

广西壮族自治区地方标准

DB45/T 2896—2024

高速公路隧道机电系统技术规范

Electromechanical system technical specification of expressway tunnels

2024 - 09 - 30 发布

2024 - 12 - 01 实施

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总体要求	2
5 隧道监控系统	2
5.1 一般规定	2
5.2 隧道监控系统构成	3
5.3 隧道管理站功能	3
5.4 主要系统技术规范	5
5.5 隧道监控系统软件	8
6 隧道通风设施	10
6.1 一般规定	10
6.2 通风方式	11
6.3 系统配置	11
6.4 通风标准	13
6.5 关键设备	15
6.6 通风系统联动控制	16
7 隧道消防设施	17
7.1 一般规定	17
7.2 系统配置	18
7.3 关键技术参数	21
7.4 关键设备	22
7.5 消防系统联动控制	24
8 隧道供配电设施	25
8.1 一般规定	25
8.2 隧道电力负荷分级	25
8.3 隧道用电负荷的需要系数	26
8.4 电压等级与供电电压	26
8.5 变压器选择	26
8.6 无功功率补偿	26
8.7 变电所电气主接线	27
8.8 柴油发电机	27
8.9 隧道供配电设施配置	28
8.10 配电系统	28
8.11 防雷接地	29

8.12	电力监控.....	30
9	隧道照明设施.....	30
9.1	一般规定.....	30
9.2	隧道照明取值.....	31
9.3	LED 照明灯具技术要求	36
9.4	隧道照明控制.....	37
9.5	控制模式.....	37

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。

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。

本文件由广西壮族自治区交通运输厅提出并宣贯。

本文件由广西交通运输标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：广西交通投资集团有限公司、北京交科公路勘察设计研究院有限公司。

本文件主要起草人：梁远禄、蒋新花、赖海燕、李永亮、李茜、乔梅梅、袁浩庭、哈元元、王文菁、金蕊、刘奕含、韩东海、荣美、潘华良、唐宏亮、唐忠国、卢琛琛、杨友盛、王继华、覃彦、谢金华、谢静、蒋权、刘良旭、朱光祖。

高速公路隧道机电系统技术规范

1 范围

本文件界定了高速公路隧道机电系统的术语和定义，规定了高速公路隧道监控、通风、消防、供配电、照明系统的构成、规模、配置和参数要求。

本文件适用于广西壮族自治区行政区域内新建、改扩建、运营升级改造高速公路山岭隧道机电系统的建设。

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文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 1243 传动用短节距精密滚子链、套筒链、附件和链轮
- GB/T 3091 低压流体输送用焊接钢管
- GB 3445 室内消火栓
- GB 4452 室外消火栓
- GB/T 14561 消火栓箱
- GB 19510.1 灯的控制装置 第1部分：一般要求和安全要求
- GB/T 24825 LED模块用直流或交流电子控制装置 性能规范
- GB/T 37048 高速公路机电系统防雷技术规范
- GN 11 消防产品型号编制方法
- JTG D70/2 公路隧道设计规范 第二册 交通工程与附属设施
- JTG/T D70/2-01 公路隧道照明设计细则
- JTG/T D70/2-02 公路隧道通风设计细则
- XF 139 灭火器箱
- DB45/T 1491 高速公路联网系统技术要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

自治区中心 autonomous region center

由广西壮族自治区人民政府交通运输主管部门设立，承担全区高速公路联网运行收费、监控、通信等业务管理工作的专门机构，是自治区收费公路联网收费清分结算中心、自治区监控中心、自治区通信中心的统称。

3.2

隧道管理站 tunnel management station

隧道管理的基层单元。

注：主要负责隧道机电设备的日常运营管理、紧急救援、设备维护等工作。

3.3

单脉冲电涌保护器 single surge protective device

用于限制瞬态过电压和泄放电涌电流的电器，包含一个非线性元件，能经受一次放电一个脉冲冲击的电涌保护器。

3.4

多脉冲电涌保护器 multi-pulses surge protective device

用于限制瞬态过电压和分流多脉冲电涌电流的电器，它至少包含两个及以上非线性元件。具有主备防雷芯片、至少能经受一次放电多个脉冲冲击的电涌保护器。

4 总体要求

4.1 高速公路隧道机电系统应按照“统筹规划、分期实施、逐步完善、协调发展”的指导思想规划、建设和实施。

4.2 高速公路隧道机电系统应采用新技术、新材料、新设备、新工艺；应坚持系统协调、安全可靠、资源节约和环境保护的理念。

4.3 高速公路隧道机电系统应结合隧道发展和联网管理需求，在建设过程中预留相关兼容性、接口、管线及其它条件。

4.4 高速公路隧道机电系统采用“自治区中心—路段（区域）分中心—隧道管理站—隧道机电系统”的管理架构。自治区中心负责全区机电系统的统一管理，路段（区域）分中心负责所辖区域或路段的管理，隧道管理站负责指定范围内隧道的机电系统管理。各高速公路隧道机电管理体制可根据所属集团、公司的具体管理架构确定。

注：路段（区域）分中心是广西壮族自治区联网运行的高速公路经营管理单位确定的专门机构。作为区域或路段收费、监控、通信分中心，负责所辖范围内一条或多条高速公路的机电系统（含隧道机电）日常运营管理，接受自治区中心的业务调度，直接管理基层单元的业务运行。

4.5 高速公路隧道等级根据隧道单洞长度和设计年度预测隧道单洞年平均日交通量两个因素，划分为A+，A，B，C，D五个等级，等级划分方式及附属设施配置应符合JTG D70/2的规定。

4.6 高速公路隧道机电系统数据联网要求应符合DB45/T 1491的规定。

5 隧道监控系统

5.1 一般规定

5.1.1 应遵循“统筹规划、统一标准、联网运行、分级管理、逐步完善”的原则，实现区内联网监控。

5.1.2 在全区整体规划和技术要求的基础上，可根据自身建设实际选择各类监控设备，但应兼顾整体性和统一性、系统性和先进性。

5.1.3 采用“自治区监控中心—区域（路段）监控分中心—隧道管理站—隧道监控系统”的管理架构。

5.1.4 应按照全区统一技术要求和标准，以及路段运行及服务的要求分期建设实施。

5.1.5 隧道监控设备布置应符合JTG D70/2的规定。

5.1.6 建设应符合国家、交通行业、自治区的总体规划、标准和技术要求，并按照国家、自治区规定的基本建设程序实施。

5.2 隧道监控系统构成

5.2.1 隧道管理站

5.2.1.1 必选子系统包括：

- 监控计算机子系统：应能实现所辖隧道综合监控及各类数据信息的存储、查询和应用，由服务器、交换机、工作站、打印机等构成，至少采用千兆级规模网络结构；
- 闭路电视子系统：应能实现所辖隧道所有视频图像的综合监控，由服务器、视频交换机、网络视频解码器、视频监控工作站、网络视频存储设备、显示设备、视频查询工作站等构成；
- 事件检测子系统：应能实现对隧道重点区域进行事件检测，由检测器、服务器、工作站、交换机等构成；
- 附属设施：主要由不间断电源（UPS）电源系统、空调系统、机房配电系统、防雷接地系统、综合控制台等构成。

5.2.1.2 可选子系统包括：

- 公共信息服务子系统：应能实现所属各隧道各类面向公众的综合服务信息的对外发布，由数据库服务器、各类应用服务器和工作站构成；
- 大屏幕显示子系统：应能实现所属隧道所有视频、数据信息的综合显示，由显示屏、多屏拼接控制器、多屏拼接控制工作站等构成；
- 交通地理信息（TGIS）子系统：能在二维或三维平台中实现所属各高速公路数据库的建立、查询、检索及其他各类综合应用功能，由地理信息系统（GIS）数据库服务器、应用服务器、工作站、打印机等构成；
- 其它：可根据运营管理需要设置门禁管理、环境监测、网络安全等系统。

5.2.2 隧道监控设施

5.2.2.1 一般包括检测设施、控制和诱导设施。检测设施一般由车辆检测设施、环境检测设施、视频监视设施和报警设施组成；控制和诱导设施包括紧急呼叫设施、信息发布及控制设施和本地控制设施等。

5.2.2.2 车辆检测设施包括车辆检测器、超高检测器、车温探测器、危险品探测器等。

5.2.2.3 环境检测设施一般包括光强检测器、一氧化碳（CO）/能见度检测器、二氧化氮（NO₂）检测器、风速风向检测器等。

5.2.2.4 视频监视设施主要包括带云台摄像机、固定摄像机、球型摄像机等。

5.2.2.5 报警设施一般包括事件检测器、火灾自动检测器（含火灾报警按钮）、声光报警器等。

5.2.2.6 紧急呼叫设施包括紧急电话、有线广播等。

5.2.2.7 信息发布及控制设施包括车道控制标志、交通信号灯、大型可变信息标志、小型可变信息标志（包括小型立柱式可变信息标志、悬臂式可变信息标志、隧道内可变信息标志）、可变限速标志、光电诱导标志等。

5.2.2.8 本地控制设施包括本地控制器及交换机等。

5.3 隧道管理站功能

5.3.1 信息采集功能

5.3.1.1 采集检测设备的检测信息，包括一氧化碳（CO）值、能见度值、风速风向值、亮度值等环境信息。

5.3.1.2 车辆检测器检测的交通流信息，包括交通流、速度、占有率、车行方向数据。

5.3.1.3 火灾报警系统检测的火灾信息等，包括火灾报警具体位置数据。

5.3.1.4 设备状态反馈信息，包括可变信息标志、车道控制标志、信号灯的显示内容及工作状态，风机、照明的的工作状况，消防水池水位信息，防火卷帘门的开关状态信息等。

5.3.1.5 视频图像信息，包括隧道口遥控彩色摄像机、隧道内固定摄像机、球型摄像机的图像信息。

5.3.1.6 人工输入信息，包括巡逻车报告的信息、紧急电话报警确认信息、通过其它途径报告的信息等。

5.3.1.7 上级下达的指令信息。

5.3.2 信息处理功能

5.3.2.1 应具备对所辖隧道运行状态分析处理，并通过人机界面和声光报警功能。

5.3.2.2 对火灾报警信号的数据进行处理，提供火灾报警位置数据。

5.3.2.3 对一氧化碳（CO）、二氧化氮（NO₂）、能见度、风速风向检测数据进行处理，并根据检测数据进行门限报警。

5.3.2.4 对亮度检测器检测数据进行处理，实现监测洞内照明等级。当洞内照明未达到标准时，产生报警。

5.3.2.5 对车辆检测器检测数据进行处理，判断交通状况、交通堵塞或拥挤。

5.3.2.6 可对超高报警信号进行处理。

5.3.2.7 对设备的状态反馈信息进行处理。

5.3.2.8 应具备对视频图像进行智能分析功能，判断交通异常事件。

5.3.2.9 人为信息处理。

5.3.3 实时控制功能

5.3.3.1 根据数据处理结果实现交通流管控策略，包括信号灯的控制、车道控制标志的控制、可变情报板的信息发布、有线广播的控制等。

5.3.3.2 照明能根据洞内外亮度检测值进行调节，实现自动控制及手动控制。

5.3.3.3 隧道环境信息超过阈值时，具备报警功能，为风机启动提供决策支持。

5.3.3.4 火灾等特殊工况下，宜具备自动报警并为管理人员提供火灾控制预案决策支持，包括交通控制、照明控制、通风控制、消防控制等。隧道火灾控制优先级为最高。

5.3.4 统计查询和报表生成

5.3.4.1 交通流信息报表：包括日、周、月、季度、年的交通量，车速、占有率、车行方向及其日期等。

5.3.4.2 环境信息报表：包括一氧化碳（CO）、能见度、风速风向、二氧化氮（NO₂）等的曲线报表。

5.3.4.3 信息显示报表：包括车道控制标志、可变信息标志、可变限速标志等的显示内容报表。

5.3.4.4 通风控制方案报表：包括风机的开启时间、运行时间、运转方向等。

5.3.4.5 照明控制方案报表：包括照明各回路的开启时间及运行时间。

5.3.4.6 消防相关报表：包括消防箱及灭火器各项设施巡查记录、设备状态、维修与更换记录，消防水泵的开启时间、运行时间。

5.3.4.7 设备工作状态报表。

5.3.4.8 各种事故、事件、火灾报警信息报表。

5.3.4.9 操作命令报表。

5.3.5 数据存储

5.3.5.1 应实现每日数据、语音、图像的备份及重要文档(包括数据、语音、图像)的存储,并带有时间记录。

5.3.5.2 应对事故事件(包括火灾、设备故障、交通事故等)的详细情况进行存储,包括发生时间、地点、涉及对象、环境信息、事故类型、持续时间、处理措施、处理方法、值班人员、处理人员等。

5.4 主要系统技术规范

5.4.1 计算机系统

5.4.1.1 计算机系统应能对所辖区域隧道的交通综合监控及各类数据信息的计算及存储。

5.4.1.2 计算机系统应具有热备功能,并预留足够的业务扩展能力,为今后其它系统运算的接入提供条件。

5.4.1.3 计算机系统应具备存储功能,实现高速公路基础信息、交通运行信息、计划事件信息、突发事件信息、基础设施信息、协调指令信息、共享交互信息等分类存储,数据存储时间为24个月。存储具备备份功能。

5.4.1.4 服务器、交换机、计算机等设备应满足主流设备指标要求,并根据项目需求及数据规模合理配置交换机接口数量、类型、背板带宽及包转发率等指标。

5.4.2 闭路电视系统

5.4.2.1 闭路电视系统采用数字化方式,视频编码标准 H.264/H.265,实现对管辖范围内所有监控视频图像的调看,并具备最高的管理权限。

5.4.2.2 摄像机布置应符合 JTG D70/2 的规定,并应符合全国高速公路视频云联网相关要求。

5.4.2.3 各级管理机构显示大屏根据业务需要及管理图像数量合理确定,避免规模过大。

5.4.2.4 所有监控图像按 H.264/H.265 编码方式进行存储,宜采用 IP-SAN 的存储方式,应能存储直接管理的监控视频图像,保存不少于60d,事件图像保存不少于2年,有条件的高速公路可直接存储高清码流。

5.4.2.5 图像存储应具有快照机制,避免错删、误删、故意删除,能恢复误删的重要视频。

5.4.3 事件检测系统

5.4.3.1 事件检测系统前端检测设施可采用摄像机、雷达检测器、雷达视频一体机等,隧道内宜与固定摄像机共用,洞口宜与遥控摄像机共用。

5.4.3.2 事件检测系统应能自动判别交通运行状况、事件事故信息,为管理人员提供报警信息,为交通控制管理提供依据。

5.4.3.3 事件检测系统应至少具备自动检测单车道的停车、交通事故、交通拥堵、行人、抛洒物、逆行、非机动车等事件类型。

5.4.3.4 事件检测设备宜设置在隧道洞口区域、人行及车行横洞处、隧道紧急停车带附近等特殊路段,特殊隧道区段可结合项目需求、隧道特点增设。

5.4.4 信息采集系统

5.4.4.1 信息采集系统包括车辆检测器、风向风速检测器、亮度检测器、一氧化碳(CO)/能见度检测器、二氧化氮(NO₂)检测器等主要采集设备,用于采集隧道内车辆、环境等信息,为交通控制提供依据。

5.4.4.2 车辆检测器应能检测上下行流量、平均速度、占有率等数据。

- 5.4.4.3 风速风向检测器应能检测隧道内风速值、风向数据。
- 5.4.4.4 亮度检测器应能检测隧道内、外光强度值。
- 5.4.4.5 一氧化碳(CO)检测器/能见度检测器应能检测隧道一氧化碳(CO)浓度值和隧道能见度值。
- 5.4.4.6 二氧化氮(NO₂)检测器应能检测隧道二氧化氮(NO₂)浓度值。

5.4.5 信息发布及控制系统

- 5.4.5.1 应包括可变信息标志、车道控制标志、交通信号灯、电光诱导标等。
- 5.4.5.2 应用于超速信息、限速信息、道路信息及隧道正常交通、火灾、交通事故、施工等特殊情况时的交通控制。
- 5.4.5.3 可变信息标志符合下列规定：
 - 可变信息标志宜置在隧道入口联络车道前，且距隧道入口不宜小于250m；
 - 特长隧道、长隧道内可设置可变信息标志，隧道内可变信息标志间距宜为(1000~3000)m；
 - 可变信息标志应采用节能型设备；
 - 可变信息标志和车道控制标志不应与交通安全标志牌等其他信息显示相互遮挡；
 - 隧道内可变信息标志宜采用悬挂方式吊装，底部不应侵入隧道建筑限界内；
 - 可变信息标志动态视距不小于210m。
- 5.4.5.4 车道控制标志符合下列规定：
 - 一般位置的车道控制标志应由红叉、绿箭两色灯组成；
 - 车行横洞处的车道控制标志应由红叉、绿箭两色灯和绿色左向箭头组成；
 - 车道控制标志应设置在隧道内各车行道中心线的上方；
 - 车道控制标志宜采用悬挂方式吊装，底部不应侵入隧道建筑限界内；
 - 显示板应具有双面显示功能，显示图案清晰，动态视距不小于210m。
- 5.4.5.5 交通信号灯符合下列规定：
 - 交通信号灯应设置在隧道入口联络车道前(20~50)m处；
 - 隧道入口如无联络车道时，交通信号灯应设置在距离隧道入口一个停车视距处；
 - 联络车道前设置的交通信号灯应由红、黄、绿和左转箭头组成；无联络车道时，不设置左转箭头；
 - 交通信号灯宜采用发光二极管(LED)光源，每个信号灯的直径宜为300mm；
 - 交通信号灯动态视距不小于210m。
- 5.4.5.6 光电诱导标符合下列规定：
 - 电光诱导标志宜采用两面显示，宜采用LED光源；
 - 电光诱导标志具备常亮、闪烁等工作模式，可调节发光亮度和闪烁频率；
 - 隧道内电光诱导标志车行方向左侧为黄色(背面白色)、右侧为白色(背面黄色)，人行横洞、车行横洞处的电光诱导标志宜为绿色。

5.4.6 本地控制系统

- 5.4.6.1 本地控制系统由本地控制器、工业以太网交换机、光纤环网等组成。
- 5.4.6.2 本地控制系统应能收集各隧道检测设备检测的信息，包括交通量信息、隧道内外亮度、一氧化碳(CO)浓度、隧道内风速风向、隧道内能见度参数、外场设备运行状态、消防水池水泵状态等。
- 5.4.6.3 本地控制系统应能完成隧道区段内设备的控制的功能，既能实现隧道管理站/监控中心远程控制，又能实现本地控制。

5.4.6.4 本地控制系统能够接收隧道主控制器或计算机系统的各种控制命令，将控制命令和设备运行状态比较后，发出对下端执行设备的控制指令，包括交通信号灯、车道指示标志、横洞指示标志、可变信息标志、风机、照明等。

5.4.6.5 隧道变电所宜设置主区域控制器，配置双电源、双中央处理器（CPU）模块及触摸显示屏，隧道内宜设置洞内区域控制器，配置双电源、单 CPU 模块。

5.4.6.6 本地控制器宜采用通过工业以太网组成光纤自愈环网的结构进行通信。

5.4.7 火灾报警系统

5.4.7.1 火灾报警系统主要由火灾报警控制器、火灾探测器、手动报警按钮、火灾声光报警器及相关配件组成。

5.4.7.2 火灾探测器可选用点型火灾探测器、线型火灾探测器、图像型火灾探测器或其组合的形式。

5.4.7.3 火灾探测器的响应时间不宜大于 60 s。

5.4.7.4 火灾探测器、火灾报警按钮、声光报警器的设置和技术要求应符合 JTG D70/2 的规定。

5.4.7.5 变电所烟感、温感探测器，应根据变电所的房间布局进行配置，宜在高压室、低压室、柴油发电机、弱电室设置。

5.4.7.6 隧道内设置的火灾探测报警设备的防护等级不应低于 IP65。

5.4.7.7 火灾报警系统的后备电源时间不小于 3h。

5.4.7.8 火灾报警控制器可提供 RS485 或者以太网接口上传上级管理单位，上级管理单位应能接收火灾报警信号，并显示报警位置。

5.4.8 紧急电话及有线广播系统

5.4.8.1 系统构成如下：

- 紧急电话及有线广播系统包括紧急电话控制台、紧急电话分机、广播主控设备、功放设备、扬声器和传输介质等；
- 紧急电话、有线广播控制台应设置在区域（路段）监控分中心或隧道管理站，并共用一套软硬件平台；
- 隧道监控等级为 A+、A、B 等级的隧道应设置紧急电话，隧道监控等级为 C 等级的隧道可设置紧急电话。隧道内紧急电话分机设置间距不宜大于 200m；紧急电话分机宜设置于隧道入口、隧道出口、隧道内紧急停车带、人行横通道处；隧道内自入口起 200 m 范围之内不应设置紧急电话分机；
- 隧道监控等级为 A+、A、B 等级的隧道应设置有线广播系统，隧道监控等级为 C 等级的隧道可设置有线广播系统。扬声器应设置在隧道入口、隧道出口及人行横通道、车行横通道处，可在隧道内每隔 50 m 设置。

5.4.8.2 系统功能如下：

- 紧急电话、有线广播控制台具备以下功能：
 - 识别、定位和显示紧急电话分机的呼叫；
 - 建立、中断和保持呼叫分机的接续；
 - 能大于两路同时排队报警，存储和显示同时发生的呼叫；
 - 能自动录音及回放、查询统计及打印；
 - 能系统自动测试和远程控制；
 - 能数据库管理，包括信号区段、桩号、呼叫分机号码、呼叫通信时间、事故类型和帮助类型等，实现人机对话；
 - 应能提供对外联络接口，方便接警协调处理，实现统一的组织救援；

- 系统间应能互联、级联。
- 紧急电话分机应具备以下功能：
 - 紧急电话分机与主机能实现全双工通话，分机与分机之间不做转接；
 - 紧急电话与有线广播共用数据与音频传输通路。
- 有线广播系统功能如下：
 - 能全呼、分组群呼和单呼；
 - 音源多路切换选择及音量调节功能；
 - 能自动录音及回放；
 - 有线广播与监控系统信息联网；
 - 能远端功放和扬声器工作状态检测。

5.5 隧道监控系统软件

5.5.1 一般规定

- 5.5.1.1 隧道监控系统软件开发应符合国家开放式标准，并应严格遵守国家法律、法规及相关的标准规定。
- 5.5.1.2 各级监控系统之间的网络通信须遵循统一的约定，应采用国际通用的传输控制协议/网际协议（TCP/IP）的网络通信规约。
- 5.5.1.3 隧道监控软件系统的设计和选型应符合模块化、框架化、集群化、服务化的理念，坚持图形用户界面(GUI)的设计原则，各级监控软件可采用 B/S 架构或 B/S 和 C/S 相结合的架构。
- 5.5.1.4 软件编制过程中应明确各级管理软件之间的数据传输内容以及传输结构，确保各级监控软件之间的信息互通。
- 5.5.1.5 监控系统软件应具有有效性、可靠性、可理解性、可维护性、可适应性、可移植性、可追踪性和可互操作性并且满足用户需求的软件产品。
- 5.5.1.6 系统应遵循定期更新和实时更新相结合的原则进行数据更新与维护，其中需要实时更新的数据主要为各外场设备采集数据，定期更新的数据主要是接收下级上传数据。
- 5.5.1.7 系统应建立数据及系统更新维护日志：包括更新维护内容、更新时间、操作人员、操作实施时间等内容。

5.5.2 软件功能模块

5.5.2.1 基本要求

至少应具备6.5.3.2~6.5.3.17的功能模块。

5.5.2.2 信息采集模块

- 5.5.2.2.1 系统应实时采集隧道设备实时数据，并提供与隧道设备之间的通用接口程序。
- 5.5.2.2.2 隧道管理站监控软件应可采集隧道区段各检测设备的实时数据以及各控制链路的反馈信息。为了加强整个系统的可维护性，各隧道管理站监控软件应编制中心控制软件和外场设备之间的通用接口，同时开发针对不同设备的驱动程序，从而确保更换外场设备不会造成中心控制软件的整体调整。

5.5.2.3 信息上传模块

- 5.5.2.3.1 系统应提供实时信息整理、上传的功能。
- 5.5.2.3.2 隧道管理站需将所接收到的实时数据进行整理，在确认相关数据的完整性后发送至上级管理部门。

5.5.2.4 信息发布模块

5.5.2.4.1 系统应提供针对外场显示设备信息编辑、信息查看、信息发布的功能。

5.5.2.4.2 系统应根据外场设备的配置，编制不同的信息显示内容。

5.5.2.5 视频控制模块

5.5.2.5.1 系统应提供数字视频图像参数设置、数字视频图像录像、数字视频图像查看、远程视频控制、远程视频控制权限查看功能。

5.5.2.5.2 系统应提供调看历史图像的功能，含数字视频图像和模拟视频图像。

5.5.2.5.3 监控系统软件对视频的控制及存储方式应满足省内管理架构的需求。

5.5.2.6 本地控制模块

5.5.2.6.1 系统应提供远程设备数据下载、远程数据上传、设备状态检测功能。

5.5.2.6.2 隧道管理站监控系统软件应实现管辖范围内的本地控制设备远程维护功能。

5.5.2.7 隧道通行控制模块

5.5.2.7.1 系统应提供特殊状态下隧道通行控制的功能。

5.5.2.7.2 隧道管理站监控系统软件应预先设定隧道在不同运营状态的隧道通行控制方式。同时系统应提供对相关通行标志(包括车道控制标志和交通信号灯)的手动控制功能。

5.5.2.8 紧急电话系统控制模块

5.5.2.8.1 系统应提供紧急电话系统运行状态监测功能，包括设备运行状态检测、单一设备呼叫、通话记录查询功能。

5.5.2.8.2 隧道监控系统软件应可通过与紧急电话系统之间的通信接口，实现对系统运行状态的监测。

5.5.2.9 广播系统控制模块

5.5.2.9.1 系统应提供隧道广播系统设备检测、音频播放功能。

5.5.2.9.2 隧道监控系统软件应可通过与隧道广播系统之间的通信接口，实现对系统运行状态的监测。

5.5.2.10 火灾检测模块

5.5.2.10.1 系统应提供与火灾检测设备之间的信息传输接口，接收火灾检测系统的实时检测数据。

5.5.2.10.2 系统应提供火灾检测数据实时查看、历史数据查询、历史数据打印功能。

5.5.2.10.3 隧道监控系统软件应可通过与隧道火灾检测系统之间的通信接口，实现数据的实时接收。

5.5.2.11 电力监控软件模块

系统应支持对通风、照明等远程控制方式，并根据数据处理的结果和用户的要求，对系统中发生的特定变化进行提示和告警，继电保护系统将各保护装置的各种信息通过通信系统传送到隧道管理站，供值班员查看并作相应的修改。

5.5.2.12 通风控制模块

5.5.2.12.1 系统应提供隧道通风控制功能，包括日常通风控制、火灾通风控制、单风机运行控制、通风设备运行状态检测功能。

5.5.2.12.2 系统应提供通风设备手动控制和自动控制切换的功能。

5.5.2.12.3 隧道监控软件应提供各种运营条件下的通风控制模式,同时应实现通风系统控制状态的实时检测。

5.5.2.13 照明控制模块

照明控制系统应根据洞外亮度 $L_{20}(S)$ 、洞内亮度、洞外色温、时间、交通流量、设计速度、天气条件、光源特性等制定合理的控制方案。应能对基本照明和加强照明分别进行调光控制。

5.5.2.14 应急预案模块

5.5.2.14.1 系统应提供可预先制定针对本路段范围应急事件处置预案的功能。

5.5.2.14.2 隧道管理站应根据上级管理部门的要求,确定适用与管辖隧道范围内应急事件处置预案。

5.5.2.15 应急事件处置模块

当突发事件发生后,系统应根据事件等级,依据相应的处理预案,启动相应的应急事件处置预案。

5.5.2.16 事故信息记录模块

5.5.2.16.1 系统应提供事故信息输入、查询、打印的功能。

5.5.2.16.2 监控系统应真实记录管辖隧道范围内发生的交通事件,包括时间、地点、事件描述、事件等级以及相应的处理措施。

5.5.2.17 隧道监控系统综合管理模块

用于隧道监控管理的各个UI,系统联动事件处置以及各个子系统告警信息处置等综合事务管理。

6 隧道通风设施

6.1 一般规定

6.1.1 隧道通风系统设计应符合 JTG/T D70/2-02 的规定。

6.1.2 隧道通风系统设计应与隧道主体设计统筹结合,根据隧道长度 L 、设计速度、设计交通量、车道数、平纵线型、地形地质、隧道海拔高程、隧址区域自然环境等,进行技术经济综合比较,合理确定通风方案。

6.1.3 隧道通风系统设计应结合隧道监控系统,分别针对正常交通工况和火灾、交通阻滞等异常交通工况进行系统设计,并提出相应的通风设施运行方案。

6.1.4 隧道通风设计应遵循“一次设计、分期实施”的原则,应采用近、远期方式,近期按通车10年考虑,远期按通车20年考虑。隧道通风系统与土建工程相关的预留预埋件、沟槽管线等须一次设计,并随土建工程一并实施。对于采用斜(竖)井通风的隧道,应充分论证斜(竖)井分期实施的可行性和实施方案。

6.1.5 考虑大型可变情报板、隧道车道指示器等障碍物对射流风机效率的影响,射流风机应尽量避免大型障碍物。射流风机与其他机电设备不宜相互干扰,风机预埋件宜避开车行横通道、人行横通道、紧急停车带等段落。

6.2 通风方式

6.2.1 长度 $500\text{m} < L < 1\,000\text{m}$ 的中隧道，单向交通隧道，当符合式（1）的条件时，可设置机械通风。

$$L \cdot N \geq 2 \times 10^6 \dots\dots\dots (1)$$

式中：

L ——隧道长度，单位为米（m）；

N ——设计小时交通量，单位为每小时车流量（veh/h）。

6.2.2 长度 $\geq 1\,000\text{m}$ 的长隧道近、远期均应设置机械通风。

6.2.3 采用机械通风的隧道应满足正常运营通风、交通阻滞工况及火灾工况下通风的需要。

6.2.4 特长隧道应在设计阶段进行通风方案比选，从技术、经济、安全角度分析是否需要采用斜（竖）井分段通风方式。

6.2.5 长度 $L > 5\,000\text{m}$ 的特长隧道，不推荐采用全射流纵向通风方式。应结合日常运营计算隧道需风量 Q_{req} 和隧道规模，并充分重视防灾救灾，按设计目标年份分近期和远期，通过技术经济综合比选确定通风方案。

6.2.6 两相邻隧道之间设置遮光物理连接的情况，应根据两隧道长度 L 之和统一进行通风计算，并合理规划风机布设位置。

6.2.7 若左右洞行车进口与出口为连拱结构型式或者净距小于 10m 的小净距结构型式，污染气体由隧道洞口直接排出的，应在隧道左右洞行车进口与行车出口之间采取设置中隔墙或者左右洞洞口错开等措施，以防止行车出口隧道内排出的污染空气窜流至行车进口的隧道内。

6.2.8 对于含有特长隧道的隧道群，若在行车方向上的前一隧道为特长隧道，而该特长隧道行车出口段没有设置集中排风的运营通风方式，同时后续隧道行车进口与前一特长隧道行车出口的净距小于 100m ，则应结合两连续隧道洞口之间的地形地貌、人工结构物等分布情况，分析前一隧道行车出口洞内排出的污染空气是否对后续隧道产生超标的二次污染，并根据污染情况综合考虑连续隧道的通风方案。

6.3 系统配置

6.3.1 全射流纵向通风

射流风机布设要求如下：

——口径 $\leq 1\,000\text{mm}$ 的射流风机纵向布设间距宜小于 120m ；

——口径 $> 1\,000\text{mm}$ 的射流风机纵向布置间距宜大于 150m ；

——为便于设备供电，射流风机宜在隧道进、出口集中布置；

——长度 $L \leq 1\,000\text{m}$ 的隧道，射流风机宜设置在隧道桩号的同一端；

——长度 $1\,000\text{m} < L \leq 3\,000\text{m}$ 的隧道，射流风机宜在隧道洞口两端集中布置；

——长度 $L > 3\,000\text{m}$ 的隧道，射流风机宜在两端洞口及洞内中部等位置不少于 3 段布置；

——长度 $L > 2\,000\text{m}$ 的曲线隧道，曲线段宜布置射流风机；隧道曲线段内射流风机纵向布置距离不宜大于 100m ；

——射流风机在进行台数计算时应采用同型号的风机成组备用。计算所需风机台数为 1 组~6 组时，可备用 1 组；计算所需风机台数大于 6 组时，可考虑所需台数 15% 备用；

——在进行火灾工况下射流风机台数计算时，宜考虑火源在下方造成 1 组风机失效的不利工况；

——单向交通隧道采用洞外变电所对洞内射流风机集中供电时，行车进口段第一组风机与洞口距离宜取 100m ；

——单侧设置变电所的隧道，在隧道变电所位置不能确定的情况下，预留预埋设计时应预留风机埋地式变压器的位置；

- 采用斜（竖）井送排式通风的隧道，射流风机除了在进、出口集中布置外，还应结合通风口的位置、数量以及隧道内通风组织方向，在送、排风口上、下游集中布置；
- 风机安装时，风机外壳下缘宜高于建筑限界 20 cm，最低不应少于 15 cm。风机安装吊架若采用仰角形式，钢板夹角宜为 60°。如隧道拱顶净空较小，难以满足建筑限界要求，可采用垂直形式的安装吊架；
- 两车道隧道宜采用两台风机并联的安装形式；三车道隧道应根据其断面大小、照明灯具设置情况、配电要求等综合确定，可采用三台风机并联的安装形式。相邻两台风机的净距不宜小于 1 倍风机叶轮直径，该断面的各风机型号应完全相同；
- 风机控制箱应根据风机控制系统配置订制。

6.3.2 特长隧道斜（竖）井通风

6.3.2.1 送风口与排风口

内容如下：

- 送风口宜设置于隧道拱部，送风口设计风速宜取（25~30）m/s，送风方向应与隧道轴向一致；
- 送风口断面积应根据隧道送风量和送风口设计风速确定；
- 排风口宜设置于隧道侧墙，其底面与隧道检修道高度一致；排风口设计风速不宜大于 8 m/s；
- 排风口断面积不宜大于隧道主洞断面积；
- 排风口应设置防护网，并应进行防锈处理；
- 单向交通隧道中，排风口与隧道主洞的夹角可取 30° ~90° ；
- 排烟口的设计风速不宜大于 10 m/s。

6.3.2.2 通风井、风道、风机房

内容如下：

- 对于近期采用纵向全射流通风，远期需要采用纵向分段式通风或集中排烟的隧道，通风井、风道等应近期一次实施，设备可分期实施；
- 斜（竖）井两端联络风道内的设计风速不宜大于 13 m/s；
- 排烟道内的设计风速不宜大于 15 m/s；
- 地上风道应修建导流墙，减少气流紊乱造成的损失；
- 排烟风井不应作为隧道火灾情况下的逃生通道；
- 通风井的设计风速宜取（13~20）m/s；
- 通风竖井内轮廓宜采用圆形断面形式；
- 通风斜井长度≤700 m 时，井内设计风速宜在（16~20）m/s 范围内取值；斜井长度>700 m 时，井内设计风速宜在（13~16）m/s 范围内取值；
- 采用斜（竖）井分段纵向式通风或洞口集中送（排）风的隧道通风系统，在条件允许的情况下，宜首选地上风机房方案，设置永久性行车便道，以便运营、维护、管理；
- 若斜（竖）井地面井口的地形地貌复杂、交通不便，或地处国家级自然保护区等对环境保护要求极高的地区，经综合比选，也可采用地下风机房；
- 风机房空间应能布置轴流风机、电气设备、控制设备和其他辅助机电设备，并有大型设备搬运通道、工作通道和运输衍道等；
- 风机房内的大型轴流风机尽可能集中在一个区域内，并做好噪声防护处理；
- 地上风机房可设于通风井井口附近，并应根据通风井周围地形条件、两洞口轴向间距等因素确定风机房位置；

- 地下风机房应设有专门的运输通道和逃生通道，并需考虑照明、暖通空调及防、排烟设施的设计；
- 在风机房内应预留监控等其他相关设备空间。

6.3.2.3 通风塔

内容如下：

- 采用地上风机房时，宜通过通风塔将新风送入通风井或将隧道内污染风排出。通风塔宜设置在通风井口附近；
- 通风塔的进风口宜设置于上风方向，排风口宜设置于下风方向；设置于山坳中的风塔，风口宜朝开阔方向；
- 通风塔的排风口高程应大于进风口高程，其高差不应小于 5 m；进风口与排风口之间的平面间距不应小于 5 m；进风口与排风口不应同方向布置，防止窜流；
- 进风口底部距地面的高度不宜小于 2 m；当进风口布置在绿化较好区域时，进风口距地面距离可适当降低，但不应低于 1 m；
- 进风塔的进风风速不宜大于 8 m/s，排风塔的排风风速不宜大于 15 m/s；
- 通风塔应采取安全防护措施，防止人和动物误入；并应设置风帽，防止雨、雪等进入。

6.3.2.4 轴流风机布设

内容如下：

- 宜选择卧式安装的轴流风机；设置条件有限、安装场地不足时，可选用立式安装的轴流风机；
- 轴流风机宜 2 台~3 台并联设置；采用 4 台并联运行时，应事先根据风机的规格和性能参数，进行必要的技术论证。并联运行的各风机型号和性能参数应完全一致；
- 并联的各轴流风机宜设置防喘振装置；
- 同一送风系统或排风系统可考虑 1 台同型号备用轴流风机；
- 轴流风机的风量调节宜选用转速控制法和台数控制法相结合的方法，并充分考虑风机的动力消耗。隧道通风的风量分档应根据交通量随时间的变化确定，宜按有级分档划分。

6.4 通风标准

6.4.1 一氧化碳 (CO) 和二氧化氮 (NO₂) 设计浓度

6.4.1.1 正常交通时，对于长度 $L > 3000$ m 的隧道，隧道内一氧化碳 (CO) 设计浓度可取值 $\delta = 100 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ ；对于长度 $L \leq 1000$ m 的隧道，隧道内一氧化碳 (CO) 设计浓度可取值 $\delta = 150 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ ；对于 $1000 \text{ m} < L \leq 3000$ m 的隧道，一氧化碳 (CO) 设计浓度可根据隧道长度 L 采用内插法取值。

6.4.1.2 当交通阻滞（隧道内各车道的平均车速低于 30 km/h）时，阻滞段的平均一氧化碳 (CO) 设计浓度可取 $150 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ ，经历的时间不超过 20 min；阻滞段的计算长度不应大于 1000 m。

6.4.1.3 隧道内 20 min 以内的平均二氧化氮 (NO₂) 设计浓度可取 $1.0 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ 。

6.4.1.4 隧道内养护维修时，隧道作业段空气的一氧化碳 (CO) 允许浓度不应大于 $30 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ ，二氧化氮 (NO₂) 允许浓度不应大于 $0.12 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ 。

6.4.2 烟尘 (VI) 设计浓度

6.4.2.1 隧道内采用高压钠灯照明时，烟尘 (VI) 设计浓度取值如表 1 所示。

6.4.2.2 隧道内采用 LED、荧光光源照明时，烟尘 (VI) 设计浓度取值如表 2 所示。

表1 钠灯照明隧道内烟尘（VI）设计浓度

运营工况	交通阻滞	正常运营				交通管制	养护维修
		30~50	50~60	60~90	≥90		
计算车速, km/h	10~30	30~50	50~60	60~90	≥90	0.012	≤0.0030
隧道烟尘允许浓度, m ⁻¹	0.0120	0.0090	0.0075	0.0070	0.0065	0.012	≤0.0030

表2 荧光灯、LED 照明隧道内烟尘（VI）设计浓度

运营工况	交通阻滞	正常运营				交通管制	养护维修
		30~50	50~60	60~90	≥90		
计算车速 (km/h)	10~30	30~50	50~60	60~90	≥90	0.012	≤0.0030
隧道烟尘允许浓度, m ⁻¹	0.0120	0.0075	0.0070	0.0065	0.0050	0.012	≤0.0030

6.4.3 基准排放量

6.4.3.1 汽车尾排有害气体中烟尘的基准排放量按照 $q_{VI}=2.0 \text{ m}^3/\text{veh km}$ 取值，一氧化碳（CO）的基准排放量按照 $q_{CO}=0.007 \text{ m}^3/\text{veh km}$ 取值，并以2000年为起点，最多计算30年，按照每年2%递减率计算得到的排放量作为目标设计年份的基准排放量。

6.4.3.2 交通阻滞时，2000年的一氧化碳（CO）基准排放量按 $0.015 \text{ m}^3/\text{veh km}$ 取值，且阻滞段计算长度不宜大于1000m。

6.4.4 换气次数及设计风速

6.4.4.1 隧道空间不间断换气频率，不应低于每小时3次。

6.4.4.2 单向交通的隧道设计风速 v_r 不宜大于10m/s，特殊情况下不应大于12m/s。

6.4.4.3 采用纵向通风的隧道，换气风速不应低于1.5m/s。

6.4.4.4 纵向排烟的隧道火灾临界风速按照JTG/T D70/2-02进行取值。

6.4.5 其他相关参数

6.4.5.1 通风系统规划设计应满足正常行车工况、交通阻滞工况、火灾排烟工况、换气工况需求，对计算行车速度以下各工况车速按照10km/h为一档分别进行计算，取其较大者作为隧道设计风量 Q_r 。

6.4.5.2 隧道通风计算，通风设计采用的设计小时交通量应根据项目可行性研究报告提出的设计（预测）年平均日交通量（AADT）进行换算，应为混合车型设计高峰小时交通量。

6.4.5.3 设计小时交通量系数宜采用项目可行性研究报告提供的数据；当项目可行性研究报告没有明确提出该数据时，山岭重丘区隧道可取12%，平原微丘区可取10%，城镇附近的隧道可取9%。

6.4.5.4 单向交通隧道的方向分布系数宜根据可行性研究报告取值，当项目可行性研究报告没有明确提出该数据时，可取55%。

6.4.5.5 当设计小时交通量大于隧道所在路段的最大服务交通量时，宜采取最大服务交通量换算的设计小时交通量。

6.5 关键设备

6.5.1 射流风机

6.5.1.1 根据风机布设方式和隧道横断面尺寸，射流风机常用单机功率 30 kW、37 kW 或 45 kW 的可逆型射流风机。主要技术参数要求如下：

- a) 30 kW 射流风机：
 - 1) 轴向推力：不低于 1100 N；
 - 2) 转速：不低于 1470 rpm；
 - 3) 流量：不低于 $31.6 \text{ m}^3/\text{s}$ ；
 - 4) 出口风速：不低于 31.1 m/s ；
 - 5) 风机重量（含风机吊架等）不高于 1000 kg。
- b) 37 kW 射流风机：
 - 1) 轴向推力：不低于 1234 N；
 - 2) 转速：不低于 1470 rpm；
 - 3) 流量：不低于 $32.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ；
 - 4) 出口风速：不低于 33.1 m/s ；
 - 5) 风机重量（含风机吊架等）不高于 1300 kg。
- c) 45 kW 射流风机：
 - 1) 轴向推力：不低于 1530 N；
 - 2) 转速：不低于 1480 rpm；
 - 3) 流量：不低于 $40.6 \text{ m}^3/\text{s}$ ；
 - 4) 出口风速：不低于 33.1 m/s ；
 - 5) 风机重量（含风机吊架等）不高于 1500 kg。

6.5.1.2 射流风机应包含风机叶轮、风机罩、配套的电动机、消声器、安装吊架、减震设备、防护网、安全吊链及其他附件。

6.5.1.3 发生火灾时，在高温环境中（ 250°C ），整套射流风机设备（含消音器等风机附件）满负荷连续工作 1 h 以上，不应出现机械、电气或结构方面的故障。

6.5.1.4 射流风机应具有自动控制、远程控制、现场手动控制功能，风机应能正反向运转，逆向转动效率均不应低于正向的 98%。

6.5.1.5 射流风机噪声应小于 75 dB(A)，电机防护等级不低于 IP55，电机绝缘等级不低于 H 级。

6.5.1.6 整套射流风机设备应具备防水、防潮、防尘、防腐抗蚀能力，能够经受冲洗隧道高压水的冲击以及溅水和汽雾的影响。

6.5.1.7 在额定工作条件下，风机整体设计使用寿命不应低于 20 年，第一次大修前的安全运转时间不应少于 18 000 h。

6.5.1.8 风机外壳颜色应与安装环境协调，力求美观。

6.5.1.9 整套设备应具备过压保护、接地保护、防雷电措施。

6.5.1.10 风机从正向启动达到全速时最长时间为 150 s，应能在 90 s 完成反向运转，从全速正转到全速反转、或者从全速反转到全速正转时，换向的最长断电时间为 150 s。任何时候，在流过风机的空气温度为 250°C 条件下，15 min 内应能 4 次换向。

6.5.1.11 射流风机吊架至少能承受风机及各附件自重 15 倍或以上的受力，风机安装前应做支承结构的荷载试验。

6.5.1.12 风机控制箱应根据实际需求定制，两车道隧道风机控制箱尺寸不小于 $1400 \text{ mm} \times 800 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$ ；三车道隧道风机控制箱尺寸不小于 $1800 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$ 。

6.5.2 轴流风机

6.5.2.1 轴流风机应包含风机叶轮、配套的电动机、消声器、安装支座、软连接、扩散段、防喘振环、风阀、防护网、减震设备、防移位处理装置、防侧翻装置、风压传感器、轴承温度传感器、振动传感器、接线盒及相关配套设施，轴流风机满足以下技术参数要求：

- 风机防护等级：不低于 IP54 级；
- 电机防护等级：不低于 IP55 级；
- 电机绝缘等级：不低于 H 级，排烟轴流风机不应低于 F 级；
- 风机噪声：应低于 110 dB(A)；
- 振动要求：应低于 4.5 mm/s；
- 风机应带防喘振装置，风机启动后 60 s 内达到全速运转；
- 风机应能在 250℃ 高温下连续工作 2 h 以上；
- 风机整体寿命不低于 20 年，第一次大修前安全运转时间不少于 18000 h。

6.5.2.2 轴流风机采用内置式电动机驱动。风机在额定风量下效率大于 75%。

6.5.2.3 轴流风机（含电机）及轴流风机的附属配件（消音器、风阀、软连接、扩散段、防护网）均应符合国内最新技术规范，且能在 250℃ 高温下正常工作 2 h。

6.5.2.4 轴流风机消音处理前最大噪音 110 dB(A)，消音后最大噪音小于 90 dB(A)。减振处理前风机最大振动值 4.5 mm/s。风机每端消音器最大通风阻力不大于 120 Pa。

6.5.2.5 轴流风机整套设备应具备过压保护、接地保护等措施。

6.5.2.6 轴流风机需有防喘振设计，应设置防喘振专用部件，并安装有喘振控制感应器，当发生风机振动超过设计值时，感应器自动控制紧急停机，并给出报警信号，避免喘振现象发生。

6.5.2.7 轴流风机外壳水平方向以及竖直方向分别安装振动传感器，监测风机-电机机组水平及竖直方向的振动变化。在风机的前端及后端应分别设置轴承测温器还有绕组测温器，在风机进风口应设置压力传感器。

6.5.2.8 在进风端风阀前应安装防护网，用于风道中异物防护，规格至少满足 6 mm×50 mm×50 mm，不应采用钢板网；网面平滑整齐，结构坚固均匀，即使局部受截或承受压力也不会发生松散现象。钢制防护网应为可拆卸式结构设计。

6.5.2.9 轴流风机的最长启动时间在 60 s 以内。电机满足变频控制的要求。轴流排烟风机若采用两台电机串联，则需能够实现同步运行，且可以实现一台变频器对两台电机的同步调速控制。轴流排烟风机应设计备用风机。

6.6 通风系统联动控制

6.6.1 运营工况下通风控制

6.6.1.1 隧道通风系统的运行方式和风机的启动数量，可按照正常行车、交通阻滞、防灾等工况分别列表或绘图表示；对于正常行车和交通阻滞工况，可按照隧道环境指标（CO 和烟雾浓度）进行控制。

6.6.1.2 采用机械通风隧道的风机均应具备手动和自动控制功能；宜以自动控制为主。

6.6.1.3 自动控制方式应通过烟雾传感器、一氧化碳（CO）传感器、车辆检测器、风向与风速测试仪得到的信号进行风量控制。

6.6.1.4 手动控制方式通过人工控制风机开启台数，包括联动控制与单独控制。

6.6.1.5 通风系统设施在正常运营工况下主要用于维持洞内驾车环境的安全性、舒适性以及人员检修的环境需要。隧道内风机是否开启可参考如下指标，详见表 3。

表3 隧道内运营工况下主要污染物控制指标

工况	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	烟雾浓度 (m ⁻¹)	温度 (°C)
正常	≥70	≥1.0	≥0.005	≥40
阻滞 (20 min)	≥150	≥1.0	≥0.007	≥40
养护 (作业段)	≥30	≥0.12	≥0.003	≥40
关闭	≥200	≥1.0	≥0.012	≥40

6.6.1.6 结合所在路段的管养机构和监控设施的设置情况，隧道通风系统的日常运行可考虑采用现场采集、实时计算的主动控制模式。通过隧道前端设置的交通量采集设备，将数据上传至隧道管理站，运用通风自动控制软件计算出该时段的隧道需风量 Q_{req} ，根据实际需要开启相应数量的风机。

6.6.2 火灾工况下通风控制

6.6.2.1 隧道发生火灾，应立即关闭隧道进口，阻止洞外车辆驶入。上游人员弃车通过车行及人行横洞进入对向隧道进行逃生。火源下游车辆快速驶出隧道。

6.6.2.2 在单向交通没有阻滞工况下，为预防烟雾发生回流，沿行车方向在火源的上游纵向风速不应小于临界风速。

6.6.2.3 单向交通阻滞工况下，为使人员安全逃生，纵向排烟风速不应大于 0.5 m/s。

6.6.2.4 逃生通道（专用逃生通道或横通道）需要保持对事故隧道 30 Pa~50 Pa 的正压以及 1m/s 的风速（在开口处）。

6.6.3 联网设备控制

6.6.3.1 风机宜采用降压启动或变频启动方式，风机控制箱应具备自动切换功能，采用一拖一逐台启动方式，成组控制风机。一组风机可以按任意顺序逐台启动、停止或者正反转。

6.6.3.2 风机控制箱应具备远程启动、停止、复位控制功能；与上位机监控系统进行通讯，在微机监控系统中可进行启动方式的设定、参数设定、故障诊断及测量和报警电流、电压、启动状态、运行状态、故障状态、停止状态等。

6.6.3.3 风机控制箱应具备本地控制功能，操作面板上应有启动、停止、正（反）转按钮。

6.6.3.4 风机控制线缆由控制箱接出，接入隧道本地控制器控制模块，系统模块应提供隧道通风控制功能，包括日常通风控制、火灾通风控制、单风机运行控制、通风设备运行状态检测功能以及通风设备手动控制和自动控制切换的功能。本地控制器监控信号通过隧道工业以太网交换机上传至隧道管理站或监控分中心；如未配置工业以太网交换机，则通过光端机传至就近通信站，再通过通信站传送至隧道管理站或监控分中心。

7 隧道消防设施

7.1 一般规定

7.1.1 隧道消防设计应根据隧道长度 L 、等级、交通量、交通组成以及货物运输种类等综合因素，合理确定消防设施系统的组成及规模。

7.1.2 隧道消防系统设计中，根据隧道分级不同，设置不同规模的消防设施。隧道分级所采用的设计交通量为隧道单洞近、远期的年平均日交通量（pcu/d）。根据 L 和隧道交通量两个因素，公路隧道交通工程的分级共划分为 A+、A、B、C、D 五级，详见 JTG D70/2。

- 7.1.3 长度小于 500 m 的高速公路隧道，可不设置消火栓系统及固定水成膜泡沫灭火系统。
- 7.1.4 应选择取得消防产品认证，并在消防产品目录上的消防产品。
- 7.1.5 消防设备箱处应设置指示标志，宜采用电光标志，照明方式采用内置照明。
- 7.1.6 高速公路隧道消防设施配置见表 4，详见 JTG D70/2。

表4 高速公路隧道消防设施配置表

设施名称		隧道交通工程分级				
		A+	A	B	C	D
消防设施	灭火器	●	●	●	●	●
	消火栓	●	●	■	—	—
	固定式水成膜泡沫灭火装置	●	●	■	—	—
注：“●”：应选设施；“■”：宜选设施；“—”：不作要求						

7.2 系统配置

7.2.1 隧道水消防系统

- 7.2.1.1 隧道水消防系统主要包括消火栓、水成膜泡沫灭火装置、消防管道、室外给水栓、水泵接合器、洞外取水设施（深井、拦水坝、水泵房等）、消防水池、消防水泵、液位仪及相关线缆等。
- 7.2.1.2 针对等级划分近期为 C 级，远期为 B 级的隧道，长度大于 500 m，宜在近期采用灭火器作为消防设施，并为水消防系统设备预留相应洞室便于远期实施，其中消防水池宜按照一次实施考虑；长度小于 500 m，近、远期均可采用灭火器作为消防设施。
- 7.2.1.3 针对等级划分近期为 B 级，远期为 A 级或 B 级的隧道，长度大于 500 m 的，近期应设置完整的水消防系统；长度小于 500 m 的，宜在近期采用灭火器作为消防设施，并为水消防系统设备预留相应洞室便于远期实施，其中消防水池宜按照一次实施考虑。
- 7.2.1.4 针对近远期为 A 级的隧道近期应设置完整的水消防系统。
- 7.2.1.5 近、远期均为 C 级或 D 级的隧道不设置消火栓、水成膜泡沫设备等水消防设施，仅设置灭火器。
- 7.2.1.6 消火栓、水成膜泡沫设备的布设间距应由计算确定，单洞双车道隧道的布设间距不应大于 50 m；单洞三车道、四车道隧道的布设间距不应大于 40 m。
- 7.2.1.7 水消防系统宜采用常高压供水系统，设置高位消防水池，利用重力流供水。如受现场地形条件限制，无条件设置高位水池或设置高位水池施工难度过大时，可考虑稳高压供水系统，设置低位消防水池和消防水泵房，但需综合论证，并与当地消防部门沟通取得一致意见。
- 7.2.1.8 稳高压供水系统消防水泵应确保在火灾能及时启动；停泵应由人工控制，不应自动停泵。
- 7.2.1.9 稳高压供水系统稳压泵的公称流量不应小于消防给水系统管网的正常泄漏量，且应小于系统自动启动流量，公称压力应满足系统自动启动和管网充满水的要求。
- 7.2.1.10 高位水池容积除应能容纳隧道内一次消防用水量外，还应能容纳隧道内冲洗所需的调节容量，水池的补水时间不宜超过 48 h。
- 7.2.1.11 高位消防水池的高程应满足隧道内消防管道供水压力需求，针对纵坡较大、较长的隧道，应计算管道内最大压力，如存在超压的情况应在主干管上设置减压阀。
- 7.2.1.12 为满足高位水池补给速度、消防用水量需求，宜在隧道洞口处设置低位蓄水池。蓄水池位置尽量靠近水源，同时考虑水泵供电距离和高位水池供水距离等因素。蓄水池高程优先考虑能否实现水源自然引入。

- 7.2.1.13 消防水池应采用钢筋混凝土清水池，可根据现场地形条件选择圆形或矩形。
- 7.2.1.14 消防给水系统宜设置独立的水泵房，与低位蓄水池同址建设。如隧道洞口场地受限，无房建条件的，可考虑不设置水泵房，采用潜水泵供水，水泵安装在低位水池内。
- 7.2.1.15 消防水池的出水管的设置应使消防水池有效容积内的水能被全部利用，水池的最低有效水位或消防水泵吸水口的淹没深度应满足消防水泵在最低水位运行安全和实现设计出水量的要求。
- 7.2.1.16 消防水池的水位应能就地在隧道管理站控制室显示，消防水池应设置高低水位报警装置。
- 7.2.1.17 消防水池内设置远传水位显示仪用于实时监视水位变化，包含最高水位、最低水位、启/停泵水位等，采集到的信号均送入水泵控制柜，并同时传送至隧道管理系统。
- 7.2.1.18 高位水池应设置视频监控，实时监控水位，减小管养巡检工作量。可配合水位标尺等方式进行实施。为便于高位水池的检修，宜设置上山检修便道、安全护栏和水池爬梯。
- 7.2.1.19 斜（竖）井分段式通风隧道和设置地下风机房的隧道，宜在排烟道前靠近排烟口处设置水喷淋降温装置。

7.2.2 干粉灭火器设施

- 7.2.2.1 消防设备洞室内的灭火器宜采用磷酸铵盐手提式干粉灭火器（8 kg），每处配置数量不少于 2 具；仅设置灭火器的隧道内，每处消防设备洞室内的灭火器不少于 3 具。
- 7.2.2.2 单洞双车道隧道灭火器单侧布置；单洞三车道及以上隧道灭火器宜在隧道两侧交错布置。灭火器单侧设置间距不应大于 50 m。

7.2.3 其他灭火设施

- 7.2.3.1 可结合运营管理需求和实际情况，适当配置推车式灭火器和防火砂桶（内置装有砂土的编织袋及小铁锹）等设施。
- 7.2.3.2 隧道变电所内宜设置热气溶胶或气体灭火等自动灭火设施。
- 7.2.3.3 洞内箱变处可选择设置干粉灭火器、脉冲超细干粉灭火器或者气体灭火系统。

7.2.4 消防管道

- 7.2.4.1 隧道内的消防给水管道宜采用内外涂塑复合钢管或热镀锌无缝钢管。
- 7.2.4.2 隧道内的消防给水管道宜采用沟槽式连接件（卡箍）或法兰连接。
- 7.2.4.3 隧道内消防主干管道应连结成环状管网，左右洞主干管道在洞口处连通。
- 7.2.4.4 高位水池至隧道洞内应设置两路供水管道，确保消防供水安全可靠。
- 7.2.4.5 内外涂塑复合钢管或热镀锌无缝钢管壁厚、压强应符合 GB/T 3091 的规定。
- 7.2.4.6 隧道内消防主干管管径一般不小于 DN150，消防支管管径不小于 DN65。
- 7.2.4.7 隧道内消防给水管道间隔约 250 m 以上应设置检修阀，最大间距不超过 500 m。紧急停车带处应设置检修阀。
- 7.2.4.8 设有固定水成膜泡沫灭火装置的隧道，在给水管引入隧道前宜设置 Y 型管道过滤装置。
- 7.2.4.9 隧道内消防给水管道间隔约 300 m 应设置柔性管道伸缩接头。
- 7.2.4.10 特长隧道内消防给水管道应在中间人行横通道处增加联络管道，连通左右洞主干管道；洞内横穿管间距或洞内横穿管与隧道洞口横穿管的距离约为 1500 m~2 500 m，最大不应超过 3 000 m；穿越路面时应有保护措施并进行预留预埋设计。
- 7.2.4.11 结合各地气候特点，在曾有冻雨、暴雪、冰冻等极端气候记录的地区，可根据实际情况适当考虑洞外露天管道和部分洞内管道的保温措施。
- 7.2.4.12 单向坡隧道应在隧道洞口坡度最高点设置自动排气阀；人字坡隧道应在隧道内变坡点处设置自动排气阀。

- 7.2.4.13 毗邻隧道（隧道洞口纵向最大间距小于 200 m）均设置水消防设施时，消防给水管道可考虑连通布置，共用同一消防水源。
- 7.2.4.14 消防给水管道在隧道行车方向右侧电缆沟内敷设，应设置牢固的管道托架，宜考虑镀锌角钢托架，在固定电缆沟侧壁，与电力管线托架相互避让。
- 7.2.4.15 为使消火栓工作时管道稳定，消防支管应设置固定支架。
- 7.2.4.16 在消防管道最低点应设置泄水阀。
- 7.2.4.17 若主管最大压力超过 0.8 MPa 宜在消防主管设置减压阀。
- 7.2.4.18 相邻两隧道洞口采用遮光棚等物理连接时，统一考虑消防设施，长度按照两隧道之和计算。
- 7.2.4.19 隧道内消防给水管道应设置水压监测装置，并将数据上传至监控中心。
- 7.2.4.20 消防管道施工时，隧道内应预留管道管口封堵，建议采用旋转式管帽，施工完成后直接套住管口，操作方便快捷，防止砂浆流入。
- 7.2.4.21 隧道消防支管预留管槽、支墩待管道安装完成后应做美化设计。

7.2.5 防火门

- 7.2.5.1 人行横洞两端应分别设置横洞防火门。防火门宜采用双扇平开钢质 A 类(隔热)防火门，防火门为常闭式，应能向人员疏散方向开启，具有自动关闭功能。
- 7.2.5.2 隧道长度 L 小于 3 000 m，防火门耐火隔热性、耐火完整性不应小于 2 h，隧道长度 L 大于或等于 3 000 m，防火门耐火隔热性、耐火完整性不应小于 3h。
- 7.2.5.3 车行横洞两端应分别设置防火卷帘门。卷帘门应采用单帘单轨垂直型钢质防火、防烟卷帘，手、自动控制，防火卷帘日常情况下关闭；火灾时应能实现双侧的手动控制、本地自动控制和远程控制。
- 7.2.5.4 隧道长度 L 小于 3 000 m，防火卷帘耐火极限不应小于 2 h，隧道长度 L 大于或等于 3 000 m，防火卷帘耐火极限不应小于 3 h。
- 7.2.5.5 为避免活塞风对防火卷帘的损坏，设有轴流风机或设计风量较大隧道，宜进一步校核卷帘的耐风压强度。技术指标参考表 5。

表5 防火卷帘耐风压强度一览表

代号	耐风压强度 (Pa)
50	490
80	784
120	1 177

- 7.2.5.6 防火卷帘门应向监控系统提供手/自动状态反馈，上升、下降、停止及上限反馈、下限反馈，故障反馈等信号接口。

7.2.6 防火防烟封堵设施

- 7.2.6.1 隧道两侧电缆沟应每隔（100~150）m 进行一次封堵，隧道电缆沟内 10 KV 高压缆接头应采用防火包带包裹；电缆进变电所、箱变前，在电缆沟内应增设阻火包。
- 7.2.6.2 人行横洞防火门与预留洞室之间的空隙应该填充对人体无毒无害的防火隔热材料，实现整体防火防烟功能。
- 7.2.6.3 车行横洞防火卷帘门与预留洞室之间的空隙应该填充对人体无毒无害的防火隔热材料，实现整体防火防烟功能。

7.2.7 消防水源

7.2.7.1 山岭地区公路隧道消防用水取用可采用多种方式，主要包括：取市政（房建区）用水、收集自然水源或打深井取地下水等。

7.2.7.2 消防用水的水源应出水量持续稳定、水质良好，无季节性断流、污染等现象。

7.2.7.3 山岭地区公路隧道消防用水优先采用打井取水，若打井无法取水，可考虑设计从临近服务区、站区取水，以确保消防水源的稳定。

7.2.7.4 消防车拉水贮存的取水方式可作为其他消防取水方式的补充，但不宜采用该种方式独立供水。

7.3 关键技术参数

7.3.1 消防系统设计流量

7.3.1.1 隧道内单只消火栓设计流量不小于 5 L/s。

7.3.1.2 水成膜泡沫灭火设备设计流量 0.5 L/s。

7.3.1.3 设有水消防系统的隧道，在洞口附近应设置室外消火栓和消防水泵接合器，其数量应根据隧道消防用水量计算确定。每个室外消火栓、水泵接合器流量均按（10~15）L/s 计算。

7.3.1.4 消火栓系统、泡沫水喷雾灭火系统等水消防系统，均应设置消防水泵接合器。

7.3.2 消防用水量

7.3.2.1 隧道消防用水量根据同一时间内的火灾次数和一次灭火用水量确定。除特殊情况外，用水量宜按同一时间内发生火灾次数为一次计算，并且，隧道消防用水量不应小于表 6 的规定。

表6 隧道消防用水量

L (m)	隧道内消火栓一次灭火用水量 (L/s)	洞内同时使用水枪数量 (支)	火灾延续时间 (h)	用水量 (m ³)
L<1 000	15	3	2	108
1 000≤L<3 000	20	4	3	216
L≥3 000	25	5	4	360

7.3.2.2 对于长度小于 1 000 m 的隧道，隧道外消火栓用水量不应小于 20 L/s；对于长度大于或等于 1 000 m 的隧道，隧道外消火栓用水量不应小于 30 L/s。

7.3.2.3 隧道一次火灾用水量包括洞内消火栓用水量和洞外消火栓用水量。

7.3.2.4 采用稳高压给水系统的隧道，其低位蓄水池容积不应小于常高压给水系统高位水池容积。

7.3.3 消防管道压力

7.3.3.1 隧道内消防管网最不利供水点水压应大于等于 0.4 MPa，系统运营时管道内水压应维持在（0.4~0.8）MPa 的范围内，最高不应超过 1.0 MPa。

7.3.3.2 消火栓出口压力不应大于 0.5 MPa，应采用减压稳压消火栓并配置减压孔板。

7.3.3.3 管网压力计算应满足水管流动时管道沿程阻力对水压的衰减。

7.4 关键设备

7.4.1 消防水泵

- 7.4.1.1 隧道消防水泵应选择性能稳定、应用广泛的成熟产品，需提供国家指定的消防产品质量检测机构出具的合格的产品形式检验报告。
- 7.4.1.2 消防水泵的性能应满足消防给水系统所需流量和压力的要求。
- 7.4.1.3 消防水泵所配驱动器的功率应满足所选水泵流量扬程性能曲线上任何一点运行所需功率的要求。
- 7.4.1.4 各类消防水泵的设计内容一般应包括：成套水泵、水泵控制柜、水泵配电电缆、水泵控制线缆等。
- 7.4.1.5 消防水泵、控制柜等供水设备安装在水泵房内，水泵安装基础应由泵房土建设计预留。水泵安装高度应满足使低位水池内水流自灌。
- 7.4.1.6 消防水泵应按照一级负荷供电，系统中各类水泵供配电模式应与隧道供电系统协商确定。高低位水池补水水泵在条件不允许情况下可以考虑二级负荷供电。
- 7.4.1.7 消防水泵启、停控制由水泵控制柜实现，启动采用直接启动方式，主、备泵具有自动切换功能，水泵控制柜应具有低频自动巡检功能，定期使水泵低速运转，防止生锈抱轴。
- 7.4.1.8 消防水泵一用一备设置，并在出水口处安装缓闭止回阀，以减少水锤作用的不利影响。
- 7.4.1.9 消防水泵控制柜在平时应使消防水泵处于自动启泵状态。
- 7.4.1.10 消防水泵控制柜应具有机械应急启泵功能，且机械应急启泵时，消防水泵应能在接受火警后5分钟内进入正常运行状态。
- 7.4.1.11 消防水泵控制柜应具有自动控制、远程控制、现场手动控制功能，且可将水泵工作状态（启、停）及故障信号以开关量信号形式上传至隧道管理站。

7.4.2 消火栓

- 7.4.2.1 消防设备洞室内消火栓设施应包括：直径 19 mm 水枪 2 支、30 m 长 DN65 水龙带 2 条、DN65 减压稳压消火栓 2 套（含减压孔板）。
- 7.4.2.2 消火栓应成组安装在消防箱内，并应固定在隧道行车方向右侧侧墙内。
- 7.4.2.3 消火栓应采用统一型号规格，消火栓栓口直径应为 65 mm，水枪喷嘴口径不小于 19 mm，每根水带长度不应超过 30 m，栓口应朝外。
- 7.4.2.4 水枪设计流量不小于 5 L/S，充实水柱不小于 10 m。
- 7.4.2.5 当消火栓栓口出水压力大于 0.5 MPa 时，由于水枪的反作用力，难以一人操作，应设减压装置。减压装置可采用减压稳压消火栓、减压孔板等，减压后的消火栓处压力仍应满足水枪充实水柱的要求。
- 7.4.2.6 采用稳高压系统的每个消火栓处，应设置直接启动消防水泵的按钮；
- 7.4.2.7 消火栓的型式和基本参数应符合 GB 3445 的规定；室外消火栓的型式和基本参数应符合 GB 4452 的规定。

7.4.3 灭火器

- 7.4.3.1 消防设备洞室内的灭火器宜采用磷酸铵盐手提式干粉灭火器（8 kg），每处配置数量不少于 2 具；仅设置灭火器的隧道内，每处消防设备洞室内的灭火器不少于 3 具。
- 7.4.3.2 可结合运营管理需求和实际情况，适当配置推车式灭火器和防火砂桶（内置装有砂土的编织袋及小铁锹）等设施。

7.4.3.3 应优先选用有效期长、安全、环保型灭火器，采用手提式或推车式，应能扑灭 A、B、C 类火灾。

7.4.3.4 推车式灭火器每只充装量不宜超过 40.0 kg，推车式灭火器须与手提式灭火器配合设置。

7.4.4 水成膜泡沫灭火设备

7.4.4.1 消防设备洞室内应设置固定式水成膜泡沫灭火装置，采用环保型水成膜泡沫液，系统应包括：泡沫喷枪 1 个、不锈钢泡沫罐 1 个、30 m 橡胶软管卷盘 1 套、比例混合器 1 个、金属软管和连接件等，泡沫装置用水与洞内水消防系统共用 1 系统。

7.4.4.2 泡沫液罐容积不应小于 30 L，橡胶软管长度宜为 30 m。

7.4.4.3 固定式水成膜泡沫灭火系统泡沫液浓度宜为 3%，泡沫混合液喷射距离应大于 6 m，喷射时间不应小于 22 min。

7.4.4.4 固定式水成膜泡沫灭火装置的阀门应有明显启闭标志。

7.4.4.5 固定式水成膜泡沫灭火装置应注明泡沫液的有效使用期。

7.4.4.6 固定式水成膜泡沫灭火箱门上，应同时注明“泡沫灭火栓”字样。

7.4.4.7 寒冷地区应根据环境选用水成膜泡沫液类型。

7.4.4.8 泡沫液储存容器应采用耐腐蚀材料，当采用钢罐时，其内壁应作防腐处理，与泡沫液接触的内壁或防腐层不应影响泡沫液的性能产生不利影响。

7.4.5 防火门

7.4.5.1 人行横通道应两侧设置防火门。

7.4.5.2 人行横洞防火门采用双扇平开门，做法参照 GFM 型防火门，具体型号应根据防火门实际尺寸标注。

7.4.5.3 产品应附相关检测报告、等级认证及合格证书等。

7.4.5.4 人行横洞防火门的门框、门扇面板及加固件采用冷轧钢板。门框采用 1.5 mm 厚钢板，门扇面板采用 1.2 mm 厚钢板，加固件采用 1.5 mm 厚钢板，加固件如设有螺孔，钢板厚度不低于 3.0 mm。

7.4.5.5 人行横洞防火门左右门扇应设闭门器装置，具有自动关闭功能。

7.4.5.6 人行横洞防火门所有金属构件均采用镀锌处理；门上安装的所有五金配件熔融温度不低于 950℃。

7.4.5.7 防火门表面应喷涂防锈底漆，涂层均匀、平整，无堆漆、麻点、气泡漏涂和流淌等现象。

7.4.5.8 门扇高度极限偏差为±2 mm；宽度偏差为±2 mm；厚度偏差为-1 mm~+2 mm。

7.4.5.9 门扇、门框内应用不燃性材料填实；门框应设置密封槽，槽内应嵌装不燃性材料制作的密封条。

7.4.6 防火卷帘

7.4.6.1 卷帘门的主要部件包括驱动装置、传动装置、帘片、电控箱、导轨、手动释放装置、按钮盒等。

7.4.6.2 卷帘门采用单帘单轨垂直型钢质防火、防烟卷帘；帘面漏烟量 $\leq 0.1 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{min})$ 。

7.4.6.3 防火卷帘耐风压强度不低于 784 Pa，卷帘门各部件应能承受隧道活塞风的往复冲击力的作用。

7.4.6.4 卷帘门采用镀锌钢板，帘板厚度 $\geq 1.0 \text{ mm}$ ；导轨宜为内嵌型，钢板厚度 $\geq 3.0 \text{ mm}$ 。

7.4.6.5 防火卷帘金属零部件应做防腐处理，涂层、镀层应均匀，不应有斑剥、流淌现象。

7.4.6.6 防火卷帘帘板长度尺寸公差为±2 mm；宽度、厚度公差为±1 mm；导轨槽尺寸公差为±2 mm。

7.4.6.7 防火卷帘相邻帘板串接后应转动灵活，摆动 90°不允许脱落。

7.4.6.8 单帘卷帘的两条导轨应相互平行，平行误差不应大于 5 mm。

- 7.4.6.9 防火防烟卷帘导轨、门楣内应设置防烟装置，防烟装置所用材料应为不燃或难燃材料，装置与帘面均匀紧密贴合，贴合面长度不应小于导轨、门楣长度的80%，非贴合部位的缝隙不应大于2 mm。
- 7.4.6.10 垂直卷帘导轨安装后相对于基础面的垂直度误差不大于1.5 mm/m；全长不应大于20 mm。
- 7.4.6.11 传动装置尺寸、公差及基本参数应符合GB/T 1243的规定，所选用的许可安全系数应大于4。
- 7.4.6.12 卷帘自动启闭的运行速度为(2~7.5) m/min，自重下降速度不应大于9.5 m/min。
- 7.4.6.13 防火卷帘门用电取自隧道变电所出线回路，并应有相应的电源备用措施；采用耐火聚氯乙烯绝缘电力电缆，沿电缆沟内敷设。
- 7.4.6.14 防火门控制箱应由厂家配套提供，并应与监控系统控制协调预留开、关控制及信号反馈接口。
- 7.4.6.15 防火卷帘门手动导链宜设置在外侧（靠近车道侧）。

7.4.7 消防设备箱

- 7.4.7.1 隧道内仅设置灭火器的消防洞室内，灭火器箱宽度不小于750 mm，高度不小于830 mm，深度不小于220 mm；洞室尺寸应适当放大，便于设备箱安装。
- 7.4.7.2 根据消防设备配置，近期采用水消防或远期预留水消防设置的隧道，消防设备洞室内，消火栓箱的宽度不小于1800 mm，高度不小于1250 mm，深度不小于350 mm。
- 7.4.7.3 箱体、箱门均采用1.5 mm厚钢板，内外刷防腐漆，应有加强构件使箱体刚度满足要求，箱体制作时需自带美化边框且防锈蚀。
- 7.4.7.4 镶玻璃的箱门不应采用厚度小于4 mm的有机玻璃门。
- 7.4.7.5 灭火器箱门应醒目地注明“灭火器”字样及规定图案（红色）；消火栓箱门应醒目地注明“消火栓”字样及规定图案（红色），放置灭火器的还需注明“灭火器”字样及规定图案（红色）；
- 7.4.7.6 消防设备箱标志采用灯箱。
- 7.4.7.7 消防设备箱应符合GB/T 14561、XF 139、GN 11的规定。
- 7.4.7.8 消火栓箱与消火栓、水成膜泡沫灭火装置成套采购，应留有安装消火栓、水成膜泡沫灭火装置的孔洞及构件。
- 7.4.7.9 隧道内所有洞室边缝衔接处宜有专门的设计，或设计进行包封处理，或设计要求设备自带定制边框等。

7.5 消防系统联动控制

- 7.5.1 火灾报警控制器发出火灾信号后，消防联动控制装置和控制管理系统具有下列联动功能：
 - 视频监控系统应能自动切换到隧道内火灾报警部位；
 - 消防水泵应能手动、自动联动启动；
 - 横通道防火卷帘应按照设计要求手动、自动联动开启或关闭；
 - 应能联动启动火灾交通控制模式和相应的火灾防烟排烟控制模式；
 - 隧道消防联动可通过控制室火灾报警及监控计算机完成；消防联动预案执行前宜由值班操作人员确认。
- 7.5.2 确认发生隧道火灾时，同一路段内的可变信息情报板，应根据隧道火情显示针对当前本部位的警示和疏导信息。
- 7.5.3 隧道火灾自动报警系统尚可利用隧道VI检测器、一氧化碳(CO)检测器及视频监控系统等辅助功能。视频监控系统应能辅助确认火灾并对火情持续监视和记录，由图像型火灾探测器兼用时，不应影响其火灾探测性能。
- 7.5.4 各受控设备接口的特性参数应与消防联动控制器发出的联动控制信号相匹配。
- 7.5.5 需要火灾自动报警系统联动控制的消防设备，其联动触发信号应采用两个独立的报警触发装置报警信号的“与”逻辑组合。

7.5.6 消防水泵、防烟和排烟风机的控制设备，除应采用联动控制方式外，还应在消防控制室设置手动直接控制装置。

7.5.7 火灾自动报警系统应能同时启动和停止所有火灾声光警报器工作。在确认火灾后应启动隧道内的所有火灾声光警报器。

8 隧道供配电设施

8.1 一般规定

8.1.1 供配电设施应在满足近期设备使用的条件下，合理考虑远期设备的接入。在变电所设计、配电柜布置以及高、低压系统配置中均应为远期增容和系统改造适当预留安装位置。

8.1.2 供电方式的选择应充分结合当地电网情况以及供电点分布情况，通过综合比选确定，包括集中供电模式和分布式中压供电模式。

8.1.3 在满足设计需求和运营要求的前提下，应积极稳妥的采用新技术、新设备、新材料和新工艺。

8.1.4 隧道供配电设计宜考虑永临结合。

8.2 隧道电力负荷分级

8.2.1 隧道电力负荷分级

隧道电力负荷应根据供电可靠性和中断供电在社会、经济上所造成的损失或影响程度确定负荷等级。公路隧道重要电力负荷的分级应符合表7的要求。

表7 隧道重要电力负荷等级

序号	电力负荷名称	负荷级别
1	应急照明 电光标志 交通监控设施 通风及照明控制设施 紧急呼叫设施 火灾检测、报警、控制设施 中央控制设施	一级 ^a
2	消防水泵、排烟设施	一级
3	通风机 ^b 、非应急照明设施、消防补水水泵	二级
4	其余隧道电力负荷	三级
^a 一级负荷中特别重要负荷。 ^b 排烟设施外的其他通风风机。		

8.2.2 供电要求

8.2.2.1 一级负荷应由两个电源供电，当一个电源发生故障时，另一个电源不应同时受到破坏，而且当一个电源中断供电时，另一个电源应能承担全部一级负荷设备的供电。对于一级负荷中特别重要负荷，除上述两个电源外，还应设置应急电源（EPS）或不间断电源（UPS），并不允许将其它负荷接入应急供电系统。

8.2.2.2 二级负荷宜由两个回路供电，其第二回路可以来自地区电网，也可自备柴油发电机。

8.2.2.3 三级负荷对供电无特殊要求，可采用单回路供电。

8.3 隧道用电负荷的需要系数

高速公路隧道负荷计算的方法通常都采用需要系数法，即以设备功率乘以需要系数和同时系数，直接求出计算负荷。隧道用电设备的需要系数参见表8。

表8 隧道用电负荷的需要系数

序号	负荷名称	K_d	$\cos\phi$	$\tan\phi$
1	应急照明	1	0.9	0.48
2	交通监控设施	0.8	0.8	0.75
3	消防水泵	0.8	0.8	0.75
4	排烟风机	0.8	0.8	0.75
5	通风机	0.8	0.8	0.75
6	基本照明	1	0.9	0.48
7	加强照明	1	0.9	0.48
8	隧道检修插座	0.3	0.5	1.73
9	隧道洞外路灯	1	0.9	0.48

注： K_d —需要系数， $\cos\phi$ —用电设备的功率因数， $\tan\phi$ —用电设备功率因数角对应的正切值。

8.4 电压等级与供电电压

8.4.1 隧道的高压配电电压宜采用 10 kV，当隧道轴流风机房 6 kV 用电设备的总容量较大，宜采用 6 kV，低压配电电压应采用 380/220 V。

8.4.2 为了减少电压偏差，供配电系统的设计符合下列规定：

- 正确选择变压器的变压比和电压分接头；
- 合理减少系统阻抗；
- 合理补偿无功功率；
- 尽量使三相负荷平衡；
- 隧道通风机宜设置减压启动装置；
- 风机和水泵容量比重较大的变压器低压侧宜设置有源滤波设备，以减少谐波对电网的影响。

8.4.3 隧道供电宜采用专用 10 kV 线路供电，如确实无法满足要求，也可从就近 10 kV 线路 T 接供电，必要时可设置稳压设备。

8.5 变压器选择

8.5.1 应根据负荷计算容量选择，变压器的负荷率宜取 70%~85%。

8.5.2 宜选用负载、空载损耗低的节能型变压器。

8.5.3 确定变电所总计算负荷时，应将各设备计算负荷之和再乘以同时系数，有功同时系数宜取 0.8，无功同时系数宜取 0.93。

8.5.4 变压器低压侧电压为 0.4 kV 时，单台变压器容量不宜大于 1 250 kVA，户外箱式变电站变压器单台容量不宜大于 800 kVA。

8.5.5 隧道近期实施的变压器，不考虑远期负荷的用电容量，并按经济运行方式，进行相应配置。

8.6 无功功率补偿

8.6.1 各变电所/箱式变电所宜装设无功自动补偿装置。

8.6.2 无功自动补偿宜遵循功率因数调节原则，并应满足电压变动率的要求。

8.6.3 无功补偿容量的确定按式(2)计算。

$$Q_c = P_c (\tan\phi_1 - \tan\phi_2) \dots\dots\dots (2)$$

式中:

Q_c ——无功功率补偿,单位为千伏安(kVA);

P_c ——计算有功功率,单位为千瓦(kW);

$\tan\phi_1$ ——补偿前功率因数角的正切值;

$\tan\phi_2$ ——补偿后功率因数角的正切值。

8.6.4 设置有10 kV 高压电缆的隧道宜考虑10 kV 电力电缆产生的无功功率,必要时应在高压侧装设动态无功补偿装置。

8.7 变电所电气主接线

8.7.1 单路10 kV 进线应采用单母线不分段的接线方式。

8.7.2 双路10 kV 进线应采用单母线分段的接线方式。

8.7.3 变电所低压侧应采用单母线分段的接线方式。

8.7.4 消防用电设备和应急柴油发电机配电设备,应设单独应急母线段。

8.7.5 发电机出线侧和电网电源应设有机电联锁和电气联锁。

8.8 柴油发电机

柴油发电机应为隧道内一级负荷和二级负荷提供应急电源,供电负荷按表9的规定。

表9 柴油发电机供电负荷表

序号	负荷名称	负荷等级	备注
1	监控设施	1	一级负荷中特别重要负荷
2	应急照明	1	一级负荷中特别重要负荷
3	基本照明	1	—
4	消防水泵	1	—
5	排烟风机	1	—

8.8.1 柴油发电机容量的确定按式(3)计算。

$$S_{G1} = \frac{P_{\Sigma}}{\eta_{\Sigma} \cos\phi} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

S_{G1} ——按稳定负荷计算的发电机视在功率,单位为千伏安(kVA);

P_{Σ} ——发电机总负荷计算功率,单位为千瓦(kW);

η_{Σ} ——所带负荷的综合效率,一般取0.88;

$\cos\phi$ ——发电机额定功率因数,一般取0.8。

8.8.2 柴油发电机容量计算中,还考虑下列因素:

——季节性用电设备应择其最大者计入总设备功率;

——柴油发电机容量计算中,排烟风机宜只考虑单洞隧道的风机同时启动的容量;

——隧道基本(含应急)照明、消防设施、防灾风机、EPS 和 UPS 负荷等保证隧道正常运营的用电负荷共用柴油发电机组;

——柴油发电机组宜设置于隧道洞外,不应在隧道洞内设置柴油发电机组;

——对于长度超过 3000 m 的隧道，获取第二路 10 kV 电源较为困难时，可考虑采用额定输出电压为 10 kV 的高压柴油发电机。

8.8.3 EPS 电源还考虑下列因素：

- EPS 电源主要为隧道应急照明和监控设备供电；
- 对于非计算机及网络系统的不间断供电宜采用 EPS，EPS 维持供电时间不应小于 120 min；
- EPS 额定输出功率不应小于应急照明额定功率总和的 1.3 倍；
- 在市电停电时，EPS 电源转换时间不应大于 0.2 s；
- EPS 电源应具有对电池组进行测量及显示的功能；
- EPS 电源输出端的中性线（N 线）应与接地装置直接引来的接地干线相连接，做重复接地。

8.8.4 UPS 电源还考虑下列因素：

- UPS 电源的主要为隧道监控设备供电；
- 当隧道用电负荷不允许中断供电或允许中断供电时间为毫秒级时，应采用在线式 UPS 供电，UPS 维持供电时间不应小于 120 min；
- 对计算机供电时，UPS 的额定输出功率不应小于计算机各设备额定功率总和的 1.5 倍；对其他用电设备供电时，其额定输出功率不应小于最大计算负荷的 1.3 倍；
- 负荷的最大冲击电流不应大于不间断电源设备的额定电流的 150%；
- UPS 应具有手动、自动旁路装置；
- UPS 应具有对电池组进行测量及显示的功能。

8.9 隧道供配电设施配置

隧道变电所设置应根据隧道电力负荷分布位置、外部电源方位、场地环境条件等因素，按下列规定执行：

- 长度 $L \leq 500$ m 的隧道，宜在入口或出口端洞外设置 1 座箱式变电所为隧道供电，箱式变电所需要为移动式柴油发电机预留接口。隧道可以不设置柴油发电机，仅为特别重要的一级负荷设置 EPS 和 UPS 后备电源；
- 长度 $500 \text{ m} < L \leq 1\,200$ m 的隧道，宜在入口或出口端洞外设置 1 座变电所为隧道供电，隧道宜采用单路 10 kV 供电，并为一级负荷配置柴油发电机作为备用电源。同时为特别重要的一级负荷设置 EPS 和 UPS 后备电源；
- 长度 $1\,200 \text{ m} < L \leq 3\,000$ m 的隧道，宜在入口和出口端洞外分别设置 1 座变电所为隧道供电；隧道宜采用单路 10 kV 供电，并为一级负荷配置柴油发电机作为备用电源。同时为特别重要的一级负荷设置 EPS 和 UPS 后备电源；
- 长度 $L > 3\,000$ m 的隧道，宜在入口和出口端洞外分别设置 1 座变电所为隧道供电；并根据隧道电力负荷分布情况在隧道内设置具备良好运行环境的箱式变电所；隧道宜采用双路 10 kV 供电，双路 10 kV 宜引自不同的 35 kV 变电站，双路 10 kV 互为备用。同时为特别重要的一级负荷设置 EPS 和 UPS 后备电源。如引双路 10 kV 较为困难时，可采用一路 10 kV 和一台 10 kV 柴油发电机相结合的方案；
- 隧道群的变电所设置，应根据隧道与隧道之间的间距，并结合施工所用电源的引自方位和供电可靠性，综合确定变电所的设置数量和位置；
- 隧道变电所应设置安防系统。

8.10 配电系统

8.10.1 隧道内配电箱、柜的防护等级应达到 IP65。

8.10.2 隧道内埋地式变压器的防护等级应达到 IP68。

8.10.3 隧道配电回路如下：

- 隧道各类电力负荷应根据性质、功能的不同各自设置单独的配电回路；
- 隧道应设置供维修和养护作业用的配电回路，该回路末端应设置漏电保护装置；
- 隧道加强照明和基本照明回路宜按隧道照明系统控制级数要求进行配置；也可根据光源类型，采用连续无级的智能控制等更加灵活、简洁的回路设计；
- 隧道一级负荷宜在低压配电柜进行双电源切换供电；
- 隧道射流风机配线采用 1 台风机对应 1 个回路，直接在风机配电箱进行启动控制射流风机；
- 距离洞口小于 800 m 的风机宜采用低压供电的方式，距离洞口大于等于 800 m 的风机宜采用埋地式变压器或隧道内箱式变电所供电的方式；
- 对于电缆截面选取的电压降，隧道内通风设施端子电压降宜控制在 7% 以内，照明设施端子电压降宜控制在 5% 以内；
- 隧道应急照明、监控设备、消防水泵和风机均应采用耐火电力电缆，其它设备电力电缆宜采用阻燃电力电缆；
- 隧道各类电力电缆宜考虑防盗措施。

8.10.4 配电线路

8.10.4.1 隧道内配电线路宜采用电缆桥架布线，并根据腐蚀介质的特点对电缆桥架采取相应的防护设施，宜选用塑料护套绝缘电缆；

8.10.4.2 在电缆桥架上可以无间距的敷设电缆，电力电缆在桥架内横断面的填充率不应大于 40%；

8.10.4.3 下列不同电压、不同用途的电缆，不宜敷设在同一层电缆托架上：

- 1 kV 以上和 1 kV 以下的电缆；
- 同一路径向一级负荷供电的双路电源电缆；
- 应急照明和其它照明的电缆；
- 强电和弱电电缆。如受条件限制需安装在同一层托架上时，应用隔板隔开。

8.11 防雷接地

8.11.1 防雷系统

8.11.1.1 10 kV 高压进线柜应安装高压避雷器。

8.11.1.2 感应雷防雷保护设施包括单脉冲电涌保护器、多脉冲电涌保护器、SPD 后备保护器、信号电涌保护器、防雷远程监测器等。

8.11.1.3 低压进线柜和双电源切换柜应安装具有主备防雷功能的多脉冲电涌保护器，无功补偿柜应安装单脉冲电涌保护器。UPS、EPS 电源的输入和输出处应分别安装单脉冲电涌保护器。低压配电各段母线上的馈线柜应安装单脉冲电涌保护器。

8.11.1.4 隧道洞外可变信息标志、ETC 门架等重要设施配电箱应安装具有主备防雷功能的多脉冲电涌保护器，其他隧道洞外外场监控设备配电箱应安装单脉冲电涌保护器。

8.11.1.5 隧道洞内距离洞口第一个监控、风机、照明、消防电源转换配电箱入线处应安装具有主备防雷功能的多脉冲电涌保护器，隧道洞内第二个及以后监控、照明、消防电源转换配电箱应安装单脉冲电涌保护器。

8.11.1.6 单脉冲电涌保护器前端应安装外置式 SPD 后备保护器，多脉冲电涌保护器前端应安装内置式 SPD 后备保护器。

8.11.1.7 电源电涌保护器宜设置防雷远程在线监测系统。

8.11.1.8 隧道洞外的外场监控设备应安装信号电涌保护器。

8.11.1.9 电涌保护器分类及指标应符合 GB/T 37048 的规定。产品应经过交通运输行业具有公路工程交通工程专项资质和电涌保护产品检测资质的试验检测机构测试合格，并出具产品合格型式试验报告、实体质量抽样检验报告、技术要求符合性检查报告。

8.11.2 接地系统

8.11.2.1 直击雷防雷保护措施包括外部监控设备安装避雷针、实施接地系统。

8.11.2.2 隧道接地线应与隧道主体工程的钢筋网相连，构成整体隧道接地系统，在隧道没有锚杆的地方，应每隔 50m 做人工接地体，并预留接地点给机电设备接入，接地电阻不应大于 $4\ \Omega$ 。

8.11.2.3 在隧道强电和弱电电缆沟两侧电缆桥架上通长敷设镀锌扁钢，此镀锌扁钢应每隔 50m 与主体预留的接地钢筋焊接。

8.11.2.4 外场设备采用保护接地电阻不应大于 $4\ \Omega$ 、防雷接地电阻不应大于 $10\ \Omega$ ，也可采用联合接地。

注：联合接地是基础接地和其他专设接地体相互连通形成一个公用地网，并将机电设备的工作接地、防护接地、屏蔽体接地、防静电接地以及防雷接地等公用一组接地系统的接地方式。

8.11.2.5 变电所接地如下：

- 变电所接地应与隧道接地网进行可靠连接，接地电阻不应大于 $4\ \Omega$ ；
- 室内角钢基础及支架要用截面不小于 $(25\times 4)\text{mm}^2$ 的扁钢相连接做接地干线，然后引出户外，与隧道接地装置连接；
- 接地体应距离变（配）电所墙壁 3m 以外，接地体长度为 2.5m，两根接地体间距离以 5m 为宜；
- 接地网形式以闭合环路式为好，如接地电阻不能满足要求时，可以附加外引式接地体。

8.11.2.6 电气装置和设施的下列金属部分，均应接地：

- 变压器和高压开关柜的底座和外壳；
- 发电机中性点柜外壳、发电机出线和封闭母线的外壳等；
- 气体绝缘全封闭组合电器的接地端子；
- 配电、控制、保护用的屏（柜、箱）及操作台等的金属框架；
- 箱式变电所的金属箱体；
- 铠装电缆的外皮；
- 电力电缆接线盒、终端盒的外壳、电缆的外皮、穿线的钢管等。

8.12 电力监控

8.12.1 在隧道变电所高压进线、出线侧均应设置高压测控装置。

8.12.2 在隧道变电所低压进线、电容器、低压出线均应设置低压测控装置。

8.12.3 在隧道变电所高压室、低压室、柴油发电机室应设置摄像机、门禁、温度、烟感传感器。

9 隧道照明设施

9.1 一般规定

9.1.1 设计原则

具体内容如下：

- 隧道照明系统设计应符合 JTG/T D70/2-01 的规定；

- 长度 $L \geq 200$ m 的隧道，应设置电光照明系统。长度 $100 \text{ m} < L < 200$ m 的高速公路光学长隧道，应设置电光照明系统；
- 不设置隧道照明设施应加强诱导设施。

9.1.2 评价指标

具体内容如下：

- 应以隧道内路面平均亮度、路面亮度总均匀度 U_0 、路面中线亮度纵向均匀度 U_l 为评价指标；
- 隧道内路面平均亮度值应为路面维持平均亮度值。

9.1.3 设计方案

应与隧道土建工程及交通工程设计相匹配，并按下列顺序实施：

- a) 首先通过现场测定隧道洞口方位、洞口外环境亮度，必要时制定洞外减光措施。如在条件允许情况下，应充分利用隧道洞口方位和地形，采用密集种植乔木等绿色植被进行洞口减光设计。对于间距小于 100 m 的两隧道出口、入口连接路段，宜设置遮阳棚或遮阳板等减光设施，有效降低下一隧道入口段的亮度设计值；
- b) 确定隧道 LED 照明灯具技术参数；
- c) 根据路面材料与灯具光强分布，计算各段灯具布置间距、路面均匀度等，确定灯具布置方式；隧道主体完工后应对隧道洞口外亮度进行现场实测测试，按照表 10 的规定修正洞外亮度 $L_{20}(S)$ 的取值。

9.1.4 隧道照明区段划分

9.1.4.1 隧道照明区段划分为：入口段（入口段 1、入口段 2）照明、过渡段（过渡段 1、过渡段 2）照明、中间段照明、出口段（出口段 1、出口段 2）照明、洞外引导照明以及洞口接近段减光设施。

9.1.4.2 多雾、纵坡较大、重车较多的隧道路段，宜采用低色温光源。

9.1.4.3 隧道加强段照明灯具宜采用变色温光源。

9.1.4.4 隧道照明调光设计应采用调光照明系统，调光设计应包含交通量、洞外色温、洞外亮度 $L_{20}(S)$ 等参数。

9.1.4.5 公路隧道路面亮度与照度的换算关系，水泥混凝土路面按 $10lx/(cd \cdot m^{-2})$ 计算，沥青混凝土路面按 $15lx/(cd \cdot m^{-2})$ 计算。

9.1.4.6 养护系数 M 值取 0.7。

9.2 隧道照明取值

9.2.1 洞外亮度 $L_{20}(S)$

9.2.1.1 高速公路隧道 LED 照明系统设计阶段，如无实测资料时，暂按照表 10 中规定的隧道洞外亮度 $L_{20}(S)$ 大小取值。

9.2.1.2 在洞口土建完成时，应对隧道入口段洞口亮度进行实测，若实测值与设计值的误差超出 $\pm 25\%$ ，应按实际测试结果，调整隧道洞外亮度 $L_{20}(S)$ 的设计亮度值。

表10 洞外亮度 $L_{20}(S)$

天空面积 (%)	洞口方位	设计速度 v_t (km/h)				
		40	60	80	100	120
35~50	南	—	—	4 000	4 500	5 000
	北	—	—	5 500	6 000	6 500
25	南	3 000	3 500	4 000	4 500	5 000
	北	3 500	4 000	5 000	5 500	6 000
10	暗环境	2 000	2 500	3 000	3 500	4 000
	亮环境	3 000	3 500	4 000	4 500	5 000
0	暗环境	1 500	2 000	2 500	3 000	3 500
	亮环境	2 000	2 500	3 000	3 500	4 000

注1: 洞外亮度 $L_{20}(S)$ 单位为坎德拉每平方米 (cd/m^2)。
 注2: 天空面积百分比指20°视场中天空面积百分比。
 注3: 南洞口指北行车辆驶入的洞口, 北洞口指南行车辆驶入的洞口。
 注4: 东洞口与西洞口取用南洞口与北洞口之中间值。
 注5: 暗环境指洞外景物(包括洞门建筑)反射率低的环境。
 注6: 亮环境指洞外景物(包括洞门建筑)反射率高的环境。

9.2.2 入口段照明

9.2.2.1 入口段长度应按式(4)计算。

$$D_{th} = \left(1.154D_s - \frac{H-1.5}{\tan 10^\circ}\right) \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- D_{th} ——入口段长度, 单位为米 (m);
- D_s ——照明停车视距, 单位为米 (m), 可按表11取值;
- H ——洞口内净空高度, 单位为米 (m)。

9.2.2.2 隧道入口段亮度宜根据洞外亮度 $L_{20}(S)$ 分两段设置, 每段长度 $D_{th1} = D_{th2} = 1/2D_{th}$, 各段对应亮度应分别按式(5)及式(6)计算。

$$L_{th1} = k \times L_{20}(S) \dots\dots\dots (5)$$

$$L_{th2} = 0.5 \times k \times L_{20}(S) \dots\dots\dots (6)$$

式中:

- L_{th1} ——入口段1亮度, 单位为坎德拉每平方米 (cd/m^2);
- k ——入口段亮度折减系数, 可按表12取值;
- $L_{20}(S)$ ——洞外亮度, 单位为坎德拉每平方米 (cd/m^2);
- L_{th2} ——入口段2亮度, 单位为坎德拉每平方米 (cd/m^2)。

9.2.2.3 当两座隧道间的行驶时间按路线设计速度计算小于 15 s, 且通过前一座隧道的行驶时间大于 30 s 时, 后续隧道入口段亮度应进行折减, 亮度折减率可按表 13 取值。

9.2.2.4 入口段灯具宜按功能分为基本照明灯具和加强照明灯具, 基本照明灯具功率及布置间距按中间照明考虑, 加强照明灯具可选用功率较大的灯具。如果隧道洞口型式采用削竹式, 加强照明灯具从洞

口以内 10 m 处开始布设；如果隧道洞口型式采用端墙式，加强照明灯具从洞口处开始布设。入口段基本照明灯具和加强照明灯具宜采用双侧对称布置方式。

表11 照明停车视距 (D_s) 取值表

设计速度 v_t (km/h)	纵坡 (%)								
	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
120	260	245	232	221	210	202	193	186	179
100	179	173	168	163	158	154	149	145	142
80	112	110	106	103	100	98	95	93	90
60	62	60	58	57	56	55	54	53	52
40	29	28	27	27	26	26	25	25	25

注：照明停车视距单位为米 (m)。

表12 隧道入口段亮度折减系数 k

设计交通量 N (veh/h · ln)		k				
		设计速度 v_t (km/h)				
单向交通	双向交通	120	100	80	60	40
≥ 1200	≥ 650	0.07	0.045	0.035	0.022	0.012
≤ 350	≤ 180	0.05	0.035	0.025	0.015	0.01

表13 后续隧道入口段亮度折减率

两隧道之间行驶时间 t (s)	$t < 2$	$2 \leq t < 5$	$5 \leq t < 10$	$10 \leq t < 15$
后续隧道入口段亮度折减率 (%)	50	30	25	20

9.2.3 过渡段照明

9.2.3.1 过渡段宜分为 3 段设置，各照明段长度可按表 14 取值。

9.2.3.2 过渡段三个照明段 TR_1 、 TR_2 、 TR_3 的亮度可按表 15 取值。若 $L_{tr3} \leq 2 \times L_{in}$ ，则过渡段 TR_3 可不设置。

9.2.3.3 过渡段照明灯具的布设间距按照过渡段 1、过渡段 2、过渡段 3 的顺序可逐渐加大，照明灯具可采取对称布置方式。

表14 过渡段长度 (D_{tr})

设计速度 v_t (km/h)	D_{tr1} (m)	D_{tr2} (m)	D_{tr3} (m)
120	137	133	200
100	106	111	167
80	72	89	133
60	44	67	100
40	26	44	67

注： D_{tr1} 、 D_{tr2} 、 D_{tr3} 分别为过渡段1、过渡段2、过渡段3的长度。

表15 过渡段亮度

照明段	TR_1	TR_2	TR_3
亮度	$L_{tr1}=0.15L_{th1}$	$L_{tr2}=0.05L_{th1}$	$L_{tr3}=0.02L_{th1}$

9.2.4 中间段照明

9.2.4.1 当单向交通且以设计速度通过隧道的行车时间超过 135s 时，隧道中间段宜分为两个区段，每区段对应的长度及亮度可按表 16 取值。

9.2.4.2 中间段亮度 L_{in} 可按表 17 取值。单向交通隧道中间段两个区段对应长度及亮度可按表 16 取值。中间段 LED 灯具应具备自动调光功能。

9.2.4.3 中间段灯具宜采用双侧交错布设方式。灯具布置应满足闪烁频率低于 2.5 Hz 或高于 15 Hz。

9.2.4.4 中间段路面亮度总均匀度 U_0 不应低于表 18 所示，当交通量在表 18 所示的设计交通量中间值时，按线性内插考虑。

9.2.4.5 中间段路面中线亮度纵向均匀度 U_l 不应低于表 19 所示，当交通量在表 19 所示的设计交通量中间值时，按线性内插考虑。

表16 中间段分区段设置的长度及亮度取值

区段	长度 (m)	亮度 (cd/m^2)	备注
中间段 第一区段	设计速度下的30s行程	L_{in}	—
中间段 第二区段	余下的中间段长度	$L_{in} \times 80\%$ ，且不低于 $1.0 cd/m^2$	—
		$L_{in} \times 50\%$ ，且不低于 $1.0 cd/m^2$	采用连续光带布灯方式，或隧道壁面反射系数不小于0.7

表17 中间段亮度 L_{in}

设计速度 v_t (km/h)	L_{in} (cd/m ²)		
	单向交通 $N \geq 1200 \text{ veh/h} \cdot \text{ln}$ 双向交通 $N \geq 650 \text{ veh/h} \cdot \text{ln}$	单向交通 $350 \text{ veh/h} \cdot \text{ln} < N < 1200 \text{ veh/h} \cdot \text{ln}$ 双向交通 $180 \text{ veh/h} \cdot \text{ln} < N < 650 \text{ veh/h} \cdot \text{ln}$	单向交通 $N \leq 350 \text{ veh/h} \cdot \text{ln}$ 双向交通 $N \leq 180 \text{ veh/h} \cdot \text{ln}$
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	1.0	1.0

表18 总均匀度 (U_0)

设计交通量 N (veh/h·ln)		U_0
单向交通	双向交通	
≥ 1200	≥ 650	0.4
≤ 350	≤ 180	0.3

表19 路面中线亮度纵向均匀度 U_l

设计交通量 N (veh/h·ln)		U_l
单向交通	双向交通	
≥ 1200	≥ 650	0.6
≤ 350	≤ 180	0.5

9.2.5 出口段照明

9.2.5.1 出口段亮度宜分段考虑，靠近隧道出口 30 m 的亮度宜取表 17 所列中间段亮度 L_{in} 的 5 倍，靠近隧道中间段末端 30 m 的亮度宜取表 17 所列中间段亮度 L_{in} 的 3 倍。

9.2.5.2 在双向交通隧道中，出口段照明和入口段照明做相同处理。

9.2.6 应急照明

9.2.6.1 应急照明系统中断时间不应超过 0.3 s，维持时间不应短于 30 min。

9.2.6.2 启用应急照明时，应利用洞外信号灯或可变信息标志显示警告信息。

9.2.6.3 启用应急照明时，洞内路面亮度不应小于表 17 所列中间段亮度 L_{in} 的 10%，且不低于 0.2 cd/m²。

9.2.6.4 消防应急照明应符合国家标准和地方标准。

9.2.7 行人横洞、行车横洞和紧急停车带照明

9.2.7.1 人行横洞设计亮度不低于 1.0 cd/m^2 。

9.2.7.2 车行横洞设计亮度不低于 1.0 cd/m^2 。

9.2.7.3 紧急停车带设计亮度不低于隧道中间段照明亮度的 2 倍，且宜采用显色指数高的 LED 照明灯具。

9.2.8 隧道洞口外引导路段照明

9.2.8.1 隧道进、出口宜设路灯照明，其布灯长度和路面亮度不宜小于表 20 的规定。

9.2.8.2 隧道引道照明宜设置在隧道行车方向左侧。

表20 引道照明设计标准

设计速度 (km/h)	设计维持亮度 (cd/m^2)	长度 (m)
120	2.0	240
100	2.0	180
80	1.0	130
60	0.5	95

9.2.9 短隧道照明设计

9.2.9.1 长度 $L > 500 \text{ m}$ 非光学长隧道及长度 $L > 300 \text{ m}$ 的光学长隧道，入口段 1 亮度和入口段 2 亮度宜分别按式 (5) 和式 (6) 取值。

9.2.9.2 长度 $100 \text{ m} < L \leq 300 \text{ m}$ 的光学长隧道、 $300 \text{ m} < L \leq 500 \text{ m}$ 的非光学长隧道，入口段 1 亮度和入口段 2 亮度宜分别按式 (5) 和式 (6) 计算值的 50% 取值。

9.2.9.3 长度 $200 \text{ m} < L \leq 300 \text{ m}$ 的非光学长隧道，入口段 1 亮度和入口段 2 亮度宜分别按式 (5) 和式 (6) 计算值的 20% 取值。

9.2.10 节能标准与措施

9.2.10.1 当显色指数 $R_a \geq 65$ 、色温介于 (3 500~6 000) 的 LED 光源用于隧道基本照明时，亮度可按表 17 所列亮度的 50% 取值，但不应低于 1.0 cd/m^2 。

9.2.10.2 当隧道设计速度为 100 km/h 时，中间段亮度 L_{in} 可按 80 km/h 对应亮度取值。

9.2.10.3 当隧道设计速度为 120 km/h 时，中间段亮度 L_{in} 可按 100 km/h 对应亮度取值。

9.3 LED 照明灯具技术要求

9.3.1 隧道照明灯具宜采用高光效光源，灯具应采用模块化产品、易维护、易更换、易清洁。

9.3.2 LED 整灯光效应大于等于 130 Lum/lx 。

9.3.3 公路 LED 隧道照明灯具应具有防眩特性。

9.3.4 LED 照明灯具应包括电源模块和调光控制模块。

9.3.5 公路 LED 隧道照明灯具和电源的防护等级均应达到 IP65。

9.3.6 公路 LED 隧道照明灯具光源的使用寿命不应低于 5000 h。

9.3.7 LED 灯具光衰指标：5 000 h 不大于 30%。

9.4 隧道照明控制

9.4.1 隧道照明控制应遵循安全可靠、节能环保、经济实用、技术先进的设计原则。

9.4.2 隧道LED照明控制系统一般由上位机远程控制系统、照明控制器、灯具驱动电源、传感检测器和LED灯具等组成（见图1）。其中，照明控制器一般由输入模块、输出模块、处理器及控制软件组成。

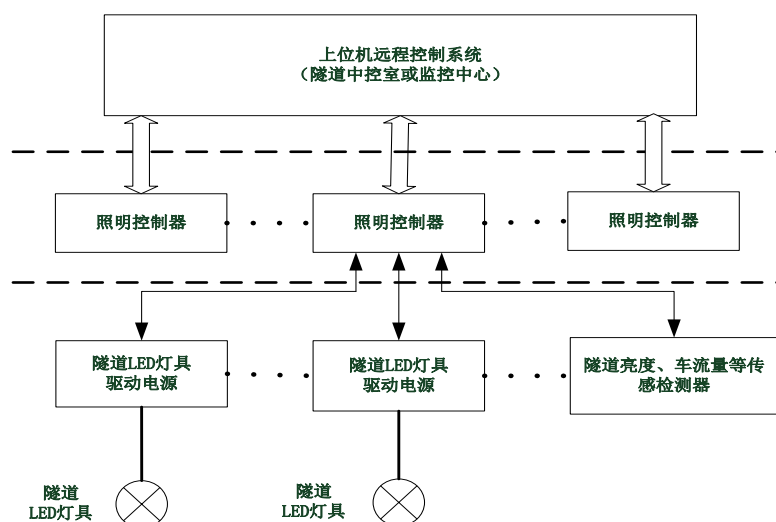


图1 隧道LED照明控制系统框架组成

9.4.3 控制原则

9.4.3.1 隧道照明控制器应根据隧道洞外环境光亮度大小、车流量大小动态调节隧道LED照明灯具的亮度。

9.4.3.2 隧道照明控制宜采用调光控制系统。

9.5 控制模式

9.5.1 自动控制模式

隧道LED照明控制宜优先选择自动控制模式，依据隧道洞外亮度 L_{20} （S）检测器和车流量检测器的数值，通过调光控制器对照明灯具输出功率和路面亮度进行自适应动态调光

9.5.2 半自动控制模式

9.5.2.1 时序自动控制模式

具体内容如下：

- 应根据春、夏、秋、冬四个不同季节的洞外环境光亮度及每个季节内一天24h时间段内洞外环境光亮度的变化规律，按每天不同时间段分时段自动调节隧道内各照明段的灯具功率和亮度指标；
- 时序自动控制模式时间段的划分应根据隧道洞口所处的地形、地貌及其洞口绿化植被情况进行大量的数据实测和分析后确定。

9.5.2.2 分级控制模式

具体内容如下：

- 分级控制模式为半自动控制，由隧道监控管理人员根据天气情况人工选取相应的照明控制模式；
- 分级控制模式可分为：晴天、云天、阴天、重阴天、晚上、夜间（晚上12点后）6级。划分依据如表21所示。

表21 隧道LED照明分级控制模式

隧道LED照明 分级控制模式	模式分级	划分依据
	晴天	洞外亮度 $L_{20}(S) \geq 3000 \text{ cd/m}^2$
	云天	$3000 \text{ cd/m}^2 > \text{洞外亮度} L_{20}(S) \geq 2000 \text{ cd/m}^2$
	阴天	$2000 \text{ cd/m}^2 > \text{洞外亮度} L_{20}(S) \geq 1000 \text{ cd/m}^2$
	重阴天	洞外亮度 $L_{20}(S) < 1000 \text{ cd/m}^2$
	晚上	—
	夜间（晚上12点后） 深夜照明	—

9.5.3 手动控制模式

手动控制模式由隧道监控管理人员在隧道配电箱或低压配电柜通过人工分合闸进行隧道照明控制。

9.5.4 控制信号传输方式

9.5.4.1 隧道LED照明控制信号传输可采用模拟方式或数字方式。

9.5.4.2 当采用模拟信号方式时，隧道LED照明控制信号电压范围宜选用直流电（DC）为0V~10V或0V~5V。不同的模拟信号电压对应LED灯具不同的发光亮度。其中，0V对应最大亮度。

9.5.4.3 当采用数字信号方式时，控制器输出数字信号，智能灯具接收数字信号，并将其转换为脉冲宽度调制（PWM）控制LED灯具的亮度。

9.5.4.4 隧道LED照明控制器与灯具之间的通信应采用独立通信线。

9.5.5 控制器

9.5.5.1 隧道LED照明控制器宜采用模拟控制器或数字控制器。

9.5.5.2 隧道LED照明控制器性能要求应符合GB/T 24825的规定。

9.5.5.3 隧道LED照明控制器安全要求应符合GB 19510.1的规定。

9.5.5.4 隧道LED照明控制器输出的调光等级不应低于32级。

9.5.5.5 隧道LED照明控制器应能对LED照明灯具在10%~100%亮度范围内进行调光控制，并具备关闭功能。

9.5.5.6 隧道LED照明控制器应包括白天隧道照明控制模式和夜间隧道照明控制模式。白天隧道照明控制模式应根据隧道洞外亮度 $L_{20}(S)$ 和交通流量等参数，对灯具亮度进行调光控制，并具备时序控制功能；夜间隧道照明控制模式应具备车流量有无调光控制功能，宜分为上半夜照明工作模式和下半夜照明工作模式，两种工作模式条件下可对灯具照明功率进行设置。

9.5.5.7 隧道LED照明控制器应支持多回路控制功能，每个回路可控制LED灯具数量应能满足调光控制实际需要，并具有级联功能。

- 9.5.5.8 隧道 LED 照明控制器应能与上位机实现远程通信,接收上位机的参数查询、设定和控制指令,并上传控制参数、灯具状态等控制信息。
- 9.5.5.9 上位机远程控制隧道 LED 照明控制器时若出现通讯中断,隧道本地控制器应能接管控制任务,根据预设的控制参数对灯具进行调光控制。
- 9.5.5.10 隧道 LED 照明控制器断电或其他故障情况下,应使灯具处于满功率运行。
- 9.5.5.11 隧道 LED 照明控制器断电恢复时应能自动进入断电前的设置,具有记忆功能,并具有故障信息保存、故障报警功能,控制器断电后再启动时间不超过 0.1 s。
- 9.5.5.12 模拟控制器信号输出驱动能力不应低于 20 mA。

9.5.6 控制软件功能

- 9.5.6.1 隧道 LED 照明控制软件应能向上位机实时传送控制信息,上传内容应包括:
- 控制器当前运行状态;
 - 时钟;
 - 环境光(隧道洞口外)亮度值;
 - 隧道加强照明灯具输出功率百分比;
 - 隧道基本照明灯具输出功率百分比。
- 9.5.6.2 隧道 LED 照明控制软件应能接收并执行上位机下发的参数设定、查询等控制指令。内容包括:
- 时钟校准值;
 - 灯具开启时间;
 - 灯具关闭时间;
 - 灯具输出功率百分比设定值;
 - 上下半夜照明工作模式开始时间和结束时间;
 - 隧道基本照明段白天及上半夜基本照明灯具的输出功率百分比设定值;
 - 隧道基本照明段下半夜基本照明灯具的输出功率百分比设定值;
 - 预置的非常规隧道照明工况,应按表 22 执行。

表22 非常规隧道照明工况

非常规隧道照明工况	工况描述	照明控制要求
故障工况	发生交通事故、拥堵以及发生火灾等情况	隧道所有灯具满功率开启
养护工况	隧道日常养护和隧道施工作业	仅满功率开启隧道养护和施工作业所在照明段的灯具。其他照明段灯具按正常控制要求运行

- 9.5.6.3 隧道 LED 照明控制软件应能实时采集、记录和上传控制参数和灯具状态参数等信息,便于上位机进行远程数据访问。灯具状态参数应包括:电压、电流、功率,灯具开关状态;控制参数应包括:环境光亮度、车流量和灯具输出功率百分比等。
- 9.5.6.4 隧道 LED 照明控制软件应具有数据备份、导出和恢复机制。
- 9.5.6.5 隧道 LED 照明控制软件应具备用户设置和权限管理功能。

9.5.7 横洞照明控制

- 9.5.7.1 行车横洞照明控制应包括远程控制和本地手动控制两种模式,并应与横洞门具有联动控制功能。

9.5.7.2 行人横洞的照明系统宜具备感应控制功能。

中华人民共和国广西地方标准
高速公路隧道机电系统技术规范
DB45/T 2896-2024
版权专有 侵权必究