

铁路货车非接触式磁力驱动发电技术应用研究

张锐 廖军 吴畅 罗汉江

(中车眉山车辆有限公司科技创新中心 四川 眉山 620010)

摘要: 本文简要介绍了国内外铁路货车用电需求和发电技术研究概况,并设计了一种适应我国既有铁路货车主型转向架结构的非接触式磁力驱动发电装置,完成了关键零部件计算校核、样机试制及试验验证。研究结果表明:该非接触式磁力驱动发电装置结构可靠、科学、合理,性能满足我国铁路货车主要用电需求。

关键词: 铁路货车; 非接触; 磁力驱动; 发电技术

1 背景介绍

近年来,随着信息技术的发展,铁路货车智能化需求日益明显。在近几届德国柏林国际轨道交通技术展览会(InnoTrans)上,铁路货车技术方面均突出了智能化、集装化、轻量化、节能环保等理念,展出了一批具有智能化、信息化特点的产品。2019年挪威重载大会提出,在2030年前,要取得一系列有竞争力的、安全的智能重载尖端技术,为用户创造更大价值,打造铁路重载4.0。2019年9月,《交通强国建设纲要》提出了我国在铁路货运信息化方面的规划,以及“实现3万吨级重载列车、时速250公里级高速轮轨货运列车等方面的重大突破”“推广新能源、清洁能源、智能化、数字化、轻量化、环保型交通装备及成套技术装备”“推广应用交通装备的智能检测监测和运维技术”等发展目标。

2 国内外铁路货车发电技术

在国外铁路货车发电技术方面,奥地利PJM公司研发了一款配装于Y25型转向架上的轴端发电机,并在钢卷棚车、平车及罐车等多款欧洲铁路货车上成功运用,输出功率可达100W以上。德国KES公司研发的SWKP GE 20系列轴端发电机,输出直流电压为17~29V,最大输出直流电压4A或3A,最大转速为1200r/min,输出功率约100W,并在瑞典等国拥有超过2000多台的实际应用。德国FAG公司开发的装有集成发电机的轮对轴承其输出功率在5~100W,这也是轴驱发电的型式之一。德国VTG公司开发的rCEPowerpack电能再生技术,配装于Y25型转向架上,并为冷藏集装箱上的制冷机组供电;

其电能转化的速度为30~120km/h,再生功率为15~20kW·h,最大输出功率为27kW·h。以重载为主的北美铁路货车主要开展了ECP制动系统的研究,并于1999年颁布了由机车集中供电的有线ECP标准AAR S-4200。该技术后来逐步推广到南非、加拿大、澳大利亚等重载铁路运输的国家。

在国内铁路货车发电技术方面,中车眉山公司和中车山东公司分别在其研制的某型守车上采用了KFT系列轴端发电机和蓄电池供电,满足客户的使用要求并成功投入运用^[1],如图1所示。

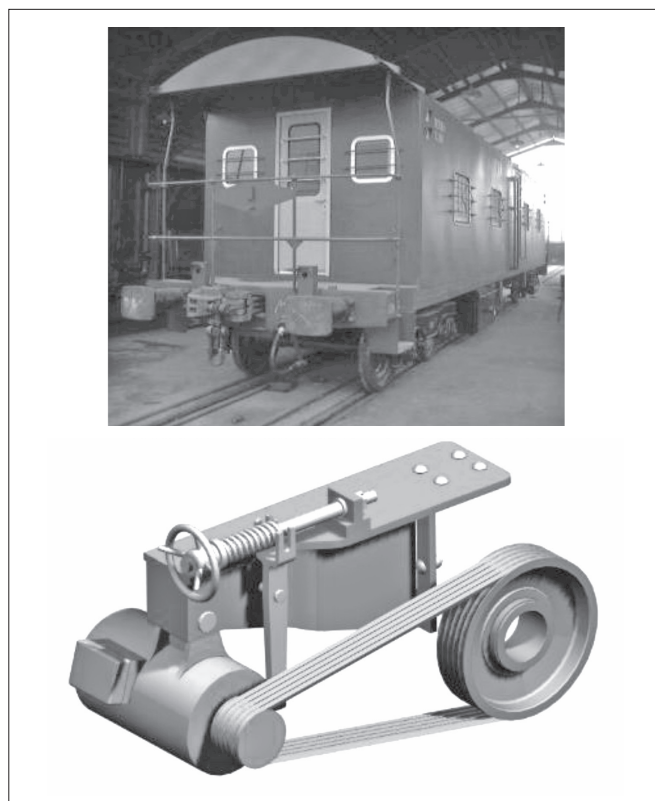


图1 KFT系列轴端发电机

中车眉山公司采用轴端发电机和蓄电池为无线 ECP 和空气制动监测系统供电, 该发电装置在车速 60km/h 时, 发电功率不低于 30W^[1], 如图 2 所示。

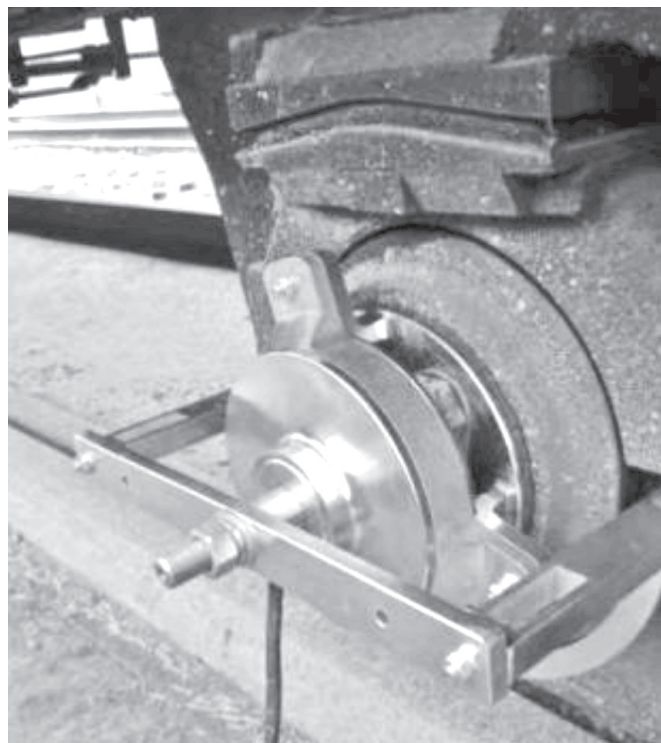


图 2 轴端发电机

除此之外, 中车眉山公司与西南交通大学合作开展了振动发电技术研究, 其最大实测功率达到 58W, 满足无线 ECP 的用电需求。中南大学徐浩, 西南交通大学倪文波、张剑锋等人对铁路货车车载风力发电系统进行了研究, 列车运行时 (风速一般按 3 ~ 20m/s 进行计算), 其功率可达 30 ~ 100W, 输出电压在 5 ~ 48V。中车山东公司采用太阳能电池板和蓄电池为其研制的 160km/h 快捷棚车上的车门和轴温监测系统供电, 单块太阳能电池板输出功率为 30W, 工作电压为 20V。中车长江公司采用电池直接供电的形式为其研制的冷藏箱上的制冷机组供电, 功率达到了 3 ~ 12kW。

目前, 铁路货车在 B22 型机械冷藏机组和 BX1K 型冷藏集装箱专用平车组上使用了发电车集中供电技术。B22 型机械冷藏机组由 4 个载货车和 1 个发电工作车组成, 发电工作车设有 3 个柴油发电机组, 两个机组功率为 64kW, 为载货车供电; 另一个机组功率为 20kW, 为保温车乘务员提供生活用电。BX1K 型冷藏集装箱专用平车组由 8 个平车和 1 个发电工作车组成, 发电机组供电功率为 64 ~ 128kW, 为冷

藏集装箱的制冷机组供电。

2015 年, 采用缆接式电控空气制动系统 (有线 ECP) 的铁路货车在晋中南运煤专线上试用。该技术属于机车集中供电模式, 主要是利用机车上的发电机或接触网产生的电能, 通过贯通全列车的电缆向用电设备供电。

综上所述, 国内外铁路货车发电技术主要有自供电和集中供电两种形式。自供电技术主要包括轴驱、振动、风力、太阳能及电池直接供电等; 集中供电技术主要包括发电车集中供电和机车集中供电等。以美国为代表的重载铁路货车多为专列运行, 固定编组, 其主要供电方式为机车集中供电。而我国和欧洲主要国家铁路货车则多无固定编组, 需要频繁连挂、解编, 其供电技术研究基本集中在自供电技术方面。

3 技术方案

根据我国铁路货车的运用模式和结构特点, 我国铁路货车更宜采用自供电技术。转向架作为铁路货车走行部, 轮轴系统通过与钢轨的蠕滑力作用产生大量转动动能, 可以作为转化电能的能量来源。既有轴端发电技术就是通过安装在轴端的发电机来获取电能。但由于定子与转子气隙较小且分别安装在不同的铁路货车零部件上, 对零部件和连接可靠性要求较高。同时, 工作过程中或发生短路时发电机都会产生大量热量, 可能造成轴温异常, 甚至发生热轴事故。

本文介绍了一种铁路货车非接触式磁力驱动发电装置。该装置通过磁力作用实现动能传递, 带动发电机发电, 驱动部分不会产生热能, 对轴承温度无影响; 同时, 发电机具有过载自保护功能。

3.1 技术原理

非接触式磁力驱动发电装置的驱动部分安装于车轴上, 发电机安装在与其接近的转向架侧架上。当车辆运行时, 驱动部分随车轴做圆周运动, 其上数个极性交替的钢磁片所形成的磁力线持续做圆周运动, 与发电机转子中的极性交替的钢磁片所形成的磁力线相互耦合作用, 从而使发电机转子转动, 通过电磁感应原理产生感应电动势, 实现车辆动能到电能的转化, 如图 3 所示。发电机极限输出功率取决于驱动部分与发电机转子间的磁力强弱, 当电路负载过大时, 磁力不足以带动发电机转子旋转而造

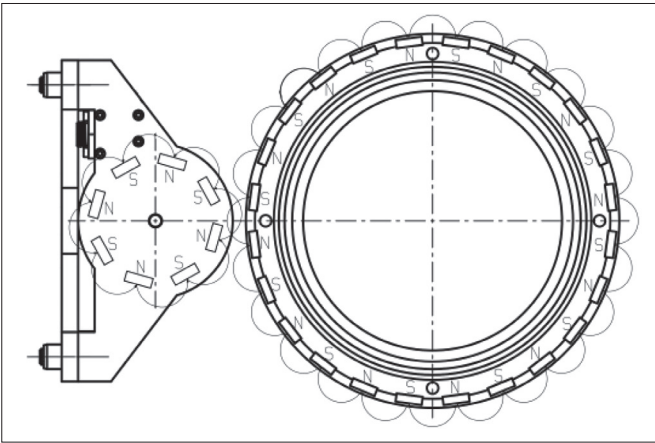


图 3 非接触式磁力驱动发电装置原理图

成发电机失步，实现过载自保护功能。

3.2 主要结构

非接触式磁力驱动发电装置主要由驱动磁环和发电机两部分构成。驱动磁环与滚动轴承组合压装在车轴上；发电机安装在侧架上。驱动磁环主要由磁环、磁钢片、屏蔽环、保护环以及相关紧固件构成，如图 4 所示。采用铁素体不锈钢板制成的屏蔽环可有效屏蔽沿驱动磁环轴向的磁场，以满足铁路货车轴承剩磁的要求；采用奥氏体不锈钢制成的保护环则可进一步防止磁钢片与驱动磁环分离，并防止磁钢片周边粘上其他金属杂物，而不会影响磁钢片沿驱动磁环径向的磁场。

发电机主要包括发电机本体、安装座、拉铆钉和套环等，如图 5 所示。发电机与安装座之间，侧架与安装座之间采用高强度拉铆钉连接。

该装置通过既有铁路货车转向架技术改造后完成安装，改造主要包括侧架上发电机安装座安装孔

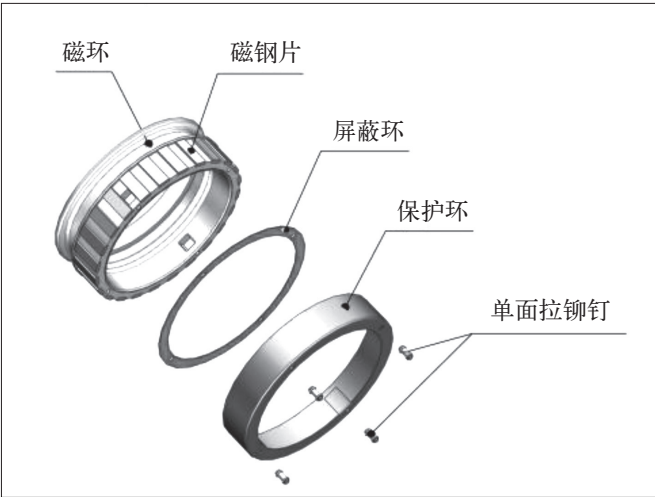


图 4 驱动磁环

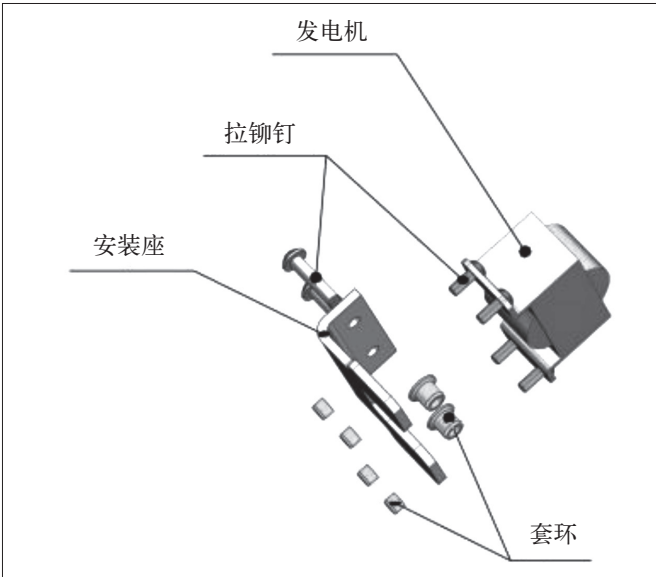


图 5 发电机

的加工和滚动轴承装置后挡的替换。转向架落成前，首先完成驱动磁环的组装，然后将滚动轴承装置的后挡替换为驱动磁环，并按照轴承压装要求，将整个组件一起压装到轮对上，再在侧架外侧导框处完成安装座的组装；待转向架落成后完成发电机的安装。

3.3 主要技术参数

根据中车眉山公司对铁路货车用电需求及供电技术的相关研究，铁路货车主要用电需求按用电功率大小分类如表 1 所示。

表 1 铁路货车主要用电需求及功率^[2]

序号	用电功率	示例
1	微功率（1W 以下）	除检测加速度、应力外的传感器和信息传输系统
2	低功率（1 ~ 300W）	无线 ECP、电子防滑器、电磁阀和监测加速度、应力的传感器及其信息传输系统
3	高功率（1kW 以上）	制冷机组和部分守车、宿营车

由表 1 可知，发电机总功率 $\geq 300\text{W}$ 时即可满足铁路货车绝大部分用电需求。非接触式磁力驱动发电装置能量来源于车辆运行时轮对转动产生的动能。因此，该装置应在现阶段铁路货车能普遍适应的速度区间（60km/h）达到额定功率，以保证其正常使用。综合考虑其自重、体积以及在转向架上的安装空间等因素，选择在转向架运行速度 60km/h 时，发电机达到额定功率 50W/套。因该装置在转向架每一轴箱处均可安装，在车辆每个轴箱处都安装一个发电机

的情况下，发电总功率为 $50\text{W} \times 8=400\text{W}$ ，可满足铁路货车主要用电需求。

4 计算校核

4.1 仿真分析

中车眉山公司科技创新中心试验技术研究所按照 TB/T 3548-2019《机车车辆强度设计及试验鉴定规范总则》对磁耦合发电装置安装座及拉铆钉静强度进行了仿真分析^[3]，仿真及三维模型如图 6 所示。

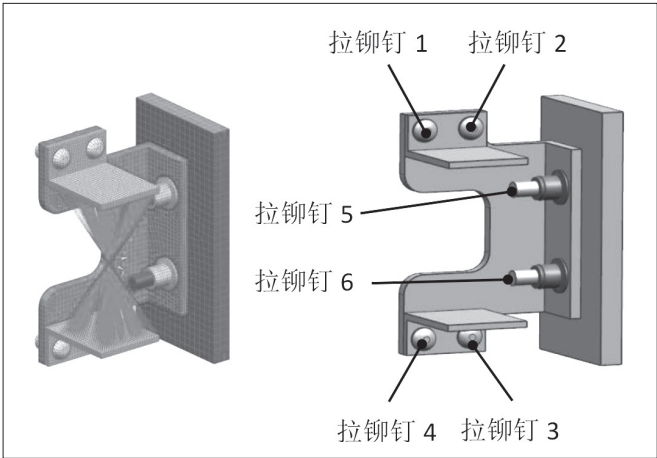


图 6 仿真及三维模型

仿真时，未考虑各拉铆钉与工件表面的压紧力，载荷及计算工况见表 2 和表 3。

表 2 超常工况下的发电机振动载荷

	加速度	振动载荷 /N
az,max	± 70g	± 3433.5
ay,max	± 10g	± 490.5
ax,max	± 10g	± 490.5

表 3 计算工况

工况	垂向振动载荷 /N	横向振动载荷 /N	纵向振动载荷 /N
1	+3433.5	+490.5	+490.5
2	+3433.5	+490.5	-490.5
3	+3433.5	-490.5	+490.5
4	+3433.5	-490.5	-490.5
5	-3433.5	+490.5	+490.5
6	-3433.5	+490.5	-490.5
7	-3433.5	-490.5	+490.5
8	-3433.5	-490.5	-490.5

仿真结果表明：

(1) 在各计算工况下，座板最大应力 212.97MPa，小于 Q355 等级材料的许用应力

216MPa。

(2) 在各计算工况下，各拉铆钉的最大剪切力均小于拉铆钉标准规定的许用剪切力。

4.2 理论计算

为进一步分析各拉铆钉的极限受力，考虑各连接处仅有一个拉铆钉起效的情况下，本文通过理论计算得出各规格拉铆钉的极限受力如表 4 所示。

表 4 拉铆钉极限受力情况

拉铆钉规格	剪切力 /kN	压紧力 /kN	载荷 /kg	加速度	铆钉受剪切力 /N	铆钉受拉力 /N
LMDY-T12-25G	≥ 64	≥ 54	3.7	az: ± 70g ay: ± 10g ax: ± 10g	2567	363
LMY-T10-13-G	≥ 31	≥ 18	2.5	az: ± 70g ay: ± 10g ax: ± 10g	1734	246
LMB-T6-9	≥ 22.7	—	0.4	az: ± 1000 ay: ± 1000 ax: ± 1000	566	400

从表 4 可知，按照相关标准考核，各连接处紧固件可靠性和强度均有较大裕量，满足标准要求。

5 试验验证

5.1 样机落成

2022 年 1 月，中车眉山公司完成了非接触式磁力驱动发电装置在转 K6 型转向架上的改造和样机落成，如图 7 所示，各检验项点符合《非接触式磁力

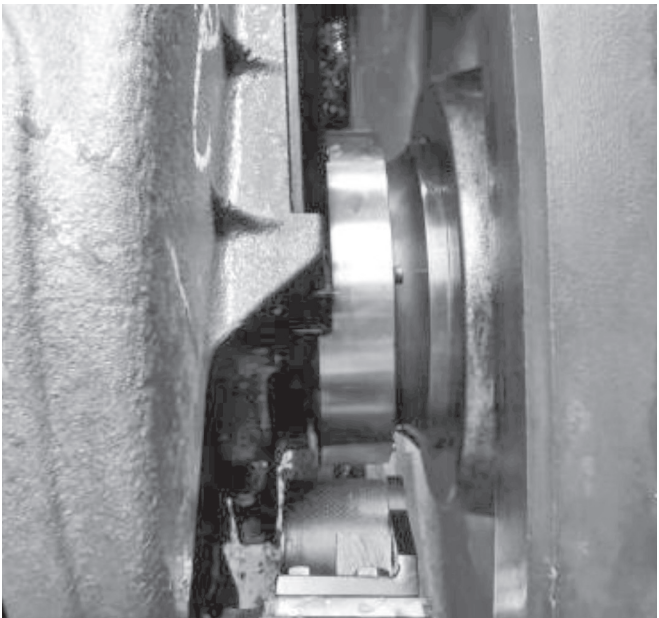


图 7 样机落成

驱动发电装置技术条件》相关要求。

5.2 发电性能试验

2022 年 12 月，中车眉山公司按照《非接触式磁力驱动发电装置技术条件》完成了该装置的发电性能试验，试验数据见表 5。试验结果表明：

(1) 在耦合距离 10mm，驱动磁环转速 379r/min（车速 60km/h），限流 2A 工况下，该装置发电功率为 58.1W，满足设计要求；

(2) 在耦合距离 10mm,驱动磁环转速 379r/min（车速 60km/h），恒阻 15Ω（模拟运用）工况下，该装置发

表 5 发电性能试验数据

10mm- 恒流 2A				车速	10mm- 恒阻 15Ω			
I/A	P/W	U/V	N/ (r/min)	km/h	I/A	P/W	U/V	N/ (r/min)
1.3	0.2	0.1	63	10	0.278	1.1	4.2	63
1.997	7.5	3.7	126	20	0.62	5.8	9.3	126
1.997	20	10	189	30	0.956	13.8	14.4	189
1.996	32.9	16.4	253	40	1.292	25.2	19.5	253
1.997	45.6	22.8	316	50	1.621	39.7	24.4	316
1.997	58.1	29.1	379	60	1.935	56.5	29.1	379
1.997	71	35.5	442	70	2.248	75.7	33.7	442
1.997	83.8	41.9	505	80	2.544	97.5	38.3	505
1.997	96.3	48.2	568	90				
1.997	109.3	54.7	632	100				
1.997	116.3	58.2	666	105				

电功率为 56.5W，满足设计要求^[4]。

5.3 剩磁检测

2022 年 3 月，中车眉山公司根据《非接触式磁力驱动发电装置技术条件》完成了该装置与转向架

样机落成两个月后的剩磁检测。检测结果表明：

(1) 滚动轴承装置剩磁值约为 1Gs，满足剩磁 ≤ 1.0mT（1mT=10Gs）的要求；

(2) 车轴剩磁值约为 1Gs，满足剩磁 ≤ 0.5mT 的要求；

(3) 轮对剩磁值约为 0Gs，满足剩磁 ≤ 0.7mT 的要求。

6 结语

通过本文对非接触式磁力驱动发电装置的研究表明：该装置技术方案科学、合理，结构可靠，适应我国主型货车转向架的安装；在额定负载下，输出功率大于 50W，满足设计和铁路货车主要用电需求；安装该装置后的转向架轴承、车轴、轮对等关键零部件剩磁满足技术条件和相关标准要求。

参考文献：

[1] 廖军．铁路货车供电技术分析报告 [R]．眉山：中车眉山车辆有限公司，2021.

[2] 廖军．铁路货车用电需求情况报告 [R]．眉山：中车眉山车辆有限公司，2020.

[3] 冯创友．非接触式磁力驱动发电装置结构强度分析报告 [R]．眉山：中车眉山车辆有限公司，2021.

[4] 石宏原．非接触式磁力驱动发电装置常温性能检测报告 [R]．眉山：眉山中车制动科技股份有限公司制动试验室，2022.

作者简介: 张锐(1985.11-),男,汉族,四川凉山彝族自治州人,本科,高级工程师,研究方向:铁路货车。