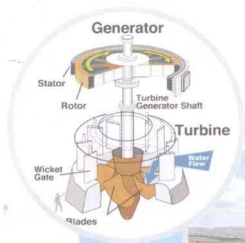


黄源芳 编著

水电机组修复与 现代化改造

SHUIDIANJIZUXIUFUYU
XIANDAIHUA GAIZAO

长江出版社



黄源芳 编著



水电机组修复与 现代化改造

长江出版社

图书在版编目(CIP)数据

水电机组修复与现代化改造/黄源芳编著. —武汉: 长江出版社, 2008.10

ISBN 978-7-80708-534-8

I. 水… II. 黄… III. ①水轮发电机—机组—故障修复②水轮发电机—机组—技术改造… IV. TM312.07

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第152104号

水电机组修复与现代化改造

黄源芳 编著

责任编辑: 高伟

装帧设计: 刘斯佳

出版发行: 长江出版社

地 址: 武汉市解放大道1863号

邮 编: 430010

E-mail: cjpub@vip.sina.com

电 话: (027)82927763(总编室)

(027)82926806(市场营销部)

经 销: 各地新华书店

印 刷: 武汉市中远印务有限公司

规 格: 787mm×1092mm 1/16

29印张 1印张彩页 687千字

版 次: 2008年10月第1版

2008年10月第1次印刷

ISBN 978-7-80708-534-8/TV · 93

定 价: 78.00元

(版权所有 翻版必究 印装有误 负责调换)

序

中国水力资源丰富，总量居世界第一位。中国的水力资源理论蕴藏量为6.94亿kW，年发电量为60829亿kWh，其中技术可开发量为5.42亿kW，经济可开发量为4.02亿kW，均居世界首位。

中国水力资源多集中在经济相对落后的西部云、贵、川、渝、陕、甘、宁、青、新、藏、桂、蒙等12个省（自治区、直辖市），其水力资源约占全国总量的76.86%，特别是西南地区的云、贵、川、渝、藏占全国总量的61.38%。

截至2007年底，中国已建成的水电站总装机容量达1.4526亿kW，仅占技术可开发总量的26.80%和经济可开发总量的36.13%，远低于工业发达国家的开发水平（50%~100%）。

我国正处于一个经济快速增长的阶段，工业化过程还没有完成，能源需求绝对量还会上升。一个国家水电开发在能源结构中所占的比例越大，其对全球二氧化碳减排以及减缓温室效应所作的贡献就越大。积极开发水力资源，是我国能源战略的重要决策。

中国水力发电事业有近百年的发展史，2000年水电装机容量为79352.2MW，单机容量6MW以上的机组共有1081台（其中国外供货机组128台）。根据以上统计分析，到2006年大中型水电机组达到1500台左右，到2020年将上升至2000台左右。计及星罗棋布的小型水电站的机组设备，全国大中小水电机组设备将数以万计。

充分发挥已有水电装机容量的作用，更有效地利用有限的水力资源取得更大的效益，是我国水电能源发展战略的重要组成部分。对老电站老机组适时实行现代化改造，不但有利于企业提高发电效益，更能有效保证设备运行安全，对电网安全稳定也起重要作用。

中国是发展中的大国，过去水电设备技术落后，产品质量差，设备性能不稳定，有的机组（设备）先天不足，刚投产就需“消缺”，运行超过10年，修复、改造不可避免。中国是发展中国家，水土流失严重，不少河流含泥沙量大，加剧了机组设备的磨蚀，降低了使用寿命。加上诸如“文化大革命”的浩劫，盲目追求高速度，不讲究科学决策，使水力发电设备与电站运行条件脱节，造就了一批不配套的尚在运行的机组设备。水电机组更新和现代化改造，以及相应的水工建筑物的修复，成为与水电开发并行的充分利用水力资源的一个重要方面军。

20多年来，黄源芳对我国和国际上老水电机组的修复改造，一直予以特别关注。1996年黄源芳就提出，由于三峡工程水库蓄水后葛洲坝电站运行条件发生了变化，建议开始研究葛洲坝水电机组的更新改造问题，以适应变化后的运行环境，更有效利用上游梯级三峡工程建成后的有利运行条件，获取更大的社会效益和经济效益。现在葛洲坝电站众多机组正在实施更新改造过程中。

黄源芳编著的《水电机组修复与现代化改造》共分3篇，第1篇介绍中国水电发展及一些国家水电机组改造的经验，从中可以借鉴他们在老水电设备的改

造、成批水电机组改造、加装现代机组的增容改造、废旧建新的机组改造，以及他们在规划、实施过程中优化资源配置，积极融合生态环境与更新改造的协调和谐的经验；第2篇介绍了中国和国际水电协会以及国际电工委员会水轮机技术委员会对水电机组改造的有关做法和规定，以了解国际上对老水电机组改造的通常程序和评价规则；第3篇介绍几个国家各类水轮机和水电发电机现代化改造的工程实例。

从书中的众多实例我们可以看出：其一，有的机组运行不到10年就需修复改造，有的机组运行几十年也同样需要现代化改造，所以，是否应该进行改造，运行年限的长短不是唯一的准则，重要的是需要经过综合的评估。其二，没有钱，是什么事都办不成的。机组更新改造资金的筹措方式，是各国面临的首要问题，在中国，是更具有中国特色的问题。国家和有关省市对再生能源、绿色能源有鼓励政策，不同企业也有不同集资方式，丰满、刘家峡水电站改造资金的筹措方法，值得研究借鉴。其三，改造的效果如何，与业主的认知水平、管理能力密切相关。我们不能要求业主都有很高的专业知识和正确的决策能力，但是一个具有技术、经济专业知识的专家组，能帮助诸如美国大古力水电站18台水电机组、田纳西流域80多台水电机组改造的正确决策和实施。

本书立足国内，从浩繁的资料、文献、信息中，提炼出有参考价值的知识，殊为不易，需要有极大的耐心、丰富的专业知识和细致的观察分析能力，特别是作者尽其所能获取最新国内国外信息的努力，使读者不仅了解水电机组修复、改造的过去，而且看到活生生的现状，使本书更有说服力和感染力。

众多发电企业、专业工程师和管理部门，可从本书中了解水电机组更新和现代化改造的评估、决策、实施过程，了解不同类型不同年代制造的机组修复改造的效果，可从类似实例中获得启发。

但是，也要看到，各个工程所在的自然环境、社会条件、经济发展水平完全不同，不同工程业主在不同年代的认知水平和实施能力差异很大，本书所述内容，特别是有关案例，绝不能照搬照套。

本书是编著者在水电机组现代化改造方面的专著，读者可从中获取我国水电机组发展的可靠信息、水电机组现代化改造的成功做法和众多各类水电机组的改造实例，“前者之鉴，后事之师”，可以使我们少走弯路，也许这就是本书编著者的初衷吧。编著者要我写几句话，谨写此序，表示祝贺。

中国大坝委员会主席
中国工程院院士

陆皓楠

2008年6月

《水机组修复与现代化改造》编审者名单

主 编 黄源芳

撰 稿 黄源芳 付湘宁 刘 洁

审 稿 刘光宁 刘公直 温国珍 何国任

唐 澍 田树棠 赵 焜 戴 江

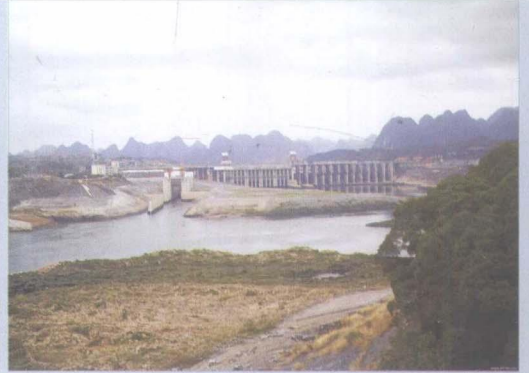
覃大清 汤毅强 徐 伟 朱德翔





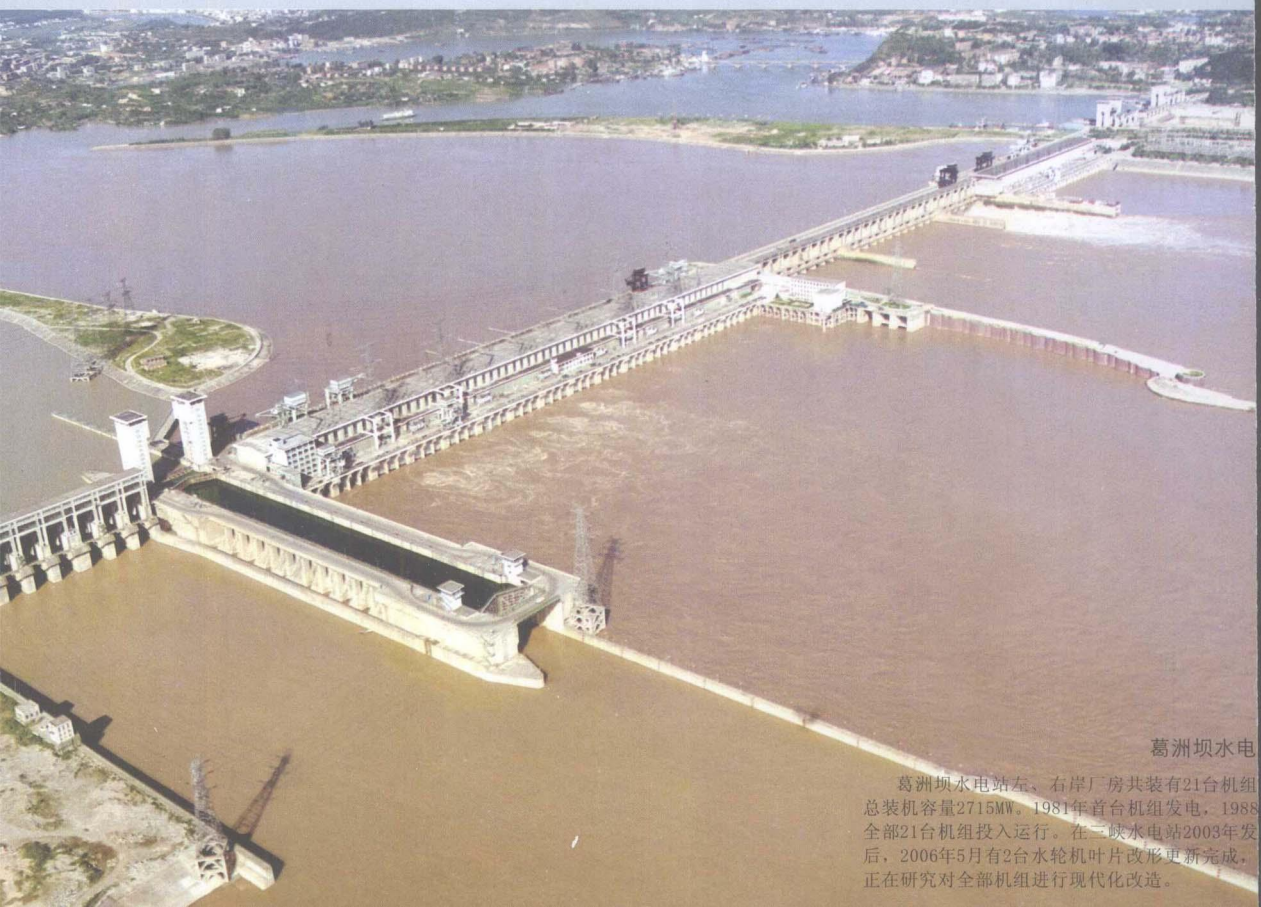
岩滩水电站

岩滩水电站装有4台302.5MW机组，1992年9月首台机组发电，1995年6月全部4台机组投入运行。岩滩水轮机投入运行后，受到发电机电层楼板振动、空蚀破坏、叶片裂纹、频繁修复等困扰，2001年9月签订转轮技术改造协议，2003年5月改造后的3号水轮机重新投入商业运行。3号水轮机改造不以追求机组扩容、提高效率、增发电量等效益为目标，基本上解决了电站厂房发电层楼板振动、转轮裂纹频发和机组运行稳定性问题。



大化水电站

大化水电站装有4台100MW机组，1983年12月首台机组发电，1985年6月最后一台机组投入运行。由于上游兴建新电站和水轮机转轮缺陷，进行机组改造，1999年上半年首台机组改造完成，4台机组扩容改造工程于2002年5月全部完成。



葛洲坝水电

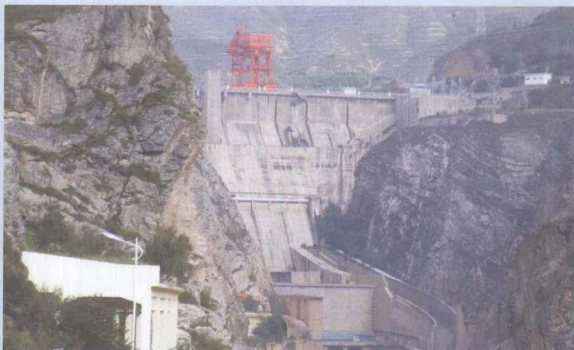
葛洲坝水电站左、右岸厂房共装有21台机组总装机容量2715MW。1981年首台机组发电，1988全部21台机组投入运行。在三峡水电站2003年发电后，2006年5月有2台水轮机叶片改形更新完成，正在研究对全部机组进行现代化改造。

水电机组修复与现代化改造



新安江水电站

新安江水电站装有9台72.5MW机组，设计总装机容量662.5MW，1957年开工建设，1960年首台机组发电。电站运行初期空蚀破坏严重，1986年开始对机组进行改造，全部机组现代化改造完成后总装机容量达810MW。



刘家峡水电站

刘家峡水电站装有5台机组，设计总装机容量1225MW，1969年3月首台机组发电，1974年全部5台机组投入运行，当时核定装机容量为1160MW。由于制造缺陷和泥沙磨蚀，设备修复和改造频繁。1986年开始全面进行改造，尤其在1996年至2002年的6年里，对全部5台机组进行了改造，实际装机容量达到1350MW，其中比较满意的是对5号机组的现代化改造。



长潭水库以农业灌溉和城市供水为主，结合防洪、发电、养鱼等，是多年调节的大型水利工程。1958年开工建设，1962年水库开始向灌区供水。1965年兴建水电站，装有3台机组，1967年7月开始发电。2003年3台机组增容改造全部完成，2004年10月水库加固工程完成，水库汛限水位提高3m，经现代化改造的机组运行性能好，安全可靠，电站总装机容量由9920kW提高到11800kW。

长潭水电站



作者在俄罗斯克拉斯诺雅尔斯克水电站考察

俄罗斯克拉斯诺雅尔斯克水电站

克拉斯诺雅尔斯克水电站装有12台500MW机组，1967年首台机组投入运行，1971年最后一台机组并网发电。2002年改造了水轮机导叶接力器、导叶密封、水导轴承等。



俄罗斯萨扬舒申斯克水电站

萨扬舒申斯克水电站装有10台640MW机组，1978年首台投入运行，1985年最后一台机组并网发电。至1997年所有水轮机转轮叶片都出现裂纹，1994年开始进行修复改造。



罗马尼亚铁门水电站

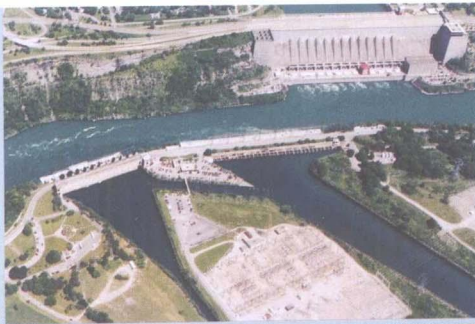
铁门水电站装有12台175MW机组，两座厂房各装6台机组，先后于1970年至1972年投入运行。1995年罗马尼亚开始研究水轮机改造，1999年完成3台转轮改造，第四台转轮2003年改造完成。2007年罗马尼亚一侧的6台机组改造全部完成，随后，塞尔维亚一侧的6台机组也将进行改造。





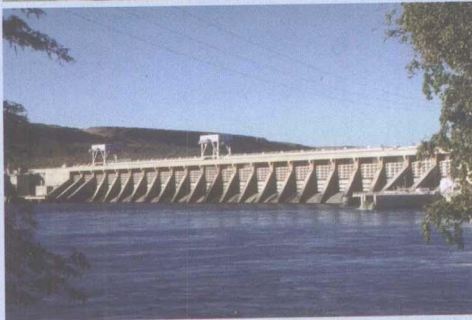
加拿大尼亚加拉瀑布阿达姆·匹克一级和二级水电站

阿达姆·匹克一级、二级水电站分别于1922年（装机10台）、1954年（装机16台）建成发电，现都已经过修复和现代化改造。



美国尼亚加拉瀑布罗伯特·摩斯水电站

罗伯特·摩斯水电站装有13台机组，1958年发电，现都已经过修复和现代化改造。



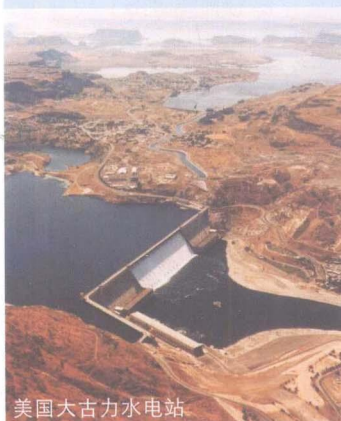
美国马克·纳里水电站

马克·纳里水电站1947年开工建设，1954年建成发电，1957年全部14台70MW机组投入运行。1986年拟扩建第2电站厂房，经再评估，5年后的1991年宣布这项扩建计划取消。2000年，特别工作组研究后得出结论，更换14台水轮机为新型环保型90MW水轮机，提高过机鱼类生存率，增大机组的过流量，增加电站发电量，计划于2015年完成全部改造。



埃及阿斯旺高坝水电站

阿斯旺高坝水电站装有12台175MW机组，1967年发电，1971年7月全部12台机组投入运行。1982年签订由美国公司开展研究、重新设计、加工制造、更换全部12台水轮机转轮的合同。



美国大古力水电站

大古力水电站共有3座电站厂房，1942年首台机组发电。左、右电站厂房内的18台铭牌出力为125MW的机组，2001年底首台机组改造完成并重新投入运行。以后计划每年更新改造2~3台机组，整个更新改造计划在2009年全部完成。第三厂房700MW机组于1978年发电，第一台机组更换定子在1995年7月31日开始的停机时间进行，1995年11月26日重新投入运行。第二台定子更换在1996年8月5日开始的停机时间进行，1996年12月23日重新投入运行。第三台定子更换从1997年7月30日的停机时间开始实施，1997年12月24日重新投入运行。1998年春天西门子更新改造3台发电机定子的工作全部完成。



美国瓦纳普姆水电站

瓦纳普姆水电站1959年开工建设，1964年机组发电。44年后的2008年4月，将许可证延期的条件是：使电站的发电能力现代化；监测水质；改善野生动植物的生存环境；保护瓦纳普姆三角洲将近700处考古地址的邻近地区；创立新的旅游营地、野炊营地和步行小径。新设计的“与鱼友好”的水轮机于2005年2月投入运行。



加拿大斯蒂夫瀑布水电站厂房设备

斯蒂夫瀑布水电站1913年发电，1923年5台机组投入运行，总装机容量52.5MW。2000年1月利用同一水库在原地左侧新建厂房，安装2台45MW机组，总装机容量90MW。老电站停止运行改建成科普展览馆。



台湾电力公司水轮机转轮磨蚀破坏情况



转桨式水轮机叶片进水边背面破坏情况（葛洲坝水电站）



磨损的转轮下环和叶片聚氨酯保护层

混流式水轮机叶片背面的磨蚀（龚嘴水电站）



水轮机抗磨环受磨蚀破坏情况（冷竹关水电站）

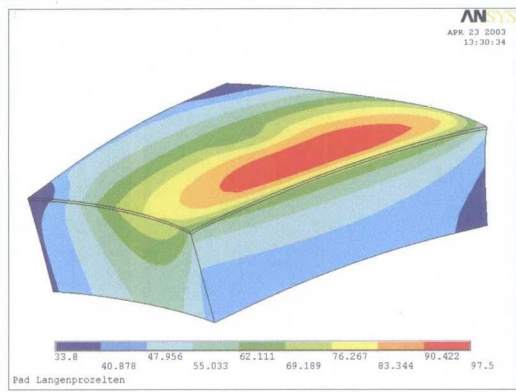


转桨式水轮机叶片磨蚀情况（三门峡水电站）

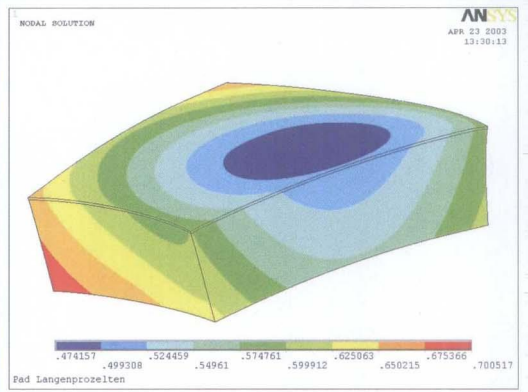


受酸腐蚀破坏的水轮机转轮（石龙坝水电站）

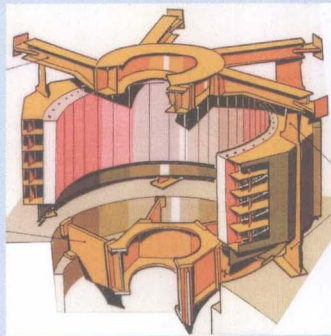




轴瓦温度分布



轴瓦变形分析



“斜结构元件”设计技术



转轮焊接



叶道涡的观测研究



五轴数控铣床加工水轮机叶片



转轮制造技术



大型发电机定子整体吊装技术



大型发电机转子安装技术



葛洲坝水电站需修复改造的水轮机转轮和顶盖



1913年发电的加拿大斯蒂夫瀑布老电站停止运行并改建为科普展览馆



作者简介

黄源芳 1939年12月出生。1962年华中科技大学动力系水力机械专业毕业，同年在长江流域规划办公室（简称“长办”）从事水电站水力机械设计工作。1981年至1983年为教育部访问学者在美国阿里斯一查尔摩斯水轮机公司进修。1983年至1993年在长江水利委员会（即原“长办”）担任机电处副总工程师、高级工程师、设计局副总工程师、教授级高级工程师、科技教育外事局局长。主要参与、承担长江流域众多水电站规划选点水力机械设计工作，长江葛洲坝水利枢纽工程水力机械设计和现场机电技术管理工作，清江隔河岩水电站机组总体设计和机电设计管理工作，汉江王甫洲水电站灯泡贯流式机组的初步设计和引进机组的前期谈判工作，长江三峡水利枢纽工程水力机械设计、机电设备论证、机电技术管理工作。1993年中国长江三峡工程开发总公司成立至2002年，在中国长江三峡工程开发总公司担任副总工程师，负责三峡工程机电专业设备技术和管理工作。2005年至2007年，担任三峡工程开发总公司博士后工作站博士后指导老师。

在参与的众多项目过程中，曾担任葛洲坝水电站170MW机组联合设计组副组长，三峡工程论证期间为机电论证专家组“长办”联络员，清江隔河岩工程机电设计负责人，三峡工程机电设计负责人之一，三峡左岸工程机电设备招标采购和合同执行技术负责人之一。

曾获水利部科技进步二等奖、湖北省科技进步一等奖，国务院首届科技进步特等奖荣誉证书，国务院重大装备办公室重大贡献证书。曾任中国水力发电工程学会水力机械专业委员会委员、副主任委员，全国电力系统水轮机标准化技术委员会副主任委员，全国水轮机标准化技术委员会委员、国际标准专家组副组长，国际水力研究协会（IAHR）水力机械与系统分委会中国执行委员，国际电工技术委员会（IEC）水轮机委员会（TC4）第27工作组组员、第29工作组副召集人，出席IEC/TC4国际会议的中国代表团首席代表。和水力机械专业的国内外专家有密切的联系，多次参与、主持国际谈判和国际会议。

在国内外重要技术刊物发表文章40多篇，翻译文章、书刊100多万字，主编《国内外水轮机改造》（2000年），著有《在世界水电站徜徉》（长江文艺出版社，2004）《在水电世界驰骋——三峡水电机组背后的故事》（长江出版社，2006）。