

水利电力系统领导
干部岗位培训教材

电力生产现代技术 水电厂近代技术

武汉水利电力学院 主编



河海大学出版社

电力生产现代技术 水电厂近代技术

武汉水利电力学院主编

河海大学出版社

内 容 提 要

本书内容包括十六专题,按水、机、电分为三篇。第一篇水工及水电站建筑物含六个专题,分别为水库工程的养护与修理、坝工观测与分析的现代技术、水电站有压非恒定流、抽水蓄能电站、水电站压力管道的结构型式及运用特点和水电站地下洞室围岩稳定与支护。第二篇水力机械含五个专题,分别为水电站经济运行、超声波测流技术、计算机仿真技术、水轮发电机组液调调速器及调节系统分析和现代化维护管理。第三篇电气技术含五个专题,分别为现代高压电机绝缘、六氟化硫(SF₆)组合电器、水轮发电机励磁系统、水电厂电子计算机监视控制和微处理机在自动装置中的应用。

本书力求反映国内外水电厂近代新技术、新装置和新成就,既注重实际应用,又注意基础理论知识阐述。

本书系水利电力系统领导干部岗位培训教材,还可供水利电力部门从事设计、施工、运行和科研工作的工程技术人员及高等学校有关专业师生参考。

电力生产现代技术

水电厂近代技术

武汉水利电力学院 主编

*

河海大学出版社 出版

江苏省新华书店 发行

江苏省武进县第三印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16印张 27.25 字数 693 千字

1990年3月第一版 1990年3月第一次印刷

印数1-5000 册

*

ISBN 7-5630-0267-7/TK·7

定价: 8.30元

编写说明

为了适应水利电力系统大中型企业领导干部岗位职务培训工作的开展，部教育司、生产司、基建司组织了部分有专长的教授、讲师和专业科技干部，编写了一套体现水利电力行业特点的领导干部岗位培训教材，共有十四本，书名是《电力企业管理》、《电力生产企业 现代管理》、《电力生产企业现代管理案例》、《电力生产现代技术(电网部分)》、《电力生产现代技术(供电部分)》、《电力生产现代技术(火电厂部分)》、《电力生产现代技术(水电厂近代技术)》、《电力建设现代管理》、《电力施工企业管理》、《火电 施工现代技术》、《送变电施工 现代技术》、《水电施工企业现代管理》、《水电 施工 企业经营管理》、《水电施工现代技术》。

这套教材主要是供给水利电力系统大中型企业局厂长(经理)、党委书记、总工程师、总经济师、总会计师岗位培训时使用，也可供其它经济管理干部和科技干部的岗位培训和高等院校有关专业选用。

由于经验不足，编写时间又很仓促，再加上当前水利电力企业正处在改革之中，一些问题正在研究探索，而且新的技术又在不断发展，因此，书中一定会存在着不完善或者欠妥之处，望读者批评指正。

水利电力部教育司

1987年8月

前 言

本书是由原水利电力部教育司组织并按照国家水利电力系统中大型企业领导干部岗位培训的教学要求编写的。初稿经武汉水利电力学院举办的两期电力生产现代技术(水电厂近代技术)总工程师岗位培训班试用,并在广泛征求学员意见的基础上作了修改。

全书包含十六个专题,按水、机、电分为三篇;第一篇为水工及水电站建筑物。重点介绍水库工程的养护与修理、坝工观测与分析、水电站有压非恒定流、抽水蓄能电站、水电站压力管道的结构型式及运用特点、水电站地下洞室围岩稳定与支护;第二篇为水力机械。重点介绍水电站经济运行、超声波测流技术、计算机仿真技术、水轮发电机组电液调速器及调节系统分析、现代化维修管理;第三篇为电气技术。重点介绍现代高压电机绝缘、六氟化硫(SF₆)组合电器、水轮发电机励磁系统、水电厂电子计算机监视控制、微处理机在自动装置中的应用。

本书力求反映国内外水电厂现代新技术、新装置和新成就,引用了大量的生产实际资料和科研成果,在加强实用性和针对性的同时,注意对基础理论知识的阐述。全书涉及的知识面广,而各专题又受到篇幅的限制,因此不强调其系统性和完整性。本书除作为水电厂总工程师岗位培训的教材外,还可供水利电力部门从事设计、施工、运行和科研工作的工程技术人员及高等学校有关专业师生参考。

参加本书编写和审稿的有:

第一专题由王开治编写,李新民审稿;

第二专题由李珍照编写,叶泽荣审稿;

第三专题由吴荣樵(第一节)、陈鑑治(第二节)、张师华(第三、四节)编写,由吴荣樵统稿整理,王三一、黄程深审稿;

第四专题由陈鑑治编写,王三一审稿;

第五专题由马善定编写,宋常春、黄程深审稿;

第六专题由俞裕泰编写,王三一审稿;

第七专题由李钰心编写,戴国瑞审稿;

第八专题由范华秀编写,徐枋同审稿;

第九专题由李植鑫(第一、二、五、六节)、武丽雄(第三、四节)编写,徐枋同审稿;

第十专题由蔡维由编写,刘炳文审稿;

第十一专题由刘忠贤编写,徐枋同审稿;

第十二专题和十三专题由贺景亮编写,黄齐嵩审稿;

第十四专题由章贤编写,聂光启审稿;

第十五专题由方辉钦编写,徐枋同审稿;

第十六专题由郭懋铤编写,徐枋同审稿。

本书第一篇由马善定负责统稿,第二篇由刘忠贤负责统稿,第三篇由贺景亮负责统稿,全书由李植鑫负责组织及统稿。

参加编写的除能源部南京自动化研究所方辉钦、郭懋铤高级工程师外,其余均系武汉水

利电力学院教师。

能源部中南勘测设计院王三一、宋常春、黄程深三位高级工程师，能源部水电科学研究院聂光启高级工程师，以及武汉水利电力学院有关教授分别对书稿作了详细审阅，并提出了宝贵意见，谨向上述同志和单位表示衷心感谢。

书中也引用了有关生产和科研单位的成果和资料，在此一并表示感谢。

由于我们的水平有限，而新技术在不断发展，书中难免会有欠妥之处，恳请读者批评指正。

《电力生产现代技术(水电厂近代技术)》编写组

1989年4月

目 录

第一篇 水工及水电站建筑物

第一专题 水库工程的养护与修理

- 第一节 概 述.....(1)
- 第二节 土石坝的养护与修理.....(2)
- 第三节 混凝土坝的养护与修理.....(13)
- 第四节 溢洪道的养护与修理.....(18)
- 第五节 隧洞、涵管的养护与修理.....(20)

第二专题 坝工观测与分析的现代技术

- 第一节 概 述.....(24)
- 第二节 坝工观测的现代技术.....(27)
- 第三节 观测资料分析的现代技术.....(38)

第三专题 水电站有压非恒定流

- 第一节 反水锤.....(48)
- 第二节 尾水调压室.....(53)
- 第三节 调压阀.....(58)
- 第四节 水轮机的合理调节.....(62)

第四专题 抽水蓄能电站

- 第一节 抽水蓄能电站的类型和功用.....(66)
- 第二节 抽水蓄能电站的经济效益.....(67)
- 第三节 抽水蓄能电站的主要设备.....(68)
- 第四节 抽水蓄能电站主要建筑物.....(70)
- 第五节 抽水蓄能电站水力过渡过程.....(73)
- 第六节 抽水蓄能机组的起动.....(74)
- 第七节 抽水蓄能电站的发展及其在我国的展望.....(74)

第五专题 水电站压力管道的结构型式及运用特点

- 第一节 大直径高水头压力管道的技术问题及发展趋向.....(76)
- 第二节 地下埋藏式管道的发展.....(76)
- 第三节 混凝土坝身压力管道新技术.....(86)

第六专题 水电站地下洞室围岩稳定与支护

- 第一节 概 述.....(87)
- 第二节 围岩的破坏机理.....(89)
- 第三节 围岩稳定分析的基本方法.....(90)
- 第四节 围岩稳定分析的有限单元法.....(93)
- 第五节 洞室的开挖及支护分析.....(98)

第二篇 水力机械

第七专题 水电站经济运行

- 第一节 水电站经济运行概述.....(100)
- 第二节 水电站厂内经济运行.....(104)
- 第三节 电力系统中水电站的短期经济运行.....(113)
- 第四节 水电站长期经济运行与水库调度.....(123)

第八专题 水电站测流新技术—超声波测流

- 第一节 水电站测流概述.....(134)
- 第二节 超声波测流基本原理及流量解算.....(137)
- 第三节 超声波测流装置.....(148)
- 第四节 超声波测流技术在水轮机效率实时测量中的应用.....(155)

第九专题 计算机仿真技术

- 第一节 概 述.....(163)
- 第二节 数学模型表达形式及仿真的基本方法.....(165)
- 第三节 连续系统按环节离散化的数字仿真.....(169)
- 第四节 非线性控制系统的数字仿真.....(184)
- 第五节 采样控制系统的数字仿真.....(191)
- 第六节 计算机仿真技术在控制系统中的几个应用范例.....(202)

第十专题 水轮机电液调速器及调节系统分析

- 第一节 电液调速器概述.....(210)
- 第二节 电液调速器结构框图分析.....(219)
- 第三节 转浆式水轮机的数字协联.....(226)
- 第四节 转浆式水轮机调节系统动态品质分析.....(231)
- 第五节 微机调速器简介.....(237)

第十一专题 现代化维修管理

- 第一节 维修管理的现代化.....(244)
- 第二节 监控可靠性的视情维修.....(248)
- 第三节 监控参数的视情维修.....(256)
- 第四节 改进性维修.....(263)

第三篇 电气技术

第十二专题 现代高压电机绝缘

- 第一节 电机绝缘的工作条件.....(267)
- 第二节 现代高压电机中的绝缘材料.....(269)
- 第三节 现代高压电机的绝缘结构.....(273)
- 第四节 高压电机的电晕现象及其清除方法.....(277)
- 第五节 电机绕组交流击穿电压值的预测法.....(284)

第十三专题 六氟化硫(SF₆)组合电器

第一节	概 述	(286)
第二节	SF ₆ 气体的物理化学性质	(287)
第三节	SF ₆ 气体的绝缘特性	(289)
第四节	SF ₆ 气体中沿固体介质表面的放电	(294)
第五节	SF ₆ 混合气体绝缘	(295)
第六节	SF ₆ 组合电器中的绝缘结构	(295)
第七节	SF ₆ 全封闭组合电器的设计安装与应用	(297)
第八节	关于SF ₆ 气体使用中的毒性问题	(299)
第十四专题 水轮发电机的励磁系统		
第一节	水轮发电机励磁系统的主要作用	(302)
第二节	大、中型水轮发电机的励磁方式	(309)
第三节	晶体管开关式励磁调节器	(313)
第四节	晶体管自并励磁系统	(320)
第五节	大型水轮发电机的灭磁	(337)
第六节	励磁控制系统分析	(343)
第十五专题 水电厂电子计算机监视控制		
第一节	绪 论	(356)
第二节	水电厂自动化功能	(361)
第三节	水电厂计算机监控系统	(365)
第十六专题 微处理器在自动装置中的应用		
第一节	事故顺序显示记录和多微机数据采集装置	(385)
第二节	大型机组单元自动控制装置	(396)
第三节	微机型发电机励磁调节器	(406)
第四节	微机型发电机组调速器	(414)
第五节	微机型超声波流量及效率测量系统	(421)

第一篇 水工及水电站建筑物

第一专题 水库工程的养护与修理

第一节 概 述

水库是由在河道中修建拦河坝而形成的。为了保障水库安全和充分发挥其效益,除拦河坝外还需要同时修建其它水工建筑物,这种以拦河坝为主体的水工建筑物群体叫做水利枢纽工程或水库工程。

组成水库工程的水工建筑物一般有挡水建筑物、泄水建筑物、取水建筑物和专门建筑物等。其中最重要而又必不可少的是前两种水工建筑物。本专题所介绍的水库工程的养护与修理,主要是这两种水工建筑物的养护与修理。

一、加强水库工程养护与修理工作的重要意义

(一) 为什么要加强对水库工程的养护与修理

水工建筑物在运用过程中,受到以下自然因素和人为因素的作用而逐渐损坏,

① 长期受到水的渗透、化学腐蚀、泥沙磨损和冰冻等作用,逐步降低其工作性能,因而水工建筑物是有使用年限的。然而,完善的养护和及时的修理可以延长其使用年限。

② 在水库工程的规划、勘测和设计中,难免有不符合客观实际之处,尤其是对水文和地质方面的认识有局限性,从而使得水工建筑物在建成时就存在不同程度的弱点和隐患。

③ 我国自五十年代末至文革期间,受左的干扰,以至一些工程不按规范设计和施工,工程质量存在着严重问题。

所谓养护就是采取措施,避免或减轻自然因素对水工建筑物的不良作用。而修理则是对已遭到损坏的或存有隐患的水工建筑物进行修复或补强,使其恢复到正常使用功能。

我国建国以来,各级水利部门对加强水库工程的养护与修理工作十分重视,并取得了很好的效果。例如官厅水库于1954年建成蓄水后,由于左岸的绕坝渗流,使下游细沙层在1956~1958年期间发生多处大面积渗透变形,经修理后运行正常。又例如丰满水库,是解放前日本帝国主义建造的,大坝千疮百孔,几乎不能运行。解放后,通过两次较大规模的修理补强,使即将报废的大坝恢复了正常工作能力。反之,不重视水库工程的养护与修理将导致水库失事。例如美国南福克(South Fork)水库,在使用了50年后改为游猎俱乐部的游湖,资本家不重视水库工程的养护与修理,招致土坝坝顶塌陷,泄水管被堵塞,溢洪道泄洪能力不足,1889年洪水漫顶而溃坝,死亡2500余人,是美国坝工史上最惨重的一次失事。我国建国以来,已垮坝三千余座,其中绝大多数是小坝、低坝,这是因为对小坝和低坝不够重视,勘测、设计马虎,施工质量低劣,建成后又缺乏养护和修理的缘故。由此可见,加强水库工程的养护与修理工作是十分必要的。

(二) 养护与修理的关系

自然因素对水工建筑物的不良作用是经常的,因而养护工作也应是经常的。养护可以减轻自然因素对水工建筑物的损坏程度,但不能完全避免损坏。水工建筑物在遭到损坏后应及

时修理，否则损坏就继续发展，以至发生险情，若抢险不及时，就导致失事。

养护容易而费钱不多，修理的难度与费用比养护高得多，而抢险就更难更费钱了。平时对工程做系统而周密的养护，可以大大减少修理工作；有了病害及时修理，就可避免险情突然发生。因此，一定要建立好水库工程的养护与修理的规章制度，责任到人，定时检查，保证人人切实照章执行。要贯彻“养(护)重于修(理)、修重于抢(险)”的原则。加强日常的养护与修理工作，做到小坏小修，不等大修，随坏随修，不等岁修，以保持水工建筑物经常处于正常工作状态。

二、水库工程正常工作状态的标准

当水利枢纽中的主要水工建筑物达到了设计防洪标准，工程质量良好，在正常情况下能够安全可靠地运行和发挥应有效益，则该水利枢纽是处于正常工作状态的。其具体标志如下：

- ① 大坝的稳定安全系数满足设计规范要求。
 - ② 泄洪建筑物有足够的泄洪能力。泄洪时没有危及大坝或其它水工建筑物安全的冲刷。
 - ③ 取水建筑物能保证在各种库水位下按需要的引用流量取水。输水管道与坝体接合良好。
 - ④ 大坝的水平和铅直位移变化规律正常。
 - ⑤ 坝身无严重的裂缝和渗漏现象。
 - ⑥ 坝基和两岸坝头渗透水清澈透明，渗漏量小于设计允许值，无渗透变形迹象。
 - ⑦ 泄洪和取水建筑物的闸门和启闭机械操作灵活、迅速，并能准确地控制流量，在泄洪和取水时，无严重的振动或空蚀现象发生。
 - ⑧ 土石坝的坝身浸润线或重力坝的扬压力正常，且不高于计算采用值。
- 需要指出，当水利枢纽处于正常工作状态时，仍应加强经常的、有计划、有秩序的养护。

三、病害水库和危险水库

当水利枢纽中的主要水工建筑物均达到了设计防洪标准，但存在着能够迅速修复以安全度汛的一般病害或隐患，称为病害水库。

当水利枢纽中的主要水工建筑物未达到设计防洪标准，例如泄洪建筑物泄洪能力不足、整体稳定性不够等，或主要水工建筑物存在严重病害不能安全度汛，皆称为危险水库。

对于病、险水库，必须大力加强养护与修理工作。要提出有效的安全度汛措施，例如降低库水位、增设非常溢洪道等，以确保水库安全。对病、险情况要仔细调查，在充分分析研究的基础上，提出修复补强措施，报请上级机关批准后，立即进行修复。

第二节 土石坝的养护与修理

土石坝是最为广泛采用的坝型。我国已建成坝高在15米以上的大坝中，土石坝约占95%。

一、土石坝的特点及常见病害

(一) 土石坝的特点

土石坝是散粒体结构，其特点是：

- ① 抗剪强度低。容易发生滑坡。
- ② 具有透水性。除了库水有损失以外，浸润面以下的坝体浸泡在水中，抗剪强度有所降低，且受渗流的渗透力推动，于是坝坡稳定性进一步恶化。尤其是土料抗渗透变形能力较低，更易发生渗透变形。
- ③ 抗冲刷能力低。除了坝面有专门的保护措施，坝脚有可靠的消能工的过水土石坝可以宣泄较小的单宽流量外，坝顶绝对不允许过水。
- ④ 坝体变形和沉降量大。它往往是坝体裂缝和渗漏发生的主要原因。

(二) 土石坝的常见病害现象

由于土石坝具有上述特点，故常有下述病害现象发生：①坝体裂缝；②坝身、坝基、两岸坝头渗漏或渗透变形；③坝坡滑动；④坝体沉降；⑤坝面损坏等。

二、土石坝的日常检查和养护工作

(一) 土石坝的日常检查工作

1. 检查裂缝

重点检查下列部位：①坝体与两岸连接处；②坝体与刚性建筑物连接处；③坝体填土性质差别较大处；④填土质量较差处。

对平行于坝轴线的较大裂缝应注意观测有无滑坡迹象；对垂直于坝轴线的较深裂缝应注意观测是否已形成贯通上下游的漏水通道。

2. 检查渗漏

重点检查下列部位：①下游坝坡；②坝脚；③坝内埋管出口附近；④坝体与两岸连接处。

检查内容有：①观测坝体浸润面的位置；②观察渗水透明度；③量测渗流量。

当发现异常情况时，特别是渗水浑浊，应尽快地查明原因，及时处理。

3. 检查其它损坏现象

如检查坝面塌陷、雨水冲蚀、兽洞、白蚁穴道、护坡块石松动和垫层流失等。

上述检查工作，在汛期高水位、泄洪、暴雨、地震、结冰及解冻时期，尤应加强。每次检查，都应作记录，对观测资料要及时整理。

(二) 土石坝的日常养护工作

① 按水库调度文件规定，正确控制水库水位；按设计文件规定控制水库水位降落速度（一般每昼夜不超过1~2m）。

② 经常保持土石坝表面完整，保持坝体轮廓清楚。这不仅是为了整洁美观，更主要的是为了易于发现缺陷。对于出现的缺陷要及时修理。

③ 经常保持坝体、坝头山坡的排水设备完整和畅通；在导渗工程上不准随意移动石、砂材料以及打桩、钻孔等；在库水位较高或汛期，不得在坝下游打减压井或翻修导渗工程，防止泄洪时淹没或冲刷导渗工程，必要时可修筑导水堤防护。

④ 在对土石坝安全有影响的范围内不准取土、爆破和炸鱼，严禁在坝上堆放重物 和 修

建房屋；不许利用护坡作装卸码头；不许船只沿护坡高速行驶。

⑤ 注意各种观测仪器和埋设的观测设备的养护，以保证观测工作正常进行。

土石坝最容易发生的各种损坏现象，通过认真、严格、经常的养护工作，可以避免其发生或减轻其严重程度，并可防止不幸事故突然发生。

对于土石坝的严重裂缝、重大渗漏、滑坡等病害现象，则需进行专门修理，才能恢复其正常工作能力。

三、土石坝的裂缝修理

(一) 土石坝裂缝的类型和产生的原因

土石坝裂缝按其成因主要分为三类：

1. 变形裂缝

这种裂缝是由于坝体不均匀沉陷引起的。按其形态又可分为以下几种：

(1) 纵向裂缝 缝的走向平行于坝轴线，是由于坝体横向(上下游方向)不均匀沉陷过大而造成的。例如：①防渗体与坝壳的材料性质差异较大；②坝基沿横向有不均匀分布的高压缩性土层等，都可能引起纵向裂缝。

土石坝的顶部沉陷差最大，最易发生裂缝。变形纵缝的规模较大，它可能伸入坝体内数米或数十米，在平面上延伸数十米甚至数百米，是破坏土石坝完整性的主要裂缝之一。

如果变形纵缝只发生在坝壳中，对土石坝的正常运用尚无大的妨碍，但仍须修理，以免库水或雨水沿缝渗入，形成渗透力和降低坝壳土料的抗剪强度而引起滑坡事故。如果变形纵缝发生在防渗体内，很易发展为渗流通道，直接威胁土石坝的安全，因此必须及时修理。

(2) 横向裂缝 缝的走向平行于上下游方向，是由于坝体纵向不均匀沉陷过大而造成的，例如：①地基开挖时沿坝轴线方向的岩盘高差过大；②岸坡陡峻，河床坝段沉陷大，两岸坝段向河床移动，使其上部受拉；③两岸为湿陷性黄土，浸水后湿陷大，河床坝段向两岸移动，使其上部受拉；④坝下有大直径的埋管等，都可能引起横向裂缝。

横向裂缝常贯穿坝的防渗体，危害极大。据统计，土石坝因横向裂缝而失事的约占失事土石坝的5%。

(3) 水平裂缝 缝面近于水平，是由于坝体在沉陷过程中因心墙和坝壳沉陷速度不同而互相约束发生拱效应而造成的。例如：①薄粘土心墙坝中砂性土的坝壳沉陷速度快，较早达到稳定，而粘性土的心墙沉陷速度慢，仍继续沉陷，但其边界受到坝壳约束，在心墙中发生了拱效应，拱效应以上的心墙不能自由沉陷，而拱效应以下的心墙继续下沉，于是拱效应处形成拉开的水平裂缝；②修建在狭谷、高压压缩性地基上的土石坝，河床坝段沉陷大，两岸沉陷小，坝体上部重量通过拱效应传至两岸，下沉受到约束，而坝体下部继续沉陷，在拱效应处形成水平裂缝。

水平裂缝发生在土石坝的内部，贯穿防渗体，又不易被发现，因而危险性极大。

2. 水力劈裂缝

库水渗入粘性土中细微、不连续的裂缝内，形成劈缝压力，使其开度增大、连通并延长而造成水力劈裂缝。发展下去，可能形成渗流通道。水力劈裂缝的形成条件是：①土体中已存在着水可渗入的细微裂缝，且土体透水性很小，渗入的水不易渗出；②由于不均匀变形使土体中的有效压应力低于库水压力。

粘土防渗墙和均质坝在初次蓄水时，都有可能发生水力劈裂缝；在粘土心墙中钻孔灌浆，灌浆压力过大时，可能导至水力劈裂缝。防渗体中的水力劈裂缝可能形成渗流通道，危害甚大。

3. 干缩和冻融裂缝

干缩裂缝的特征是：①密集交错，无特定方向；②缝的间距比较均匀；③缝面大致垂直于坝的表面；④缝上宽（通常小于1厘米）下窄，且无上下错动；⑤缝深一般不超过1米。

冻融裂缝的特征是：①表层呈破碎脱空现象；②缝宽和缝深随气温而变化；③发生在冰冻深度以内，当冻土融化后，裂缝可自行闭合。

干缩和冻融裂缝皆发生于粘性土。土石坝的干缩和冻融裂缝一般不影响坝的安全，但也需及时修理，尤其是发生在防渗体上，更应及早修理，以免雨水沿缝渗入，增加土体含水量和降低抗剪强度，促使其它病害发展。

（二）土石坝裂缝的检查

表面裂缝较易从坝面上发现，而内部裂缝则往往发展到成为渗流集中通道后有了险情才被发现，使修理工作处于被动，因此必须加强内部裂缝的检查。

凡在某处出现下列征兆的，应对该处加强检查：①沉陷或位移剧烈变化；②坝面隆起或坍塌；③坝体浸润线异常；④渗水变浑或渗流量显著增大。

检查内部裂缝的方法主要有以下几种：

（1）钻孔检查 造孔后进行注水试验，推算土体的渗透系数与原来的渗透系数比较，如前者远大于后者，则已有裂缝存在。

（2）探井检查 从坝顶垂直向下挖直径约1.2米的圆井，检查人员下井观察。此法简单、经济、可靠、快速，但探井不能过深。

（3）利用已有的观测设备检查 如测压管测得的浸润线变化异常；土压计测不出土压力或土压力很低。上述情况说明此处可能存在内部裂缝。

（4）暗缝电测仪检查 在坝体上选择若干个纵横断面，在断面首尾插入电极通直流电，然后在坝面量测不同位置的电位差，推算土体的电阻率，电阻率很大的地方可能存在裂缝。

对于已发现或可能存在内部裂缝的土石坝，不应冒险蓄水，应进一步查明情况及时修理。

（三）土石坝的裂缝修理

土石坝的裂缝修理有下列主要三种方法，应根据裂缝的性质和部位适当选用。

1. 开挖回填

适用于表面裂缝，是将裂缝部位的土体挖除，再回填夯实，它是比较彻底可靠的方法。

（1）干缩、冻融裂缝 对于均质坝坝面缝深小于0.5m、缝宽小于5mm，可不修理，在坝体浸水或解冻后，一般均能自行闭合；对于粘土斜墙或均质坝的较深较宽的干缩、冻融裂缝，应开挖回填修理。挖槽深度应超过缝深0.3~0.5m，挖槽长度应超过缝端2~3m，挖槽宽度以能够作业为限，开挖坡度以不致坍塌为准。槽挖好后，将槽周用水洒湿并刨毛，回填原坝体土料，压实含水量宜稍高于最优含水量，分层夯实，每层填土厚度以0.1~0.2m为宜。

(2) 横向变形裂缝 有成为渗流通道的危险, 对大小横缝均应开挖回填修理。当横缝较深时, 开挖成阶梯状[图1-1(a)], 每步阶梯高度以1.5m为宜, 回填时再逐级削去阶梯, 保持梯形断面, 当横向裂缝已贯穿上下游时, 先应封堵渗流入口, 再进行开挖回填。除顺缝挖槽外, 还应沿裂缝走向每隔5~6m, 挖与裂缝走向正交的结合槽[图1-1(b)], 槽长1.5~2.0m。

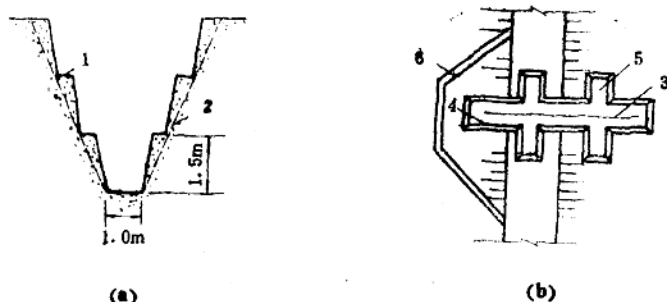


图 1-1 横向变形裂缝开挖回填示意图

1-开挖断面; 2-回填断面; 3-裂缝; 4-顺缝槽; 5-结合槽; 6-挡水围堰。

(3) 纵向变形裂缝 如裂缝的宽度及深度均较小, 对坝的整体性影响不大时, 可不必开挖回填, 只需封闭缝口, 防止雨水渗入即可; 如裂缝的宽度或深度较大, 则应开挖回填修理。

2. 灌浆

当裂缝位于深部或伸延至深部, 开挖困难, 或开挖可能危及坝坡稳定时, 宜用灌浆法修理。

(1) 灌浆材料 灌浆材料应满足可灌性(流动性)、析水性(迅速固结)和不收缩性(结合良好)以及能与坝体协调变形的要求。一般可采用含粉砂(甚至中细砂)、粘粒含量不超过30%、塑性指数在10左右的粉质壤土或黄土加水拌制。为了加速固结或增加可灌性或减小体积收缩, 可加入少量掺合料, 如低标号水泥、水玻璃、铝粉、氧化钙、硫化钠等。

(2) 灌浆孔布置 应根据内部裂缝的分布范围、裂缝大小和灌浆压力高低而定。孔距由疏到密, 最终孔距以1~3m为宜, 孔深应超过缝深1~2m。灌浆孔距导渗、观测设备一般不小于3m, 以防串浆而影响其正常工作。

(3) 灌浆压力 确定灌浆压力的原则是: 使浆液能压入并充填裂缝, 同时又不会引起水力劈裂缝, 或引起严重冒浆、串浆现象, 更不能堵塞反滤层或排水设备。灌浆压力应由小而大逐步增加。

(4) 灌浆过程中应注意的问题 这些问题有: ①钻孔时采用套管固壁, 不能用泥浆固壁; ②先灌稀浆疏通管路和裂缝通道, 然后逐渐加浓直至达到设计浓度; ③灌浆应连续进行, 若中途必须停顿, 应及时清洗灌浆孔, 并尽可能在12小时内恢复灌浆; ④同时进行渗流量、浸润线和位移等的观测, 以了解坝体在灌浆过程中的反应; ⑤掌握灌浆结束的标准, 一般要求在允许最大灌浆压力下吸浆量小于0.2~0.4l/min, 并持续30~60min。第一次灌浆结束后10~15天, 应对吸浆量较大的孔进行一次复灌, 以弥补上次浆液因凝固收缩而产生

的空隙，⑥采用钻孔或坑探法进行质量检查，若不合格，再加密钻孔补灌。

3. 开挖回填与灌浆相结合

对于深部裂缝，当库水位较高不能全部采用开挖回填法修理时，可对裂缝的上部采用开挖回填法，对下部采用灌浆法修理。

四、土石坝的渗漏修理

由于土石坝裂缝引起的渗漏属局部渗漏，裂缝修理好，渗漏也就止住了。下面介绍的是指由于渗透变形或坝体施工质量不良或坝基存在着透水层造成渗漏范围广、局部修理不能解决问题的渗漏修理。

应该说明，土石坝的坝身和非岩石地基都具有一定的透水性，所以，坝体、坝基和两岸坝头渗漏难以避免，只要渗水清彻，不含土壤颗粒，渗流量小而稳定，属正常渗漏，不必修理。

(一) 坝身渗漏的病害形式及修理方法

1. 坝身渗漏病害形式

(1) 管涌 当坝体有贯穿上下游的裂缝或渗流通道时，库水将沿通道渗漏。初期，在没有反滤层保护的渗流出口处，渗流把土粒带走并淘成孔穴。随着土粒不断流失，孔穴愈来愈大并向上游发展，同时土体渗透系数随之增大，渗径随之缩短，渗透流速愈来愈大，孔穴向上游发展也愈来愈快。在填土质量较差的地方，通道顶壁将不断塌陷并垂直向上发展，最后在渗流通道的上方坝坡上出现直立的陷井，呈漏斗状或倒漏斗状，在渗流进口处也形成坍坑，于是发生了险情。美国提堂(Teton)坝于1976年因管涌而溃坝。从发现漏水时起，仅两天，管涌孔径已达8m，随之下游坝坡开始塌陷而溃坝。

(2) 斜墙或心墙被渗流击穿 如果粘土斜墙或心墙太薄，实际渗透坡降大于允许渗透坡降时，或者斜墙或心墙因施工质量差，与坝壳之间的过渡层又没有做好，不均匀沉陷使其产生裂缝后引起土料流失，都可能造成斜墙或心墙被渗流击穿。浙江省福溪堆石粘土斜墙坝的斜墙，1962年两次被击穿，造成严重渗漏事故。

(3) 坝坡散浸 由于土石坝填筑层之间结合不良，坝体水平向透水性很大。若坝体的导渗排水设备被堵塞，或因设置高程过低而被淹没，这样，坝体浸润面抬高，渗流从坝坡上逸出，造成下游坝坡大片散浸，对坝坡稳定十分不利。

(4) 接触冲刷 沿坝体施工层面，或沿坝体与坝内埋设建筑物如坝内涵管的接触面，有成股水流在出口处涌出的现象叫接触冲刷。其产生原因是施工质量差或防渗措施不当。它对坝的安全威胁极大。湖北省鹅公包水库的粘土心墙坝，坝下有浆砌石埋管，坝身施工质量差，埋管未作截流环，1960年建成蓄水，到1964年涵管内出现37处漏水，1973年，下游坝坡在涵管顶部1m多高的地方发现水流直径约1cm的集中渗漏，两天后直径扩大到10cm，汛后开挖检查，发现在坝底以上20.3m处的心墙与坝壳接触面有一个 $1.5 \times 2.0\text{m}^2$ 大空洞，沿心墙向底伸延，然后沿涵管外壁穿过心墙直达下游坝面，空洞直径为10~40cm，此为接触冲刷造成危害的一个实例。

2. 坝身渗漏的修理方法

修理渗漏的原则是“上堵下排”。上堵就是在上游采取措施提高防渗能力，尽量减少渗入，下排就是在下游做好导渗反滤措施，使已渗入的渗水安全通畅地排出。

上堵有：①斜墙法；②防渗墙法；③灌浆法。下排有：①导渗沟法；②导渗槽法。

(1) 斜墙法 是在上游坝坡上补做或修理原来的防渗斜墙。施工时应降低库水位，做挡水围堰。揭开块石护坡，铲去表土，再选用粘性土料分层夯实。当水库不能放空时，可采用水中抛土法，即用船只载运粘土，从水面均匀抛下，使其自由落在上游坝坡上。

(2) 灌浆法 施工时可不降低库水位，也无须做围堰，当用斜墙法有困难时可考虑采用此法。灌浆法的具体施工要求可参见土石坝的裂缝修理。浙江省霞沅均质土坝，由于坝体压实质量差而普遍漏水，用灌浆法修理，在坝顶上游侧钻一排灌浆孔，孔距2m，处理后渗流量减少73~86%，坝体浸润线也明显下降。

(3) 防渗墙法 是用冲击钻或振动钻从坝顶铅直向下打孔，孔径0.5~1.0m，泥浆固壁，再将若干个圆孔连成一槽形孔，孔中浇筑混凝土，将许多槽形孔连接起来形成一道防渗墙。防渗墙应嵌入岩基。防渗墙是分期施工的，二期槽形孔在一期槽形孔之间。

在浇筑混凝土时，坝坡土体受混凝土侧向推力，不利于坝坡稳定。为此，可采取减慢混凝土浇筑上升速度，缩短槽形孔长度，分区施工等措施。

防渗墙法是一种可靠的综合修理方法，缺点是费用高、耗时长，一般在裂缝渗漏严重，其它修理方法难以奏效的情况下采用。

(4) 导渗沟法 是在下游坝坡上挖沟，沟中填加碎石以导排入渗水流。导渗沟在平面上布置成与坝轴线垂直或成人字形(图1-2)。

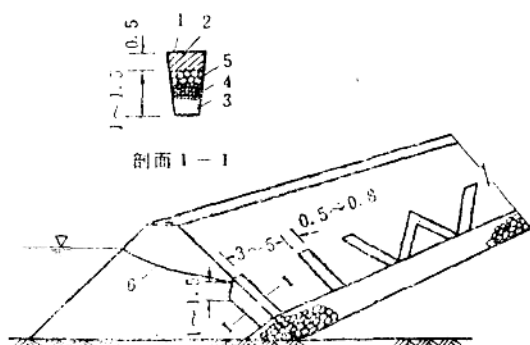


图 1-2 导渗沟示意图

单位：m

1-草皮；2-回填土；3-粗砂；4-碎石；5-块石；6-浸润线。

导渗沟顶部应高于渗流逸出点，沟深1~1.5m，沟宽0.5~0.8m，沟的间距以能使两沟之间的坝面保持干燥为原则，一般约3~5m。沟内填料应按反滤层原理布置。

(5) 导渗槽法 是将导渗沟伸延至地基与排水设备相连而成(图1-3)。导渗槽较深，需用钻机造孔。孔与孔之间要求相隔1/3孔径，孔径愈大愈好，根据钻孔设备而定。钻孔采用静水压力固壁，不应采用泥浆固壁。

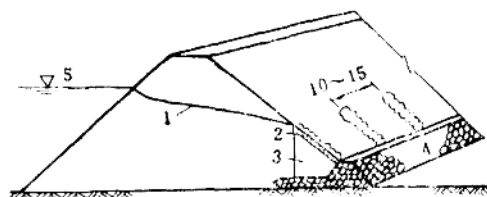


图 1-3 导渗槽示意图

单位：m

1-浸润线；2-填土；3-砂；4-排水体；5-施工水位