

真空管道中直线电机冷却方案研究*

姚应峰¹, 张耀平², 于照洋²

(1. 西南交通大学牵引动力国家重点实验室, 四川 成都 610031; 2. 西南交通大学真空管道运输研究所, 四川 成都 610031)

摘 要: 真空管道运输的可行性已经得到国内外专家的论证。但是作为其主要的推动力部件直线电机, 在真空环境下工作所产生的热量累积是一个不可忽视的问题。为此, 本文设计了两种不同的冷却方案, 方案 a) 和方案 b)。并利用 FLUENT 软件对这两种方案的传热性能进行计算和分析。结果表明, 方案 a) 的冷却性能比方案 b) 优良。

关键词: 真空管道运输; 直线电机; 真空; 热量累积; 冷却方案

中图分类号: U172.4

文献标识码: B

文章编号: 1002-0322(2007)05-0066-03

Analysis of cooling schemes of linear motor in evacuated tube

YAO Ying-feng¹, ZANG Yao-ping², YU Zhao-yang²

(1.State Key Laboratory of Traction Power, Southwest Jiaotong University, Chengdu Sichuan,China,610031

2.Institute of Evacuated Tube Transportation, Southwest Jiaotong University, Chengdu Sichuan,China,610031)

Abstract: The feasibility of ETT (Evacuated Tube Transportation) has been verified by foreign and domestic experts. However, the accumulation of heat generated by linear motor working in vacuum environment isn't allowed to ignore, which is one of the integral power supply parts. So, two cooling schemes are designed, i.e., the schemes (a) and (b). And both are computed and analyzed by the software FLUENT for their heat transfer performance. The result shows that the cooling performance of scheme (a) is better than scheme (b).

Key words: ETT; linear motor; vacuum; heat accumulation; cooling scheme

真空管道运输 (Evacuated Tube Transportation, 简称 ETT) 是 21 世纪一种全新的交通运输模式^[1]。在文献[2]中, 作者分析和论证了发展 ETT 的可行性及重要意义。但作为 ETT 的主要推进部件直线电机, 在真空环境下工作所产生的热量累积将严重影响电机的性能和行车的安全。

在文献[3][4][5]中, 作者对不同类型的直线电机的温度场进行了分析。但在真空环境下有所不同, 忽略辐射传热和极微小的空气对流传热, 电机工作产生的热量几乎全部累积下来, 如不采取措施将产生严重后果。

现有的直线电机冷却方案可以分为水冷、油冷和风冷。如在真空环境下, 采取风冷, 则效率比较低; 采取油冷, 成本较高, 一旦泄漏, 将造成污染

和严重的事故。为此, 本文采用水冷并提出了两种通过冷却水管冷却的方案, 并对其冷却性能做出计算和分析, 以对进一步的研究提供参考。

1 方案提出

电动机在能量转换过程中的各种损耗是发热的原因。损耗主要包括绕组铜损耗、铁心损耗和机械损耗。铜损耗主要是电流作用于电机初级线圈电阻产生的热量; 铁心损耗是主磁场在铁心中交变产生的损耗; 机械损耗主要是摩擦引起的损耗。参考文献[4], 铜损耗占主要部分, 铁损耗和机械损耗都很小, 故直线电机的主要冷却部位是初级绕组线圈和铁心。

直线电机在真空管道中的布置: 将电机的初

收稿日期: 2007-06-11

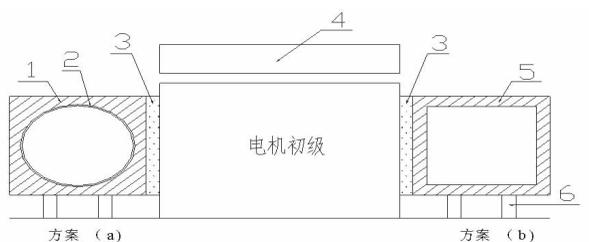
作者简介: 姚应峰 (1981-), 男, 河南省汝州市人, 硕士生。

联系人: 张耀平, 副教授。

* 基金项目: 国家自然科学基金, 项目编号: 50678152

级线圈和铁心布置在管道内壁上的永磁轨道内, 将次级固定在磁悬浮车上, 这样初级是始终静止的。当初级线圈通电后, 产生交变磁场, 次级产生感应电动势和电磁力, 带动车一起运动。这种电机布置方式一方面可以减轻车体的重量, 另一方面便于冷却装置的安装。

基于以上分析, 本文设计了两种以水为冷却介质的冷却方案, 即方案 a) 和 b)。其端面设计简图如图 1 所示。其中, 方案 a) 采用散热片和冷却圆管相结合的冷却方法。方案 b) 采用冷却方管冷却的方法。为了使电机初级线圈与方案 a) 的散热片和方案 b) 的冷却方管外壁充分的接触以使热量更好的传递, 在散热片和线圈之间, 以及冷却方管外壁和线圈之间填充导热性能良好的环氧树脂。



1. 散热片 2. 冷却圆管 3. 环氧树脂 4. 电机次级
5. 冷却方管 6. 支座

图 1 方案(a)和(b)的端面设计简图
Fig.1 Schematic of end surface design in schemes(a) and (b)

在结构设计方面, 方案 a) 由于采用了散热片, 使得结构变得复杂, 建设成本也会增加, 但是冷却面积却大大增加。方案 b) 由于采用冷却方管外壁的一个面直接和环氧树脂相接触, 结构简单, 但冷却面积却大大减少。为了比较两种方案的冷却性能, 下面针对两种方案进行传热计算和分析。

2 有限元分析

2.1 模型假设

(1) 在真空管道中, 由于真空度很高, 忽略空气的对流传热; 由于辐射传热占很小的比例, 故不考虑辐射传热; (2) 环氧树脂填充层很薄, 不计其导热热阻; (3) 散热片和冷却水管均采用导热性能优良的铝材, 忽略管壁的导热热阻; (4) 在分析计算中, 只分析对电机性能影响的最不利的工况, 即当真空管道里磁悬浮车发车密度很高的情况。这样导致的结果是电机的工作时间增长, 考虑极端的情况, 即电机连续工作的工况; (5) 假设直线电机初级绕组线圈采用 C7 级绝缘, 极限工作温度为 180 以上, 这里取 180 。

2.2 方案 a) 的有限元模型及计算

本方案中涉及两相传热的问题。在 GAMBIT2.2 中对散热片和冷却水管进行三维模型建立和网格化分, 端面如图 2 所示。冷却圆管和散热片的长度为 1 m。散热片端面尺寸为 5 cm×5 cm, 冷却圆管直径为 4.5 cm。

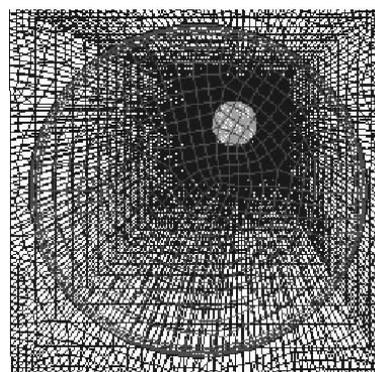


图 2 方案 a) 的网格划分端面图
Fig.2 Grid pattern of end surface in scheme (a)

热边界条件设置。散热片与环氧树脂相接触的面为温度边界条件 (Temperature), 其它三个面为绝热边界条件 (wall)。对于冷却圆管, 设置冷却圆管的一端入口为速度边界条件 (velocity_inlet), 另一端出口为流出边界条件 (outflow)。

将网格文件导入 FLUENT6.2 进行求解。当入口水流速度 $v=0.08$ m/s 时计算得到流体出口温度的分布云图, 如图 3 所示, 面 1 为与环氧树脂相接触的面。

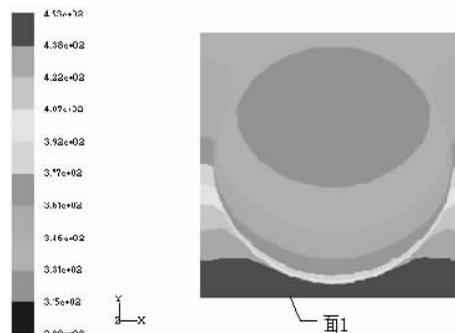


图 3 $v=0.08$ m/s 的出口端面温度分布云图
Fig.3 Cloud diagram of temperature distribution on outlet end surface at $v=0.08$ m/s

2.3 方案 b) 的有限元模型及计算

本方案中涉及单相流体流动传热问题。在 GAMBIT2.2 中对冷却方管进行三维模型建立和网格划分, 端面如图 4 所示。冷却方管的长度为 1 m。方管端面尺寸为 4 cm×4 cm。

热边界条件设置。冷却方管与环氧树脂相接触的面为温度边界条件 (Temperature), 其它三个面为绝热边界条件 (wall)。对于冷却方管, 设置冷却方

管的一端入口为速度边界条件 (velocity_inlet), 另一端出口为出流边界条件 (outflow)。

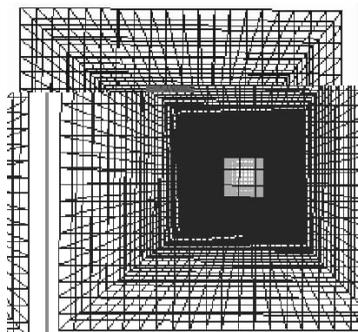


图 4 方案 b) 的网格划分端面图

Fig.4 Grid pattern of end surface in scheme(b)

将网格文件导入 FLUENT6.2 进行求解。当入口水流速度 $v=0.08\text{ m/s}$ 时计算得到流体出口温度的分布云图, 如图 5 所示, 面 1 为与环氧树脂相接触的面

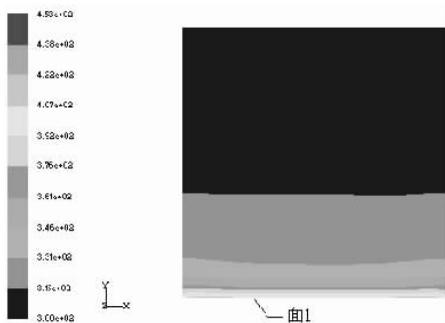


图 5 $v=0.08\text{ m/s}$ 的出口端面温度分布云图

Fig.5 Cloud diagram of temperature distribution on outlet end surface at $v=0.08\text{ m/s}$

2.4 计算结果分析

通过上面对方案 a)、(b) 的传热计算, 分别得出了当入口水流速度 $v=0.08\text{ m/s}$ 时出口端面的温度分布云图 (上述图 3 与图 5)。从图 3、图 5 中可以看出: 温度在两种方案的出口端面分布均呈现由面 1 向其法向递减的趋势; 在图 3 中, 温度在 407 K 以上的区域全部分布在散热片区, 而在图 5 中几乎看不到 407K 以上的区域, 这是由于图 3 中方案 a) 采用铝材散热片, 图 5 中方案 b) 直接采用水散热, 而铝的导热系数远远大于水的缘故。

为了对两种方案的传热性能作比较, 可以求出在相同的流体流量 Q 下水流出口端面的温度平均值。水的流量可以用右式计算:

$$Q = \rho_{\text{水}} Av$$

式中 Q ——水的流量

$\rho_{\text{水}}$ ——水的密度

A ——水管横截面积

v ——水的流速

在求解方案 a) 的水流出口端面平均温度时,

不考虑散热片区域。经过计算得出不同流量下两种方案水流出口端面的平均温度曲线如图 6 所示。

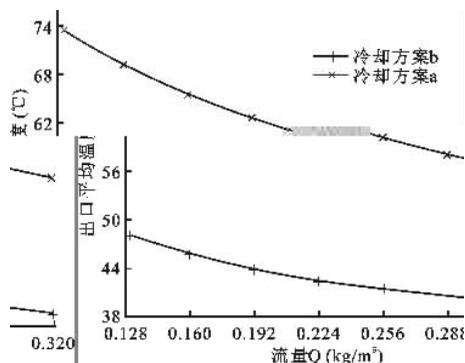


图 6 两种方案水流出口端面的平均温度曲线

Fig.6 Average temperatures at water-flow outlet end surface in both schemes(a) and (b)

从图 6 中可以得出: 在同一种方案中, 出口端面的平均温度随着流体流量的增加而降低; 在同一流量下, 方案 a) 的出口端面平均温度比方案 (b) 要高 25 左右。因此, 方案 a) 的冷却性能要比方案 b) 优越。在工程设计时可以参考方案 a) 的设计。

3 结论

(1) 在同一种方案中, 流体出口端面的平均温度随着流体流量的增加而降低。

(2) 在同一流量下, 方案 a) 的出口端面平均温度比方案 b) 要高 25 左右。因此, 方案 a) 的冷却性能要比方案 b) 优越。

(3) 在利用 FLUENT6.2 进行工程问题的研究时, 应注意对问题做适当的简化, 以达到保证计算精度的前提下, 减少计算机资源的消耗。

参考文献

- [1] 张耀平.真空管道运输—真空产业发展的新机遇[J].真空, 2006, 43(2) .
- [2] 张耀平, 梅绍祖, 曾学贵. ETT —引领 21 世纪的高速运输[J]. 世界科技研究与发展, 2002, 39(2) .
- [3] 孙建宏,丁文,鱼振民. 扁平型直线异步电机温度场的计算和分析[J].电机与控制应用,2006,33(1).
- [4] 刘泉等.平板式永磁直线电动机的热分析与冷却系统设计[J].北京理工大学学报,2005(03) .
- [5] 孙洁,刘成颖.永磁同步直线电动机冷却系统结构设计[J].现代制造工程,2006(4).
- [6] 魏永田, 孟大伟. 电动机内热交换 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.