

# 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：
- 引测长度：引测路线长度，应 $<50\text{m}$ 。
  - 仪器等级：水准仪等级应为DS1、DS3、DSZ1、DSZ3等级。
  - 观测次数，应观测2个测回，往返各观测1次。
  - 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。
  - 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：
- 引测长度：引测路线长度，应 $<16\text{m}$ 。
  - 仪器等级：水准仪等级，应为DS3、DSZ3等级。
  - 观测次数：观测次数，应观测2个测回，往返各观测1次。
  - 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：
- 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。
  - 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。
  - 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 $1.0\text{m}\times 1.0\text{m}\times 0.2\text{m}$ 。
  - 混凝土强度等级：水准点梯形柱体混凝土强度等级，应 $>C25$ 。
  - 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。
  - 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。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：
- 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 $\leq 70\text{mm}$ 。
  - 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:
- 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。
  - 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。
  - 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:
- 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。
  - 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。
  - 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:
- 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。
  - 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 200~250m, 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 50m、曲线洞段每隔 20m 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:
- 隧洞总净宽: 应 > 设计值, 曲线每隔 20m、直线每隔 40m 检查 1 处。
  - 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。
  - 隧洞净高度: 应 > 设计值, 曲线每隔 20m、直线每隔 40m 测 1 断面。每断面拱顶和拱腰测 3 点。
  - 隧洞偏离度: 应  $\leq 20\text{mm}$ , 曲线每隔 20m、直线每隔 40m 检查 1 处。
  - 边仰坡坡度: 应  $\leq$  设计值, 边坡、仰坡的坡度检查 10 处。
  - 隧洞车道宽: 应为  $\pm 10\text{mm}$ , 曲线每隔 20m、直线每隔 40m 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。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/487052110050010010>