

公路修建技术中材料和能源的节约

郝齐崇

湖北万方国际经贸合作有限公司 湖北 宜昌 443000

摘要: 公路修建中材料与能源节约是行业可持续发展的关键。本文围绕核心技术路径展开,材料节约涵盖优化设计、高性能材料应用、本地化替代、施工损耗控制及再生循环利用;能源节约包括机械能效提升、低能耗工艺创新、临时设施节能设计、能源监控管理及清洁能源应用。同时提出设计与规划阶段的节约策略,强调材料与能源协同技术的重要性,通过智能化手段强化节约效益,并构建节约型技术标准体系。为公路建设资源高效利用提供理论支撑与实践指导。

关键词: 公路修建;材料节约;能源节约;协同技术;绿色转型

引言:公路建设作为国家基础设施建设的核心部分,对经济发展与社会进步意义重大。然而,传统公路修建模式存在材料浪费严重、能源消耗过高等问题,不仅增加建设成本,还对环境造成负面影响。在可持续发展理念深入人心的当下,如何实现公路修建中材料与能源的节约,成为行业急待解决的关键问题。深入研究相关技术与策略,对推动公路建设绿色转型、提升资源利用效率具有重要现实意义。

1 材料节约的核心技术路径

1.1 材料优化设计与精准计算

材料节约需从设计源头构建科学体系。通过地质勘探数据与交通荷载参数的深度融合,建立三维有限元分析模型,对路面结构层厚度、路基压实度等关键指标进行多工况模拟,实现材料用量最小化设计^[1]。引入参数化设计工具,根据区域气候特征动态调整混凝土配合比与沥青标号,避免因环境适应性不足导致的材料冗余。采用逆向建模技术,对既有公路病害进行解构分析,反向推导材料性能需求,为新材料研发提供数据支撑。

1.2 高性能与长寿命材料应用

材料性能提升是节约的根本途径。研发具有自修复功能的聚合物改性沥青,通过微胶囊缓释技术实现裂缝自动愈合,延长路面使用寿命。开发高模量沥青混凝土,在相同厚度下提高承载能力,减少结构层数量。推广纤维增强混凝土技术,利用钢纤维或合成纤维的阻裂效应,降低水泥用量并提升抗疲劳性能。研究纳米材料改性技术,将二氧化硅纳米颗粒均匀分散于沥青中,形成致密界面结构,显著提升材料耐久性。

1.3 本地化材料选用与替代策略

资源适配性是材料节约的重要维度。建立区域材料数据库,系统评估本地砂石、工业废渣的物理化学性

能,制定分级利用标准。在路基填筑中优先采用级配良好的山皮土或风化岩,减少外购骨料运输能耗。将钢渣、矿渣等工业废弃物经磁选除铁后,作为集料替代部分天然石料,既解决固废堆存问题又降低材料成本。开发基于生物质提取的绿色添加剂,替代传统化学外加剂,减少对不可再生资源的依赖。

1.4 施工过程中的材料损耗控制

施工工艺优化直接决定材料利用率。采用数控钢筋加工设备,通过编程控制实现弯曲角度与尺寸的精准加工,将钢筋损耗率控制在1.5%以内。推广滑模摊铺技术,实现混凝土路面连续作业,减少纵向接缝数量与材料浪费。在沥青路面施工中,运用非接触式平衡梁控制摊铺厚度,避免因厚度超标导致材料过量使用。建立材料损耗动态监测系统,通过传感器实时采集洒落量数据,及时调整施工参数。

1.5 废旧材料再生与循环利用技术

循环利用是材料节约的终极模式。研发常温再生技术,将回收沥青路面材料经破碎筛分后,与新沥青、再生剂按特定比例复配,生产再生混合料用于基层或底基层。开发泡沫沥青冷再生工艺,通过发泡装置将沥青膨胀为蜂窝状结构,提升与旧料的粘附性能,实现全深度再生。建立废旧轮胎橡胶粉改性沥青生产线,将废旧轮胎粉碎后按比例掺入基质沥青,制备高性能路面材料,形成“资源-产品-废弃物-再生资源”的闭环系统。

2 能源节约的直接技术措施

2.1 施工机械能效提升与优化调度

施工机械的能源效率优化是节能的核心环节。通过液压系统节能改造,采用变量泵与负载敏感控制技术,使发动机功率输出与作业需求动态匹配,降低空载能耗^[2]。推广混合动力工程机械,将柴油发动机与电动机协

同驱动,在低负荷工况下切换至纯电模式,减少燃油消耗。建立机械调度数字平台,基于施工进度与设备位置数据,规划最优作业路径与设备组合,避免重复移动与长时间怠速。开发发动机智能启停系统,通过传感器监测设备状态,在非作业时段自动关闭发动机,缩短无效运行时间。

2.2 低能耗施工工艺与工法创新

工艺革新是降低施工能耗的关键路径。在土方工程中,采用分层分段开挖与回填技术,减少大型机械的连续作业时长。推广温拌沥青技术,通过添加化学降黏剂或发泡装置,将沥青加热温度降低20-30℃,显著减少燃料消耗与有害气体排放。在混凝土施工中,运用冷再生工艺对旧路面材料进行现场破碎与拌和,替代传统热再生需的高温加热环节。开发静压实技术,利用高频振动替代传统碾压,在保证压实度的同时降低压路机能耗。

2.3 临时设施与现场管理的节能设计

临时设施的节能化改造是施工节能的重要补充。在施工营地部署太阳能照明系统,采用光控与时控结合的智能开关,根据昼夜变化自动调节亮度。搭建装配式临时建筑,通过模块化设计缩短搭建周期,减少现场焊接与切割作业产生的能源浪费。优化现场物流布局,设立集中材料堆放区与加工区,缩短运输距离与设备移动频次。建立雨水收集与中水回用系统,将施工废水处理用于车辆冲洗与场地降尘,降低新鲜水取用量与污水处理能耗。

2.4 能源监控与精细化管理系统

能源管理数字化是节能决策的科学支撑。部署物联网能源监测终端,实时采集设备油耗、电耗等数据,通过边缘计算模块进行初步分析,识别高能耗异常点。开发能源管理软件平台,集成施工进度、设备状态与能源消耗数据,生成动态能效图谱,为管理者提供优化建议。建立能耗对标机制,将同类工程能耗指标纳入数据库,通过横向对比发现节能潜力。运用数字孪生技术,对施工过程进行虚拟仿真,预测不同工况下的能源需求,提前调整设备配置与作业计划。

2.5 清洁能源在施工中的集成应用

清洁能源替代是施工节能的终极方向。在风能资源丰富区域,部署小型风力发电机组,为夜间照明与监控设备供电,形成风光互补供电系统。推广氢燃料电池发电车,替代传统柴油发电机为现场提供移动电源,实现零碳排放供电。在隧道施工中,采用地源热泵技术,利用地下浅层地热资源进行通风与供暖,减少对化石能源

的依赖。开发光伏路面试验段,将太阳能电池板嵌入路面结构,为沿线设施供电的同时探索“交通-能源”融合新模式。

3 设计与规划阶段的节约策略

3.1 路线优化与土方平衡设计

路线方案的比选需以地质条件与地形特征为基础,通过数字高程模型分析坡度、高差及障碍物分布,筛选出填挖方量最小的路径。运用线性规划算法对土方调配进行全局优化,建立“移挖作填”的动态平衡模型,减少取土场与弃土场设置数量^[3]。结合三维可视化技术模拟施工过程,提前识别土方运输路径冲突点,调整路线纵坡参数以降低运输能耗。对不良地质段采用绕避与治理结合策略,避免因地基处理导致材料过量消耗。

3.2 结构轻量化与合理化设计

结构优化需兼顾力学性能与材料用量。采用有限元分析对桥梁、隧道等结构进行应力分布模拟,通过拓扑优化技术去除冗余构件,实现结构自重降低。推广装配式结构体系,将大型构件拆分为标准化单元,减少现场浇筑量与模板使用。在路面设计中,根据交通荷载等级动态调整结构层厚度,对轻交通路段采用薄层沥青混凝土方案。开发复合材料结构,将高强度纤维与基体材料复合,在保证承载力的前提下减少水泥、钢材等传统材料用量。

3.3 全生命周期材料与能源规划

设计阶段需嵌入全生命周期成本分析模型。建立材料性能衰减数据库,预测路面、桥梁等结构在不同气候与荷载条件下的使用寿命,为材料选型提供量化依据。运用能源流分析方法,计算施工期与运营期的能源消耗总量,优先选择能耗低且可再生的材料。制定材料替代方案,评估工业废渣、再生骨料等替代材料的长期性能,降低对自然资源的依赖。将节能指标纳入设计评审体系,要求结构方案满足特定能效等级要求。

3.4 节约型横断面与纵断面设计

横断面设计需平衡功能需求与资源消耗。采用窄路基方案,通过加强边坡防护与排水设计,在保证行车安全的前提下减少填方量。对低等级公路推行单幅双向车道设计,降低路面宽度与用地规模。纵断面设计遵循“零填零挖”原则,通过调整平曲线半径与竖曲线半径,使填挖高度趋近于零。运用动态规划算法优化纵坡组合,避免出现长陡坡导致的车辆能耗激增,同时减少路基防护工程量。

3.5 与地形地貌协同的生态化设计

生态设计强调对自然环境的最小干预。利用GIS技

术分析地形起伏、植被分布及水文特征,将路线布局与等高线平行,减少对原始地貌的切割。对必须穿越生态敏感区的路段,采用隧道或高架桥方案,保留地表植被与动物迁徙通道。在边坡防护中推广植物纤维毯与三维植被网技术,替代传统圪工防护结构,降低材料消耗的同时提升生态修复效率。结合海绵城市理念设计排水系统,通过透水铺装与生态沟渠实现雨水自然渗透,减少人工管网铺设。

4 材料与能源节约的协同技术

4.1 材料生产与运输过程的能耗降低

材料生产环节的节能需从工艺革新入手。积极引入并大力推广低温合成技术,这一技术通过精细优化反应条件,能够有效降低水泥、沥青等基础材料的烧成温度,进而大幅减少燃料消耗。同时,采用连续式生产设备替代间歇式窑炉,不仅提升了热能利用效率,还显著缩短了生产周期,从多个维度实现了能源的节约^[4]。在运输阶段,建立区域性材料供应枢纽,通过集中配送模式减少运输频次与空载率。运用路径优化算法规划运输路线,避开拥堵路段以降低燃油消耗。开发轻量化运输容器,采用高强度合金或复合材料降低自重,提升单位运力下的材料装载量。

4.2 快速施工技术对综合资源的节约

施工速度提升可显著减少能源与材料的间接消耗。在具体实践中,广泛推广装配式结构施工方式,将桥梁墩柱、路面板块等构件在工厂预制后现场组装,这种方式极大地缩短了现场作业时间,同时降低了模板周转损耗,从源头上减少了资源的浪费。采用滑模摊铺技术实现混凝土路面连续浇筑,避免纵向接缝处理带来的材料浪费。运用同步碎石封层技术,将粘层油洒布与碎石铺撒同步完成,减少设备调头次数与能源消耗。开发快速固化材料,通过调整配方缩短养生周期,加快工程交付进度并降低现场管理成本。

4.3 维护养护技术的节约集成

预防性养护可延长材料使用寿命并减少能源消耗。为更好地实现这一目标,建立路面性能衰变预测模型至关重要,该模型基于交通荷载与气候数据制定动态养护计划,能够精准把握养护时机,避免过度养护造成的材料浪费,提高资源利用效率。推广含砂雾封层技术,通过高压喷洒将乳化沥青与细砂混合料均匀覆盖路面,形成防水耐磨层并恢复表面功能。采用就地热再生工艺,对轻度病害路面进行现场加热、耙松与重铺,减少新沥青用量并降低运输能耗。开发自愈合材料,通过微胶囊

技术实现裂缝自动修复,延缓大修周期并节约全生命周期资源。

4.4 智能化技术对节约效益的强化

数字技术为资源协同优化提供支撑。在公路建设领域,部署物联网传感器网络是关键一步,它能够实时采集材料库存、设备能耗与施工进度数据,通过边缘计算实现资源动态调配,使资源利用更加精准高效。运用BIM技术进行施工模拟,提前识别材料碰撞与能源冲突点,优化施工组织设计。开发能源管理平台,集成机械工况、环境参数与能耗数据,生成节能操作建议并自动调控设备运行模式。利用大数据分析历史工程数据,建立材料用量与能源消耗的基准模型,为新项目提供量化节约目标。

4.5 节约型公路技术标准与规范体系

标准制定是资源节约的制度保障。修订公路设计规范时,需将材料利用率、能源强度等指标纳入强制性条款,明确不同气候区与交通等级下的节约基准,为公路设计提供明确的节约导向。建立全生命周期资源消耗评估方法,要求设计方案通过能效认证后方可实施。制定绿色施工评价标准,对快速施工、再生材料应用等技术的节约效果进行量化考核。完善材料检测规范,增加对再生骨料、工业废渣等替代材料的性能要求,确保节约不降低工程质量。

结束语

公路修建中材料与能源节约是一项系统性工程,需从设计、施工、维护等各环节入手,综合运用多种技术与策略。通过材料优化设计、高性能材料应用、施工机械能效提升等措施,可有效减少材料损耗与能源消耗。同时,材料与能源节约协同技术的运用,能进一步提升节约效益。只有持续探索创新,不断完善相关技术与标准体系,才能实现公路建设资源的高效利用,推动行业可持续发展,为社会创造更大价值。

参考文献

- [1]柴郁.绿色建筑工程理念下公路工程周转材料循环利用管理[J].建材与装饰,2026,22(1):142-144.
- [2]李锋,陈晶照.资源节约型农村公路结构的环境效益分析[J].现代交通技术,2024,21(3):1-4,18.
- [3]姚波.路面材料循环利用在高速公路中的应用[J].建筑工人,2023,44(4):4-6.
- [4]陶廷伟.高速公路隧道照明智能节电技术研究[J].光源与照明,2024(3):37-39.