

抽水蓄能电站

建设与运行 案例分析

 华东宜兴抽水蓄能有限公司

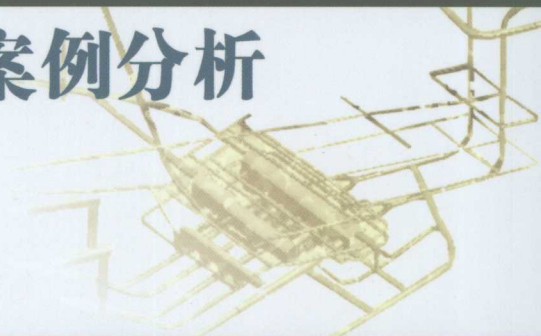


中国电力出版社
www.cepp.com.cn

责任编辑:姜萍 穆智勇
联系电话:010-63416218
电子信箱:jiang_ping@cepp.com.cn

抽水蓄能电站

建设与运行案例分析



推荐
书目

抽水蓄能电站系列书

抽水蓄能电站建设与运行案例分析
抽水蓄能电站输水系统施工技术
抽水蓄能电站输水系统安全控制与文明施工
世界抽水蓄能电站新发展
抽水蓄能电站及常规水电站引水建筑物设计
抽水蓄能电站工程建设文集
天荒坪抽水蓄能电站技术总结

ISBN 978-7-5083-6347-9



9 787508 363479 >

定价: 25.00 元

销售分类建议: 水利水电工程/水力发电

抽水蓄能电站 建设与运行案例分析



华东宜兴抽水蓄能有限公司



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

华东宜兴抽水蓄能有限公司在建设江苏宜兴抽水蓄能电站的基础上,收集国内已建抽水蓄能电站在建设和运行过程中的实践经验,编写了本书。全书分为水工篇和机电篇两大部分,分别讲述了挡水建筑物、输水建筑物、水泵水轮机、发电电动机、电气设备、电站监控及保护、国外工程等方面的近70个案例。每个案例又详细讲述了问题的发生、原因分析和采取的措施,以期为读者提供一些经验教训和解决问题的方法,有助于他们在工作中的实践提高。

本书可供从事抽水蓄能电站规划、设计、施工、设备制造和运行管理人员借鉴、使用。

图书在版编目(CIP)数据

抽水蓄能电站建设与运行案例分析/华东宜兴抽水蓄能有限公司编. —北京:中国电力出版社,2008

ISBN 978-7-5083-6347-9

I. 抽… II. 华… III. ①抽水蓄能水电站-建筑工程-案例分析 ②抽水蓄能水电站-运行-案例分析
IV. TV743

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第192402号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 http://www.cepp.com.cn)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2008年2月第一版 2008年2月北京第一次印刷

710毫米×980毫米 16开本 12.5印张 189千字

印数0001—2000册 定价25.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

本书编委会

主 编：黄悦照

副主编：王国玉 郭惠民

主 审：郭惠民 江松笙 林肖男

编 写：郭惠民 蔡 军 林肖男 江根友 黄祖光 项 捷



我国高水头大容量抽水蓄能电站的建设与运行，与国外经济发达国家相比，起步较晚，但发展迅速。从 20 世纪 90 年代初期，随着潘家口、广州一期工程投产，经过不到 10 年时间，到 20 世纪末，全国投产抽水蓄能机组装机容量已有 570 万千瓦（不计台湾 260 万千瓦，下同），预计到 2010 年前后将达 2150 万千瓦左右，而且还有一批抽水蓄能电站正在建设和进行前期工作。机电设备国产化也在快步跟上，从全部进口发展到中外合作技术引进、技术支持乃至基本上由国内厂家供货，形势喜人。抽水蓄能电站在电网安全稳定运行中，尤其是大规模西电东送的受端电网中发挥了越来越大的作用，并为核电安全稳定运行，替代煤电、气电调峰，减少水电弃水，为国家节约宝贵能源也起到了非常重要的作用。这些客观现实也进一步证明：在社会经济发展到一定阶段，电网拥有合适规模的抽水蓄能电站是完全必要的。

华东宜兴抽水蓄能有限公司在建设宜兴抽水蓄能电站经验基础上，收集整理国内已建抽水蓄能电站在建设和运行过程中的实践经验教训，分析其原因，阐述其处理办法是很好的做法，它不但可以为后续抽水蓄能电站建设和运行提供宝贵的借鉴，对工程管理者、设计以至机电设备制造部门也是很有意义的，我衷心祝贺本书成功出版。

中国工程院院士 罗绍基

二零零八年二月

中国的抽水蓄能电站建设,从20世纪70年代初至90年代末形成第一个建设高峰,在跨入21世纪后,迎来了第二个建设高峰。目前在建抽水蓄能电站达11座,一批规划中的抽水蓄能电站也即将开工建设。由于我国抽水蓄能电站建设起步较晚,在规划、设计、设备制造、施工、运行管理等方面与世界先进水平还有一定差距。

经过二十多年的抽水蓄能电站建设和运行,我国工程技术人员在抽水蓄能电站设计、设备制造、施工、运行管理等方面积累了丰富的经验,编者基于江苏宜兴抽水蓄能电站的工程实践,并在各投运抽水蓄能电站的支持下,收集相关的技术论文进行了编辑整理,同时收集了一些国外抽水蓄能电站建设经验,谨供从事抽水蓄能电站规划、设计、科研、施工、设备制造和运行管理人员借鉴。

由于受资料收集条件所限,本书内容略显不够全面,在对收集资料进行删减和整理过程中也难免出现一些差错,不妥之处敬请指正。

编者

2008.2

葛洲坝集团工程局

二〇〇八年二月

目 录

contents

抽水蓄能电站建设与运行案例分析

序

前言

水工篇 1

第一章 挡水建筑物 3

- 案例一 天荒坪抽水蓄能电站上水库沥青混凝土防渗护面产生裂缝
原因分析 3
- 案例二 某抽水蓄能电站上水库廊道补强加固处理 6
- 案例三 某抽水蓄能电站下水库大坝面板裂缝处理 9
- 案例四 某抽水蓄能电站施工支洞混凝土浇筑不振捣造成返工处理 12
- 案例五 某抽水蓄能电站上水库进出水口设计开挖线的反思 15
- 案例六 某抽水蓄能电站下水库基础灌浆工程量成倍增长原因与分析 17

第二章 输水建筑物 20

- 案例七 某抽水蓄能电站施工支洞排水管涌水原因分析与处理 20
- 案例八 某抽水蓄能电站 7 号施工支洞渗水处理 23
- 案例九 十三陵抽水蓄能电站 2 号水道首次例行放空检查总结 24
- 案例十 天荒坪抽水蓄能电站高压输水系统运行异常涌水的分析 30
- 案例十一 广州抽水蓄能电站 A 厂水道系统充水和放空设备问题 33
- 案例十二 广州抽水蓄能电站 A 厂上游高压钢衬支管灌浆孔问题 33
- 案例十三 广州抽水蓄能电站 A 厂尾水支管钢衬渐变段失稳问题 34

第三章 其他 36

- 案例十四 广州抽水蓄能电站 A 厂拦污栅的有关问题 36
- 案例十五 广州抽水蓄能电站 A 厂地下工程设计理论和实践经验问题 36
- 案例十六 广州抽水蓄能电站 A 厂地下洞室群通风问题 37
- 案例十七 某抽水蓄能电站地下厂房工程施工管理不严造成锚杆质量问题 37
- 案例十八 某抽水蓄能电站砂石料供应不足影响工程进度与质量 40
- 案例十九 天荒坪抽水蓄能电站“3.29”滑坡处理工程设计 42
- 案例二十 某抽水蓄能电站下水库进出水口 1 号尾水检修闸门坠落
事故分析 47
- 案例二十一 尾水事故闸门启闭机下腔密封缺陷分析及对策 48

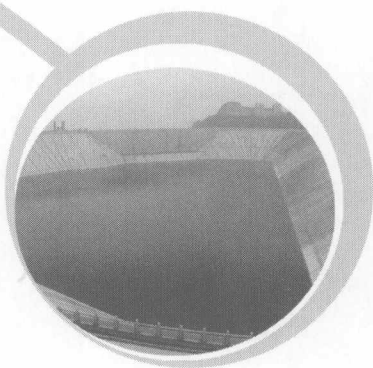
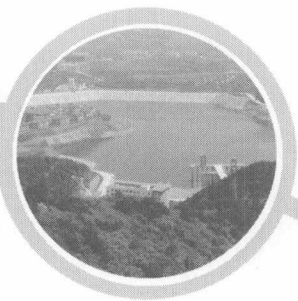
第四章 国外工程 51

案例二十二 美国塔姆·索克抽水蓄能电站发生溃坝事故	51
机电篇	55
第五章 水泵水轮机	57
案例二十三 天荒坪抽水蓄能电站机组低水头发电工况并网不成功	57
案例二十四 广州抽水蓄能电站 A 厂机组主轴密封烧损事故	61
案例二十五 广州抽水蓄能电站 2 号机组主轴密封烧损事故	67
案例二十六 天荒坪抽水蓄能电站机组主轴密封的改造	67
案例二十七 沙河抽水蓄能电站机组主轴密封异常情况	74
案例二十八 球阀运行情况及故障处理	74
案例二十九 天荒坪抽水蓄能电站 2 号机组转动部分抬起原因分析	75
案例三十 某抽水蓄能电站蜗壳测压头缺陷检查与分析处理	81
第六章 发电电动机	85
案例三十一 发电电动机定子接地故障	85
案例三十二 定子绕组绝缘故障检测方法	89
案例三十三 高转速抽水蓄能机组定子线棒绑线松动原因分析及处理	91
案例三十四 磁极线圈绝缘及极间挡块故障	94
案例三十五 某电站机组转子与主轴接地故障	99
案例三十六 大型抽水蓄能机组滑环温度高问题的研究及解决	101
案例三十七 广州抽水蓄能电站 B 厂机组轴承甩油问题的处理	106
案例三十八 十三陵抽水蓄能电站机组上导冷却系统改造	111
案例三十九 沙河抽水蓄能电站机组上导瓦烧损事故	116
案例四十 机组高速加闸原因分析及技术改进	119
第七章 电气设备	124
案例四十一 天荒坪抽水蓄能电站主变压器异常情况分析与处理	124
案例四十二 变压器套管异常情况分析及处理	126
案例四十三 变压器油中金属杂质的隐患及处理	129
案例四十四 励磁变压器绝缘击穿事故的分析	132
案例四十五 220kV 电缆终端事故	136
案例四十六 发电机断路器故障及处理	139
案例四十七 电气制动闸刀故障分析及对策	140
案例四十八 GIS 隔离开关操作产生的快速暂态过电压	142
案例四十九 十三陵抽水蓄能电站电气设备故障及处理	143
第八章 电站监控及保护	145

案例五十	十三陵抽水蓄能电站 DCS 监控系统改造	145
案例五十一	机组控制组态逻辑复制后的检查	147
案例五十二	控制器或网络内置电池的定期更换	147
案例五十三	开放系统的安全防护	148
案例五十四	电站的水位保护	149
案例五十五	修改控制逻辑的隐患	149
案例五十六	外加电源方式 100% 定子接地保护的拒动与误动问题	150
案例五十七	机组断路器失灵保护的改造	154
案例五十八	电站自动同期装置技术改造	158
案例五十九	测温元件 RTD 的技术改造	159
案例六十	水泵水轮机及其辅助设备控制系统技术改造	163
案例六十一	抽水蓄能机组工况转换过程中常见故障分析	165
案例六十二	抽水蓄能电站调试中遇到的几个安全问题	169
案例六十三	电站初期运行设备故障概述	172
第九章 国外工程		176
案例六十四	国外水泵水轮机故障综述	176
案例六十五	国外水泵水轮机故障实例	177
案例六十六	国外发电电动机故障综述	181
案例六十七	美国腊孔山抽水蓄能电站机组运行中的问题	184
案例六十八	国外电气设备运行中的异常情况处理	186
案例六十九	国外抽水蓄能电站控制技术	187
参考文献		188

水工篇

抽水蓄能电站建设与运行案例分析



案例一 天荒坪抽水蓄能电站上水库沥青混凝土防渗护面产生裂缝原因分析

【工程简介】

天荒坪抽水蓄能电站上水库是利用天然洼地挖填建成的。

上水库库岸边坡坡度为 $1:2.0 \sim 1:2.4$ ，水库四周布置有 1 座主坝和 4 座副坝。主、副坝均为土石坝，坝顶高程 907.5m；主坝高 72m，坝顶长度 576.975m。上水库总库容为 859.56 万 m^3 ，工作深度 49.9m。

电站上水库的库底和库岸边坡除了进出水口采用混凝土支护防渗之外，其余部分均采用沥青混凝土防渗，沥青混凝土防渗面积约 28.5 万 m^2 ，体积约 5.65 万 m^3 。

下卧层排水层的厚度在库底均为 60cm，库岸边坡为 90cm。其渗透系数要求不小于 0.025cm/s，压实相对密度不小于 90%，变形模量不小于 35MPa，不平整度在库底不大于 3cm，在库岸边坡不大于 4cm。下卧层内设有排水管网系统，将渗水引入布置在库底的排水观测廊道，集中自流排至库外。

【设计与施工】

电站上水库沥青混凝土防渗护面为简式结构，由整平胶结层、防渗层和封闭层组成。

整平胶结层厚度库底为 8cm，库岸边坡为 10cm，作为垫层与防渗层的过渡层，同时使铺筑防渗层时有一个稳定良好的铺筑条件；防渗层为整个防渗护面的关键结构，起防渗作用，厚度为 10cm；防渗层表面为沥青玛蹄脂封闭层，厚度为 2mm，是防渗层的保护层，以防止防渗层受阳光紫外线和恶劣气候影响，延长防渗层的使用寿命。另在库岸边坡与库底之间、库岸边坡与进出水口斜边之间的弧形过渡区，以及坝顶的胶结层与防渗层之间均采用聚脂网格加强，有的部位还采用了 5cm 的加厚防渗层。

在最初库底挖填施工中，由于库底全风化层较厚，最厚达 20 余 m，而且含水量高，为了便于重型施工机械能自由进出采用了抛石垫路，因此造成了局部人为的地质不均匀。在库底 60cm 厚的排水垫层表面采用 5m 间距网格法检

查平整度,整平时将部分垫层表面削薄,又由于库底开挖部分测量断面间距为10~30m,在断面之间存在超欠挖,使得库底局部垫层厚度不能满足设计明确的60cm要求。

在沥青混凝土防渗结构施工中,防渗层和胶结层沥青含量分别为6.83%和4.25%(现场取样平均值),库岸边坡与库底相同,比大部分同类型工程偏低;灰岩骨料中的针片状含量按德国DIN标准检查,施工期内共取样961组,合格率为65.6%~75.3%。

施工采用的设备、摊铺工艺、接缝处理、现场质量控制均比较严格,顺利通过竣工验收。

【问题发生】

电站上水库于1997年10月6日开始充水,到1998年1月22日水位达到861.0m,1998年1月22日~7月22日间上水库水位保持在863.0m左右。

1998年7月23日,电站1号机组投产,上水库正式充水。库水位的平均上升速率为每天0.61m,最高到889.5m左右。9月19日,放空水库检查发现一条长40cm、宽5mm的裂缝,进行修补后于9月21日开始第二次蓄水,水位以每天15.32m的上升速率蓄至889.51m,到9月29日库底廊道可测到的渗水流量加大,估计为50~60L/s,随即放空检查发现9条裂缝,修补至10月25日,并在10月27日再次充水。此后1999年9月、2000年9月、2001年5月各放空检修一次,每次放空检修均耗时25天左右,且全厂停机,造成了较大的损失。前后5次发现沥青混凝土防渗结构裂缝,累计33条(处),总长约50m,其中贯穿性裂缝14条,由于沥青混凝土局部施工缺陷产生的渗水点有11处。

大部分裂缝发生在北库底(岩基)以南,进出水口以西,南库底的靠北部位,属岩基和软基的过渡区,并不是全风化岩(土)覆盖最厚的部位。初始比较平整的库底,由于基础的不均匀沉降,可看到明显的起伏、坑洼。

为了解库底沉降固结情况,在库底深约10余m的廊道底板上设有沉降观测系统进行定期测量,观测结果表明,全风化岩(土)厚的部位沉降还在继续,说明软基部分的固结还未完成。到2003年底,上水库稳定运行的最高水位只到903.5m,离设计水位905.2m还有1.7m的差距。若水位抬升,上水库沥青混凝土防渗结构能否保证不再开裂尚存疑虑。由于沥青混凝土的数次开裂,给电站水工运行管理带来了很大的压力和困难。

通常,裂缝要通过观测排水廊道中的渗水情况才能发现,如发生渗水量

(总量或单孔流量)突然变化及渗水变浑等情况就应引起高度关注,然后加密观测分析,视情况决定是否放空水库。长期以来每天都在最高库水位时测单孔的渗水量。

【原因分析】

根据所掌握的设计施工运行等方面的资料,通过分析认为,电站上水库沥青混凝土防渗结构产生裂缝的原因可能有如下几个方面:

1. 设计原因

上水库防渗护面库岸边坡和反弧段情况非常好,裂缝主要产生在库底全风化岩(土)层区。上水库库底范围大,地质条件复杂,极不均匀,软基的厚度也存在极大的差异,厚的地方甚至达 20 余 m,而设计考虑的垫层均为 60cm,没有根据不同部位区别对待,在基础软硬变化部位也没有考虑过渡。

同时,库岸边坡和库底对防渗护面的沥青掺量相同,并且掺量偏小,使得沥青混凝土柔性较差,适应变形的能力较弱。如果库岸边坡沥青掺量高,可能在夏季高温时容易造成熔化流淌,但库底平缓,浸在水中,不存在这种担心。

2. 施工原因

前面已经提到在施工中为使重型施工机械能在软土中作业,往往先以块石、石渣垫场、垫路,而事后未能专门处理,可能会造成大石块架空或集中,人为造成基础不均匀。

同时,由于库盆挖填控制平整度检查要求较松(检查断面为 10~30m),可能在断面之间存在超欠挖,而排水垫层面的检查要求较严,采用 5m 间距网格法,从而导致垫层厚度不均,局部达不到 60cm。实际挖开检查,在有些开裂部位垫层厚度仅为 40cm 左右。

3. 运行原因

在第一次放空检修完后再充水时,水位上升速率达每天 15.32m,蓄到 889.5m,因在水库蓄水初期下卧层中全风化岩(土)及淤积土层中排水固结尚未结束,水荷载作用下的地基沉降变形才刚刚开始,受快速加、卸荷载的冲击,引起了地基的破坏性变形,对沥青混凝土有不利影响。

总之,造成电站上水库沥青混凝土防渗结构开裂的原因是多方面的。由于电站上水库采用全库盆沥青混凝土防渗在国内是首例,因此在设计、施工、运行各方面均缺乏经验。

虽然通过一段时间的运行出现了一些问题,但在电站上水库这样地基极不均匀的条件下,只要对软硬基础变化处处理好,采用沥青混凝土防渗是非常合

适的,防渗效果也十分理想。

【经验教训】

针对上水库目前存在的问题,总结教训认为:只要谨慎运行,缓升水位,采取加速固结的排水手段,待软基部分固结完成,然后再按照设计要求运行,这样就可以减少沥青混凝土的开裂。即便沥青混凝土防渗结构开裂了,在软基达到排水固结后,库盆最后也总能趋于稳定。

因此可以说,沥青混凝土防渗结构在地基不均匀区使用是一种比较理想的选择。

案例二 某抽水蓄能电站上水库廊道补强加固处理

【工程简介】

某抽水蓄能电站上水库库底及坝体内布置的排水观测廊道,其结构形式为城门洞形,除不同廊道交接处很小范围内采用全断面现浇混凝土外,廊道的底板和边墙采用现浇混凝土,廊道拱顶采用预制混凝土的形式。

【问题发生】

水库运行一段时间以后,发现1~4号排水观测廊道预制拱顶出现沿廊道轴线方向的纵向裂缝,缝宽一般在0.3mm以上,且预制拱顶与边墙接触部位的混凝土破损、剥落较严重,从而对上水库的安全运行构成了威胁。

【加固处理】

为了改善廊道的受力条件,提高廊道运行的安全余度,决定对原钢结构支托进行进一步的补强加固。该补强加固方案采用了扩孔植筋、外粘钢板加固和裂缝灌浆等技术,其主要目的是阻止预制拱顶与边墙接触界面之间的相对滑移、增强原钢结构支托与混凝土拱顶及边墙的整体性,从而达到原钢结构支托与混凝土拱顶及边墙共同承受上部荷载的效果。

1. 补强加固方案

这次补强加固方案采用扩孔植筋、外粘钢板和裂缝灌浆等技术相结合。

2. 补强加固原则

这次加固是在原钢结构支托加固的基础上所进行的补强加固,除钢立柱斜支撑拆除外(在加固完成后拆除),原加固体系原则上不作变动。

3. 主要工艺

(1) 植筋采用底部扩孔的自锁锚杆,钻孔的孔径要大于锚杆直径2~4mm,锚杆与混凝土之间灌注无机胶,无机胶28天的抗压强度必须大于

80MPa,可灌注宽度不小于1mm的间隙。

(2) 自锁锚杆分两种型号,其一为 $\phi 20$ 、深300mm,其二为 $\phi 25$ 、深500mm,丝扣长均为50mm。

(3) 自锁锚杆植筋灌浆一天后才能进行紧固,且在上水库水位处于当天最高运行水位时进行(上午8:30左右)。

(4) 为保证连接预制混凝土顶拱拱脚与混凝土边墙支座的连接钢板尽可能地与混凝土墙体保持贴实,要求施工前应对混凝土墙体与连接钢板接触面进行打磨处理。

(5) 所粘钢板与钢拱顶、钢立柱之间的焊缝高度一定要保证不小于8mm。

(6) 原钢立柱与钢拱顶之间的楔子在进行补焊前应敲掉原焊缝焊渣,并采用三面围焊,且焊缝高度不小于6mm。

(7) 钢拱顶与预制混凝土拱顶之间在灌注WSJ结构胶之前,钢拱顶与预制混凝土拱顶之间的四周缝隙用WSS密封胶进行密封,然后用高压吹风机将钢拱顶和预制混凝土顶拱表层的灰尘吹去。

(8) 裂缝注浆料为结构注浆胶,它可灌注缝宽 $\geq 0.5\text{mm}$ 以上的裂缝,钢拱顶与原混凝土预制拱顶之间灌注建筑结构胶,灌胶密实度需达到90%以上,钢拱顶与预制顶拱之间的灌浆压力不得超过0.4MPa(即 $4\text{kg}/\text{cm}^2$),具体灌浆时间为每天的11:00~17:00时,因为上水库水位变幅一天中在此时间段内最小。

(9) 拱顶灌胶以6m作为一个灌胶单元,出气口按每1.5m一个布置,灌浆嘴位于拱脚部位。

(10) 钢构件表层的防腐。在构件表层涂刷二道WSP防腐涂料。

4. 工程实施

首期补强加固工作由专业公司承担,工程于2002年1月19日开始,加固总长度为111.0m,共分两期进行。第一期加固85.5m(其中1号廊道28.5m、2号廊道27.0m、4号廊道30.0m),完成时间2002年4月16日。后考虑到目前上水库运行水位尚未达到设计标准,故决定对混凝土顶拱再次进行复核检查,对于裂缝开度超过设计规范允许值0.35mm的拱段进行必要的补充加固处理,以提高电站运行的安全余度。故在这次复核检查的基础上,结合1999年11月和2001年11月对廊道顶拱裂缝全面检查的结果,决定进行第二期廊道补充加固。第二期补充加固共25.5m(其中1号廊道7.5m、4号廊道18.0m),工程于2002年5月28日全部结束。