

高等学校教材

SHUILI GONGCHENG GUANLI

水利工程管理

石自堂 主编

武汉水利电力大学出版社



责任编辑：陈辉辉

责任校对：徐虹

封面设计：涂驰

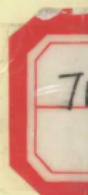
ISBN 7-81063-090-3



9 787810 630900 >

ISBN 7-81063-090-3/TV·15

定价：18.00 元



高等学校教材

水利工程管理

石自堂 主编

武汉水利电力大学出版社

• 武汉 •

on

38

(鄂)新登字 15 号

内容提要

本书结合我国水利工程管理的需要和现状,比较系统、全面地介绍了水利工程管理方面的原理、方法、先进技术以及众多的工程管理经验。全书共分 7 章,内容包括土坝的维护与除险加固、混凝土坝和浆砌石坝的维护与修理、溢洪道和承闸的维护与修理、输水建筑物的维护与修理、水库和堤防的防洪、水工建筑物检查与观测、水利工程现代化管理等。本书可作为农业水利工程或其他相近专业本科生和研究生教材,也可供从事水利工程管理的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水利工程管理 / 石自堂主编. — 武汉: 武汉水利电力大学出版社, 2000.10
ISBN 7-81063-090-3

I. 水… II. ①石… III. 水利工程-管理 IV. TV6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 36185 号

责任编辑: 陈辉辉 责任校对: 徐 虹 封面设计: 涂 驰

· 武汉水利电力大学出版社出版发行
(武汉市武昌东湖南路 8 号, 邮编 430072)
武汉大学出版社印刷总厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 13.75 字数: 330 千字
2000 年 10 月第 1 版 2000 年 10 月第 1 次印刷 印数: 1-2 000 册
ISBN 7-81063-090-3/TV·15 定价: 18.00 元

前言

中华人民共和国成立以来,中国水利建设取得了巨大的成绩,修建了大量的防洪、灌溉、除涝、治渍、水电等工程。据1994年水利统计^[1],全国有效灌溉面积达到5000万hm²。其中,旱涝保收面积3600万hm²,除涝面积2000万hm²,盐碱地改良面积530hm²,水土流失治理面积6400万hm²;万亩以上灌区5500多处;水库8.4万多座;堤防24.6万km,水闸3万多座;水电装机4900多万kW,年发电量1800多亿kW·h;水利工程供水量4400多亿m³。这些工程对抗御水旱灾害,保证电力供应和国民经济的发展起到了巨大的作用。

水利工程是国家和人民的宝贵财富,是保障经济建设和人民生命财产安全的重要设施。在1981年5月召开的全国水利管理会议上,提出了把水利工作的重点转移到管理上来,扭转了重建轻管的思想。从1981年起,国家及有关部门颁布了一系列水利工程管理法规,明确了科学管理的任务、原则、方法。为使已建成的水利工程发挥最佳经济效益,必须加强管理工作,即采取行政、技术、经济和法律手段,保护和利用已建成的水利工程,充分利用水资源,防止洪涝灾害,为国民经济服务。

水利工程管理是一门综合性很强的学科。在编写此书的过程中,作者力求反映国内外水利工程管理方面的新成果、新技术,同时本着少而精和便于教学的原则,着重阐述了水利工程管理的原理、方法和实用技术。

参加本书编写的有石自堂(第一、五章)、张劲松(第二、四章)、徐云修(第三、六章)、刘柏青(第七章)。全书由石自堂主编。

本书在编写及出版过程中,得到了武汉水利电力大学教务处、水利工程系、出版社的大力支持和帮助。钱尧华教授、周素真教授等为本书的完成做了大量无私宝贵的工作,对此我们深表感谢。

由于编写水平有限,书中如有缺点和错误,恳请读者批评指正。

编 者

2000年3月

目 录

第一章 土坝的维护与除险加固	1
第一节 土坝的检查与养护	1
第二节 土坝裂缝及其处理	5
第三节 土坝滑坡及其处理	16
第四节 土坝渗漏及其加固处理	21
第五节 土坝及堤防白蚁的防止 ^[3]	42
第二章 混凝土坝和浆砌石坝的维护与修理	48
第一节 混凝土坝和浆砌石坝的日常检查与维护	48
第二节 重力坝失稳原因分析及防护措施	48
第三节 混凝土坝和浆砌石坝的裂缝处理	53
第四节 混凝土坝和浆砌石坝的渗漏处理	61
第三章 溢洪道和水闸的维护与修理	63
第一节 溢洪道的维护与修理	63
第二节 水闸的维护与修理	72
第四章 输水建筑物的维护与修理	76
第一节 输水隧洞的维护与修理	76
第二节 涵管(洞)的维护与修理	83
第三节 渡槽的维护与修理	86
第四节 倒虹吸管的维护与修理	92
第五节 渠道的维护与修理	96
第五章 水库和堤防的防洪	102
第一节 工程防洪措施	102
第二节 非工程防洪措施 ^[11]	115
第六章 水工建筑物检查与观测	124

第一节 水工建筑物的渗流观测·····	124
第二节 水工建筑物的变形观测·····	133
第三节 水工建筑物的温度与应力观测·····	147
第四节 水工建筑物观测资料的整理分析·····	151
第七章 水利工程现代化管理·····	156
第一节 现代化管理的目的任务及主要内容·····	156
第二节 水利工程管理通信系统·····	157
第三节 水情自动测报系统·····	179
第四节 水闸(闸群)自动监控·····	196
第五节 水利工程安全监测自动化·····	207
参考文献·····	213

第一章 土坝的维护与除险加固

截至 1996 年底,我国共修建大中小水库 8.4 万余座,总库容 4 700 余亿 m^3 , 90%以上水库的挡水建筑物是土坝。土坝中以均质坝最多,约占 64%;心墙坝次之,约占 28%;其他为斜墙坝和混合坝型,约占 8%。

土坝被广泛采用的原因是:就地取材,构造简单,施工方便,特别是对地形、地质条件的要求是所有坝型中最低的。由于土坝是由松散颗粒的土粒填筑而成,当土坝挡水后,在上下游水位差的作用下,水流通过坝身和坝基向下游渗漏,在坝体浸润线以下的土体受到水的浮力作用而减轻其有效重量,并使土的摩擦角和粘结力减小,同时在渗透动水压力作用下,会对坝坡稳定产生影响;当渗水流速和渗透坡降超过一定限值时会引起坝体和坝基的渗透变形,严重时导致土坝失事。土坝抗冲能力低,风浪、雨水对坝坡、坝面易产生冲刷、淘刷破坏。土粒之间存在孔隙,极易产生相对移动,坝体和坝基受到荷载作用都会产生压缩变形,使坝体产生沉陷,严重时会出现裂缝。在寒冷地区,坝坡坡面易为库面冰盖膨胀产生的冰推力破坏。

根据水利部工程管理司在 1981 年对 241 座大型水库出现的 1 000 次土坝安全问题统计分析表明,裂缝占 25.3%,渗漏、管涌占 31.7%,滑坡塌坑占 10.9%,坝内输水建筑物冲刷气蚀占 14.2%,护坡及坝面冲刷占 6.5%,其他原因占 11.4%。

水库大坝一旦失事,将会造成国民经济和人民生命财产的重大损失,全面回顾我国水库大坝安全,问题十分突出。据 1990 年统计的全国垮坝失事率为 3.7%,超过了世界上一些国家垮坝率约为 1%的数字。这主要是由于许多水库大坝是在“大跃进”期间建成的,一些工程防洪标准低,施工质量差,水库工程不能实现良性循环;工程老化,效益衰减,加之管理制度不健全,管理人员素质不高,管理手段落后,使工程安全存在严重隐患。

土坝工程事故和失事都有一个过程,如果能及时发现和消除工程中存在的缺陷和隐患,大部分事故是可以避免的,此外,及早处理工程病害可以掌握主动,节约维修费用。

第一节 土坝的检查与养护

土粒间的粘结强度低,抗剪能力小,土料颗粒间孔隙较大,在渗流、冲刷、沉降、冰冻、地震等影响下,土坝容易受到破坏。土坝的局部损坏多为裂缝、渗水、塌坑等。土坝的破坏有一定的发展过程,如果及早发现,并采取积极措施进行处理和养护,就可以防止和减轻各种不利因素的影响,保证土坝的安全。

土坝的运行状况仅靠专门的仪器进行观测是不够的,因为固定测点的布设仅是建筑物上某几个典型断面上的几个点,而建筑物的局部损坏往往不一定正好发生在测点位置上,

也不一定正好发生在进行观测的时候。因此，为了及时发现水工建筑物的异常情况，必须对建筑物表面进行经常的巡回检查观察。大量的工程管理经验表明，工程缺陷和破坏是由检查、观察发现的。

土坝的检查观察从广义来说包括经常检查、定期检查和特别检查。

经常检查是用直觉方法或简单的工具，经常对建筑物表面进行检查和观察，了解建筑物是否完整，有无异常现象。

定期检查是每年汛前汛后组织一定的力量，用专门的仪器设备，对水库工程包括固定测点在内的建筑物进行全面的检查，掌握其变化规律。

特别检查是当工程出现了严重的破坏现象，或者对潜在的危险产生重大怀疑时，组织专门力量所进行的检查。

要制订切实可行的检查观测工作制度，加强岗位责任，做到“四无”（无缺测、无漏测、无不符合精度要求、无违时），“四随”（随观测、随记录、随校核、随整理），“四固定”（固定人员、固定仪器、固定测次、固定时间）。

对观测结果应及时进行分析，研究判断建筑物的工作情况。发现异常现象，应分析原因，报告领导，提出处理措施。

一、土坝的日常检查、观察

土坝的日常检查、观察主要是发现土坝表面的缺陷和局部工程问题，其主要工作为：

1. 检查、观察土坝表面情况

对土坝应经常注意检查、观察坝顶路面、防浪墙、护坡块石及坝坡等有无开裂、错动等现象，以判断坝体有无裂缝或其他破坏征兆。

2. 检查、观察坝体有无裂缝

对于坝体与岸坡接头部位、河谷形状突变的部位、坝基有压缩性过大的软土部位、填土质量较差的部位、土坝与刚性建筑物接合部位、分段施工接头处或施工导流合拢部位及坝体不同土料分区部位等应特别注意检查、观察，发现坝体产生裂缝后，应对裂缝进行编号，测量裂缝所在的桩号和距坝轴线的距离、长度、宽度、走向等，绘制裂缝平面分布图，并注意其发展。对于垂直坝轴线的横向裂缝应检查其是否已贯穿上下游坝面，形成漏水通道。对于平行坝轴线的纵向裂缝，应进一步检查判断是否发生滑坡。

3. 检查、观察坝坡是否滑动

滑坡通常有下述特征：

- (1) 裂缝两端向坝坡下部弯曲，缝呈弧形。
- (2) 裂缝两侧产生相对错动。
- (3) 缝宽与错距的发展逐渐加快，而一般的沉陷裂缝的发展是随着时间的推移逐渐减缓，两者有明显的不同。
- (4) 滑坡裂缝的上部往往有塌陷，下部有隆起等现象。

对于异常水位及暴雨应特别注意检查土坝的滑坡现象，例如在高水位运行期间，下游坡易产生滑动现象；水库水位骤降可能造成上游坡滑动；暴雨期间，上下游坝面都易产生滑动等。

4. 检查下游坝坡和坝脚处有无散浸和异常渗流现象

土坝背水坡渗流出逸点太高，超过排水设备顶部，使坝坡土体出现潮湿现象，这种现象称为散浸。散浸现象的特征是：土湿而软，颜色变深，面积大，冒水泡，阳光照射有反光现象，有些地方青草丛生，或草皮比其他地方长得更旺盛。

对坝后渗流的观察，包括坝后渗出水颜色、部位和表面现象的观察，可以判断是正常渗漏和异常渗漏。

(1) 从原设计的排水设施或坝后地基中渗出的水，如果是清澈见底，不含土颗粒，一般属于正常渗漏；若渗水由清变浑，或明显看到水中含有土颗粒，属于异常渗漏。

(2) 坝脚出现集中渗漏，或坝体与两岸接头部位和刚性建筑物连接部位出现集中渗漏，如渗漏量剧烈增加，或渗水突然变浑，是坝体发生渗漏破坏的征兆。在滤水体以上坝坡出现的渗水属异常渗漏。

(3) 对于表层有较薄的弱透水覆盖层往往发生地基表层被渗流穿洞，涌水翻沙，渗流量随水头升高而不断增大。有的土坝，土料中含有化学物质，渗水易改变坝体填料的物理力学性质，可能造成坝体渗透破坏。

(4) 对土坝要注意检查、观察是否塌坑。根据经验，坝体发生塌坑大部分是由渗流破坏引起的，发现坝体塌坑后，应加强渗流观测，并根据塌坑所在部位分析其产生的原因。

(5) 对土坝的反滤坝趾、集水沟、减压井等导渗降压设施，要注意检查、观察有无异常或损坏，还应注意观察坝体与岸坡或溢洪道等建筑结合处有无渗漏。

5. 对土坝坝面要注意观察

(1) 沿坝面库水有无漩涡。

(2) 浆砌石护坡有无裂缝、下沉、折断及垫层掏空等现象。

(3) 干砌石护坡有无松动、翻起、架空、垫层流失等现象。

(4) 草皮护坡及土坡有无坍塌、雨淋坑、冲沟、裂缝等现象。

(5) 经常检查有无兽洞、蚁穴等隐患。

二、土坝的养护

根据中华人民共和国行业标准《土石坝养护修理规程》SL210-98，对土坝坝顶、坝端、坝坡、排水设施、观测设施、坝基和坝区进行养护。

1. 坝顶及坝端的养护

坝顶养护应做到坝顶平整，无积水、无杂草、无弃物；防浪墙、坝肩、踏步完整，轮廓鲜明；坝端无裂缝、无坑凹、无堆积物。如坝顶出现坑洼和雨淋沟缺，应及时用相同材料填平，并应保持一定的排水坡度。对经主管部门批准通行车辆的坝顶，如有损坏，应按原路面要求及时修复，不能及时修复的，应用土或石料临时填平。坝顶的杂草、弃物应及时清除。

防浪墙、坝肩和踏步出现局部破损，应及时修补或更换。

坝端出现局部裂缝、坑凹应及时填补，发现堆积物应及时清除。

2. 坝坡的养护

坝坡养护应做到坡面平整，无雨淋沟缺，无荆棘杂草滋生；护坡砌块应完好，砌缝紧密，填粒密实，无松动、塌陷、脱落、风化、冻毁或架空现象。

(1) 干砌块石护坡的养护。及时填补、楔紧个别脱落或松动的护坡石料；及时更换风

化或冻毁的块石，并嵌砌紧密；块石塌陷，垫层被淘刷时，应先翻出块石，恢复坝体和垫层后，再将块石嵌砌紧密。

(2) 混凝土或浆砌块石护坡的养护。及时填补伸缩缝内流失的填料，填补时应将缝内杂物清洗干净。护坡局部发生侵蚀剥落、裂缝或破碎时，应及时采用水泥砂浆表面抹补、喷浆或填塞处理，处理时表面应清洗干净；破碎面较大，且垫层被淘刷，砌体有架空现象时，应用石料作临时性填塞，适当时进行彻底整修。排水孔如有不畅，应及时进行疏通或补设。

(3) 堆石护坡或碎石护坡的养护。对于堆石护坡或碎石护坡，如遇石料有松动，造成厚薄不均时，应及时进行平整。

(4) 草皮护坡的养护。应经常修整、清除杂草，保持完整美观。草皮干枯时，应及时洒水养护；出现雨淋沟缺时，应及时还原坝坡，补植草皮。

(5) 严寒地区护坡的养护。在冰冻期间，应积极防止冰凌对护坡的破坏。可根据具体情况，采用打冰道或在护坡临水处铺设塑料薄膜等办法减少冰压力。有条件的地区，可采用机械破冰法、动水破冰法或水位调节法，破碎坝前冰盖。

3. 排水设施的养护

各种排水、导渗设施应达到无断裂、损坏、阻塞、失效标准，使排水通畅。

必须及时清除排水沟（管）内的淤泥、杂物及冰塞，以保持通畅。

对排水沟（管）局部的松动、裂缝和损坏，应及时用水泥砂浆修补。

排水沟（管）的基础如被冲刷破坏，应先恢复基础，后修复排水沟（管）。修复时，应使用与基础同样的土料，恢复到原来断面，并应严格夯实。排水沟（管）如设有反滤层时，也应按设计标准恢复。

随时检查修补滤水坝趾或导渗设施周边山坡的截水沟，防止山坡浑水淤塞坝趾导渗排水设施。

减压井应经常进行清理疏通，保持排水通畅，如周围有积水渗入井内，应将积水排干，填平坑洼，保持井周无积水。

4. 观测设施的养护

各种观测设施应保持完整，无变形、损坏、堵塞现象。

经常检查各种变形观测设施的保护装置是否完好，标志是否明显，随时清除观测障碍物。观测设施如有损坏，应及时修复，并应重新进行校正。

测压管口及其他保护装置，应随时加盖上锁，如有损坏应及时修复或更换。

水位观测尺若受到碰撞破坏，应及时修复，并重新校正。

量水堰板上的附着物和量水堰上下游的淤泥或堵塞物，应及时清除。

5. 坝基和坝区的养护

对坝基和坝区管理范围内一切违反大坝管理规定的行为和事件，应立即制止并纠正。

设置在坝基和坝区范围内的排水、观测设施和绿化区，应保持完整、美观，无损坏现象。

发现坝区范围内有白蚁活动迹象时，应及时进行治理。

发现坝基范围内有新的渗漏逸出点时，不要盲目处理，应设置观测设施进行观测，待弄清原因后再进行处理。

第二节 土坝裂缝及其处理

一、土坝裂缝的类型及成因

土坝裂缝是较为常见的现象,有的裂缝在坝体表面就可以看到,有的隐藏在坝体内部,要开挖检查或借助检测仪器才能发现。裂缝的宽度,窄的不到一毫米,宽的可达几百毫米,甚至更大;裂缝的长度短的不足一米,长的达数十米,甚至更长;裂缝的深度,有的不到一米,有的深达坝基;裂缝的走向,有平行坝轴线的纵缝,有垂直坝轴线的横缝,有与水平面大致平行的水面缝,还有倾斜的裂缝。

土坝裂缝的成因主要是由于坝基承载力不均匀,坝体材料不一致,施工质量差,设计不甚合理所致。

土坝的裂缝,按照裂缝出现在土坝中的部位可分为表面裂缝和内部裂缝;按照裂缝走向可分为横向裂缝、纵向裂缝、水平裂缝和龟纹裂缝;按照裂缝的成因又可分为沉陷裂缝、滑坡裂缝、干缩裂缝、冰冻裂缝和振动裂缝。各裂缝的特征详见表1-1^[2]。

表1-1 裂缝分类及特征表

分类	裂缝名称	裂 缝 特 征
按裂缝部位	表面裂缝	裂缝暴露在坝体表面,缝口较宽,一般随深度变窄而逐渐消失
	内部裂缝	裂缝隐藏在坝体内部,水平裂缝常呈透镜状,垂直裂缝多为下宽上窄的形状
按裂缝走向	横向裂缝	裂缝走向与坝轴线垂直或斜交,一般出现在坝顶,严重的发展到坝坡,近似铅垂或稍有倾斜,防浪墙及坝肩砌石常随缝开裂
	纵向裂缝	裂缝走向与坝轴线平行或接近平行,多出现在坝顶及坝坡上部,也有的出现在铺盖上,一般较横缝长
	水平裂缝	裂缝平行或接近水平面,常发生在坝体内部,多呈中间裂缝较宽,四周裂缝较窄的透镜状
	龟纹裂缝	裂缝呈龟纹状,没有固定的方向,纹理分布均匀,一般与土坝表面垂直,缝口较窄,深度10~20 cm,很少超过1 m
按裂缝成因	沉陷裂缝	多发生在坝体与岸坡接合段、河床与台地接合段、土坝合拢段、坝体分区分期填土交界处、坝下埋管的部位以及坝体与溢洪道边墙接触的部位
	滑坡裂缝	裂缝中段大致平行坝轴线,缝两端逐渐向坝脚延伸,在平面上略呈弧形,缝较长,多出现在坝顶、坝肩、背水面及排水不畅的坝坡下部。在水位骤降或地震情况下,迎水面也可能出现。形成过程短促,缝口有明显错动,下部土体移动,有离开坝体倾向。
	干缩裂缝	多出现在坝体表面,密集交错,没有固定方向,分布均匀,有些呈龟纹裂缝形状,降雨后裂缝变窄或消失;也有的出现在防渗体内部,其形状呈薄透镜状
	冰冻裂缝	发生在冰冻影响深度以内,表层呈破碎、脱空现象,缝宽及缝深随气温而异
	振动裂缝	在经受强烈振动或烈度较大的地震以后发生纵、横向裂缝,横向裂缝的缝口随时间延长,逐渐变小或弥合;纵向裂缝缝口没有变化。防浪墙多出现裂缝,严重的可使坝顶防浪墙及灯柱倾倒

二、土坝裂缝的检查

已建成土坝的安全情况是在不断地变化的。土坝安全情况的变化,往往直接或间接地

反映为坝面上的异常现象，例如细小的横向裂缝可能发展成为坝体的集中渗流通道，而细小的纵向裂缝则可能是坝体滑坡的先兆。

(一) 龟纹裂缝

龟纹裂缝的方向没有规律，纵横交错，缝的间距比较均匀。这种裂缝可能出现在没有铺设保护层的坝顶和坝坡，也可能出现在水库泄空而出露的上游防渗粘土铺盖表面上。产生龟纹裂缝的主要原因是土坝填土由湿变干时的体积收缩。筑坝土料粘性愈大，含水量愈高，出现龟纹裂缝的可能性愈大。在壤土中，龟纹裂缝比较少见，而在砂土中就没有这种裂缝。此外，在严寒地区，可以见到由于填土受冰冻所产生的龟纹裂缝。

龟纹裂缝是坝体表面常见的现象，一般不会直接影响坝体安全。但是出现在防渗斜墙或铺盖上的龟纹裂缝，可能会影响坝体安全，所以在进行安全检查时，应给予足够重视。要仔细探明龟纹裂缝的宽度、深度，并及时进行处理。对于较浅的龟纹裂缝，一般可在表面铺一层厚约 20 cm 的砂性土保护层，以防止其发展；较深的龟纹裂缝，一般采用开挖回填的方法进行处理，在处理后要随即铺设保护层。发生在其他部位，如坝顶或均质坝坝面上的龟纹裂缝，可能促使冲沟、滑坡等的发展，因此也应及时进行处理。

(二) 横向裂缝

横向裂缝一般接近铅垂或稍有倾斜地伸入坝体内。缝深几米到十几米，上宽下窄。缝口宽几毫米到十几厘米，偶而也能见到更深、更宽的。裂缝两侧可能错开几厘米甚至几十厘米。当相邻的坝段或坝基产生较大的不均匀沉陷时，就会产生横向裂缝。

横向裂缝主要出现在坝顶，但也可能出现在坝坡上。根据我国各类水库大坝裂缝的调查，横向裂缝虽然形成原因很多，但发生部位还是有一定规律的，常见部位有：①土坝与岸坡接头坝段及河床与台地交接处，这些部位填土高度变率大，施工时碾压不密实而出现过的沉降差；②坝基有压缩性过大的软土或黄土，施工时未加处理或清除，泡水湿陷或加荷下沉；③土坝与刚性建筑物接合坝段，因两种材料沉降不同所致；④分段施工接头处或施工导流合拢段，常因漏压及抢进度而出现碾压质量不符合设计要求成为坝体内的薄弱部位，见图1-1。

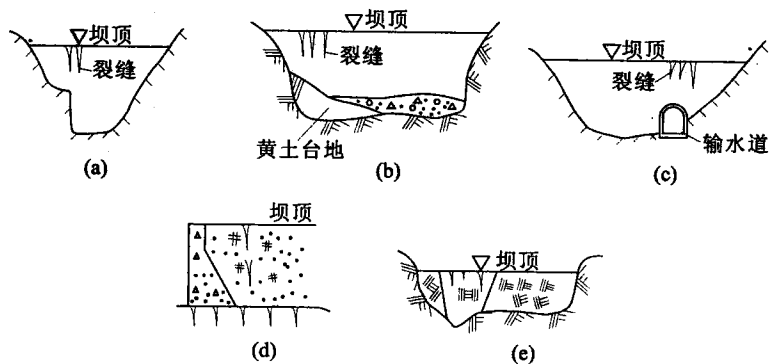


图1-1 横向裂缝常见的部位

土坝的横向裂缝具有极大的危险性，因为一旦水库水位上涨，渗水通过裂缝，很容易将裂缝冲刷扩大而导致险情。因此，在土坝的安全检查中，必须特别重视横向裂缝的检查。除了在坝面普遍进行检查外，还应应对较易出现横向裂缝的部位做重点检查。坝顶防浪墙或

路缘石的裂缝往往能反映出坝体横向裂缝的存在。例如浙江省横山水库土坝的横缝，就是根据防浪墙的裂缝迹象决定把坝顶保护层挖开后才发现的。

根据坝顶沉陷观测资料检查横向裂缝，也是一个重要的方法。如果相邻测点之间出现较大的不均匀沉陷，则该坝段很可能出现横向裂缝。对于坝面铺有保护层的土坝，必要时应开挖与坝轴线平行的探槽，以揭露其横向裂缝。

在坝面发现横向裂缝后，如果时间允许，最好观测一段时间，待裂缝发展趋向稳定后再进行处理。但在此期间，水库必须控制运用。对于尚未处理或虽已处理但尚未经蓄水考验的土坝，在汛期除了控制运用外，还应该准备必要的防汛抢险器材，以免万一出现险情时措手不及。由于横向裂缝的危害性很大，所以一般要求进行开挖回填处理。

（三）纵向裂缝

根据土坝纵向裂缝产生的原因可将土坝纵向裂缝细分为纵向沉陷裂缝和纵向滑坡裂缝。

1. 纵向沉陷裂缝

在坝面上，由坝体或坝基的不均匀沉陷而产生的纵向沉陷裂缝一般接近于直线，基本上是铅垂地向坝体内部延伸。裂缝两侧填土的错距一般不大于 30 cm，缝深几米到十几米居多，也有更深的，缝宽几毫米到十几厘米，缝长几米到几百米。沉陷裂缝的宽度和错距的发展是逐渐减慢的，如图1-2中的曲线 I 所示。

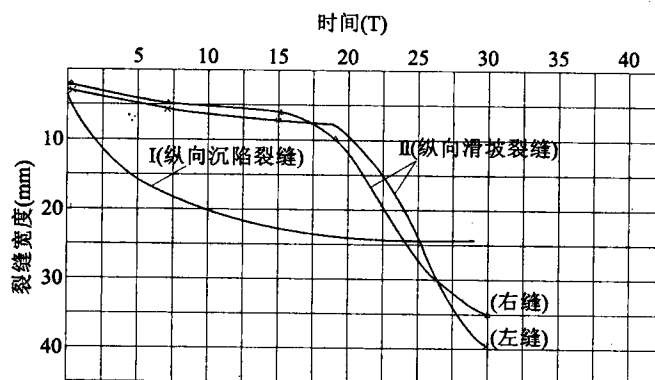


图1-2 两种纵向裂缝的发展过程曲线

2. 纵向滑坡裂缝

纵向滑坡裂缝一般呈弧形，裂缝向坝体内部延伸时弯向上游或下游，缝的发展过程是逐渐加快的，直至土体发生滑动以后才逐渐变慢。图1-2中的曲线 II 就是某水库土坝滑坡裂缝的发展过程曲线。纵向滑坡裂缝的宽度可达一米以上，错距可达几米。当裂缝发展到后期，可以发现在相应部位的坡面或坝基上有带状或椭圆状隆起的土体。这些都是区别于纵向沉陷裂缝的重要标志。

有关滑坡的问题将在本章第三节中叙述。

（四）内部裂缝

在土坝坝面上出现的裂缝，都叫做表面裂缝。此外，在土坝坝体内部还可能出现内部裂缝，有的内部裂缝是贯通上下游的，很可能变成集中渗漏通道，由于事先不易被人们发

现，因此危害性很大。

内部裂缝常见的部位有：①窄心墙内部的水平裂缝，主要因坝壳顶托作用，使心墙中部高程的垂直压力减小，同一高程处坝壳压力增大，出现“拱效应”的结果；②狭窄山谷，河床含有高压缩土，坝基下沉时，坝体上部重量通过拱作用传递到两岸，土拱下部坝体沉降大，可能使坝体受拉形成内部裂缝或空穴；③坝体与河床上的混凝土或浆砌石体等压缩性很小的材料相邻处，两者不均匀沉降造成过大拉应变和剪应力开裂，见图1-3。

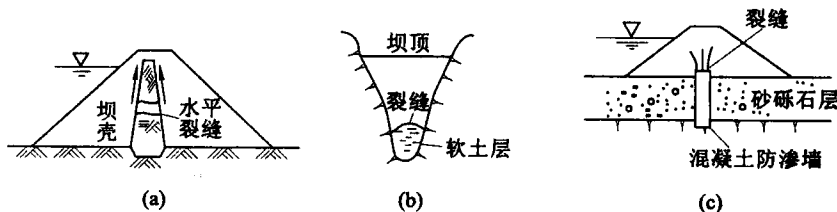


图1-3 内部裂缝常见的部位

(五) 土坝裂缝的检查

对裂缝的检查与探测，首先应借助观测资料的整理分析，根据上面提及的裂缝常见部位，对这些部位的坝体变形（垂直和水平位移），测压管水位，土体中应力及孔隙水压力变化，水流渗出后的浑浊度等进行鉴别，只有初步确定裂缝出现的位置后，再用探测方法弄清裂缝确切位置、大小、走向，为确定裂缝处理方案提供依据。

通常在裂缝附近会产生下列一些异常情况：①沿坝轴线方向同一高程位置的填土高度、土质等基本相同，而其中个别观测点的沉降值比其他测点明显减小，则该点可能存在内部裂缝；②垂直坝段各排测压管的浸润线高度，在正常情况下，除靠岸坡的两侧略高外，其他大致相同，若其中发现个别坝段浸润线明显抬高，则测点附近可能出现横向裂缝；③在通过坝体的渗水有明显清浑交替出现的位置，可能出现贯穿裂缝或管涌通道；④坝面有刚性防浪墙拉裂等异常现象的坝段，同时坝身有明显塌坑处，说明该处有横向裂缝；⑤短距离内沉降差较大的坝段；⑥土压力及孔隙水压力不正常的位置。

对于可能存在的裂缝部位可采用土坝隐患探测的方法，即有损探测和无损探测的方法进行检查，但有损探测对坝身有一定的损坏。有损探测又分为人工破损探测和同位素探测。无损探测是指电法探测。

1. 人工破损探测

对表面有明显征兆，沉降差特别大，坝顶防浪墙被拉裂的部位，可采用探坑、探槽和探井的方法探测。探坑、探槽和探井是指人工开挖一定数量的坑、槽和井来实际描述坝内隐患情况。该法直观、可靠，易弄清裂缝位置、大小、走向及深度，但受到深度限制，目前国内探坑、探槽的深度不超过 10 m，探井深度可达到 40 m。

2. 同位素探测

此法是利用土坝已有的测压管，投入放射性示踪剂模拟天然渗透水流运动状态，用核探测技术观测其运动规律和踪迹。通过现场实际观测可以取得渗透水流的流速、流向和途径。在给定的水力坡降和有效孔隙率时，可以计算相应的渗透水流速度和渗透系数。在给定的渗透层宽度和厚度的基础上，可以计算渗流量。同位素探测法也称放射性示踪法，包

括多孔示踪法、单孔示踪法、单孔稀释法和单孔定向法等。

3. 电法探测

电法探测是一种无损伤探测的方法，在土坝表面布设电极，通过电测仪器观测人工或天然电场的强度，分析这些电场的特点和变化规律，以达到探测工程隐患的目的。

土坝坝体是具有一定几何形状的人工地质体，同一坝段，坝体横断面尺寸沿大坝纵向方向通常是一致的，筑坝材料，也相对均匀。因此，坝体几何形状对人工电场影响在各个坝段基本相同，一旦有隐患存在，必然会破坏坝体的整体性和均匀性，引起人工电场的异常变化和隐患测点与其他测点视电阻率的差异，这就是电法探测土坝隐患的机理。

电法探测适用于土坝裂缝、集中渗流、管涌通道，基础漏水、绕坝渗流、接触渗流、软土夹层及白蚁洞穴等隐患探测，它比传统的人工破坏探测速度快，费用低，目前已广泛运用。电法探测的方法较多，有自然电场法、直流电阻率法、直流激发极化和甚低频电磁法。下面着重介绍直流电阻率法。

(1) 直流电阻率法。直流电阻率法是将直流电源经导线、供电电极 (AB) 向待测土坝供电，形成人工电场，用测量电极 (MN) 接受电场中若干固定点的电位差，计算出某一深度的视电阻率，绘制视电阻率曲线，根据水位 (或浸润面) 以上的隐患存在空气呈高电阻反映，水下隐患因充水呈低电阻反映的规律，利用视电阻率曲线异常，解释大坝隐患的性质和位置。直流电阻率法在土坝隐患探测中最常用和效果较好的有下面两种：

1) 对称四极剖面法或复合对称四极剖面法^[3]。电极排列方式分别为 $AMNB$ 及 $AA'MNB'B$ 。供电电极为 AB 及 $A'B'$ 、 AB 。测量电极为 MN 对称地布置在一条直线上，见图1-4 (a)、(b)。测点 O 位于中心，则 $AO = BO$ ， $MO = NO$ ， $A'O = B'O$ 。野外工作时，电极之间的距离保持不变，整个装置同时向前移动，进行视电阻率测量，绘出一条随测点位置而变化的视电阻率曲线。当供电电极 A 、 A' 、 B 、 B' 通电后，在地层内形成一个人工电场，电力线集中在电极范围的半球体中。视电阻率 ρ_s 可用下式求得：

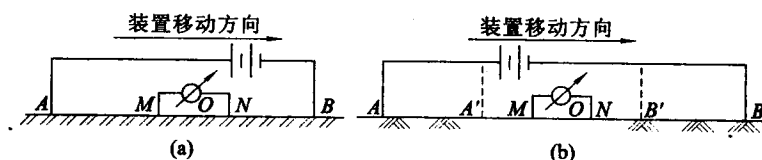


图1-4 电剖面法示意图

(a)对称四极剖面法；(b)复合对称四极剖面法

$$\rho_s = K \frac{\Delta V}{I}$$

式中 ρ_s ——视电阻率；

ΔV ——电位差；

I ——电流强度；

K ——装置系数， $K = \frac{\pi AM \times AN}{MN}$ ；

π ——圆周率。

当 AB 间距较小时，电力线大部靠近地表的土层中流过，见图1-5 (a)；加大供电电极

间距时, 电力线向深部发展, 见图1-5 (b)、(c)。不同 AB 值可测到不同的视电阻率 ρ_s 值。在测量时, 每一个 AB 值都应测量一次 AB 线路中的电流强度 I 值和 MN 电极间的电位差 ΔV , 计算出不同的 ρ_s 值。对称四极剖面法中的 O 为测量点, 若 $AA'MNB'B$ 等电极固定不变, 只移动整个装置, 则可得到测点 O 位置与 ρ_s 关系线。EP-80 型土坝探伤仪内设有恒定电源, 每点测量控制恒定电流, 可不计算 ρ_s 值, 直接用 ΔV 点绘电位曲线, 形态与 ρ_s 曲线一样可省去计算过程, 加快速度。在实际工作中, 为了便于分析对比, 经常采用对称于 MN 布置两组供电电极 (有时用 3 组), 较小的 $A'B'$ 了解浅层地质情况, 较大的 AB 了解深层情况, 组数愈多, 对地层不同深度情况的了解愈清楚。对应于 N 组电极布置, 可得到 N 个 ρ_s , 这种剖面法称为复合对称四级或多极剖面法。对称 (包括复合) 四极剖面法在堤坝隐患探测中, 主要确定坝体隐患的部位, 查明岩基破碎带和不同岩石接触面的位置。供电电极的距离大小应根据目的层 (即隐患可能埋深位置) 顶板埋深 H 来确定。一般要求 $A'B'/2 = (1 \sim 2)H$, $AB/2 = (3 \sim 5)H$ 。复合对称四级剖面法的极距间隔, 应大于所需探测的深度, 即 $AB > H$ 。

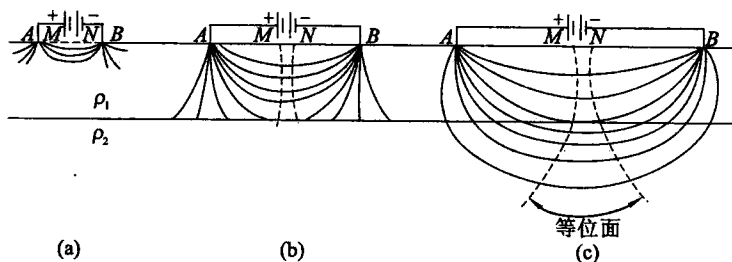


图1-5 供电电极 AB 的距离对电力线的影响范围

②中间梯度剖面法。它的装置是固定供电电极 AB , 而在中间的 $AB/3$ 区间内布置移动测量电极 MN , 逐点测量 ρ_s 值, 绘制 ρ_s 剖面图。为了加快测量速度, 可在 AB 中间长、宽各为 $AB/3$ 的面积内布置平行于 AB 的数条测线 (这块面积称为“测区”), 如图1-6所示。测完一个测区, AB 沿测线移动 $AB/3$, MN 也移向下一测区, 依此类推, 直至完成测段工作。中间梯度法 ρ_s 的计算同前, 装置系数计算用式(1-1)或式(1-2)。

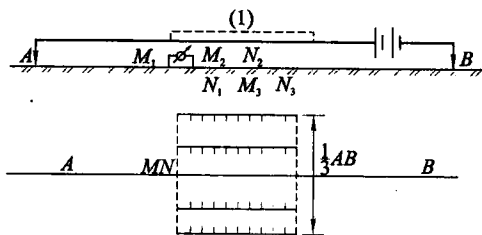


图1-6 中间梯度法装置示意图

$$K = 2\pi \frac{AM \cdot AN \cdot BM \cdot BN}{MN(AM \cdot AN + BM \cdot BN)} \quad (1-1)$$

$$K = 2\pi \frac{\sqrt{(AM^2 + D^2)(AN^2 + D^2)(BM^2 + D^2)(BN^2 + D^2)}}{MN[\sqrt{(AM^2 + D^2)(AN^2 + D^2)} + \sqrt{(BM^2 + D^2)(BN^2 + D^2)}]} \quad (1-2)$$

上式中, D 为中心剖面至旁侧剖面的距离 (m)。