

受电弓滑板载流温度静态特性研究

刘吉¹,张卫华¹,周宁¹,黄冠华²,王宗明³,邓奇³

(1. 西南交通大学 牵引动力国家重点实验室,四川 成都 610031;

2. 北京海东青机电设备有限公司,北京 101300; 3. 上海申通地铁集团有限公司,上海 201103)

摘要:针对电气化铁路运营带来的受电弓-接触网问题,仅从传统的动力学角度研究分析已显不足,受电弓滑板载流温度分布关系的深入研究是对其的有力补充。从热学角度出发,通过将流入受电弓电流基于等效电功率形式施加到受电弓滑板上,建立滑板接触点附近的温度分布模型;运用 FLUKE 热像仪测量同等受流条件下滑板接触点温度分布规律,验证了仿真方法的有效性,为弓网系统电-热耦合关系进一步研究提供参考。

关键词:铁路;电气化;受电弓;电流;温度;静态

中图分类号:U22 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2019)04-0010-04

Research on Temperature and Static Characteristics of Pantograph slider

LIU Ji¹, ZHANG Weihua¹, ZHOU Ning¹, HUANG Guanhua², WANG Zongming³, DENG Qi³

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

2. Beijing Haidongqing Electrical and Mechanical Equipment Co., Ltd., Beijing 101300, China;

3. Shanghai Shentong Metro Group Co., Ltd., Shanghai 201103, China)

Abstract: It is not enough to use the traditional dynamic method to do the study and analysis of pantograph-catenary on electrified railway. Deep study of its current-temperature distribution can be mode as its complement. From dynamic perspective, the current is supplied from the pantograph to the slider with equivalent electric power mode. The model of the temperature distribution around the contact point is established, And then, the temperature distribution under the same condition is tested by using FLUKE imager. The simulation results are used to verify its effectiveness. A reference is given to researching on the electric-heat couple relationship of the pantograph-catenary.

Keywords: railway; electrify; pantograph; current; temperature; static

0 引言

随着城市化进程的不断加快,尤其是以向大都市圈融入方式的发展将会是我国今后城市化发展的主流,而都市与都市之间、都市与周边城市之间、城区与卫星城之间的交通往来将更加依赖于轨道交通,电气化铁路又占了绝大部分。电气化铁路列车的运营也带来了一系列弓网受流问题。为保障列车安全稳定运行,对弓网受流进行研究是有必要的。传统的弓网受流问题致力于解决其动力学和电接触问题,而对弓网热的研究还比较少。吴积钦^[1]研究了弓网静态电接触时稳态的热分析和滑动电接触的暂态热效应以及电弧作用下的瞬态热分析;陈忠华^[2]等分析与计算了弓网系统在摩擦条件下滑板的温度;杨洋^[3]

建立了弓网电接触试验台温度测量系统;王英^[4-5]基于暂态热功率平衡原理建立了一个针对动车组升降弓取/断流时双点接触和左右滑板小离线情况下接触线电气暂态热流温升模型,得出了弓网系统单/双点滑动电接触的热流分布差别;李华伟^[6]研究了考虑对流换热和热辐射作用下弓网滑动接触温度场计算;潘凯元^[7]对弓网系统滑动接触区域温度场做了仿真研究;郭梦琪^[8]等分析了不同接触线在不同环境中电弧作用下的温度分布特性;郭凤仪^[9]等对弓网系统滑动电接触瞬态温度场进行了仿真研究,对滑板温度特性的进一步研究具有重要的借鉴意义。对于温度仿真,刘超^[10]等用 ANSYS 分析了不同工艺参数对温升的影响。在温度监测方面,王荣振^[11]基于 Labview 实现对温度实时监控,郭航宇^[12]等用热像仪实现对目标跟踪,对实验应用有参考意义。

基金项目:国家自然科学基金(51475391);国家重点研发计划课题(2016YFB1200401);上海市科学技术委员会科研计划项目(17DZ1204501)

作者简介:刘吉(1993—),男,四川宜宾人,硕士研究生,研究方向为弓网机电耦合。

通信作者:周宁,男,博士,助理研究员,主要研究方向为弓网关系课题,已发表论文30余篇,其中SCI/EI收录15篇。先后主持参与科研项目20余项,其中973计划项目2项,863计划项目1项,国家科技支撑计划项目2项,国家杰出青年科学基金1项,国家自然科学基金2项,铁道部科技开发项目3项,国际合作项目1项,国家重点研发计划先进轨道交通重点专项2项。授权实用新型专利1项,参与编写专著2本,2016年获国家科学技术进步奖二等奖。

从现有的文献来看,对受电弓的热分析研究还不够深入,因此有必要对受电弓的受热情况进行研究,尤其是滑板载流时的热分布规律研究。本文在参考借鉴前人工作的基础上,将热分析运用到实际的受电弓上,基于 ANSYS workbench 软件的热分析模块对 TSG22 型地铁受电弓进行了仿真,分析受电弓在不同电流作用下其热分布情况。随后,在实验室条件下利用 FLUKE 热像仪对受电弓进行非接触式测量,测量受电弓在受流条件下的温度变化规律,并与仿真结果进行了对比,验证了仿真结果模型的可靠性。

1 研究方法

建立受电弓滑板载流时温度分布模型,基于有限元软件对受电弓做瞬态仿真分析。根据参考文献,设在环境温度下空气对流系数为 $10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ^[13],设置对象为受电弓与空气有接触的所有面。对受电弓滑板表面施加热流率,以表征电接触时施加的电功率,假设所有的电阻消耗用于生热,电接触时接触电阻取 $22 \text{ m}\Omega$ ^[1],对滑板输入功率可用式(1)表示:

$$P = I^2 R \quad (1)$$

瞬时状态下对受电弓系统输入的热量为 $Q = Pt$ 。整个热分析过程中只考虑对流和传导,辐射对于受电弓的热传输过程并不会造成明显的影响,因此可以忽略辐射的作用。瞬态热平衡有表达式:

$$[C] \{ \dot{T} \} + [K] \{ T \} = \{ Q \} \quad (2)$$

其中:[C]为比热矩阵,考虑系统内能增加; $\{ \dot{T} \}$ 为温度对时间的导数;[K]为热传导矩阵,包含热系数、对流系数等; $\{ T \}$ 为温度向量; $\{ Q \}$ 为热流率向量,包括热生成。

1.1 参数设置

仿真平台中,设置环境温度为 18.8°C ,受电弓各部件材料热属性参数设置见表 1。

表 1 受电弓热参数

部件	密度/ (kg/m^3)	热导率/ ($\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$)	比热/ ($\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$)
滑板(碳)	2 400	200	469
托架(铝合金)	2 770	150	875
上框架(铝合金)	2 770	150	875
拉杆(铝合金)	2 770	150	875
下框架(钢)	7 850	60.5	434
底架(钢)	7 850	60.5	434

1.2 计算结果

为了探索受电弓载流情况下滑板受热情况,先计算了 100 A 电流时受电弓受热情况。随后设计了包括 200 A ~ 600 A 的工况,比较受电弓在不同电流作用下受热规律分布情况,计算时长定为 140 s。考虑到拉出值的范围为距离滑板中央 250 mm 左右,因此提取距离接触点处 100 mm、200 mm 和 300 mm 位置处的温度结果,以此分析距离接触点不同位置处的温度关系。

在受电弓滑板载流电流为 100 A,瞬态仿真 140 s 工况下,

在滑板表面中间电接触位置处施加载荷,如图 1 所示。

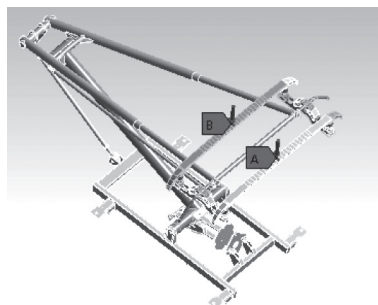


图 1 滑板表面中间电接触位置载荷

其他参数不变的情况下,依次输入电流为 200 A ~ 600 A,间隔 100 A,共 5 组研究不同载流电流情况下滑板的受热情况,并与 100 A 的结果做对比,得出滑板接触点处和滑板托架温度结果,如图 2、图 3 所示。

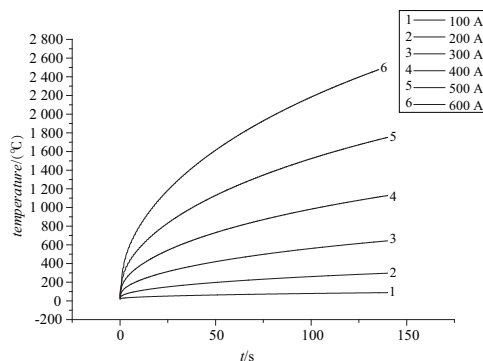


图 2 不同电流条件下滑板接触点处温度结果

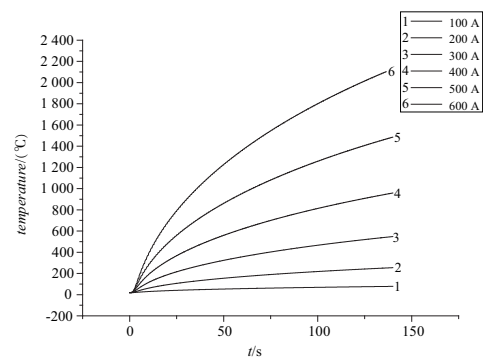


图 3 不同电流条件下滑板托架温度结果

从图 2 和图 3 可以看出,不同大小的电流作用下,滑板及托架的温度变化趋势都是一致的,温度随时间变化趋势是先迅速上升,而后上升的速率减小,在图上对应的是刚开始曲线斜率较大,后慢慢减小;电流越大,温度越高。由于热载荷是直接作用在滑板而不是托架上,滑板的温度比托架要稍高些。在作用 140 s 后,100 A 时,滑板最高温度为 88°C ,400 A 时温度就能轻易升到 1000°C ,600 A 时滑板最高温度可达 2500°C 以上,托架的温度也达到了 2000°C 以上,超过了托架(铝合金)材料的熔点 660°C 。可见,在滑板上静止时长时间作用大电流是很危险的。

1.3 不同位置处结果分析

考虑到实际运行中,为了减少滑板的不均匀磨损,受

电弓与接触网的接触点在滑板上是动态变化的。为了研究受电弓滑板动态载流时的滑板受流情况,分别提取滑板中央位置以及距离滑板中央 100 mm、200 mm、300 mm 处的仿真结果进行分析,图 4 为不同接触位置示意图。

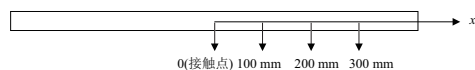


图 4 滑板上提取点示意图

距离接触位置离滑板中央 100 mm、200 mm、300 mm 处滑板表面的温度结果如图 5-图 7 所示。

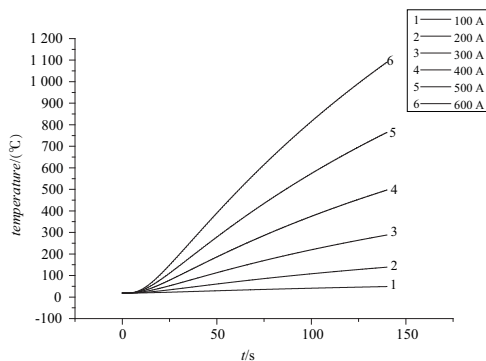


图 5 100 mm

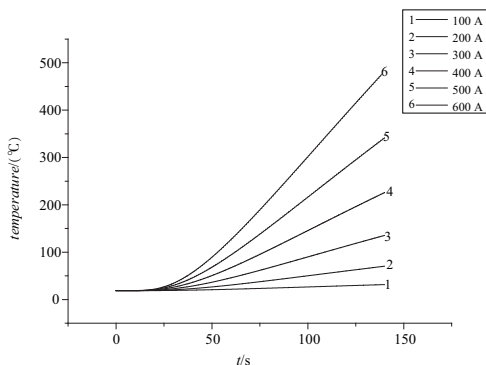


图 6 200 mm

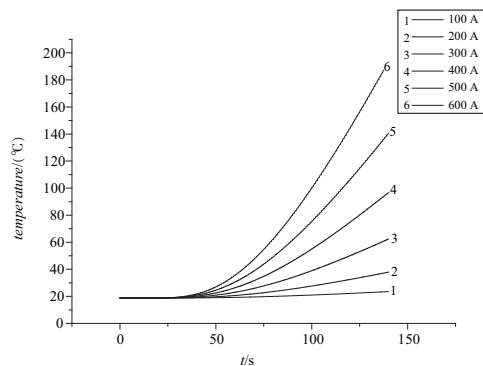
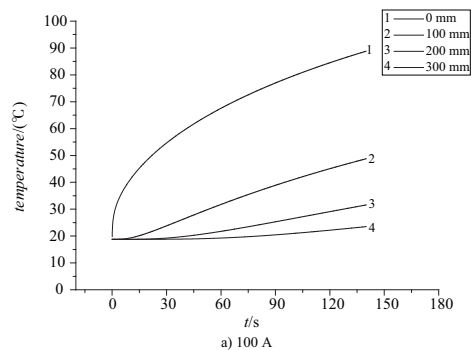


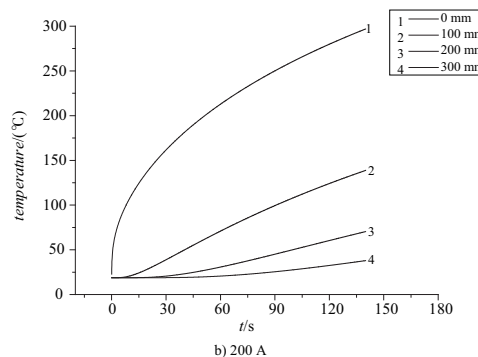
图 7 300 mm

从图 5-图 7 看出,在同一处位置,电流越大,温度越高;在距离滑板中央较远的接触点位置,温度刚开始上升得较缓慢,300 mm 时大概 30 s 后才开始迅速上升。这是由于热传导需要一定的时间,离热源越远,温度上升的越

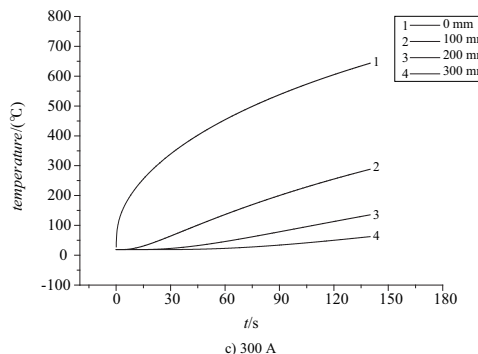
迟。相同电流下,不同位置处温度变化如图 8 所示。



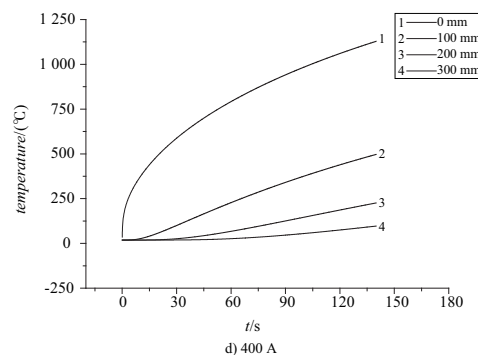
a) 100 A



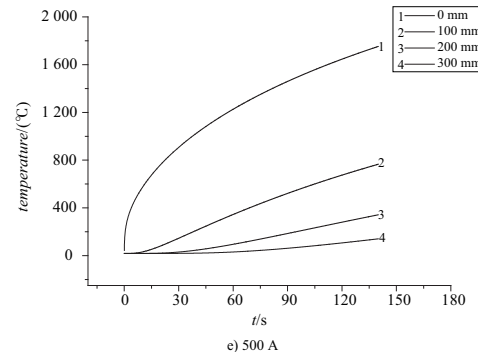
b) 200 A



c) 300 A



d) 400 A



e) 500 A

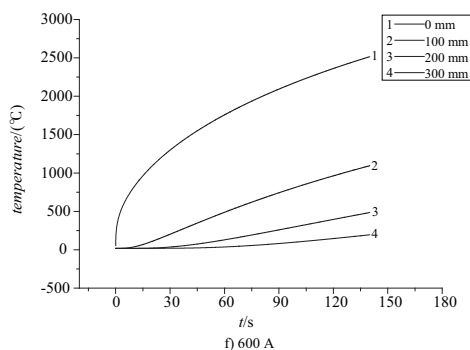


图 8 相同电流作用下,不同位置处温度变化

不管是在何种电流工况下,不同位置温度变化的趋势都是一致的,距离接触点位置越远,温度越低,温度上升的越迟缓。为了便于更清楚研究不同位置温度情况,图 9 给出了载流 140 s 时,不同载流电流时,温度在不同接触点位置的变化情况。

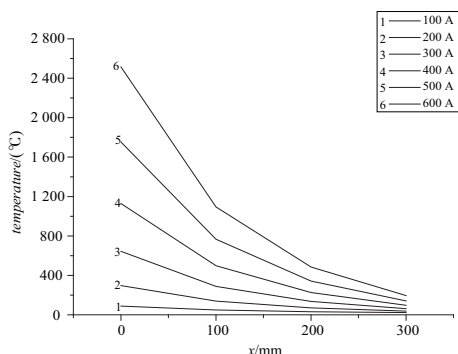


图 9 不同位置处温度

离接触点位置越远,温度越低,并且离得越远温度降低速率越慢;同一位置处,电流越大,曲线斜率越大,温度降低速率越快。

2 实验对比

为了验证仿真结果的可靠性,采用红外热成像仪 (FLUKE TIX640) 进行了验证试验。试验时,通过弓网载流试验台给弓网系统施加 100 A 和 200 A 电流,利用热像仪对弓网系统的温度变化进行采集,对结果进行处理后,得到了弓网接触点附近温度随时间变化结果,并同时与 100 A 和 200 A 时仿真情况下做对比,如图 10、图 11 所示。

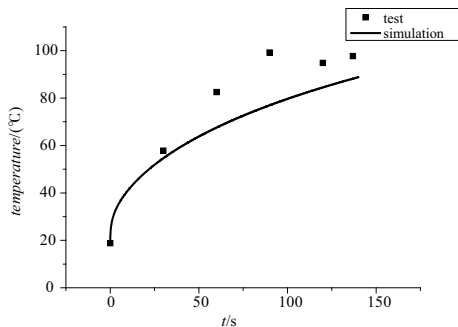


图 10 100 A 温升时程曲线

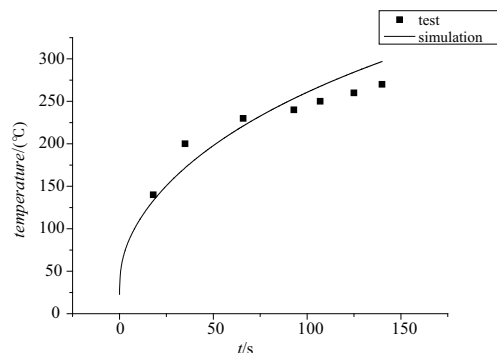


图 11 200 A 温升时程曲线

图 12 给出了 100 A 交流电下部分时间点的红外图像 (图片中的数值表示采集区域内温度最高的点,即受电弓与接触线接触附近的点)。

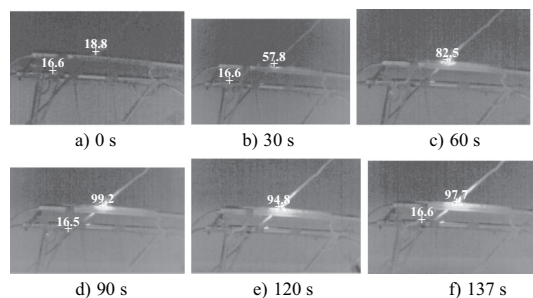


图 12 实验云图

同样,在仿真情况下 100 A 时接触点的部分时间点温度图像如图 13 所示。

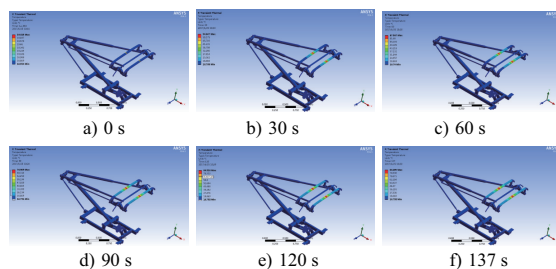


图 13 仿真云图

同时,为了便于更清晰地辨识,表 2、表 3 给出了 100 A、200 A 两种工况下实验与仿真数据。从表中数据看,除了个别数据点误差较大,超过了 20%,其余各测点误差不超过 20%,剔除误差较大的坏点后,可认为仿真与实验是接近的。

表 2 100 A 时实验与仿真数据

时刻 t/s	0	30	60	90	120	137
实验温度 $T/(^{\circ}\text{C})$	18.8	57.8	82.5	99.2	94.8	97.7
仿真温度 $T/(^{\circ}\text{C})$	18.8	54.6	67.6	77.0	84.5	88.2
相对误差 $/(\%)$	0	5.8	36.8	28.8	12.2	10.8

(下转第 36 页)