

高速公路隧道 LED 照明调光控制规范

Code for the dimming control of LED lighting in highway tunnel

(征求意见稿)

2023 - XX - XX 发布

2023 - XX - XX 实施

目 次

前 言	II
引 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语及定义	1
4 总则	2
5 一般要求	2
6 设备性能要求	3
7 系统架构	3
8 控制软件	4
9 照明控制工况及方式	4
10 照明控制策略	5
11 控制主机	6
12 控制器	6
13 接收器	7
14 智慧控制平台	7
附录 A（资料性） 数值调光控制协议	8
附录 B（资料性） 公路隧道照明调光控制方法	19
附录 C（资料性） 有隧道工业以太网架构	22
附录 D（资料性） 无隧道工业以太网架构	23

前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替DB21/T 2576-2016《高速公路隧道LED照明调光控制规范》，与DB21/T 2575-2016相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 增加了“低交通量”对应的术语定义；
- b) 修改了“1 范围”，删除了“其他公路隧道可参考执行”；
- c) 增加了“5 一般规定中”，电源回路在自动控制模式下、异常工况下的控制技术要求（见2023版5.13、5.14）；
- d) 增加了模拟调光灯具调光性能要求（见6.8）；
- e) 增加了数字调光灯具调光性能要求（见6.9）；
- f) 删除了“8 控制软件”中控制策略的要求（见2016版 8.3），将其细化形成工况控制、控制策略两个章节；
- g) 增加了“9 照明控制工况及方式”，包括控制工况、控制方式（见9.1、9.2），控制方式新增智能控制（见9.2.5）、随车照明控制（见9.2.6）的技术要求；
- h) 新增了“10 照明控制策略”，明确了智能控制、随车照明控制的照明控制策略要求（见10.1.1、10.1.3）；
- i) 对资料性附录进行了相应修改。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由辽宁省高速公路运营管理有限责任公司提出。

本文件由辽宁省交通厅归口。

本文件起草单位：辽宁省高速公路运营管理有限责任公司、招商局重庆交通科研设计院有限公司。

本文件主要起草人：孙和山、苏连军、刘亮、高照、肇毓、许喆、王伟、崔厚洋、宋嗣博、樊博、柳阳。

本文将及其所代替文件的历次版本发布情况为：

- 2016年首次发布为DB21/T 2576-2016；
- 本次为第一次修订。

引 言

为了更好地推进高速公路隧道LED照明节能应用，指导辽宁省高速公路隧道LED照明调光控制设计，编制组在总结研究成果及现有应用的基础上，参考国内外相关资料，编制了本规范。

本标准的管理权和解释权归辽宁省交通厅，日常解释及管理工作由辽宁省高速公路运营管理有限责任公司负责。

各单位在使用过程中，若发现问题或提出意见、建议，请及时与主编单位联系（地址：，邮编：；电话：，传真：；邮箱：），以便修订时参考。

高速公路隧道 LED 照明调光控制规范

1 范围

本规范规定了高速公路隧道 LED 照明调光控制系统的范围、规范性引用文件、术语和定义、总则、一般要求、设备性能要求、系统架构、控制软件、照明控制工况及方式、照明控制策略、控制主机、控制器、接收器和智慧控制平台。

本规范适用于辽宁省新建或改建的高速公路隧道 LED 的照明调光系统的设计。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本规范必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本规范；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

- GB/T 17743 电气照明和类似设备的无线电骚扰特性的限值和测量方法
- GB/T 18595 一般照明用设备电磁兼容抗扰度要求
- GB/T 24825 LED 模块用直流或交流电子控制装置 性能规范
- GB/T 17626.5 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验
- GB 17625.1 电磁兼容 限值 谐波电流发射限值（设备每相输入电流 ≤ 16 A）
- GB 19510.14 灯的控制装置 第 14 部分：LED 模块用直流或交流电子控制装置的特殊要求
- JTG/T D70/2-01 公路隧道照明设计细则
- JT/T 939.5 公路 LED 照明灯具 第 5 部分：照明控制器
- GA/T 115 道路交通拥堵度评价方法
- DB21/T 2577 高速公路隧道 LED 照明技术条件
- DB21/T 2578 高速公路隧道 LED 照明设计规范

3 术语及定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

DALI digital addressable lighting interface

数字可寻址照明接口技术。DALI 是一种数据传输的协议，定义了照明电器与系统设备控制器之间的数字通信方式，DALI 系统具备结构简单，安装方便，操作容易等优点。

3.2

控制软件 control software

具备图形化显示、照明工况控制、用户管理和数据库管理等功能的控制平台，安装在控制主机，为照明系统运行提供服务。

3.3

控制主机 control host

控制主机为工业级计算机，设置在隧道变电所或箱式变电站内，用于监控隧道现场照明设备的运行状态（如正常、报警、故障等）。

3.4

控制器 controller

采用标准接口与多个接收器连接，用于实现照明调光控制信号的发送装置。

3.5

接收器 receiver

采用标准接口与单个LED隧道灯连接，用于实现照明调光控制的接收装置。

3.6

低交通量 Low traffic

同一隧道路段流量低于60veh/（h·ln）或1h内通过隧道路段平均相邻两车间距大于1km的交通流状态。

4 总则

为了在高速公路隧道中贯彻国家的相关法律、法规和技术经济政策，充分体现安全可靠、节能环保、经济实用与技术先进的设计理念，制定本规范。

高速公路隧道LED照明调光控制除应遵守本规范外，尚应符合国家现行有关标准和规范的规定。

5 一般要求

5.1 隧道LED照明控制系统构建应满足接口开放、标准开放、可靠稳定和经济实用原则。

5.2 隧道LED照明控制系统的控制软件宜采用开放式软件构建，便于升级维护以及与第三方软件系统融合。

5.3 隧道LED照明控制系统的各级通信应采用标准开放式接口和开放式通信协议。

5.4 隧道LED照明控制系统应具备多级控制冗余机制。

5.5 隧道LED照明控制系统应以数据、图形、图像等方式显示隧道内LED照明系统的运行情况、控制模式等。

5.6 隧道LED照明控制系统应根据时间、亮度设定的多种模式进行调试和控制，内置时控和光控模式。

5.7 隧道LED照明控制系统应以自动或手动的方式执行命令。

5.8 隧道LED照明控制系统应自动地完成数据备份、文档存储（含操作数据及故障数据）。

5.9 隧道LED照明控制系统应方便地进行查询、统计和形成报表，具备权限管理功能。

5.10 隧道LED照明控制协议、软件应支持在线更新，方便升级；

5.11 车行横洞内照明灯在正常工况时应处于熄灭状态，当发生火灾或检修隧道时，应与车行横洞门联动控制或本地手动控制开启。

5.12 车行横洞内照明灯的开启状态信息应由控制器传到中央控制室上位机，应在照明控制界面中直观显示车行横洞内照明状态。

- 5.13 行人横洞内宜设置具有红外线感应开闭功能的照明装置,开启状态信息应由控制器传到中央控制室上位机,应在照明控制软件中直观显示行人横洞内照明状态。
- 5.14 灯具调光最小输出功率宜为额定功率的 5%~10%。
- 5.15 加强照明的电源回路在自动控制模式下,白天应能自动开启,傍晚应能自动关闭。
- 5.16 发生异常事件时系统应能将灯具调至满功率状态。

6 设备性能要求

- 6.1 控制器和接收器的安全要求应符合 GB 19510.14 的要求,性能要求应符合 GB/T 24825 的要求,工作温度 $-40^{\circ}\text{C}\sim+40^{\circ}\text{C}$,工作湿度 30%~90%,大气压 90~108kpa 条件下均能正常工作。
- 6.2 控制器和接收器的外壳防护等级不低于 IP65。
- 6.3 控制器和接收器应设置浪涌保护功能,应符合 GB/T 17626.5 的要求。
- 6.4 控制器和接收器的金属部件,应采取充分的防腐蚀措施,防腐等级不低于 WF1。
- 6.5 可按照 GB 19510.14 中“异常状态”的规定进行测试,不应损害控制装置的安全性。
- 6.6 输入电流谐波应符合 GB 17625.1 的规定,无线电骚扰特性应符合 GB/T 17743 的规定,电磁兼容抗扰度应符合 GB/T 18595 的规定。
- 6.7 产品检验应符合 JT/T 939.5 中“7 检验规则”的规定。
- 6.8 模拟调光灯具调光性能要求:
 - a) 模拟调光灯具的亮度控制信号宜采用 DC0~5V 或 DC0~10V 的直流模拟信号进行控制,其中 0V 对应最高亮度,5V 或 10V 对应最低亮度,中间呈线性关系;
 - b) 控制端宜选用输入电阻不小于 $5\text{M}\Omega$ 、控制电流不大于 $2\mu\text{A}$ 的灯具;
 - c) 控制端悬空时,灯具的工作状态应为满功率状态;
 - d) 控制端宜采用灌电流控制;
 - e) 在断电状态下控制端的输入电阻不得降低;
 - f) 电源的输出功率应在 10%~100%的范围内连续可控,其最小功率应大于额定功率的 5%,小于等于额定功率的 10%;
 - g) 模拟调光灯具也可采用单灯信号转换器与其他调光灯具组合方式组成模拟调光灯具。
- 6.9 数字调光灯具调光性能要求:
 - a) 亮度控制信号宜采用具备长距离传输,抗干扰能力强的总线传输方式,其通信协议应符合《公路 LED 照明灯具第 5 部分:照明控制器》(JT/T 939.5-2014)的有关规定;
 - b) 每盏灯应具有对应的可寻址地址;
 - c) 控制端的输入电阻宜符合相应的总线电气标准;
 - d) 通信中断时,灯具的工作状态应为满功率状态。

7 系统架构

- 7.1 高速公路隧道 LED 照明调光控制系统主要由 LED 隧道灯、控制软件、控制主机、控制器和接收器构成。
- 7.2 高速公路隧道 LED 照明调光控制系统架构可分为两种:有隧道工业以太网架构、无隧道工业以太网架构。
- 7.3 有隧道工业以太网架构,控制器应具备以太网接口,直接接入隧道现场工业以太环网,系统架构参见附录 C。
- 7.4 无隧道工业以太网架构,控制器应具备 RS485 串行接口,系统架构参见附录 D。

· DB21/T 2576—2023

7.5 控制主机接入 WAN 与远程计算机客户端建立连接，WAN 可为专用网络或者采用公众网络，采用公众网络时需要采取 VPN 等加密通道传输。

7.6 控制主机与控制器之间通讯宜采用 MODBUS-RTU 或 MODBUS-TCP 协议。

7.7 控制器与接收器之间通讯宜采用附录 A 提供的调光控制协议。

7.8 接收器与灯具之间调光接口宜采用 PWM 接口。

8 控制软件

8.1 控制软件运行于控制主机，控制室或远程控制中心通过客户端或者 WEB 浏览器进行访问。

8.2 控制软件功能应满足以下要求：

a) 应能在图形化隧道平面图上显示每盏灯具的位置；

b) 应能在图形化隧道平面图上显示隧道照明控制系统当前工作状态，包括系统当前时间（年、月、日、时和分）、隧道内各回路照明输出电压、电流和功率参数等；

c) 应能根据控制器指令实时控制 LED 灯亮度，并可查询各照明段落灯组的工作状态，包括组号、终端状态和光强度值等；

d) 应具备与控制器、接收器的远程通信和访问功能以及通信故障报警功能；

e) 可通过控制软件远程调用预置照明工况预案、照明策略，具备控制模式、控制参数读取和设置功能。应具备隧道照明正常运营工况、交通管制工况、拥堵工况和火灾工况等不同工况条件预先设置功能；

f) 应具有自动巡检功能，巡检实时状态信息包含：单灯或群组灯具亮度等级，灯具和控制装置的故障信息等。

8.3 高速公路隧道内照明调光控制算法可参见附录 B 执行。

9 照明控制工况及方式

9.1 控制工况

9.1.1 隧道照明运营工况可分为正常运营工况、交通管制工况、拥堵工况和火灾工况。

9.1.2 正常运营工况应按 GA/T 115 中平均行程速度为畅通或轻度拥堵的交通拥堵度进行判定。

9.1.3 交通管制工况应根据隧道占道养护作业实施、节假日交通量大或临时性重点检查工作进行判定。

9.1.4 拥堵工况应按 GA/T 115 中平均行程速度为中度拥堵或严重拥堵的交通拥堵度进行判定。

9.1.5 火灾工况应根据隧道内发生火灾并引发交通阻塞或交通管制判定。

9.1.6 火灾工况可通过火灾报警系统、事件检测系统等方式检测判定，或通过视频、电话、现场确认等方式人为判定。

9.2 控制方式

9.2.1 控制方式宜分为手动控制、预案控制、智能控制、随车照明控制。

9.2.2 手动控制分为远程手动控制和现场手动控制，现场手动控制优先于远程手动控制。

9.2.3 预案控制可分为经纬度时序控制、交通管制工况控制、拥堵工况控制和火灾工况控制。

a) 经纬度时序控制功能要求：

1) 控制参数设置功能；

2) 基本照明和加强照明控制时间设置功能，不同回路的调光值可单独设置。

b) 交通管制工况、拥堵工况和火灾工况控制功能要求：

1) 可事先设置的预案指令；

2) 存在多种工况并存时应按最不利工况进行控制。

9.2.4 智能控制宜根据洞外亮度、车速、交通量和洞内亮度等参数实时控制。

a) 智能照明控制流程见图 1;

b) 当传感器故障或通信故障时, 控制系统应具备故障报警功能, 并将故障信息上报至监控中心或隧道管理站, 照明控制自动切换至经纬度时序控制方式或手动控制方式。

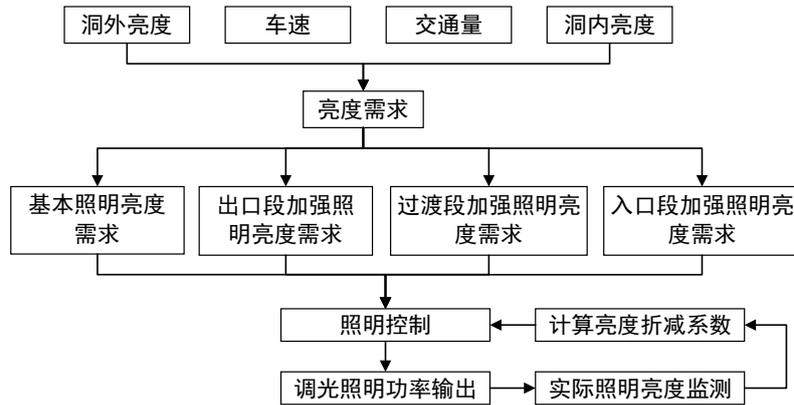


图1 智能照明控制流程

9.2.5 智能控制系统功能要求:

- a) 回路控制应能实现白天自动开启加强照明回路, 夜间自动关闭加强照明回路;
- b) 亮度调节应根据洞外亮度、车速、交通量和反馈洞内亮度进行亮度自动调节;
- c) 洞外亮度、洞内亮度、交通量、开启功率等信息应能实时显示在人机界面上;
- d) 当传感器故障时, 应能自动切换至预案控制模式下的经纬度时序控制方式或提示人工切换至手动控制方式, 并输出故障信息至监控中心或隧道管理站。

9.2.6 随车照明控制要求:

- e) 具有动态车流量检测的调光系统, 当车流量检测器发生故障时, 系统应能自动将加强照明和基本照明切换到最大交通量控制模式; 当故障排除后, 系统应能自动恢复到动态车流量调光状态;
- f) 随车照明调光控制系统宜用于小交通量公路隧道, 在无车通行状态下, 照明亮度不应小于基本照明亮度的 10%, 且不应低于 0.2cd/m²。
- g) 对于小交通量的公路隧道, 各区间控制器应能提前不小于 10s 探测到车辆到来并将灯具调至正常工作亮度;
- h) 当车辆按照路段货车限速驶出所在区间且无车辆继续到来后, 系统应将所控区间的灯具功率调至待车功率状态。

10 照明控制策略

10.1 正常运营工况

- 10.1.1 宜优先采用智能控制模式。
- 10.1.2 智能控制异常, 系统应采用经纬度时序控制或手动控制。
- 10.1.3 路段处于低交通量时段可按需采用随车照明控制。

10.2 交通管制工况

· DB21/T 2576—2023

10.2.1 宜优先采用预案控制模式

10.2.2 管制结束可一键切换到正常运营工况；

10.2.3 可通过手动控制回路功能进行管制隧道亮度控制。

10.3 拥堵工况

10.3.1 隧道照明控制系统可根据交通量和实际车速监测值切换至预案控制模式下的拥堵工况控制预案。

10.3.2 拥堵区域的同一回路控制区域应按拥堵工况执行，其余区段可根据控制参数监测值按正常运营执行控制。

10.3.3 可按交通量和实际车速监测值将拥堵工况控制方式切换至正常运营工况。

10.3.4 可通过手动切换拥堵工况和正常运营。

10.4 火灾工况

10.4.1 应能自动切换至预案控制模式下的火灾工况控制方式。

10.4.2 可通过火灾现场位置信息进行照明系统与声光报警与疏散系统联动。

10.4.3 可一键切换至正常运营工况。

10.4.4 可通过手动控制将所有回路亮度调至最大。

10.4.5 可单独开启应急照明回路。

10.5 多种工况共存

10.5.1 多种工况共存时应根据最不利工况进行照明调光控制。

10.5.2 最不利工况依次为火灾工况、拥堵工况、交通管制工况。

11 控制主机

11.1 控制主机可采用工业级工业计算机，可采用固态硬盘。

11.2 控制主机采用冗余电源。

11.3 控制主机宜安装于变电所照明配电柜。

12 控制器

12.1 控制器宜安装于隧道现场。

12.2 隧道 LED 照明灯具的控制装置上应预留控制接口，通讯协议宜采用附录 A 提供的协议。

a) 通信接口：控制器应配置至少 1 路 RJ45 以太网接口和 RS485 接口，用于与上位机通信；

b) 输出接口：控制器宜配置 4 路 RS485 调光输出接口；

c) 接口物理形式：宜采用螺钉式 PCB 接线端子，并作永久性标识。

12.3 调光系统通信链路拓扑结构应支持总线、星形和混合等方式。

12.4 控制器可设置于隧道内 PLC 机柜内，利用 PLC 机柜内的交换机直接接入隧道以太环网与照明调光控制软件通信。

12.5 控制器内部应具有时钟，与控制软件通讯中断后能自动接管控制权，按照预置好的经纬度时序控制或全亮状态。

12.6 控制器应具备简易控制界面及应急操作开关，支持现场手动控制。

12.7 控制器应支持广播、分组和单灯调光功能。

- 12.8 控制器应支持查询功能，控制器能够查询接收器以下基本参数：所属组、电源故障和异常、电压、电流、功率、上电亮度值和渐变时间等。
- 12.9 控制器应能承受电源额定电压±20%的波动。
- 12.10 控制器的负荷等级为三级，应做到控制器供电中断后能迅速恢复。

13 接收器

- 13.1 接收器宜安装于 LED 隧道灯具上。
- 13.2 接收器输出调光信号可为 PWM 调光信号。
- 13.3 接收器与控制器通讯中断时，接收器应控制 LED 隧道灯进入全亮状态。
- 13.4 接收器调光接口悬空时 LED 隧道灯应为全亮状态。
- 13.5 接收器应能检测 LED 隧道灯具电压、电流、故障状态等数据。

14 智慧控制平台

- 14.1 智慧控制平台宜布设在监控中心、监控分中心或隧道监控管理站。
- 14.2 公路隧道照明智慧调光控制宜选用具备照明运营工况判定、调光控制、多工况预案控制功能的智慧管控技术，并在监控中心或隧道管理站设置专门的管控平台。
- 14.3 智慧控制平台应具备实时显示隧道照明各区段的亮度、洞外亮度、交通量、平均车速参数的功能。
- 14.4 智慧控制平台应具备照明电力数据的实时
- 14.5 监测和统计功能，可统计不同控制模式下的照明节能效果。
- 14.6 智慧控制平台宜具备根据实际监测参数和不同照明运营工况进行控制模式的智能自动化切换功能。
- 14.7 智慧控制可在监控中心或隧道管理站进行照明控制模式的手动切换。
- 14.8 智慧控制平台宜具备照明质量自动评价功能。

附 录 A
(资料性)
数值调光控制协议

A.1 概述

本协议定义了LED隧道照明调光控制系统中控制器可实现的各项功能，以及数据交互的行为规范，本协议在设计时汲取了DALI协议和LED照明控制协议（JT/T 939.5）的众多优点，且弥补了DALI协议一些不足，它支持指令的广播、组播、点播模式，同时设备具有唯一的地址，并且支持在线更新功能，因其为应用层协议，所以其不限制链路的传输介质，可以在LED隧道照明灯具控制系统中广泛使用。

A.2 通用要求

- A.2.1 控制器与接收器应为主从模式，控制器为主机，接收器为从机，从机只能被动应答，接收器不能提供功能支持冲突或避免冲突的处理方法。
- A.2.2 控制器与接收器之间采用总线连接时，通讯采用用于错误检测的双相逻辑编码。
- A.2.3 系统总线物理层宜采用RS485接口，半双工通信，波特率不低于9600bps，单回路传输距离不小于800m。
- A.2.4 采用总线控制，调光控制器可控制的LED灯具数量不小于200盏。
- A.2.5 支持至少16种场景模式。
- A.2.6 每条总线回路最大支持64分组，每个接收器可数以1个或多个分组。

A.3 目的

为规范与统一本省新建或改建隧道的LED隧道照明灯具控制系统中控制器与接收器之间的通讯协议而制定本协议。

A.4 引用协议

数字可寻址灯光控制接口协议[digital addressable lighting interface (DALI) control devices protocol]

LED照明控制协议（JT/T 939.5）

A.5 一般要求

- A.5.1 帧为传送信息的基本单元，应具有特定的格式。
- A.5.2 命令码为设备操作指令，应以实现相应功能。
- A.5.3 波特率为传送速率，用以表示每秒传输多少位的数据。
- A.5.4 点播应对某一接收器进行控制，受控接收器响应动作并回复控制结果。
- A.5.5 组播应对具有相同组编号的接收器同时进行控制，受控接收器响应动作，但不回复控制结果。
- A.5.6 广播应对所有单灯接收器同时进行控制，受控接收器响应动作，但不回复控制结果。

A. 5.7 LED灯具接收器中预先存储多个场景号,每个场景号能够对应各自的亮度值,在场景调光应用中,进入指定场景,LED灯具接收器就会调节亮度至场景号对应的值;场景值可以通过相应指令做设置。

A. 5.8 心跳包用以维系控制器和接收器之间链接的特殊帧。

A. 5.9 产品型号用以标示照明控制器产品类型唯一性的标示符。

A. 6 应用层

A. 6.1 调光控制协议的软件架构

本协议在RS485上的软件架构,位于物理/数据链路层的上方,应按表A.1的规定执行;本协议在PLC及无线应用的软件架构,位于物理/数据链路层以及网络层的上方,应按表A.2的规定执行。

表 A.1 调光控制协议在 RS485 上的软件架构

调光控制协议(应用层)
物理/数据链路层

表 A.2 调光控制协议在 PLC 和无线应用上的软件架构

调光控制协议(应用层)
网络层
物理/数据链路层

A. 6.2 帧结构

帧主要由三部分组成:帧头、帧数据和帧尾,每帧由帧起始符、地址域、控制码、参数数据、校验码及帧结束符等6个部分组成。具体格式如下:

1) 控制器到接收器帧格式,应按表A.3的规定执行。

表 A.3 控制器到接收器帧格式

帧头	帧数据				帧尾		
帧起始符	地址域	控制码		参数数据		校验码	结束符
H	ID	C		PD		CRC16	T
		控制方式	功能码	命令长度	命令		
		M(2 bit)	F(6 bit)	L	Data		
1 byte	4 byte	1 byte		1 byte	0~255 byte	2 byte	1 byte

注1: 帧起始符用H表示,标识一帧数据的开始,其值为9AH。

注2: 地址域用ID表示,是固定长度为4个字节的设备标识或者组标识,具有唯一性;当使用的地址码长度不足4字节时,用00H补足4字节,高地址位在先,低地址位在后。

注3: 控制码用C表示,对接收器设备控制的指令。它包含控制方式(M)和功能码(F),控制方式主要是控制命令是组播还是点播,功能码是要求接收器设备执行的具体控制指令,具体的指令见表A.6功能码表。

注4: 命令长度用L表示,对接收器设备控制的命令参数的长度。

注5: 命令用CMD表示,对接收器设备控制的命令参数,由多个字节组成的命令采用大端模式,即高位在前,低

表 A.3 控制器到接收器帧格式 (续)

<p>位在后。</p> <p>注6: 校验码用CS表示, 采用美标CRC16校验, 校验是从H到PD的所有数据, 高位在前, 低位在后。</p> <p>注7: 帧结束符用T表示, 标识一帧信息的结束, 其值为A9H。</p> <p>注8: 配置命令为一大类的指令, 命令码1EH, 有各自的小的子命令码。</p> <p>注9: 查询命令为一大类的指令, 命令码1FH, 有各自的小的子命令码。</p>
--

2) 接收器到控制器帧格式, 应按表A.4的规定执行。

表 A.4 接收器到控制器帧格式

帧头	帧数据					帧尾		
帧起始符	地址域	控制码		参数数据			校验码	结束符
H	ID	C		PD			CRC16	T
		控制方式	功能码	应答码	数据长度	命令		
		M(2 bit)	F(6 bit)	R	L	DT		
1 byte	4 byte	1 byte		1 byte	1 byte	0~255 byte	2 byte	1 byte

注1: 帧起始符用H表示, 标识一帧数据的开始, 其值为95H。

注2: 地址域用ID表示, 是固定长度为4个字节的设备标识或者组标识, 具有唯一性; 当使用的地址码长度不足4字节时, 用00H补足4字节。高地址位在先, 低地址位在后。0X00000000和0XFFFFFFF的地址不可用。

注3: 控制码用C表示, 对接收器设备控制的指令。它包含控制方式(M)和功能码(F), 控制方式主要是控制命令是组播还是点播, 功能码是要求接收器设备执行的具体控制指令, 具体的指令见表A.6功能码表。

注4: 应答码用R表示, 对控制器命令的回复:
 00H: 控制成功
 01H: CRC校验错误
 02H: 无此指令
 03H: 不在正常工作模式下(处于boot模式下)
 04H: 设备类型错误
 05H: 正常收到指令
 06H: 参数输入错误

注5: 数据长度用L表示, 表示的是DT的长度。

注6: 数据用DT表示, 对控制器命令回复的数据, 由多个字节组成的数据采用大端模式, 即高位在前, 低位在后。

注7: 校验码用CS表示, 采用CRC16校验, 校验是从H到PD的所有数据, 高位在前, 低位在后。

注8: 帧结束符用T表示, 标识一帧信息的结束, 其值为59H。

注9: 接收器只针对点播做出响应。

A.6.3 控制码

1) 控制码字节格式, 应按表A.5的规定执行。

表 A.5 控制码字节格式

控制方式		功能码					
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
注1：控制方式：00：点播，01：组播，11广播。							
注2：控制命令的码值及功能：见表A.6。							

2) 控制命令应按表A.6的规定执行。

表 A.6 控制功能码表

序号	控制命令码	功能	传输方向	备注
1	0AH	进入在线升级模式	照明控制器→接收器	
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器	
2	0BH	RESET 重启单灯终端	照明控制器→接收器	
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器	
3	0CH	初始化单灯 LED 灯具	照明控制器→接收器	
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器	
4	10H	调光	照明控制器→接收器	
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器	
5	12H	心跳包	照明控制器→接收器	该指令不需回复
6	13H	设置调光时间	照明控制器→接收器	
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器	
7	15H	设置组号	照明控制器→接收器	
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器	
8	16H	将当前 LED 从组中删除	照明控制器→接收器	
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器	
9	17H	设置某场景亮度	照明控制器→接收器	
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器	
10	18H	将某场景的值移除	照明控制器→接收器	
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器	
11	1AH	进入某场景	照明控制器→接收器	
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器	
12	2AH	查询 LED 灯具总工作状态	照明控制器→接收器	
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器	
13	1EH	参数设置类指令	照明控制器→接收器	
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器	
14	1FH	状态查询类指令	照明控制器→接收器	
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器	
15	20H	恢复出厂设置	照明控制器→接收器	
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器	
16	09H	关断	照明控制器→接收器	
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器	

表 A.6 控制功能码表（续）

序号	控制命令码	功能	传输方向	备注
17	08H	返回最大亮度	照明控制器→接收器	
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器	
18	07H	返回最小亮度	照明控制器→接收器	
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器	
19	06H	步进调暗及关闭	照明控制器→接收器	
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器	
20	05H	打开并步进调亮	照明控制器→接收器	
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器	
注：在LED照明控制协议（JT/T 939.5）基础上宜增加必要的功能码（序号15-20）。				

A.6.4 参数数据CMD

- a) 对于调光等级指令，CMD参数范围为0~255，表示灯具输出光通量的百分比，“0”表示关灯，“255”表示光通量输出为100%。
- b) 对于设置组号指令，CMD参数范围为1~64。
- c) 对于设置场景亮度指令，CMD参数占两个字节，场景号字节在前，亮度值字节在后；场景号范围是0~63，亮度值范围范围是0~255，“0”代表关灯，“255”代表光通量输出为100%，其余亮度值对应关系见表A.11。

A.6.5 LED灯具总工作状态查询指令

照明灯具接收到查询LED灯具总工作状态指令后，应将总工作状态返回给照明控制器，返回帧格式应符合表A.7的规定。

表 A.7 查询 LED 灯具总工作状态返回帧格式

帧头	帧数据					帧尾	
H	ID	C	PD			CRC16	T
95H	xxxx xxxxH	2AH	R	L	DT	CRC16	59H
			R	1AH	DT		
1 byte	4 byte	1 byte	1 byte	1 byte	26 byte	2 byte	1 byte

a) 表A.7中DT长度占26个字节，其中标识位占两个字节，LED灯具的总工作状态占24字节，总工作状态包括电压、电流、有功功率、直接调光值、默认调光值、调光时间、组号、终端状态、固件版本号、光强度值、工作总时间、总用电量、工作温度共13个，各状态顺序符合表A.6规定。

b) 表A.8中标识位的高13位与13个工作状态一一对应，用于标识当前硬件是否支持对应的工作状态，为1表示当前硬件支持该状态查询功能，为0不支持，当前硬件不支持的状态值都为0。表中标识位的低3位保留。

表 A.8 LED 灯具工作状态分类表

标识位	工作状态							
是否支持相应功能	电压	电流	有功功率	直接调光值	默认调光值	调光时间	组号	终端状态
2 byte	2 byte	2 byte	2 byte	1 byte				
固件版本号	光强度值	工作总时间	总用电量	工作温度				
1 byte	2 byte	4 byte	4 byte	2 byte				

c) 在LED照明控制协议 (JT/T 939.5) 基础上增加了部分设置类子命令码表, 应按表A.9的规定执行。

表 A.9 设置类子命令码表

序号	设置类子命令码	功能	传输方向
1	1DH	清零总工作时间	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
2	1EH	清零总用电量	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
3	2DH	升级文件下载	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
4	38H	设调光系数	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
5	39H	设置上电亮度值	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
6	3AH	设置调光上下限	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
7	3FH	设置时控计划	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
8	20H	删除时控计划	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
9	21H	开关过温保护功能	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
10	22H	设置过温保护参数	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
11	23H	将 DTR 值重置	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
12	24H	DTR 中存入实际亮度值	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
13	25H	DTR 中存入最大亮度值	照明控制器→接收器

表 A.9 设置类子命令码表（续）

序号	设置类子命令码	功能	传输方向
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
14	26H	DTR 中存入最小亮度值	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
15	27H	DTR 中存入故障亮度值	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
16	28H	DTR 中存入上电亮度值	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
17	29H	DTR 中存入渐变时间	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
18	2AH	DTR 中存入短地址	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
19	2BH	可写存储器	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器

注：在 LED 照明控制协议（JT/T 939.5）基础上宜增加必要的功能码（序号 11-19）。

d) 在LED照明控制协议（JT/T 939.5）基础上增加了部分设置类子命令码表，应按表A.10的规定执行。

表 A.10 查询类子命令码表

序号	查询类子命令码	功能	传输方向
1	20H	查询电源	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
2	21H	查询电流	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
3	22H	查询有功功率	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
4	23H	查询直接调光值	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
5	24H	查询默认调光值	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
6	25H	查询调光时间	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
7	26H	查询组号	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
8	27H	查询某场景的调光值	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
9	28H	查询 LED 灯具状态	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
10	29H	查询固件版本	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器

表 A.10 查询类子命令码表（续）

序号	查询类子命令码	功能	传输方向
11	2CH	查询产品型号	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
12	34H	查询生产商信息	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
13	35H	查询产品型号信息	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
14	36H	查询硬件版本信息	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
15	3BH	查询光强值	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
16	3CH	查询光照值	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
17	3DH	查询车流量值	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
18	3EH	查询设备类型	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
19	3FH	查询固件升级完成进度	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
20	40H	查询总工作时间	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
21	41H	查询总用电量	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
22	42H	查询工作温度	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
23	50H	查询渐变时间	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
24	51H	查询灯故障	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
25	52H	查询 DTR 中存储信息	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
26	53H	查询场景号（0~15）	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
27	54H	查询组号	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
28	55H	查询短地址	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
29	56H	查询最大亮度值	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器

表 A.10 查询类子命令码表 (续)

序号	查询类子命令码	功能	传输方向
30	57H	查询最小亮度值	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
31	58H	查询故障亮度值	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器
32	59H	查询上电亮度值	照明控制器→接收器
		接收器操作结果返回	接收器→照明控制器

注：在 LED 照明控制协议 (JT/T 939.5) 基础上宜增加必要的功能码 (序号 23-32)。

A.7 调光控制

A.7.1 对数调光曲线

如图 A.1 和表 A.11 所示, 控制装置的电弧功率最小值 0.1%, 电弧功率等级为 1。控制装置电弧功率最大值 100%, 电弧功率等级 254。

0.1%~100%的对数调光曲线由以下公式 (A.1) 算出:

$$X(n) = 10^{\frac{n-1}{253/3}-1} \left| \frac{X(n) - X(n+1)}{X(n)} \right| = 2.8\% \dots\dots\dots (A.1)$$

图 A.1 是图解说明, 表 A.11 列出了计算值。

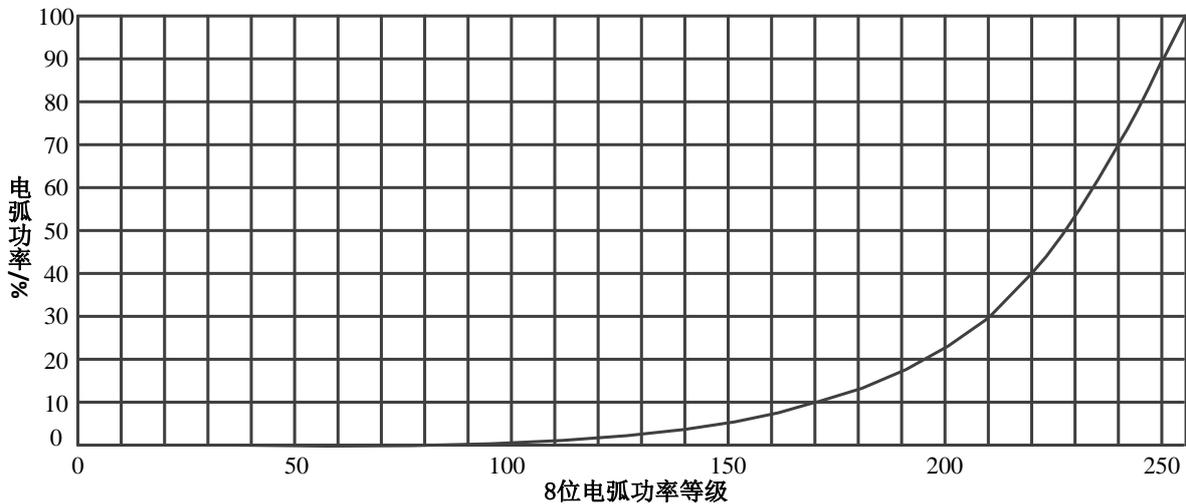


图 A.1 带最小电弧功率 (0.1%) 的对数调光曲线

表 A.11 带最小电弧功率 (0.1%) 的对数调光曲线

n	X	n	X	n	X	n	X	n	X
1	0.100	52	0.402	103	1.620	154	6.520	205	26.211
2	0.103	53	0.411	104	1.665	155	6.700	206	26.967
3	0.106	54	0.425	105	1.711	156	6.886	207	27.713

表 A.11 带最小电弧功率 (0.1%) 的对数调光曲线 (续)

n	X	n	X	n	X	n	X	n	X
4	0.109	55	0.437	106	1.758	157	7.076	208	28.480
5	0.112	56	0.449	107	1.807	158	7.272	209	29.269
6	0.112	57	0.461	108	1.857	159	7.473	210	30.079
7	0.115	58	0.471	109	1.908	160	7.680	211	30.911
8	0.121	59	0.487	110	1.961	161	7.893	212	81.767
9	0.124	60	0.501	111	2.015	162	8.111	213	32.646
10	0.128	61	0.515	112	2.071	163	8.336	211	33.550
11	0.131	62	0.529	113	2.128	164	8.567	215	34.479
12	0.135	63	0.543	114	2.187	165	8.804	216	35.433
13	0.139	64	0.559	115	2.248	166	9.047	217	36.414
14	0.143	65	0.571	116	2.310	167	9.298	218	37.122
15	0.147	66	0.590	117	2.371	168	9.555 [)'	219	38.457
16	0.151	67	0.606	118	2.440	169	9.820	220	39.522
17	0.155	68	0.623	119	2.507	170	10.091	221	40.616
18	0.159	69	0.640	120	2.577	171	10.371	222	41.740
19	0.163	70	0.658	121	2.618	172	10.658	223	42.895
20	0.168	71	0.676	122	2.721	173	10.953	224	41.083
21	0.173	72	0.695	123	2.797	174	11.256	225	45.303
22	0.177	73	0.711	124	2.874	175	11.568	226	16.557
23	0.182	74	0.731	125	2.954	176	11.888	227	17.816
24	0.187	75	0.751	126	3.035	177	12.217	228	49.170
25	0.193	76	0.775	127	3.119	178	12.555	229	50.531
26	0.198	77	0.796	128	3.206	179	12.902	230	51.930
27	0.203	78	0.815	129	3.294	180	13.260	231	53.367
28	0.209	79	0.811	130	3.386	181	13.627	232	54.844
29	0.215	80	0.861	131	3.479	182	14.004	233	56.362
30	0.221	81	0.888	132	3.576	183	14.391	284	57.922
31	0.227	82	0.913	133	3.675	184	14.790	235	59.526
32	0.233	83	0.938	134	3.776	185	15.199	236	61.173
33	0.240	84	0.961	135	3.881	186	15.620	237	62.866
34	0.246	85	0.991	136	3.988	187	16.052	238	64.607
35	0.253	86	1.018	137	4.099	188	16.196	239	66.395
36	0.260	87	1.017	138	4.212	189	16.953	240	68.233
37	0.267	88	1.076	139	4.329	190	17.122	241	70.121
38	0.275	89	1.105	140	4.449	191	17.905	242	72.062
39	0.282	90	1.136	141	4.572	192	18.100	243	74.057
40	0.290	91	1.167	142	4.698	193	18.909	244	76.107
41	0.298	92	1.200	143	4.828	194	19.433	245	78.213
42	0.306	93	1.233	144	4.962	195	19.971	246	80.378
43	0.315	94	1.267	145	5.099	196	20.524	247	82.603
44	0.324	95	1.302	146	5.210	197	21.092	248	84.889
45	0.332	96	1.338	147	5.385	198	21.675	249	87.239
46	0.3 12	97	1.375	148	5.535	199	22.275	250	89.654
47	0.351	98	1.413	149	5.688	200	22.892	251	92.135
48	0.361	99	1.452	150	5.845	201	23.526	252	94.686
49	0.371	100	1.492	151	6.007	202	24.177	253	97.307
50	0.381	101	1.531	152	6.173	203	24.846	254	100.000

A.7.2 指令下载

智能电源需要有 DTR 寄存器或固定存储器,能识别系统内控制装置的表示。部分存储器为只读形式,并由控制装置制造商设置。存储器存储指令用于读取和写入存储信息。

同时,存储器可存储控制器下传的数据和智能终端上传的数据。

A.7.3 调光时间

• DB21/T 2576—2023

根据下面的公式设置调光时间

$$F = \frac{506}{\sqrt{2^x}} T = \frac{1}{2} \sqrt{2^x} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

X——宜取 1-1.5。

调光时间具体规定将当前的灯具亮度值跳到所需值经过的时间，在灯熄灭的情况下，预热和点亮的时间不包括在调光时间以内，新的调光时间在接收到新的灯具亮度值指令后起效，如果在一个调光过程中下载到一个新的调光时间，调光过程会在新的调光值使用前先完成。如果 X=0，表示立即调光不渐变。

A. 7. 4 变化时间变化速率

表 A. 12 变化时间及变化速率表

X	渐变时间 s	渐变速度 steps/s
1	无渐变	不适用
2	0.7	358
3	1.0	253
4	1.4	179
5	2.0	127
6	2.8	89.4
7	4.0	63.3
8	5.7	44.7
9	8.0	31.6
10	11.3	22.4
11	16.0	15.8
12	22.6	11.2
13	32.0	7.9
14	45.3	5.6
15	64.0	4.0
16	90.5	2.8

附 录 B
(资料性)
公路隧道照明调光控制方法

B.1 概述

本规范介绍了一种照明节能控制方法，适合隧道 LED 照明光源，可作为照明设计、软件开发的理论基础。

B.2 隧道照明控制算法原理

隧道照明节能控制算法外部结构如图 B.1 所示。影响照明控制的输入因素复杂，实际主要因素归纳为：交通量、洞外亮度、时间因素、外部事件。交通量的不同对照明需求是不同的，交通量越大、平均车速越快对照明的需求也就越大。洞外亮度越大造成洞内洞外亮度比加大，随之照明需求加大。时间因素、外部事件因素主要包含交通事故、隧道火灾、隧道维护、经纬度时序控制、人工外部指令等对照明输出结果的控制及影响。

B.3 高速公路隧道照明控制工况

高速公路隧道照明控制工况宜按表 B.1 执行：

表 B.1 高速公路隧道照明控制工况

工况名称	工况描述	照明需求
正常运营工况	交通状况良好，无事件、事故、火灾发生，隧道运行正常。	全段按需调光控制。
交通管制工况	养护管理人员对隧道进行维护、节假日交通量大或临时性重点检查工作	养护段最大亮度，其余段按需调光控制。
拥堵工况	隧道内交通发生短暂性意外、拥挤或堵塞。	交通拥堵段最大亮度，其余段按需调光控制。
火灾工况	隧道内发生火灾。	火灾段应急照明，其余段最大亮度。

B.4 照明控制算法构成

照明调光控制算法具有综合性、系统性的结构，针对不同的应用情况和环境使用不同的算法构件，每个算法构件都有自己独立响应及触发条件。照明节能控制算法系统性运用可以发挥出最大的控制效能。

表 B.2 照明控制算法构成表

序号	构件	功能及响应条件	优先级	备注
1	现场手动	手动功能	5	最高
2	远程手动	手动功能	4	
3	预案控制(事件响应)	事故等紧急照明预案输出	3	
4	智慧控制	依据洞外照度及交通量等	2	
5	随车照明控制	低交通量时段	1	
6	经纬度时序控制	传感器掉线或损坏	0	最低

B.4.1 现场手动

现场手动优先级最高，在隧道现场控制输出直接响应手动操作，手动方式可以直接控制照明输出亮度。进行手动控制操作时将不响应其他控制算法构件给出的控制数据，但手动操作与其他常规算法输出的控制数据严重背离时系统应给出警告提示。

B.4.2 远程手动

远程手动优先级低于现场手动，在中控室控制输出直接响应手动操作，手动方式可以直接控制照明输出亮度。进行手动控制操作时将不响应其他控制算法构件给出的控制数据，但手动操作与其他常规算法输出的控制数据严重背离时系统应给出警告提示。

B.4.3 预案控制（事件响应）

事件响应控制方式主要用于紧急情况的照明预案的响应，控制系统将接受其他系统事件数据实现照明系统与其他系统的控制联动，如火灾、交通事故等事件信息发出后，照明系统将根据事件调用紧急照明预案不再响应低优先级的控制算法给出的控制数据。横通道的照明控制也属于事件响应的范畴，通过事件触发条件对照明进行控制。此外，某些紧急情况下，当现场调光控制器与上位控制系统通讯中断时控制器将自动转入最大功率输出模式，保证照明系统安全可靠。

B.4.4 智慧控制算法

自动控制算法为照明节能控制算法的主要组成部分，是控制系统默认控制算法。算法原理：依据交通量及洞外亮度建立洞内亮度理论需求曲线，然后根据洞内亮度理论需求曲线进行灯具的动态调光控制。整个照明控制输出接近平滑曲线，可以快速响应跟踪照明需求曲线，可以得到最优的控制效果并能够达到节能的目的。

根据《公路隧道照明设计细则》(JTG/T D70/2-01-2014)，隧道照明设计分为以下几个区段：入口段、过渡段、中间段、出口段。因此自动控制算法中进行隧道照明理论需求曲线L的计算采用分段方式进行计算。将计算结果输出到控制接口进行输出。入口段、中间段、出口段为亮度需求直线，相应灯具为整体分级对数调光（对数调光曲线利用了人眼对低照度光比较敏感的特点，使整个调光区域看起来都像是线性调节）。过渡段为亮度需求曲线，相应灯具为单灯分级对数调光。自动控制算法通常采用时间触发条件，每5-10分钟重新读取洞外亮度、交通量等参数重新进行照明需求计算。

B.4.5 随车照明控制

B.4.6 经纬度时序控制

经纬度时序控制是最简洁直接的控制方法，控制不需要复杂的计算。但同样经纬度时序控制的节能效率也是最低的。控制输出与照明实际需求容易存在较大偏差，因此时序通常主要用于夜间的控制输出，

另外一些紧急情况下也采用可以这种控制方式。在照明节能控制算法仍然保留这一控制算法主要用于增加系统可靠性，即使完全脱离传感器或主控制器时控制系统不至于瘫痪。

经纬度时序控制的具体实施方法是，在控制系统中根据照明需求经验值建立控制输出时刻表单，以时间作为控制触发条件控制输出量。

附录 C
(资料性)
有隧道工业以太网架构

图C.1为有隧道工业以太网架构。

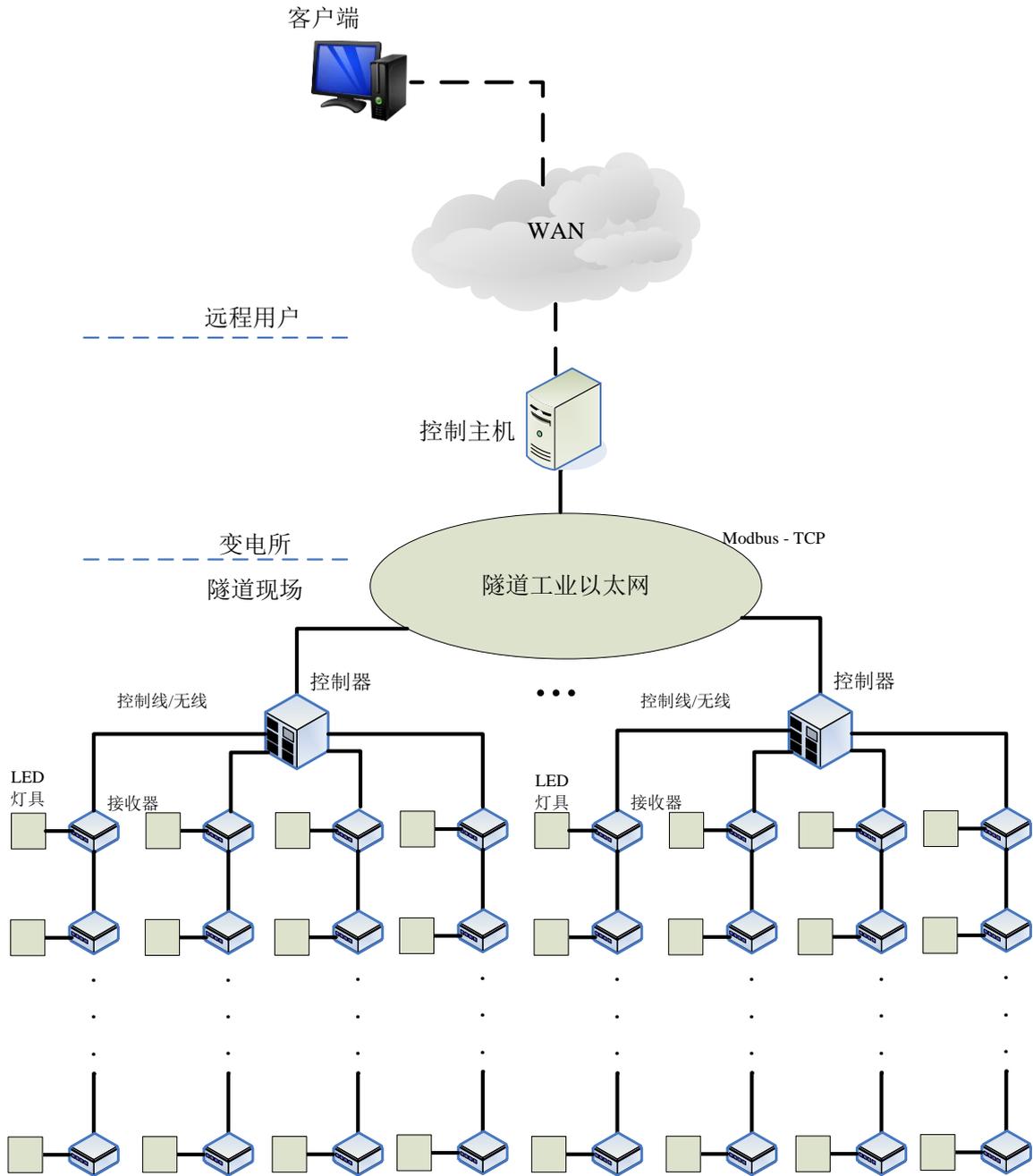


图 C.1 有隧道工业以太网架构

附录 D
(资料性)
无隧道工业以太网架构

图D.1为无隧道工业以太网架构。

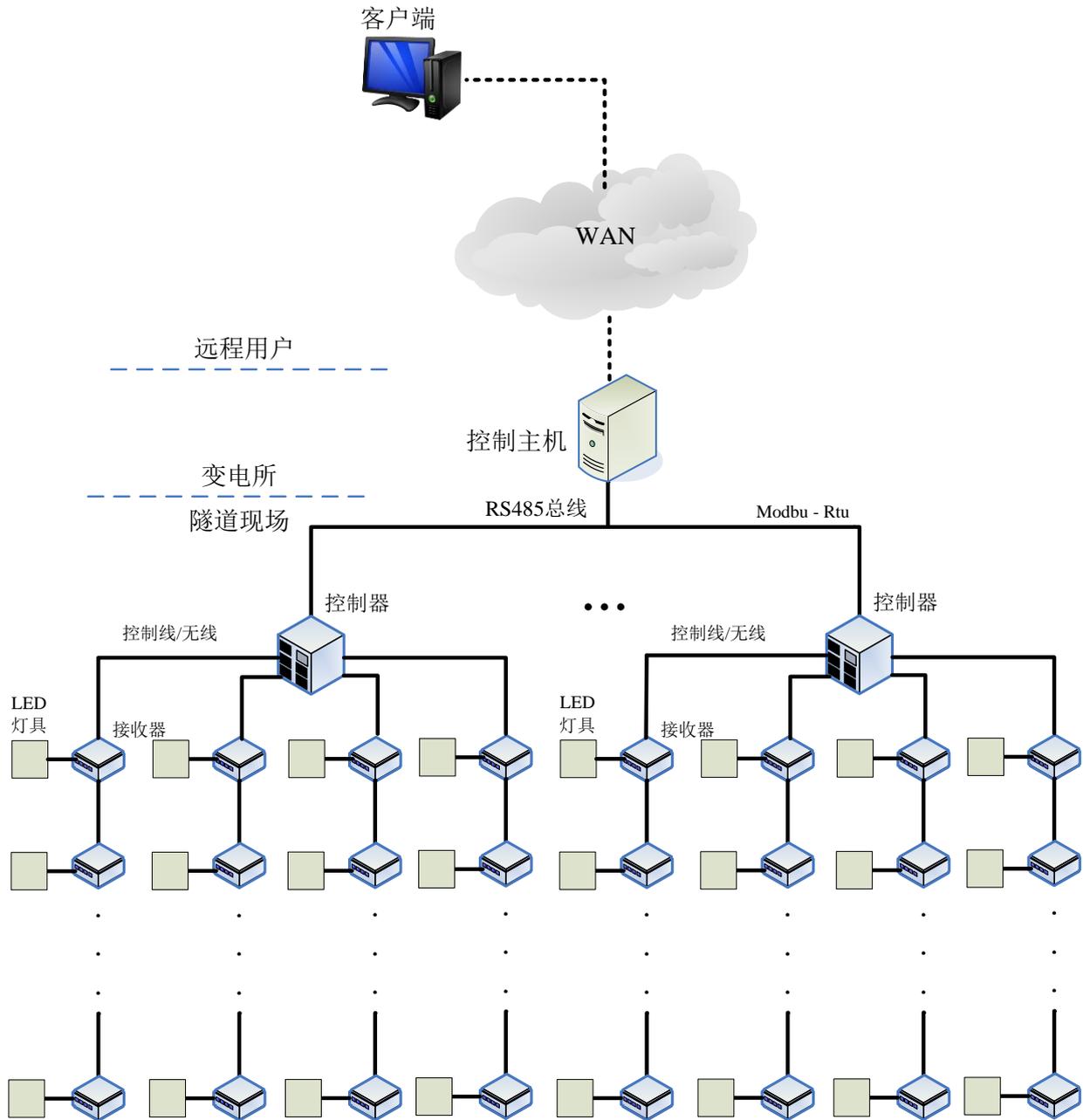


图 D.1 无隧道工业以太网架构