



异步电动机冷却结构优化及温度场仿真

赵博阳^{1,2}, 张伟^{1,2}, 宗振龙^{1,2}, 庞 聪^{1,2}

(1. 中车永济电机有限公司, 山西 永济 044502;

2. 轨道交通牵引电机山西省重点实验室, 山西 永济 044502)

摘要: 为使电机温升满足绝缘设计要求, 文章以一台6 000 kW异步电动机为研究对象, 在原模型基础上, 提出电机冷却风路的结构优化模型, 建立电机三维温度场数值计算模型, 并采用数值计算方法对电机额定工况下稳态温度场进行求解分析; 此外, 文章进一步分析了各优化部位调整前后对电机温升的影响。结果表明, 结构优化后电机定子和转子的平均温升至少降低19.93%, 而通过减小机壳与定子铁心之间的径向最小距离, 定子铁心平均温升可降低10.60%, 转子温升降低幅度可达10%以上。研究结果证明了优化方案的可行性, 可以为异步电动机冷却结构优化设计提供参考。

关键词: 异步电动机; 温度场; 冷却结构; 优化设计; 仿真

中图分类号: TM343; U264.1⁺3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-128X(2026)01-0066-07

0 引言

异步牵引电动机被广泛应用于轨道交通、起重机械、工程机械和矿山机械等领域, 运行工况具有高负载、大转矩、高耐温等特点^[1]。电机定子和转子作为电能与机械能的主要转换部件, 在运行中存在铜损和铁损, 此外电机动静部件间存在的摩擦损耗与电机中绝缘材料低导热特性, 加大了电机各部件间的接触热阻, 进一步导致电机温度升高且散热效率大幅度降低^[2-4]。由于长时间的大温升会破坏电机绝缘结构, 缩短绝缘材料寿命, 降低电机工作效率, 对电机工作寿命和运行安全造成严重危害^[2,5]。因此, 高效的电机散热结构作为抑制电机温升的关键正成为研究重点。

目前, 主要的电机散热冷却形式有风冷、液冷和蒸发冷却, 其中风冷凭借低成本、高可靠性等优点而被广泛应用^[6]。文献[7]基于热分析的设计方法, 对电机水冷机座的关键参数进行设计与优化分析, 表明水道内雷诺数大于4 000后, 对定子的降温效果影响减弱; 水道轴向长度应至少等于铁心长度, 且增加水道

轴向长度可进一步提高换热能力; 优先采用切向入口, 有利于降低流动阻力。文献[8]对大功率机车牵引电机的转子封闭与定子强迫通风结构进行散热仿真, 通过温升试验验证了仿真结果的准确性, 保证电机温升满足200级绝缘的设计要求。风冷散热形式与电机自身结构设计紧密相关, 文献[9]基于不同部件许用温度的差异, 提出一种风冷电机加水冷变流柜一体化设计的新型风冷方案, 既保证了各处部件的散热要求, 又提高了系统级部件产品的集成度。文献[10]运用数值仿真的方法研究了一台高速电机的两种通风散热方案, 其研究表明轴向通风结构更有利于优化电机温度分布, 减小电机温升。文献[11]在电机定子和转子上布置轴向通风孔, 以降低定子和转子中心部位的温升, 并将转子通风孔散热效率作为评价指标, 对转子通风孔的分布方式、孔径和轴心距等结构参数进行分析, 从而得出采用外置强迫通风散热的大功率电机提升转子通风孔散热性能的具体方法。另外, 文献[12]通过在电机机壳表面布置散热翅片, 增加电机的散热面积, 达到增强电机散热性能的目的, 利用数值仿真对比分析了机壳表面外置翅片结构对电机风冷散热效率的影响, 结

基金项目: 中国中车重点研发项目(2024CYB270)

通信作者: 赵博阳, 男, 硕士, 主要从事电机冷却结构设计与流场仿真方面的研究; E-mail: zbystd@163.com

引用格式: 赵博阳, 张伟, 宗振龙, 等. 异步电动机冷却结构优化及温度场仿真[J]. 机车电传动, 2026(1): 66-72.DOI:10.13890/j.issn.1000-128X.2026.01.009.

Citation: ZHAO Boyang, ZHANG Wei, ZONG Zhenlong, et al. Cooling structure optimization and temperature field simulation of asynchronous motor [J]. Electric drive for locomotives, 2026(1): 66-72.DOI:10.13890/j.issn.1000-128X.2026.01.009.

果表明外置散热翅片可以将定子与转子的散热效率分别提高26.1%和16.4%。

综上, 通过数值计算的方法对电机整体结构的散热能力进行耦合分析, 可缩减产品研发周期, 节约研发成本^[13]。尽管已有大量文献研究了电机散热方案, 但多专注于对单一冷却结构的优化, 而对电机整体冷却风路的设计研究仍存在不足。因此, 本文以一台6 000 kW异步电动机为研究对象, 为使电机温升达到H级绝缘设计要求, 在初始电机结构基础上, 通过整体优化关键参数建立优化模型, 采用数值仿真的方法, 对两组模型的流场温度场进行耦合计算与对比; 同时, 建立多组单一因素对比模型, 以电机定子和转子温升为评价指标, 分析电机冷却结构关键参数变化对电机温升的影响。

1 电机数值计算模型

1.1 物理模型

图1为保留主要计算特征的6 000 kW异步电动机初始结构的三维模型(初始模型), 电机散热采用强迫通风冷却, 冷却气流由机壳非传动端入口进入电机, 通过定子与机壳间的通道、气隙和转子通风孔沿电机轴向流动至传动端, 经传动端端盖孔和隔板流出电机。

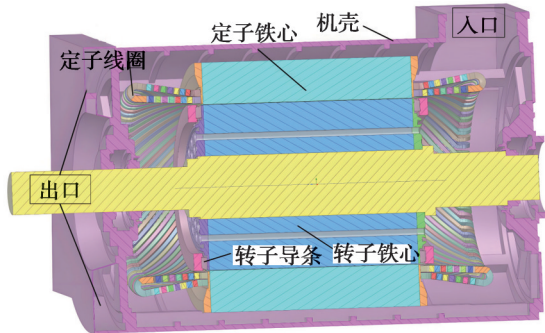


图1 初始模型

Fig. 1 Initial model

在初始模型的基础上, 对电机结构进行优化调整, 建立优化模型如图2所示。对比初始模型, 优化模型将传动端端盖开口外缘直径(部位A)减小100 mm、将均布的

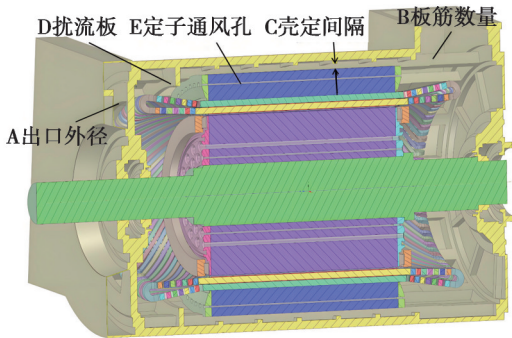


图2 优化模型

Fig. 2 Optimized model

板筋数量(部位B)增加为16个、将机壳与铁心周向最小间隙(部位C)减小12 mm、在机壳传动端侧布置内径为1 020 mm的扰流板(部位D)、在定子铁心直径为1 020 mm的分度圆处沿周向均匀布置72个直径为20 mm的轴向通风孔(部位E), 调整部位变化对比如表1所示。

表1 调整部位对比

Table 1 Comparison of adjustment parts

部位	初始模型	优化模型
A	1 000 mm	900 mm
B	均布8根	均布16根
C	37 mm	25 mm
D	无	直径1 020 mm
E	无	均布72个直径20 mm孔

1.2 数值模型

研究团队采用基于有限体积法的商用流体分析软件Fluent, 求解电机处于稳定运行状态时的流场和温度场。电机内部气流流动和热交换均满足3个控制方程, 即连续性方程、动量方程和能量方程, 其通用形式为^[14]

$$\nabla \cdot (\rho \mathbf{V} \phi) = \nabla \cdot (\Gamma \text{grad } \phi) + S \tag{1}$$

式中: ρ 为密度; $\mathbf{V}$ 为速度矢量; ϕ 为通用变量; Γ 为广义扩散系数; S 为广义源项。

电机各个固体部件间存在热传导, 固体温度场求解满足传热控制方程, 笛卡儿坐标系下传热控制方程表达式为^[15]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} (\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (\lambda_z \frac{\partial T}{\partial z}) &= -q_v \\ \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_{S_1} &= 0 \\ -\lambda \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_{S_2} &= \alpha(T - T_f) \end{aligned} \right\} \tag{2}$$

式中: T 为待求温度; λ_x 、 λ_y 、 λ_z 为求解域内各种材料沿 x 、 y 、 z 方向的导热系数; q_v 为单位时间、单位体积中内热源产生的热量; α 为对流换热系数; T_f 为周围流体温度; S_1 为求解域中的绝热面; S_2 为求解域中的散热面。

1.3 基本假设与边界条件

本文求解过程所采用的边界条件和计算假设如下:

- ①给定入口通风风量为300 m³/min, 温度为40 ℃, 出口指定为压力出口。
- ②电机额定转速为1 509 r/min, 采用多参考系法(MRF)指定转子旋转, 旋转部件与流体接触的壁面均设置为旋转壁面, 流体域动静交界面采用interior边界, 静止流体和固体接触面采用无滑移壁面。
- ③为提高计算效率, 将定子绕组表面的槽绝缘和绝缘漆等结构指定为0.43 mm均匀厚度的等效绝缘材料,

等效绝缘材料导热系数依据经验设置为0.15 W/(m·K)。

④结合电机实际散热及试验数据，电机内部强迫对流换热热量远大于外部自然散热量，且电机与环境温差远小于400 K。因此，忽略电机外表面的自然散热和辐射散热，将电机外表面视为绝热壁面。

⑤电机中的热源部件均视为均匀发热体，损耗以热源密度形式加载。

1.4 电机损耗

电机损耗主要由定转子铁心及绕组产生，绕组产生的铜耗和铁心产生的铁耗分别如式(3)、式(4)^[16]。

$$P_c = \sum P_i = \sum (I_i^2 R_i) \tag{3}$$

式中： P_c 为绕组的总铜耗； P_i 为单个绕组的铜耗； I_i 为绕组*i*的电流； R_i 为绕组*i*的电阻。

$$P_d = K_h f(B_m)^2 + K_c (fB_m)^2 + K_e (fB_m)^{1.5} \tag{4}$$

式中： P_d 为总铁耗； B_m 为电机气隙磁密； f 为磁场交变频率； K_h 为磁滞损耗系数； K_c 为涡流损耗系数； K_e 为附加损耗系数。

根据电机参数，利用Maxwell软件计算得到电机额定工况下的损耗数据，如表2所示。

表2 电机各部件损耗

参数项目	参数值
定子铁耗	26.85
定子铜耗	46.51
转子铁耗	11.51
转子铜耗	25.26
附加损耗	10.33

Table 2 Losses of motor components kW

2 网格无关性验证

为保证网格质量和网格数量的合理性，同时减小计算量，必须对电机模型进行合理简化，包括去除引出线、接线盒和吊挂等部件，删除模型中的倒角和圆角等特征。简化后的计算模型均包含空气流体域和电机固体域，固体域包含机壳、定子铁心、定子绕组、转子铁心、转子导条、转轴和铁心压板，流体域包含静止域和旋转域。

为确保计算结果不受网格数量影响，研究团队采用四面体网格对初始模型进行网格无关性验证，通过对定子和转子部件附近固体域和流体域加密，建立5套网格，网格数量分别为1 842万、3 198万、4 044万、5 521万和6 365万，网格正交质量均大于0.01。计算采用SIMPLE算法，动量、压力及能量均采用二阶迎风格式，湍流模型采用SST $k-\omega$ ，壁面函数选用Scable Wall Functions。以定子铁心平均温度作为判断依据，当相对误差小于5%时，认为计算结果不受网格数量影响。在网格数量达到4 044万时，定子铁心平均温度的

相对误差小于5%，考虑计算精度和计算时效性，本文所用计算模型均选用网格数量为4 044万的网格模型的设置参数进行网格划分。由于无法准确计算出定子铁心和转子铁心上具体的附加损耗，通过调整附加损耗在定子铁心和转子铁心上的加载比例，使定子线圈平均温升的仿真值与采用初始模型冷却结构的产品电机型式试验温升结果一致。5套网格的定子线圈平均温度仿真值变化曲线如图3所示。

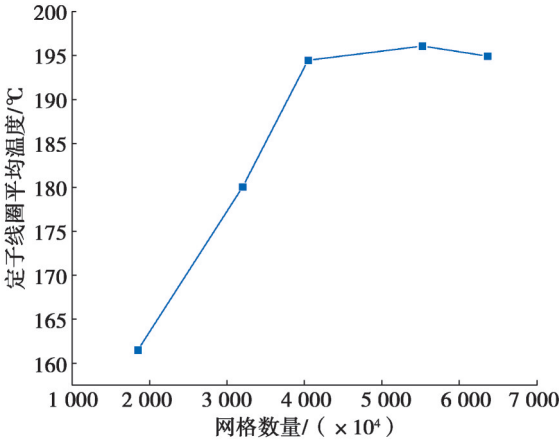


图3 网格无关性验证

Fig. 3 Grid independence verification

3 试验验证

对应用优化模型冷却结构的产品样机进行了型式试验，如图4所示。其中，长时温升试验采用电阻法^[17]测量定子线圈的平均温度，电机在额定工况下共运行210 min，每30 min记录一次温度数据，210 min时的定子线圈温度测量值与180 min时的定子线圈温度测量值一致，表明电机运行温度已至稳态。稳态下电机定子绕组平均温升试验值为91.10 K，优化模型定子线圈平均温升仿真值为92.35 K，仿真结果绝对误差为1.25 K，相对误差为1.35%。仿真结果误差源于对几何模型的简化、材料物性与实际参数存在差异等，但误差已满足工程应用的要求，可认为本文所采用的仿真方法具有可行性。



图4 试验电机

Fig. 4 Test motor

4 结果分析

4.1 温度场计算结果

对初始模型和优化模型进行温度场分布仿真, 两组模型电机截面温度场云图结果如图5所示, 圆形截面取电机定子铁心轴向长度中心位置。两组模型的电机高温区域均集中在定子中部靠近出风口侧位置, 该位置对流换热能力差, 热量扩散的主要方式为热传导。优化模型的定子轴向通风孔增加了定子铁心内部的对流换热面积, 显著降低了定子高温区域的温度。两组模型核心部件温度分布如表3所示, 优化模型对电机温升的抑制效果更明显, 定子部件和转子部件平均温升降低幅度均超过18 K, 定子部件和转子部件最大温升降低超过27 K, 定子铁心的温升降低幅度显著大于其他部件。

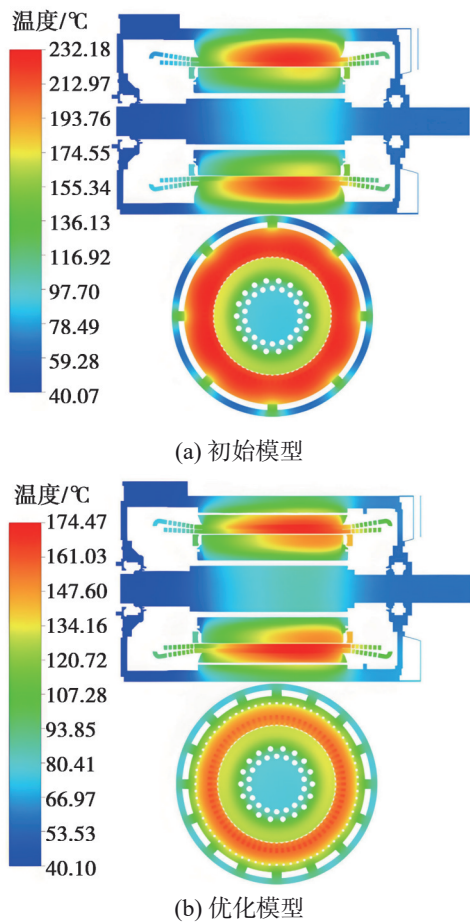


图5 电机截面温度场云图

表3 温升计算结果
Table 3 Temperature rise calculation results K

部件	初始模型温升		优化模型温升	
	最大值	平均值	最大值	平均值
定子铁心	192.96	154.84	133.00	99.05
定子线圈	194.49	121.32	135.62	92.35
转子铁心	140.73	94.05	112.85	75.30
转子导条	140.57	107.64	112.35	77.13

4.2 内流场计算结果

电机散热主要依赖空气对流将电机热量带至外界, 其中空气流动状态对电机内部对流换热起到重要作用。本文所述电机的冷却风路主要依赖于轴向通风, 轴向通风流道包含4部分, 分别为定子铁心与机壳之间的流道(流道A)、定子铁心轴向通风孔(流道B)、定子与转子间的气隙流道(流道C)和转子铁心的轴向通风孔(流道D)。两组模型各个流道的流量和平均流速数据如表4所示。优化模型对比初始模型, 各个流道间流量分配比例发生变化, 流道A流量和流速减小, 流道C、流道D流道流量和流速均不同程度地增加。

表4 流道流动参数
Table 4 Flow parameters of flow channel

流道	流量/(m³·s⁻¹)		平均流速/(m·s⁻¹)	
	初始模型	优化模型	初始模型	优化模型
A	3.06	2.16	24.38	22.61
B		0.44		23.39
C	0.19	0.30	25.31	31.43
D	1.77	2.12	54.98	63.14

提升湍流强度可以强化热量传递过程, 提高流体传热系数。应用湍动能评价电机内流场湍流强度, 两组模型内流场湍动能分布如图6所示。对比优化模型和初始模型可以发现, 由于流道A径向尺寸减小, 使得流道整体湍流强度提升, 且下游流道出口湍动能增大, 有利于加强流体与定子铁心的换热能力。流道A尾流和流道B尾流受扰流板的作用, 在定子铁心、定子线圈和扰流板形成的空间内湍动能增加, 且出口侧定子线圈端部附近的湍动能增加明显, 结合温度场分布, 说明扰流板的布置提高了初始模型温度热点位置的局部换热能力。流道B的流量和流速都较小, 且流道结构为长直管型, 因此流道内湍动能也较小。结合表4流动参数, 流道C湍动能增加主要缘于流量和流速的提升, 湍动能增加提高了气隙位置的流体换热能力。流道D的流量和流速增加提高了湍流强度, 扩大了尾流强湍流影响区域, 有利于加强与转子的换热能力。

5 单因素优化对温升的影响分析

为进一步研究优化模型各处改动对电机温升抑制能力的影响, 结合前文所述两组模型和表1中的电机具体部位, 调整电机部位参数, 共建立了6组对照模型进行仿真分析。各组模型关键参数如表5所示。

对比表5的6组模型的温度场分布仿真结果, 分析整机冷却结构关键部位优化前后对电机定子和转子温升的影响。为准确评价温升抑制效果, 以优化前参数模型对应温升为基准, 采用温升变化率作为判断依据,

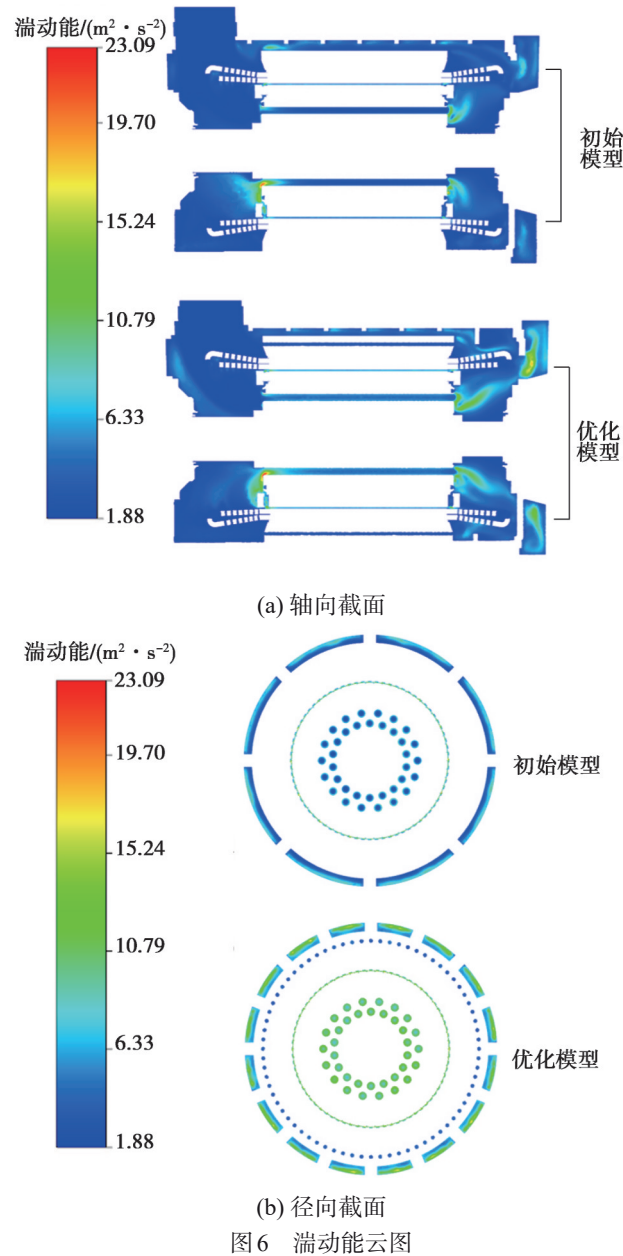


Fig. 6 Cloud map of turbulent kinetic energy

表5 对照模型关键部位参数

Table 5 Key part parameters of comparison model					
模型	部位 A	部位 B	部位 C	部位 D	部位 E
M1	900 mm	16 根	25 mm	无	72 个直径 20 mm 孔
M2	900 mm	16 根	25 mm	有	72 个直径 20 mm 孔
M3	900 mm	8 根	25 mm	有	72 个直径 20 mm 孔
M4	1 000 mm	16 根	25 mm	有	72 个直径 20 mm 孔
M5	900 mm	16 根	25 mm	有	无
M6	900 mm	16 根	37 mm	有	72 个直径 20 mm 孔

结果如表 6 所示。为反映优化前后对各流道流动的影响，以优化前参数模型对应的流动参数为基准，采用幅值变化率作为判断依据，结果如表 7 所示。

结果表明：①缩小定子铁心与机壳之间的流道出口直径对各流道流动参数影响不明显，对定子和转子温升影响不明显，对定子线圈的温升抑制效果强于其

余部件，定子线圈温升平均值降低 1.19%。②增加板筋数量可提升定子与机壳间的接触面积，促使定子更多热量向机壳传导；同时，各流道间的流量与流速分配发生变化，气隙和机壳铁心间的流道流量和流速明显提升，定子通风孔中的流量和流速显著降低。气隙处换热能力增强，有利于降低定子和转子热量集中区域温度，可以有效抑制定子和转子的温升，其中定子温升最大值降低幅度超过 5%，转子温升最大值降低幅度超过 6%。③减小机壳与定子铁心之间的最小径向间隙，促使流量更多地分配至其余流道，使定子通风孔和气隙处的换热能力大幅增强，定子和转子的最大温升降低幅度分别超过 10% 与 11%。④通过增加扰流板可以小幅度地调整各个流道中流量分配比例，能够降低定子线圈的平均温升，但会导致转子温升在小范围内增加。⑤在定子铁心上增加轴向通风孔，可增加定子换热面积，而其余流道的流量和流速均显著降低，使定子铁心温升平均值可降低 24.59%，定子线圈温升平均值可降低 7.79%，但是，对于转子温升的抑制效果有限。

表6 关键参数优化前后对温升的影响

Table 6 Influence of key parameters on temperature rise before and after optimization		%				
参数项目		部位 A	部位 B	部位 C	部位 D	部位 E
定子温升变化率	铁心	-0.23	-2.67	-10.60	-1.03	-24.59
	线圈	-1.19	-3.61	-6.00	-3.53	-7.79
转子温升变化率	铁心	0	-3.57	-11.91	-0.61	2.38
	导条	-0.06	-6.05	-10.13	1.14	-0.42
定子温升变化率	铁心	-0.57	-5.74	-10.55	-1.46	-16.14
	线圈	-0.71	-5.06	-10.30	-1.38	-15.87
转子温升变化率	铁心	-0.25	-6.37	-11.54	0.40	-1.44
	导条	-0.25	-6.37	-11.53	0.40	-1.43

表7 关键参数优化前后对流动参数的影响

Table 7 Influence of key parameters on flow parameters before and after optimization		%				
参数项目		部位 A	部位 B	部位 C	部位 D	部位 E
流道 A	流速/(m·s ⁻¹)	-0.53	19.95	-8.29	-5.39	-5.79
	流量/(m ³ ·s ⁻¹)	-0.49	5.88	-20.51	-5.53	-3.57
流道 B	流速/(m·s ⁻¹)	-0.19	-12.10	25.53	0.60	23.39
	流量/(m ³ ·s ⁻¹)	-0.19	-25.64	25.53	0.47	0.44
流道 C	流速/(m·s ⁻¹)	-0.04	21.68	19.15	1.53	-6.12
	流量/(m ³ ·s ⁻¹)	0.50	35.69	40.00	4.76	-6.25
流道 D	流速/(m·s ⁻¹)	-0.05	2.52	11.06	3.84	-7.31
	流量/(m ³ ·s ⁻¹)	0.47	-1.40	16.67	5.42	-12.76

6 结论

本文以一台额定功率为 6 000 kW、额定转速为 1 509 r/min 的异步电动机为研究对象，针对电机的冷却

风路进行了结构优化, 并对电机进行温度场仿真分析, 结论如下:

①通过5个关键部位的优化调整电机冷却结构, 可以明显降低电机定子和转子温升。定子铁心平均温升降低36.03%, 定子线圈平均温升降低23.88%, 转子铁心平均温升降低19.93%, 转子导条平均温升降低28.34%。

②减小机壳与定子铁心之间的径向最小距离, 可以提高定子通风孔、气隙和转子通风孔的流速和流量, 实现定子铁心平均温升降低10.60%, 对于转子的温升降低幅度也可达到10%以上。

③在定子铁心上增加轴向通风孔可以明显降低定子温升, 对于定子铁心温升平均值的降低幅度可达24.59%, 而对转子温升的影响不明显。

参考文献:

- [1] 孟繁东, 李华湘, 井睿康. 矿山卡车牵引电动机流体场及温度场研究[J]. 大功率变流技术, 2015(3): 58-63.
MENG Fandong, LI Huaxiang, JING Ruikang. Fluid field and temperature field investigation of traction motor in mine truck[J]. High power converter technology, 2015(3): 58-63.
- [2] 孙亚隆. 永磁同步电机热管式散热系统设计与性能分析[D]. 广州: 华南理工大学, 2019.
SUN Yalong. Design and performance analysis of heat pipe based cooling system for permanent magnet synchronous motors[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2019.
- [3] 温万昱. 基于热管的新能源汽车电机散热系统设计与性能分析[D]. 广州: 华南理工大学, 2017.
WEN Wanyu. Design and performance analysis of heat dissipation system based on heat pipe applying to motor of new energy vehicle[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2017.
- [4] 乐智. 纯电动汽车电机驱动系的冷却系统设计与研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2010.
YUE Zhi. Design and research on the cooling system of pure electric vehicle motor drive system[D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2010.
- [5] 罗英露, 赵安然, 王鹏, 等. SiC逆变器供电的牵引电机匝间绝缘性能评估[J]. 绝缘材料, 2024, 57(4): 88-99.
LUO Yinglu, ZHAO Anran, WANG Peng, et al. Evaluation on performance of turn-to-turn insulation for traction motor powered by SiC inverter[J]. Insulating materials, 2024, 57(4): 88-99.
- [6] 汤勇, 孙亚隆, 郭志军, 等. 电机散热系统的研究现状与发展趋势[J]. 中国机械工程, 2021, 32(10): 1135-1150.
TANG Yong, SUN Yalong, GUO Zhijun, et al. Development status and perspective trend of motor cooling systems[J]. China mechanical engineering, 2021, 32(10): 1135-1150.
- [7] 胡雄辉. 地铁车辆用永磁直驱同步牵引电动机的热分析[J]. 机车电传动, 2020(3): 8-11.
HU Xionghui. Thermal analysis of permanent magnet direct drive synchronous traction motor for metro vehicles[J]. Electric drive for locomotives, 2020(3): 8-11.
- [8] 宋安东, 张佳峰, 高生岚. 大功率永磁直驱电力机车牵引电机散热研究[J]. 机车电传动, 2022(1): 116-119.
SONG Andong, ZHANG Jiafeng, GAO Shenglan. Research on traction motor heat dissipation of high-power permanent magnet direct drive electric locomotive[J]. Electric drive for locomotives, 2022(1): 116-119.
- [9] 张晓芳. 交流传动内燃机车变流器与牵引电机联合冷却系统研究[J]. 机车电传动, 2020(2): 100-103.
ZHANG Xiaofang. Combined cooling system for converter and traction motor on AC drive diesel locomotive[J]. Electric drive for locomotives, 2020(2): 100-103.
- [10] 丁树业, 申淑锋, 杨智, 等. 高速永磁同步电机流固耦合仿真与性能分析[J]. 电机与控制学报, 2021, 25(10): 112-121.
DING Shuye, SHEN Shufeng, YANG Zhi, et al. Fluid-solid coupling simulation and performance analysis of high-speed permanent magnet synchronous motor[J]. Electric machines and control, 2021, 25(10): 112-121.
- [11] 熊万里, 徐光帅, 吕浪, 等. 高速大功率电机转子通风孔散热效率优化研究[J]. 机械科学与技术, 2014, 33(5): 735-740.
XIONG Wanli, XU Guangshuai, LYU Lang, et al. Optimizing heat dissipation efficiency for air-cooling holes of rotor of high-speed and large-power motor[J]. Mechanical science and technology for aerospace engineering, 2014, 33(5): 735-740.
- [12] JANG J H, CHIU H C, YAN W M, et al. Numerical study on electromagnetics and thermal cooling of a switched reluctance motor[J]. Case studies in thermal engineering, 2015, 6: 16-27.
- [13] 王柳, 林江波. 涡旋压缩机用电机冷却系统CFD传热分析[J]. 流体机械, 2017, 45(2): 57-61.
WANG Liu, LIN Jiangbo. Conjugate heat transfer CFD analysis of motor applied in scroll compressor[J]. Fluid machinery, 2017, 45(2): 57-61.
- [14] 丁树业, 郭保成, 冯海军, 等. 变频控制下永磁同步电机温度场分析[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(9): 1368-1375.
DING Shuye, GUO Baocheng, FENG Haijun, et al. Temperature field investigation of permanent magnet synchronous motors controlled by the frequency conversion control system[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(9): 1368-1375.
- [15] 张伟, 庞聪, 张洁, 等. 全封闭大功率永磁牵引电机的温度场数值计算[J]. 电机与控制应用, 2021, 48(11): 58-64.
ZHANG Wei, PANG Cong, ZHANG Jie, et al. Numerical calculation of temperature field of totally enclosed high-

- power permanent magnet traction motor[J]. Electric machines & control application, 2021, 48(11): 58-64.
- [16] 李晓艺, 唐志国, 张丹阳, 等. 双水道液冷永磁同步电机散热特性分析[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2018, 41(6): 726-730.
- LI Xiaoyi, TANG Zhiguo, ZHANG Danyang, et al. Analysis of heat dissipation characteristics of double channel liquid cooled permanent magnet synchronous motor[J]. Journal of Hefei university of technology(natural science), 2018, 41(6): 726-730.
- [17] 全国旋转电机标准化技术委员会. 三相异步电动机试验方法: GB/T 1032—2023[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- National Technical Committee on Rotating Electrical Machinery Standardization. Test procedures for three-phase induction motors: GB/T 1032—2023[S]. Beijing: Standards Press of China, 2022.

Cooling structure optimization and temperature field simulation of asynchronous motor

ZHAO Boyang^{1,2}, ZHANG Wei^{1,2}, ZONG Zhenlong^{1,2}, PANG Cong^{1,2}

(1. CRRC Yongji Electric Co., Ltd., Yongji, Shanxi 044502, China;

2. Shanxi Key Laboratory of Traction Motor for Rail Transit, Yongji, Shanxi 044502, China)

Abstract: In order to make the motor temperature rise meet the insulation design requirements, this study takes a 6 000 kW asynchronous motor as its object of study. Based on the original model, a structural optimization model of the motor cooling air path was proposed, a numerical calculation model of the three-dimensional temperature field of the motor was established, and the steady-state temperature field of the motor under the rated conditions was solved and analyzed by using the numerical calculation method. The impact of structural modifications on motor temperature rise before and after optimization was further analyzed. Results show that the optimized structure reduces average temperature rise in the stator and the rotor by at least 19.93%, and the reduction of the minimum radial distance between the housing and the stator core decreases the stator core temperature rise by 10.60% and the rotor temperature rise by more than 10%. These findings demonstrate the optimization scheme's feasibility and provide valuable references for cooling structure optimization design for asynchronous motors.

Keywords: asynchronous motor; temperature field; cooling structure; optimization design; simulation