

城市道路水下隧道设计规范 (征求意见稿)

编制说明

中铁第六勘察设计院集团有限公司
北京交通大学
天津大学
中南大学
天津市政工程设计研究总院有限公司
上海交大海科检测技术有限公司
中铁隧道局集团有限公司
中铁隧道勘测设计院有限公司
中交第一公路勘察设计院有限公司
中铁隧道集团二处有限公司

2022年9月

一、任务来源、起草单位、协作单位、主要起草人

根据中国交通运输协会发布的“中国交通运输协会关于《水下道路隧道设计规范》等团体标准立项的公告”（中交协秘字〔2021〕9号）要求，由中铁第六勘察设计院集团有限公司、北京交通大学、天津大学、中南大学、天津市政工程设计研究总院有限公司、上海交大海科检测技术有限公司、中铁隧道局集团有限公司、中铁隧道勘测设计院有限公司、中交第一公路勘察设计院有限公司、中铁隧道集团二处有限公司等多家单位作为起草单位，负责本规范的编制工作。

主要起草人：贺维国、周华贵、谭忠盛、王东伟、张稳军、费曼利、王艳宁、沈永芳、于勇、徐志胜、宋超业、赵宝锋、王兆卫、范国刚、吕洋、戴新、厉红星、王倩、吕书清、周振梁、张高乐、陈翰、郑少华、奚笑舟、马长军、曹校勇、田峰、吴金刚、刘邱林、张鹏、褚凯、李兆龙、李勇、唐健、曹威、吕游等。

二、制订规范的必要性和意义

我国目前尚无水下道路隧道设计规范，与之有关或相近规范如下：

1、《城市地下道路工程设计规范》。该规范重点考虑地下道路工程设计，未考虑水下隧道修建隧道相关内容，如勘测、各种工法结构设计，耐久性，隧道防排水，健康监测等等。

2、2008年上海市出版了地方规范《道路隧道设计规范》。该规范未考虑多种工法修建水下隧道相关内容，针对性不强。

3、2013年天津市颁布了《内河沉管法隧道设计、施工及验收规范（DB/T29-219-2013）》。2019年国家颁布了《沉管法隧道设计标准（GB/T 51318-2019）》。该类规范偏于工法，未结合城市地下道路进行规定。

我国目前的规范对水下隧道比较零碎、分散、不成系统，缺乏一本有针对性、系统、全面规定的规范，难以满足工程建设实际需要，非常有必要编制一本水下道路隧道设计规范。

目前我国是世界范围内水下隧道最多的国家，编写水下道路隧道设计规范，在国内外均无先例可循。目前我国水下道路隧道正处于快速发展时期，迫切需要在充分总结已建水下隧道的经验基础上，对其勘察、不同水下隧道工法的设计、机电系统、消防安全与应急疏散、耐久性设计、施工监测与运营监测等方面进行有针对性规范化管理，对提高工程建设质量，合理分配和配置资源，建设资源节

约型、环境友好型交通基础设施具有十分重要的意义。

三、主要工作过程

本标准通过收集既有工程应用经验，以及相关研究成果、试验检测结果及使用单位反馈信息，确定标准编制方向。经中国交通运输协会立项和大纲审批通过，根据评审会专家意见，形成征求意见稿，报中国交通运输协会评审。再根据评审会专家意见进行补充、修改，经中国交通运输协会同意，挂网征求意见。针对反馈意见，提出处理办法，进行补充、修改，形成送审稿。经中国交通运输协会同意，进行专家审查。根据专家审查会形成的专家意见进行修改，形成报批稿，上报审批。

四、制订规范的原则和依据，与现行法律、法规、标准的关系

本规范制订的基本原则是以现有研究工作为基础，参照国家规范、标准，针对城市道路水下隧道的特点进行定义、描述和规范。

本规范编制过程中，查阅了下列规范、标准和技术规程：

《沉管法隧道设计标准》GB/T 51318

《盾构法隧道施工及验收规范》GB50446

《市政工程勘察规范》CJJ 56

《城市道路工程设计规范》CJJ37

《城市道路路线设计规范》CJJ193

《公路隧道设计规范》JTG D70

《公路隧道交通工程设计规范》JTG/TD71

《铁路隧道设计规范》TB10003

《水利水电工程围堰设计规范》SL645

《内河沉管法隧道设计、施工及验收规范》DB/T29-219

《道路隧道设计规范》DG/TJ08-2033

《建筑地基基础设计规范》GB50007

《建筑结构荷载规范》GB50009

《混凝土结构设计规范》GB 50010

《建筑抗震设计规范》GB50011

《钢结构设计规范》GB50017

《地下工程防水技术规范》GB50108

《工程结构可靠度设计统一标准》GB50153

《建筑工程抗震设防分类标准》GB50223

《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T50476

《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497

《中国地震动参数区划图》GB8306

国内现有《铁路隧道设计规范》、《公路隧道设计规范》、《地铁设计规范》、《城市道路工程设计规范》、《沉管法隧道设计标准》等相关规范、标准，但这些规范重点在本行业内，且对水下隧道具体规定较少；《盾构法水下交通隧道设计规程》，重点在盾构法隧道；上海地标《道路隧道设计规范》，重点在沉管法隧道。本次制订的标准为钻爆法、盾构法、沉管法等多种水下施工工法的隧道设计准则，较其他规范标准在水下隧道领域更全面、更具体。

为提高我国城市道路水下隧道设计技术水平，规范和指导城市道路水下隧道设计，制定本规范。在充分总结已建水下隧道的经验基础上，对其勘察、不同水下隧道工法的设计、隧道耐久性、健康监测、防灾疏散等方面进行有针对性规范化管理，对提高工程建设质量，合理分配和配置资源，建设资源节约型、环境友好型交通基础设施具有十分重要的意义。

五、主要条款的说明，主要技术指标、参数、实验验证的论述

4 基本规定

4.1 隧道应根据道路等级和功能，结合建设条件、工程地质、环境条件、施工工法、工程筹划等因素开展设计，并符合下列规定：

- a) 隧道安全性应满足施工阶段和使用阶段的要求；
- b) 隧道主体结构和运营设施应满足设计使用年限的耐久性要求；
- c) 隧道行车环境应满足安全性、舒适性要求；
- d) 隧道设计应满足节能环保要求；
- e) 隧道设计应满足防灾要求。

4.4 隧道匝道的的设计速度宜取主线 0.4 倍~0.7 倍。

4.8 隧道的防水等级应符合下列规定：

- a) 设备用房、设备箱孔符合一级防水标准。

b) 车行横通道、人行横通道符合二级防水标准。

c) 车行隧道不低于二级防水标准。

4.9 隧道应加强施工期间环境条件、施工状况的监测工作，实施信息化设计。

4.10 隧道工法的选择宜满足下列规定：

a) 工程地质为均匀土质地层，且两岸接线较长，可选择盾构法方案。

b) 工程两岸无重要的码头，且两岸接线要求短、阻水率要求高，可选择沉管法方案。

c) 工程地质为岩石地层，且两岸接线长，可选择钻爆法方案。

d) 工程范围水域较浅，航运不繁忙，且两岸接线要求短，可选择围堰法方案。

5 工程条件调查

5.1 一般规定

5.1.1 工程条件调查应结合各设计阶段任务、目的、编制深度要求，分阶段进行。

5.1.2 工程条件调查范围应根据隧址所在区域条件和隧道工程规模等确定。

5.1.3 工程条件调查内容应包括基础资料收集与调查，工程地质、水文地质勘测等。

5.2 基础资料收集与调查

5.2.1 水下隧道环境及场地资料收集应包括：

a) 自然地理条件资料，包括气温、湿度、降水、雾况、风向、风速等，其中气温、降水量、风速应调查其极端值；

b) 地质资料，应包括地形、地貌、区域地质、地震历史、抗震设防烈度、设计地震分组、设计基本地震加速度等；

c) 水文资料，应包括水位、波浪、流速、流向、流量、水温、重度、水质、含泥（砂）量、内涝水位、防洪水位、潮汐，以及水底地形、河（湖）床冲刷和淤积、河（湖）床稳定性及演变分析等资料；

d) 现状及规划资料，包括道路交通、城市建设、港口码头、航道运输、堤岸防护等；

e) 环境资料，包括隧址区附近大气环境现状、车辆废气排放要求、噪声要求、水域生态保护要求以及隧道口外部环境亮度等；

f) 现场施工条件资料，包括场地、供水供电、建筑材料来源、装备和机械等。

5.2.2 基础资料收集应包括隧址附近的已建或在建工程，尤其是隧道和城市轨道交通等地下工程的地质和水文资料。

5.2.3 基础资料应将与拟建工程有关的法律法规、方针政策要求及各级政府出台的相关文件纳入收集范围。

5.3 工程勘测

5.3.1 工程地质和水文地质勘测根据不同的设计阶段可分为可行性研究勘察、初步勘察和详细勘察，必要时进行补充勘测。

5.3.2 水下地形测绘应符合下列规定：

a) 水下地形测量应与陆上地形测量互相衔接；

b) 可行性研究阶段，水下地形应以搜集既有资料和现场调查为主，工程地质测绘比例应满足相关审批部门的要求；

c) 初步设计阶段测绘比例宜采用 1:1000~1:2000，测绘范围宜取隧道轴线两侧各 2km~3km；施工图设计阶段，测绘比例宜采用 1:500~1:1000，测绘范围宜取隧道轴线两侧各 0.5km~1km；

d) 各阶段测绘范围应涵盖隧道大型临时工程所需地形资料。

5.3.3 隧道勘察应结合不同的施工工法,根据隧道所处地形、地质、临近建(构)筑物及隧道位置关系对场地条件进行分级后分阶段进行,场地复杂程度按附录 A 分为简单、中等及复杂三级。

5.3.7 隧道勘察的取样与试验需考虑施工工法的差异,进行与隧道设计施工要求相关的非常规试验,并符合下列规定:

- a) 盾构法隧道及钻爆法隧道宜进行土体的渗透破坏测试;
- b) 盾构法隧道宜进行岩土体的石英含量及岩石磨蚀强度测试;
- c) 采用冻结法施工时,应现场取样对土体热物理力学指标及冻结体强度进行测试;
- d) 沉管法隧道宜进行不同季节、不同温度及不同浑浊度条件下水的重度测试;
- e) 围堰法隧道宜进行标准贯入或十字板剪切等原位测试。

6 总体设计

6.1 一般规定

6.1.1 隧道应根据周边环境、技术条件及使用功能,对隧道平纵横布置、防排水及防灾疏散等内容开展总体设计。

6.1.2 隧道总体设计应包括下列内容:

- a) 隧道轴线和洞口位置选择;
- b) 隧道施工工法选择;
- c) 隧道平面、纵断面线形设计;
- d) 隧道横断面设计;
- e) 隧道运营通风、防灾疏散方案设计。

6.1.3 隧道总体设计应遵循下列规定:

a) 隧道设计应满足城市总体发展规划、城市道路网规划、道路功能、航道规划、堤岸规划、水利规划、防洪防涝、自然环境及可持续发展等方面的要求;

b) 隧道设计应与既有地面建(构)筑物、地下构筑物、地下管线、堤岸等设施相协调,减少拆迁;

c) 隧道设计应根据前期工程条件调查,对轴线位置、平纵线形、洞口位置、断面大小及形状、施工工法等进行综合比选;

d) 隧道设计速度应与接线道路设计速度匹配;

e) 隧道内应按禁止装载易燃、易爆及其他危险品的车辆通行条件进行设计。

6.1.4 隧道设计应满足隧道正常运营、防灾疏散及管理维护等方面的要求。

6.1.5 城市水下隧道施工工法应综合技术可行性、施工安全性、经济合理性等影响因素确定。

6.1.6 隧道建筑限界、横断面布置及结构尺寸应根据城市道路等级、设计速度、设备空间及施工工法等确定，满足隧道功能、结构受力、运营维护等要求。

6.1.7 隧道结构设计应符合使用条件、结构类型、施工工艺、机械设备的要求，并满足设计使用年限、使用功能等要求。

6.1.8 隧道通风、防灾疏散设计应根据隧道长度、平面位置、辅助通道、交通组成、环境保护、运营安全等要求确定。

6.2 隧道位置选择

6.2.1 隧道位置应选择在稳定的地层中，并选择抗震有利地段，避免穿越工程地质和水文地质极为复杂的地区，避免穿越水域内深槽及地势变化较大的区域，当必须通过时，应采取切实可靠的工程措施。

6.2.2 盾构法隧道宜选在相对均质的地层中，避免穿越地层信息不明、不稳定的区段。

6.2.3 沉管法隧道宜选择在土质地层，避免水流速度大、河势不稳定、水深过大的地段。

6.2.4 钻爆法隧道宜选在完整稳定的岩石地层中，避免穿越大型断层破碎带、风化槽及软弱夹层地带，避开有困难时，宜调整平面线位，使隧道轴线以垂直或大角度通过。

6.2.5 围堰法隧道宜选择在不通航、水深浅、流速小的水域。

6.2.6 隧道洞口位置应与周围自然环境相协调，避开环保敏感点。

6.3 隧道线形设计

6.3.1 隧道的平纵线形应根据隧道用途及特点，综合考虑工程地质条件、水文条件、洞口接线、防洪防涝以及施工工法等因素确定。隧道内外平纵线形应相互协调，与两岸路网连接顺畅。

6.3.2 隧道的线形设计应符合现行行业标准《城市道路路线设计规范》(CJJ 193)的规定。

6.3.3 隧道宜采用直线或不设超高的较大半径平曲线，沉管法隧道平曲线半径不宜小于 800m，盾构法隧道平曲线半径不宜小于 600m。

6.3.5 沉管法隧道变坡点应结合管节分节方案综合考虑。

6.4 隧道横断面设计

6.4.1 隧道横断面应满足建筑限界、行车安全、事故疏散迅速、日常维护维修等要求。

6.4.2 隧道横断面应根据使用功能进行分区设计。

6.4.3 隧道应根据采用的施工工法确定不同的断面形状：

a) 盾构法隧道宜采用圆形断面，单洞双线（单层或双层）、双洞单线（单层）方案；

b) 单洞双线盾构法隧道一般直径较大，适用于两岸陆域接线狭窄，无法布置双洞隧道的情况；

c) 沉管法隧道和围堰法隧道宜采用双孔一管廊或多孔多管廊的矩形或折板多边形断面的整体式结构；钻爆法隧道宜采用单心圆或三心圆，双洞单线方案。

6.4.4 隧道内轮廓设计除应满足建筑限界要求，还应满足运营设备布置及内部装修需要，尚应为结构变形、施工误差预留富裕量。

6.4.5 对长度大于 1000 米、行驶机动车的隧道，严禁在同一孔内设置非机动车道或人行道。

6.4.6 对通行无轨电车、有轨电车、双层客车等其他特种车辆的道路，最小净高应满足车辆通行的要求。

6.4.7 城市道路水下隧道设备布置应遵循以下原则：a) 不得侵入建筑限界；b) 满足工艺要求，方便维修保养；c) 电缆、管线应设置专用廊道，集中布置。

6.4.8 服务隧道、紧急逃生通道、车行横通道、人行横通道等附属通道的建筑限界应根据使用要求确定。

6.4.9 隧道宜根据施工工法、地质条件等因素确定横通道的设置。

6.5 隧道建筑布置

6.5.1 隧道建筑总平面布置应符合城市的总体规划、环境保护和城市景观要求，满足交通功能，方便运营管理，注意节约用地和资源共享。

6.5.2 隧道的建筑设计应满足隧道道路交通的需要，并满足施工、运营、管理、防灾疏散要求，为乘行人员提供安全舒适的通行环境。

6.5.3 附属用房及设施宜集中布置，多座水下隧道宜共用管理中心。

6.5.4 在满足设备工艺要求的前提下，隧道运营设备应采用模数化、分段集中的

布置方式。

6.5.5 隧道设备箱孔不应骑跨变形缝布置。

6.5.6 盾构工作井内净尺寸应满足盾构机吊运、安装及进、出洞的施工要求，并宜利用工作井内空间布置消防楼梯（电梯）及管线、通风机房、变电所、泵房等隧道附属用房。

6.5.7 工作井留作永久结构时，井内应设置直通地面的消防疏散楼梯，当工作井内车道层至地面高差大于等于 20m 时宜设置消防电梯。

7 结构设计

7.1 一般规定

7.1.1 隧道结构设计应结合横断面布置、施工工法、地质条件、使用条件等因素，通过工程类比和结构分析计算确定结构参数。

7.1.2 隧道结构设计应减少隧道施工过程中及建成后对周边环境的不利影响，应考虑隧道周边环境变化对隧道结构的作用。

7.1.3 隧道结构计算应采用基于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。

7.3 结构计算

7.3.1 隧道结构计算应考虑各类作用组合、地质差异及周边条件变化对结构的不利影响，并应符合下列规定：

a) 隧道结构计算模型应根据衬砌构造特点、施工工艺、地质条件及接头形式等确定；

b) 内部结构需承受车辆荷载时，计算及构造应符合现行城市桥梁设计规范的相关要求；

c) 地层与结构的相互作用应根据结构形式、地层特性、加固方法以及施工工艺等因素确定；

d) 当城市道路水下隧道上方存在不对称竖向荷载时，或侧向水平荷载可能出现偏载时，应按荷载的实际分布情况计算；

e) 采用地下连续墙或桩板墙围护的结构，可根据其与隧道结构的结合面处理方式，按叠合墙或复合墙计算。

7.3.2 隧道横断面结构计算应分别选取隧道顶覆土最厚和最薄、水位或地下水位最高和最低、存在偏压、隧道穿越地层条件横向突变处等不利位置进行。

7.3.3 当遇下列情况之一时，应对隧道进行纵向强度与变形计算：

- a) 隧道覆盖层厚度或地层沿隧道纵向有较大变化；
- b) 隧道穿越重要建（构）筑物或直接承受较大局部荷载；
- c) 地基沿隧道纵向产生不均匀沉降；
- d) 隧道下穿水域，河（海）势有较大变化，河（海）床有较大冲淤变化。

7.3.4 当遇下列情况之一时，宜按空间受力进行结构分析计算：

- a) 结构单元与上部建筑物或构筑物设计为整体；
- b) 结构单元基底地质条件沿纵向变化较大；
- c) 结构单元上部覆土厚度或其他荷载沿纵向变化较大；
- d) 结构单元的断面形状沿纵向变化较大；
- e) 空间受力作用明显的区段，宜按空间结构进行分析。

7.3.7 设计阶段应对影响结构承载能力及运营安全的大型预留孔洞、重大设备预埋件等重要部位进行局部计算。

7.3.8 火灾工况验算应符合以下规定：

- a) 火灾规模应根据隧道交通量大小及交通特性确定；
- b) 对于受力钢筋/钢板，在设计火灾时间内表面温度不高于 250℃；
- c) 对于不可更换的橡胶止水带，在设计火灾时间内不高于 70℃，或连续一小时不高于 100℃，且最高温度不高于 150℃。

8 盾构法隧道

8.1 一般规定

8.1.1 盾构法隧道应结合地形地貌、地质水文、盾构设备等条件，合理确定隧道埋深、始发井和到达井的位置。

8.3 管片结构

8.3.1 盾构法隧道的衬砌结构可采用单层衬砌、双层衬砌或局部双层衬砌的形式。

8.3.3 盾构法隧道宜采用钢筋混凝土管片，也可采用钢管片、球墨铸铁管片、钢纤维混凝土管片和复合管片。

8.4 防水设计

8.4.3 管片接缝密封垫可选用弹性橡胶密封垫、遇水膨胀性橡胶密封垫、弹性橡胶与遇水膨胀性橡胶复合型橡胶密封垫，物理性能应符合国家、行业标准的规定

8.5 盾构井设计

8.5.1 盾构井宜与隧道附属设施结合设置。

8.5.2 盾构井的净空尺寸应符合下列要求：

a) 盾构井净空尺寸应根据盾构类型及尺寸、重量、顶推力、施工工艺等因素确定，并应满足盾构起吊、安装、解体、检修、转体或整体移位等施工要求；

b) 盾构工作井的平面内净空宽度宜大于盾构主机直径 2m；

c) 始发井的平面内净空长度宜大于盾构主机长度 3m；

d) 接收井的平面内净空长度宜大于盾构主机长度 1m；

e) 靠近洞门处的始发井、接收井的底板，宜位于进出洞洞门标高应满足盾构始发、接收的需要。

8.5.3 盾构始发井的结构布置应满足反力架的设置要求。当利用后座墙为千斤顶提供支撑时，应利用土体抗力；当土体抗力及墙后土体变形不能满足盾构始发及墙体变形要求时，应采取地层加固措施。

8.5.4 盾构井洞门处应设置满足盾构始发和接收要求的洞门密封装置，洞门结构内应设置洞门密封装置预埋件。

9 沉管法隧道

9.1 一般规定

9.1.1 沉管法城市道路隧道应根据城市总体规划、城市地下空间利用规划、环境保护和城市景观的要求开展总体设计。

9.1.2 隧道设计应满足城市、堤防、航道、码头等远期规划实施后现状环境改变时隧道结构的安全要求。

9.1.3 隧道应埋设在规划航道底标高以下，并满足规划航道实施及隧道顶部防锚层敷设要求。

9.1.4 管节顶部宜埋置在冲刷包络线及河（海）床面以下，不满足时应进行专题研究。

9.1.5 隧道沉管段的平面线形宜采用直线。当不具备直线条件时，宜结合隧道功能、管节长度、断面宽度、净空富余量、施工工艺等因素综合确定合理的平曲线半径。

9.1.6 隧道净空尺寸除应满足建筑限界、设备布置外，尚应满足施工误差、测量误差、结构变形与工后沉降的要求。

9.1.7 沉管法隧道临时工程应根据工程规模、周边环境条件，遵循满足施工需要，减少周边干扰和破坏、便于恢复利用的原则进行布置。

9.2 管节结构

9.2.1 沉管法隧道宜采用整体式管节，宜选用左右对称的矩形断面。

9.2.2 管节结构设计除应满足设计使用年限和使用功能外，尚应满足运营环境、施工工艺的要求。

9.2.3 沉管法隧道结构及预埋件应进行管节预制、系泊、浮运、沉放等施工工况和正常运营工况下的结构强度、变形、稳定性、抗浮和沉降等计算分析。

9.2.7 管节结构应选取隧道埋深最深、运营期覆土最厚以及地质条件突变处等不利位置进行断面内力计算，且应对隧道进行整体纵向结构分析。

9.2.8 竖向剪切键所承受的垂直剪力宜根据相邻管节基础沉降的最不利工况计算确定，水平剪切键所承受的水平剪力宜根据地震工况下产生的水平剪力确定。

9.3 管节接头与防水

9.3.1 沉管法隧道管节接头结构设计宜包括下列内容：

- a) 沉管段基础差异沉降产生的变形和应力计算；
- b) 混凝土干缩、温度变化的变形和应力计算；
- c) 结构的水密性和抗震性设计；
- d) 施工和维护的便利性措施。

9.3.2 管节接头应设置垂直、水平，宜设置纵向限位装置。

9.3.3 最终接头应优先采用技术成熟，作业方式简单的方案。

9.3.4 最终接头位置和结构形式应根据工期筹划、隧道埋深、航道条件等因素确定。

9.3.5 水下最终接头长度应根据水下作业空间需求、累积施工误差、GINA 止水带压缩量变化等因素确定，其长度不宜小于 2.0m。

9.3.6 沉管法隧道应进行防水设计，防水设计宜包括下列内容：

- a) 防水使用年限、防水等级、防水技术指标；
- b) 管节防水混凝土；
- c) 管节接头防水；
- d) 管节混凝土外防水、防腐层；
- e) 管节混凝土接缝防水。

9.3.7 管节接头构造应进行水密性设计，接头应设置不少于两道柔性止水措施。

9.3.8 沉管法隧道主体结构混凝土抗渗等级应结合隧道运营期最大水深，满足现

行国家标准《地下工程防水技术规范》GB50108 的规定。

9.4 干坞设计

9.4.1 干坞位置、规模及结构设计应结合工程周边环境、地质和航道条件、施工工期、工程造价、管节预制工艺等综合确定。

9.4.2 干坞可选用既有船坞，新建干坞宜结合土地开发统筹建设。

9.4.3 固定干坞的防汛体系应结合既有防汛体系设计，满足现行《堤防工程设计规范》(GB50286) 的规定。

9.4.5 工厂化干坞适用于管节数量多，预制及沉放连续性要求高的工程，工厂化干坞设计应符合以下规定：

- a) 干坞场地分区及规模应根据管节预制生产流水线工艺方案确定，分区应包括钢筋加工区、管节预制区、浅坞区、深坞区等；
- b) 管节预制区与浅坞区间应设置防水的隔离闸门；
- c) 管节预制区与浅坞区坞底应采用相同底面标高，且不应低于水域最高水位；
- d) 坞门应采用可多次启闭的结构，深坞门应结合坞址气象条件、水文条件等因素进行抗风浪设计；
- e) 深坞区应设置灌排水系统，坞墙应构成完整的防洪系统。

9.4.6 移动干坞适用于管节数量少、码头及航道条件适宜的工程，移动干坞设计应符合以下规定：

- a) 驳船甲板面的有效使用面积除应满足最大管节外包尺寸外，还应满足管节外模板架设、外部人行楼梯安装、内模板退出空间等施工场地要求；
- b) 驳船的刚度应满足管节预制精度控制要求；
- c) 驳船应具有下潜功能，最大下潜深度应满足管节与驳船分离要求；
- d) 浮运航道的通航限界、通航宽度及水深应满足驳船拖航浮运要求；
- e) 驳船上应建立独立的测量系统用于管节预制；
- f) 码头场地应满足管节预制材料加工、运输等要求；
- g) 驳船的最大载重量不应小于最大管节重量及其它临时施工机械重量之和；
- h) 对管节预制、拖航、下潜等工况应进行驳船的稳定性验算。

9.5 管节浮运、沉放

9.5.1 管节浮运方式应根据干坞形式、航道条件、浮运距离、水文和气象、施工装备等因素确定。

9.5.2 管节浮运、沉放的作业窗口期应结合水文、气象等资料评估确定。

9.5.3 浮运之前，应对管节本体、端封墙、水密门进行检漏测试。

9.5.4 管节浮运、沉放过程中，应对管节姿态进行实时监控，严格控制横倾、纵倾。

9.5.5 管节浮运稳定性和主缆应进行受力数值模拟分析计算，水文条件复杂时应进行物理模型试验。

9.5.6 浮运航道专项设计应结合管节的尺寸和浮运方案进行。

9.5.8 应结合管节沉放施工方案计算管节沉放水流阻力，计算应考虑施工期水流方向和流速的变化。

9.6 基槽、垫层及回填

9.6.1 基槽断面形式应根据隧址的工程地质、水文条件、隧道断面和埋深等条件确定。

9.6.3 基槽底部设计高程应根据隧底标高和基础垫层厚度确定。

9.6.4 基槽宜结合航道条件按纵向分段、分层开挖施工，基槽开挖方式和浚挖设备。应根据隧址的地质、水文、航道、深度和环境要求等因素综合确定。

9.6.5 水下基槽开挖不宜欠挖，最大超深不宜超过 0.5m，超深过大时应采取回填措施。

9.6.6 管节沉放前，应对基槽底回淤情况进行检查。基槽底回淤沉积物重度大于 11.0kN/m^3 ，且厚度大于 0.3m 时应进行清淤。

9.6.7 管节基础应满足施工期、运营期的承载力、变形量及稳定性要求。

9.6.10 对有抗震设防要求的沉管法隧道，管节基础垫层应进行抗地震液化验算。

9.6.11 管节基底存在淤泥、淤泥质土、可液化土或软弱下卧层时，应进行地基处理并采用适当的结构措施。

9.6.12 管节沉放后应及时对基槽进行回填覆盖，回填选用级配良好、透水性强、不液化、对隧道耐久性无危害、环保的材料。

9.6.13 基槽回填应根据回填料和回填部位，按先低后高、分段分层、对称均衡的原则进行，施工中隧道横断面两侧回填高差应小于 500mm，最终允许偏差应小于 300mm。

9.7 其他设计

9.7.1 端封墙、系缆桩、测量塔、拉合座、吊点、鼻托、压载水舱及临时支承系统等舾装件，应根据受力特点和使用要求进行结构强度、变形及稳定性分析。

9.7.2 管顶舾装设备应能满足管节拖运、沉放、对接施工工艺的要求。

9.7.3 管节接头钢端壳、钢底板、PC 拉索套筒、钢剪切键、GINA 止水带和 OMEGA 止水带的压板及紧固件、裸露的预留预埋钢构件等，应采取涂刷耐腐蚀性涂层或金属喷涂、牺牲阳极等措施。

9.7.4 护岸结构形式应根据工程地质、水文条件、周边建（构）筑物、堤防等级、岸壁结构承载力及稳定性要求等因素综合确定，并宜与永久性堤岸工程结合设计。

9.7.5 护岸结构的防洪、防渗及变形标准不应低于既有堤岸。当护岸结构作为永久性堤岸时，还应满足规划堤岸的要求。

9.7.6 衔接段应根据隧道结构受力及施工要求，结合护岸工程进行设计。

9.7.7 衔接段端头围护结构应便于拆除，原有防汛体系在端头围护结构拆除前后都应保持完整。

9.7.8 衔接段四周应建立可靠的防渗体系并与护岸工程的防渗体系有效衔接。

9.7.11 管节内压载水舱宜选用轻便可拆装的结构，根据管节重心按轴线对称分舱设置。

9.7.12 压载水舱有效容积计算应考虑管节沉放坡度影响，并应满足施工阶段管节抗浮安全系数要求。

9.7.13 端封墙宜采用易拆卸式结构，相邻管节端封墙间净距满足水密门开启要求，且应设置进排水孔和进气管等设备预留孔。

9.7.14 预留预埋设施应根据其用途按临时结构或永久结构设计。临时预留预埋设施应选用易封堵或易拆除的结构形式。永久预留预埋设施应按与主体结构同寿命原则进行耐久性设计。

10 钻爆法隧道

10.1 一般规定

10.1.1 钻爆法隧道应结合施工方法、结构形式、断面大小、工程地质、水文地质和环境条件等因素，合理确定其埋置深度及相邻隧道的距离。

10.1.2 钻爆法隧道应采用复合式衬砌，设计参数应根据使用要求、地质条件、隧道埋置深度、环境作用等级、运营期渗水量控制要求等因素综合分析确定。

10.1.5 当隧道通过风化槽（囊）、断层破碎带、富水砂层等特殊地质地段时，应进行特殊设计，保证结构和施工安全。

10.1.6 超前地质预报及监控量测方案应根据地质条件、开挖跨度、环境条件以及

施工组织等因素制定。

10.1.7 在隧道施工过程中，应根据隧道超前地质预报和监控量测的相关信息实行动态设计和信息化施工，对开挖方法、支护参数及时进行调整。

10.2 衬砌结构及构造

10.2.1 钻爆法隧道衬砌结构可分为全封闭复合衬砌、限排复合衬砌及排放复合衬砌三种类型，衬砌的选用应符合下列规定：

- a) 静水头压力较小且在 V、VI 级围岩地段，宜采用全封闭复合衬砌；
- b) 在 I~III 级围岩地段，宜采用排放复合衬砌；
- c) 在渗水量较大地段，应通过地层注浆减少围岩的总渗水量，根据注浆处理后渗水量大小及地质条件可采用限排复合衬砌或排放复合衬砌。

10.2.2 全封闭复合衬砌的二次衬砌设计应符合下列规定：

- a) 采用全封闭复合衬砌隧道的最大水头一般不超过 0.6MPa；
- b) 在运营期承担全部水压力时，宜采用钢筋混凝土结构；
- c) 根据结构受力计算，水压力越大时断面形状越接近圆形；
- d) 应采用曲墙带仰拱的结构形式。

10.2.3 限排复合衬砌的二次衬砌设计应符合下列规定：

- a) 宜采用曲墙带仰拱的结构形式；
 - b) 根据地质围岩情况，合理采取限排措施，确保衬砌背后地下水能长期稳定排放。
- 规定：

- a) 二次衬砌可采用无仰拱的结构形式；
- b) 应加强排水措施设计，确保衬砌背后地下水能长期、有效的疏导。

10.2.5 隧道支护结构应根据围岩条件和技术条件等选择合适的设计方法。可采用以工程类比为主的经验法初步拟定参数，采用荷载—结构法或地层—结构法对衬砌结构内力与变形进行分析计算。

10.2.6 初期支护应能保证施工安全和控制围岩变形，并应符合下列规定：

- a) 应根据地质条件及施工开挖工序确定初期支护结构参数，并应考虑地下水渗流对初期支护及洞室稳定的影响；
- b) IV~VI 级围岩应根据施工全过程的不同工况采用增量法对初期支护的结构安全进行校核。

10.2.7 初期支护的喷射混凝土应符合下列规定：

- a) 强度等级不低于 C25;
- b) 厚度不小于 80mm;
- c) 在自稳性差的软弱围岩、膨胀性围岩地段, 宜选用纤维喷射混凝土支护。

10.2.8 锚杆设计参数应根据地质条件、隧道断面尺寸、使用部位、施工条件等合理选择, 并应符合下列规定:

- a) 宜选用全长黏结型锚杆;
- b) 锚杆长度不宜短于 2.5m, 间距不宜大于 1.5m;
- c) 锚孔内水泥砂浆强度等级不应低于 M30, 宜采用早强砂浆。

10.2.9 在围岩条件较差地段, 初期支护应设置钢架, 并应符合下列规定:

a) 初期支护中的钢拱架宜选用钢筋格栅, 临时仰拱或中隔壁可采用型钢拱架; 钢拱架间距不宜大于 150cm, 钢筋格栅的主筋直径不宜小于 18mm;

b) 初期支护钢架各分段间应采用可靠的连接, 节点位置应与施工开挖方法和步序相结合, 先期施工的导洞钢架节点应考虑到与后期施工导洞钢架节点的衔接;

- c) 节点位置宜避开受力较大的部位;
- d) 每段钢架长度和重量应方便现场施工, 其长度不宜小于 2.0m;
- e) 可将相邻环钢架的节点位置错开布置。

10.2.12 对于全封闭复合衬砌, 作用在二次衬砌上的外水压力宜按全部静水头高度计算, 初期支护应考虑施工阶段的地下水渗流压力的影响。

10.2.13 对于限排复合衬砌, 二次衬砌的设计外水压力不宜小于总水头的 25%, 且不应低于 200KPa。

10.2.14 对于排放复合衬砌, 二次衬砌可不考虑外水压力, 但应以不小于 200KPa (拱顶) 水压力按正常使用极限状态准永久组合进行结构验算。

10.2.15 钻爆法施工的结构, 应向其初期支护、二次衬砌背后压注水泥砂浆或其他浆液, 保证围岩与结构的共同作用。

10.2.16 隧道建筑物各部结构的截面最小厚度, 应满足《地下工程防水技术规范》(GB50108) 的要求。

10.2.17 隧道衬砌配筋构造应符合下列规定:

- a) 受力钢筋最小直径不应小于 16mm;
- b) 衬砌内外侧应设垂直于受力主筋的分布钢筋, 分布钢筋直径不宜小于 12mm, 间距不宜大于 300mm;

c) 衬砌内外两层受力钢筋之间应设拉筋, 直径不应小于 6mm。拉筋应布置在环向受力钢筋和分布钢筋的交叉位置, 间距不应大于分布钢筋间距的 2 倍, 环向受力钢筋和箍筋应进行绑扎或焊接。

10.2.18 钢筋混凝土构件的表面裂缝最大宽度计算值应不大于 0.2mm, 腐蚀环境较严重时不应大于 0.15mm, 并应符合相关规范规定。

10.3 衬砌防排水

10.3.1 隧道衬砌的防排水方案应根据隧道开挖方法、结构特点、水压大小及容许渗水量等因素制定。

10.3.2 隧道衬砌应达到二级防水标准, 配电房等特殊地段应达到一级防水标准。

10.3.3 隧道衬砌应采用防水混凝土, 采取有效技术措施保证变形缝、施工缝、穿墙管、预埋件、各种结构断面接口等细部结构的防水效果。

10.3.4 允许的渗水排放量应根据隧道跨度、长度、地质条件、静水头高度分区段综合确定, 平均排放量宜小于 $0.3 \sim 0.4 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{d}$ 。

10.3.5 隧道渗水量较大时, 宜采用注浆防水。注浆防水应符合下列规定:

a) 在软弱或破碎围岩地段, 应通过超前注浆, 在隧道洞室四周形成注浆堵水圈, 封闭围岩裂隙和渗流通道;

b) 隧道开挖后洞壁四周存在局部渗漏水时, 可采取径向注浆堵水;

c) 初期支护表面有较大面积的渗漏水或喷层与围岩间存在空隙时, 应及时进行喷层后的回填注浆;

d) 注浆材料宜采用纯水泥浆液等在地下水长期作用下强度不显著降低的材料。

10.3.6 全封闭、限排、排放复合衬砌之间应采取隔水措施, 防止不同防水分区之间地下水相互连通, 并应符合下列规定:

a) 对地下水封闭要求高的衬砌应向封闭要求低的衬砌延伸 $15 \sim 20 \text{ m}$;

b) 不同衬砌类型之间隔水措施的纵向长度宜为 $8 \sim 12 \text{ m}$;

c) 在地质条件较好的地段可取消初期支护与二次衬砌之间的无纺布, 并在防水层与初期支护之间设置软质橡胶等防串流垫层。

10.3.9 隧道衬砌的施工缝、变形缝应采取可靠的防水措施, 设置应满足《地下工程防水技术规范》(GB50108) 的要求。变形缝处采取的防水措施应能满足接缝两端结构产生差异变形及纵向伸缩时的防水要求。

10.3.10 隧道排水设计应符合下列规定:

- a) 全封闭复合衬砌段衬砌外可不设置环向排水管；
- b) 排放复合衬砌及限排复合衬砌的衬砌外排水管的布置方式和管径应根据地质情况、总静水压力、衬砌抗水压能力综合确定；
- c) 结构计算计入水压力折减时，应保证排水系统的长期有效性或具有可维护性；
- d) 仰拱未设防水层时，路面基层应有有效的排水措施，防止地下水渗流至路面影响行车安全。

10.4 辅助措施及开挖方法

10.4.1 在围岩自稳能力较差、开挖可能产生坍塌的地段，可采取洞内超前管棚支护措施。超前管棚支护设计应遵循下列原则：

- a) 管棚钢管宜选用热轧无缝钢管，外径宜为 76mm~180mm，环向间距宜为 30~50cm，应有一定外插角，倾角大小应保证管棚钢管不侵入隧道结构轮廓线内；
- b) 钢管分阶段采用“V”形对焊或丝扣连接，每一接头与相邻钢管接头应错开不小于 50cm 的距离；
- c) 一次支护长度宜为 16~45m，两次管棚支护间、管棚与其他超前支护间应有不小于 3.0m 的水平搭接长度；
- d) 钢管内应填充水泥砂浆，砂浆强度等级不应低于 M20。

10.4.9 隧道穿越可能出现突水突泥的风化深槽或其他特殊不良地质地段时，应设置临时防水闸门。防水闸门的设计应遵循下列原则：

- a) 应选择在地质条件较好地段，门框与围岩的连接应牢固可靠；
- b) 与不良地质段距离不宜小于 50m；
- c) 防水闸门宜采用内置型钢骨架、外贴钢板的可拆卸重复利用结构；
- d) 防水闸门及门框四周应安装挤压式防水橡胶密封条；
- e) 风水电管宜布设于闸门内，且应便于拆卸。

10.4.11 开挖方法转换应符合下列规定：

- a) 转换前应进行围岩级别核对，确认开挖方法和支护参数适用于前方围岩。
- b) 分部断面变大、支护变弱应在较好的围岩段中进行。
- c) 转换前应进行技术交底。
- d) 转换应逐渐过渡。
- e) 转换过程中各开挖分部应及时支护、及时闭合。
- f) CD、CRD 或双侧壁等工法转变时应注意临时仰拱及临时竖隔壁的合理衔接，确

保施工便利性及连续性。

10.5 超前地质预报及监控量测

10.5.1 钻爆法隧道施工应将超前地质预报和监控量测纳入工序管理，建立预警机制，实时动态地掌握隧道开挖地质情况与围岩变形。

10.5.2 超前地质预报应以钻探为主，并遵循地质调查与物探相结合、物探与钻探相结合、长短探测相结合、洞内与洞外相结合、构造探测与水文探测相结合的原则，应符合下列规定：

- a) 应对拱顶岩层厚度、覆盖层厚度及地下水分布情况进行探测与分析；
- b) 超前钻孔应配置防突水涌泥的措施。

10.5.3 超前地质预报可分为短距离预报、中距离预报及长距离预报，预测方法的选择宜符合下列规定：

- a) 预报长度不超过 30m 时，宜采用地质调查法、地质雷达法、加深炮孔法、小于 30m 的地质超前钻探等；
- b) 预报长度为 30~100m 时，宜采用弹性波反射法、30~100m 地质超前钻探等；
- c) 预报长度为 100m 以上时，宜采用弹性波反射法、100m 以上地质超前钻探等。

10.5.4 采用激发极化法探测地下水分布情况时，应依次进行数据获取、数据反演、预报结果解释和含水构造信息综合解释。测点布置应符合下列规定：

- a) 在隧道工作上宜布置 3 条平行测线；
- b) 各测线上电极布置数量宜相等，同一测线上电极间距宜相等；
- c) 3 条平行测线宜布置在距离底部 $1/4HG$ 、 $1/2HG$ 、 $3/4HG$ 高度上，其中 HG 为拱顶距离底部的高度。

10.5.5 监控量测的内容、密度和频率应结合隧道地质条件、地下水渗流情况及开挖方法等因素确定；应对软弱围岩地段的周边位移、拱顶下沉和底部隆起进行监测，按开挖工序布设监测点。

11 围堰法隧道

11.1 一般规定

11.1.1 围堰法隧道的埋置深度与回填设计应考虑水深、航道现状、航道规划、水利规划、水流冲刷、结构抗浮、两端接线及工程规模等因素。

11.1.2 围堰一般为临时性建筑，围堰的设计应遵循安全可靠、经济合理、结构简单、施工方便、就地取材、易于拆除、利于环保等原则。

11.1.3 围堰形式及材料应结合水深、地层特性、隧道结构、基坑支护及环保要求等因素确定。围堰可按临时结构进行设计，后续需继续利用时应按永久结构设计。

11.1.4 围堰的设计使用年限应考虑明挖隧道结构施工、基坑回填及围堰拆除等因素。

11.1.5 围堰法隧道的结构型式应根据施工导流方案、地形地质条件、水文情况、建筑材料来源、施工进度要求及施工资源配置等确定，同时应考虑技术经济、环境保护、社会效益等因素。

11.1.6 围堰法隧道一般为明挖法施工，围护结构应参考现行国家行业标准《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120)，并结合当地地方性规范进行设计。

11.2 围堰设计

11.2.2 围堰布置应符合下列规定：

- a) 满足围护建筑物布置及施工要求；
- b) 满足堰体与岸坡或其他建筑物的连接要求；
- c) 围堰背水侧坡脚与围护建筑物基础开挖边坡开口线的距离，应满足堰基和基础开挖边坡的稳定要求；
- d) 满足水力条件及防冲要求；
- e) 宜利用有利地形、地质条件，减少围堰及堰基处理工程量；
- f) 宜避开两岸溪沟水流对围堰造成危害性冲刷；无法避开时，应采取相应措施。

11.2.3 围堰法隧道结构设计应满足使用功能、稳定、抗渗、抗冲刷要求，并应符合下列规定：

- a) 应结构简单，施工方便，就地取材；
- b) 围堰基础应易于处理，堰体便于与岸坡或已有建筑物连接；
- c) 围堰形式及填料应结合防渗处理方案确定。

11.2.6 围堰堰顶宽度应满足施工和防汛抢险要求，土石围堰堰顶宽度宜为 7~10m，混凝土（砌石）围堰、钢板（管）桩围堰堰顶宽度宜为 3~6m。

11.2.7 围堰水力计算应符合下列规定：

- a) 围堰应按束窄河床进行各期导流水力计算，确定各束窄断面的设计洪水水位和流速、流态，确定围堰防冲措施及通航条件；
- b) 土石围堰应进行渗流计算，根据浸润线分析堰体、堰基渗透稳定并计算其渗流量；

c) 混凝土或砌石围堰，应分析堰基渗透稳定并计算渗流量；
d) 围堰渗流计算应考虑围堰运行中各种条件，选择最不利工况核算堰体及堰坡稳定；

e) 围堰防渗体及堰基的安全渗透比降宜根据试验成果经论证后取用。

11.2.9 围堰应力及变形计算应符合下列规定：

a) 应力及变形计算宜采用非线性弹性应力应变关系进行分析，也可采用弹塑性应力应变关系分析。若堰体及堰基为黏性土，宜考虑固结对堰体应力及变形的影响；

b) 土石围堰的沉降计算可采用土工试验得出的孔隙比及压缩曲线，根据堰基上的自重应力及堰顶附加应力，采用分层总和法计算堰体及堰基竣工时的沉降量和最终沉降量；

c) 混凝土（砌石）围堰使用期迎水面允许有 0.15MPa 以下的主拉应力，堰体允许有 0.2MPa 以下的主拉应力；

d) 1 级围堰及建在复杂和软弱地基上的围堰的应力和应变除按常规方法计算外，宜采用有限元法进行数值计算。

11.2.11 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。

11.2.12 临时围堰应进行拆除设计，包括围堰拆除范围、拆除宽度和高程、拆除工序和拆除方法等内容。

11.3 地基处理

11.3.1 围堰法隧道应根据基坑底部地质条件、水文条件、承载力要求、抗浮要求及不均匀沉降要求等，选用换填垫层（包括加筋垫层）、复合地基、桩基等地基处理方式。

11.3.2 围堰法隧道位于淤泥、淤泥质土、冲填土、杂填土或其他高压缩性土层等软弱地基上时，可根据软弱地基分布特点和厚度选择不同的地基处理形式。

a) 基坑底部地质条件仅局部不均匀，或仅浅表层 3m 内存在软弱土层时，可采用换填处理。换填材料可采用中砂、粗砂、砂砾，角（圆）砾、碎（卵）石、矿渣、灰土、黏性土以及其他性能稳定、无腐蚀性的材料；

b) 基坑底部浅表 3~5m 存在软弱土层时，可采用水泥搅拌桩、高压旋喷桩、挤密桩碎石、CFG 桩等处理形式；

c) 基坑底部浅表软弱土层厚度大于 5m 或下卧软硬交互地层时，宜采用桩基础，

桩基础可采用混凝土预制桩或混凝土灌注桩。

11.3.3 复合地基设计应满足隧道承载力和变形要求。复合地基承载力特征值应通过现场复合地基载荷试验确定，或采用增强体载荷试验结果和其周边土的承载力特征值结合经验确定。

11.3.4 桩基布置位置应有利于隧道主体结构的受力，并宜符合下列规定：

- a) 敞开段宜沿底板均匀布置，暗埋段宜沿结构侧墙及中隔墙底部均匀布置。
- b) 隧道纵向桩间距宜按相同间距均匀布置，并通过桩长的变化来调整各分段总抗浮力。

11.4 隧道结构

11.4.1 围堰法隧道的结构形式应根据隧道跨度、覆盖层厚度、地质条件及使用功能确定，可采用矩形结构、拱形结构、单孔结构及多孔结构等，并宜符合下列规定：

- a) 可采用整体式现浇钢筋混凝土结构或装配式钢筋混凝土结构，当结构受力较大时，可采用预应力钢筋混凝土结构；
- b) 对于覆土较薄的隧道结构，宜采用矩形断面；当隧道覆土在 5m 以上，且跨度较大时，可考虑采用拱形断面；
- c) 双向行车时，宜采用双孔结构，当车道较多及兼具行人或市政管廊功能时，可根据功能分区采用多孔结构。

11.4.2 主体结构侧墙可采用单一墙、叠合墙及复合墙等形式。对外观或防水要求较低且能满足耐久性要求时可采用单一墙，围护墙直接作为主体结构侧墙。对外观或防水要求较高时，结合结构使用、受力、防水及耐久性等要求，宜选用叠合墙或复合墙，围护墙宜作为主体结构侧墙的一部分与内衬墙共同受力。

11.4.3 隧道抗浮可用压重、压顶梁、抗拔桩及抗浮锚桩等措施。隧道底部设置桩基时，应考虑桩基与结构的相互作用。

11.4.4 隧道结构在荷载、结构形式和工程地质等条件发生显著改变的部位设置变形缝时，应采取工程技术措施控制变形缝两侧不产生影响使用的差异沉降。

11.4.5 地下水较丰富时，围护结构宜选用地下连续墙或钢板桩等具有防水能力的围护形式；选用钻孔灌注桩或 SMW 工法桩时，接缝处宜采取防水措施。

11.5 结构防水及回填

11.5.1 围堰法隧道主体结构的防水等级应根据结构重要性和设计使用年限，按现行国家标准《地下工程防水技术规范》（GB 50108）采用二级防水标准。

11.5.2 隧道主体结构宜按照全封闭不排水的原则设计，防水体系由混凝土自防水为主，以接缝防水为重点，并辅以附加防水层加强防水。

11.5.3 中等以上腐蚀环境中的隧道混凝土外防水层的选用与设置应符合如下规定：

a) 在迎水面或复合式衬砌之间宜设置全包柔性外防水层，并根据顶、底板防水层的特性考虑保护措施；

b) 当耐久性设计中考虑设置防腐蚀层时，外防水层的设计应与防腐蚀层相结合。

11.5.4 防水混凝土结构底板下应设置混凝土垫层，强度等级不应低于 C20，厚度不应小于 150mm，在软弱土层中不应小于 200mm。

11.5.5 隧道主体结构外部防水层宜以防水涂料、防水卷材、塑料防水板为主，特殊部位或有特殊环境要求时也可采用金属防水板、膨润土防水毯等。防水材料优先选用能与混凝土直接粘结，且具有良好施工性能的柔性防水材料。

11.5.6 防水混凝土应连续浇筑，宜少留施工缝。留施工缝时应符合下列规定：

a) 墙体水平施工缝不应留在剪力最大处或底板与侧墙的交接处；

b) 垂直施工缝应避开地下水和裂隙水较多的地段，并宜与变形缝相结合。

11.5.7 隧道两侧及顶部回填应考虑水流速度、水深、水流冲刷、航运要求、结构抗浮、地震作用等因素，并宜符合下列规定：

a) 隧道施工完成后，应进行基坑回填，回填之前需明确水域是否通航，一般回填至原河（海）床面；

b) 回填材料可采用土石分层回填，压实度不宜小于 90%；

c) 当水流冲刷较大时，顶部回填可采用大重量块石、浆砌片石或混凝土铺砌。

d) 顶部保护层应满足使用年限最大冲刷要求；

e) 回填覆盖后，运营期隧道抗浮安全系数不宜小于 1.15。

11.6 构造要求

11.6.1 围堰法隧道两岸接线段变形缝的设置应符合下列规定：

a) 暗埋段结构变形缝间距宜为 60m，宜设于结构断面变化处、地面覆土变化较大处、地基强度差异明显等可能产生较大差异沉降的地方，变形缝宽度宜为 20mm；

b) 敞开段结构变形缝间距宜为 30m，变形缝宽度宜为 20mm；

c) 在软弱地层中，变形缝处宜在顶、底板和侧墙采取抗剪措施，如顶板和边墙设置剪力杆，底板设置凹凸榫，防止缝两侧的结构发生竖向错动，减小变形缝两侧结构的

差异沉降。

11.6.2 围堰法隧道施工缝的设置应符合下列规定：

a) 隧道环向施工缝间距宜为 12~15m，应尽量留在剪力较小且便于施工的部位，并兼顾内部设施的完整性（避让较大孔洞及横向框架），环向施工缝宜与变形缝或后浇带相结合；

b) 纵向施工缝宜设在结构顶、中、底板加腋以外不小于 300mm 处。墙体有预留孔洞时，施工缝距孔洞边缘不宜小于 300mm；

c) 施工缝间各结构段的混凝土宜间隔浇注。

11.6.3 矩形隧道结构顶、底板与侧墙连接处宜设置腋角，腋角的边宽不宜小于 150mm，内配置八字斜筋的直径宜与侧墙的受力筋相同。

12 机电系统

12.1 一般规定

12.1.1 隧道应根据施工工法、环境条件、交通状况及运营管理等因素，配置合理的通风、给排水、消防、供配电、照明、监控及火灾报警等机电系统设施。

12.1.2 隧道总体布置、附属用房、机电系统设施等设置应满足水下隧道正常运营、维护管养、防灾救援等综合需要。

12.1.3 隧道应选用技术先进、工艺成熟、安全可靠、经济合理、节能环保的机电设备，并应满足防尘、防潮、防腐蚀、防雷等要求。

12.2 通风系统

12.2.1 隧道的通风设计应综合考虑道路等级、工程规模、预测交通量及交通组成、车辆有害气体排放量、道路平纵断面线形、环境保护、烟气控制和运营维护等因素。

12.2.2 隧道通风系统在正常工况及交通阻塞时，应能稀释或排除隧道内 CO、烟尘、NO_x 等污染物；火灾工况时，应能控制并迅速排除烟气；隧道内养护维修时，应能提供必要的通风措施。

12.2.4 隧道通风换气应符合下列规定：

a) 隧道内空间不间断换气次数不应小于 3 次/h；

b) 当采用纵向通风时，换气风速不应低于 2.5m/s。

12.2.5 隧道设计纵向风速不宜大于 10m/s，特殊情况时不应大于 12m/s。

12.2.6 单向交通隧道通风方案的选取应符合下列规定：

a) 长度不大于 500m 且仅限通行非危险化学品等机动车辆的城市道路水下隧道可

采用自然通风方式；

b) 长度不大于 3000m 的单洞单向交通隧道宜采用纵向通风排烟方式，交通量较大且容易发生阻塞时，可采用重点排烟方式；

c) 长度大于 3000m 的隧道，宜采用分段纵向通风排烟方式或重点排烟方式。

12.2.7 单洞双向交通隧道，运营通风方案根据工程方案、环境条件及交通量预测等因素选定，隧道内火灾时宜采用重点排烟方式。

12.2.11 隧道进出口含有多匝道或与其他隧道互通匝道，宜采用通风网络计算方法计算匝道、主线等风量分配及污染物分布情况。

12.2.12 隧道通风阻力计算时，应充分考虑水下隧道纵坡、隧道曲线及匝道分合流对隧道沿程阻力系统 λ 的影响。

12.2.13 射流风机的布置应符合下列规定：

a) 射流风机距离洞口布置间距不宜大于 100m，同组射流风机中心间距不应小于风机直径的 2 倍；

b) 射流风机不应侵入隧道建筑限界，风机边沿与隧道建筑限界的净距不宜小于 150mm；

c) 射流风机安装空间紧张时，可采用隧道顶部结构局部抬高，或横向结构扩挖的壁龛方式，风机进出口两侧导流墙与隧道纵向轴线夹角不宜大于 15° ，射流风机进出口两侧壁龛直线段长度不应小于风机纵向中心线距离结构壁面的 1.5 倍；

d) 支承风机的结构承载力不应小于风机实际静荷载的 15 倍，风机安装前应进行支承结构的荷载试验；

e) 射流风机在隧道分岔位置布置时，应充分考虑该区域的气流流场分布，保证隧道分岔位置气流组织合理。

12.2.14 隧道风机房的布置应结合施工工法、结构安全及地面环境等因素综合考虑。风机房的布局应能满足风机及其配套设施运输、安装及检修要求。

12.2.15 隧道轴流风机的布置、选型及安装应符合下列规定：

a) 轴流风机并联运行时，不宜大于 3 台，并联运行风机型号和性能参数应保持一致；

b) 轴流风机选型应根据风机性能参数、风道摩擦阻力和风机全压效率等验算确定；

c) 大型轴流风机上方应设置吊装滑轮或电动葫芦等。

12.2.16 附属设备用房通风空调设计应符合下列规定：

a) 附属设备用房应按照去除室内余热、余湿及换气要求设置通风系统；当变电所、控制室等电气房间余热、余湿量较大时，可设置空调或除湿系统；

b) 当设置空调系统时，新风量每人不应少于 30m³/h。

12.3 给水系统

12.3.1 隧道给水设计应满足工程对水量、水质、水压的要求，做到安全可靠、技术先进、经济合理、节水节能、管理方便。

12.3.2 给水系统用水量定额应符合下列规定：

a) 工作人员生活用水定额最高日应为 30~50L/人·班，平均日应为 25~40L/人·班，最高日小时变化系数 1.5~1.2；

b) 隧道各附属建筑物用水定额，应符合现行国家标准《建筑给水排水设计规范》(GB 50015)的有关规定；

c) 隧道内宜采用隧道专用冲洗车，冲洗水量根据喷洒面积按 2.0L/(m²·d)~3.0L/(m²·d) 计算。

12.3.3 给水系统应符合下列规定：

a) 应充分利用城市给水管网的水压直接供水；

b) 不同使用性质或计费的给水系统，应在引入管后分成各自独立的给水管网，水下隧道应采用生产、生活和消防分开的给水系统；

c) 寒冷地区，给水管道应有防冻措施。

12.3.4 给水系统管道布置和敷设应符合下列规定：

a) 隧道两端室外宜设置室外加水栓；

b) 隧道外埋地的给水管道管材，应具有耐腐蚀和承受相应地面荷载的要求。

12.4 排水系统

12.4.1 排水系统的选择应根据雨、废水的性质，并结合市政排水体制确定。

12.4.2 隧道雨水系统设计应与区域排水系统相协调，并满足城市排涝除险措施。

12.4.3 雨水系统设计应采取工程性和非工程性措施加强城市隧道应对超过内涝防治设计重现期降雨的韧性，并应完善必要应急措施。

12.4.5 排水系统应符合下列规定：

a) 隧道宜采用高水高排、低水低排互不连通的系统就近排放；

b) 隧道排水设计应分类集中，雨水系统应设置避免客水进入隧道措施，集中排除

敞口段汇水面积的地面径流水；冲洗废水、结构渗漏水 and 消防废水应集中合并排放；

c) 隧道排水应设置独立的排水系统，并防止倒灌。当没有条件设置独立排水系统时，受纳排水系统应能满足地区和隧道排水流量要求；

d) 隧道排水系统应考虑施工、运营期间的可维护性；

e) 废水泵房宜根据条件考虑永临结合。

12.4.6 排水泵房应符合下列规定：

a) 排水系统宜采用强排措施，并宜在管道出口采取防倒灌措施；

b) 隧道排水泵房宜设置两个出入口，其中一个能满足最大设备或部件的进出；

c) 排水泵房室内地坪应比室外地坪高 0.2~0.3m；

d) 隧道雨、废泵房供电应按一级负荷设计。局部泵站按二级负荷设计；

e) 排水泵站应采用自灌式泵站；

f) 水下隧道废水泵房的位置应根据隧道纵断面布置确定。最低点废水泵房宜采用一次性提升，当确有困难时，可采用逐级提升、接力排出；

g) 水域环境下的泵站，应采用耐腐蚀水泵及零配件，海域环境废水泵站宜采用双相不锈钢材质水泵或者牺牲阳极保护法增加水泵的耐腐蚀性。

12.4.7 排水泵房排水设备应符合下列规定：

a) 雨水泵房应设置备用泵，并宜设置旱季泵；

b) 主废水泵房应设置备用泵，排水能力应按消防最大排水量和结构渗水量之和计算确定，水泵扬水管不应少于两条，废水泵宜选用单级潜水排污泵，当采用多级潜水泵时，集水池前宜设置水处理设施，满足潜水泵对水质的要求；

c) 选用的水泵在设计扬程时宜在高效区运行，2 台以上水泵并联运行合用一根出水管时，应根据水泵特性曲线和管路工作特性曲线验算单台水泵工况。

12.4.10 隧道内排水收集系统应符合下列规定：

a) 隧道接地段处应设置驼峰，驼峰高度不小于 500mm，接地段附近应设置横截沟，将客水排出隧道外；

b) 隧道洞口应设置横截沟，且不宜少于 2 道，并将雨水排至雨水泵房；

c) 隧道最低点应设置横截沟，并将废水排至废水泵房；

d) 隧道应设置纵向排水沟，以排除结构渗水、雨水、冲洗水和灭火时的消防水，排水沟坡度与路面纵坡坡度一致；

e) 隧道横截沟和纵向沟盖板应保证车辆和行人安全，并满足清淤要求。

12.5 照明系统

12.5.1 隧道照明可划分为入口段照明、过渡段照明、中间段照明、出口段照明、敞开段照明。

12.5.3 隧道入口段照明、过渡段照明和出口段照明亮度标准值应满足现行《公路隧道照明设计细则》(JTG/TD70/2-01)的相关规定。

12.5.4 隧道敞开段照明亮度标准值宜与接线道路照明亮度标准值一致。隧道洞口接近段宜采用设置遮光棚等减光措施。

12.5.5 隧道内交通分流段、合流段的亮度不宜低于中间段亮度的 3 倍。

12.5.6 人行、车行横通道亮度不应低于 1.0cd/m^2 。

12.5.7 隧道照明控制设计应实现正常和异常交通工况的控制功能。隧道照明控制设计宜采用智能控制或自动控制为主、手动控制为辅的控制方式。

12.5.8 隧道照明灯具宜选用 LED 灯,灯具防护等级不应低于 IP65,灯具外壳应采用防腐蚀材料。

12.5.9 隧道照明 LED 灯具一般显色指数不应小于 60,且额定相关色温不宜大于 5000K。隧道照明 LED 灯具应采取措施抑制眩光,避免对安全和视觉舒适性造成干扰。

12.6 供配电系统

12.6.3 隧道供电设计应符合下列规定:

a) 一级负荷应由双重电源供电,当一个电源发生故障时,另一个电源不应同时受到损坏;

b) 对于一级负荷中的特别重要负荷,除双重电源供电外,尚应增设应急电源供电;应急电源供电回路应自成系统,且不得将其他负荷接入应急供电回路;应急电源的切换时间,应满足设备允许中断供电的要求;应急电源的供电时间,应满足用电设备最长持续运行时间的要求;

c) 二级负荷的外部电源进线宜由 35kV、20kV 或 10kV 双回线路供电。当隧道由一路 35kV、20kV 或 10kV 电源供电时,二级负荷可由两台变压器各引一路低压回路在负荷端配电箱处切换供电。当隧道由双重电源供电,且两台变压器低压侧设有母联开关时,二级负荷可由任一段低压母线单回路供电;

d) 三级负荷可采用单电源单回路供电。

12.6.5 设置中央控制管理设施的隧道宜设置电力监控系统。

12.6.6 隧道供电系统的继电保护和自动装置应满足可靠性、选择性、灵敏性和速

动性的要求，并应符合下列规定：

- a) 继电保护和自动装置应具有自动在线检测、闭锁和装置异常或故障报警功能；
- b) 对相邻设备和线路有配合要求时，上下两级之间的灵敏系数和动作时间应相互配合；
- c) 当被保护设备和线路在保护范围内发生故障时，应具有必要的灵敏系数；
- d) 保护装置应能尽快地切除短路故障。当需要加速切除短路故障时，可允许保护装置无选择性地动作，但应利用自动重合闸或备用电源和备用设备的自动投入装置缩小停电范围。

12.6.7 隧道内配电箱（柜）的防护等级应不低于 IP55，并满足防腐蚀要求。

12.6.8 隧道内的电线和电缆应选用低烟、无卤阻燃型。隧道内消防用电设备的配电线路应采用耐火电缆或矿物绝缘电缆，并满足消防用电设备火灾发生期间最少持续供电时间的需要。耐火电缆和矿物绝缘电缆应具有不低于 B1 级的难燃性能。

12.6.9 隧道内低压配电系统接地方式宜采用 TN-S。

12.7 弱电系统

12.7.1 附属用房设施设计应符合下列规定：

- a) 特长、长隧道宜设置运营管理中心，中、短隧道可纳入城市监控及应急事件管理；
- b) 运营管理中心宜设置在城市道路水下隧道引道出入口附近，并应符合日常维护管理及应急处置要求；
- c) 运营管理中心应符合交通管理、电力供给、防灾报警、设备监控，以及应急处理和全线信息的集散与交换等的要求；
- d) 位置较近的多条城市道路水下隧道宜集中布置运营管理中心，监控系统设备应同时满足多条城市道路水下隧道的总体监控功能、运营管理需求以及可靠性要求；救援线路长度和救援时间应控制在合理范围内，并应满足应急救援要求；
- e) 运营管理中心建筑应符合节约用地、布局实用、功能明确、规模合理、与周围环境相协调、独立进出的要求。

12.7.2 交通监控设施设计应符合下列规定：

- a) 隧道交通监控设施设计内容应包括交通监测设施、交通控制及诱导设施的设计，交通监控设施应使管理者能及时掌握交通信息，有效地管理交通；
- b) 交通监测设施应具备检测隧道内交通信息、车辆运行状况，监视隧道交通运营

状态的功能；

c) 交通控制及诱导设施应具备收集和处理交通信息，并传送给中央控制室计算机，同时接收中央控制室计算机传来的有关信息或指令，实现交通控制与诱导的功能；

d) 交通监控设施的设备及设置间距要求应符合现行《公路隧道设计规范 第二册 交通工程与附属设施》(JTG D70/2) 及《城市地下道路工程设计规范》(CJJ221) 的规定。

12.7.3 紧急呼叫及广播设施设计应符合下列规定：

a) 设计内容应包括紧急电话设施和隧道广播设施的设计，紧急呼叫设施应为隧道管理提供快捷的紧急呼叫功能；

b) 紧急电话及隧道广播设施的设计原则应符合现行《公路隧道设计规范 第二册 交通工程与附属设施》(JTG D70/2) 及《城市地下道路工程设计规范》(CJJ221) 的规定。

12.7.6 隧道标志设施设计应符合下列规定：

a) 城市道路水下隧道隧道标志设施的设计内容应包括紧急电话指示标志、消防设备指示标志、人行横通道指示标志、车行横通道指示标志、紧急停车带标志；

b) 隧道标志设施的设计原则应符合现行《公路隧道交通工程设计规范》(JTG/T D71)、《公路隧道设计规范 第二册 交通工程与附属设施》(JTG D70/2) 及《城市地下道路工程设计规范》(CJJ221) 的规定。

12.7.7 UPS 供电设施设计应符合下列规定：

a) 附属用房设施、交通监控设施、设备监控设施、紧急呼叫设施、无线通讯设施、火灾探测报警设施、隧道标志设施应为特别重要负荷；

b) 特别重要负荷由两路独立电源供电的同时应设置不间断电源 (UPS) 作为应急电源。不间断电源 (UPS) 的供电时间应按照 60min 考虑。

13 消防安全与应急疏散

13.1 一般规定

13.1.1 隧道的防灾疏散设计应按隧道全线同一时间内发生一次火灾考虑。

13.1.2 隧道在防灾设计时需要考虑交通阻滞，阻滞长度可根据隧道长度进行考虑，当隧道长度 $L \leq 1000\text{m}$ 时，阻滞长度等于隧道长度，当隧道长度 $> 1000\text{m}$ 时，阻滞长度可按 1000m 进行设置。

13.1.3 隧道禁止通行危险化学品等机动车。

13.1.4 消防设施应根据隧道类型、隧道形式、隧道功能定位和防火等级进行选择，并对全线消防设施进行集中监控与联动。

13.1.6 长度 $L \geq 500\text{m}$ 的城市道路水下隧道应设置火灾机械防烟与排烟系统。

13.2 隧道及其附属设施防火

13.2.4 隧道内部装修应采用不燃、且高温时不释放出有毒气体的材料。

13.2.5 隧道内防火门应采用甲级防火门，防火门的设置应符合下列规定：

- a) 防火门应为钢质 A 类隔热防火门，耐火极限不应低于 3.0h；
- b) 防火门应为向疏散方向开启的平开防火门，应能在门两侧开启，且应能自动关闭；中间廊道空间受限，防火门设置在人行横通道口时，应向横通道内开启；
- c) 用于人行横通道和专用疏散通道的防火门，应为常闭防火门，防火门应具有信号反馈的功能。

13.2.6 车行横通道应设置防火卷帘，并应符合下列规定：

- a) 防火卷帘应为常闭钢制防火、防烟卷帘，且耐火极限不低于 3.0h；
- b) 防火卷帘两侧应设置启闭装置，并应具有就地和远程控制功能。

13.2.7 设置在隧道行车道旁的电缆沟，其侧沿结构应能够不渗透液体，且其顶部高于路面距离不应小于 200mm。

13.2.8 城市道路水下隧道、地下附属设备用房、风井、消防出入口的耐火等级为一级，地面重要的设备用房、运营管理中心耐火等级不应低于二级，其它地面附属用房的耐火等级为二级。

13.3 疏散通道

13.3.1 隧道人行横通道应根据隧道施工方法进行设置，具体形式如下：

- a) 双孔沉管法、钻爆法及围堰法隧道应设置人行横通道；
- b) 双孔盾构法隧道应设置人行横通道或人行疏散通道，设置横通道难度较大时，应采用车道层下方的疏散通道进行纵向疏散；
- c) 上、下行车的双层隧道可采用上下互为疏散的方式进行人员疏散，且上、下层隧道需采用封闭楼梯间和甲级防火门进行防火分隔。

13.3.6 人行横通道的净高度不应小于 2.1m，净宽度不应小于 1.2m；盾构法隧道采用纵向疏散时，疏散楼梯净宽度不应小于 0.8m，坡度不应大于 60°。

13.3.7 人行横通道应具备应急照明、安全标志等设施。

13.3.8 坡度大于 5% 的人行横通道应设置踏步台阶，且应在人行横通道边墙两侧设

置高度为 0.9m 的扶手。

13.3.10 车行横通道的净高度不应小于 4.5m，净宽度不应小于 4.0m，应在车行横通道两端设置甲级防火卷帘。

13.3.11 车行横通道的纵坡应小于 5%，并且在两端设置凸镜和警示标志。

13.3.13 盾构法隧道采用疏散滑梯进行疏散时，间距宜为 80m，且疏散滑梯应能满足每分钟通行 28 人；采用疏散楼梯进行疏散时，间距宜为 80m~120m，且疏散楼梯应能满足每分钟通行 38 人。

13.3.14 疏散口逃生盖板应能承受行车荷载且易开启，并具备手动及电动开启功能。

13.3.15 疏散楼梯及疏散滑梯侧的墙壁上应设置应急照明灯具和指示标志，并有打开逃生口盖板的指示标志。

13.3.16 纵向疏散通道应设置独立的机械加压送风设施，纵向疏散通道与隧道行车道之间的压差应为 30Pa~50Pa。

13.4 消防给水和灭火设施

13.4.1 隧道内应设置 ABC 类灭火器，并满足下列规定：

a) 特长隧道、长隧道和设置 3 条及以上车道的中短隧道，在隧道两侧应交错设置灭火器，每个设置点不应少于 4 具，单侧纵向间距不应大于 45m；

b) 其他隧道，可在隧道一侧设置灭火器，每个设置点不应少于 2 具；

c) 逃生通道、工作井紧急疏散楼梯应设置灭火器。

13.4.2 隧道消防给水系统设计应符合下列规定：

a) 隧道内应设置独立的消防给水系统，若当市政给水管网连续供水且供水量满足消防要求时，消防给水系统可采用市政给水管网直接供水；

b) 隧道内消防用水量按同一时间发生一处火灾考虑；

c) 特长、长隧道内消火栓用水量不应小于 20L/s，隧道外消火栓用水量不应小于 30L/s，系统持续供水时间不应小于 3.0h；中隧道内、外的消火栓系统用水量分别为 10L/s 和 20L/s，系统持续供水时间不应小于 2.0h；

d) 管道内的消防供水压力应保证用水量达到最大时，消火栓栓口处的出水压力应为 0.3MPa~0.7MPa，超过 0.7MPa 后应设置减压设施；

e) 隧道内消火栓给水管网应布置成环状，并通过检修阀分隔成若干独立段，每段内消火栓箱的数量不宜超过 5 个；

f) 环状管网的消防干管及向环状管网输水的输水管均不应少于 2 条, 当其中一条发生故障时, 其余的干管应仍能通过消防用水总量;

g) 消火栓箱应安装在隧道侧壁上, 采用双开门暗装消火栓箱, 间距不应大于 50m, 其箱底距路面高度应为 1.1m, 且应设置明显的消防安全标志;

h) 单洞双向隧道或单洞单向隧道大于 3 车道时, 应在隧道两侧间隔设置消火栓。

13.4.3 泡沫消火栓系统设计应满足下列规定:

a) 隧道内泡沫消火栓的间距不应大于 50m;

b) 泡沫消火栓箱内应设置泡沫原液容器罐、 $\Phi 19$ 软管卷盘 ($\geq 25\text{m}$)、比例混合器、 $\Phi 9$ 泡沫喷枪、压力表及其他附属阀门和管路组件等;

c) 系统应选用带开关的吸气型泡沫喷枪, 且泡沫喷枪在进口压力 0.5MPa 时, 泡沫混合液流量不应低于 30L/min, 射程不应小于 6m;

d) 泡沫系统用水量可按 1L/s 设计, 并应计入消火栓泵的额定流量内, 最不利点泡沫消火栓的供水压力不应小于 0.35MPa;

e) 系统应选用环保型水成膜泡沫液, 泡沫混合液的混合比宜采用 3%, 泡沫混合液连续供给时间不应小于 20min;

f) 泡沫原液容器罐的有效容积宜采用 30L;

g) 罐体及附件应采用耐泡沫液腐蚀的材质, 且与泡沫液直接接触的内壁或衬里不应应对泡沫液的性能产生不利影响。

13.4.6 当有下列情况之一时, 应设置消防水池:

a) 当其他用水量达到最大, 市政给水管道、进水管或天然水源不能满足隧道内外消防用水量时;

b) 当采用一路消防供水或只有一条引入管, 且室外消火栓设计流量大于 20L/s 时。

13.4.7 人员集中的隧道运营管理用房设置灭火系统时, 应采用不致人中毒、伤害的灭火系统。

13.5 隧道火灾防排烟

13.5.1 隧道应根据隧道断面、长度、曲率、坡度, 并结合交通量、交通组成、救援疏散及火灾规模等因素进行防烟与排烟设计。

13.5.2 隧道进行火灾防烟与排烟设计应符合下列规定:

a) 当隧道长度不大于 3000m 时可采用纵向排烟方式, 单洞单向隧道长度大于 3000m 时宜采用分段纵向排烟方式或重点排烟方式, 单洞双向隧道宜采用重点排烟方式;

b) 应利于人员安全疏散,避免火灾隧道的烟气侵入人行与车行横通道、相邻隧道以及附属用房等;

c) 应能有效控制火场烟气的扩散,且利于救援、灭火。

13.6 防灾通信及火灾报警

13.6.1 隧道入口外 100m~150m 处,应设置隧道内发生火灾时能提示车辆禁入隧道的警报信号装置。

13.6.3 隧道用电缆通道和主要设备用房内应设置火灾自动报警系统。

13.6.5 长度超过 1000m 的隧道宜设置消防控制室,消防控制室内设备应具有以下功能:

a) 接收并显示全线各区域送来的火灾报警、故障报警和防灾设备的工作状态信号;

b) 对全线消防设施进行集中监控;

c) 对全线火灾事件、历史资料进行存档和管理。

13.6.6 隧道内火灾自动报警系统的设计应符合现行国家标准《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116)的规定。

13.6.7 隧道用电缆通道宜设置线型感温火灾探测器,主要设备用房内的配电线路应设置电气火灾监控探测器。

13.6.8 隧道火灾宜通过隧道内设置的火灾自动报警系统与视频监视系统联动确认。

13.6.9 火灾自动报警系统应将火灾报警信号传输给隧道中央控制管理设备。

13.6.10 消防应急广播可与隧道内设置的有线广播合用,其播放范围内最远点的播放声压级应高于隧道背景噪声 15dB。

13.6.11 消防专用电话可与隧道内设置的紧急电话合用。

13.6.12 消防联动控制器应能手动控制与正常通风合用的排烟风机。

13.6.13 隧道内设置的消防设备的防护等级不应低于 IP65。

13.7 应急供电及照明

13.7.1 隧道及其附属用房的下列部位应设置应急照明:

a) 隧道及其横洞内;

b) 消防控制室、消防设备用房、水泵房、配电室等隧道附属用房;

c) 隧道内的安全疏散通道、疏散楼梯。

13.7.3 隧道内安全疏散通道、疏散楼梯内照度标准值不应低于 100lx。

13.7.4 隧道内应急照明设施设计应符合下列规定：

- a) 行车道路面亮度不应小于中间段亮度的 10%，且不应低于 0.2cd/m²；
- b) 隧道内附属用房的应急照明照度应与正常照明的照度值相同；
- c) 应急照明设施应设置不间断供电设施，供电转换时照明中断时间不应超过 0.3s；
- d) 应急照明连续供电时间，短隧道不应小于 60min，其他隧道不应小于 90min。

13.7.5 隧道内消防应急照明灯具应符合现行国家标准《消防应急照明和疏散指示系统》（GB 51309）的有关规定。

14 耐久性设计

14.1 一般规定

14.1.1 混凝土结构耐久性设计应包括下列内容：

- a) 确定结构的设计使用年限、结构所处的环境类别和环境作用等级；
- b) 采用有利于减轻环境作用的结构形式和布置；
- c) 规定结构材料的性能与指标；
- d) 确定钢筋的混凝土保护层厚度；
- e) 提出混凝土构件裂缝控制等构造要求；
- f) 针对严重环境作用采取合理的防腐蚀附加措施或多重防护措施。

14.1.3 后张预应力混凝土结构除应满足钢筋混凝土的耐久性要求外，尚应根据结构所处环境类别和作用等级对预应力体系采取相应的多重防护措施。

14.1.4 环境因素划分按现行《公路水下隧道设计规范》（JTG/T3371）执行。

14.1.5 当结构构件受到多种环境类别共同作用下，应分别针对每种环境类别进行设计。

14.2 材料耐久性

14.2.3 注浆材料应符合下列规定：

- a) 浆液应无毒无臭、不污染环境；
- b) 浆液黏度低、流动性好、可注性强、凝结时间可按要求控制；
- c) 浆液固化稳定性好，能满足注浆工程的使用寿命要求；
- d) 浆液应对注浆设备、管路及混凝土结构无腐蚀性、易于清洗。

14.2.5 隧道初期支护、基坑支护以及临时支护等结构可采用玻璃纤维筋（GFRP），其强度标准值及弹性模量应符合现行国家标准《纤维增强复合材料建设工程应用技术规范》（GB50608）的规定。

14.2.7 盾构法隧道采用的弹性橡胶密封垫成品的物理性能指标应满足《高分子防水材料：第4部分：盾构法隧道管片用橡胶密封垫》（GB18173.4）的要求。

14.2.8 盾构法隧道采用的遇水膨胀橡胶密封垫胶料的物理性能应满足《高分子防水材料：第4部分：盾构法隧道管片用橡胶密封垫》（GB18173.4）的要求。

14.3 结构耐久性

14.3.1 隧道结构混凝土耐久性设计应遵守下列原则：

- a) 根据所处的环境类别、环境作用等级，采用基于耐久性所需的混凝土原材料、混凝土配合比、混凝土耐久性参数的指标；
- b) 采用合理的结构布置、结构构造，以满足使用过程中检查、维护的要求；
- c) 提出对混凝土施工过程的质量控制要求。

内容，应符合标准《混凝土结构耐久性设计与施工指南》（CCES01）的规定。

14.3.6 在无氯盐的环境条件下，环境作用等级为A、B、C级时，所采用的混凝土强度等级可低于表14.3.5的要求，但强度等级不应低于两级，且设计使用年限为100年和50年的构件，其强度等级不应低于C25和C20。采用的混凝土等级比表中规定的低一级时，相应的保护层厚度应比规定值增加5~10mm；采用的混凝土强度等级比表中规定等级低两级时，相应的保护层厚度应增加10~15mm。

14.3.9 预应力构件的混凝土最低强度等级不应低于C40。

14.3.15 海底隧道管片应增加防水、防腐蚀涂层、抗碳化涂层等保护措施。

14.3.16 海底隧道管片接头钢件和纵、横向连接螺栓均应基于结构设计直径增加2mm的防腐厚度。

14.3.17 钢管片表面锈蚀应符合现行国家标准《涂覆涂料前钢材表面处理表面清洁度的目视评定第I部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》GB/T8923.1规定的C级以上。

14.3.18 沉管管节接头钢端壳、钢底板、PC拉索、钢剪切键紧固件、GINA止水带的压板及紧固件等，应采取涂刷耐腐蚀涂层或金属喷涂、牺牲阳极等措施。

15 施工监测与运营监测

15.1 一般规定

15.1.1 隧道应根据隧道的功能、使用要求、构造特点、施工条件等进行施工和运营监测专项设计，应包括下列内容：

- a) 监测项目和方法。

- b) 监测点布置。
- c) 监测要求。
- d) 安全预警与状态评估。

15.1.2 施工期与运营期监测系统应统筹设计。

15.1.3 监测方案应与隧道主体同步设计，监测方案的实施应与隧道建设工期相匹配。

15.1.4 机电系统设计时应统筹考虑隧道运营期监测需求。

15.2 监测项目和方法

15.2.1 监测项目应在风险源识别的基础上，根据隧道特点、地质状况、环境条件、结构形式、施工工艺等，满足隧道结构和毗邻建（构）筑物结构安全、设计验证、正常使用功能等要求。

15.2.2 监测方法宜采用自动化实时监测和人工定期检测相结合。

15.2.3 运营期监测项目和方法应符合可修、可检的原则。

15.3 监测点布置

15.3.1 测点布置应符合下列规定：

- a) 应满足安全预警及状态评估的要求。
- b) 应反映监测对象的实际状态及变化趋势。
- c) 宜选择最不利位置。
- d) 测点的位置和数量宜根据结构类型、外部环境与荷载作业、设计要求、施工工艺、监测内容及结构分析结果确定。
- e) 测点的数量和布设范围应有冗余度。
- f) 可利用结构对称性，减少测点布置数量。
- g) 测点布置应便于安装、维修、维护和更换。
- h) 应不影响监测对象安全性能和正常使用功能。
- i) 应满足数据采集、传输要求。
- j) 应在易出现或已出现病害位置增设监测点。

15.3.2 监测点布置应结合不同工法隧道设置如下：

- a) 盾构法隧道的测点宜布置在拱顶、拱底和拱腰。
- b) 钻爆法隧道的测点宜布置在拱顶、拱底和拱脚。
- c) 沉管法隧道和围堰法隧道测点宜布置在顶板、底板和侧墙中部。

15.3.3 根据水下隧道结构特点设置监测区域，并应符合下列规定：

a) 变形和内力监测区域应选择水压力最大、土压力最大、覆土厚度最小、隧道结构变异、下卧地层变动较大处等外部荷载较大或结构内力较大的区域。

b) 变形和内力监测断面间距宜设置 20~30m。

c) 沉管法隧道水下接头监测区域应全覆盖。

d) 覆盖层检测应满足水中段全覆盖。

e) 脱空检测应满足管片或基础全覆盖。

15.4 监测要求

15.4.1 数据采集精度应满足结构安全预警和状态评估，并符合下列要求：

a) 应力监测数据精度不低于 0.01MPa。

b) 位移监测数据精度不低于 1mm。

c) 脱空和基础垫层检测数据平面精度不低于 100mm，垂直精度不低于 20mm。

d) 覆盖层厚度检测精度不低于 100mm。

15.4.2 传感器最小量程应高于设计最小值的 75%，最大量程应不低于设计最大值的 125%。

15.4.3 监测频率应根据水下隧道特点和结构状况确定，并符合下列规定：

a) 自动监测频率不少于 1 次/h。

b) 覆盖层厚度监测频率不少于 1 次/年。

c) 盾构隧道管片脱空和沉管隧道基础垫层检测不少于 1 次/1 年。

d) 其他人工监测频率不低于 1 次/季度。

15.4.4 应开发相应水下隧道结构健康监测系统，系统的实施应做到安全稳定、操作方便、经济合理、便于维护和扩展升级。

15.4.5 监测数据存储应安全可靠并做好备份。

15.5 安全预警与状态评估

15.5.1 应建立隧道结构安全预警和结构健康状态评估系统，对实时监测和定期数据处理分析，对隧道结构进行异常诊断、安全预警和健康状况评估。

六、重大意见分歧的处理依据及结果

本标准制订过程中尚未发生过重大意见分歧。

七、采用国际标准、规范的，说明采标程度，以及与国内外同类标准、规范水平的对比情况

本标准未采用国际标准、规范。

八、作为推荐性规范建议及其理由

我国内地河流总长 43 万公里，长度在 1000 公里以上的河流就有 20 多条，人口过百万城市已超过百座，其中绝大部分都依江河而建，其经济体量占全国 GDP 的 95%以上。同时，我国还拥有 1.8 万 km 的海岸线和 1.4 万 km 的岛屿岸线，岛屿数量超过 6500 个，并且拥有渤海海峡、台湾海峡、琼州海峡等世界著名海峡，环渤海、长三角和珠三角经济圈是驱动我国社会经济稳定快速发展的引擎。水下隧道具有全天候、不影响航运、抗战争破坏能力强等优点，是缓解两岸城市交通拥堵的主要交通工具。

长期以来，水下隧道设计受困于修建隧道工法多（有围堰法、钻爆法、盾构法、沉管法等），各种工法隧道的工艺对建设条件和施工要求不同，加之水下隧道需考虑堤岸防洪、河床冲刷、船舶通航等各种复杂因素，行业内缺少专门水下隧道规范指导技术人员开展设计工作，导致设计工作效率低、不规范，设计成果质量低、隐患多。故制定一部城市道路水下隧道设计规范指导工程建设必要而紧迫。

本规范在充分总结已建水下隧道的经验基础上，对其勘察、不同水下隧道工法的设计、隧道耐久性、健康监测、防灾疏散等方面进行有针对性规范化管理，对提高工程建设质量，合理分配和配置资源，建设资源节约型、环境友好型交通基础设施具有十分重要的意义。

九、贯彻规范的措施建议

（1）精心组织安排，开展宣贯培训。建议由行业主管部门统一安排，召开规范宣贯会，对涉及的交通建设、设计、施工等单位开展标准实施培训和宣贯普及。明确城市道路水下隧道结构设计、机电系统、防灾疏散、耐久性设计、健康监测等方面的具体要求，指导城市道路水下隧道工程的实施，有效推动贯标工作的开展及落实。

（2）组织相关人员到施工现场参观学习，直观展示城市道路水下隧道建设技术。

（3）定期组织科研、设计、施工等各环节技术人员开展交流，不断对城市道路水下隧道设计进行改进，保持技术领先。

十、其他应说明的事项

暂无。