

基于有限元的电机法兰结构强度分析

王国龙, 李娜, 赵代夫

(卧龙电气驱动集团股份有限公司, 浙江 绍兴 312300)

摘要: 以一款 280 机座号三相异步电动机法兰结构为研究对象, 运用 SolidWorks 三维软件进行实体建模, 利用材料力学理论以及有限元分析软件对其结构强度进行了分析校核, 为该类型的法兰结构设计提供了优化方向。试验结果为该类型的电机法兰结构强度校核提供了分析支持, 为电机法兰结构的强度分析问题提供了一种操作性强并且有效的有限元解决方案。

关键词: 三相异步电动机; 法兰结构; 有限元; 强度分析

中图分类号: TM 301.4⁺2 文献标志码: A 文章编号: 1673-6540(2020)02-0072-04

doi: 10.12177/emca.2019.150

Strength Analysis of Motor Flange Structure Based on Finite Element Method

WANG Guolong, LI Na, ZHAO Daifu

(Wolong Electric Group Co., Ltd., Shaoxing 312300, China)

Abstract: Taking the flange structure of a three-phase asynchronous motor (frame number 280) as the object, solid modeling is carried out by using SolidWorks three-dimensional software. The strength of the structure is analyzed and checked by using material mechanics theory and finite element analysis software. The design of this type of flange structure is optimized. The analysis support for the strength check of this type of motor flange structure is provided. The finite element solution to the strength analysis of motor flange structure is operational and effective.

Key words: three-phase asynchronous motor; flange structure; finite element; strength analysis

0 引言

随着电机应用领域的扩展, 客户对电机专特性要求逐步提高, 在标准电机基础上进行定制化、专特化及功能性设计变得非常普遍。在性能匹配设计中, 当电机转矩等参数变化后, 原结构件的强度是否满足可靠性的要求就成为分析设计的核心之一, 具体要求为对电机重要结构件进行强度分析校核。

随着有限元技术和计算机辅助分析技术的发展, 利用有限元分析软件对电机结构进行强度分析, 并对电机的结构强度进行校核已成为一种可行的方式^[1-2]。杨文卓等^[3]利用 ANSYS Workbench 对核电电机法兰进行了静力学分析和强度校核, 通过改变法兰结构及材料, 得到了

最终的优化结构。杜四宏等^[4]通过 Pro/E 和 ANSYS 对压力容器快开门法兰进行了有限元应力分析, 得到其受力特性和应力分布规律, 并进行了应力强度评定。刘锐峰^[5]对石化行业某一法兰进行有限元应力分析, 保证法兰有足够的强度。

本文结合一款 280M1-2 型三相异步电机的实际开发需求, 利用有限元方法对该电机的法兰结构强度进行了分析校核, 为进一步的优化设计提供了依据。

1 设计案例

1.1 案例描述

280M1-2 型三相异步电机的主要参数如表 1 所示。该电机在标准电机的基础上增加了功率和

收稿日期: 2019-11-28; 收到修改稿日期: 2019-12-18

作者简介: 王国龙(1991—), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为永磁电机的开发设计和电机结构强度。

转矩。对该电机的法兰结构进行结构强度分析,以判断该法兰结构是否能够满足结构强度的要求。

表 1 280M1-2 型电机主要参数

参数名称	参数值
短路转矩/(N·m)	5 671.5
满载转矩/(N·m)	597
最大转矩/(N·m)	2 246
不平衡磁拉力/N	3 066
转子重量/kg	193.5
电机重量/kg	730
铁心长度/mm	370

1.2 结果判定依据

按照电机法兰强度校核的要求,在以下工况中对电机法兰强度进行校核^[6-8]。

(1) 短路转矩。设计准则:最大应力需要在材料疲劳强度范围内。

(2) 满载转矩。设计准则:材料疲劳强度 5 倍的安全系数。

(3) 最大转矩。设计准则:疲劳寿命无限循环。

在这 3 种情况下,对电机法兰强度进行有限元分析计算可为电机法兰设计改进提供依据。

2 结构强度分析

2.1 实体建模

对研究对象的电机整体进行实体建模,以形成电机三维模型,如图 1 所示。主要材料及特性如表 2 所示。因为主要的研究对象为电机法兰,所以对转子等非主要结构件以附加质量的形式添加在电机实体上^[9-10]。

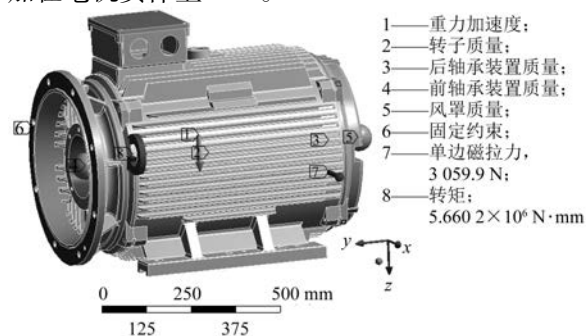


图 1 实体建模

表 2 主要材料及特性

部件	材料	弹性模量/(10^{10} Pa)	泊松比
机座	灰铸铁	8.5	0.22
端盖	灰铸铁	8.5	0.22
接线盒	ADC12	7.0	0.33
定子铁心	硅钢片	18.5	0.29

2.2 前处理及网格划分

2.2.1 边界条件

(1) 约束法兰安装面如图 2 所示。约束底脚平面及安装孔如图 3 所示。



图 2 约束法兰安装面

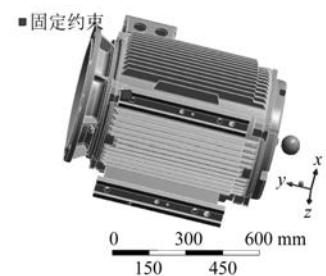


图 3 约束底脚平面和安装孔

(2) 转矩根据计算参数表中数值分别进行设置。转矩由定子铁心传递到机座,施加在定子铁心轭部。

(3) 重力加速度 $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ 。图 1 中单边磁拉力沿 z 轴向下。

(4) 不平衡磁拉力根据表 1 的数值分别进行设置(图 1 中固定约束)。由转子传递到端盖,再传递到机座,施加在端盖与轴承的接触面,沿水平方向。

(5) 转子质量、前后轴承装置、风罩质量分别为计算时所附加的转子、轴承装置、风罩的质量,具体附加数值如表 3 所示。

表 3 附加质量的参数

部件	质量/kg	备注
转子	193.5	转子质量
前轴承装置	13.1	轴承盖+轴承
后轴承装置	8.8	轴承盖+轴承
端罩	5	位于非轴伸端

2.2.2 网格划分

网格划分如图 4 所示,节点数为 1 864 032,单元数为 80 579。对底脚支架位置网格进行细化,细化前后的计算结果偏差在 5% 以内。

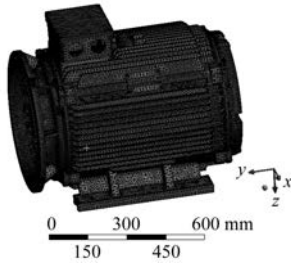


图 4 网格划分

2.3 计算结果

根据电机的设计准则,分别在短路转矩、满载转矩、最大转矩的负载状态下,对电机法兰第一主应力进行计算。计算结果如图 5~图 7 所示。在短路转矩负载下,最大应力为 1.315 4 MPa;在满载转矩负载下,最大应力为 1.156 8 MPa;最大转矩负载下,最大应力为 1.208 3 MPa。



图 5 短路转矩法兰应力云图



图 6 满载转矩法兰应力云图



图 7 最大转矩法兰应力云图

2.4 结果分析

法兰的材质为灰铸铁 HT200,根据 GB/T 9439-2010《灰铸铁件》,HT200 的疲劳极限 σ_{-1} 为 90 MPa。根据判定依据的要求可以得出其许用应力^[11-12]。3 种工况见第 1.2 节。

针对工况(3)的疲劳寿命无限循环,需要使用无限寿命设计。设定其为最大拉应力对称循环 ($R=-1$),则其强度条件为

$$n_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1D}}{\sigma_a} = \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma D} \sigma_a} \geq [n] \quad (1)$$

$$K_{\sigma D} = \frac{K_{\sigma s}}{\epsilon \beta_1} \quad (2)$$

$$K_{\sigma s} = 1 + (K_{\sigma} - 1)\beta_1 \quad (3)$$

式中: n_{σ} 为计算出的安全系数; σ_{-1D} 为零件疲劳极限; σ_a 为应力幅; $K_{\sigma s}$ 、 $K_{\sigma D}$ 为对称循环下材料和零件的疲劳极限。

通过查图表可以得出式(1)~式(3)中所需要的数据,如表 4 所示。

表 4 计算参数的数值

参数名称	参数值	备注
K_{σ}	1.44	正应力下的疲劳缺口系数
β_1	0.7	正应力下的表面加工系数
ϵ	0.85	尺寸系数
$[n]$	2	许用安全系数

由表 4 中的数值可得材料的许用应力(最大拉应力)为

$$\sigma_a \leq \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma D} [n]} = \frac{90}{2.198 \times 2} \text{MPa} = 20.5 \text{MPa} \quad (4)$$

表 5 所示为电机法兰应力分析计算结果。

表 5 电机法兰应力分析计算结果

参数名称	短路转矩 (5 671.5 N·m)	满载转矩 (597 N·m)	最大转矩 (2 246 N·m)
法兰所受最大应力/MPa	1.315 4	1.156 8	1.208 3
许用应力/MPa	90.0	18.0	20.5

根据表 5, 在 280M1-2 型电机法兰 B35 安装的情况下进行分析计算可知, 在短路转矩条件下, 法兰满足最大应力需要在材料疲劳强度范围的要求; 在满载转矩的条件下, 法兰满足材料疲劳强度 5 倍的安全系数要求; 在最大转矩工况下, 法兰满足疲劳寿命无限循环的要求, 最终确定法兰强度校核合格。

3 结 语

本文基于有限元分析软件, 通过建立有限元分析模型, 对电机法兰进行结构强度校核, 电机法兰应力较大的部位发生在法兰安装面与端盖安装面之间的加强筋处。该法兰结构完全可以满足短路转矩、满载转矩、最大转矩条件下的安全结构要求。如果电机负载条件更高时, 可以考虑适当增加法兰安装面与端盖安装面之间加强筋的结构强度。

【参 考 文 献】

[1] MOAVENI S. 有限元分析——ANSYS 理论与应用

[M]. 王崧, 译. 3 版. 北京: 电子工业出版社, 2008.

- [2] 陈世坤. 电机设计[M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [3] 杨文卓, 杨文玲, 刘阳, 等. 核电电机法兰端盖的强度校核及结构优化[J]. 机电工程技术, 2017, 46(7): 94.
- [4] 杜四宏, 袁振伟, 王三保, 等. 基于 Pro/E 和 Ansys 的压力容器快开门法兰的有限元分析[J]. 化学工程与装备, 2008(1): 6.
- [5] 刘锐锋. 基于 ANSYS 的压力容器法兰应力分析探讨[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2012, 33(11): 247.
- [6] 闻邦椿. 机械设计手册: 第 1 卷[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [7] 陆明万, 罗学富. 弹性理论基础: 上册[M]. 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2001.
- [8] 闻邦椿. 机械设计手册: 机械工程材料[M]. 5 版. 北京: 机械工业出版社, 2015.
- [9] 尚晓江, 邱峰, 赵海峰, 等. ANSYS 结构有限元高级分析方法与范例应用[M]. 2 版. 北京: 中国水利水电出版社, 2008: 210-212.
- [10] 刘笑天. ANSYS Workbench 结构工程高级应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2015.
- [11] 刘鸿文. 材料力学 I[M]. 5 版. 北京: 高等教育出版社, 2011.
- [12] 席荣盛, 吴柏禧. 基于有限元法的电动汽车永磁同步电机模态分析[J]. 电机与控制应用, 2018, 45(9): 108.

声 明

本刊已许可万方数据、重庆维普、中国学术期刊(光盘版)电子杂志社、北京世纪超星信息技术发展有限责任公司在其网站及其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网

络传播本刊全文。该社著作权使用费与本刊相关费用抵消。如作者不同意文章被收录, 请在来稿时向本刊声明, 本刊将做适当处理。

《电机与控制应用》编辑部