

贯流机组 T 型转子中心体优化设计

The optimize design of T-shape-rotor hub for bulb turbine generator unit

刘思靓 杨柯

(浙江富春江水电设备有限公司, 杭州)

Zhejiang Fuchunjiang Hydropower Equipment Co., LTD

摘 要: T 型转子中心体是贯流机组中最为常见的转子结构之一, 主要由幅板和磁轭圈两部分组成。板材的厚度、通风孔的位置大小, 直接影响转子中心体运行时的应力状态, 也直接关系到材料成本的多少。因此合适的板材厚度和通风孔设置是 T 型转子中心体设计重点。本论文以某机组 T 型转子中心设计为例, 对结构进行优化设计, 并使用有限元分析软件 ANSYS 对优化前后的结构刚强度进行了对比分析, 确定了结构优化的可行性, 明确了同类型结构转子中心体的设计优化方向。

关键词: T 型转子中心体、贯流机组、通风孔、幅板、磁轭圈、优化、ANSYS

Abstract: The T-shape rotor hub is a general structural of the bulb hydraulic generator, it contain broad plate and rim ring. The thickness of broad plate and rim ring, the position and size of ventilation hole, they are the most key factor of the stress and cost, they are the important factor of the design optimization too. The structures of the T-shape-rotor hub optimized design are analyzed by FE software ANSYS. According to this calculation, the feasibility of optimized design is determined, and the optimized direction of T-shape rotor hub is confirmed.

Key words: T-shape-rotor hub , bulb unit, ventilation hole, broad plate, rim ring, optimization, ANSYS

1. 引言

转子中心体是水轮发电机转动部分的关键部件。而 T 型转子中心体因构造简单, 加工方便, 运行稳定, 成为了中小容量贯流机组的设计首选。其主要由幅板和磁轭圈组成, 幅板上开有通风孔, 磁极通过螺栓把合在磁轭圈上。T 型转子结构^[1]如图 1 所示。J 机组发电机也采用 T 型转子, 为了在结构刚强度满足要求的同时, 使材料成本降至最低^[2], 对 J 机组转子中心体进行了优化设计, 减薄了幅板和磁轭圈的厚度, 调整了通风孔的形状和位置。同时利用有限元分析手段, 对优化前后的设计方案进行了对比计算, 以确保优化的可行。

2. 计算参数

2.1 机组设计参数

发动机额定容量: 22.2MW

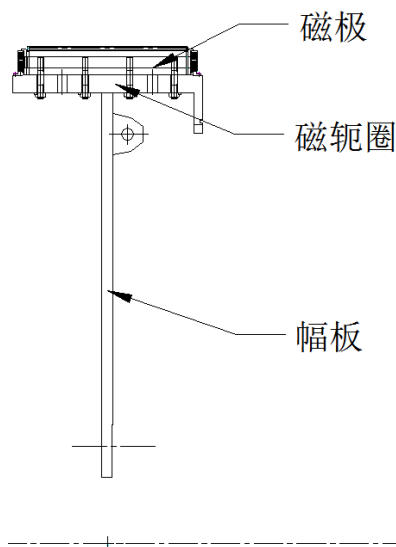


图 1 T 型转子结构示意图

额定电压:	10.5kV
额定电流:	1354.5A
额定转速:	75r/min
飞逸转速:	198r/min
电极级数:	80

2.2 材料及许用应力

转子中心体材料为 Q345, 屈服极限不低于 275MPa^[3]。根据国标 GB15468^[4] 规定, 有限元计算时, 正常工况下最大应力不得超过 2/3 屈服强度, 即 183.33MPa; 特殊工况下最大应力不得超过屈服强度。

3. 有限元模型及载荷边界

根据模型对称性原则, 建立转子的 1/4 模型, 模型包含一个完整的通风孔。使用带中节点六面体单元划分转子中心体计算模型。三维模型如图 2 所示, 有限元网格如图 3 所示。

约束转子幅板与主轴法兰把合, 施加相应的磁拉力, 磁极离心力和制动环离心力, 制动环把合处施加, 施加转速和温差。额定工况时还需施加额定扭矩, 剖切面施加循环对称; 飞逸工况下, 因没有扭矩, 剖切面施加对称约束即可。

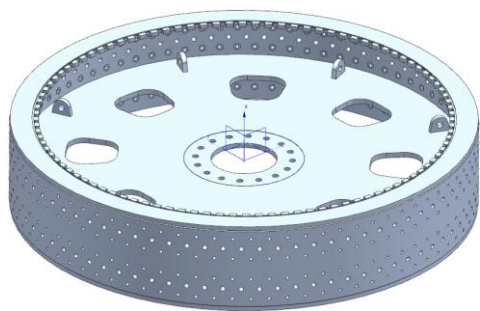


图 2 转子中心体三维模型



图 3 有限元计算模型

4. 结构优化前计算结果

J 机组 T 型转子中心初始设计幅板厚 80mm, 磁轭圈厚度 150mm, 通风孔为梯形孔。初始设计结构如图 2 所示, 其相应有限元计算模型如图 3 所示^[6]。

4.1 原设计额定工况

原设计转子在额定运行时: 转子中心体最大径向位移 1.39mm, 在磁轭圈外缘。磁轭圈端部和中间径向位移差有 0.26mm; 转子中心体最大应力在与主轴把合法兰台阶有应力奇异, 除应力奇异外转子中心体最大应力为 58.3MPa, 在通风孔倒圆处; 磁轭圈与幅板连接处最大应力 26.4MPa。计算结果如图 4 和图 5 所示。

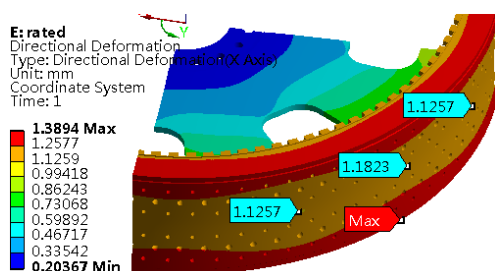


图 4 原结构额定运行时径向位移

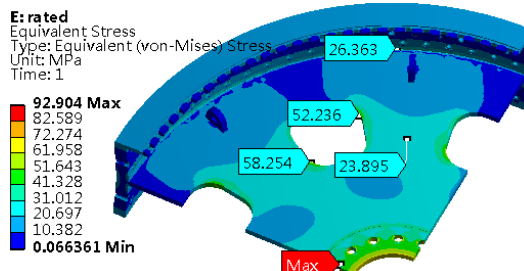


图 5 原结构额定运行时等效应力

4.2 原设计飞逸工况

原设计转子在飞逸时：转子中心体最大径向位移 2.18mm，在磁轭圈外缘。磁轭圈端部和中间最大径向位移差有 0.59mm；转子中心体最大应力在与主轴把合法兰台阶有应力奇异^[5]，除应力奇异外转子中心体最大应力为 124.2MPa，在幅板通风孔倒圆处；磁轭圈与幅板连接处最大应力 81.1MPa。计算结果如图 6 和图 7 所示。

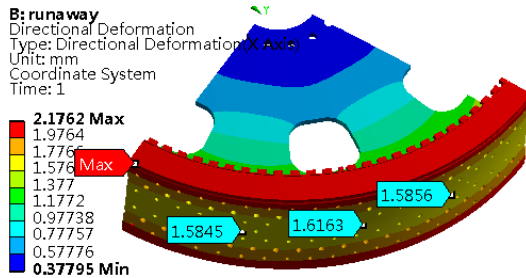


图 6 原结构飞逸时径向位移

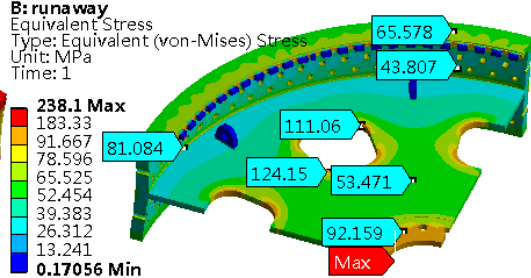


图 7 原结构飞逸时等效应力

4. 结构优化前计算结果

通过计算发现，即使在飞逸工况下，J 机组 T 型转子中心体初始设计，幅板和磁轭圈依然有较大的安全裕量，可以对转子中心体结构进行优化减重。考虑机组运行的最小转动惯量要求，磁轭圈的厚度可由 150mm 减薄至 130mm，幅板厚度可由 80mm 减至 60mm。同时，应幅板变薄，为改善通风孔应力，降通风孔形状优化为通风面积相同的圆孔。优化方案如图 8 和图 9 所示。

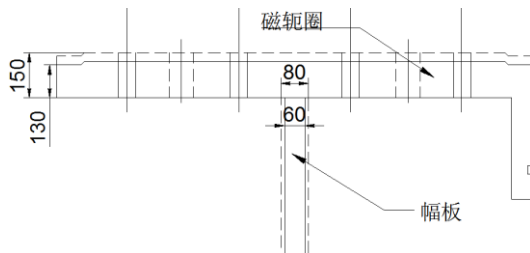


图 8 转子中心体优化板厚变化

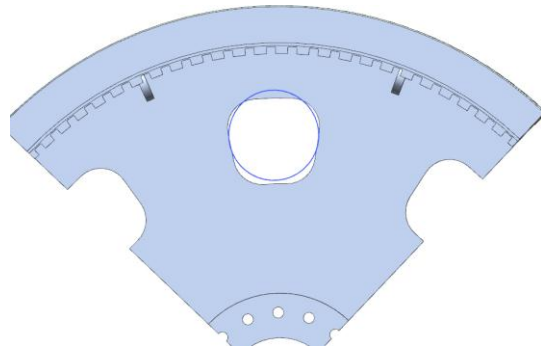


图 9 转子中心体通风孔优化

4.1 优化后额定工况

优化后转子中心体额定运行时：转子中心体最大径向位移 1.45mm，在磁轭圈外缘。磁轭圈端部和中间最大径向位移差有 0.29mm；转子中心体最大应力在与主轴把合法兰台阶有应力奇异，除应力奇异外转子中心体最大应力为 50.7MPa，在幅板通风孔处；磁轭圈与幅板连接处最大应力 33.1MPa。计算结果如图 10 至图 11 所示。

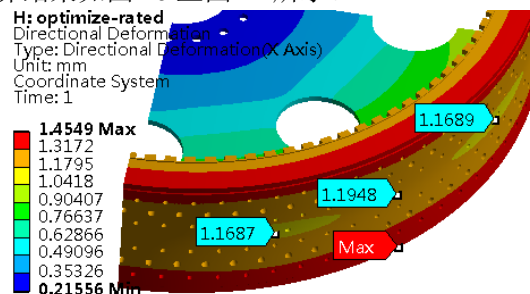


图 10 优化结构额定运行时径向位移

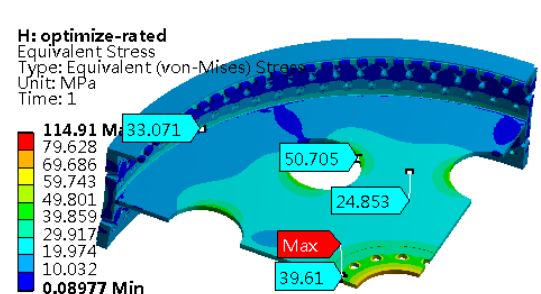


图 11 优化结构额定运行时等效应力

4.2 优化后飞逸工况

优化后转子中心体飞逸时：转子中心体最大径向位移 2.35mm，在磁轭圈外缘。磁轭圈端部和中间最大径向位移差有 0.7mm；转子中心体最大应力在与主轴把合法兰台阶有应力奇异，除应力奇异外转子中心体最大应力为 116.8MPa，在幅板通风孔处；磁轭圈与幅板连接处最大应力 90.6MPa。计算结果如图 12 和图 13 所示。

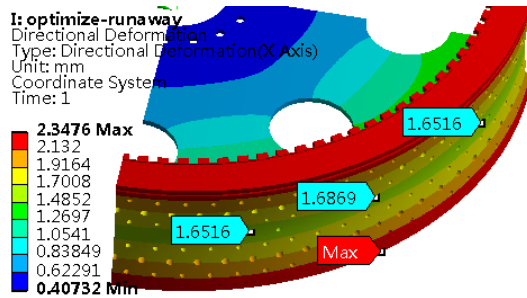


图 12 优化结构飞逸时径向位移

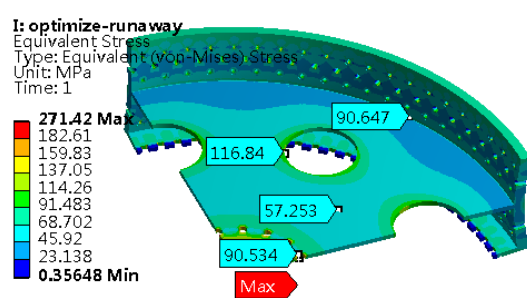


图 13 优化结构飞逸时等效应力

5. 结论

优化后，T 型转子中心体材料用量减少 4 吨，减重量约为原结构的 10%；磁轭圈和幅板等处应力会有所上升，通风孔处应力略有下降，各工况下变形和应力均满足许用应力要求^[7]。以上分析对比表明，该优化方案合理易行，在 T 型转子中心体优化减重设计中，可广泛采用。J 机组 T 型转子中心体初始结构和优化结构经计算及对比如表 1 所示。

表 1 T 型转子中心体优化设计计算结果对比

		最大径向位移	磁轭圈最大径向位移差	磁轭圈通风孔应力	幅板磁轭圈连接处应力	许用应力
额定运行工况	优化前	1.39mm	0.26mm	58.3MPa	26.4MPa	183.33MPa
	优化后	1.45mm	0.29mm	50.9MPa	33.1MPa	
飞逸工况	优化前	2.18mm	0.59mm	124.2MPa	81.1MPa	275MPa
	优化后	2.35mm	0.7mm	116.8MPa	90.6MPa	

参考文献

- [1] 白延年. 水轮发电机设计与计算[M]. 北京:机械工业出版社, 1982.
- [2] 陈锡芳. 水轮发电机结构运行监测与维修[M], 中国水利水电出版社, 2008年1月.
- [3] GB/T1591-2018 低合金高强度结构钢[S]. 全国钢标准化技术委员会, 2019. 02.
- [4] GB/T15468-2006 水轮机基本技术条件[S]. 中国国家标准化管理委员会, 2006. 08.
- [5] 西田正孝, 应力集中[M], 机械工业出版社, 1986 年 12 月第一版
- [6] 张向东等. ANSYS 有限元分析超级手册. 机械工业出版社. 2014
- [7] 马建峰, 抽水蓄能机组磁极与磁轭高应力区域寿命评估[J], 云南水力发电, 2017(1), 165-168

刘思靓，女，（1983- ），毕业于福州大学，硕士学历，高级工程师，长期从事水轮发电机组以及核泵的设计分析工作。

地址：杭州市余杭区绿汀路21号浙富大厦 联系电话：13605801613 邮箱：lsimm@163.com