

SHUIKU DABA SHENLOU TANCE JISHU YU YINGYONG

# 水库大坝渗漏探测 技术与应用

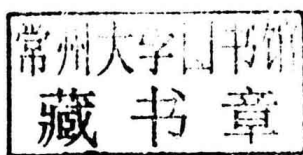
李广超 毋光荣 耿瑜平 著



黄河水利出版社

# 水库大坝渗漏探测技术与应用

李广超 毋光荣 耿瑜平 著



黄河水利出版社  
· 郑州 ·

## 内 容 提 要

本书共分七章,主要内容有我国水库现状与存在的问题、大坝的类型、大坝渗漏原因分析、大坝的防渗、大坝渗漏探测方法、渗漏探测工程实例、防渗除险加固实例。适用于水工物探、水文地质、水库管理人员参考使用,也可作为高等院校相关专业师生参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

水库大坝渗漏探测技术与应用/李广超,毋光荣,  
耿瑜平著. —郑州:黄河水利出版社,2015.9

ISBN 978 - 7 - 5509 - 1242 - 7

I. ①水… II. ①李…②毋…③耿… III. ①水  
库 - 大坝 - 水库渗漏 - 探测技术 IV. ①TV698.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 218991 号

---

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhsclbs@126.com

承印单位:河南省瑞光印务股份有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:7.5

字数:173 千字

印数:1—1 000

版次:2015 年 9 月第 1 版

印次:2015 年 9 月第 1 次印刷

---

定价:32.00 元

# 前 言

水资源是人们赖以生存的自然资源之一,自古以来河流两侧是人类最重要的繁衍生息之地,我国有名的两河文化之一——母亲河黄河更是贯穿着人类的发展史。水给人们的生活带来便利的同时,也给人们带来了无数的灾难,历史上黄河数次决堤使沿岸村庄房倒屋塌,良田被毁,无数的百姓背井离乡,饿殍遍野。因此,人们自古以来非常重视对水的治理,封建时期就有了专门治理河道的衙门,隋唐期间的运河就已经鼎鼎大名,秦代都江堰也是古代人们治理河流杰出成就的代表。

我国人口在 20 世纪 80 年代急剧膨胀,对水资源需求量也就越来越大。另外,我国水资源分布非常不均衡,不仅体现在地域上,还体现在季节上。其原因是我国幅员辽阔,南北跨几个气候带,东西地形起伏差异大,造成了一些地区丰水期可能形成涝灾,枯水期却又可能使河流干枯见底,对工农业的生产和人民的生活造成了很大不便,已经在一定时期成了影响国民经济的主要因素。据有关资料统计,我国目前有 16 个省(区、市)人均水资源量(不包括过境水)低于严重缺水线,有 6 个省(区)(宁夏、河北、山东、河南、山西、江苏)人均水资源量低于  $500 \text{ m}^3$ 。中国水资源总量排在世界第 6 位,而人均占有量  $2\ 240 \text{ m}^3$ ,在世界银行统计的 153 个国家中排在第 88 位。中国水资源地区分布也很不平衡,长江流域及其以南地区,国土面积只占全国的 36.5%,而水资源量占全国的 81%;其以北地区,国土面积占全国的 63.5%,而水资源量仅占全国的 19%。

水资源包括河流、湖泊、地下水、降水等。我国地域辽阔,东西南北延绵几千千米,南北跨越几个气候带,地势影响河流、湖泊等地表水资源在一个区域的存留状态,地表水是地下水有力的补给来源。降水量是影响水资源分布的一个很重要的因素。1998 年长江流域的洪水牵动了全国亿万人民的心,给国家造成了巨大的损失;在黄河开始调水调沙之前,黄河下游经常断流,给山东人民的生产生活带来了很大的影响;2010 年原本水资源丰富的黔西南地区遭遇百年不遇的干旱,全国上下齐动员展开了抗旱救灾活动。

在我们这样一个水资源缺乏和自然灾害频发的国家,合理开发利用水资源就显得尤为重要,不论是农业灌溉用水、人畜饮用水,还是经济建设工业用水,都需要人为地调控才能达到最佳的利用,其中水利基础建设是主要的调控手段。为了让水资源按照人们的意愿进行分配使用,我国进行了一系统的水利开发,举世闻名的长江三峡、黄河小浪底已经安然运行,南水北调中线项目也在轰轰烈烈的进行着,目前我国已是拥有水利设施数量最多的国家之一。新中国成立以来,特别是改革开放以后,我国几代领导人高度重视水电开发,水电建设迅猛发展、日新月异。经过几代水电建设者的不懈奋斗,到 2010 年我国水电装机容量已经突破 2 亿 kW 大关,成为世界水电第一大国。

我国河流众多,流域面积在  $100 \text{ km}^2$  以上的河流有 50 000 多条,流域面积在  $1\ 000 \text{ km}^2$  以上的河流有 1 500 多条。新中国成立后,国家对农田基本水利设施极其重视,先后修建了很多的小型水库,同时水电站的建设也蓬勃发展,多数河流利用地形条件实现了梯

级开发,充分利用了水资源和自然赋予的能量造福人类。据资料,我国现有各类水库 8.7 万座,坝高 15 m 以上的大坝约 1.8 万座,水库总库容约 5 842 亿  $\text{m}^3$ 。其中,大型水库 445 座、中型水库 2 800 余座、小型水库 82 000 余座,建成的总库容相当于我国河流总径流的 1/6,是我国广泛采用的防洪工程措施。在防洪区上游河道适当位置兴建能调蓄洪水的综合利用水库,利用水库库容拦蓄削减进入下游河道的洪峰流量,使洪峰的峰值变小,延长过流时间,达到保护堤防减免洪水灾害的目的。水库对洪水的调节作用有两种不同方式,一种起滞洪作用,另一种起蓄洪作用。水库结合河道堤防工程在防洪减灾中发挥着不可替代的作用。

以 1998 年长江流域特大洪水为例,洪峰流量、洪峰水位均和 1954 年的洪水接近,但洪水引发的洪灾损失比 1954 年小得多,其中重要的原因就是丹江口、葛洲坝、二滩、宝珠寺等一大批水库调节洪水、削减洪峰,为减少洪灾损失做出了不可磨灭的贡献。据统计,1998 年全国共有 1 335 座大中型水库参与拦洪削峰,蓄洪量达 532 亿  $\text{m}^3$ ,减少农田受灾面积 213.75 万  $\text{hm}^2$ ,使 200 余座城市免遭洪水浸淹,减灾效益达 7 000 亿元。

水库不仅能够防洪,而且在农业灌溉方面同样能够发挥巨大的作用。我国有 80% 的水库以灌溉为主,还有很多水库是远距离向城市供水,满足城市居民的日常生活用水和城市工业运转所需的水源供应,比如北京的密云水库、天津的潘家口水库等,我国有 100 多个大中城市完全依靠水库供水。因此,确保水库水坝安全运行,保证工农业及居民生活用水显得尤为重要。

作者

2015 年 7 月

# 目 录

|                   |      |
|-------------------|------|
| 前 言               |      |
| 第一章 我国水库现状与存在的问题  | (1)  |
| 第一节 我国水库的现状       | (1)  |
| 第二节 我国水库存在的问题     | (3)  |
| 第三节 水库大坝存在的主要病害问题 | (5)  |
| 第二章 大坝的类型         | (7)  |
| 第一节 土石坝           | (7)  |
| 第二节 拱 坝           | (10) |
| 第三节 混凝土重力坝        | (11) |
| 第四节 混凝土支墩坝        | (12) |
| 第三章 大坝渗漏原因分析      | (15) |
| 第一节 软土地基          | (15) |
| 第二节 地基的处理         | (17) |
| 第三节 地基的渗漏特征       | (19) |
| 第四节 大坝坝体渗漏的特征     | (22) |
| 第五节 绕坝渗漏的特征       | (23) |
| 第四章 大坝的防渗         | (25) |
| 第一节 地基防渗措施        | (25) |
| 第二节 防渗成槽机械        | (27) |
| 第三节 垂直防渗技术        | (30) |
| 第四节 土石坝防渗加固       | (32) |
| 第五节 浆砌石坝防渗加固      | (36) |
| 第六节 混凝土坝防渗加固      | (39) |
| 第五章 大坝渗漏探测方法      | (43) |
| 第一节 自然电位法         | (43) |
| 第二节 充电法           | (47) |
| 第三节 温度场测试法        | (49) |
| 第四节 高密度电法         | (50) |
| 第五节 探地雷达法         | (53) |
| 第六节 瞬变电磁法         | (57) |
| 第七节 大地电磁法         | (60) |
| 第八节 流场法           | (64) |
| 第九节 声纳探测法         | (65) |

|            |                         |              |
|------------|-------------------------|--------------|
| 第十节        | 堤坝渗漏示踪法 .....           | (66)         |
| 第十一节       | 多普勒效应测试库区渗漏的研究及应用 ..... | (68)         |
| 第十二节       | 渗漏探测新方法及发展趋势 .....      | (72)         |
| <b>第六章</b> | <b>渗漏探测工程实例 .....</b>   | <b>(73)</b>  |
| 第一节        | 高压旋喷止水帷幕围堰渗漏探测 .....    | (73)         |
| 第二节        | 土石坝水库渗漏探测 .....         | (79)         |
| 第三节        | 水库绕坝渗漏探测 .....          | (83)         |
| 第四节        | 坝基渗漏探测 .....            | (88)         |
| 第五节        | 水泥土搅拌桩截渗墙完整性检测 .....    | (92)         |
| 第六节        | 库岸山体集中渗漏通道探测 .....      | (96)         |
| <b>第七章</b> | <b>防渗除险加固实例 .....</b>   | <b>(103)</b> |
| 第一节        | 云南昭通放羊冲水库除险加固初步设计 ..... | (103)        |
| 第二节        | 济南卧虎山水库除险加固初步设计 .....   | (105)        |
| 后 记        | .....                   | (112)        |
| 参考文献       | .....                   | (113)        |



# 第一章 我国水库现状与存在的问题

人们在生产生活过程中为了利用水资源或调节洪峰,采用筑坝技术蓄积水源成为水库,这些水库大坝可以为周边的农业、工业活动提供便利,为电网输送电能,利国利民。在新中国成立初期,国民经济以农业为主,很多水库建设的目的就是利于农业灌溉。因此,当时的水库从设计到施工和用途都比较简单,大多数是低坝低水头。随着国民经济和科学技术的发展,电力、防洪、民用灌溉、工业用水等综合需求不断扩大,而易于开发的水资源越来越少,加上国家越来越重视工程的安全性,使得水库的设计施工越来越复杂,形成了又高又复杂的高坝高水头。

随着水利设施的不断开发建设,具有良好的地质条件、易于建坝建库的坝址已经被率先利用,剩下的多数是地质条件比较差的,在这种地方因需要灌溉和发展经济,对建坝需求很大,所以也建起了水库大坝。这些水库大坝对于受益区域来说是宝库,对于下游区域来说却是一个很大的潜在威胁,已经成了下游居民头顶的巨大隐患,一次溃坝可能造成数万、数十万、数百万人流离失所。这就要求前期的地质勘察更加科学严谨,对于施工质量等验收更加严格,同时对建成大坝运行期的安全也要密切监测关注。

根据水利部公布的数据:从1954年有溃坝记录以来,全国共发生溃坝的水库3515座,其中小型水库占98.8%。人类历史上最惨烈的溃坝事件发生在1975年的淮河流域,河南省驻马店地区包括板桥、石漫滩两座大型水库在内的数十座水库漫顶垮坝,1100万亩<sup>①</sup>农田被淹,1100万人受灾,超过2.6万人死亡,大坝及其建筑物的安全已成为水利部门面临的首要问题。国家有关部门也很重视大坝的安全性,对于已建成的老坝定期进行安全鉴定,并制定了相应的规范,《水库大坝安全鉴定办法》(水建管[2003]27号)从2003年8月1日起执行。

## 第一节 我国水库的现状

随着水电开发的不断发展,我国水库大坝的数量也在不断地创新高。据资料显示,我国现有各类水库8.7万座,坝高15 m以上的大坝约1.8万座,水库总库容约5842亿 $m^3$ ,库容大于100亿 $m^3$ 的水库有12座,它们在防洪减灾中发挥着不可替代的作用。但由于我国水库建设跨过了不同的时代,工程质量参差不齐,长期运行后安全问题突出。在20世纪50~70年代,中国完成了水利工程建设的“大跃进”,成为世界上水库数量最多的国家之一,而现有的水库,大部分建于那个时期,水利工程的大建设在新中国成立初期确实为国家的农业发展做出了巨大的贡献。受技术水平和经济条件的限制,当时建的大坝多为土石坝,寿命大约是50年,以中小型为主,多数为农业服务,现在多数是超龄服役,加上

<sup>①</sup> 1亩=1/15  $hm^2$ 。



运行期管理不到位、修补不及时等因素造成了现在的病险水库较多。

我国病险水库数量多、分布广、险情较严重,而且病险状况越来越严峻。根据 2000 年底统计,由水利系统管理的 8.37 万多座水库中,防洪标准、工程质量都存在问题的三类坝(病险坝)有 3.04 万多座,约占大坝总数的 36%,其中小型坝 2.91 万座,约占病险坝总数的 95.7%。近年来,全国很多地区小型水库频频发生垮坝事故,给国家和人民生命财产造成严重损失,小型水库的安全状况不容乐观。据 1954~2003 年统计资料,全国各类水库垮坝失事 3 484 座,其中超过 96% 为小型水库,平均每年近 70 座。

1975 年“板桥事件”之后,曾展开了一次全国水库大坝安全检查,结果是 1/3 的水库大坝不安全。当时制订计划,要在十年时间里全面治理全国的病险水库,国家因此进行了大规模的投资。在 1998 年的长江洪水之后,水利部再一次组织力量进行普查,普查的结果是病险水库在 50% 以上。尽管 20 世纪 90 年代中期以来,国家加大了对小型水库除险加固的力度,但收效不大,迄今为止,小型水库病险率仍在 30% 以上。

江西省水库数量居全国第二位,拥有各类水库 9 731 座,其中大型水库 25 座,中型水库 232 座,小(1)型水库(库容 100 万~1 000 万  $m^3$ )1 434 座,小(2)型水库(库容 10 万~100 万  $m^3$ )8 040 座。这些水库大多建于 20 世纪 50~70 年代,普遍存在标准偏低、施工质量不高、设施不完备等问题,又经过三五十年的运行,水库设施普遍老化,许多水库大坝存在坝体渗水、坝身薄弱、涵管破损淤塞等诸多安全隐患,严重威胁下游人民群众的生命财产安全。

截至 2011 年,安徽省现有在册的水库 4 669 座,其中大型水库 13 座,中型水库 104 座,小型水库 4 552 座。2005 年,安徽省曾对全省水库进行了普查和安全鉴定评估,全省水库中有 1 898 座水库病险情况较为严重,其中小型水库有 1 820 座。

截至 2010 年末,吉林省已建成各类水库 1 618 座,水库总库容 97.2 亿  $m^3$ 。目前全省正在进行除险加固建设的小(1)型水库有 64 座。经过多年建设,全省安全状况较好的水库有 522 座,全省还有 1 096 座水库存在不同程度的病险问题,占水库总数的 67.7%。

国家有关部门已经开始重视这些问题,2011 年中央一号文件强调,巩固大中型病险水库除险加固成果,加快小型病险水库除险加固步伐,尽快消除水库安全隐患,恢复防洪库容,增强水资源调控能力,推进大中型病险水闸除险加固。

根据国务院常务会议部署,2012 年底前,完成 5 400 座小(1)型水库除险加固任务,每座水库平均投资约 450 万元,总投资约 244 亿元,其中中央财政补助投资 168 亿元。2013 年底前,完成坝高 10 m 以上、库容 20 万  $m^3$  以上的 1.59 万座重点小(2)型水库除险加固任务,每座水库平均投资约 240 万元,总投资 381.6 亿元,全部由中央财政安排。2015 年底前,完成其余 2.5 万座小(2)型水库除险加固任务,所需资金由地方安排。对新出现的大中型病险水库,加快推进除险加固工作,力争 2013 年底前完成。

2011 年水利部副部长矫勇介绍,中国现有小型水库 8.2 万多座,大多建于 20 世纪 50~70 年代,由于历史原因,中国小型水库普遍存在工程标准偏低、建设质量较差、老化失修严重、配套设施不全等一系列问题,致使水库安全隐患严重,制约着水库效益的发挥。水利部部长陈雷说,从 2008 年起利用 3 年时间完成大中型和重点小型病险水库除险加固任务。截至 2011 年底,累计安排投资 700 多亿元,如期完成了 7 357 座大中型和重点小

型水库除险加固任务,其数量和投资强度都远超过历史上任何时期。

我国大部分中小型水库是 20 世纪 50 ~ 70 年代由群众施工建造而成的,没有经过严格的勘察设计,施工质量水平低下,且基本上没有施工过程中的质量监督控制,很多水库出现了质量问题,如坝底清基处理不彻底,有些混凝土结构中沙料为当地不符合标准的土沙等现象。诸多情况都影响了水库的正常使用,同时这些小型水库常常防渗体系不完善,据统计,全国大概有 1.8 万座小型水库存在不同程度的渗流问题。导致大坝渗漏的原因众多,加大了病险水库改造工作的难度。

## 第二节 我国水库存在的问题

### 一、病险水库多

全国多数的小型水库都存在着这样或那样的病险,而且数量多,特别是一些水利建设大省,病险水库占的比例和绝对数量也多。2012 年 6 月 1 日,国家防汛抗旱总指挥部办公室(简称防总)副总指挥、水利部部长陈雷在国家防总 2012 年全国水库安全度汛异地视频会议上指出,2011 年全国水库安全度汛的成绩良好,但目前全国仍有 4 万多座小型水库存在病险问题。很多水库已经不敢蓄水,让水资源白白地流走,在需要水时还要抽取地下水,形成了巨大的浪费。

近年来,各地陆续对病险水库进行安全加固处理,受资金的制约,在治理的时候往往没有从源头上进行地质勘察和除险加固设计,制订科学的治理方案,只是看到哪里有问题就简简单单地治理哪里的问题,往往是治标不治本,没有从根本上消除隐患。一些地区的水利部门也意识到了这些问题的严重性,多方筹措资金进行除险加固,在水利部的指导下,一段时间国内水利行业的除险加固成了主题,但尚未进行除险加固安全改造的小型水库还有数万座,这说明小型水库的除险任务仍非常艰巨。部分地区已经展开了有计划的除险加固工作,按轻重缓急和险情严重程度安排经费,重新进行勘察设计,加固处理。

### 二、运行管理重视不够

我国的水库实行统一管理、分级负责的制度,国家投资水库库容达到 1 000 万  $\text{m}^3$  以上的由市人民政府水行政主管部门设立水库管理单位,库容在 10 万  $\text{m}^3$  以上不足 1 000 万  $\text{m}^3$  的由县人民政府水行政主管部门设立水库管理单位或配置管理人员;农村集体经济或其他投资建设经济组织投资的水库由投资者设立水库管理部门或配置管理人员。

由于管理部门的不同,所处区域的经济程度参差不齐,周边可以协调利用的资源也多少不一,很多地方管理的水库缺乏长效的资金来源,不仅严重影响了防洪安全,也降低了水库应有的工程效益。一方面我国各级财政基本上没有面向小型水库的定量的财政投入机制;另一方面小水库可利用的资源相当有限,自身产出难以满足管理经费的需要。这就造成了管理人员缺乏,有的水库就雇用几个值班的人员,有的甚至连基本的值班人员也没有,那么日常的巡检等就更不用说了。长此以来,大坝的重要水工建筑物损坏,根本就没有观测、监测设备或有了也已经损坏无法使用,没有值班人员就更没有日常的维护管

理、水文资料的收集整理、库水位的运行情况记录等,还有些水库就算有值班人员,但管理制度缺失,没有制订应急预案,甚至险情发生时也无人知晓。

在现有水库运行管理中,有些单位没有把主要精力集中在安全运行和发挥效益方面,不支持技术管理。例如:在观测方面,据 20 世纪 80 年代末统计,全国大型水库还有 40% 未设观测设施或已设观测设施但不能满足监测土石坝安全工作的需要。在调度运用方面,有的水库从不编制调度运用计划,有的水库即使编制了调度运用计划,也往往被“长官意志”所代替。70 年代末,甘肃省党河中型水库超汛限水位运行,不重视安全,造成了漫坝失事。1993 年汛期,青海省沟后水库也是在超汛限水位运行下溃坝的。在养护维修方面,多数水库由于经费短缺,维修工作难以进行。随着水库寿命的增长,诸如材料老化、洪水、地震、泥沙淤积及其他破坏活动等,都有可能增加工程事故和失事的概率。

### 三、库区泥沙淤积严重

我国境内以黄河为代表的许多河流含沙量大,这些河流大部分都流经水库,最后流入大海。在流经水库时水流减缓等原因造成了很多水库的严重淤积问题。多数水库淤积后的库容已经远小于正常运行库容,同样的运行水位却没有了应有的库容,相当于降低标准使用,但运行的风险并不减少一点,降低了水库的防洪滞洪能力。水库淤积将使水库回水区的河道水位升高,相应抬高周围地区的地下水位,这样就可能导致这些地区土地的盐渍化;由于淤积,加大了水库的坡降,使库内水位不断抬高,因而使库水和它引起的再淤积不断上延,引起新的淹没与浸没。据甘肃省水利厅的相关统计资料,甘肃省的水库淤积现象相当严重,小型水库已淤积库容占总库容的 27%,部分严重的甚至已被淤泥填满。我国其他省份的水库也存在类似情况。

2009 年渭河流域发生了严重的水灾,据陕西省委、省政府统计,陕西全省有 1 080 万亩农作物受灾,225 万亩绝收,受灾人口 515 万,直接经济损失达 82.9 亿元,是渭河流域 50 多年来最为严重的洪水灾害。究其原因主要是渭河在潼关汇入黄河,如果黄河的水位高,渭河的水流就会变慢,水中挟带的泥沙会大量沉淀,形成严重淤积。可以说,渭河泥沙淤积是否严重,关键要看潼关一带的黄河水位是高还是低,而决定潼关水位高低的,又是它东面 100 多 km 处的三门峡水库。

水库泥沙的大量淤积也成了水库运行的一个主要病害,部分水库的闸门的提升受到影响;坝前的淤积阻碍水流进入发电机,增加进入叶轮的泥沙量,磨损发电设施,严重的将会影响水库的整体功能,再过几年,一些水库可能面临水库淤满填平、失去存在价值的局面。黄河小浪底水利枢纽的淤积也很严重,黄河水利委员会实行统一调度黄河水资源,每年会组织调水调沙,对水沙进行有效地控制和调节,变水沙不平衡为相适应,更好地排洪、排沙入海,减轻下游河道的淤积,甚至达到不淤。

### 四、水库长期运行缺乏安检

20 世纪 50 ~ 60 年代是水利工程建设的高峰,多数小型水库是在那个时代建设起来的,在建设时,有些水库没有经过严格的审批程序;工程施工时,抢进度、忽视质量;工程完工后,又多数未进行竣工验收;投入运行后,又缺乏经常维护,不具备安全监测手段,过

去曾有相当一部分水库处于无人管理的状态,溃坝失事造成严重的损失,一度引起各级领导的重视,已经得到了根本的扭转。半个多世纪的连续运行带来一系列的问题,水库大坝的各种病害就会随着时间的推移而相继出现,各种小病害的出现没有得到及时治理,累积起来就有可能成为病险水库,这给大坝的安全带来了隐患,需要及时排查除险;一些水库的观测设施缺乏或者破坏,或者闲置;水库的日常维护管理仅仅依靠人工的巡查有时候还很难发现。2003年水利部修订的《水库大坝安全鉴定办法》规定大坝实行定期安全鉴定制度,首次安全鉴定应在竣工验收后5年内进行,以后应每隔6~10年进行一次。运行中遭遇特大洪水、强烈地震、工程发生重大事故或出现影响安全的异常现象后,应组织专门的安全鉴定。安全鉴定的重要性毋庸置疑,是保证水库正常运行、发现安全隐患的重要措施,需要对现有的水库重视起来,进行安全鉴定排除隐患。大坝安全评价包括工程质量评价,大坝运行管理评价,防洪标准复核,大坝结构安全、稳定评价,渗流安全评价,抗震安全复核,金属结构安全评价和大坝安全综合评价等方面,做到有问题及时发现、及时处理,使大坝健康运行,能够正常地发挥抗洪的功能,保障下游人民的生命财产安全。

### 第三节 水库大坝存在的主要病害问题

#### 一、防洪标准偏低

大坝坝顶高程偏低或泄洪建筑物的泄水能力不足,其主要原因如下:

(1)原来参照的设计洪水标准本身偏低,现行规范经过多次修改,调整补充了过去规范中不适宜的部分,另外部分流域经过了多年水文资料的收集,提高了洪水标准。

(2)泄水建筑物因原设计的过流断面偏小或经过后期运行泥沙淤塞等原因,其排泄能力达不到标准。

(3)泄水建筑物存在安全隐患,部分库区的泄洪闸门被泥沙淤积,启闭机不能正常工作,起不到正常泄洪的作用。

(4)周边环境的变化使得泄水建筑物下游无法泄洪等。

#### 二、水库大坝稳定性差和强度低

土坝坝坡滑动,重力坝及拱坝结构变形、裂缝等,其主要原因是:

(1)原有土石坝坝坡偏陡。

(2)土石坝坝体填筑质量差,坝体填料抗剪强度偏低,影响坝体抗滑稳定。

(3)重力坝由于材料老化和地基条件恶化,沿建基面或基础深层结构面抗滑稳定性不够。

(4)浆砌石坝砌筑质量差,影响大坝整体性。

(5)混凝土或浆砌石坝和重力坝坝基帷幕和排水失效或部分失效,造成大坝扬压力升高。

### 三、大坝渗漏严重

土石坝长期存在渗漏、管涌、散浸、流土等,坝前存在大量的地面流水和喷水,重力坝、拱坝坝体渗漏出现析钙,其主要原因如下:

(1)土石坝土质防渗体渗透性不满足规范要求。

(2)土石坝下游无排水棱体或失效。

(3)土石坝坝基、坝肩清基不彻底,坝基基础没有采取渗控措施或防渗措施设计不合理,没有起到应有的效果。

(4)浆砌石坝砌体不密实,上游防渗面板混凝土裂缝,止水破坏。

(5)重力坝混凝土施工质量差,混凝土存在蜂窝、空洞、裂缝等,导致大坝渗漏;坝体结构接缝灌浆质量不好,造成大坝结构整体性差,或由于设计时没有考虑库水水质对混凝土的侵蚀作用,经过几十年的运行,混凝土及帷幕灌浆的钙质大量流失,防渗能力下降。

(6)施工方案不合理或拱坝坝肩基础处理不完善,导致坝体两端拱座附近出现竖向贯穿坝体上下游的裂缝,或坝体坝基防渗处理不完善造成拱坝坝体坝基渗漏或坝肩绕坝渗漏。

### 四、闸门、启闭机设备老化、锈蚀严重

部分闸门高度不满足挡水要求,闸门变形、锈蚀、结构强度不足,启闭机不能正常启闭,其主要原因如下:

(1)部分水库在建坝时,因为水文资料匮乏及后来的变化,现在复核时闸门高度不满足要求,或水库调度的改变,闸门的高度不够。

(2)闸门长期运行老化,锈蚀严重,导致结构构件截面面积减小,结构强度、刚度、稳定性降低,承载力下降,使构件产生变形。

(3)启闭机老化、启闭力不足,闸门的启闭设备生锈或不灵活,影响闸门的正常启闭。

### 五、管理制度不完善和监测设施陈旧

(1)水库未经审批的防洪兴利调度运用规程,或没有按照审批的规程进行水库调度。

(2)管理制度不完善,运行机制不健全。

(3)水库的水文测报、大坝观测系统不完善,或监测设施陈旧、失效、损坏严重,甚至没有水文观测设施。

(4)运行管理人员技术水平差,责任心不强,管理监测手段落后。

(5)管理经费缺乏,工程缺乏维护更新。

## 第二章 大坝的类型

根据建筑材料和结构形式划分,大坝的主要类型有土石坝、混凝土拱坝、混凝土重力坝和重力拱坝、混凝土支墩坝、几种混合组成的坝。

### 第一节 土石坝

土石坝是指利用当地土料、石料或混合料,经过抛填、碾压、夯实等方法堆筑成的挡水结构。土石坝是历史最为悠久的一种坝型。早在公元前 600 多年,我国就开始了填筑堤坝,防御洪水,比如安徽的芍坡。土石坝在 20 世纪 50 年代得到了长足的发展,国内已建成的大坝 90% 左右是土石坝。土石坝是比较经济的一种坝型,用的基本是天然材料,它的经济性只有在建筑物开挖料、坝址附近的土石料能充分利用的条件下才能体现出来,如果料场较远,经济性就大打折扣。

土石坝的类型,按不同的角度有多种不同的分类方法,目前比较流行的主要是按筑坝材料、施工方法和防渗体形式进行分类。

#### 一、按筑坝材料分类

土石坝按筑坝材料分为土坝、土石混合坝、堆石坝。

填筑坝体的材料以土、砂砾为主的坝称为土坝,其坝体绝大部分由土料筑成,但由于土的松软特性,这样的大坝在大中型水利枢纽中并不多见,毛家村水库土坝位于云南省东北部的会泽县以礼河的中游,是世界第二、亚洲第一大土坝。填筑坝体的材料以石渣、卵石、爆破石为主的坝称为堆石坝,2009 年竣工的湖北清江水布垭水电站属于混凝土面板堆石坝,最大坝高 233 m,坝顶宽 12 m,坝轴线长 584 m。按照相当比例由土石混合堆筑的坝称为土石混合坝,位于乐昌市武江上游廓田河支流上的龙山水库就是土石混合坝。在土石坝的建设中,较大型的土石坝下一般由多种结构形式组合,所用的材料也往往是非均质的,砂砾石材料一般情况需要进行分选级配,石料来源比较广泛,可以是河流漂石,也可以是山麓堆积以及开采石料,在工程的决策阶段就要包括这项勘察,因为填筑主体的材料的材质、储量、距离、交通条件等因素有着举足轻重的作用。兴建土石坝不仅需要坝址基础进行勘察,还需要调查天然材料和进行力学试验。

#### 二、按施工方法分类

##### (一) 碾压式土石坝

碾压式土石坝是由适宜的土石料分层填筑,并用压实机械逐层碾压而成的坝型。随着碾压技术的发展,越来越多的土石料可以用于大坝,按照设计的要求,在经济性对比后,各种天然料和人工料配合加工形成新的填筑石料。这种坝在施工过程中,一般是分层碾



压,但因为施工的特点也可以分段碾压,分段碾压要保证接缝处的碾压质量,避免交接带漏压或欠压,要做到彼此搭接不小于1 m,均衡上升。近20多年来,随着大型碾压机械的采用,这种坝型得到最广泛的应用。

## (二)水力冲填坝

水力冲填坝是利用水力和简易的水力机械完成土料开采、运输和填筑等主要工序而筑成的坝型。具体地说,就是用高压水枪驱动高压水流向料场的土料喷射冲击,使之成为泥浆,然后通过泥浆泵和输浆管把浆液输送到坝体预定位置分层淤积、沉淀、排水和固结后形成的坝型。在施工中解决了土源短缺、施工条件差、机械设备成本大、雨季不能施工等问题,但也存在一些其他问题,受条件限制只能填筑中小型堤坝。水力冲填坝含细砂颗粒多,需要全面的衬砌,且施工质量难以保证。

我国西北地区创造的水坠坝与这种坝型的施工原理相似,其料场位于坝顶高程以上的山体,泥浆输送是利用浆液的重量经沟渠自流到坝面,因而有学者也把水坠坝归类为水力冲填坝。

## (三)水中填土坝

水中填土坝是将易于崩解的土料分层倒入静水中,依靠土体自身重量和运输工具压实而成的。施工时,一般在施工面上围堰分格,并在格中灌水倒土逐层填筑。河南省淮河流域沙颍河水系沙河干流白龟山水库有部分坝段是水中填土。广东省利用含砾风化黏性土(主要是花岗岩、砂岩、片麻岩等风化土层)用水中填土方法来填筑土坝比较成功,是当地比较喜欢使用的填筑方法。适用于水中填土筑坝的土料有:黄土和类黄土、砾质风化土、风化砂砾土、壤土等。

## (四)定向爆破土石坝

定向爆破土石坝是在坝肩山体的预定位置开挖洞室,埋放炸药引爆,使土石料按照物体平抛运动的轨迹抛到预定的设计位置,完成大部分坝体填筑,再经过加高修复而形成的坝型。

这种筑坝方法由于爆破力很大,可能造成坝址附近地质构造破坏,因此一般较少采用。这种方法是20世纪30年代苏联首先采用的,如72 m高的防泥石流的梅德奥坝等。我国已建成这种土坝或堆石坝有40余座,最高的有陕西石砭峪水库大坝,坝高82.5 m;广东乳源南水电站的主坝,坝高81.3 m。

# 三、按防渗体的形式分类

土石坝按防渗体形式可分为均质坝、土质防渗体分区坝和非土质材料防渗体坝(碾压式)。

## (一)均质坝

均质坝绝大部分由均一的土料分层填筑而成。筑坝料多用透水性较小的黏性壤土或砂质黏土。坝体具有防渗作用,因此无须设置专门的防渗措施,如图2-1(a)所示。

## (二)土质防渗体分区坝

土质防渗体分区坝由透水性很小的土质防渗体和若干种透水土石料分区分层填筑而成。黏性土质防渗体设在坝体中部或上游,称为黏土心墙坝或黏土斜心墙坝,如图2-1



(b)、(c)、(d)所示；设在坝体上游面的称为黏土斜墙坝，如图 2-2(a)、(b)、(c)所示。

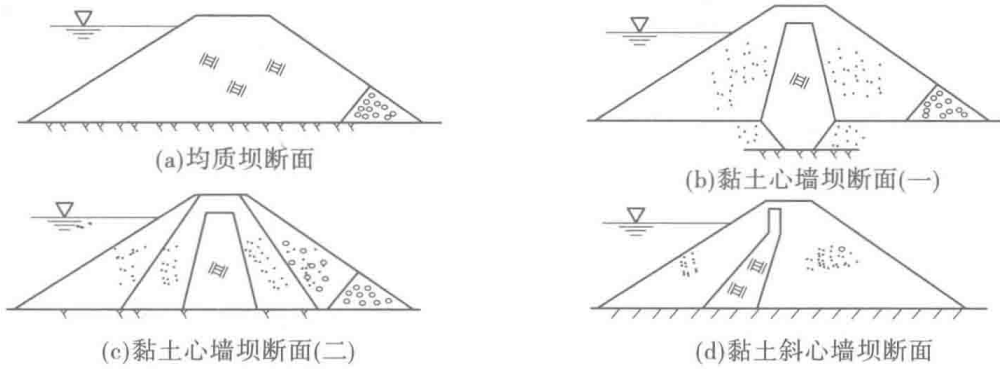


图 2-1 黏土心墙坝断面图

此外，还有其他形式的分区坝，如坝体上游部分为防渗土料，下游部分为透水土料的分区坝等，如图 2-2(f)所示。

### (三)非土质材料防渗体坝

非土质材料防渗体坝的防渗体一般由钢筋混凝土、沥青混凝土或其他非土质材料做成。其中防渗体布置在坝体中央附近的称为心墙坝，如图 2-2(d)所示；防渗体布置在上游面的称为面板土石坝，如图 2-2(e)所示。在堆石坝中，一般将防渗体设在上游坝面，又称面板堆石坝。

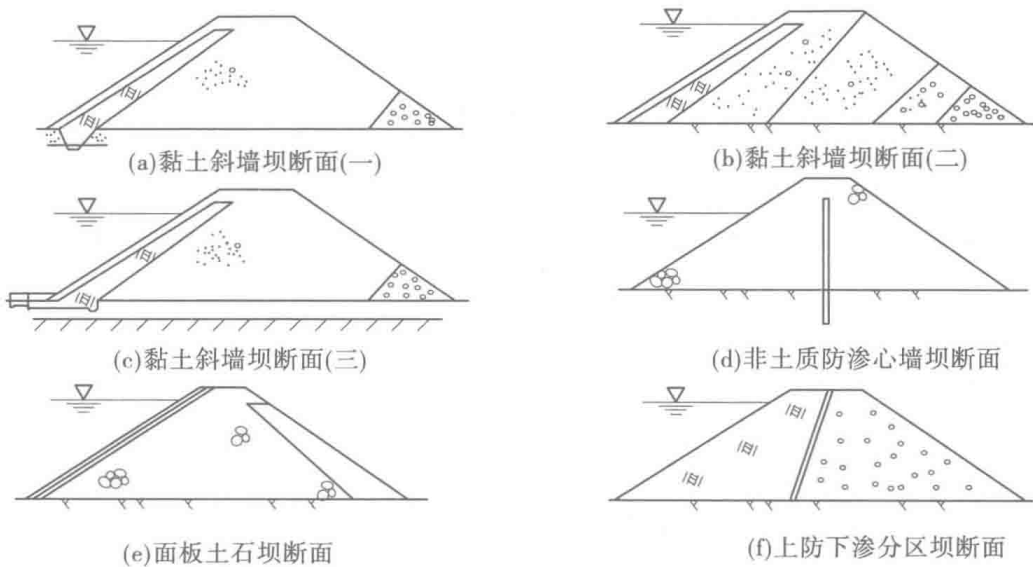


图 2-2 黏土斜墙坝及其他土石坝

由于土石坝要求的地基承载力比重力坝小得多，从松软的河流冲积层到高强度的沉积岩、变质岩都可以建土石坝，另外土石坝没有刚性的防渗体系和坝体，在建设过程中或建设完成后，能够适应少量的变形，不易被破坏。近代的土石坝筑坝技术发展促成了一批高坝的建设，目前土石坝是世界坝工建设中应用最为广泛和发展最快的一种坝型。塔吉

克斯坦的罗贡心墙土石坝是目前世界上最高的土石坝,坝高 335 m;小浪底土石坝是中国水利建设史上最大的壤土斜心墙堆石坝,坝高 154 m、大坝全长 1 667 m、坝顶宽 15 m、最大坝底宽度 864 m、最大坝体高度 154 m。中国的水布垭面板堆石坝是世界上已建和在建的最高面板堆石坝,坝高 233 m。

## 第二节 拱 坝

拱坝起源于欧洲,最早的拱坝是古罗马时代的鲍姆拱坝。拱坝从欧洲向外传播到北美洲。二战后拱坝技术取得了长足的发展,拱坝建造更加普遍,技术更先进的拱坝大量出现。中国虽然在水坝建设上历史悠久,但直到近代才开始有拱坝的建设,我国的第一座拱坝是 1927 年修建的福建厦门上里浆砌石拱坝,坝高 27 m。大量的建设是在 20 世纪的七八十年代,每年的建设数量在 300 座以上,拱坝的数量一度达到世界坝量的一半左右。

### 一、拱坝的分类

拱坝按照建筑材料分类:浆砌石拱坝、混凝土拱坝、钢筋混凝土拱坝。我国的拱坝以浆砌石占较大比重,混凝土拱坝的比重仅占 10% 左右。

拱坝按照施工方法分类:常态混凝土拱坝、碾压混凝土拱坝、装配式混凝土拱坝、分期施工拱坝。

拱坝按照坝高分类:低坝、中坝和高坝。低坝高度在 30 m 以下,中坝高度为 30 ~ 70 m,高坝高度为 70 ~ 200 m。

拱坝按照坝的厚高比分类:薄拱坝、中厚拱坝和厚拱坝(或称重力拱坝)。薄拱坝厚高比小于 0.2,中厚拱坝厚高比为 0.2 ~ 0.35,厚拱坝厚高比大于 0.35。

拱坝按照拱坝垂直向有无曲率分类:在垂直向无曲率或基本没有曲率的称为单曲拱坝,在垂向上有曲率的称为双曲拱坝。这是目前比较重要的分类标准。拱坝采用的曲线有圆弧、椭圆及抛物线等,有些拱坝在建造时采用连续多个续拱,称为连拱坝。

### 二、拱坝的建造

拱坝的建造需要通过复杂的设计和应力分析,这些坝是较薄的曲线结构,通常由钢筋或预应力钢筋混凝土构成,所需的骨料比重力坝的要少得多,但对坝基及两岸的基岩承载力及抗负荷能力要求很大。拱坝通常建在狭窄的高山峡谷中,筑坝材料的质量很重要,在两岸拱座部位基岩较破碎的地方,需要开挖到完整的基岩部分或者利用混凝土填补成人工支墩。根据拱坝的受力特点,宜修建在河谷较狭窄且地质条件较好的坝址上,坝轴线应选在河谷两岸较厚实的山体上。根据坝址河谷形状选择拱坝体型时应符合下列规定:V 形河谷可选用双曲拱坝,U 形河谷可选用单曲拱坝。介于 V 形与 U 形之间的梯形河谷可选用单曲拱坝或者双曲拱坝。当坝址河谷的对称性较差时,坝体的水平拱可设计成不对称的拱或采取其他措施;当坝址河谷形状不规则或河床有局部深槽时,宜设计成有垫座的拱坝。

拱坝是一种比较复杂的挡水建筑,造成拱坝病害的主要是拱坝地基处理问题、坝身混