

# 基于绿色建筑理念的隧道工程节能减排技术研究

卢维 栾利影

青岛青铁环保科技有限公司

**摘要：**绿色建筑理念与隧道工程的结合，旨在实现隧道工程的节能减排和可持续发展。通过优化隧道设计、采用高效能源施工技术和应用可再生能源，可以显著降低建设过程中的能耗和排放。在隧道运营阶段，应用绿色照明系统、高效能通风系统和环保处理技术，进一步减少能耗和废弃物，确保隧道工程的环境友好性。

**关键词：**绿色建筑；隧道工程；节能减排

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.16.025

## 引言

随着全球对可持续发展和环境保护的日益重视，绿色建筑理念已成为建筑行业的重要指导原则。隧道工程作为交通基础设施的重要组成部分，其建设和运营过程中的能耗和碳排放问题日益凸显。

### 一、绿色建筑理念与隧道工程的结合意义

隧道工程是交通网络中至关重要的一部分，在施工和运行过程中产生的环境效应是不可忽略的。将绿色建筑理念融入到隧道工程中，不仅有利于降低隧道工程能耗与碳排放，又有利于提高隧道使用效率与舒适度，也有利于降低远期运营成本。具体而言，隧道设计施工节能减排的策略包括但不限于使用节能材料、优化设计、高效施工技术以及使用可再生能源等措施等，隧道运营节能减排的措施包括但不限于利用智能照明系统减少能耗、采用先进的通风和空气质量控制技术以减少电力消耗，以及利用可再生能源供电等。这些策略措施不仅能够减轻隧道对环境的负担，还能优化隧道内的行车和使用体验，确保隧道在其整个生命周期内实现环境效益与经济效益的双赢。

### 二、基于绿色建筑理念的隧道设计施工的节能减排策略

#### （一）使用高强度、轻质材料

基于绿色建筑理念下的隧道施工，通过优化隧道设计来降低建设材料用量是节能减排的重点策略。这一优化设计的初衷在于通过使用高强度材料减少所需的总材料量，而轻质材料的应用通过减轻隧道结构自重，减少对地基的压力，降低土地侵蚀和生态破坏，同时也减少了运输和安装过程中的能耗。在这方面，高性能混凝土、轻质高强度钢材、碳纤维等复合材料不仅能增加隧道的耐久性和使用寿命，降低维护和修复需求，还由于其轻质特性能够有效降低施工过程中的碳排放。另外，这类材料通常抗震性能较好，提高隧道工程在自然灾害情况下的稳定性与安全性。进一步地，地铁工程在开挖隧道过程中产生的渣土，如果得到妥善处理 and 利用，将是节能减排策略的另一大亮点。地铁渣土资源化利用，即将这些渣土回收后加工成可利用的再生砖石等建筑材料，不仅可以减少废物填埋对环境的负面影响，还能节约资源和降低材料成本。这种做法既符合绿色建筑理念中的资源循环利用原则，也为隧道工程提供了一种环保且经济的建材选择。通过这些策略的综合应用，隧道工程能在建设和运营阶段实现更高的能效，更低的碳排放，进一步推动交通基础设施的绿色发展。

（二）采用先进的结构设计软件进行优化

在奉行绿色建筑理念下的隧道工程设计，利用先进结构设计软件对其优化设计，是达到节能减排目的的又一条有效途径。此类软件利用高级算法来模拟隧道工程中可能出现的多种状况，从而有助于工程师们在设计阶段确定最为节能和环保的方案。如设计软件通过模拟分析可对隧道线型、断面形状及结构布局等方面进行优化设计，以减少不必要挖掘量及减小施工时对周围环境造成影响。另外，这类软件可以准确地计算出物料的用量，保证用最少的资源满足设计要求，避免物料浪费。高级的结构设计软件还具备模拟隧道内部环境的功能，例如通风和照明等，这将有助于在设计初期就实现能源效率的最优化，从而确保隧道在运营阶段的能源消耗降至最低。这类软件的使用在提高设计效率、缩短设计周期的同时还能通过优化设计方案显著降低施工与运营阶段能耗与碳排放，真正达到隧道工程全生命周期节能减排。

#### （三）能源高效的施工技术

1. 使用节能型施工机械和设备

以绿色建筑理念为基础进行隧道工程施工时，采用节能型施工机械与装备是获得高效能源利用的重点战略之一。它们不仅是实现高效能源利用的关键，更是减少对环境负面影响的重要手段。为了确保隧道施工过程中

的能源利用达到最优，必须选用并应用那些配备了先进能效技术的机械与设备。这些先进的机械与设备，如低能耗的挖掘设备、运输车辆和混凝土泵送系统，它们能够在保证工程质量和进度的同时，将能耗降至最低。这不仅有助于节约资源，更能显著减少建设期间对环境的影响。除了上述的低能耗设备，还应该积极推广使用清洁能源的机械。电动或混合动力机械就是其中的代表，它们以电力或混合能源为动力，与传统的燃油机械相比，可以大大降低温室气体的排放和其他污染物的排放量。这种转变不仅有助于减少空气污染，还能在一定程度上缓解全球气候变化的问题。值得一提的是，这些节能型机械通常都配备了先进的排放控制技术。例如，颗粒过滤器可以有效地减少颗粒物排放，而低排放发动机则能显著降低有害气体的排放。这些技术的应用，使得隧道施工过程中的环境负担得到了进一步的减轻。

### 2. 优化施工过程中的能源管理

优化施工过程中的能源管理涉及到对整个施工过程中能源使用的细致规划、监控和调整，以确保能源利用的最大化效率。首先，通过精确的能源需求分析和施工计划编制，项目管理团队可以预测各阶段的能源使用需求，从而合理安排施工活动，避免能源浪费。例如，通过合理安排施工时间表，可以避免机械设备的空转和过度使用，减少能源消耗。其次，实施能源监控系统，实时跟踪施工现场的能源消耗情况，对于识别能效改进点和及时调整施工策略至关重要。这些系统可以帮助项目团队收集和分析能源使用数据，发现异常消耗情况，并采取措​​施进行优化。培训施工人员增强其节能意识，也是提高能源管理效率的重要方面。确保所有参与者都理解节能的重要性和实施节能措施的方法，可以有效促进节能行为的形成，进一步降低能源消耗。

### （四）应用可再生能源

#### 1. 隧道内部照明采用太阳能

在奉行绿色建筑理念下的隧道工程当中，可再生能源的运用是达到节能减排目的的最主要策略，利用太阳能进行隧道内照明就是该策略一个典型的运用案例。太阳能是一种洁净，可再生能源，将太阳能应用于隧道照明既可明显降低传统能源消耗，又可降低运营成本及碳排放。具体实现上，可通过将太阳能光伏板设置于隧道进口处或者隧道四周，将太阳能采集转化为电能后储存于电池或者直接提供给隧道LED照明系统。该照明系统既可以有效地满足隧道内光照需求，又可以由智能控制系统调节，并依据实际光照条件及隧道用途自动调节亮

度，进一步提升能源的利用效率。另外太阳能照明系统维护成本低、寿命长，可进一步提高隧道工程可持续发展。

#### 2. 利用地热能进行隧道通风

地热能是可持续能源之一，将地热能应用于隧道通风可以有效地减少能源消耗和降低对环境的影响。地热通风系统多是利用井下温度恒定这一特点，采用地热换热器对新鲜空气进行预热或者预冷，以降低传统通风系统对隧道内空气进行温度调节所消耗的能量。冬季地热系统可对进入隧道内冷空气进行预热，夏季该系统可利用井下低温预冷空气对制热及制冷设备进行显著降低能源消耗及运营成本。该系统噪音小，维护成本低，寿命长，对于改善隧道空气质量，提高乘客舒适度有积极效果。地热能技术的引进使隧道工程既可以达到更加有效地利用能源，又可以降低对化石燃料依赖程度，缓解环境污染，成为隧道工程可持续发展的主要技术途径之一。

### 三、基于绿色建筑理念的隧道运营中的节能减排措施

#### （一）绿色照明系统的应用

##### 1. LED照明技术

将LED照明技术运用到以绿色建筑理念为核心的隧道运营当中，是节能减排的重点举措。LED（发光二极管）照明由于具有高效能，长寿命以及低热产生等特点而被普遍认为具有绿色照明代表意义。相较于传统照明技术，LED灯具可以耗费较少的能量提供同等甚至更多光线输出，其能效比可以是传统照明技术能效比的数倍，显著降低能源消耗。另外LED灯具使用寿命更长，能够降低灯具更换带来的维护成本及资源消耗。在隧道照明方面，即能够缩短隧道由于检修或者换灯而造成隧道停运时间，增加隧道运营效率。LED照明技术还具有调光能力突出等优势，可根据隧道内实际光照需求调节亮度，进一步提高能源使用效率。随着科技的进步，LED灯具光色质量显著提高，可提供更加舒适自然的光照环境以加强隧道内行车安全及乘客舒适度。

##### 2. 智能照明控制系统

智能照明控制系统在基于绿色建筑理念的隧道运营中扮演着至关重要的角色，通过高度自动化和智能化的控制策略，显著提升了照明系统的能效和使用效率。这种系统利用传感器和控制逻辑，实时监测隧道内的光照水平、交通流量和其他环境因素，自动调整照明的亮度和开关状态，以确保在满足安全和舒适需求的同时最小化能源消耗。例如，通过实施光线感应技术，智能照明

系统可以在白天自然光充足时自动降低内部照明强度，或者在夜间和低能见度条件下适当增加照明，确保隧道内部光照的连续性和均匀性。

## （二）隧道通风与空气质量管理

### 1. 采用高效能通风系统

隧道通风与空气质量管理是隧道运营中的重要环节，采用高效能通风系统是确保隧道环境质量的同时实现节能减排的有效途径。高效通风系统通过采用先进的风机和通风技术，优化空气流动模式，减少系统运行时的能耗。这些系统利用变频技术和高效率的风机马达，根据实时的隧道内空气质量和交通状况自动调整风机速度，既保证了隧道内良好的空气流通，又大幅度降低了能耗。同时，高效通风系统还可以通过热回收技术，在调节隧道内部温度时回收并利用部分排风热能，进一步提高能源利用效率。此外，系统设计中还考虑到减少噪音和振动，改善隧道内部的环境质量。通过实施高效能通风系统，不仅可以在隧道运营过程中实现显著的节能减排，还能提升隧道内的空气质量和乘客舒适度，是隧道绿色运营不可或缺的重要组成部分。

### 2. 实时监控空气质量并调节通风

对空气质量进行实时监控，依据监测数据进行通风调节，是隧道运营过程中节能减排又一项重点举措。利用先进的空气质量检测传感器，隧道管理系统可以实时监控隧道内的空气污染状况，例如CO、NO<sub>x</sub>等有害气体的浓度，以及颗粒物（PM）的浓度。该通风系统能够根据上述实时数据对运行状态进行自动调节，例如对风机运行速度进行调节、对具体通风段落进行启停等，从而在保证隧道内空气质量达到安全标准的前提下对能源进行优化利用。该以需求为导向的通风策略与传统持续运行模式相比较可显著降低能源消耗和运营成本。同时该策略也改善了隧道内部环境质量，保障了驾驶者及旅客的身体健康与安全。

## （三）废弃物和污水的环保处理

### 1. 隧道维护中的废物分类回收

在隧道运营和维护过程中，会产生各种废弃物，包括建筑废料、维护过程中更换下来的设备和零件、办公和日常活动产生的废纸、塑料等。通过实施严格的废物分类回收制度，这些废弃物可以被有效地回收利用或安全处理，大大减少了对环境的负面影响。具体来说，废物分类回收要求隧道维护人员将废弃物按照其性质分成可回收物、有害垃圾、可堆肥物质等类别，并分别处理。可回收物如金属、塑料和纸张可以送往回收中心进

行再加工利用，减少了对原材料的需求和生产过程中的能源消耗及污染物排放。有害垃圾则需按照环保规定安全处理，避免对环境造成污染。此外，隧道维护过程中产生的废弃物通过分类回收还能促进资源的循环利用，提高资源使用效率。实施废物分类回收不仅有助于降低隧道运营的环境影响，还能提升隧道管理的可持续性和社会责任形象，是隧道维护中不可或缺的绿色实践。

### 2. 应用生态友好的污水处理技术

在隧道运营和维护中应用生态友好的污水处理技术，是保护环境、实现绿色建筑理念的又一重要措施。隧道运营中产生的污水，包括清洗隧道时产生的废水、隧道内部设施（如卫生间）产生的污水等，若未经处理直接排放，将对周围的水体和生态环境造成严重污染。生态友好的污水处理技术通过模拟自然生态系统的净化机制，利用微生物、植物和自然物理过程对污水进行净化，从而实现污水的再利用或安全排放。这些技术包括生物滤池、人工湿地、旋转生物接触器等，不仅处理效率高，而且运行成本低，维护简便。应用这些技术可以有效去除污水中的有机物、氮、磷等污染物，使处理后的水达到环保标准，甚至可用于灌溉、景观水体补给等非饮用目的，实现水资源的循环利用。

## 结束语

绿色建筑理念为隧道工程带来新的发展方向，其在设计、施工和运营中均可寻求节能减排的可能性。通过一系列节能减排措施，有助于减轻隧道工程对环境的影响，实现经济效益与环境保护的双赢。当然，在绿色建筑运营隧道工程的过程中，还面临着技术和材料创新不足、政策支持和标准化缺乏、公众认知度不高等挑战。未来，应进一步深化技术创新，加大研发投入，加强政策引导和制定相关标准，提高公众认知度，以推动隧道工程的绿色建筑转型。

## 参考文献

- [1] 石福纯. 绿色节能在隧道桥梁建设中的应用与可行性分析[J]. 智能建筑与智慧城市, 2024, (02): 129-131.
- [2] 蒋振雄, 薛鹏, 马欣, 谢静超, 刘加平. 绿色隧道评价体系研究[J]. 隧道建设(中英文), 2022, 42(04): 586-593.
- [3] 钱七虎. 利用地下空间助力发展绿色建筑与绿色城市[J]. 隧道建设(中英文), 2019, 39(11): 1737-1747.
- [4] 许锟. 西北寒旱地区铁路隧道绿色施工措施及效果评价研究[D]. 兰州交通大学, 2019.