

葛洲坝 125 MW 机组增容改造水轮机结构设计

王红曼,黄莉,罗远红

(东方电气东方电机有限公司,四川 德阳 618000)

摘要:葛洲坝水电站自1981年7月第1台机组并网发电以来,至今运行已逾30年。为了充分利用水能,提高三峡水电站与葛洲坝水电站的综合效益,中国长江电力股份有限公司对葛洲坝大江水电站机组实施增容改造,东方电气东方电机有限公司对其中6台套水轮机进行增容改造。

关键词:葛洲坝水电站;水轮机;增容改造;结构设计

Abstract: Gezhouba hydropower station has been operating for 30 years since its first generating unit was combined to the grid in July 1981. In order to make full use of hydropower and improve the comprehensive benefits of Three Gorges hydropower station and Gezhouba hydropower station, China Yangtze power co., LTD tries to increase the capacity of the generating units of Gezhouba Dajiang hydropower station. Dongfang Electric Machinery Co., Ltd. carries out the capacity expansion of 6 sets of water turbines.

Key words: Gezhouba hydropower station; water turbine; capacity expansion; structure design

中图分类号: TM312 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2017)06-0053-05

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2017.06.012

0 引言

葛洲坝水利枢纽是三峡水利枢纽的反调节水库,用于改善长江航运条件和发电。葛洲坝水电站为径流式水电站,总装机容量为2 715 MW,保证出力768 MW,年发电量约15 700 GWh。水电站分为大江水电站和二江水电站,总装机21台,其中大江水电站装设14台单机容量125 MW的轴流转桨式水轮发电机组,二江水电站装设2台单机容量170 MW和5台单机容量125 MW的轴流转桨式水轮发电机组。水电站自1981年7月第1台机组并网发电以来,至今运行已逾30年。为了充分利用水能,提高三峡水电站与葛洲坝水电站的综合效益,中国长江电力股份有限公司决定对葛洲坝大江水电站机组实施增容改造。

东方电气东方电机有限公司(简称东方电机)与长江电力股份有限公司签订了葛洲坝水电站6台125 MW轴流转桨式水轮发电机组增容改造合同。合同要求在水力参数基本不变的前提下,水轮机单机容量从改造前的129 MW增容至153 MW,增幅近20%,难度巨大。葛洲坝水轮机增容改造的主要范围包括转轮装配、主轴密封装配及水导轴承装配3

部分。在水轮机改造结构设计过程中,始终坚持质量第一、用户第一的设计思想,博采众家之长,充分借鉴和利用之前在大型轴流式机组上成功的研制经验,并将相关的最新研究成果运用于葛洲坝水轮机增容改造设计中,以保证机组改造后满足合同要求,能安全、稳定运行。

1 基本数据和性能

1.1 水轮机基本参数

水轮机基本参数见表1。

1.2 水轮机改造增容后满足的技术指标

1) 空化系数

电站空化系数为0.93(原水轮机安装高程36.6 m不变)。

2) 出力保证

在额定水头18.6 m下,水轮机在额定转速62.5 r/min运行,水轮机额定出力不小于153 MW。

3) 效率保证

水轮机最高效率不低于94.03%。

4) 空蚀磨损破坏保证

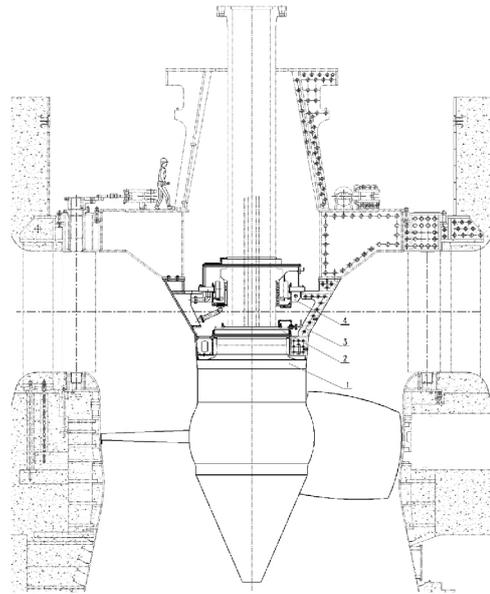
水轮机运行8 000 h,卖方应保证不会因空蚀、磨损导致转轮的金属失重超 $0.5D_1^2$ kg,单个叶片的

空蚀面积、剥落质量不得大于全部叶片平均损坏量的两倍。保证的先决条件是8 000 h内,功率小于35%功率保证值,运行的时间不超过800 h,超功率保证值运行时间不超过100 h。

表1 水轮机基本参数

名称	改造前参数	改造后参数
水轮机型号	ZZ500 - LH - 1020	ZZ673 - LH - 1020
转轮轮毂比	0.44	0.415
水轮机最高效率	93.6	94.03
最大水头/m	27	不变
最小水头/m	9.1	不变
额定水头/m	18.6	不变
额定流量/($m^3 \cdot s^{-1}$)	825	923.39
额定转速/($r \cdot min^{-1}$)	62.5	不变
飞逸转速(协联工况) /($r \cdot min^{-1}$)	140	不变
水轮机额定功率/MW	129	153
旋转方向	俯视顺时针	不变
调速系统油压等级/MPa	4.0	不变

紧凑,并可保证在转轮轮毂比由0.44缩小为0.415后,且转轮接力器缸直径由原 $\Phi 2750$ mm增加到 $\Phi 2850$ mm的情况下,转轮强度仍满足设计要求。转轮接力器缸结构改造前后对比见图2和图3。



1—转轮装配; 2—密封装配; 3—导流锥; 4—轴承装配。

图1 葛洲坝小机改造后水轮机剖面

2 改造后水轮机结构设计特点

水轮机改造关键技术有以下几点:

- 1) 机组主轴密封形式研究,在轴流转浆机组上首次使用自补偿型工作密封形式;
- 2) 水导轴承支撑方式研究,由原有的顶瓦螺钉支撑考虑改为楔子块式支撑方式;
- 3) 转轮结构及吊具的研究,合理的结构设计、控制转轮及吊具的重量,使得在电站厂房起吊设备不变的情况下,对转轮进行空中翻身。

葛洲坝小机增容改造采用东方电机新开发的D673转轮。该转轮经中国水利水电科学研究院模型中立试验验证,效率高,空化性能好,稳定性好。该机组涉及到的改造部件有转轮装配、轴承装配、密封装配、导流锥、相关工具部分及备品备件,见图1。

2.1 转轮装配

1) 转轮型号为D673,转轮直径10.2 m,轮毂比0.415。在转轮结构设计过程中,由于原水轮机主轴不更换,因此转轮接力器仍布置于转轮体上端的,采用传统的“操作架”方案。但与原结构相比,新转轮接力器缸与转轮体整铸为一体,此种结构布置简单、

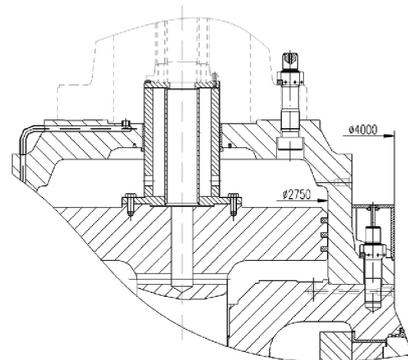


图2 葛洲坝小机改造前转轮

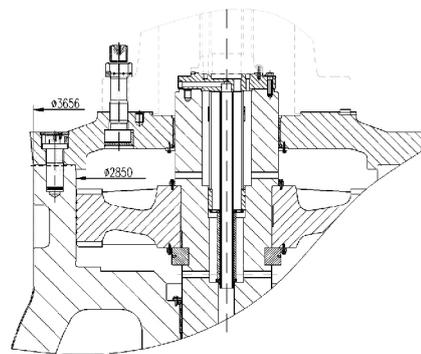


图3 葛洲坝小机改造后转轮

2) 每个转轮叶片的转动是通过操作油管将最大为4.0 MPa的压力油引入转轮接力器上下腔操作

活塞带动活塞杆、操作架、连杆、转臂、叶片轴的转动来实现,叶片转角为 $-15^{\circ} \sim +15^{\circ}$,接力器行程为 375 mm。连杆与操作架通过连杆销直接连接,结构简单,减少了加工量,方便安装。加工时,将操作架把合在转轮体上一次镗孔,以保证精度。操作架由原来的整体铸钢件 20Mn 改为钢板焊接与中心筒铸钢 20Mn 相结合的结构,该结构的重量比原来减轻了 5.2 t,且产品质量更能得到保证,如图 4 所示。

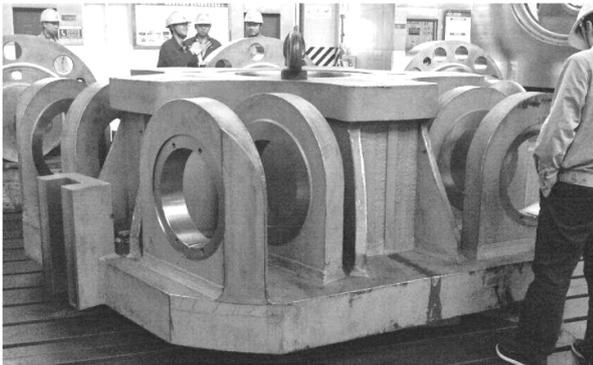


图4 葛洲坝小机改造后操作架

3) 改造前活塞杆与活塞一体整体锻造,材质为锻钢 20SiMn(见图 5)。由于该结构尺寸和重量过大,采购成本增加,所以新结构采用活塞杆与活塞通过卡环组装结构,材质分别为锻钢 20SiMn 和铸钢 20Mn。该结构材料、加工成本均有所降低,如图 6 所示。

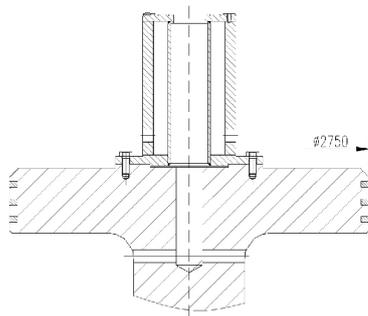


图5 改造前活塞和活塞杆

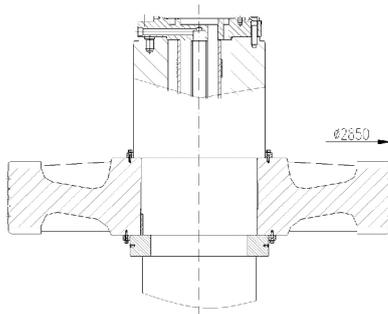
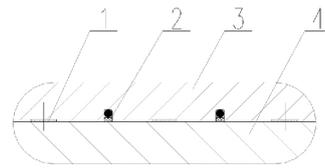


图6 改造后活塞和活塞杆



1—导向环 2—孔用方形圈 3—活塞 4—转轮体

图7 改造后转轮接力器缸活塞组合密封

4) 转轮接力器缸活塞采用孔用方形圈加导向环的组合密封。导向环的主要作用是液压缸的活塞和活塞杆提供精确的导向支撑,并可以吸收径向负载;同时防止油缸内金属运动部件之间的接触。较以前铸铁活塞环结构,转轮接力器缸串油量由原来 5~10 L/min 降为最大 0.09 L/min。图 7 为改造后转轮接力器缸活塞组合密封。

2.2 轴承装配

1) 水轮机导轴承为稀油润滑、非同心分瓦块自润滑轴承,轴承未设专门的冷却装置,利用导流锥上下环板与立筋形成 4 个环形外油箱。运行时,油通过 4 组连通管与外油箱进行循环,依靠导流锥外流的水自行冷却。该结构可以较方便地从上部对导轴承进行检查、调整和更换一部分导轴承部件。轴瓦采用巴氏合金瓦衬,并采用非同心瓦,工地不需刮瓦,轴瓦间隙调节靠楔块完成,易调整且可靠。未设冷却装置,具有结构简单、增加机组检修维护的空间位置等优点。

2) 轴承中设有 10 块轴瓦,每块瓦上装有 1 只电阻测温计监测瓦温,另有 2 只电阻测温计用于测量油温。轴承最高运行温度为 60°C ,报警温度为 65°C ,停机温度为 70°C 。轴承油箱上设有油位计,以监测轴承油箱内的油位,见图 8 和图 9。

2.3 主轴密封装配

1) 主轴密封由工作密封和检修密封组成,安装在主轴联轴螺栓护盖上。

2) 工作密封为恒压式向下端面密封。其工作原理为:不锈钢密封滑环固定在主轴转轮端法兰背面上,复合材料制成的密封圈把合在密封环上,密封环安装在支持环内侧,滑动接触面设有密封圈。工作时依靠密封环的自重力、密封环与支持环间的弹簧力、密封腔内的水压力,将密封圈与密封环贴合,达到密封效果。

3) 密封弹簧及密封件均采用国外先进产品,密封元件为端面自补偿型,在使用年限内,对磨损可进行自动调整。

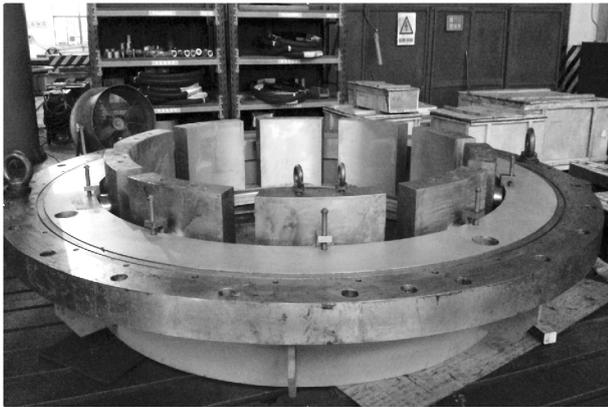
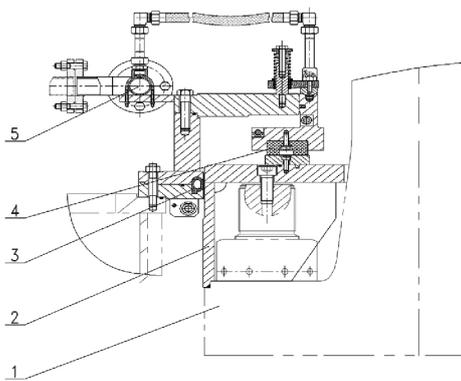


图8 改造后轴承装配在厂内预装



图9 改造后轴承装配厂内预装

4) 密封环与密封圈设有通水孔,依靠清洁水润滑、冷却密封圈和密封滑环间的接触面,防止干摩擦烧损密封圈,可以通过该传感器进行测量并报警;同时,因密封环可上下移动,故可保证密封圈逐渐磨损和机组抬机时的正常密封。密封环上装有位移传感器,用于测量密封圈的磨损量。



1—主轴 2—护盖 3—检修密封 4—密封块 5—供水管路

图10 改造后主轴密封装配

5) 主轴密封冷却水压为0.2~0.6 MPa,密封正常润滑水量约为2~3 L/s。

6) 检修密封采用空气围带式密封,空气压力为0.5~0.8 MPa,当机组停机时,围带充气膨胀与主轴转轮端法兰外圆紧密贴合,达到密封的目的,见图10和图11。

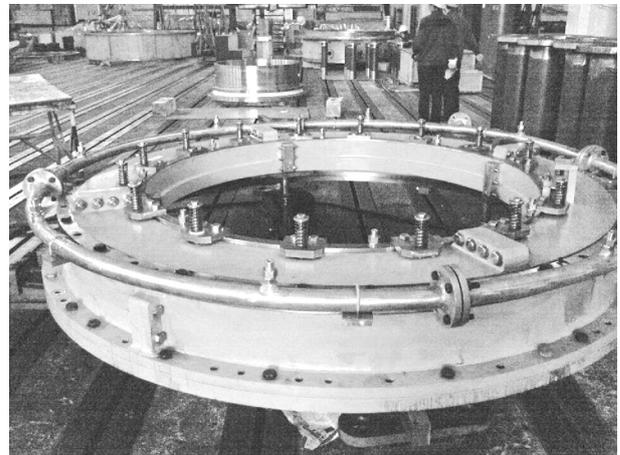


图11 改造后主轴密封装配厂内预装

2.4 转轮装配翻身工具

1) 由于增容改造后参加转轮装配翻身重量有所增加,而电站现有吊车的起吊能力不能超260 t。以前还存在起吊钢丝绳打滑现象,见图12。针对这种情况,设计了独特的转轮装配翻身吊具。新吊具使转轮装配翻身工具由原来结构重量20 t减轻到10 t,材料由铸钢20SiMn改为钢板Q235B焊接结构。



图12 改造前电站转轮装配翻身

2) 新吊具在转轮装配翻身过程中,能够有效防止钢丝绳打滑,减少对电站吊车的冲击载合,满足葛洲坝水电站的使用要求,确保机组顺利安装。该工

具可运用到接力器缸不动而活塞动的轴流转桨式的转轮装配翻身,见图13。



图13 改造后转轮装配翻身过程

葛洲坝125 MW机组增容改造是目前东方电机自主设计和制造的轴流转桨式水轮发电机组,通过此次改造,成功使得葛洲坝大江水电站单机容量从125 MW增容至150 MW,机组增容幅度达到20%,其技术难度是世界罕见的。机组在设计过程中,充分吸收东方电机和国外已运行机组的设计经验,谨慎反复计算确定了最优结构方案。该机组结构合理,工艺性、经济性良好,其结构设计技术水平处于国际一流水平。为此,于2016年12月获得德阳市科学技术进步一等奖,2015年9月获得东方电气集团科学技术进步二等奖,转轮翻身工具已获得国家专利。

作者简介:

王红曼(1969),高级工程师,长期从事水轮机结构设计工作。

(收稿日期:2017-09-15)

3 结 语

(上接第43页)

[11] Xiaonan Lu,Guerrero J. M.,Kai Sun et al. Hierarchical Control of Parallel AC-DC Converter Interfaces for Hybrid Microgrids [J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2014, 5(2): 683-692.

[12] Yun Wei Li,Ching-Nan Kao,An Accurate Power Control Strategy for Power-Electronics-Interfaced Distributed Generation Units Operating in a Low-Voltage Multibus Microgrid [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2009, 24(12): 2977-2988.

[13] Milasi R. M.,Lynch A. F.,Yun Wei Li. Adaptive Vector Control for Voltage Source Converters [J]. Control Theory & Applications, IET, 2013, 7(8): 1110-1119.

[14] Guerrero J. M.,Poh Chiang Loh,Tzung-Lin Lee et al. Advanced Control Architectures for Intelligent Microgrids—Part II: Power Quality, Energy Storage, and AC/DC Microgrids [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2013, 60(4): 1263-1270.

[15] Wencong Su,Eichi H.,Wente Zeng et al. A Survey on the Electrification of Transportation in a Smart Grid Environment [J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2012, 8(1): 1-10.

[16] Xiaonan Lu,Kai Sun,Guerrero J. M.,et al. State-of-Charge Balance Using Adaptive Droop Control for Distributed Energy Storage Systems in DC Microgrid Applications [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2014, 61(6): 2804-2815.

[17] Guerrero J. M.,Garcia De Vicuna L.,Matas J.,et al. Output Impedance Design of Parallel-Connected UPS Inverters With Wireless Load-Sharing Control [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2005, 52(4): 1126-1135.

[18] Ciobotaru Mihai,Teodorescu R.,Blaabjerg F. On-line Grid Impedance Estimation Based on Harmonic Injection for Grid-connected PV Inverter [C]. IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2007: 2437-2442.

作者简介:

王珂涛(1974),硕士、讲师、工程师,目前主要从事信息理论和信息新技术在电力系统中的应用研究及教学,重点研究方向为人工智能技术在电力系统中的应用以及电力系统故障分析与诊断。

(收稿日期:2017-06-24)