

JTG

中华人民共和国强制性行业标准

JTG XXXX—XXXX

公路隧道通用标准

General Standard for Highway Tunnels

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中华人民共和国交通运输部发布

中华人民共和国强制性行业标准

公路隧道通用标准

General Standard for Highway Tunnels

JTG XXXX—XXXX

主编单位：交通运输部公路局
招商局重庆交通科研设计院有限公司
批准部门：中华人民共和国交通运输部
实施日期：××××年××月××日

人民交通出版社

前 言

根据《交通运输部关于下达 2024 年度公路工程行业标准制修订项目计划的通知》（交公路函〔2024〕320 号）的要求，由交通运输部公路局、招商局重庆交通科研设计院有限公司作为主编单位承担《公路隧道通用标准》（JTG ××××—××××）的制定工作。

本标准以《交通运输部关于加快建立健全现代公路工程标准体系的意见》（交公路发〔2023〕132 号）为指导，根据新发展理念和交通强国建设的要求，落实国家标准化改革部署，面向公路隧道全生命周期的实际需求，突出强制性通用标准“保基本、兜底线、强导向”的作用，在充分调研公路隧道领域国内外最新技术成果的基础上，全面总结提炼既有标准总体性和共性技术要求，优化整合直接涉及安全、质量、人身健康、资源节约和环境保护的控制性和限制性指标，形成《公路隧道通用标准》，为各类各级公路隧道建、管、养、运工作提供通用技术指导。

本标准包括 8 章，分别是：1 总则，2 基本规定，3 总体技术要求，4 土建工程设计，5 机电与交通安全设施设计，6 施工与验收，7 养护，8 运行。

本标准由×××负责起草第 1 章，×××负责起草第 2 章，×××负责起草第 3 章，×××负责起草第 4 章，×××负责起草第 5 章，×××负责起草第 6 章，×××负责起草第 7 章，×××负责起草第 8 章。

请各有关单位在执行过程中，将发现的问题和意见，函告本标准日常管理组，联系人：陈建忠（地址：重庆市南岸区学府大道 33 号，邮编：400067；电话：023-62653050，传真：023-62653128；邮箱：chenjianzhong@cmhk.com），以便修订时参考。

主 编 单 位：交通运输部公路局

招商局重庆交通科研设计院有限公司

参编单位：浙江数智交院科技股份有限公司

中交公路规划设计院有限公司

中交第一公路勘察设计研究院有限公司

同济大学

交通运输部公路科学研究院

中交一公局集团有限公司

中交第二公路勘察设计研究院有限公司

主 编：郭 胜 吴梦军

主要参编人员：

主 审：何 川

参与审查人员：

目 次

1 总则	1
2 基本规定	2
3 总体技术要求	6
3.1 隧道位置	6
3.2 平纵线形	6
3.3 横断面	7
3.4 施工与验收	8
3.5 养护	8
3.6 防灾救援	9
3.7 生态环保	12
4 土建工程设计	14
4.1 一般规定	14
4.2 材料	14
4.3 作用与计算	16
4.4 洞口及洞门	19
4.5 衬砌结构	21
4.6 防排水	26
4.7 特殊形式隧道	29
4.8 辅助通道	29
4.9 辅助工程措施	30
4.10 改扩建	31
4.11 抗震	32
5 机电与交通安全设施设计	34
5.1 一般规定	34
5.2 供配电设施	34
5.3 通风与排烟设施	35
5.4 照明设施	37
5.5 消防与排水设施	38

5.6	监控与通信设施.....	40
5.7	交通安全设施.....	41
6	施工与验收.....	43
6.1	一般规定.....	43
6.2	土建结构.....	46
6.3	机电与交通安全设施.....	52
7	养护.....	54
7.1	一般规定.....	54
7.2	土建结构养护.....	54
7.3	机电设施养护.....	55
7.4	养护数字化.....	56
8	运行.....	58
8.1	一般规定.....	58
8.2	日常运行.....	58
8.3	应急处置.....	60
8.4	运行状态评价.....	61
8.5	运营数据.....	62

1 总则

1.0.1 为规范公路隧道通用技术要求，保障公路隧道质量和安全，保护生态环境，保持良好的技术状态，制定本标准。

1.0.2 新建和改扩建的等级公路隧道设计、施工、养护和运营必须执行本标准。

1.0.3 公路隧道应满足公路功能、区位特征、技术等级等要求，遵循“安全、耐久、经济、节能、环保”的原则。

1.0.4 公路隧道应贯彻国家有关技术经济政策，积极稳妥地采用新技术、新材料、新设备、新工艺。

1.0.5 公路隧道所采用的技术方法和措施是否符合本标准的要求，由相关责任主体判定。其中，创新性的技术方法和措施应进行论证并符合标准中有关性能的要求。

2 基本规定

2.0.1 隧道应结合隧道所处地区的地形、地质、施工、运营、管理等条件进行设计。

2.0.2 公路隧道按其长度划分为五类，划分标准应符合表 2.0.2-1 的规定：

表 2.0.2-1 公路隧道按长度分类

分类	超长隧道	特长隧道	长隧道	中隧道	短隧道
隧道长度 (m)	$L > 10000$	$10000 \geq L > 3000$	$3000 \geq L > 1000$	$1000 \geq L > 500$	$L \leq 500$

注：隧道长度系指两端洞口衬砌端面与隧道轴线在路面顶交点间的距离。

条文说明：

近年来随着公路隧道建设发展，截止 2023 年底全国已建成运营、正在建设、规划设计的 10km 以上公路隧道有 74 座，其中建成运营的有 25 座，在建的有 31 座，规划的有 18 座。综合考虑公路隧道在勘测、设计、施工、养护和管理中的技术要求，本标准增加超长隧道的分类。对于长度超过 10km 以上的特长公路隧道，其通风、防灾和舒适性方面面临着“空间封闭狭长、环境控制困难、灾害后果严重”等核心挑战，例如运营通风面临着通风区段长、污染物浓度高、运营能耗高等问题，防灾救援面临着长距离、多系统应急协同、烟气控制等问题，故本标准将 10km 作为超长隧道界定指标。

2.0.3 公路隧道按其跨度划分为五类，划分标准应符合表 2.0.3-1 的规定；公路盾构隧道按其直径划分为四类，划分标准应符合表 2.0.3-2 的规定。

表 2.0.3-1 公路隧道按跨度分类

分类	隧道跨度 B (m)	示例
小跨隧道	$9 > B$	单车道隧道、服务隧道及车行横通道等辅助通道
一般跨隧道	$14 > B \geq 9$	单洞双车道隧道
中跨隧道	$18 > B \geq 14$	单洞三车道隧道、单洞双车道+紧急停车带隧道
大跨隧道	$25 > B \geq 18$	单洞四车道隧道、单洞三车道+紧急停车带隧道
超大跨隧道	$B \geq 25$	分岔隧道

表 2.0.3-2 公路盾构隧道按直径分类

分类	盾构隧道直径 D(m)	示例
小型盾构隧道	$D < 4.2$	人行通道

中型盾构隧道	$7 > D \geq 4.2$	服务隧道、车行横通道等辅助通道
大型盾构隧道	$14 > D \geq 7$	单层两车道隧道
超大型盾构隧道	$D \geq 14$	双层四/六车道、单层三车道隧道

条文说明：

近年来随着城市地下立交的建设发展，隧道跨度逐渐增大。根据《公路隧道设计细则》(JTG/T D70-2010)表 3.0.2 条公路隧道按跨度分类，结合《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》(JTG 3370.1—2018)表 6.2.2-1 围岩压力增减率 i 取值表，隧道跨度大于 25m 时其围岩压力荷载须根据研究确定，因此本标准增加大于 25m 的超大跨隧道分类。

2.0.4 隧道主体结构应按永久性建筑设计，具有规定的强度、稳定性和耐久性，满足使用年限要求，方便养护和维修作业。

2.0.5 隧道土建结构的设计使用年限，应根据使用功能、建设成本、使用维护成本和环境影响等因素确定。机电与交通安全设施设计使用年限，应根据设施设备的材料、构造和使用要求等因素确定。

2.0.6 隧道在设计使用年限内，必须符合下列规定：

- 1 应能够承受正常施工和正常使用期间可能出现、设计范围内的各种作用。
- 2 应保持正常使用要求。
- 3 在正常使用和正常养护条件下，应具有能达到设计要求的耐久性能。

2.0.7 根据环境条件对耐久性的影响，隧道结构材料和设施设备应采取相应的技术措施。

2.0.8 公路隧道防水的设计使用年限应符合下列规定：

- 1 不可更换防水的设计使用年限不应低于主体结构设计使用年限；
- 2 可更换防水的设计使用年限不应低于 10 年，通过一次或多次更换后不应低于主体结构设计使用年限。

2.0.9 隧道土建工程与通风、照明、交通监控、供配电、消防等运营设施应进行综合设计。

2.0.10 机电与交通安全设施应按保障隧道交通安全、快捷、舒适、环保运行的原则进行配置。

2.0.11 当两座或两座以上隧道相邻洞口之间的距离小于表 2.0.11 规定时，通风、照明、安全、管理设施及防灾、救援等应按隧道群进行整体设计。

表 2.0.11 隧道群洞口的最大纵向间距

设计速度 (km/h)	120	100	80	60	40	30	20
相邻隧道洞口纵向间距 (m)	200	170	135	100	70	50	35

条文说明：

《公路工程技术标准》条文说明 8.0.5：隧道群的主要因素取决于驾驶员的视觉适应特性。隧道路段驾驶员视觉特性试验结果表明，洞口段驾驶员瞳孔直径快速变化，以适应洞内外环境亮度差异。一般暗适应起点位于洞外，即从进洞前一定距离开始驾驶员已进入暗适应阶段（瞳孔直径开始增大），时间为进洞前 2~4s；明适应在洞外有一定延续（瞳孔直径持续减小），出洞后 1~3s。为此，可将明暗适应时间作为隧道群界定指标，即上游隧道明适应洞外段（1~3s）+下游隧道暗适应洞外段（2~4s），综合取 6s。在此长度范围内，驾驶员视觉变化大，容易造成视觉信息不连续，对行车安全产生不利影响。

在隧道群区段行车，较短的时间内频繁进出隧道，视线明暗变化以及行车环境的改变，对驾驶员的心理和生理均造成一定的影响；前一隧道行车出口排出的污染空气可能对后续隧道产生二次污染，并且山区自然环境条件较差，如雨雾多、冬季路面结冰等，造成洞内外环境差异大，存在一定的交通安全隐患；隧道群路段，往往桥隧相接，应急救援难度大。因此隧道群路段各隧道平纵线形、通风、照明、交通安全、运营管理以及防灾救灾等不再是一个单独的体系，会对彼此产生不同程度的影响。

2.0.12 隧道应按照设计文件施工，并根据超前地质预报及监控量测信息实施动态管理，施工过程中应采取保证施工质量和安全的技术与管理措施。

2.0.13 隧道应按照设计规定的用途使用定期检查结构和设施技术状况，进行必要的养护、维修或更换。

2.0.14 隧道遭遇地震、火灾等突发事件时，必须符合下列规定：

1 灾中应具有能达到设计要求的基本功能。

2 灾后应对结构和设施进行技术状况评估，并按评估意见处理后方可恢复正常使用。

2.0.15 隧道应积极稳妥地采取绿色降碳和数字化技术措施提升其使用效能和安全性能。

3 总体技术要求

3.1 隧道位置

3.1.1 隧道位置应符合路线总体要求。

3.1.2 隧道选址必须对该区域的自然地理、场地与生态环境、工程地质、水文地质、气象、地震等进行勘察,取得完整勘察基础资料,经技术经济论证后确定。

3.1.3 隧道高程和平面位置应根据公路技术等级、路线设计方案确定,选在地层稳定,利于洞口、洞口两端接线、防灾救援系统、管理养护等设施设置的地段。

3.1.4 山岭隧道位置应选择在稳定的地层中,避免穿越工程地质和水文地质极为复杂以及严重不良地质地段。必须通过时,应采取切实可靠的工程技术措施。

3.1.5 水下隧道应避免穿越地质或环境条件极为复杂的区域以及对环境敏感的建筑物。隧道之间、隧道与相邻建构筑物之间存在相互影响时,应在设计与施工中采取必要的技术处置措施;应避免穿越水域深槽以及江(河)河床变化较大的不稳定地段。必须穿越且对隧道可能产生不利影响时,应采取可靠的工程技术措施。

3.2 平纵线形

3.2.1 隧道洞内外平、纵线形应协调顺畅,满足行车安全和舒适要求。

3.2.2 隧道平纵线形应根据路线走向、隧道工法、地形条件、地质条件、水文条件、周边环境、通风、排水等因素综合确定。

3.2.3 公路水下隧道纵面设计应满足下列要求:

1 钻爆法隧道最小埋置深度应综合考虑河(海)床地质与水文条件、围岩物理力学性质、围岩注浆加固与预支护及各种辅助作业实施的难易程度等情况,必要时应经专题研究后确定。

2 盾构法隧道应考虑规划航道深度、河床冲刷及航道疏浚的影响。通航水域的最小覆盖厚度应大于通航船只抛锚入土深度要求。

3 沉管及明挖法隧道应考虑运营期可能出现的最大冲刷、最大回淤，覆盖层厚度应满足隧道抗浮及通航船只抛锚要求。

3.3 横断面

3.3.1 隧道建筑限界应根据公路等级、设计速度、使用功能综合确定，在建筑限界内不得有任何工程部件侵入，并应符合下列规定：

1 隧道内的最小侧向宽度应符合表 3.3.1 规定

表 3.3.1 公路隧道按跨度分类

设计速度 (km/h)	高速公路、一级公路				二级公路、三级公路、四级公路				
	120	100	80	60	80	60	40	30	20
左侧侧向宽度 L _左 (m)	0.75	0.75	0.50	0.50	0.75	0.50	0.25	0.25	0.50
右侧侧向宽度 L _右 (m)	1.25	1.00	0.75	0.75	0.75	0.50	0.25	0.25	0.50

2 高速公路、一级公路隧道应在两侧设置检修道，其宽度应大于或等于 0.75m。二级、三级公路隧道的人行道宽度应大于或等于 0.75m。

3 盾构法隧道不设置检修道时应保留 C 值宽度和设置专用疏散通道，沉管法隧道在中管廊一侧设置单侧检修道，未设置检修道一侧应保留 C 值宽度。

3.3.2 特长、长隧道内不设硬路肩或硬路肩宽度小于 2.5m 时，单洞两车道隧道应设置紧急停车带。紧急停车带宽度应为 3.0m，且与右侧侧向宽度之和应大于或等于 3.5m，有效长度应大于或等于 40m。

3.3.3 隧道内轮廓净空断面应符合下列要求：

- 1 满足隧道建筑限界所需空间，并预留不小于 50mm 的富余量。
- 2 满足洞内装饰所需空间。
- 3 满足通风、照明、消防、监控、指示标志等交通工程及附属设施所需空间。
- 4 断面形状有利于围岩稳定、结构受力。

3.3.4 高速公路、一级公路隧道应设计为上、下行分向行驶的双洞隧道。单车道四级公路的隧道应按双车道四级公路标准修建。

3.4 施工与验收

3.4.1 隧道应根据隧址区环境条件选择合理的施工工法和结构类型。

3.4.2 隧道防排水系统应和隧址区水文地质、环境条件、结构类型相协调。

条文说明：

钻爆法隧道应遵循“防、排、截、堵”相结合的原则，使洞内外构成完整的、可维护疏通的防排水体系，并应考虑防止水土流失和水资源保护。盾构法隧道应采用高抗渗性能混凝土形成衬砌管片的自防水能力，并加强管片的接头、管片与工作井连接部位等特殊部位的防水措施。沉管法、明挖法隧道应采用主体结构防水混凝土和外包防水层组成的双道防水体系，加强施工缝、变形缝和管节接头等特殊部位的防水措施。”

3.4.3 隧道总体的几何尺寸及轴线、防排水、结构安全和使用功能均应符合设计文件和验收标准的要求。

条文说明：

根据《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》(JTG F80 / 1-2017) 10.2 隧道总体的相关内容；《盾构法隧道施工及验收规范》(GB 50446-2017) 第 16 章成型隧道验收的相关内容；《沉管法隧道施工与质量验收规范》(GB51201-2016) 第 15 章验收的相关内容。

3.5 养护

3.5.1 公路隧道养护范围应包括土建结构、机电设施以及其他工程设施，并应划分隧道养护等级，实行分级养护。

3.5.2 根据公路等级、隧道长度和交通量，公路隧道养护应分为一级、二级、三级。

3.5.3 公路隧道养护工程检验评定应按照现行《公路养护工程质量检验评定标准》(JTG 5220) 的有关规定执行，养护工程完成后，土建结构与机电设施分项技术状况值应达到 0 或 1。

3.6 防灾救援

3.6.1 公路隧道防灾救援应统筹考虑建设条件、隧道结构、疏散通道、防烟排烟、报警与灭火、交通管控、疏散诱导、救援管理等设施的协同进行总体设计，各设施应能满足防灾疏散救援的需要。

3.6.2 公路隧道应满足以下防灾、安全疏散和救援功能要求。

1 衬砌结构应保证其在受到火灾高温作用后，在设计耐火时间内仍能正常发挥承载功能。

2 应设置满足火灾时人员安全疏散或避难需要的设施。

3 应设置灭火设施、防排烟设施和方便救援的通道。

4 应设置合理的防火分区，不同分区的防火分隔应能在设定时间内阻止火灾蔓延至相邻隧道或隧道内的其他防火分隔区域。

5 防火门、防火窗应具有自动关闭的功能，防火卷帘、疏散口盖板应具有远程启闭功能，关闭后均应具有烟密闭的性能。

6 人员疏散出口门、盖板应能在关闭后从任何一侧手动开启。开向疏散楼梯(间)或疏散走道的门在完全开启时，应满足楼梯平台或疏散走道的有效净宽度。

7 非自重流排水的隧道应设置防止水淹的挡水构造和排水设施。

3.6.3 应根据隧道长度与宽度、不同工法结构特点、交通量特征等因素设置人行横通道、车行横通道、洞外联络道、专用疏散通道等疏散救援通道。通道的间距、断面等应满足人员、车辆疏散与救援要求。

条文说明：

应根据钻爆隧道、盾构隧道、沉管隧道、堰筑隧道等隧道工法的不同长度、结构特点及风险因素，采取针对性的疏散、救援通道设计。参考相关规范及总结国内工程实践，实际设计参考以下原则进行设计，可满足防灾、疏散救援需求。

1 并行双洞隧道、单洞隧道与平行导洞疏散的人行横通道、人员疏散通道的净宽度应不小于 2.0m，净高度应不小于 2.5m，间距应不大于 350m。当条件受限时，最小净宽度应不小于 1.2m，最小净高应不低于 2.1m，但人行横通道间距及出口到达人员疏散通道的距离应满足人员疏散要求。

2 上下双层隧道人行疏散通道净宽度应不小于 1.2m, 净高度应不小于 2.1m, 疏散口间距应不大于 150m。

3 利用车道下层空间作为人行专用疏散通道的隧道, 纵向疏散通道净宽度应不小于 2m, 净高应不小于 2.1m。车道板上的疏散口应不侵入行车道, 最小净宽应不小于 0.8m, 设置间距应满足人员疏散需求, 且间距应不大于 120m。

4 楼梯疏散口净高度应不小于 2.1m, 条件受限时不得小于 1.9m, 疏散楼梯角度不大于 60°。滑梯疏散口净高度应不小于 1.4m。疏散口与纵向疏散通道间应设置封闭隔间, 隔间疏散通道门净宽度应不小于 1.2m, 净高度不小于 2.1m。

5 双洞间车行横通道的车行道宽度应不小于 4.0m, 限界高度应与主洞限界高度一致, 设置间距应不大于 1000m, 设置有并行专用排烟道和自动灭火系统的隧道段, 车行横通道间距不限。盾构隧道的车行横通道设置间距应根据具体设置条件综合确定。

6 双洞或多洞通行的长、特长隧道及隧道群, 在洞外接线分隔带适当位置应设置便于交通转换的联络道。

7 长大隧道应根据防灾救援需求就近设置有人值守隧道管理站或管理用房, 隧道管理站或管理用房与隧道洞口距离应能满足消防与救援需要。

3.6.4 公路隧道结构防火、防火分隔的设防标准应根据隧道长度、隧道结构特点、周边环境条件、工程地质与水文条件、交通量及车辆类型、火灾危害性等因素综合确定。水下隧道结构在 RABT 标准升温曲线下测试耐火极限应不低于 2.00h。

条文说明:

盾构、沉管、堰筑、明挖等水下或类水下隧道周边地层自稳能力差, 一般采用钢筋混凝土结构, 火灾高温损伤后修复难度大, 甚至火灾高温结构材料力学性能降低或受损后因不满足承载能力要求而出现涌水涌泥或垮塌, 并使人员逃生与救援困难造成群死群伤, 生命财产损失严重。因此上述类型的隧道的主体结构应设置防火保护层使主体承重结构在规定设计耐火时间内不损伤主体结构的方法。公路山岭隧道采用复合式衬砌, 衬砌周边围岩具有较好的自稳能力, 初期支护与围岩共同承载并承担主要荷载, 而且大量国内火灾实践检验表明, 二次衬砌不设

置防火保护层受火后未出现过隧道坍塌的案例,不影响人员逃生救援。故对公路山岭隧道衬砌结构保护层不做限制。

对双洞隧道或有专用疏散通道的隧道,隧道内火灾发生后一般通过设置的人行横通道、车行横通道或疏散滑梯、疏散楼梯等通道,到达相邻的隧道或专用疏散通道安全区域。这个不同的区域属于不同的防火分区,需要采用具有一定耐火极限或耐火等级的结构或防火门或防火卷帘进行分隔。结合相关规范和工程实践,一般可按如下标准进行设置:

1 盾构、沉管、堰筑等公路隧道衬砌结构耐火极限应不低于 2.00h。耐火极限标准采用 RABT 标准升温曲线测试,测试时衬砌结构表面温度不高于 380℃,距离混凝土表面 25mm 的钢筋温度不超过 300℃。山岭公路隧道、仅通行人行和非机动车的隧道耐火极限不限。

2 隧道内的变电所、管线廊道或管沟、专用疏散通道、通风机房及其他辅助用房等,应采用耐火极限不低于 3.00h 的防火隔墙等与车行隧道分隔。(利用车行道下层空间纵向疏散的隧道,车道板疏散口盖板耐火极限应不低于 2.00h。)

3 隧道内的地下设备用房、风井和消防救援出入口的耐火等级应为一,地面的重要设备用房、运营管理中心及其他地面附属用房的耐火等级不应低于二级。

4 疏散通道在防火分区分隔处应设置疏散门或防火卷帘。人行疏散门应采用甲级防火门,车行疏散门应采用耐火极限不低于 3.00h 的卷帘。当连接双洞的人行疏散走道为单道防火门分隔时,耐火极限应不低于 3.00h。

5 穿越防火隔墙、楼板和防火墙处的各类管线空隙应采用防火封堵材料封堵。

6 除嵌缝材料外,隧道的内部装修应采用不燃材料。

3.6.5 公路隧道防灾减灾、疏散救援管理设施应完善,各系统联动应可靠。

条文说明:

消防灭火与给排水、事故通风、应急照明、应急通信、监控系统及应急诱导应能满足防灾疏散救援的需要。火灾预警预报、防排烟与灭火设施等消防系统启动、应急照明、疏散指示、广播信息播报、洞外车辆与路网交通管控等设施应发

生联动,有利于应急管理系统作用的发挥和运转有效。

3.6.6 每座隧道应按同时只发生一起火灾考虑。

条文说明:

由于隧道火灾发生概率低,同一座隧道按只发生一次的工况去考虑防灾与疏散救援符合国内外的实际现状。

3.7 生态环保

3.7.1 公路隧道设计应节约用地,尽可能保护原有植被,妥善处理弃渣和污水。

条文说明:

我国耕地少、人口生态脆弱隧道穿越山体可能改变地下水储存条件造成地下水、隧道上方的地表水流失公路隧道建设要尽量利用荒地,避免占用良田注意保护水利设施,尽可能保护原有植被、减少地下水流失。隧道建设产生的废方要妥善处理,废水要求经沉淀、净化后排放。

3.7.2 公路隧道施工、养护、运行必须遵守国家关于生态保护、环境保护、水资源保护的法律法规采取防止噪声、粉尘、废水等污染环境的措施。

3.7.3 公路隧道应结合地理及自然环境,从选址、土建结构、通风、照明和消防等方面进行节能设计。

条文说明:

隧道作为地下空间的一种构造物,其场址和结构方案不仅直接影响着建设期的施工能耗,而且还影响着隧道通风系统的规模。而通风和照明又是隧道运营能耗的主要构成部分。一般隧道通风设施功率较大、运行能耗高,隧道照明则往往是数量多、负载量比较大。对于隧道通风和照明方案,既要合理选定技术指标和设备型号,又要通过智能控制技术按需调节,最终达到降低能耗,节约运营费用的目的。

3.7.4 公路隧道设计、施工、养护和运营应积极采用数字化技术,推进公路隧道全要素全周期数字化,提升隧道运行安全水平、应急保障能力和灾害风险防控能力。

条文说明:

交通运输部发布的“数字交通“十四五”发展规划”，提出推进运交通基础设施行监测与应急处置业务智能化,加强全国重要交通基础设施结构健康与安全风险监测;对全国长大公路隧道的结构、性能、运行状态,实施动态监测、自动采集与分析评估。推进重要基础设施风险信息共享、协同管控和分级分类管理,提高工程质量安全风险防控智慧化水平。开展基础设施长期性能观测,加强基础设施运行状态、运行规律和服役性能分析。

4 土建工程设计

4.1 一般规定

4.1.1 隧道土建工程设计应贯彻节约用地、环境保护和绿色低碳等理念，保护隧址区生态环境，并应对工程弃渣、施工废水及地下水等进行妥善处理与资源化利用。

4.1.2 隧道土建工程应根据工程技术标准、工程地质与水文地质、周边环境等条件，综合比选施工安全、技术可行、经济合理及环境适应等因素，合理确定单一或组合施工工法。

4.1.3 隧道土建工程设计应与交通工程、附属设施等进行协同设计，土建工程设计应充分考虑交通工程与附属设施的安裝空间、结构荷载、预留预埋、运营功能等要求。

条文说明：

土建工程设计应充分考虑交通工程与附属设施的设计需求：

空间与界面要求：为通风、照明、监控、消防、供电、标识标牌等设施的安裝提供足够的建筑限界、预留洞室、预埋件及安裝基座。

荷载与结构要求：准确计算并提供上述设施（如大型风机、灯具、情报板、消防箱等）对土建结构的荷载，确保结构安全。

管线与通道要求：合理规划并预留电缆桥架、管道廊道及其贯穿孔洞，确保运营维护通道（如检修道、逃生通道）的畅通与合规。

运营与功能要求：满足通风气流组织、照明光过渡段、监控视野覆盖、消防水源与管网布局、交通流线引导等对土建线形、断面及布局的功能性需求。

4.1.4 隧道土建工程设计应根据功能、设计使用年限等要求进行设计，具有规定的强度、稳定性和耐久性要求，方便养护及维修作业。

4.2 材料

4.2.1 隧道建筑材料应符合结构强度和耐久性要求，同时应满足抗冻、抗渗和

抗侵蚀的要求。

4.2.2 石材和砌体所用的材料应符合下列规定：

1 片石强度等级不应低于 MU40，块石强度等级不应低于 MU60，条石、料石强度等级不应低于 MU80，混凝土砌块强度等级不应低于 MU20，不应采用有裂缝和易风化的石材。

2 片石混凝土内片石掺量不得超过总体积的 30%。

4.2.3 结构混凝土的最低强度等级应满足下列要求：

1 钻爆隧道喷射混凝土的强度等级不应低于 C25，钢筋混凝土结构的混凝土强度等级不应低于 C25，预应力混凝土结构的混凝土强度等级不应低于 C40。

2 盾构隧道管片衬砌混凝土强度等级不应低于 C50，二次衬砌混凝土强度等级不应低于 C35。

3 沉管隧道管节主体结构混凝土强度等级不应低于 C35，预应力管节主体结构混凝土强度等级不应低于 C40。

4 明挖隧道结构混凝土强度等级不应低于 C35。

4.2.4 钢结构承重构件所用的钢材应具有屈服强度、抗拉强度、断后伸长率和硫、磷含量的合格保证，在低温使用环境下尚应具有冲击韧性的合格保证；对焊接结构尚应具有碳当量的合格保证。焊接承重结构以及重要的非焊接承重结构采用的钢材，应具有冷弯试验的合格保证；对直接承受动力荷载或需验算疲劳的构件所用钢材尚应具有冲击韧性的合格保证。

4.2.5 混凝土结构用普通钢筋、预应力筋应具有符合工程结构在承载能力极限状态和正常使用极限状态下需求的强度和延伸率。普通钢筋、预应力筋及结构混凝土的强度标准值应具有不小于 95% 的保证率。

4.2.6 混凝土和喷射混凝土中掺加的各种外加剂，应对混凝土和钢材无腐蚀作用，易于保存，不污染环境，对人体无害。

4.2.7 注浆材料应满足下列要求：

1 浆液应无毒无臭，不污染环境。

2 浆液黏度低，流动性好，可注性强，凝结时间可按要求控制。

- 3 浆液固化体稳定性好, 能满足注浆工程的使用寿命要求。
- 4 浆液应对注浆设备、管路及混凝土结构物无腐蚀性, 易于清洗。

4.2.8 防水卷材及其胶黏剂应具有良好的耐水性、耐久性、耐刺穿性、耐腐蚀性和耐菌性, 并满足下列要求:

- 1 材料性能应与工程使用环境条件相适应。
- 2 无纺布密度不应小于 300g/m^2 。
- 3 每道防水层厚度应满足防水设防的最小厚度要求。高分子防水卷材厚度应不小于 1.2mm , 自粘防水卷材厚度应不小于 1.5mm , 防水涂料厚度应不小于 1.2mm 。

4.3 作用与计算

4.3.1 隧道结构承受的作用根据时间变化特性应分为永久作用、可变作用和偶然作用, 其代表值应符合下列规定:

- 1 永久作用采用标准值。
- 2 可变作用应根据设计要求采用标准值、组合值、频遇值或准永久值。
- 3 偶然作用按结构设计使用特点确定其代表值。

条文说明:

部分规范中将作用称为荷载, 本标准统称为作用。作用指施加在结构上的集中力或分布力(直接作用, 也称为荷载)和引起结构外加变形或约束变形的原因(间接作用)等。

4.3.2 永久作用包括: 围岩压力或土压力、水压力、结构自重、结构附加恒载、混凝土收缩和徐变作用、基础变位作用等。可变作用包括: 汽车荷载、人群荷载、外部荷载及其产生的冲击力或土压力、水位及波浪影响作用等基本可变作用; 温度的影响力、冻胀力、施工荷载等其他可变作用。偶然作用包括地震作用、落石冲击力、爆炸力、火灾影响力、撞击力、沉船及抛锚影响力等。

4.3.3 盾构隧道外水压力应根据施工阶段和长期使用过程中地下水位的变化按静水压力计算。施工阶段黏性土地层中的外水压力宜按水土合算的方法确定, 砂性土地层中的外水压力应按水土分算的方法确定。

4.3.4 隧道设计时应考虑围岩的自稳能力和承载能力,应根据隧道所处的地形、地质条件、埋置深度、支护条件、施工方法、相邻隧道间距等因素确定围岩压力。

4.3.5 隧道支护结构按承载能力极限状态校核时,可按综合安全系数法验算结构强度。也可采用极限状态的分项系数法进行验算。

条文说明:

隧道结构、构件设计宜采用以概率理论为基础、以分项系数表达的极限状态设计方法;不具备条件时,可根据可靠的工程经验或必要的试验研究进行,也可采用容许应力或安全系数等方法。

水下隧道结构计算宜采用基于概率极限状态的分项系数法,分别按施工阶段和使用阶段进行强度、刚度和稳定性计算,并应对使用阶段的变形及裂缝宽度进行验算。

4.3.6 隧道结构设计应根据使用过程中在结构上可能同时出现的作用,按承载能力极限状态和正常使用极限状态分别进行组合,并应取各自最不利的组合进行设计。

4.3.7 对于承载能力极限状态,应按作用的基本组合或偶然组合计算作用组合的效应设计值,并应按下式进行计算:

$$g_0 S_d \leq R_d \quad (4.3.7)$$

式中: g_0 ——重要性系数;

S_d ——作用组合的效应设计值,包括组合的弯矩、剪力和轴力设计值等;

R_d ——结构构件抗力的设计值。

4.3.8 对于正常使用极限状态,应根据不同的设计要求,采用作用的标准组合和准永久组合,并应按下式进行计算:

$$S_d \leq C \quad (4.3.8)$$

式中: C ——结构或构件达到正常使用要求的规定限值,例如变形、裂缝等的限

值。

4.3.9 当隧道结构或地层的变形可能使作用效应显著影响时,应在隧道结构分析中考虑结构或地层变形的影响。

条文说明:

钻爆隧道和软土隧道等的结构计算应考虑周边岩土地层对结构的弹性抗力。地层对结构的弹性抗力根据结构形式、地层特性、加固方法以及施工工艺等因素确定,并考虑结构内力对弹性抗力的敏感程度。

4.3.10 隧道结构施工阶段变形稳定性分析计算应考虑岩土地层、超前支护和(或)初期支护、二次衬砌施工过程的协同作用及其不同承载能力,开展动态反馈设计和信息化施工。

条文说明:

钻爆法等隧道结构一般采用复合衬砌结构,围岩破坏一般自洞周开始,首先出现的破坏通常是张性破裂,接着是塑性剪切流动破坏,如能及时施作支护,使在洞周形成处于稳定状态的承载环,隧道围岩即可保持稳定。新奥法等保护洞周围岩,充分发挥围岩自支承能力,围岩可较大面积进入塑性,但初期支护施工阶段不能塌方,否则要施工超前支护等措施加强。超前支护和(或)初期支护共同构成隧道洞周第一个承载环,该承载环可部分进入塑性,但要保持施工阶段的稳定。第二个承载环是处于弹性状态的二次衬砌结构。隧道地下工程的地质水文条件、环境和作用复杂多变,不确定性显著,需开展动态反馈设计和信息化施工,尤其对于不良地质、复杂环境和大变形隧道等。

4.3.11 隧道、改扩建隧道等采用分步施工开挖时,应采用施工过程数值模拟进行隧道结构或地层的变形稳定性验算。

条文说明:

复杂环境隧道、大跨隧道、连拱隧道、小净距隧道、不良地质隧道、大变形隧道等,施工过程中的支护、力学与变形转换复杂多变,周围环境影响大,对施工过程中的关键环节开展变形稳定性验算。

4.3.12 当隧道结构受浮力作用时,应进行抗浮验算。抗浮结构和构件的承载

力、变形及抗浮设施有效性应符合抗浮性能及结构设计要求。

4.3.13 沉管隧道的结构计算应满足浮运、沉放及运营等阶段的抗浮要求。堰筑隧道的结构计算应满足结构施工及运营阶段的抗浮要求。处于软弱土或人工填土中的浅覆土隧道应进行抗浮安全验算。

4.3.14 钻爆隧道、盾构隧道、沉管隧道及堰筑隧道等使用过程中的抗浮安全系数应大于施工过程中的抗浮安全系数。对地震液化及其他超设计标准工况应进行抗浮校核。

4.3.15 应根据不同工法隧道的结构特点, 采用合适的抗震性能验算指标和验算方法。

4.3.16 隧道结构应验算构件截面强度。结构抗裂有要求时, 对钢筋混凝土及预应力混凝土等构件应进行裂缝宽度验算。

4.4 洞口及洞门

4.4.1 洞口位置应根据地形、地质条件、洞外相关工程及施工条件, 结合总体路线、环境保护、运营要求, 通过经济技术比选确定。

4.4.2 洞门应结合地形地貌、地质条件、气象、地震、人文特点及周边环境条件确定。

条文说明

洞门形式的选择及构造设计, 应与洞口位置的地形地貌相协调, 综合考虑洞口段线位、地质条件、降雨、降雪、地震等确定洞门位置、形式、结构措施等。同时, 应结合人文特点和周边环境进行景观设计。

4.4.3 洞口及洞门无法避开滑坡、危岩、崩塌、泥石流、洪水、风吹雪等不良地质或自然灾害地段时, 应采取针对性防护措施。无法避开软弱地层、季节性冻土、膨胀性岩土等不良地质时, 应采取有效的地基处理措施。

条文说明

近年常发生由于勘察测量深度不足、洞口及洞门位置选择不当、缺乏针对性

的对策措施等,造成落石损毁洞口构筑物、泥石流或积雪掩埋洞口、洞口段衬砌开裂变形、洞门墙失稳等病害或灾害,严重影响行车安全。因此,需加强洞口段及周边影响区的勘察测量工作,强化洞口不良地质或灾害的针对性对策与措施;总体上采取“绕避、治理、防护”的顺序进行处治,其中,防护根据灾害类型进行确定,包括滑坡总体治理、危岩及崩塌处治、区域改沟综合排水、加长明洞或设置防雪棚洞等。另一方面,在总体路线布线时应高度重视洞口位置的选择,确保隧道洞口避开重大不良地质体或自然灾害高发地段。

4.4.4 洞口截排水应根据洞口地形、洞口防护和路基排水,结合地表径流情况综合确定。洞口防洪应按高出百年一遇洪水位 0.5m 以上的标准设计,若无法满足要求时,应在隧道洞口设置防淹设施。

条文说明

若洞口位置不利,极端暴雨情况下山岭公路隧道极易发生洞外洪水或泥石流冲毁隧道洞口,水下隧道易发生洪水倒灌隧道内,严重影响行车安全。因此,周边区域排水专业洞口应统筹隧道、地灾、路基等专业,设置完善的综合截排水系统,对于水下隧道应重点进行洞口防洪设计。

4.4.5 洞口减光构造物应考虑隧道所处地理位置、洞口地形与朝向、设计行车速度及交通量特征等因素,并应兼顾美观协调、取材方便及施工便利等因素。

条文说明

在受东西向阳光直射、水下隧道、城市周边等条件下的洞口,应考虑设置减光设施,洞口减光构造物一般根据功能定位、区域位置、景观需求、材料性能及施工便利性等进行专项工点设计。

4.4.6 洞口边仰坡及洞门应设置便于检查和维护的设施。

条文说明

通过越来越多的隧道运营情况来看,为便于运营期间各种隧道检查、日常养护等工作开展,设置检修步道、扶手等设施是十分有必要的。

4.5 衬砌结构

4.5.1 公路隧道结合不同工法、不同断面、围岩地质条件、施工条件和使用要求，分别采用相应衬砌结构形式。

4.5.2 衬砌结构应有足够的强度、稳定性和耐久性，保证隧道长期使用安全。

条文说明

衬砌结构除了需有足够的强度、稳定性，衬砌结构的耐久性需同样引起重视，近些年出现了诸多类似病害，如：因地下水腐蚀造成衬砌结构混凝土劣化、因钢材防腐性能不足造成钢材类预埋件等脱落等，直接影响衬砌结构和行车安全。

4.5.3 隧道洞口段衬砌、辅助通道与主洞的交叉段衬砌应加强。

条文说明

隧道洞口段一般埋深较浅、地质条件较差，交叉口区域受力条件复杂，有必要加强衬砌结构提升安全性。

4.5.4 应根据工法类型、衬砌类型、使用环境等，对衬砌结构进行针对性的构造设计和要求。

条文说明

通过越来越多的隧道运营情况来看，为便于运营期间各种隧道检查、日常养护等工作开展，设置检修步道、扶手等设施是十分有必要的。

4.5.5 预留洞室和预埋件应能保证隧道结构的稳定和结构强度，不得损害隧道衬砌结构的支护能力。

条文说明

对预留洞室和预埋件设计，应重视对隧道衬砌结构的影响问题，防止出现“小构件、大病害”。

4.5.6 钻爆隧道衬砌结构设计应符合下列规定：

1 隧道衬砌设计应综合围岩地质条件、断面形状、支护结构、施工条件等，充分利用围岩的自承载能力，坚持与贯彻动态设计原则。

2 衬砌结构类型和支护参数应根据使用要求、围岩级别、工程地质与水文地质条件、隧道埋置深度、结构受力特点,并结合周边工程环境、支护手段、施工方法,通过工程类比和结构计算综合分析确定。

3 工程与水文地质较差地段的衬砌应向较好地段延伸,偏压衬砌段应向一般衬砌段延伸。

4 衬砌结构应在洞口段、浅埋段、断层破碎带前后、硬软地层分界处及荷载发生较大变化处设置变形缝。

条文说明

1 钻爆隧道衬砌结构设计应充分利用围岩的自承载能力,并在施工过程中根据围岩条件变化、监控量测数据结果反馈等信息进行实时动态调整,科学合理确定衬砌结构支护参数。

4.5.7 钻爆隧道分部开挖施工时,应进行开挖方法设计,明确各部开挖顺序、临时支护措施和临时支护参数。

条文说明

大跨隧道断面做好分布开挖的开挖顺序、临时支护的设计,确保隧道施工安全和结构稳定。

4.5.8 沉管隧道衬砌结构设计应符合下列规定:

1 管节结构设计除应满足使用功能、结构安全耐久要求外,尚应满足工程施工及运营养护等要求。

2 沉管管节接头、节段接头及最终接头等均应满足受力和防水要求,节段接头还应适应变形要求。

条文说明:

1 管隧道管节结构设计是一个多阶段、多因素耦合的复杂过程,应系统地统筹考虑管节预制、浮运、沉放、对接及长期运营等全寿命周期的各种工况与性能要求,如

(1) 施工受力要求

管节在预制、出坞、浮运、沉放过程中,将承受与运营阶段完全不同的荷载,如浮力、波浪力、水流力、吊装力、支撑反力等。沉管结构必须具有足够的强度

和刚度,确保在这些临时工况下不发生有害变形或损坏,并充分考虑施工工艺需要,如为满足工厂法高效预制,结构构造及配筋等应进行特殊设计。

(2) 水密性要求

管节结构必须具备极高的水密性,防止河水或海水渗入。这不仅要求混凝土自身具备高抗渗性能,更需要对施工缝、变形缝及最终接头等关键部位进行极其可靠的防水密封设计。

(3) 干舷高度与抗浮稳定性要求

管节设计应合理控制干舷,以便于浮运阶段拖航;在沉放着床后及回填覆盖前,应进行精确的抗浮验算,确保管节在基础处理等后续施工中不发生上浮。运营阶段应满足全寿命期的永久抗浮稳定性。

(4) 力稳定性与锚泊系统要求

管节在浮运及沉放定位过程中,其形态(长、宽、吃水深度)应具有良好的水力稳定性,以抵抗水流和风浪的影响。同时,结构上应预设用于系泊、拖航和沉放的精确定位系统(如吊点、拉合座等)的锚固设施。

4.5.9 沉管隧道基槽设计应根据沉管隧道所在区域的地质、水文及回淤条件,满足基础铺设、结构布置、回填施工、边坡稳定、施工工艺及设备 etc 要求。

4.5.10 沉管隧道地基与基础设计应遵循沉管隧道总沉降和差异沉降双控的原则,并与管节结构进行协同设计。

4.5.11 沉管隧道回填设计应满足管节抗浮、抗侧移、防船舶落锚、拖锚、分散沉船荷载、防护管节结构安全的要求,且具备抗冲刷能力。当管节结构高出河(海)床时,回填还应满足防船撞保证结构安全的要求。

4.5.12 盾构隧道衬砌结构应按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计,并结合施工期、运营期等全生命周期内的不同荷载工况开展验算,确保结构具备足够的强度、刚度、稳定性与耐久性。

4.5.13 盾构隧道管片结构设计应符合下列规定:

1 管片的材料、厚度、分块形式及环宽应结合隧道直径、工程水文地质条件、结构受力特点与施工工艺等因素综合确定。

2 管片的构造与连接设计应保证衬砌环在施工千斤顶推力、运营荷载等作用下结构体系的整体性与稳定性。

3 管片设计应满足预制、运输、拼装及盾尾间隙填充等施工环节的技术要求。

4.5.14 盾构隧道衬砌结构设计应计入施工过程的影响，并符合下列规定：

1 结构设计应考虑盾构掘进过程中产生的推进力、刀盘扭矩等施工荷载。

2 管片结构应能承受同步注浆压力，并应保证在注浆体达到预定强度前隧道的稳定性。

4.5.15 盾构隧道特殊地段及工作井区段的结构设计应符合下列规定：

1 对浅覆土、小半径曲线段、小净距段等特殊地段，应进行专项设计，分析其对结构产生的附加内力与变形影响。

2 工作井邻近区段的管片衬砌及连接构造应能适应因边界条件突变引起的纵向不均匀变形。

4.5.16 盾构隧道当设置二次衬砌时，其设计应符合下列规定：

1 二次衬砌的结构形式及其与管片的结合方式（复合式或叠合式）应根据隧道使用功能、结构受力需求及耐久性要求确定。

2 二次衬砌设计应明确其与管片的共同受力机制，或考虑其承担特定功能（如内装饰、防腐蚀、结构补强等）所需的作用。

4.5.17 堰筑隧道应考虑航道、水文、堤防等建设条件，对隧址方案进行综合比选；总体线形应满足安全、舒适的要求，隧道水域段布置方案应控制路线总体设计。

4.5.18 堰筑隧道围堰设计应符合下列规定：

1 围堰工程应遵循安全可靠、就地取材、便于施工和维护的设计原则，具有抵抗风、浪、流和潮汐等功能，并满足通航、行洪等要求。

2 围堰工程的设计工作年限不应小于基坑、主体结构施工周期。围堰需继续利用时应按永久结构设计。

3 堰顶高程不应低于设计洪水的静水位与波浪爬高及堰顶安全加高之和，

堰顶宽度应满足施工需要和防汛抢险要求。与永久堤防结合的围堰应满足堤防工程设计要求。

4 围堰选型应结合地层、水深、风浪、填料来源等因素进行技术经济比选,水深超过 15m 时应进行选型专项研究。堰基处理应满足强度、渗流、沉降变形等控制要求。

条文说明:

对堰筑隧道,围堰是隔断水体,提供隧道干作业环境施工的首要内容。应重视围堰的高程选择、堰体结构选型与稳定、防水抗渗工作,确保围堰设计安全。

4.5.19 堰筑隧道基坑工程应符合下列规定:

1 基坑工程设计应考虑围堰及水体的不利影响,合理确定工程措施。

2 应根据周边环境条件、工程地质和水文地质、开挖深度及施工组织对基坑支护方案进行综合比选。

3 应加强地表、地下水控制,采取止水帷幕、截水、降水、集水明排或其组合方式。

条文说明:

堰筑隧道的基坑设计应考虑围堰及水体荷载影响,根据位置关系、地质情况、开挖深度采取放坡开挖、SMW 工法桩、钻孔桩或连续墙、止水帷幕等基坑围护与止水措施。为减少围堰和水体的影响,土质基坑顶距离围堰体不小于 2 倍基坑深度且不小于 6m 为宜。

4.5.20 堰筑隧道主体结构设计应符合下列规定:

1 暗埋封闭衬砌结构应采用整体式断面,根据隧道功能和受力要求采用矩形、折板拱、空箱等形式。

2 敞开衬砌结构端墙、侧墙高于地面部分应符合下列规定:

1) 端墙、侧墙出地面高度应满足防洪要求和防水层设置要求,墙顶高于设计洪水位应不小于 0.5m。

2) 当端墙、侧墙外侧设有道路时,应满足道路防撞要求,并符合交通安全设施设计的有关规定。

3) 端墙、侧墙出地面高度应满足防坠落要求,且不应低于 1.1m。

3 应根据地层条件、结构形式、覆土深度等设置变形缝,变形缝应避免附属洞室、设备用房等。

4 隧道结构应满足抗浮设计要求。抗浮安全系数施工期应不小于 1.05,使用期水中段应不小于 1.2,岸坡段应不小于 1.15。对地震液化及其他超设计标准工况进行使用期抗浮校核时,抗浮安全系数应不小于 1.05。

条文说明:

堰筑隧道主体结构包括封闭式暗埋段和 U 槽敞开段两类,暗埋衬砌结构属于浅埋,覆土厚度能满足自重抗浮需要时较为经济,根据结构跨度和埋深大小采用折板拱或矩形框架结构。敞开衬砌结构应满足抗浮和防洪要求。

4.5.21 堰筑隧道的基础与回填应满足下列规定:

1 隧道基础应满足地基承载能力、设计工作年限内主体结构变形控制的要求。当地基不满足设计要求时,应采用换填、桩基、复合地基等进行地基处理。

2 结构回填应在隧道主体结构达到设计强度后进行,回填材料需考虑水流冲刷、结构抗浮、防水抗渗等因素。

条文说明:

堰筑隧道基础应位于稳定的地层,当基底存在淤泥或淤泥质地层等压缩性较大的地层时,应采取地基加固措施控制隧道产生过大的沉降或不均匀沉降导致结构开裂、接缝渗水等不利影响。衬砌周边 1m 厚以采用渗透系数小的黏土回填为宜,压实度不小于 94%,其余范围的回填材料和压实度要满足抗浮、防冲刷要求。

4.5.22 堰筑隧道围堰、基坑等工程施工应开展施工监测,并兼顾运营监测的需求。

4.6 防排水

4.6.1 公路隧道防排水设计应遵循“防、排、截、堵相结合,因地制宜,综合治理”的原则,妥善处理地表水、地下水,并应符合下列规定:

1 衬砌结构防水应以结构自防水为根本,以接缝防水为重点,多道防线,并加强防水薄弱处的防水设计。

2 山岭隧道洞内外排水系统应完整通畅。对限制排水地段应以防为主,采

用封闭衬砌或限制排放衬砌。

3 盾构隧道、沉管隧道、堰筑隧道及其他限制排水的隧道衬砌结构与接缝的防水设计应满足外水压下的防水要求。

4 隧道路面下应设置排水系统。

5 隧道内向洞外排放的水质应满足洞外环境保护要求。

6 非自重流排水的隧道应能满足表 4.6.1 规定的设防水位和设计雨水流量，并结合隧道结构特点、隧道渗水量及消防、冲洗等用水量合理确定截排水和防淹方案。具有城市排洪兼交通功能的隧道可不受洪水频率限制。

表 4.6.1 隧道设计洪水频率或雨水流量设计重现期

公路等级	设计洪水频率或设计重现期		
	特长、超长隧道	长隧道	中、短隧道
高速公路	1/100	1/100	1/100
一级公路	1/100	1/100	1/100
二级公路	1/100	1/50	1/50
三级公路	1/50	1/50	1/25
四级公路	1/50	1/25	1/25

4.6.2 公路隧道结构防水等级应分为三级，各等级防水标准应符合表 4.6.3 的规定：

表 4.6.3 公路隧道防水标准

防水等级	防水标准	适用范围
一级	不应有渗水，结构背水面无湿渍	隧道内地下机房、供电电房、大型电器设备洞室
二级	不应有滴漏、线漏，结构背水面可有零星分布的湿渍	各等级公路隧道的主洞、车行横通道、人行横通道、平行导洞、专用疏散通道
三级	不应有线流、漏泥砂，结构背水面可有少量湿渍、流挂或滴漏	斜井、竖井及其他运营辅助通道

4.6.3 公路隧道的防水设防要求，应根据使用功能、使用年限、水文地质、结构形式、环境条件、施工方法及材料性能等因素确定，并应符合下列规定：

1 钻爆隧道复合式衬砌的二次衬砌应采用防水混凝土，并在初期支护和二次衬砌之间设置防水卷材或防水涂料。

2 堰筑隧道、明挖隧道衬砌应包括结构自防水及变形缝、施工缝、后浇带、诱导缝等接缝的防水，防水措施应满足设防要求。

3 盾构隧道管片应包括管片自防水和接缝防水。应至少设置 1 道密封垫沟槽,管片接缝密封垫应能在设计允许的接缝最大张开量、最大错位量时满足设计使用年限内 2 倍设计水头高度下不渗漏。

4 沉管隧道管节防水应包括结构防水、施工缝防水和接头防水。管节应以混凝土或钢壳自防水为主,管节接头应采用不少于两道密封止水。底钢板作为底部防水层时,应与侧墙及管顶的外防水层、两侧的钢端壳连接,形成完整的防水体系。

4.6.4 公路隧道迎水面衬砌结构应采用防水混凝土,并根据防水等级、抗渗等级进行设计,采取减少开裂的技术措施。

4.6.5 隧道衬砌预制构件接缝、变形缝(诱导缝)、施工缝、后浇带、穿墙管(盒)、预埋件、预留通道接头、桩头等细部构造,应加强防水措施。

4.6.6 明挖隧道覆土厚度小于 2m 的顶板在有种植需求时,应至少设置一道具有耐根穿刺性能的防水层,其上应设置保护层。

4.6.7 钻爆隧道排水系统设计应包括洞内排水和洞外排水,排水系统应完善可维护,清洗、消防等污水应与围岩渗水分离排放。

条文说明:

钻爆隧道衬砌背后应设置横向、纵向排水盲管,路面结构下、路面两侧应设纵向排水管沟,形成收集、排放围岩渗水的排水系统。纵向中心排水沟断面尺寸应满足排放和围岩渗水量的需要,其过水能力应不小于预测涌水量的 2 倍。排水系统应设置检查井等可维护设施。隧道洞口出洞方向的路堑为上坡时,应采取避免洞外水流入隧道的措施。当隧道设置凹形竖曲线无法采用重力流排水时,隧道排水设计还应符合本标准 4.6.10 的规定。

4.6.8 盾构隧道、沉管隧道、堰筑隧道、明挖隧道排水系统应考虑工程区域降雨特征、洞口地形条件与汇水面积、消防用水量,以及洞口防洪等因素,结合隧道结构特点进行洞内外排水系统设计,形成完善通畅的排水通道。

条文说明:

盾构隧道、沉管隧道、堰筑隧道、明挖隧道排水系统应采用分类集中、高水

高排、低水低排、互不连通的系统就近排放。雨水与清洗、消防废水应分类排放。排水系统应采取强排措施，并在管道出口采取防倒灌措施。隧道洞口排水系统应能可靠排放不低于表 4.6.1 中重现期暴雨强度计算的雨水设计流量，暴雨强度应采用当地暴雨公式及计算参数。雨水泵房的排水能力不应小于雨水设计流量的 1.2 倍。雨水泵房集水池的有效容积不应小于 5~10min 的雨水设计流量，并应满足水泵的安装检修要求。洞内废水泵房排水能力应不小于消防废水量的 1.2 倍。废水泵房集水池有效容积应不小于最大一台排水泵 15~20min 的出水量。

4.6.9 应根据设计洪水位，对隧道的排水管沟、U 槽、出入口、风井等采取防倒灌措施；寒冷及严寒地区的排水管沟应采取防冻措施。。

4.7 特殊形式隧道

4.7.1 特殊形式隧道包括小净距隧道、连拱隧道、分岔隧道、棚洞等，应综合地形地质条件限制、周边构造物影响、运营安全考虑及路线总体设计需要等合理布设，其设计标准、基本原则等应与同路段或其他一般段隧道保持一致。

4.7.2 小净距隧道应根据围岩地质条件和两洞净距，对施工顺序、开挖方法、临时支护措施等提出要求，并根据中夹岩的稳定性提出中夹岩保护或加固措施。

4.7.3 连拱隧道二次衬砌应采用钢筋混凝土结构，其支护参数、施工顺序、开挖方法等的确定应充分考虑围岩地质条件、地形偏压等影响。

4.7.4 分岔隧道应根据围岩地质条件、左右洞线间距和施工方法等综合确定分岔段长度及结构变化布置，其中连拱起始段、小净距起始段应按降低一级围岩进行支护设计。

4.7.5 棚洞应根据功能需要、地形与地质条件、环境荷载条件等进行结构选型与设计，靠山侧回填高度范围外的边坡应按永久边坡进行防护设计。

4.8 辅助通道

4.8.1 应根据隧道运营及施工等功能需要，通过经济技术综合比较合理设置竖井、斜井、平行导洞、联络风道、地下风机房、横通洞及工作井等辅助通道。

4.8.2 斜井与竖井应设置在地质较好地段，井口高出设计洪水位不应小于0.5m，如设在低洼地形处，应有确保安全的防洪措施。

4.8.3 平行通道与隧道的净距应按地质条件、主洞开挖宽度、施工方法等因素确定，当有扩建为交通隧道需求时，应考虑后期扩建施工影响。

4.8.4 通风联络风道应选择在地质条件较好地段，风道断面面积的大小应根据通风需要而确定。

4.8.5 地下风机房应依据设备运输、安装、运营、维护等因素进行综合设计，并配套设备与工作人员进出通道、紧急疏散通道。

4.8.6 盾构工作井布置应满足施工期盾构机组装、始发、接收、拆解、吊装及运输等作业的空间与工艺要求，并兼顾运营期交通通行、安全疏散、设备运维等长期功能需求。

4.9 辅助工程措施

4.9.1 隧道穿过软弱岩层以及不良地质地段时，应根据地形、地质及环境等条件，结合各隧道工法的施工控制要求，采用超前预支护、地层加固处理、降排水等辅助工程措施。

4.9.2 钻爆法隧道在地质较差的洞口段、洞身易塌方段、断层破碎带及其影响带，应选择采用超前管棚、管幕、超前预注浆加固等方式进行支护。

4.9.3 浅埋暗挖隧道临近建构筑物施工时，应采取隔离桩、管幕法、冷冻法等措施严格控制沉降或变形，并根据现场监控量测反馈进行信息化设计与动态施工。

4.9.4 堰筑隧道的围堰防渗应根据地质条件、基坑支护及防渗方案采取处理措施，包括水泥或粘土水泥灌浆、高压喷射灌浆、防渗土工膜、锁口钢板（管）桩墙等方式。

4.9.5 盾构隧道应进行壁后注浆，并采取措施减少注浆施工对周围环境的影响。

4.9.6 沉管管节沉放安装前，应对水下基槽底及边坡进行监测，并采取措施对超标的回淤物及异物等进行清除。

4.10 改扩建

4.10.1 隧道改扩建方案确定前应对既有隧道技术状况、运营状况进行调查,并进行专项检测,评定既有隧道技术状况。

条文说明:

隧道改扩建设计前应对既有隧道的设计、施工及运营安全等情况进行详细的调查,为隧道改扩建方案确定、既有隧道维修加固、施工期间应急预案制订等提供基础资料。既有隧道技术状况的调查主要进行隧道竣工图、设计与施工阶段相关地质资料、设计与施工变更情况、施工记录等原始资料的收集整理,并对隧道运营后隧道结构与附属设施的病害与处治情况、通风照明及其他机电设施的运营状况、交通事故情况等进行全面调查、统计分析。

既有隧道衬砌背后可能存在脱空、衬砌裂损、渗漏水等病害,直接进行改扩建施工可能会引发施工风险事件,改扩建设计前需对既有隧道可能存在的病害进行检测,并评定既有隧道技术状况。

4.10.2 应根据公路功能、技术等级结合地形、地质、路线总体、运营状况、应急救援、原有隧道现状等,对增建隧道、原位扩建、既有隧道改造及其组合方式等进行多方案比选。

4.10.3 原位扩建和增建的隧道应按现行标准执行。利用原有隧道加固改造时,交通工程及附属设施应采用现行标准,并应进行交通安全评价。

4.10.4 同向分行的双洞隧道,隧道外接线分流起点、合流终端与隧道洞口距离应满足行车安全要求。

条文说明:

同向分行时线形设计需符合路线设计要求,分流前要有足够的识别视距,避免车道变换不及时影响行车安全;合流端需位于隧道出口外一定距离,避免“白洞效应”造成驾乘人员对前方路况识别不及时诱发交通事故。

4.10.5 衬砌结构设计应考虑地形、地质条件、增建、原位扩建方式以及与既有隧道相互作用等因素的影响,并满足围岩稳定、结构耐久的要求。

条文说明:

隧道增建和扩建的布置方式、既有隧道的位置和技术状况会对隧道的衬砌受力造成影响,在衬砌的设计中需充分的考虑。

4.11 抗震

4.11.1 抗震设防烈度大于 6 度地区的公路隧道必须进行抗震设防;抗震设防烈度大于 9 度地区或有特殊要求的公路隧道抗震设计应作专门研究。

4.11.2 应根据公路隧道的重要性和修复(抢通)难易程度,划分抗震设防类别,并确定相应的抗震设防标准和设防目标。

4.11.3 公路隧道所在地区的抗震设防烈度应采用根据现行国家标准《中国地震动参数区划图》GB 18306 确定的地震基本烈度。已完成地震安全性评价的工程场地,应按审定的抗震设防烈度或设计地震动参数进行抗震设防,且不应低于现行国家标准《中国地震动参数区划图》GB 18306 的要求。对特别重要或可能发生严重次生灾害的公路隧道工程,其场地所在位置应进行地震安全性评价。

4.11.4 隧道在选址时应考虑发震断裂错动、滑坡、崩塌、液化、震陷等地震影响,绕避抗震不利地段和危险地段,并符合下列规定:

1 场地内存在发震断裂时,应避开主断裂带,设计基本地震动峰值加速度大于或等于 0.20g 和 0.40g 的地区,其避让距离应分别不小于 300m 和 500m。不能避开主断裂带时,应对其影响进行专门研究。

2 存在饱和松砂和饱和粉土的地基,除设计基本地震动峰值加速度为 0.05g 的地区外,应进行液化判别并采取相应的抗液化措施。

4.11.5 公路隧道抗震设计的地震作用应采用所在地区基本地震动参数和抗震重要性系数来表征,并符合下列规定:

1 应考虑沿结构横断面方向的水平向地震作用。

2 盾构隧道和沉管隧道应同时考虑沿横断面方向和沿结构纵向的水平向地震作用。

3 当竖向地震作用引起的地震效应很显著时,应考虑竖向地震作用。

4.11.6 应根据结构及地质条件选用合适的计算方法,包括静力法、反应位移法、反应加速度法和时程分析法等,必要时应采用多种计算方法进行对比验证。计算模型应能正确反映衬砌与地层的相互作用,其边界条件、地震作用和材料参数应与所选择的方法相适应。

4.11.7 隧道抗震验算时,应根据抗震性能要求分别进行强度验算、变形验算、稳定性验算和地基承载力验算。

4.11.8 钻爆隧道应对隧道洞门、明洞及洞口浅埋段、断层破碎带段、软硬地层变化段、结构形式变化段等进行抗震验算。

4.11.9 盾构隧道横向抗震计算可采用横向等效刚度梁模型或梁-弹簧模型,纵向抗震计算可采用纵向等效刚度梁模型或梁-弹簧模型,并对管片结构、环向接头、环间接头、横通道连接处、盾构工作井连接处等进行抗震验算。

4.11.10 沉管隧道应选用合适的计算方法开展横向与纵向、整体与局部的抗震计算,并对管节结构、管节之间的接头、管节与暗埋段之间的接头、接头剪力键等进行抗震验算。

4.11.11 公路隧道应根据抗震设防类别、设防烈度和结构特征,采取合理的抗震措施,提高结构延性与变形能力。

5 机电与交通安全设施设计

5.1 一般规定

5.1.1 应根据隧道及整个路段的运行及管理需求设置机电与交通安全设施。

5.1.2 机电与交通安全设施应根据隧道重要程度、单洞长度和设计年度预测单洞年平均日交通量等因素进行分级配置。

条文说明：

设计年度指预测交通量选取年度。

5.1.3 机电设施应一次设计，可根据交通量发展情况分期实施，但同土建工程相关的基础工程、预留预埋工程等应在土建工程施工时一并实施。

5.2 供配电设施

5.2.1 隧道重要设施电力负荷应根据供电可靠性和中断供电对人身和行车安全造成的危害，对经济造成的损失和正常运营秩序的影响，确定负荷等级。

5.2.2 隧道一级负荷应由两个电源供电，并应符合下列规定：

1 当一路电源发生故障时，另一路电源不应同时受到损坏。每个电源的容量应满足全部一级用电负荷的供电要求。一级负荷容量不大时应优先采用从邻近的电力系统取得第二低压电源，亦可采用应急发电机组作为备用电源。

2 对于隧道一级负荷中特别重要负荷，除上述双重电源外，还必须设置不间断电源装置（UPS）或应急电源装置（EPS）作为应急电源，并严禁将其它负荷接入应急供电系统。

3 两个供电电源之间的切换时间应满足用电设备允许中断供电时间的要求。

5.2.3 当采用应急发电机组作为备用电源时，应满足用电设备连续供电时间和供电容量的要求。

5.2.4 电气装置用房的选址应靠近负荷中心，考虑防火、防蚀、防污、防水、防雨、防雪、防振的要求，确保使用的稳定性和安全性。

5.2.5 电气设备布置间距应满足安全净距要求和人员操作维护所必需的安全距离。

5.2.6 继电保护装置应满足可靠性、灵敏性、速动性和选择性的要求。

5.2.7 高压配电系统的短路故障保护应具备可靠、快速且有选择地切除被保护设备和线路的短路故障的功能。

5.2.8 低压配电回路应设置短路保护，并应在短路电流造成危害前切断电源。

5.2.9 供配电设备选用应安全可靠，适应工作环境，便于安装、操作、维护、检修、试验和监测，具有“五防”功能。

5.2.10 供配电线路应综合考虑载流量、电压损失、电容电流等因素并结合地形条件进行设计。

5.2.11 电气设备应按外界影响条件采用一种或多种低压电击故障防护措施。

5.3 通风与排烟设施

5.3.1 隧道通风应能稀释烟尘和一氧化碳 (CO)，应具有火灾排烟功能，并能根据需要稀释氮氧化物 (NO_x)。

条文说明：

公路隧道通风的主要稀释对象限于烟尘、CO、NO_x，在发生火灾时控制烟雾。汽车排放的废气中有害物质包括 CO、NO、NO₂、Pb、CO₂、SO₂、HCHO 和烟尘等。其中，CO、NO₂ 对人体健康的影响比较突出，烟尘对隧道能见度的影响比较突出，故通风设计时将其浓度作为主要的设计或控制指标。

烟尘包含汽车排放的烟气和非尾气颗粒物。隧道内影响能见度的烟尘除了汽车尾气排放的烟气外，还有汽车行驶过程中因刹车和轮胎磨损所产生的颗粒物、隧道内地面扬尘等。随着汽车排放标准的逐步提高，燃油汽车尾气排放逐渐减少，而非尾气颗粒物在总烟尘量中的比例逐渐增加，因此通风设计需要考虑非尾气颗粒物。

氮氧化物 (NO_x) 是燃油燃烧过程中产生的污染物。如果隧道排风口 (通风井排风口和隧道行车方向出口) 位于对 NO_x 有排放要求的环境敏感区，如居民区

等，可能需要稀释 NO_x 。

5.3.2 隧道通风设计应综合公路技术等级、工程特点、设计交通量及交通组成、隧址区域自然条件等因素，选择经济节能的通风方案和运营通风控制策略。应充分利用自然通风。

条文说明：

在符合相应的通风标准的前提下，隧道通风节能需通过细致分析公路技术等级、工程特点、设计交通量、机动车有害气体排放量、洞内壁面状况、隧道洞口和营运辅助通道口的自然条件等特点，合理选定通风标准，并进行多方案的综合经济技术比较，“因隧制宜”，从而确定通风设计方案。

采用通风井送排式纵向通风的隧道，可以设置自然风道，充分利用通风井自然风进行通风。

5.3.3 隧道内设计风速取值应符合下列规定：

- 1 单向交通隧道的设计风速不应大于 12m/s。
- 2 双向交通隧道的设计风速不应大于 8m/s。
- 3 行人与车辆混合通行的隧道设计风速不应大于 7m/s。

5.3.4 长度 $L > 1000\text{m}$ 的高速公路和一级公路隧道，长度 $L > 2000\text{m}$ 的二级公路隧道应设置机械排烟系统。

5.3.5 隧道火灾热释放率不应低于按表 5.3.5 的规定。

表 5.3.5 隧道火灾热释放率取值 (MW)

通行方式	隧道长度 (L)	高速公路	一级公路	二级公路
单向交通	$L > 5\text{km}$	30/50	30/50	-
	$1\text{km} < L \leq 5\text{km}$	20/30	20/30	-
双向交通	$L > 4\text{km}$	-	-	30
	$2\text{km} < L \leq 4\text{km}$	-	-	20

注 1：运煤专用通道、客车专用通道等特殊隧道火灾热释放率取值宜根据实际条件具体确定。

注 2：“*/*”前者为山岭隧道取值，后者为水下隧道取值。

条文说明：

本细则结合国内公路隧道安全隐患严重的实际情况，参考了 PIARC2007 年报

告引用的文献,并考虑了道路等级、隧道长度、交通方式(单向还是双向)、隧道位置(山岭还是水下)等主要因素,提出了取值。由于交通量与道路等级密切相关,因此这里没有再单独列出交通量的指标。

5.3.6 隧道机械排烟系统应遵循下列原则:

1 应能有效控制起火隧道的火灾烟气不侵入横通道、相邻隧道、专用疏散通道、附属用房等场所。

2 应能有效抑制火灾烟气的扩散,并将火灾烟气迅速排至洞外,为人员疏散和灭火救援创造有利条件。

3 与通风系统合用时,通风系统应具备在火灾时快速转换的功能,并应符合防烟、排烟系统的要求。

5.3.7 隧道的防烟排烟设计应综合考虑隧道类别、交通组成、交通密度、隧道长度、隧道平纵、疏散设施和隧址环境等因素。

条文说明:

隧道的类别(水下隧道、山岭隧道)、交通组成、交通密度和隧道长度等决定了隧道火灾的可能规模及隧道的防烟排烟方案,影响发生火灾时可能疏散的人员数量及疏散设施的布设;疏散设施和隧址环境决定了隧道人员逃生难易程度。因此,在进行隧道防烟排烟设计时,需综合考虑各种因素。

5.4 照明设施

5.4.1 各等级公路隧道照明设置条件应符合下列要求:

1 长度 $L > 200\text{m}$ 的高速公路隧道、一级公路隧道应设置照明。

2 长度 $100\text{m} < L \leq 200\text{m}$ 的高速公路光学长隧道、一级公路光学长隧道应设置照明。

3 长度 $L > 1000\text{m}$ 的二级公路隧道应设置照明;三级、四级公路隧道应根据实际情况确定。

4 设置人行通道及非机动车道的隧道,应根据隧道长度和环境条件设置满足行人、非机动车通行需求的照明设施。

条文说明:

光学长隧道是指在洞口外距洞口一个停车视距处,在道路中心线、离地面 1.5m 高位置不能完全看到另一洞口内轮廓的曲线隧道。

5.4.2 公路隧道照明设计应使隧道内外环境亮度过渡、路面平均亮度、路面亮度总均匀度、路面中线亮度纵向均匀度适应通行需求。

5.4.3 长度 $L>500\text{m}$ 的高速公路隧道应设置主洞应急照明系统,长度 $L>1000\text{m}$ 的一级、二级公路隧道应设置主洞应急照明系统。

条文说明:

应急照明指在停电等特殊情况下所提供的临时照明。

5.4.4 公路隧道照明设计应根据交通量、车速、洞外亮度、季节更替等多种因素和运营工况制定调光控制策略,并应采用自动控制为主、手动控制为辅的控制方式。

条文说明:

隧道照明系统通常按满足最不利工况进行设计,不分工况开启照明设施可能会造成能耗增加或存在安全隐患。

5.5 消防与排水设施

5.5.1 隧道消防给水系统应独立设置,其消防用水量应按照需要同时开启的所有灭火设施用水量之和计算。当市政供水设施、天然水源不能满足隧道消防用水要求时,应设置消防水池。

5.5.2 消防灭火设施设计内容应包括灭火器、消火栓、固定式水成膜泡沫灭火装置、泡沫-水喷雾自动灭火系统、隧道消防给水设施及其他设施等。

5.5.3 设有消防给水设施的隧道,在洞口附近应设置室外消火栓和消防水泵接合器,其数量根据隧道消防用水量计算确定。

5.5.4 隧道内最不利消火栓出水压力不应低于 0.3MPa ,当出水压力大于 0.5MPa ,应采取减压措施。当隧道消火栓栓口静压大于 1.0MPa 或消防给水系统工作压力大于 2.4MPa ,应分区供水。

5.5.5 隧道固定式水成膜灭火装置设置间距不应大于 50m, 泡沫混合液流量不应小于 30L/min, 射程不应小于 6m。泡沫混合液连续供给时间不应小于 20min。隧道消火栓装置设置间距不应大于 50m。

5.5.6 隧道泡沫-水喷雾灭火系统沿隧道纵向布置, 设置间距不应大于 50m, 泡沫喷雾持续时间不小于 20min。

5.5.7 隧道内应设置灭火器装置, 灭火剂充装量不应小于 5kg 且不应大于 8kg, 布置间距不应大于 50m。

5.5.8 消防给水管道设计符合下列规定:

- 1 应能保证消防用水量、水压和供水安全的要求。
- 2 消防给水管道应布置成环状且环状管网的进水管不应少于 2 根, 当其中一根发生故障时, 其余进水管应能保证消防用水量和水压的要求。
- 3 应设置管道伸缩器及自动排气阀、放空阀等管道附属设施。
- 4 寒冷地区的消防给水管道及消防水池应采取保温防冻措施。
- 5 位于隧道洞口附近的室外消火栓和水泵接合器应采取防止车辆撞击的保护措施。

5.5.9 消防设施联动应满足下列规定:

- 1 消防水泵、泡沫泵、喷淋泵、水喷雾阀组等控制设备, 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。

条文说明:

联动控制方式定义:

1 联动控制是指火灾自动报警系统在接收到来自火灾探测器、手动火灾报警按钮或其他火灾触发器件发出的火灾报警信号后, 按照预设的逻辑关系, 自动向需要联动的消防设备(如消防水泵、泡沫泵、喷淋泵、水喷雾阀组等)发出启动指令的控制方式。

2 触发方式通常需要两个及以上独立的火灾探测信号触发。

手动直接控制方式定义:

手动直接控制方式是指在消防控制室的墙上或控制台上, 设置一组独立的、

带有物理按钮/开关的控制盘。每个按钮通过独立的、专用的电缆直接连接到现场消防泵控制柜的启动端子。

2 火灾时消防设施（消防水泵、泡沫泵、喷淋泵、水喷雾阀组）的开启、关闭和故障状态应反馈至消防联动控制器。

5.5.10 隧道内应设置排水设施，并应符合下列规定：

1 排水设施应考虑排除渗水、雨水、隧道清洗等水量和灭火时的消防用水量，并应采取防止事故时可燃液体或有害液体沿隧道漫流的措施。

2 对需非重力排水的隧道应在隧道低点处设置雨、废水泵房，应根据设计排水流量合理选择排水泵型号和数量，并应至少备用 1 台。

5.6 监控与通信设施

5.6.1 监控与通信设施设计应满足隧道运行所需的平台管理、交通监控、紧急呼叫、火灾探测与报警等管理与服务需求。

5.6.2 隧道管理平台应根据运行管理需求及设施配置情况，采集车辆通行信息、监控视频信息、环境信息、紧急电话呼叫信息、火灾报警数据信息、设施状态信息，具备设施控制与交通诱导功能、显示功能、日常运行和应急处置功能、管理功能。

条文说明：

设施控制与交通诱导功能一般包括：

1 控制风机、灯具、摄像机、消防水泵、车行横通门的运行。

2 设置通行信号灯、车道指示器、可变标志及其他警示装置的的显示内容或工作状态。

3 设置声光警报器的工作状态。

4 通过广播设施发布语音信息。

显示功能一般包括：

1 实时轮流显示各路视频图像，根据需要自动切换各视频图像。

2 进行放大、缩小、移动等图形操作。

3 显示各设施位置及其状态、异常报警信息。

4 将采集和分析所得数据以图形和数字相结合的方式实时、动态地显示。

5 各设施网络拓扑展示。

日常运行和应急处置功能一般包括：

1 针对隧道正常通行及周期性拥堵工况，内置各类设施运行方案并能自动或手动执行。

2 对可能发生的紧急事件，根据管理单位备案的应急预案内置应急处置方案。在紧急事件发生时，应急处置方案经确认后应能迅速执行有关操作。

管理功能一般包括用户管理、组织管理、角色管理、权限管理、菜单管理、数据字典管理、日志管理、网络管理、授时管理、查询与报表。

5.6.3 交通监控设施应帮助管理者收集和处理交通信息、监视隧道通行车辆状态及交通运行状态并具有对隧道交通进行控制与诱导的功能。

5.6.4 紧急呼叫设施设计应符合下列规定：

1 在隧道内发生异常情况时，紧急电话设施应为司乘人员提供一种快速语音求助手段。

2 隧道广播设施应为管理人员提供一种声音信息发布手段，对隧道区域内车辆及人员进行警示、指挥、疏导。

5.6.5 在隧道及运营管理附属建筑发生火情时，火灾探测报警设施应及时将火警信息及火情发生位置信息上传到隧道管理机构或管理平台。

5.7 交通安全设施

5.7.1 应根据隧道具体情况设置交通标志、交通标线、视线诱导设施、护栏及缓冲设施、防落网等交通安全设施。

5.7.2 交通标志的板面内容应简洁明晰、视认性好，应能准确、醒目地向用路者提供警告、禁令、指示、指路、告示等信息。

5.7.3 交通标线设置应满足下列要求：

1 交通标线在白天、夜间及雨天均应能清晰地识别与辨认。

2 交通标线的设置应与标志内容相互配合协调。

3 公路隧道出入口路段标线应进行过渡设计。

5.7.4 视线诱导设施应简明、清晰地指示公路线形轮廓及路线走向、隧道轮廓、设施轮廓。

条文说明：

此处视线诱导设施主要包括轮廓标、隧道轮廓带、横通道洞口发光带。

5.7.5 高速公路、一级公路及作为干线的二级公路的隧道出入口处，护栏应进行过渡段设计。隧道入口护栏过渡时，应完全遮蔽检修道迎车面。当受条件限制的公路隧道入口未作护栏过渡处理时，应设置可导向防撞垫。

5.7.6 公路隧道紧急停车带迎车面端部应设置缓冲设施。

5.7.7 公路隧道内设置有非机动车道时，机动车道与非机动车道之间应设置隔离护栏。

5.7.8 在有可能产生落石的隧道洞口，应对可能产生落石的危岩进行处理或设置防落石网。

5.7.9 公路隧道洞口上方因车行或人行可能产生落物时，应设置防落物网。

6 施工与验收

6.1 一般规定

6.1.1 隧道施工安全风险评估应在施工前完成,专项风险评估贯穿整个施工过程。

条文说明:

《公路工程施工安全技术规范》(JTG F90-2015) 3.0.9 条规定:“公路工程施工应编制综合应急预案、专项应急预案和现场应急处置方案,配备应急物资,并应定期组织相关人员进行应急培训和演练。” 9.1.1 条规定:“隧道施工前应开展安全风险评估,辨识施工过程中的主要危险源及危害因素,制定安全防护措施,并根据工程建设条件、技术复杂程度、地质与环境条件、施工管理模式以及工程建设经验对隧道工程实施动态风险控制和跟踪处理。”

《公路隧道施工技术规范》(JTG-T3660-2020) 4.4.1 条规定:“应建立健全隧道施工安全质量风险控制体系。” 4.4.2 条规定:“隧道施工应按相关规定进行安全质量风险辨识、评估以及其他风险控制工作。”

《公路水运工程施工安全风险评估指南 第 1 部分:总体要求》(JTJ 1375.3-2024) 4.1 节规定“施工安全风险评估分为总体风险评估和专项风险评估两个阶段。总体风险评估宜在项目施工招标前完成。专项风险评估包括施工前专项风险评估、施工过程专项风险评估和风险控制预期效果评价等环节,贯穿整个施工过程。”

《公路水运工程施工安全风险评估指南 第 3 部分:隧道工程》(JTJ 1375.3-2024) 第 4 章基本要求规定“隧道工程施工安全风险评估的基本要求宜符合 JT/T1375.1-2022 第 4 章的要求,其中,总体风险评估按隧道单洞或单个竖井、斜井划分评估单元,专项风险评估宜结合地质情况按隧道施工区段划分评估单元。”

6.1.2 隧道施工前,应编制施工组织设计、应急预案和现场处置方案,对风险等级较高的分部分项工程应编制专项施工方案。

条文说明:

《盾构法隧道施工及验收规范》(GB 50446-2017)3.0.3 条规定:“盾构施工专项施工方案和应急预案应根据盾构类型、地质条件和工程实践制定。”

《公路隧道施工技术规范》(JTG-T3660-2020)4.1.2 条规定:“隧道施工前,应编制施工组织设计,并做好施工准备和组织落实工作。”4.4.3 条规定:“应依据风险评估结论,对风险等级较高的分部分项工程编制专项施工方案。”4.4.4 条规定:“应编制应急预案,储备应急物资,开展应急演练。”

《公路工程施工安全技术规范》(JTG F90-2015)3.0.9 条规定:“公路工程施工应编制综合应急预案、专项应急预案和现场应急处置方案,配备应急物资,并应定期组织相关人员进行应急培训和演练。”

《公路水运工程安全生产监督管理办法》(中华人民共和国交通运输部令 2017 年第 25 号)规定:

第二十四条 公路水运工程建设应当实施安全生产风险管理,按规定开展设计、施工安全风险评估。

施工单位应当依据风险评估结论,对风险等级较高的分部分项工程编制专项施工方案并附安全验算结果,经施工单位技术负责人签字后报监理工程师批准执行。

第二十五条 建设、施工等单位应当针对工程项目特点和风险评估情况分别制定项目综合应急预案、合同段施工专项应急预案和现场处置方案,告知相关人员紧急避险措施,并定期组织演练。

第三十五条 施工单位应当书面明确本单位的项目负责人,代表本单位组织实施项目施工生产。(六)依据风险评估结论,完善施工组织设计和专项施工方案。(八)组织制定本合同段施工专项应急预案和现场处置方案,并定期组织演练。

6.1.3 应采取合理的施工方法、施工措施,保障施工过程中隧道结构的稳定和人员的安全。

6.1.4 隧道施工条件(环境)应符合职业健康要求,应采取烟尘、有害气体、噪音、高温、低温、低氧、辐射等防护措施。

6.1.5 隧道工程施工应采取必要的环境保护措施。

条文说明：

《公路隧道施工技术规范》(JTG-T3660-2020)1.0.6条规定：“隧道施工必须遵守国家关于生态保护、环境保护、水资源保护的法律法规，采取防止噪声、粉尘、废水等污染环境的措施。”

《盾构法隧道施工及验收规范》(GB 50446-2017)3.0.1条规定：“盾构法隧道施工应具有施工管理体系，应建立质量控制和检验制度，并应采取安全和环境保护措施。”

《沉管法隧道施工与质量验收规范》(GB51201-2016)3.0.9条规定：“沉管隧道工程施工应采取必要的环境保护措施。”

《公路水下隧道设计规范》(JTGT 3371-2022)1.0.5条规定：隧道设计应贯彻国家相关技术经济政策，做好环境保护工作，积极慎重地采用新技术、新材料、新设备、新工艺。”

6.1.6 隧道施工应建立健全质量保证体系，对施工质量进行全过程控制，加强对进场检验及隐蔽工程、关键工序的质量验收。

条文说明：

《公路隧道施工技术规范》(JTG-T3660-2020)1.0.3条规定：“隧道施工必须遵守国家和行业的质量验收标准，建立完善的质量保证体系制定切实可行的质量管理制度，采取质量保证措施。”

《盾构法隧道施工及验收规范》(GB 50446-2017)3.0.4条规定：“工程原材料、半成品和成品进场应进行验收，质量合格后方可使用。”3.0.9条规定：“质量合格指标应符合下列规定：主控项目的质量达到100%时，应为合格；一般项目的质量达到95%及以上时，应为合格；应具有完整的施工质量验收依据和质量验收记录。”

《沉管法隧道施工与质量验收规范》(GB51201-2016)3.0.8条规定：“沉管隧道工程应划分为单位(子单位)工程、分部(子分部工程、分项工程和检验批，作为工程施工质量检验和验收的基础。”15.0.1~15.03关于开工前、施工过程中和竣工验收的相关规定。

6.1.7 机电与交通安全设施施工应包括施工准备、施工安装、调试与检查等过程。

6.1.8 机电与交通安全设施施工应严格按照批准的设计文件进行。

6.1.9 机电与交通安全设施施工应积极而稳妥地应用新技术、新工艺、新材料和新设备，在满足施工要求的前提下，提高施工效率，降低过程能耗。

6.1.10 机电与交通安全设施施工完工后，应进行交工验收，并验收合格，竣工验收应与主体工程同步进行并验收合格。

6.2 土建结构

6.2.1 隧道施工前应对影响范围内的既有建(构)筑物、管线等进行调查，必要时进行探查。

条文说明：

《盾构法隧道施工及验收规范》(GB 50446-2017)4.1.2条规定：“对工程影响范围内的地面建(构)筑物应进行现场踏勘和调查，对需加固或基础托换的建(构)筑物应进行详细调查，必要时应进行鉴定，并应提前做好施工方案。”4.1.3规定：“对工程影响范围内的地下障碍物、地下构筑物及地下管线等应进行调查，必要时应进行探查。”

《沉管法隧道施工与质量验收规范》(GB51201-2016)4.2.2规定：“应对工程附近道路、既有建(构)筑物、管线等进行勘查或探查。”4.2.3规定：“应对堤(护)岸结构及其基础形式进行详细调查和记录。”10.1.4规定：“管节浮运前，应核对航道沿线水下地形、地质资料和水文资料，浮运路线上不应有损害管节的障碍物。”

《公路隧道施工技术规范》(JTG-T3660-2020)18.5建(构)筑物监测的有关规定。

《公路水下隧道设计规范》(JTGT 3371—2022)3.2.7条规定：“建设环境条件资料收集与调查的内容应包括工程相关范围内社会环境、施工环境及施工条件、相邻或相关的既有工程、地下障碍物和地下管线、生态与自然保护要求、施工取弃土场地、施工用水用电以及与隧道运营管理系统设计相关资料等。”

6.2.2 施工场地布置应遵循因地制宜、合理布置、统筹安排的原则，满足施工和安全需求。

条文说明：

《公路隧道施工技术规范》(JTG-T3660-2020)4.2.1规定：“施工场地布置应遵循因地制宜、统一规划、安全方便、节地环保的原则。”4.2.2规定：“临时工程和设施布设应满足安全和施工活动正常开展的需要。”

《沉管法隧道施工与质量验收规范》(GB51201-2016)4.5.1规定：“开工前应结合工程规模、工期、用地情况、运输条件、管节预制方式、寄放区、水电保障等情况，绘制施工场地总布置图、布置施工场地及实施临时工程，并应满足因地制宜、合理布置、统筹安排的原则。”

《盾构法隧道施工及验收规范》(GB 50446-2017)3.0.5条规定：“施工现场的场地应满足工作井、龙门吊、管片存放、浆液站、泥浆处理设施、材料、渣土堆放、充电间、供配电站、控制室、库房等生产设施用地和施工运输要求。”

6.2.3 隧道施工应根据地质水文及监控量测等信息实施信息化施工和动态设计。

条文说明：

《沉管法隧道施工与质量验收规范》(GB51201-2016)4.1.2规定：“由于工程地质的不确定性、水文气象条件的变化，在沉管隧道施工图通过评审后，还必须根据实际揭露的地质状况和测试的水文参数等情况，对已沉和待沉管节等建(构)筑物进行施工监测，通过反馈分析实现信息化施工和动态设计。”

《公路隧道施工技术规范》(JTG-T3660-2020)3.0.1条规定：“隧道应按照规定文件施工，并根据超前地质预报及监控量测信息实施动态管理。”9.1.4条规定：“隧道衬砌施工应结合超前地质预报和现场监控量测结果，与设计配合对支护结构和开挖、支护方式进行合理调整。”16.1.3条规定：“应加强监控量测工作，及时反馈量测结果，进行动态设计和动态施工。”16.6.5条规定：“应做好监控量测工作，根据监控量测数据，动态调整支护参数。”

6.2.4 钻爆隧道施工必须满足下列规定：

1 隧道超前地质预报应以地质分析为基础，运用地质调查与物探相结合、

长短探测相结合、洞内与洞外相结合、物探与钻探相结合、超前导洞与主洞探测相结合、地质构造探测与水文探测相结合的综合预报方法，并相互验证。

2 公路隧道开挖应根据隧道长度、跨度、结构形式、掌子面稳定性、地质条件等选择适宜的开挖方法，并应根据开挖方法选择配套的机械设备。

3 隧道支护施工应与开挖作业协调，及时施作初期支护和二次衬砌。支护与衬砌的强度、形状和尺寸应能保持围岩稳定、满足设计要求。

4 公路隧道防排水施工应遵循“防、排、截、堵相结合，因地制宜，综合治理”的原则，应对地表水、地下水妥善处理，形成完整的防排水系统，应使防水可靠、排水畅通。

5 隧道通风应根据隧道长度、断面大小、施工方法、设备条件等综合确定通风方式。洞内空气中有害物质浓度、粉尘含量及温湿度等应符合职业健康接触限值标准。

条文说明：

《公路隧道施工技术规范》(JTG-T3660-2020) 13.1.2 条规定“隧道施工通风应能提供洞内各项作业所需要的最小风量。每人应供应新鲜空气 $3\text{m}^3/\text{min}$ ，采用内燃机械作业时，供风量不宜小于 $4.5\text{m}^3/(\text{min}\cdot\text{kW})$ 。全断面开挖时风速不应小于 0.15m/s ，导洞内不应小于 0.25m/s ，但均不应大于 6m/s 。”

6 监控量测应纳入施工工序管理，并结合隧道规模、地形地质条件、施工方法、支护类型和参数、工期安排等实施全过程监控量测。

7 隧道施工完工后，应进行交（竣）工验收，隧道结构内轮廓、运营设施、洞口、排水及防水系统等应验收合格。

6.2.5 盾构隧道施工必须满足下列规定：

1 盾构机选型应与工程地质、水文地质、周边环境、线路条件、场地条件、隧道结构设计等相匹配，设备进场前须完成工厂内调试并通过验收。

2 施工前，应根据盾构类型、地质条件、周边环境和工程实践编制施工专项方案和应急预案。

3 施工前，应根据交接桩、设计文件及地形条件做好施工控制网设计，控制网坐标系统和高程基准应与勘察阶段相一致。

4 盾构始发反力架应进行专项设计, 并严格按设计实施。

5 盾构始发和接收时, 应做好关键节点条件验收。

6 盾构掘进过程中, 应动态控制掌子面稳定, 并实时监测盾构姿态。发生偏差时, 应勤纠缓纠, 防止过量纠偏。

7 同步注浆应与掘进施工同时进行, 注浆压力与浆液性能需满足施工要求。成型管片脱出盾尾后, 应进行密实度检测及管片姿态监测, 并结合充填密实情况进行二次注浆。

8 管片拼装应根据设计文件、盾构姿态及参数、成型管片姿态、盾尾间隙及设计线路等因素, 合理选择管片类型、管片排版、拼装方式和拼装位置。

条文说明:

1 盾构选型通常包括刀盘刀具、盾体、主驱动系统、推进系统、管片拼装系统、盾尾密封系统、泥浆环流系统、渣土改良系统(土压盾构)、排渣系统(土压盾构)、箱涵及管片吊运系统、空气系统、水系统、电气系统、液压系统、导向系统、智能监测系统等的选择和配置。

4 根据交通运输部《公路水运工程生产安全重大事故隐患判定标准》(交办安监〔2025〕28号)要求, 盾构始发反力架未经专项设计, 反力架未按设计实施, 盾构始发参数调节不当的, 应判定为重大事故隐患。

5 盾构始发主要工作包括: 端头加固、盾构基座安装、盾构组装与调试、反力架安装、止水箱体安装、洞门凿除、负环拼装、始发段掘进、洞门密封等。

盾构接收主要工作包括: 端头加固、盾构基座安装、止水箱体安装、洞门凿除、接收段掘进、洞门密封等。

始发和接收中应对端头加固质量、基座安装精度、盾构组装、反力架安装质量、止水箱体安装精度与质量、负环拼装质量等关键节点进行条件验收。

6.2.6 沉管隧道施工必须满足下列规定:

1 施工前, 应根据合同文件、设计文件、现场条件及沉管隧道工程重点、难点和工艺特点, 比选施工方法, 合理配置装备及劳动力等资源, 施工场地布置应进行设计并编制施工组织设计。

2 沉管隧道施工应建立工程测量、工程信息监控控制系统, 实施信息化施

工, 施工前应编制施工测量方案, 选定测量控制等级, 确定测量方法, 管节对接测量应持续观测, 就位后进行人工摸排检查。

3 基槽开挖、基础处置、管节预制、管节浮运和安装、基槽回填, 应分区进行, 有序组织施工。

4 管节浮运前, 应核对航道沿线水下地形、地质资料和水文资料, 浮运路线上不应有损害管节的障碍物; 管节沉放对接、接头处理应进行首件工艺验证。

条文说明:

GJB9001C - 2017《质量管理体系要求》: 在新产品试制环节, 要求组织编制首件鉴定目录并开展首件鉴定, 且需满足 **GJB908** 标准的相关要求, 将首件鉴定作为新产品试制过程控制的关键环节。管节沉放和对接处理是核心环节之一, 应进行首件工艺验证。

5 进入有限空间前应进行初始气体检测、作业环境判定, 作业过程中保持机械通风, 配备安全防护和应急救援设备并妥善管理。严禁水上水下作业人员靠近带劲缆绳。潜水作业前应对潜水人员进行技术与安全交底。

条文说明:

《有限空间作业安全技术规范》(GB46768-2025) 4.5.1 作业单位应配备有限空间作业安全防护和应急救援设备设施并建立设备设施管理台账。5 作业前技术要求: 5.8 初始气体检测和 5.9 作业环境判定。6.2 作业安全: 6.2.4 有限空间作业过程中应持续通风。

《沉管法隧道施工与质量验收规范》(GB51201-2016) 14.1.4 严禁水上水下作业人员靠近带劲缆绳。14.2.3 潜水作业前应对潜水人员进行技术与安全交底。

6 沉管隧道应进行日常巡查、定期检查, 评估隧道的整体状况, 指导未来的养护计划和大修工程。

条文说明:

《公路工程技术标准(征求意见稿)》(JTGB01-202X) 8.0.15 应对公路隧道进行定期检查, 根据检查结果对隧道技术状况进行评定, 并制订相应的养护计划

和方案。**8.0.16** 隧道土建结构以及其他工程设施的养护包括日常巡查、清洁、结构检查与技术状况评定, 以及保养维修等工作。

6.2.7 堰筑隧道施工必须满足下列规定:

1 围堰型式和布置方式应根据水域宽度、水深、地质条件以及航运、水利、环保、工期等要求, 经技术、经济综合比选确定。围堰应具备良好的整体稳定性、防渗性能与断面轮廓, 施工前应完成地基处理与清基, 施工中应控制材料规格、结构精度, 并确保防渗体系、坡面防护及密实度等符合设计要求。

条文说明:

《公路堰筑隧道设计规范》(DB 32/T (报批稿)) 7.2 围堰选型与布置 7.2.1 条规定“应根据水域宽度、水深、地质条件以及航运、水利、环保、工期等要求, 经技术、经济综合比选, 确定围堰型式和布置方式。”

《公路水下隧道设计规范》(JTG/T 3371—2022) 10.2.9 条规定“围堰防渗处理应根据地质条件, 结合隧道基坑支护防渗方案, 比选水泥或黏土水泥灌浆、高压喷射灌浆、钢板(管)桩墙、防渗土工膜等处理方式。”

2 堰基处理应满足承载力、强度、渗流、沉降变形等要求。基坑开挖应综合考虑场地水文地质条件、环境保护要求、施工场地条件、基坑平面形状及开挖深度、地下水处置要求等因素, 遵循分层、分段、分块、对称、平衡、限时的原则。

条文说明:

《公路堰筑隧道设计规范》(DB 32/T (报批稿)) 8.4 基坑开挖与回填 8.4.1 条规定“应在支护结构构件强度达到设计允许值时进行开挖, 并符合下列规定:

- a) 应按分层、分段、对称、均衡、适时的原则开挖;
- b) 开挖时, 挖土机械不得碰掉或损害已施工完成的结构构件、支撑及防水层。对采用支撑的支护结构, 开挖到支撑作业面后, 应及时进行支撑施工;
- d) 连续开挖区段的长度不宜超过 1 个围堰仓段, 并应做好纵向开挖坡面防护。”

3 隧道主体结构混凝土应采用整体台车连续浇筑, 确保衬砌的整体性和外观质量。大体积混凝土浇筑时, 应通过控制入模温度、通水冷却与保温养护等措施, 控制混凝土内外温差, 防止产生有害裂缝。

4 隧道施工期间应对围堰结构、基坑支护及周边环境实施系统监测, 动态掌握位移、沉降、水位及应力变化等, 及时反馈指导施工, 实现信息化管理。

5 在隧道主体结构强度达到设计要求后, 隧道回填施工应均匀对称、分层压实, 围堰拆除应遵循对称、分步的原则, 并符合施工进度、环境保护及水土保持要求。

6 堰筑法隧道交(竣)工验收时, 隧道主体结构、防水系统、基坑回填及地表恢复等各项工作均应符合设计文件与安全运营标准。

条文说明

《公路堰筑隧道工程质量检验评定规程》(DB 32/ 4305-2022) 5.2 隧道总体 5.2.1 条基本要求规定“隧道总体应符合下列基本要求: a) 隧道结构内轮廓及所有运营设施均不得侵入建筑限界; b) 隧道防水施工质量应符合下列要求: 高速公路、一级公路和二级公路隧道底板、侧墙、顶板、设备箱孔不漏水, 结构表面可有少量湿渍; c) 隧道局部机电设备集中区域不渗水, 结构表面无湿渍; d) 隧道有种植区域的顶板不渗水, 结构表面无湿渍。”

6.3 机电与交通安全设施

6.3.1 机电与交通安全设施施工前应与土建工程、房建工程等施工单位完成工程交接, 预留洞室、预埋管道、预埋件、电缆沟、基础、接地设施等重点交接内容必须满足符合设计施工要求。

6.3.2 设备及主要材料进场应进行质量检验, 必须满足设计性能要求。

6.3.3 隧道内施工路段应设置照明设施, 施工点照度不应小于 15lx。施工时宜采用非定向光源增强对过路车辆的警示。

6.3.4 施工时设施定位应准确, 安装应牢固, 接线应可靠。

6.3.5 机电设备、交通标志及其支架不得侵入道路建筑限界, 其结构应满足强

度、变形和稳定性要求，版面信息不得被其他物体遮挡。

6.3.6 施工过程中必须做好成品及半成品的保护。

6.3.7 施工完成后设备、线缆及管道标识应稳固、清晰、规范。

6.3.8 施工中应严格执行工序自检制度、工序交接检查制度，各类施工记录必须真实、准确。

6.3.9 机电设施调试与检查必须按照审核通过的调试与检查计划进行。调试应按先空载、后负载，先单机、后联机的次序进行。

6.3.10 供配电设施送电前必须进行交接试验，并出具合格报告。

6.3.11 需强制认证的网络安全专用设施必须符合有关规定，并经专业机构检测验收合格。

7 养护

7.1 一般规定

7.1.1 公路隧道养护工作内容应包括检查、监测、评定、日常养护、养护工程等。

7.1.2 公路隧道养护应按照现行《公路养护安全作业规程》(JTG H30)的有关规定组织隧道养护工程作业,并应在养护作业区设置安全保障设施,采取措施保障人员、设备安全。

7.1.3 公路隧道养护专业技术人员应具备与养护工作相适应的专业知识与专业技能,同时应定期接受技术培训和安全教育。

7.1.4 应根据公路隧道运营环境、结构特点和养护需求,编制公路隧道养护手册,并定期进行修订。

7.2 土建结构养护

7.2.1 新建公路隧道接养时应应对隧道设施初始状态进行专项检查,收集隧道基础资料,建立隧道养护技术档案,纳入公路养护管理系统。

条文说明:

初始检查工作侧重于基础信息数据收集与初始技术状态建档。

7.2.2 土建结构检查应符合下列规定:

- 1** 日常巡查、经常检查、定期检查应根据隧道养护等级按规定频率开展。
- 2** 公路隧道定期检查、专项检查应根据检查结果对技术状况进行评定。
- 3** 应急检查、专项检查根据隧道运行需求开展,应明确检查目的、目标、范围及要求。

7.2.3 结构监测应根据隧道专项调查与土建结构安全风险评估结果,科学选取土建结构与运行环境的监测内容及项目,并及时开展数据分析,反馈隧道结构服役安全状态,指导隧道养护决策。

条文说明：

监测方案设计前通过隧道专项调查查明隧道技术状况、质量状况与赋存环境，明确隧道结构关键部位；通过安全风险评估确定隧道结构安全风险状态及高风险段落。运行环境监测主要为影响隧道衬砌材料长期性能与结构安全的环境因素，如影响隧道结构材料耐久性能的内温湿度、海底隧道内空气盐度，影响隧道支护结构荷载变化的衬砌背后水压、围岩冻胀力等。

7.2.4 日常养护包括日常保养和日常维修，应根据隧道养护等级按规定频率开展。

7.2.5 养护工程应根据隧道病害发育与技术状况、自然灾害作用、突发事件影响等因素状况与影响及时有序开展。

条文说明：

养护工程主要为一定规模病害的修复、加固，或重大病害、自然灾害引发的隧道损毁等处治工程，一般按照专项检查、处治设计、工程施工等顺序有序开展。

7.2.6 隧道养护作业应设置作业区，按照规定组织隧道养护工程施工作业，保障养护作业安全。

7.3 机电设施养护

7.3.1 机电设施养护应配备专门的电工工具、测试仪器、清洁工具、安全防护设备，高速公路、一级公路还应配备高空作业设备。对配备的专用工具和设备应定期检定或校准并保持有效。

7.3.2 机电设施日常巡查应按养护等级对应频率组织实施。汛期、极端天气时，应对机电设施安装基础、排水管沟、防雷设备等进行重点检查并提高日常巡查的频率。

7.3.3 机电设施日常养护应按养护等级对应频率组织实施，针对日常巡查和检查发现的异常情况予以维修或报告。

7.3.4 机电设施养护工程应根据技术状况评定结果开展设施设备功能性修复

或部件更换、局部升级改造和整体更换。

7.3.5 机电设施养护工程应结合检查结果制定详细的养护方案，包括交通组织、安全防护措施以及养护措施，保障养护作业安全。

7.3.6 机电设施在遭遇自然灾害或突发事件并产生重大安全隐患时，应及时启动应急养护。

7.4 养护数字化

7.4.1 公路隧道养护应按照“一隧一档”建立隧道技术档案，对养护各环节形成且具有保存价值的各种载体文件，均应收集齐全、整理立卷后归档。

条文说明：

隧道经营管理单位应当按照“一隧一档”建立长大隧道（特长隧道、长隧道）技术档案，内容包括长大隧道基本情况、养护巡查检查记录、技术状况、维修加固等以及其他归档制度要求的资料，做到内容完整、更新及时、方便使用。

引自“交通运输部关于印发《公路长大桥隧养护管理和安全运行若干规定》的通知”第二十四条。

7.4.2 公路隧道养护应针对隧道自身特点和技术要求编制养护技术手册；运营管理机构应根据隧道实际情况，建立养护信息管理系统，实现隧道设施实时动态的技术状态评估与监测、养护工作的标准化、规范化。

条文说明：

公路隧道基础设施数据和养护各环节取得的动态数据，在国内外已被公认为公路资产的一部分。依赖于数据资产，有助于做出更科学的决策，为基础设施资产管理提供更好的服务。因此，收集管理具有科学价值的的数据并充分利用，已成为公路隧道养护工作中的一项重要任务。

数据库是数据管理的重要手段，从存储各种数据的表格，到存储海量数据并满足多用户应用需求的大型数据系统，数据库具有多种类型和不同功能，实际工作中根据数据规模和应用方向，结合现有条件确定。

引自“交通运输部关于印发《公路长大桥隧养护管理和安全运行若干规定》

的通知”第二十三条。

7.4.3 技术文档资料管理应符合国家即地方相关标准规范的要求。

8 运行

8.1 一般规定

8.1.1 公路隧道投入运行前应满足下列要求：

- 1 已通过了交工验收。
- 2 收集了与隧道运行相关的技术资料并完成了相关技术交底。
- 3 隧道运行管理单位应取得施工期间采购、安装的各类隧道运行设施设备的型号、技术参数、操作运行要求等运行相关资料，并完成相关技术交底。
- 4 制订了隧道各类设施运行技术方案，并组织了相关技术培训。
- 5 制订了隧道发生交通或火灾事故的应急处理预案。
- 6 组织了应急演练。

8.1.2 公路隧道运行期间，土建结构应总体稳定，交通工程与附属设施应在规定的使用年限内并可靠运行。

8.1.3 公路隧道运行工作应包括隧道控制区涉路工程管理，隧道运行与监测、应急处置、运行状态评价以及运行数据管理。

8.1.4 公路隧道运行各环节应严格落实安全生产和质量管理技术措施。

8.1.5 公路隧道运行应配备与相关任务相适应的专业技术人员及专业机具设备，并应推广应用自动化、数字化技术及设备。

8.1.6 公路交通应急处置应遵循依法应对，预防为主；统一领导，分级管理；规范有序，协调联动的原则。

8.2 日常运行

8.2.1 在隧道正常运行时，通风设施的运行应使隧道内污染物浓度满足车辆通行安全、卫生、舒适的要求。当隧道内发生火情时，通风设施的运行应能使隧道内风速满足火灾控烟及排烟的要求。

8.2.2 在隧道不同运营情况下，照明设施的运行应使隧道环境亮度及内外环

境亮度过渡适应道路通行需求。

条文说明：

不同运营情况是指正常运营情况下不同交通量、洞外亮度、限制速度要求等情况及交通阻滞等异常情况。

8.2.3 监控通信设施应连续收集和处理交通信息、监视隧道车辆通行状态及交通运行状态，并应根据现场交通运行状况和交通控制需求，及时采取相关控制措施，发布相关提示、诱导信息。

8.2.4 日常运行期间，隧道联络通道及紧急停车带应满足下列要求：

1 隧道人行横通道、车行横通道、平行通道、洞外应急通道等联络通道应保持通畅。

2 隧道横通道门应保持关闭状态。

3 紧急停车带灯具应保持开启状态。

8.2.5 运行期间，应定期收集或实测下列资料：

1 隧址区域不同季节的洞外自然风速、风向、气压、温度等气象参数。

2 设置有机机械通风的隧道内 CO 浓度、能见度、风速、风向等参数。

3 洞外亮度及各照明段的路面亮度。

4 消防水池水位、消防栓压力。

5 隧道电能质量。

6 隧道内的车速、交通量及交通事件。

8.2.6 运行过程中应收集各类设施运行情况记录、事故及其处理记录、隧道交通数据等资料，资料应完整、真实、准确，并应对其进行分析。

8.2.7 应根据运行情况定期对隧道运行技术方案进行总结分析，并根据需要进行修订。

8.2.8 隧道运行管理单位应加强对涉路工程的管理。

8.2.9 隧道运行期间结构灾害的处置应符合安全、高效、快速的原则。

8.3 应急处置

8.3.1 隧道管养单位应加强隧道交通运输突发事件应急能力建设,强化应急准备,提升预防预警和应急处置实战能力。

8.3.2 依据应急职责权限,隧道管养单位应做好以下应急准备工作:

1 应根据国家及地方的公路交通运输突发事件应急预案的要求,结合自身实际,制订可能发生的各类突发事件的应急预案。并应根据实际需要、情势变化和演练验证,适时修订。

2 应针对交通运输突发事件的类型、隧道结构的特点、设施的配置情况,制定交通事故、火灾等突发事件的应急处置手册。

3 应按照应急预案的要求,根据应急工作的实际需要,建立健全应急装备和应急物资储备、维护、管理和调拨制度,储备必需的应急物资,配备必要的装备,并确保应急物资装备处于正常使用状态。

4 应根据本单位交通运输突发事件的类型和特点,制订应急演练计划,定期组织开展交通运输突发事件应急演练。

条文说明:

公路隧道交通运输突发事件专项应急预案应当根据有关法律、法规的规定,针对公路隧道交通异常事件的性质、特点、社会危害程度以及可能需要提供的交通运输应急保障措施,明确应急管理的组织指挥体系与职责、监测与预警、处置程序、应急保障措施、恢复与重建、培训与演练等具体内容。

引自《交通运输突发事件应急管理规定》2011年11月14日交通运输部令第9号公布自2012年1月1日起施行

8.3.3 隧道管养单位应组织开展应急能力评估。评估内容应包括应急组织、应急救援队伍、应急物资装备、应急预案、应急演练、教育培训等方面。

8.3.4 依据应急职责权限,隧道管养单位应做好以下监测与预警工作:

1 应根据所辖隧道及交通运行环境特点,开展风险源辨识、评估工作,采取相应安全防范措施,加强危险源监控与管理。

2 应开展事故隐患排查治理,及时消除事故隐患。

3 应开展隧道交通运行状态监测,并根据气象、自然资源等部门发布的预警信息,采取必要防御响应措施,预防突发事件发生。

引自《交通运输突发事件应急管理规定》2011年11月14日交通运输部令第9号公布自2012年1月1日起施行

8.3.5 依据应急职责权限,隧道管养单位应做好以下应急处置工作:

- 1 应及时定位突发事件发生位置,启动应急预案,开展应急响应。
- 2 应指挥调度本单位应急力量或指导其他应急救援力量,快速抵达突发事件现场。
- 3 应配合公安交管部门做好突发事件现场及周边交通管控与疏导。
- 4 应配合其他应急救援力量做好突发事件现场处置,并实施设施抢通。
- 5 应及时清理突发事件现场,清除影响交通安全的路面残留物,尽快恢复正常交通秩序。

8.3.6 隧道交通运输突发事件应急处置完毕后,隧道管养单位应开展灾后总结评估。总结评估应统计隧道设施损毁情况,评估应急处置工作成效,总结应急准备、应急响应、应急处置等存在的问题,提出改进措施并完善。

8.4 运行状态评价

8.4.1 公路隧道运行期间应开展隧道交通环境调查,并评价其对隧道运行的影响。

条文说明:

隧道运行交通环境调查内容包括出入口区域线形、隧道范围内最大纵坡、洞口年最大横风、隧道轴线与太阳光线的夹角、内外路面抗滑能力及过渡情况、内外路面排水情况等。

8.4.2 公路隧道运行期间应定期开展隧道交通状态调查,并评价其对隧道运行的影响。

条文说明:

交通状态调查内容包括日交通量及高峰小时交通量、货车比例与时间分布、危化品车比例与时间分布、区域限制车速、运行车速及时空分布、断面车速差等。

8.4.3 公路隧道运行期间应定期开展事故调查，并评价其与隧道土建结构技术状况、机电与交安设施技术状况、交通环境、交通状态的相关性。

条文说明：

事故调查内容包括事故的时空分布、形态分布、原因分布等，有助于发现隧道运营潜在的安全风险和二次事故风险，提高隧道运营安全水平。

8.4.4 应根据隧道评价结果采取针对性的处理措施。

条文说明：

8.4.5 处理措施通常包括设施的优化或改造、隧道运行技术方案和应急预案修订等。

8.5 运营数据

8.5.1 隧道运行期间应存储各类运营数据，并充分利用。

条文说明：

运营数据类别包括隧道基本信息、日常运行记录、日常检查与专项检查记录、日常养护记录、升级改造及养护工程记录、土建结构技术状况、机电与交通安全设施技术状况、事件与事故情况记录、管理信息记录等。运营数据的形式包括文字信息和影像信息。

隧道基本信息主要包括隧道基本技术参数和隧道建设、管理、养护单位信息等。

管理信息主要包括各类规章制度、管理措施、管理报表等。

8.5.2 运营数据应采用数据库进行管理。

8.5.3 隧道基本信息、土建结构专项检查记录、土建结构技术状况、事件与事故情况记录宜永久保存，其他数据存储时间可结合管理需求确定。

8.5.4 运营数据应真实、可靠并及时更新，数据格式标准应统一。