

中华人民共和国水利行业标准

**SL 279—2016**

替代 SL 279—2002

# 水工隧洞设计规范

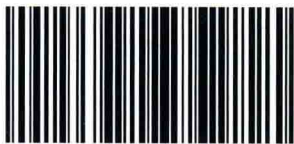
Specification for design of hydraulic tunnel

6-04-26 发布

2016-07-26 实施



中华人民共和国水利部 发布



155170.268

中华人民共和国水利行业标准

水工隧洞设计规范

SL 279—2016

\*

中国水利水电出版社出版发行

(北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038)

网址: www.waterpub.com.cn

E-mail: sales@waterpub.com.cn

电话: (010) 68367658 (发行部)

北京科水图书销售中心(零售)

电话: (010) 88383994、63202643、68545874

全国各地新华书店和相关出版物销售网点经销

北京瑞斯通印务发展有限公司印刷

\*

140mm×203mm 32开本 4.625印张 124千字

2016年5月第1版 2016年5月第1次印刷

\*

书号 155170·268

定价 46.00元

水利水电技术标准  
咨询服务中心微信二维码, 扫一扫  
信息更多、服务更快凡购买我社规程, 如有缺页、倒页、脱页的,  
本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

中华人民共和国

关于批准发布水利行业标准的公告  
(水工隧洞设计规范)

2016 年第 12 号

中华人民共和国水利部批准《水工隧洞设计规范》  
(SL 279—2016)为水利行业标准，现予以公布。

序号	标准名称	标准编号	替代标准号	发布日期	实施日期
1	水工隧洞设计规范	SL 279—2016	SL 279—2002	2016. 4. 26	2016. 7. 26

水利部

2016 年 4 月 26 日

# 前 言

根据水利技术标准制修订计划安排，按照 SL 1—2014《水利技术标准编写规定》的要求，对 SL 279—2002《水工隧洞设计规范》进行修订。

本标准共 11 章和 4 个附录，主要技术内容有：

- 基本资料；
- 隧洞布置；
- 隧洞压力状态及洞型尺寸；
- 隧洞水力设计；
- 土洞设计；
- 不良地质洞段设计；
- 隧洞支护与衬砌；
- 隧洞灌浆、防渗和排水；
- 隧洞运行和维修。

本次修订的主要技术内容有：

- 增加了术语、符号；
- 增加了掘进机相关设计内容；
- 增加了钢筋混凝土衬砌结构承载能力极限状态计算和正常使用极限状态验算；
- 取消了钢筋混凝土衬砌结构抗裂设计相关内容；
- 修改了封堵体抗滑稳定计算方法；
- 增加了水工隧洞水头损失计算；
- 增加了混凝土衬砌裂缝宽度计算；
- 取消了圆形有压隧洞衬砌结构计算；
- 取消了灌浆式预应力衬砌的结构计算。

本标准中的强制性条文有：5.1.2 条 1 款和 2 款、9.8.8 条、10.1.1 条。以黑体字标示，必须严格执行。

本标准所替代标准的历次版本为：

——SD 134—84

——SL 279—2002

本标准批准部门：中华人民共和国水利部

本标准主持机构：水利部水利水电规划设计总院

本标准解释单位：水利部水利水电规划设计总院

本标准主编单位：中水东北勘测设计研究有限责任公司

本标准出版、发行单位：中国水利水电出版社

本标准主要起草人：金正浩 宋守平 范景春 张建辉

郑军 于生波 李欢 程玉姣

吕宏飞 刘洋 王超 付欣

刘杉 郑玉玲 刘锋 董延超

姜树立 李军 王琛 顾一新

本标准审查会议技术负责人：温续余

本标准体例格式审查人：张平

本标准在执行过程中，请各单位注意总结经验，积累资料，随时将有关意见和建议反馈给水利部国际合作与科技司（通信地址：北京市西城区白广路二条2号；邮政编码：100053；电话：010-63204565；电子邮箱：bzh@mwr.gov.cn），以供今后修订时参考。

# 目 次

1	总则	1
2	术语与符号	3
2.1	术语	3
2.2	符号	4
3	基本资料	5
4	隧洞布置	7
4.1	洞线选择	7
4.2	进出口布置	10
4.3	多用途隧洞的布置	11
5	隧洞压力状态及洞型尺寸	13
5.1	压力状态选择	13
5.2	横断面形状	13
5.3	横断面尺寸	14
6	隧洞水力设计	16
6.1	计算原则	16
6.2	高流速的防空蚀设计	17
7	土洞设计	18
7.1	土洞支护与衬砌	18
7.2	土洞衬砌分缝及防渗止水	19
8	不良地质洞段设计	20
9	隧洞支护与衬砌	23
9.1	一般规定	23
9.2	荷载和荷载组合	24
9.3	混凝土和钢筋混凝土衬砌	25
9.4	预应力混凝土衬砌	26
9.5	不衬砌与锚喷衬砌隧洞	28

9.6	钢筋混凝土岔洞设计 .....	30
9.7	衬砌的分缝 .....	30
9.8	挡水封堵体设计 .....	31
10	隧洞灌浆、防渗和排水 .....	34
10.1	灌浆 .....	34
10.2	防渗和排水 .....	35
11	隧洞运行和维修 .....	36
附录 A	水工隧洞水头损失计算 .....	37
附录 B	高流速防空蚀设计 .....	46
附录 C	外水压力计算方法及折减系数 .....	48
附录 D	混凝土衬砌裂缝宽度计算 .....	50
	标准用词说明 .....	53
	标准历次版本编写者信息 .....	54
	条文说明 .....	55

# 1 总 则

**1.0.1** 为规范水工隧洞设计，做到安全适用、经济合理、技术先进，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于水利水电工程中的 1 级、2 级、3 级水工隧洞设计。本标准不适用于岩、土体中钢板衬砌的水工隧洞设计。

**1.0.3** 水工隧洞级别划分应按 GB 50201《防洪标准》和 SL 252《水利水电工程等级划分及洪水标准》的相关规定执行。对于下列情况，经论证可提高或降低级别：

1 地质条件特别复杂、水头和流速特别高以及失事后可能造成严重损失的 2 级、3 级隧洞可提高一级。

2 低水头、低流速失事后不致造成严重损失的隧洞，可降低一级。

**1.0.4** 水工隧洞安全监测设计应符合 SL 725《水利水电工程安全监测设计规范》的相关要求。

**1.0.5** 水工隧洞设计应满足工程总体规划和环境保护要求。

**1.0.6** 本标准主要引用下列标准：

GB/T 21120 水泥混凝土和砂浆用合成纤维

GB 50086 锚杆喷射混凝土支护技术规范

GB/T 50145 土的工程分类标准

GB 50201 防洪标准

GB 50487 水利水电工程地质勘察规范

SL 62 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范

SL 74 水利水电工程钢闸门设计规范

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 252 水利水电工程等级划分及洪水标准

SL 253 溢洪道设计规范



SL 285 水利水电工程进水口设计规范

SL 377 水利水电工程锚喷支护技术规范

SL 725 水利水电工程安全监测设计规范

DL/T 5207 水工建筑物抗冲磨防空蚀混凝土技术规范

**1.0.7** 水工隧洞设计除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术语与符号

### 2.1 术 语

#### 2.1.1 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。

#### 2.1.2 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。

#### 2.1.3 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。

#### 2.1.4 隧洞衬砌 tunnel lining

保证隧洞围岩稳定及洞内良好水流条件的衬护结构。

#### 2.1.5 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。

#### 2.1.6 不衬砌隧洞 unlined tunnel

内壁大部分不衬护的水工隧洞。

#### 2.1.7 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。

#### 2.1.8 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。

#### 2.1.9 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。

#### 2.1.10 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。

#### 2.1.11 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。

### 2.1.12 收敛变形 convergent deformation

地下洞室周边两测点间实测位移值。

## 2.2 符 号

### 2.2.1 几何参数

$A_i$ ——除顶拱部位外，封堵体底面、侧面与围岩或混凝土接触面的面积；

$C_{RM}$ ——岩体最小覆盖厚度；

$\alpha$ ——河谷岸边边坡倾角；

$b$ ——隧洞开挖宽度；

$h$ ——隧洞开挖高度。

### 2.2.2 物理力学参数

$C'$ ——混凝土与围岩或混凝土与混凝土的抗剪断凝聚力；

$f'$ ——混凝土与围岩或混凝土与混凝土的抗剪断摩擦系数；

$q_h$ ——水平均布围岩压力；

$q_v$ ——垂直均布围岩压力；

$\gamma_R$ ——岩体重度；

$\gamma_w$ ——水的重度。

### 2.2.3 作用及作用效应

$h_s$ ——洞内静水压力水头；

$K$ ——安全系数；

$F$ ——经验系数；

$R$ ——承载力设计值；

$S$ ——荷载效应设计值；

$\Sigma P$ ——封堵体承受的全部荷载效应对滑动面的切向分值；

$\Sigma W$ ——封堵体承受的全部荷载效应对滑动面的法向分值；

$\lambda_i$ ——除顶拱部位外，封堵体底面、侧面与围岩或混凝土接触面的有效面积系数。

## 3 基本资料

**3.0.1** 水工隧洞设计应根据工程布置、隧洞用途、施工条件和设计阶段的要求，收集下列基本资料：

- 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、调度运行方式、河道取（用）水原则等；
- 区域地质资料，地震基本烈度；
- 有关的水文、气象资料及水文设计成果，建筑材料及施工方法，机电设备以及调压（减泄压）设施、压力钢管、闸门（阀）设置等；
- 隧洞区的环境保护要求、水土保持要求、文物古迹、矿产资源等。

**3.0.2** 水工隧洞设计应根据不同设计阶段掌握隧洞地区下列基本地质情况：

- 隧洞沿线的工程地质情况，如岩（土）层分界、产状、性质和主要地质构造，围岩的分类及主要物理、力学参数等；
- 隧洞沿线的水文地质情况，如地下水位、水温和水化学成分，特别是涌水量丰富的含水层、溶洞、透水带及与地表溪沟连通的断层、破碎带等；
- 进出口成洞条件及洞脸边坡的稳定性；
- 地应力、地温、岩爆、有害气体和放射性元素等；
- 不良工程地质问题的预测。

**3.0.3** 水工隧洞的地质勘察工作应按 GB 50487 的相关规定执行。

**3.0.4** 对 1 级、2 级水工隧洞和洞线区有不良地质问题的水工隧洞，应根据各设计阶段的不同要求，在现场选择有代表性的地

段进行有关的试验、测试工作。设计人员应根据设计需要及相关标准会同地质人员共同提出试验、测试要求。

**3.0.5** 水工隧洞的围岩分类，岩洞应按 GB 50487 的规定执行，土洞应按 GB/T 50145 的规定执行。

**3.0.6** 深埋长隧洞开挖过程中，应加强地质预报（预测）或超前勘探，并应根据地质预报（预测）或超前勘探情况适时调整或修改设计参数。

**3.0.7** 水工隧洞开挖后，设计人员应及时掌握隧洞各部位地质条件的变化情况，及时复核、补充或修改设计。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。

## 4 隧洞布置

### 4.1 洞线选择

**4.1.1** 水工隧洞的线路应根据隧洞的用途及特点，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、运行等各种因素，通过技术经济比较选定。

**4.1.2** 在满足工程总布置要求的条件下，洞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，并应满足下列要求：

1 洞线与岩层、构造断裂面及主要软弱带走向宜有较大的交角。对整体块状结构岩体及厚层并胶结紧密、岩石坚硬完整的岩体，交角不宜小于  $30^\circ$ ；对薄层岩体，特别是层间结合疏松的陡倾角薄岩层，交角不宜小于  $45^\circ$ 。

2 隧洞通过较大地质构造带时，洞线布置应根据不利构造及其组合对隧洞围岩稳定的影响程度，并考虑施工、运行、工期、投资等各种因素，通过技术经济比较后确定。

3 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，应考虑地下水活动对围岩稳定的影响。洞线宜避开可能造成地表水强补给的冲沟。

4 洞线布置宜避开强岩溶地区。

5 在高地应力区，水工隧洞的轴线方向宜与最大水平地应力方向有较小交角。

**4.1.3** 洞线选择应对可能出现的局部不稳定岩体进行分析、预测，采取适宜的工程措施。

**4.1.4** 水工隧洞垂直和侧向岩体最小覆盖厚度，见图 4.1.4，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分析确定，并应符合下列规定：

1 隧洞进、出口和无压隧洞洞身，当采取合理的施工程序和工程措施，保证施工期及运行期安全时，对岩体最小覆盖厚度可不作具体的规定。

2 有压隧洞洞身的岩体最小覆盖厚度可按式 (4.1.4) 计算，必要时应采用有限元分析确定：

$$C_{RM} = \frac{F\gamma_w h_s}{\gamma_R \cos\alpha} \quad (4.1.4)$$

式中  $C_{RM}$ ——岩体最小覆盖厚度 (不包括全、强风化厚度)，m；

$h_s$ ——洞内静水压力水头，m；

$\gamma_w$ ——水的容重， $\text{kN/m}^3$ ；

$\gamma_R$ ——岩体容重， $\text{kN/m}^3$ ；

$\alpha$ ——河谷岸边边坡倾角， $(^\circ)$ ，当  $\alpha > 60^\circ$  时，取  $\alpha = 60^\circ$ ；

$F$ ——经验系数，可取 1.3~1.5。

3 有压隧洞岩体的最小覆盖厚度应保证围岩不产生渗透失稳和水力劈裂，围岩渗透水力梯度应满足渗透稳定的要求。



图 4.1.4 有压隧洞围岩覆盖厚度

4 高压隧洞除满足 2 款、3 款规定外，尚应满足

洞内最大内水压力小于围岩最小地应力要求，必要时进行有限元分析计算。

4.1.5 相邻隧洞之间的岩体厚度，应根据布置需要、地质条件、围岩应力和变形情况、隧洞断面形状和尺寸、施工方法和运行条件等综合分析确定，并应保证隧洞之间岩体运行期不发生渗透失稳和水力劈裂，其厚度不宜小于 2 倍开挖洞径 (或洞宽)，确因布置需要，经论证岩体厚度可适当减少，但不应小于 1 倍开挖洞径 (或洞宽)。

4.1.6 洞线布置宜避免与相邻建筑物间的不利影响。当隧洞穿过坝基、坝肩或其他建筑物基础时，建筑物的基础与隧洞之间的

厚度应满足结构和防渗等要求。

**4.1.7** 洞线遇有沟谷时，可根据地形、地质、水文和施工条件，进行绕沟和跨沟方案的技术经济比较。当采用跨沟方案时，应合理选择跨沟方式、跨沟位置，对跨沟建筑物与隧洞的连接部位及不稳定的沟谷边坡等，应加强工程措施。

**4.1.8** 沿河傍山地段的土洞布置，应避免产生偏压，并应防止水流冲刷山体及滑坡。

**4.1.9** 洞线在平面上宜布置为直线。当需要设置弯段时，应符合下列要求：

1 低流速无压隧洞采用曲线布置时，弯曲半径不宜小于5倍的洞径或洞宽，转角不宜大于 $60^{\circ}$ 。低流速有压隧洞可适当降低要求，弯曲半径不宜小于3倍洞径或洞宽，转角不宜大于 $60^{\circ}$ 。

2 高流速无压隧洞不应设置曲线段。高流速有压隧洞设置曲线段时，弯曲半径和转角宜通过试验确定。

3 在弯道的首尾应设置直线段，长度不宜小于5倍的洞径或洞宽。

**4.1.10** 洞身段设置竖向曲线时，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不宜小于5倍的洞径或洞宽，低流速有压隧洞可适当降低要求。

**4.1.11** 水工隧洞设置平面或竖向曲线时，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。

**4.1.12** 隧洞的纵坡可根据运行要求、水力学条件、沿线建筑物的基础高程、上下游的衔接、施工和检修条件等确定，并应满足下列要求：

1 应满足不淤流速的要求。

2 沿程纵坡不宜变化过多。

3 不宜设置平坡、反坡，当布置需要时，应考虑检修排水措施。

4 长灌溉隧洞和长供水（调水）隧洞的纵坡应考虑沿程分水（取水）设施的布置要求。



**4.1.13** 排沙隧洞的平面和竖向的转弯曲线、转弯角度、纵坡坡度宜通过水工模型试验确定。

**4.1.14** 隧洞设置施工支洞时，支洞的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，通过技术经济比较确定。地质条件较差时，应研究施工支洞对主洞的影响。

**4.1.15** 采用掘进机施工时，洞线的布置宜避开制约掘进机施工的地质区域。

## 4.2 进出口布置

**4.2.1** 进出口布置应根据工程总体布置及地形地质条件等因素综合确定，并应满足下列要求：

- 1 应满足使用功能和运行安全的要求。
- 2 应使水流顺畅，进流均匀，出流平稳。
- 3 应满足防淤、防冰、防冲及防污等要求。
- 4 应考虑闸门、拦污、清淤等设备的设置和对外交通要求。

**4.2.2** 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。

**4.2.3** 进出口洞脸和两侧边坡宜避免高边坡开挖。应根据开挖后的边坡稳定分析，采取相应的加固和防水、排水措施。

**4.2.4** 进出口应设置必要的清坡范围，并采取适当的工程措施，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，影响其正常运行。

**4.2.5** 土洞洞口应布置在山坡稳定、土质条件较好地区。土洞洞口的设计边坡，应视土质和开挖高度，通过边坡稳定分析确定。

**4.2.6** 土洞洞口与渡槽、岩洞等建筑物连接处应设永久缝。在严寒和寒冷地区，洞口基础埋深应满足防冻要求。

**4.2.7** 泄水隧洞的出口设计应符合下列要求：