

# 双碳背景下无线充电路面设计及研究

黄沐阳

(广东省建筑设计研究院有限公司, 广东 广州 510010)

**摘要** 为积极响应国家双碳战略, 推动绿色交通发展, 促进市政无线充电路面的推广和应用, 本文从无线充电路面的类型和组成部分切入, 介绍了其工作原理, 系统地剖析了当前无线充电路面技术存在的问题及影响因素, 并结合无线充电路面实际发展情况, 从无线充电路面设计层面的技术方面和社会经济政策上的非技术方面提出了促进无线充电路面发展的措施, 旨在为促进无线充电路面的设计和产业化应用提供借鉴。

**关键词** 无线充电路面; 路面材料; 路面结构; 路面设计

中图分类号: U416

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)08-0001-03

在双碳背景下, 为了逐步提高道路交通领域的可持续性, 随着智能交通系统的发展以及新能源电动汽车的普及, 推动绿色交通快速发展<sup>[1]</sup>, 实现路面与电动汽车能量和信息交互成为未来发展的趋势。但因为电池因素的影响, 价格和续航焦虑是制约电动新能源车发展的重要因素, 因此国家对固定充电桩进行了大力的开发与建设, 但固定的充电桩与生俱来的短板, 无法从根源上解决续航焦虑问题。为了能够实现电动汽车即停即充, 边跑边充, 充分响应国家新能源战略, 无线充电路面技术便成为一种满足未来交通需求的创新解决方案。因此, 本文以无线充电路面技术作为切入点, 系统地分析了当前无线充电路面技术存在的问题、影响因素, 以及提供一些促进无线充电路面发展的思路措施, 以期使道路真正成为智能交通的空间载体、能源和信息交互平台, 为相关设计人员对无线充电路面的设计提供实践参考。

## 1 无线充电路面类型

充电路面被定义为一种交通基础设施, 能够利用特定的传导式或非接触式充电系统, 在静止甚至运动状态下为电动汽车高效充电。根据充电路面的特点, 它可作为普通道路供车辆行驶, 同时也为电动汽车提供电力。它的工作原理如图 1 所示, 基于法拉第电磁感应定律, 在原有的路面结构中嵌入一个充电模块, 路面中的充电模块充当一个原线圈, 电动汽车中集成一个充电模块, 充当一个副线圈, 利用动态无线充电技术, 实现电—磁—电的转换。首先, 将城市周边电网的低频交流电进行整流逆变, 使之成为高频交流电, 高频交流电进入原线圈, 在原线圈和副线圈之间进行电感耦合谐振, 通过高频磁场, 电能以一个较高的效率从路面充电模块传输至汽车充电模块, 然后通过汽

车上的原件进行整流、滤波、变压的一系列处理后, 成功为汽车中的电池进行充电, 实现为行进中的电动汽车持续供电的效果<sup>[2]</sup>。

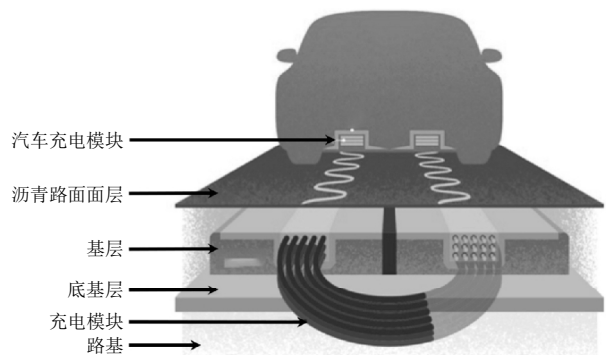


图 1 无线充电路面结构示意图

根据供电和电能传输形式的不同, 充电路面可分为两大类<sup>[3]</sup>。第一类是接触式充电路面, 利用诸如在路边设置电线或在路面中敷设电缆的导电轨道等供电装置, 将电能持续地传递给电动汽车, 为其提供动力。该类充电路面是以德国的受电弓技术和瑞典的导电轨技术等形式实现的。接触式充电路面存在养护成本较高, 维护不易, 对道路破坏较大, 建造使用成本高等一系列问题, 制约了其进一步发展。第二类是非接触式充电路面, 通过无线充电技术, 以非接触的方式为行驶中的电动车提供实时的电能供给, 使电动车少搭载甚至无需搭载电池组、延长续航里程、提高电能补给的便捷性和安全性, 为电动汽车进行电能传输。根据电能的传输方式不同, 非接触式充电路面又可细分为三种。第一种是电磁感应式充电路面, 在该无线充电路面系统中, 在路面中预埋供电发射端, 车辆上配备接收端, 当电动汽车在该道路行驶时, 路面预埋供

电发射端会与车辆上配备的接收端产生磁谐振耦合，通过电感功率传输，从而实现电能的无线传输。第二种是利用高频电场进行电力传输的电容式无线充电路面，使用特殊材质制成电容耦合器，一个电容耦合器设置在路面结构中起到发射器的作用，另一个电容耦合器固定在车辆内作为接收器，提供从发射器到接收器端的功率流，并在该无线充电路面系统中设置补偿电路，增加两电容耦合器的电压，进而进行功率传输。第三种是通过微波进行无线电能传输，被称为辐射式无线充电路面，它以特点频率范围内的电磁波作为传输能量的平台，无需依靠其他物质作为传导材料来进行电能传递。该路面系统主要由微波功率源、天线和整流滤波电路三个部分组成<sup>[4]</sup>。

电磁感应式充电路面因其先天优势，通过电磁感应原理进行工作，其能量传输距离、效率及传输功率优势明显，且充电装置嵌入路面结构层内，不占用过多空间且无外露物理接口，具有使用方便、维护成本低、安全系数高、用户体验极佳等巨大优点。然而，电磁感应式充电路面建设成本较高，且由于线圈造成的能量损失较大，存在电磁泄漏风险，因此出现了成本更低的高功率电容式功率传输。电容式无线充电技术传输功率较高，但传输效率会随电容板间距的增加而迅速降低，并且其极板会占用相当一部分用地空间，这使得电容式无线充电路面的耦合机构与传输效率的匹配性仍需深入研究。辐射式无线充电路面通过电磁波的传导，能实现长距离的能量传输，其传输精度也高，但相对于电磁感应式充电路面而言，辐射式无线充电路面的功率、充电效率均较低。

## 2 无线充电路面存在的问题

无线充电路面作为一种新型的交通基础设施，在具有诸多优点的同时，也存在着许多潜在的挑战，为更好地应用无线充电路面，对其存在的一系列问题进行分析是有必要的。

### 2.1 路面材料对能量传输效率的影响

为确保无线充电路面设计满足耐久性和使用寿命要求，同时具备为汽车进行充电的功能。首先需要考虑的便是无线充电路面的材料性能，路面材料是路面能够正常使用的基础。对于无线充电路面，路面材料大致可分为两部分，一部分是传统常用的铺面材料，如沥青混凝土、水泥混凝土等，第二部分是集成于路面结构层中的如线圈、充电板等的电子元件。

对于传统铺面材料部分，作为空气中不同电磁特性的传递介质，它会对无线充电系统进行电能传输过

程产生影响。一方面，铺面材料可以增强电感。铺层材料具有不可忽略的磁化特性，可磁化并改变空间磁导率使得发射端和接收端的谐振频率不匹配，导致谐振状态不稳定或效率降低。另一方面，铺面材料会降低耦合系数。当铺面材料试样位于发射端和接收端之间时，耦合系数会降低。路面层可被视为一个有限大小的磁板，与无线充电路面一起平均覆盖在每个发射端上。耦合系数的降低是由于“屏蔽”的影响，路面层本身可以诱导并产生磁场，初级线圈产生的磁通在穿过路面材料层时留下一部分，这部分磁通将与路面材料层耦合，产生一个类似于“屏蔽”的闭合磁路，从而对无线功率传输效率产生影响。

对于集成于路面结构层中充当发射端的电子元件，其在路面中的布置形式、排布方式，以及与接收端的距离方面，都会对能量传输效率产生影响。

### 2.2 路面结构对路面稳定耐久性的影响

要建设无线充电路面，需要将诸如发射器（线圈、铁氧体磁芯）及其他控制和传感器等设施集成到路面中。这种集成不能影响单个组件的性能，因此不仅需要保护易损坏的电子元件，保证道路的结构稳定性本身也同样重要。如果无线充电路面在使用周期内受到损坏，其无线充电系统将无法正常工作，导致无线充电路面整体功能失灵，无法为电动汽车充电，甚至无法支持正常运行。因此，保障无线充电路面的长期良好性能对于整个系统的经济、社会和环境效益最大化至关重要。

无线充电路面不可避免地要将充电模块嵌入路面中，无论是沥青路面还是水泥路面。因此，铺面材料和电子元件之间界面区的强度和刚度，对无线充电路面的性能起着重要作用，两个路面层之间失去界面黏结可能会导致滑移等重大问题。如果电子元件周围的界面区强度不足或因永久或瞬时变形而破坏，无线充电路面系统将无法充分发挥作用。铺面材料和相邻的电子元件的不良性能会导致路面的外部和内部产生较大的应力和应变，从而缩短路面和电子元件的使用寿命。系统结构稳定性的降低会增加维护成本，降低道路的适用性，并对行驶质量和资产寿命产生不利影响。

此外，无线充电路面还会受到诸如交通的反复负荷、气候引起的路面内部热收缩和膨胀、冬季的冰冻和霜冻以及春季解冻时的湿气流动。充电设施，尤其是脆弱的充电装置，极易受到这些外部因素影响而受到损坏。在无线充电路面运行过程中，由于电子元件在运行过程中向周围铺面材料传递热量，路面中的温度会升高，这极可能在车辆荷载下出现界面剪切破坏，

尤其是在长时间运行的大功率固定充电条件下。

### 2.3 路面设计对环境可持续性的影响

无线充电路面是实现交通领域电气化并最终实现去碳化的一个可行解决方案。然而,无线充电路面因其路面材料、路面结构均与传统的路面存在显著的差异,也会导致其施工工艺流程、管养方式均会不同,而上述方面对环境的影响程度与传统路面相比仍无法评估,关于充电基础设施的详细生命周期评估(LCA)尚属空白。总而言之,无线充电路面的引入有助于推动电动汽车进入市场,但其真正的环境效益仍鲜为人知,而且预计不会立即实现。为了给无线充电路面基础设施提供重要的决策支持,实现提高环境可持续性的目标,必须对无线充电路面基础设施进行综合生命周期评估。

## 3 促进无线充电路面发展的措施

针对无线充电路面目前存在的一系列问题,本章节从技术方面和非技术方面提出相应的改进措施,以便为实际操作应用做出改进。

### 3.1 设计层面的技术措施

针对路面材料对无线充电路面能量传输效率造成的影响,一方面,可从将不同排布方式的发射线圈采用不同间距进行设计,综合考虑嵌在路面内的发射端的布置方式;另一方面,探究铺面材料磁化影响规律,优化路面材料设计,调整路面材料配比,使铺面材料与电子元件之间热学性能匹配,减少无线充电路面内部热量聚集,并可设计开发高强、绝缘、防水铺装路面材料,不仅具有很好的路用耐候性,同时还是强绝缘的防水性材料,进一步完善防水处理。

针对路面结构对无线充电路面稳定性及耐久性造成的影响,可通过以下途径进行改进。首先,通过小尺度的室内试验,采用数值模拟结合实验验证的方法,建立有效的无线充电路面稳定性及耐久性评价平台,为实际的无线充电路面建设提供参考指引。其次,可以参考长寿命道路的设计思路,电子元件最好埋设在路面表层,而不是结构层、基层或底基层。原因是结构层的保护对于路面来说是非常重要的,如果结构层失效,就必须采取昂贵的修复或重建措施。同时,考虑各种措施尽可能将电子元件与铺面材料之间的模量差距减小,抑制应力集中的问题出现。最后,考虑在不连续界面上使用不同的封闭连接和层间材料,这些界面材料不仅可以释放高应力或应变,延缓潜在的开裂或脱粘破坏,还能使得电子元件与铺面材料之间填充更加充分,增加结构的整体性。

### 3.2 社会经济法律环境层面的非技术措施

无线充电路面的推广,不仅需要解决技术方面的问题,对于社会、经济、法律、环境等现实因素也可推动无线充电路面的发展。在政策支持方面,国家已出台相关文件,如《2030年前碳达峰行动方案》<sup>[5]</sup>中提到的推动运输工具装备低碳转型、加快绿色交通基础设施建设,加快形成绿色低碳运输方式。因此,国家应加大力度对相关的法律法规、规范标准等进行制定完善,促进无线充电路面的应用。在市场导向方面,政府要完善资金筹措渠道,降低投资风险,专项资金向相关产业倾斜,进行宏观调控,企业要开拓创新,加大对相关产业的资金投入,提供优质服务。在用户消费方面,人们可持续关注相关行业发展,树立绿色低碳出行的观念,支持相关的产品,进一步促进无线充电路面的应用落地。

## 4 结束语

随着国家对可持续绿色发展提出更高的要求标准,新能源汽车越来越受到社会的推崇,对无线充电路面的需求也在逐渐增加,同时对其的深入研究,使得无线充电路面技术具有较好的技术储备程度。本文在详细介绍无线充电路面的类型、工作原理和组成部分的基础上,梳理了无线充电路面技术中,路面材料对能量传输效率的影响,路面结构对路面稳定耐久性的影响,路面设计对环境可持续性的影响。针对上述面临的问题,提出了相对应的促进无线充电路面发展的措施。总而言之,无线充电路面设计涉及跨学科领域,应从多专业、多角度进行充分设计研究,为建成无线充电路面交通智能基础设施打下扎实的基础。

## 参考文献:

- [1] 朱沛林,王恒,马华清,等.浙江省绿色交通标准体系研究[J].交通科技与管理,2023,04(18):186-188.
- [2] 李峰,孙轩,朱兴一,等.路面材料磁化对无线电能传输的能量损失效应研究[J].中国公路学报,2021,34(03):71-79.
- [3] 马涛,裴耀文,陈丰,等.感应充电路面技术研究现状与展望[J].中国公路学报,2022,35(07):36-54.
- [4] 张硕杰,牛国玺,王梓旭,等.无线充电道路电能传输与设施部署方法综述[J].交通科技与经济,2023,25(05):46-52.
- [5] 中华人民共和国国务院.国务院关于印发2030年前碳达峰行动方案的通知(国发[2021]23号)[EB/OL].(2021-10-24)[2022-04-26].[http://www.gov.cn/zhengce/content/2021-10/26/content\\_5644984.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2021-10/26/content_5644984.htm).