

16-18

# 天荒坪抽水蓄能电站 1 号水泵水轮机振动问题处理

天荒坪抽水蓄能电站工程建设公司 黄祖光 (313302)

TK730.8 TV743

**摘 要** 介绍了天荒坪抽水蓄能电站机组结构型式、轴线调整方法,水泵水轮机迷宫设计特点。对 1 号机组调试过程中,出现的水导大轴摆度过大问题进行分析,并介绍了处理的主要方法及成果。

**关键词** 抽水蓄能 水泵水轮机 调试 振动处理

**Abstract** This paper describes structure of the units used in Tianhuangping Pumped Storage Power Plant and illustrates the methodology of the shaft alignment and some labyrinth design features of the pump turbine. Also it analyses the phenomenon of the excessive shaft vibration of No. 1 unit during commissioning. Furthermore, the solution and the results are presented.

**Key Words** Pumped Storage pump turbine commissioning shaft vibration

见图 1。

## 1 概述

天荒坪抽水蓄能电站共安装 6 台单机容量为 300 MW 可逆式水泵水轮机组,电站装机容量为 1800 MW,是亚洲目前最大的抽水蓄能电站。本电站在华东电网中担任调峰、填谷任务,同时兼任调相及事故备用任务。

主机设备水泵水轮机由挪威 KVAERNER 公司制造,发电电动机由加拿大 GE 公司制造。水泵水轮机为立轴,单级混流式,额定转速 500 r/min,水轮机运行最高毛水头为 610.2 m,最低毛水头为 518.5 m,设计净水头为 526.5 m。机组为悬式,设有上导、下导、水导三部轴承,推力轴承为预压应力多弹簧支承结构。机组轴线由发电电动机上短轴、转子轮毂,发电电动机大轴,水轮机中间轴、水轮机大轴、转轮等组成。上导、下导轴承为油浸自润滑可调式分块扇形瓦,水导轴承为油润滑甩油盆分半筒式瓦。

## 2 设备的安装调整

机组轴线调整通过修刮推力头与镜板间绝缘垫来调整,经过发电电动机单独盘车,机组整体盘车调整,机组各部摆度见表 1,轴线折线图

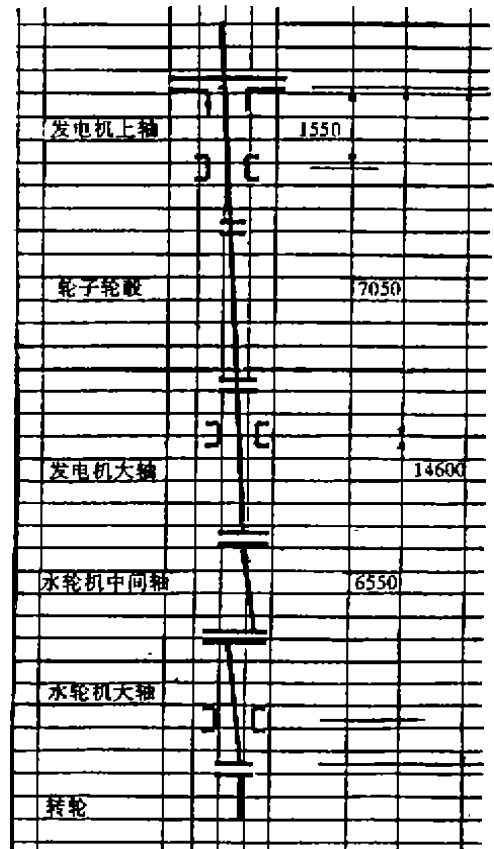


图 1 机组调试时轴线折弯图

注:轴线折弯图尺寸单位为 mm,每方格单位 0.05 mm。

表1 机组盘车调试时轴线各部摆度

测量部位	下导轴承	发电机轴下法兰	中间轴下法兰	水导轴承
X方向(mm)	0.02	0.05	0.12	0.05
Y方向(mm)	0.11	0.09	0.14	0.09

天荒坪电站转轮上迷宫设计为梳齿式迷宫,上迷宫直接把合在顶盖上与顶盖同车加工,下迷宫为上下台级式、可拆卸式,把合在底环上。下迷宫设计单侧间隙为1.2~1.305 mm。上迷宫设计配合尺寸见图2,上迷宫单侧间隙1为1.3~1.405 mm,间隙2为0.7~0.805 mm。

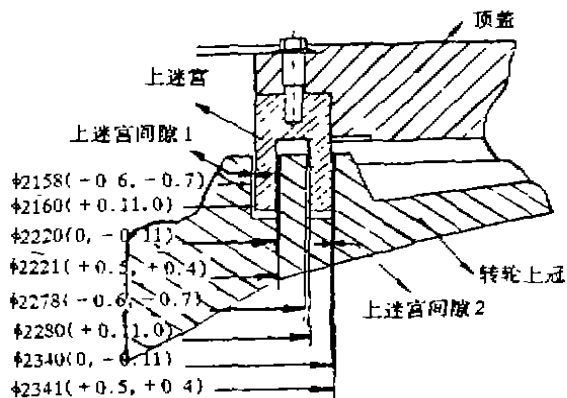


图2 上迷宫局部剖面详图

水轮机上、下迷宫、水导轴承同心度,轴线垂直度调整采用盘车检查,分别转至0°、90°、180°、270°4个方向挂线锤进行测量,以检验轴线是否垂直,转轮是否偏心,并调至最佳位置。经调整机组轴线垂直度为0.019 mm/m,轴承及迷宫各部实测间隙见表2。

表2 机组轴承与迷宫各部位间隙

测量部位	+X+Y (mm)	+X-Y (mm)	-Y-X (mm)	-X+Y (mm)
上迷宫单侧间隙1	1.26	1.30	1.27	1.30
☆上迷宫单侧间隙2	0.44	0.53	0.60	0.53
下迷宫单侧间隙	1.27	1.25	1.27	1.21
☆水导轴承单侧间隙	0.35	0.35	0.30	0.32

注:带“☆”为顶大轴时在水导位置用百分表测量的数据,其中上迷宫间隙2为安装水导前测量的数据。

从表2数据可以看出,上迷宫间隙2明显偏小。设计上迷宫单侧间隙2为0.70~0.805 mm。由于迷宫加工不圆度、轴线摆度及调整中心偏差等方面原因,从水导轴承测点析算到

上迷宫位置实际最小有效间隙为 $0.44 \text{ mm} \times 14.6 \div 13.6 = 0.47 \text{ mm}$ ,而上迷宫根据厂家出厂测量数据,配合尺寸上迷宫间隙2单侧为0.70 mm。

### 3 运行振动情况及处理

天荒坪电站1号机组自1998年5月31日首次实现发电方向调速器手动启动。经过9次配重共161 kg,上导、下导轴承大轴摆度基本满足要求,但水导轴承处大轴摆度严重超标。机组运行时各部轴承大轴摆度见表3。

表3 机组运行时各部轴承摆度

转速	上导( $\mu\text{m}$ )	下导( $\mu\text{m}$ )	水导( $\mu\text{m}$ )
25% nr	21	53	83
50% nr	21	48	100
60% nr	27	52	145
70% nr	29	64	360
75% nr	71	101	440
80% nr	102	95	500

注:nr为额定转速。

经检查水导轴承上油槽运行油位偏高,水导轴承瓦面供油量不足,约为设计值的1/2,厂家认为这是造成水导摆度过大的主要原因,为此提出在水导轴承4条进油沟两侧各增设两个 $\Phi 300 \text{ mm}$ 的进油孔,直接将上油箱引入轴承进油沟。加工安装后重新启动机组,机组各部轴承大轴摆度见表4。

表4 机组水导增设进油孔后各部轴承摆度

转速	上导( $\mu\text{m}$ )	下导( $\mu\text{m}$ )	水导( $\mu\text{m}$ )
25% nr	21	57	85
50% nr	26	45	90
70% nr	24	52	150
80% nr	33	67	400
90% nr	51	89	500

对照表3、表4数据,可以看到机组水导处大轴摆度有一定改善,摆度与转速之间关系曲线的转折点从60%变化到70%,但还不能解决水导处大轴摆度过大的问题,为此厂家又提出了检查上导、下导、水导三轴承同心度要求。经检查下导同心度由于各方面原因偏心约0.13 mm,而上、下导轴瓦总间隙均没有变化。经讨

论决定重新调整三轴瓦同心度,并将上导轴承间隙从原设计的0.23 mm扩大到0.28 mm,调整后再次起动机组检查,机组各部轴承大轴摆度见表5。

表5 机组三轴瓦同心度调整后再次起动机时各部轴承大轴摆度

转速	上导( $\mu\text{m}$ )	下导( $\mu\text{m}$ )	水导( $\mu\text{m}$ )
25% nr	25	43	70
50% nr	48	58	80
75% nr	27	66	145
85% nr	95	81	200
90% nr	73	112	500

从表5中可以看出,本次调整三轴承同心度及放大上导轴承间隙后,使摆度与转速之间关系曲线的转折点从70%变化到85%,取得了一定成效,但在大于90% nr转速时,摆度仍达到了500  $\mu\text{m}$ 。为了进一步改善机组轴线的摆度,经对机组振动的频谱分析,发现随着转速的升高,摆度中的非转频成分迅速增加,到95% nr转速时,非转频振动成分占总幅值的一半;为此中方认为水导轴承振动大的影响因素主要是水力和机械两方面的问题。在机械方面,由于上迷宫加工存在着不圆度以及水导轴承间隙设计偏大,而厂家为保证水轮机效率将上迷宫间隙设计得较小,使运行时上迷宫压力脉动随转速上升而急剧增大,从而加剧转频成分的振动摆度。而在水力方面:导叶在小开度情况下,转轮叶片进口水流冲击和脱流较严重,将引起转轮与导叶之间的压力脉动。从1号机组在低水头(毛水头小于540 m)情况下,在额定转速附近机组转速不稳定(在95%~105% nr范围内),而进入反水泵“S”区来看,在接近额定转速时,转轮与导叶间压力脉动也明显增强,达3.4~6.2 MPa的变化幅度。KVAERNER-GE厂家经过讨论研究,终于接收中方提出的意见,再次放大上导、下导轴承间隙,从原来的单侧0.28 mm和0.23 mm全部放大到0.32 mm,水导轴承采用加工分瓣组合面,将轴承单侧间隙从原来的0.30~0.35 mm减少至0.20

~0.22 mm之间。经重新加工调整后,起动机组检查各部轴承摆度,情况见表6。

表6 机组轴承再次加工调整后各部轴承摆度(毛水头为:529.40 m)

转速	上导( $\mu\text{m}$ )	下导( $\mu\text{m}$ )	水导( $\mu\text{m}$ )
25% nr	50	62	84
50% nr	85	70	100
70% nr	75	115	125
80% nr	84	112	120~180
90% nr	95~145	125~175	130~250
98% nr	140~200	170~262	240~360

经过改进后,机组在发电、水泵和调相工况下运行,水导大轴摆度基本满足了合同规定的要求。各种运行工况下水导轴承大轴摆度振动见表7。

表7 机组改进后在发电、水泵及调相工况下轴承大轴摆度与振动值

	发电工况 (290 MW)	水泵工况 (320 MVA)	调相工况
水导摆度/振动 ( $\mu\text{m}/\text{RMS}$ )	180~200 /1.1~1.7	141~178 /1.0~1.5	110/0.3

注:振动值换算公式:振动值=RMS $\times$ 0.0192 $\times$ 10<sup>3</sup>( $\mu\text{m}$ )。

#### 4 结束语

天荒坪电站1号机组水导摆度过大的主要原因是水导轴承设计间隙过大,上迷宫间隙设计又偏小造成的。在问题的处理过程中,经过对影响因素的逐步排除,先后排除了水导轴承油膜因素,三轴承与上、下迷宫同心度因素,并逐步放大上导轴承间隙,最后决定采用缩小水导轴承间隙,同时放大上、下导轴承间隙的方法,取得了良好的效果。此处理方法在2号、3号机组上应用,均取得了成功。

1号机组振动问题处理由于外方厂家原因,走了不少弯路,但同时也给我们积累了一定的经验。经过前后60天对振动问题不断的检查、分析、设计改进,机组各部轴承大轴摆度基本上满足了空载运行的要求,但距合同规定的水导轴承大轴摆度 $\leq$ 0.15 mm的要求,还有一定差距。

(收稿日期:1998-01-20)