\text{h}$ 。已知日产量最大值为 $36\ 932\ \text{t/d}$, 矿井最大涌水量为 $2\ 165.61\ \text{m}^3/\text{d} = 90.23\ \text{m}^3/\text{h}$ 。

2.1.3 燕子山矿矿井涌水量计算

燕子山矿试生产阶段,开采石炭系 5 煤。依据其涌水量记录,其涌水量与日产量、日进尺及采空区面积呈线性关系,其相关系数分别为 $r_1 = 0.548\ 3$, $r_2 = 0.694\ 6$, $r_3 = 0.468\ 0$, 比较相关系数可知,涌水量与日进尺相关性最好,其次为日产量。由于燕子山井田现尚未达产,利用日进尺和采空区面积预测计算较利用日产量计算困难。因此,燕子山矿 5 煤开采时矿井涌水量采用日产量进行预测计算。现阶段日产量平均值为 $5\ 411.36\ \text{t/d}$,达产后平均日产量为 $10\ 958.90\ \text{t/d}$ 。计算得到燕子山井田在 5 号开采矿井涌水量正常矿井涌水量为 $1\ 157.20\ \text{m}^3/\text{d}$ ($48.22\ \text{m}^3/\text{h}$),最大矿井涌水量为 $1\ 684.77\ \text{m}^3/\text{d}$ ($70.20\ \text{m}^3/\text{h}$)。

2.2 水文地质比拟法

依据现有水文地质勘查资料及矿井涌水量资料,笔者采用水文地质比拟法计算的矿井包括塔山、同忻、燕子山及同发东周窑矿。

2.2.1 塔山矿矿井涌水量计算

采用富水系数法对矿井涌水量进行计算。计算公式为

$$Q_0 = KQ \quad (4)$$

式中: Q_0 为矿井预测涌水量, m^3/d ; K 为富水系数; Q 为矿井实测涌水量, m^3/d 。

通过实际数据计算矿井涌水量相关的各因素的富水系数。富水系数 K_i ($i = 1, 2, 3$, 分别代表日产量、日进尺、采空区面积), 单位对应分别为 m^3/t 、 m^3/m 、 m^3/m^2 。计算公式为

$$K_1 = Q/T \quad (5)$$

$$K_2 = Q/l \quad (6)$$

$$K_3 = Q/S \quad (7)$$

表 1 2012 年矿井富水系数统计

Table 1 Statistical for water enrichment coefficient in mine 2012

月份	$K_1/(\text{m}^3 \cdot \text{t})$		$K_2/(\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-1})$		$K_3/(\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2})$	
	数值	变化范围	数值	变化范围	数值	变化范围
1	0.022 604	0.89	20.363 13	0.21	0.544 721	0.48
2	0.022 938	0.89	19.326 81	0.25	0.658 850	0.38
3	0.022 960	0.89	22.699 47	0.12	0.470 326	0.55
4	0.021 413	0.89	23.690 10	0.08	0.408 607	0.61
5	0.030 835	0.85	21.810 95	0.16	0.649 039	0.39
6	0.040 439	0.80	27.311 18	0.06	1.124 611	0.06
7	0.038 362	0.81	32.648 20	0.26	0.692 364	0.34
8	0.038 537	0.81	39.011 80	0.51	0.484 938	0.54
9	0.040 782	0.80	55.380 12	1.14	0.797 742	0.24
10	0.034 719	0.83	39.210 53	0.52	0.593 106	0.44
11	0.031 446	0.84	34.701 49	0.34	0.617 842	0.41
12	0.031 212	0.85	42.487 22	0.65	0.679 749	0.36
均值	0.031 354	0.84	31.553 42	0.36	0.643 491	0.40

采用式(5), 分别代入各富水系数平均值和最大值计算矿井正常涌水量与最大涌水量。计算得到塔山井田在开采 3-5 煤时正常涌水量 Q_{3-5} 为

$$Q_{3-5} = 2\ 188.65\ \text{m}^3/\text{d} = 91.19\ \text{m}^3/\text{h}$$

故有, 最大涌水量 Q_{3-5} 的最大值 $2\ 846.76\ \text{m}^3/\text{d} = 118.62\ \text{m}^3/\text{h}$ 。

2.2.2 同忻矿矿井涌水量计算

同忻矿采用水文地质比拟法的富水系数对矿井涌水量进行预测计算。经计算 K_1 为 $0.028\ 91 \sim 0.134\ 77\ \text{m}^3/\text{t}$, K_2 为 $21.13 \sim 100.67\ \text{m}^3/\text{m}$, K_3 为 $0.686\ 64 \sim 4.238\ 10\ \text{m}^3/\text{m}^2$ 。从富水系数稳定程度上采空区面积富水系数较稳定, 因此, 采用采空区富水系数进行矿井涌水量预测。

富水性系数计算结果见表 2。日产量富水系数相对波动较小, 相比日进尺和采空区面积富水系数具有较好的代表性。此处矿井涌水量计算采用日产量富水系数进行。因矿井生产初期与现今产能相差较大, 由计算知道初期 2006—2009 年, K_1 系数较大, 波动大, 不稳定。2010—2011 年富水系数约 $0.02\ \text{m}^3/\text{t}$, 趋于稳定, 2012 年开采强度有所增强, 富水系数多为 $0.020 \sim 0.038\ \text{m}^3/\text{t}$, 最大为 $0.040\ 782\ \text{m}^3/\text{t}$, 较好地反映出了达产后矿井日产量与矿井涌水量的关系。因此, 矿井涌水量预测计算参数采用 2012 年数据进行计算。依据表 1, 日产量富水系数在 $0.022\ 604 \sim 0.040\ 782\ \text{m}^3/\text{t}$, 平均为 $0.031\ 354\ \text{m}^3/\text{t}$, 该矿在 2012 年日产量平均值为 $69\ 804.36\ \text{t}/\text{d}$ 。

将 K_3 统计最大值 $4.238\ 10\ \text{m}^3/\text{m}^2$ 和均值 $1.846\ 20\ \text{m}^3/\text{m}^2$, 计算采空区面积均值 $1\ 141.09\ \text{m}^2/\text{d}$ 代入式(7)中, 得到同忻矿开采 3-5 煤时的矿井正常涌水量为 $2\ 106.68\ \text{m}^3/\text{d}$, 即 $87.78\ \text{m}^3/\text{h}$; 矿井最大涌水量为 $4\ 836.05\ \text{m}^3/\text{d}$, 即 $201.50\ \text{m}^3/\text{h}$ 。

2.2.3 燕子山矿矿井涌水量计算

采用水文地质比拟法中的日产量富水系数方法进行计算。塔山矿和同忻矿相对较早生产, 燕子山矿日产量富水系数可采用两矿日产量富水系数的均值计算。计算期内塔山矿 K_1 平均为 $0.031\ 35\ \text{m}^3/\text{t}$, 同忻矿为 $0.063\ 80\ \text{m}^3/\text{t}$, 两者均值为 $0.047\ 58\ \text{m}^3/\text{t}$ 。将燕子山矿达产后每天日产量及该富水系数均值代入式(5)计算得到, 燕子山井田在开采 5 煤时, 矿井

正常涌水量为 $719.17 \text{ m}^3/\text{d}$ ($29.97 \text{ m}^3/\text{h}$), 最大涌水量为 $1\,456.44 \text{ m}^3/\text{d}$ ($60.68 \text{ m}^3/\text{h}$)。

2.2.4 东周窑矿矿井涌水量计算

采用水文地质比拟法中的日产量富水系数进行计算。该区同忻矿矿井达产后正常涌水量为 $2\,106.68 \text{ m}^3/\text{d}$, 最大矿井涌水量为 $4\,836.05 \text{ m}^3/\text{d}$ 。塔山矿正常涌水量为 $2\,188.65 \text{ m}^3/\text{d}$, 最大涌水量为 $2\,846.76 \text{ m}^3/\text{d}$ 。相应同忻矿生产规模 $1\,000 \text{ 万 t/a}$, 塔山矿生产规模 $1\,500 \text{ 万 t/a}$ 。分别按照日产量富水系数比拟计算得到, 东周窑矿矿井正常涌水量为 $2\,106.68 \text{ m}^3/\text{d}$ 和 $1\,897.84 \text{ m}^3/\text{d}$ 。笔者推荐采用与同忻井田的比拟计算方法, 最大矿井涌水量采用正常矿井涌水量的 1.5 倍。

2.3 解析法

2.3.1 马脊梁矿矿井涌水量计算

根据矿井资料, 太原组 3 煤巷道掘进时在胶带斜井有出水点, 初期涌水量在 $14 \text{ m}^3/\text{h}$ 左右, 后维持在 $23 \sim 27 \text{ m}^3/\text{h}$ 。因该井田正在延深建井, 其矿井涌水量预测采用解析法进行计算。其中勘查钻孔水文地质参数如下: 含水层水头高度 $H=241.44 \text{ m}$, 渗透系数 $k=0.000\,12 \text{ m/d}$, 含水层厚度 $M=88 \text{ m}$, 水位降深取 $s=H$ 。

矿井涌水量计算采用承压转无压公式为

$$Q=1.366k(2H-m)M/(\lg R_0-\lg r_0) \quad (8)$$

式中: H 为隔水底板至承压水位的水头高度, 即水头高度, m ; M 为含水层厚度, m ; R_0 为影响半径, m 。

$$R_0=R+r_0=10s\sqrt{k}+r_0 \quad (9)$$

式中: R 为水位降至含水层底板时的影响半径, m ; r_0 为“大井”引用半径, m , 根据先期开采区确定 $r_0=\eta(a+b)/4$, 其中 $a=3\,498 \text{ m}$, $b=2\,043 \text{ m}$, $\eta=1.174$ 。

由式(8)、式(9)计算, 得首采区矿井涌水量, 最大涌水量按 1.5 倍计。通过计算马脊梁矿开采 3 煤矿井正常涌水量为 $812.96 \text{ m}^3/\text{d}$ ($33.87 \text{ m}^3/\text{h}$), 最大涌水量为 $1\,219.44 \text{ m}^3/\text{d}$ ($50.81 \text{ m}^3/\text{h}$)。

2.3.2 四台矿矿井涌水量计算

四台矿所采石炭系煤层生产系统尚在基建, 无矿井涌水量记录。此处涌水量预测采用解析法进行预算。拟定先期采区为长 $3\,000 \text{ m}$, 宽 $2\,000 \text{ m}$ 的矩形, 先期开采 8 煤, 用大井法计算矿井涌水量, 参数选用矿井钻孔抽水试验参数。含水层: 水头高度 $H=135.25 \text{ m}$, 渗透系数 $k=0.000\,12 \text{ m/d}$, 含水层厚度 $M=190 \text{ m}$, 水位降深取 $s=H$ 。

经计算四台矿开采 8 号煤矿井正常涌水量为

$574.49 \text{ m}^3/\text{d}$ ($23.94 \text{ m}^3/\text{h}$), 最大涌水量为 $861.74 \text{ m}^3/\text{d}$ ($35.91 \text{ m}^3/\text{h}$)。

3 结果及讨论

3.1 相关分析法与水文地质比拟法对比

笔者矿井涌水量计算同时采用分析法与水文地质比拟法的矿井为塔山、同忻及燕子山矿。将实际矿井涌水量和计算的矿井涌水量进行对比, 根据 GB 15218—1994《地下水资源分类评级标准》, 2 种对矿井涌水量预测计算方法均行之有效。采用相关分析法计算矿井涌水量为 $8.64\% \sim 43.24\%$, 大多达到 B 级, 3 个达到 A 级, 1 个为 C 级; 采用水文地质比拟法计算矿井涌水量相对误差为 $0.29\% \sim 31.71\%$, 均在 B 级以内, 其中 4 个达到 A 级。通过分析, 采用水文地质比拟法计算矿井涌水量精度较高, 计算结果见表 2。

同忻矿统计了 2010 年 2 月到 2012 年 12 月的实测涌水量, 并同计算结果进行对比。利用相关分析法预测矿井涌水量计算仅有 5 个在 C 级范围, 其余均达到 B 级要求, 且 10 个预测样本达到 A 级要求; 水文地质比拟法计算 8 个在 C 级范围, 其余达 B 级要求, 其中 13 个达到 A 级。两种方法预测相差不大。从总体看, 矿井生产初期矿井涌水量计算较高, 而随着矿井产能的趋于稳定, 水文地质比拟法预测矿井涌水量相应有所提高。

燕子山矿因开采不久, 有一定的实测涌水量资料, 但不甚多, 笔者矿井涌水量采用相关分析法和水文地质比拟法进行预测计算。2 种方法计算结果较为接近, 矿井正常涌水量相对相对误差为 37.85% , 最大涌水量相对相对误差为 13.55% 。根据《地下水资源分类分级标准》, 矿井正常涌水量达到 B 级, 最大涌水量预测为 A 级, 预算计算结果较好。根据燕子山矿现今开采情况, 相对水文地质比拟法, 相关分析法采用了实测数据计算, 结果相对更可靠。因此, 燕子山矿开采 5 煤时矿井涌水量预测值采用相关分析法计算结果。

依据上述对比结果, 可得出结论如下, 在矿井建成刚开采不久时, 其涌水量计算应该采用相关分析法, 因其采用了实测数据进行计算; 在矿井开采时间较长后, 塔山矿及同忻矿均表现为同矿区水文地质比拟法较高, 故矿井开采时间较长且稳定生产一年以上并具有一定的涌水量资料时, 涌水量计算应该采用同矿区水文地质比拟法。

表 2 2012 年塔山井田涌水量计算方法对比

Table 2 Accuracy comparison of calculation methods for water inflow in Tashan Mine in 2012

月份	相关分析法		水文地质比拟法		实测涌水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)
	涌水量/($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	相对误差/%	涌水量/($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	相对误差/%	
1	1 595.96	8.64	2 022.37	27.91	1 458.00
2	1 536.06	2.72	2 158.37	26.84	1 579.00
3	1 799.76	5.15	2 331.04	26.77	1 707.00
4	1 799.76	17.60	2 171.49	31.71	1 483.00
5	1 745.84	20.35	2 228.88	1.65	2 192.00
6	1 539.25	43.24	2 102.72	22.47	2 712.00
7	1 806.14	28.71	2 070.68	18.27	2 533.50
8	2 190.12	17.20	2 152.00	18.64	2 645.00
9	1 785.20	37.16	2 184.24	23.12	2 841.00
10	1 829.48	18.14	2 018.40	9.69	2 235.00
11	1 828.36	21.36	2 318.21	0.29	2 325.00
12	1 808.23	27.50	2 505.34	0.45	2 494.00

3.2 解析法与水文地质比拟法对比

由于井田建井阶段,缺少涌水量记录,需要采用解析法及水文地质比拟法。文中计算过程中应用解析法的矿井为马脊梁及四台矿;应用其他矿区日产量富水系数水文地质比拟法的矿井为东周窑矿及燕子山矿。

依据其计算条件可知,在设计、基建阶段,由于其矿井涌水量资料及水文地质资料欠缺,其依据同地区其它矿井涌水量比拟计算,对本矿井涌水量预测有很大帮助。例如东周窑矿,由于其矿井涌水量资料不健全,因此,采用同地区塔山井田和同忻井田涌水量计算其矿井涌水量。而马脊梁矿刚开始基建,具备一定的井田勘查资料,矿井涌水量计算运用钻孔取得的水文地质参数,计算结果相对同地区日产量富水系数水文地质比拟法准确;四台矿刚完成勘查,有相关钻孔抽水资料,采用解析法计算结果相对准确。如马脊梁矿为基建矿井,解析法计算先期开采区域正常涌水量 $33.87 \text{ m}^3/\text{h}$,其矿井 2012—2015 年平均涌水量为 $28.28 \text{ m}^3/\text{h}$,计算误差为 19.77%;若采用水文地质比拟法相对误差为 36.20%。

3.3 解析法与相关分析法对比分析

笔者采用解析法及相关分析法计算矿井涌水量的矿包括马脊梁、四台、塔山、同忻及燕子山矿,在计算过程中,2 种方法之间并无交集。马脊梁矿处于基建阶段,采用解析法进行计算,因其使用井田实际勘查资料,计算结果相对准确;四台井田刚完成勘查,具备实测钻孔水文地质参数,用解析法计算矿井涌水量也相对准确;燕子山井田试生产,尚未达产,其涌水量资料较少,利用相关分析法可较多运用实测数据,结

果更精确。而塔山及同忻井田均采用相关分析法进行计算,结果均较为理想。如燕子山矿井为试生产矿井,相关分析法计算矿井涌水量为 $48.22 \text{ m}^3/\text{h}$,其石炭系开采水平实测年平均矿井涌水量为 $1\ 200 \text{ m}^3/\text{d}$ ($50 \text{ m}^3/\text{h}$),预算值与实测值符合性较好;而采用解析法计算相对误差达到 28%以上。

4 结 论

1) 矿井勘查阶段,涌水量计算主要目的是为矿井建设方案编制服务,此时井田内并无实测涌水量资料,水文地质参数尚未查明,利用相同矿区邻近矿井涌水量资料采用水文地质比拟法进行预测能够提高预测精度,特别是采用产能接近的矿井相对更为科学。

2) 矿井设计、基建阶段,涌水量计算为井筒建设和大巷开拓服务。马脊梁矿处于基建阶段,解析法计算矿井涌水量相对误差为 19.77%,采用水文地质比拟法相对误差为 36.20%。因此,该阶段涌水量计算适宜采用拟建井筒和首采区域勘查查明的水文地质参数采用解析法进行预测,比其他计算方式更为直接和准确,可有效指导井巷建设。

3) 燕子山矿为试生产矿井,相关分析法计算矿井涌水量相对误差为 3.56%,而采用解析法计算相对误差达到 28%以上。可见,在矿井生产初期,已积累一定数量的实测涌水量资料,矿井涌水量与采掘进尺、采空区面积、煤炭产量等因素紧密相关,这些因素也综合反映了采掘活动区域的充水情况,因此,该阶段采用相关分析法预测矿井涌水量更为可靠。

4) 塔山和同忻煤矿均已达产,通过对比分析,该阶段矿井涌水量采用水文地质比拟法计算相对误

差多在20%以内。因此,在矿井稳定生产阶段,矿井开采规模趋于稳定,此时积累了大量涌水量资料,矿井涌水量统计规律愈发明确,此时采用吨煤富水系数或产能类比的水文地质比拟法计算简单明了,且预测精度较高。

参考文献(References):

- [1] 中国冶金矿山企业协会.冶金矿山地质技术管理手册[M].北京:冶金工业出版社,2003:186-188.
- [2] 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.
CHEN Mingzhi, LIU Shucui, YANG Guoyong, The development of prediction method for the inflow rate of mine water [J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2009, 6(1): 68-72.
- [3] 连会青,夏向学,徐 斌,等.矿井涌水量预测方法及适用性评价[J].华北科技学院学报,2014,11(2):22-27.
LIAN Huiqing, XIA Xiangxue, XU Bin, *et al.* The applicability evaluation of prediction method for mine inflow [J]. Journal of North China Institute of Science and Technology, 2014, 11(2): 22-27.
- [4] 崔 杰.矿井涌水量计算方法评述[J].水力采煤与管道运输,2009(4):1-4,95.
CUI Jie. Review on the calculation method of mine inflow [J]. Hydraulic Coal Mining & Pipeline Transportation, 2009 (4): 1-4, 95.
- [5] 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):13-18,38.
HU Weiyue, YAN Li. Analysis and consideration on the prediction of mine water inflow [J]. Coal Science and Technology, 2016, 44 (1): 13-18, 38.
- [6] 连会青,张 莹,王世东,等.开采过程中矿井涌水量动态预测研究[J].煤炭工程,2014,46(10):188-191.
LIAN Huiqing, ZHANG Ying, WANG Shidong, *et al.* Research on the dynamic prediction of mine water inflow in mining process [J]. Coal Engineering, 2014, 46(10): 188-191.
- [7] 黄 欢.矿井涌水量预测方法及发展趋势[J].煤炭科学技术,2016,44(S1):127-130.
HUANG Huan. The method of forecast and the development trend for mine water inflow [J]. Coal Science and Technology, 2016, 44 (S1): 127-130.
- [8] 薛禹群.地下水动力学原理[M].北京:地质出版社,1986.
- [9] 傅大庆.大井法及水文地质比拟法在某矿山矿坑涌水量预测中的应用对比[J].西部探矿工程,2016,28(1):139-141.
FU Daqing. The comparison of application of large well method and hydrogeological analogy method in prediction of water inflow from a mine [J]. West-China Exploration Engineering, 2016, 28(1): 139-141.
- [10] 王有宇.浅析大井法预测矿井涌水量[J].能源与节能,2018(1):33-34,36.
WANG Youyu. Using large well method to predict the mine water inflow [J]. Energy and Energy Conservation, 2018 (1): 33-34, 36.
- [11] 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, Discussion on using the large well method to predict the mine water inflow [J]. Coal Geology of China, 2009, 21 (6): 45-47.
- [12] 李云峰,胥国富,左传明.梁花园矿井涌水量估算[J].中国煤田地质,2007(5):38-40,47.
LI Yunfeng, XU Guofu, ZUO Chuanming, The estimation of mine water inflow in Liang Garden [J]. Coal Geology of China, 2007 (5): 38-40, 47.
- [13] 张迎军,刘贵林,丘其祥.水文地质比拟法在工作面采空区积水预计上的应用[J].矿山测量,2016(1):19-23.
ZHANG Yingjun, LIU Guilin, QIU Qixiang. The application of hydrogeological analogy method in prediction of accumulation water in working surface of goaf [J]. Mine Surveying, 2016 (1): 19-23.
- [14] 咎雅玲,吴慧琦.用水文地质比拟法预算矿井涌水量[J].华北国土资源,2011(1):52-54.
ZAN Yaling, WU Huiqi. Using hydrogeological analogy method to estimate the mine water inflow [J]. Huabei Land and Resources, 2011 (1): 52-54.
- [15] 李小勇,林 坚,邱 凤,等.水文地质比拟法在矿坑涌水量预测中的应用[J].资源环境与工程,2014,28(1):66-68.
LI Xiaoyong, LIN Jian, QIU Feng, *et al.* The application of hydrogeologic analogy method in prediction of mine water inflow [J]. Resources Environment & Engineering, 2014, 28(1): 66-68.
- [16] 段俊君,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):114-116,76.
DUAN Jianjun, XU Huijun, WANG Zhihe. The application of correlation analysis in prediction of mine water inflow [J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(6): 114-116, 76.
- [17] 范立民,王双明,刘社虎,等.榆神矿区矿井涌水量特征及影响因素[J].西安科技大学学报,2009,29(1):7-11,27.
FAN Limin, WANG Shuangming, LIU Duhu, *et al.* Characteristics and influencing factors of mine water inflow in Yu-Shen mining area [J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2009, 29(1): 7-11, 27.
- [18] 杨彦廷.矿井涌水量相关因素分析[J].技术与市场,2017,24(7):217-218.
YANG Yanting, Analysis on related factors of mine water inflow [J]. Technology & Market, 2017, 24(7): 217-218.
- [19] 李孝朋,谢道雷,徐万鹏,等.多元回归分析在矿井涌水量预测中的应用[J].煤炭技术,2016,35(10):189-190.
LI Xiaopeng, XIE Daolei, XU Wanpeng, *et al.* Application of multiple regression analysis in prediction of mine inflow [J]. Coal Technology, 2016, 35(10): 189-190.
- [20] 郜双峰,郜 鹏,梁百灵.多种方法预测分析耿村煤矿深部开采矿井涌水量[J].山东煤炭科技,2015(2):153-154.
GAO Shuangfeng, GAO Peng, LIANG Bailing. Using multiple methods to predict and analysis the water inflow in deep mining of Gengcun coal mine [J]. Shandong Coal Science and Technology, 2015(2): 153-154.