

SHUIDIANZHAN
DIANJIU
KUANG

葛洲坝水电站 水轮发电机组 研制概况

机械电子工业部



SHUIJIAN
SHUILUNFA
YANZHIGAI

机械工业出版社

封面设计：岳大地
封面摄影：李伟林
责任编辑：王蕴昆

葛洲坝水电站水轮发电机组研制概况

(内部发行)

机械电子工业部

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街1号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

哈尔滨大电机研究所印刷厂印刷

开本787×1092 1/16·印张23 3/4·插页1·字数550千字

1990年6月哈尔滨第一版·1990年6月哈尔滨第一次印刷

印数0,001—1,000

ISBN 7-111-02520-2/TK·100(x)

编辑委员会

主任委员：赵明生

副主任委员：许连义 陈延豪 梁维燕 张积武 王述羲

委员：（按姓氏笔划排列）

王荣昌 孙凤鸣 刘光宁 刘存智 冯绍洲 曲述曾

佟德彬 杨洪年 陈锡芳 吴晓华 施作沪 钟梓辉

钟鉴元 徐南根 常希如 戴云寿

编辑部

主编：杨洪年

副主编：孙凤鸣 曲述曾 张积武 钟梓辉

编辑：马德钧 曹光明 宋其水 史隽青

自力更生，勇攀水电高峰（代序）

沈鴻

长江，是我们伟大祖国的骄傲，她孕育了沿江两岸的各族儿女。长江，她蕴藏着巨大的能量，可开发利用的水力资源近20万MW。开发这丰富的水力资源是我国亿万人民长期以来的愿望，但在旧中国是难以实现的梦想，巨大的财富每天随着流水逝入海洋。

全国解放后，党中央、国务院十分重视电力工业的发展。毛主席、周总理亲自主持会议，制定办电方针、政策，批准了一批大型水、火电站的建设，葛洲坝工程即是其中之一。

早在1958年1月，中央南宁会议就讨论了三峡问题。同年3月，中央成都会议做出了有关三峡建设的决议，并讨论了葛洲坝工程问题。1970年毛主席视察湖北武汉，又提出了三峡水库的建设问题。武汉军区与湖北省委向中央写报告，建议先建葛洲坝，后建三峡工程。1970年12月26日毛主席亲自批示：“赞成兴建此坝”。同年12月30日葛洲坝工程正式开工。广大水电建设者以“高峡出平湖”、“当惊世界殊”的气概，以“只争朝夕”的精神，开始了机组的科研、设计工作，经过10年时间，1981年7月二江电厂1号机组并网发电，12月二江电厂2、3号机组投入运行。到1988年末总装机容量2715MW的21台机组全部投运。

葛洲坝水电站是我国当前最大的水电站，安装的大型转桨式水电机组居世界同类产品的先列，它的投运和发电标志着我国水电机组的设计、制造已进入世界先进行列，是坚持“独立自主、自力

更生”方针的胜利，是全国大协作的胜利，也是水电建设者心血和汗水凝成的结晶。当然，在机组建造过程中有很多成功的经验，但确实也不可避免地走过一些弯路，为对葛洲坝水电机组作出正确评价，并对今后水电建设有所启迪，对葛洲坝机组的科研、设计、制造等方面进行全面总结很有必要，既志前人，更启来者。

一 葛洲坝水力枢纽工程概况

葛洲坝工程位于长江南津关以下 2.3km，距宜昌市中心 6 km、包括航运、发电、防洪、灌溉等项目的综合水力枢纽。工程主要有三大建筑物，一是泄洪建筑物，主要由三座巨大闸构成，可宣泄历史上最大的 $11\text{万 m}^3/\text{s}$ 的洪水；二是通航建筑物，包括船闸和航道，一次可通过总载重 $12000\sim 16000\text{t}$ 的船队；三是水电站工程，包括大坝、两座厂房，500和220kV交流变电站及500kV直流变电站。

两座电站厂房分别设在二江和大江。二江电站安装 2 台 170MW 和 5 台 125MW 水轮发电机组；大江电站安装 14 台 125MW 水轮发电机组，总装机容量为 2715MW，年平均发电量可达 $1.41 \times 10^{10}\text{kWh}$ 。

葛洲坝水电站不仅是我国，也是世界上大型水电站之一。装设的两种容量的机组都是世界上最大的轴流式机组之一。机组全部设备均由我国自行研制。

二 葛洲坝水轮发电机组机型选择和

主要技术参数的确定

1970年11月26日原一机、水电两部确定采用A30型号的转轮，直径11m，设计水头18.6m，单机容量要确保170MW，由东方电机厂、哈尔滨电机厂等14个单位进行机组的扩大初步设计。在扩初设

计审查中，将转轮直径定为11.3m。叶片材质为15MnMoVCu，尾水管高度为 $2.1D_1$ ，水轮发电机的冷却方式为双水内冷。

1972年由于地质问题及解决泥沙淤积方案问题，国务院决定主体工程暂停施工。同时要求对水轮发电机组重新进行论证。鉴于当时国内外尚无四叶片转轮用于大于23m水头的运行经验，因此决定，对已投料的2台170WM机组，安装在二江，当水头高于23m时，做为试验机组，以取得经验，二江电厂的其余机组均采用5叶片的125MW机组，转轮直径为10.2m。经过试验研究和其他电站的运行实践，15MnMoVCu钢的屈服强度和冲击韧性均不能满足设计要求，因此，叶片改用0Cr13Ni4~6Mo钢，发电机冷却方式也均定为空冷，尾水管高度提高到 $2.4D_1$ 。170MW机组由东方电机厂生产，125MW机组由哈尔滨电机厂生产。

大江电厂的14台机组，经葛洲坝工程技术委员会决定，全部采用125MW机组，根据用户要求，在总结二江电厂125MW机组的基础上，对大江125MW机组进行了大、小约100多项优化设计改进。由哈尔滨电机厂和东方电机厂原则上按一套图纸生产。

三 机组的科研工作

葛洲坝机组有许多关键技术问题，抓好前期科研工作是成功地制造出这两种机组的前提，因此，国家科委、原一机、水电两部对38个单位下达了7个专题104项科研任务，经过加强科研工作的组织管理，开展多方面的协作，十多年时间全部完成了各项课题，有93项用于生产。

对于170MW水轮机，除用四叶片转轮外，研制了 $2.4D_1$ 尾水管，经过全模拟和陆水电站中间试验，使提高水轮机效率和达到额定出力有了保证。

五叶片转轮，国内是空白的，两部组织了联合设计和试验，一年多内获得了ZZ500转轮，用于125MW机组上，其能量指标和侵蚀性能均达到世界上先进水平。

葛洲坝电站27m水头，必须有高强度叶片材料，为此组织了全国十三个单位研究15MnMoVCu铸钢，由于它不能满足工业性能要求又决定研究不锈钢材料，从选材、铸造、焊接、热处理等方面作了大量科研试验，最后选定ZG0Cr13Ni4~6Mo两种材料应用于批量生产叶片，使我国不锈钢铸造技术达到了一个新水平。

两种机组的推力轴承负荷分别为3800t和3300t，居世界水平，为此精心进行了设计与计算，并在丹江、三门峡电站进行了中间模拟试验，取得了大量数据，为推力轴承设计和运行提供了可靠依据。

大部件刚度和强度研究是组织厂、院（所）、校三结合科技攻关的典范。对顶盖等六大部件理论分析和试验的大量成果，都成功地应用到生产这两种机组上，开发的有限元软件为今后设计工作提供了手段。

1982年和1983年分别对两种机组进行了电站实测，各测试110余个项目，取得了满意的成果。

四 机组的制造

两种机组的尺寸和重量都超过了两厂的设计能力。为此，工厂进行了必要的技术改造，设计制造了许多专用设备，采用了一些新技术和新工艺，终于提前一年完成了制造21台机组的全部任务，并创造了一厂年产三台的记录。

转轮体直径4.4m、高2.76m，净重120t，铸造和加工难度很大。第一重机厂、第二重机厂经过不断研究，严格铸造规范，序序

把关，使转轮体铸造的各项质量均达到设计要求。

转轮室不锈钢中环，用户要求内面加工，难度大，采用靠模工艺和先进刀具，使半径5m多的球面加工精度和粗糙度完全符合设计要求。

为解决顶盖、支持盖等大件分瓣退火问题，两厂建造了 $12 \times 6.5 \times 4.5\text{m}$ 大型退火炉，并解决了许多装焊问题，提高了焊接技术水平。

改进了生产管理，按网络图组织生产，按分装配交货，提高了企业工作效率，加快了机组的制造进度。1979年和1981年东方电机厂制造了两台170MW机组。哈尔滨电机厂于1982年完成了二江5台125MW机组。在此基础上，大江14台125MW机组从1985年至1988年两厂全部制造完毕，机组结构合理，制造质量良好，为电站提前一年结束机组安装起到了促进作用。

五 机组质量和技术水平

为使葛洲坝机组的质量上等级、上水平，制造厂自上而下采取了一系列措施，首先树立质量第一、用户第一的思想，并建立了全面质量管理体系，开展小组质量管理活动，使产品质量有了保证。

采用新技术和工艺，对提高产品质量有决定性意义，如线棒采用模压成型，两厂35000多根定子线棒耐压试验中无一破压。

顶盖与底环采用胎具镗孔，使上下轴颈的同轴度小于1mm。

辅机元件进行严格筛选和老化试验，励磁装置在厂内经过72h大电流考核试验，提高了全套辅机的运行可靠性。

两台170MW机组1981年运行以来，8年内经过23~26.54m高水头下7000h的运行试验，各项指标符合国家技术标准要求。

125MW机组运行过程中各项性能指标都满足设计要求，气蚀

性能优于IEC标准。1982年两种机组都经历了低水头运行试验，当水头为6.14m（设计最低水头为8.3m）时能过流发电，稳定运行。

为此，1985年葛洲坝工程与机组的研制项目荣获了国家科技进步特等奖，1987年125MW机组又荣获了国家质量奖金质奖章。诚然，在安装和试运行过程中，个别机组也暴露了推力轴承烧瓦、叶片密封漏油、灭磁开关烧坏等问题，但两厂都作了结构改进，并及时派人和安装单位一起处理，使问题及时解决。

六 基本经验

葛洲坝电站是我国水电建设史上的一项空前巨大工程。二十多年的实践证明，它的建设和机组研制的成功，是党中央、国务院的英明决策与充分发挥各级领导部门、广大工程技术人员和工人积极性创造性的共同结晶。它是一场对自然界斗争的胜利，也是工程参与者提高认识能力的胜利。要完成这样一项巨大的工程，仅仅依靠自然科学XYZ的知识是不够的，还必须依靠政治、经济、哲学思维即唯物辩证的哲学思维指导，才能较完整地认识这方面的客观规律和比较正确地进行实践。它的胜利完成不仅培养造就了一支具有科学态度、能攻难关的建设队伍，而且也为今后的重点建设提供了宝贵的经验和可资借鉴的教训。

1. 党中央和国务院的正确决策是葛洲坝水电机组研制成功的决定性因素

葛洲坝水轮发电机组无论从容量上，还是从技术难度上都是当时的世界先进水平。按照当时的历史条件，我国自行研制，确实存在很多困难。党中央和国务院根据当时国民经济发展对电力的需求，召集各级主管部门的领导 and 大批专家反复论证，毅然作出自力更生兴建葛洲坝水利枢纽工程的决定，要求对机组的科研、设计、

制造及材料选择，完全立足国内。毛主席亲自批准了这一工程，周总理多次主持会议，解决工程中遇到的关键问题，一再指出要充分发挥社会主义制度的优越性，依靠集体智慧，既要百家争鸣，又要有能力集中；既要分工负责，又要团结合作，敢于赶超世界先进水平。中央领导的英明决策极大地激发了全国机电职工自力更生、艰苦创业、敢于攀登高峰的社会主义积极性，弘扬了大协作的优良传统，胜利建成了这一宏伟工程。实践证明，对于国家的重点建设项目，党中央、国务院在广泛听取各方面意见，在科学的基础上做出正确的宏观决策，是具有决定性作用的。

2. 有效地集中统一计划管理是成功研制葛洲坝水电机组的关键

对于这样巨大的工程，必须加强中央的集中统一管理。而且层层要有强有力的具体领导，层层有专人负责，项项有专业队伍。为加强集中管理，1972年11月成立了有国家计委、国家建委、一机部、交通部、水电部、葛洲坝工程局、湖北省委等部门参加的“葛洲坝工程技术委员会”，负责领导设计、科研、技术审查工作。各部、委及有关司局，一直到制造厂，也都成立了相应的机构，负责解决在机组研制过程中出现的问题。可以说，在整个过程中出现的每个问题的解决都是各级领导与广大群众相结合的结果。事实证明，中央加强集中统一的计划管理，全国一盘棋，才能充分组织和调动各方面的积极性，这是成功组织国家重点工程的关键。

3. 大力协同是攻克难关的根本保证

大力协同，搞好多方面的结合，是体现社会主义制度优越性的重点之一。全国大协作，充分发挥厂、院、校三结合的威力，加强厂际之间工厂与科研单位、大专院校之间的紧密合作，发挥各自的

优势和积极性，攻克技术难关，是研制葛洲坝水电机组的根本保证。科学技术愈发展，专业化程度愈高，愈需要加强各部门之间的协作。在葛洲坝水电机组的研制过程中，如转轮的研究，0Cr13Ni4~6Mo钢种的研究，不锈钢叶片的浇铸，大部件的刚度、强度研究，推力轴承的试验等，无一不是社会主义大协作的产物。因此，在当前和今后的社会主义建设中，要继续大力提倡这种大协作的精神。

4. 尊重科学、尊重人才、实事求是、一切经过试验是相信自己力量、自力更生赶超世界先进水平的基础

在中央决定自力更生研制葛洲坝巨型水轮发电机组时，我国正处在“十年动乱”时期，经济实力和技术水平也比现在低得多，但由于始终坚持了尊重科学、尊重人才、实事求是、一切经过试验的方针，认真抓好理论研究—模型试验—中间试经—产品试制的每一个环节，所以在葛洲坝水电机组研制过程中，从论证立项到机组调试，每一步都进行了科学试验和反复论证，直到部分机组已安装发电以后，还对2号机(170MW)和3号机(125MW)机组，组织有工厂、科关研单位、高等院校接近300人，进行了各100多项真机实测。在测得的数据证明全部满足了设计要求后，才逐步把所有机组全部投产。这种严肃认真的科学态度，不但保证了本电站机组的成功研制，还为以后更大型机组的设计、制造积累了经验。

5. 百年大计、质量第一、用户至上是研制葛洲坝水轮发电机组的指导思想

工作的需要，用户的严格要求，正是提高产品质量的契机。为保证机组质量，从科研、设计、制造到安装调试，采取了一系列措施。如：制造厂制定了80余条关键部件质量标准，健全了质量管理

体系，进行了许多项技术改造，研制了大型专用工装设备等等，使机组质量得到了保证。

为加强工地服务，建立了驻工地总代表制度，不仅及时解决到货过程中的不成套问题，安装调试中的问题，而且及时反馈机组制造中的质量问题，协调制造厂与安装单位和用户的关系。从第1台机组安装调试到21台机组全部投运发电，近十年的事实证明，质量第一、用户至上的思想，确实已在葛洲坝电站开花结果。

6. 自力更生造机组，培养队伍育人才

葛洲坝水轮发电机组从科研、设计、制造到安装、调试，完全立足于国内，在当时的历史条件下，研制这种具有世界先进水平的机组困难之多，可以想见。但水电设备制造业的科技人员和工人没有被困难吓倒，而是发扬自力更生、艰苦奋斗、尊重科学、实事求是的精神，成功地研制了为中国人民争光的巨型水轮发电机组。

通过研制，我国机电制造业的职工队伍经受了锻炼，增长了才干。一支既有理论，又有实践；既有科学精神，又有先进技术的专业队伍已经成长壮大起来。这支队伍又经过多项其他大型水电机组制造的考验，近年又从国外引进了多项技术，人员素质和技术水平有了很大提高。通过技术改造，各制造厂的生产能力又跨上了新的高度。

经过近二十年的艰苦奋斗，葛洲坝工程已全面竣工投产，宏伟的大江、二江电厂已矗立在我们面前，强大的电流正源源不断地输往华东、西南。在回顾工程建设历程的时候，不能不为我们这支不畏艰难、脚踏实地、勇攀水电高峰的水电设备制造队伍而感到自豪。

回顾过去，展望未来，我国水力发电有着广阔的发展远景。大量的水力资源亟待我们去开发；500~800MW大型水电机组、

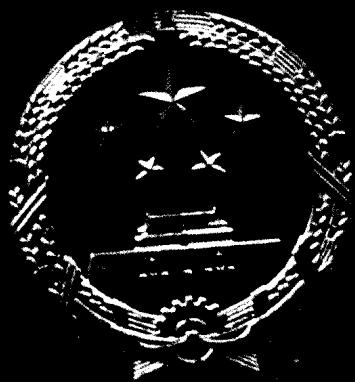
200~300MW高水头蓄能机组，大容量贯流机组等新型水轮发电机组还有待我们去研制。我坚信，在党中央、国务院的英明领导下，水电设备制造队伍将会以葛洲坝机组作为新起点，继续努力攀登水电新高峰，为社会主义建设做出新贡献。



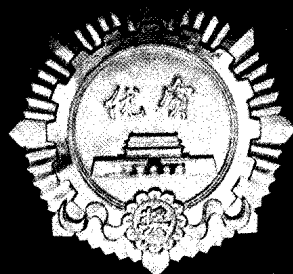
原国家主席李先念视察葛洲坝电站机组情况



原机械工业部副部长沈鸿视察葛洲坝电站工地



中华人民共和国国家质量奖



1986

中华人民共和国国家经济委员会

葛洲坝工程及水电机组获国家科技进步特等奖

葛洲坝电站125MW机组获国家产品质量奖金质奖章

大胆试验，慎重推广

沈鸿

原机械工业部副部长沈鸿于1986年5月5日参观“六·五”国家
科技攻关成果展览会时为葛洲坝125MW机组参展项目题词

目次

自力更生, 勇攀水电高峰 (代序)	沈鸿
-------------------------	----

(一) 125MW水轮发电机组

125MW水轮发电机组概述	曲述曾 (1)
125MW水轮机五叶片模型转轮试验研究	
.....哈尔滨大电机研究所 水利电力部水科院机电所 金华水轮机厂 (6)	
125MW水轮机设计总结	徐南根 尹新善 张凤娣 何显荣 袁聪 (18)
125MW水轮机制造工艺总结	陈烈元 (29)
125MW水轮机ZG06Cr13Ni4Mo不锈钢叶片中间试验和生产试制总结	
.....哈尔滨电机厂 第一重型机器厂 沈阳铸造研究所 哈尔滨大电机研究所 (33)	
125MW水轮发电机的设计	佟德彬 (50)
125MW水轮发电机的通风研究	范永达 (57)
125MW水轮发电机试制工艺总结	周仲源 石富 (62)
125MW水轮发电机的绝缘研究	付岚贵 (69)
125MW水轮发电机推力轴承设计特点及运行实测分析	江志满 胡建文 刘祝民 (73)
125MW水轮机四大部件刚度和强度的研究	哈尔滨大电机研究所水轮机室强度组 (78)
125MW水轮机转轮体强度研究	
.....哈尔滨大电机研究所水轮机室强度组 天津大学材料力学教研室 (85)	
125MW水轮发电机自复励静止可控硅励磁	马德钧 王铨楨 (91)
125MW水电机组油压装置的选型及研制	王廷宝 (97)
125MW水电机组自动化系统及元件	雷迪鼎 (100)
125MW水轮机调速器液压系统的研究	连希德 (105)
125MW水轮发电机组鉴定试验报告	(107)
125MW水轮发电机电气性能试验	金龙飞 (112)
125MW水轮机四大部件刚度和强度实测	哈尔滨大电机研究所水轮机室强度组 (130)
125MW水轮发电机组低水头运行试验	哈尔滨大电机研究所低水头试验组 (134)
125MW水轮发电机运行情况	杨建华 (138)

(二) 170MW水轮发电机组

176MW水轮机设计	王荣昌 (143)
176MW水轮机的主要制造工艺	朱焕齐 (159)

170MW水轮机叶片选材与质量检验	王旭中 (172)
170MW机组不锈钢叶片研制总结	施世葵 丁梦兰 蒋永福 方英照 (178)
170MW水轮发电机设计与研究	陈锡芳 (192)
170MW水轮发电机的制造	张秉道 (201)
170MW水轮发电机3800t推力轴承设计与研究	陈锡芳 (215)
170MW水轮发电机组部件强度和刚度研究的主要成果	时汉武 (225)
170MW机组励磁系统的设计与试验研究	曹光明 (235)
170MW机组调速器、油压装置及自动化系统的设计、科研和调试运行	孙邦彦 (243)
170MW水轮机的运行	舒国斌 (255)
170MW 2号机组大部件刚度和强度实测报告	李毓德 樊文峰 (263)
170MW水轮发电机电气特性及参数测定	傅自清 (286)
170MW机组推力轴承测试报告	乐再元 李康扬 罗照荣 黄汉文 (294)
170MW 2号机组测振试验报告	朱明亮 (321)
170MW水轮发电机噪声测试	姜明德 (330)
后记	(334)
附件: 葛洲坝水电机组大事纪	(335)
附表: 我国已制和在制大中型水电机组清单	(345)