

自适应隧道节能专用系统的设计与实现

梁 华

(广东路达高速公路有限公司, 广东 梅州 514779, 13922196813@139.com)

摘 要: 针对目前山区高速公路隧道普遍面临的供电质量比较差、供电电压波动大和没有自动适应洞外光照自动调节的问题, 设计了自适应隧道专用节能系统. 该系统通过对主变压器和末端设备进行智能二级联动稳压, 以及采用自适应的洞内光照调节技术、功率因数自动补偿等技术, 在满足隧道照明设计规范的前提下, 较好的解决了山区高速公路隧道照明运营成本和隧道安全之间的矛盾, 实现稳压和智能调控的节能目标.

关键词: 自适应节能; 高速公路隧道; 光照调节

中图分类号: U453

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2010)11-1845-04

Design and Implementation of Adaptive Tunnel Energy-saving Tedicated System

LIANG Hua

(Guangdong Lu Da Expressway Co., Ltd. Guang Dong Meizhou 514779, China, 13922196813@139.com)

Abstract: Considering of the problems of poor quality of power supply, voltage fluctuations and no automatic adjustment of light in the mountain highway tunnel, an adaptive energy-efficient system has been designed. In this system, the main transformer and terminal equipment use smart two linkage regulator, and an adaptive technology inside cave, light regulation, power factor automatic compensation techniques are also used to meet tunnel lighting design specifications. By this system, the high operating costs and tunnel safety can be solved well, and the energy saving can be achieved too.

Key words: adaptive energy-saving; highway tunnel; light regulation

目前,我国高速公路隧道照明的节能技术主要有:采用高功率因数的照明灯具配高效电子镇流器,隧道内两侧铺反射率高的材料,尽量缩短供电电缆长度以减少线路损耗,合理配置配电房的位置,集中调光控制等方法^[1]. 传统设计方式是使洞内各段照明的照度始终处于最大值状态^[2],无法对整个隧道的照明进行自适应的方式调节,这种设计使大量电能被浪费. 也有的采用新型节能灯具,如大功率白光 LED 灯^[3],但技术上还不成熟,电磁感应灯在工程上已有应用,但还没有国家设计标准,成本也很高.

有些高速公路隧道处于比较偏僻的山区,供电质量比较差,供电电网经常会因为负荷波动较大而造成隧道供电电压的巨大波动. 为保证隧道

照明不会因为电网故障而引发交通事故,隧道照明一般会采用应急照明^[4]、UPS 不间断电源等. 然而,电网电压波动较大,对 UPS 及其他用电设备而言,会造成故障率升高,使用寿命下降等问题^[5]. 人工手动调节的方式则不够及时,而且极大的增加了工作量.

本文通过对主变压器和末端设备进行智能二级联动稳压,并采用自适应的洞内光照调节技术、功率因数自动补偿等,在满足隧道照明设计规范的前提下,较好地解决山区高速公路隧道照明运营成本 and 隧道安全之间的矛盾,实现稳压和智能调控的节能目标. 自适应隧道专用节能系统适用于各种规模的公路隧道照明控制,对缓解我国能源紧缺的现状、降低高速公路运营成本和隧道段的交通事故率具有重要意义.

1 自适应隧道专用节能系统的设计

1.1 总体设计思路

根据远程电网检测技术,采用瞬变抑制元件有效滤除电网电路中的瞬变、浪涌,并用电磁平衡技术有效抑制电网电路中的谐波,减少其对电网和设备的影响及损害,优化供电质量.采用光强检测技术,车速、车流量检测技术,实时采集各种电网参数、隧道洞口亮度、隧道内车速和车流量等时变参数,提供控制测量数据.研究开发的控制软件将依据设定的控制策略,根据供电电网参数、隧道洞外亮度、隧道内车速、车流、负载等时变实测参数,自适应调整高压、无功补偿、终端电压.通过自适应调整照明电压以及照明分组,实现隧道内照明的近似无级调节.通过 CAN 总线和隧道节能控

制系统实现照明系统、通风机、车行横洞卷闸门等相关设备的远程监控、实时采集、集成控制.

1.2 系统拓扑结构图

自适应隧道专用节能系统由远方监控系统、电压无功调节装置、TLS 控制器、光照度采集模块和节电控制装置组成系统,如图 1 所示.远方监控系统位于隧道管理中心,运行人员可以实时监视主变电气量和档位、隧道内的光照度、电压水平和节电控制器状态^[6],并可通过远方监控系统对主变档位和隧道照明进行手动调节,实现远方操作.电压无功控制装置调节 10 kV 电压,用来实现前端调节;TLS 控制器调节 400 V 电压,实现后端调节.当电网电压偏离较大时,先进行前端调节,经一定延时稳定后进行后端调节.

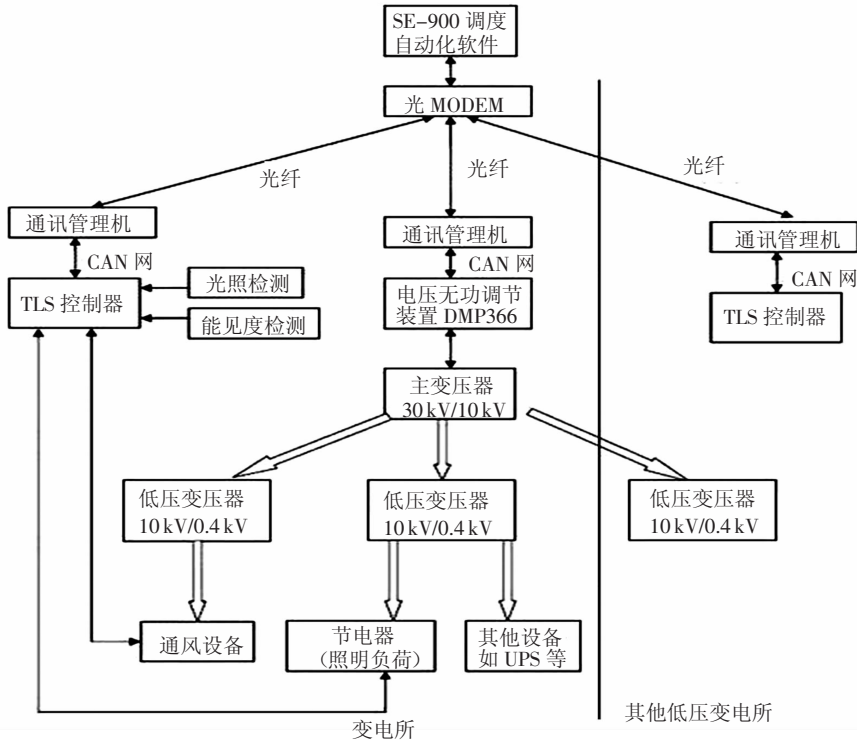


图 1 自适应隧道专用节能系统拓扑图

1.3 系统各功能模块设计

1.3.1 上位机监控系统

上位机监控系统置于隧道所,可以实时监视主变有载调压档位和 10 kV 电压幅值,实现主变有载调压人工遥控升、降、停操作以及高压电容器的投切,也可设置为远方自动调节^[7].还可以实时监视两段低压母线电压和现场光照数据,并可远方控制 400 V 母线的电压调节,也可由远方自动控制.

1.3.2 电压稳定及无功补偿部分

电压是衡量电能质量的一个重要指标.电压偏移额定值过大,不仅对用户的各种用电设备产

生不利影响,缩短用电设备的使用寿命,影响用电设备的工作性能,甚至危及电力系统运行的稳定性,使电网损耗增大^[8].

隧道变电所在长期运行维护过程中积累了大量数据,可以从历史数据中总结经验公式,并实时检测,使系统可自适应地进行高压稳压,电压初步调整,将电压稳定于一个比较合适的波动范围内.

1.3.3 其他用电设备的控制

其他用电设备有风机、UPS 等.风机在系统检测到能见度降低时开启,也属于感性负荷,需要就地进行无功补偿.风机的运转也需要在一个合适的电压范围内,过低过高都有可能被烧毁;UPS 用

于隧道内的应急电源,也需要一个相对稳定的工作电压范围。

1.3.4 系统硬件及通讯模块

本系统所用到的硬件部分(包括 DMP366 电压无功调节装置和 TLS 光照调节装置以及通讯管理机)由电源模件、交流模件、CPU 模件、开入开出板模件或操作板模件、背板模件、液晶显示模件构成。

1)电源模件:提供各种工作电源,直流或交流 220 V 电压输入,经抗干扰滤波回路后,利用逆变原理输出 ±5 V, ±12 V, +24 V。三组电压均不共地,且采用浮地方式,同外壳不相连。电源具有过压保护和过流保护功能。+5 V 用于 CPU 及外围芯片,±12 V 用于模拟量采集回路,+24 V 用于驱动继电器。

2)模拟量采集模件:将交流电压、电流转变为弱电信号,以便模数转换。保护 CT 与测量 CT 分开,保证保护抗饱和特性与测量精度。模拟量采集模件还可采集 4~20 mA,0~5 V 信号等模拟量。

3)CPU 模件:CPU 模件是整个装置的核心部分,完成模拟量、开关量的采集、处理,各种保护判据的运算、判断,然后产生相应的控制出口,发信号及通讯传输等。CPU 模件还集成了 RS485 和 CAN 通讯功能。本产品拟采用 Intel 公司的 MCS296SA,它最高运行频率 50 MHz、片内寻址空间 16 MB、片内 RAM 容量为 2 KB、流水线式结构、集成数字信号处理 DSP 技术。

4)操作板模件:完成开关的远方/就地操作切换,就地操作,开关防跳,保护出口,遥控出口,开关量采集的光电隔离功能。

5)开入开出模件:完成开关量的光电隔离与继电器的出口功能。

6)背板模件:各模件之间通过接插件与背板相连接,相互传递数据。

7)液晶显示模件:人机接口模件装有大屏幕液晶显示器及键盘,实时显示电流、电压、无功、有功、功率因数、保护信息等,完成人机之间的对话,人机界面友好。同时,考虑到保护运行的特点,装置还配有灯光指示,使装置的运行信息更为直观。

鉴于隧道的环境条件,本项目下层通讯采用 CAN(控制器局域网)通讯方式。它最初由德国 BOSCH 公司为汽车的检测、控制系统设计,具有良好现场抗干扰能力和极高的可靠性。通过 CAN 总线还可把通风机、车行横洞卷帘门等相关设备的控制集成在一起。上层通讯需要从变电站到高速公路控制室,距离较远,可采用光纤通讯方式。

1.4 系统控制软件的控制策略

1.4.1 系统电压的调节

在系统电压出现大的扰动时,由电压无功调节装置进行调节,将系统供电电压(高压部分)稳定在合适(9.8~10.8 kV)的范围内。例如当系统检测到高压低于 9.8 kV 时,动作延迟 1 min,如果 1 min 后仍低于 9.8 kV 则系统将输出电压上调 2.5%,如还不能满足要求则继续上调;反之,当系统电压高于 10.8 kV 时,动作延迟 1 min,如果 1 min 后仍高于 10.8 kV,则系统将输出电压下调 2.5%,如仍不满足要求则继续下调。根据历年电压数据的记录分析,无功调节装置基本都能在电网电压波动时将其调整到要求的范围内。

1.4.2 照明亮度的调节

根据洞外亮度的变化相应调整洞内的照明亮度以达到节能的目的。按照《公路隧道通风照明设计规范》,入口段亮度公式为 $L_{th} = k \cdot L_{20}(S)$ 。式中: L_{th} 为入口段亮度(cd/m^2); k 为入口段亮度折减系数,可按表 1 取值; $L_{20}(S)$ 为洞外亮度(cd/m^2)。

表 1 入口段亮度折减系数

设计交通量 N (辆/h)		k			
		计算行车速度 $v_t / (\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$			
车道单向交通	双车道双向交通	100.000	80.000	60.000	40.000
$\geq 2\,400$	$\geq 1\,300$	0.045	0.035	0.022	0.012
≤ 700	≤ 360	0.035	0.025	0.015	0.010

注:当交通量在其中间值时,按内插考虑。

k 值的选取与车流量、车速有关,以汕梅高速莲花山隧道为例,设计行车速度为 80 km/h,单向车流量为 3 000 辆/h^[9]。但根据现场的调查,单向车流量小于 1 000 辆/h,且在夜晚 9:00 点钟以后,车流量比白天下降 60% 以上,平均单向车流量小于 700 辆/h,且路上车辆大多为负重的大货车,行车速度一般不会超过 50 km/h,按原来设计 k 的取值为 0.035,而实际 k 的取值只要 0.015 左右则可,即洞内亮度为原来设计亮度的 1/3 就能达到要求。

本系统的特色是通过二级调压实现电压的细调,从而实现光照强度的细调,在满足隧道设计规范的前提下,为高速公路隧道的节能和安全提供技术保障。它可以自动适应供电电网电压、光照强度以及负载变化进行照明控制达到系统性能的目的,同时采用 CAN 协议的隧道节能控制系统,实现照明系统、通风机、车型横洞卷帘门等相关设备的集成控制。

2 系统实施效果

本系统实施后隧道内亮度变化曲线如图 2 所

示.实施该系统后控制模式由5种增加到20种,提高了控制精度,使洞外光照度的变化更能迅速准确反映在洞内光照度的变化上^[10].

例如上午10:00点以后,当洞外光照亮度超过3 600 cd/m²,达到3 700 cd/m²左右时^[11],系

统未投入前洞内光照亮度没有变化,而使用自适应隧道节能系统之后,洞内光照亮度能够按照预定的控制策略实现快速调节,达到自适应洞外光照亮度的目的.

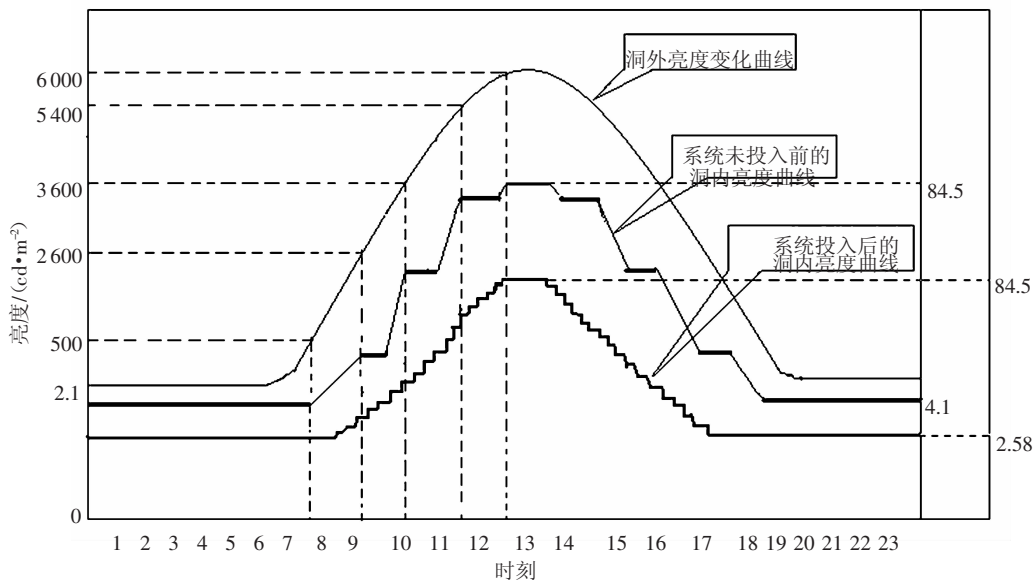


图2 实施前后隧道内亮度比较图

因钠灯的最佳工作电压为198 V,标准工作电压为220 V,系统实际运行的工作电压为195~220 V,通过计算可知纯照明用电的最大节电率约为22%.经实际计量,应用本系统后,隧道负荷整体能耗降低了约10%,照明部分能耗降低约20%.实际运行效果证明,应用本系统后,可延长灯具的使用寿命30%,如果按更换一套灯具所需费用(含材料费、人工费等)为260元.系统投运以来已经为本公司节省了大量的运营成本,创造了良好的经济效益和社会效益.

3 结 论

自适应隧道专用节能系统是一个全局的系统解决方案,它有效地解决了营运过程中节能与行车安全之间的矛盾,实现智能调控稳压的节能目标.本文采用的技术与国外的技术相比实现起来较简单,不需要大规模更换现有设备,成本相对较低,节能效果显著,能适应山区较差的电网环境,可以实现近似的无级光照调节,并且实现了电网的远程控制和节能的自动控制,更适合我国国情,具有良好的推广应用价值.

参考文献:

[1] 交通部重庆公路科学研究所. TJ026. 1—1999 公路隧道通风照明设计规范[S]. 北京:人民交通出版社,2000.
[2] 中国建筑科学研究院. JGJ/T 119—98 建筑照明术语标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,1999.

[3] Tu Yun. Design of energy-efficient lighting tunnel [J]. Lamps and lighting, 2007, 31 (2): 40–42.
[4] 同济大学建筑系,清华大学建筑系,中国建筑科学研究院建筑物理研究所. GB5697—85 人类工效学照明术语[S]. 北京:中国标准出版社,1986.
[5] Illuminating Engineering Society. ANSI/IESNA RP-8-00. American National Standard Practice for Roadway Lighting[S]. New York: Illuminating Engineering Society of North America, 2000.
[6] LUO Zhijia, ZHONG Hanshu, MAO Zongyuan. Road tunnel lighting control system [J]. Computer and Communications, 2005, 23 (4): 117–119.
[7] CHEN Liang. Expressway tunnel lighting system design and implementation of energy [J]. Transportation Information Industry, 2007 (1): 123–125.
[8] WANG Zhi, LI Nianen. Road tunnel lighting control system model of energy-saving hardware design and implementation [J]. Enterprise technology development, 2009, 28 (4): 22–25.
[9] YE Peiqun. Expressway tunnels ShanMei energy saving intelligent lighting control system [J]. Highway and Transport, 2005 (4): 173–174.
[10] ZHOU Taiming. Electric Lighting Design [M]. Shanghai: Fudan University Press, 2001.
[11] CHEN Zhonglin, HU Yingkui, LIU Yingying. Road lighting luminous efficiency calculation [J]. Lamps and lighting, 2006, 30 (4): 1, 2, 12.

(编辑 张 宏)