

文章编号: 1000-7709(2008)01-0160-04

# 自动盘车装置在刘家峡水电厂的应用

苟小军 张建伟 冯铁成

(刘家峡水电厂, 甘肃 永靖 731600)

**摘要:** 介绍了刘家峡水电厂#5机组扩修中采用GE公司方法——应用自动盘车装置进行轴线调整, 确保了机组安装质量和轴线调整安全性。实践证明, 该法省时、省力、操作简单、停点准确、轴系受轴向和径向干扰小、效率高、质量好。

**关键词:** 自动盘车装置; 水轮发电机组; 轴线调整

**中图分类号:** TK730.6; TM312; TM261

**文献标志码:** B

刘家峡水电厂#5机组是2000年在原300 MW双水内冷水轮发电机组埋设部件不变的条件下整机更新改造的机组。新水轮机结构为立轴混流式(HL226-LJ-588), 由法国ALSTOM公司制造; 发电机结构为半伞式(ATI-W-48POLES-365 MVA), 由加拿大GE公司制造, 机组额定功率328.5 MW, 额定转速125 r/min, 额定流量316.5 m<sup>3</sup>/s。推力轴承配有高压油顶起装置, 轴线调整采用人工盘车方式。在首次安装阶段发现人力盘车存在转速不均匀、停点不准确、可控性差、操作人员劳动强度大(人力驱动需80人), 效率低, 甚至反复无效。本文介绍2006年为确保#5机组扩修的轴线调整质量和安全性, 应用了自动盘车装置。经实践检验, 自动盘车装置驱动平稳、转速均匀、控制灵活、停点准确、提高了盘车效率、精度和安全性。

## 1 机组轴系结构

刘家峡水电厂#5机组为立轴半伞式三段轴结构, 转动部分总重950 t, 有上导、推力/下导和水导轴承。其中: 巴氏合金上导瓦12块(单边瓦隙0.35 mm), 为扇形瓦自调式结构; 推力与下导组合在一个油槽, 20块巴氏合金推力瓦每块由67个预紧弹簧(高度52 mm)偏心支撑, 推力头与下导轴颈一体, 巴氏合金下导瓦30块(单边瓦隙0.4 mm), 为扇形瓦自调式结构; 水导瓦为四瓣组合式筒形瓦(单边瓦隙0.3 mm)。各部轴承间隙与其

轴颈直径成正比。机组主要结构参数见表1。

表1 #5水轮发电机组主要结构参数

Tab. 1 Main parameters of hydrogenerator unit No. 5  
mm

结构	参数	结构	参数
转轮最大外径	6 120	水轮机轴法兰到	4 318
水轮机主轴长度	7 933	水导中心距离	
水导轴颈直径	1 500	转子直径	11 505
发电机上端轴到上	1 677	上导轴颈直径	1 320
导瓦中心距离		空气间隙	25.4
上导瓦中心到推力	3 450	发电机上端轴长	2 650
镜板平面距离		转子中心体高	1 975
水轮机轴法兰到推力	1 100	推力头外径/下导轴颈直径	3 590
镜板平面距离		镜板外径	3 580

水轮机轴与转轮及转子有止口定位, 用销钉螺栓联接; 转子与推力头无止口定位, 盘车时可作调整, 首次安装盘车合格后加工转子与推力头的径向定位销钉孔(16- $\phi$ 50 $\times$ 90)进行精确定位; 上端轴与转子无止口定位, 首次安装时调整静态同心度后采用加热控制把合螺栓伸长值的方法把紧定位。

机组轴线包括上端轴、转子、推力头、水轮机轴、转轮, 轴线剖面见图1。

## 2 自动盘车装置

该装置由电机驱动, 装配结构见图2。固定支架利用发电机上机架中心体固定, 过渡套置于发电机短轴上端, 利用短轴上部励磁引线槽固定驱动键进行传动, 连接键将转动盘和过渡套联结传

收稿日期: 2007-09-29, 修回日期: 2007-11-01

作者简介: 苟小军(1977-), 男, 工程师, 研究方向为水轮发电机组安装与检修, E-mail: 01gxj@163.com

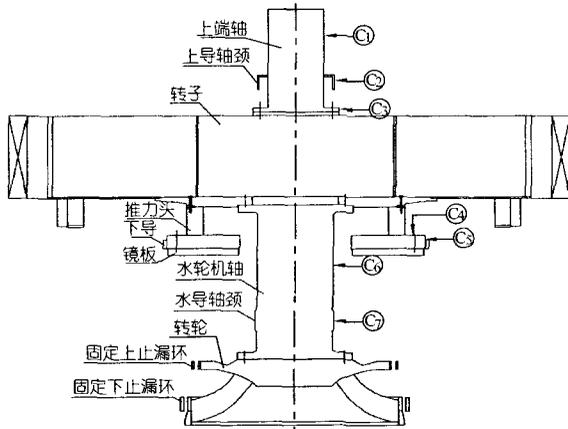


图1 转动部分纵剖面图

Fig. 1 Vertical profile of rotor system

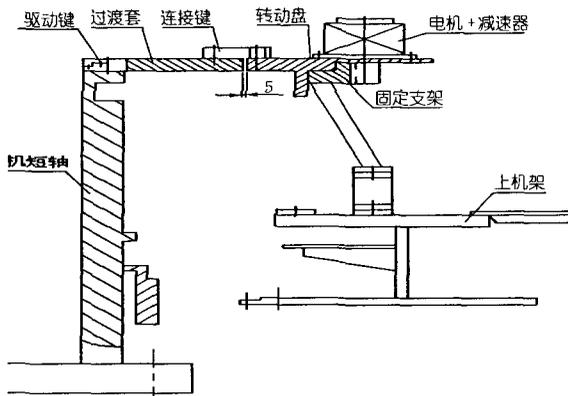


图2 自动盘车装置装配示意图

Fig. 2 Assembling sketch of automatic mechanical turning equipment

递力矩,带动机组转动。自动盘车装置将减速增矩和力偶矩的力学原理结合,合理利用机组几何关系,由10台小型电机( $P=0.75\text{ kW}$ ,  $n_r=1\ 410\text{ r/min}$ )经减速机构输出转矩,再经大齿轮减速增矩,在大齿轮反作用下切向力通过力偶臂形成力偶矩( $M_r=1\ 000\text{ kN}\cdot\text{m}$ )。该装置考虑了倒车控制,在每次重新起动前可准确地将大轴与外力分离,使大轴充分处于自由状态,确保了盘车精度。

### 3 轴线调整

(1)调整工序。确定转动部分高程→检查调整轴线垂直度→调整轴线摆度→调整旋转中心。

(2)标准。对刘家峡水电厂#5机组GE轴线调整标准与GB标准比较,见表2、表3。

(3)轴线调整工艺。

步骤1 转动部分高程确定。按机组设计高程进行测量安装,水轮机大轴法兰面高程保证联轴前与转子法兰面距离大于止口高度,水平小于 $0.02\text{ mm/m}$ ,同心满足中心测定要求;推力轴承

表2 GE轴线检查与GB轴线检查标准允许摆度对比  
Tab. 2 Comparison of allowed waver standard about axis inspection between GE and GB

标准	付轴端 /mm	付轴 法兰 /mm	部位/( $\text{mm}\cdot\text{m}^{-1}$ )			镜板波 浪度 /mm	联轴 法兰 /mm
			上导	下导	水导		
GE	0.06	/	0.24	0.28	0.20	0.05	/
GB	0.50	/	0.03	0.03	0.05	/	/

备注:GE部位为绝对摆度(mm)

表3 GE与GB同心度标准对比

Tab. 3 Comparison of concentricity standard between GE and GB mm

标准	转轮		转子	
	对顶盖	对底环	对上定子	对下定子
GE 偏心	0.12	0.12	1.27(5%)	1.27(5%)
要求值			额定空气间隙	额定空气间隙
GB 偏心	$0.52(\pm 20\%)$	$0.6(\pm 20\%)$	$2.54(\pm 10\%)$	$2.54(\pm 10\%)$
要求值	设计间隙	设计间隙	额定空气间隙	额定空气间隙

高程按设计调整,水平小于 $0.02\text{ mm/m}$ ,同心满足中心测定要求。该项工作主要确保机组的顺利安装,为轴线调整准备,前提是应正确进行中心测定(机组固定部件的同心度检查调整)。

步骤2 轴线垂直度检查。通过挂垂线测量的读数计算主轴在 $0^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $360^\circ$ 三个位置A、B处静态中心的 $x$ 、 $y$ 分量,再根据各位置静态中心之间差值的矢量和计算相应位置的摆度。然后计算每处静态中心之间的中点转动中心及A、B处转动中心连线投影的 $x$ 、 $y$ 分量的矢量和和机组垂直度。也可用框式水平仪分别测量推力头水平面和水导轴颈,若推力头水平面和水导轴颈垂直度四个方位均小于 $0.02\text{ mm/m}$ ,则推力轴承水平和水轮机轴垂直度满足要求。刘家峡水电厂采用框式水平仪检测结果,推力头水平和水轮机轴垂直度四个方位均小于 $0.02\text{ mm/m}$ 。

步骤3 轴线摆度调整。①安装自动盘车装置。②抱紧下导瓦,抱瓦间隙 $0.02\text{ mm}$ (上导、水导不安装)。③在各测量断面沿坐标轴线 $90^\circ$ 布置2块百分表。测量断面见图1,从上往下依次是上端轴 $C_1$ 、上导 $C_2$ 、转子上法兰 $C_3$ 、镜板波浪度 $C_4$ 、推力头 $C_5$ 、水轮机轴上法兰 $C_6$ 、水导 $C_7$ 。主机空气间隙用专用测尺测量,止漏环间隙用塞尺测量。④以上各测点按 $+y$ 方向为起点逆时针等分8点并编号,分别按顺时针方向等分16点编号测量发电机上部和下部空气间隙、按顺时针方向等分8点编号测量水轮机上、下止漏环间隙。⑤灌入高压油,旋转转动部件依次将转动部件停在8个位置,停止后关闭高压油,读取百分表读数。⑥采用矢量计算分析。首先通过各部位跳动读数扣除同一点位

下导百分表跳动读数,得到该点  $x$ 、 $y$  方向上的偏心矢量:

$$\begin{cases} R_x = \sum R_i \cos \theta_i / 4 \\ R_y = \sum R_i \sin \theta_i / 4 \end{cases}$$

式中,  $R_i$  为各测点读数扣除同一点位下导百分表跳动读数后的值;  $\theta_i$  为各测点相对于  $+x$  轴的角度;  $i$  为 1~8 的连续编号。各测点矢量和即是该测

点相对于下导的摆度:  $R = 2 \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$ 。利用计算结果可综合绘制出各测点位置的偏心图,比较整体轴线的同心度;同样也可按比例绘制偏心一轴长图,清晰看出轴线倾斜打折情况。⑦摆度调整。上端轴和转子的连接首次安装时调整静态同心度保证轴线;水轮机轴与转轮有止口定位,用销钉螺栓联接,保证同心;水轮机轴与转子有止口定位,首次安装时调整静态同心度后加工销孔,用销钉螺栓联接。利用盘车计算结果(各部偏心/摆度)检查实际轴线的同轴度,可通过配合面修刮、加垫(校正轴线的倾斜打折)或部分轴线移动(校正轴线同心)保证整体轴线在标准范围内。刘家峡水电厂#5水轮发电机组实际检测发现推力头与机组整体轴线偏心 0.05 mm,经过调整推力头中心位置,整体轴线完全满足加拿大 GE 公司和 GB 标准,最终上端轴偏心 0.03 mm、上导处偏心 0.02 mm,镜板轴向波动 0.01 mm,水导偏心 0.02 mm。

**步骤4 旋转中心调整。**调整旋转轴线与固定部件的同心度,反映了旋转状态下转动部件与固定部件间隙的均匀性。在  $0^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $270^\circ$ 、 $360^\circ$  时测量发电机上部和下部空气间隙、水轮机上、下止漏环间隙,计算静态中心在  $x$ 、 $y$  向的分量为:

$$\begin{cases} C_x = 2/n \sum R_i \cos \theta_i \\ C_y = 2/n \sum R_i \sin \theta_i \end{cases}$$

式中,  $n$  为测点总数(止漏环间隙测 8 点,  $n=8$ , 空气间隙测 16 点,  $n=16$ )。2 为统计计算的系数;  $R_i$  为各测点间隙;  $\theta_i$  为各测点相对于  $+x$  轴线的角度。  $i$  为 1~ $n$  的连续编号。综合对称考虑各部偏心可知相应测量部位的旋转中心位置(对称位置偏心的中点),然后可相应调整(平移)机组轴线至旋转中心,从而确保动态的固定与转动部件同心度。具体的止漏环设计间隙最小(单边 2.6 mm),因此以上止漏环旋转中心作为主要标准进行移轴调整。

上机架未最终定位,盘车合格后以旋转中心为基准调整其位置使两者保持同心。

(4)瓦间隙调整。旋转中心调整完毕就可进行各部瓦间隙调整,依据综合考虑机组设计值、国标

规定和轴线调整相应位置的摆度。

刘家峡水电厂#5机扩修后满负荷时上导、下导、水导运行摆度分别为 0.05、0.01、0.12 mm,满足机组稳定性运行要求,说明轴线调整是成功的。

## 4 经验

### 4.1 应用自动盘车装置优点

(1)安装、拆卸,控制和操作简单方便,优化了工作环境,改善了劳动条件,降低了劳动强度,轴线调整质量和效率有很大提高。

(2)力学结构简单,动力电源小(交流 380 V),驱动平稳,转速均匀,停点准确。

(3)传动比大,转速平缓(转速为 1 r/15 min),可以连续、断续读取测量数据。

### 4.2 #5机组轴线调整经验

(1)机组结构设计是轴线质量的关键。转子与上端轴、推力头联接无止口定位,而依靠首次安装盘车调整后现场把合和配钻销钉,水轮机轴与转子首次安装调整静态同心度后加工销孔,用销钉螺栓联接。虽增加了现场的工作难度,但修正了机组轴线的加工误差,为轴线调整提供了简单可行的两种方法—平移推力头、平移主轴。

(2)产品良好的制造工艺质量是轴线质量的前提。盘车结果表明,GE 和 ALSTOM 公司供货的制造工艺质量好。转子上端轴和水轮机轴的垂直度、转子中心体上下法兰的平行度和推力轴承的加工质量好是轴线调整顺利完成的前提。

(3)完整和正确的中心测定是轴线调整质量的重要基础。中心测定作为整个机组埋设、固定部件中心调整、检验程序,对机组安装和机组轴线调整均有指导作用。

(4)推力轴承的调整是轴线调整质量的重要保证。推力轴承作为固定部件与旋转部件的结合点,作为机组正常运行的支持点,其作用非常重要。它的高程、水平和同心调整直接影响着机组安装和轴线调整的质量。

(5)旋转中心调整是机组实际安装情况的良好修正。依据中心测定可知机组轴线放置的理论最优值,但是机组安装后的实际状况会稍有不同,旋转中心调整是实际安装情况的最优修正,良好的旋转中心调整可提高机组安装质量。

## 5 结语

a. 大中型水轮发电机组在轴线调整中应用自

动盘车装置具有省时、省力,停点准确,轴系受轴向、径向干扰小的优点,能有效提高轴线调整的安全性和效率。

b. GE公司的计算方法在几何分析上较为新颖,对所有测量点读数进行矢量合成计算出偏心值,推导出摆度和垂直度。而国内盘车的几何分析主要是关注轴线的曲折程度。

c. GB对固定部件定子、顶盖、座环相对于转动部件仅要求控制间隙的均匀性。GE公司要求在盘车期间测量计算固定部件定子、顶盖、座环相对于转动部件的同心度,使机组轴线的质量标准

更全面、严密。

#### 参考文献:

- [1] 胡成学,李泽彦,陆明. 立式水轮发电机组检修中轴线找正的探讨[J]. 水电能源科学,2005,23(3):86-88
- [2] 张建生,李明安. 自动盘车装置在小浪底水力发电厂的应用[J]. 水力发电,2002,(12):38-40
- [3] 中国电力企业联合会标准化中心. 水力发电厂技术标准汇编[M]. 北京:中国电力出版社,2002.
- [4] 乔新义. 二滩电站主机盘车及轴线找正[J]. 水电站机电技术,1999,(3):6-12

## Application of Automatic Mechanical Turning Equipment in the Liujiaxia Hydropower Plant

GOU Xiaojun ZHANG Jianwei FENG Tiecheng  
(Liujiaxia Hydropower Station, Yongjing 731600, China)

**Abstract:** This paper introduced automatic mechanical turning equipment for axial alignment of generating unit recommended by GE during extensive overhaul of Unit No. 3 in Lijiaxia Hydropower Station. This method guarantees installation quality and safety of axial alignment for generating unit. Practice shows that this method has following advantages: save of time and effort; simple operation; high accuracy; less radial and axial interference of shafting system; high efficiency and quality.

**Key words:** automatic mechanical turning equipment; hydroelectric generating units; axial alignment

\*\*\*\*\*  
(上接第114页)

## Concrete Construction Simulation and Management System of Danjiangkou Dam Heightening Project

MA Jingang<sup>1,2</sup> ZHOU Hougui<sup>2</sup> LI Qinbin<sup>1</sup> CAO Shengrong<sup>3</sup>

(1. School of Civ Eng., Tsinghua Univ., Beijing, 100084, China;

2. China Gezhouba (Group) Corporation, Yichang 443002, China;

3. China State Key Laboratory of Water Resource and Hydropower Eng. Sci., Wuhan Univ., Wuhan 430072, China)

**Abstract:** A concrete construction simulation and management system is developed for Danjiangkou Dam heightening project as part of median-line of south-to-north water transfer project in the paper. Meeting the system objective and function demands, the general structure, system database and function sub-systems of the system are designed in detail. According to system analysis of field management and construction flow, simulation models of concrete construction are constitute, which are composed of concrete construction general flow model, concrete bin selection model and associated composite model concrete pouring. Simulation results of the system are satisfactory, such as reasonable concrete bin selection order, high construction machine usage efficiency, and the consistency between simulation result and real month and week construction schedule. The system plays import role in the construction of Danjiangkou Dam heightening project.

**Key words:** construction simulation; construction management; concrete pouring; dam heightening project; management system