

建筑节能措施在城市隧道中的研究及应用

——以无锡大成路隧道项目为例

郑丽利

上海城市空间建筑设计有限公司

摘要：城市隧道是城市道路的重要组成部分，也是交通基础设施的重要组成部分。近年来，随着我国经济快速发展和城市化进程的加快，城市道路的建设也取得了长足的发展。隧道作为城市交通设施的重要组成部分，其运营能耗占整个城市道路运营能耗的80%左右。城市隧道节能问题引起了国家及地方政府的高度重视，其节能工作也被列为重点工程。为了市政建筑领域实现可持续发展，国家及地方政府出台了一系列相关法规政策。根据我国城市隧道节能现状及相关标准规范要求，对城市隧道设计及运营节能措施进行探讨。希望能促进隧道节能的长足发展，推动更多节能措施在隧道中的应用。

关键词：城市隧道；自然通风；光导管；垂直绿化；节能

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.08.093

本文以无锡大成路隧道为例，对隧道的节能措施设计及应用进行分析，通过隧道通风、照明、装修等几个方面为研究重心，来探讨不同节能措施在不同隧道中的应用的可能性，并将理论成果用于实践，切实提高城市隧道的节能效用。

隧道设计的节能措施

一、隧道通风—自然通风口

在城市隧道通风设计中，根据隧道的规模、通行车辆种类、车流量大小、空气污染程度等不同因素，可以选用自然通风、机械通风和混合通风等多种方式。大长隧道常常采用机械通风的方法，即在隧道内部设置风机、风管等设备，将隧道内空气中的污染物稀释、排出。

在满足车辆通行条件的前提下，还可利用地面绿化设施，如中央分隔带、绿化带设施带、防洪堤等进行自然通风。自然通风是利用隧道行车过程中产生的活塞风，使隧道内空气流动达到稀释污染物浓度并使之降至标准要求的一种方法。对一般城市隧道来说，采用自然通风是一种既经济又简单、有效的方法。它具有以下优点：

1) 利用隧道顶部的通风竖井进行自然通风，不需要设置机械通风设备，既节省投资，其运行费用低。

2) 隧道通风系统采用自然通风，对周围空气质量的影响小，有利于对隧道内的空气进行净化。

3) 白天可利用自通风天窗自然采光，降低用电能耗。

4) 结合地面景观设计设置风井，增加地面景观层次。

同时也存在一些缺点：

1) 需结合地面中央分隔带或设施带设置，受地面道路布置影响，有一定的局限性。

2) 受工法影响，需要在顶板开设大面积洞口，因此主要适用于明挖隧道。

3) 要保证有效的通风面积，同时保证对地面景观影响降低到最小，通常会采用敞口风井，由此天气（雨雪、冰冻灾害）就会对隧道产生一定影响，行车存在一定安全隐患。

4) 顶部风井悬空处需考虑防止翻越、坠落措施，以保证地面行车及检修人员的安全。

案例应用：

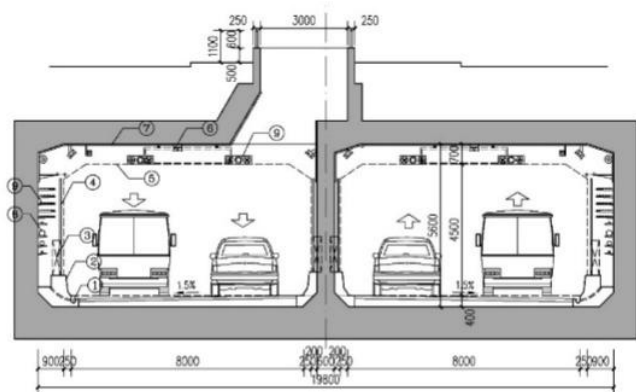
无锡大成路隧道主路西接新华路，下穿兴越路至宛山湖西路后接地，全长约5.0km，属于特长距离地下道路，道路等级为城市主干路，设计速度60km/h，隧道主路为双向4车道规模，兴越路至锡东大道匝道段局部设置辅助车道，采用双向6车道规模。沿线设置平行式匝道4对，1对定向匝道，预留地下空间接口2处，平均间距为1.0km，匝道设计速度为30~40km/h，均为单向2车道规模。

本工程采用自然通风形式排放废气。首先以走马塘东路为分界线，将北线、南线分为西段、东段两部分，使得每部分长度均不超过3km。沿车行方向的上游段一般设置集中排风机房，采用高风塔集中排放或低风井分散排放的形式，由于城市隧道中，高风塔对城市的景观影响较大，因而在条件允许情况下优先采用低风井分散排放的形式；下游段则采用隧道洞口排放的方式。另外，隧道西侧洞口周边是高铁站，在北线西段中间设置3处自然通风竖井，每处长度约150米，宽度3.0米。进一步优化废气排放方式，减少对环境影响。自然通风降低了射流风机的数量及时风机开启的时长，从而降低投资及运行费用。因大成路地面景观等级较高，故通风竖井采用敞口形式以尽量减小对地面景观，即满足功能需求，又达到美观的效果。

二、隧道照明—光导管和光伏发电

（一）光导管的研究及应用

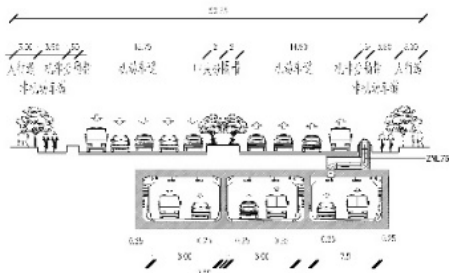
隧道照明是隧道运营中的一项重要费用，也是一项能耗大户，占隧道运营总能耗的30%~50%。随着国家节能减排政策的推行，传统的照明方式已不能满足节能需求，新型的绿色环保照明技术成为市场热点。



自然通风竖井横断面图

光导管是一套采集天然光，并经管道传输到室内，进行天然光照明的采光系统。工作系统分为三个子系统：采光系统、导光系统和漫射系统组成。可替代传统的照明灯具，从而达到节能、环保的目的。光导管可根据隧道内部的实际情况，选择安装在隧道顶部或底部，在不影响行车视线的前提下，通过调整光线的角度和强度，来满足隧道内的实际需要。光导管有以下特点：

- 1) 白天将室外日光导入隧道内部，晚上智能调节亮度，节能、寿命长、光效高。
- 2) 因光导管装置有一定的体量，需在隧道顶部连续开洞，故对隧道工法有一定限制，盾构、矿山等工法成本较高，主要适用于明挖隧道。
- 3) 需在地面设置采光罩，因此要结合地面中央分隔带、绿化设施带设置，布置有一定局限性。
- 4) 土建费用及设备设施费用较常规灯具有所增



光导管平面布置图

(二) 光伏发电的研究及应用

除了光导管，太阳能光伏发电技术在民用建筑工程中广泛使用，在隧道中应用相对较少，故对该技术在隧道中的应用进行研究及探索。

城市隧道的光线较弱，白天太阳辐射强度低，一般无法满足照明需求；夜晚光照强度低，一般也无法满足照明需求。因此在隧道中设置太阳能光伏发电系统，可以有效解决隧道内的照明问题。

在无电照明技术中，以太阳能为能源，以空气为媒介，实现太阳能光伏发电和 LED灯之间的耦合应用，通

加，需根据隧道规模及实际情况酌情设置。



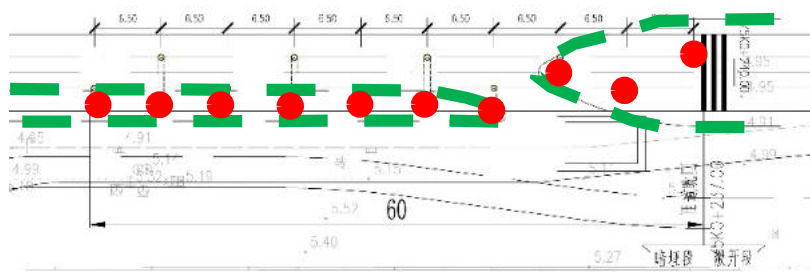
光导管照明案例（洞外）



光导管照明案例（洞内）

案例应用：无锡大成路快速化工程隧道主线长5.2公里，西连无锡高铁东站，东接宛山湖科技城。除主线引道段，沿线设置平行式匝道4对，1对定向匝道，以便连接周边地块交通。为了降低车辆进出隧道时产生的“黑洞效应”“白洞效应”，在进出洞口一定范围内设置加强照明来保证安全行驶。

结合大成路隧道的实际情况，综合考虑投资回收比，最终分别在4对匝道进出口处设置光导照明系统作为出入口加强照明。通过设置在峒口处地面道路的导头及地面绿化带的采光装置捕获室外的日光，并将其导入系统内部，经过光导装置强化并高效传输后，由漫射器将自然光均匀导入隧道内部。在室外光线不足时，结合市电带动特制LED提供补光装置，电光源和自然光之间通过智能恒光控制器实现全自动智能控制，全天候满足隧道内的照明光线需求^[1]。每条匝道设置10组光导管，8条匝道光导照明系统造价约200万元。按传统加强照明每天10小时计，每年约14.6万度电，约14年可回本。隧道主体结构设计使用年限为100年，从总体看有效降低了隧道设备及运营费用。



光导管横断面布置图

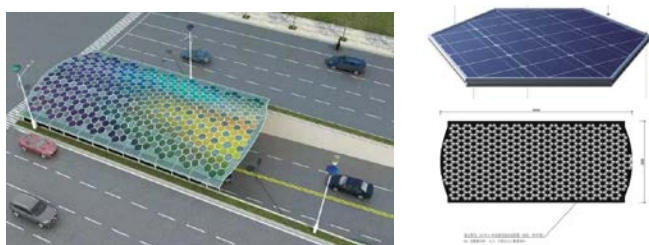
过智能控制系统，实现光线利用最大化、运行费用最小化。

在隧道内设置太阳能光伏发电系统时，要综合考虑以下几个因素：

- 1) 因太阳辐射为关键因素，使用时需要考虑工程的地理位置。
- 2) 发电装置需要一定规模才能运行，除发电装置外还需设置机房用来放置储电设备，因此需根据隧道的实际情况酌情设置。
- 3) 根据光伏的特性可结合隧道峒口处的光过渡棚

设置。

案例应用：在隧道洞口的外侧宜设置自然光过渡建筑。自然光过渡建筑应根据隧道洞口环境条件在顶部设置合适的减光设施，洞口减光建筑长度应符合设计时速下驾驶员对光过渡的生理适应要求^[2]。无锡大成路隧道东段光过渡位于宛山湖科技城，结合宛山湖科技城的整体规划及定位，光过渡着重体现生态科技。光过渡段结合光伏发电装置布置，光过渡长度约40米，宽度约18.5米，光伏发电装置间隔布置，在满足光过渡功能的前提下尽可能高效利用空间。光伏发电装置白天高效发电，晚上还可发出五颜六色的景观亮化效果。光伏发电系统造价约140万元。每年发电约127750度电，每年节约电费12.8万元，约11年收回成本。



东侧光过渡结合光伏示意图^[1]

三、隧道装修—垂直绿化

城市隧道设计时，应在洞口设计阶段将洞身的颜色、材质和照明效果进行合理安排，利用建筑色彩的对比来突出洞口的景观，使其与隧道外环境协调，形成一个和谐、美观的整体。

采用垂直绿化技术来美化隧道洞内环境，既能实现绿化节能，又能创造一个良好的行车环境。垂直绿化是利用植物自身的光合作用吸收二氧化碳释放氧气，改善洞内空气质量，使其保持新鲜，形成一个自然生态的隧道环境。

垂直绿化一般采用叶类植物或藤类植物。如：凌霄、爬山虎、爬墙虎、牵牛花等；也可以采用观叶植物，如：铁线莲、常春藤、万年青等；还可以采用观茎植物，如：牵牛花、月季、葡萄等。

表皮立体种植技术优缺点：

1) 无须骨架，铺贴式种植毯，绿墙整体厚度超薄，减少土地和空间的占用。

2) 可达到自动浇灌，3年无须施肥，不滋生蚊虫，终身不换土。养护仅需每年修剪2次，养护费低，节省成本^[3]。

3) 可吸收车辆尾气，吸附PM2.5等来改善隧道微气候。可吸收噪音，营造良好的行车环境。

4) 通过丰富的植物配种设计，可以美化隧道，打造生态景观。

5) 植物及种植毯均为天然材料，满足隧道装修材料的防火要求。

6) 敞开段采用垂直绿化可达到减光效果。

7) 植物需要一定的光照（可自然光或人工照明）才能存活，使用部位有一定局限。

案例应用：隧道敞开段可以通过种植常青树、引道段两侧采用冷色调、低反射率材料装修，来达到减光效果^[2]。结合以往项目经验，考虑到节约造价、方便后期管养等方面的因素，隧道敞开段常采用浅色花岗岩或水泥纤维板。

结合表皮立体种植技术的特点，综合考虑总体造价，敞开段常用石材单价约500元/平方米，垂直绿化单价约2000元/平方米。无锡大成路隧道拟在东段敞开段局部采用垂直绿化，来体现隧道的绿色生态理念，在敞开段设置垂直绿化既可以吸收车辆尾气，吸附PM2.5等来改善微气候，可以达到一定的减光效果，同时又可以美化隧道，打造生态景观。



敞开段垂直绿化效果图

结束语

通过以上的节能措施研究及实际案例的应用，在今后的隧道设计中应注意以下几点：隧道通风设计应充分考虑隧道规模、车流量、车速等诸多因素，合理选择通风形式，如果条件允许，可优先考虑自然通风，避免出现过大的能源消耗。隧道内部照明设计应遵循照明节能的有关规定，合理确定照明功率密度，选择高效、节能的光源及灯具^[4]。根据隧道的设计要求，隧道口部宜设置减光建筑，减光建筑可结合光伏设置；引道段宜采用浅色板材、涂料、绿植等减光措施。

参考文献

[1] 覃建雄. 正能量科技-光能综合应用介绍[R]. 上海: 上海市政设计研究总院(集团)有限公司, 2021.

[2] DG/TJ08-2033-2017, 道路隧道设计标准[S]. 上海市: 同济大学出版社, 2017.

[3] 崔澜. 海纳尔·氧森态科技·让建筑鸟语花香[R]. 上海: 上海市政设计研究总院(集团)有限公司, 2021.

[4] GB50189-2015, 公共建筑节能设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.