

甲米一级混流式水轮机顶盖强度及刚度计算研究*

郑发平

(西昌学院 工程技术学院,四川 西昌 615013)

【摘要】以甲米一级混流式水轮机顶盖为研究对象,应用ANSYS有限元分析软件,建立了顶盖的结构三维模型。根据水轮机的结构参数,对其结构进行受力分析与计算;施加受力后,分析了顶盖的应力与应变。计算表明其结构设计是可靠的,能充分保证整个水轮机的可靠性和寿命。

【关键词】甲米一级电站;混流式水轮机;顶盖;ANSYS;强度计算;刚度计算

【中图分类号】TK733·1 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1673-1891(2011)03-0036-03

顶盖是水轮机中起支撑与过流双重作用的重要部件,其强度、刚度及其可靠性在一定程度上影响、甚至确定整台机组运行的安全、稳定性。目前其强度、刚度计算中一般仍沿用传统的安全系数法,没有引入机械可靠性的理念^[1],忽略了顶盖工作过程中许多不确定的因素,不能准确反映该部件工作中的可靠程度和寿命。当顶盖与水介质接触时,顶盖的振动必然引起水体压力的波动,这时顶盖的振动分析就成了一个典型的液体和弹性体的耦合振动问题。顶盖流固耦合自振特性分析,对该顶盖而言,其几何建模、有限元离散、材料特性都和空气介质时一样针对水轮机顶盖的机械可靠性问题^[2]。

根据顶盖的几何形状,针对四川省甲米一级水电站混流式水轮机的结构设计要求,基于机械可靠度应用ANSYS有限元分析程序,对水体部分的几何建模和有限元离散,建立顶盖的结构三维模型,进行顶盖的受力分析与计算,施加受力后,进行顶盖的应力与应变等的计算,从而校核顶盖的刚强度。在计算分析中假定水介质为理想不可压缩流体,所有的

水体单元分为两类,一类是未和顶盖相接触的单元,这些单元的结点只有压力自由度;另一类是和顶盖相接触的水体单元,这些单元的结点既有位移自由度,也有压力自由度,从而实现液—固耦合分析。

1 甲米一级水轮机的设计参数

顶盖用螺栓和定位销连接到座环的法兰上,并有顶起顶盖的专用螺孔。顶盖下侧表面的设计应尽量减少它和转轮上冠间的水力摩阻。顶盖上应设置顶盖排水措施,将上迷宫的漏水排出以减少水推力,在止漏环后的内表面及排水口附近应有防止含沙水流旋转造成局部磨损的措施。顶盖上装有主轴工作密封设备和检修密封、水导轴承支座、导叶控制机构、活动导叶轴承、导叶止推装置(如有)、导叶端面硬密封、止漏环、抗磨板及顶盖排水设备等。顶盖上应设有止漏环进出口及顶盖内侧、导叶后转轮前压力脉动测压孔,以便运行中监测压力。顶盖采用Q235B的钢板焊接制造、整体运输方案。

甲米一级水轮机为混流式水轮机,其具体设计参数如表1所示。

表1 甲米一级水轮机设计参数

参数	设计值	参数	设计值
水轮机型号	HLA855-LJ-155	设计流量	16.49 m ³ /s
转轮进口直径 D ₁	1550 mm	额定比转速	172.4 m·kW
转轮出口直径 D ₂	1461.3 mm	最大比转速	180.75 m·kW
水轮机俯视的旋转方向	顺时针	水轮机安装高程	2052.75 m
最大水头	103.5 m	水轮机补气方式	中心孔补气
额定水头	90 m	不包括水的水轮机转动部分的GD ²	15 kN·m ²
最小水头	88.2 m	包括水(额定工况)的水轮机转动部分GD ²	20 kN·m ²
额定出力	12.45 MW	额定工况叶片出口相对流速最大值	33.95 m/s
额定转速	428.6 r/min	最大保证出力工况叶片出口相对流速最大值	34.22 m/s
最大飞逸转速	842.8 r/min	额定工况导叶出口相对流速最大值	21.65 m/s
水轮机效率	95.2%	最大保证出力导叶出口相对流速最大值	28.82 m/s

收稿日期:2011-08-11

*基金项目:四川省教育厅高校重大培育项目的资助(项目编号:09ZZ031)。

作者简介:郑发平(1965-),男,讲师,主要从事流体机械及工程的教学与研究工作。

2 甲米一级水轮机顶盖的受力分析与计算

顶盖工作中应保证其各部分和连接整体有足够的强度、刚度,包括在整个运行中可能产生的最大压力脉动和在最大飞逸转速下连续运行所产生的振动,以及在工作水头下导叶端面间隙在规范允许范围内^[9]。在水轮发电机组运行时,顶盖主要承受导水机构的活动导叶、水导轴承、主轴密封、控制环等部件的重力;顶盖下腹板的过流面、转轮的上止漏环和转轮的上冠顶部等处承受随机组运行工况改变而变化的水压载荷;顶盖的上环板和下腹板的活动导叶轴承座上还承受活动导叶的支撑力。在顶盖与水轮机座环联接处还承受由水轮机座环和蜗壳传递来的作用力。

由于最大水头为103.5 m,故顶盖过流表面所受的水压力 R_1 为1.035 MPa;设 R_2 为转轮上冠外缘所受的水压力,根据止漏环间隙应保证密封前的进水量与密封后的出水量相等可得2

$$\sqrt{2g(H_a - H_p)} \times F_1 = \sqrt{2g(H_p - \Delta H)} \times F_2 \quad (1)$$

式中: H_a 为密封进口压力水头, m;

H_p 为密封出口压力水头, m;

ΔH 为泵板产生的压力水头, m;

F_1, F_2 分别为密封进出口面积, mm^2 。

经计算可得 R_2 为0.9881 MPa。

上冠密封后的水压力 R_3 由于上冠密封后的水压力抵消掉泵板产生的水压力,则 R_3 为0.5367 MPa;控制环重666Kg、轴承重903Kg、轴承支架重690Kg,则控制环、轴承和轴承支架对顶盖的压力 R_4 为259 Kg。

3 甲米一级水轮机顶盖应力应变的三维建模与计算

3.1 应力应变的三维建模

根据甲米一级水电站水轮机顶盖设计的二维图,采用三维造型软件UG建立顶盖的实体模型,以Parasolid格式导出,然后导入有限元分析软件ANSYS,得到符合要求的模型^[9]。导入有限元分析软件ANSYS时,单元类型的选择为Solid45单元。图1为顶盖的三维模型,图2为顶盖三维模型的网格划分结果图。

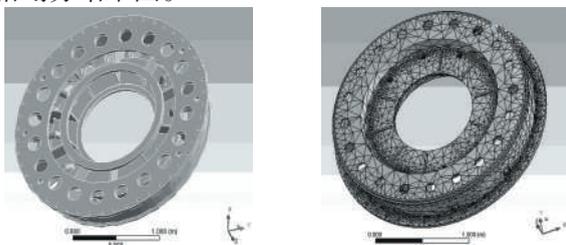


图1 顶盖的三维模型 图2 顶盖三维模型的网格

3.2 应力应变计算算法

采用ANSYS程序直接解法,这种方法不组装整个矩阵,只是在求解器处理每一个单元的同时进行整个矩阵的组装和求解^[9]。每一个单元矩阵计算出来后,求解器读入第一个单元的自由度信息,然后程序通过写入一个方程到TRJ文件,消去任何可以由其他自由度表达的自由度。这个过程对所有单元重复进行,直到消去几乎所有的自由度,只剩下一个三角矩阵在TRJ文件中。最后,程序通过回代法来计算节点的自由度解,用单元矩阵计算单元解。计算中材料属性的确定,选择线弹性各向同性材料;进行网格划分,用Solid45单元生成实体模型的网格。将上述 R_1, R_2, R_3, R_4 等边界条件施加与盖顶,便可得到应力结果及应力分布。

3.3 应力应变计算结果

3.3.1 应力计算结果

最大主应力和最大剪应力见图3和图4。

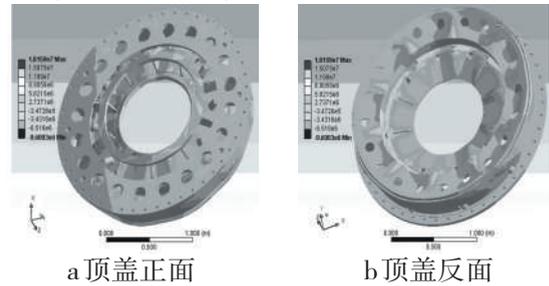


图3 顶盖的最大主应力

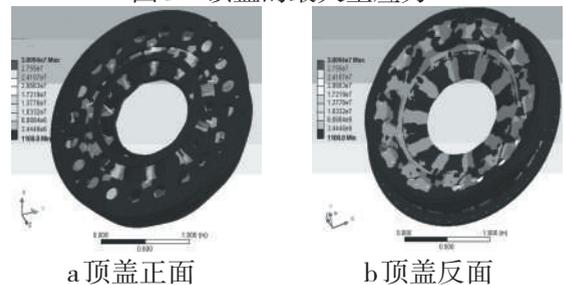


图4 顶盖的最大剪应力

应力计算结果见表2。

表2 应力计算结果表

类型	当量应力/MPa	最大主应力/MPa	最小主应力/MPa	最大剪应力/MPa	应力强度/MPa
最小值	0.00192	-9.6	-69.494	0.00111	0.00222
最大值	57.468	18.159	2.932	30.994	61.988

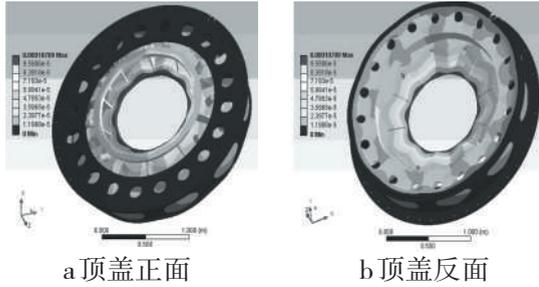
其中x轴、xy平面应力计算见表3。

表3 x轴、xy平面应力计算

类型	正应力/MPa	剪应力/MPa	主应力/MPa
方向	x轴	xy平面	
最小值	-37.682	-13.079	-19.55a
最大值	16.815	14.584	8.9264

3.3.2 应变计算结果

顶盖总的变形见图5。



a 顶盖正面

b 顶盖反面

图5 顶盖的总变形

其中x轴变形计算见表4。

表4 x轴变形计算结果表

类型	总变形/mm	方向形变/mm	弹性应变(10 ⁻⁶)	最大弹性应变(10 ⁻⁶)	中间弹性应变(10 ⁻⁶)
最小值	0	-0.01902	0.0096	-4.38	-39.788
最大值	1.0789e-004 m	0.0191	287.3	108.8	61.732

注释及参考文献:

- [1]齐学义,李晨晨,张新杰,等.水轮机顶盖的可靠性设计计算[J].大电机技术,2008,36(2):40-43.
- [2]刘新民,周振德.大型轴流式水轮机顶盖及支持盖的刚度强度计算及优化设计[J].大电机技术,1985,13(3):52-58.
- [3]唐天兵,严毅.轴流式水轮机支持盖有限元分析及优化设计[J].河海大学学报(自然科学版),2004,32(5):562-564.
- [4]宁汝新,赵汝嘉.CAD/CAM技术(第二版)[M].北京:机械工业出版社,2010.
- [5]曾攀.有限元分析及应用[M].北京:清华大学出版社,2004.

Calculation and Research on Strength and Rigidity Calculation of Francis Turbine Cover for First Stage of Jiami Power Station

ZHENG Fa-ping

(Engineering & Technology School, Xichang College, Xichang, Sichuan 615013)

Abstract: Based on research of head cover of first stage of Jiami Power Station francis turbine, 3-D model for head cover is established with ANSYS software. Analysis and calculation of the force for the structure of head cover are studied in accordance with structure parameters, then stress and strain of head cover are calculated in detail after exerting forces on head cover. Calculation shows that the structural design is reliable which can fully guarantee the reliability and life of the turbine.

Key words: First stage of Jiami Power Station; Francis turbine; Head cover; ANSYS; Strength calculation; Rigidity calculation

4 结语

本文以四川省甲米一级水电站实际混流式水轮机顶盖为研究对象,应用UG以及ANSYS有限元分析等软件,对其受力进行了分析,并建立了结构三维模型,施加受力后,进行了顶盖的应力与应变等的计算。从计算结果来看,水轮机顶盖的水平振动(双振幅)没有超过设计所要求的0.03 mm,垂直振动(双振幅)也没有超过设计所要求的0.03 mm。计算表明甲米一级水电站水轮机顶盖的结构设计是可靠的,能充分保证整个水轮机的可靠性和寿命。