

工程环境地质与岩土工程 论文选集

主 编 杨天民

副主编 栗怡然 陈 飞 孙连发 高桥芳 刘敬先

中国地质大学出版社

工程环境地质与岩土工程

论文选集

主 编 杨天民
副主编 栗怡然 陈 飞 孙连发
高桥芳 刘敬先

中国地质大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工程环境地质与岩土工程论文选集/杨天民主编. —武汉: 中国地质大学出版社, 1998. 6
ISBN 7-5625-1301-5

I. 工…

II. 杨…

III. ①水文、工程地质②环境地质③岩土工程④文集

IV. P642

出版发行 中国地质大学出版社 (武汉市喻家山·邮政编码 430074)

责任编辑 贾晓青 责任校对 杨 霖 版面设计 阮一飞

印 刷 中国地质大学出版社印刷厂

开本 787×1092 1/16 印张 11.5 字数 300 千字

1998 年 6 月第 1 版 1998 年 6 月第 1 次印刷 印数 1—850 册

定价: 20.00 元

ISBN 7-5625-1301-5/P·480

编辑委员会成员名单

主 编：杨天民

副 主 编：栗怡然 陈 飞 孙连发 高桥芳 刘敬先

特邀编审：晏同珍 刘广润 范士凯 邸作述 侯石涛 任自民

编 委（以姓氏笔画为序）：

 卜永洗 王继红 王尚庆 皮新林 朱金宝 李从华

 余新才 苏景中 杜兴国 姚永华 钟荫乾 赵思贤

 曹光荣 曹木生 徐扬青 程伯禹

执行编委：刘世凯 石 林 孙云志 张红秀

前 言

近年来,湖北省广大水文地质、工程地质和环境地质工作者围绕经济建设主战场,积极参与省境内外的各项岩土工程建设(如三峡大坝的兴建,三峡工程库区移民迁建新址的地质论证与崩塌滑坡的防治,南水北调工程勘测研究与论证,城市高层建筑、道路与桥梁的兴建等)的勘察、研究、试验,并运用电子计算机技术、3S技术、数值模拟试验和数值分析等方法,解决了各类工程地质问题,保证了工程建设顺利施工,节约了工程投资,同时也丰富了工程地质、环境地质理论与实践。为了系统总结和交流生产、科研成果,湖北省地质学会水文地质、工程地质及环境地质专业委员会及其挂靠单位——长江水利委员会综合勘测局,在各会员单位的大力支持下,于1997年10月23日至26日在宜昌——三峡库区召开了学术讨论会。

这次学术讨论会具有广泛的代表性,到会代表来自中央各部、委和省、市所属勘测、设计、施工、科研、院校等单位共46人。大会共收到论文60篇。有11位代表在大会上做了学术报告;还特邀了中国科学院地质研究所许兵教授做了题为“中国工程地质学的走向与着力”的专题报告,受到了与会代表的一致好评。

这次大会必将促进工程地质科技成果更好、更快地用于生产实践,为我省的各项工程建设服务。

大会收到的论文经编委会讨论审查,选出了其中有代表性的34篇,以工程地质、环境地质、岩土工程与新技术、新方法应用方面的内容为主,汇编成书,即《工程环境地质与岩土工程论文选集》。相信本书的出版对推动湖北省内以及其他地区和部门的学术交流与学科发展将起到积极的作用。在审稿、编辑与修改过程中,主编、副主编及各编委单位均给予了大力支持,任自民教授级高工、刘世凯副教授、石林高工、孙云志硕士、张红秀工程师等做了大量工作,在此一并表示谢意!

湖北省地质学会水文地质、工程地质及环境地质专业委员会
1998年3月16日

目 录

一、工程地质

- 黄河小浪底水库断裂构造与水库诱发地震研究 滕伟福 唐辉明 张聪辰 (3)
- 用渗流数值模拟试验确定围岩外水压力的一种新尝试——以盘石头水库右岸泄洪洞
渗流模型为例 孙连发 成建梅 马 腾等 (7)
- 道路软基工程中稳定问题的讨论 陆永青 刘世凯 (11)
- 鄂西山区滑坡滑带土抗剪强度参数的可靠性评价 孙仁先 (15)
- 碳酸盐岩区中小型水利水电工程库坝址的选择及其战略意义
..... 杨红刚 方继敏 魏 铭等 (19)
- 对襄樊膨胀土抗剪强度的进一步探讨 舒福华 (24)
- 黄陂县院基寺水库大、二坝渗漏原因分析及防渗处理效果检测
..... 杨先毅 梁树松 周发云 (28)
- 加纳北部省水文地质条件 马霄汉 (32)

二、环境地质

- 论自然灾害和环境效应 王智济 魏海燕 (39)
- 长江三峡库区水田坝断裂活动性研究 刘世凯 石 林 (45)
- 三峡库区重大崩塌滑坡监测预报及减灾对策的研究 钟荫乾 张年学 王尚庆 (50)
- 湖北省县(市)地质灾害防治规划工作简介 徐绍宇 钟荫乾 孙仁先 (55)
- 芜湖市软土的工程特性研究与地基承载力评价 欧湘萍 刘志强 (60)
- 湖北省地质灾害与防治对策 程伯禹 施伟忠 (65)

三、岩土工程

- 系统工程地质与长江三峡工程库区奉节县城新址规划 唐殿奎 (73)
- 路堤下粉喷桩复合地基的工作性能与设计方法 陆永青 刘大鹏 (78)
- 宜黄高速公路汉沙段变形机制研究方案初议 蔡鹤生 周爱国 聂品荔等 (83)
- 深基坑排桩支护结构不同设计计算方法的对比研究 徐扬青 范士凯 栗怡然 (87)
- 高承载力夯扩桩在武汉地区高层建筑中的应用研究 姚永华 陈宗年 (92)

武汉深基坑工程降低承压水水位的主要问题·····	苏景中	苏滔	(98)
安钢地区挤密灰土桩处理湿陷性黄土地基的试验研究·····	黄涛	刘敬先	吴跃刚等 (103)
葛上±500 kV 直流输电线路吉阳大跨越工程南塔岸坡治理岩土工程实录 ·····	曹光荣	刘滨	邱作述 (110)
预应力锚索加固三峡公路堑坡的设计与施工 ·····	李中仙	陈共贤	(118)
钢管混凝土桩倾斜度测定及质量控制 ·····	吴跃刚	章南	(124)
预应力锚杆在危险挡墙治理工程中的应用 ·····	张国银	吴跃刚	(130)
钻孔灌注桩后压浆技术的工程应用 ·····	曹木生		(135)
强夯置换法加固长江漫滩淤泥质软土层的效果分析与评价···	吕桂生	吴泽凡	邓小雄 (139)
强夯地基的硬壳层效应 ·····	粟怡然	邱友良	徐扬青 (146)
武汉软土地区深基坑工程降弱透水层承压水水位方法初探 ·····	闵爱华		(150)

四、新技术、新方法应用

长江三峡工程库区黄土坡滑体稳定性数值分析 ·····	傅永华	刘世凯	李勇 (157)
电渗-喷射井点降水在广州黄埔经济开发区应用的初步研究···	刘敬先	潘永祥	程祖益 (161)
应用 2S 技术分析大茅山公路隧道工程地质问题 ·····	许也平	詹才平	赵思贤 (167)
南水北调中线工程地质勘探数据库的设计过程及特点 ·····	张红秀		(171)

一、工程地质

黄河小浪底水库断裂构造与水库诱发地震研究

滕伟福 唐辉明 张聪辰

(中国地质大学, 武汉)

摘 要 黄河小浪底水库是举世瞩目的重大水利工程, 库坝区环境地质是重要的研究课题, 尤其水库诱发地震是急待进一步研究的重要内容。库区所处区域地质构造复杂, 断裂构造发育, 其中城崖地—新安断裂是库坝区最重要的活动性断裂, 它与塔底断裂一起控制了库坝区区域岩体稳定性, 石井河断裂也是库坝区内活动性或潜在活动性断裂, 它们是可能诱震断裂。本文通过对库坝区断裂构造展布规律、相互关系的分析, 以及断裂活动性探讨、可能诱震性研究, 初步得到了断裂构造与区域稳定性及水库诱发地震的关系。活动断裂及其交汇部位是水库诱发地震的震中位置, 库区中部为最危险地段。综合地质条件分析、地震地质与工程地质研究, 小浪底水库诱发地震的震级为 3~5 级, 诱震主震时间初步估计为 108~1 100 天。

关键词 黄河小浪底水库 断裂构造 水库诱发地震

第一作者简介 滕伟福, 男, 35 岁, 讲师, 在读硕士, 主要从事工程地质、岩土工程的教学与研究工作。

0 引言

黄河小浪底水库是举世瞩目的重大水利工程, 库坝区环境地质、断裂构造和水库诱发地震等问题的研究具有十分重要的实际工程意义。小浪底地区位于中条山、王屋山南麓, 为崤山东北余支, 西与运城盆地毗连, 东与华北平原相接。从区域地质背景来看, 本区处于秦岭东西向构造带、祁吕贺山字型构造及太行山新华夏三大体系的交接部位, 因而构造十分复杂, 体系多变。在这样的地质环境中, 分析、研究库坝区环境地质、工程地质问题就显得尤为迫切和重要。

1 区域新构造运动

区域上新构造活动主要表现为大面积间歇性升降与断裂继承性运动。新构造运动迹象有地形地貌、河流阶地、断裂活动和地震等。综合本区新构造运动迹象及其基本性质, 可归纳为如下基本特征:

(1) 继承性 本区新构造运动的基本构造格架是燕山期奠定和塑造的, 新构造运动具有明显的继承性, 区内各种构造如隆起、断陷、断裂等在燕山期至喜马拉雅期早期均已基本形成, 新构造只是这些构造的继承与发展, 其构造类型与展布方向与原构造体系密切相关。新构造断裂活动也以继承性活动为主。

(2) 差异性 由于不同类型构造运动的相互叠置, 使区内新构造运动具有明显的差异性, 如隆起区与断陷盆地并存, 新生界厚度变化大及其分布的局部性, 各新构造运动的类型和性

质明显不同,断裂活动在空间上存在着较大差异性。

(3) 间歇性 本区河流发育有Ⅲ至Ⅳ级阶地,反映出本区新构造运动具有多次间歇性抬升。新构造断裂的多期活动还反映出断裂活动的间歇性和周期性。

(4) 逐渐减弱趋势 本区阶地发育及区内无大规模第四纪断层等特征表明,本区新构造运动强度呈逐渐减弱趋势。

2 库坝区断裂构造

库坝区断裂构造由中部大型旋扭断裂系、北部平行断裂系和西部雁列断裂系所组成,各断裂系相互过渡并统一于区域构造应力场,构成了和谐的断裂构造网格体系。

2.1 旋扭断裂系

位于库区中部,以南村南震旦系坚硬岩石为旋扭核心,城崖地—新安区域二级大断裂为边界断裂,石井河断裂、曹庄断裂等一系列断裂为旋扭内部断裂。旋扭断裂系向南东方向撒开,并收敛于砥柱,控制面积在 $4\,000\text{ km}^2$ 以上,坝区包含于旋扭断裂系内,并逐渐向太行山断裂系过渡。

旋扭断裂系核部位于黄河以南,南村附近,岩性为震旦系坚硬岩石,地层产状呈圆圈状,并表现为圈层状结构。

城崖地—新安断裂呈钩状展布,它构成了旋扭断裂系的边界断裂,并控制了旋扭断裂系的展布形式、错动方式。断裂在地质历史时期多次活动,故旋扭构造的形成也经历了漫长的时期。断裂以正断层为主并兼有左旋剪切活动。

旋扭内部断裂均兼有左旋剪切分量,具有等距性特点,其中以石井河断裂规模最大。旋扭断裂内还发育有与这些断裂斜交的王良断层和霍村断层,它们均是洛阳盆地的边界断裂,并表现为正断为主兼有右旋剪切运动分量。这两组断裂可相互配套,其所反映的最大主应力方向为北东东向。断裂系在喜山期仍有明显的活动迹象。

旋扭断裂系向北与平行断裂系逐渐过渡,城崖地—新安断裂和石井河断裂北支与塔底断裂相交于黄河附近。

2.2 平行断裂系

位于库区中北部,以塔底断裂为最南部和最长的控制性断裂,向西产状逐渐变化,并与西部雁列断裂相连,向东止于王茅断裂附近。断裂系由一系列走向近东西的等间距展布的正断层所组成,其间距为 1 km 左右,断裂具一定左旋位移分量。

断裂系具有明显的分形特征,从宏观到细观、微观各个层次断裂都具等距性特点。断裂系切割第三系地层,表明在喜山期仍有一定活动。

2.3 雁列断裂系

位于库区西部,实际上已是汾渭地堑系的成分,由一系列右旋正断层组成,其雁列分支均呈北西—北北西走向,往往具有弧形弯曲的特点,显示断裂的形成可能与旋扭力有关。断裂系切过第三系地层,表明在喜山期仍有较强的活动性。

3 水库诱发地震分析

水库诱发地震的产生要具备一定的地震地质和水文地质条件,与区域地震活动性、断裂

构造、岩性及水文地质条件有密切的关系。

3.1 地震地质与工程地质类比

目前,一般地震的预测研究仍在探索中,与其相比,水库地震预测困难更多,因为可供剖析认识水库地震的事件比一般构造地震少得多,致使对水库地震本质的认识受到限制。就一定意义而言,最可靠的预测方法仍然是类比法,即根据已知地震事件和非震事件的情况,推测即将修建的水库诱发地震的可能性。

作为类比法的基础,有必要也有可能对现有震例资料进行分析总结,以岩性、构造、水文地质条件为基础,区分出不同类型的诱震地质环境,分别估计其对大坝和库区环境的影响。

夏其发、汪雍熙(1983)根据已有的震例情况,提出了以下的诱震环境分类(表1)。

表1 水库诱发地震的环境分类

诱震地质环境类型和亚类		诱发地震的可能强度
I 松软岩体类型		诱震可能性极小
II 裂隙岩体类型	a. 裂隙块状岩体亚类	微震或弱震
	b. 裂隙层状岩体亚类	以微震为主
III 断裂岩体类型	a. 断裂块状岩体亚类	中等强度或强烈的地震
	b. 断裂层状岩体亚类	弱震或中等强度的地震
IV 岩溶类型	a. 裂隙岩溶亚类	微震或弱震
	b. 断裂岩溶亚类	弱震或中等强度地震,个别强震

按此分类,本区应属Ⅲa与Ⅲb的过渡类型,局部属Ⅳa型,存在诱发地震的可能性。

水库诱发地震类比法的实质就是工程地质、地震地质条件的比拟,一般选择已发生或未发生诱震的水库直接比拟。本区地质条件与大部分已诱震水库条件类似,因而具备了诱震基本条件,存在诱震的可能性。

3.2 诱震要素预测

(1) 诱震震级 由前述可知,小浪底库坝区位于区域较强活动轮廓内的相对稳定地块内,该地块地震活动强度较小,频度较低。国内外研究者普遍指出,水库诱发地震的最大震级,无论是在活动区或平静区,均与水库所在构造区(带)的最大天然地震相近,故可作为水库诱发地震震级上限。据此,结合本区天然地震特征,可以将5级作为诱震的上限。

(2) 诱震震中 据库坝及其邻近地震地质、水文地质与工程地质条件分析,诱震可能震中为:①塔底断层东端;②塔底断层西端;③塔底断层与城崖地—新安断裂交汇部位;④石井河断层与塔底断层交汇部位;⑤石井河断裂东端。而库区中部为最危险地区。

(3) 诱震时间 水-岩耦合模型是分析水库诱发地震可能性的有效办法,其对预测诱发地震可能时间也是有效的。该方法通过固-液相两介质的有限元耦合分析,对岩体单元进行应力和强度分析,单元的破裂时间即为诱震时间。根据该模型,预测的主震或初震时间以蓄水后数百天到一千多天居多。

以下我们从岩体渗透的角度对诱震时间做一简单估算。

地表断裂带岩体渗透率为10~80m/d,其随深度的变化规律为 $K(z) = K_0 e^{-\alpha z}$,其中 $\alpha = 0.2$,则

$$v = K(z)I$$

水力梯度 $I=1$, 则

$$\frac{dz}{dt} = K_0 e^{-\alpha z}$$

$$e^{\alpha z} dz = K_0 dt$$

$$\int_0^{x_0} e^{\alpha z} dz = \int_0^t K_0 dt$$

则
$$t = \frac{1}{\alpha K_0} e^{\alpha z} \Big|_0^5$$

将各数据代入其中, 得

$$t = 108 \sim 1\,100(\text{d})$$

此时间可作为诱震主要时间的初步估计。

4 结语

库坝区断裂构造由中部大型旋扭构造系、北部平行断裂系和西部雁列断裂系组成。城崖地—新安断裂是区域二级断裂, 并构成中部大型旋扭构造系的控制性断裂; 塔底断裂是北部平行断裂系的控制性断裂。三大断裂系之间呈逐渐过渡关系。水库诱发地震具备了地震地质、水文地质条件, 是有可能性的。诱震强度初步估计为 3~5 级, 震中为塔底断裂东、西端, 塔底断裂与城崖地—新安断裂交汇点等断裂交汇部位及其端点。诱震时间初步估计为 108~1 000 d。

主要参考文献

丁原章等. 水库诱发震. 北京: 地震出版社, 1989

唐辉明, 晏同珍. 岩体断裂力学理论与工程应用. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992

夏其发, 汪雍熙. 试论水库诱发地震的地质分类, 中国诱发地震. 北京: 地震出版社, 1984

用渗流数值模拟试验确定围岩外水压力的一种新尝试

——以盘石头水库右岸泄洪洞渗流模型为例

孙连发 成建梅 马 腾

蒋甫南 贺亚斐

(中国地质大学, 武汉)

(河南省水利勘测设计院)

摘 要 在水利水电洞室工程设计中,经常难以获取设计所必需的围岩外水压力值。本文在阐述外水压力和折减系数含义的基础上,通过对盘石头水库右岸泄洪洞洞室围岩渗流场进行数值模拟试验研究,确定了沿两条泄洪洞洞轴线不同位置的外水压力值。该模拟试验结果不仅使我们对折减系数有了更为深刻的认识,而且还为减少人为随意性、更正确地确定围岩外水压力找出一条新的途径。

关键词 外水压力 折减系数 渗流场 数值模拟试验

第一作者简介 孙连发,男,60岁,教授,主要从事地下水渗流计算与模拟、抽取地下水引发的灾害及其对环境的影响和防治等方面的教学与科研工作。

1 外水压力与折减系数

在水利水电洞室工程设计中,经常要涉及到外水压力和折减系数的概念。外水压力是指作用在洞室衬砌上地下水的压力。外水压力的大小直接与工程设施所处的工程地质实体的含水介质性质、初始及边界条件、工程设施所处部位有关,同时也与洞室衬砌上地下水的排水状况有关。若无排水,可将作用在其衬砌上的地下水压力视为天然外水压力;反之,若在洞室设置排水孔,洞室就成为人工排水通道,地下水在这种排泄过程中产生了水头损失(相对天然外水压力而言),其损失百分数就可以理解为折减系数,在这种情况下作用在洞室衬砌上的地下水压力就是经过折减可供设计部门直接应用的外水压力。有关外水压力的另一种解释就是面积系数,即岩体面积与岩体中裂隙的面积是一个很大的比值。岩体与混凝土衬砌接触面实际上没有外水压力,而裂隙与混凝土衬砌接触面,由于存在裂隙成为水运移的通道,这部分孔隙裂隙占整个岩体面积的百分数称为折减系数,也就是裂隙水渗透压力并不直接作用到全部衬砌面积上。

本文所讨论的外水压力和折减系数主要指第一种含义上的外水压力和折减系数。在水文地质条件简单的情况下,可以使用解析公式求取外水压力;同时,在条件许可时,设置长观孔或在隧洞内埋设渗压计,也可以获得可靠的外水压力。然而,由于实际水文地质、工程地质条件(如含水介质的非均质性、边界形状不规则、工程设施位置、类型及对渗流场作用的不同等)往往比理想模型复杂得多,解析法常常无能为力,经验法又人为性太强;通过设置

观测网只能获取天然状态下的外水压力值,无法得到设计阶段所需的折减后的外水压力值,而且还提高了工程费用。数值模拟方法恰为我们解决上述问题提供了有力的手段。为此,我们可以运用数值模拟技术对工程设施所在渗流场进行模拟,并进行洞室排水数值试验,以求得各种条件下洞室围岩外水压力的分布,同时也可以在此基础上确定折减系数值。下面以盘石头水库右岸泄洪洞渗流区数值模型为例,系统地介绍该方法的思路及实现步骤。

2 渗流区数值模型建立

2.1 工程及地质概况

盘石头水库位于河南省淇河中游,是将要兴建的一座大型综合利用水利枢纽。该水利枢纽的主体工程包括右岸两条无压泄洪洞。数值模拟试验的目的是提供作用在泄洪洞衬砌上地下水的压力——外水压力值。

水库大坝坝顶高程 278.7 m,最大坝高 106.6 m,水库正常蓄水位 254 m,下游水位 180.15 m。两条泄洪洞布置在右坝头鸡冠山下,左侧为 1 号洞,右侧为 2 号洞。

渗流区所涉及的地层为一套产状平缓的寒武系下统 ($\epsilon_1^9 \sim \epsilon_1^{14}$),其中: ϵ_1^9 为泥质灰岩夹页岩; ϵ_1^{10} 上部为灰岩夹页岩,下部为页岩; ϵ_1^{11} 为页岩; ϵ_1^{12} 上部为灰岩夹页岩,中部为页岩,下部为鲕状灰岩夹页岩; ϵ_1^{13} 为灰岩; ϵ_1^{14} 为页岩。沿洞室有多条断层,但规模均小,破碎带最大宽度仅有 0.5~3.0 m,且与洞轴线交角很大,断层的垂直断距也很小,多数为 0.2~5.0 m。显然,断层对洞室沿线岩体完整性的影响范围有限。渗流区最大断层是 F_7 断层,该断层位于泄洪洞东南,走向北东 36° ,倾向南东,倾角 85° ,破碎带宽度 20 m,垂直断距大于 100 m,断层带胶结较好,为泥钙质胶结,透水性差。构造裂隙以北西和北东两组相对较发育,发育密度一般 1~3 条/m。

由上所述可知,渗流区地层为一套灰岩、页岩互层的地层,灰岩厚度有限,最厚处也仅十余米,且受上下页岩层限制,加上构造不发育,致使灰岩水动力条件较差,岩溶不发育,灰岩与页岩共同构成渗透性较差的多层含水系统。地下水的补给来源主要为大气降水及洪水期河水侧向补给,排泄主要为短暂洪水期之后向淇河排泄。据现有勘探资料可知,地下水水力坡度较小,水位埋深较大。

表 1 渗流区各分层正常带及构造带渗透系数一览表(单位: 10^{-6}m/s)

2.2 渗流区概念模型

盘石头水库右岸渗流区如图 1 所示,仅考虑两个泄洪洞所涉及的含水范围,将模拟区概化为 6 层

	ϵ_1^{14}	ϵ_1^{13}	ϵ_1^{12}	ϵ_1^{11}	ϵ_1^{10}	ϵ_1^9
正常带	1.34	1.34	0.91	1.33	1.20	1.84
构造带	20.0	25.0	20.0	2.67	58.4	—

三维稳定流含水系统。据压水试验数据,其渗流区各层渗透系数值如表 1 所示,同时设定含水层为各向同性,其数学模型如下式:

$$\frac{\partial}{\partial x}(K_{xx} \frac{\partial H}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(K_{yy} \frac{\partial H}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(K_{zz} \frac{\partial H}{\partial z}) = 0$$

$$H|_{t=0} = H_0(x, y, z)$$

$$H|_{B_1} = H_{b_1}(x, y, z)$$

$$[\frac{\partial}{\partial x}(K_{xx} \frac{\partial H}{\partial x})\cos(n, x) + \frac{\partial}{\partial y}(K_{yy} \frac{\partial H}{\partial y})\cos(n, y) +$$

$$\frac{\partial}{\partial z}(K_{zz} \frac{\partial H}{\partial z})\cos(n, z)]|_{B_2} = 0$$

其中： K_{xx} 、 K_{yy} 、 K_{zz} 分别为 X 、 Y 、 Z 方向上的渗透系数； B_1 、 B_2 分别为第一、二类边界； H_0 为初始水头； H 为水头。

边界条件为：西侧为以 254m 正常蓄水位线为界的定水头边界 (H_{b1-1})；北部沿坝隔水帷幕为隔水边界；东部泄洪洞出口及其附近为 180.15m 的定水头边界 (H_{b1-2})；东南部以 F_7 断层为边界，因该断层距洞穴较远，而且断层带胶结较好，将其视为隔水边界。

3 数值试验设计

笔者根据外水压力和折减系数的含义，设计了几种不同的方案进行对比。水库在正常蓄水情况下，泄洪洞围岩的外水压力分布状态存在两种情况：其一是未考虑泄洪洞的排水；其二是当泄洪洞内设置排水孔洞时，泄洪洞成为人为排泄通道。鉴于

以上两种情况，模拟时将第一种情况处理为泄洪洞上、下游两端封死，周壁均隔水；将第二种情况处理为相当于近水平放置的集水廊道。因此将第一种处理求得的作用在泄洪洞洞室衬砌上的地下水水头作为其天然外水压力值，而将第二种处理的结果作为经过折减可供设计部门直接应用的外水压力值。由于含水层的给水（或释水）能力是有限的，即洞室排水量不可能超过某一个极限值。若超过此极限，无论人为给定多大排水量，均不会使作用在洞室衬砌上的外水压力值发生变化，我们将此排水量称为极限排水量。本文采用试算法求极限排水量。先用解析法求出含水层可能的排水量作为初始排水值，并分别设计相当于初始值 10 倍、5 倍、1/10 倍、1/100 倍的不同排水量进行模拟，通过作图法很快就可获取极限排水量。

在排水设置时，沿洞室轴线、在洞室高度 1/2 处，分段给定排水量。设置时考虑洞室的位置及地下水渗流途径的长短差异，各洞和各段的排水量（单位时间单位降深排出的水量， m^2/s ）有所不同，如表 2 所示。

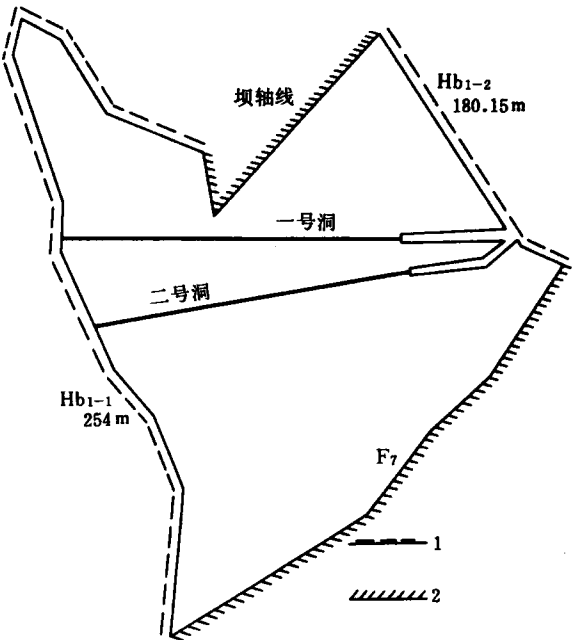


图 1 泄洪洞渗流区范围及其边界示意图
1. 定水头边界；2. 隔水边界

表 2 一、二号泄洪洞初始排水量设置简表

一号洞标高 (m)	215.0		214.7		214.4		214.2		213.8	
排水量 ($10^{-4}m^2/s$)	1.0		0.5		1.0		0.2		0.1	
二号洞标高 (m)	215	212	209	195	187	185	185	185	184	183
排水量 ($10^{-4}m^2/s$)	1.0	0.8	0.9	0.8	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

4 模拟试验结果及分析

在建立盘石头水库右岸泄洪洞渗流区数值模型后，分别就设计的不同数值试验方案进行

模拟对比。图 2 为一、二号泄洪洞在无排水和不同排水量条件下沿洞室轴中心线上的外水压力分布曲线图。无排水时的外水压力曲线可视为天然外水压力分布曲线。无排水时与排水时存在水头差，该差值与无排水时的水头比值的百分数即为折减系数。不难看出，在泄洪洞洞室纵剖面不同位置上的折减系数是不同的。由于通过数值模拟直接得出有排水时的外水压力

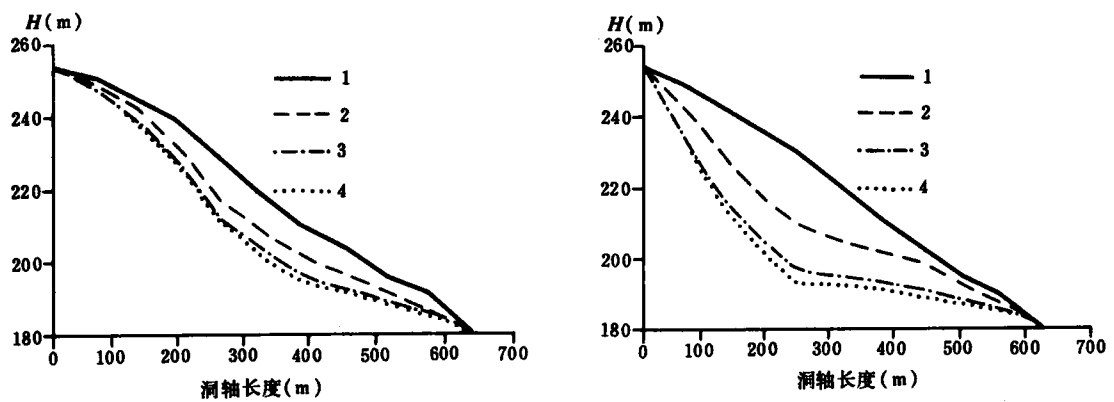


图 2 无排水和各种排水条件下一号洞（左图）与二号洞（右图）轴线上的外水压力曲线
1. 未排水；2. 1/100 倍排水；3. 1/10 倍排水；4. 按初始排水量排水

曲线实际上已经过折减，因此按极限排水量排水时的地下水水位线可视为经过折减后的、可供设计部门直接使用的外水压力线。由模拟结果可知，本次模拟的初始排水量巧合地与极限排水量一致。经计算得出，极限排水量一号洞为 $127\text{m}^3/\text{a}$ ，二号洞为 $791\text{m}^3/\text{a}$ 。

5 结论与建议

外水压力是水利水电工程设计中常用的指标之一，它的选取直接影响着地下建筑的造价与安全性。传统的取值有一定的人为性。本文尝试运用数值模拟技术，直接参与设计，通过进行工程设施所涉渗流区数值试验研究，从分析外水压力和折减系数的本质含义着手，直接模拟求出折减后的外水压力。其理论上合理，方法上可取，实践上有效，为工程设计提供了有力的依据。但由于本渗流区初次建模，建模数据有限，未能收集到能够进行反演、验证模型的资料，故本文仅从思路上给予介绍，希望能起到抛砖引玉的作用。建议在实际应用数值模拟技术时，要增加有助于建立和验证模型的野外调查和现场试验工作（如非稳定流抽水试验等）。

河南省水利勘测设计院的林大钧高工以及其他同志对本次模拟试验提出了好的建议和意见，河南省水利勘测总队提供了有关的地质资料，在此一并表示衷心的感谢！

主 参 参 考 文 献

水利水电工程地质手册．北京：水利电力出版社，1985
陈崇希，唐仲华．地下水流动问题数值方法．武汉：中国地质大学出版社，1990