

# 广州地铁3号线 RLS-E2 型车门的 维修及故障分析

赵伟龙

(广州地铁集团有限公司 运营事业总部, 广东 广州 511400)

**摘要:** 介绍了 RLS-E2 型门系统结构及功能, 结合广州地铁 3 号线的运营特点, 根据客室车门在 120 km/h 速度级别列车上的使用状态, 阐述了维修过程中的作业内容和作业流程, 对常见故障进行了分析。

**关键词:** 广州地铁 3 号线; 城轨列车; RLS-E2 型车门; 大修; 架修; 日常检修

中图分类号: U231 文献标识码: B

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2016.05.030

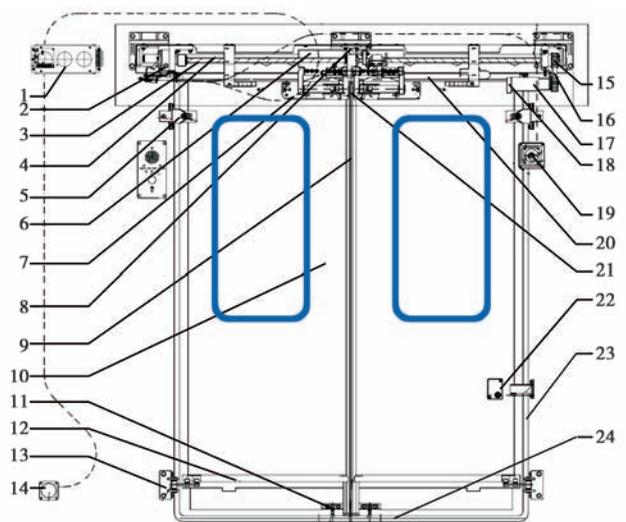
## 0 引言

广州地铁 3 号线列车为西门子与中车株洲电力机车有限公司联合生产的 B 型车 (广州地铁第一批采购的 B 型车, 下文中用 B1 型车代替), 用在国内首个采用 120 km/h 高速城轨列车的地铁线路上, 该线路也是最早进行该速度级别城轨列车架修和大修的地铁线路。B1 型车自 2005 年上线运营, 2010~2012 年完成 60 万 km 架修 (实际扣修里程 60 万~80 万 km), 2013 年开始进行 120 万 km 大修 (实际扣修里程 130 万 km)。

B1 型车客室侧门采用 RLS-E2 型双页自动塞拉门系统, 相同或相似型号车门在国内外城轨车辆上已经被广泛应用, 但用于 120 km/h 的高速城轨列车在国内尚属首次。本文旨在通过对广州地铁 3 号线 B1 型车门的大修内容及流程的阐述, 对同行业相似作业项目的开展提供借鉴。

## 1 RLS-E2 型车门系统结构及功能

RLS-E2 型车门系统主要包括车门控制单元 (DCU)、车门驱动机构 (含驱动电机、传动锁闭机构及其配件)、门体结构 (含门页、下摆臂) 等, 如图 1 所示。



1—DCU; 2—制动器; 3—丝杆; 4—导杆; 5—平衡压轮; 6—导筒; 7—携门架; 8—S1; 9—护指胶条; 10—门页; 11—下挡销; 12—下导轨; 13—下摆臂; 14—紧急进入装置; 15—齿形带轮; 16—齿形带; 17—电机; 18—传感器; 19—紧急解锁装置; 20—上导轨; 21—偏心轮; 22—切除装置; 23—密封胶条; 24—门槛

图 1 RLS-E2 型门系统结构

其中 DCU 与车辆控制单元 (VCU) 连接, 处理与其连接的车门相关的所有命令。

每个门页均是铝制夹层结构, 由橡胶条 (包括护指胶条和密封胶条) 环绕。其内边缘上装有空心的护指胶条, 以保护它所碰到的阻挡物, 外边缘围绕密封胶条, 能够与门框贴合起密封作用。在门页的外边缘, 平衡压轮 (安装在门框上) 在车门闭合位置与门页啮合, 在垂直方向对车门限位。下挡销位于门页下边缘, 当车门关闭后与门槛处的燕尾槽啮合, 防止门页受横向力引起偏移。

上下导轨用于引导门页开关的路径, 其形状和位置决定了门页侧移和塞拉动作。顶部导轨固定在驱动单元安装架上, 每个携门架上的滚子在顶部导轨内运动。下部导轨安装在门页上, 安装在门框上的 2 个下摆臂与下部导轨啮合, 以便引导每个门页摆入、摆出。

2 个门页通过携门架挂于 2 个导筒上, 导筒内嵌滚柱轴承, 可在导杆上滑动。此外, 导筒还用以保证携门架与导杆之间的平行度。每个携门架均通过 2 个带偏心调节轮的轴连接到相应的携门架座上, 通过导筒

和携门架将门页的全部重量传递到导杆。

车门的运动则通过 110 V 直流电机产生，电机将转速经过星型减速器减速，再通过齿型带轮、齿形带传递给丝杆螺母副机构。丝杆一半为左旋，另一半为右旋，分别用于驱动 2 个门页相向或背向运动。丝杆螺母通过一个平行连杆机构连接到导筒上，从而将电机的转动传递给车门实现开关动作。

丝杆的一端用法兰连接有一个电磁齿形制动器，当关闭客室侧门时，制动器啮合，从而以机械方式防止门页开启。当开启门页时，制动器被以电磁方式缓解，电机即能以开启方向转动丝杆以打开车门。另外，为应对紧急状态下的乘客疏散或外部人员进入，可通过操作紧急解锁装置和紧急进入装置（仅在部分车门上安装）实现手动缓解制动单元。

在每个门的一侧门页上，安装一个可以通过钥匙转动的切除装置，在车门发生故障无法立即排除时，可以手动将车门关闭后将门页切除并一直保持关闭状态，直至列车退出服务。

在门页上部、制动器、切除装置分别装有行程开关 S1、S2、S4，分别用以向门控器发送车门是否关闭、制动是否缓解、车门有无切除等信号。

## 2 车门维修

### 2.1 车门日常检修

日常检修是列车在运营期间根据运营时间制定的各项检修计划，不涉及架车及部件拆装。广州地铁 3 号线列车的日常检修根据时间分为 4 个等级，各个等级对应的维修内容如表 1。

表 1 列车日常检修计划

检修等级		车门检修内容	
年 检	半 年 检	日 检	①在司机室中操作开关门，检查门开、关情况及客室关门报警声；
			②检查车门橙色（开关门指示）和红色指示灯（切除指示）指示功能；
		月 检	③检查紧急解锁装置和车门内外及橡胶条状态；
			④检查客室车门下挡销、清洁下挡销燕尾槽，检查各紧固件及门页平整度；
年 检	半 年 检	月 检	⑤检查电磁制动器状态，紧急解锁时，制动器的最小齿隙应为 0.5 mm，车门关闭后 2 个齿形制动圈的齿面重新啮合好；
			⑥检查驱动机构、车门导筒的卡簧状态，检查导筒外观有无裂纹，检查齿形带有无裂纹或断裂，检查电机安装螺栓、齿形带轮与销轴无相对转动；
			⑦清洁客室侧门护指胶条，并喷橡胶保护剂；
			⑧开关门、障碍物检测（抽检左右两侧各 2 个门）、紧急解锁及门切除功能检测；
			⑨检查客室车门 S1 行程开关滚子与杠杆触发臂之间须有可见的缝隙；
			⑩测量两门页“V 型”为 2~5 mm，下挡销与燕尾槽应保持 1~3 mm 的侧间距、2~3 mm 的垂直间隔；
			⑪在 S2 未动作之前，用塞尺测量 S2 与接触臂之间的距离应为 0.5~1 mm，调整紧急解锁装置钢丝绳弹簧长度为 110 <sup>+1</sup> mm 之间；
			⑫对携门架紧固螺栓进行扭力矫正；
			⑬清洁检查丝杆、车门导杆、上导轨、下摆臂、携门架滚轮并重新润滑，车门导筒补加油脂；
			⑭检查平衡压轮，在门关好的状态下检查滚轮是否可以滚动，是否可将门页压紧，润滑滚轮。

### 2.2 车门架修

根据维修手册的维修间隔要求，B1 型车每 60 万 km 或运营时间到达 5 年即需要进行架修（以先到条件为准）。由于 B1 型车运营速度高且运营线路较长，至 2010 年初，仅 4 年时间列车运营里程即已到达 60 万 km。架修作业内容如表 2 所示。

由于广州地铁 3 号线全部为地下线路，不受风、雨、紫外线等侵蚀，故橡胶件老化程度较为缓慢，参考广州地铁 1 号线列车的维修经验，在架修时未对门页橡胶条进行更新；而门关好行程开关在架修前故障率相对较高，在架修中予以更新。

### 2.3 车门大修

#### 2.3.1 车门系统主要故障情况统计

为使大修作业内容能够贴合部件的应用状态，准确指导编制大修规程，在大修开始前对列车部件故障进行了梳理统计，统计结果如表 3 所示。

表 2 RLS-E2 门在架修时的主要作业内容

部件	维修手册要求	实际作业内容
电机及齿形带	检查	清洁、检查、调整皮带张紧力
丝杆、车门导杆、导筒、携门架、各滚轮、上下导轨	清洁、润滑	清洁、检查、润滑
制动器	检查	清洁、检查、调整制动器解锁间隙
门关好行程开关 S1	检查	更新
门页	检查、更新橡胶条	清洁、检查、橡胶条维护
紧急解锁装置、紧急进入装置	检查	清洁、检查、调整
紧急解锁限位开关 S2	检查	检查、调整间隙
电源开关 S3	检查	检查
尺寸参数	未提及	测量、调整
功能测试	未提及	开关门、切除、紧急进入、紧急解锁、防夹、关门力测试

表3 车门大修前故障统计

项目	架修前	架修后	大修前故障数量总计
门控器	47	22	69
尺寸参数变化	57	36	93
紧固接线	43	10	53
导筒	20	30	50
电机	12	8	20
紧急解锁装置	10	6	16
下摆臂	10	4	14
橡胶条	12	1	13
门关好行程开关 S1	9	2	11
平衡压轮	2	8	10
下挡销	4	5	9
制动器	7	2	9
门页	4	4	8
齿形带轮	1	7	8
传感器	4	1	5
紧急解锁行程开关 S2		4	4
电源开关 S3	4		4
切除装置	1	2	3
上导轨		2	2
齿形带		1	1
偏心轮		1	1
清洁润滑	1		1
下导轨	1		1
携门架滚轮	1		1

门控器、尺寸参数变化、紧固接线、导筒、电机、紧急解锁装置、下摆臂、橡胶条、门关好行程开关 S1、平衡压轮等出现故障次数相对较高，其余部件故障发生率基本维持在一个较低的平稳水平。

### 2.3.2 故障原因分析及相应措施

**门控器故障：**由于是电子部件，故障率一直较高，其中内部软件程序故障约占总故障数量 50%，其余绝大部分故障则因内部运算放大器和 MOS 管故障引起，需要更新程序或相关零部件。

**尺寸参数变化：**主要表现为“V 型”、下挡销、S1 间隙等尺寸参数超标，导致部件偏离正常位置后相互之间出现干涉或行程开关不能正常触发，从而引起车门无法开关或系统不能正确判断车门状态的故障。对此需要重新调整尺寸参数，并更换因干涉造成异常磨损的部件。

**紧固接线：**个别下导轨、下摆臂、平衡压轮及电机等活动部件的紧固件和电气部件之间的接插件在车门频繁动作或列车高频振动状态下不可避免会出现松动，重新紧固即可恢复正常。

**导筒：**广州地铁 3 号线 B1 型车车门导筒为铝合金材质，下部焊接 U 型架结构（见图 2），与携门架座通过螺栓连接，U 型架与携门架座之间的间隙用垫片填充。受加工精度及焊接误差影响，个别套筒该处间隙未能够完全填实，在使用螺栓紧固后，U 型架会产生形变，在应力集中位置即会出现裂纹，裂纹问题占导筒故障的 94%，需更换导筒，并可在良好件表面喷涂 AV30 防腐蚀喷剂以预防裂纹。

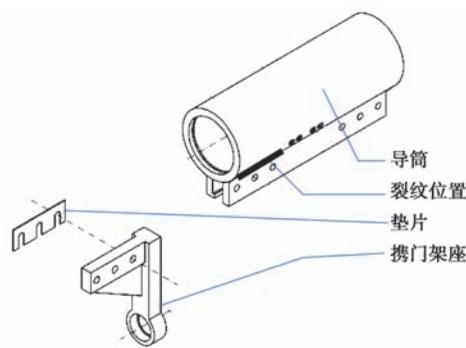


图2 导筒结构

**车门电机：**较常见的故障为电机轴承滚动不畅造成电机卡滞，电机转子线圈出现烧损引起电源断路 2 种类型故障，通常需要更换轴承或整个电机。

**紧急解锁装置：**通常表现为不能解锁、解锁不顺畅、不能保持在解锁位等故障，而手柄、限位止挡、钢丝绳、紧固件等均有过故障发生，并无明显高发故障表现，通常根据具体故障原因进行适量微调后更换故障零部件进行排除。

**下摆臂：**故障表现常为开关门异响、车门开门时启动防夹功能，主要原因为摆臂滚子缺少润滑或滚子松动，紧固润滑后即可恢复正常。

**橡胶条：**基本为破损和开胶，但破损及开胶程度都较为轻微，使用适合的胶粘剂粘合即可，并定期喷涂橡胶保护剂维护。

**门关好行程开关 S1：**开关门过程中，开关偶发性卡滞，致使列车安全系统不能正确判断车门状态，从而列车系统会发出安全警示，一般重新开关门后故障可以消除，但为避免故障再生，仍需更换行程开关。

**平衡压轮：**平衡压轮由滚子和支架两部分组成，之间通过薄螺母连接，约 50% 的故障为螺母滑牙，其余故障则因为个别平衡压轮安装位置过低，在关门时受门页过大的冲击力，滚子出现裂纹。

### 2.3.3 车门大修主要作业内容

根据如上故障统计及故障主要原因分析，编制了广州地铁 3 号线 RLS-E2 型车门系统大修规程，主要作业内容可归为 4 类：定额部件更新、清洁检查、调整润滑，紧固接线。

**定额部件更新：**根据维修手册要求及大修前的部件拆解评估，对于在大修前故障高发或预计不能沿用至下一架修周期的部件，需在大修过程中予以更新。本次大修过程中，确定需要更新的部件主要为：门控器内部存储器、门关好行程开关 S1、门页橡胶条。厂家所提供的维修手册中要求在大修中定额更新的电机、皮带、滚轮、下挡销、制动器在经过状态评估后，因状态良好，未按其要求更新。因车门电机碳刷长度、油脂状态、线圈阻值、减速器齿轮等状态均良好，并且该类备件发生故障后不会对列车运营造成较大影响，所以此部分备件也未列为首次大修的定额更新备件（见图 3）。

**清洁检查：**除在车门大修过程中需要定额更新的

部件，其余部件应全部列为清洁检查作业内容，检查项目及重点如表 4。

**调整润滑：**车门调整是使车门恢复到出厂状态，使各个部件的相对位置回归到标准水平。调整项目及主要控制参数如表 5；润滑则针对车门各活动部件，如上下导轨、导杆、丝杆、下摆臂、平衡压轮和携门架滚轮，在润滑前应充分清除旧油脂，并在各活动部件的工作面均匀涂刷一层润滑油脂，避免油脂堆积或欠涂刷，在涂刷油脂后应操作部件循环动作 5 次以上，以保证油脂均匀性，并及时清除多余油脂。

**紧固接线：**因车门在列车运营时动作频繁，较容



图 3 电机拆解评估状态

易造成各位置紧固件及接插头出现松动的现象，在大修时，对于未经拆装的所有紧固件，应按紧固扭力的 90% 进行校核，如有松动，再按 100% 扭力进行紧固，并重新标记防松记号。同时检查各接插件、线缆接头，应无断股、毛刺、铜线裸露、虚接等现象。

### 3 车门大修作业流程

因车门数量多，车门在大修过程中多采用并行作业方式。基本作业顺序一般为部件的拆装检查、主要参数调整、紧固润滑、调试。流程图如图 4 所示。

**部件的拆装检查：**主要是指门页、门控器的拆装。因门页油漆翻新、橡胶条更换、门控器拆解作业都无法在车上直接完成，必须落车后才能开展。但后续尺寸参数的调整又需要门页及门控器装车后才能开展，所以，门页和门控器的落车时间必须限定在最短时间内。为提高作业效率并均衡作业量，大修过程中门页、门控器使用周转件作业，旧部件落车后可立即使用已经完成维修的周转部件装车。另外，门页拆除后，作业空间及视线均较好，便于开展车门驱动机构的清洁检查作业，所以大部分的检查作业也在此时完成。

**主要参数调整：**在重新拆装门页后，需要对表 5 所列所有参数进行调整。调整过程中，因机构之间的联动，部件之间的尺寸参数会相互影响，所以必须遵循一定的先后顺序，如 V 型与平行度的调整需要同时进行，净开度的调整要晚于对中度调整。详细调整顺

表 4 清洁检查重点

部件名称	主要检查内容
DCU	安装牢固，接线无松动无露芯，检查 DCU 控制板上二极管导通状态，要求无断路或反向击穿
下挡销、门槛	无变形、无松动及磨损
电机、齿形带及齿轮	电机转动顺畅，电机和齿轮无相对转动，齿形带张力为 20 N
制动器	功能应正常，未解锁时制动器啮合紧密，解锁时制动器以最小 0.5 mm 的间隙缓解
上下导轨、导杆、丝杆、下摆臂、平衡压轮、携门架、导筒	无裂纹、刮痕、变形，各部件滚轮转动顺畅、表面无破损，丝杆无翻边，导筒表面喷涂 AV30 防腐蚀剂
内部、外部紧急解锁	动作灵活、鲍登线缆无破损
S2、S3、S4	安装牢固，动作顺畅、接线牢固
车门切除装置	拆解检查车门切除装置，清洁至目视检查无油垢、尘埃，要求动作顺畅，切除功能正常
门页	检查无锈蚀、变形，修补受磕碰的凹痕，重新油漆

表 5 车门主要控制参数

调整项目	详细描述	影响	控制参数/mm
对中度	2 个门页边缘与门框距离之差	门页中心偏离门框中心程度，超出范围可能造成车门不能关闭	-2~2
平行度	单个门页外边缘及内边缘与门框垂直距离之差	影响门页密封性	-2~0
“V”型	2 个门页上部与上部边缘距离之差	影响关门后车门下部紧密度和车门防夹功能	2~5
净开度	门页完全打开，2 个门页边缘最小通行宽度	影响门口通行能力，及门控器对车门开关状态的检测	1 400 <sup>+10</sup>
摆臂间距	下摆臂与下导轨边缘距离	避免摆臂与下导轨固定螺栓干涉及摆臂从下导轨内脱出	4~9
下挡销距离	下挡销与燕尾槽侧面及下部距离	防止在开关门过程中下挡销与燕尾槽干涉，并提供足够门页移动抗力	侧距：1~3 底距：2~3
平衡压轮	平衡压轮侧面与门页加强点之间距离	避免平衡压轮侧面与门页干涉	1 <sub>0</sub> <sup>+1</sup>
门页摆出度	门页开启后，门页外表面与列车外墙之间的距离	避免门页与外墙干涉，保证下摆臂摆动顺畅	52 <sub>4</sub> <sup>+2</sup>
平整度	门页关闭后 2 个门页处于同一平面	避免造成护指胶条变形，影响关闭	无明显高差
S1 间距	S1 行程开关滚轮与杠杆触发臂间隙	门页开关时能够正常触发 S1	具有明显间隙
S2 间距	S2 的上滚轮与铰链臂的斜面间隙	保证在紧急解锁时 S2 能被正常触发	0.5~1

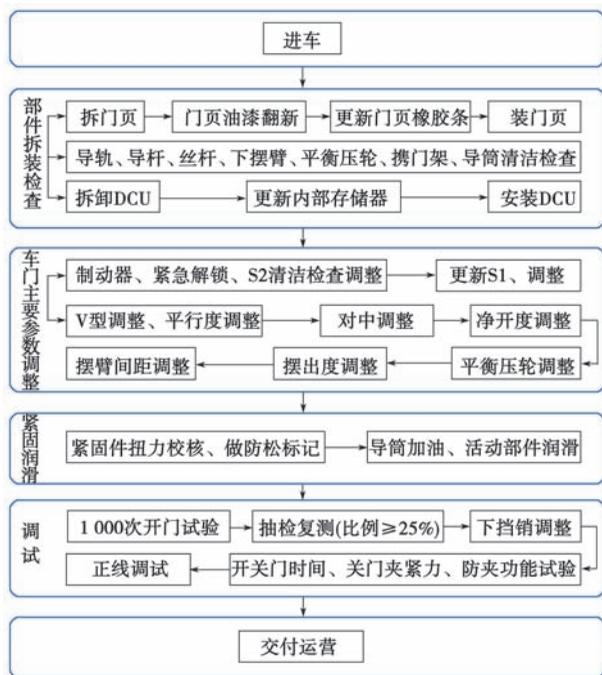


图4 车门大修流程图

序按图4进行。

**紧固润滑：**紧固润滑是车门大修无电作业的收尾，对已经调整完成的各部件按要求进行紧固，对经检查无异常的部件进行扭力校核，并使用红色油漆笔在完成扭力校核的紧固件及被紧固件上均匀画一直线，作

防松标记，以便后期检查时判断是否有出现松动。同时应清除各个活动部件和导筒、丝杆、导杆内的旧油脂，并填充新油脂。

**调试：**在车门完成所有调整后需进行1000次的开关门试验，以使其磨合至最佳状态，并验证其动作状态，提前排除故障。门页下部是尺寸误差积累及放大最严重的部位，下挡销一般在完成1000开关门试验车门状态稳定后再安装并调整。车门各项作业全部完成后，使用专用仪器对车门开关门时间、关门夹紧力、防夹功能进行测量检验，并记录。

## 4 结语

截至2016年2月，广州地铁3号线所有20列B1型车全部完成大修，大修后列车最高运营里程已超过30万km。经大修后，车门系统整体故障率降低约20%，在一定程度上提高了车门系统的可靠性；另外，通过对部件的评估，延长了电机、制动器等部件更新周期，极大地降低了维修成本。通过对车门大修作业流程的梳理，可为相似结构其他地铁车门的大修提供参考，以优化作业流程。

## 参考文献：

[1] 南车株洲电力机车有限公司. 广州市轨道交通3号线车辆维修手册[Z]. 株洲: 南车株洲电力机车有限公司, 2010.

(上接第11页)

热网络方法尤其适用于系列化电机产品的派生结构的热分析，对电机设计具有指导意义。后续可在热网络中加入节点热容，进一步研究电机的动态温升变化。

## 参考文献：

- [1] Bo Yang. Development of Thermal Models for Permanent-Magnet Traction Motors [D]. Sweden: KTH Royal Institute of Technology, 2009.
- [2] Wallerand F, Laurent S. Thermal Modeling of Permanent Magnet Motor for Traction [D]. Sweden: KTH Royal Institute of Technology, 2007.
- [3] 杨金霞, 元约平, 王健, 等. 永磁同步牵引电动机温度场仿真分析[J]. 大功率交流技术, 2012(3).
- [4] 张琪, 王伟旭, 黄苏融, 等. 高密度车用永磁电机流固耦合传热仿真分析[J]. 电机与控制应用, 2012(39)
- [5] 姚望, 韩雪岩, 唐任远. 车用永磁同步电机热计算的分析与研究[C]. 西安: 微特电机及永磁电机技术创新与发展论坛(西安), 2012.
- [6] 杨菲. 永磁电机温升计算及冷却系统设计[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007.
- [7] Boglietti A, Cavagnino A, Lazzarini, et al. A simplified thermal model for variable-speed self-cooled industrial induction motor[J]. IEEE Transactions on Industry, 2002, 39(4): 945-952.

- [8] 杜国华, 房建成, 刘西全, 等. 高速永磁无刷直流电机的热分析[J]. 北京航空航天大学学报, 2012(8).
- [9] 白海军, 张延华. 新型永磁外转子爪极电机的发热分析[J]. 微电机, 2014(9).
- [10] 李洪涛, 倪素娟, 王建永. 基于热网络的电动机过载保护技术[J]. 微电机, 2013(10).
- [11] 汪文博. 永磁同步电机的热路模型研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
- [12] 钱洪. 高能量密度电机水冷系统设计与选用[J]. 电机与控制应用, 2013(1).
- [13] 和伟超. 电动汽车用永磁同步电机水冷系统设计与温升分析[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.
- [14] 黄国治, 傅丰礼. Y2系列三相异步电动机技术手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [15] 魏永田, 孟大伟, 温嘉斌. 电机内热交换[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.



作者简介: 吴江权(1989-), 男, 工程师, 主要从事轨道交通及新能源汽车电机散热研究。