

DB61

陕 西 省 地 方 标 准

DB 61/T 1801—2023

水工隧洞外水压力确定与应对技术规范

Technical specifications for determination and response of external hydraulic
pressure of hydraulic tunnel

2023 - 12 - 28 发布

2024 - 01 - 28 实施

陕西省市场监督管理局 发布

目 次

前 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本要求 2

5 水文地质分区 2

6 外水压力确定 3

7 外水压力应对 4

附录 A （规范性） 外水压力计算方法..... 6

附录 B （规范性） 排水孔设计计算..... 9

参 考 文 献 11

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。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。 本文件由陕西省水利厅提出并归口。

本文件起草单位：陕西省引汉济渭工程建设有限公司、中铁第一勘察设计院集团有限公司、中国水利水电科学研究院、中铁十七局集团有限公司。

本文件主要起草人：董鹏、刘赫、田养军、魏军政、张昕、王博、曹瑞琅、李凌志、王智阳、李立民、陈方、李雄、薛永庆、张鹏。

本文件首次发布。

本文件由陕西省引汉济渭工程建设有限公司负责解释。

联系信息如下：

单位：陕西省引汉济渭工程建设有限公司电

话：029-86326789

地址：陕西省西安市未央区浐灞大道2021号

邮编：710024

水工隧洞外水压力确定与应对技术规范

1 范围

本文件规定了水工隧洞水文地质分区、外水压力确定及应对的要求。
本文件适用于无压水工隧洞外水压力的确定及应对措施。

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。

- SL 31 水利水电工程钻孔压水试验规程
- SL 279 水工隧洞设计规范
- SL/T 291 水利水电工程钻探规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

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。

3.2

一次衬砌 first lining
隧洞开挖后及时施做的支护结构，也称初期支护。

3.3

二次衬砌 secondary lining
在初期支护内侧施作的模筑混凝土或钢筋混凝土衬砌。

3.4

地下水 groundwater
埋藏于地表以下的各种形式的重力水。

3.5

地下水位 groundwater level
地下水相对于基准面的高程。

3.6

渗透系数 permeability coefficient

在各向同性介质中，单位水力梯度下的单位流量，表示流体通过孔隙骨架的难易程度。

3.7

水文地质分区 hydrogeological division

按水文地质条件的差异性而划分的若干个块段。

3.8

初始压力水头 initial pressure head

隧洞开挖扰动之前地下水流场环境下，地下水位线至隧洞中心的作用水头。

3.9

外水压力 external hydraulic pressure

作用在隧洞结构的地下水压力。

3.10

钻孔压水试验 water pressure test in borehole

用栓塞将钻孔隔离出一定长度的孔段，并向该孔段压水，根据压力与流量的关系确定岩体渗透特性的一种原位渗透试验。

[来源:SL31-2003,2.1.1]

3.11

排水孔 drain hole

为降低渗流压力而设置的钻孔，其内可布设滤渣装置。

4 基本要求

- 4.1 应在搜集工程区域地质资料，进行现场调查的基础上，确定水文地质分区。
- 4.2 水工隧洞外水压力应结合工程现场实测数据定量分析计算确定。
- 4.3 水工隧洞外水压力应根据施工安全、处置效果、技术经济等因素，确定应对措施。
- 4.4 对于穿越岩溶区、江河湖泊区域的隧洞，应进行专项研究。
- 4.5 钻孔压水试验应符合 SL 31 的相关规定。

5 水文地质分区

5.1 一般要求

- 5.1.1 根据水文地质特征将隧洞和水环境相互影响区域划分为若干水文地质分区。
- 5.1.2 应按照先流域、后区域，并结合不同区块水文地质条件进行分区。
- 5.1.3 水文地质分区具有明确的地下水补给、径流、排泄边界。

5.2 水文地质勘察

5.2.1 水文地质勘察应收集区域地质资料、区域水文地质资料和区域气象资料。

5.2.2 水文地质勘察应采用多种方法进行综合勘探，包括地下水的水位、流向和渗透系数，以及断层、裂隙带、岩脉等的产状和位置，含水层的宽度和厚度等。

5.2.3 水文地质勘察应包括：工程场地及周边的水文地质资料搜集、水文地质调查、勘探和测试、地下水动态观测、现场水文地质试验、水文地质评价。

5.2.4 水文地质分区勘察应包括：含水层的岩性和结构、分布范围、地下水类型、含水层之间的水力联系以及补给、径流、排泄条件；地下水动态，分析地下水位变化特征；分析地下水对水工隧洞的影响，预测水压力和隧洞涌水量。

5.2.5 水文地质勘探钻孔布置应符合 SL/T 291 的要求。

5.2.6 水文地质参数应在分析勘察水文地质条件的基础上确定，宜包括渗透系数、给水度、释水系数和降水入渗系数等。

5.3 分区边界条件

5.3.1 水文地质分区应结合下列条件确定：

- a) 区域气象、水文；
- b) 地下水初始水文与动态特征；
- c) 含水层的岩性、结构、分布范围和埋藏条件；
- d) 区域地下水类型及补给、径流、排泄条件，地下水与地表水体之间的水力联系特征；
- e) 地下水控制影响范围内各含水层、含水层与隔水层之间的水力联系特征；
- f) 水文地质参数。

5.3.2 水文地质分区的范围应根据水文地质边界来确定。分区长度应结合隧洞长度、埋深、水文地质条件复杂程度等确定，一个分区不宜大于 10 km。

5.3.3 水文地质分区的边界宜选择为：

- a) 地下水分水岭；
- b) 阻水断层、隔水岩层等地质边界；
- c) 可构成定水头补给的河流、湖泊等水文边界；
- d) 抽水井、注水井和防渗体等人工边界；
- e) 地下水环境和水工隧洞建设相互影响很小的区域边界。

5.3.4 水文地质分区边界应考虑外围水环境变化的影响，边界条件可动态调整。

5.3.5 复杂地质构造地区，水文地质分区的边界可通过数值模拟反演分析进行确定。

5.3.6 岩溶地区，可根据岩溶区不同水动力条件进行分区。

6 外水压力确定

6.1 一般要求

6.1.1 水工隧洞结构应在水文地质分区的基础上考虑外水压力影响。

6.1.2 外水压力应根据环境、地下水的类型、水头高度、水量大小、水力联系、隧洞结构型式、堵排水措施等因素确定。

6.1.3 水工隧洞埋深较大时，宜对典型断面外水压力进行现场监测。

6.1.4 穿越岩溶区的隧洞，应根据隧洞所处的岩溶、径流带类型等进行专项研究。

6.1.5 穿越江河湖泊区域的隧洞，应根据隧洞所处的江河湖泊区域的水头、岩性、埋深等进行专项研究。

6.2 外水压力确定方法

6.2.1 外水压力可按照附录 A 计算。

6.2.2 施工期地下水头不高的水工隧洞，应根据 SL 279 按折减系数法选取。

6.2.3 水头高度小于 50 m 的过江、过河洞段，外水压力可考虑全水头高度。

6.2.4 水文地质简单、岩体完整的区段，锚喷衬砌可不考虑外水压力。

注：锚喷衬砌——采用锚杆、喷射混凝土加固岩体的技术措施。

6.2.5 无地质构造带、节理密集带影响的区段，二次衬砌的外水压力应通过实际监测选取，缺乏监测资料，设置了可靠的排水措施时，可按 3 m~15 m 计算分析。

6.2.6 地质构造带、节理密集带影响的区段，应进行专项研究。

7 外水压力应对

7.1 一般要求

7.1.1 应根据隧洞围岩的工程地质、水文地质、结构形式、环保、水保、运行等要求确定隧洞的堵水和排水措施。

7.1.2 有条件的洞段应设置泄压排水系统。

7.1.3 排水措施应在灌浆结束后及时完成。

7.2 灌浆

7.2.1 隧洞堵水灌浆一般包括固结灌浆、帷幕灌浆、径向灌浆、局部灌浆等。采用帷幕灌浆、全断面径向灌浆的区段，宜结合灌浆圈的厚度要求，可取代固结灌浆。

7.2.2 有二次衬砌的隧洞，应进行回填灌浆。

7.2.3 I、II、III类围岩可不进行固结灌浆；IV、V类围岩，应进行固结灌浆。

7.2.4 灌浆方案应根据工程地质及水文地质条件制定，并应符合下列要求：

- a) 工程开挖前，预计涌水量大的洞段、断层破碎带和软弱地层，应采用预灌浆；开挖后有大股涌水或大面积渗漏水时，应采用衬砌前围岩灌浆；
- b) 衬砌后或回填灌浆后仍有渗漏水时，宜再采用衬砌后围岩灌浆，设置了可靠排水系统后可衬砌内注浆。

7.2.5 涌水量大的洞段应进行径向灌浆后施工，局部涌水段落可进行局部灌浆。

7.2.6 水量、水压较大，水量衰减不明显的洞段，超前预报前方富水量较大洞段，宜结合工程地质及水文地质条件，采用超前围岩预灌浆、超前帷幕灌浆措施。

7.2.7 水量、水压较大，水量衰减较快洞段，可结合工程地质及水文地质条件，采用径向灌浆措施。

7.2.8 预灌浆钻孔的孔数、布孔方式及钻孔角度等，应根据岩层裂隙状态、地下水情况、设备能力、浆液有效扩散半径、钻孔偏斜率和对灌浆效果的要求等确定。

7.2.9 衬砌前围岩灌浆深度宜为 3 m~5 m，应在软弱地层或水量较大处布孔。

7.2.10 岩石地层预灌浆的压力，应高于隧洞最大静水压力 0.5 MPa~1.5 MPa。

7.2.11 固结灌浆圈厚度宜不大于 6 m，其参数可按工程类比或现场试验确定。排距宜为 2 m~4 m，每排不宜少于 6 孔，终孔直径不宜小于 38 mm，相邻排之间应交错布置。入岩深度应根据围岩情况分析确定，不宜小于 0.5 倍洞径或洞宽。

7.2.12 回填灌浆宜为拱部 $90^{\circ}\sim 120^{\circ}$ 范围,孔距和排距宜为 3 m~6 m,混凝土衬砌的灌浆压力可采用 0.2 MPa~0.3 MPa,钢筋混凝土衬砌的灌浆压力可采用 0.3 MPa~0.5 MPa。

7.2.13 固结灌浆压力宜为 1 倍~2 倍的洞内静水压力;高水头隧洞的灌浆压力应根据工程要求和围岩地质条件经灌浆试验后确定。

7.2.14 灌浆孔穿过钢筋混凝土衬砌时,宜在混凝土中预埋灌浆管或导向管,预埋管应位置准确、固定牢靠、标识清晰。

7.2.15 回填灌浆应在衬砌混凝土达到 70 %设计强度后进行,固结灌浆宜在该部位的回填灌浆结束 7 d 后进行。

7.3 排水减压

7.3.1 允许排放时,设置二次衬砌的洞段应设置排水孔,排水孔宜采用梅花型布置,其位置、孔径、间距、孔深、数量应根据围岩特性、灌浆设计、水量大小、水力联系等确定。

7.3.2 排水孔宜设置在高于洞内水面线以上。

7.3.3 在“堵排结合”的高水头洞段,应提高排水孔的排水能力。

7.3.4 排水孔的孔径、数量、排水能力可按照附录 B 计算。

7.3.5 地下水易产生结晶的洞段,可采用排水孔防结晶措施。

7.3.6 排水孔深度应根据工程地质条件、水文地质条件、结构形式、断面尺寸等因素确定,宜采用 2 m~4 m,且小于固结灌浆圈厚度 0.5 m。

7.3.7 围岩裂隙发育并夹有充填物时,应在排水孔中设置反滤装置。

7.3.8 二次衬砌施工时,宜在混凝土中预埋排水管或导向管并及时进行排水孔施工。

附 录 A
(规范性)
外水压力计算方法

A.1 外水压力计算方法

设计衬砌结构应采用合理的外水压力计算方法，在初步给定灌浆圈和隧洞衬砌尺寸和参数情况下可参照公式 (A.1) ~ (A.5) 进行衬砌外水压力计算。

二次衬砌外水压力 P_1 、一次衬砌外水压力 P_2 和灌浆层外水压力 P_3 分别为：

$$P_1 = \gamma_w \left[H_1 \frac{\frac{k_1}{k_4} \ln \frac{r_4}{r_3} + \frac{k_1}{k_3} \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{k_1}{k_2} \ln \frac{r_2}{r_1}}{\frac{k_1}{k_4} \ln \frac{r_4}{r_3} + \frac{k_1}{k_3} \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{k_1}{k_2} \ln \frac{r_2}{r_1} + \ln \frac{r_1}{r_0}} \right] \quad (\text{A.1})$$

$$P_2 = \gamma_w \left[H_1 \frac{\frac{k_1}{k_4} \ln \frac{r_4}{r_3} + \frac{k_1}{k_3} \ln \frac{r_3}{r_2}}{\frac{k_1}{k_4} \ln \frac{r_4}{r_3} + \frac{k_1}{k_3} \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{k_1}{k_2} \ln \frac{r_2}{r_1} + \ln \frac{r_1}{r_0}} \right] \quad (\text{A.2})$$

$$P_3 = \gamma_w \left[H_1 \frac{\frac{k_1}{k_4} \ln \frac{r_4}{r_3}}{\frac{k_1}{k_4} \ln \frac{r_4}{r_3} + \frac{k_1}{k_3} \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{k_1}{k_2} \ln \frac{r_2}{r_1} + \ln \frac{r_1}{r_0}} \right] \quad (\text{A.3})$$

不设置灌浆层时， P_1 和 P_2 分别为：

$$P_1 = \gamma_w \left[H_1 \frac{\frac{k_1}{k_2} \ln \frac{r_2}{r_1}}{\frac{k_1}{k_4} \ln \frac{r_4}{r_2} + \frac{k_1}{k_2} \ln \frac{r_2}{r_1} + \ln \frac{r_1}{r_0}} \right] \quad (\text{A.4})$$

$$P_2 = \gamma_w \left[H_1 \frac{\frac{k_1}{k_2} \ln \frac{r_2}{r_1}}{\frac{k_1}{k_4} \ln \frac{r_4}{r_2} + \frac{k_1}{k_2} \ln \frac{r_2}{r_1} + \ln \frac{r_1}{r_0}} \right] \quad (\text{A.5})$$

式中：

P_1 、 P_2 、 P_3 ——分别表示二次衬砌外水压力、一次衬砌外水压力、灌浆层外水压力 (Pa)；

γ_w ——水的重度 (10 kN/m³)；

- H_1 ——隧洞中心轴位置水头值 (m);
- r_0 ——隧洞内径 (m);
- r_1 ——二次衬砌外半径 (m);
- r_2 ——一次衬砌外半径 (m);
- r_3 ——灌浆层外半径 (m);
- r_4 ——隧洞开挖后形成稳定渗流场外半径 (m);
- k_1 ——二次衬砌渗透系数 (在设置排水后为等效渗透系数 k_l , m/s);
- k_2 ——一次衬砌衬砌渗透系数 (m/s);
- k_3 ——灌浆层渗透系数 (m/s);
- k_4 ——围岩层渗透系数 (m/s)。

A.2 案例分析

某水工隧洞为无压洞，如图 A.1 所示，内半径为 $r_0 = 5.0$ m，二次衬砌外半径 $r_1 = 5.5$ m，一次衬砌外半径 $r_2 = 6.5$ m，灌浆层外半径 $r_3 = 11.5$ m，地下洞室埋深 100 m，隧道中心水头为 100 m，即 $r_4 = H_1 = 100$ m。岩体渗透系数 k_4 为 5.0×10^{-6} m/s，一次衬砌渗透系数 k_2 为 1.0×10^{-8} m/s，二次衬砌渗透系数 k_1 为 1.0×10^{-9} m/s，灌浆层渗透系数 k_3 为 5.0×10^{-9} m/s。请根据附录 A.1 分析灌浆层厚度的变化对于外水压力的影响。

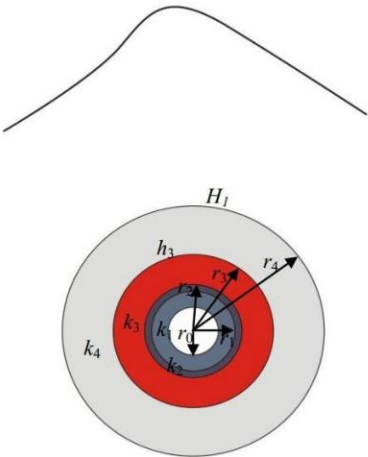


图 A.1 地下水渗流场计算模型

工程中灌浆层厚度一般为变化值，即随着隧洞埋深及外水压力的不同，结合二次衬砌所能承受外水压力值相应进行调整。根据公式 (A.1) ~ (A.3)，得到不同灌浆层厚度衬砌外水压力结果，见图 A.2。随着灌浆层厚度增加，作用于二次衬砌、一次衬砌上的外水压力 P_1 、 P_2 逐渐降低，当灌浆层厚度达到

6.0 m 时， P_1 、 P_2 分别降低至 0.39 MPa、0.46 MPa。同时结果表明，当灌浆层厚度达到一定值后，作用于衬砌上的外水压力值降低减缓，即从工程造价成本上考虑，无限制增加灌浆层厚度并不可取。

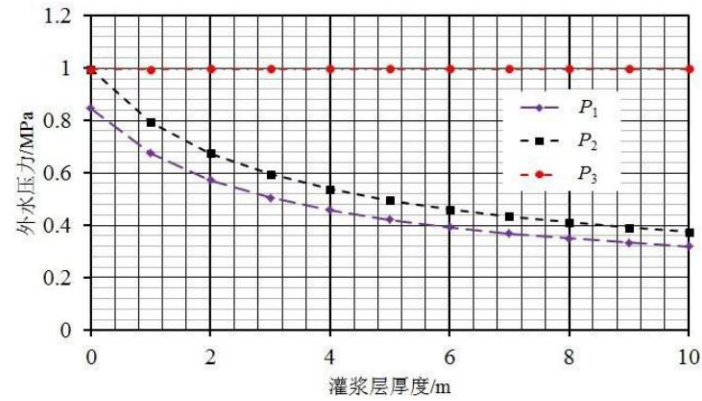


图 A.2 不同灌浆层厚度衬砌外水压力结果

附 录 B
(规范性)
排水孔设计计算

B.1 衬砌等效渗透系数

设置排水孔时，应根据排水孔的孔径、数量和排水能力对衬砌渗透系数进行折减，衬砌等效渗透系数可按公式 (B.1) 计算。

$$k_l = \frac{(\gamma_w H_0 - P_b) \ln \frac{r_l}{r_0}}{\frac{P}{k_r \ln \frac{R_0}{r_g} - \frac{P_b}{k_g \ln \frac{r_g}{r_l}}} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

- k_l ——考虑排水孔后衬砌的等效渗透系数 (m/s)；
- γ_w ——水的重度，10 kN/m³；
- H_0 ——隧洞开挖前洞轴线处的初始压力水头 (m)；
- P_b ——衬砌结构上的允许最大外水压力 (Pa)；
- r_l ——洞室开挖半径 (m)；
- r_0 ——洞室半径 (m)；
- r_g ——灌浆层半径 (m)；
- R_0 ——远场稳定水头半径 (m)；
- k_r ——围岩渗透系数 (m/s)；
- k_g ——灌浆圈渗透系数 (m/s)。

B.2 每延米隧洞渗流量

排水孔的最小排水量不应低于渗流场稳定后每延米隧洞渗流量，每延米隧洞渗流量可按公式 (B.2) 计算。

$$Q_b = \frac{2\pi H_0 k_r}{\ln \frac{R_0}{r_g} + \frac{k_r}{k_g} \ln \frac{r_g}{r_l} + \frac{k_r}{k_l} \ln \frac{r_l}{r_0}} \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

Q_b ——每延米隧洞渗流量 (m^2/s)。

B.3 单个排水孔排水能力

给定排水孔深度和排水孔孔径时, 单个排水孔排水能力可按公式 (B.3) 计算。

$$q = 0.25\mu d^2 \sqrt{2g \frac{P_b}{\gamma_w}} \dots\dots\dots (\text{B.3})$$

式中:

q ——单个排水孔排水量 (m^3/s);

μ ——排水孔的流量系数 (m^3/s), 指在单位时间内通过排水孔的水流量和排水孔下游水深之比;

d ——排水孔的有效孔直径 (m)。

B.4 排水孔数量

排水孔数量应根据每延米隧洞渗流量进行调整, 可按公式 (B.4) 计算:

$$n = \frac{Q_b}{q} \dots\dots\dots (\text{B.4})$$

式中:

n ——断面内排水孔的数量 (个)。

参 考 文 献

- [1] GB 50108 地下工程防水技术规范
 - [2] GB 50487 水利水电工程地质勘察规范
 - [3] SL/T 62 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范
 - [4] JTG 3370.1 公路隧道设计规范
 - [5] TB 10003 铁路隧道设计规范
 - [6] NB / T 10391 水工隧洞设计规范
-