

某水轮机顶盖振动的实测与数值仿真对比分析

The Vibration Analysis of Measurement and Numerical Simulation of Turbine's Head Cover

张亚楠

浙江富春江水电设备有限公司

摘 要: 本文通过对某水轮机顶盖固有频率的实测以及有限元模态仿真, 发现顶盖动态性能偏弱。然后对顶盖关键位置加强, 并通过 ANSYS 仿真预测顶盖加强后的固有频率。

关键词: 水轮机 顶盖 ANSYS 模态

Abstract: In this paper, by the natural frequency measured and numerical simulated of turbine's head cover, the poor dynamic property is discovered. Then the key location of head cover is strengthened, and the strengthened head cover's frequency is predicted by modal simulation.

Key words: Turbine Head Cover ANSYS Modal

1. 前言

顶盖是水轮发电机组重要的支撑和过流部件, 其刚度影响甚至决定整个机组运行的安全性和稳定性。近年来随着水电机组尺寸的不断增大, 顶盖整体形状大多呈现为薄圆盘状, 顶盖的轴向刚度相对减弱, 固有频率降低。水轮机的振动问题越来越受到广泛的关注。

本文以某电站为例, 顶盖存在一定程度的振动。首先由相关单位针对顶盖测定了前两阶轴向的固有频率, 然后应用有限元理论从数值仿真角度对模态进行分析, 上述结果与顶盖的激振频率进行的对比, 发现顶盖的动态特性偏弱; 然后对顶盖进行了加强; 最后应用数值仿真手段对加强后的顶盖固有频率进行了预测。

2. 顶盖固有频率实测

2.1 测量方法

采用宽频激振方法对水轮机顶盖进行模态实验, 采用移动锤击、固定点采集的方法, 获取水轮机顶盖在无水状态下的固有频率和振型。

固有频率测量实验将水轮机顶盖简化为薄圆盘状的平面结构, 在顶盖上表面分布 60 个传感器, 传感器布置如图所示:

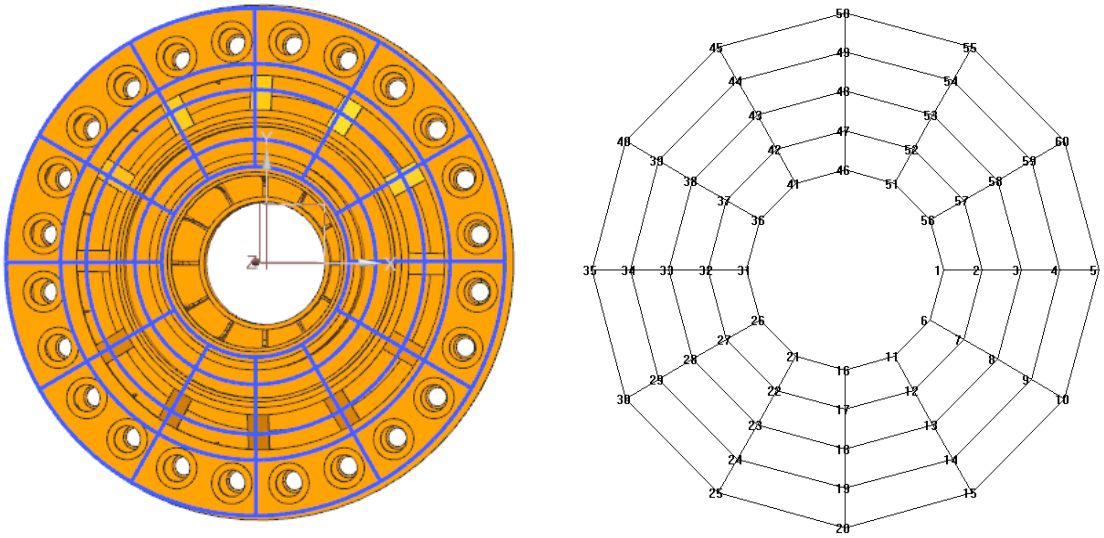


图 1 测点布置示意图

2.2 测量结果

通过传感器将实测信号传入信号采集器，软件后处理可以得到顶盖轴向振动的前两阶振型和对应的固有频率，如表 1 所示。

表 1 固有频率及振型

阶数	固有频率	振型	振型图
1	39.93	轴向	图 2
2	60.64	两瓣	图 3

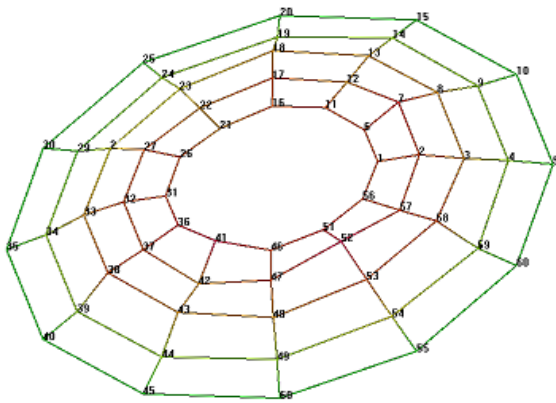


图 2 一阶振型

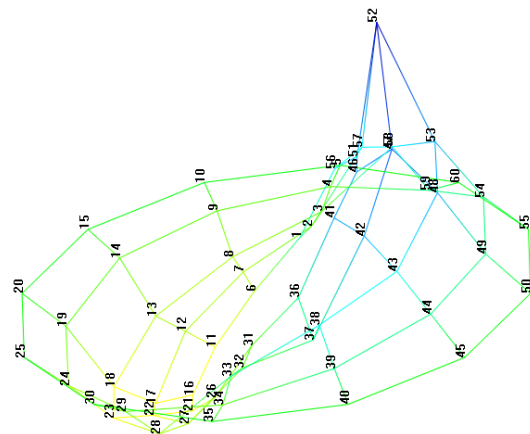


图 3 二阶振型

3. 顶盖模态数值仿真

3.1 数值仿真设定

模态分析是所有动力分析的基础，模态即为机械结构固有的振动形态，每一种模态对应一个固有频率。这个固有频率可以通过数值仿真软件计算得到，这样的计算分析过程叫做模态分析。

顶盖自振频率的计算，利用 ansys 程序，采用 lanczos 方法进行。计算时，采用整个顶盖作为计算模型，由于顶盖上附着活动导叶、轴承座、控制环、主轴密封等，所以在计算模型中加入了活动导叶、控制环、水导轴承及密封的质量。顶盖把合螺栓分布圆作为固定约束。

3.2 数值仿真结果

通过有限元计算模态，得到顶盖自振频率，如表 2 所示。

表 2 固有频率及振型

阶数	固有频率	振型	振型图	与实测偏差
1	36.332	轴向	图 4	9.01%
2	66.533	两瓣	图 5	9.72%

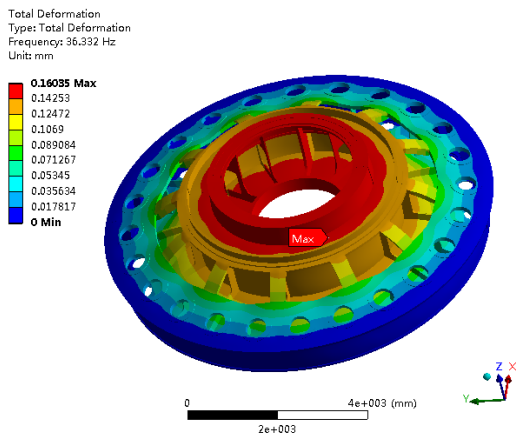


图 4 一阶振型

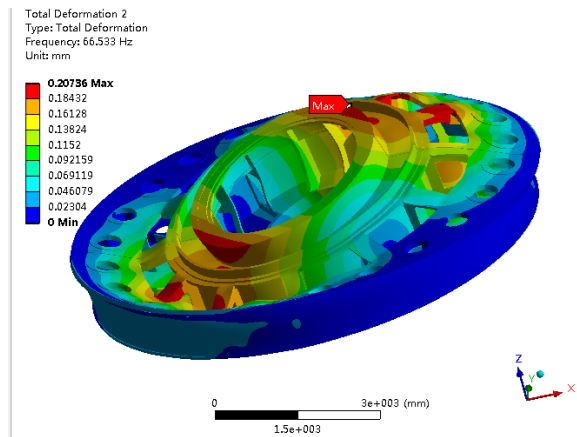


图 5 二阶振型

4. 结果分析

顶盖的模态分析，主要关注轴向振型，这种模态对于水轮发电机组以及水工建筑都会产生较大的破坏作用，因此要尽量避免此类型的振动。水轮机在旋转运行过程中会形成很多激励频率，比如：转频、活动导叶的过流频率、叶片的过流频率等，故此，顶盖的轴向振动固有频率要避开转频、活动导叶的过流频率、叶片的过流频率。

该水轮发电机组额定转速 93.75r/min，旋转频率为：

$$93.75 / 60 = 1.5625 \text{ Hz}$$

活动导叶共 24 个，活动导叶的过流频率为：

$$93.75 / 60 \times 24 = 37.5 \text{ Hz}$$

叶片共 13 个，叶片的过流频率为：

$$93.75 / 60 = 1.5625 \text{ Hz}$$

由表 2 中的仿真与实测偏差结果可以看出, 实测和仿真的数值偏差在 10%以内, 采用数值仿真的手段计算模态是可行的。通过对比分析, 发现活动导叶的过流频率与实测和仿真的轴向第一阶固有频率较为接近, 可能是引发顶盖振动的因素。

5. 顶盖结构改进

从顶盖的设计结构出发, 寻找动态特性较弱的原因。对比其他机组, 发现顶盖的大筋板几乎被挖空, 如图 6 所示, 因此导致固有频率较低。

针对此问题, 提出了在大筋板挖空处补焊钢板的改进结构, 用来提高顶盖整体的动态特性, 如图 7 所示。

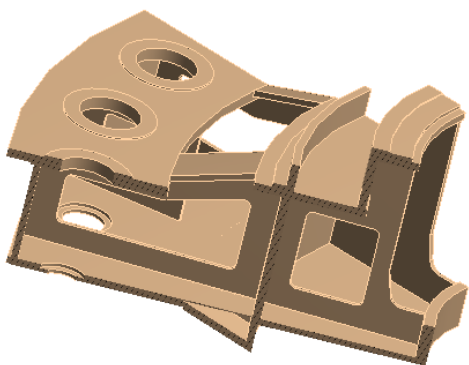


图 6 现行顶盖结构

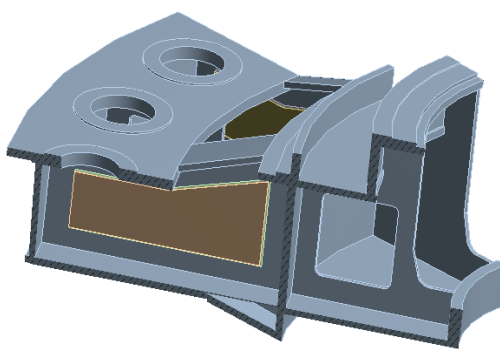


图 7 补焊钢板顶盖结构

通过有限元计算模态, 得到补焊钢板后的顶盖自振频率, 如表 3 所示。

表 3 补强后顶盖的自振频率

阶数	固有频率	振型	振型图
1	54.542	轴向	图 8
2	78.907	两瓣	图 9

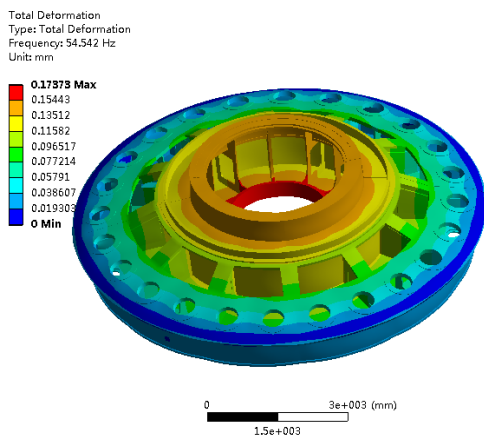


图 8 一阶振型

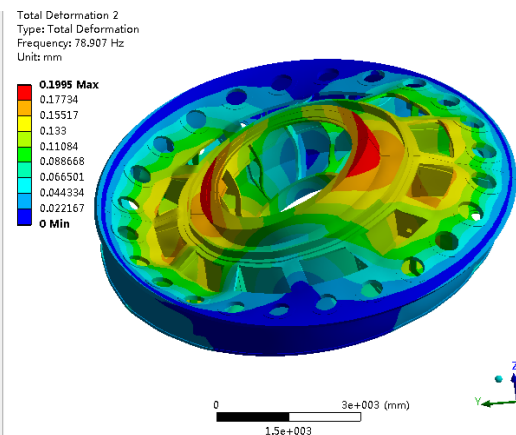


图 9 二阶振型

从表 3 中可以看出,补焊钢板后顶盖的一阶固有频率可以明显避开活动导叶的过流频率,以及其他的激励频率,表明改进结构后刚度提高,具有较好的动态特性,可以大幅改善顶盖的振动情况。

6. 结论

首先利用宽频激振的方法实测了某机组顶盖的轴向固有频率;利用 ANSYS 软件,建立的水轮机顶盖现行结构和改进结构的有限元模型,对顶盖的轴向固有频率进行了计算,结果表明实测结果和数值仿真的误差在 10%以内,准确性较高,同时发现顶盖的一阶轴向频率靠近活动导叶的过流频率,可能会引发共振。对改进后的顶盖进行了模态计算,获取了前两阶的轴向振动频率,结果表明改进顶盖要优于现行顶盖结构,改进顶盖的轴向固有频率可以有效避开激励频率,具有良好的动态特性,可以大大改善顶盖的振动情况。

7 参考文献

- [1] 刘新民,周振德.大型轴流式水轮机顶盖、支持盖的刚度、强度计算及优化设计.大电机技术,1985(03):44—51.
- [2] 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(02):40—44.
- [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阴.河海大学学报:自然科学版.2004(05):562—564.