

地质工程江苏省重点学科专著系列

大坝环境水文地质研究

Environmental Hydrogeology around Dam-site

宋汉周 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

地质工程江苏省重点学科专著系列

大坝环境水文地质研究

Environmental Hydrogeology around Dam-site

宋汉周 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书以系统论的观点,研究了水电站运行期间大坝坝址环境水文地质问题。在分析了蓄水条件下枢纽区特有的水环境、地质环境及其与大坝工程间相互作用效应的基础上,从形成、演变以及机理等方面逐一论述了区内一定条件下出现的渗流(渗漏)问题、基础扬压力问题、水质及水-岩作用问题、渗水析出物问题、环境水与坝体材料间相互作用及其侵蚀(腐蚀)作用问题,以及岩体的渗透稳定性问题等。基于探测、检测以及监测资料,建立了相关模型,提出了相应的求解方法,并应用于工程实例。

本书可供地质、水利水电、土木、环境等学科的科技人员和高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

大坝环境水文地质研究/宋汉周著. —北京:中国水利水电出版社, 2007

ISBN 978-7-5084-5105-3

I. 大… II. 宋… III. 大坝—环境地质学—水文地质—研究 IV. TV649 X14

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 175967 号

书 名	大坝环境水文地质研究
作 者	宋汉周 著
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京中科印刷有限公司
规 格	787mm×1092mm 16 开本 23.25 印张 417 千字
版 次	2007 年 12 月第 1 版 2007 年 12 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	55.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

新中国成立以来，已在各大流域兴建了众多的水电站大坝。其中，相当部分迄今已运行了 30 年以上。随着时间的推移，一些不利于大坝安全运行的潜在的问题正逐渐显现。根据有关调查，在不利于大坝安全运行的诸多问题中相当部分与坝址环境水尤其是与地下水的物理化学作用有关。因此，深入开展蓄水条件下大坝环境水文地质研究具有重要的理论意义。

本书以系统论的理论和方法，以相关学科的先进理论和方法，对大坝运行期间出现的诸多坝址环境水文地质问题展开了比较深入且全面的研究。在实际工作中，针对诸多坝址环境水文地质问题所特有的隐蔽性、复杂性和多解性，采用了较为先进且合理的技术路线，将现场调查测试与室内化验分析相结合，宏观与微观分析相结合，各类地下水动态监测资料的定性与定量分析相结合，而在相关问题的成因以及演变趋势的探讨方面，则紧密结合区内具体的地质、水文地质条件以及工程的实际运行工况来展开。因而，该成果具有重要的实用价值。

据我所知，作者以及其所领导的科研小组 10 多年来，先后完成了包括龙羊峡、李家峡、八盘峡、新安江、紧水滩、石塘、湖南镇、水口、水东、安砂、池潭、古田溪梯级、东江梯级、白山梯级以及托海等近 20 座水电站大坝安全检查期间有关枢纽区环境水文地质专题的研究，也参与了国家自然科学基金重点基金项目的研究。本书内容

既是作者以及其所领导的科研小组多年来科研实践的总结，也是相关方面得以提高和深化的结晶。

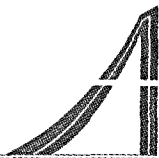
我相信，《大坝环境水文地质研究》一书的出版将会产生积极的影响，有关方面的研究必将在实践中继续得到深入。

中国工程院院士
河海大学学术委员会主任

Handwritten signature of Wu Zhuru in black ink.

2007年11月

前言



大坝环境水文地质研究涉及地质学、水动力学、水化学以及环境科学等多个学科领域，故研究的内容比较广泛。研究表明，大坝工程与地质环境之间的相互作用主要是通过水这个载体的作用得以长久而持续地进行着，由此引发的问题很大程度上与水的作用有关，故大坝环境水文地质研究以水作为主要的研究对象。

本书针对水电站运行期间，枢纽区出现的一些具体的环境水文地质问题，如渗流（渗漏）问题、扬压力问题、水质的形成及其演变问题、渗水析出物问题、水与坝体材料间的相互作用问题以及岩体渗透稳定性问题等，逐一地展开了比较深入而系统的研究。

本书共9章。第1章绪论部分论述了大坝环境水文地质研究的内涵，即以水作为主要的研究对象，并综述了蓄水条件下坝址环境水文地质的主要研究内容。第2章总结和归纳了不同时期坝址区水环境特征以及地质环境特征，强调了人类工程活动对其所产生的影响，并以系统论的观点探讨了环境与枢纽工程之间的相互作用效应。第3章在分析了蓄水前、后库坝区地下水动态特征的基础上，结合工程实例应用多种方法开展关键部位潜在的主渗流通道的探测，分别应用传统的以及较新的理论和方法建立渗流模型，并进行求解。第4章分别应用传统的以及较新的理论和方法建立坝基扬压力模型，并结合工程实例进行求解；同时，针对局部扬压力异常（即实测值大于设计值）提出了一种有助于成因探讨的综合分析方法。第5章首先依据平衡常数法的基本原理，精细地解析了水溶液组分的具体存在形式及其含量变化，然后论述了数种常用的水质多变量统计模型、时间系列模型，以及求解方法。第6章根据地球化学热力学、

化学动力学等基本理论和方法,分别建立了水—岩系列间相互作用的化学热力学、化学动力学模型,并结合工程实例采用确定性及随机性方法求解,旨在揭示隐含在水质形成、演变过程中的丰富信息及其工程示踪意义。第7章在总结了坝址渗水析出物数种检测方法的基础上,结合对近20座水电站大坝的现场调查,归纳了析出物的基本类型及其特征,并对其成因以及潜在的不利影响等方面作了探讨。第8章针对环境水的物理化学作用将影响到坝体结构的耐久性,采用室内试验方法模拟了混凝土介质在不同条件(如不同的作用水头以及围压)下的渗透性以及抗渗性,结合坝址环境下水质的演变特征,对水的侵蚀作用以及评价方面的几个问题作了讨论,同时还结合工程实例对碱—骨料反应的复杂机理作了初步探讨。第9章结合典型工程,并行采用数种应用地球物理和应用地球化学方法,探测区内可能存在的渗透薄弱部位,并采用数值分析方法对高水头作用下地下洞室围岩体的渗透稳定性进行了研究。

本书内容来自作者10多年来完成的20多项科研项目的成果总结。彭汉兴教授、施希京副教授、王建平副教授参与了其中部分科研项目的研究。近年来作者指导的多名研究生也参加了数项科研项目的研究。得到了包括国家自然科学基金重点项目(编号50139030)、人事部留学回国人员科技活动择优项目(编号501072)的资助,也得到了国家电力监管委员会大坝安全监察中心、华东勘测设计研究院、华东电网有限公司以及黄河上游水电开发公司等单位的大力支持,在此表示衷心的感谢!

中国工程院院士吴中如教授在百忙中为本书作序,在此谨表示真挚的谢意!

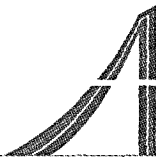
本书的出版,得到了江苏省地质工程重点学科建设、河海大学“十一五”、“211工程”项目的资助。

限于作者的水平,不妥之处,恳请批评指正!

作者

2007年11月

目 录



序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 大坝环境水文地质研究对象	1
1.2 大坝环境水文地质研究内容	2
第 2 章 坝址环境及其与枢纽工程之间相互作用效应	16
2.1 坝址环境特征	16
2.2 地质环境与枢纽工程之间相互作用效应	21
第 3 章 坝址渗流探测以及渗流模型及其应用	33
3.1 概述	33
3.2 不同条件下地下水动态基本特征分析	38
3.3 相对强渗流部位探测	43
3.4 渗流统计模型	57
3.5 改进的渗流统计模型	59
3.6 基于小波网络的渗流监控模型	62
3.7 实例应用	68
第 4 章 坝址扬压力模型及其应用	83
4.1 概述	83
4.2 扬压力统计模型	86
4.3 扬压力 BP 模型	88
4.4 扬压力相空间神经网络模型	91
4.5 扬压力灰色模型	94
4.6 实例应用	101
第 5 章 坝址水质模型及其应用	122

5.1 概述	122
5.2 水质分析成果的表示方法以及定性分析	123
5.3 水化学组分存在形式的计算	137
5.4 水质多变量统计模型	145
5.5 水质多变量时间系列模型	160
第6章 坝址水-岩作用模型及其应用	173
6.1 概述	173
6.2 水-岩作用化学热力学模型	178
6.3 水-岩作用化学动力学模型	191
6.4 实例应用	195
第7章 坝址渗水析出物分析	216
7.1 概述	216
7.2 析出物检测方法	217
7.3 析出物基本特征	221
7.4 析出物成因分析	233
7.5 析出物潜在影响评价	241
第8章 坝址环境水与坝体材料间相互作用研究	264
8.1 概述	264
8.2 坝体材料渗透特性的试验研究	266
8.3 坝体材料中碱-骨料反应及防治研究	277
8.4 环境水对坝体材料的侵蚀作用及其评价	286
8.5 坝体材料的抗侵蚀性研究	296
第9章 高水头作用下地下洞室围岩体渗透稳定性研究	300
9.1 概述	300
9.2 渗透薄弱部位探测	302
9.3 渗透稳定性数值分析	316
9.4 渗透薄弱部位形成机理探讨	346
参考文献	351

Contents

Foreword

Preface

Chapter 1 Introduction	1
1.1 The major object	1
1.2 Some problems related to environmental hydrogeology around dam-sites	2
Chapter 2 Geological environment around a dam-site and the coupled effects between it and engineering	16
2.1 Characteristics of environment around a dam-site	16
2.2 Coupled effects between geological environment and engineering	21
Chapter 3 Detection of seepage around a dam-site, modeling and its application	33
3.1 Outline	33
3.2 Basic behavior of groundwater regime before and after impounding	38
3.3 In-situ detection of seepage (leakage)	43
3.4 Statistical model of seepage	57
3.5 Improved statistical model of seepage	59
3.6 Monitoring model of seepage based on wavelet network	62
3.7 Case studies	68
Chapter 4 Models of uplift pressure under a dam foundation and the application	83
4.1 Outline	83
4.2 Statistical model of uplift pressure	86
4.3 BP model of uplift pressure	88
4.4 Improved BP model of uplift pressure	91

4.5	Grey model of uplift pressure	94
4.6	Case studies	101
Chapter 5	Models of water quality and the application	122
5.1	Outline	122
5.2	Presentation of water quality data and its qualitative analysis	123
5.3	Calculation of components existed in water solution	137
5.4	Multi-variables statistical model of water quality	145
5.5	Multi-variables time series model of water quality	160
Chapter 6	Models of water-rock interaction around dam-sites and the application	173
6.1	Outline	173
6.2	Chemico-thermodynamic modeling	178
6.3	Chemico-kinetic modeling	191
6.4	Case studies	195
Chapter 7	Study on colloids from seepage around dam-sites	216
7.1	Outline	216
7.2	Some methods for detecting colloids	217
7.3	Basic characteristics of colloids	221
7.4	Formation of colloids	233
7.5	Assessments of colloids' potential effects	241
Chapter 8	Study on interaction between environmental water and materials within a dam body	264
8.1	Outline	264
8.2	Testing of permeability of concrete texture in Lab.	266
8.3	Alkali-aggregate reaction and the steps for protection	277
8.4	Assessments as to corrosion from environmental water on the materials	286
8.5	Steps to anti-corrosion from environmental water on the materials	296
Chapter 9	Study on seepage stability of rock masses under a higher hydraulic head	300
9.1	Outline	300

9.2 In-situ detecting to weakness of seepage stability	302
9.3 Numerical analysis to seepage stability	316
9.4 Formation of weakness of seepage stability	346
References	351

第 1 章 绪 论

1.1 大坝环境水文地质研究对象

我国幅员辽阔，江河纵横。据不完全统计，全国多年平均河川径流量达 2.7×10^4 亿 m^3 ，因而隐藏着极为丰富的水利水电资源。

截至 2005 年底，据统计已建成各类大坝达 85000 余座，数量居世界第一位，水电装机总容量达 11430 万 kW，水库总库容达 5658 亿 m^3 （国家电力监管委员会安全监管局，2007）。这些水利水电工程在发电、防洪、灌溉、城乡供水、养殖以及航运等方面均获得了巨大的经济效益和社会效益。当前，长江三峡、小湾、溪洛渡、锦屏等大型水利水电工程的兴建或拟建，标志着我国的水利水电建设进入了新的历史时期。

随着水利水电资源的深入开发，一方面大坝的规模在向高、大的方向发展，如近年来新建成的 150m 以上的高坝如小浪底、龙滩等，对库坝区尤其是对坝址区地质体的稳定性等方面提出了新的更高的要求；另一方面坝址区水文地质、工程地质条件愈趋复杂，因为理想的可供选择的坝址越来越少。同时，还应指出的是，我国现有的大中型水电站多数建于 20 世纪 70 年代以前，随着时间的推移，一些不利于大坝安全运行的隐患正逐渐显现。

据水利部和国家电力公司对所属大坝的安全定期检查发现，截至 1999 年底，我国已建水利堤坝（由水利部门管理）中，有 30413 座为病险坝其中大型坝 145 座、中型坝 1118 座、小型坝 29150 座，在 1991~2002 年间垮坝达 245 座；由电力部门所管理的以发电为主的 130 多座水电站大坝中有 9 座为病险大坝（吴中如，2005）。根据电力部门第一轮定期检查 96 座水电站大坝的结果（邢林生等，2001），在存在的隐患中，由于对基础断层、破碎带和软弱夹层未做处理或处理效果差，在运行中局部发生性态恶化，使大坝的抗滑安全度明显降低，计有 14 座，占 14.6%；坝基扬压力或坝体浸润线偏高，坝基或坝体渗漏量偏大，有的坝体大量析出钙质（溶蚀），计有 32 座，占 33.3%；另外还发现，近坝区上、下游边坡不稳定，有的曾发生较大规模的滑坡，计有 10 座，占 10.4%。应该说，上述隐患的形成及其演变无不与坝址环境水（包括坝前库水、两岸岸坡地下水以及坝基地下水等）的作用有关。



大坝工程与地质环境之间相互作用，且相互制约。在兴建大坝之前，必须研究能否适应它所处的地质环境；而在兴建之后，必须分析它将会如何作用于地质环境，又会引起哪些变化？大量的工程实例研究表明，大坝工程与地质环境之间的相互作用主要是通过水这个载体的作用得以长久而持续地进行着，也正是由于水的作用在很大程度上使坝址地质体的工程特性发生着依时性变化，并使一定条件下不良地质现象的孕育乃至进一步发展成为可能。所以，大坝环境水文地质研究以水（尤其是地下水）作为主要的研究对象。

1.2 大坝环境水文地质研究内容

大坝环境水文地质研究的内容十分广泛，但在不同阶段（包括不同坝型）有着不同的侧重点。

在规划选址阶段，要了解库、坝区含水层与隔水层的分布范围，河谷区与分水岭地区的地下水位埋深，并对不同水体采集具有代表性的水样进行鉴定性化验，据此对水库蓄水后是否会向邻谷发生渗漏等方面进行初步评价。

在可行性研究阶段，要对坝址区不同地质体的渗透性强弱及其分布特征，以及相对隔水层的埋深、厚度及其连续性程度进行探查，对地下水补给、径流、排泄特征以及蓄水后可能发生的动态变化进行评价和预测，对不同水体可能存在的化学侵蚀作用进行判定，包括类型及程度等。若坝址区发育有可溶性岩层，在该阶段则要求初步查明区内岩溶的发育规律，包括岩溶发育形态，岩溶通道的规模、分布、连通性程度以及充填情况，分析蓄水条件下可能发生渗漏的地段以及渗漏量等，据此研究工程处理方案。为此，该阶段要开展相应的水文地质测试工作，包括开展抽水试验、压水试验、连通试验以及水质化验等工作，还要开展地下水动态（主要是地下水位）的一定时间、空间密度的观测工作。

在初步设计阶段，对不同的坝型有着不同的研究侧重点。如在混凝土坝坝址区，应进一步明确相对隔水层的埋深以及空间分布特征，岩体渗透性的非均质、各向异性及其分级，并对坝基及坝肩防渗方案提出建议。相应的水文地质测试工作包括：对位于坝基、坝肩以及帷幕线上的基岩钻孔要进行压水试验；在特大型坝（坝高 $>200\text{m}$ ）的坝址区，应进行试验水头大于设计水头的高压压水试验，以揭示高水头作用下的岩体渗透性及渗透稳定性；要进行定向渗透试验，以揭示岩体渗透性的各向异性程度；要继续开展并完善地下水动态（包括水位、水温、水质以及流量等）的观测工作，观测时段应至少达到一个水文年或以上。又如在土石坝坝址区，应查明基础岩体的水文地质结构，开展环境



水侵蚀作用评价,重点查明可能出现相对强渗漏的地段以及可能发生渗透变形的部位。相应的水文地质测试工作包括:根据初步查明的水文地质结构进行单孔或多孔抽水试验;在初步查明的地质薄弱体部位(如具有较强导水性的断裂带以及软弱夹层等)进行专门的水文地质试验,如渗透变形试验等。此外,该阶段也应继续开展对区内地下水动态的定期观测。

在技施设计阶段,要系统总结前期不同阶段的水文地质勘察成果,检验相关的结论,补充论证一些专门性水文地质问题,提出对相关水文地质问题(如渗漏问题以及渗透变形问题等)处理措施的建议,确定施工阶段进行水文地质监测的内容。如根据施工开挖过程中揭露的基础岩体的地质及水文地质新的特征,应核定岩体的水文地质参数;当存在渗漏问题时,应核定原先设计的防渗处理方案并作必要的完善;当存在渗透变形问题时,应核定其边界条件以及破坏类型等。

在投入运行期阶段,由于大坝兴建、水库蓄水,坝址水环境特征以及地质环境特征等方面发生了显著的改变,其程度及影响范围与坝的高度、库水的水深之间成正比,且具有滞后性、时效性以及非稳定性等特点,因而使区内地质体的水文地质特性显著有别于蓄水之前。如果认为,蓄水之前坝址岩体中的应力状态、水流状态、水化学状态以及温度状态等处于相对平衡态,那么蓄水之后这种平衡态已被打破、并试图趋于新的平衡态。因此,深入探讨蓄水条件下坝址区形成的应力场、渗流场、水化学场以及温度场等各自的作用及其多场耦合作用效应,以及探讨由此产生的可能对大坝长期安全运行具有不利影响的来自基础的地质问题的形成及其演变,为拟订更有针对性的监测方案,并为必要时采取工程补强措施提供科学依据,是该阶段大坝环境水文地质研究的主要内容。

应该说,以往对于大坝环境水文地质的研究,重点放在了勘测设计阶段和施工建设阶段,作为成果反映在对不同阶段区内水文地质的研究,其具体的工作内容、精度要求以及与之相对应的工作步骤,都有比较完善的规范可循,如GB 50287—99《水利水电工程地质勘察规范》等,而对于运行时期大坝环境水文地质的研究,尽管已引起关注,但不够深入和系统。因而,在运行期阶段与勘测设计阶段、施工建设阶段三者之间尚形不成一个“闭路循环”。

显然,要真正完成这一“闭路循环”需要解决很多问题和克服大量障碍。首先,当然要发展有效和完善的监测设备和手段。其次,要有可靠的理论和先进的方法对大量观测数据进行归纳分析,并建立起某种数学模型,为下一步工作提供基础。第三,还要根据对资料的分析成果,进行反演反馈和作出评价、



预报以至综合决策。这在水工建筑物的安全监控方面是如此（吴中如等，1990），而在大坝环境水文地质的研究方面亦应如此。

深入开展运行时期大坝环境水文地质的研究，不仅有助于完成上述“闭路循环”，同时可为提高勘测设计阶段、施工建设阶段的坝址环境水文地质（包括工程地质）研究的质量提供有益的反馈信息，而且还可为作出大坝是否安全运行的健康诊断及时提供来自大坝基础的重要信息。因此，深入开展蓄水条件下大坝环境水文地质的研究，将具有重要的理论意义和实用价值。

可见，运行时期大坝环境水文地质研究的内容也涉及十分广泛的方面，但从大坝安全监测的有效性和实用性而言，可归纳为以下方面。

1.2.1 坝址区渗流（渗漏）问题

从概念而言，渗流（seepage）与渗漏（leakage）之间是有区别的。

在经典的地下水动力学中对渗流是这样定义的，即是符合如下假定的可以代替真实地下水流的一种假想水流：

1) 其性质（如密度、黏滞性等）与真实地下水流相同，但它充满了整个含水层的空间，即既充满空隙空间又充满由固相介质占据的空间。

2) 其运动时，在任意岩土体积内所受到的阻力等于真实水流所受到的阻力。

3) 其通过任意断面的流量及任意一点的压力或水头与真实水流相同。由这种假想水流所占据的空间可称为渗流场（薛禹群等，1997）。

这里认为，所谓坝址区渗流可从如下两个方面进行定义：一方面符合上述具有传统意义的定义；另一方面指出现于水工建筑物周围的受人为因素（或工程因素）影响相对明显的地下水运动，其水动力特征可用 Darcy 定律描述，即其流速与水力梯度的一次方成正比，具有面状流特征。但与区域含水层系统中的地下水运动相比较，坝址渗流所产生的势的影响范围比较小。所谓坝址区渗漏，受人为因素的影响亦相对明显，主要形成于某些比较特殊的部位如较通畅岩溶通道以及具有较强导水性的断层带等部位，因而具有相对集中的管流式的分布特征；具有显著的不均一性，其流速一般远大于渗流流速，如在岩溶管道系统其流速一般在 $n \times 100 \sim n \times 1000 \text{ m/d}$ 之间，而在大于某个临界值（可用雷诺数来判定）之后出现紊流，其水动力特征可用 Chenzy 定律描述，即其流速与水力梯度的 $1/2$ 次方成正比。显然，坝址区若出现这样的强径流，不仅将会明显影响到该水利水电工程设计效益的发挥，而更重要的是在一定条件下将会影响到坝基岩体的渗透稳定性乃至大坝的长期安全运行。可见，笼统地把地下水运动称为渗流是不合适的，同样对于渗流和渗漏这两个概念也不能混为

一谈。

在水电站运行期间,坝址上、下游之间保持的较大水头差(通常达数十米甚至百米以上)使坝前库水不可避免地存在着通过坝基或坝肩向下游渗透的水流分量,所不同的只是单位时间内通过某断面渗流量(或渗漏量)的大小不同而已。按照发生渗流(或渗漏)的不同部位,可分为以下几类。

(1)库区渗流(或渗漏)。传统的观点认为,水库蓄水后,相邻河谷之间若原有的地下水分水岭消失,表明库水可向相邻河谷发生永久性的渗漏;反之,则不会向相邻河谷发生永久性的渗漏。已有的研究表明,蓄水条件下水库与相邻河谷之间即使存在地下水分水岭,也不能保证水库不会发生永久性的渗漏损失,这有赖于水库与相邻河谷之间地质体的渗透性分布特征,及其在空间上尤其在垂向上的变化,即呈连续性变化或非连续性变化。

(2)坝体渗流。对于常态混凝土重力坝而言,此主要出现于不同坝段之间的横缝部位,而对于最近10多年来开始流行的碾压混凝土重力坝而言,此主要出现于具不同高程的施工层面部位,此外,也有可能出现于坝体的次生裂缝部位等。显然若发生坝体渗流,意味着水与坝体之间的相互作用不仅限于坝体表面,而在局部沿上、下游方向具有某种贯穿性的裂缝部位,则表明相应渗流部位发生着水与坝体之间的物理作用(如渗透力的作用)也有可能发生某种化学潜蚀作用,发生何种化学潜蚀作用主要取决于渗流水的水质特征。显然,上述坝体渗漏现象使坝体结构的整体性及稳定性受到影响,同时也影响坝体材料的耐久性。

(3)坝基渗流(或渗漏)。按其发生的范围和强度,也可以分为如下两种:一种是具有面状的,具有影响范围大、但强度不大的主要特点,亦可用渗流称之,其渗流量常具有“收敛”的动态特征,即或是稳定的,或具有随时间而减小的趋势——此主要源于坝前库底天然淤积层的铺盖防渗作用;另一种则具有带状或脉状分布的特征,具有影响范围小,但强度较大的显著特点,而以渗漏称之,其流量变化常具有“发散”的动态特征,即随时间的推移其流量具有增大的趋势。已有的工程实例研究表明,此类地下水流相对集中的现象大多与基础地质体的相对薄弱部位(如裂隙密集带、断层破碎带以及侵入岩脉与围岩间的接触带等)相对应。显然,通过坝基的无论是渗流还是渗漏都将会减少坝前库水的有效库容而影响效益的发挥,而更重要的是由此可能诱发诸如夹层的软、泥化等渗透稳定性问题。而此类坝址环境水文地质问题(有时亦称为工程地质问题)是影响大坝长期安全运行的来自基础的一大隐患。

(4)绕坝渗流(或渗漏)。当岸坡区地质体的渗透性为一定时,发生绕坝