

铁路“基础设施节能”的本质是建设绿色铁路工程。《推动铁路行业低碳发展实施方案》提出的实现举措包括以下几个方面：首先，必须严格执行国土空间规划和生态保护的相关要求，深化环保选线理念，加强设计源头的管理力度，积极倡导并实施绿色选线策略。科学合理地规划铁路线路及枢纽设施布局，促进铁路与其他交通方式共享通道资源，全面提升土地资源的综合利用率。其次，推动绿色铁路工程建设，强化设计、建设、竣工、验收等全过程的管理，提倡绿色设计和绿色施工理念。建立健全各阶段能耗与碳排放的计量监测、统计核算及考核评价体系，确保铁路工程全面符合绿色低碳发展的战略要求。再次，积极推进铁路场站、物流园区等基础设施的绿色化改造。复次，积极推广使用绿色建材，广泛采用可循环、可再利用的建材和可再生资源，努力推进铁路建设中弃渣的减量化、资源化处理，力求铁路基础设施建设达到低能耗、低排放的目标。最后，大力推进铁路火车轮渡码头和船舶岸电设施的建设，并确保其常态化使用。积极推广使用绿色能源的施工机械设备，为实现铁路建设的绿色可持续发展贡献力量。

本书中的基础设施不仅包括轨道、路基、桥隧、站场、站房、“四电”，还包括服务于生产生活的照明、空调、通风、电梯、安检等设备。基础设施凭其本身不可能固碳，应从节能的角度出发研究减碳机制。考虑基础设施全生命周期，节能减碳应贯穿于基于全生命周期理念的统筹施工运维一体化设计、涵盖工艺与物资运输的绿色施工、智能化与绿色化协同下的设施维护和运用。从节能减碳预期效果出发，基础设施节能减碳工作应着重于线路与车站设备设计、结构施工与维护、大宗工程物资运输。

第一节 基础设施节能现状

主要的节能途径包括优化设计、新型材料、工艺改进、智能控制等。

一、线路设施

铁路线路设施的节能研究主要集中在线路选址与规划、路基与轨道结构、列车运行控制及新能源的应用等方面。研究表明，通过优化线路的曲线半径和坡度设计，合理的选线可以缩短线路长度、降低坡度，从而显著降低列车运行的牵引能耗。^[1-2]

高性能轨道材料和先进的轨道减振技术不仅能延长轨道使用寿命，还能减少列车运行中的摩擦阻力，进而提升节能效果。^[3-4]

智能化列车运行控制系统通过优化列车运行图、合理控制列车速度和加减速，最大限度地减少能源浪费，如自动驾驶系统和智能调度系统的应用显著提高了列车运行的能效。^[5-7]

此外，太阳能和风能等可再生能源在铁路系统中的应用逐渐增多，这不仅降低了铁路运营的碳排放，还减少了对传统能源的依赖。一些铁路已经在车站和沿线安装太阳能电池板，为列车提供清洁能源。^[8-9]

二、站场设施

铁路站场节能研究主要集中在站场布局优化、能源管理系统、绿色建筑技术和智能控制系统等方面。研究表明，通过优化站场的布局，合理配置各功能区的位置，能够有效减少车辆调度时间和能耗。

引入能源管理系统可以实时监测和调控站场的能源使用情况，提高能源利用率。^[10]节能环保材料的使用、自然通风和采光设计不仅降低了站场建筑的能源消耗，还提升了乘客的舒适度。^[11]

此外，太阳能光伏系统和风力发电等可再生能源技术在站场中的应用逐渐增加，有效降低了对传统能源的依赖。智能控制系统在站场节能管理中发挥了重要作用，通过自动调节照明、空调等设备，避免了不必要的能源浪费。^[12]

三、站房设施

站房设施节能研究集中在设计环节，包括建筑结构优化、能源管理系统应用、

新能源利用和智能化控制等方面。通过优化站房的建筑结构设计，可有效减少能源消耗，提高站房的能效。^[13-14] 能源管理系统的引入能够实时监测和调控站房的能源使用情况，实现能源的高效利用，从而达到减碳的目的。^[15-16]

在新能源的应用方面，太阳能、地源热泵等可再生能源在站房设计中的使用逐渐增多。例如，通过在站房屋顶安装太阳能电池板可以为站房提供清洁能源，减少对传统能源的依赖。^[17-18] 地源热泵系统则利用地热资源进行供暖和制冷，有效降低了能源消耗。^[19-20]

智能化控制系统的应用也是站房节能设计的重要方面，通过智能化控制系统可以实现对照明、空调等设备的自动调节，避免能源浪费。

四、照明与服务设备

1. 车站照明节能

铁路车站照明的节能研究主要集中在照明系统设计优化、智能控制技术、光源技术改进以及照明管理系统的应用等方面。智能照明系统根据人流量和自然光强度自动调节照明亮度；智能空调系统通过监测室内外温度、湿度等参数，自动调整空调运行状态，实现节能降耗。^[21-22] 研究表明，通过优化照明系统设计，如合理选择灯具的布置和亮度，可以显著降低能源消耗。

自动调光系统和基于传感器的动态控制系统等智能控制系统的应用，能够根据实际需要自动调整照明强度，避免了不必要的能源浪费。^[23-24] 光源技术的进步也对节能效果产生了积极影响，LED 等高效光源的使用大幅度提高了照明系统的能效比，并降低了维护成本。^[25-26]

此外，照明管理系统的应用实现了对照明设备的运行状态进行实时监控和优化，进一步提升了能效和管理水平。^[27]

2. 车站服务设备节能

铁路车站服务设备的节能研究主要集中在设备选型与配置优化、节能技术应用以及智能管理系统的集成等方面。通过优化服务设备的选型与配置，如选择高效节能型电梯、自动扶梯和空调设备，可以显著降低能源消耗。^[28]

高效热回收系统和智能照明系统等节能技术的应用，进一步提升了设备的能效。高效热回收系统能够利用废热进行空气预热，从而减少了能源的额外需求。此

外，智能管理系统的集成实现了对车站服务设备的运行状态进行实时监控和优化，做到了能源的精准控制和管理。^[29-31]

五、施工与维护

1. 原材料选择

铁路原材料选择的节能研究主要集中在高效节能材料的开发与应用、材料的生命周期评估以及材料选择对整体能效的影响等方面。研究表明，选择高性能节能材料可以显著降低铁路工程的能源需求。这些材料不仅具备优良的结构性能，还能减少工程施工中的能量消耗和维护成本。^[32]

材料的生命周期评估也在节能研究中扮演着重要角色，通过对原材料的生产、运输、使用和处置过程中的能耗进行全面评估，能够优化材料的选择，进一步降低整体能耗。节能材料的应用也是提高施工能效的重要手段，如采用节能保温材料可以减少材料的使用量和能源消耗。^[33-34]

此外，采用具有较低环境影响的可再生材料，如绿色复合材料也有助于减少资源消耗和提高能源使用效率。^[35]

2. 工程物资运输节能

铁路工程物资运输的节能研究主要关注运输方式优化、物资管理技术应用以及运输过程中的能源效率提升等方面。研究表明，通过优化物资运输方式，如采用电动货车或改进传统燃油车的能效，可以显著减少运输过程中的能源消耗。物资管理技术的应用，如集成化的物流管理系统和智能调度系统，能够提高运输效率，减少空载和重复运输，从而降低能源使用。^[36]

此外，采用高效的运输设备，如节能型货车和自动化装卸设备，也对节能具有积极作用。优化运输路线和调度策略，减少不必要的运输距离和等待时间，也是提高运输过程能效的有效手段。^[37-38]

3. 施工组织优化

施工规划阶段是指通过便道优化设计和施工场地选择达到节能减碳。施工场地选择就是选择交通便利、靠近既有铁路设施的施工场地以减少材料和设备的运输距离，降低运输能耗；优先选择靠近电力供应充足、能源价格较低的地区，以降低施

工过程中的能源成本。便道设计节能就是尽量减少线路长度和坡度，以降低工程车辆运行和爬坡时的能量消耗。

施工准备阶段是指通过设备选型配置和材料采购管理达到节能减碳。设备选型配置就是选用节能型施工设备，确保施工效率的同时降低能源消耗；根据施工任务和进度合理配置施工设备，以提高设备的利用率，从而减少能源浪费。材料采购管理就是优先选择节能环保型建筑材料，以降低材料生产过程中和铁路建设与运营过程中的能源消耗；优化材料采购和运输方案，以降低材料在运输过程中的损耗和能耗。

施工组织优化的节能研究是指通过施工组织安排和能源管理控制达到节能减碳。施工组织安排就是进行合理的施工组织，以减少现场施工时间和施工工作量，提高施工效率，降低能源消耗；合理安排各工序的施工顺序和时间，避免工序之间的交叉干扰和重复作业，提高施工效率，减少能源浪费。能源管理控制就是制定能源消耗指标和节能措施，以加强对施工过程中能源消耗的监测和控制；合理安排施工时间，充分利用自然光和自然通风，减少照明和通风设备的使用时间，以降低能源消耗。

4. 施工工艺节能

铁路施工工艺的节能研究主要集中在施工工艺优化和施工机械的高效使用等方面。研究表明，通过优化施工工艺流程，减少无效作业和提高施工效率，可以有效降低施工过程中的能源消耗。^[39-40]

智能化施工管理系统的应用能够实时监控施工过程中的能耗情况，并进行优化调整，进一步提升了施工过程的节能效果。^[41]

5. 施工装备、线路维护装备节能

铁路施工装备和线路维护装备的节能研究主要集中在装备选型与技术改进、能源管理系统的应用以及高效作业方法的优化等方面。通过选用高效节能型施工装备，如先进的铺轨机和轨道检修车，可以显著降低能源消耗。^[42]

技术改进方面，新型施工装备配备了先进的节能技术，如电动化驱动系统和智能化控制系统，这些技术能够在减少能耗的同时提高作业效率。^[43-44] 能源管理系统的应用也有效提升了装备的能效，通过实时监控和优化操作，可以减少不必要的能源浪费。^[45] 在线路维护方面，采用新型节能设备不仅提高了维护效率，还降低了维

护过程中的能源消耗。^[46]此外，施工机械的高效使用和管理也对节能效果有显著影响，如通过引入先进的施工机械设备和优化机械使用策略可以减少能源的浪费并提高施工效率。^[47]

第二节 线站节能减碳机制

线站节能减碳设计目前主要体现在三个方面：一是线路平纵断面优化设计以降低机车牵引能耗；二是铁路客站辅助设备节能设计以减少运营期能源消耗；三是工程原材料低碳优选以减少施工原材料自身碳排放。

一、线路节能减碳机制

铁路线路设计的理想情况是顺直、平缓、短距，但在实际线路环境下，往往会存在地形复杂、地质不良等情况，甚至还会存在穿越山脊、跨越河流等极端地质情况。铁路线路设计要分别考虑平面线形和纵断面设计，首先要确保列车正常运营和运营时的行车安全；其次要最大可能地兼顾旅客乘车舒适性或货物运输可靠性；再次要考虑建设难度、建设费用和建设周期，以及运营期的运行能耗；最后还要尽量减少对环境的破坏，尽量做到铁路发展与自然环境和谐共生。

铁路线路敷设方式主要包括地下线、地面线和高架线三种。从线路节能角度而言，线路敷设方式相对较为复杂。对于山区、河流等特殊且复杂的地形条件，采用地下线或者高架线是最直接的解决方式，但是无论是地下线还是高架线，都会不可避免地造成相对于地面线更加复杂的施工难度、更加高昂的施工造价和更加冗长的施工周期。除此之外可以采用线路绕行或异常横纵断面线路的方式，保留地面线的敷设，这样会在施工建设阶段相对节能，但对于后期运营维护期间的节能与安全不利。因此，采用何种线路敷设方式，兼顾建设施工期和运营维护期，做到节能最优化，也是一个很重要的问题。

综上所述，铁路线路设计方案不仅直接决定了线路施工难度、工程费用和建设周期，更影响到后期线路运营期间的能耗，因此需要兼顾工程施工节能和运营维护节能两方面，对线路设计进行平纵横断面优化。

铁路线路平纵断面设计应在当地具体地质和地形等约束条件下，尽量做到线路顺直，或者采用较大的曲线半径，以保证列车运行时具有较小的附加阻力和较平稳的运行效果。当地形或地质条件限制而必须设置小曲线半径线路时，应尽量将小曲

线半径集中设置，以免造成列车运行时因断续的小曲线半径路段而产生频繁的加减速甚至起停车等耗能操作。线路坡度设计时也应该尽量平缓，避免急上坡或急下坡坡度的设置；如果不可避免长大坡道，也应该尽量集中设置，最大可能地保持和保留列车动能，避免列车动能损失。其中最常见的节能设计就是线路节能坡设置，通过节能坡实现列车动能势能的转化而有助于其加、减速操作，降低牵引能耗。

传统的节能坡设计一般是指将车站设置于坡顶处，即纵断面的凸起最高点处，以便于列车进行进出站时可以借助坡度完成重力势能和列车动能之间的相互转化，从而减少列车运行能耗。按照两个车站间的区间长度、高程等条件，分别设计为单面坡、“V”形坡、“W”形坡，并设置合适的坡度值，如有必要可采取多种坡型组合设置的方式以达到最优节能效果。

二、车站辅助设备节能减碳机制

《推动铁路行业低碳发展实施方案》针对绿色客站提了几点举措，包括以下几个方面：第一，新建客站必须严格遵循绿色建筑标准，确保设计与建设的科学性和先进性。第二，要加大对既有客站的绿色改造力度，积极推广绿色照明技术。第三，通过应用能源管控技术、实施变频改造等措施，对暖通空调、给排水、电气设备等主要耗能设施进行节能优化控制。第四，在条件允许的客站加装光伏系统，选择典型客站开展试点应用，以发挥示范引领作用。第五，进一步加强光伏发电等节能、新能源技术在场站的应用，新建铁路场站等建筑屋面优先采用光伏建设一体化方式（building integrated photovoltaic, BIPV）或预留光伏发电系统设置条件。第六，新建大型场站需采用能源管控技术，并确保达到三星级绿色建筑标准。第七，加快推进大型场站绿色照明智能控制改造，有序实施站房、灯桥、灯塔、景观等照明的发光二极管光源替代。第八，全面实施绿色交付，在工程交付前进行绿色建筑效果评估，确保工程质量与环保效益同步提升。

此处仅讨论车站用能设备。车站用能设备主要包括行车设备和运输辅助设备。行车设备包括信号设备、调度指挥设备、区间闭塞设备等，行车设备主要用于保障列车的安全运行和高效管理，是车站、列车等正常运行所必须的和不可停滞的，必须保证其安全、正常、高效运转。运输辅助设备则是用于支持和保障铁路运输的各项辅助工作，包括客货运辅助设备、环境控制设备（空调、通风、排水等）、供电及应急设备、安防设备、清洁剂维护设备。运输辅助设备主要是提升旅客出行方便性和舒适性，其中的通风空调设备作为铁路车站用能最大的单元，应作为主要研究

对象重点考虑。

车站用能体系中，照明作为设备之外的用电单元是通风空调之下的第二大用能体，不同于空调设备的单机大功率、高能耗，照明系统单机功率较小，但是运行数量多、覆盖面积大、使用时间长等特点决定了照明系统的整体高能耗。因此，应该将车站照明作为另外一项重点节能对象进行研究。

铁路车站目前大多采用接入市政电网的方式进行电力供应，会产生较大的上游发电端碳排放。因此，应该研究相关车站空调、照明等的节能设计，以减少空调端、照明端能源消耗，达到减碳、降排的目的。

1. 空调设备

铁路车站必须保持通风和室内温度恒定，以保证乘客的乘车安全性和舒适性，因此车站通风空调设备处于经常性运转状态。铁路车站空间庞大、开阔，且不具备密闭性，因此需要通风空调数量较多。此外，通风空调设备普遍具备单机功率大、能耗高等特点而产生较多的能源消耗和碳排放。综上，铁路车站通风空调设备在单机功率、总体数量、运行时间等方面均高于平均水平，且具备较大的节能减排空间，因此通风空调应该作为节能减碳的重点研究对象。

(1) 建筑结构优化

在车站规划设计阶段优化车站建筑结构。在保证建筑安全性、稳定性、实用性的基础上，兼顾工期工效和建筑成本，尽量选择具有保温隔热功能的材料，以降低过冷或过热季节外部温度条件等对建筑物产生的影响。通过合理设置窗户和通风口等，增加自然风与内部气体的流动与交换，以减少空调系统的使用时间和使用频率，接口开放有利于车站建筑的节能减排。^[48]

(2) 合理布置通风空调主机和末端设备

铁路车站空间开阔、面积广阔，各功能区按照用途不同分区域布置。不同功能区由于用途不同而产生不同程度的人员聚集，对于通风空调等的要求不尽相同，因此应该按照功能区分类设置末端设备。

车站通风空调设备普遍存在末端反应滞后和风管导致空气循环距离过长、能耗过高的问题。末端调节反馈到主机通常需要较长时间完成调节过程，这一过程中，可能存在外部环境的变化和水温运行过程的损耗，导致能耗增加。因此应该考虑在分区域设置末端设备的同时，按照实际情况增加主机的设置。

(3) 分区域控制

目前铁路客站空调温度的设定主要依据实际环境对空间温度的需求，但是忽略了人员、设备等对环境的具体要求。通风空调等的设置主要是服务于旅客，应该根据旅客的聚集程度和实际需求调节温度设定。对于同一功能区域，温度需求在理论上是相同的，但是如果某一时刻功能相同的两个区域人员聚集程度差异很大，此时这两个区域的稳定设定应该有所区别，避免人员过多产生不适和人员过少产生无用能耗。因此应该在车站范围内进行区域划分，同时兼顾环境一般需求、人员聚集情况等多种因素，确定实际温度和风量等的设定。

(4) 智慧管理平台

基于大数据、云计算等手段，建立采集层、监控层和应用层三级层级架构的通风空调智慧管理平台。采集层采用智能化设备进行环境温度、风量等的采集，并对人员聚集程度等参数进行实时采集，将采集到的数据进行预处理后传输至监控层。监控层采用智能调节系统，将传输汇总的数据分析处理，做出正确的判断并给出及时的指令。应用层在接到指令后能够做出及时、准确的响应。智慧管理平台能够实现能耗监测，采集、分析不同区域、不同终端的能源消耗数据，以便实时和全面掌握能源消耗实际情况，及时发现异常并做出处理，并以此为基础识别节能空间，制定节能措施。

(5) 定期维护清洗

通风空调设备定期清洗与维护，不仅能够及时发现潜在问题并及时提供解决方案，还能在一定程度上提高设备运行效率和使用效果，避免因脏污堵塞引起的能耗增加和设备故障引起的能源浪费，更能够延长设备使用寿命，达到节能减碳的效果。

2. 照明系统

(1) 天然光源应用设计

在铁路车站内，为了保证乘客乘车过程的舒适度和安全性，需要在每一个乘客活动区域和范围内均设置光源，以提供良好的照明条件。为了减少照明时间的照明覆盖区域，可以在新建工程设计中侧重自然光源的应用，通过采用透光材料合理设置窗户，利用白天的自然光线提供照明。主要可分为两部分：一部分是车站整体设计，采用具有隔热功能的玻璃或其他材料，在保证建筑物强度和安全性能的基础上，尽可能使阳光照射进车站内部，以减少车站内白天对照明设备的依赖；另一部

分是车站内部，尽量选用承载强度可靠的隔断，使天然光源在车站内部也能顺利传播，使更多区域使用自然光而减少照明设备的使用。需要注意的是，透光材料的选择首先要满足安全需求，其次要考虑其隔热性能，如果只考虑透光而以增加热源为代价，将会增加车站内空调系统的使用数量和时间，节能减排效果将会适得其反。

（2）照明系统划分设计

铁路车站内人员分布广泛，但是有人员密集区域和人员稀疏区域，不同功能区对于光照条件的要求也不尽相同，因此可以对车站进行设计阶段的照明系统划分。首先对车站内区域进行基于功能的照明需求分析，确定不同区域的照明强度、亮度等要求，如服务台、进站口等处人员较为密集且涉及乘客与相关工作人员之间的沟通与交流，需要较为充足且舒适的光照；而行李寄存处等则需要十分明亮的照明为乘客提供服务；一些临时休息区域和零散乘客活动区域则不需要特别明亮的照明，光线柔和一点即可。然后根据照明需求进行分区域的灯具选择和布局，如有需要可以使用建筑材料等进行光照补偿和配合。

（3）智能调节控制设计

智能调节控制应用于车站整体，通过传感器、数据传输设备、数据处理设备和远程操纵设备，针对实际情况实时进行照明控制。对车站分区域进行传感器的选择与布置，用以检测该区域人员活动情况和现场实际照明情况，并将这些数据通过数据传输设备传输至数据处理终端，通过终端的算法和程序对不同区域应该采取何种调节做出判断和决策，并控制照明系统完成调节。针对不同时间段、不同天气状况、人员密集程度等，使照明系统控制更加灵活、智能化和人性化。

3. 其他

其他用能设备主要包括电梯系统、办公系统、弱电系统等。电梯系统主要服务于旅客，方便旅客走行和换乘等，分为扶梯和直梯两种类型。电梯用能影响因素主要有：负载程度、运行速度、使用频率、环境温度等，随着负载程度、运行速度、使用频率、环境温度等的增加，能耗呈现增加的趋势。

电梯系统节能主要考虑智能运行、优化设计、能量回收和维护管理。

智能运行就是采用群控系统，通过实时采集电梯使用情况，利用变频调控技术进行电梯点击调速，控制电梯运行状态并对其启动、匀速、缓速和停止各运行环节进行高效、适当切换，避免电梯空载运行，同时避免转换不当引起的机械冲击，造成能耗增加。此外，电梯轿厢内的照明和风扇可以根据使用情况自动开关，在无人