地面感应线圈有轨电车供电系统前景探讨

沈瑞田
（浙江数智交院科技股份有限公司　杭州　310030）

［摘　要］文章介绍有轨电车传统供电方式存在的问题，提出了国际上较为前沿的地面供电技术，可以完美和城市景观融合，可以解决国内很多城市修建有轨电车对城市景观影响的担心，此技术有很好的发展前景。

［关键词］有轨电车；地面供电技术

1　有轨电车供电发展概述

现代有轨电车系统现代有轨电车系统是一种中低等运能、设计新颖、环境友好、资源节约的公共交通运输工具，是在传统有轨电车的基础上全面改造升级的一种公共交通方式（拥有分离的路权形式，并使用现代化大容量、铰接、低地板车辆）。

现代有轨电车系统可适用于单向高峰断面客流量 0.5~1.5 万人次/h 的轨道交通线路，旅行速度可达 15~30km/h。目前，现代有轨电车系统在国内得到了蓬勃发展，国内有近百座城市提出了建设现代有轨电车的意向或规划，全国远期规划总里程已经超过 5000km，目前 40 多座城市已经有了实际行动。预计 2020 年，国内现代有轨电车规划将逾 2000km，工程总投资达 2000 多亿，未来现代有轨电车将成为国内重要的交通模式之一。

2　车辆受流方式分析

目前，有轨电车的受流方式主要有架空接触网、接触轨、车载储能（蓄电池/超级电容）等方式。而国内已建成运营的有轨电车线路既有采用全线 DC750V 架空接触网供电、走行轨回流方式，如沈阳、长春、上海等城市；也有采用车载储能、到站充电的供电方式，如广州、淮安等城市。

下面对架空接触网、接触轨、车载储能三种受流方式进行简要分析。

2.1　架空接触网受流方式

1. 架空接触网受流方式是将接触网设置在线路上方，列车通过安装在车辆顶部的受电弓与接触线接触取电。该方式受流质量较好，可以满足列车较高运行速度的要求。目前，架空接触网受流方式在铁路干线、地铁、轻轨、有轨电车系统中得到了广泛应用，积累了大量的设计、施工和运营经验，是目前最为成熟、可靠的受流方式。有轨电车系统为城市路面公共交通系统，采用架空接触网方式需沿线立柱将接触网悬挂在空中，对城市景观有一定的影响。



图 1　采用架空接触网受流方式的有轨电车线路

2. 接触轨受流方式接触轨受流方式是将接触轨沿列车走行线路设置，设置位置低，对城市景观的影响较小；但由于接触轨设置位置低，供电安全性较差，并且工程投资较高。

常规的接触轨受流方式是将接触轨沿走行

收稿日期：2021-12-14

作者简介：沈瑞田（1981-　），男，高级工程师，主要从事轨道交通、城市隧道机电系统设计工作。

轨一侧敷设，列车通过集电靴与其接触取电，由于接触轨设置位置低，供电安全性较差，因此，该受流方式仅在全封闭的城市轨道交通工程中有应用。

该方式的技术较为复杂，工程投资很高，且受天气影响较大，目前国内尚无应用实例。

2.2 Tramwave 地面供电系统

Tramwave 地面供电系统是安萨尔多 STS 公司的先进专利技术。TramWave 是一种创新的供电方法，模块化设计理念，适合于各种不同的结构及管理规划需求。

Tramwave 供电接触线嵌入式安装在两条铁轨中间的连续导管内，不影响行人及其它车辆的穿行。接触线的供电只有在车辆驶过时才能被转向架下安装的车载磁性集电靴接触激活，且仅位于车下固定的一小段区块，其它位置不带电。Tramwave 系统的基本构件为一个 3m 或 5m 长用于内嵌的模块化组件构成，该组件内容纳了全部的地面供电系统所需元素。车辆驶过时，只有与车下集电靴接触的一块 50cm 或最多 2 块共 100cm 的线段上为激活通电状态，其它均不带电，保证了供电的安全要求，满足了车辆的驱动及附属设备用电需求。Tramwave 供电系统模组具有自己的电路安全环，负极回流不经过车轮及钢轨，有效地避免了杂散电流的危害。

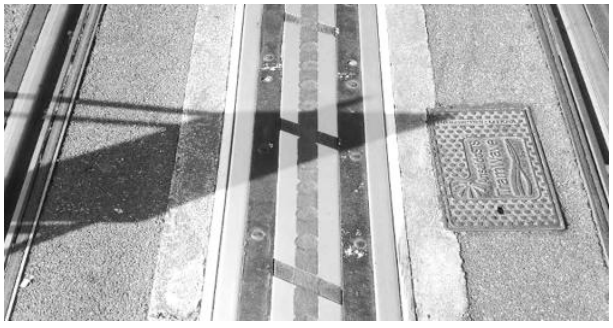


图 2 Tramwave 供电系统模组

该方式的技术较为复杂，调试周期长，在意大利仅有 1 条 600m 的试验线投入使用，目前国内仅珠海有轨电车采用此方案。

2.3 车载储能受流方式

车载储能受流方式是在列车上设置储能装置，通过储能装置向列车提供牵引电源。区间不设置架空接触网，依靠储能装置给车辆运行提供牵引电源。车载储能装置通过设置在相应站点的充电装置进行充电，以保证列车的正常行驶。通常采用的充电方案为：车载储能装置在车站利用乘客上下车的时间，在约 30s 内完成充电，一次充电后能连续行驶约 1.5km，在到达下一个车站后再行充电，周而复始，兼顾了经济型与快捷性。同时，当列车制动时，能量回收转换功能就会启动，并被车载储能装置储备起来，从而实现能量的循环利用和污染物零排放。该方式的最大优点是可实现全线无网化，但同时对车间距要求高，当郊区站间距超过 3km 时，车载储能方式就不适合。



图 3 车载储能式（区间）

2.4 地面感应线圈非接触供电

地面感应线圈非接触供电（Primove）技术是加拿大 Bombardier 公司的专利技术，该技术是利用电能与磁场能相互转化的原理实现能力传输。该技术在轨道中间铺设预制线圈，在列车上安装信号发射器。当感应系统检测到有列车通过时则接通电源，线圈产生的磁场能被列车底部安装的受流器感应，并转化为电能供给车辆牵引系统。Primove 技术是采用 DC750V 供电电缆沿线路侧敷设，每隔一段距离在线路侧埋设一套逆变装置，变压器一次侧线圈敷设在地面二条走行轨中间，变压器二次侧线圈安装在列车上。首先，将 DC750V 逆变成高频交流电压，送入变压器一次侧线圈，当列车上的变压器二次侧线圈对中变压器一次侧线圈时，在变压器二次侧线圈感应高频交流电势，进一步

将此电势整流和逆变，送入驱动列车的交流电机。在轨道中间的变压器一次侧线圈，只有当列车进入相应的位置时，其线圈二端才有高频交流电压，其他时刻，线圈二端无交流电压，以保证行人的安全。该方式全线不需钢轨回流，可减少杂散电流对周围管线设备的影响。

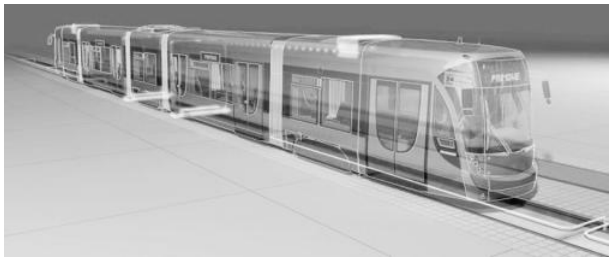


图 4　Primove 供电系统

该方式的技术较为复杂，下面重点探讨一下地面感应供电的技术。

3　电磁感应有轨电车地面供电技术

3.1　电磁感应有轨电车地面供电技术介绍

电磁感应有轨电车地面供电技术采用地面分段式供电，在走行轨中间增加一条普通的钢轨作为导电轨，以 4 米为一个导电单元，导电单元分别与电源控制箱连接。电车的集电靴上安装有跟导电轨直接接触的滚轮，机车运行时，滚轮随之滚动并将电流导入机车。集电靴上安装有信号发射模块，当电车运行到供电模块附近，信号发射模块与电源控制箱建立通讯，该模块上电，从滚轮上传输 DC750V 电压至电车，为电车提高牵引电能，电车通过该段供电轨后，接触器触点导通使该供电轨接地，保证不通电的导电轨绝对零电位，从而保障轨道两侧行人的安全。

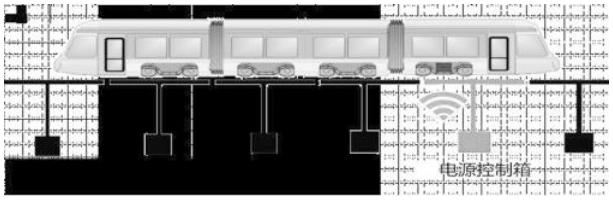


图 5　有轨电车地面供电系统示意图

使用磁场通讯技术作为信号触发，该技术通过变化的磁场，通讯距离可控（可精确控制在厘米级别以内），穿透性能强（可穿透水、金属等各种物质），读写速度极快，通讯信号稳定，不会对相邻的供电模块造成交叉干扰，保障供电连续。

3.2　工作原理介绍

电磁感应有轨电车地面供电系统使用轻量化、模块化设计，安装维护更为便捷。导电轨采用普通的钢轨，电车的集电靴上安装有跟导电轨直接接触的滚轮，机车运行时，滚轮随之滚动并将电流导入机车。

机车上的信号发送器上电后就开始不停地发送调制磁场信号，由于在垂直磁场发送器方向的信号最强，但范围比较小，离开此范围后的信号迅速衰减，信号一般只能被磁场发送器正下方的一个或两个传感器接收到。接收模块接收到的信号被送入电源控制箱的主控制电路进行一系列运算处理，解调取出机车上的发送器送出的 ID 码，与预存在自己的存储器中的 ID 码进行比对，如果是一致的，则可以确认收到了机车的信号，就会路，并且接通 750VDC 动力电源给本段导电轨供电。当机车驶过该段铁轨时，由于该段的接收模块不再能接收到机车发送的信号，主控因此会断开 750VDC 供电，并且接通接地回路。

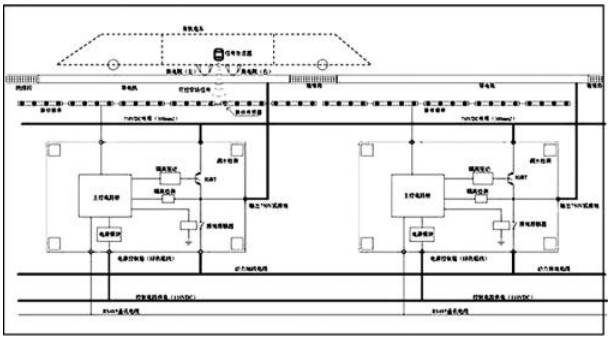


图 6　电磁感应地面供电系统示意图

3.3　系统构成

（1）安装在机车转向架下方的信号发送器和集电靴

（2）安装在轨道旁的信号接收模块和电源控制箱

3.4　实施方案

（1）磁场通讯方案

通过设置磁场强度阀值，对磁场进行调制，并根据有轨电车自身位置的不同，磁场产生装置调制出具有不同识别变化的磁场，然后通过磁场感应装置接收变化的磁场，并对磁场进行解析，从而得到识别码，并将识别码以及控制信号同时发送至电控系统，所述电控系统控制相对应位置的驱动正极供电，整个过程并不需要其他特别的硬件识别芯片以及模块，仅仅需要的是磁力线圈以及对磁力线圈中电压进行调制的调制模块就可以了，极大地降低了成本。

（2）地面供电方案

地面供电技术将传统的架空接触网转为地下供电，该技术取消了支柱、支撑机构、导线等各种造成视觉污染的架空网部件，采用分段式的供电模式，使得电能的利用率更高效。

4 电磁感应有轨电车地面供电技术优势分析

4.1 完美与城市景观融合

电磁感应地面供电系统，由于供电轨道埋于走行轨之间，移开了架空接触网供电系统所需要的支柱、支撑机构、导线等，整体设计非常美观简洁，不会破坏原有的城市容貌和景点，完美与城市景观融合。

4.2 地面供电系统安装维护极为方便

电磁感应地面供电系统不依赖于各种公用设施，例如：排水管道、煤气管道、电力变电所等。本技术使用普通的钢轨作为导电轨，以4米为一个导电单元，按照铁路轨道的施工方式安装，在端头位置使用螺丝连接电源控制箱即可，对于土建各方面没有特殊的要求，工艺简单。

4.3 有效的减少杂散电流的危害

采用分段式供电的原理，只有电车集电靴经过的区段才通电，可以有效的减少电力的损耗，减少杂散电流带来的电腐蚀对周围的轨道设施的侵害。

4.4 局部安全闭环设计，保障行人安全

当机车运行到某个模块时，处于机车下方的模块供电，而该模块的前后模块处于接地状态，两边也是作为回流的铁轨，这样就形成了一个接地闭合环，将供电模块很好的锁定在闭合环范围内，保障周围环境及行人的安全。

5 结语

有轨电车具有运量大、建设周期短、造价相对低等特点，已成为各个城市解决交通问题的首要选择，且随着各种新型供电技术的发展，电磁感应地面供电系统作为一种新型地面供电方式，具有施工、维护方便，且能完美与城市景观融合等特点逐渐被市场所接受，可以预见将来电磁感应供电、超级电容供电、Tramwave地面供电等技术将逐渐取代传统的接触网供电技术是大势所趋，尤其是在景观要求较高的区域。

参考文献

[1] DBJ 52/T092-2019. 交流有轨电车交通系统设计规范.
[2] 秦骥. 基于现代有轨电车的地面供电技术研究与应用[D]. 大连理工大学毕业论文.