

深圳市城市轨道交通 5 号线上水径停车场绿色低碳技术应用与近零碳车辆基地建设

付成龙

中国铁路设计集团有限公司 深圳 518052

DOI:10.12238/ems.v7i6.13850

[摘要] 本文以深圳市城市轨道交通 5 号线上水径停车场为研究对象,深入探讨其在绿色低碳设计理念下的多项技术应用与近零碳车辆基地建设实践。从分布式光伏发电系统、太阳能集热系统、水资源回收利用系统、绿色建筑设计等方向详细阐述了该项目如何实现绿色低碳技术措施的最大化应用,并介绍了依托停车场能源管理系统建设的碳监测、碳管控体系,以及其在轨道交通领域推动“近零碳”发展和形成示范带动效应的成果,旨在为城市轨道交通行业的绿色可持续发展提供参考与借鉴。

[关键词] 城市轨道交通; 上水径停车场; 绿色低碳技术; 近零碳车辆基地; 碳监测与管控

1 引言

在全球气候变化的严峻形势下,“双碳”目标已成为世界各国实现可持续发展的关键战略。我国明确提出二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值,努力争取 2060 年前实现碳中和,这一宏伟目标对各个行业的绿色转型提出了紧迫要求。交通运输行业作为碳排放的重点领域之一,其碳排放占比不容小觑,实现绿色低碳发展迫在眉睫。城市轨道交通作为城市公共交通的重要组成部分,具有大运量、高效率、低能耗、低污染等显著优势,在城市交通体系中发挥着越来越重要的作用。深圳市作为中国的经济特区和创新前沿城市,一直致力于推动城市轨道交通的绿色低碳发展。深圳市城市轨道交通 5 号线上水径停车场项目正是在这样的背景下,以“绿色低碳”设计理念为核心,积极探索和

实践多项绿色低碳技术措施,致力于打造首个城市轨道交通“绿色示范”车辆基地,为轨道交通领域的近零碳发展提供了宝贵的经验和示范。

2 项目概况

上水径停车场位于龙岗区吉华街道水径片区,场址及周边原为采石场。场址北面为规划布坂联络道,西侧紧临现状清平高速,南侧为规划水径路,东面为规划布曼路。上水径停车场主要辅助已建成投入使用的塘朗车辆段来承担 5 号线部分配属车辆的停放、列检、洗刷、双周三月检等工作。项目已于 2024 年 12 月正式开通运营。

停车场用地呈西北东南走向,预留上盖物业开发条件,规划为开发 50 米高产业园区。盖板上本次设计预留柱头,为后期物业开发预留条件。咽喉区上方设置光伏发电场。



图 1 上水径停车场总平面图

上水径停车场由停车列检库及辅跨、盖上综合楼及盖上镗轮库、牵引降压混合所、洗车库、门卫、咽喉区光伏发电系统、出入场线等 7 个部分组成。车辆基地内建筑根据生产工艺的要求及深圳地区的特点统筹规划,根据各建筑功能和作业特点,进行分区布置,充分考虑各系统功能和使用要求,

做到统筹兼顾、分区明确、互不干扰、联系简捷。

3 绿色低碳技术应用

上水径停车场项目在绿色低碳技术应用方面表现出色,这些措施共同推动了上水径停车场项目的绿色低碳发展,为轨道交通领域的近零碳发展提供了宝贵的经验和示范。

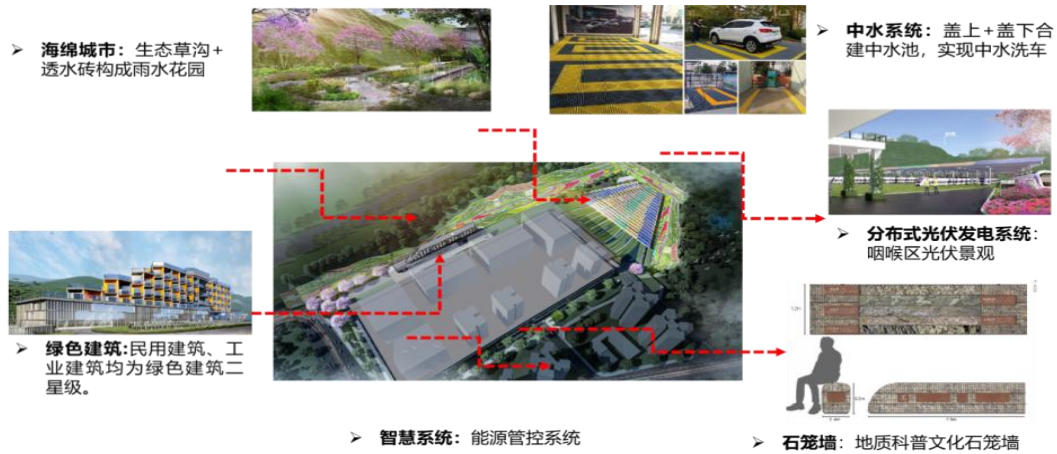


图 2 上水径停车场绿色低碳技术应用图

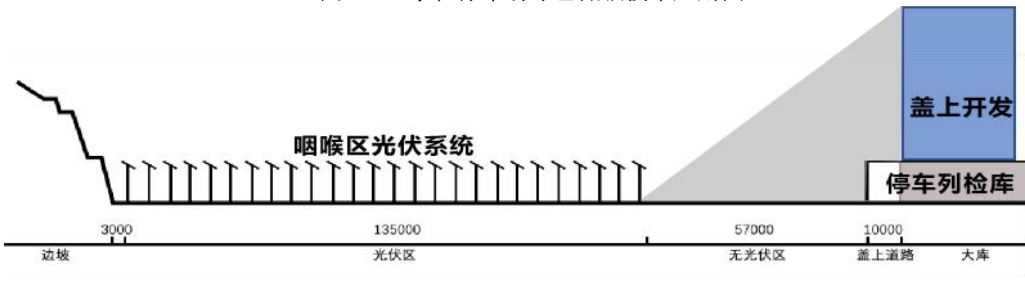


图 3 上水径停车场咽喉区光伏系统示意图



图 4 上水径停车场中水系统图

3.1 分布式光伏发电系统

上水径停车场在咽喉区上方大面积设置了分布式光伏系统，这在国内轨道交通领域算是首创。在咽喉区建造了约10000平方米分布式光伏系统，实现了2MW的总装机容量，年平均发电量可达206.78万度。这些绿色电力不仅可以满足停车场内部设备的用电需求，如照明系统、通风系统、办公设备等，多余的电力还可以通过停车场设置的6处400V低压

侧的并网点采用自发自用模式将余电返送正线35kV使用，最大限度地减少了对传统电力的依赖。据估算，通过光伏发电每年可减少约932.96吨二氧化碳排放，有效降低了停车场的碳排放，为实现近零碳车辆基地的建设目标做出了重要贡献。

3.2 太阳能集热及空气源热泵热水系统

在上水径停车场的地铁配套用房屋顶安装太阳能集热装置，用于为停车场提供生活热水。太阳能集热装置通过吸收太

阳辐射能,将水加热至适宜的温度,满足停车场内人员的生活热水需求。这种利用方式不仅减少了对传统化石能源的依赖,还显著降低了碳排放,体现了绿色、低碳的能源利用理念。

同时,为了提高能源利用效率并确保热水供应的稳定性,停车场采用了空气源热泵作为辅助热源,替代传统的电加热设备。与直接电加热相比,空气源热泵的能效比(COP)通常可达34,这意味着其在消耗较少电能的情况下,能够提供更多的热量。

这种组合利用方式“太阳能集热装置作为主要热源,空气源热泵作为辅助热源”不仅最大化地利用了可再生能源,还提高了系统的可靠性和经济性。此外,这种能源利用模式也符合国家“碳达峰、碳中和”目标的要求。太阳能集热及空气源热泵热水系统预计每年减少115.15吨二氧化碳排放。

通过减少对传统化石能源的依赖,停车场的能源结构更加清洁、低碳,为实现绿色交通和可持续发展做出了积极贡献。

3.3 水资源回收利用系统

上水径停车场设置了完善的水资源回收利用系统,主要通过雨季收集雨水充分利用雨水资源、回收场区工业废水搭建完善的中水系统。

通过构建完善的雨水收集系统,设置雨水花园、透水性铺装、植草沟等充分利用自然降水,实现了水资源的循环利用。该系统的设计和建设充分考虑了停车场的地形、地貌以及周边环境条件,通过雨水收集系统的应用,上盖开发后,能把雨水充分用上的情况下,按4-9月半年雨季去算每年节水4.78万吨,有效减少了对市政供水的依赖,降低了水资源

消耗和运营成本,同时也减轻了城市排水系统的压力,具有显著的经济效益和环境效益。

通过对停车场内生产及工艺废水收集处理,达到中水标准后用于冲厕、绿化灌溉等非饮用水用途,减少新鲜水资源使用,降低取水、输水和处理过程中的能源消耗与碳排放。同时,通过污水再生利用,减少污水排放量,降低污水处理过程中的碳排放,减轻对城市污水处理系统的压力,避免污水直接排放对环境的污染。此外,通过采用高效水处理技术和设备,如节能型水泵、风机等,降低系统运行的能源消耗,进一步减少碳排放,实现水资源的循环利用,提升停车场的生态功能和景观效果。

通过水资源回收利用系统,预计年平均减少30.25吨二氧化碳排放,为轨道交通领域的绿色低碳发展提供了示范。

3.4 绿色建筑设计的

上水径停车场的内的工业建筑和民用建筑,利用合理的建筑朝向、自然通风太阳能热水系统、中水系统、装配式施工等措施,按“安全耐久、健康舒适、生活便利、资源节约、环境宜居”的绿色建筑要求进行设计,实现整个停车场绿色建筑面积99%以上达到绿色建筑二星级。

场区围墙就地取材设置特色文化石笼,利用场地爆破所得的石材打造石笼墙,打造深圳地质文化科普墙,展示深圳常见地质分层知识,与场地内原有采石场文化形成联动。

场区内部特色石笼矮墙融入地铁文化,矮墙造型设计为地铁列车形式,增加地铁符号标识,与石笼围墙形成组合景观,更符合场地定位,同时为行人提供休憩空间。



图5 上水径停车场地质科普石笼墙

利用深圳地铁五期17、20、22及25号线项目迁移苗木用于停车场的绿化建设,并引入海绵城市概念构建下沉式绿地、雨水花园、生态植草沟、透水性铺装等,将车辆基地内绿化空间按不同种植类型划分为3种空间类型,并分别统

计其面积。每种种植类型对应相应的单位面积40年的固碳量,将停车场内38602平方米绿化区域构建生态屏障,可实现年固碳量7.53吨。通过绿色建筑手段,预计年平均减少77.88吨二氧化碳排放。

3.5 能源管理系统

上水径停车场构建了一套先进的能源管理系统，该系统基于物联网、大数据和云计算等前沿技术，实现了对停车场内各类能源消耗的全面、实时监测与精细化管理。

通过停车场能源管理系统，对停车场内的电力、水、燃气等能源消耗进行实时监测。能源管理系统能够准确记录能源消耗数据，为碳排放计算提供基础数据支持。

通过能源管理系统的数据分析功能，实现了对停车场内各类能源设备的全生命周期管理，包括设备档案管理、设备运行状态监测、设备维护计划制定和执行等功能。通过对设备运行状态的实时监测，系统能够及时发现设备故障和潜在隐患，并自动发出预警信息，提醒管理人员进行维修和保养。同时，系统还可以根据设备的运行时间、能耗数据等信息，制定合理的设备维护计划，确保设备的正常运行，延长设备使用寿命，降低设备维修成本。

利用时间序列分析、机器学习等算法，对能源消耗进行预测，提前制定能源采购计划和节能措施。当能源消耗超出预设的阈值时，系统自动发出预警信息，提醒管理人员采取相应的措施，避免能源浪费和成本超支。例如，在夏季高温季节，系统通过对历史气象数据和空调能耗数据的分析，预测到未来一周内空调能耗将大幅增加，提前调整了空调的运行参数，优化了空调的运行策略，有效降低了空调能耗，以降低能源消耗和碳排放。

3.6 碳检测与碳管控

上水径停车场依托能源管理系统，建立了完善的碳监测与碳管控体系，实现了对停车场碳排放的实时监测、精准核算和有效管控。

在碳监测方面，系统通过与能源管理系统的对接，获取停车场内各类能源的消耗数据，根据不同能源的碳排放

因子，计算出相应的碳排放量。例如，对于电力消耗，根据当地电网的碳排放因子，将用电量转换为碳排放量；对于天然气消耗，依据天然气的碳排放因子进行碳排放量核算。同时，系统还考虑了停车场内其他可能产生碳排放的活动，如车辆的运行、设备的维护等，通过建立相应的碳排放计算模型，对这些活动的碳排放量进行估算。通过实时采集和计算能源消耗数据，系统能够实时更新停车场的碳排放数据，并以直观的图表形式展示碳排放的变化趋势，为碳管控提供准确的数据支持。

碳管控措施是实现停车场碳减排目标的核心手段。基于碳监测和核算的数据，上水径停车场制定了一系列针对性的碳管控策略。在能源管理方面，通过优化能源结构，提高可再生能源的使用比例，降低对传统化石能源的依赖，从而减少碳排放。如前文所述，停车场大规模应用分布式光伏发电系统，年平均发电量可达 206.78 万度，年平均降碳量约 932.96 吨。同时，加强能源需求侧管理，通过实施节能改造、优化设备运行策略等措施，降低能源消耗，进而减少碳排放。

设定停车场的碳减排目标，并将其分解到各个部门和岗位。通过定期考核碳减排目标的完成情况，激励各部门和员工积极参与碳减排工作，确保碳减排目标的实现。

4 近零碳车辆基地建设

上水径停车场通过各项绿色低碳技术的应用、能源管理系统的建设及碳检测与碳管控体系测算，在近零碳车辆基地建设指标方面均达到表 1 近零碳车辆基地建设方案指标表的设计要求。

上水径停车场通过绿色能源引入和系列降碳技术的综合利用，共可实现每年约 1156.24 吨减碳量。完成建设投入运营后，在不考虑牵引用电情况下车辆基地已实现零碳排放。

表 1 近零碳车辆基地建设方案指标表

指标名称	单位	参考值	指标类型	上水径停车场情况
相比既有车辆基地单位建筑面积碳排放指标下降率	%	40%以上	核心指标	上水径停车场估算单位建筑面积碳排放量为 4.84kgCO ₂ /m ² ，较既有车辆基地指标下降 56%
每年单位建筑面积碳排放量（不含列车牵引能耗）	kgCO ₂ /m ²	≤6	核心指标	
建筑综合节能率	%	≥60%	一般指标	上水径停车场综合楼满足建筑综合节能率>60%
建筑本体节能率	%	≥20%	一般指标	上水径停车场综合楼满足建筑本体节能率>20%
可再生能源利用率	%	≥8%	核心指标	上水径停车场可再生能源消费比重为 66%（不含列车牵引能耗）
购买中国核证自愿减排量（CCER）、深圳碳普惠制核证减排量占碳排放量的比例	%	≤5%	一般指标	上水径停车场未计划采取碳抵消措施
购买绿色电力比	%	≤30%	一般指标	上水径停车场不计划购买绿电
二星级及以上绿色建筑面积比例	%	≥60	一般指标	上水径停车场综合楼、运用库均建设二星级绿色建筑，面积占比 99%
工业用水重复利用率	%	≥92	一般指标	上水径停车场园区生产用水回收利用 100%
碳排放管理体系		建立	核心指标	上水径停车场建立包含碳排放管理体系、碳排放监测系统、碳披露在内的碳管理体系
碳排放监测系统		建立	一般指标	

5 示范推广与展望

上水径停车场项目通过一系列绿色低碳技术的应用和碳监测、碳管控体系的建设，成功打造了国内首个城市轨道交通“绿色示范”车辆基地，并且成功申报了第 3 批深圳市近零碳排放区试点项目，为轨道交通领域的近零碳发展提供了宝贵的经验和示范。其在绿色低碳技术应用以及碳监测、碳管控体系的建设方面，都具有较强的推广价值。这些技术和经验可以为其他城市轨道交通车辆基地的建设和运营提供参考，推动整个行业的绿色低碳发展，为轨道交通领域的绿色

低碳发展提供了示范。未来，随着绿色低碳技术的不断进步和创新，城市轨道交通行业有望在更多方面实现绿色低碳发展，为应对全球气候变化做出更大的贡献。

作者简介：付成龙（1990 年），男，汉族，山东省青岛市，建筑学，大学本科，工学学位，工程师，建筑设计，中国铁路设计集团有限公司。

课题：《近零碳城市轨道交通车辆基地设计标准研究》，编码：2023BHN201。