

中华人民共和国地质矿产行业标准

DZ/T XXXXX—XXXX

矿坑涌水量预测计算规程

Specification for water yield estimating of mine

(报批稿)

— XX — XX 发布

XXXX — XX — XX 实施

目 次

前 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总则	2
4.1 基本原则	2
4.2 基本要求	2
5 矿坑涌水量预测计算的条件和程序	3
5.1 矿坑涌水量预测计算的条件	3
5.2 矿坑涌水量预测计算的程序	3
6 井工矿矿坑涌水量预测计算	3
6.1 水文地质比拟法	4
6.2 涌水量-降深曲线法	4
6.3 相关分析法	5
6.4 水均衡法	5
6.5 解析法	6
6.6 数值法	7
7 露天矿矿坑涌水量预测计算	7
7.1 基本要求	7
7.2 露天采坑地下水涌水量计算	8
7.3 地表水汇入采坑水量计算	8
7.4 降入采坑水量计算	8
8 预测计算结果的应用	8
8.1 基本应用	8
8.2 其他应用	8
附 录 A（资料性附录） 水文地质比拟法常用计算公式	9
附 录 B（资料性附录） 涌水量-降深曲线法（曲线法）常用计算公式	12
附 录 C（资料性附录） 相关分析法计算公式	15
附 录 D（资料性附录） 水均衡法常用公式	17
附 录 E（资料性附录） 解析法模型建立及常用计算公式	20
附 录 F（资料性附录） 数值模拟及计算公式	25
附 录 G（资料性附录） 露天矿坑涌水量计算公式	28
参 考 文 献	31

前 言

本标准按GB/T1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本标准由中华人民共和国自然资源部提出。

本标准由全国自然资源与国土空间规划标准化技术委员会（SAC/TC 93）归口。

本标准起草单位：自然资源部矿产资源储量评审中心、山东省第一地质矿产勘查院、中交铁道设计研究总院有限公司、中国自然资源经济研究院、四川省煤田地质工程勘察设计研究院。

本标准起草人：张明燕、于义强、王延涛、申文金、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。

矿坑涌水量预测计算规程

1 范围

本标准规定了固体矿产矿坑涌水量预测计算的总则、条件和程序、常用方法应用前提及适用条件、预测计算结果的应用等。

本标准适用于矿区勘查及矿山生产阶段矿坑涌水量预测计算。可作为评审、验收矿区水文地质工作成果中有关矿坑涌水量的技术依据。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定

GB 12719 矿区水文地质工程地质勘探规范

GB 50027 供水水文地质勘察规范

GB/T 13908 固体矿产地质勘查规范总则

MT/T 778 数值法预测矿井涌水量技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

矿坑涌水量 water yield of mine

单位时间内流入矿坑（包括各种巷道和开拓开采系统）的水量。注：包括矿坑正常涌水量和矿坑最大涌水量。

3.2

矿坑正常涌水量 usual water yield of mine

开拓开采系统达到某一标高（水平或中段）时，正常状态下（指有变化规律的充水因素，不包含井巷突水、地表水倒灌等）所形成的矿坑涌水量的正常值。

3.3

矿坑最大涌水量 ultimate water yield of mine

指开拓开采系统达到某一标高（水平或中段）时，正常状态下（指有变化规律的充水因素，不包含井巷突水、地表水倒灌等）所形成的矿坑涌水量的最大值。

3.4

矿坑涌水量预测计算 water yield anticipatory computing of mine

根据矿山水文地质条件、矿坑充水条件和矿山开拓井巷系统条件对矿井涌水量的预先测算。

3.5

开拓井巷涌水量 water yield during excavation

指包括井筒（立井、斜井）和巷道（平巷、斜巷、石门）在开拓过程中的涌水量。

3.6

疏干工程的排水量 displacement of drainage works

指在规定的疏干时间内，将开拓开采系统某一水平或中段的水位降低到某一规定标高（疏干降深）时，对应的疏干排水量。

3.7

矿井突水量 mine water outburst

指矿井采掘过程中在某些因素的作用下，有关水源，如老窿水（包括老空水和采空区水）、封闭岩溶水、离层水、相邻强含水层中的地下水、地表水等，突然涌入开拓开采系统的水量。突水水源不属于有变化规律的充水因素。

4 总则

4.1 基本原则

4.1.1 应与水文地质条件、可开采资源储量分布和开采设计紧密结合确定预测计算范围。

4.1.2 一般应从上到下、由浅到深进行。

4.1.3 以最佳技术经济为原则，避免使用过于复杂的计算公式。

4.1.4 倡导创新探索，宜结合矿区探采对比总结规律，选择最接近矿区实际的计算方法。

4.2 基本要求

4.2.1 一般分为露天矿和井工矿进行矿坑涌水量预测计算。

4.2.1.1 露天矿。一般应预测计算露天采坑地下水涌水量（ $Q1$ ）、地表水汇入采坑的水量（ $Q2$ ）、降入采坑的水量（ $Q3$ ）三部分。修建有截水沟的矿山，预测计算地下水涌水量（ $Q1$ ）、截水沟圈定范围内地表水汇入采坑的水量（ $Q2$ ）、降入采坑的水量（ $Q3$ ）等三部分水量。对于位于侵蚀基准面以上或地下水位以上顺坡开采的露天矿，大气降水即降即排的，可不预测计算矿坑涌水量；大气降水不能即将即排的，计算地表水汇入采坑的水量（ $Q2$ ）、降入采坑的水量（ $Q3$ ）两部分。

4.2.1.2 井工矿。新建矿对影响矿床开拓的主要充水含水层计算矿坑涌水量；对于次要充水含水层，主要是井筒穿越过程中的富水含水层，或矿层基底的高水头富水含水层，以及未来采空塌陷形成的导水裂隙带延伸导通的含水层等，相应涌水量的计算难度较大，可结合开拓实践或邻区开采情况进行提示性安全预测；基底含水层富水性中等以上的带压开采的矿层，应作突水系数计算并进行突水危险性分区。对延伸开拓的生产矿，应结合坑道各中段的出水状况、岩层赋水条件和构造特征，在综合分析的基础上预测计算涌水量，包含了所有充水因素涌入矿坑的水量。

4.2.2 在矿区水文地质条件认识的基础上,根据掌握水文地质信息的可靠程度,合理确定涌水量计算方法。生产阶段应选定符合矿山实际的预测计算方法。

4.2.3 新建矿山应预测先期开采地段或第一开采水平(或中段)的矿坑涌水量,生产矿山应在现有水文地质条件基础上预测下一开采水平(或中段)的矿坑涌水量。

4.2.4 普查阶段,了解水文地质条件,一般不需要预测计算矿坑涌水量。详查阶段,应根据掌握的水文地质信息,预测计算矿坑涌水量。勘探阶段,应通过试验获取水文地质参数,预测计算矿坑涌水量,矿区水文地质条件中等及以上的,应采取两种及以上方法进行计算和对比分析评价。生产阶段应根据开采前后的水文地质条件变化,预测计算矿坑涌水量。

4.2.5 应对矿坑涌水量计算结果进行评述。评述的主要内容有:对本区水文地质单元、水文地质条件的认识是否正确,计算模型选择是否符合矿床水文地质条件,计算参数的来源及取值是否合理,计算结果可能偏大或是偏小的原因及其主要的影响因素,计算结果的可信程度等。

4.2.6 应对矿坑涌水量预测计算结果进行数值修约,保留2~3位有效数字。修约规则按GB 8170执行。

5 矿坑涌水量预测计算的条件和程序

5.1 矿坑涌水量预测计算的条件

查明水文地质条件,包括查明矿坑充水水源(尤其是隐伏的承压水源、老窿水源及充水断裂带水源等)、矿坑充水途径及它们相互影响关系;根据当地降水入渗条件和地下水补给、径流、排泄特点,预测分析开采条件下地下水系统补给、径流、排泄特征的变化;按GB 12719确定含水层厚度,确立水文地质边界,并获得主要充水岩层具有代表性的水文地质参数。确定计算对象、计算水平(或中段)及计算范围。

5.2 矿坑涌水量预测计算的程序

5.2.1 从水文地质实体出发对矿床水文地质条件进行概化,构建水文地质概念模型,再建立水文地质数学模型,通过模型需要的水文地质参数输入求取涌水量(见图1)。概念模型和数学模型的建立,应贯穿于从矿床勘查到开采的全过程,随着对矿床水文地质条件认识的深入不断优化。

5.2.2 构建水文地质概念模型。概化已知状态下矿区水文地质条件;给出未来开采井巷的内部边界条件;预测未来开采条件下的外部边界条件。概念模型在地质实体与数学模型之间起中介桥梁作用。

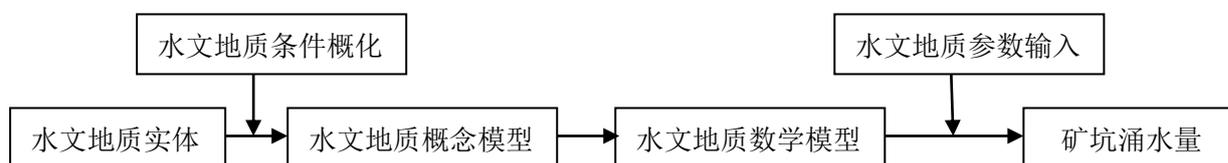


图1 涌水量预测计算程序图

5.2.3 确定水文地质数学模型。应考虑矿区水文地质条件、矿山的疏干工程及巷道系统的布局,与矿床水文地质条件以及勘探工程的控制程度相适应,正确反映水文地质条件的基本特征,充分利用勘探工程提供的各种信息。

6 井工矿矿坑涌水量预测计算

6.1 水文地质比拟法

6.1.1 应用前提

6.1.1.1 在同一地区，地质、水文地质条件（以及开采方式、规模）相同或相似的矿坑，可根据已有开采地段的实际排水量预测新开采地段的涌水量。

6.1.1.2 新建矿井与生产矿井的地质、水文地质条件基本相似，生产矿井有长期的排水量观测资料，涌水量与各影响因子之间数学表达式可靠。

6.1.2 适用条件

6.1.2.1 当计算矿区与生产矿井的水文地质条件相似、开采方法基本相同时，可用生产矿井的排水资料比拟计算矿区的涌水量。

6.1.2.2 水文地质比拟法适用于各类矿床，特别适用于有多年排水量观测资料的生产矿井。根据已开采水平（或中段）的实际排水资料，来预测延伸水平（或中段）的涌水量，或根据生产采区的排水资料，来预测新扩大采区的涌水量。

6.1.2.3 对预测矿区的水文地质边界条件无特殊要求。

6.1.3 公式选取

公式选取见附录 A。不同的充水条件可以选择不同的比拟因子，可根据实践经验和生产矿井的资料，通过分析影响因素，建立适用于预测矿区的比拟公式。

6.2 涌水量-降深曲线法

6.2.1 应用前提

6.2.1.1 根据稳定流理论，生产矿井的涌水量 Q 与水位降深 s 之间可用 $Q-s$ 曲线的函数关系表示。利用单孔稳定流抽（放）水试验的资料，建立涌水量 Q 与水位降深 s 的曲线方程，通过 $Q-s$ 曲线外推，预测矿坑涌水量。

6.2.1.2 三次以上水位降深的抽（放）水试验。根据不同矿区情况，采用大口径、大降深抽水，尽量接近未来的开采条件；长时间抽水，充分揭露水文地质条件。

6.2.1.3 下一开采水平（或中段）的采坑（或开采）面积，应与上一开采水平（或中段）相同。

6.2.1.4 外推预测时，推断的范围一般不应超过抽水试验最大降深的2~3倍。

6.2.2 适用条件

6.2.2.1 适用于建井初期的井筒涌水量预测。

6.2.2.2 适用于已开采水平（或中段）疏干资料外推延伸开采水平（或中段）的涌水量，以及矿床规模小、矿体分布集中、边界条件和含水层结构复杂而难以建立数学模型的矿区，也适用于难以取得水文参数的矿区。

6.2.2.3 不用求取各种水文地质参数。

6.2.3 公式选取

公式选取见附录 B。不同矿区实际涌水量曲线方程形式多样。随着降深不同，影响范围发生变化，同一条涌水量曲线方程的不同段可能满足不同的函数形式，在实际运用过程中可以分段采用不同函数。

6.3 相关分析法

6.3.1 应用前提

6.3.1.1 矿坑涌水量受到多种因素的影响，对难以确定函数关系、存在某种统计关系的矿床，可采用数理统计分析的方法建立统计模型，预测矿坑涌水量。

6.3.1.2 为反映除降深外的其他影响因素，宜采用多元复相关因子建立回归方程。

6.3.1.3 要求每一抽水试验或坑道放水试验的落程一般不少于两次。

6.3.1.4 原始数据的采集要求：

代表性：要求不少于一个水文年（包括丰、平、枯水季节）的抽水试验或坑道放水试验动态观测数据，同时数据量不少于30个。

一致性：应与预测对象条件相一致。

独立性与相关性：即多自变量有独立的变化规律，相互间关系不大；自变量与涌水量之间相关系数不低于70%。

6.3.2 适用条件

6.3.2.1 相关分析法属稳定流范畴，至少有两个相对稳定的涌水量和水位降深值。对矿区的水文地质边界条件无特殊要求。

6.3.2.2 对主要进水方向、相对隔水边界、主要导水构造应有控制性观测孔，并能够控制矿区地下水降落漏斗的发展。

6.3.2.3 为充分地揭露矿区水文地质条件，求取更有代表性的各项参数，应尽量采用大降深、定流量的抽（放）水试验，最大水位降深要求达到第一生产中段底板以下。

6.3.2.4 引用降深下推倍数不宜过大，下推降深一般不超过抽（放）水试验最大降深的三倍。

6.3.2.5 在抽（放）水试验过程中，应编绘 $S-r$ 曲线图，对未落在曲线的钻孔要及时查明原因。

6.3.2.6 适用于非均质程度高的岩溶充水矿床，抽水降深可以很大、含水层富水性较弱的矿床，以及以大气降水作为主要充水水源的矿床。不适用于以储存量为主的矿床，以及新建矿井（勘查阶段抽水试验降深比较小）。

6.3.3 公式选取

公式选取见附录C。

6.4 水均衡法

6.4.1 应用前提

6.4.1.1 通过研究某一时期（均衡期）矿区（均衡区）地下水各补给项、排泄项之间的关系，建立地下水均衡方程，可计算矿坑涌水量。

6.4.1.2 应建立地下水与降水量的长期观测站，形成包括由钻孔、生产井巷、老窿采空区、有代表性的泉与地下暗河、有意义的地表汇水区等组成的长期观测网，圈定均衡区域、选择均衡期，建立可靠的均衡模型。

6.4.2 适用条件

6.4.2.1 矿区在一个完整的水文地质单元内，补给量和排泄量确定，且有长期观测资料。

6.4.2.2 适用于小型封闭集水盆地中第四系堆积物覆盖下的露天矿。

6.4.2.3 适用于位于分水岭地段区域地下水位以上的矿床。地下水位于下伏弱含水层的顶端，水层薄，水位埋深变幅大、升降迅速，抽水试验困难，地下水动态与降水直接相关，补给路径短，以垂向补给为主。

6.4.3 公式选取

公式选取见附录 D。天然条件下的水均衡关系，在矿床开采过程中常遭受破坏，应充分考虑开采条件下的影响。

6.5 解析法

6.5.1 应用前提

6.5.1.1 一般用稳定流解析法。通过对矿区水文地质条件的合理概化，构造理想化的数学模型公式，根据解析解求取矿坑涌水量。

6.5.1.2 坑道系统能概化成理想的“大井”。坑道系统排水时，其周边逐渐形成了一个降落漏斗，在稳定的补给条件下可将形状复杂的坑道系统看成是一个理想“大井”在工作，整个坑道面积，相当于该“大井”的面积，整个坑道系统的涌水量，相当于“大井”的涌水量。

6.5.2 适用条件

6.5.2.1 含水层必须有补给源，达到稳定流条件。

6.5.2.2 充水岩层为大面积分布的强透水层，当矿山排水疏干至某一水平（或中段）后，水位基本稳定，可视为达到稳定流条件。

6.5.2.3 当地下水处于极其缓慢的非稳定流运动时，可近似地看作相对稳定流。

6.5.2.4 最大水位降深抽水一般是非稳定流，不宜用稳定流解析法作最大疏干量计算。

6.5.2.5 不适用于矿坑充水水源以含水层储存量为主、补给量明显不足的矿床，以及主要充水含水层富水性极不均一、埋藏、补给和边界条件复杂的矿床。

6.5.3 公式选取

6.5.3.1 模型建立及公式选取见附录 E。

6.5.3.2 勘探阶段，以预测先期开采地段或第一开采水平（或中段）的涌水量为主。

6.5.3.3 回采阶段可视为稳定流，矿坑疏干流场处于相对稳定状态，宜采用稳定流解析法进行涌水量预测。

6.5.3.4 开拓阶段为非稳定流，矿坑疏干过程中地下水位不断下降，疏干漏斗持续不断扩展，不宜采用稳定流解析法进行涌水量预测。

6.6 数值法

6.6.1 应用前提

6.6.1.1 在水文地质条件复杂、非均质的空间，通过实测取得较可靠的水文地质参数，地下水流动场的边界条件和补给水源基本确定，可把地下水流动场剖分为若干单元，根据实测值赋予每个单元接近实际的水文地质参数，采用有限差分法或有限元法，建立矿坑排水的条件下，地下水流动场随时间的变化模型，以计算不同时段、不同开采水平（或中段）的矿坑涌水量。

6.6.1.2 实测取得较可靠的、大量的水文地质参数等基础资料；查明矿区主要充水含水层的边界条件和补给水源；有一定数量的观测孔控制较准确的等水位线图，各节点的水头值可靠。

6.6.1.3 地下水流动场模型较全面反映各种地质因素，包括：含水层平面上和垂向上的非均质性、多个含水层的越流补给、“天窗”，和河流的渗漏，以及复杂边界条件等。

6.6.2 适用条件

6.6.2.1 勘查精度要求高。平面上基本查明各类水头边界和隔水边界。垂向上基本查明含水系统的结构。若是单一含水层，需确定其层状非均质性质并进行分区；对于多个含水层组成的含水系统，要基本查清彼此之间水力联系的位置和方式。对于主要岩性、“天窗”要基本查清其分布范围，在“天窗”部位和相邻含水层处有水位观测孔控制通过“天窗”的水头差。

6.6.2.2 数据资料要求高。需要给出初始时刻（可任意取，但一般取抽水试验的开始时刻）的各节点水位。所有观测孔尽可能同时观测水位，用插值法作等水位线图。所有的抽（注）水、矿坑突水点及泉的流量应有观测资料，应有含水层顶底板标高资料等。

6.6.2.3 对一般中小型矿山，以及水文地质条件简单的矿床，不宜采用数值法进行涌水量预测。

6.6.3 公式选取

6.6.3.1 数值模拟及公式选取见附录 F。

6.6.3.2 反演模拟一般是通过对一次大型抽（放）水试验的模拟来实现的，试验主井宜与未来生产井处于相同位置，观测孔分布宜较均匀，每一非均质区特别是对未来预测结果影响较大的区段，宜设有观测孔。

6.6.3.3 数值模型一经建立，地下水流动方程、边界条件以及含水层参数等在预测中保持不变。矿山生产后，在高强度、长时间排水条件下，边界条件和含水层参数都可能发生变化，如人为边界变动、含水层承压转无压、弹性给水变为重力给水等。若变动不可忽略，须根据具体情况作一定的技术处理。

6.6.3.4 有限元法多用于处理有复杂边界（特别是动边界）的问题；有限差分法可直接从达西定律和水均衡原理出发建立方程，物理意义明确，数学原理简明。

7 露天矿坑涌水量预测计算

7.1 基本要求

矿坑涌水量包括露天采坑地下水涌水量 (Q_1)、地表水汇入采坑的水量 (Q_2)、降入采坑的水量 (Q_3) 三部分。

7.2 露天采坑地下水涌水量计算

露天矿地下水涌水量 (Q_1) 计算, 可采用井工矿矿坑涌水量预测计算中的解析法、比拟法预测计算地下水涌水量。公式见附录 G。

7.3 地表水汇入采坑水量计算

按汇水面积计算地表水汇入采坑的水量 (Q_2)。有排洪沟的, 以排洪沟圈定的面积作为汇水面积。公式见附录 G。

7.4 降入采坑水量计算

计算降入采坑的水量 (Q_3), 应进行年 (日) 平均降水量的计算和最大日降水量计算。最大日降水量应具有频率的概念。根据多年 (一般 10 年以上) 连续降水量观测数据, 通过经验频率计算或理论频率计算, 可以获得一日暴雨降入采坑的水量。公式见附录 G。

8 预测计算结果的应用

8.1 基本应用

8.1.1 勘查阶段结束

8.1.1.1 可用以预测计算矿区先期开采地段或第一开采水平 (或中段) 的正常和最大涌水量。

8.1.1.2 可用以预测计算最低开拓水平 (或中段) 的正常和最大涌水量。

8.1.1.3 对于主矿体在侵蚀基准面以上, 水文地质条件简单的矿区, 可用以预测计算全矿区的正常和最大涌水量。

8.1.2 矿山设计

有充分依据说明预测计算的矿坑涌水量偏大或偏小的原因, 以及正确分析矿床开采后矿坑充水因素和涌水量的变化趋势的前提下, 可推荐作为先期开采地段或第一开采水平 (或中段) 疏干排水设计的依据。

8.1.3 矿山生产

可根据上一开采水平 (或中段) 的涌水量实测数据预测计算下一开采水平 (或中段) 的正常和最大涌水量。

8.2 其他应用

可作为预测计算竖井、运输大巷、基坑、隧道排水量的参考。

附 录 A
(资料性附录)
水文地质比拟法常用计算公式

A.1 降深-面积比拟法 (单位涌水量比拟法)

实践表明,某些矿山正常生产条件下,矿坑涌水量与矿坑面积或体积的扩大成正比增加。通过收集现有生产矿排水资料、矿坑面积或体积、水位降低值,即可换算出新的矿坑的涌水量。

疏干面积 F_0 和水位降深 S_0 是矿井涌水量 Q_0 变化的主要影响因素。根据生产矿井有关资料求得的单位涌水量 q_0 , 可作为预测类似条件下新矿井在某个开采面积 F 和水位降深 S 条件下涌水量 Q 的依据。

$$\frac{Q_0}{F_0 S_0} = q_0 = \frac{Q}{FS} \rightarrow Q = Q_0 \left(\frac{FS}{F_0 S_0} \right) \quad (\text{A-1})$$

已建矿 新建矿

式中: Q_0 -生产矿井排水量, m^3/a ;

F_0 -生产矿井疏干面积, m^2 ;

S_0 -生产矿井水位降深, m ;

Q -设计矿井排水量, m^3/a ;

F -设计矿井疏干面积, m^2 ;

S -设计矿井水位降深, m 。

注意: 如果涌水量与开采面积和水位降深之间的关系不成正比 (非直线), 则应按下式预测类似条件下的矿井涌水量。

$$Q = Q_0 \left(\frac{F}{F_0} \right)^n \left(\frac{S}{S_0} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (n \leq 1, m \geq 2) \quad (\text{A-2})$$

式中: n 、 m -地下水流态系数。依矿井的不同条件而异, 可根据经验通过计算或曲线拟合确定。

A.2 富水系数法

在一定时期内, 某些矿山正常生产条件下, 从矿坑中排出的水量, 与同一时期开采出的矿石重量之比为一常数, 称为富水系数 (k_p), 即

$$k_p = \frac{Q_0}{P_0} \quad (\text{A-3})$$

式中： Q_0 -矿坑排水量， m^3/a ；

P_0 -矿坑的矿石开采量， t/a ；

在地质、水文地质条件和开采条件相同或相似的新开采地段，矿坑的总涌水量（ Q ）为：

$$Q = k_p P \quad (\text{A-4})$$

式中： P -新开采矿坑的设计矿石开采量， t/a 。

富水系数不仅取决于矿区的自然条件，而且还与开采条件有关，因此还要充分考虑开采方法、范围、进度等方面的相似性。

A.3 比拟系数法

为了排除生产条件的影响，某些矿山正常生产条件下，可采用综合平均值作为比拟的依据。

$$(1) \text{ 水位降深 } S_0, k_s = \frac{Q_0}{S_0}, \text{ 则 } Q = k_s S = \frac{Q_0}{S_0} S \quad (\text{A-5})$$

$$(2) \text{ 采空区面积 } F_0, k_F = \frac{Q_0}{F_0}, \text{ 则 } Q = k_F F = \frac{Q_0}{F_0} F \quad (\text{A-6})$$

$$(3) \text{ 采掘长度 } L_0, k_L = \frac{Q_0}{L_0}, \text{ 则 } Q = k_L L = \frac{Q_0}{L_0} L \quad (\text{A-7})$$

$$(4) \text{ 采空体积 } V_0, k_V = \frac{Q_0}{V_0}, \text{ 则 } Q = k_V V = \frac{Q_0}{V_0} V \quad (\text{A-8})$$

A.3 其它比拟法

如根据矿井统计资料，排水量与降深，或采空区面积，或采掘长度，或采空区体积不成正比，则应按下式预测类似条件下的矿井涌水量。

$$(1) \text{ 降深比拟法: } Q = Q_0 \left(\frac{S}{S_0} \right)^n \quad (n \leq 1) \quad (\text{A-9})$$

$$(2) \text{ 采面比拟法: } Q = Q_0 \left(\frac{F}{F_0} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (m \geq 2) \quad (\text{A-10})$$

$$(3) \text{ 单位采长比拟法: } Q = Q_0 \left(\frac{L}{L_0} \right)^n \quad (n \leq 1) \quad (\text{A-11})$$

式中： Q_0 -已知矿井实际排水量， m^3/h ；

S_0 -已知矿井实际水位降深， m ；

F_0 -已知矿井实际开采面积， m^2 ；

L_0 -已知矿井实际开采巷道长， m ；

V_0 -已知矿井采空区体积， m^3 ；

Q -设计矿井实际排水量， m^3/h ；

S -设计矿井实际水位降深， m ；

F -设计矿井实际开采面积， m^2 ；

V -设计矿井采空区体积， m^3 ；

L -设计矿井巷道开采长度， m ；

n 、 m -地下水流态系数。依矿井的不同条件而异，可根据经验通过计算或曲线拟合确定。

附录 B
(资料性附录)

涌水量-降深曲线法(曲线法)常用计算公式

B.1 可归纳为四种数学模型(见图B-1)

I 直线型: $Q = a s$, (B-1)

适用于: 一般出现在承压含水层或者潜水含水层, 当水位降深与含水层的厚度相比很小, 地下水呈层流状态的条件。

II 抛物线型: $s = aQ + bQ^2$, (B-2)

适用于: 潜水、承压-无压井流(三维流、紊流影响的承压井流)。

III 幂指数曲线型: $Q = a s^{\frac{1}{b}}$, (B-3)

适用于: 从某一降深值起, 涌水量 Q 随降深 S 的增大而增加很少。

IV 对数曲线型: $Q = a + b \lg s$, (B-4)

适用于: 补给衰竭或水流受阻, 随 s 增大 Q 增量很小, 曲线趋向 s 轴。

V 如呈现反抛物线型, 则可能有误, 或有特殊现象发生, 如原来被阻塞的裂隙、岩溶通道被突然疏通等。

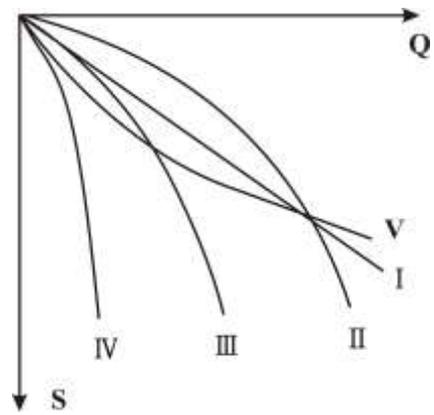


图 B-1 五种涌水量-降深曲线图

B.2 各种曲线具有一定规律

一般认为:

I 型曲线, 出现在承压含水层或潜水含水层(水位降深与含水层厚度相比应很小)中, 地下水呈层流状态;

II 型曲线: 在富水性强的含水层中强烈抽水、地下水在抽水井附近或强径流通道附近发生紊流的情况下出现的, 这时水位降深在一些地区与流量的平方成正比;

III、IV 型曲线, 在含水层规模小、补给条件差的情况下出现的, 一定要用真正稳定的 Q 和 S 建立方程。

B.3 判别实际的 $Q-S$ 曲线类型

伸直法: 将曲线方程以直线关系式表示, 并以直线关系式中的两个对应的变量建立坐标系, 把抽(放)水试验的涌水量和相应水位降深资料, 分别放到上述的四种曲线类型各自的直线关系式坐标系中进行伸直判别。

曲度法: 在曲线上取抽水试验的两个实测点 (Q_1, S_1) 、 (Q_2, S_2) , 由下式求出曲度值 n 。

$$n = \frac{\lg S_2 - \lg S_1}{\lg Q_2 - \lg Q_1} \quad (\text{B-5})$$

曲线判定: $n < 1$, 试验资料有错误;

$n = 1$, 直线型;

$n = (1, 2)$, 幂指数曲线型;

$n = 2$, 抛物线型;

$n > 2$, 对数曲线型。

B.4 确定方程中待定的参数a和b

图解法: 一般情况下, 利用各类型的直线方程图线, 可求出参数a和b。

最小二乘法: 当精度要求较高时采用。

$$\text{直线型: } a = \frac{\sum QS}{\sum S^2} \quad (\text{B-6})$$

$$\text{抛物线型: } a = \frac{\sum S - b \sum Q}{N}, \quad b = \frac{N \sum S - \sum S \sum Q}{N \sum Q^2 - (\sum Q)^2} \quad (\text{B-7})$$

$$\text{幂指数曲线型: } \lg a = \frac{\sum \lg Q - b \sum \lg S}{N}, \quad \frac{1}{b} = \frac{N \sum \lg Q \lg S - \sum \lg Q \sum \lg S}{N \sum (\lg S)^2 - (\sum \lg S)^2} \quad (\text{B-8})$$

$$\text{对数曲线型: } a = \frac{\sum Q - b \sum \lg S}{N}, \quad b = \frac{N \sum Q \lg S - \sum Q \sum \lg S}{N \sum (\lg S)^2 - (\sum \lg S)^2} \quad (\text{B-9})$$

N 为钻孔抽水试验降深次数。将参数 a , b 及设计的水位降深 S 设计值代入原方程, 即可外推矿山不同水平(或中段)的涌水量 Q 。

B.5 井径换算

由于抽水试验的钻孔孔径远小于井筒直径, 为消除井径的影响, 应在预测井筒涌水量时进行井径换算。

根据稳定井流理论中, 不同地下水运动(层流、紊流)状态下井径与涌水量关系进行换算, 公式如下:

$$\text{层流: } Q_{\text{井}} = Q_{\text{孔}} \left(\frac{\lg R_{\text{孔}} - \lg r_{\text{孔}}}{\lg R_{\text{井}} - \lg r_{\text{井}}} \right) \quad (\text{B-10})$$

$$\text{紊流: } Q_{\text{井}} = Q_{\text{孔}} \sqrt{\frac{r_{\text{井}}}{r_{\text{孔}}}} \quad (\text{B-11})$$

式中： $Q_{\text{井}}$ 为井筒涌水量， $Q_{\text{孔}}$ 为抽水孔的出水量， $R_{\text{井}}$ 为井筒的引用影响半径， $R_{\text{孔}}$ 为抽水孔的引用影响半径， $r_{\text{井}}$ 为井筒的半径， $r_{\text{孔}}$ 为抽水孔的半径。实践表明，井径对涌水量的影响一般比对数关系大，比平方根关系小。可用多个井径、每一井径的二次或二次以上落程的抽水试验资料，建立由井径 d 换算涌水量的经验公式如下：

$Q = md^n$ ，式中：参数 m 和 n 可用最小二乘法求出。

附 录 C
(资料性附录)
相关分析法计算公式

C.1 回归方程的建立

根据矿山历次抽（放）水试验资料，推断 Q 是 r 和 s 的非线性增函数，据此设关系式：

$$Q = ar^{b_1}s^{b_2} \quad (C-1)$$

式中： Q —涌水量， m^3/h ；

s —相对稳定降深， m ；

r —虚构抽水大井组半径或观测孔至矿坑中心点距离， m ；

b_1 、 b_2 —分别是 r 、 s 的指数；

a —系数。

C.2 确定方程中的参数

据最小二乘法原理，用二元回归分析确定 b_0 、 b_1 、 b_2 。

$$b_1 = \frac{\square b_1}{\Delta} = \frac{L_{r'r'}L_{s's'} - L_{r's'}L_{s'Q'}}{L_{r'r'}L_{s's'} - (L_{r's'})^2} \quad (C-2)$$

$$b_2 = \frac{\square b_2}{\Delta} = \frac{L_{r'r'}L_{s'Q'} - L_{r's'}L_{r'Q'}}{L_{r'r'}L_{s's'} - (L_{r's'})^2} \quad (C-3)$$

$$b_0 = \bar{Q}' - b_1\bar{r}' - b_2\bar{s}' \quad (C-4)$$

$$\text{得回归方程： } Q' = b_0 + b_1r' + b_2s' \quad (C-5)$$

用相关系数 R 来表示三个变量线性关系的密切程度。按相关系数定义， $R = \sqrt{\frac{U}{L_{yy}}}$ 表示回归平方

和在总变差中所占比值，式中 U 是回归平方和。一般情况下

$$L_{yy} = \sum y^2 - \frac{1}{N}(y)^2$$

$$U = \sum_{i=1}^N (\hat{r}_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^K b_i L_{ty}$$

式中， K 为自变量个数。

$$R = \sqrt{\frac{b_1 L_{r'Q'} + b_2 L_{s'Q'}}{L_{Q'Q'}}} \quad (C-6)$$

$$\text{式中， } L_{Q'Q'} = \sum Q'^2 - \frac{1}{N} (\sum Q')^2$$

R 的取值是 $0 < |R| \leq 1$ 愈接近 1，相关程度愈高，回归的规律性愈强，效果也愈好。一般 $R > 0.7$ 便认为可用。

计算精度用剩余均方根来衡量，

$$S = \sqrt{\frac{\sigma}{N-K-1}} = \sqrt{\frac{L_{yy} - \sum_{i=1}^K b_i L_{iy}}{N-K-1}} = \sqrt{\frac{L_{Q'Q'} - b_1 L_{r'Q'} - b_2 L_{s'Q'}}{N-K-1}} \quad (C-7)$$

式中各参数含义如下：

$$Q' = \lg Q$$

$$s' = \lg s$$

$$r' = \lg r$$

$$L_{Q'Q'} = \sum Q'^2 - (\sum Q')^2 / N$$

$$L_{s's'} = \sum s'^2 - (\sum s')^2 / N$$

$$L_{r'r'} = \sum r'^2 - (\sum r')^2 / N$$

$$L_{Q's'} = \sum Q's' - [(\sum Q')(\sum s')] / N$$

$$L_{Q'r'} = \sum Q'r' - [(\sum Q')(\sum r')] / N$$

$$L_{s'r'} = \sum s'r' - [(\sum s')(\sum r')] / N$$

$$\Delta = L_{r'r'} L_{s's'} - (L_{r's'})^2$$

$$\square b_1 = L_{r'Q'} L_{s's'} - L_{r's'} L_{s'Q'}$$

$$\square b_2 = L_{r'r'} L_{s'Q'} - L_{r's'} L_{r'Q'}$$

σ 为剩余平方和， K 为自变量个数，对于我们所解的问题 $K=2$ ； N 是所有参与计算的观测数据组数（一个涌水量对应一个降深，称为一组数据）； S 表示除自变量对因变量的线性影响外，因变量值随机波动平均变量的大小， S 的取值应当愈小愈好。

附 录 D
(资料性附录)
水均衡法常用公式

D.1 天然条件下地下水均衡方程的建立

对于地下水来说,天然条件下,地下水的补给与排泄始终处于动态平衡状态。在一个水文年内,地下水补给量大于排泄量,地下水储存量增加,水位上升;地下水排泄量大于补给量,地下水储存量减少,水位下降。以无压含水层重力储水为例,公式为

$$Q_1 - Q_0 = \mu F \Delta H \quad (D-1)$$

式中: Q_1 -均衡时段内地下水系统的天然补给总量, m^3 ;

Q_0 -均衡时段内地下水系统的天然排泄总量, m^3 ;

μ -含水层给水度, %;

F -均衡区含水层的分布面积, m^2 ;

ΔH -均衡时段内地下水水位变化幅度, m 。

一个水文年内的地下水补给量和排泄量总处在变化状态,地下水水位随补给与排泄关系有所变化,但从多年来看,地下水补给量和排泄量基本上是相等的,即天然条件下,地下水多年天然补给量等于多年天然排泄量。天然条件下,地下水的均衡方程为:

$$Q_1 = Q_0$$

D.2 补给来源分析

详细分析矿区地下水来源,分别计算不同补给来源的矿坑涌水量,总涌水量等于各部分涌水量的总和。以降水补给为主的露天采矿场(图D-1)为例,假定采矿场周围漏斗范围外的地表水汇入采矿场的径流量为0:

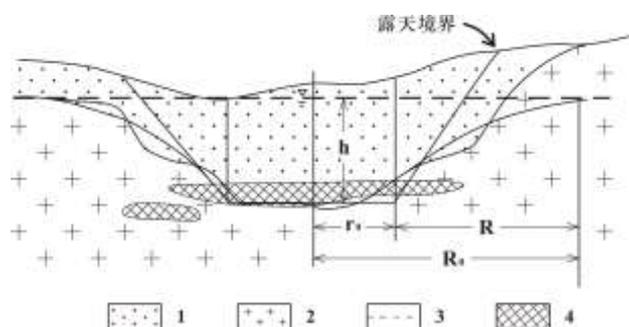


图 D-1 ××矿区示意剖面图

1-砂砾潜水层; 2-基岩裂隙潜水层; 3-水位; 4-矿体

r_0 -采场底板半径; R_0 -影响半径, $R_0 = r_0 + h$; h -疏干水位标高

D. 2. 1 含水层储量 Q_1

(1) 露天采场面积上储存量的消耗量 q_1

$$q_1 = \frac{W}{t_1} = \frac{\mu V}{t_1} = \frac{\mu A h_{cp}}{t_1} \quad (D-2)$$

式中： W - 露天采场内被疏干的水量， m^3 ；

V - 露天矿内含水层被剥离疏干的体积， m^3 ；

μ - 含水层的给水度或裂隙度；

t_1 - 疏干时间， d ；

A - 采场内被剥离含水层的面积， m^2 ；

h_{cp} - 采场内含水层平均疏干厚度， m 。

(2) 采场周围降落漏斗范围内的储存量的消耗量

$$q_2 = \frac{RL\mu h_{cp}}{3t_1} \quad (D-3)$$

式中： R - 疏干时形成的降落漏斗的影响半径，由采场边缘轮廓线算起， m ；

L - 疏干地段（采场边缘）的周长， m 。

储存量的总消耗量： $Q_1 = q_1 + q_2$ 。

D. 2. 2 降水补给量 Q_2

(1) 直接降落在露天采场内的大气降水量 q_3

$$q_3 = \frac{XF_1}{t} \quad (D-4)$$

(2) 采场外围降水渗入量 q_4

$$q_4 = \frac{\alpha XF}{t} \quad (D-5)$$

式中： X - 年平均降水量（一般取丰水年资料）， m ；

F_1 -露天采矿场的面积, m^2 ;

t -一年时间, d ;

F -露天采场外矿坑积水面积 (即降落漏斗范围, 不包括 F_1), m^2 ;

α -大气降水渗入系数。

$$\text{总补给量: } Q_2 = q_3 + q_4。 \quad (D-6)$$

$$\text{采矿场总涌水量: } Q = Q_1 + Q_2 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4。 \quad (D-7)$$

如果露天矿除有降水补给外, 还有地表水补给时, 则上式中应再加上 q_5

$$q_5 = Y_1 - Y_2$$

式中: Y_1 、 Y_2 是河流流入和流出矿区的流量, m^3/d 。

同理, 当还有其它补给水源时, 都应当参加水均衡计算。

附录 E

(资料性附录)

解析法模型建立及常用计算公式

E.1 建立水文地质概念模型

在查清水文地质条件的前提下，将复杂的实际问题概化。包括三个方面：分析疏干流场的水力特征，合理概化边界条件，正确确定各项参数。

E.1.1 分析疏干流场的水力特征

矿区的疏干流场是在天然背景条件下，叠加开采因素演变而成。分析时，应以天然状态为基础，结合开采条件作出合理概化。

1. 区分稳定流与非稳定流。矿山基建阶段，疏干流场的内外边界均受开拓井巷的扩展所控制，以消耗含水层储量为主体，属非稳定流。进入回采阶段后，井巷轮廓大体已定，疏干流场主要受外边界的补给条件控制，当存在定水头（侧向或越流）补给条件时，矿坑水量被侧向补给量或越流量所平衡，流场特征除受气候的季节变化影响外，呈现相对稳定状态。基本符合稳定的“建模”条件，或可以认为两者具有等效性；反之，均属非稳定流范畴。

2. 区分达西流与非达西流

一是暗河管道岩溶充水矿床，地下水运动为压力管道流与明渠流；分水岭地段的充水矿床，矿坑涌水量直接受垂向入渗降水强度控制，与水位降深无关。两者均与解析法的“建模”条件相距甚大。

二是局部状态的非达西流，常发生在大降深疏干井巷附近与某些特殊构造部位，它只对参数计算与参数的代表性产生影响。不存在解析法的应用条件问题。

3. 区分平面流与空间流

严格讲，在大降深疏干条件下，地下水运动的垂向速度分量不能忽略（为三维空间流），其分布范围仅限于井巷附近（为含水层厚度的 1.5~4.75 倍）。在矿坑涌水量预测中，大多将其纳入二维平面流范畴，可根据井巷类型作出不同概化。

坑道系统一般以近似的径向流概化；当坑道系统近于带状的狭长条形时，也可概化为剖面流。

对于倾斜坑道，已证明坑道的倾斜对涌水量影响不大，可根据坑道的倾斜度，分别按竖井或水平巷道进行近似。即：若坑道倾斜度 $>45^\circ$ 时，视其与竖井近似，用井流公式计算；若坑道倾斜度 $<45^\circ$ 时，则视其与水平巷道相相似，用单宽流量公式计算。

4. 区分潜水与承压水

矿坑在降压疏干时，往往出现承压水转化为潜水或承压-无压水。此外，在陡倾斜含水层分布的矿区，还可能出现坑道一侧保持原始承压水状态，而另一侧却由承压水转化为无压水或承压-无压水的现象。概化时，需从宏观角度作等效的近似处理。

E.1.2 边界条件的概化

由于理想化要求与实际条件相差甚远，边界条件的概化成为解析法应用中的难点，也是解析法预测矿坑涌水量的重要环节。

1. 周边边界的概化

解析法要求将复杂的周边边界补给条件概化为隔水与供水两种进水类型；同时，将不规则的边界形态，简化为规则的。但实际问题中一般难以具有上述理想条件，其进水条件常常既不完全隔水，又不具

有无限补给能力，它的分布也极不规则。为此，必须通过合理的概化，缩小理论与实际的差距，满足近似的计算要求。其要点是：

(1) 立足于整体的概化效果：隔水/透水边界，或半无限直线、直交、斜交、平行边界等；

(2) 以均衡为基础，用好等效原则。通过对概念（如相对隔水边界、近似定水头边界）寻找近似处理的途径；或根据等效原则将垂向越流补给和侧向补给共同构成定水头边界，将局部进水口概化为区域进水边界等。但这些等效原则的应用，必须建立在区域水均衡条件论证的基础上，并涉及参数的优化处理。

(3) 充分考虑开采因素。疏干流场始终处于补给量与疏干量不断变化的动平衡状态，随着开采条件的变化，边界的位置及其进水条件常发生转化。

(4) 边界几何形态的概化。

(5) 边界概化应把重点放在主要供水边界上，简化隔水边界的形状影响一般不大。

2. 内边界的概化

即概化井、钻孔或巷道系统的进水边界；确定大井法引用半径 r_0 、影响半径 R ，引用影响半径 R_0 。

(1) “大井”的引用半径 r_0

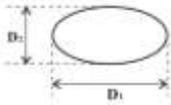
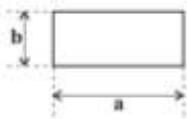
在一般情况下用下式表示：

$$r_0 = \sqrt{\frac{F}{\pi}} = 0.565 \sqrt{F} \quad (\text{E-1})$$

式中， F 为坑道系统分布范围所圈定的面积。确切地说，近似等于为保证井田设计生产率所必需的坑道所圈定面积的大小，或者以降落漏斗距坑道最近处的封闭等水位线所围起来的面积。如果开采面积近于圆形、方形时，采用上式较准确，对于形状特别的面积，可采用以下专门公式计算。

解析法预算涌水量要求：坑道系统的长度与宽度的比值应小于 10。根据中段坑道系统（或基坑）形态，引用半径计算公式见表 E-1。

表 E-1 不同坑道形态引用半径计算公式

	长条形 (缝口型)	$r_0 = \frac{S}{4} = 0.25S,$ S -基坑长度	当宽/长 $\rightarrow 0$ 时方 适用；
	椭圆形	$r_0 = \frac{D_1 + D_2}{4},$ D_1 、 D_2 -椭圆长轴及短轴长度	
	矩形	$r_0 = \eta \frac{a + b}{4},$ 长 a ，宽 b	η 取值见表 E-2

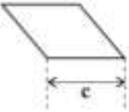
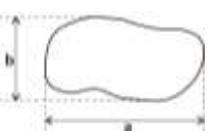
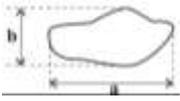
	方形	$r_0 = 0.59a$	边长 a
	菱形	$r_0 = \eta \frac{C}{2}$, C -菱形边长	η 取值见表 E-3
	不规则圆形	$r_0 = \sqrt{\frac{F}{\pi}}$, F -中段坑道系统面积, m^2 ;	长宽之比 $\frac{a}{b} < 2 \sim 3$
	不规则多边形	$r_0 = \frac{P}{2\pi}$, P -中段坑道系统周长, m ;	长宽之比 $\frac{a}{b} < 2 \sim 3$

表 E-2 矩形坑道引用半径中 η 取值表

b/a	0	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	≥ 0.6
η	1.00	1.05	1.08	1.12	1.144	1.16	1.174	1.18

表 E-3 菱形坑道引用半径中 η 取值表

θ	0°	18°	36°	54°	72°	90°
η	1.00	1.06	1.11	1.15	1.17	1.18

(2) “大井”的影响半径 R

常用的经验公式为:

承压含水层 (吉哈尔经验公式): $R = 10S\sqrt{K}$; (E-2)

潜水含水层 (库萨金经验公式): $R = 2S\sqrt{H_0K}$ 。 (E-3)

式中: H_0 —含水层的初始水头高度, m ;

K —渗透系数, m/d ; k -渗透系数, m/s ;

S —矿坑内地下水位设计降深, m 。

半经验公式: 所有含水层 (钱学溥半经验公式): $R_0 = \sqrt{\frac{Q}{\pi M_0}}$ (E-4)

式中: M_0 —地下水补给模数, $L/(s \cdot km^2)$;

F —补给面积, km^2 ; $F = \pi R_0^2$;

Q —矿坑排水量, m^3/d ; $Q = M_0 \times F$;

R_0 —矿坑排水地下水引用影响半径, m ;

表 E-4 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 ($\text{L}/\text{s} \cdot \text{km}^2$)	0.1~0.3	0.3~1.0	0.5~2.0	0.5~5.0

(3) “大井”的引用影响半径 R_0

根据等效原则, 将疏干量与补给量相平衡时出现的稳定流场, 其边界用一个引用的圆形等效外边界进行概化, 其与“大井”中心的水平距离称为引用影响半径 R_0 。

$$R_0 = R + r_0$$

在稳定流条件下, R_0 是一个常量, 也称补给半径。在非稳定流条件下, R_0 是一个不断变化着的变量。

E. 1. 3 最大疏干水位降深的确定

矿坑涌水量预测时, 最大疏干水位降 S_{\max} 一般按下述原则确定:

1. 对层状矿山, S_{\max} 为先期开采地段内平均静止水位高程与第一开采水平高程值差;
2. 对非层状矿山, S_{\max} 为首采地段内平均静止水位高程与开采中底板高程值差。

E. 1. 4 确定水文地质参数

水文地质参数包括渗透系数、给水度、导水系数等, 主要通过抽水试验获得。需注意以下几点:

1. 试验孔的布置必须考虑试验区的水文地质条件和未来的计算方案;
2. 观测孔的布置要考虑将来观测数据能否利用或便于利用;
3. 抽水试验与延续时间要合理;
4. 计算公式的建立或选择必须符合试验区的水文地质条件, 不能随意套用无限含水层的计算公式。

当水文孔涌水量很小、难以完成抽水试验时, 可以参考附近已有相同含水岩组的其他勘查成果, 以及相邻矿区的抽水试验成果, 但应说明取得的水文地质参数的可靠性。

E. 2 建立数学模型

以完整井为基础, 建立稳定流数学模型。

E. 2. 1 大井法稳定流数学模型

常用于倾角 $\geq 45^\circ$ 的层状矿体。

$$\text{承压水完整井裘布依公式 (Dupuit 公式): } Q = \frac{2.73KMS}{\lg R_0 - \lg r_0} \quad (\text{E-5})$$

$$\text{潜水完整井裘布依公式 (Dupuit 公式): } Q = \frac{1.366K(2H-S)S}{\lg R_0 - \lg r_0} \quad (\text{E-6})$$

$$\text{承压转无压完整井裘布依公式 (Dupuit 公式): } Q = \frac{1.366K(2S-M)M}{\lg R_0 - \lg r_0} \quad (\text{E-7})$$

式中: Q —矿坑涌水量, m^3/d ;

K —渗透系数, m/d ;

M —含水层厚度, m ;

S —水位降深, m ;

H —潜水水层高度, m ;

r_0 —巷道系统(大井)引用半径, m ;

R —抽水孔或矿坑排水地下水影响半径, m ;

R_0 —矿坑排水地下水引用影响半径, m ;

E. 2. 2 水平廊道法稳定流数学模型

常用于倾角 $<45^\circ$ 的层状矿体。

$$\text{承压水廊道法公式 (双侧进水): } Q = \frac{2BKMS}{R} \quad (\text{E-8})$$

$$\text{潜水廊道法公式 (双侧进水): } Q = \frac{BK(2H-S)S}{R} \quad (\text{E-9})$$

$$\text{承压转无压廊道法公式 (双侧进水): } Q = \frac{BK(2S-M)M}{R} \quad (\text{E-10})$$

式中: B —廊道水平长度, m ;

R —廊道排水地下水影响半径, m 。

附 录 F
(资料性附录)
数值模拟及计算公式

F.1 将渗流区剖分成单元

F.1.1 单元剖分过程中,一般来说,水文地质条件变化大(如水力坡度大、非均质程度高)及重要的工程地段可适当加密剖分。井、泉、矿坑突水点以及水位观测孔尽量剖分在节点上(剖分在单元内也可以,但处理起来稍麻烦一些,计算精度一般也稍低一点)。观测孔不要与大的出水点(特别是主抽水井)剖分在一个单元上(包括单元的周边和顶点),大出水点附近及抽水试验初期的水位不宜用来拟合求参。

F.1.2 用有限个结点水头表示连续的水头函数 $H(x, y, z, t)$ 。

F.1.3 在离散化的基础上,从微分方程(或积分方程)出发,或直接从水均衡的原理出发,建立起每个结点的水头与周围结点水头之间的关系式,一般为线性关系式。

F.1.4 把分别对每个结点建立的方程合在一起,再利用定解条件使它成为存在唯一解的方程组。

F.1.5 解这一方程组,得到各结点的水头值。

F.1.6 若为稳定流,则这些结点水头即表现出稳定水压面或潜水面;若为非稳定流,则需把时间也离散化,看成一系列的“稳定流”,重复前两个步骤求解。结果得到各个结点的未知水头在一系列时刻的瞬时值,并以此来代表所需求的非稳定水压面或潜水面。

F.1.7 研究 Q 、 S 、 t 三者之间的关系,通常是先给定流量,然后计算降深(S)随时间(t)的关系,若结果不符合工程要求,则重新给定流量,再进行计算。这样就给出若干个 Q 、 S 、 t 不同方案,以供选择。

F.2 有限差分公式

有限差分法的实质就是用差分方程近似代替偏微分方程,把定解问题转化为一个线性代数方程组。矿坑涌水量二维承压非稳定流问题,其方程为:

$$Q = \frac{\partial}{\partial x} (T_{xx} \frac{\partial H}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (T_{yy} \frac{\partial H}{\partial y}) + \varepsilon = S \frac{\partial H}{\partial t} \quad (\text{F-1})$$

式中: Q 为矿坑涌水量; H 为水头高度; T_{xx} 、 T_{yy} 为分别为 x 轴和 y 轴主方向导水系数; S 为含水层的储水系数; ε 为单位时间、单位面积上进入含水层的水量,流入为正,流出为负。

F.3 有限元法基本公式

有限单元法最常用的是迦辽金法和里兹法，二者所建立的线性方程组是相同的。以里兹有限元法为例，从变分原理出发，通过区域剖分和分片插值，把求泛函的极值问题化为一组多元线性代数方程的求解问题。变分原理，就是把描述地下水运动的偏微分方程的求解，化为求某个泛函(指以函数作为自变量的函数)的极值问题。最简单、最常用的将渗流区域剖分成三角形单元和使用线性插值的方法。

F. 3. 1 稳定流问题的有限元解法

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x}(T_{xx} \frac{\partial H}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(T_{yy} \frac{\partial H}{\partial y}) + \varepsilon &= 0 && \text{(在 } D \text{ 上)} \\ H &= H_0 && \text{(在 } L_1 \text{ 上)} \\ T \frac{\partial H}{\partial x} &= q && \text{(在 } L_2 \text{ 上)} \end{aligned} \right\} \quad (F-2)$$

式中： D 为渗流区，即 L_1 和 L_2 所包围的研究区域(其中 L_1 为水头值 H 已给定的一类边界； L_2 为流入量强度给定的二类边界。见图 F-1。

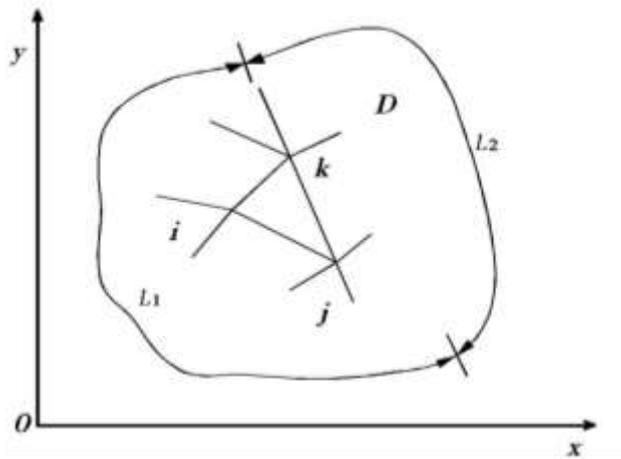


图 F-1 三角形单元示意图
i, j, k 为任一剖分单元的三个结点

此模型相应的变分问题是求泛函的极小值，即

$$I(H) = \frac{1}{2} \iint_D [T_{xx} (\frac{\partial H}{\partial x})^2 + T_{yy} (\frac{\partial H}{\partial y})^2 - 2\varepsilon H] dx dy - \int_{L_2} q H dl \quad (F-3)$$

F. 3. 2 非稳定问题的有限元解法

用有限元法解非稳定流问题时，要求将时间区间也进行离散化，即剖分成若干时间步长 Δt ，这

和差分法完全相同。以简单的二维非稳定流为例，变分问题是求泛函数的极限，即

$$I(H) = \iint_D \left[\frac{1}{2} T_{xx} \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{2} T_{yy} \left(\frac{\partial H}{\partial y} \right)^2 + \left(S_t \frac{\partial H}{\partial t} - \varepsilon \right) H \right] dx dy - \int H dl \quad (\text{F-4})$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial I_\Delta}{\partial H_i} = & \iint_\Delta \left[T_{xx} \frac{\partial H}{\partial x} \frac{\partial}{\partial H_i} \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right) + T_{yy} \frac{\partial H}{\partial y} \frac{\partial}{\partial H_i} \left(\frac{\partial H}{\partial y} \right) \right. \\ & \left. + \left(S_t \frac{\partial H}{\partial t} - \varepsilon \right) \frac{\partial H}{\partial H_i} \right] dx dy - \int_{L_\Delta} q \frac{\partial H}{\partial H_i} dl \end{aligned} \quad (\text{F-5})$$

式中： H 为水头高度； T_{xx} 、 T_{yy} 为分别为 x 轴和 y 轴主方向导水系数； S_t 为含水层的储水系数； ε 为单位时间、单位面积上垂向进入含水层的水量，流入为正，流出为负。

附 录 G
(资料性附录)
露天矿坑涌水量计算公式

G.1 地表水汇入采坑水量的计算

$$Q_2 = F \times P \times \alpha \quad (G-1)$$

式中： Q_2 —地表水汇入采坑雨量， m^3 ；

F —采坑上游汇水面积， m^2 ；

P —降雨量， m ；

α —地表径流系数（可以实测或是采用经验值 0.4~0.7）；

在地形条件允许的条件下，应施工截水沟，以减少地表水汇入采坑的水量。

G.2 降入采坑水量的计算

G.2.1 直接降落在露天采坑中的降雨量（ Q_3 ），应进行年（日）平均降雨量的计算和最大日降雨量计算。

G.2.2 年（日）平均降雨量。正常气候条件下降入采坑的水量，可根据需要计算年平均降雨量和雨季日平均降雨量。

$$Q_3 = F \times X \quad (G-2)$$

式中： Q_3 —降入采坑水量， m^3 ；

F —露天矿坑的面积， m^2 ；

X —年平均降雨量（或雨季日均降雨量）， m ；

G.2.3 最大日降雨量。极端气候条件下降入采坑的水量，应有频率的概念。根据一日最大降雨量，通过设计频率的计算，计算直接降落在露天采坑中、不同频率的降雨量。

G.2.3.1 计算公式：

$$Q_p = F \cdot H_p \quad (G-3)$$

Q_p —设计频率暴雨径流量(m^3/d)。

H_p —设计频率暴雨量(m)。

F —露天矿坑的面积 (m^2)。

其中：

$$H_p = S_p t^{1-n} \quad (G-4)$$

$$S_p = \frac{\bar{H}(1 + \phi C_v)}{t^{1-n}} \quad (G-5)$$

式中： S_p —频率为 P 的暴雨强度(mm/min)；

t —降水历时(min)。如记录为日最大降水量，则 $t=24 \times 60=1440$ (min)；

n —暴雨强度递减指数。由当地 n 值等值线查取；

\bar{H} —历年日最大降雨量平均值(m)；

ϕ —皮尔逊III型曲线 (P-III型曲线) 的离均系数，为频率 P 与 C_s 的函数；

C_s —偏差系数。 C_s 一般是 C_v 的 3-5 倍，根据不同地区情况确定；

C_v —变差系数，

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum(K-1)^2}{N-1}} \quad (G-6)$$

K —变率，

$$K = \frac{H}{\bar{H}} \quad (G-7)$$

H —统计系列中某年最大降雨量；

N —统计年数。

G. 2. 3. 2 设计频率的选取

露天矿排水设计频率 (P) 标准，对一般矿山，可根据矿山规模按设计暴雨常用频率选用，一般选用设计暴雨频率 P 为 2%、5%、10%，相应重现期分别为 50 年一遇、20 年一遇、10 年一遇。

G. 3 露天采坑涌水量的比拟计算

露天开采，开采下一个水平 (或中段)，采坑的地表境界面积和坑底境界面积，可能有所变化。计算下一个开采水平 (或中段) 的矿坑涌水量，可以利用以下几个公式：

$$\text{露天采坑地下水涌水量：} Q = Q_0 \sqrt{\frac{FS}{F_0 S_0}} \quad (G-8)$$

地表水汇入采坑水量，一般不变： $Q = Q_0$

$$\text{降入采坑的水量：} Q = Q_0 \frac{A}{A_0} \quad (G-9)$$

式中： Q_0 —目前开采水平 (或中段) 采坑地下水涌水量， m^3/d ；

A_0 —目前开采水平（或中段）采坑的地表境界面积， m^2 ；

F_0 —目前开采水平（或中段）采坑坑底境界面积， m^2 ；

S_0 —目前开采水平（或中段）采坑地下水位降深， m ；

Q —下一个开采水平（或中段）采坑地下水涌水量， m^3/d ；

A —下一个开采水平（或中段）采坑的地表境界面积， m^2 ；

F —下一个开采水平（或中段）采坑坑底境界面积， m^2 ；

S —下一个开采水平（或中段）采坑地下水位降深， m 。

参 考 文 献

- [1] GB/T17766 固体矿产资源储量分类
 - [2] GB/T19492 石油天然气资源储量分类
 - [3] GB 12719 矿区水文地质工程地质勘探规范
 - [4] GB51060 有色金属矿山水文地质勘探规范
 - [5] 水文地质手册.地质出版社.1978
 - [5] 矿床水文地质学.地质出版社,1992
-