

[应急照明]

浅谈高速公路隧道消防应急照明和疏散指示系统设计

文/魏雅萍¹ 姜文苏² 唐晓栋²

1. 华设设计集团股份有限公司；2. 安科瑞电气股份有限公司

消防应急照明和疏散指示系统如今被广泛运用于城市隧道、高速隧道、楼宇建筑和地下管廊等各个场景。相较于普通公建、工业厂房类建筑，高速公路及其相关区域的场景内应急照明系统设置要求有较大的差异。当高速隧道内出现火灾或事故时，设计一套可靠、高效的应急照明和疏散指示系统，对于人员的安全逃生可起到至关重要的作用。文章就高速公路中隧道的应急疏散设置方案进行探讨。

经济飞速发展、城镇化进度的快速推进，由此带来对高效率、低成本的人流和物流需求的快速增长，公路产业进入了高速发展的时代。

经国家统计局2023年2月28日的国民经济和社会发展统计公报初步核算，2022年新、改建高速公路里程8 771 km。由于国土地域辽阔、地势西高东低、山脉和丘陵连绵，公路里程的快速增加势必也带来日益增多的公路隧道数量，已有记录的单条隧道的最大长度已达到18.2 km，这给发生火灾时的应急疏散逃生带来更高的难度。随着GB5 1309的广泛应用，高速公路及相关区域场景内应急照明系统的要求也相对提高。

本文以某高速公路项目（以下简称“A项目”）为例，以高速公路隧道为主，浅谈高速公路应急照明和疏散指示系统的设计与应用。

高速公路建筑特性

依据中国JTG B01—2014《公路工程技术标准》的标准定义：高速公路作为一种多车道的公路，设计为专供汽车分向行驶、分车道行驶，全部控制出入，平均交通量宜在15 000辆小客车以上，时速设计每小时80 km至120 km^[3]。

高速公路的具体组成通常需要考虑当地地形、高速长度和车流量等，常见高速公路通常由隧道、桥梁、道路、收费站和服务区构成。

1. 建筑负荷特性

根据JTG/D 80—2006《高速公路交通工程及沿线设施》中第7.6.1条，规定交通工程及沿线设施用电设备的电力负荷级别应符合表1^[4]。

表1 用电设备的电力负荷级别

用电设备	电力负荷级别
监控系统、收费系统、通信系统的控制室经济报警系统 隧道等重要设施的消防系统、应急照明系统	一级负荷
管理中心的照明 服务区综合楼的照明 一般设施的消防系统	二级负荷
其他设施	三级负荷

根据JTG D 70/2—2014《公路隧道设计规范第二册交通工程附属设施》（以下简称JTG D70/2—2014）中第11节规定，隧道电力负荷的等级设置主要的依据：供电可靠性和中断供电对人身生命、生产安全造成的危害及对经济影响的程度^[2]。

其中，隧道内应急照明设施与电光标志属于一级负荷中特别重要负荷。

结合以上标准以及GB 50052、GB 50016中相关建筑负荷划分标准，高速公路中隧道内应急照明系统应为一级负荷中特别重要负荷，服务区、停车区的消防系统应为二级负荷。

2. 隧道火灾特点分析^[5]

(1) 火势蔓延速度快

一般，高速隧道内车辆高速行驶过程中，前方若出现突发事故，后方司机车辆来不及避让，很容易导致车辆的连环相撞，引发交通事故。同时，高速车辆长途行驶必须要携带充足的燃油，车辆发生事故燃油会泄露燃烧；锂电池电动汽车的大量普及，锂电池本身出现碰撞存在较高的爆炸风险。短时间存在大量的可燃、易爆物，同时隧道相对封闭的环境助长火势的迅速蔓延发展。

(2) 烟雾毒性大

高速公路隧道环境密闭，汽车内部大量使用的装饰座椅等零部件、车辆随车携带的货物很多为塑料、化纤等物，在隧道发生火灾时，会产生大量的有毒、有害的烟尘。

因为隧道建筑两端出口的结构，烟尘疏散困难，有毒有害的浓烟短时间在隧道内快速聚集，导致隧道内的能见度降低，容易导致人员疏散困难以及造成二次事故发生。

(3) 人员疏散困难

一些长距离的高速公路隧道，本身隧道结构狭长，隧道内发生火灾时容易造成交通拥堵，进而给人员的疏散逃生带来困难。

隧道内发生火灾时，第一时间大部分的驾驶员为了保障自身的人身安全，慌乱情况下会选择弃车逃生，大规模的车辆停滞加剧隧道环境拥堵，给人员安全疏散带来了很大的影响。同时隧道密闭、能见度低的环境，人员在遇到隧道火灾时容易产生恐惧、紧张等情绪，会有盲目逃生的行为，消防人员到场后需要花更多的时间进行疏导，影响到火灾救援工作效率。最后，火灾时产生的有毒、有害的烟尘极大地降低了隧道内环境的能见度，过量吸入烟尘损害逃生人员的呼吸系统，极大地降低疏散逃生的速度。

结合上述火灾特点及疏散难点，发现在发生火灾时，人员的盲目疏散和隧道内能见度低是导致人员伤亡大的原因。因此，需要一套更高效的消防应急照明和疏散指示系统，帮助隧道内人员更

快、更准确地疏散逃生。

高速公路隧道消防应急照明和疏散指示系统设计

A项目高速公路路线全长102 km，包括桥梁73座，隧道24座（无特长隧道），服务区2处，停车区2处。本文主要以该高速公路的隧道疏散系统设计为切入点，而其他服务区、停车区等建筑区域的疏散系统可参考普通公建建筑进行设计。

该项目高速公路隧道中的消防应急照明和疏散系统的设计主要参考标准GB 51309—2018与JTG D 70/2—2014。

按照系统的通用标准定义：消防应急照明和疏散指示系统由应急照明控制器、应急照明集中电源、应急照明配电箱和消防应急灯具组成^[1]；根据末端消防应急灯具的控制方式可分为集中控制型系统和非集中控制型系统；根据系统内灯具的备用蓄电池电源设置的方式可分为集中电源型系统和非集中电源型系统。如图1所示，系统根据控制方式、备电设置方式可划分为四种应急疏散系统。本节分析讨论以下事项：①系统类型选择；②系统的配电方式；③控制器、集中电源及消防灯具的选择及安装事项。

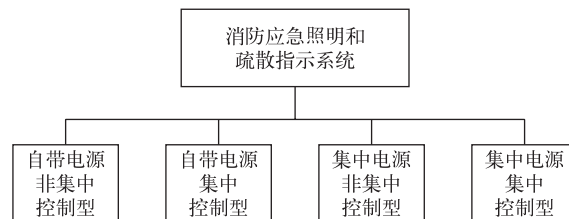


图1 消防应急照明和疏散指示系统分类

1. 系统类型选择

系统类型的选择主要参考GB 51309第3.1.2条进行设计，场所内设置有消防控制室按标准应选择集中控制型的疏散指示系统，场所内的建筑设置有火灾自动报警系统但未设置消防控制室，选择集中控制型的疏散指示系统^[1]。

在A项目中，部分隧道在入口或出口处均设置消防控制室，部分短隧道未设置消防控制室，但在隧道竖井内设置火灾自动报警系统。基于此为满足GB 51309第3.1.2要求^[1]，A项目内隧道均需选择集中控制型应急照明和疏散指示系统，如图2所示。

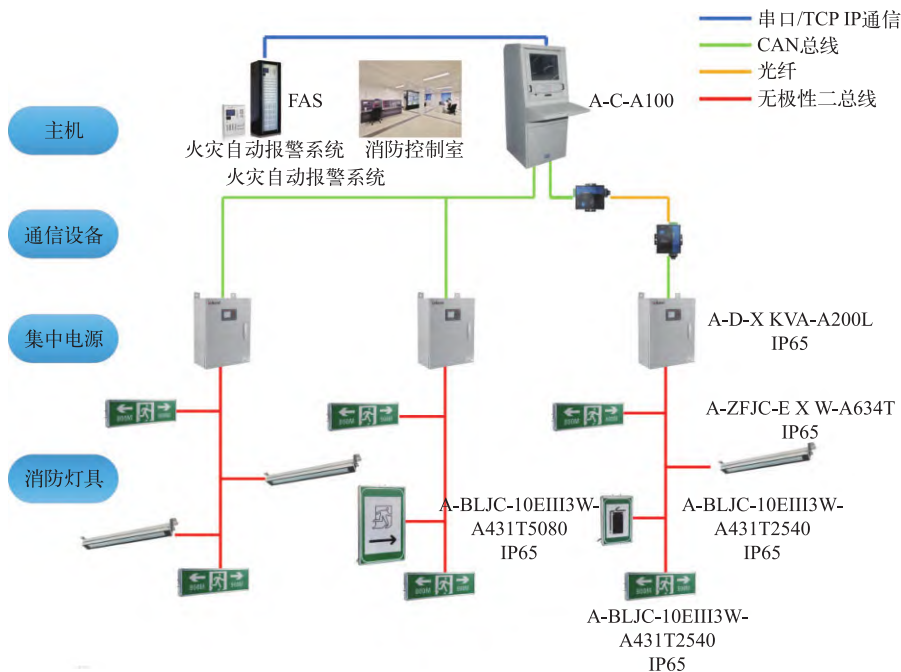


图2 高速公路隧道消防应急照明和疏散指示系统拓扑图

2. 系统的配电方式

应急疏散系统属于消防子系统，专为火灾时的逃生和消防作业提供方向指示和最低限度照明；GB 51309第3.3条配电要求，应急疏散系统应采用双电源供电，保证火灾发生时系统的稳定、可靠运行。以下讨论系统内设备的主、备电源设置方式。

(1) 应急疏散系统负荷

要设计高速隧道应急疏散系统配电方式，首先得弄清楚A项目中隧道消防供电负荷等级。根据项目提供的技术规格书，A项目隧道供电系统中，隧道内应急照明设施与电光标志属于一级特别重要负荷。根据JTG D70/2—2014中第11节中规定，隧道内应急照明设施与电光标志属于一级负荷中特别重要负荷一致^[2]。

(2) 应急照明控制器配电设计

由图2可知，A项目隧道的应急照明控制器设置于消防控制室或竖井内，按照GB 51309第3.4.7要求：应急照明控制器的主电源取自消防双切箱，备用电源采用蓄电池供电，备电工作时间为3 h^[1]。

(3) 消防应急灯具配电设计

系统内应急照明集中电源的主电源取自相邻的消防双切箱，备用电源采用蓄电池供电；应急灯具的主电源、备用电源都由集中电源箱提供；区域内的集中电源箱安装在该区域的设备洞室内，由该集

中电源箱将主、备电经转换后输出，再由配电回路给灯具进线供电通信。

(4) 系统线路设置及线路压降计算

一般隧道内的应急照明控制器设置在隧道进出口的配电房内，主机的主电源取自消防电源。按照GB 51309第3.3.8条要求：消防应急照明集中电源应设置在消防控制室、低压配电室、配电间内或电缆竖井等场所内^[1]。隧道内每隔500 m会设置有设备洞室，集中电源安装于设备洞室中，主电源取自消防电源。

消防灯具采用两芯的屏蔽双绞线，由集中电源进行供电和通信，灯具本身采用的是低压DC 36V进行供电，考虑到直流供电的线路压降损耗，必须保证集中电源管控的区域内灯具的正常工作。参照19D702—7《应急照明设计与安装》图集中直流线路压降计算，计算公式为

$$\Delta u = \frac{2\rho_{\theta}PL}{US} \quad (1)$$

式中， P 为线路功率，W； L 为线路长度m； U 为标称电压，V； S 为线路截面积（mm²）； ρ_{θ} 为工作温度， θ ℃导线电阻率。

代入标称电压DC 36 V，线路长度250 m，负载功率50 W，线路采用2.5 mm²的铜导体（70℃），根据式（1），电压DC36 V计算出末端250 m处的线路压降为15.93%。目前市面上大部分的灯具采用

的宽电压的供电技术，末端电压DC 36 V压降后，灯具还能正常工作，能够满足高速公路应急照明系统的使用需求。

3. 控制器、集中电源及消防灯具的选择及安装事项

3.1 控制器、集中电源的选择

根据GB 51309中第3.4.1条要求，应急照明控制器的选择应符合在隧道、潮湿场所，应选择防护等级不低于IP65的产品^[1]；在电气竖井内，应选择防护等级不低于IP33的产品。

根据JTG D70/2—2014中第11.3.1条要求，隧道内配电箱、配电柜的防护等级应达到IP55。根据GB51309中第3.3.8条要求，集中电源的设计在隧道、潮湿场所应选择防护等级不低于IP65的产品；在电气竖井内，应选择防护等级不低于IP33的产品，集中电源应设置在消防控制室、低压配电室、配电间内或电缆竖井内^[1]。

在A项目隧道中，应急照明控制器安装于消防控制室或竖井内；集中电源安装于消防控制室、竖井与防火分区设备间内。依据以上标准条例，选择防护等级IP33及以上的应急照明控制器与防护等级IP65及以上的集中电源。

3.2 灯具的选择

(1) 标志灯的选择设置

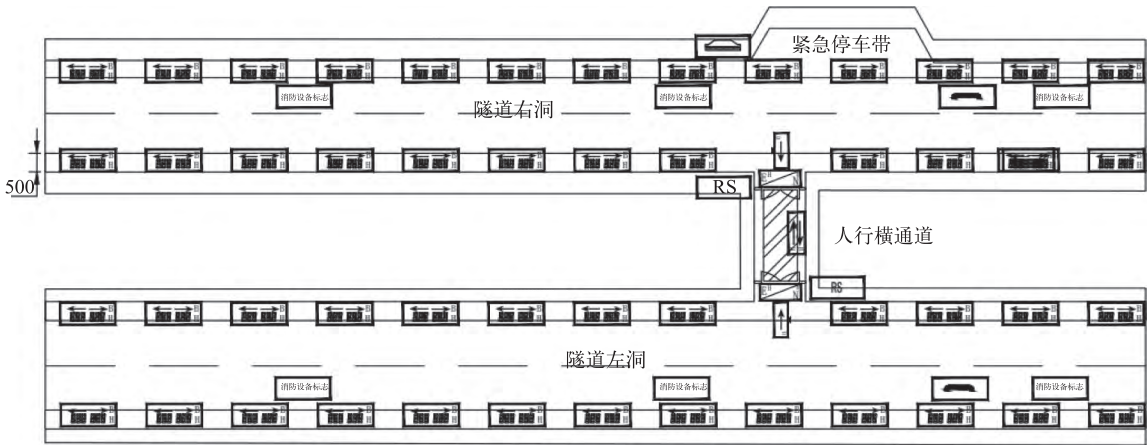
根据GB 51309中第3.2.1条规定^[1]，A项目中

隧道应选择A型、大型标志灯且防护等级不低于IP65，同时此条标准要求，交通隧道宜选择带有米标的方向标志灯。结合考虑洞内环境，选用壁挂安装。同时，第3.2.9条第1项中规定，有维护结构的疏散走道中方向标志灯应设置在走道距地面高度1 m以下的墙面上，方向标志灯的标志面与疏散方向平行时，灯具的设置间距不应大于10 m。

根据JTG D70/2—2014中第4.2.9条要求^[2]，疏散指示标志应设置于隧道两侧墙壁上，底部与检修道高差不应大于1.3 m，间距不应大于50 m。同时，此条标准要求，疏散指示标志宜采用电光标志，单面显示。

结合JTG D 70/2—2014中第4.2.5、4.2.6、4.2.7、4.2.8、4.2.11条，紧急电话、消防设备、人行横通道和车行横通道、紧急停车带指示标志，均采用电光标志、双面显示，底部与检修高度差宜为2.5 m。

综合上述标准，A项目隧道中选择A型大型标志灯，采用电光标志，防护等级不低于IP65，标志灯大小在JTG D 70/2—2014中均有明确规定。疏散指示标志选用壁挂距地1 m安装，安装间距不大于10 m；其余电光标志选用壁挂或支架距地2.5 m安装。具体方案如图3所示。



注：1.除单车道隧道一侧设置方向标志灯外，其余隧道两侧应设置方向标志灯，安装高度不应大于1.3 m
2.当车道两侧设有人行通道，方向标志灯间距不大于10 m，安装高度不应大于1 m；安全通道、人员横通道设置的相关疏散指示灯距地面安装高度不大于1 m。
3.当无火灾报警信号输入的交通隧道，应急疏散指示可按指向就近疏散口设置。

图例	名称
	A型集中电源应急照明灯
	“出口指示/禁止入内”标志灯
	方向标志灯（米标）
	方向标志灯（双向）
	双向方向标志灯（单向）
	人行横通道电光标志
	紧急停车带电光标志
	消防设备电光标志
	消防电话电光标志

图3 高速公路隧道疏散标志布灯示意

(2) 照明灯的选择设置

隧道的应急照明灯采用壁挂安装于隧道侧顶部，根据GB 51309中第3.2.5条规定：应用于城市交通隧道两侧、人行横道和人行疏散通道的应急照明的照度不应低于1 lx。根据JTG D 70/2—2014中规定：应急照明亮度不应小于标准内表6.4.1所列中间段亮度的10%，且不应低于0.2 cd/m²，见表2^[2]。

表2 中间段亮度/*I_{in}*

设计速度 V_l (km/h)	I_{in}		
	单向交通		
	$N \geq 1\,200 \text{ veh/}$ $(h \cdot \ln)$	$350 \text{ veh/}(h \cdot \ln)$ $< N < 12\,000$ $\text{veh/}(h \cdot \ln)$	$N \leq 350 \text{ veh/}$ $(h \cdot \ln)$
	双向交通		
	$N \geq 650 \text{ veh/}$ $(h \cdot \ln)$	$180 \text{ veh/}(h \cdot \ln)$ $< N < 650 \text{ veh/}$ $(h \cdot \ln)$	$N \leq 180 \text{ veh/}$ $(h \cdot \ln)$
120	10.0	6.0	4.5
100	6.5	4.5	3.0
80	3.5	2.5	1.5
60	2.0	1.5	1.0
40	1.0	1.00	1.0

已知A项目设计速度80 km/h，单向交通，小时交通量750 veh/(h·ln)，因此，根据表2要求，A项目内隧道应急照明亮度应不低于0.25 cd/m²。

一般疏散照明照度指的是地面水平最低照度，参照19D702—7《应急照明设计与安装》中的点照度计算，计算公式为

$$E_h = k \times \frac{I_{\theta} \cos 3\theta}{h^2} \tag{2}$$

灯具的维护系统*k*取值按照19D702—7取值0.7，现今市面上高光效的灯具的光效可达到120 lm/W，此项目路面宽度为9.25 m，灯具安装高度为5 m，选用灯具A631T系列，其光强值见表3，配光曲线如图4所示。

表3 发光强度值

θ (°)	0	5	10	15	20	25	30	35	40
<i>I₀</i> /cd	125	124	123	124	124	126	131	139	142
θ (°)	45	50	55	60	65	70	75	80	85
<i>I₀</i> /cd	140	145	152	159	166	158	115	31.4	6.2

上述数据代入式（2）计算，得*h* = 5 m，*r* = 4.625 m，*d* = $\sqrt{h^2 + r^2}$ ≈ 6.8 m， $\cos \theta = \frac{h}{d}$ ≈ 0.74 θ ≈ 40°，光强应取表3中 θ = 40°时的值，即*I₀* = 142 cd。

因此，点照度*E_h*值为1.61 lx。实际隧道两边均设置灯具，中间点照度值最小，点照度为两灯的照度叠加大于1 lx，满足设计需求。

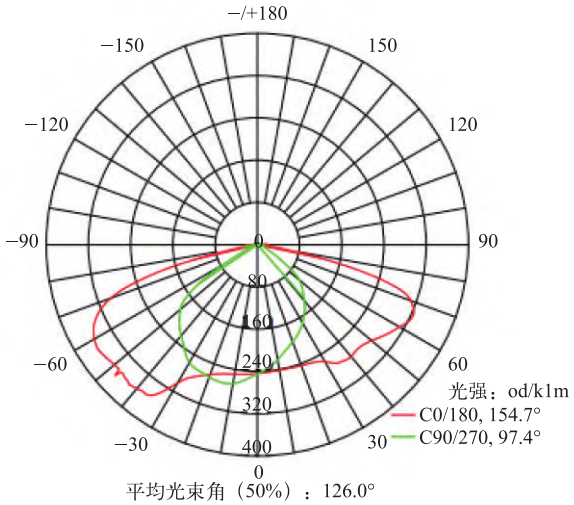


图4 灯具配光曲线

仿真计算结果如图5所示。使用DIALux evo模拟照度计算软件，将高速隧道平面图导入，选取隧道内50 m长，总宽度11 m，路面宽度9.25 m建立隧道模型，选择3 W的应急照明灯壁挂，安装高度5 m，安装间距10 m，灯具布置如图6所示。最终计算得出隧道最高照度4.78 lx，最低照度1.89 lx，平均照度3.86 lx，表面亮度平均为0.61 cd/m²，最小为0.3 cd/m²。软件仿真计算出的照度值，与计算理论值相似，满足上述标准要求，设计合理。

同时，根据GB 51309—2018中第3.2.1条规定，隧道内灯具防护等级应不低于IP65。

结合上述计算结果与标准，A项目隧道内照明灯具应选用防护等级不低于IP65的3 W壁挂型应急照明灯具。

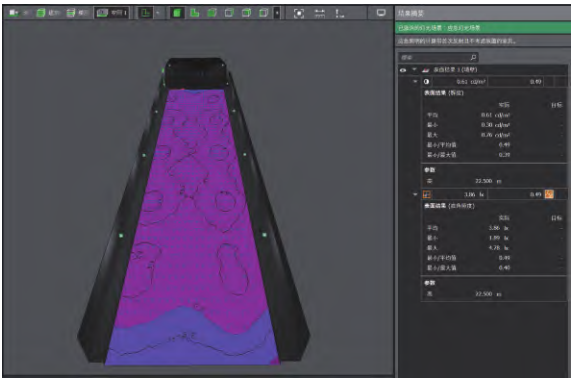


图5 高速隧道应急照明灯DIALux evo仿真计算结果

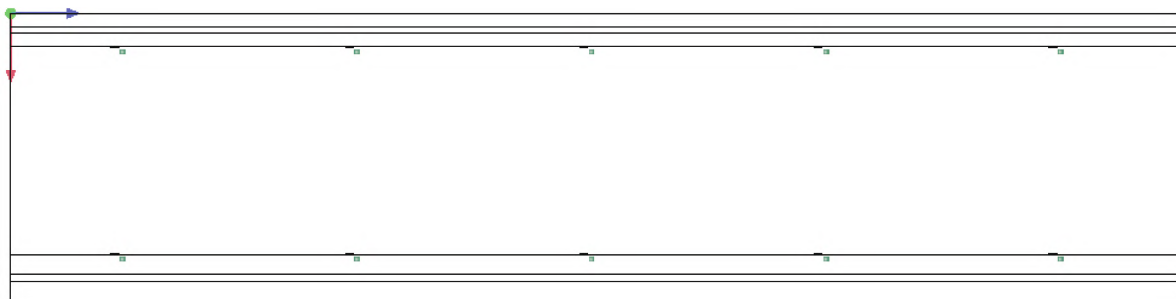


图6 高速隧道应急照明灯DIALux evo仿真灯具布置示意

结束语

在高速公路中，消防应急照明和疏散指示系统主要应用于高速隧道、服务区、停车区等场景，其中，服务区与停车区与普通公建类似。本文主要从高速隧道的建筑负荷特性、建筑火灾特点等方面，在现行标准GB 51309-2018、JTG D 70/2—2014等规范指导下，结合高速公路实际项目，探讨高速公路隧道内的消防应急照明和疏散指示系统的控制方式选择、线路设置及消防应急灯具的选择。

同时，针对应急疏散系统中相对困难的应急照明灯设计，根据标准提供的理论公式进行计算，并使用更专业的DIALux evo照度设计软件进行照度仿真，与公式计算结果进行对比，为其他高速公路隧道的消防应急照明和疏散指示系统提供一定的参考。EA

(收稿日期：2024-03-15)

参考文献

- [1] 中华人民共和国应急管理部. 消防应急照明和疏散指示系统技术标准: GB51309—2018[S]. 北京: 中国计划出版社, 2018.
- [2] 中华人民共和国交通运输部. 公路隧道设计规范第二册交通工程附属设施: JTG D70/2—2014[S]. 北京: 人民交通出版社, 2014.
- [4] 中华人民共和国交通运输部. 公路工程技术标准: JTG B01—2014[S]. 北京: 人民交通出版社, 2014.
- [5] 中华人民共和国交通部. 高速公路交通工程及沿线设施设计通用规范: JTG/D80—2006[S]. 北京: 人民交通出版社, 2006.
- [6] 于春辉. 高速公路隧道火灾特点及灭火救援对策研究[J]. 今日消防, 2022, 7(8): 139-141.

