

论矿坑涌水量的精度级别和可信度

钱学溥

自然资源部,北京,100812



Pre-pub. on line: www.geojournals.cn/georev

内容提要: 固体矿产勘探报告提交的矿坑涌水量是一个预测值,一个预测值如果没有认定它的精度级别和可信度,可以说就没有使用的价值。过去和现行的规范,都没有要求认定矿坑涌水量的精度级别和可信度,这给矿山建设排水设计带来很大的困难,多年来,大家公认已经在矿山排水方面,造成了很大的经济损失。本文提出了认定矿坑涌水量的精度级别和可信度的方法,以及提高矿坑涌水量精度的有关措施。

关键词: 矿坑涌水量;精度;可信度

预测计算矿坑涌水量的难度很大,过去和现行的规范《GB 12719-91 矿区水文地质工程地质勘探规范》、《GB/T 12719-2021 矿区水文地质工程地质勘查规范》、《DZ/T 0342-2020 矿坑涌水量预测计算规程》,对预测计算矿坑涌水量,都没有要求认定矿坑涌水量的精度级别和可信度。评审固体矿产勘探报告,也只是“合规性”的评审,也就是说,只要符合规范的要求,进行了矿坑涌水量的计算,报告就可以通过,没有要求认定矿坑涌水量的精度级别和可信度。这给矿山建设排水设计带来很大的困难,已经在矿山排水方面,造成了很大的经济损失。此外,业主和地勘单位,也往往会因矿坑涌水量的精度,产生经济纠纷,甚至上诉法庭。笔者认为,矿坑涌水量的精度级别和可信度是可以认定的,并提出了提高矿坑涌水量精度的有关措施。

1 水文地质计算是应用数学领域里最复杂的计算

水文地质计算的泰斗,清华大学数学系应用数学教研室主任萧树铁教授说过,在应用数学领域里,水文地质计算是最复杂的计算。他说的有道理——一个地下水流域的范围可以达到 10000 km²,地下水的循环深度可以达到 1000 m,地下水的降水补给又是一个随机变量。要准确地计算地下水的可开采量,就要掌握 10000km³地层的构造和水文地质参数(渗透系数 K 和给水度 μ),并且需要准确地预测降水的强度,这几乎是做不到的。

2 矿坑涌水量的计算是水文地质计算领域里最困难的计算

中国地质大学地下水动力学资深教授陈崇希说过,在水文地质计算领域里,矿坑涌水量的计算,是最困难的计算。他说的有道理——矿坑涌水量的计算比地下水可开采量的计算还要更困难许多:它存在冒落带间接充水含水层充水、断层突水、底板突水、老窑突水、烧变岩突水、封闭不良钻孔突水、陷落柱突水等等问题。

3 能不能认定矿坑涌水量的精度级别和可信度,引发了争论

计算矿坑涌水量的难度很大,1991年颁发的《GB 12719-

91 矿区水文地质工程地质勘探规范》,由于规范编写组缺少经验,规范没有要求认定矿坑涌水量的精度级别和可信度,实属情有可原。经过了十多年,钱学溥认识到这个问题的严重性,2007年,钱学溥撰写发表了“预测矿井的涌水量计算级别与精度评述”(钱学溥,2007)一文;2016年,撰写发表了“矿坑涌水量的计算及其精度级别和可信度”(钱学溥等,2016b)一文。但是,这2篇文章没有被《GB/T 12719-2021 矿区水文地质工程地质勘查规范》(张发旺等,2021)、《DZ/T 0342-2020 矿坑涌水量预测计算规程》(张明燕等,2020)2个规范编写组认可。经过争论,这2个编写组认为:钱学溥的认识过于超前,认定矿坑涌水量的精度级别和可信度,只有钱学溥一个人能够做得到。当然也有人支持钱学溥的观点,尤其是矿山建设设计院的科技人员,他们迫切地希望地勘单位提交的固体矿产勘探报告,能够认定矿坑涌水量的精度级别和可信度。

4 矿坑涌水量的精度与计算的公式及其中的参数有关

固体矿产储量的精度与勘查工程网度有关,工程网度的间距越小,计算的储量精度越高。地下水矿产(含地下水、矿泉水、地热水、矿坑水、卤水)可开采量的精度与计算公式有关,公式越严谨其中参数的可信度越高,计算的可开采量的精度越高。

5 矿坑涌水量越大,设计要求计算的矿坑涌水量的精度越高

矿坑涌水量的计算相当特殊,矿坑涌水量越小,设计要求计算的矿坑涌水量的精度越低;矿坑涌水量越大,设计要求计算的矿坑涌水量的精度越高。实际上,只要合理地划分矿坑涌水量的分级,提出对应的矿坑涌水量计算公式和参数,说明查明参数需要实施的勘查工程,通过普查阶段和详查阶段2次认定矿坑水的勘查类型,通过详查阶段和勘探阶段进行2次计算,获得的矿坑涌水量,就可以满足设计的要求。

1955年,辛奎德工程师担任水文地质队队长,在苏联专家鲁萨诺夫(Rusanov)的指导下,在我国内蒙古包头市白云鄂博矿区,首次开展矿坑水勘查和计算矿坑涌水量以来,已经有70年的历史。在这70年内,我国积累了数以千计的矿坑涌水量计算的实例,通过归纳计算等方法,应该可以确认——采用不同的计算公式和参数,获得的矿坑涌水量,它们的精度级别和可信用度(表1)。

6 矿坑水是一种矿产

什么是矿产?矿产就是赋存在地下或地表,由地质作用形成的,有经济意义的自然富集物。我国北方,矿坑水的利用率在80%以上,矿坑水符合矿产的定义,是一种矿产。矿坑水的勘查分为普查、详查、勘探3个阶段。矿坑水的3个勘查阶段,一般与固体矿产的3个勘查阶段同步进行。

(1)普查阶段:收集区域水文地质资料,进行矿区水文地质测绘(1:10000~1:2000),全部地质孔进行简易水文地质观测。第一次认定矿坑水的勘查类型。

(2)详查阶段:包括一个完整的水文地质单元,进行区域水文地质图修编(1:20000~1:10000),实测地下水补给模数,部分地质孔进行简易水文地质观测,开展物探测井、电法勘察,进行必要的单孔抽水试验、多孔抽水试验。第一次计算矿坑涌水量。第二次认定矿坑水的勘查类型。

(3)勘探阶段:在首采地段开展物探测井、电法、人工地震勘察等工作,进行必要的单孔抽水试验、多孔抽水试验、群孔抽水试验。第二次计算矿坑涌水量。

7 必须保留备用工程量

固体矿产勘探设计的水文地质部分,必须保留备用工程量。在抽水试验结束之前,应进行矿坑涌水量的计算,如果发现计算的结果,精度达不到要求,则需及时动用备用工程量。

8 认定矿坑涌水量精度级别和可信度的3种方法

(1)分析法——矿坑涌水量的精度级别和可信用度与计算公式和参数有关,公式越严谨其中参数的可信用度越高,计算的矿坑涌水量的精度越高。通过分析公式和其中参数的可信用度,可以估算矿坑涌水量的精度级别和可信用度。以经验半

径大井法承压水完整井为例,该方法裘布依(Dupuit)公式:

$$Q = \frac{2\pi KMS}{\ln R_0 - \ln r_0}$$

是一个以达西定律为基础的理论公式,相当严谨,其中的 M 、 S 、 r_0 为实测值,不存在可信用度的问题,只是 K 和 $\ln r_0$ 的可信用度较低。20年前,笔者曾估计利用单孔抽水试验取得的 K 值,可信用度为0.6(经过评审勘探报告检验,得到矿山设计院认可);利用吉哈尔(Siechardt)影响半径经验公式计算的 $\ln R_0$,可信用度为0.5,则该大井法计算的矿坑涌水量可信用度为 $0.6 \times 0.5 = 0.3$ 。2017年,采用归纳法确定经验半径大井法可信用度为0.3(钱学溥等,2019b),说明利用分析法确定矿坑涌水量的精度级别和可信用度是可行的。有经验的科技人员,利用分析法确定矿坑涌水量的精度级别和可信用度,其可信用度误差一般在0.1以内。

(2)归纳法——有些经过勘探的矿山,勘探报告有当地的水文地质参数,可以利用经验半径大井法计算矿坑涌水量的预测值,也有矿坑涌水量的实测值,这就为计算该矿坑涌水量的相对误差和可信用度创造了条件。采用电子表格,如使用Microsoft Excel,可以高效、准确地处理大量样本的计算问题。2017年,陈善成博士收集了煤矿方面的47个样本,使用电子表格进行计算,得知经验半径大井法的相对误差是232%(钱学溥等,2019b),相当可信用度0.3。

(3)比较法——吉哈尔影响半径 $R = 10s\sqrt{K}$ 和库萨金(Kusakin)影响半径 $R = 2s\sqrt{HK}$,都是抽水孔影响半径的经验公式(《供水水文地质手册》编写组,1977年《供水水文地质手册》第二册:268),计算的影响半径往往偏小,计算的矿坑涌水量往往偏大,这种经验半径大井法计算的矿坑涌水量,属于D级的精度,可信用度为0.3。钱学溥引用影响半径公式是一个理论公式,计算矿坑排水的影响半径比较合理。因此,理论半径大井法与经验半径大井法比较,计算的矿坑涌水量可信用度要高一些,目前认定理论半径大井法计算的矿坑涌水量,可信用度为0.4。

9 通过了初步的实践检验

20年来,笔者作为矿产储量评估师,征求过北京、鞍山、西安、长沙等地矿山建设设计院总工程师和科技人员的意

表1 矿坑涌水量的精度级别和可信用度

矿坑涌水量分级	微水矿床	小水矿床	中水矿床	大水矿床
矿坑涌水量(m^3/d)	<500	500~5000	5000~50000	>50000
勘查类型	极简单	简单	中等	复杂
代表性计算方法	补给模数法	大井法 比拟法	比拟法 大井法 简易数值法	数值法
代表性勘查工程	实测地下水补给模数	单孔抽水试验1~10孔,多孔抽水试验0~3组 物探测井,电法	单孔抽水试验10~20孔,多孔抽水3~6组 物探测井,电法 群孔抽水试验,总抽水量达到矿坑涌水量的1/4以上,抽水时间在1个月以上 物探测井,电法	群孔抽水试验,总抽水量达到矿坑涌水量的1/2以上,抽水时间在2个月以上 物探测井,电法,人工地震
矿坑涌水量的精度级别	E	D	C	B
矿坑涌水量的可信用度	0.0~0.2	0.2~0.4	0.4~0.6	0.6~0.8

见,参加评审了几百份固体矿产勘探报告,认定了勘探报告提交的矿坑涌水量的精度级别和可信度,确定了提交的矿坑涌水量是否可以满足设计的要求,受到了地勘单位、设计院和业主的好评。内蒙古乌海煤田公认其水文地质条件简单,从来没有发生过陷落柱突水的问题,2005年笔者评审乌海煤田骆驼山煤核实验报告,提出该煤矿有发生陷落柱突水的可能,2010年该煤矿发生陷落柱突水重大事故,罹难矿工32人。事后国家安全生产监督总局领导来到矿产储量评审中心,查阅钱学溥的评审意见书,称赞钱学溥是“神仙”。

10 矿坑涌水量补充勘探

如果固体矿产勘探报告提交的矿坑涌水量,经过评审,认为它的精度级别和可信度达不到设计的要求,则应进行矿坑涌水量补充勘探。

11 应由有经验的高级职称工程师担任矿坑水的勘查工作

矿坑水的勘查,要求投入最小的勘查工程量,提交满足矿山建设排水设计精度的矿坑涌水量,具有很大的难度。因此,微水矿床和小水矿床,应由有经验的水文地质高级工程师负责;中水矿床和大水矿床,应由有经验的水文地质教授级高级工程师负责。

12 什么是可信度

可信度代表预测值与实测值的接近程度。以预测值及实测值中的大值作分母,以预测值及实测值中的小值作分子,其比值就是可信度,可信度只取1位有效数字。可信度具有重要的使用价值,举例说明:某地质队进行固体矿产勘探,采用经验半径大井法,提交矿坑涌水量为 $3000\text{m}^3/\text{d}$,属于D级精度,可信度为0.3。可信度为0.3,也就是说实测的矿坑涌水量,大概率应在 $3000\text{m}^3/\text{d} \times 0.3 = 900\text{m}^3/\text{d}$ 与 $3000\text{m}^3/\text{d} \div 0.3 = 10000\text{m}^3/\text{d}$ 之间。

在我国市场经济条件下,矿坑涌水量的精度级别和可信度,可以纳入勘探项目的经济合同。

13 不需要计算矿坑最大涌水量

过去和现行的规范,都要求固体矿产勘探报告提交“矿坑涌水量”和“矿坑最大涌水量”。实际上,固体矿产勘探报告,只需要提交矿坑涌水量及其精度级别和可信度,即可满足矿山建设排水设计的需要,不需要计算矿坑最大涌水量。因为,矿坑最大涌水量也是一个预测值,也需要认定它的精度级别和可信度。如果勘探报告提交了矿坑涌水量及其精度级别和可信度,同时提交了矿坑最大涌水量及其精度级别和可信度,那将是画蛇添足,矿山建设设计院将无所适从。

14 应采用2种方法计算矿坑涌水量

为了提高矿坑涌水量的可信度,微水矿床、小水矿床和中水矿床,应采用2种方法计算矿坑涌水量,以便相互验证。最后的推荐值,可以是二者的平均值,也可以是二者中的大值或小值。

15 应消除井损计算渗透系数

单井抽水应消除井损(井管水流磨阻损失 bQ^2)计算渗透系数(K),否则计算的渗透系数可能偏小5%~30%。以承压水为例,在有井损的条件下, $S = f(Q)$ 可用 $S = aQ + bQ^2$ 表达,其中 a 为层流系数, b 为紊流系数。利用2次以上的降

深数据,采用最小二乘法或更换坐标后采用截距法,可以求得 a 值,将 a 值代入裘布依公式,即可获得消除井损计算的渗透系数(钱学溥,1984)。

16 对计算的矿坑涌水量,应进行详细地评述

勘探报告对计算的矿坑涌水量,应进行详细地评述。评述的主要内容有:当地的水文地质条件是否符合矿坑涌水量计算公式的使用条件;计算了哪几层直接充水含水层和间接充水含水层;计算参数的代表性及可信度;计算的矿坑涌水量可能偏大或是偏小及其主要的影响因素;计算的矿坑涌水量属于哪个精度级别,可信度是多少;对矿坑突水危险性的论述是否充分;计算的矿坑涌水量是否可以满足矿山排水设计的精度要求。

17 可信度与相对误差的换算公式

20世纪90年代以前,我国矿产地质勘查规范,多使用相对误差这个术语;90年代以后,多使用可信度这个术语。根据相对误差和可信度的定义,笔者推导出二者之间的换算公式——当实测值小于预测值,可信度 $= 1 / (1 + \text{相对误差})$;当实测值大于、等于预测值,可信度 $= 1 - \text{相对误差}$ 。

绝大多数的矿产埋藏在地下,看不见,摸不着,预测计算它们的储量和资源量误差往往很大。可信度容易计算,只保留1位有效数字,用于计算储量和资源量比较合理,笔者赞同使用可信度这个术语。

18 有效数字和科学计数

水文地质参数和矿坑涌水量,最多保留3位有效数字,宜采用科学计数的方式表达。

19 关于司法诉讼

计算的矿坑涌水量过大或是过小,设计的排水设施,都有可能造成重大的经济损失。假如地勘单位采用经验半径大井法,提交了 $4000\text{m}^3/\text{d}$,D级精度的矿坑涌水量。D级的精度,对应的可信度的最低临界值是0.2。如果实测的矿坑涌水量小于 $4000\text{m}^3/\text{d} \times 0.2 = 800\text{m}^3/\text{d}$,或是大于 $4000\text{m}^3/\text{d} \div 0.2 = 20000\text{m}^3/\text{d}$,可以判地勘单位败诉。考虑到计算矿坑涌水量的难度,即使地勘单位败诉,也应酌情处理。

20 常用的矿坑涌水量计算公式及其精度级别和可信度

(1) 补给模数法——地下水补给模数(M_0)可以通过圈定泉域范围,测定排泄区泉水流量计算求得。矿坑涌水量等于矿坑排水地下水影响的范围(F)与地下水补给模数的乘积。由于测定地下水补给模数、确定矿坑排水地下水影响的范围误差较大,利用补给模数法计算的矿坑涌水量,属于E级的精度,可信度为0.2。

(2) 大井法——可以分为经验半径大井法和理论半径大井法2种,这2种计算的结果,可以相互验证。根据DZ/T 0342-2020《矿坑涌水量预测计算规程》,利用大井法计算矿坑涌水量,其中常用的影响半径公式有3个:吉哈尔影响半径公式(适用于承压水): $R = 10s \sqrt{K}$;库萨金影响半径公式(适用于潜水): $R = 2s \sqrt{HK}$;钱学溥引用影响半径公式(适用于承压水和潜水): $R_0 = \sqrt{\frac{Q}{\pi M_0}}$ (钱学溥等,2019a)。承压水的补给条件比潜水差一些,因此承压水和潜水都可以使

用钱学溥引用影响半径公式,只不过承压水使用的地下水补给模数小一些罢了。

其中,吉哈尔影响半径公式和库萨金影响半径公式,是经验公式,并且是钻孔抽水地下水的影响半径,因此计算的地下水的影响半径往往偏小,计算的矿坑涌水量往往偏大。利用这2个经验公式计算矿坑涌水量,是经验半径大井法。利用经验半径大井法计算的矿坑涌水量,属于D级的精度,可信度为0.3(钱学溥等,2019b)。

钱学溥引用影响半径公式,是根据影响半径的定义和水均衡原理,推导的理论公式。利用钱学溥引用影响半径公式计算矿坑涌水量,是理论半径大井法。钱学溥引用影响半径公式中有补给模数 M_0 值,这个 M_0 值可以实测,也有它的常见值(表2)。

表2 地下水补给模数常见值

含水层岩性	结晶岩	碎屑岩	松散岩	碳酸盐岩
地下水补给模数 M_0 [L/(s·km ²)]	0.1~0.3	0.3~1.0	0.5~2.0	0.5~5.0

理论半径大井法比经验半径大井法,计算矿坑涌水量的精度要高出很多。根据47个样本归纳计算,理论半径大井法归纳计算的结果,平均相对误差是36%,相当可信度0.6;经验半径大井法归纳计算的结果,平均相对误差是232%,相当可信度 $=1/(1+232\%)=0.3$ 。考虑到样本偏少、全部都是煤矿的样本、数据的离散程度较高,因此,目前认定理论半径大井法计算的矿坑涌水量,仍属于D级的精度,可信度为0.4(钱学溥等,2019b)。

钱学溥引用影响半径公式 $R_0 = \sqrt{\frac{Q}{\pi M_0}}$ 不仅适用于矿坑涌水量的计算,也适用于渗透系数以及竖井、运输大巷、基坑、隧洞等涌水量的计算。由于它是一个理论公式, Q 是一个实测值,不存在可信度的问题。 M_0 可以实测,也有常见值,可信度应在0.7左右。也就是说,利用钱学溥理论公式计算的引用影响半径,可信度应在0.7左右。资深教授陈崇希认为:影响半径是地下水动力学中的核心参数,钱学溥引用影响半径公式,可能是国内外,计算影响半径最好的公式。二级教授级高级工程师、总工程师张子祥认为:利用这个公式计算矿坑涌水量的效果很好,这个公式是一个神奇的公式,它为矿山排水设计立了大功,节省了大量资金,功不可没。

(3) 廊道法——廊道法也可以分为理论半径廊道法和经验半径廊道法2种。廊道法和大井法的原理相同,都是达西定律,只是一个把矿坑概括成一个长方形,一个把矿坑概括成一个圆形。因此,二者可以说是一种方法,这2种方法计算的矿坑涌水量不能相互验证。在一个矿区,只能选择其中的一种方法,进行矿坑涌水量的计算。廊道法与大井法计算的矿坑涌水量,精度和可信度相同。

(4) 比拟法——一个矿山,排水几年甚至几十年,就相当于一个大流量、长时间的超大型的抽水试验,具有很高的参考价值。利用比拟法计算的矿坑涌水量,属于C级的精度,

可信度为0.5。

根据17个样本归纳计算,比拟法计算的矿坑涌水量,平均可信度0.6。考虑到样本偏少、全部都是煤矿的样本、数据的离散程度较高,因此,上述认定利用比拟法计算的矿坑涌水量,属于C级的精度,可信度为0.5(钱学溥等,2019b)。

(5) 数值法——就是利用计算机模拟矿坑在排水条件下,地下水流场随时间的变化。利用数值法计算矿坑涌水量,需要进行大型群孔抽水试验。如果群孔抽水试验,总抽水量达到矿坑涌水量的1/2以上,抽水时间在2个月以上,计算的矿坑涌水量的精度属于B级,可信度一般为0.7或0.8。如果群孔抽水试验,总抽水量达到矿坑涌水量的1/4以上,抽水时间在1个月以上,计算的矿坑涌水量的精度属于C级,可信度为0.6,后者可以名为简易数值法(钱学溥等,2019b)。

根据6个样本归纳计算,简易数值法计算的矿坑涌水量,平均可信度0.7。考虑到样本偏少、全部都是煤矿的样本、数据的离散程度较高,因此,上述认定利用简易数值法计算的矿坑涌水量,属于C级的精度,可信度为0.6。

正规的数值法,大型抽水试验的规模比简易数值法大许多,计算的矿坑涌水量的可信度也应该高一些,上述认定正规的数值法计算的矿坑涌水量,精度属于B级,可信度一般为0.7或0.8,应该不成问题。另外,迄今为止,我国有数十处流量大于50000m³/d的大型、特大型水源地的勘探报告,采用正规的数值法提交的开可采量,都是被评审为B级的精度,可信度为0.8,这从另一个方面,也可以作为上述论述的佐证。

(6) 体积法——疏干体积与恢复体积重叠,则二者含水层的给水度(μ)相同。每日抽出水量 $Q_{\text{抽}}$ (m³/d)、每日疏干体积 $V_{\text{疏}}$ (m³/d)、每日恢复体积 $V_{\text{恢}}$ (m³/d)为实测值,利用下列疏干体积与恢复体积2个水均衡方程式联立求解,即可获得地下水的补给量 $Q_{\text{补}}$ (m³/d)与地下水的给水度(μ)2个参数。进一步,可以计算地下水的储存量和可开采量。

$$Q_{\text{抽}} - Q_{\text{补}} = \mu \cdot V_{\text{疏}}$$

$$Q_{\text{补}} = \mu \cdot V_{\text{恢}}$$

钱学溥等(2014)推导的体积法计算地下水资源量的公式,尤其适用于地下水抽水量大,补给量小的水源地或矿山。采用体积法计算地下水资源量,需要施工几个或十几个地下水水位观测孔,以便计算疏干体积和恢复体积。这种方法已经在蒙古国锌矿水源地、新疆哈密煤矿烧变岩孔隙水等地进行了成功的运用。利用体积法计算的矿坑涌水量,属于B级的精度,可信度为0.7。

(7) 作图法、回归分析法等方法——计算矿坑涌水量,还有作图法、回归分析法等方法。利用这些方法计算的矿坑涌水量,它们的精度取决于样本的代表性和数量、相关系数的大小、外推多少等,因此,利用这些方法计算的矿坑涌水量,精度差别较大,可信度一般在0.3~0.8。

(8) 露天采坑的涌水量计算——露天采坑涌水量包括露天采坑地下水涌水量(Q_1)、一日暴雨地表水汇入采矿的水量(Q_2)、一日暴雨降入采坑的水量(Q_3)等3个部分。由于采用地表安装的水泵,排干露天采坑的积水比较容易,因此,一般提交C级精度的露天采坑涌水量,就可以满足矿山排水设

计精度的需要。

(9)断层、底板、老窑、烧变岩、封闭不良钻孔突水量的计算与预测——根据公式与突水量常见值,可以计算和预测断层、底板、老窑、烧变岩、封闭不良钻孔的突水量,但是计算和预测的结果精度较低,一般属于D级或E级的精度。其中,公式的严谨程度较高、参数的可信度较高,计算的突水量可信度较高,反之较低;突水量的分散度较低,预测的突水量可信度较高,反之较低。

例如,可以使用断面流量的公式 $Q=KI\omega$,计算断层突水量,由于渗透系数(K)和过水断面(ω)的误差较大,因此计算的断层突水量,一般属于D级的精度,可信度为0.3。可以使用承压水非完整井井底进水裘布依公式(见附录1),计算底板的突水量,由于渗透系数(K)、突水面积的等价半径(r_0)和引用影响半径(R_0)的误差较大,因此计算的底板突水量,一般属于D级的精度,可信度为0.2。老窑的突水量差别很大,一般从每小时几十立方米到每小时几千立方米,预测老窑的突水量属于E级的精度,可信度为0.2。可以使用体积法公式计算烧变岩孔隙水的储存量,属于B级的精度,可信度为0.7。预测烧变岩孔隙水的突水量属于D级的精度,可信度为0.2。一个封闭不良钻孔的突水量,一般是每小时几十立方米到每小时几百立方米,预测一个封闭不良钻孔的突水量属于D级的精度,可信度为0.3。

(10)陷落柱突水量预测——在我国,突水量较大的陷落柱约有50个,突水量一般是 $0.1\text{ m}^3/\text{s}\sim 2.0\text{ m}^3/\text{s}$ 。其中突水量最大的是河北唐山范各庄煤矿($34\text{ m}^3/\text{s}$);安徽淮北煤田任楼煤矿($10\text{ m}^3/\text{s}$);内蒙古乌海市骆驼山煤矿($18\text{ m}^3/\text{s}$)。骆驼山煤矿造成了淹井停产、重大人员伤亡和经济损失。预测陷落柱突水量十分困难,只能根据国内外公认的钱学溥陷落柱成因“石膏说”(钱学溥,1988b),依据煤系下覆石灰岩分布的面积、石膏夹层的厚度和范围、岩溶大泉的流量、矿山与岩溶大泉的距离等因素进行分析。预测陷落柱突水量的精度只能达到E级,可信度为0.1。由于预测陷落柱突水量的可信度过低,所以一般只预测陷落柱突水的可能性,不预测陷落柱的突水量。

21 建议制定《矿坑水地质勘查规范》

矿坑水是一种矿产,建议制定一份《矿坑水地质勘查规范》,10年左右需要总结修订一次。该规范应要求认定矿坑涌水量的精度级别和可信度。

22 结束语

认定计算的矿坑涌水量的精度级别和可信度,是一项困难且重要的任务。我国是一个矿业大国,70年来,我国提交了数以千计的矿坑涌水量,有数以千计的矿山具有矿坑涌水量观测记录,我国有一百多家矿山建设设计院,有数千名矿山水文地质科技人员,这项工作已经获得了初步的认识,只要我们勇于担当责任,认真分析研究,经过实践、认识、再实践、再认识的过程,就一定能够实现我们的目标——投入最少的勘查工程量,提交能够满足矿山排水设计精度的矿坑涌水量。

附录

(1)承压水非完整井井底进水裘布依公式:

$$Q = \frac{2\pi K S r_0}{\frac{\pi}{2} + \frac{r_0}{M} \left[1 + 1.185 \lg \left(\frac{R_0}{4M} \right) \right]}$$

(2)本文式中: Q :矿坑涌水量(m^3/d); s :抽水孔内水位降深(m); K :渗透系数(m/d); μ :给水度(无量纲); M :承压含水层厚度(m); H :潜水含水层厚度(m); M_0 :地下水补给模数($\text{L}/(\text{s}\cdot\text{km}^2)$); R :影响半径(m); R_0 :引用影响半径(m); $R_0 = R + r_0$; r_0 :钻孔半径、巷道半径、矿坑的等价半径、突水面积的等价半径。

参考文献 / References

- (The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)
- 迟景砚,王喜恩,漆尔请,罗鑫亮.1991.GB 12719-91 矿区水文地质工程地质勘探规范[S].北京:中国标准出版社.
- 《供水水文地质手册》编写组.1977.供水水文地质手册(第二册).北京:地质出版社.
- 钱学溥.1983.娘子关泉水流量几种回归分析的比较.工程勘察.11(4):63~68.
- 钱学溥.1984.消除井损计算渗透系数公式的探讨.工程勘察.12(3):45~48.
- 钱学溥.1988a.石膏喀斯特陷落柱的形成及其水文地质意义.中国岩溶.7(4):344~348.
- 钱学溥.1988b. The formation of gypsum karst collapse-column and its hydrogeological significance. 见:21届IAH国际会议论文集:1177~1184.
- 钱学溥.2004.体积法求解地下水的资源量.工程勘察.32(2):19~21.
- 钱学溥.2007.预测矿井的涌水量计算级别与精度评述.中国煤炭地质.19(5):48~50.
- 钱学溥,任虎俊,杨光辉,李本军.2016a.矿区水文地质勘查类型及基本工程量.中国煤炭地质.28(2):35~38.
- 钱学溥,雷小乔,徐超,李本军.2016b.矿坑涌水量的计算及其精度级别和可信度.中国煤炭地质.28(5):39~41.
- 钱学溥,张明燕,于义强,王延涛,修艳敏.2017.补给模数大井法计算矿坑涌水量.工程勘察.45(11):7~12.
- 钱学溥,于义强.2019a.引用影响半径理论公式及其应用.工程勘察.47(6):43~49.
- 钱学溥,陈善成.2019b.矿坑涌水量计算.北京:地质出版社.
- 张发旺,李向全,侯新伟,武强,文冬光,傅耀军,王振兴,刘新社,马履霞,折书群,刘玲霞.2021.《GB/T 12719-2021 矿区水文地质工程地质勘查规范》[S].北京:中国标准出版社.
- 张明燕,于义强,王延涛,申文全,李娟,李玉喜,钱学溥,修艳敏,宾德智,李文鹏,韩再生,王珏,王婉琼,刘建芬.2020.《DZ/T 0342-2020 矿坑涌水量预测计算规程》[S].北京:地质出版社.
- 张明燕,于义强,王延涛,张大伟,钱学溥,李玉喜,修艳敏,宾德智,李文鹏,韩再生,李久荣,王婉琼,刘建芬.2021.GB/T 15218-2021《地下水资源储量分类分级》[S].北京:中国标准出版社.

On the accuracy level and reliability of mine water inflow

QIAN Xuepu

Ministry of Natural Resources, Beijing, 100812

Abstract: The mine water inflow presented in solid mineral exploration reports is a predicted value. A predicted value can be said to have no practical value if its accuracy level and reliability are not determined. Neither the previous nor the current specifications require the determination of the accuracy level and reliability of mine water inflow, which has brought great difficulties to the drainage design for mine construction and caused significant economic losses in mine drainage. This paper proposes methods for determining the accuracy level and reliability of mine water inflow, as well as relevant measures to improve the accuracy of mine water inflow.

Keywords: mine water inflow; accuracy; reliability

Introduction to the author: QIAN Xuepu, mail, born in 1932, professor-level senior engineer, is mainly engaged in groundwater mineral exploration, former Deputy Chief Engineer of National Bureau of Mineral Reserves; Email: 2786467965@qq.com

Manuscript received on: 2025-11-26; Accepted on: 2026-01-26; Published online on: 2026-02-15

Doi: 10.16509/j.georeview.2026.02.025

Edited by: ZHANG Yuxu

