

文章编号:1001-4179(2012)04-0067-03

糯扎渡水电站水轮机蜗壳水压试验情况及分析

薛 勇,程文兵,张 明

(长江勘测规划设计有限责任公司 工程建设与监理公司,湖北 武汉 430010)

摘要:糯扎渡水电站首批安装的 3 台水轮机蜗壳采用椭圆型断面,水压试验时蜗壳变形严重。通过对蜗壳水压试验产生严重变形的原因分析、实体有限元分析、模拟试验和处理方案比选,采取了将蜗壳部分椭圆形断面改变为圆形断面形式,进口段增加 2 个混凝土支墩的处理方案。计算数据与水压试验结果对比表明,改造后的蜗壳符合设计标准,满足安全运行要求。

关键词:水轮机蜗壳;水压试验;蜗壳设计优化;糯扎渡水电站

中图分类号:TV734 文献标志码:A

1 背景介绍

1.1 工程概况

糯扎渡水电站安装了 9 台 650 MW 的混流式水轮发电机组,总装机容量为 5 850 MW,保证出力 2 406 MW,多年平均发电量 239.12 亿 kW·h,年利用小时数为 4 088 h,是云南省电力系统中的主力电站^[1]。

1.2 蜗壳主要结构参数

糯扎渡水电站 7~9 号水轮机蜗壳设计包角 345°,全蜗状蜗壳管节 32 节,采用 620 MPa 高强钢卷制,3 块组焊成型。蜗壳管节均为椭圆形断面,以蜗壳管节垂直中心线为准,向机组中心方向为短圆半径,向上下方向为长半径。

2 蜗壳水压试验及变形监测

2.1 蜗壳水压试验的目的和方法

糯扎渡水电站水轮机金属蜗壳采用保压浇筑混凝土施工工艺。金属蜗壳水压试验是检验座环、蜗壳焊缝质量的一道重要工序。通过水压试验对座环、蜗壳的承载压力进行验证,以确保座环、蜗壳在各种工况下运行安全。水压试验还可以消除或改善部分焊接应力,使应力分布更趋向均匀。

试验压力从 0 开始,按 0.25,0.5,0.75,1,1.25,

1.5,1.8,2.8,4.2 MPa 9 个量级进行。全部试验完成后降至 1.8 MPa 保压浇筑混凝土。蜗壳水压试验曲线见图 1。

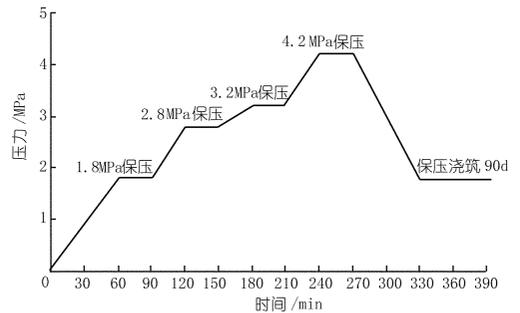


图 1 蜗壳水压试验曲线

2.2 蜗壳水压试验变形监测布置

水压试验变形监测按厂家提供方案进行。监测示意图图 2。蜗壳水压试验百分表监测位置:座环轴线、径向,底环基础面轴向、径向;蜗壳轴线方向的顶部、外侧腰线,直管段腰线两侧,顶部径向、垂直;闷头及直管段底部。

2.3 蜗壳水压试验过程

糯扎渡水轮机蜗壳水压试验于 2010 年 9 月 21 日开始。当蜗壳内水压力升至 1.5 MPa 时,发现蜗壳直管段下部内侧出现较大脱空现象,随即停止升压,然后进

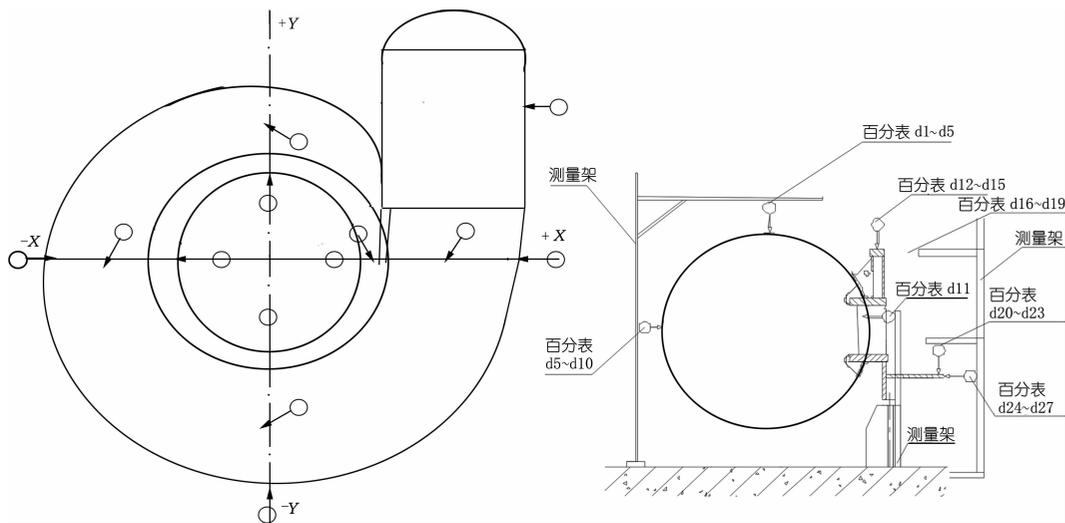


图2 蜗壳水压试验变形监测示意

行全面检查。检查发现,蜗壳基础支撑有5处脱空区,从蜗壳进口管节开始到 $-X$ 轴线处依次递减,最大间隙23 mm,最小3 mm,蜗壳直管段最大位移35 mm。

9月26日,按0.25,0.5,0.75,1.0,1.25,1.5,1.8 MPa等7个量级继续进行水压试验。在压力达到1.8 MPa时,发现蜗壳进口部位的管节出现大的变形:进口段管口中心向 $+X$ 方向移动57 mm,直管段腰线向 $+X$ 向偏移46 mm,座环中心向 $-X$ 方向偏移0.75 mm,平面度变化0.4 mm。

水压泄压后变形消失,恢复原状。说明蜗壳整体强度高、焊接好,但蜗壳变形和位移严重超标。

2.4 蜗壳水压试验变形过大原因分析

蜗壳1.8 MPa水压试验时蜗壳进口管节的A、B、C三点由于压力增加(见图3),变形也逐渐增大。按试验计划,压力应继续增至到2.8 MPa和4.2 MPa。但因压力试验变形过大(通常应在20 mm左右)。变形趋势分析不能再进行下去。

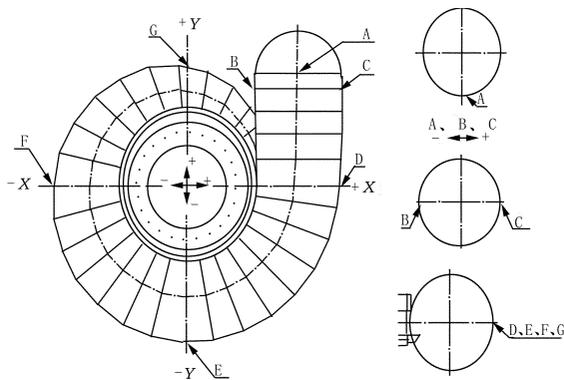


图3 测点位置示意

德国总部技术中心经过蜗壳、座环、闷头实体有限元分析,发现变形过大原因是在压力工况下,椭圆形蜗壳断面引起所致。蜗壳水压试验工况下,椭圆形蜗壳

断面比圆形蜗壳断面变形大。

以进口区受力最大的管节,蜗壳进口断面计算分析,椭圆形断面在受力工况下:①断面会向圆形方向膨胀,并趋向圆形;②该断面与座环相接的刚度和强度比外圆强度大;③该断面在由三瓣组焊时下部坡口朝上,上部坡口朝上,焊接后变形

应力是均朝上变形的趋势;④此管节断面与大蜗壳大舌板,蜗壳鼻端组成三角应力区。

根据以上分析原因,此管节变形最大,且变形和移位的方向是向上翘起和向 X 方向变形,即短半径向外膨胀的趋势,因此椭圆形断面是呈现长半径缩短,短半径膨胀势头,且又向上和向远距中心移位的现象。从而,蜗壳水压试验变形和脱空是从上游往下游逐步递减至 $-Y$ 轴向上。从计算半径比较来看,变形过大且位移超标是由于设计椭圆断面比圆断面变形大造成的。

糯扎渡水电站蜗壳安装,如果采取与 $-Y$ 轴向成 20° 夹角处从蜗壳腰线起至进口向上游与压力钢管连接处上设弹性垫层,不进行打水压试验,直接在蜗壳安装完成后进行周边混凝土浇筑,在额定设计的187 m水头(1.8 MPa压力)作用下,蜗壳水压力会传递到周边混凝土而形成联合承载。

3 处理方案及计算验证

3.1 处理方案的选择与确定

(1) 方案1。蜗壳进口段由椭圆改成圆断面。为改善蜗壳内水流,圆截面和原长短半径比较大的椭圆方向设有一个长短半径相对小的椭圆截面过渡。共需更换2节蜗壳和4节进水管。在进口段增加2个混凝土支墩, $-Y$ 轴开始往上的支墩外侧加高300 mm。与鼻端导叶相连的进口段板加厚至70 mm。进口段处过渡加筋板。

(2) 方案2。蜗壳进口段 $-Y$ 至 $+X$ 轴的蜗壳由椭圆改成圆截面。进口段增加2个混凝土支墩。 $-Y$ 轴开始往上的混凝土支墩外侧加高30 mm。

(3) 方案3。蜗壳进口段从 $+X$ 开始 67.4° 的蜗壳管节由椭圆改成圆截面。在进口段增加2个混凝土

支墩。-Y轴开始往上的支墩外侧加高 300 mm。

福伊特公司对 3 个蜗壳处理设计方案模拟试验成果见表 1。

表 1 3 个蜗壳处理设计方案模拟试验成果

压力/ MPa	方案	峰值应力/ MPa	+ X 方向 变形/mm	+ Z 方向 变形/mm
1.8	1	393	15	3.4
	2	208	13.8	3.1
	3	214	15.6	2.8
2.8	1	480	29	5.3
	2	297	21	4.9
	3	299	23.6	4.4
4.2	1	770	44	8
	2	464	32	7.4
	3	457	35.4	6.6

经比选,采用第 3 方案对 9 ~ 7 号机蜗壳进行改造。

3.2 计算验证

以第 29 节为例,初步计算数据与 9 号机蜗壳在各工况实际水压试验下的数据基本吻合,这表明改造后蜗壳符合设计标准,满足安全运行要求。

3.3 试验结果与计算成果对比

蜗壳 1.8 MPa 水压试验时,由于蜗壳截面结构问题造成变形和位移超标,最后决定将与 + X 成 67.4° 夹角的蜗壳由椭圆截面改为圆截面。

以第 29 节为例(见图 4)。圆半径为 3 470 mm、周长 21 802.7 mm、伸长值(按 1.8 MPa 水压计算)63.29 mm。蜗壳第 29 管节在 1.8,2.8 MPa 和 4.2 MPa 水压下的圆截面半径变化计算值见表 2。

表 2 分级水压下圆截面半径变化计算值

试验压力/ MPa	变形半径/ mm	变化值/ mm
0	3470	0
1.8	3480	10
2.8	3485	15
4.2	3493	23

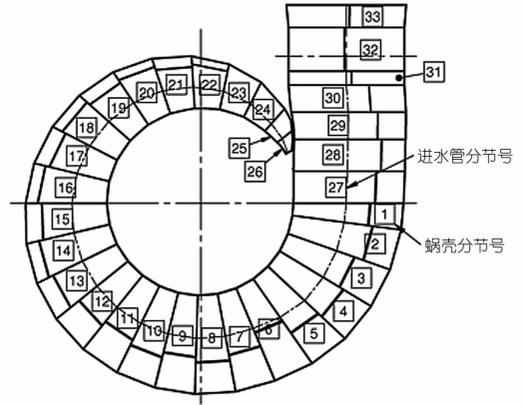


图 4 进水管和蜗壳分节号

4 结语

(1) 蜗壳水压试验,可对蜗壳、座环的设计、制造、焊接、安装,整体稳定性设计和蜗壳引水系统安全运行必须承载的压力进行验证。通过水压试验发现问题后可及时进行处理和设计优化,以确保蜗壳和座环系统的安全运行。

(2) 通过水压试验,也可减小或消除蜗壳管节因热加工和焊接产生的残余应力。

(3) 糯扎渡水电站 9 ~ 7 号水轮机蜗壳经设计优化,重新制作、安装、焊接之后,再进行 0 ~ 4.2 MPa 的水压试验,各项技术指标都达到安全运行标准和合同技术要求。

参考文献:

[1] 马能武,唐培武,葛培清,等.粘土心墙堆石坝施工初期渗流控制及渗后监测[J].人民长江,2010,41(20):82-85.

(编辑:李慧)

Analysis on hydrostatic test of hydraulic - turbine spiral case of Nuozhadu Hydropower Station

XUE Yong, CHENG Wenbing, ZHANG Ming

(Construction and Supervision Company, Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan 430010, China)

Abstract: The elliptic cross - section was designed for the first batch of 3 hydro - turbine spiral cases installed in Nuozhadu Hydropower Station, however, serious deformation of the spiral cases appeared in the hydrostatic test. Through the analysis of the deformation causes, FEM analysis, simulation experiment of the treatment and the comparison and selection of deformation treatment schemes, it is proposed that some of the elliptic cross - sections are changed into round cross - sections, and 2 concrete rest piers are added at the entrance section. The comparison of simulation and experimental results shows that the spiral cases meet the design standard and demand of safe operation after modification.

Key words: hydro - turbine spiral case; hydrostatic test; optimization design of spiral case; Nuozhadu Hydropower Station