

ICS 93.160

CCS P59

# T/ CPPC

中国生产力促进中心协会团体标准

T/ CPPC XXXX—XXXX

## 水工隧洞施工技术规范

Technical specifications for construction of hydraulic tunnels

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国生产力促进中心协会 发布

## 目 次

前 言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	2
4 总则 .....	5
5 施工准备 .....	6
5.1 一般规定 .....	6
5.2 搜集工程相关资料 .....	6
5.3 准备工程施工用图 .....	7
5.4 探明工程施工资源 .....	7
5.5 掌握运行管理需求 .....	7
6 施工放线与控制 .....	8
6.1 一般规定 .....	8
6.2 测控标准 .....	8
6.3 测控精度 .....	8
6.4 施工放线 .....	10
6.4.1 贯通线向修正及调整 .....	10
6.4.2 竣工测量 .....	11
6.4.3 测控成果整理 .....	11
7 施工布置 .....	11
7.1 一般规定 .....	11
7.2 施工场地布置 .....	12
7.3 临时施工工程布置 .....	12
7.4 隧洞进出口布置 .....	13
7.5 洞线布置 .....	13
8 隧洞进出口施工 .....	14
8.1 一般规定 .....	14
8.2 隧洞进出口施工 .....	14
8.3 质量控制标准 .....	15
9 隧洞主洞身开挖施工 .....	15
9.1 一般规定 .....	15
9.2 隧洞横断面标准控制 .....	16
9.3 隧洞掘进施工方法 .....	17
9.4 隧洞钻爆法开挖施工 .....	18
9.5 隧洞机械开挖施工 .....	20
9.6 隧洞超欠挖控制 .....	21
10 洞渣出运与堆放 .....	21

10.1	一般规定	21
10.2	洞渣出运	22
10.3	隧洞渣土装卸	23
10.4	隧洞渣土堆放	23
11	隧洞护砌材料	24
11.1	一般规定	24
11.2	钢材	24
11.3	水泥	26
11.4	粗骨料	26
11.5	细骨料	27
11.6	混凝土拌和用水	27
11.7	添加剂	28
11.8	掺和料	28
12	隧洞护砌施工	29
12.1	一般规定	29
12.2	开挖岩面喷固	29
12.3	开挖岩面锚固	31
12.4	隧洞衬砌混凝土浇筑模板架设	34
12.5	隧洞混凝土衬砌施工	35
12.6	隧洞仰拱衬砌	37
12.7	明洞衬砌施工	38
12.8	隧洞混凝土衬砌分缝设置	38
12.9	衬砌质量控制标准	39
13	施工安全保障	41
13.1	一般规定	41
13.2	施工供电	41
13.3	施工供水	43
13.4	施工供风	43
14	水工隧洞质量验收	44

## 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，本文件的批准发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国生产力促进中心协会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

# 水工隧洞施工技术规范

## 1 范围

本文件规定了水工隧洞在山体、地下等介质中，开掘洞、室施工，采用混凝土或钢筋混凝土进行衬砌等措施，保障灌溉、发电、供水、泄水、输水、施工导流和通航等现场施工质量控制等技术有关规定。

本文件适用于全国所有水利工程项目施工技术指导、质量控制与管理。

## 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。

- GA 837 民用爆炸物品储存库治安防范要求
- GA 838 小型民用爆炸物品储存库安全规范
- GB 175 通用硅酸盐水泥
- GB/T 1346 水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法
- GB 1499.1 钢筋混凝土用钢第 1 部分：热轧光圆钢筋
- GB 5749 生活饮用水卫生标准
- GB 6722 爆破安全规程
- GB/T 7946 脉冲电子围栏及其安装和安全运行
- GB 8076 混凝土外加剂
- GB/T 18173.3 高分子防水材料 第3部分 遇水膨胀橡胶
- GB 18871 电离辐射防护与辐射源安全基本标准
- GB/T 19000 质量管理体系 基础和术语
- GB/T 19866 焊接工艺规程及评定的一般原则
- GB/T 21120 水泥混凝土和砂浆用合成纤维
- GB 23440 无机防水堵漏材料
- GB/T 23445 聚合物水泥防水涂料
- GB 50026 工程测量标准
- GB 50030 氧气站设计规范
- GB/T 50081 混凝土物理力学性能试验方法标准
- GB 50086 岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范
- GB 50089 民用爆炸物品工程设计安全标准
- GB 50108 地下工程防水技术规范
- GB 50141 给水排水构筑物工程施工及验收规范
- GB/T 50145 土的工程分类标准
- GB 50150 电气装置安装工程 电气设备交接试验标准
- GB 50154 地下及覆土火药炸药仓库设计安全规范
- GB 50164 混凝土质量控制标准
- GB 50171 电气装置安装工程盘、柜及二次回路接线施工及验收规范
- GB 50204 混凝土结构工程施工质量验收规范
- GB 50205 钢结构工程施工质量验收标准
- GB 50208 地下防水工程质量验收规程
- GB 50300 建筑工程施工质量验收统一标准
- GB/T 50328 建筑工程文件归档规范
- GB/T 50344 建筑结构检测技术标准

- GB 50348 安全防范工程技术标准  
 GB 50487 水利水电工程地质勘察规范  
 GB 50367 混凝土结构加固设计规范  
 GB 50666 混凝土结构工程施工规范  
 GB/T 50733 预防混凝土碱骨料反应技术规范  
 GBZ/T 192 工作场所空气中粉尘测定  
 GBZ/T 300 工作场所空气中有毒物质测定  
 DL/T 5027 水工建筑物抗冲磨防空蚀混凝土技术规范  
 DL/T 5135 水电水利工程爆破施工技术规范  
 DL/T 5207 水工建筑物抗冲磨防空蚀混凝土技术规范  
 DL/T 5389 水工建筑物岩石基础开挖工程施工技术规范  
 JC/T 984 聚合物水泥防水砂浆  
 JC/T 986 水泥基灌浆材料  
 JC/T 1041 混凝土裂缝用环氧树脂灌浆材料  
 JC/T 2037 丙烯酸盐灌浆材料  
 JC/T 2041 聚氨酯灌浆材料  
 JGJ/T 212 地下工程渗漏治理技术规程  
 NB/T 35007 水电水利工程施工地质规程  
 SL 47 水工建筑物岩石地基开挖施工技术规范  
 SL 62/T 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范  
 SL 176 水利水电工程施工质量检验与评定规程  
 SL 191 水工混凝土结构设计规范  
 SL 203 水工建筑物抗震设计规范  
 SL 223 水利水电建设工程验收规程  
 SL 252 水利水电工程等级划分及洪水标准  
 SL 279 水工隧洞设计规范  
 SL 285 水利水电工程进水口设计规范  
 SL 352/T 水工混凝土试验规程  
 SL 377 水利水电工程锚喷支护技术规范  
 SL 631 水利水电单元工程施工质量验收评定标准 土石方工程  
 SL 632 水利水电单元工程施工质量验收评定标准 混凝土工程  
 SL 633 水利水电单元工程施工质量验收评定标准 地基处理与基础工程  
 SL 635 水利水电工程单元工程施工质量验收评定标准 水工金属结构安装工程  
 SL 670 水利水电建设工程验收技术鉴定导则  
 SL 677 水工混凝土施工规范  
 SL 721 水利水电工程施工安全管理导则  
 SL 725 水利水电工程安全监测设计规范  
 SL 734 水利工程质量检测技术规程

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**水工隧洞 hydraulic tunnel**

在山体中或地下开挖的、具有封闭断面的过水通道。按作用可分为导流隧洞、泄洪隧洞、发电隧洞、灌溉隧洞和放空隧洞等。

#### 3.2

**有压隧洞 pressure tunnel**

洞内充满水流，洞壁周边均承受水压力作用的水工隧洞。

- 3.3  
**无压隧洞 free-flow tunnel**  
洞内部分充水，水流具有自由表面的水工隧洞。
- 3.4  
**不衬砌隧洞 unlined tunnel**  
内壁大部分不衬护的水工隧洞。
- 3.5  
**隧洞衬砌 tunnel lining**  
保证隧洞围岩稳定及洞内良好水流条件的洞壁衬护结构。
- 3.6  
**隧洞支护 tunnel support**  
采用结构或构件及其他材料对隧洞围岩进行加固的工程措施。
- 3.7  
**系统锚杆 system bolt**  
根据岩体稳定要求，在整个开挖面上按一定的间排距，有规律布置的锚杆。
- 3.8  
**回填灌浆 filling grouting**  
用浆液填充混凝土结构物施工留下的空穴、孔洞，或地下空腔，以增强结构物或地基的密实性的灌浆工程。
- 3.9  
**固结灌浆 consolidation grouting**  
用浆液加固有裂隙或破碎带等地质缺陷的围岩，以增强其整体性和承载能力的工程措施。
- 3.10  
**化学灌浆 chemical grouting**  
以化学材料为主剂配制的浆液进行灌浆的工程措施。
- 3.11  
**隧洞渐变段 tunnel transition section**  
隧洞从一种形状或尺寸的断面逐渐过渡到另一种形状或尺寸的断面之间的连接段。
- 3.12  
**收敛变形 convergent deformation**  
地下洞室周边两测点间实测位移值。
- 3.13  
**隧洞排水 tunnel drainage**  
为排除围岩渗水，减少渗透压力或外水压力(对有压隧洞)而在衬砌或衬砌背面设置的排水孔及排水沟等排水设施。
- 3.14  
**排水盲沟 blind drainage**  
设在水工建筑物底面或衬砌背面用以收集和排除渗水以降低渗透压力或防止冰冻的排水沟，也称排水暗沟。
- 3.15  
**监控与检测 monitoring measurement**  
通过使用各种量测仪器和工具，在隧洞内或地表，对围岩地层的变形和支护结构的变形与受力进行观察、测量、分析与评价的活动。
- 3.16  
**光面爆破 smooth blasting**  
由开挖面中部向轮廓面顺序依次起爆；设计轮廓面周边布置密集炮孔、采用不耦合装药或装填低威力炸药、最后同时起爆，振动小并形成平整轮廓面的爆破。
- 3.17  
**钢架 steel frame or beam support**

- 用钢筋或型钢等制成的拱形骨架结构。
- 3.18  
**模板台车 form jumbo**  
 由门架结构、大块模板、调整机构（液压或螺杆）、行走机构等组成、供隧洞衬砌混凝土成形的移动整体设备。
- 3.19  
**护拱 arch protection**  
 用于加强或者保护隧洞支护或衬砌的拱形结构。
- 3.20  
**仰拱先行 inverted arch in advance**  
 在设有仰拱的洞段，仰拱衬砌先于拱墙衬砌浇筑施工。
- 3.21  
**全断面法 full face excavation method**  
 隧洞设计开挖断面一次开挖成形的开挖方法。
- 3.22  
**台阶法 bench cut method**  
 将设计开挖断面分成上、下断面（或上、中、下断面），先上后下，分次开挖成形的开挖方法。
- 3.23  
**环形开挖留核心土法 ring cut method**  
 先开挖上部环形导坑并进行支护，再分部开挖两侧边墙及中部核心土的开挖方法。
- 3.24  
**中隔壁法（CD 法） center diagram method**  
 将设计开挖断面分成左、右两个断面，先开挖隧洞一侧，并施工中隔壁竖向支撑，再开挖另一侧的开挖方法。
- 3.25  
**交叉中隔壁法（CRD 法） cross diagram method**  
 将设计开挖断面分成左、右两个断面，先按台阶法开挖隧洞一侧，施工中隔壁竖向支撑和横隔板；再按台阶法开挖隧洞另一侧，并施工横隔板的开挖方法。
- 3.26  
**双侧壁导坑法 both side drift method**  
 将设计开挖断面分成左、中、右三个断面，先开挖隧洞两侧断面，并施工隔离墙竖向支撑，再分部开挖中间断面的开挖方法。
- 3.27  
**喷锚支护 shotcrete and bolt support**  
 喷射混凝土、锚杆、钢筋网、钢架等单独或组合使用的隧洞围岩支护结构。
- 3.28  
**湿喷 wet-mix method**  
 将喷射混凝土集料、水泥和水按施工配合比在混凝土拌合机拌和均匀，投入喷射机，在喷射机喷头处加速凝剂后喷出。
- 3.29  
**初喷 application of first shotcrete**  
 隧洞开挖后立即施工的第一层喷射混凝土作业。
- 3.30  
**复喷 application of subsequent shotcrete**  
 初喷以后的喷射混凝土作业。
- 3.31  
**中夹岩 sandwiched rock and soil**  
 特指小净距隧洞两主洞间的岩体。

## 3.32

**中墙 the middle wall**

连拱隧洞两主洞共用的墙体。

## 3.33

**瓦斯浓度 gas concentration**

瓦斯在空气中所占体积的百分比。

## 3.34

**稳定安全系数 safety coefficient of stability**

滑动面上的抗滑力(或力矩)与滑动力(或力矩)的比值,或者衬砌体上的抗浮力(或抗冲力)与浮托力(或冲击力)的比值,包括边坡稳定安全系数,衬砌结构抗浮、抗滑、抗冲等稳定安全系数。

## 3.35

**高性能混凝土 high performance concrete**

以建设工程设计和施工对混凝土性能特定要求为总体目标,选用优质常规原材料,合理掺加外加剂和矿物掺和料,采用较低水胶比并优化配合比,通过绿色预拌生产方式及严格的施工措施,制成具有优异的拌和性能、力学性能、长期性能和耐久性能的混凝土。

## 3.36

**工程质量 engineering quality**

通过项目建设,工程应满足相关标准、规划设计及其合同约定的程度。

## 3.37

**监控与检测 monitoring measurment**

通过使用各种量测仪器和工具,在隧洞内或地表,对围岩地层的变形和支护结构的变形与受力进行观察、测量、分析与评价的活动。

## 3.38

**质量检验 quality inspection**

通过检查、量测、试验等方法,对工程质量特性进行的符合性评价。

## 3.39

**外观质量 quality of appearance**

通过检查和必要的量测所反映的工程外表质量。

## 4 总则

4.1 为规范水利工程隧洞施工,使其符合安全适用、绿色环保、经济合理、技术先进要求,保证水利工程隧洞施工质量和安全,特制定本规范。

4.2 本规范适用于水利水电工程中的1级、2级、3级水工隧洞施工。其他等级水工隧洞工程施工参照执行。

4.3 水利工程隧洞施工,必须遵守国家和行业的安全生产法律法规及相关质量验收标准相关规定,建立完善的质量安全保证体系,制定切实可行的安全制度和质量管理制,采取防火、照明、通信、应急保障等安全保证措施和质量保证措施。

4.4 水利工程隧洞施工,必须遵守国家劳动保护法律法规相关规定,采取有效措施,防止烟尘、有害气体、噪音、高温、低温、低氧、辐射等危害,创造满足符合职业健康要求的施工条件。

4.5 水利工程隧洞施工,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。

4.6 水利工程隧洞施工,必须遵守国家土地管理法律法规相关规定,科学节约用地,合理规划堆置开挖隧洞所产生的废石、废渣,尽量重复土地利用,用后恢复土地原自然面貌。

4.7 水利工程隧洞施工,必须遵守国家文物管理法律法规相关规定,施工中发现埋有文物时,应停止施工,保护施工现场,立刻向当地文物管理部门报告,待发现的文物得到妥善处理,方可继续施工。

4.8 水利工程隧洞建设施工中,本规范未涉及的新技术、新材料、新工艺、新设备时,应采用积极而慎重的态度推广应用,并制定相应施工办法,由项目法人报项目主管部门批准后执行。

4.9 水利工程隧洞施工和管理,除应符合本标准外,还应符合国家现行其它有关标准和规定的要求。

## 5 施工准备

### 5.1 一般规定

- 5.1.1 水工隧洞建设施工，应在完整、准确、可靠的工程勘察、设计文件完全具备的情况下，并在相应批复文件基础上及通过招标投标程序、签订施工合同的前提下，方可开工建设。
- 5.1.2 扩建、改建水工隧洞工程，应对原水工隧洞工程渗漏情况和工程病害进行过调查，取得原水工隧洞工程的水力要素、渗漏量以及岩层地质和含水状况等资料。
- 5.1.3 水工隧洞施工前，应进行设计交底，熟悉水工隧洞设计文件和地质勘察报告，领会水工隧洞设计意图，做好水工隧洞现场调查和图纸核对工作。
- 5.1.4 水工隧洞施工前，应编制详细的施工组织设计和先期工程施工方案，落实施工组织机构、人员，并做好施工准备工作。
- 5.1.5 水工隧洞施工前，应根据施工组织设计及水工隧洞长度、跨度、工期、地质和自然条件、重点及难点工程部位、施工方法、施工进度等因素，配备适宜、充足的施工机械，组织均衡生产，提高劳动生产效率。
- 5.1.6 根据水工隧洞施工特点，准备水工隧洞施工需要和质量控制要求的试验检测人员和仪器、设备，建立工地试验室（或委托社会第三方试验室），承担配合比试验、原材料试验等工程项目施工所需的标准试验，以及水工隧洞施工过程中的试验及检测工作。检测仪器和设备应在检校有效期内。
- 5.1.7 水工隧洞开工前，应完成工程项目划分及混凝土配合比设计等技术准备工作。工程项目划分，应提交上级有关质量监督机构确认。
- 5.1.8 根据水工隧洞规模、技术难度、施工工期等情况，配备的满足工程施工需要的管理、技术、测量、试验、质检和安全的人员，上岗前，应进行安全、职业健康等岗前专业培训，并对施工人员进行技术交底。特种作业人员应持证上岗。

### 5.2 搜集工程相关资料

- 5.2.1 水工隧洞建设施工前，应根据工程布置、隧洞功能、施工条件和设计要求，收集、取得与水工隧洞工程施工区域有关的降水、蒸发、气温、负气温指数、冻融期、冻土深度、风向、风速、气象、水文、地质等资料。
- 5.2.2 沿水工隧洞轴线走向，应进行必要的地质勘测，取得岩土分类、水文地质、地质构造和工程地质隐患等资料，遇有特殊地质洞段应进行加密勘察、勘测，专题进行研究。水工隧洞的地质勘察工作，应执行 GB 50487 的相关规定。
- 5.2.3 水工隧洞 1 级、2 级工程和隧洞轴线走向区域存在不良地质问题，应在现场选择有代表性的洞段进行有关的钻探、取样、试验、测试工作，取得真实现场地质资料。
- 5.2.4 水工隧洞开挖后，施工单位应及时掌握水工隧洞各部位地质条件的变化情况，适时报告给设计单位在施工现场派驻机构的设计代表，并与之进行沟通，共同商量、调整或修改设计参数。
- 5.2.5 深埋、较长隧洞开挖过程中，应加强地质预报（预测）或超前勘探，并根据地质预报预测或超前勘探情况，对可能危及施工和运行安全的不良地质问题应进行专门研究，及时复核、补充或修改施工方案。
- 5.2.6 水工隧洞施工基本资料，应包括下列内容：
- a) 流域规划、工程任务、工程布置、水库（河道）特征水位、隧洞过流要求、河道取（用）水原则等资料。
  - b) 地质资料：水工隧洞沿线施工区域地质、地震基本烈度等资料。
  - c) 施工要求：施工方法、工艺要求等资料。
  - d) 机电设备及调压（减泄压）设施、压力钢管、闸门（阀）设置等资料。
  - e) 水工隧洞沿线施工区域环境保护要求、水土保持要求等资料。
  - f) 水工隧洞沿线施工区域文物古迹、矿产资源等资料。
- 5.2.7 水工隧洞施工相关工程地质资料，应包括下列内容：
- a) 水工隧洞沿线施工区域岩（土）层分界、产状、性质和主要地质构造，围岩分类及主要物理、力学参数等工程地质资料。
  - b) 水工隧洞沿线地下溶洞及地质断层、破碎带资料。

- c) 水工隧洞进、出口成洞条件及洞口门脸边坡的稳定性资料。
  - d) 水工隧洞沿线地应力、地温、岩爆、有害气体和放射性元素等资料。
  - e) 水工隧洞沿线不良工程地质问题预测资料。
- 5.2.8 水工隧洞施工相关水文地质资料，应包括下列内容：
- a) 水工隧洞沿线施工区域水文、气象资料及水文设计成果。
  - b) 水工隧洞沿线地下水类型、埋深、动态、流向、补给和排泄条件等资料。
  - c) 水工隧洞沿线地下水位、水温和水化学成分，特别是涌水量丰富的含水层、透水带及与地表溪流沟通等水文地质资料。
  - d) 水工隧洞沿线地下水水质与污染情况等资料。

### 5.3 准备工程施工用图

- 5.3.1 设计单位应根据水工隧洞施工进度，随时提供工程地形图、工程总体布置图、工程纵横断面图、局部施工放大详图等各阶段、各环节、各工程部位施工用图。
- 5.3.2 总体布置图，应满足下列要求：
- a) 应标明水工隧洞位置。
  - b) 应标明与水工隧洞相关的其他工程位置。
  - c) 应标明水工隧洞建设年份、工程规模、结构形式等。
  - d) 应标明水工隧洞年度实施计划。
- 5.3.3 各种工程图的图幅比例，应满足下列要求：
- a) 项目区总体布置图，比例尺应为 1/25000~1/100000。
  - b) 工程平面布置图，比例尺应为 1/5000~1/10000。
  - c) 水工隧洞沿线地形图，比例尺应为 1/1000~1/2000。
- 5.3.4 水工隧洞纵、横断面图，应满足下列要求：
- a) 水工隧洞纵断面图，比例尺应为水平 1/1000~1/25000，垂直 1/100~1/200。
  - b) 水工隧洞横断面图，比例尺应为 1/100~1/200；横断面间距，应根据隧洞直线长度及弯道变化情况而定，地形变化处应加测横断面，补充横断面图。
- 5.3.5 水工隧洞局部施工放大详图，应满足下列要求：
- a) 应清晰展示工程关键部位、重要构件的细节和尺寸。
  - b) 详图比例尺，应 $\geq 1:50$ 。
  - c) 应遵循相应规范要求，标注构件、部位严格尺寸。
  - d) 应注明详图相应名称和编号。

### 5.4 探明工程施工资源

- 5.4.1 水工隧洞施工前，应探明水工隧洞施工区域及邻近地区的水泥、石灰、砂、石、膜料等建筑材料的产源、产（储）量、质量、开采与运输条件、储备、单价等情况。
- 5.4.2 水工隧洞施工材料进场时，应按规定的批次和频率，对施工材料进行进场试验、检测，并满足设计和相关规范、规定要求。不合格施工材料应退回、替换，禁止进场。
- 5.4.3 掌握水工隧洞建设施工所使用的施工机械、设备及施工用水、电源、交通、通讯、供气要求和技术人员、劳力供给等施工可用、必备资源数量、素质。
- 5.4.4 水工隧洞施工机械和设备，应符合下列规定：
- a) 满足进度要求：应与施工方法相配套，与隧洞长度、断面大小、施工工期相适应。
  - b) 满足效率要求：应按相关工序，流水施工配套、配置，提高机械总体效率，维修方便。
  - c) 满足环境要求：应优先选用污染小、噪音小的机械设备。

### 5.5 掌握运行管理需求

- 5.5.1 水工隧洞建设施工前，应与水工隧洞运行管理沟通，了解工程运行管理单位，对工程建设及运行管理的要求及希冀，将运行管理单位需求指标及参数，融入水工隧洞建设中，进一步提高水工隧洞运行使用的实用性。
- 5.5.2 搜集水工隧洞施工区域附近类似已建成工程的施工资料、管理运用数据及经验、试验研究成果和竣工验收等资料，在此项水工隧洞建设施工中借鉴、参考。

## 6 施工放线与控制

### 6.1 一般规定

6.1.1 水工隧洞施工前，应建立水工隧洞施工测量的平面坐标系和高程控制系统，建立工程施工测量控制网，布设永久或临时观测设施，测控、定位水工隧洞平面位置及各控制点高程。

6.1.2 水工隧洞施工平面测控网系统，可采用卫星定位测量、导线测量，平面控制网的运算及平差计算，基准平面宜与定测控制网一致；采用水工隧洞纵断面设计高程的平均高程面，投影分带位置，不宜设在水工隧洞洞身中间。

6.1.3 水工隧洞高程控制网，应采用 1985 国家高程基准体系。洞外高程控制测量宜利用已有的定测控制网，如果不具备完整的高程控制网，应采用二等高程控制测量精度等级，引测国家高程基准体系。高程控制测量宜采用水准测量。光电测距三角高程测量应能满足洞外四等高程控制测量精度。

6.1.4 水工隧洞测区测控网观测桩间距应 $\leq 3\text{km}$ ，水工隧洞建设区周围平面控制网测控观测桩数量：每个洞口进口、出口，应 $\geq 4$ 个，高程控制测量点应 $\geq 2$ 个；水工隧洞沿线视具体情况确定，应 $\geq 5$ 个。

6.1.5 水工隧洞的洞外平面控制网和高程控制网，应按建网精度进行不定期复测、效验，复测周期应 $\leq 6$ 个月。沙漠、冻土、软土区、地震多发区和影响区、地面沉降地区、施工期间出现异常洞段等特殊地区，宜适当缩短复测周期，或临时增加复测次数。

### 6.2 测控标准

6.2.1 水工隧洞控制测量通用标准，应符合下列规定：

- 测控仪器：应经过率定，并在有效期内。
- 测控桩点：控制测量桩点，应稳固、可靠。
- 洞外测量：水工隧洞外控制测量，应在隧洞进洞施工前完成。
- 测图校对：用于测量的设计图及引用数据资料，应进行校对，确认无误后方可使用。
- 测量计算：各项测量计算，均应由两组独立进行，并及时校核，发现问题查找原因。
- 误差调整：调整控制网误差，低等级平面和高程控制网的误差不得传入隧洞控制网。

6.2.2 水工隧洞平面控制测量等级标准，应符合下列规定：

- 测量等级二等：水工隧洞贯通长度 $6000\text{m} \leq L$ 时，必用。
- 测量等级三等：水工隧洞贯通长度 $3000\text{m} \leq L < 6000\text{m}$ 时，必用。
- 测量等级四等：水工隧洞贯通长度 $1000\text{m} \leq L < 3000\text{m}$ 时，必用。
- 测量等级一级：水工隧洞贯通长度 $1000\text{m} > L$ 时，必用。

6.2.3 洞内平面控制测量标准，应符合下列规定：

- 测量方式：洞内平面控制测量宜采用导线测量。
- 洞内导线：根据贯通精度要求布点，宜选择在施工干扰小、稳固可靠、通视良好的地方，布置成多边形导线环。导线边长：直线洞段应 $\geq 200\text{m}$ ，曲线洞段应 $\geq 70\text{m}$ 。
- 延伸测量：掘进长度超过 2 倍导线边长时，应进行 1 次洞内导线延伸测量。导线测量视线与障碍物距离，应 $\geq 0.2\text{m}$ 。
- 联系控制：洞外和洞内联系控制测量，在洞外和洞内观测条件接近时段进行观测；竖井联系测量可采用光学垂准仪投点、陀螺仪辅助定向。

### 6.3 测控精度

6.3.1 水工隧洞施工前，应建立测量复核体系，根据水工隧洞规模和贯通误差要求，综合考虑控制网等级和图形、测量仪器精度和测量方法、误差范围，确保水工隧洞测量结果满足施工需要。

6.3.2 水工隧洞导线测量技术要求，应符合下列规定：

- 导线测量技术规定：测量等级分别为二等、三等、四等时，附（闭）合导线长度分别应 $\leq 18$ 、 $12$ 、 $6\text{km}$ ；边数分别应 $\leq 9$ 、 $12$ 、 $12$ ；每边测距中误差分别应 $14$ 、 $10$ 、 $14\text{mm}$ ；单位权中误差分别应为 $1.8$ 、 $2.5$ 、 $5.0''$ ；导线全长相对闭合差分别应为 $1/52000$ 、 $1/35000$ 、 $1/17000$ ；方位角闭合差分别应为 $\pm 3.6\sqrt{n}$ 、 $\pm 5\sqrt{n}$ 、 $\pm 10\sqrt{n}''$ 。
- 测距仪的精度等级：精度等级分别为 I 级、II 级、III 级时，每公里测距中误差  $m$  分别应： $m \leq 5$ 、 $5 < m \leq 10$ 、 $10 < m \leq 20$ 。

- c) 平面控制测量等级：精度等级分别为 I 级、II 级、III 级时，平面控制测量等级分别应为二、三、四等。
- d) 测距主要技术规定：平面控制网测量等级分别为二等、三等、四等、一级时，测距仪精度等级均为 I 级；往返观测次数均  $\geq 1$ ；每边测回数（往）分别为  $\geq 4$ 、3、2、2；每边测回数（返）分别为  $\geq 4$ 、3、2、0；一测回读数较差分别为  $\leq 5$ 、5、7、7mm；单程各测回较差分别为  $\leq 7$ 、7、10、10mm。
- 6.3.3 斜井导线测量技术要求，应符合下列规定：**
- a) 观测仪器：宜采用有双轴补偿的全站仪，其他仪器应进行竖轴倾斜校正。
- b) 观测角度：垂直角应  $< 30^\circ$ 。
- c) 整平对中：观测仪器和棱镜，采用强制对中；测回间应重新整平仪器。
- d) 观测方向：导线边长应对向观测。
- 6.3.4 水工隧洞高程控制测量技术规定，应符合下列规定：**
- a) 测量等级及其误差标准：水工隧洞贯通长度分别为  $6000\text{m} \leq L$ 、 $3000\text{m} \leq L < 6000\text{m}$ 、 $1000\text{m} > L$  时，测量等级分别采用二、三、四等；每公里高差偶然中数中误差  $M$  分别为： $\pm 1$ 、 $\pm 3$ 、 $\pm 5\text{mm}$ ；每公里高差全中误差  $M$  分别为： $\pm 2$ 、 $\pm 6$ 、 $\pm 10\text{mm}$ 。
- b) 水准测量主要技术规定：水工隧洞测量等级分别采用二、三、四、五等时，附和或环线水准线路最大长度  $i$  分别为：600、60、25、10km；每公里高差偶然中数中误差  $M$  分别为： $\pm 1$ 、 $\pm 3$ 、 $\pm 5$ 、 $0\text{mm}$ ；往返较差、附和或环线闭合差分别  $\leq 4\sqrt{i}$ 、 $12\sqrt{i}$ 、 $20\sqrt{i}$ 、 $30\sqrt{i}\text{mm}$ ；检测已测测段高差之差分别为  $\leq 6\sqrt{i}$ 、 $20\sqrt{i}$ 、 $30\sqrt{i}$ 、 $40\sqrt{i}\text{mm}$ 。
- c) 水准测量观测技术规定：水工隧洞测量等级分别采用二、三、四、五等时，视线最大长度应分别  $\leq 50$ 、75、100、100m；前后视较差应分别  $\leq 1$ 、3、5、10m；前后视累积较差应分别  $\leq 3$ 、6、10、0m；视线离地面最低高度应分别  $\leq 0.3$ 、0.3、0.2、0m；基辅（黑红）面读数差应分别  $\leq 0.4$ 、1、3、0m；基辅（黑红）面高差较差应分别  $\leq 0.6$ 、1.5、5、7m。
- 6.3.5 水工隧洞卫星定位控制测量，应符合下列规定：**
- a) 建网精度：根据水工隧洞贯通精度的要求，按静态相对定位原理建网。
- b) 技术要求：测量等级分别为二等、三等、四等、一级时，卫星高度角均  $\geq 15^\circ$ ；静态时段长度分别为  $\geq 240$ 、90、60、45min；快速静态时段长度分别为 0、 $\geq 30$ 、20、15min；平均重复设站数分别为  $\geq 4$ 、2、1.6、1.4 次/点；同时观测有效卫星数均应  $\geq 4$  个；数据采样率均应  $\leq 30\text{s}$ ；几何精度因子 GDOP 均应  $\leq 6$ 。
- 注：每观测前、后，应分别量取天线高，两次量取差值应不大于 3mm，取其平均值作为计算天线高。
- c) 误差标准：卫星定位基线测量的中误差应  $<$  标准差。测量等级分别为二等、三等、四等、一级时，固定误差  $a$  应分别  $\leq 5$ 、5、5、10mm；比例误差系数  $b$  应分别  $\leq 1$ 、2、3、3mm/km。
- 6.3.6 控制测量对隧洞相向施工贯通面误差影响极限值，应符合下列规定：**
- a) 洞外测量部位：不同贯通长度  $L$  分别为： $L < 3000\text{m}$ 、 $3000\text{m} \leq L < 6000\text{m}$ 、 $6000\text{m} \leq L < 9000\text{m}$  时，横向贯通中误差分别为 45、60、90mm；高程中误差均为 25mm。
- b) 洞内测量部位：不同贯通长度  $L$  分别为： $L < 3000\text{m}$ 、 $3000\text{m} \leq L < 6000\text{m}$ 、 $6000\text{m} \leq L < 9000\text{m}$  时，横向贯通中误差分别为 60、80、120mm；高程中误差均为 25mm。
- c) 整个贯通区间：不同贯通长度  $L$  分别为： $L < 3000\text{m}$ 、 $3000\text{m} \leq L < 6000\text{m}$ 、 $6000\text{m} \leq L < 9000\text{m}$  时，横向贯通中误差分别为 75、100、150mm；高程中误差均为 35mm。
- 6.3.7 控制测量角度、长度、坐标的数字取位，应符合下列规定：**
- a) 二等以上测量等级：角度取 0.01"、长度取 0.0001m、坐标取 0.0001m。
- b) 三等四等测量等级：角度取 0.10"、长度取 0.001m、坐标取 0.001m。
- c) 一级二级测量等级：长度取 0.001m、坐标取 0.001m。
- 6.3.8 二等高程控制测量精度，应满足下列要求：**
- a) 引测长度：引测路线长度，因实际距离而定。
- b) 仪器等级：水准仪等级，应为 DS1、DSZ1。
- c) 观测次数：应观测 2 个测回，往返各观测 1 次。
- d) 误差控制：往返闭合差或环线闭合差，平地应按  $4\sqrt{L}\text{mm}$  进行控制；每公里高差全中误差，应  $< 2\text{mm}$ 。

### 6.3.9 三等高程控制测量精度，应满足下列要求：

- a) 引测长度：引测路线长度，应 $<50\text{m}$ 。
- b) 仪器等级：水准仪等级应为DS1、DS3、DSZ1、DSZ3等级。
- c) 观测次数，应观测2个测回，往返各观测1次。
- d) 观测次数：往返闭合差或环线闭合差，应按平地 $12\sqrt{L}\text{mm}$ 、山地按 $4\sqrt{L}\text{mm}$ 进行控制。
- e) 误差控制：每公里高差全中误差，应 $<6\text{mm}$ 。

### 6.3.10 四等高程控制测量精度，应满足下列要求：

- a) 引测长度：引测路线长度，应 $<16\text{m}$ 。
- b) 仪器等级：水准仪等级，应为DS3、DSZ3等级。
- c) 观测次数：观测次数，应观测2个测回，往返各观测1次。
- d) 误差控制：往返闭合差或环线闭合差，应按平地 $20\sqrt{L}\text{mm}$ 、山地按 $6\sqrt{L}\text{mm}$ 进行控制；每公里高差全中误差，应 $<16\text{mm}$ 。

### 6.3.11 高程控制点水准观测桩设置，应满足下列标准：

- a) 高程控制水准点：应在坚硬的基岩刻凿，或稳定的永久性建筑物上，或埋设有金属标志的混凝土桩。
- b) 水准控制点底座：水准控制点下端浇筑混凝土底座，柱体为上小、下大梯形混凝土柱体，柱顶端中央镶嵌圆形不锈钢体水准标志，水准标志上部设置混凝土或钢制保护盖帽。
- c) 水准点梯形柱体：规格尺寸上部为 $0.3\text{m}\times 0.3\text{m}$ ，下部为 $0.7\text{m}\times 0.7\text{m}$ ，高度为 $1.0\text{m}$ ，底座为 $1.0\text{m}\times 1.0\text{m}\times 0.2\text{m}$ 。
- d) 混凝土强度等级：水准点梯形柱体混凝土强度等级，应 $>C25$ 。
- e) 水准点标志标识：水准点周围或结构体上，应设置水准测控基点标志标识。
- f) 水准点校验复核：基本水准点、校核水准点，应定期校测。校测频次应1次/5~10年，稳定性较差或对水位精度要求较高的测站校测频次应1次/3~5年；校核水准点应1次/年，当发生地震、超标准洪水等特殊情况或有变动迹象时，应及时校测。

## 6.4 施工放线

6.5 水工隧洞的洞内施工控制测量放线，应用导线法，进行洞内施工控制测量放线、定位。

6.6 水工隧洞洞内施工测控，应根据洞外、洞内已设定的水准点，按水工隧洞施工进度需要加设。为使施工方便，在导坑内拱部、边墙施工洞段，应每隔 $100\text{m}$ 设立1个临时水准点，并定期复核。

6.7 水工隧洞施工洞内测量放线，应用中线法，由导线法在洞内测设施工中线。直线洞段，使用激光设备导向，采用正、倒镜延伸。中线点间距：曲线部分应 $>50\text{m}$ ，直线部分应 $>100\text{m}$ 。

6.8 水工隧洞开挖前，应校核中线点。在开挖断面上准确标出设计断面尺寸轮廓线，按设计要求，准确标出位置、尺寸和高程。供衬砌用的临时中线点间距宜与模板等长。

6.9 水工隧洞开挖断面形成后，应及时测量断面超、欠挖情况。根据控制测量数据，绘出断面图，修正开挖参数，控制超欠挖工程量。

6.10 防水板施工前，应复核中线位置和高程，检查断面尺寸，确定衬砌施工后的衬砌厚度和净空满足规范和设计要求。衬砌模板立模后，应进行检查和校正。

### 6.11 贯通线向修正及调整

6.11.1 为保证水工隧洞掘进洞内导线、施工中线及高程的实际控制精度，应对测控误差进行检查、修正。

6.11.2 水工隧洞掘进过程中，应实时修正施工控制测量放线中线偏差，保证水工隧洞施工中线掘进前进方向，按照设计方向掘进。中线点点位横向偏差，应 $<5\text{mm}$ 。

6.11.3 水工隧洞掘进洞内导线、施工中线及高程的实际调整位置，应在贯通面两侧未衬砌段，调整段长度应 $>100\text{m}$ ，贯通面两侧对称。调整后断面的后续工序均应以调整后的中线及高程为准，向水工隧洞前进方向继续进行放样。

6.11.4 贯通误差限值，应满足下列要求：

- a) 贯通长度 $0\text{m}\leq L<3000\text{m}$ ：横向贯通误差 $\leq 150\text{mm}$ ，高程中误差 $\leq 70\text{mm}$ 。
- b) 贯通长度 $3000\text{m}\leq L<6000\text{m}$ ：横向贯通误差 $\leq 200\text{mm}$ ，高程中误差 $\leq 70\text{mm}$ 。

- c) 贯通长度  $6000\text{m} \leq L < 9000\text{m}$ : 横向贯通误差  $\leq 300\text{mm}$ , 高程中误差  $\leq 70\text{mm}$ 。
- 6.11.5 导线法测量贯通误差, 应符合下列规定:
  - a) 误差分配位置: 方位角贯通误差分配在未衬砌洞段的导线角上。
  - b) 误差分配尺度: 坐标闭合差在贯通误差调整段的导线上, 按边长比例分配。
  - c) 误差调整用途: 调整后采用的导线坐标, 作为贯通误差调整段的放样依据。
- 6.11.6 中线法测量贯通误差调整, 应符合下列规定:
  - a) 调整段为直线: 贯通误差调整段为直线时, 通过加设曲线调整线路中线。
  - b) 调整段为曲线: 调整段为圆曲线时, 由曲线两端向贯通面按长度比例调整中线。
  - c) 调整段混合线: 调整段直线、曲线混合时, 调整曲线偏角和曲线起(终)点位置调整线路中线。
- 6.5.7 高程贯通误差调整, 应符合下列规定:
  - d) 调整方法: 两端分别引测贯通点附近的高程控制点, 平均值作为该点调整后高程, 并作为后续放样依据。
  - e) 调整用途: 高程贯通误差的一半, 分别在贯通面两端未衬砌洞段, 按水准线路长度的比例进行调整。

## 6.12 竣工测量

- 6.12.1 在水工隧洞的洞内中线复测的基础上, 在直线上, 每隔  $200 \sim 250\text{m}$ , 埋设 1 个用混凝土包埋金属标志的永久中线点; 在曲线上, 在缓和曲线的起、终点各设 1 个永久中线点, 曲线中部, 可根据通视条件适当增加。永久中线点设立后, 应在隧洞边墙上标出醒目标识标志。
- 6.12.2 直线洞段每隔  $50\text{m}$ 、曲线洞段每隔  $20\text{m}$  及需要加测断面处, 以路线中线为准, 测绘水工隧洞实际净空, 标出拱顶高程、起拱线宽度、路面水平宽度。
- 6.12.3 洞内水准点测控基点设置: 沿长度方向每隔 1 公里应埋设 1 个水准点, 长度  $< 1$  公里的隧洞, 应  $> 2$  个水准点, 并在隧洞边墙上标出醒目标识标志。
- 6.12.4 水工隧洞总体实测项目, 应符合下列规定:
  - a) 隧洞总净宽: 应  $>$  设计值, 曲线每隔  $20\text{m}$ 、直线每隔  $40\text{m}$  检查 1 处。
  - b) 中心线衔接: 应  $\leq 20\text{mm}$ , 分别将引道中心线和隧洞中心线延长至两侧洞口, 比较引道中心线与隧洞中心线的衔接平面位置。
  - c) 隧洞净高度: 应  $>$  设计值, 曲线每隔  $20\text{m}$ 、直线每隔  $40\text{m}$  测 1 断面。每断面拱顶和拱腰测 3 点。
  - d) 隧洞偏离度: 应  $\leq 20\text{mm}$ , 曲线每隔  $20\text{m}$ 、直线每隔  $40\text{m}$  检查 1 处。
  - e) 边仰坡坡度: 应  $\leq$  设计值, 边坡、仰坡的坡度检查 10 处。
  - f) 隧洞车道宽: 应为  $\pm 10\text{mm}$ , 曲线每隔  $20\text{m}$ 、直线每隔  $40\text{m}$  检查 1 处。

## 6.13 测控成果整理

- 6.13.1 水工隧洞完工或竣工后, 应提交贯通测量技术成果书、贯通误差的实测成果和说明书。
- 6.13.2 水工隧洞完工或竣工后, 应提交净空断面测量和永久中线点、水准点的实测成果及示意图。

## 7 施工布置

### 7.1 一般规定

- 7.1.1 根据水工隧洞设计文件及批复文件规定, 对水工隧洞沿线走向及配套建筑物进行总体布置与施工布置。
- 7.1.2 水工隧洞施工布置, 应本着地形、地质、生态环境、枢纽和隧洞沿线建筑物等统一规划、综合布局的原则, 对水工隧洞及其他建筑物进行科学布局、合理安排。
- 7.1.3 应合理安排水工隧洞与临近其他工程的施工先后顺序, 避免水工隧洞施工与临近其他工程结构安全和质量, 相互产生影响, 减少互相干扰。
- 7.1.4 水工隧洞施工, 应根据超前地质预报及监控与检测信息, 实施动态管理与控制。水工隧洞施工监控与检测、超前地质预报、安全质量监测等隧洞施工信息, 应及时收集、处理、反馈。
- 7.1.5 水工隧洞施工地质工作, 应符合下列规定:

- a) 设计交底：应认真分析、深入研究、弄通弄懂勘察设计文件地质资料真实意图。
  - b) 地质跟踪：密切跟踪地质勘测、调查，对揭露的围岩地质条件进行描述和分析。
  - c) 超前预报：超前地质预报，应纳入施工工序管理，预报结果未正式出台前，下道工序不得施工。
  - d) 岩性确认：应复核、确认围岩性质与级别。
- 7.1.6 水工隧洞施工过程中，应按国家及行业有关现行规程、规范要求，收集、准备、验收施工资料，及时、准确填写施工记录，进行水工隧洞施工技术总结。
- 7.1.7 水工隧洞施工过程中，应采取相应措施，主动预防隧洞塌方、突水突泥、煤（岩）与瓦斯突出和爆炸等异常情况，确保施工进度与施工安全。
- 7.1.8 建立健全水工隧洞施工安全质量风险控制体系。编制突发事件专项施工方案，制定避灾、减灾、安全生产应急预案及预警、预防和应急措施；储备应急抢险物资，开展应急演练；按相关规定开展安全质量风险辨识、评估以及风险控制工作。

## 7.2 施工场地布置

- 7.2.1 水工隧洞施工场地布置决定整个工程造价及施工进度，应遵循因地制宜、统一规划、施工方便、安全可靠、节地环保的原则，布置施工场地，提高水工隧洞施工效率。
- 7.2.2 施工场地布置，应符合下列规定：
- a) 满足工程要求：应满足工程规模、工期、地形特点、弃渣场和水源供给等要求。
  - b) 进出供给方便：应以洞口为中心，呈现放射状布置，并减少与现有道路交叉和干扰。
  - c) 保证正常施工：应不影响、干扰水工隧洞和其他工程正常施工。
  - d) 快捷便利网络：合理布局运输便道、场区道路和临时排水设施等网络。
  - e) 安装维修集中：集中设置机械设备安装、加工、维修和停放车间场地。
  - f) 物料就近存放：砂石料分仓存放；大宗材料、施工备品及回收材料应就近场地堆放。
  - g) 保持边坡稳定：采取降低开挖高度和面积、挡护等保持边坡稳定措施开挖边坡。
  - h) 安全措施到位：施工场地周边应有防治边坡失稳、崩塌、落石危害的措施。
- 7.2.3 施工道路，应符合下列规定：
- a) 标准满足要求：道路线形、纵坡、宽度、路基及路面结构，应满足大型设备、材料及出渣运输需要。
  - b) 设置安全设施：应设置必要的安全防护、排水设施和警示、提醒标志。

## 7.3 临时施工工程布置

- 7.3.1 布置临时工程时，应考虑永临结合、人财安全、方便施工等综合因素。严禁将临时工程设施，布置在易受洪水、泥石流、塌方、滑坡及雪崩等自然灾害威胁的区域或洞段。
- 7.3.2 应根据临时隧洞工程用途、运行和施工条件，考虑临时与永久相结合以及一洞多用的可行性、合理性和经济性的原则进行布置；临时与永久相结合的隧洞，应将洞线、纵坡、断面、支护及衬砌型式、进出口高程及位置、运行及检修条件等指标要素，与永久隧洞指标、要素相衔接。
- 7.3.3 临时工程和设施布设原则，应符合下列规定：
- a) 提前完成：四通（通水、通电、通路、通讯畅通）一平（平整场地）及临时房屋及机械、设备安装和管线架设等临时工程，应在隧洞开工前完成。
  - b) 避灾防灾：避免布置在高边坡、河道等区域，防止遭受突发性自然灾害的影响。
  - c) 永临结合：临时工程布置应尽量考虑永、临结合方案。
  - d) 安保措施：设置对人员、设备进出洞进行管理的相关安全设施，配备专人管理。
  - e) 就近供给：靠近洞口布设风、水、电设施，并满足隧洞施工需要。
  - f) 安全存放：爆炸物品储存库必须符合现行 GA 837、GA 838、GB 6722 相关规定，实施安全存放。
- 7.3.4 临时房屋布设原则，应符合下列规定：
- a) 方便工作生活：应满足施工人员工作和生活的需要。
  - b) 远离电力线路：不宜建在电力线路保护区内，与架空电力线路安全距离应满足国务院令 第 588 号相关规定。
  - c) 配备消防设备：配备消防设备，满足消防安全需要。

d) 设置排水系统：应设有排水系统；生活用水的排放，不得影响施工、污染周围环境。

#### 7.3.5 泄洪与发电共用隧洞布置，应满足下列要求：

- a) 满足共用条件：应满足泄洪与发电各自的运行要求和较好的水力条件。
- b) 主洞满足泄洪：泄洪洞应作为主洞进行布置，主洞出口断面面积应 $\leq 85\%$ 的泄洪洞洞身断面面积。
- c) 支洞重在发电：发电洞应作为支洞进行布置。根据水头、流量以及分流比确定分岔型式，分岔后发电洞长度应 $\geq 10$ 倍洞径或洞宽，当泄洪时不发电或发电引水系统有稳压设施，长度可适当减小；支洞泄洪时，出口断面面积应 $\leq 70\%$ 的支洞洞身断面面积。

#### 7.3.6 导流与地勘隧洞布置，应满足下列要求：

- a) 导流洞与永久洞结合：布置导流隧洞时，应利用全部或部分洞段作为永久隧洞。
- b) 地勘洞与其他洞结合：布置地质勘探洞时，宜考虑与其他洞室结合。

### 7.4 隧洞进出口布置

7.4.1 水工隧洞进、出口布置，应执行 SL279 相关规定，根据工程总体布置及地形地质条件等因素综合确定。

7.4.2 水工隧洞进、出口，宜布置在地质构造简单、岩体完整、风化及卸荷带较浅的地区，避开不良地质构造、冲沟和容易发生崩塌、滑坡及泥石流等区域。

#### 7.4.3 水工隧洞进、出口布置，应满足下列要求：

- a) 满足使用要求：应满足防淤、防冰、防冲及防污等使用功能要求。
- b) 满足运行要求：应满足闸门、拦污、清淤等设备的设置和对外交通运行要求。
- c) 满足流态要求：应使水工隧洞水流顺畅，进流均匀，出流平稳。

7.4.4 水工隧洞的洞口为土洞，应布置在山坡稳定、土质条件较好地区，进出口洞脸和两侧边坡，应充分考虑开挖后的边坡稳定情况，并采取相应的加固和防水、排水措施，防止覆盖层、松动岩块等在风力、水流、波浪、水位变化、地震等因素作用下滑落，影响水工隧洞正常运行。

7.4.5 水工隧洞的洞口为土洞与渡槽、岩洞等建筑物连接处应设永久缝。在严寒地区，洞口基础埋深，应在有气象纪录以来最深冻土层以下，防止寒冷冻坏。

#### 7.4.6 水工隧洞泄水隧洞的出口布置，应符合下列要求：

- a) 收缩面积：有压泄水隧洞的出口段断面面积，宜收缩为洞身断面的 85%。收缩方式宜采用洞顶压坡的形式。
- b) 渐变型体：有压泄水隧洞的出口渐变段体型，宜根据水流条件、工作闸门型式以及启闭闸门方式进行确定。
- c) 出口底坡：有压泄水隧洞出口洞段的底坡宜平缓，侧向扩散平顺，使出口水流与下游水流衔接良好。当出口邻近主河道(主流)时，宜采用适当的出流导向措施，防止与主流对冲。
- d) 防冲措施：水工隧洞出口消能防冲措施，应符合 SL 253 相关规定。

7.4.7 水电站、抽水蓄能电站进水口布置，应符合 SL 285 的相关规定。

### 7.5 洞线布置

7.5.1 水工隧洞线路布置，应根据水工隧洞用途及特点，综合考虑地形、地质、生态环境、水土保持、枢纽和隧洞沿线建筑物布置、水力学、施工及交通、运管等各种因素，通过技术经济比较选定。

7.5.2 在满足水工隧洞总布置要求条件下，隧洞轴线宜布置在沿线地质构造简单、岩体完整稳定、水文地质条件有利及施工方便的地区。在平面上隧洞轴线宜布置为直线。

#### 7.5.3 水工隧洞线路走向布置，应满足下列要求：

- a) 洞线与岩层走向交角：洞线与岩层、构造断裂面及主要软弱带走向应有较大交角。整体块状结构岩体及厚层且胶结紧密、岩石坚硬完整的岩体交角应 $> 30^\circ$ ；薄层岩体或层间结合疏松的陡倾角薄岩层，交角应 $> 45^\circ$ ；高地应力区，水工隧洞的轴线方向宜与最大水平地应力方向应有较小交角。
- b) 合理躲避地质构造带：遇有较大地质构造带时，应选择在不利构造及其组合对水工隧洞围岩稳定的影响最轻的位置进行布置。

- c) 尽量避开危害岩层带：隧洞沿线遇有断裂构造、不利构造面、软弱带、蚀变带、膨胀岩等时，应尽量避开可能造成地表水补给强的冲沟，布置水工隧洞轴线；洞线布置宜避开强岩溶地区。
- 7.5.4 水工隧洞轴线选择时，应对可能出现的局部不稳定岩体进行分析、预测，采取适宜对应的工程预防、处理措施。
- 7.5.5 水工隧洞垂直和侧向岩体最小覆盖厚度：应根据地形、地质条件、岩体的抗抬能力、抗渗透特性、洞内水压力和衬砌型式等因素，具体分析确定。
- 7.5.6 位于隧洞进、出口位置和无压隧洞洞身，岩体最小覆盖厚度无限制。
- 7.5.7 水工隧洞相邻间距：在保证隧洞之间岩体运行期不发生渗透失稳和水力劈裂的前提下，其间距应 $>2$ 倍开挖洞径(或洞宽)；确因布置需要，且岩体为I、II类整体围岩时，可 $>1$ 倍开挖洞径(或洞宽)。
- 7.5.8 水工隧洞轴线与相邻建筑物间距：水工隧洞轴线穿过水库坝基、坝肩或其他建筑物基础时，其间距应满足各自结构和防渗等要求，避免与相邻建筑物间产生不利影响。
- 7.5.9 水工隧洞轴线穿越沟谷：可采用跨沟方案，对跨沟建筑物与隧洞的连接部位及不稳定的沟谷边坡等，应采用工程措施进行加固。
- 7.5.10 水工隧洞轴线转弯，应符合下列要求：
- 低流速无压隧洞曲线布置：弯曲半径应 $>5$ 倍洞径或洞宽，转角应 $\leq 60^\circ$ 。
  - 低流速有压隧洞曲线布置：弯曲半径应 $>3$ 倍洞径或洞宽，转角应 $\leq 60^\circ$ 。
  - 高流速有压隧洞曲线布置：弯曲半径和转角，应通过水工模型试验确定。
  - 隧洞弯道首尾直线段布置：长度应 $>5$ 倍洞径或洞宽。
- 7.5.11 水工隧洞的洞身段竖向曲线设置：应考虑施工方法、施工极限能力水平和大型施工设备的要求。高流速隧洞的型式和竖向曲线半径应通过试验确定；低流速无压隧洞的竖向曲线半径应 $>5$ 倍洞径或洞宽，低流速有压隧洞可适当降低。
- 7.5.12 水工隧洞轴线纵坡，并应满足下列要求：
- 流速要求：应满足不淤流速的要求。
  - 协调顺畅：沿程纵坡应保持一致，不宜变化过多。
  - 排水措施：当布置需要设置平坡、反坡时，应设置检修排水措施。
  - 普通建筑：灌溉、供水、调水长隧洞纵坡，应考虑沿程分水(取水)设施的布置要求。
- 7.5.13 水工隧洞施工支洞设置：支洞数目及长度应根据沿线地形地质条件、对外交通情况、支洞间的隧洞工程量、方便出渣及工期要求等进行设置。地质条件较差时，应研究施工支洞对主洞的影响。
- 7.5.14 隧洞掘进机施工时，水工隧洞的洞线布置，应方便掘进机施工。

## 8 隧洞进出口施工

### 8.1 一般规定

- 8.1.1 水工隧洞进口施工前，应按设计文件要求，遵循“早进晚出”的原则，复核确认管棚导向墙基础尺寸和承载力、明暗分界位置，控制边坡及边仰坡开挖高度；完成管棚、地层加固、降水等辅助工程建设。
- 8.1.2 水工隧洞进口爆破开挖，应采取相关措施监测、控制爆破振动，防止影响、损害邻近建(构)筑物或已建工程安全。

### 8.2 隧洞进出口施工

- 8.2.1 隧洞洞口土石方、边坡及边仰坡防护、洞门及其相邻翼墙、挡土墙及洞口排水系统等工程实施，应避开雨季和融雪期。确因工期需要不能规避时，应采取防止坍塌的安全保护措施。
- 8.2.2 水工隧洞洞口及周边不稳定的地表土及山坡危石等，应清除或防护、加固；进口边坡、仰坡开挖及地表恢复，应符合环境保护规定，做好水土保持。
- 8.2.3 水工隧洞洞口开挖与防护施工，应符合下列规定：
- 开挖程序：洞口边坡及仰坡应自上而下开挖，不得掏底开挖或上、下重叠开挖。
  - 开挖方式：应机械施工，人工配合，辅以控制爆破措施，减少对边仰坡及围岩的扰动。
  - 防护监测：进口开挖同时防护边仰坡；随时检查监测边坡和仰坡变形状态。

- 8.2.4 水工隧洞洞口截、排水设施施工，应符合下列规定：
- 施工时机：截、排水设施，应在雨季和融雪期之前无雨雪时完成。
  - 截水措施：截水设施应围绕水工隧洞进口周围布设，具备有效拦截能力，防止水流进入水工隧洞。永久性挡护工程应紧跟土石方开挖及早完成。
  - 排水设施：排水沟应低于原地面，顺畅排水。采取防止渗漏和变形的措施，回填应密实不易被水掏空，不应冲刷路基坡面及桥涵锥坡等工程及设施。洞内排水应与洞外排水设施合理连接。
- 8.2.5 水工隧洞洞门墙施工，应符合下列规定：
- 施工时机：洞门墙宜在洞口衬砌施工完成后施工。
  - 墙基处理：墙基承载力符合设计要求，清除基底虚渣、杂物、泥、水等。
  - 砌筑回填：施工洞口两侧端墙，对称砌筑和墙背回填。
  - 墙背排水：同步施工洞门墙背排水设施与洞门墙。
- 8.3 质量控制标准
- 8.3.1 水工隧洞进口模板安装质量控制标准，应满足下列要求：
- 位置：基础边缘位置，允许偏差+15mm；边墙边缘位置，允许偏差+10mm。
  - 高程：基础顶高程，允许偏差±10mm；边墙拱脚、端翼墙顶高程，允许偏差±10mm。
  - 平面：模板表面平整度，允许偏差 5mm；模板表面错台，允许偏差 2mm。
  - 孔洞：预留孔洞位置，允许偏差+10mm。
- 8.3.2 水工隧洞进口基坑开挖质量控制标准，应满足下列要求：
- 中心偏差：基坑中心线与路线中心线间距，允许偏差+50mm。
  - 长款偏差：基坑长度、宽度，允许偏差+100 mm。
  - 高程偏差：基坑底高程，允许偏差应≥基底设计高程。
- 8.3.3 水工隧洞进口混凝土质量控制标准，应满足下列要求：
- 强度等级：混凝土强度在合格标准内。
  - 平面位置：允许偏差 50 mm。
  - 断面尺寸：允许偏差符合实际要求。
  - 顶面高程：允许偏差±20mm。
  - 表面平度：表面平整度，允许偏差 5mm。
  - 竖向直度：竖直度或坡度，允许偏差 0.5%。
- 8.3.4 水工隧洞明洞回填及防水层质量控制标准，应满足下列要求：
- 宽度：卷材搭接宽度，允许偏差≥100mm。
  - 长度：卷材向暗洞延伸长度，允许偏差≥500mm；基底横向长度，允许偏差≥500mm。
  - 厚度：沥青防水层每层厚度，允许偏差 2mm。
  - 缝宽：缝宽，允许偏差，焊接≥10mm、粘接≥50mm。
  - 回填：层厚，允许偏差≤300mm；两侧回填高差，允许偏差≤500mm；坡度、回填厚度、回填压实度，允许偏差符合设计规定。

## 9 隧洞主洞身开挖施工

### 9.1 一般规定

- 9.1.1 水工隧洞施工前，应认真分析、掌握隧洞沿线地质的地勘情况，并根据隧洞长度、跨度、结构形式、掌子面稳定性、地质条件等因素，选择适宜的开挖方式、方法及与配套的机械设备。
- 9.1.2 水工隧洞施工时，应核实隧洞开挖现场掌子面地质情况，结合超前地质预报预测结果，根据地质变化情况，及时调整开挖方式、方法和支护模式参数，并做好各种施工工序的有效衔接。
- 9.1.3 水工隧洞施工开挖现场应加强应急管理工作，预先制定各种现场应急处置预案，现场储备应急备用抢险物料，进行相关演练，积累相关应急处置经验与经历，以备现场出现异常情况时，有条不紊、沉着冷静进行处理。
- 9.1.4 水工隧洞施工开挖过程中，会出现、发生与超前地质预报结果不相符或截然违背的情况，可能发生失稳、坍塌、涌水、泥石流等意外问题，应沉着冷静，根据应急预案采取针对性的处理措施。

9.1.5 水工隧洞施工开挖作业，应符合下列规定：

- a) 执行规定：开挖断面尺寸，应严格执行设计有关规定。
- b) 合理进尺：应根据开挖方法、断面大小、地质条件等因素，确定合理循环进尺。
- c) 安全施工：开挖作业不得危及人员、设备及支护结构的安全。
- d) 及时跟进：根据隧洞掘进情况，及时进行初期支护作业。
- e) 清除危石：每处开挖后，及时采用机械作业与人工作业相结合的方式清除危石。

9.1.6 为使水工隧洞岩石开挖断面尽可能地符合设计轮廓线，减轻对围岩的扰动，最大限度减少超、欠挖工程量，隧洞爆破施工开挖，应采用光面爆破技术。

9.1.7 水工隧洞邻近有需要保护的党政机关、文物古迹等重要建（构）筑物时，应对爆破参数进行精准核算，严格控制爆破炸药用量，尽量降低爆破振动幅度。经分析，确认不能使用炸药进行爆破时，应选择机械开挖方式。

9.1.8 水工隧洞爆破作业及爆破物品管理，必须符合中华人民共和国国务院令 第 466 号及国家现行标准 GB 6722 有关规定。

9.1.9 水工隧洞采用对向开挖、分段竖井对向开挖等方式，两工作面相距达到 4 倍隧洞跨度时，两端分别进行施工的开挖方，应加强联系，统一指挥；两工作面起爆时间不得同时进行，应错开；土质和软弱破碎围岩两开挖面间距离达到 3.5 倍隧洞跨度时，或围岩条件较好洞段两开挖面间距离达到 2.5 倍隧洞跨度时，应改为单向开挖施工。

9.1.10 水工隧洞进、出洞前，应按设计完成超前支护等辅助工程措施。

## 9.2 隧洞横断面标准控制

9.2.1 水工隧洞具有发电、泄洪、导流等特殊工作性质，其洞身横断面型式，应严格按照设计及批复文件要求执行。根据水工隧洞有压、无压等不同工作模式，可采用圆形断面、圆拱直墙断面。

9.2.2 高地应力区非圆形断面，水平地应力 $\geq$ 垂直地应力时，宜采用高度较小、而宽度较大的断面；垂直地应力 $\geq$ 水平地应力时，宜采用高度较大、而宽度较小的断面。

9.2.3 水工隧洞的洞身横断面形状选择，应符合下列要求：

- a) 有压隧洞：有压隧洞宜采用圆形断面。围岩稳定性较好，内、外水压力不大时，可采用便于施工的其他断面形状。
- b) 无压隧洞：无压隧洞宜采用圆拱直墙断面。圆拱直墙断面圆拱中心角宜为  $90^\circ \sim 180^\circ$ ，断面高宽比宜为 1.0~1.5。地质条件较差时，可选用圆形或马蹄形断面。

9.2.4 长水工隧洞多种断面形状和衬砌型式组合型式，应符合下列要求：

- a) 避免复杂：多种断面形状和衬砌型式，不宜过多、过密。
- b) 平缓连接：不同断面或衬砌型式之间应设置渐变段平缓曲线，便于施工。
- c) 锥角适宜：有压隧洞渐变段的圆锥角，宜采用  $6^\circ \sim 10^\circ$ ，双向水流渐变段取小值。
- d) 渐变适度：有压隧洞渐变段长度应 $\geq$ 1.5 倍洞径或洞宽。

9.2.5 水工隧洞横断面尺寸，应符合下列要求：

- a) 电站泵站：水电站、泵站输水隧洞横断面尺寸，应满足输水流量要求。
- b) 调水工程：隧洞横断面尺寸，应满足隧洞进、出口高程和加大设计流量要求。
- c) 泄洪工程：隧洞横断面尺寸，应满足泄洪过流能力要求。
- d) 导流工程：隧洞横断面尺寸，应满足流量、进口及围堰高程、出口水流衔接等要求。

9.2.6 水工隧洞横断面最小尺寸，应符合下列要求：

- a) 钻爆法施工：圆形断面内径应 $\geq$ 2.0m；非圆形断面高度应 $\geq$ 1.8m，宽度应 $\geq$ 1.5m。
- b) 掘进机施工：满足设备开挖最小尺寸要求。

9.2.7 无压隧洞横断面尺寸，应符合下列要求：

- a) 低流速无压隧洞：恒定流，洞内水面线以上空间应 $\geq$ 隧洞断面面积的 15%，高度应 $\geq$ 0.4m；有通航等要求的隧洞，弯曲半径和转角、过水断面尺寸及水面线以上空间，应符合相关标准规定。
- b) 高流速无压隧洞：在掺气水面线以上空间，宜为断面面积的 15%~25%；采用圆拱直墙断面时，水面线不宜超过直墙范围；水流有冲击波时，应将冲击波波峰限制在直墙范围内。

9.2.8 水工隧洞掘进机辅助洞室尺寸，应满足施工期掘进机安装或拆卸、安全通过等要求，并能满足隧洞运行要求。

### 9.2.9 水工隧洞防空蚀措施，应符合下列要求：

- a) 调整体形：调整洞内过流形态和体形。
- b) 控制平整：控制水流边壁表面平整度。
- c) 提高强度：采用抗蚀材料，提高隧洞抗蚀强度。

## 9.3 隧洞掘进施工方法

9.3.1 水工隧洞施工前，应根据隧洞长度、跨度、结构形式、掌子面稳定性、地质条件及地质条件、隧道开挖断面和围岩稳定情况，选择适宜的开挖方式、方法与配套的机械设备。

9.3.2 水工隧洞断面开挖方式主要包括全断面法、台阶法、分部开挖法、环形开挖留核心土法、中隔壁法、交叉中隔壁法、双侧壁导坑法等施工开挖方式方法。

9.3.3 水工隧洞在施工开挖过程中，会遇到各种突发地质情况，需要根据地质变化，随时转换开挖方法。转换前，应进行技术交底，核对围岩级别，确认适用于前方围岩的开挖方法和支护参数；分部断面变大、支护变弱时，应在较好的围岩段中进行；转换过程中各开挖分部应及时支护，及时闭合。

9.3.4 水工隧洞施工通过围岩级别和适宜开挖方法，应符合表 1 规定：

表1 围岩级别和对应适宜开挖方法 单位：mm

序号	围岩级别	开挖方法		备注
1	I~II	全断面法		
2	I~IV	台阶法	长台阶法	台阶长度 $\geq 50$
3	IV~V		短台阶法	台阶长度 5~50
4	V		超短台阶法	台阶长度 3~5
5	V~VI	分部开挖法	环形开挖留核心土法	
6	V~VI		中隔壁法	
7	V~VI		交叉中隔壁法	
8	V~VI		双侧壁导坑法	

9.3.5 水工隧洞全断面法施工，应符合下列规定：

- a) 机械作业：宜采用大型机械化配套作业，各种施工机械设备应合理配合。
- b) 精控爆破：精准控制 1 次同时起爆的单段、最大单响最大爆破的药量。
- c) 科学进尺：根据掌子面围岩稳定情况、爆破振动、钻孔和出渣效率、超挖控制等情况科学确定循环进尺深度。I、II 级围岩，使用气腿式凿岩机时，循环进尺深度可控制在 4m 左右；III 级围岩，循环进尺深度宜控制在 3m 左右。

9.3.6 水工隧洞台阶法施工，应符合下列规定：

- a) 台阶高度：宜为 2.5~3.5m/台阶。
- b) 台阶长度：考虑两种因素确定台阶长度，一是初期支护形成闭合断面的时间要求，稳定性愈差的围岩，要求闭合时间愈短。二是上半断面施工时开挖、支护、出渣机械设备所需的作业空间。
- c) 台阶数量：可采用 2 个台阶或 3 个台阶，宜 $\leq 3$  个台阶。
- d) 循环进尺：上台阶开挖每循环进尺，III 级围岩宜 $\leq 3$ m；IV 级围岩宜 $\leq 2$  榀钢架间距；V 级围岩宜 $\leq 1$  榀钢架间距；下台阶每循环进尺，IV、V 级围岩，宜 $\leq 2$  榀钢架间距。
- e) 拉槽长度：下台阶单侧拉槽长度，宜 $\leq 15$ m。
- f) 前后错距：下台阶左、右侧开挖，宜前后错开 3~5m，同一榀钢架两侧不得同时悬空。
- g) 注意事项：下部施工应减少对上部围岩、支护的干扰和破坏；下台阶应在上台阶喷射混凝土强度达到设计强度 70%后再开挖；采用扩大拱脚、加强锁脚锚杆、加设临时仰拱等措施，有利于控制拱脚下沉。

9.3.7 水工隧洞环形开挖留核心土法施工，应符合下列规定：

- a) 适用条件：当地质条件较差，采用台阶法开挖掌子面自稳能力不足时，可采用环形开挖留核心土法。
- b) 台阶高度：宜为 2.5~3.5m/台阶。
- c) 循环进尺：V 级围岩，宜 $\leq 1$  榀钢架间距；IV 级围岩，宜 $\leq 2$  榀钢架间距；中下台阶，应 $\leq 2$  榀钢架间距；核心土面积，宜 $\geq$ 断面面积的 50%。

- d) 留土规格：留核心土长度，宜为 3~5m；宽度宜为隧道开挖宽度的 1/3~1/2。各台阶留核心土开挖每循环进尺，宜与其他分部循环进尺相一致。
  - e) 开挖顺序：拱部超前支护完成后，方可开挖上台阶环形导坑。
  - f) 左右错距：下台阶左、右侧开挖，应错开 3~5m，同一榀钢架两侧不得同时悬空。
  - g) 注意事项：核心土与下台阶开挖，应在上台阶支护完成且喷射混凝土强度达到设计强度 70%后进行；上台阶钢架施工时，应采取有效措施控制其下沉和变形；仰拱施工应紧跟下台阶，及时闭合成稳固的支护体系。
- 9.3.8 水工隧洞中隔壁法施工，应符合下列规定：
- a) 适用条件：中隔壁法即 CD 法，适用于比较软弱的 IV~V 级围岩浅埋大断面。
  - b) 周边轮廓：各分部开挖时，周边轮廓应圆顺。
  - c) 开挖进尺：应 < 1 榀钢架间距。
  - d) 时期确定：初期支护完成、强度达到设计规定后，方可进行下一分部开挖。
  - e) 支护拆除：临时支护拆除宜在仰拱施工前进行。一次拆除长度应与仰拱浇筑长度相适用。临时支护拆除后，应及时浇筑仰拱和仰拱填充、施工拱墙二次衬砌。临时支护拆除前后，应进行变形量测。
  - f) 注意事项：当开挖形成全断面时，应及时完成全断面初期支护闭合。
- 9.3.9 水工隧洞交叉中隔壁法施工，应符合下列规定：
- a) 适用条件：交叉中隔壁法即 CRD 法，适用于软弱的 IV~VI 级围岩浅埋大断面。
  - b) 周边轮廓：各分部开挖时，周边轮廓应圆顺。
  - c) 开挖进尺：应 < 1 榀钢架间距。
  - d) 时期确定：初期支护完成、强度达到设计规定后，方可进行下一分部开挖。每个台阶底部均应按设计规定及时施工临时钢架或临时仰拱。
  - e) 支护拆除：临时支护拆除宜在仰拱施工前进行，一次拆除长度宜与仰拱浇筑长度相适用。临时支护拆除后，应进行变形量测。
  - f) 注意事项：当开挖形成全断面时，应及时完成全断面初期支护闭合。
- 9.3.10 水工隧洞双侧壁导坑法施工，应符合下列规定：
- a) 周边轮廓：侧壁导坑开挖时，周边轮廓应圆顺。
  - b) 导坑跨度：宜为整个隧道开挖宽度的 1/3。
  - c) 导坑超距：导坑与中间土体同时施工时，导坑应超前 30~50m。
  - d) 初期支护：侧壁导坑开挖后，应及时施工初期支护并尽早形成封闭环。
  - e) 支护拆除：临时支护拆除宜在仰拱施工前进行，一次拆除长度宜与仰拱浇筑长度相适用；临时支护拆除后，应及时浇筑仰拱和仰拱填充、施工拱墙二次衬砌；临时支护拆除前后，应进行变形量测。
- 9.3.11 水工隧洞仰拱部位开挖，应符合下列规定：
- a) 紧跟进度：应控制仰拱到掌子面的距离，仰拱应紧跟掌子面。
  - b) 交通顺畅：仰拱开挖时，应采取交通安全措施。
  - c) 开挖长度：土和软岩仰拱开挖长度应 ≤ 3m，硬岩应 ≤ 5m。开挖后应及时施工仰拱初期支护、二次衬砌及填充。
  - d) 注意事项：应做好排水设施，清除底面积水和松渣，严禁松渣回填。

## 9.4 隧洞钻爆法开挖施工

- 9.4.1 水工隧洞钻爆法施工，是水工隧洞最为常见的隧洞开挖施工方法，也是隧道施工的重要工序，具有投资少、造价低、技术便于掌握、施工简单方便等优势。
- 9.4.2 水工隧洞钻爆法作业，应综合考虑水工隧洞的工程地质、地形环境、开挖断面、开挖方法、循环进尺、钻孔机具、爆破材料和出渣能力等因素，编制完整、详细的钻爆开挖施工设计文件。钻爆设计文件力求简明易懂，正确指导钻爆工实施钻爆作业。
- 9.4.3 水工隧洞钻爆作业应按照钻爆设计文件要求，实施钻孔、装药、接线和引爆。隧洞爆破作业人员应经过严格专业技术培训，持证上岗。
- 9.4.4 水工隧洞钻爆法开挖过程中，应根据爆破效果，进行分析比较，及时修正、优化调整钻爆参数，

提高爆破效果，改进技术经济指标。

9.4.5 水工隧洞钻爆法开挖施工钻爆设计文件，应包括下列内容：

- 设计文件内容：应包括：爆破方法、炮孔（掏槽孔、辅助孔、周边孔）的布置、数目、深度和角度、炸药种类、装药量和装药结构、起爆方法、起爆器材和爆破顺序等。
- 文件附图附表：应包括炮孔布置图、周边孔装药结构图、钻爆参数表、主要技术经济指标及必要的说明。

9.4.6 水工隧洞钻爆法开挖施工爆破器材，应具备相关的检验合格证、技术指标及说明书。

9.4.7 水工隧洞光面爆破施工，应符合下列规定：

- 设置最小抵抗线：应根据围岩特点，合理选择周边孔间距及周边孔的最小抵抗线。
- 严格控制装药量：应严格控制周边孔的装药量，并使药量沿炮孔全长合理分布。
- 导爆索间隔装药：周边孔宜采用小直径药卷不耦合装药或装填低威力炸药，借助导爆索实现空气间隔装药。
- 毫秒雷管微差爆：宜采用毫秒雷管微差顺序起爆，使周边爆破时产生临空面。周边孔宜采用导爆索网路同时起爆；起爆药量超过安全允许药量时，也可分段起爆。
- 始光面爆破参数：可根据工程类比选择，并根据爆破效果及时调整，优化爆破效果。

9.4.8 “光面爆破”与“预留光面层光面爆破”参数控制值，应符合表2规定：

表2 光面爆破与预留光面层光面爆破参数控制值表

岩石种类	饱和单轴抗压极限强度 R (MPa)	装药不耦合系数D	周边孔装药集中度 g (kg/m)	周边孔间距E (mm)	周边孔最小抵抗线 V (mm)	相对距 E/V	爆破方式
硬岩	>60	1.25~1.50	0.30~0.35	550~700	700~850	0.8~1.0	光面爆破
				600~700	700~800	0.7~1.0	预留光面层光面爆破
中硬岩	30~60	1.50~2.00	0.20~0.30	450~600	600~750	0.8~1.0	光面爆破
				400~500	500~600	0.8~1.0	预留光面层光面爆破
软岩	<30	2.00~2.50	0.07~0.15	300~500	400~600	0.5~0.8	光面爆破
				400~500	500~600	0.7~0.9	预留光面层光面爆破

注：装药不耦合系数为炮孔孔径与药卷直径的比值；断面较小或围岩软弱破碎或在曲线、折线处开挖时，周边孔间距取小值；软岩在取较小的周边孔间距时，应适当增大抵抗线；软岩或破碎性围岩，相对距宜取小值；装药集中度按2号岩石硝铵炸药考虑，当采用其他炸药时，应进行换算；优先考虑选用光爆炸药。

9.4.9 水工隧洞钻爆作业炮孔钻孔前检查：应定出开挖断面中线、水平线和断面轮廓，经检查符合规定后方可钻孔；非程控钻机钻孔前，应标出炮孔位置。钻孔完成后，应按炮孔布置图检查并做好记录，不符合规定的炮孔应重钻，经检查合格后方可装药。

9.4.10 水工隧洞钻爆作业炮孔布置，应符合下列规定：

- 掏槽孔布置：宜布置在开挖断面的中央稍靠下部，两个掏槽孔间距宜 $\geq 200\text{mm}$ ；在岩层层理或节理发育时，斜孔掏槽的炮孔方向宜与层理面或节理面垂直。
- 辅助孔布置：开挖断面底面两隅处，宜合理布置辅助孔，适当增加药量，消除爆破死角。断面顶部应控制装填药量。
- 掏槽孔位置：掏槽孔宜比辅助孔孔底深100~200mm。爆破后开挖面凹凸较大时，应按实际情况，调整炮孔深度及装药量。
- 炮孔位布置，应控制内圈孔的爆破参数，防止围岩过度龟裂，应控制周边孔外插角度。

9.4.11 水工隧洞装药作业，应符合下列规定：

- 严禁交叉：严禁装药与钻孔平行、交叉作业。
- 消除静电：严禁作业人员穿戴化纤衣服，装药前应做消除静电处理。
- 严禁靠近：装药前，无关人员与机具等应撤至安全地点。
- 禁用铁器：应使用木质或竹质炮棍装药，非间隔装药各药卷间，应彼此密接。

- e) 及时封堵：已装药的炮孔，应及时采用水炮泥、粘土炮泥堵塞密封。严禁用块状材料、煤粉或其他可燃材料作炮泥。炮泥配合比粘土：砂子一般为为 1：3，加含有 2%~3%食盐的水制成，炮泥要干湿适度。
- 9.4.12 水工隧洞连线起爆作业，应符合下列规定：
- 爆前检查：每次起爆前，爆破员应仔细检查起爆网络，确认邻近爆破工作面未装炸药及雷管。
  - 安全撤离：起爆前，所有人员应撤至不受有害气体、振动及飞石伤害的安全地点。安全地点至爆破工作面的距离，在独头坑道内应 $\geq 200\text{m}$ ；采用全断面开挖时，应根据爆破方法与装药量计算确定安全距离。在有可能发生涌水、突水洞段，应加强开挖工作面与洞内后部工作点的联系。
  - 最后离开：爆破员应最后离开爆破地点，撤离到有掩护的安全地点后再起爆。
  - 清点人数：起爆前，班组长应清点人数，确认无误后，方可下达起爆指令。爆破员接到起爆指令后，应先发出爆破警号，至少等 5s 后，方可起爆。
  - 有害检测：爆破后，应待洞内有害气体浓度达到规定标准后，方可进入开挖面工作。
  - 瞎炮处理：处理瞎炮、残炮，应符合现行 GB 6722 相关规定。
- 9.4.13 水工隧洞电力起爆作业，应符合下列规定：
- 安全照明：工作面的电灯及电线应在装药前全部撤离，装药时应用矿灯、投光灯或风灯照明。
  - 分开布线：起爆主导线不宜与电线和管路敷设在同一侧。若设在同一侧时，与钢轨、管道等导电体的间距应 $>1.0\text{m}$ ，并悬空架设。
  - 安全检查：起爆前，应确保现场人员、机械设备等已撤离到安全距离外，并检查主线的连接，确认起爆顺序无误后方可起爆。
  - 防水处理：在地下水发育洞段，爆炸材料应加强接头的防水与绝缘处理，采用塑料导线作为连接线，爆破管路接头不得浸在水中。
- 9.4.14 水工隧洞爆破效果应达到围岩稳定、无大剥落或坍塌、块度适于出渣的要求。应对开挖断面形状、轮廓尺寸及爆破效果进行检查。前后两茬炮衔接段的台阶形误差应 $\leq 150\text{mm}$ 。使用凿岩台车时，可根据实际情况另行确定。
- 9.4.15 水工隧洞炮孔痕迹保存率：用炮孔痕迹保存率来检查爆破效果是简单有效的方法，在钻眼方法精度达到要求的前提下，保证开挖周边轮廓平整圆顺。
- 9.4.16 水工隧洞周边炮孔痕迹保存率，应符合下列规定：
- 硬性岩炮孔痕迹保存率：应 $\geq 80\%$ 。
  - 中硬岩炮孔痕迹保存率：应 $\geq 70\%$ 。
  - 软性岩炮孔痕迹保存率：应 $\geq 50\%$ 。
- 9.4.17 水工隧洞循环爆破施工，应符合下列规定：
- 合理时间间隔：爆破作业应在上一循环喷射混凝土终凝 3h 后进行。
  - 爆破振动监测：连拱隧道、小净距隧洞以及地表周围有建（构）筑物的浅埋隧洞，宜进行爆破振动监测。

## 9.5 隧洞机械开挖施工

- 9.5.1 水工隧洞开挖施工中，遇土类地质、土质围岩、软弱破碎围岩，应采用方便快捷、简单的机械开挖施工；隧洞周围不能使用钻爆法施工时，也应采用机械开挖施工。
- 9.5.2 机械开挖应根据水工隧洞结构特点、围岩特性和施工掌子面稳定情况、断面大小、开挖和支护出渣效率、动力提供条件和工期要求、场地条件及经济性等因素，选择合适的机械开挖方法、开挖参数。
- 9.5.3 水工隧洞机械开挖施工，应按有关规定，经常开展开挖机械和其他电动、液压机械的使用、管理、维修和保养等相关工作。
- 9.5.4 水工隧洞机械开挖施工，应及时进行施工初期支护。
- 9.5.5 水工隧洞开挖机械施工，应符合下列规定：
- 持证上岗：机械开挖施工或新型机械使用前，应对操作人员进行技术培训，熟悉其性能，掌握开挖机械的安全操作规程，并做到持证上岗。
  - 用料合格：机械燃料、润滑油脂和其他用料，应符合有关规定，确认质量合格。
  - 避免过劳：隧洞开挖施工应在其机械能承受的能力范围内运转，不应超过机械最大强度负荷。

- d) 原机配件：机械损坏时，应使用原厂原机型配件予以更换。不得乱拆、乱卸、互换装用其他机械零部件，与正在施工的机械进行混用。
- e) 保养到位：定期检查、保养、维修，保证机械正常运转。

## 9.6 隧洞超欠挖控制

9.6.1 水工隧洞开挖周边围岩变形量多少，不仅随围岩类别、水文地质和隧道宽度不同而异，而且与施工方法、初期支护、辅助工程措施等密切相关。

9.6.2 水工隧洞开挖施工中，应根据隧洞施工现场监测数据及时进行调整，防止实际变形量超过预留变形量，造成开挖净空不够，影响二次衬砌厚度；实际变形量远小于预留变形量时，造成开挖浪费和二次衬砌厚度增加过大或回填量大幅增加。

9.6.3 水工隧洞开挖轮廓，应严格执行设计开挖轮廓边界线尺寸，控制开挖尺度。根据设计开挖轮廓和围岩变形量，预留开挖变形量，并根据监控与检测信息实时予以调整，控制超挖、欠挖工程量。

9.6.4 水工隧洞开挖预留变形量控制值，应符合表3规定：

表3 围岩级别和预留变形量控制值表 单位：mm

序号	围岩级别	预留变形量控制值	备注
1	I		围岩破碎取大值，围岩完整取小值；膨胀性岩体或者围岩有明显流变，应根据监控与检测信息反馈计算分析选定
2	II	10~80	
3	III	20~120	
4	IV	50~150	
5	V	80~250	
6	VI	依据设计和现场监控与检测信息确定	

9.6.5 水工隧洞开挖过程中围岩沉落，应采用钢架支撑，如围岩变形较大，支撑可能沉落或局部支撑难以拆除情况时，根据围岩性质和围岩压力，宜适当加大开挖断面，预留支撑沉落量，保证衬砌设计厚度，并在施工过程中根据监控与检测结果予以调整。

9.6.6 水工隧洞开挖过程中围岩欠挖情况处理：水工隧洞开挖应按严格设计规定进行施工作业，原则上不应欠挖。当岩面硬度较大，岩层完整、岩石抗压强度 $>30\text{MPa}$ ，并确认不影响衬砌结构稳定和强度时，每 $1\text{m}^2$ 内欠挖面积宜 $<0.1\text{m}^2$ ，欠挖隆起量应 $<50\text{mm}$ 。拱脚、墙脚以上 $1\text{m}$ 范围内及净空图折角对应位置严禁欠挖。

9.6.7 水工隧洞开挖过程中围岩超挖情况处理：水工隧洞施工宜严格控制超挖，尽量减少超挖造成的出渣量和衬砌量增多而提高工程造价，尽量减少由于局部挖掉围岩而产生的应力集中问题。

9.6.8 水工隧洞开挖施工不同围岩地质条件下超挖控制值，应符合表4规定：

表4 围岩级别和对应超挖控制值表 单位：mm

序号	围岩级别		超挖控制值	备注
1	拱部	I级	平均100；最大200	最大超挖值指最大超挖处至设计开挖轮廓切线的垂直距离；表列数值不包括测量贯通误差、施工误差；炮孔深度 $>3\text{m}$ 时，允许超挖值可根据实际情况另行确定
2		II级、III级	平均150；最大250	
3		IV级、V级、VI级	平均100；最大150	
4	边墙	每侧	+100	
5		全宽	+200	
6	仰拱、隧底		平均100；最大250	

9.6.9 水工隧洞超挖回填处理，应符合下列规定：

- a) 编制方案：拱部坍塌形成的超挖处理应编制方案，并经审批后按方案处理。
- b) 二次衬砌：有钢架时，可采用喷射混凝土回填，或增大钢架支护断面尺寸，使钢架贴近开挖轮廓，以二次衬砌混凝土回填；无钢架时，以二次衬砌混凝土回填。
- c) 喷射回填：局部超挖超挖量 $\leq 200\text{mm}$ 时，宜采用喷射混凝土回填密实。
- d) 砌填处理：边墙部位超挖，可采用混凝土或片石混凝土回填。

## 10 洞渣出运与堆放

### 10.1 一般规定

10.1.1 水工隧洞施工开挖出的渣土、渣石等出渣运输方式，宜采用自卸汽车运输方式，通风、掉头、会车、爬坡困难时，可选用有轨列车运输、皮带输送运输或混合运输等方式。

10.1.2 水工隧洞进洞的各类施工机械与车辆，宜选用带净化装置的油或电动机动力，有轨式出渣运输车辆宜选用电瓶车。

10.1.3 水工隧洞出渣运输设备的选型配套，应保证机械设备充分发挥其功能，并应与出渣能力、运输能力与开挖能力相适应。

10.1.4 水工隧洞出渣运输线路或洞内路面，应平整密实、排水通畅，处于平整、畅通状态。线路或道路两侧的废渣和余料应及时清除。配置专门人员随时对运输线路进行维修和养护。

10.1.5 水工隧洞出渣运输车辆设备，应定期检查、维护、保养，使之处于完好状态。

10.1.6 水工隧洞渣土、渣石机械运输，严禁人料混载，不得超载、超宽、超高、超速运输。运装大体积或超长料具时，应有专人指挥，专车运输，并设置显示界限的安全警示灯。

## 10.2 洞渣出运

10.2.1 水工隧洞施工，应编制洞渣运输计划并经过项目法人、监理单位审查同意；编制运输调度规则，建立运输调度系统，统一指挥，确保车辆运输安全，提高运输效率。

10.2.2 水工隧洞施工前，应根据洞内地质、岩层结构、富水情况，编制具有针对性强、可操作性的洞渣运输实施方案。

10.2.3 水工隧洞汽车运输作业，应符合下列规定：

- a) 道路修建：会车、转向场所及行人安全通路，应按施工方案要求设置。
- b) 道路规格：单车道净宽应 $\geq$ 车宽+2m，并应间隔适当距离设置错车道；双车道净宽应 $\geq$ 2倍车宽+2.5m；会车视距应 $\geq$ 40m。
- c) 警示标志：在洞口、平交道口、狭窄的施工场地，应设置醒目、明显的警示标志，洞内倒车与转向或关键路段，应设专人指挥交通。
- d) 行车速度：在施工作业洞段和错车时应 $\leq$ 10km/h；成洞洞段应 $\leq$ 25km/h。
- e) 注意事项：车辆行驶中严禁超车；二次衬砌完成后可加装隔离设施，人车分流。

10.2.4 水工隧洞轨道运输线路设置，应符合下列规定：

- a) 线路设置：轨道运输弃渣线、编组线和联络线，应形成有效循环系统，避免交错；洞外应根据需要设置调车、编组、出渣、进料、设备整修等作业线路。
- b) 双轨设置：洞内宜铺设双道。单道段，应根据装渣作业时间和行车速度合理布设错车道、调车设备，增加岔线和岔道等。
- c) 轨钢同型：同一线路应使用同一型号钢轨，钢轨质量应 $\geq$ 38kg/m。钢轨配件、夹板、螺栓应按标准配齐，且与轨型相符。
- d) 道岔设置：型号应与钢轨类型相配合，应 $\geq$ 6号道岔，并安装转辙器。
- e) 轨枕标准：轨枕规格及数量应符合标准规定，间距应 $\leq$ 0.7m，间距偏差应 $\leq$ 50mm，长度为轨距+0.6m。轨枕的上下面应平整。
- f) 曲线半径：曲线半径宜加大。洞内应 $\geq$ 机动车或车辆轴距的7倍；洞外应 $\geq$ 机动车或车辆轴距的10倍；使用有转向架的梭式矿车时，应 $\geq$ 车辆技术文件规定的最小曲线半径。
- g) 道床道砟：应采用不易风化的碎石，不宜过大，粒径应符合标准规定。道床厚度应 $\geq$ 150mm。
- h) 间距净距：双道的线间距应保持两列车间净距外，再应 $\geq$ 0.3m，错车线处应 $\geq$ 0.4m；车辆距坑道壁或支撑边缘的净距应 $\geq$ 0.3m，单道一侧的人行道宽度应 $\geq$ 0.7m。
- i) 末端道路：洞外卸渣线末端应设1%~3%的上坡段。
- j) 允许误差：线路铺设轨距允许误差为： $\leq$ +6mm、 $>$ -4mm。曲线洞段应按规定加宽和增设超高；钢轨接头间隙、顶面的高低差，以及曲线段外轨，按设计加高后与内轨顶面的高低偏差，应 $\leq$ 5mm。钢轨配件应齐全牢固。

10.2.5 水工隧洞轨道列车运输作业，应符合下列规定：

- a) 装载高度：斗车应 $<$ 顶面0.5m，宽度应 $<$ 车宽。
- b) 列车连接：采用不能自行脱钩的连接装置。
- c) 制动装置：机车牵引的车辆调车、编组和停留时，应有可靠的制动装置，严禁溜车。
- d) 车间净距：同方向行驶时，相邻两组列车间净距应 $>$ 100m；人推斗车间净距应 $>$ 20m。

- e) 列车速度：洞内施工洞段、视线不良弯道上或通过道岔和洞口平交道等处，机动车牵引的列车运行速度应 $<10\text{km/h}$ ；其他洞段在采取有效的安全措施后，最大速度应 $<20\text{km/h}$ 。
  - f) 临轨料堆：临近轨道的各种堆料，距钢轨外缘应 $>0.8\text{m}$ ，高度应 $<1.0\text{m}$ 。
  - g) 载人列车：长隧道施工应有载人列车，供施工人员上、下班使用，并应制定安全保证措施，持证上岗，严禁非专职人员开车。
  - h) 警示标志：曲线区间、转辙器和人行横道处，应设慢行标志、限速标志和注意安全警示标志。
- 10.2.6 水工隧洞仰拱栈桥架设，应符合下列规定：
- a) 仰拱栈桥型式：宜采用自行式整体栈桥。
  - b) 编制使用要求：仰拱栈桥应根据使用条件，编制栈桥使用要求说明，并进行交底。
  - c) 引桥纵向坡度：仰拱栈桥引桥的最大纵向坡度应 $<25\%$ 。
  - d) 自动锁定装置：仰拱栈桥液压千斤顶，应设有自锁定装置。
  - e) 栈桥基础检查：栈桥就位后应检查基础的稳定情况和千斤顶是否锁定。
  - f) 栈桥维护养护：仰拱栈桥上部的泥水及残余混凝土应及时清除。
  - g) 运行注意事项：汽车通过仰拱栈桥时，栈桥下方施工人员应躲避；车辆通过栈桥时速度应 $<5\text{km/h}$ 。
- 10.2.7 水工隧洞开挖施工所用台车、仰拱栈桥护栏等道路宽度变化处、道路上阻挡物处，应设置反光标志，防止对向行驶车辆发生碰撞，保障洞内渣土运输安全。

### 10.3 隧洞渣土装卸

10.3.1 水工隧洞开挖出的渣土装渣设备，应能在隧道开挖断面内特定环境中发挥效率的机械，装渣能力应与开挖土石方量及运输车辆的容量相适应。装渣机械应具有移动灵活、装卸方便等功能。

10.3.2 水工隧洞开挖装渣作业，应符合下列规定：

- a) 场地照明：装渣作业范围内应有充足照明。
- b) 车辆停放：装渣时，应将车辆停稳并制动。
- c) 隐患排查：装渣过程中，应密切观察开挖面围岩松动、塌方等稳定情况，发现安全隐患征兆时，应先处理、后装渣。
- d) 漏斗装渣：漏斗装满渣时，应发出停漏信号；装渣结束后漏斗处应加盖；接渣时，漏斗口下不得有人停留、通过。
- e) 机械装渣：装载机应能在开挖断面安全运转，装渣机操作时其回转范围内不得有人停留、通过，2台以上机械同时作业时，应明确各自的作业范围；机械装渣作业应严格执行操作规程。
- f) 轨道装渣：轨道式装渣机械时，轨道紧跟开挖面，调车设备及时向前移动。

注：装渣高度不宜高于车厢护栏高度，临时弃渣倒运时，不得掏底装渣。

10.3.3 水工隧洞卸渣作业，应符合下列规定：

- a) 卸渣路线：应根据弃渣场地形条件、弃渣利用情况、车辆类型，合理布置卸渣路线，卸渣应在规定的卸渣路线上依次进行。
- b) 卸渣机械：宜采用自卸式机械进行卸渣，平渣设备，应采用机械式分层卸渣、及时平整。
- c) 轨道卸渣：轨道运输机械卸渣时，应设挂钩、栏杆，轨道末端应设置可靠的挡车装置和警示标志，以及足够宽的卸车平台。

### 10.4 隧洞渣土堆放

10.4.1 水工隧洞渣土堆放场地，应根据工程周围环境及条件，按设计规定布置。应满足安全、防洪、环保、水保等要求，少占耕地和林地，运距合理，方便挡护、行洪和堆放。

10.4.2 水工隧洞渣土堆放场地，应远离河道行洪范围，不能堵塞河道、沟谷、挤压桥梁墩台及其他建（构）筑物，造成排水泄洪不畅，危及其行洪及建筑物安全。

10.4.3 水工隧洞渣土堆放场地要选择占地、伐树、拆迁等补偿费用低廉，且隧洞渣土运输方便、距离最短的地点，场地容量能够容纳隧洞开挖渣土出运量。

10.4.4 水工隧洞渣土堆放场地，应避免在风景区和住宅规划区，以及保护林和防沙地带等地建设隧洞开挖渣土堆放场地。

10.4.5 水工隧洞渣土堆放场地挡护工程基础地基承载力，应符合设计要求。挡护工程基础应在隧洞渣土开挖、运输前完成。

10.4.6 水工隧洞渣土堆放场地，应按现行规范规定及设计要求，设置防、排水设施，防止造成安全质量隐患。

10.4.7 水工隧洞渣土堆放场地支挡结构、坡面防护、排水沟、截水沟等的结构形式及尺寸，及沉降缝、泄水孔和反滤层的位置、数量等，应满足设计要求。

10.4.8 水工隧洞渣土堆放场地设置，应符合下列规定：

- a) 场地规格：隧洞渣土堆放场地范围和坡度，应符合设计规定。
- b) 递进平台：隧洞渣土堆放场地，应按堆存要求设置递进式平台。
- c) 防护措施：同步进行渣土堆放和场地防护。

10.4.9 水工隧洞渣土堆放工程量完成后，应按照环境保护法规规定，根据设计要求、合同约定，恢复渣土堆放场地表面生态植被。

## 11 隧洞护砌材料

### 11.1 一般规定

11.1.1 水工隧洞工程所用水泥、碎石、沙、水及添加料和添加剂等混凝土构成材料，应根据工程等级和结构设计使用年限及工程所处的环境类别、环境作用等因素进行选择、确定。

11.1.2 水工隧洞工程因有特殊要求、环境影响等对工程结构耐久性的影响因素，可根据工程经验、现场试验研究、计算或综合分析等方法，评估、确定混凝土配置材料。

11.1.3 水工隧洞工程混凝土配置材料的环境属性，应符合国家绿色产品评价标准的规定，采用的新型材料应经试验论证，并经过环境影响评价及环境保护评估。

11.1.4 水工隧洞工程施工各材料称重偏差，应符合表 5 规定：

表5 施工各材料称重偏差控制表

材料类别及名称	水	外加剂	石灰	土	水泥	砂	石
称量允许偏差值(%)	±2.0	±1.0	±3.0	±5.0	±2.0	±3.0	±3.0

### 11.2 钢材

11.2.1 水工隧洞施工所用 HPB300、HRB400、HRB500 等级钢筋，其性能、参数、指标应符合国家标准 GB 1499 相关规定，满足水工隧洞混凝土衬砌强度要求。

11.2.2 水工隧洞混凝土衬砌施工所用钢筋，应在加工厂房集中加工后运至现场，在加工厂房进行钢筋弯钩、弯折、弯曲等，应采用冷加工。

11.2.3 水工隧洞衬砌施工所用钢筋长度、间距、位置、保护层厚度，应满足设计要求。同一根环向受力筋应置于同一竖直面，并垂直于隧道轴线；环向受力钢筋应与纵向钢筋垂直。

11.2.4 水工隧洞混凝土衬砌施工所用钢筋受力钢筋与模板之间、受力钢筋与防水层之间，应安装满足设计厚度要求的混凝土垫块。垫块应按梅花形布置，垫块纵向、环向间距应 $\leq 1.5\text{m}$ 。

11.2.5 水工隧洞混凝土衬砌施工所用箍筋必须是整根钢筋，不允许搭接、焊接等连接。为便于施工，箍筋一般应为两端带弯钩的单根未封闭的钢筋。

11.2.6 水工隧洞衬砌钢筋安装过程中，为防止钢筋沿隧道纵向左右偏移、钢筋紧贴防水层、紧靠模板、钢筋保护层不够及受力主筋置于衬砌截面中部、靠近截面中性轴，或内外两层钢筋并在一起，导致钢筋不能有效发挥作用等现象，应采取定位措施。

11.2.7 水工隧洞采用模板台车浇筑混凝土的衬砌段，应在钢筋全部安装绑扎完成后，再将模板台车移动就位。

11.2.8 水工隧洞明洞衬砌钢筋，应在模板台车就位后安装，受力主钢筋与模板之间应安装满足设计厚度要求的混凝土垫块，垫块纵向、环向间距应 $\leq 1.5\text{m}$ 。

11.2.9 水工隧洞混凝土衬砌施工所用钢筋，应符合下列规定：

- a) 表面洁净：进场钢筋，表面应无油渍、水泥浆和浮皮铁锈等污渍。
- b) 用前调直：钢筋在加工弯制前应调直。当利用冷拉方法矫直钢筋时，钢筋的矫直伸长率：热轧光圆钢筋(HPB 级) 应 $\leq 2\%$ ，热轧带肋钢筋(HRB 级) 应 $\leq 1\%$ 。
- c) 用时无伤：加工后的钢筋表面不应有削弱钢筋截面的伤痕。

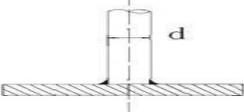
11.2.10 水工隧洞混凝土衬砌施工所用钢筋连接，应符合下列规定：

- a) 节点绑扎：环向受力筋与纵向分布筋每个节点，应进行绑扎或焊接。
- b) 钢筋搭接：环向受力筋的搭接应采用焊接或机械连接；相邻环向受力筋搭接位置应错开，错开距离应 $>1000\text{mm}$ ；同一受力钢筋的两个搭接距离应 $>1500\text{mm}$ ；箍筋连接点应在环向受力筋与纵向分布筋的交叉连接处，并应进行绑扎或焊接；内外层受力钢筋之间的限位钢筋应与环向受力筋应进行焊接；仰拱衬砌钢筋或预埋连接钢筋，应与拱墙环向受力筋焊接或机械连接。

11.2.11 水工隧洞混凝土衬砌配置钢筋搭接形式，应符合表6规定：

表6 钢筋搭接形式 单位：mm

序号	名称	接头型式	标注方法	适用范围	
				钢筋级别	直径
1	单面焊接的钢筋接头			HPB300 HRB400 HRB500	10~20 10~40 10~40
2	双面焊接的钢筋接头			HPB300 HRB400 HRB500	10~20 10~40 10~40
3	帮条单面焊接的钢筋接头			HPB300 HRB400 HRB500	10~20 10~40 10~40
4	用帮条双面焊接的钢筋接头			HPB300 HRB400 HRB500	10~20 10~40 10~40
5	接触对焊(闪光焊)的钢筋接头			HPB300 HRB400 HRB500	8~20 6~40 6~40
6	坡口平焊的钢筋接头			HPB300 HRB400 HRB500	18~20 18~40 18~40
7	坡口立焊的钢筋接头			HPB300 HRB400	18~20 18~40
8	用角钢或扁钢做连接板焊接的钢筋接头			HPB300 HRB400 HRB500	8~20 8~40 8~25

9	钢筋与钢板接触对焊接头		HPB300 HRB400 HRB500	8~20 6~25 6~25
注：采用帮条焊时，帮条截面积为HPB300 钢筋受力钢筋截面积 1.2 倍或 HRB400、HRB500 钢筋1.5倍；钢筋与钢板的焊接优先采用接触对焊；不同钢筋焊接，按最小钢筋强度，焊条可选用一般常用焊条；表中序号 1、2、3、4 电弧焊时的焊缝长度不应小于帮条或搭接长度；表中d 为圆钢筋的直径或螺纹钢筋的计算直径；表中括号中数值仅用于 HPB300 钢筋。				

### 11.3 水泥

11.3.1 水工隧洞工程混凝土拌和所用水泥，应符合现行国家标准 GB 157 相关规定；在氯化物及硫酸盐化学腐蚀环境下应符合现行行业标准 SL 654 相关规定。

11.3.2 水工隧洞工程同一施工区域，应采用 1 个品种水泥，并应固定厂家。当环境水对混凝土存在硫酸盐侵蚀时，应优先选择抗硫酸盐水泥。

11.3.3 水工隧洞工程位于北方严寒地区，存在多次冻融破坏环境，混凝土有抗冻要求时，应优先选用早期强度较高、强度生长较快的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。

11.3.4 水工隧洞混凝土喷护水泥，应选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。有特殊要求时，可采用特种水泥。采用特种水泥时应进行现场试验，强度指标应满足设计要求。初喷的混凝土，水泥用量可适当加大，以利于混凝土与岩面的黏结，减少喷射混凝土回弹。

### 11.4 粗骨料

11.4.1 水工隧洞工程混凝土拌和所用粗骨料，应符合现行国家标 JG/T 568 相关规定；骨料放射性含量应符合 GB 6566 相关规定；骨料含碱量及其反映活性，应符合 GB/T 50733 相关规定。

11.4.2 水工隧洞工程衬砌混凝土拌和所用粗骨料，应质地坚硬、清洁、级配良好，应采用坚硬碎石或卵石，粒径应 $\leq 12\text{mm}$ 。

11.4.3 水工隧洞工程衬砌混凝土拌和所用粗骨料中含油颗粒状硫酸盐或硫化杂质时，应确认含量不影响混凝土耐久性要求；干法生产的石灰岩碎石配制 C40 及其以下强度等级的大流态混凝土时，碎石压碎指标可放宽至 20%。

11.4.4 应根据水工隧洞工程的最小几何尺寸大小，选取骨料粒径。正常情况下，应以最小尺寸，决定骨料外围粒径规格。

11.4.5 水工隧洞工程有抗冻要求时，其混凝土粗骨料坚固性应 $\leq 5\%$ 。未经专门论证，或设计未对碱性骨料有特殊要求，禁止使用含有碱活性成分的粗骨料。

11.4.6 矿山废石、穿越山体或本工程开挖及附近其他工程建设而开挖出的废石，用作混凝土粗骨料，应进行有害物质检测，其含量应符合国家环保和安全相关规范规定，不应对人体、生物、环境及混凝土工程造成致害影响。

11.4.7 粗骨料技术指标要求，应符合表 7 规定：

表7 混凝土粗骨料技术指标要求表

单位：%、Kg/m<sup>3</sup>

项 目	河卵石		机粉碎石	
	特级	I 级	特级	I 级
针片状颗粒含量	$\leq 3$	$\leq 5$	$\leq 3$	$\leq 5$
不规则颗粒含量	$\leq 5$	$\leq 10$	$\leq 5$	$\leq 10$
含泥量	$\leq 0.5$	$\leq 1.0$	$\leq 1.0$	$\leq 1.0$
泥块含量	0	$\leq 0.2$	0	$\leq 0.2$
硫化物及硫酸盐含量	$\leq 0.5$	$\leq 1.0$	$\leq 0.5$	$\leq 1.0$
吸水率	$\leq 1.0$	$\leq 1.5$	$\leq 1.0$	$\leq 1.5$
坚固性	$\leq 5$	$\leq 8$	$\leq 5$	$\leq 8$
压碎指标	$\leq 10$	$\leq 15$	$\leq 10$	$\leq 15$
氯化物	$\leq 0.01$	$\leq 0.02$	$\leq 0.01$	$\leq 0.02$
表观密度	$\geq 2600$			
有机物	合格			

含水率	实测值
岩石抗压强度	火成岩 $\geq 80\text{MPa}$ ；变质岩 $\geq 60\text{MPa}$ ；水成岩 $\geq 45\text{MPa}$

### 11.5 细骨料

11.5.1 水工隧洞工程有抗冻要求时，其细骨料坚固性应 $\leq 8\%$ 。未经专门论证，或设计未对碱性骨料有特殊要求，禁止使用含有碱活性成分的细骨料。

11.5.2 细骨料应采用坚硬耐久的中砂或粗砂，细度模数应 $< 2.5$ ，集料级配宜采用连续级配。细骨料为天然砂时，其细度模数宜在 2.2~3.0 范围内；细骨料为人工砂时，其细度模数宜在 2.4~2.8 范围内；人工砂饱和面干的含水率应 $\leq 6\%$ ；石粉含量宜为 6%~12%。

11.5.3 细骨料颗粒级配允许一个粒级的分计筛余，应 $\leq 5\%$ 。当石粉亚甲蓝值  $\text{MPa} > 6$  时，人工沙 0.15mm 和筛底的分计筛余之和，应 $\leq 25\%$ 。

11.5.4 细骨料技术要求，应符合表 8 规定：

表8 混凝土细骨料技术要求表 单位：%、 $\text{Kg}/\text{m}^3$

项 目	天然砂		人工砂	
	特级	I 级	特级	I 级
片状颗粒含量	-	-	$\leq 10$	$\leq 15$
人工砂需水量	-	-	$\leq 115$	$\leq 125$
含泥量	$\leq 1.0$	$\leq 2.0$	-	-
泥块含量	0	$\leq 0.5$	0	$\leq 0.5$
松散堆积空隙率	$\leq 41.0$	$\leq 43.0$	$\leq 41.0$	$\leq 43.0$
饱和面干吸水率	$\leq 1.0$	$\leq 2.0$	$\leq 1.0$	$\leq 2.0$
氯化物	$\leq 0.01$	$\leq 0.02$	$\leq 0.01$	$\leq 0.02$
坚固性	$\leq 5$	$\leq 8$	$\leq 5$	$\leq 8$
单级最大压碎指标	-	-	$\leq 20$	$\leq 25$
云母含量	$\leq 1.0$	$\leq 2.0$	$\leq 1.0$	$\leq 2.0$
贝壳	$\leq 3.0$	$\leq 5.0$	$\leq 3.0$	$\leq 5.0$
表观密度	$\geq 2500$		$\geq 2600$	
硫化物及硫酸盐含量	$\leq 0.5$		$\leq 0.5$	
轻物质含量	$\leq 1.0$		$\leq 1.0$	
有机物含量	合格			
含水率	设计要求含量			

11.5.5 混凝土配置细骨料砂率，经常采用两级配，即粒径为 5mm~20mm 细骨料占 40%~45%，粒径为 20mm~40mm 细骨料占 55%~60%。

11.5.6 混凝土细骨料砂率，应符合表 9 规定：

表9 混凝土细骨料砂率表 单位：mm、%

石料最大粒径	水 胶 比	砂 率	
		碎 石	卵 石
40	0.4	26~32	24~30
40	0.5	30~35	28~33
40	0.6	33~38	31~36

### 11.6 混凝土拌和用水

11.6.1 水工隧洞工程的混凝土浇筑、拌和与混凝土养护用水的品质，应符合国家现行标准 GB 5749、JGJ 63 相关规定。

11.6.2 水工隧洞工程的混凝土浇筑拌和与养护用水，不应存在明显的漂浮、油脂、泡沫、异味和异常颜色。

11.6.3 在无法获得水源的情况下，计划采用海水作为拌和用水时，海水必须经过处理后方可用于水工隧洞工程的混凝土拌和用水。

11.6.4 混凝土拌和用水品质，应符合表 10 规定：

表10 混凝土拌和用水品质指标表

单位: mg/L

项 目	预应力混凝土	钢筋混凝土	素混凝土
PH值	≥5.0	≥4.5	≥4.5
不溶物	≤2000	≤2000	≤5000
可溶物	≤2000	≤5000	≤10000
氯离子	≤350	≤500	-
Cl <sup>-</sup>	≤500	≤1000	≤3500
S04 <sup>2-</sup>	≤600	≤2000	≤2700
碱含量	≤1500	≤1500	≤1500

11.6.5 混凝土用水的水量,应符合表 11 规定:

表11 混凝土拌和用水的用水量要求表

单位: cm、mm

坍 落 度	石 料 最 大 粒 径		
	20	40	80
1~3	155~165	135~145	110~120
3~5	160~170	140~150	115~125
5~7	165~175	145~155	120~130

11.6.6 混凝土用水的水量:采用用火山灰水泥时,水量应增加 15kg/m<sup>3</sup>~20kg/m<sup>3</sup>;用细砂时,水量应增加 5kg/m<sup>3</sup>~10kg/m<sup>3</sup>;用碎石时,水量应增加 10kg/m<sup>3</sup>~20kg/m<sup>3</sup>;用减水剂时,水量应减少 10kg/m<sup>3</sup>~20kg/m<sup>3</sup>。

## 11.7 添加剂

11.7.1 水工隧洞工程衬砌用混凝土外用添加剂,应执行国家现行标准 GB 8076、DL/T5100 相关规定。

11.7.2 应根据水工隧洞工程的施工环境条件和混凝土的抗渗性、抗裂性、抗冻性及抗冲磨性等指标,选择相应的外加剂品种。

11.7.3 混凝土外加剂类型,主要包括高性能减水剂(早强型、标准型、缓凝型)、高效减水剂(标准型、缓凝型)、普通减水剂(早强型、标准型、缓凝型)、引气减水剂、泵送剂、早强剂、缓凝剂及引气剂共 8 类混凝土外加剂。

11.7.4 位于北方寒冷地区的水工隧洞工程衬砌混凝土,应设置防冻胀破坏要求的抗冻指标,在衬混凝土中掺用引气剂或引气减水剂,不应采用含有氯化物的防冻剂和其他外加剂。

11.7.5 水工隧洞工程衬砌用混凝土常用的添加剂—速凝剂,应符合国家现行标准 GB 50119 的相关规定,具有速凝效果好、对喷射混凝土强度和收缩影响小等特性。初凝时间应<3min,终凝时间应<12min。应根据水泥品种、水灰比等通过试验确定速凝剂掺量。

## 11.8 掺和料

11.8.1 水工隧洞工程衬砌混凝土外用掺和料,应执行国家现行标准 GB 8076、DL/T5100 相关规定。

11.8.2 矿物掺合料,应根据水工隧洞工程衬砌混凝土浇筑需要,采用粉煤灰、硅灰、磨细矿渣粉等活性掺合料。位于氯化物环境和化学腐蚀环境中的水工隧洞工程衬砌用混凝土,宜掺合磨细矿渣粉或多元复合矿物掺合料。掺加其他类型的活性掺合料,应进行现场试验和技术论证。

11.8.3 混凝土外用掺合料品质,应符合表 12 规定:

表12 混凝土外用掺合料品质指标表

单位: %

项 目	指 标
游离氧化钙粉煤灰	≤10(I级或II级粉煤灰)
引气混凝土中的粉煤灰	<1.5(含碳量)
硅灰掺量	<10(胶凝材料总量)

11.8.4 水工隧洞工程衬砌混凝土外用粉煤灰品质,应符合表 13 规定:

表13 外用粉煤灰品质表

单位: %

项 目	技 术 指 标

	I 级	II 级	备 注
含水率	≤1.0	≤1.0	
三氧化硫含量	≤3.0	≤3.0	三氧化硫含量为水泥和粉煤灰总重的百分数
需水量比	≤95	≤105	

## 12 隧洞衬砌施工

### 12.1 一般规定

12.1.1 水工隧洞衬砌结构包括喷锚衬砌和模筑混凝土衬砌。在复合式衬砌结构中，喷锚衬砌为初期支护，紧随隧洞开挖及施工进程需要实施；在复合式衬砌结构中，模筑混凝土衬砌，即支模板进行混凝土衬砌工序，此为二次衬砌。

12.1.2 水工隧洞支护与衬砌的强度、形状和尺寸，应按设计要求实施，能保持围岩稳定，满足设计要求，达到保证开挖施工人员及机械设备安全的目的。

12.1.3 水工隧洞混凝土喷锚支护，应包括下列形式：

- a) 单支喷护：喷混凝土支护。
- b) 喷锚支护：喷混凝土+锚杆支护。
- c) 喷锚网护：喷混凝土+锚杆+钢筋网支护。
- d) 喷锚网架：喷混凝土+锚杆+钢筋网+钢架支护。

12.1.4 水工隧洞混凝土衬砌轴线中线、高程、隧洞开挖断面形状、几何尺寸，应满足设计要求；测量精度、超欠挖控制精度等施工误差，不得导致衬砌结构厚度减薄、侵入隧洞设计内轮廓线。

12.1.5 水工隧洞混凝土衬砌施工，通过施工监控与检测对围岩和支护结构的观察、监测，随时掌握围岩动态及支护结构受力状态，结合超前地质预报和现场监控与检测结果，同时，依据设计情况，对水工隧洞混凝土衬砌支护结构和开挖、支护方式适时进行动态调整。

12.1.6 水工隧洞混凝土、钢筋混凝土衬砌及封堵体顶部(顶拱)与围岩之间空间，必须进行回填灌浆。

### 12.2 开挖岩面喷固

12.2.1 水工隧洞掌子面爆破、开挖后，需要采用混凝土喷护等方式，立刻对开挖完的新鲜岩面，尤其是IV、V类破碎岩面进行固定，确保水工隧洞新鲜岩面尤其是对不稳定岩面稳定、牢固。

12.2.2 水工隧洞混凝土喷护施工包括：普通混凝土喷护、钢纤维喷射混凝土喷护、合成纤维喷射混凝土喷护、有钢架洞段的喷射混凝土喷护施工等。

12.2.3 为减少水工隧洞人工劳动强度、减少粉尘危害、保证混凝土喷射质量、推进机械化施工进度，水工隧洞混凝土喷射施工，应采用机械手作业。

12.2.4 水工隧洞混凝土喷护机具，应具有连续、均匀工作性能，技术条件应能满足水工隧洞混凝土喷护作业需要。

12.2.5 水工隧洞喷射混凝土作业前，应清除被钢筋网网住的松动岩块或混凝土块。水工隧洞每次喷射混凝土作业结束后，应及时清除回弹或掉落在拱脚的堆积废料。

12.2.6 水工隧洞混凝土喷射机械手作业，应符合下列规定：

- a) 操作规程：混凝土喷护前，应制定详细的操作规程。
- b) 喷射长度：喷射区段划分应使机械手大臂移动较少。1次喷射长度应≤6m。
- c) 移机换位：移动喷射机时，机械手大臂和滑臂应复位；到达工作位置后，应关闭喷射机引擎，并使用驻车制动器稳固喷射机。
- d) 车辆支腿：应充分外伸，伸展支腿时，不得有人处于危险区域。

12.2.7 水工隧洞混凝土喷护施工作业准备，应满足下列要求：

- a) 清理岩面：清理岩面浮石、岩屑、杂物和粉尘等。
- b) 量测断面：量测开挖断面净空尺寸，凿除处理不合格部位。
- c) 截排渗水：岩面渗水处，采取截、引、排措施进行处理。
- d) 设置标识：插标示钢筋，或利用钢筋网、钢架，设置控制喷射混凝土厚度标识。
- e) 检查装备：检查作业机具、设备、风水管路、电缆线路，并试运转正常；检查作业场地的通风和照明条件。

- f) 环境合格：喷射混凝土施工过程中，施工作业应环境良好，保障作业人员身心健康。
- 12.2.8 水工隧洞混凝土现场拌和，应满足下列要求：
- 配合比：水工隧洞喷射混凝土配合比，应满足设计强度和喷射工艺的要求，喷射混凝土 1d 龄期的抗压强度应 $\geq 8\text{MPa}$ 。在设计规定的指标前提下，在现场进行配合比试验，经设计、监理、项目法人质量管理人员等工程参建方共同确认后，方可用于工程施工。
  - 拌和：为保证混合料搅拌均匀，杜绝出现拌和不均匀问题，水工隧洞混凝土喷护混合料应采用机械搅拌并拌和均匀，搅拌时间应 $\geq 2\text{min/次}$ 。喷射混凝土在洞内拌和时，喷射混凝土材料应提前运进洞内。
- 12.2.9 水工隧洞混凝土喷护施工工艺，包括下列方式：
- 干喷：将喷射混凝土混合料、速凝剂在低水率（含水率 $< 5\%$ ）情况下搅拌均匀，用压缩空气使干集料在软管内呈悬浮状态压送到喷枪，再在喷嘴处与高压水混合，以高速度状态喷射到岩面上。
- 注：干喷混凝土导致施工环境粉尘较多，在水工隧洞内施工不允许采用。
- 潮喷：将集料预加少量水（含水率 $5\% \sim 7\%$ ），浸润成潮湿状，再加水泥、速凝剂拌和均匀，用压缩空气使加入少量水的集料在软管内压送到喷枪，再在喷嘴处与高压水混合，以高速度状态喷射到岩面上。此喷射工艺流程和使用机械与干喷工艺相同。潮喷作业可降低上料、拌和与喷射时的粉尘，施工环境粉尘有所减少，喷射混凝土质量相对较好。
  - 湿喷：将喷射混凝土按集料、水泥和水按比例拌和均匀，用湿式喷射机压送到喷头处，再在喷头上添加速凝剂后喷出，以较高速度喷射到岩面上。湿喷作业，能显著减少粉尘、提高喷射混凝土的密实度，喷射质量容易得到控制，作用效率高，喷射过程中的粉尘和回弹量少，但对喷射机械要求高、湿喷机体积较大。水工隧洞混凝土喷射施工常采用此种方式。
- 12.2.10 水工隧洞混凝土喷护作业，应符合下列规定：
- 喷护时间：隧道开挖爆破后，应在 6h 内，进行混凝土初喷作业，能迅速封闭岩面、有效控制围岩松动变形，保证施工安全及混凝土喷护支护效果。未掺入速凝剂的混合料存放时间，应 $\leq 2\text{h}$ 。
  - 喷护层次：应按初喷混凝土和复喷混凝土厚度要求，分别进行混凝土喷护，将全部新暴露的围岩表面初喷完全覆盖，并达到终凝后再进行复喷。初喷混凝土厚度宜控制在 $20 \sim 50\text{mm}$ ，岩面有较大凹坑时，可结合初喷找平；复喷混凝土可分层多次施工，进行单次作业或分层多次作业。
- 注：拱顶每次复喷厚度应 $\leq 100\text{mm}$ ，边墙每次复喷厚度应 $\leq 150\text{mm}$ 。复喷最小厚度应 $\geq 50\text{mm}$ 。
- 作业顺序：水工隧洞混凝土喷射施工，应分段、分片、分层，由下而上顺序进行；喷射混凝土喷护应对称作业。后层喷射混凝土应在前一层喷射混凝土终凝后进行，若终凝后初喷射混凝土表面已蒙上粉尘时，后层喷射混凝土作业前，受喷面应吹洗干净。
  - 喷嘴位置：混凝土喷护作业时，喷嘴宜垂直岩面。喷枪头到受喷面的垂直距离，宜为 $0.6 \sim 1.5\text{m}$ 。
  - 喷嘴压力：喷射机工作压力宜根据混凝土坍落度、喷射距离、喷射设备、喷射部位确定，应控制在 $0.2 \sim 0.7\text{MPa}$ 之间，并根据现场试喷效果实时调整。
  - 注意事项：混凝土应直接喷在围岩面上，与围岩密贴，受喷面不得填塞杂物；水工隧洞混凝土喷护不得挂模喷射；混凝土喷护回弹物不得重新用作喷射混凝土材料；在结冰的层面上不得进行混凝土喷护作业，作业区气温应 $\geq +5^{\circ}\text{C}$ 。
- 12.2.11 水工隧洞钢纤维混凝土喷护作业，应符合下列规定：
- 强度等级：水泥强度等级，应 $\geq 42.5\text{MPa}$ ；钢纤维抗拉强度等级，应 $\geq 380\text{MPa}$
  - 骨料粒径：钢纤维混凝土喷护粗骨料粒径，应 $\leq 10\text{mm}$ 。
  - 搅拌时间：钢纤维喷射混凝土水泥、砂石料、钢纤维等材料，应先干拌，搅拌时间应 $\geq 1.5\text{min}$ ，加水后湿拌时间应 $\geq 3\text{min}$ 。
- 12.2.12 水工隧洞合成纤维混凝土喷护作业，应符合下列规定：
- 强度等级：合成纤维抗拉强度，应 $\geq 380\text{MPa}$ 。
  - 纤维长度：合成纤维长度，宜为 $200 \sim 250\text{mm}$ 。
- 12.2.13 水工隧洞有钢架洞段混凝土喷护作业，应符合下列规定：
- 喷护顺序：钢架安装就位后，应及时由下至上进行射混凝土喷护。
  - 架岩空隙：钢架背后与围岩之间的空隙不得填塞杂物。

c) 钢架保护：混凝土喷护应将钢架包裹、覆盖。

#### 12.2.14 水工隧洞混凝土喷护层面养护，应符合下列规定：

- a) 间隔时间：混凝土喷护与下一循环爆破作业间隔时间，应 $\geq 3\text{h}$ 后。
- b) 养护时间：喷射混凝土喷护终凝 2h 后，应进行养护，养护时间应 $\geq 7\text{d}$ 。
- c) 养护温度：隧道内环境日均温度应 $\geq +5^{\circ}\text{C}$ 。低于 $+5^{\circ}\text{C}$ 时，不得洒水养护。

### 12.3 开挖岩面锚固

12.3.1 水工隧洞岩面开挖后，在设有系统锚杆(锚束)的洞段，应采取锚杆与挂网相结合的方式，立刻对新鲜岩面进行锚固，确保岩面稳定、牢固，以便进行后续工程施工。

12.3.2 水工隧洞岩面锚固，采用的锚杆种类、杆体规格、性能，应符合国家现行技术标准规定，满足设计要求。系统锚杆设置，宜在下一循环开挖前完成。

12.3.3 水工隧洞岩面锚固锚杆种类包括：砂浆锚杆、药卷锚杆、中空注浆锚杆、自进式锚杆、组合中空锚杆、树脂锚杆、楔缝式端头锚固型锚杆等，其中砂浆锚杆、药卷锚杆、中空注浆锚杆、自进式锚杆、组合中空锚杆、树脂锚杆为全长黏结式锚杆。

12.3.4 水工隧洞锚杆安装、设置后不得随意敲击，其端部 3 天内不得悬挂重物；用于支护和加固围岩的系统锚杆、局部锚杆，不应与钢架焊接。

12.3.5 水工隧洞岩面锚固钢架的强度和刚度，应符合国家现行技术标准规定，应满足设计要求。岩面锚固钢架安设后，应能承受一定的围岩压力。

12.3.6 水工隧洞岩面锚固锚杆孔内注浆应密实饱满，浆体强度等级应 $\geq \text{M}20$ 。

12.3.7 水工隧洞整体稳定性较差的围岩系统锚杆布置，应符合下列规定：

- a) 锚杆方向：横断面上宜垂直于主结构面布置，当主结构面不明显时，可与洞周边轮廓线垂直。
- b) 布设形态：在围岩表面上，宜按梅花形、菱形、矩形或方形等图形进行布设。
- c) 锚杆间距：锚杆间距应 $<$ 其长度的 1/2。IV、V 类围岩中的锚杆间距宜为 0.5~1.0m，并应 $< 1.5\text{m}$ 。

12.3.8 水工隧洞锚喷挂网衬砌，应符合下列规定：

- a) 网片布设：钢筋网的纵、环向钢筋直径，宜为 6~12mm；间距，宜为 0.15~0.3m。
- b) 网杆连接：钢筋网宜与锚杆焊接固定。钢筋网交叉点应采用隔点焊接、连接牢固，或隔点绑扎。
- c) 外护厚度：保护层厚度，应 $\geq 50\text{mm}$ 。

12.3.9 水工隧洞岩面锚固锚杆安装前检查，应符合下列规定：

- a) 锚杆性能：锚杆施工前，逐孔检查锚杆孔、逐根检查锚杆材料，原型号、规格以及锚杆各部件质量和性能应满足设计要求。
- b) 锚杆孔口：孔位、孔径、孔深及布置形式，应满足设计要求。
- c) 孔口清理：孔内积水、岩粉，应吹出或清洗干净。
- d) 杆体维护：锚杆杆体应调直、除锈，清除油污。
- e) 外露要求：锚杆外露端螺纹，应逐根检查并与螺母预装配。

12.3.10 水工隧洞岩面锚固锚杆施工时限，应符合下列规定：

- a) 无钢架洞段：锚杆在初喷混凝土、挂钢筋网后施工，或在初喷混凝土、挂钢筋网、复喷后施工。
- b) 有钢架洞段：锚杆在初喷混凝土、挂钢筋网、立钢拱架、复喷混凝土后施工。

12.3.11 水工隧洞岩面锚固锚杆孔钻孔施工，应符合下列规定：

- a) 钻孔机具：锚杆孔宜采用锚杆钻机或多臂钻孔台车钻孔。气腿式凿岩机仅限于在侧墙及拱腰部位钻孔使用，不能用在拱部部位钻孔使用。
- b) 孔口布局：钻孔前应按设计布置要求，标出钻孔位置。钻孔数量，应 $\geq$ 设计数量。
- c) 钻孔方向：局部锚杆钻孔方向尽可能与岩层面或主要结构面呈大角度相交；系统锚杆钻孔方向应为设计开挖轮廓法线方向，垂直偏差应 $\leq 20^{\circ}$ ；局部锚杆应与岩层面或主要结构面成大角度相交。
- d) 钻孔直径：锚杆钻孔直径应 $\geq$ 锚杆体直径 15mm，保证砂浆基本厚度。
- e) 钻孔深度：锚入岩体长度，应满足设计长度要求；与设计锚杆长度允许偏差，应 $\leq \pm 50\text{mm}$ 。锚杆外露长度，应 $\leq 100\text{mm}$ 。

12.3.12 水工隧洞岩面锚固砂浆锚杆安装施工，应符合下列规定：

- a) 锚杆前端：锚杆前端应削尖，便于插入岩孔。
  - b) 杆外螺纹：锚杆外露端螺纹长度，应达到 120~150mm。
  - c) 锚杆配件：锚杆施工应配有止浆塞、垫板和螺母等配件。
  - d) 砂浆拌制：砂浆应随拌随用、拌和均匀，初凝后的砂浆应弃之不用。灌浆管应插至距孔底 50~100mm 处，并随砂浆的灌入缓慢匀速拔出。
  - e) 锚杆插入：砂浆锚杆插入顺序，应先灌浆，后插入锚杆。应根据灌浆情况，采用相应锚杆插入方式、方案。锚杆杆体插到设计深度时，锚头丝口外露长度应为 80~100mm，孔口应有砂浆流出。杆体插不到设计深度，应将杆体拔出，清孔，重新安装。对向下倾斜、水平或微上倾斜的锚杆，应保证灌浆饱满。
  - f) 杆孔止浆：锚杆插入、灌浆达到设计要求后，应及时安装止浆塞。向上倾斜的拱部锚杆，如果不及及时安装止浆塞，砂浆会倒流、泄漏，形成空孔。
  - g) 外端固定：砂浆终凝后，应及时安装垫板、螺母，垫板应紧贴岩面，垫板与岩面不平整接触时，应用砂浆填实。螺母应拧紧，垫板与喷射混凝土层存在空隙，应抹上砂浆垫实，再拧紧，锚杆垫板应与喷射混凝土层接触，垫板与喷射混凝土间的间隙应用 M20 水泥砂浆填实。
  - h) 后续处理：锚杆安装完成后，应截断锚杆杆体外露多余长度，锚杆外露头和垫板应进行防锈处理，并满足防水板铺设对基面的要求。
- 12.3.13 水工隧洞岩面锚固药包锚杆安装施工，应符合下列规定：
- a) 药包检验：药包宜在清水中浸泡，随用随泡。施工前，应进行泡水检验，不应使用受潮结块的药包。
  - b) 凝结时间：药包砂浆初凝时间，应 $\geq$ 3min；终凝时间，应 $\leq$ 30min。
  - c) 药包推入：药包宜采用专用工具推入钻孔内，并应防止中途药包纸破裂。
  - d) 锚杆插入：应根据灌浆情况，采用相应插入方案，插入锚杆杆体。锚杆杆体插到设计深度时，锚头丝口外露长度一般为 80~100mm，孔口应有砂浆流出。杆体插不到设计深度，应将杆体拔出，清孔，重新安装。砂浆锚杆是先灌浆后插入锚杆。对向下倾斜、水平或微上倾斜的锚杆，应保证灌浆饱满。
  - e) 杆孔止浆：锚杆应安装垫板并拧紧螺母，锚杆垫板应与喷射混凝土层接触，垫板与喷射混凝土的间隙应用 M20 水泥砂浆填实。
  - f) 后续处理：锚杆安装完成后，应截断锚杆杆体外露多余长度，锚杆外露头和垫板应进行防锈处理，并满足防水板铺设对基面的要求。
  - g) 废药处理：施工中如遇药包浸泡时间不够，锚杆插不到设计深度时，需将锚杆拔出并清洗钻孔，重新送入新的药包，再插锚杆，重复进行。
- 12.3.14 水工隧洞岩面锚固中空锚杆安装施工，应符合下列规定：
- a) 组件构成：应由中空锚杆、锚头、止浆塞、中空杆体、垫板、螺母等组成。
  - b) 杆孔止浆：插入中空锚杆后，应安装止浆塞。止浆塞应留有排气孔。
  - c) 孔口注浆：应对锚杆中孔吹气或注水疏通，待排气孔出浆后，方可停止注浆。
  - d) 外端固定：浆体终凝后应安装垫板、拧紧螺母，锚杆垫板应与喷射混凝土层接触，垫板与喷射混凝土的间隙应用 M20 水泥砂浆填实。
  - e) 后续处理：锚杆安装完成后，应截断锚杆杆体外露多余长度。锚杆外露头和垫板应进行防锈处理，并满足防水板铺设对基面的要求。
- 12.3.15 水工隧洞岩面锚固组合中空锚杆安装施工，应符合下列规定：
- a) 组件构成：应由组合中空锚杆、锚头、连接套、止浆塞、排气管、中空杆体、垫板、螺母等组成。锚杆前端应安上锚头，接上连接套、连接中空杆体。
  - b) 安装施工：应从中空杆体插入排气软管，从连接套穿至锚头，并与钢筋绑扎固定。接上注浆接头后，应对排气管吹气或注水疏通。排气软管口出浆后，方可停止注浆。为保证注浆饱满，排气软管前端应到达锚孔底部。
  - c) 杆孔止浆：插入组合中空锚杆后，应塞上止浆塞将锚杆进行固定，锚杆安装完成后，应截断锚杆杆体外露多余长度；锚杆外露头和垫板应进行防锈处理，并满足防水板铺设对基面的要求。
  - d) 外端固定：浆体终凝后应安装垫板、拧紧螺母。锚杆垫板应与喷射混凝土层接触，垫板与喷射混凝土的间隙应用 M20 水泥砂浆填实。

- 12.3.16 水工隧洞岩面锚固锚杆孔有水流锚杆安装施工，应符合下列规定：
- 孔水处理：应将孔内水引出或在附近另行钻孔引排水后，再安装锚杆。
  - 锚杆换型：更换早强速凝药包式锚杆或树脂锚杆等。
- 注1：早强药包锚杆，锚杆药包主要有硅酸盐与硫酸盐两大系列，分速凝型、早强型、早强速凝型。  
注2：树脂锚杆安装时，用杆体将树脂卷送入孔底。搅拌器搅拌树脂时，锚杆杆体缓缓推进，并旋转搅拌。锚杆插入孔底后，在孔口处将锚杆临时固定，15min后安装托板。过期树脂卷不能使用。
- 12.3.17 水工隧洞岩面锚固楔缝式端头锚固型锚杆安装施工，应符合下列规定：
- 组件检查：安装前，应检查杆体长度，楔缝、楔块、螺母尺寸和配合情况。
  - 钻孔直径：直径应 $\geq$ 杆体直径 15~18mm。
  - 楔块固定：锚杆与楔块应同时送入孔内。楔块不应偏斜或脱落，到达孔底时，用锤敲击锚杆端头，使锚头楔紧，按上垫板，拧紧螺母。螺母拧紧力矩应 $\geq 100\text{N}\cdot\text{m}$ 。24 h 后应再次紧固，并于覆盖前最终检查紧固，以后还需要定期检查，否则容易松弛失效。
  - 支护使用：宜在硬岩中作为临时支护使用。作永久支护锚杆使用时，安装前应安装注浆管和排气管。锚杆发挥作用后，应注满水泥砂浆。
- 12.3.18 水工隧洞岩面锚固自进式锚杆注浆施工，应符合下列规定：
- 使用条件：在锚孔成孔困难或有严重塌孔的地层中使用。
  - 杆孔止浆：自进式锚杆是将锚杆作为钻杆，钻孔过程即为锚杆插入过程。锚孔成孔后，钻杆不拔出，钻杆中孔作为注浆通道进行灌浆。止浆塞安装后应留有排气孔。
  - 孔口注浆：应对锚杆中孔吹气或注水疏通，待排气孔出浆后，方可停止注浆。
  - 外端固定：浆体终凝后应安装垫板、拧紧螺母，锚杆垫板应与喷射混凝土层接触，垫板与喷射混凝土间的间隙应用 M20 水泥砂浆填实。
  - 后续处理：锚杆安装完成后，应截断锚杆杆体外露多余长度，锚杆外露头和垫板应进行防锈处理并满足防水板铺设对基面的要求。
- 12.3.19 水工隧洞岩面锚固锁脚锚杆安装施工，应符合下列规定：
- 安装时间：应在钢架安装就位后立即施工。
  - 安装位置：应在钢架连接钢板以上 100~300mm，采用型钢钢架时设于钢架两侧；采用格栅钢架时设在钢架主筋之间。
  - 安装要求：锁脚锚杆安装方向应符合设计规定。杆体可采用螺纹钢或钢管，采用钢管时管内应注满砂浆，采用钢管时除锚孔需注满砂浆外，管内也要注满砂浆，以提高钢管刚度和抗剪强度。锚杆外露头与型钢钢架焊接时，可采用 U 形钢筋辅助焊接。
  - 工序要求：上部台阶锁脚锚杆砂浆强度，达到设计强度 70%后，方可进行下一台阶工序开挖。
- 12.3.20 水工隧洞岩面锚固钢筋网铺设，应符合下列规定：
- 铺设时间：应在初喷混凝土后，再进行钢筋网铺设。
  - 铺设方式：钢筋网应随受喷岩面起伏铺设，与初喷混凝土面最大间隙应 $\leq 50\text{mm}$ ，不宜将钢筋预焊成片后铺挂。采用双层钢筋网时，第二层钢筋网应在第一层钢筋网被喷射混凝土全部覆盖后铺挂。
  - 规格质量：水工隧洞岩面锚固钢筋网钢筋规格，应满足设计要求。使用前，应调直、清除锈蚀和油渍。
- 注：钢筋网钢筋每节长度应 $\geq 2.0\text{m}$ ，钢筋搭接长度应 $\geq 30$  倍钢筋直径；钢筋网每个交点和搭接段，均应绑扎或焊接，不得隔位连接；钢筋网应与锚杆或其他固定装置联结牢固，在喷射混凝土时不能晃动。
- 12.3.21 水工隧洞岩面锚固钢架制作加工，应符合下列规定：
- 规格型号：钢架型号、规格、几何尺寸应满足设计要求，其形状应与开挖断面相适应。钢架可分节段制作，每节段长度应根据设计尺寸和开挖方法确定，每节段应编号，长度应 $\leq 4\text{m}$ ，注明安装位置。
  - 轮廓尺寸：钢架支护断面内轮廓尺寸，可根据隧道实际开挖轮廓进行加工，加工的内轮廓曲线半径应 $\geq$ 设计钢架的内轮廓曲线半径。
  - 钢架加工：不同规格的首榀钢架加工完成后，应在平整地面上试拼，当各部尺寸满足设计要求时，方可进行批量生产。

- d) 钢架连接：钢架节段两端应焊接连接钢板，连接钢板平面应与钢架轴线垂直。连接钢板规格尺寸，应满足设计要求。连接钢板上螺栓孔应 $\geq 4$ 个，采用冲压或铣切成孔，并应清除毛刺，不得采用氧焊烧孔。
- 12.3.22 水工隧洞岩面锚固型钢钢架加工，应符合下列规定：
- a) 加工制作：型钢钢架应采用冷弯法制造成形，宜在工厂加工。
- b) 质量要求：型钢钢架每节段宜为连续整体，当节段中出现两段型钢对接焊接时，应在焊缝两侧增加钢板骑缝帮焊，并应进行抗弯和抗扭矩试验，每节段对接焊缝数应 $\leq 1$ 。对接焊应在场外完成。型钢钢架与连接钢板焊接应采用双面对称焊接。
- 12.3.23 水工隧洞岩面锚固格栅钢架加工，应符合下列规定：
- a) 加工地点：格栅钢架应在工厂生产制造。
- b) 质量要求：所有钢筋连接结点必须采用双面对称焊接。格栅钢架主筋端头与连接板焊接时，除主筋端头与钢板焊接外，应采用 U 形钢筋帮焊。每块连接钢板的 U 型钢筋数量应 $\geq 2$ 个。U 型钢筋直径应 $\geq$ 主筋直径。
- 注：U 型钢筋应同时与主筋和连接钢板焊接。U 型钢筋与主筋的焊接长度应 $\geq 150\text{mm}$ 。
- 12.3.24 水工隧洞岩面锚固钢架安装施工，应符合下列规定：
- a) 安装时间：钢架应在初喷混凝土后安装。
- b) 连接方式：钢架节段与节段之间应通过连接钢板用螺栓连接，在连接钢板螺栓孔上，用螺栓准确、快速、可靠连接，避免使用扭曲变形钢架；相邻两榀钢架之间应采用钢筋或型钢连接，增加沿隧道纵向线的约束，保证钢架沿隧道纵向刚度和稳定性，发挥相邻多榀钢架的整体支护作用。钢架宜采用机械设备配合安装。
- c) 安装位置：钢架应贴近初喷射混凝土面安装。当钢架和围岩初喷射混凝土面之间有间隙时，应采用钢楔块或木楔块楔紧，并用喷射混凝土充填密实。有多个楔块时，楔块和楔块间距，应 $\leq 2.0\text{m}$ 。在需要设置钢架的洞段，围岩地质较差、自稳能力弱，围岩破碎时，容易出现掉块，为保证安全，先初喷一层混凝土，再进行安装。先初喷混凝土也是围岩及时支护、保持围岩稳定的要求。
- d) 安装偏差：钢架应垂直于隧道中线，在竖直方向安装。竖向不倾斜、平面不错位、不扭曲；上、下、左、右允许偏差应 $\leq \pm 50\text{mm}$ ，钢架倾斜度允许偏差应 $\leq \pm 2^\circ$ 。
- e) 质量要求：应清除钢架拱脚虚渣，使钢架支承在稳固的地基上。锁脚锚杆应及时施工，符合设计规定。

## 12.4 隧洞衬砌混凝土浇筑模板架设

12.4.1 水工隧洞混凝土衬砌完成后的边墙基底高程、基坑断面尺寸、基底承载力等参数，应符合设计要求。模板台车及拼装式模板支架，应根据隧洞现场情况进行设计，应满足隧洞混凝土浇筑过程中强度、刚度和稳定性需要。

12.4.2 水工隧洞衬砌混凝土拼装式模板，由模板，支撑模板的拱架、斜撑和横撑及拱架纵向连接件等组成。支撑模板拱架，其整体刚度应满足模板沉降、移位和变形、混凝土浇筑强度和质量要求，应通过增加横撑、加强斜撑等措施，提高拱架的整体刚度。

12.4.3 水工隧洞衬砌混凝土浇筑单块活动模板长度和宽度均不宜过大。模板长度应保证板块刚度，宽度应利于混凝土衬砌的弯曲过渡，并可配若干 300mm 宽度模板，满足弯曲过度需要。

12.4.4 水工隧道主洞拱墙衬砌混凝土浇筑，应采用表面光滑、规整，整体性好，施工速度快的隧洞全断面衬砌模板台车；车行横洞、人行横洞、紧急停靠带、地下风机房等其他洞室拱墙衬砌混凝土浇筑，可采用工程量较小，布置分散，断面大小、形式多样的拼装式模板。

12.4.5 水工隧洞混凝土衬砌拼装式模板，应符合下列规定：

- a) 模板刚度强度：模板光滑、不变形，混凝土浇筑过程中，模板拱架不偏移、不扭曲，模板接缝平整，不漏浆。
- b) 模板拱架形状：应与衬砌断面形状相适应，模板表面各点应不侵入衬砌内轮廓。放样时，可将设计衬砌轮廓线外扩 50~80mm，在不得影响衬砌厚度的前提下，预留拱架高程沉落量，在施工中随时测量、调整。拱架和模板设置位置要准确，架设时，应按隧道中线和高程安装到位，并应反复校核，直至准确为止。

- c) 模板拼装误差：每一施工循环的前后，两端拱架外形尺寸最大误差应 $\leq 5\text{mm}$ ；单块活动模板长度宜为 $1000\text{mm}$ ，最大应 $\leq 1500\text{mm}$ ，宽度应 $\leq 500\text{mm}$ ；模板、拱架架设位置应准确，高程应满足设计要求。
- d) 止水材料安装：挡头模板应与衬砌断面相适应，方便止水带安装。止水带应安装方便、定位准确。
- e) 挡头模板安装：应安装固定牢固、封堵严密，不得损坏防水板。
- f) 循环使用检查：模板重复使用前应进行检查，出现变形、扭曲、凹凸、接缝张开或临时开孔等异常应予以修整或更换。
- g) 单次浇筑长度：单次浇筑长度，宜为 $3.0\text{m}\sim 8.0\text{m}$ 。
- 12.4.6 水工隧洞混凝土全断面衬砌模板台车，应符合下列规定：
- a) 台车强度刚度：模板台车支架、模板，应满足混凝土浇筑过程中的强度、刚度和稳定性要求。
- b) 台车结构要求：台车应配置自动行走装置和固定装置；应设置可整体调节升降的液压装置，边墙模板应设置可伸缩的液压调节或螺杆调节的支撑装置，并应满足边墙与边墙脚一次浇筑要求；台车模板应表面光滑、接缝严密，台车钢模板厚度，应 $\geq 10\text{mm}$ 。
- c) 台车安装施工：台车支撑门架结构净空，应满足施工车辆和人员安全通行要求；台车支撑门架间距，应 $\leq 2.0\text{m}$ ，门架位置宜与模板拼缝重合；台车与洞室中线应垂直方向架设，位置准确，高程满足设计要求。
- d) 预留振捣窗口：模板应预留振捣窗，振捣窗纵向距离应 $\leq 2.5\text{m}$ ，振捣窗与端头模板距离应 $\leq 1.8\text{m}$ ，横向间距应 $\leq 2.0\text{m}$ ，振捣窗尺寸应 $\geq 450\text{mm}\times 450\text{mm}$ 。应加强振捣窗周边模板刚度，窗门应平整、严密、不漏浆。
- e) 台车挡头模板：应采用可重复使用并能同时固定止水带的定型模板，并便于固定；安装应固定牢固、封堵严密，不得损坏防水板。
- f) 施工注意事项：台车应根据施工通风风管设计参数，预留风管穿越的空间；台车电缆线应穿入PVC管中。
- 12.4.7 水工隧洞中明洞混凝土衬砌内模板，应采用衬砌模板台车，制作外模、支架，并应安装牢固、定位准确，模板接缝应紧密、不漏浆，外模板安装应牢固、不走摸，保证结构厚度。
- 12.4.8 水工隧洞中明洞衬砌后模板，应在明洞混凝土强度达到 $2.5\text{MPa}$ 后拆除外模；明洞混凝土强度达到 $75\%$ 后拆除内模。
- 12.5 隧洞混凝土衬砌施工
- 12.5.1 水工隧洞衬砌混凝土浇筑工艺，拱、墙混凝土应一次连续浇筑。不得采用先拱、后墙浇筑，防止在拱墙交界处混凝土浇筑不密实，拱圈产生不均匀沉降，导致拱圈开裂等情况；不得先浇矮边墙，防止电缆沟顶面出现纵向施工缝。
- 12.5.2 水工隧洞拱墙混凝土浇筑前工作，应包括下列内容：
- a) 检查：检查模板背后混凝土浇筑净空尺寸；检查防水板、排水盲管、衬砌钢筋、预埋件等隐蔽设施配置情况，做好记录。
- b) 清理：清除钢筋锈斑及钢筋上的油污；清除底部杂物、积水；仰拱洞段交接面，用高压水冲洗干净。
- c) 涂刷：木模板用水湿润；仰拱洞段交接面涂刷界面剂；钢模板涂脱模剂，涂刷模板脱模剂时，不得污染钢筋。
- 12.5.3 水工隧洞衬砌混凝土浇筑配合比，应满足设计强度和混凝土浇筑工艺要求，现场应对设计混凝土配合比进行试验，各种指标达到要求后，方可进行水工隧洞现场浇筑施工。
- 12.5.4 水工隧洞拱墙混凝土浇筑前，应测定混凝土所用砂、石含水率，根据现场测试结果，调整施工配合比各材料用量。
- 12.5.5 水工隧洞浇筑混凝土拌和料计量偏差，应符合表14规定：

表14 混凝土拌和物计量偏差表

单位：%

序号	混凝土组成材料	每仓计量偏差	累计计量
1	水泥、掺合料	$\pm 2$	$\pm 1$
2	粗、细集料	$\pm 3$	$\pm 2$

序号	混凝土组成材料	每仓计量偏差	累计计量
3	水、外加剂	±2	±1

12.5.6 水工隧洞浇筑混凝土混合料搅拌，应符合下列规定：

- 拌和机械：应采用强制式混凝土搅拌机搅拌。
- 拌和时间：自全部材料装入搅拌筒至开始出料的搅拌时间，应 $\geq 60\text{s}$ ；坍落度 $\leq 100\text{mm}$ ，且搅拌机出料量 $\geq 500\text{L}$ 时，搅拌时间应 $\geq 90\text{s}$ ；含有粉煤灰等掺合料时，搅拌时间应 $\geq 120\text{s}$ 。
- 浇筑时限：混凝土应边拌和、边浇筑。温暖干燥条件下，浇筑使用时间应 $\leq 1\text{h}$ ；低温湿润条件下，浇筑使用时间应 $\leq 2\text{h}$ 。已经初凝的剩余混凝土，不得重新搅拌使用。

12.5.7 水工隧洞衬砌混凝土，应采用滚筒式自卸混凝土运输车进行运输，混凝土运送中不应产生离析、散落等

12.5.8 水工隧洞衬砌混凝土浇筑，应采用混凝土输送泵送料入模，均匀布料。混凝土入模温度应控制在 $5\sim 32^{\circ}\text{C}$ 。

12.5.9 水工隧洞衬砌混凝土浇筑施工，应符合下列规定：

- 出料高度：混凝土出料口距浇筑面的垂直高度，应 $\leq 2.2\text{m}$ 。防止出料口与浇筑面的垂直距离过大，混凝土产生离析。
- 浇筑方位：混凝土应从两侧边墙向拱顶、由下向上依次分层对称浇筑。两侧混凝土浇筑面高差，应 $\leq 1.0\text{m}$ ；同一侧混凝土浇筑面高差，应 $\leq 0.5\text{m}$ 。
- 间歇时间：混凝土衬砌应连续浇筑。当间歇浇筑时，在环境气温 $5\sim 10^{\circ}\text{C}$ ，混凝土允许间歇浇筑时间应 $\leq 120\text{min}$ ；在环境气温 $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ ，混凝土允许间歇浇筑时间应 $\leq 90\text{min}$ ；在环境气温 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ ，混凝土允许间歇浇筑时间应 $\leq 60\text{min}$ 。
- 界面处理：当间歇浇筑时间超过本规定时，应将界面凿毛，用高压水冲洗干净，涂刷界面剂。界面剂拉伸黏结强度应 $\geq 0.5\text{MPa}$ ，剪切黏结强度应 $\geq 1.5\text{MPa}$ 。
- 衬砌厚度：水工隧洞衬砌混凝土结构厚度，应满足设计要求。单层钢筋混凝土衬砌厚度应 $\geq 0.3\text{m}$ ，双层钢筋混凝土衬砌厚度应 $\geq 0.4\text{m}$ 。在衬砌混凝土浇筑结束前，应进行检查，结构厚度达到设计要求后，方可收盘。
- 浇筑长度：采用模板台车浇筑的混凝土水工隧洞单次浇筑长度，宜为 $6.0\text{m}\sim 12.0\text{m}$ 。
- 指标控制：混凝土和钢筋混凝土衬砌的强度、抗渗、抗冻等指标，应符合SL 191的规定；混凝土抗磨和抗侵蚀等指标，可根据DL/T 5207选取，仅对平整围岩表面设置的混凝土衬砌，可不提抗渗要求。

12.5.10 水工隧洞衬砌混凝土振捣，应符合下列规定：

- 振捣方式：宜采用附着式和插入式振捣相结合的方式振捣。
- 振捣时间：采用高频机械振捣时，振捣时间宜为 $10\sim 30\text{s}$ 。
- 注意事项：振捣不应使模板、钢筋和预埋件移位；混凝土浇筑至振捣窗下 $0.2\text{m}$ 时，应关闭振捣窗。

12.5.11 水工隧洞回填灌浆范围、孔距、排距、灌浆压力及浆液浓度等，应根据隧洞的衬砌结构型式、运行条件及施工方法等分析确定。回填灌浆范围，宜为顶部或顶拱中心角 $90^{\circ}\sim 120^{\circ}$ ，其他部位视衬砌浇筑情况确定。

注：孔距和排距，宜为 $3\sim 6\text{m}$ ；灌浆压力混凝土衬砌可采用 $0.2\sim 0.3\text{MPa}$ ；钢筋混凝土衬砌，可采用 $0.3\sim 0.5\text{MPa}$ ；灌浆孔，应深入围岩 $0.1\text{m}$ 以上。

12.5.12 水工隧洞围岩固结灌浆，应根据隧洞工程地质和水文地质条件、衬砌型式、施工对围岩的影响程度以及运行要求，通过技术经济比较确定。固结灌浆孔的排距宜采用 $2\sim 4\text{m}$ ，每排应 $> 6$ 孔，孔位对称布置；灌浆深度，应根据围岩情况分析确定，应 $> 0.5$ 倍隧洞直径(或洞宽)；灌浆压力可为 $1\sim 2$ 倍内水压力。

12.5.13 水工隧洞衬砌背后空洞回填施工，应符合下列规定：

- 回填浇筑时间：衬砌背后空洞回填作业，应在衬砌混凝土厚度达到设计厚度的条件下进行，并应在下一环节衬砌浇筑混凝土前完成。
- 回填处理方式：边墙背后空洞深度 $\leq 1.0\text{m}$ 、拱部背后空洞深度 $\geq 0.5\text{m}$ 时，应采用与隧洞衬砌同强度等级的混凝土回填密实，与衬砌混凝土同时浇筑；边墙背后空洞深度 $\geq 1.0\text{m}$ 、拱部背后空洞深度 $\geq 0.5\text{m}$ 时，应按设计要求处理。

- c) 厚度不足处理：当水工隧洞衬砌混凝土浇筑厚度不足时，不得采用注浆回填，应采用其他方式处理。

12.5.14 水电站不衬砌和锚喷衬砌的输水隧洞，应设置集渣坑，其位置、容积和数目，可根据洞段的围岩情况、长度、水力学条件、清渣频度及方式等，综合考虑确定。

12.5.15 水工隧洞锚喷衬砌宜紧跟开挖面，喷层表面平均起伏差应 $\leq 0.15\text{m}$ 。锚喷衬砌隧洞的允许流速，应 $\leq 8\text{m/s}$ ；临时过水隧洞允许流速，应 $\leq 12\text{m/s}$ 。

12.5.16 水工隧洞喷混凝土的强度等级，应 $> \text{C}20$ 。喷层与围岩的黏结强度：I类、II类围岩应 $> 1.0\text{MPa}$ ；III类围岩应 $> 0.8\text{MPa}$ 。

12.5.17 水工隧洞开挖产生较大塑性变形的围岩及高地应力区，易产生岩爆的围岩，锚喷衬砌宜采用钢纤维或合成纤维喷射混凝土衬砌。

注1：钢纤维喷射混凝土表面应再喷射一层普通混凝土或水泥砂浆，喷射普通混凝土厚度应 $\geq 30\text{mm}$ ，喷射水泥砂浆厚度应 $\geq 10\text{mm}$ ，其强度等级不应低于钢纤维喷射混凝土。

注2：钢纤维喷射混凝土应符合SL 377和GB 50086规定；合成纤维喷射混凝土，应符合GB/T 21120的规定。

12.5.18 水工隧洞通过含有侵蚀性地下水洞段时，应测定地下水的水质，应采取地下水引排措施，防止侵蚀性水侵入混凝土；采用抗侵蚀性水泥、重要集料、选用外加剂等抗侵蚀性混凝土。

12.5.19 水工隧洞衬砌采用防水混凝土时，防水混凝土配合比和集料级配，应经现场试验确定。采用具有防水性能的水泥或掺加增强密实性的外加剂进行混凝土搅拌。

12.5.20 水工隧洞拱架、支架和模板拆除条件，应符合下列规定：

- 没有荷载强度要求：不承受外荷载的拱、墙混凝土强度应达到 $5.0\text{MPa}$ 。
- 承受荷载强度要求：承受围岩压力的拱、墙以及封顶和封口的混凝土强度应达到设计要求。
- 特殊情况强度要求：围岩和初期支护变形未稳定、或在塌方洞段浇筑的衬砌混凝土应达到设计强度。

12.5.21 水工隧洞衬砌混凝土养护，应符合下列规定：

- 养护条件：水工隧洞混凝土浇筑施工后均应进行洒水养护。当隧道内空气湿度 $\geq 90\%$ 时，可不进行洒水养护。
- 养护时间：混凝土养护时间应 $\geq 7\text{d}$ ；掺加引气剂或引气型减水剂时，混凝土养护时间应 $\geq 14\text{d}$ 。

## 12.6 隧洞仰拱衬砌

12.6.1 水工隧洞仰拱混凝土衬砌施工，是水工隧洞混凝土衬砌中难度最高的施工工序，应严格遵守操作规程，按设计要求及规范规定，控制水工隧洞混凝土衬砌浇筑施工质量。

12.6.2 水工隧洞仰拱、仰拱填充和垫层混凝土强度达到 $2.5\text{MPa}$ 后，方可拆模；混凝土强度达到设计强度 $100\%$ 后，方可允许运渣车辆进入水工隧洞内通行。

12.6.3 水工隧洞仰拱衬砌施工前完成工作，应包括下列内容：

- 校验断面：校验隧洞相关参数，隧洞底开挖断面形状、尺寸、基底高程、基底承载力应符合设计规定。
- 岩面清理：应凿除岩面欠挖区域；超挖岩面 $\geq 0.1\text{m}$ 时，应采用M10浆砌片石、C15混凝土回填；超挖岩面 $< 0.1\text{m}$ 时，用C20喷射混凝土回填；应清除隧洞底虚渣、杂物、淤泥，抽干积水。
- 回填施工：隧洞底超挖可采用强度等级 $\geq \text{C}15$ 的混凝土或C20喷射混凝土回填。回填后，应再次检查断面形状、尺寸；隧洞底溶洞、采空区或其他空穴，应按设计要求进行处理。

12.6.4 水工隧洞仰拱初期支护施工，应符合下列规定：

- 支护时间：仰拱初期支护应跟随开挖进度及时施工。喷射混凝土不得与仰拱混凝土衬砌一起浇筑。
- 支护误差：仰拱初期支护钢架应与拱墙钢架对齐，误差应 $< 20\text{mm}$ 。
- 连接方式：仰拱钢架节段之间的连接及相邻钢架之间的横向连接方式，应与拱墙钢架连接要求相同。

12.6.5 水工隧洞仰拱混凝土衬砌施工，应符合下列规定：

- 仰拱衬砌超前距离：仰拱混凝土衬砌应先于拱墙混凝土衬砌进行施工，超前距离应根据围岩级别、施工机械作业环境要求确定，一般应 $<$ 拱墙衬砌浇筑循环长度的2倍。

- b) 一次浇筑成形长度：仰拱衬砌混凝土应整幅一次浇筑成形，不得左右半幅分次浇筑，一次浇筑长度应 $<5.0\text{m}$ 。
- c) 仰拱衬砌浇筑模板：应留振捣窗，振捣窗纵横向间距应 $<2.0\text{m}$ ，振捣窗尺寸应 $\geq 450\text{mm}\times 450\text{mm}$ 。振捣窗周边模板应加强刚度，窗门应平整、严密、不漏浆。挡头模板应采用可重复使用，并采用能同时固定止水带的定型模板。
- d) 衬体界面加固钢筋：仰拱衬砌混凝土和拱墙衬砌混凝土均为素混凝土时，仰拱与拱墙连接面应插连接钢筋，钢筋级别应 $\geq\text{HRB400}$ ，钢筋直径应 $\geq 20\text{mm}$ ，长度应 $\geq 500\text{mm}$ ，插入深度和外露长度均应 $\geq 250\text{mm}$ ；连接钢筋沿衬砌内外缘两侧布置，纵向间距应 $<300\text{mm}$ 。当拱墙衬砌为钢筋混凝土、仰拱为素混凝土时，插入钢筋直径和布置间距应与拱墙受力主钢筋相同，并与拱墙受力主钢筋焊接。

#### 12.6.6 水工隧洞仰拱填充施工，应符合下列规定：

- a) 回填界面处理：仰拱填充混凝土施工前，应清除仰拱表面积水、杂物等。
- b) 施工冷缝设置：仰拱衬砌横向施工缝与填充混凝土横向施工缝宜错开设置，错开距离应 $\geq 0.5\text{m}$ 。在设有变形缝位置，仰拱衬砌变形缝与填充混凝土变形缝应在同一断面位置。
- c) 填充处理质量：仰拱填充混凝土顶面应平顺，坡度应符合设计规定。仰拱填充采用片石混凝土时，片石距挡头模板的距离应 $\geq 50\text{mm}$ ，片石间距应 $\geq$ 混凝土粗集料的最大粒径，并应分层掺放。

注：仰拱填充混凝土不得与仰拱衬砌混凝土一起浇筑。

#### 12.6.7 水工隧洞无仰拱洞段底部垫层混凝土施工，应符合下列规定：

- a) 洞底高程：隧洞底开挖高程应满足设计要求。
- b) 底部清理：清除隧洞底部洞渣、杂物、淤泥，抽干积水。
- c) 超挖回填：隧洞底部超挖采用垫层同级混凝土回填时，应与垫层混凝土同时浇筑。超挖较大时，可采用浆砌片石回填，承载力和稳定性应满足设计要求。
- d) 洞水处理：隧洞垫层混凝土底部应做好，隧洞底部围岩有地下水冒出时，应设盲沟引排。
- e) 振捣方式：水工隧洞仰拱、仰拱填充和垫层混凝土浇筑，宜采用插入式振捣器，进行振捣密实。
- f) 质量要求：垫层顶面应平顺，坡度应符合设计规定；垫层混凝土可半幅浇筑，接缝应平顺。

#### 12.6.8 水工隧洞仰拱、仰拱填充和垫层混凝土养护，应符合下列规定：

- a) 养护条件：水工隧洞混凝土浇筑施工后均应进行洒水养护。但当隧道内空气湿度 $\geq 90\%$ 时，可不进行洒水养护。
- b) 养护时间：混凝土养护时间，应 $\geq 7\text{d}$ ；掺加引气剂或引气型减水剂时，混凝土养护时间，应 $\geq 14\text{d}$ 。

### 12.7 明洞衬砌施工

- a) 水工明洞，为有利于洞口边仰坡稳定，有利于施工安全，水工明洞应提前进行衬砌施工。明洞衬砌施工时，应先进行仰拱衬砌，并与拱墙整体浇筑。
- b) 水工隧洞不设仰拱的明洞衬砌边墙基础嵌入岩层深度、明洞基底承载力，应满足设计要求。有仰拱的水工明洞拱墙衬砌，应与仰拱衬砌形成有效封闭环结构。
- c) 水工隧洞中明洞混凝土衬砌浇筑时，拱圈混凝土混合料坍落度应 $<120\text{mm}$ 。混凝土入模温度应控制在 $5\sim 32\text{C}$ 范围。

### 12.8 隧洞混凝土衬砌分缝设置

12.8.1 水工隧洞混凝土衬砌应按设计要求设置沉降缝和伸缩缝。在明洞与暗洞交界处或不设明洞的洞口第一环衬砌与二环衬砌连接位置需要设沉降缝，有利于减少因结构受力不同，不均匀沉降，引起的衬砌开裂和其他病害；严寒地区，由于温度差异，在洞口和易受冻害洞段可能产生伸缩变形，应设置伸缩缝。

12.8.2 水工隧洞混凝土衬砌施工缝，应结合沉降缝、伸缩缝，进行调整设置；拱墙衬砌沉降缝、伸缩缝，应与仰拱混凝土衬砌沉降缝、伸缩缝竖向对齐，保证变形一致。

12.8.3 水工隧洞混凝土浇筑施工缝、变形缝，应避开预留洞室。预留洞室边缘距施工缝、变形缝的距离，应 $\geq 1.5\text{m}$ 。

12.8.4 水工隧洞在地质条件明显变化处和井、洞交汇处、进出口处，或其他可能产生较大相对变位处，

混凝土和钢筋混凝土衬砌应设置永久缝，并设置相应防渗设施。

12.8.5 水工隧洞围岩地质条件比较均一的洞身段，可仅设施工缝。根据施工方法、浇筑能力和气温变化等因素，分析、确定施工缝之间的浇筑分段长度，宜采用6~12m，且隧洞底拱和边、顶拱环向缝不得错开。

12.8.6 水工隧洞无防渗要求的环向施工缝，分布钢筋可不穿过缝面，可不设置止水。有防渗要求的环向施工缝，应根据具体情况，设置必要的接缝处理设施。

12.8.7 水工隧洞纵向施工缝，应设置在衬砌结构拉应力及剪应力均较小的部位。无防渗要求可不设置止水；有防渗要求应设置必要的接缝处理设施。当先衬砌隧洞边、顶拱时，对于拱座的反缝应进行妥善处理。

12.8.8 水工隧洞钢筋混凝土衬砌与钢板衬护连接处，不应分缝。搭接长度，应 $\geq 1.0m$ 。

## 12.9 衬砌质量控制标准

12.9.1 水工隧洞开挖岩面喷固、开挖岩面锚固、明洞混凝土衬砌、仰拱混凝土衬砌、主洞身混凝土衬砌等混凝土浇筑衬砌质量，均应达到国家颁布的现行规程规范技术标准，满足设计要求。

12.9.2 水工隧洞喷射混凝土施工质量控制标准，应符合表15规定。

表15 水工隧洞衬砌喷射混凝土施工质量控制标准表 单位：mm

序号	检查项目	质量控制指标
1	混凝土强度	在合格标准内
2	混凝土初喷厚度	初喷厚度：20~50，最小厚度 $\geq 20$
3	混凝土成品厚度	成品平均厚度 $\geq$ 设计厚度
4	混凝土密实度	无空洞，无杂物
5	混凝土支护净空	$\geq$ 设计尺寸

12.9.3 水工隧洞衬砌锚杆施工质量控制标准，应符合表16规定。

表16 水工隧洞衬砌锚杆施工质量控制标准表 单位：mm

序号	检查项目	质量控制指标
1	锚杆根数	满足设计要求
2	锚杆拔力(kN)	28d平均值 $\geq$ 设计值，最小 $\geq 0.9$ 倍设计值
3	锚杆孔位	$\pm 150$
4	钻孔深度	$\pm 50$
5	孔径	锚杆钻孔直径应 $\geq$ 锚杆杆体直径 +15
6	锚杆长度	$\pm 100000$
7	锚固剂强度	满足设计要求
8	锚杆杆体外观	钢筋无锈蚀、杆体无凹痕、无弯曲
9	锚杆砂浆饱满度	饱满、密实、无空洞
10	锚头	锚杆外露长度 $\leq 100$ ，垫板与岩面无间隙

12.9.4 水工隧洞衬砌钢筋网施工质量控制标准，应符合表17规定。

表17 水工隧洞衬砌钢筋网施工质量控制标准表 单位：mm

序号	检查项目	质量控制指标
1	钢筋网格尺寸	$\pm 10$
2	钢筋网与受喷面距离	$\leq 50$
3	搭接长度	$\geq 30$ 钢筋直径d，且 $\geq 1$ 个网格长边尺寸
4	钢筋保护层厚	$\geq 20$
5	铺挂面积	满足设计要求
6	钢筋网钢筋根数	满足设计要求
7	钢筋网钢筋外观	钢筋无锈蚀；杆体无凹痕、弯曲

12.9.5 水工隧洞衬砌钢架施工质量控制标准，应符合表18规定。

表18 水工隧洞钢架支护施工质量控制标准表 单位：mm

序号	检查项目	质量控制指标
----	------	--------

1	安装间距	平均值±50
2	钢架数量(榀)	≥设计值
3	保护层厚度	临空侧保护层≥20
4	倾斜度	±2
5	钢架轴线连接偏位	±3
6	连接钢板	钢板平面无翘曲、连接螺栓≥个4
7	横向安装偏差	向洞内偏差不大于10
8	竖向安装偏差	≥设计高程
9	钢架平面翘曲安装偏差	≤50
10	钢架连接件个数	≥设计值
11	钢架连接件间距	±50

12.9.6 水工隧洞衬砌格栅钢架施工质量控制标准，应符合表 19 规定。

表19 水工隧洞衬砌格栅钢架施工质量控制标准表 单位：mm

序号	检查项目	质量控制指标
1	钢筋直径	满足设计要求
2	钢筋焊接	双面
3	钢筋与钢板焊接	连接辅筋≥2根

12.9.7 水工隧洞衬砌模板施工质量控制标准，应符合表 20 规定。

表20 水工隧洞模板安装质量控制标准表 单位：mm

序号	检查项目	质量控制指标
1	平面位置及高程	±15
2	起拱线高程	±10
3	拱顶高程	+10
4	模板平整度	5

12.9.8 水工隧洞混凝土衬砌施工质量控制标准，应符合表 21 规定。

表21 水工隧洞混凝土衬砌施工质量控制标准表 单位：mm

序号	检查项目	质量控制指标
1	混凝土强度等级	合格
2	坍落度	坍落度<100，偏差±20；坍落度≥100，偏差±30
3	衬砌厚度	90%检查点厚度≥设计厚度；最小厚度≥0.5倍设计厚度
4	衬砌背部密实状况	衬砌背后无杂物、空洞
5	墙面平整度	拱、墙部位 ≤5
6	施工缝表面错台	施工缝、变形缝±20
7	隧道净高	≥设计值
8	总宽度	≥设计值
9	中线偏差	≤20

12.9.9 水工隧洞仰拱混凝土衬砌施工质量控制标准，应符合表 22 规定。

表22 水工隧洞仰拱施工质量控制标准表 单位：mm

序号	检查项目	质量控制指标
1	混凝土强度等级	合格
2	坍落度	<100，偏差±20；≥100，偏差±30
3	仰拱厚度	≥设计值
4	仰拱底面高程	±15

12.9.10 水工隧洞底板、仰拱回填混凝土衬砌施工质量控制标准，应符合表 23 规定。

表23 底板、仰拱回填施工质量控制标准表 单位：mm

序号	检查项目	质量控制指标
1	混凝土强度等级	合格
2	坍落度	<100，偏差±20；≥100，偏差±30

3	底板厚度	≥设计值
4	顶面(底板)高程	±10

12.9.11 水工隧洞衬砌钢筋施工质量控制标准,应符合表 24 规定。

表24 水工隧洞衬砌钢筋施工质量控制标准表 单位: mm

序号	检查项目	质量控制指标
1	主筋纵向间距	±10
2	主筋根数	符合设计
3	两层主筋间距	±5
4	箍筋根数	符合设计
5	箍筋间距	±20
6	限(定)位钢筋根数	符合设计
7	限(定)位钢筋间距	±100
8	纵筋间距	符合设计
9	受拉钢筋绑扎搭接长度	HPB级钢30d; HRB级钢35d
10	受压钢筋绑扎搭接长度	HPB级钢20d; HRB级钢25d
11	钢筋焊接、连接	符合规范要求
12	钢筋保护层厚度	≥设计值
13	钢筋直径d	符合设计

12.9.12 水工隧洞明洞衬砌施工质量控制标准,应符合表 25 规定。

表25 水工隧洞明洞衬砌施工质量控制标准表 单位: mm

序号	检查项目	质量控制指标
1	混凝土强度等级	在合格标准内
2	衬砌厚度	≥设计值
3	基底高程	符合设计
4	内侧墙面平整度	拱、墙≤ 5
5	外侧墙面平整度	拱、墙部≤10
6	施工缝表面错台	施工缝、变形缝≤20
7	隧道净高	≥设计值
8	总宽度	≥设计值
9	中线偏差	≤20

## 13 施工安全保障

### 13.1 一般规定

13.1.1 水工隧洞施工前,应编制详细的施工组织设计,保证水工隧洞施工供电、供水、供风与排尘、施工交通等设施配置到位,确保水工隧洞施工安全和工程顺利实施。

13.1.2 水工隧洞各种电气设备和输电线路、各种供水设备和输水线路、各种供风与排尘设备和输风线路、施工交通线路及安全警示标识标志,应配置专门技术人员,定期进行检查、调整及维修等工作。

### 13.2 施工供电

13.2.1 水工隧洞开挖施工,应采用 220/380V 低压供电。特殊洞段,确需安全送电时,应严格控制供电线路的输出电压,确保施工人员安全。

13.2.2 水工隧洞线路变压器应设在洞外。末端电压降满足要求时,变压器也应设置在洞外,再低压进洞;洞内 36V 低压变压器应设在安全、干燥处,涉电机壳接地。变压器容量应按电气设备总用电量确定。洞外变电站应设置防雷击和防风装置。

13.2.3 安装在水工隧洞洞外的输电线路与隧洞施工配电线路之间的降压变电站,应设在洞口附近,可减少低压线路进洞前的电压损失及可免去高压线跨越施工地区,增大施工作业危险性。

13.2.4 水工隧洞低压配电装置，宜采用成套组合电器，也可采用临时装设自动空气开关的带有空气断路器的低压配电装置。

13.2.5 水工隧洞洞外变电站电源线跨越施工道路安全距离，应符合下列规定：

- a) 低空间：架空电力线路电压  $G \leq 10\text{kV}$  时，安全距离应  $\geq 7.0\text{m}$ 。
- b) 中空间：架空电力线路电压  $G$  为  $220 \sim 10\text{kV}$  时，安全距离应  $\geq 8.0\text{m}$ 。
- c) 高空间：架空电力线路电压  $G$  为  $220 \sim 500\text{kV}$  时，安全距离应  $\geq 14.0\text{m}$ 。

13.2.6 水工隧洞开挖施工低压供电，应符合下列规定：

- a) 配电系统：应采用总配电箱、分配电箱、末级配电箱三级配电系统。
- b) 配电保护：按照“一机、一漏、一保护”原则，采用二级漏电保护系统。
- c) 安全接地：应采用电源中性点直接接地；涉电设备外壳直接接地。
- d) 接零保护：应采用 TN-S 接零保护系统。TN-S 接零保护系统供配电不能满足设备安全使用要求时，设备的供配电应符合产品标准和产品使用手册的规定。

13.2.7 水工隧洞开挖施工供电 TN-S 接零保护系统，应符合下列规定：

- a) PE 连接：电气设备的外壳与保护接地线 PE 连接。
- b) 接地规格：保护接地线材质与相线、工作零线 N 相同时，相线芯线最小截面积  $S \leq 16 \text{ mm}^2$ ，保护接地线 PE 截面积应  $\geq 5 \text{ mm}^2$ ；相线芯线最小截面积  $S$  为  $16 \sim 35 \text{ mm}^2$ ，保护接地线 PE 截面积应  $\geq 16 \text{ mm}^2$ ；相线芯线最小截面积  $S > 35 \text{ mm}^2$ ，保护接地线 PE 截面积应  $\geq S/2 \text{ mm}^2$ 。
- c) 注意事项：保护接地线 PE 严禁装设开关和熔断器，严禁断线，严禁通过工作电流。

13.2.8 水工隧洞非瓦斯隧洞照明电压，应符合下列规定：

- a) 固定电压：应  $< 220\text{V}$ ，线路末端的电压降应  $< 10\%$ 。
- b) 移动电压：手持式或移动式照明电压应  $< 36\text{V}$ 。

13.2.9 水工隧洞瓦斯隧洞电压等级，应符合下列规定：

- a) 线路电压：远距离控制线路的额定电压，应  $< 36\text{V}$ 。
- b) 设备电压：掌子面设备电压超过  $330\text{V}$  时，应采取专门的安全措施。

13.2.10 水工隧洞洞内供电线路布置，应符合下列规定：

- a) 架设原则：水工隧洞开挖施工输电线路架设总体原则：高压在上，低压在下；干线在上，支线在下；动力线在上，照明线在下。

注：线路布设不得与人行道布置在同侧。照明和动力电线路安装在同侧时，应分层架设；电力线路架设分两次进行：施工洞段，随工作面向前推进，先用橡套电缆设临时线路；成洞洞段，改用胶皮绝缘线架设固定线路。

- b) 线路类型：水工隧洞成洞洞段固定线路，应采用绝缘性能良好的胶皮线架设；施工洞段的临时电线路，应采用橡套电缆，竖井、斜井应使用铠装电缆。
- c) 涉水线路：涌水隧道斜井、竖井电动排水电气装置，应采用双电源供电，有可靠的切换装置和防水措施。
- d) 控制开关：动力电力干线上的每条分支线，必须装设开关及保险装置。总配电箱和分配电箱、进线应设置断路器，断路器应设置隔离开关，总断路器的额定值应与分路断路器的额定值相匹配。

注：各级配电箱分支回路应设置具有短路、过负荷、接地故障保护功能的电器。末级配电箱、进线应设置总断路器；各种开关电器的额定值应与其控制用电设备的额定值相适应。

- e) 悬挂高度：电压  $\leq 400\text{V}$  时，电线悬挂高度应  $\geq 2.5\text{m}$ ；电压为  $6 \sim 10\text{kV}$  时，电线悬挂高度应  $\geq 3.5\text{m}$ ；瓦斯洞段电缆应沿侧壁铺设，不得悬空架设。
- f) 线路长度： $36\text{V}$  低压输电线路长度不应大于  $100\text{m}$ 。
- g) 配电箱：分配电箱与末级配电箱的距离应  $< 30\text{m}$ 。动力末级配电箱与照明末级配电箱应分别设置。配电箱中心与地面的垂直距离宜为  $1.4 \sim 1.6\text{m}$ 。落地安装的配电箱底部距离地面应  $\geq 0.2\text{m}$ 。

13.2.11 水工隧洞的洞内临时变电站设置，应符合下列规定：

- a) 站址距离：洞内变电站之间的距离应  $< 1000\text{m}$ 。
- b) 设置洞段：洞内变电站宜设置在干燥的紧急停车带或不使用的横通道内。
- c) 开关箱柜：应采用井下高压配电装置或相同电压等级的油开关柜，不应使用跌落式熔断器；应设有防尘措施。

- d) 安全设施：变压器与周围洞壁的最小距离应 $\geq 300\text{mm}$ ；应设置防护栏(防护网)、灯光警告标志等安全防护措施；高压分线部位，应设置明显危险警告标志。
- 13.2.12 水工隧洞施工作业洞段照明设置，应符合下列规定：
- a) 设置位置：主要交通道路、洞内抽水机站或竖井等重要位置，应设置安全照明。
- b) 灯具类型：漏水洞段照明应采用防水灯头和灯罩；瓦斯洞段的照明器材料应采用防爆型；隧道施工宜采用 LED 灯等节能光源照明。
- c) 光线亮度：不安全因素较大洞段，应加大照明亮度等光照度。正常情况下，开挖作业面及混凝土、钢筋作业面、交叉运输区段等特殊作业洞段，照度标准应 $\geq 50\text{ Lux}$ ；运输通道及竖井内，照度标准应 $\geq 15\text{ Lux}$ ；成品洞段，照度标准应 $\geq 10\text{ Lux}$ 。

### 13.3 施工供水

13.3.1 水工隧洞进洞供水压力，应根据最大的供水量、管路长度、弯头、三通、闸阀、水嘴等管路沿程配件配置因素，经过“局部水头损失+沿程水头损失+自然高程差”等充分计算后，进行确定。

13.3.2 水工隧洞工作面供水水管直径，应根据最大的供水量、管路长度、三通分水量、闸阀、水嘴出水量等条件，经计算确定。

13.3.3 水工隧洞供水水压应满足隧洞内各种设备用水需要，高山自然水源时应建蓄水池，水池高度应能保证洞内最高用水点的水压。

注：正常情况下，水工隧洞供水工作面末端供水工作压力应 $\geq 0.5\text{MPa}$ 。隧洞开挖施工常用开挖工具为风动凿岩机，其工作水压力，应满足设备说明书规定，一般情况下应 $\geq 0.5\text{MPa}$ 。

13.3.4 水工隧洞用水量大小，应根据工程情况、机械用水量、施工进度、施工人员数、气候等施工要素，经综合分析后，加入一定安全富余值后进行确定。

13.3.5 水工隧洞开挖施工设备耗水情况，应符合表 26 规定：

表26 施工设备耗水量情况参考表 单位：mm

用途	单位	耗水量	备注
凿岩机用水	吨/时·台	0.20	
喷雾洒水用水	吨/分·台	0.03	按每次放炮后喷雾30min
衬砌用水	吨/时	1.50	混凝土拌和、养生和冲洗等用水
空气压缩机用水	吨/台·天	5.00	其中大部分可考虑循环使用
浴池用水	吨/次	15.00	
生活用水	吨/人·天	0.02	

13.3.6 水工隧洞供水方案选择及设备配置，应符合下列规定：

- a) 水质检测：水工隧洞工程和生活用水使用前，应经过水质化验与检测。生活饮用水应执行 GB 5749 相关规定；不含有害矿物质，无污染、无臭味的天然水，均可作施工用水。施工中，应按相应频率做好水质化验工作。
- b) 供水水量：水源供水量，应满足工程施工和生活用水的需要。高位蓄水池容量应满足洞内、外集中用水的需要。水池容积应 $\geq 50\text{ m}^3$ 。
- c) 机械供水：采用机械设备供水时，另应配备高压备用泵站。

13.3.7 水工隧洞供水管路安装使用，应符合下列规定：

- a) 设施检查：安装前，应对供水管进行检查，有裂纹、创伤、凹陷等现象时不得使用，管内不应留有残余物和其他脏物。
- b) 架设位置：洞内高压风管应与电缆电线分开敷设，在两侧分开设置，供水管不应妨碍运输、影响边沟施工。
- c) 供水控制：水池总输出管上应设总闸阀；主管沿线应每隔 300~500m 装分闸阀。
- d) 管路敷设：供水管路应敷设牢固、平顺，接头严密，不漏水。
- e) 前端距离：洞内水管前端至开挖掌子面宜保持 30m，并用高压软管连接分水器。洞内软管长度应 $\leq 50\text{m}$ ；分水器与凿岩机间连接的胶皮管长度应 $\leq 15\text{m}$ 。应采取避免爆破飞石损坏水管。
- f) 供水管理：供水管使用中，应有专人负责检查、养护。冬期应设置管道保温设施。

### 13.4 施工供风

13.4.1 水工隧洞开挖施工中，配置的空气压缩机组，应设在洞口附近，当有多个洞口需集中供风时，可选在方便各水工隧洞开挖施工洞口供风的适中位置。减少洞外管路长度，防止风压损失过多。长隧道及特长隧道可将空气压缩机布设在洞内适当位置。

13.4.2 水工隧洞开挖施工空气压缩机组，应设置防水、降温和防雷击设施。压力表和安全阀应定期维护保养，校验次数，应 $\geq 1$ 次/年。

13.4.3 水工隧洞开挖施工空气压缩机，应能满足同时工作的各种风动机具最大耗风量和供风风压的要求。配置时，应考虑空气压缩机的工作效率和分风及管路造成的风量、风压损失。

13.4.4 水工隧洞开挖施工掌子面使用风压应 $\geq 0.5$ MPa，高压风管的直径应根据最大送风量、风管长度、闸阀等计算确定。

13.4.5 水工隧洞开挖施工空气压缩机供风常用的风动机械，主要包括凿岩机、风钻台车、装渣机、喷射混凝土机具、锻钎机、压浆机等设备。

13.4.6 水工隧洞开挖施工空气压缩机械同时工作系数K值，应符合表27规定。

表27 同时工作系数 K 值表

机具实型	凿岩机		装渣机		锻钎机	
同时工作	1~10	11~30	1~2	同时工作	1~10	11~30
K	1.00~0.85	0.85~0.75	1.00~0.75	K	1.00~0.85	0.85~0.75

13.4.7 水工隧洞移动式空压机使用，应符合下列规定：

- 设置位置：移动空压机宜设置在隧道紧急停车带、设备洞、横通道等对隧道施工干扰小的地方，应设置隔离和警示标牌。
- 设备固定：移动式空气压缩机，应采取制动和机身稳定措施予以固定。
- 管道敷设：输风管应直铺，尽量避免急弯。
- 送风要求：开启送气总阀前，应通知用气地点的工作人员；设备移动位置前，应切断电源；停止工作时，应先关闭负荷，再行停车。

13.4.8 水工隧洞开挖施工空气压缩机高压风管路安装使用，应符合下列规定：

- 风管检查：安装前，应对高压风管进行检查，有裂纹、创伤、凹陷等不得使用，管内不应保留有残余物和其他脏物。
- 架设位置：洞内高压风管应与电缆电线分开敷设，在两侧分开设置。
- 供风控制：在空气压缩机组总输出管上应设总闸阀；主管上每隔 300~500m 应装分闸阀。
- 油水分离：高压风管长度 $\geq 1000$ m 时，应在管路最低处设置油水分离器，定时放出管中的积油和积水。
- 管路敷设：管路应敷设牢固、平顺，接头严密，不漏风；高压风管不应妨碍运输、影响边沟施工。
- 前端距离：高压风管前端至开挖面距离应 $< 30$ m，并用高压软管连接分风器，通向上导坑开挖面使用的软管长度应 $< 50$ m。分风器与凿岩机间连接的胶皮管长度应 $< 15$ m。应加强对风管的保护，避免爆破飞石的损坏。
- 辅助配件：洞外，当高压风管长度超过 100m 和温度变化较大时宜安装伸缩器；距离空气压缩机 150m 长度范围内，风管法兰盘接头宜用石棉衬垫。
- 供风管理：高压风管使用中，应设专人负责检查、养护。

## 14 水工隧洞质量验收

14.1 水工隧洞工程施工质量控制与验收，应按国家及行业现行标准 SL 176 有关规定执行。

14.2 施工现场质量管理应依据施工技术标准，健全质量管理体系，完善施工质量检验制度。

14.3 施工过程中，应对原材料应分期、分批取样检验。混凝土拌和配合比，应根据粗、细骨料含水量，随时抽检复查，及时调整、控制水灰比。

14.4 施工中的各道工序，应严格执行“施工质量三检制”，前一道工序未验收合格，不得进行下一道工序施工。

14.5 水工隧洞工程验收，应符合国家及行业现行标准相关规定。

14.6 从施水工隧洞工开始到工程竣工,所有施工质量控制和检查的资料,应随时记录在案,登记造册,整理归档,妥善保管。

---