节能设计在机电设备电气系统改造中的应用与效果评估

王 巧 王 震

浙江省机电设计研究院有限公司 浙江 杭州 310000

【摘 要】：当下交通基建绿色化转型持续推进，公路隧道作为干线交通的特殊密闭路段，机电电气设施全天不间断运行。原有电气控制方案配置滞后，照明、排风、配电等设备能耗浪费严重，长期拉高隧道运营开支。立足现场实际工况融入定制化节能设计，针对性完成电气系统迭代升级，是隧道实现低碳长效运营的关键举措。文章围绕隧道机电改造实践，探究节能技术落地路径，量化分析改造综合效益，旨在为区域同类隧道优化改造提供务实借鉴。

【关键词】：节能设计；机电设备；电气系统；改造；应用

DOI:10.12417/2811-0528.26.13.004

引言

随着经济的快速发展，城市基础设施建设迎来了飞速发展，给市容、市貌及公共便利性带来了很大的改观，但其背后是大量不同类别的公共电气设备（如交通设备、环保设备、公路隧道设备等）在支撑着城市的发展，同时也在消耗着大量的能源。因此，相关部门亟需针对节能设计在机电设备电气系统改造中的应用与效果评估进行深入探究，

1 节能设计在机电设备电气系统改造中的应用策略

1.1 优化电气设备选型，为节能改造筑牢根基

公路隧道机电电气系统的能耗高低，核心取决于各类核心设备的节能性能，因此在改造实施过程中，需坚决淘汰传统高能耗设备，优先选用符合国家节能规范、适配隧道实际运行工况的节能型设备，从源头遏制能耗损耗。在配电设备的选型环节，就要摒弃传统高损耗变压器，选用高效节能型变压器，此类设备的空载损耗与负载损耗均能实现大幅下降，可精准适配隧道电气系统的负荷波动特点，减少电能在传输环节的无效损耗。在照明设备改造方面，需替换传统高压钠灯等低效照明器具，采用 LED 节能灯具，该类灯具不仅发光效率高、使用寿命久，还可根据隧道内光线强度灵活调整亮度，有效避免无效照明带来的能耗浪费，同时搭配防眩光设计，在实现节能目标的同时保障行车安全。在通风机电设备选型上，则要优先采用高效节能型风机，结合隧道实际通风需求优化风机功率配置，杜绝风机“大马拉小车”造成的能耗浪费，同时优先选用变频式风机，为后续运行调节工作提供便利。通过科学合理的设备选型，让每一台机电电气设备都充分发挥节能效能，从源头把控节能改造质量，为整个系统的节能运行奠定坚实基础。

1.2 搭建智能控制系统，实现节能的精准调控

公路隧道机电电气系统的能耗浪费，很大程度上源于传统控制模式的滞后性与粗放性，无法根据隧道实时运行工况动态调整设备运行状态。基于此，在改造过程中需融入智能控制思维，构建一套贴合隧道运行特点的智能控制系统（如图 1 所示），实现对各类电气设备的精准调控，进一步提升节能效果。针对隧道照明系统，需搭建智能照明控制体系，通过安装光线传感器、车辆检测器等设备，实时捕捉隧道内光线强度、车流量等关键数据，自动调节灯具的开关与亮度，比如在白天光线充足的时段，自动关闭部分辅助照明灯具。在夜间车流量偏少的情况下，要适当降低照明亮度，避免灯具恒定亮度运行造成的能耗浪费。针对通风系统，还要结合隧道内一氧化碳浓度、能见度等核心参数，智能调节风机的运行转速与运行台数，当隧道内空气质量达到标准时，适当降低风机运行功率或关闭部分风机，实现按需通风，减少风机长期高负荷运行产生的能耗。同时，搭建中央监控平台，实现对整个机电电气系统的实时监测、远程操控与故障预警，及时发现设备运行中的能耗异常情况，确保系统始终处于最优节能运行状态，通过精准调控实现能耗的动态优化。

图 1 施耐德电气终端配电智能化

1.3 优化配电系统设计，降低电能传输过程中的损耗

公路隧道机电电气系统的配电线路铺设距离较长，且隧道内环境相对复杂，传统配电系统普遍存在线路布局不合理、导

线截面选择不当等问题，导致电能在传输过程中损耗较大，直接影响节能效果。因此，在改造过程中，需将配电系统设计优化作为重点工作，着力减少电能传输损耗。合理规划配电线路的铺设布局，尽量缩短配电距离，避免线路迂回铺设，降低线路电阻引发的能耗损耗。同时，结合隧道机电设备的实际负荷需求，科学选取导线截面，既避免导线截面过小导致电阻过大、能耗增加，也防止导线截面过大造成的材料浪费与投资冗余。并在配电系统中增设无功补偿装置，优化系统功率因数，减少无功功率损耗，提升电能利用效率，例如在隧道变电所内安装并联电容器组，对配电系统中的无功功率进行补偿，降低线路与变压器的能耗损耗。另外，还要定期对配电线路开展检修维护工作，清理线路周边杂物、紧固接线端子，减少接触电阻，避免因接触不良导致的能耗增加，通过全方位的配电系统优化，最大限度降低电能传输过程中的损耗，提升整个电气系统的节能水平。

1.4 融入可再生能源技术，拓宽节能路径

公路隧道机电电气系统改造工作中，若单纯依靠优化设备选型与控制模式，节能空间相对有限，而融入可再生能源技术，实现清洁能源与传统电能的互补利用，是拓宽节能路径、提升节能成效的重要手段。结合公路隧道的地理位置与运行特点，优先推广太阳能、风能等可再生能源的应用，比如在隧道洞口周边区域安装太阳能光伏组件，利用太阳能进行发电，为隧道照明、应急供电等辅助电气设备提供电能支持，减少对传统电网电能的依赖；在环境条件适宜的隧道路段，安装小型风力发电设备，借助隧道内外的气流差实现发电，补充隧道机电系统的用电需求。同时，需搭建可再生能源与传统电网的互补供电体系，实现电能的合理调配，当可再生能源发电量充足时，优先使用清洁能源供电；当可再生能源发电量不足时，自动切换为传统电网供电，保障机电系统的稳定运行。另外，还需优化储能系统设计，对可再生能源的多余发电量进行储存，避免能源浪费，实现能源的高效利用，通过可再生能源与传统电气系统的深度融合，进一步降低隧道机电电气系统的能耗，推动隧道运营向绿色低碳方向转型。

2 节能设计在机电设备电气系统改造中的应用效果评估

2.1 能耗指标优化

将节能设计应用于公路隧道机电电气系统改造后，系统能耗得到有效管控，核心能耗指标得到实质性优化。相较于改造前，隧道照明、通风及配电三大核心系统的能耗均有明显回落，无效能耗浪费现象得到有效遏制，电能利用效率得到进一步提升。依托设备选型优化、精准运行调控等设计举措，隧道机电系统可依据实际运行工况灵活调整运行状态，有效规避设备空转、过度运行等能耗浪费问题，既契合双碳发展导向，也切实降低了隧道运营阶段的电能消耗成本，充分彰显节能设计的核心应用价值。

2.2 运营效益提升

节能设计的顺利落地，同步推动公路隧道机电电气系统运营效益实现全方位提升。从运维层面来看，节能型机电设备的使用寿命更长、故障发生率更低，有效减少了设备运维过程中的人力、物力投入，切实降低了运维成本；从通行保障层面来讲，智能调控、高效配电等设计优化，进一步提升了系统运行的稳定性，减少了因设备故障引发的隧道通行受阻问题，保障了路网通行效率。此外，节能改造工作贴合绿色交通发展要求，在降低能耗的同时兼顾环境效益与社会效益，实现了隧道运营成本控制与通行保障能力的双重提升。

总而言之，依托节能理念完成公路隧道机电电气系统升级改造，针对性优化隧道照明、通风、供配电设备运行逻辑，在稳固通行安全、保障运营质量的基础上，可切实降低能源消耗，减少隧道日常运维成本。未来，还需坚持低碳交通发展导向，持续打磨精细化管控方案，完善机电节能运维模式，为山区及干线公路隧道绿色化长效运营提供实践参考。

参考文献：

[1] 高嘉良,王亚平.考虑稳定性的公共建筑供配电系统节能设计研究[J].电工技术,2025,(18):244-246.

[2] 王天拯.建筑电气设计中的节能措施应用[J].电子技术,2022,51(09):286-287.

[3] 张泽仁.建筑电气智能化控制技术在公共建筑节能中的应用[D].西南交通大学,2022.