

地下厂房洞室群排水系统渗流量的粗略估算方法

许孝臣¹, 盛金昌¹, 何淑媛¹, 速宝玉¹, 詹美礼¹, 左晓翠²

(1. 河海大学水利水电工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 枞阳县水利局, 安徽 枞阳 233400)

摘要 采用等效的方法把整个排水系统作为一个大井来考虑, 用现有的单井流量公式估算厂房排水系统的出渗流量, 讨论了等效半径、影响半径等的确定方法以及边界条件的影响。结合已建成的地下厂房所处的具体条件, 给出了计算值与实测流量的对比, 计算结果表明: 该方法得到的结果能够满足初步设计阶段的精度要求, 能够为地下厂房集水井和选泵等设计提供依据。

关键词 地下厂房 洞室群 排水系统 渗流量 近似算法

中图分类号: TV139.14 文献标识码: B 文章编号: 1006-7647(2008)04-0065-03

Approximate calculation of seepage discharge from drainage system of underground power station // XU Xiao-chen¹, SHENG Jin-chang¹, HE Shu-yuan¹, SU Bao-yu¹, ZHAN Mei-li¹, ZUO Xiao-cui² (1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Water Conservancy Bureau of Zongyang County, Zongyang 233400, China)

Abstract: An approximate method for calculating the seepage discharge from the drainage system of an underground power station is proposed, in which the drainage system is simplified as an equivalent big well and an existing flux formula of a single well is applied. The determination of the equivalent radius and influence radius in the formula are discussed in detail. Through comparison of the seepage discharge of the calculated results and the tested results, it is concluded that the method proposed in this paper can meet the accuracy requirements of preliminary design and provide a basis for design of a catch pit and pump selection for an underground power station.

Key words: underground power station; cavern group; drainage system; seepage discharge; approximate algorithm

由于地下厂房洞室群排水系统极其复杂, 且水文地质条件多变, 使得地下厂房排水系统渗流量的计算十分困难, 目前比较多地采用有限元法来进行计算^[1]。而有限元法计算工作量相当大并且不易被工程设计人员掌握, 因此目前只有一些大型水电工程才由有关科研单位进行三维渗流计算分析, 众多的地下洞室工程由于各种原因均难以进行渗流量的计算。由于有关设计规范(如 SL266—2001《水电站厂房设计规范》)中均没有地下厂房排水系统渗流量的计算方法, 故很多设计只是根据经验来进行抽水泵和集水井的设计。因此需要寻求一种简便适用的方法来粗略估算地下洞室的渗流量。

估算渗流量的方法有基于达西定律的面积法或剖面法^[2-3], 或者是流网法, 在基坑排水中有利用等效方法的近似估算方法^[4-5]。地下厂房洞室群排水系统要比基坑排水系统复杂得多, 很显然, 精确计算洞室群排水系统渗流量是一个很困难的问题。本文

将介绍一种能够比较简单地计算地下厂房洞室渗流量的粗略估算方法。

1 计算方法

1.1 基本假定

为了使问题简化, 便于公式的建立和渗流量的估算, 提出如下假定:

a. 地下厂房一般由三大洞室(主厂房、主变洞、尾水调压室)组成, 在这三大洞室周围除了防渗措施外, 还布置了大量的排水设备(多层排水廊道、排水孔幕、基础排水孔等)^[6], 这些排水设施和洞室壁面一起构成了地下洞室群的排水系统。把包围三大洞室及排水设备在内的这些区域等效成为一个大的排水井, 以便采用井流理论进行估算。

b. 地下厂房洞室一般要求发电机层所处的上部结构干燥, 因此可以假设地下水洞室壁面的出逸点必须在发电机层下。

基金项目: 国家自然科学基金(50779012); 教育部留学回国人员科研启动基金; 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家专业实验室开放基金(GZ2005-02)

作者简介: 许孝臣(1982—), 男, 山东东营人, 硕士研究生, 从事流固热化学多场耦合研究。E-mail: xiao123shen@163.com
水利水电科技进展 2008 28(4) Tel: 025-83786335 E-mail: jz@hhu.edu.cn http://hkb.hhu.edu.cn · 65 ·

c. 一般情况下,地下洞室群位于深厚的渗透性较小的岩层中,排水系统的排水效应只能影响到某深度,在该深度以下不受排水的影响,这个深度称为有效影响带。

1.2 估算公式的建立

根据以上假定,可以建立分析模型如图 1 和图 2 所示。借鉴井流分析理论,地下洞室群排水系统的等效半径按下式计算^[5]:

$$r=\sqrt{\frac{A}{\pi}} \tag{1}$$

式中 A 为排水廊道围成的面积加上调压室的面积。实际上,虽然单个洞室呈狭长形,但是地下厂房区一般由三大洞室加上周围复杂的排水系统构成(图 1),这些区域在平面分布上通常接近于方形,这里笔者把它等效成圆形,其排水量借用井流理论进行计算。这一做法通常也被应用于基坑的排水分析^[4]。

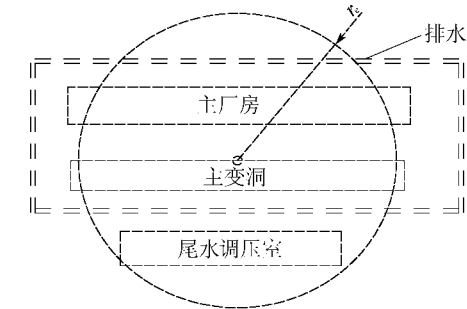


图 1 地下洞室等效示意图

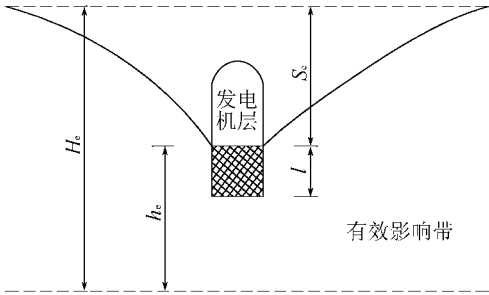


图 2 地下洞室稳定渗流计算示意图

把三大洞室及排水设施等效成一个圆柱体,就可以按照井流理论来分析。因此可以根据假定,采用扎马林-费尔赫格-依麦尔公式计算^[4]:

$$Q=\frac{\pi k\left(H_e^2-h_e^2\right)}{\ln \frac{R}{r_e}} \sqrt{\frac{l}{h_e}} \sqrt{\frac{2 h_e-l}{h_e}} \tag{2}$$

式中: k 为渗透系数; r_e 为井的等效半径; R 为影响半径; l 为渗出处长度; h_e 为有效深度与降深之差; H_e 为有效深度,与水面降深和过滤出渗段的长度有关,可参考文献 4 确定。

1.3 影响半径的确定

地下厂房所处的水文地质条件一般比较复杂,

因此影响半径的确定比较困难,且对结果的影响较大。影响半径是指在排水设备工作开始后,在排水设备周围的一定距离形成漏斗状的地下水降落面,当它趋于稳定状态时,超出某一距离的原始地下水位不受排水的影响,从排水系统中心算起的这一影响距离通常称为影响半径。影响半径是水文地质学者陈雨荪针对大区域地下水开采的情况提出来的一个特定概念,但影响半径这一概念早已被引入工程排水井计算中,并得到广泛应用,有关内容可参考文献[4]。本文针对水电工程地下厂房区的排水问题,分以下 2 种情况来确定影响半径的大小。

1.3.1 地下洞室附近无水源补给

这时认为地下厂房洞室位于无限大的平面中,由于只考虑渗水处于稳定状态时的渗流量,且为无压渗流,所以 R 用趋于稳定流时的库沙金公式计算^[4]:

$$R=2 S_e \sqrt{H_e k} \tag{3}$$

式中 S_e 为降深。

1.3.2 地下洞室附近有水源补给

地下厂房一般都位于水库下游,都有水源补给。但是随着补给边界形状和条件的不同,影响半径的确定方法也不同,如图 3 所示^{[4][7]},图 3 给出了地下洞室几种经常遇到的边界条件。当洞室与库岸之间有防渗帷幕时,影响半径等于洞室至库岸的水平距离加上 2.0 倍左右的帷幕垂直深度;在给水边界的情况下,用上述方法确定的影响半径小于用库沙金公式计算的影响半径时,则用上述方法确定的影响半径;反之,用库沙金公式计算的影响半径。

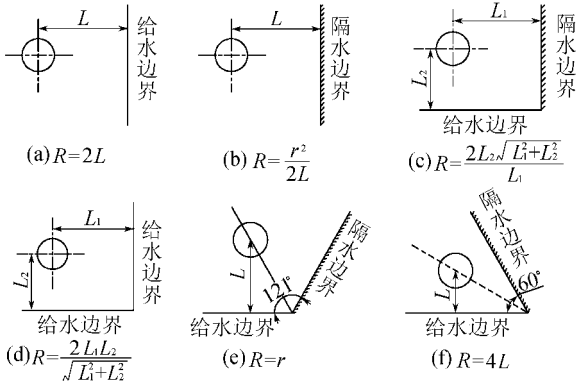


图 3 几种边界条件的影响半径计算
(r 为库沙金公式计算的影响半径)

在图 3 中 (a)~(d) 情况下的影响半径可以根据文献 4 确定 (e) 和 (f) 情况下的影响半径确定如下:

根据叠加原理^[8-9],可得到干扰井的计算公式:

$$Q_1 \ln \frac{R_1}{r_1}+Q_2 \ln \frac{R_2}{r_2}+\ldots+Q_n \ln \frac{R_n}{r_n}=$$

$$\pi k (H_e^2 - h_e^2) \sqrt{\frac{l}{h_e}} \sqrt{\frac{2h_e - l}{h_e}} \quad (4)$$

根据镜像原理,可得其镜像井的计算简图,如图4所示。

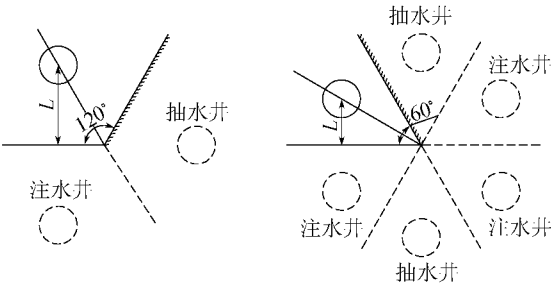


图4 镜像井示意图

根据干扰井的计算公式及镜像示意图可以容易地推导出2种情况下影响半径的确定公式。

1.4 关于公式应用的说明

只有在比较简单和规则的边界条件下才能推导出影响半径的确定公式,如图3所示的几种情况。但在实际情况中并不完全符合上面介绍的几种情况,那么按照近似的方法,与哪种情况比较相似就采用哪种公式。

2 工程实例分析

溪洛渡水电站是长江上游金沙江干流攀枝花市至宜宾市河段开发规划中的第3个梯级水电站。工程电站开发以发电为主,同时还具有拦沙、防洪、改善下游航运等综合功能,将对开发西部、促进西南地区的发展,发挥重要的作用。坝区上起豆沙溪沟口,下至溪洛渡沟口,全长约4.0 km,坝址位于溪洛渡峡谷中段。枢纽坝址区河谷狭窄顺直,两岸山体雄厚,河谷地貌形态总体上呈V字形。坝区天然地下水位埋深大,坡度缓,并以金沙江为区域性浸蚀基准面和排泄地。岩体构造破坏较弱,未发现有较大的断层,主要为玄武岩、茅山组灰岩,渗透性较小。大坝上游水位高程为600 m,下游水位高程为381.28 m。

溪洛渡水电站的左右两岸都有厂房,本文只计算左岸地下厂房洞室的渗流量。首先利用式(1)计算地下洞室的等效半径,然后用本文讨论的有关影响半径的确定方法计算其影响半径,再计算有效影响深度等,代入扎马林-费尔赫格-依麦尔公式就可计算出地下厂房洞室的渗流量,计算结果如表1所示。

通过比较发现,采用等效大井的方法对地下洞室群排水系统进行渗流量的估算结果偏大一些,但是可以为地下厂房集水井和选泵等设计提供有价值的参考。

采用以上介绍的估算方法,分析其他2个工程

的地下洞室群渗流量,其计算值与实测值比较接近,结果如表1所示。

表1 典型工程地下洞室群渗流量计算值与实测值比较

工程名称	L/ m	k/ (cm·s ⁻¹)	等效面积/ m ²	R/ m	S _e / m	渗流量/(m ³ ·d ⁻¹)	
						实测值	计算值
溪洛渡水电站	30	7.5 × 10 ⁻⁵	85 950	3 407.7	250.0	4 062	5 260.7
宜兴水电站	25	8 × 10 ⁻⁵	24 246	4 297.8	317.5	5 000	5 664.2
二滩水电站	30	10 × 10 ⁻⁵	52 338	2 833.5	220.0	5 000	5 693.7

3 结 语

本文采用等效的思想把整个地下洞室群排水系统简化为一个等效的大井来考虑,用现有的单井流量公式估算厂房排水系统的出渗流量,大大简化了排水系统渗流量的计算工作。该方法简单方便,容易被工程设计人员掌握。

文中比较详细地讨论了其中有关尺寸(如等效半径、影响半径)的确定方法以及边界条件的影响。工程实例分析结果表明,该方法得到的结果能够满足初步设计阶段的要求,可以为地下厂房集水井和选泵等设计提供依据。该方法适用于众多行业地下洞室工程的排水设计。

把井流的概念直接应用到地下洞室渗流量的计算中可能在有关物理量的计算上有些出入,在今后的工作中还需要进一步的完善。

参考文献:

- [1]毛昶熙.井孔与井列的渗流数值计算[J].岩土力学,2002,23(3):257-262.
- [2]李桂平,安民,尚剑宝,等.吴家庄水库库区渗流量估算[J].山西水利科技,2000(增刊):45-46.
- [3]张文倬.岩石坝基防渗估算及排水降压[J].广西水利水电,1999(1):26-31.
- [4]毛昶熙.渗流计算分析与控制[M].北京:中国水利水电出版社,2003:166-222.
- [5]金亚兵.深基坑环状井点降水渗流量的计算[J].土工基础,2000,14(2):47-50.
- [6]李协生.地下水电站建设[M].北京:水利电力出版社,1993:21-45.
- [7]BEAR J.多孔介质流体动力学[M].李竟生,陈崇希,译.北京:中国建筑工业出版社,1983:236-266.
- [8]于德斌,田长水,徐力群.管井(群井)在基础施工中的应用[J].水利科技与经济,2003,9(2):139-140.
- [9]张昊,周欣波.浅谈井群降低地下水位的应用[J].江西水利科技,2002,28(4):246-248.

(收稿日期:2007-10-26 编辑:方宇彤)