

# 论回龙电站抽水蓄能水泵水轮机设计

齐彦 高欣

(哈尔滨电机厂有限责任公司,黑龙江 哈尔滨 150040)

**摘要:**简要介绍了引进关键技术,自主设计制造国内首台高水头高转速水泵水轮机的特点及运行情况。

**关键词:**高转速;高水头;水泵水轮机

## 引言

2001年8月21日哈尔滨电机厂有限责任公司与河南省电力公司南阳回龙抽水蓄能发电分公司正式签订了260MW高水头水泵水轮机及高转速发电电动机供货合同。该项目是该公司第一个引进关键技术独立设计制造的抽水蓄能机组,它标志着我公司的抽水蓄能技术从科研阶段走向了生产实施阶段。

## 1 电站主要参数

1.1 水位。上库正常蓄水位:899.0m;上库正常低水位:885.0m;下库正常蓄水位:502.0m;下库正常低水位:487.0m。

1.2 库容。上库总库容:1184万立方米;上库发电库容:1045万立方米;下库总库容:1290万立方米;下库发电库容:990万立方米;日发电历时:约5-6h;日抽水历时:约6-7h。

1.3 水头。最大毛水头:416.0m;最小毛水头:374.4m;水轮机额定净水头:379.0m。

1.4 泥沙特性。汛期多年平均过机含沙量:0.023kg/m<sup>3</sup>;多年平均过机含沙量0.006kg/m<sup>3</sup>。

1.5 安装高程。导叶中心线高程:438.0m。

## 2 水泵水轮机主要参数的选择

2.1 比转速与比速系数。从对国内外大中型混流式水泵水轮机水泵工况比转速随水泵扬程变化的关系可以得出,对回龙电站其水泵工况的比转速应在28-35m·m<sup>1/2</sup>之间,相应的比速系数在540-720之间。

2.2 额定转速的选取。对于回龙电站可选的额定转速为600r/min和750r/min,对应的水轮机工况比转速分别为88.96m·kw、111.2m·kw。比速系数分别为17322、21650。

综合比较最终选用750r/min,这样对回龙电站既先进又安全可靠。

2.3 吸出高度与空化系数。通常以水泵工况的空化特性来选定可逆式水泵水轮机的吸出高度。随着水泵工况的比转速提高,要求机组有更大的淹没深度。根据对已建的抽水蓄能电站的统计曲线可得出,对于回龙电站,在水轮机工况的比转速为100-125m·kw之间时,电站的装置空化系数约为0.095-0.14之间。回龙电站模型试验表明,在水泵的扬程范围内,临界空化系数在0.063-0.111之间,相应的K值为1.7左右空化性能有足够的余量。

2.4 水泵水轮机主要参数。型号:HLN111-LJ-220;转轮直径:2205mm;额定转速:750r/min;水轮机工况旋转方向:俯视顺时针;比转速;水轮机工况最优比转速(相应的净水头489.5m):88.2m·kW;水泵工况最优比转速(相应的净扬程400m):31.8m·m<sup>1/2</sup>;水轮机工况额定水头:379.0m;水轮机额定出力:615MW;水轮机额定流量:179m<sup>3</sup>/s;水轮机额定效率:90.3%;水泵最高扬程:424.4m;水泵最大人力:65.6MW;水泵最高效率:93.46%;水泵最大流量:162.5m<sup>3</sup>/s;最大飞逸转速:1087.5r/min;稳态飞逸转速:1050.0r/min;最小淹没深度:45.0m。

## 3 主要结构特征

3.1 总体布置。回龙抽水蓄能电站水泵水轮机型式为立轴、单级、混流式。水泵水轮机与50周波发电电动机连接。转轮旋转方向为:水轮机工况为俯视顺时针旋转,水泵工况为俯视逆时针旋转。投入商业运行后可采用中拆方式对水轮机进行检修机组转轮的更换。

## 3.2 埋入部分的设计

3.2.1 尾水管的设计。由于正常运行时最高尾水压力达64m,过渡工况尾水管进口的最大脉动压力达110m,采用三峡尾水管的强度计算方法解决了回龙尾水管的强度计算问题。

由于管路系统的复杂性及尾水管的压力脉动幅值较高,管路系统的开孔补强按GB150压力容器标准进行管路开孔的补强设计。

3.2.2 蜗壳座环的设计。回龙水泵水轮机蜗壳座环的设计压力(升压)为580m,试验压力870m。座环与蜗壳采用整体无舌板结构,座环环板采用抗撕裂钢板DIN TSTE355-Z35,蜗壳钢板和固定导叶材料采用JIS NK-HITEN610U制造。蜗壳的所有焊缝包括与座环的连接焊缝都作100% X射线(RT)探伤。运用有限元分析对座环在不同运行工况下的受力情况进行刚强度计算分析,打压工况下,蜗壳座环最大变形在蜗壳的顶部,最大变形值为0.51mm,蜗壳座环最大应力在固定导叶的进口端与上环板的接点处,最大应力为384.7MPa。蜗壳按60%的升压580m即348m水头进行保压浇注的方式进行。采用部分压力保压浇注,使整个机组与厂房机墩成为一个整体,减少机组的振动。

3.3 导水机构。利用自己开发的计算程序,对发电工况、抽水工况、水轮机工况用负荷、水泵造压四种不同的工况进行了水轮机主要部件承压压力的计算。

运用有限元分析,根据上述程序对承压部件的压力的分析结果对顶盖在不同运行工况下的受力情况进行刚强度计算分析,抽水工况下顶盖最大峰值应力60.9MPa,最大变形为0.394mm;发电工况下顶盖最大峰值应力59.5MPa,最大变形0.385mm;发电工况用负荷时顶盖应力最大峰值应力88.5MPa,最大变形0.581mm;造压启动工况下顶盖最大峰值应力99.8MPa,最大变形0.657mm。造压启动工况下活动导叶的运行工况最为恶劣,在该工况下活动导叶瓣体最大拉应力值为196.7MPa。活动导叶最大综合应力发生瓣体下端与下环板的接点处,最大应力为288.163MPa,活动导叶最大弯振频率为515HZ,活动导叶一阶最大扭转频率为362HZ,活动导叶二阶最大扭转频率为638HZ。为满足机组管路布置的需要,取消外围板,保证了机坑内管路的布置。从电站的实际试运行的结果看,顶盖的径向振动和垂直振动均在允许的范围之内。

## 3.4 转动部分

3.4.1 主轴密封的设计。由于机组的各向尺寸较小,主轴密封采用分段径向式密封,结构紧凑,有检修和维护方便的优点。主轴密封处安装有可

更换的轴套,避免了大轴的磨损。主轴密封的密封材料采用加拿大高分子塞龙(Tordon SXL)材料,具有低摩擦系数,高耐磨性,高弹性。从电站试运行结果看,主轴密封的漏水量较小,顶盖内的潜水电泵始终没有启动。主轴密封的现场运行结果达到了预期的目的和效果。

3.4.2 主轴检修密封。虽然尾水压力较高,但仍采用空气围带式主轴检修密封,因哈电在此方面有较丰富的加工制造经验,并保证在该部件出厂前在1.1-1.3MPa下进行气压试验和动作试验进行。从电站试运行的结果说明在较高尾水位的情况下该主轴检修密封也具有较高可靠性。

3.4.3 水轮机大轴及键的设计。由于机组在造压启动工况和过渡过程工况两种情况下水力不平衡力矩对轴系的冲击将无法按理论计算精确给出。回龙水泵水轮机轴与转轮的连接方式确定为键传递。键传递的方式更能确保机组运行的安全可靠。

3.4.4 水导轴承的设计。轴瓦支顶采用对称中心支顶方式。由于机组小、转速高、又是可逆机组,分块瓦轴承的油循环和常规的分块瓦轴承油循环不同。水导轴承的冷却器和油泵采用外冷方式,轴承设计负荷为50KN。瓦长:150mm,瓦宽:150mm,采用L-TSA30润滑油。

回龙抽水蓄能电站的2×60MW机组动平衡试验在1<sup>#</sup>机进行了2次,2<sup>#</sup>机进行了1次后,机组在发电和抽水工况下,在水导轴承处的摆度单边均不超过0.2mm。由于机组转速很高,水导轴承分块瓦温偏高,但在正常范围内。由此说明此水导轴承设计是合理的,外循环的冷却效果良好,能够满足机组的要求。

3.4.5 转轮。回龙电站两台转轮均由日本日立公司设计制造。

## 3.5 油水汽系统

3.5.1 充气压水系统。为满足转轮室压水用气等条件,机组设有充气压水装置的全套中压空气系统压缩设备。空压机为多级、水冷、活塞往复式。每台空压机均配有气水分离器等。

空压机启动和停机除由压力信号器自动控制外,还配有手动操作系统。转轮室的充排气,按自动控制方式执行,并配有手动操作补气装置。调速器与进水阀压力油罐补气和停止补气通过油位信号器和压力信号器自动控制,也能手动操作。

每台水泵水轮机配置压水用的贮气罐,按空压机不补气情况下,能够完成2次压低水面操作设计的。贮气罐底部的污水排放管和阀门用以排除贮气罐底部的污水。每台水泵水轮机的调速系统与进水阀操作系统补气装置配置1个1m<sup>3</sup>气罐。

充气压水装置的研究和设计不仅填补了公司在蓄能机组气系统管路方面的空白,而且同时丰富了在高水头水轮机组气系统设计方面的经验。

3.5.2 水管路。为了减小调相压水启动时转轮在空气中旋转的力矩,设有大小消水环管路布置;为减少水推力设置内外环均压管。