

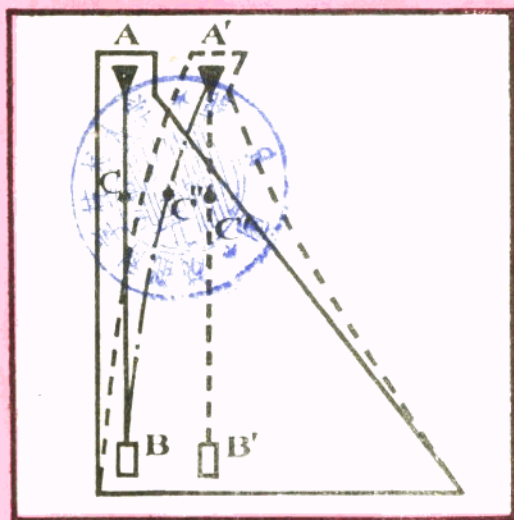
水力发电
技术知识
丛书
中国水力发电工程学会主编

899082

第十一分册

水工建筑物的 运行维护和观测

谷云青 李珍照



水利电力出版社

水力发电技术知识丛书

中国水力发电工程杂志主编

第十一分册

水工建筑物的 运行维护和观测

谷云青 李珍照

水利电力出版社

内 容 提 要

本书是水力发电技术知识丛书之一。内容有两个部分，第一部分一～五章是水工建筑物的运行维护包括修理加固；第二部分六～十章是水工建筑物的观测。书中主要介绍水电站管理中这两部分工作的基本知识，包括水工建筑物的工作原理及运行维护基本要求，常见缺陷及其修理方法。观测工作的任务和主要观测项目的方法、原理、仪器、布置等。

本书简明扼要，通俗易懂，是一本提供水工维修观测技术基本知识的读物。可供从事水电厂及水库管理的领导干部、科技人员及技术工人阅读，也可供高等院校有关专业的师生参考。

水力发电技术知识丛书

第十一分册

水工建筑物的运行维护和观测

谷云青 李珍照

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 5印张 109千字

1989年2月第一版 1989年2月北京第一次印刷

印数0001—2800册 定价2.65元

ISBN 7-120-00430-1/TV·144

关于编写《水力发电技术知识丛书》的说明

为了水力发电战线广大职工学习科学技术，适应现代化水电建设和生产的需要，中国水力发电工程学会组织编写了一套《水力发电技术知识丛书》。丛书是从普及水力发电科学技术知识的角度出发，着重介绍水力发电的基本概念和基础知识，对我国在实践中取得的经验和国外水平以及发展前景也作适当介绍。

读者对象以具有中等学校文化程度以上的各级管理干部为主，使他们能系统地了解水力发电的科技知识，不断提高业务能力和管理水平。对于中等学校文化程度的技术工人，也可通过学习本丛书为学习专业技术打下初步基础，并在工作中不断提高技术水平。对于有某种专业的技术干部，也可了解其他相邻专业的一般知识。

本丛书共分二十五个分册：

- 第一分册 水力发电概况
- 第二分册 水能规划和综合利用
- 第三分册 水能经济
- 第四分册 水电工程地质
- 第五分册 水电工程勘测
- 第六分册 水文测验和水文计算
- 第七分册 泄洪和进水建筑物
- 第八分册 引水工程及发电厂房

- 第九分册 过船过鱼过木建筑物
- 第十分册 水工机械设备
- 第十一分册 水工建筑物的运行维护和观测
- 第十二分册 水电工程的施工组织和管理
- 第十三分册 水工混凝土工程施工
- 第十四分册 土石工程及地下工程施工
- 第十五分册 施工导流工程
- 第十六分册 水轮机和辅助设备
- 第十七分册 发电机和电气设备
- 第十八分册 水电站集中控制、继电保护和自动化
- 第十九分册 机电设备的安装
- 第二十分册 机电设备的运行维护
- 第二十一分册 水电站水库调度
- 第二十二分册 水电站经济运行
- 第二十三分册 小型水电站
- 第二十四分册 抽水蓄能电站
- 第二十五分册 潮汐电站

本丛书各分册承蒙从事水电事业的有关单位和院校的专家教授大力支持，花了大量时间和精力进行编写和审校，特此一并致谢。

《水电发电技术知识丛书》编辑委员会

1982年3月

《水力发电技术知识丛书》

编辑委员会

主 任 施嘉炆

副主任 陆钦侃、舒扬荣、刘颂尧

编 委 (按姓氏笔划为序)

于开泉、王伊复、王圣培、伍正诚、冯尚友、
李毓芬、刘颂尧、沈 晋、谷云青、陈叔康、
张勇传、汪景琦、施嘉炆、陆钦侃、唐集尹、
舒扬荣、董毓新、程学敏、杨德晔。

前 言

我国解放以来,水电事业不断发展,建成了一大批水电站。到1983年底,全国水电装机容量约达2470万kW,为1949年水电容量16.3万kW的147倍。建成大中型水电站130余座约1600万kW。水工建筑技术也不断提高,建成了一些高坝大库,如目前我国最高的混凝土重力坝刘家峡大坝,坝高146.6m,最高的混凝土拱形重力坝乌江渡大坝,坝高165m。

水电站水工建筑物与其它土木建筑如桥梁、隧道和港口建筑物一样,需要经常的维修,有了缺陷要及时处理。同时要严格的检查观测,以监视其运行状况。我国在水电站运行管理方面也取得了很大成绩。水工建筑物的检查、观测、维护、加固等,作了大量工作,积累了一些经验。丰满、梅山、新丰江、盐锅峡、下马岭等水电站都曾进行了大规模的加固工程。在维修加固中化学材料灌浆、预应力锚固、喷混凝土、金属喷镀防腐等新技术得到了应用和发展。大坝观测方法和仪器近几年也有不少进展。激光准直系统,引张线和垂线的遥测装置,大坝内部观测参数自动检测以及应用电子计算机进行大坝观测资料的定量分析等,也取得一定成果。许多大坝通过原型观测发现了问题,及时采取有效措施,保证了大坝安全。

实践证明,加强水工管理是实现水电站安全生产安全渡汛的基础。水工管理是水电站运行管理中的薄弱环节。目前水工管理干部较少,水工管理的生产和科研队伍力量薄弱,在一些部门和部分同志中还不同程度地存在着“重建轻管”

和“重电轻水”的倾向，影响水工管理水平的提高。中国水力发电工程学会组织编写这本书的目的，是为了提高各级管理干部对水工管理重要性的认识，加强已建水电站水工管理工作，确保水工建筑物安全运用。考虑到电力生产系统各方面管理干部对水工知识的不同需求，书中重点介绍了基本概念和基本知识。专业技术可参阅有关专门文献、手册。为吸取一些工程运用和修理加固的经验教训，还介绍了国内一些工程的运用和修理加固的实例。

本书编写分工：第一章至第四章由谷云青编写；第五章到第十章由李珍照编写，全书由谷云青负责统稿定稿，由水电部电力生产司赵振民审阅，提出了许多宝贵意见，在此深表感谢。书内所用的工程数据和附图，多数来源于有关工程的总结资料，特向有关单位和参与工程总结的同志致谢。由于水平有限，错误和不妥之处难免，诚恳地希望读者批评指正。

编 者

1985年10月

目 录

前 言

第一章 水工建筑物的运行管理	1
第二章 混凝土坝的运行维护与修理加固	3
第一节 混凝土坝的运行维护	3
第二节 混凝土坝坝面破损、裂缝和渗漏处理	5
第三节 混凝土坝修理加固工程实例	13
第三章 土石坝运行维护与修理加固	34
第一节 土石坝运行维护与修理	34
第二节 土坝修理加固工程实例	47
第四章 泄水排沙引水和厂房建筑物的运行维护与修理 加固	55
第一节 泄水排沙建筑物常见破坏现象与修理	55
第二节 引水建筑物和发电厂房的运行维护与修理	63
第三节 环氧树脂材料在水工混凝土建筑物修理中的应用	67
第四节 泄水排沙和引水建筑物修理加固工程实例	70
第五章 闸门和启闭机的运行维护与修理	86
第一节 闸门和启闭机的操作运用	86
第二节 闸门和启闭机的维护	88
第三节 闸门和启闭机的故障处理	90
第六章 水工观测的重要性和基本要求	94
第一节 观测工作的重要性	94
第二节 观测工作的内容和要求	100
第七章 混凝土坝的观测	107
第一节 混凝土坝的变形观测	107
第二节 混凝土坝的渗透观测	118
第三节 混凝土坝的温度和应力观测	121

第八章 土坝的观测	128
第一节 土坝的变形观测	128
第二节 土坝的渗透观测	131
第三节 土坝的应力观测	134
第九章 隧洞和水电站厂房的观测	136
第一节 隧洞的观测	136
第二节 水电站厂房的观测	138
第十章 观测资料的整理分析	140
第一节 影响观测值的基本因素	140
第二节 观测资料的整理整编和定性分析	142
第三节 观测资料的定量分析	146
参考文献	149

第一章 水工建筑物的运行管理

水工建筑物的安全状况，不仅关系到水电站本身能否正常运用和充分发挥经济效益，更重要的是大坝安全关系到下游人民生命财产的安全和国家建设的发展。我国许多水库大坝下游人口稠密，有重要的城市，广阔的农村，铁路公路交通干线，比其它工程对公众事业的安全有更大的影响。有时因各种原因不得不在自然条件恶劣的坝址修建大坝和水电站，更增加了工程的复杂性和水工建筑物运行管理的重大意义。

与其它建筑物相比，水工建筑物有如下一些显著的特点：

(1) 大中型水工建筑物承受巨大的荷载，受力和运行条件复杂。在水库蓄水运用以后，挡水、引水建筑物经常处在水下工作，承受水压力、泥沙压力、冰压力、风浪压力和作用于基础的扬压力等荷载。引水、泄水和排沙建筑物除承受上述荷载外，还要经受高速水流的冲刷和磨蚀作用。

(2) 水下和基础部位的许多工程是隐蔽的，损坏不易察觉。如大坝基础的断层破碎带和软弱部位在水压力作用下发生某些变化，往往不易被发现。泄水建筑物发生气蚀以及下游河床发生淘刷，也往往不能及时发现。引水隧洞或压力钢管经常处于连续运行状态，不能随时停机检查，也难以及时发现缺陷。因此，加强水工建筑物的运行维护和安全监测有着重要意义，可能防止某些损坏恶化和发生突然事故。

(3) 每座水电站都是根据自己的条件单独设计的，具有自己的特点和特殊的要求。设计也不可能尽美尽善，有些问题往往需要运行阶段解决；自然现象的复杂变化，也威胁

着水工建筑物的安全。如发生大洪水和强烈地震，可能使水工建筑物遭致严重破坏。新丰江水库诱发地震，使大坝遭到严重破坏，产生裂缝，不得不进行加固处理。坝址或水库近坝区的滑坡，可能引起巨大涌浪翻坝，对大坝造成严重威胁。

大坝基础处理设计和施工质量是决定大坝安全的最重要的因素之一。一些重大的垮坝事故，如法国的马尔巴塞坝，美国的铁堂坝失事是由于坝基地质复杂，处理不当造成的。软土坝基在建设时未作适当处理，水库蓄水后在渗水压力作用下，可能会发生渗透失稳，严重的坝基渗漏，可能引起管涌或流土，以致基础脱空沉陷，造成基础破坏，引起大坝失事。岩石坝基如有断层破碎带处理不当，运行中会发生渗漏加大，扬压力升高，威胁大坝稳定，甚至引起大坝失事。

建筑材料老化，也是一种自然规律。混凝土老化使强度和抗渗抗侵蚀性能降低。基础水泥灌浆帷幕老化，防渗作用降低甚至失效。土坝边坡破坏和颗粒破裂，是土坝多年不断变化的重要原因。特别是在施工中产生的缺陷和质量隐患，蓄水后在水压力和水质侵蚀作用下，逐渐向不利方向发展。材料老化虽然发展缓慢，但当出现明显迹象时，往往是很危险的，处理不及时可能导致严重的事故。

为了加强水电站运行管理，充分发挥其效益，应重视水工建筑物运行维护和安全监测工作，建立必要的管理制度，定期进行检查和观测。在汛前和汛后、发生地震之后或发生大洪水之后，还应进行特殊检查，掌握水工建筑物的变化规律和工作状态。特别要注意水下工程和隐蔽工程的状况，要防微杜渐，发现缺陷或异常及时采取措施处理。一般在运行多年，缺陷较多或有重大异常现象时，应组织技术鉴定，提出处理方案，重大工程应作专门设计。

第二章 混凝土坝的运行维护与修理加固

第一节 混凝土坝的运行维护

一、蓄水运用前的检查维护

为了管好用好水工建筑物，除了加强运行中的养护维修外，生产运行准备人员还应了解施工过程中的质量情况和地质条件等，特别是对水工建筑物水下工程和隐蔽工程，应在水库蓄水前就参加到施工中去，掌握建筑物的质量情况。

在工程竣工移交运行管理部门之前，应根据设计文件和有关竣工验收规定，进行全面检查，对发现的缺陷进行认真处理。埋设的观测仪器要完整好用，并取得蓄水前的观测基准值。竣工验收检查中必须抓住重大质量问题，对一些粗看起来似乎不很重要的问题，也要给予重视。例如，对溢流坝面要特别注意检查，泄水建筑物运用中发生过不少问题，有的因表面不平整或钢筋露头引起严重冲刷和气蚀，有的溢流面在施工时有混凝土残渣未清除，在泄水时阻水，水流跃起，淹了近旁的发电厂房。为了保证正常泄洪，必须彻底清除溢流坝面上的混凝土残渣或其它碎石杂物等，切去钢筋露头，使溢流坝面体形和平整度符合设计要求，避免阻碍泄流和产生气蚀。

二、运行中的检查维护

在现场运行规程中，应对检查项目作详细的规定。一般经常检查的项目有伸缩缝、排水孔和坝面等。伸缩缝设有止水，如紫铜片、沥青井等，运行中需检查止水设施。在沥青井内一般预埋钢管或钢筋，以便通蒸汽或通电加热熔化沥青。如沥青井填料有流失，应及时补充。

检查排水孔及其周围的排水沟、排水管、集水井等是否畅通无阻。排水孔淤积堵塞是常见现象，应及时扫孔，一般用压缩空气或压力水冲洗，必要时用钻机扫孔，如不能完全恢复时应增打新的排水孔。

检查坝面有无风化、剥蚀和裂缝等损坏现象。对于溢流坝面还要特别注意检查冲刷、磨损和空蚀等情况。

还应对基础渗漏、绕坝渗漏等进行检查，查明渗水来源。一般的方法是在坝上游投放颜料或示踪元素，在下游进行观察或取水样分析。

通过经常性的检查，发现小的缺陷应及时进行处理。

三、运行中的特殊检查或鉴定

当水库第一次达到设计蓄水位后，或遇大洪水水库水位达到设计洪水位后，及发生强裂地震以后，及建筑物出现异常情况时，应进行全面检查，必要时应邀请有关专家进行大坝鉴定，提出处理意见。根据检查鉴定的结论，决定是否进行检修或加固处理。

特殊检查内容要特别注意经常性检查时发现的缺陷有无发展，如裂缝是否延伸或扩展；渗漏量是否增加；冲刷、空蚀是否发展。要注意检查大坝基础扬压力是否增大，并复核对大坝抗滑稳定的影响。在北方严寒地区，对有渗水裂缝的建筑物还要注意渗水结冰对建筑物结构的影响，应在渗水露头处采取防渗措施，防止结冰冻胀使裂缝扩展。

第二节 混凝土坝坝面破损、 裂缝和渗漏处理

一、坝面破损及处理

常见的坝面破损现象，有蜂窝、麻面、疏松、脱落以及冲刷、空蚀等。蜂窝，麻面，骨料架空裸露一般是由于施工质量不好，混凝土振捣不实不均，在拆除模板后即可见到这些现象。如果施工质量要求不严，这些现象在各部位均可发生。表面疏松脱壳，甚至成块脱落的现象，一般是由于混凝土质量差标号低，经风化而剥蚀。在北方严寒地区，冬季施工时由于保温措施不良，混凝土受冻造成强度降低，表层疏松脱落。在运行中冻融及干湿交替循环变化，以及侵蚀性水的化学作用，都是混凝土坝面疏松脱壳或剥落的原因。因此，这些表面破损现象多发生在水位变化范围和与水经常接触的部位。溢流坝面常常由于磨损、气蚀和冲刷，使混凝土表面损坏甚至产生骨料裸露现象。水的化学侵蚀作用也不容忽视，长期侵蚀会逐渐往内部发展，造成混凝土强度降低，缩短混凝土的使用年限。

坝面破损的处理可先用人工或机械铲除其破损部分并进行凿毛处理，根据破损程度和部位，针对破损的原因选择合适的修补方法。

(1) 当修补面积较大，深度小于10cm时，可用普通水泥砂浆、喷浆或挂钢丝网喷浆填补。

(2) 当修补面积和深度都较大时，例如深度大于20cm，可用普通混凝土、喷混凝土或预制混凝土面板回填混凝土，如丰满大坝坝面的处理。

(3) 当修补面积不大，修补深度也不大时，如深度小

于10cm的情况,可用预缩砂浆和环氧砂浆修补。所谓预缩砂浆,是将拌合好的砂浆经堆放30~90min后再使用的砂浆。预缩砂浆的抗压强度可达到300~350 (10^5Pa);抗拉强度可达25~28 (10^5Pa);它与混凝土粘结强度可达17~22 (10^5Pa)。这种砂浆收缩性小,施工简便,成本低。如无特殊要求,进行少量修补时,可优先选用预缩砂浆。

(4)对于修补质量要求较高,如耐受高速水流冲刷作用的溢流坝面修补,可考虑用环氧材料。如修补面积较大,且深度大于2cm,可先用预缩砂浆填补,表面预留1cm左右,用环氧砂浆填补,以防止由于环氧材料填补厚度过大时,收缩较大而产生裂缝。

对修补材料一般要求具有高强度和抗磨、抗渗、抗蚀、抗冻和抗风化等性能。修补混凝土的技术指标不应低于原设计混凝土的技术指标。水泥不应低于老混凝土的水泥标号,一般用400号以上普通硅酸盐水泥。环氧材料具有较高的强度和抗磨抗蚀性能,与混凝土粘结也较好,是一种较好的材料,但施工工艺要求较高。这种材料有一定毒性,施工时应做好劳动保护工作。

二、坝体裂缝及处理

1. 裂缝产生的原因

裂缝产生的原因很多。按裂缝的性质分类,有沉陷缝、干缩缝、温度缝、应力缝和施工缝等;按裂缝部位和特征可分为表层裂缝、深层和贯穿性的裂缝。

(1)表层裂缝。产生表层裂缝的主要原因是施工过程中混凝土养护不良和温度控制不当。混凝土浇筑后没有保持表面潮湿状态,混凝土表面水分消失过快而引起干缩裂缝。混凝土凝结过程中,内外温差过大,表面剧烈收缩也易引起开

裂。这种裂缝的分布无一定的规律，纵横交错，形似龟纹。裂缝宽度和长度都较小，犹如发丝。

(2) 深层或贯穿性裂缝。形成这种裂缝的原因较多，如基础处理不良，引起基础不均匀沉陷，使混凝土发生裂缝；施工温度控制不严，由于温度应力过大而使混凝土发生裂缝；由于强烈地震，引起建筑物振动而发生裂缝；地震裂缝易发生在断面变化处。新丰江大坝由于强烈地震在断面变化最薄弱的地方发生了一条沿轴线百余米长的连续的贯穿上下游的裂缝。贯穿性裂缝危害较大，影响建筑物的结构强度和稳定性。

2. 裂缝处理的方法

裂缝处理的方法，应根据裂缝形成的原因以及修补目的进行选择。随着技术和材料的发展，处理裂缝的方法也在不断的发展。

(1) 对于不影响结构强度的表面裂缝，水上部分一般采用涂抹水泥砂浆、环氧砂浆或喷浆等方法进行处理。使用水泥砂浆，应注意在裂缝附近的混凝土要凿毛处理，洗净之后洒水湿润，然后抹水泥砂浆。砂浆厚度一般以 $1 \sim 2 \text{ cm}$ 较为合适，太薄时容易收缩开裂。抹完砂浆以后要注意养护，防止太阳直晒，冬季还要防止受冻降低强度。水泥砂浆的水泥一般用400号以上的普通硅酸盐水泥，砂子宜用中细砂。

使用环氧砂浆，应注意沿裂缝凿槽，一般槽深 $0.5 \sim 1.0 \text{ cm}$ ，宽 $5 \sim 10 \text{ cm}$ 。对槽面要求与抹水泥砂浆不同，不要凿毛而要求平整干净，并涂抹一层 $0.5 \sim 1.0 \text{ mm}$ 环氧基液薄膜，然后涂抹环氧砂浆抹平压实。

此外，还有表面粘贴、凿槽嵌补和喷浆等处理方法。表面粘贴是用胶粘剂把橡皮、玻璃布等粘贴在裂缝处；凿槽嵌