

LED 照明灯具亮度智能化 无级控制技术 在公路隧道中的应用

关键词：按需照明，过渡照明，LED 照明亮度智能无级控制。

前 言

按需照明一直是照明科技领域追求的理想形式，由于传统光源亮度难以控制，而设计时又必须考虑足够的设计冗余，因此在隧道、道路和大型室内场所，普遍存在过度照明，电能浪费巨大。特别是在隧道照明领域，**过度照明**能耗大多在 50%~90%之间，电能浪费现象相当惊人。去年，安徽的一些隧道，开始采用隧道LED照明亮度智能无级控制系统。该系统可使LED灯具所发出的光通量在额定的范围内任意控制，为工程上实现按需照明奠定了基础。系统有效地避免了过度照明，实现了业界长期追求的按需照明的理想。本专题将就该系统的节能思路和方法向各位来宾作一简要介绍。

第一章 隧道照明电能浪费的主要因素

节能是所有建设者们追求的目标，但节能不能牺牲行车安全。只有在科学的照明规范要求的照明技术指标指导下，实现“安全与节能完美结合”的情况下节能才有意义。谈到隧道节能，我们首先要知道隧道照明的电能主要浪费在哪些环节？本文就来分析一下造成隧道照明电能浪费巨大的主要因素。

一、洞外亮度指标的固化无法适应季节、时间段变化造成的电能浪费

隧道内加强照明的标准值都是根据隧道洞外的亮度乘以一个系数得来

的。以 80km/h 的双车道单向交通为例，若设计交通量大于等于 2400 辆/h 时，其入口段的亮度折减系数为 0.035。图 (1-1) 为不同的洞外亮度情况下加强照明能耗相对百分比，以 4000 cd/m² 为 100%。从图中可以看出，洞外亮度对隧

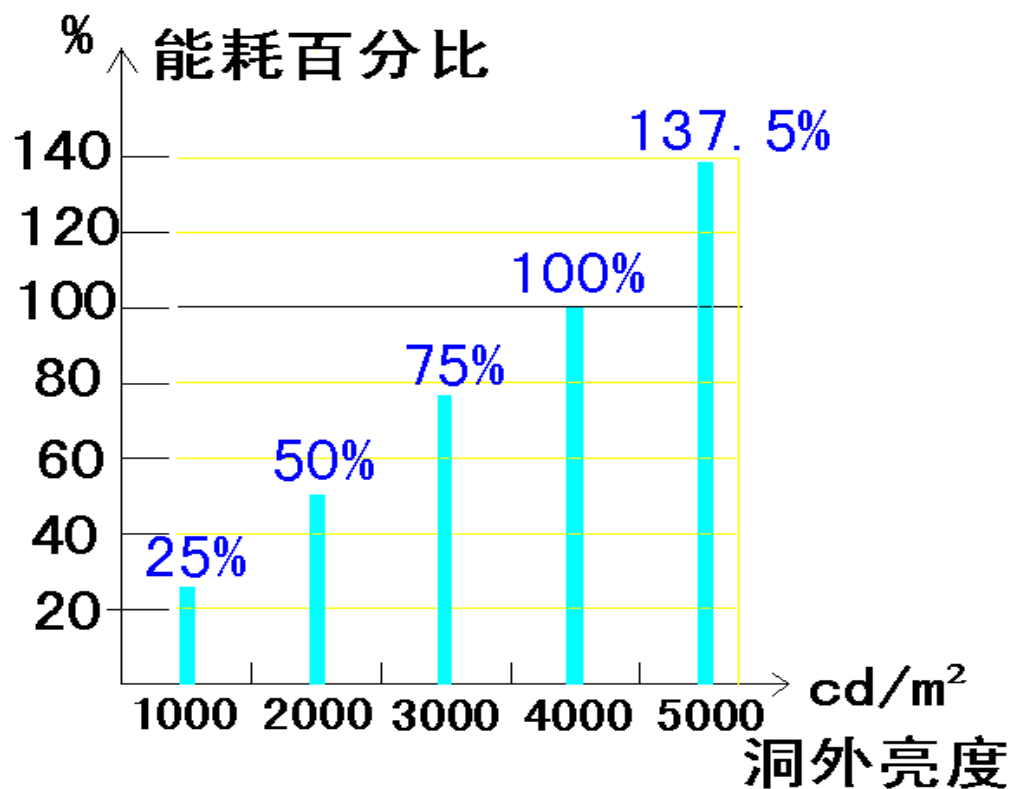
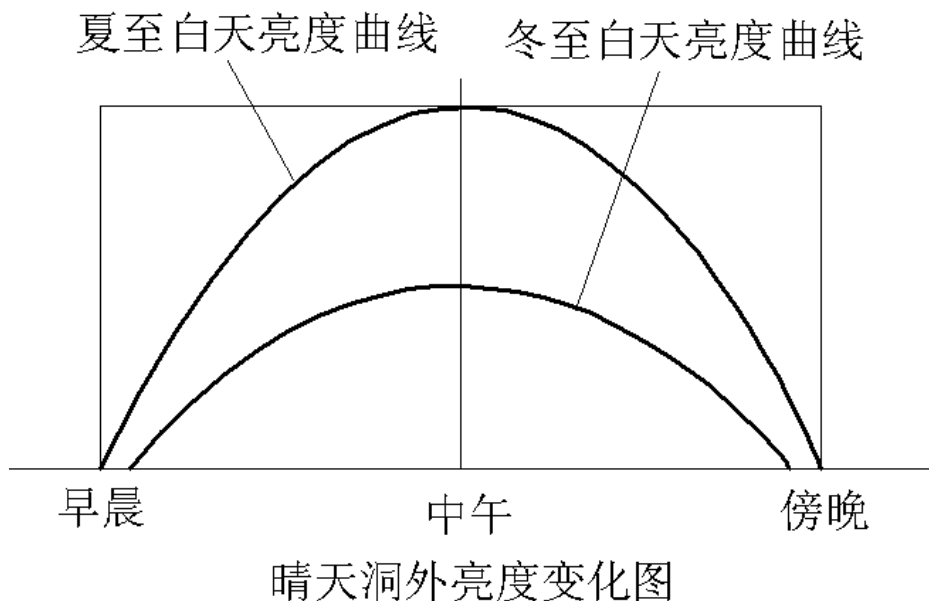


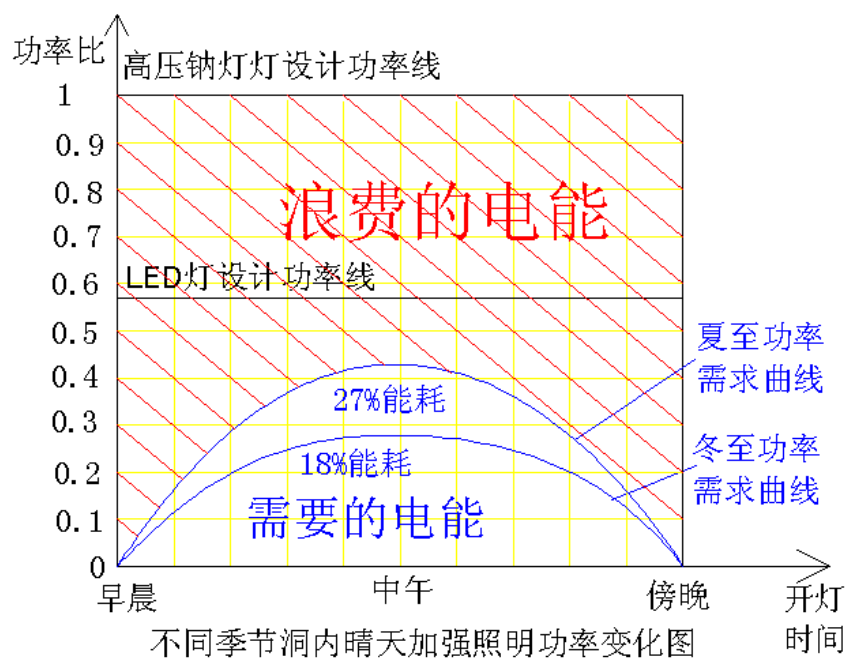
图 (1-1)

道能耗影响相当大。这也给节能带来了相当大的空间。虽然在设计隧道照明时，我们要求按照夏天中午时的最大洞外亮度进行计算，并考虑到足够的冗余，以确保运营期间的每一天且灯具的亮度衰减到额定值的下限时，洞内照明强度依旧能够满足规范要求。但在实际运营期间，洞外亮度会随着天气、季节和时辰的不同而每时每刻都在变化。下面的图 (1-2) 示出了晴天隧道洞外亮度的变化情况。对于这种连续变化的洞外亮度，如果依旧采用恒定的功率去照明或仅仅采用简单的分级调光方式照明，显然电能浪费相当巨大。



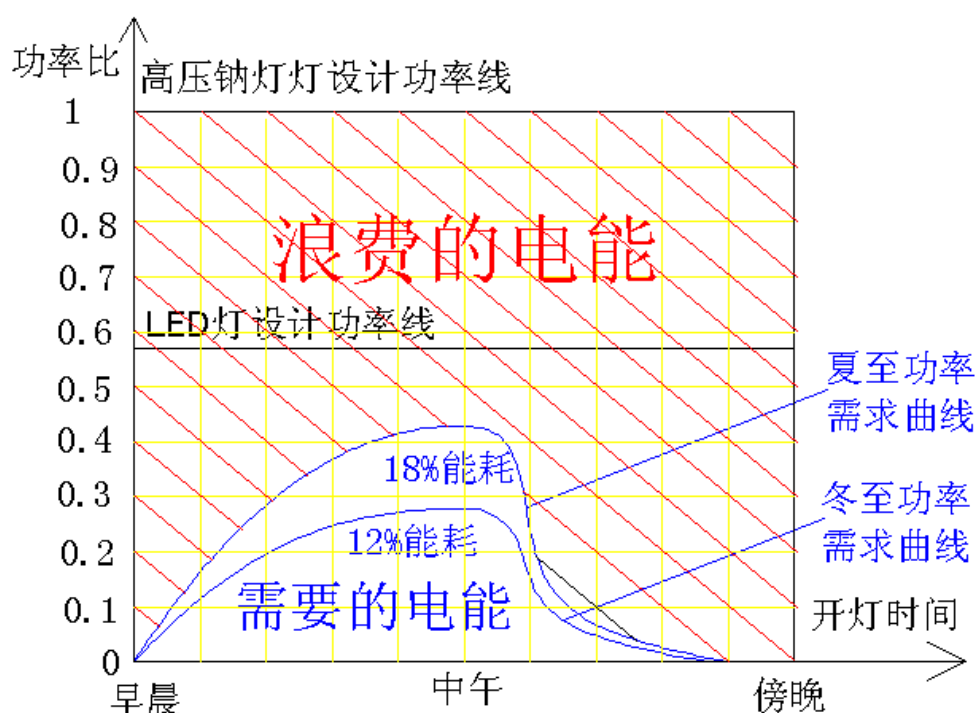
图（1-2）

图（1-3）示出了晴天分级调光系统与 LED 无级调光系统的调光功率、能耗对比。图中曲线上部的面积即为浪费的电能，它是实际需求能耗的三倍以上。即使是四级调光的 LED 灯，其晴天的能耗也是实际需求的 2 倍。因此，隧道加强照明若能采用智能无级控制系统对洞外亮度进行跟踪，实时调整洞内亮度，即可实现按需照明的目标。



图（1-3）

对于东西走向的隧道而言，若入口位于隧道的东侧，则上午阳光照射到东面山体，使洞口亮度较高。午后东面山体转为阴暗面，洞外亮度急剧下降，这使得入口段加强照明的强度较上午又大幅减小。采用亮度智能无级控制后，洞内照明就会顺应这种变化，如图（1-4）所示。其夏至晴天照明能耗仅为钠灯的 18%，而冬至时仅为 12%，节能高达 80% 以上。



隧道入口朝东时不同季节洞内晴天加强照明功率变化图
图（1-4）

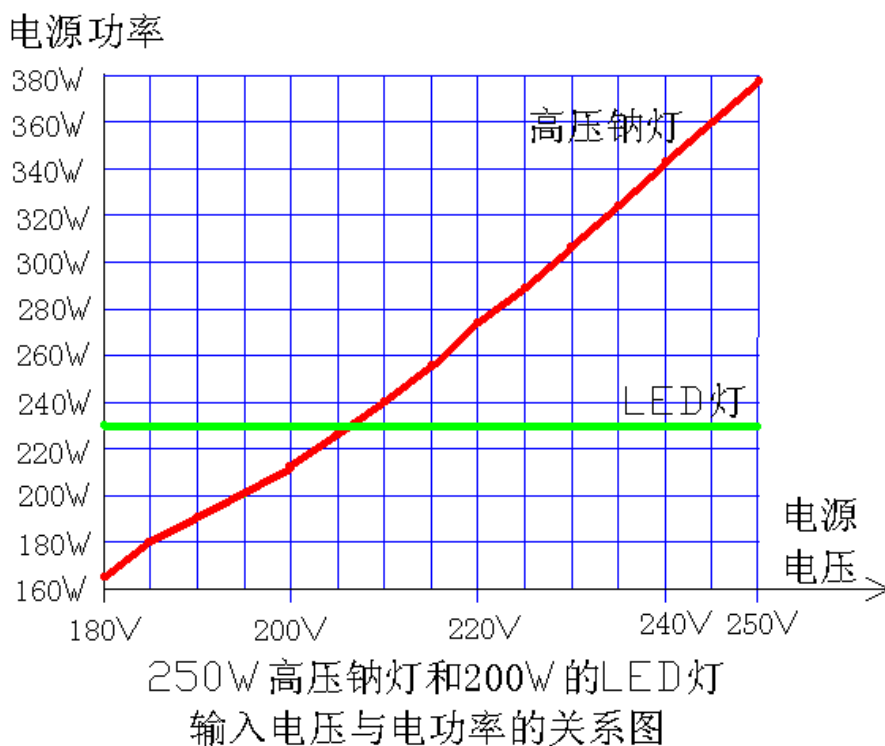
二、灯具功率规格差别较大所产生的电能浪费

隧道照明的标准值在行业标准中是有具体规定的。若照度大幅度地超出行业标准，则属过度照明。由于高压钠灯光源的功率规格通用型只有 100W、150W、250W 和 400W 几种，而许多高速公路隧道基本照明灯具仅需 40~120W 即可，但市场上技术成熟的高压钠灯光源并没有这些规格，因此隧道的基本照明不得不选用 100W 或 150W 的高压钠灯。这使得隧道单侧开灯亮度不够，双侧开灯过渡照明现象严重。而选用 LED 灯具，其设计功率一般在 20~70W

之间，过度照明较钠灯要低得多，但依旧存在着过度照明。若采用隧道 LED 照明亮度智能无级控制系统，则可根据需要进行照明。标准要求多亮，隧道内就提供多亮。可有效地避免过度照明造成的电能浪费现象。

三、电源电压上升所产生的电能浪费

气体放电灯对电源电压的稳定度要求较高，一般变化在 6% 以内，否则能耗将大幅增加，光源寿命大幅减小。图（1-5）为 250W 高压钠灯和 200W 的 LED 灯在不同电源电压下的功率曲线图。



图（1-5）

从图中可以看出，在夜晚电源电压高达 250V 左右时，高压钠灯（含镇流器）的功率为 378W，较额定值增加了 40%。在这种电压下，钠灯的寿命（亮度衰减 50% 时的工作时间，一般额定状态下为 2 万小时）会大幅折减，几乎不足额定寿命的 30%。这就是钠灯用于路灯时实际功耗远远超出额定功耗的主要原因，也是夜晚越点越亮的主要原因。而 LED 灯的功耗几乎不随电源电

压变化。这又为节能提供了相当大的空间。

四、设计维护系数和冗余所产生的电能浪费

通常在设计灯具功率时，必须考虑一定的维护系数，以确保运营过程中当光源亮度衰减和灯具受到污染而使亮度下降 30%以上时，其照明强度依旧能够满足规范要求。在《公路隧道通风照明设计规范》中，维护系数取 0.7。如某一隧道基本照明选用 100W 的灯具亮度刚好满足规范要求，则在实际设计时必须选用功率大于 143W 的灯具。即使这样，也还是会有风险，因为倘若光源光效稍微差一点，就有可能造成运营一段时间后亮度低于规范要求。因此为了确保隧道照明始终能够满足规范要求，通常设计时还需要考虑一定的设计冗余。一般在 1.2 倍左右。上面 100W 刚好满足的灯实际的设计功率应在 170W 左右才符合要求。在实际运营期间，如果单侧开灯，则亮度不够，如果双侧开灯，则过度照明现象严重，这是恒定亮度灯具的一大弊端。如果采用 LED 亮度无级控制，即可有效地防止由于设计维护系数和冗余所产生的电能浪费现象。

五、问题的成因和解决思路

虽然隧道照明能耗浪费巨大，但这是否意味着照明设计不合理呢？是不是可以降低设计功率呢？不能！隧道照明设计绝大多数都是合理的。电能大部分是由于现有的回路调光照明系统无法适应洞外亮度变化，光源光衰较大导致维护系数取值较低，传统灯具亮度无法控制使之不能实现按需照明以及没有先进的控制方式等原因而白白浪费掉了。在公路隧道照明领域，再好的灯具，再好的控制方式，只要灯具亮度不可控，就无法消除过度照明。因此，传统的高压钠灯是无法解决过度照明问题的。而新兴的 LED 光源，以其优越的性能正在得到越来越多的应用，特别是它的亮度可控性能，满足了按需照

明的基本要求。LED 亮度智能无级控制系统应用于公路隧道照明，既可起到安全通行的目的，又可起到节能降耗的目的。

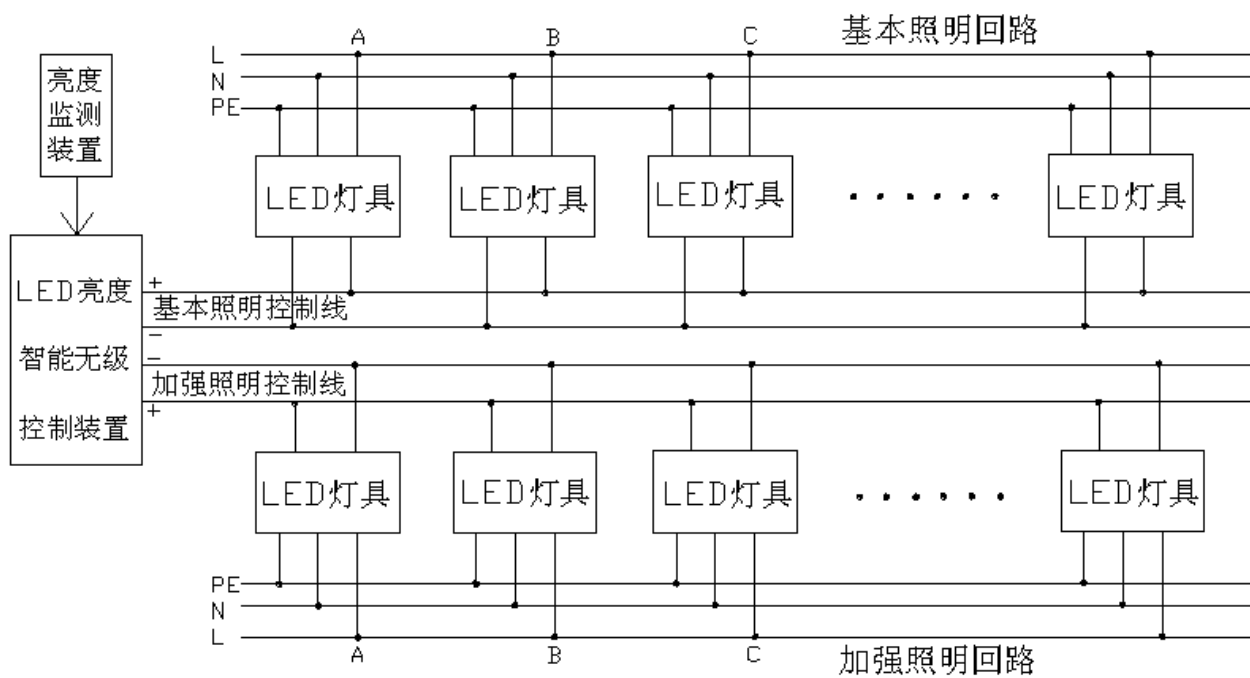
第二章 隧道 LED 照明亮度智能无级控制系统

一、合肥寿春路隧道节能的思路

通过前一章的分析可以看到，目前隧道照明的能耗有 70%左右是浪费在过渡照明上。因此，隧道照明节能，首先必须从减少过度照明着手。若要减少过度照明，就要求照明灯具的功率能够根据需要进行调控。那种用单纯减小灯具设计功率以减少过度照明的方法是不可取的。因为这种方法会使照明系统运营一段时间后亮度就会低于规范要求。到那时，除非增加灯具数量，否则就只有采用降低行车速度或频繁更换光源的方法来解决。调整照明强度有两种方式，一是采用多回路进行分级调光。通常最多只分到 6 级，即白天 4 级，夜晚 2 级。这种简单分级方式依旧存在较为严重的过度照明。二是采用无级调光。这种方式只需要二个回路，即基本照明回路和加强照明回路。这种无级调光方式是基于 LED 光源基础上实现的。它可使灯具亮度根据需要任意调整，隧道内需要多亮，照明灯具就提供多大的亮度，在满足规范的前提下避免了过度照明，最大限度地节约了电能。2008 年 10 月份通车的合肥市寿春路隧道就是采用这一方案的典型工程。

二、合肥寿春路隧道 LED 照明亮度智能无级控制系统介绍

图（2-1）为寿春路隧道 LED 照明亮度智能无级控制系统实施方案。洞外亮度监测装置将检测到的隧道洞外亮度信号传送至控制装置上，再由其换算后输出 0~5V 直流模拟信号去控制 LED 灯具的输出功率，从而达到控制被照场所亮度的目的。



寿春路下穿隧道LED照明亮度智能无级控制系统框图

图 (2-1)

图 (2-2) 为采用 LED 亮度智能无级控制的合肥市寿春路隧道，为双向 4 车道。



图 (2-2)

图（2-3）为安景高速公路前家山隧道 LED 照明亮度智能无级控制现场图片。从图中可以看出采用 LED 光源光线明快，色彩清晰。



图（2-3）

三、寿春路隧道照明系统调光方式

1、基本照明控制

隧道内基本照明的特点是工作时间长，需要 24 小时持续照明。根据这一特点，在设计基本照明亮度时考虑了足够的冗余量。但在使用时，我们并不需要将设计冗余全部用上，即满功率工作；而是需要多少功率就提供多少功率。在未来若干年内，当灯具出现一定的光衰时，可通过控制系统相应增加灯具的输出功率，使隧道内的基本照明强度始终都能满足规范要求而又不会产生过度照明。

2、加强照明控制

隧道加强照明灯具早晨开启和晚上关断的时间以及灯具开启后的亮度调节均由控制装置进行控制。控制系统根据检测到的洞外亮度数据，经计算后去控制洞内灯具的输出功率。这种自动跟踪洞外亮度，调节洞内亮度的照明

方式，有效避免了过度照明，实现了按需照明的目标，最大限度地节约了电能。

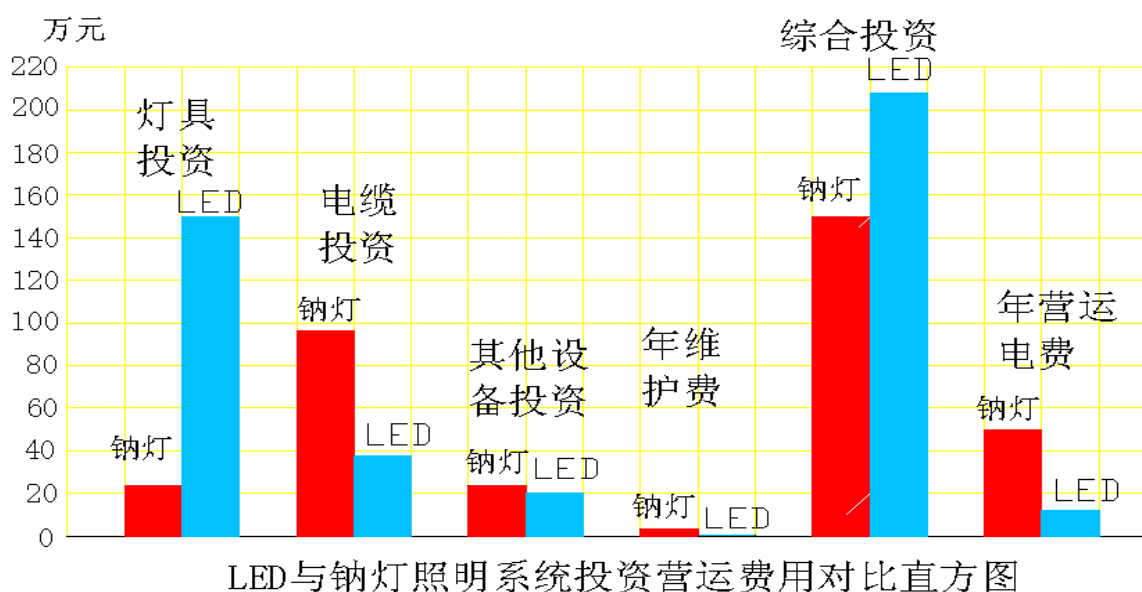
3、应急照明控制

隧道的应急照明灯具又兼做基本照明灯具，均由 EPS 电源供电。当市电断电时，控制装置瞬间将基本照明灯具的功率同步控制到额定功率的 15%左右。这使得系统在市电断电情况下应急照明的配光特性与原先的基本照明相同，最大限度地避免了交通事故的发生。

第三章 隧道 LED 照明亮度智能无级控制系统投资回收期

在计算钠灯分级调光照明系统与 LED 智能无级控制系统投资运营费用对比时，我们选取了一条 2km 的隧道作为对比隧道。该隧道设计时速 80km/h，单向 2 车道，设计车流量 700 辆/h。隧道路面宽度 10.5m，采用水泥路面。

图(3-1)为钠灯分级调光照明系统与 LED 智能无级控制系统各项费用的投资运营对比直方图。投资费用包括灯具、电缆和电气设备（包括变电站、应急电源、配电箱（柜）以及灯具以外的电器等）。天气情况按每年晴天 165 天，云天 100 天，阴天 50 天和重阴天 50 天进行计算。电费按商业用电价 1 元/kWh 计算。



图（3-1）

从图(3-1)中可以看出，两种方案一次性投资费用相差并不大，但由于 LED 灯每年可节省近 40 万元电费，若隧道在设计车流量条件下按规范要求开灯，则不到 3 年即可收回增加的投资。

第四章 采用隧道 LED 照明亮度智能无级控制的优越性

隧道采用 LED 照明亮度智能无级控制系统后，节能只是其优越性的一个方面。由于节能，它的工作温度绝大部分时间都处在一个较低的水平。而工作温度的降低，又会衍生出其他的效益：

- 1、亮度无级控制，比分级控制的同类灯具更节能 40%，比钠灯照明节能 70%~90%。
- 2、由于一年中只有夏天的中午，加强照明灯具才接近满功率工作，大多数时间均在 10%~60%的功率下工作；而基本照明的设计冗余留到远期再用，近期的工作功率也低于灯具的额定功率。这使得灯具和电源的长期工作温度非常低，不仅可大幅减小 LED 的光衰，还延长了 LED 和电源的寿命。
- 3、下半夜功率可同步减半，灯具配光特性保持不变，避免了单侧关灯所产生的危及行车安全的斑马效应。
- 4、系统设计简单，只须 2 个回路，即一个基本照明回路和一个加强照明回路。基本照明又兼应急照明；当市电断电时，所有基本照明的功率均降至额定功率的 10%，从而确保了照度的均匀性。
- 5、当隧道未达到设计车流量时，可依据规范对洞内照明强度进行相应折减，折减量可根据需要任意设定，以确保在满足规范的前提下最大限度地节约电能，避免过度照明，使系统真正实现了设计师们追求的按需照明的设计理念。
- 6、与分级调光系统相比，该系统可节约相当数量的电缆、控制箱及相应电气的费用。

结束语

隧道照明电费是高速公路运营成本的重要组成部分。在隧道照明中，隧道出、入口处的照明更是隧道基本照明的几十倍，照明能耗相当巨大。采用LED 亮度智能无级控制系统后，可根据洞外亮度和车流量等因数及时调整灯具亮度，实现按需照明。

本文旨在介绍一种全新的隧道照明节能方法，以帮助同行最大限度地降低公路隧道照明能耗，节约巨额的运营费用，为实现国民经济的可持续发展，保护环境，减少CO₂排放提供较为可行的方法。