

DB61

陕西省地方标准

DB 61/T 1803—2023

水工隧洞软弱围岩变形控制技术规范

Technical Specification for Deformation Control of Weak Surrounding Rock 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 软弱围岩变形分级与评价..... 2

5 软弱围岩变形监测..... 4

6 荷载..... 5

7 支护与衬砌..... 6

8 变形控制..... 7

9 施工..... 8

参 考 文 献..... 9

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、长江水利委员会长江科学院、中铁十八局集团有限公司。

本文件主要起草人：董鹏、李凌志、徐国鑫、魏军政、党康宁、何军、罗勇、吕二超、宋晓峰、刘晓瑞、田安安、曹双利、王萌。

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

水工隧洞软弱围岩变形控制技术规范

1 范围

本文件规定了水工隧洞软弱围岩变形分级与评价、变形监测、荷载、支护与衬砌、变形控制、施工的要求。

本文件适用于水工隧洞工程软弱围岩变形控制。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的文件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。

GB/T 50218 工程岩体分级标准

SL 279 水工隧洞设计规范

SL/T 744 水工建筑物荷载设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件

3.1

软弱围岩 weak surrounding rock

岩质软弱、承载力低、节理裂隙发育、结构破碎的围岩。

3.2

软弱夹层 weak interbed

岩层中厚度相对较薄，力学强度较低的软弱层（带）。

3.3

岩石强度应力比 rock strength stress ratio

岩石饱和单轴抗压强度与围岩最大主应力的比值。

3.4

收敛相对变形量 ϵ convergent relative deformation

隧洞收敛变形量与隧洞当量直径的比值。

3.5

挤压大变形 squeezing large deformation

高地应力环境下，隧道开挖后围岩向净空方向位移挤压支护体系，当挤压变形位移超出常规围岩变形量时称为大变形。

3.6

围岩最大径向位移 U_{rmax} maximum radial displacement
TBM护盾区域围岩最大径向位移。

3.7

扩挖间隙 ΔR over excavation gap
TBM刀盘扩挖和护盾收缩产生的围岩与护盾间的径向间隙。

3.8

应力释放 stress relief
通过超前导洞、应力释放孔等技术手段释放岩体中积聚的应变能，降低围岩应力的方法。

4 软弱围岩变形分级与评价

4.1 一般要求

4.1.1 水工隧洞软弱围岩变形的判别和评价应包括：

- a) 判别软弱围岩洞段；
- b) 评估软弱围岩变形稳定性；
- c) 评价软弱围岩变形等级。

4.1.2 软弱围岩判别和评价的基础资料宜包括：

- a) 工程地质因素：地层构造、地层岩性、岩体结构类型及质量等级、软弱夹层、地下水发育程度、地应力等；
- b) 工程设计参数：洞室布置方式、洞室断面形状和尺寸、开挖与支护方案、监测方案；
- c) 工程施工因素：施工工法（钻爆、TBM）、施工工艺、支护时机等；
- d) 围岩监测和检测数据。

4.1.3 水工隧洞软弱围岩的辨识可按照 GB/T 50218-2014 附录 C、表 C.0.2 有关规定执行；对于Ⅳ、Ⅴ类岩体，或围岩初始最大主应力大于 20 MPa 且岩石强度应力比低于 4 的Ⅲ类及以上较完整岩体隧洞洞段，可初判为软弱围岩。

4.2 变形分级

4.2.1 不具有围岩变形数据时，水工隧洞软弱围岩可根据岩石强度应力比来判定变形等级，基于岩石强度应力比的变形分级见表 1。

表 1 基于岩石强度应力比的变形分级

变形等级	一般变形	大变形		
		中等变形 (Ⅰ级)	严重变形 (Ⅱ级)	极严重变形 (Ⅲ级)
岩石强度应力比	>7	4~7	2~4	<2
注：Ⅰ级表示Ⅰ级大变形，Ⅱ级表示Ⅱ级大变形，Ⅲ级表示Ⅲ级大变形。				

4.2.2 具有围岩变形数据时，水工隧洞软弱围岩应根据围岩的收敛相对变形量来判定变形等级，基于相对变形量的变形分级见表 2。

表 2 基于相对变形量的变形分级

变形等级	一般变形	大变形		
		中等变形 (I 级)	严重变形 (II 级)	极严重变形 (III 级)
相对变形量 ε	$\varepsilon < 2.5\%$	$2.5\% \leq \varepsilon < 5\%$	$5\% \leq \varepsilon < 10\%$	$\varepsilon \geq 10\%$

4.2.3 当采用 TBM 掘进时，水工隧洞软弱围岩变形等级划分，宜结合围岩径向变形与隧洞开挖半径间的比例关系和围岩径向变形与扩挖间隙间的比例关系来判定变形等级，TBM 掘进围岩变形分级见表 3。

表 3 TBM 掘进围岩变形分级

		$U_{\text{rmax}}/\Delta R$			
		1.00~1.25	1.25~1.50	1.50~2.00	>2.00
U_{rmax}/R	<1.25%	一般变形	中等变形 (I 级)	严重变形 (II 级)	极严重变形 (III 级)
	1.25%~2.50%	中等变形 (I 级)	中等变形 (I 级)	严重变形 (II 级)	极严重变形 (III 级)
	2.50%~5.00%	严重变形 (II 级)	严重变形 (II 级)	严重变形 (II 级)	极严重变形 (III 级)
	>5.00%	极严重变形 (III 级)	极严重变形 (III 级)	极严重变形 (III 级)	极严重变形 (III 级)
注： U_{rmax} 为护盾区域围岩最大径向变形， ΔR 为TBM扩挖间隙， R 为隧洞开挖半径。					

4.3 变形评价

4.3.1 水工隧洞软弱围岩变形等级的评价宜以现场监测数据分析为主，工程类比法和计算分析法为辅。

4.3.2 软弱围岩变形应依据预测变形量、监测变形量、计算变形量，按照表 2 和表 3 评价变形等级。

4.3.3 工程类比法评价步骤如下：

- 收集和整理预测围岩变形的主要考虑因素：施工方法、岩性、地质构造、地下水、围岩类别、地应力、洞室跨度、支护方案等；
- 根据主要考虑因素收集国内外相似水工隧洞工程；
- 调查相似工程的变形量值、变形速率、变形增量等信息；
- 根据相似工程统计分析，预测本工程围岩的变形量值；
- 由所预测的围岩变形量值，按表 2 和表 3 判别。

4.3.4 现场监测数据分析法评价步骤如下：

- 对围岩各洞段/区域的监测数据进行筛查，包含监测数据合理性评价、异常数据原因分析及处理；
- 统计和分析围岩变形量值、分布规律；
- 基于上述围岩变形量值，分析和评价围岩变形等级。

4.3.5 计算分析法评价步骤如下：

- 收集工程地质和工程设计资料，建立工程地质概化模型；
- 运用测试结果或监测数据，分析确定岩体力学参数；

- c) 结合工程场地地应力测试资料，确定或反演初始地应力场；
- d) 根据地质模型特点和岩体结构特征选取计算分析方法和力学模型；
- e) 开展开挖支护施工过程仿真，分析围岩变形量值，围岩变形等级。

5 软弱围岩变形监测

5.1 一般要求

- 5.1.1 变形监测包括监测布置、监测内容、监测频率、监测资料整编等。
- 5.1.2 变形监测可采用自动化监测技术。
- 5.1.3 变形监测工作应先编写监测专项方案。

5.2 监测布置和监测内容

- 5.2.1 水工隧洞软弱围岩洞段施工过程中应开展变形监测，大变形洞段包括围岩表观变形和围岩内部变形。
- 5.2.2 表观变形监测主要包括围岩收敛变形和拱顶沉降变形监测，应符合下列要求：
 - a) I级变形监测断面间距宜设为10 m~30 m；II级变形监测断面间距宜设为5 m~10 m；III级变形监测断面间距宜设为3 m~5 m；
 - b) 围岩收敛变形宜在每个断面布置不少于3个测点，拱顶沉降变形宜在拱顶和拱腰布置1个~3个测点；
 - c) 钻爆法隧洞施工期围岩收敛变形首次测量断面距掌子面不宜大于2.0 m，并应保证爆破后24 h内或下一次爆破前初次读数；
 - d) 监测断面和监测点数量宜根据实际揭露的地质条件和通过监测数据判别的围岩变形等级进行动态调整。
- 5.2.3 围岩内部变形监测，应符合下列要求：
 - a) 监测断面应根据围岩变形等级、围岩类别以及钻孔成形情况综合确定，在变形等级高、围岩较差或钻孔成形较好时宜多设监测断面，在变形等级较小、围岩较好或钻孔成形困难时可适当减少监测断面；
 - b) 每个监测断面宜布置3个~5个测孔，每个测孔宜布置3个~6个测点，测点从围岩表面向深部由密到疏布置；围岩内部变形监测基准点应设在变形影响区之外，深度应大于1.5倍隧洞直径。
- 5.2.4 水工隧洞软弱围岩变形监测频次应根据距掌子面距离、变形速率分别按表4和表5确定，原则上采用较高的频率值。当围岩变形等级提高时或变形速率增大时，应增加监测频率。

表4 按距掌子面距离确定的监测频率

测点距掌子面距离(m)	监控量测频率
0 D~1 D	2次/天
1 D~2 D	1次/天
2 D~5 D	1次/2天~1次/3天
>5 D	1次/7天
注：D为隧洞的当量直径。	

表 5 按变形速率确定的监测频率

变形速率(mm/d)	监控量测频率
≥5	2 次/天
1~5	1 次/天
0.5~1	1 次/2 天~1 次/天
0.2~0.5	1 次/3 天
<0.2	1 次/7 天

5.2.5 当围岩表面变形达到表 2 或表 3 中规定的 I 级及以上变形等级时，应进行预警。

5.3 监测资料整理和整编

5.3.1 监测资料整理和整编主要包括监测设施基本资料的整理、监测数据统计、监测图表绘制、监测结果分析等。

5.3.2 监测成果整理和整编应数据可靠、格式统一、图表完整、结论清晰。

5.3.3 监测资料应进行日常整理、定期整编，及时分析、反馈，并及时归档。

6 荷载

6.1 一般要求

6.1.1 荷载分类应符合 SL/T 744 规定。

6.1.2 结构荷载除围岩压力外的其他永久荷载、可变荷载及偶然荷载均应符合 SL 279 规定。

6.2 围岩压力

围岩压力可按以下方法计算：

a) 无工程实测结果时，按式（1）、式（2）计算，施工中应结合实测数据进行调整。垂直均布压力可按式（1）计算确定：

$$q_v = 0.191 \cdot B^{0.15} \cdot e^{0.445S - \frac{35}{H}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- q_v ——垂直均布压力（MPa）；
- B ——隧洞开挖跨度（m）；
- H ——隧洞埋深（m）；
- S ——围岩变形等级， $S=1, 2, 3$ 对应围岩变形等级 I、II、III；
- e ——自然常数。

b) 水平均布压力可按式（2）及表 6 计算确定：

$$q_h = \lambda q_v \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- q_h ——水平均布压力（MPa）；
- λ ——侧压力系数，取值见表6。

表 6 侧压力系数取值

变形等级	I 级	II 级	III 级
λ	0.50~0.75	0.75~1.00	>1
注： λ 取值与隧洞高跨比有关。对高跨较大的隧洞， λ 取表中较小值；对于高跨比近似等于1的圆形（或近似圆形）隧洞， λ 取表中较大值。水平地应力比较大时，可根据实际情况调整。			

7 支护与衬砌

7.1 一般要求

- 7.1.1 软弱围岩变形控制应遵循“加固围岩、预留变形、刚柔并举、分次支护、及早封闭”的综合治理原则。
- 7.1.2 支护与衬砌结构应结合变形等级、围岩特征、断面形状和尺寸、埋深、防渗要求、施工方法等因素，通过工程类比、理论计算分析、现场监测确定。
- 7.1.3 水工隧洞结构应结合地应力、围岩流变特征、膨胀性等因素，荷载由支护和衬砌共同承担，且满足强度、刚度和耐久性要求。
- 7.1.4 水工隧洞结构应由变形等级高的地段向变形等级低的地段适当延伸，延伸长度不宜小于 2 倍开挖洞径。
- 7.1.5 应加强监控量测，采取动态设计，及时调整支护及衬砌结构参数。

7.2 支护

- 7.2.1 支护应采用喷射混凝土、锚杆（索）、钢筋网和钢拱架、预加固等支护措施组合使用，并符合下列要求：
- 喷射混凝土宜采用早强喷射混凝土，设计强度等级不应低于 C25，变形等级为 III 级地段喷射混凝土的设计强度等级不宜低于 C30。喷射混凝土可添加钢纤维或合成纤维等材料；
 - 钢筋网宜采用直径 6 mm~12 mm 的钢筋焊接而成，网格间距宜为 15 cm~20 cm；
 - 钢拱架宜全环设置，在开挖后或初喷混凝土后及时架设，钢拱架背后的间隙应填充密实；
 - 系统锚杆宜沿隧洞周边按梅花形均匀布置，其方向应接近径向或垂直岩层。
- 7.2.2 系统锚杆可单独或组合采用锚杆（索）方式，锚杆（索）可采用快凝全长黏结型锚杆、自进式注浆锚杆、预应力锚杆（索）等。
- 7.2.3 不同变形等级隧洞支护设计应符合下列要求：
- 宜采用大刚度支护结构和超前支护措施；
 - 变形等级为 I 级，宜采用锚杆、钢筋网喷混凝土或纤维喷混凝土、设置钢拱架等支护体系；
 - 变形等级为 II 级，宜采用锚杆（索）、钢筋网喷混凝土或纤维喷混凝土、设置钢拱架等支护体系；
 - 变形等级为 III 级，宜采取预加固地层、掌子面围岩补强、锚杆（索）、钢筋网喷混凝土或纤维喷混凝土、喷射混凝土层留纵缝、设置钢拱架、多层支护等支护体系。
- 7.2.4 软弱围岩水工隧洞的预留变形量设置应结合变形等级、围岩特征、开挖跨度、埋置深度、支护条件、补强空间及施工方法等因素，采用工程类比法确定；无实测资料时可按预留变形量建议值表 7 采用，并应根据现场监控量测结果进行调整。

表 7 预留变形量建议值 (mm)

变形等级	I 级	II 级	III 级
5 m<B≤8 m	100~150	150~250	250~400
8 m<B≤12 m	150~200	200~350	350~500
注1：B为隧洞跨度； 注2：隧洞跨度较大隧洞取大值，跨度较小取小值；有明显流变、原岩应力较大时，应根据量测数据反馈分析确定预留变形量。			

7.3 衬砌

- 7.3.1 衬砌结构结合施工方法，宜采用连接圆顺的断面型式。
- 7.3.2 衬砌宜采用钢筋混凝土结构，变形严重及以上洞段底拱宜加大底拱曲率。
- 7.3.3 衬砌施作时机根据现场监测分析确定，应在围岩和支护变形基本稳定后进行。变形基本稳定并符合：变形速率明显下降并趋于缓和；当无经验时，可按变形速率（7 d 平均值）小于 1 mm/d 执行。

8 变形控制

8.1 一般要求

- 8.1.1 宜采用应力释放、主动加固等措施控制围岩变形。
- 8.1.2 应加强施工过程控制，工序紧凑、措施及时。

8.2 应力释放

- 8.2.1 I、II 级变形洞段可加大预留变形量；III 级变形洞段可选用超前导洞等方式释放。
- 8.2.2 超前释放应有足够的释放截面比及释放时间。

8.3 围岩加固

- 8.3.1 变形等级为 I 级或 II 级时：
 - a) 超前预加固宜采用拱部超前小导管；
 - b) 开挖后宜采用拱墙锚杆，II 级可采用锚索锚固体系，并辅以径向注浆加固。
- 8.3.2 变形等级为 III 级时：
 - a) 超前预加固选用拱墙管棚、超前小导管、帷幕注浆，掌子面加固可采用喷射混凝土、玻璃纤维锚杆等措施；
 - b) 开挖后采用锚杆（索）锚固体系，并辅以径向注浆加固。
- 8.3.3 锚杆、锚索应及时施作。

8.4 辅助措施

- 变形控制过程中，可采用下列辅助措施：
- a) 钢架可采用型钢、角钢加强纵向连接；
 - b) 采用大直径锁脚锚管，锁脚与钢架连接牢固；
 - c) 钢架节段中部可增设锚杆（管）锚固；
 - d) 变形速率高洞段应及时增设临时支撑、纵向钢托梁等。

9 施工

9.1 一般要求

9.1.1 应按照“重地质、管超前、严注浆、短进尺、强支护、快封闭、勤量测、速反馈”的原则进行施工管理。

9.1.2 施工应根据变形等级、地质条件、断面尺寸、结构受力特点、地下水活动状态、施工条件等综合确定施工方法，编制专项施工方案。

9.1.3 宜优先采用非爆开挖，有条件时可采用控制爆破、弱爆破开挖。

9.1.4 应持续采取多手段超前探测技术，综合探明前方地质情况。

9.2 施工方法

9.2.1 I级变形段可采用全断面法施工；II、III级变形洞段可采用分部开挖法施工，并控制开挖进尺。

9.2.2 应加强洞内施工排水管理，避免积水浸泡软化围岩。

9.2.3 采用TBM法施工时，应综合评估前方地质情况，先停机进行围岩加固处理，再进行推进。

参 考 文 献

[1] GB 50086 岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范

[2] GB 50287 水力发电工程地质勘察规范

[3] GB 50487 水利水电工程地质勘察规范（2022年版）

[4] DL/T 5099 水工建筑物地下工程开挖施工技术规范

[5] DL/T 5854 水电水利工程深埋地下洞室开挖施工规范

[6] JTG/T 3660 公路隧道施工技术规范

[7] SL 52 水利水电工程施工测量规范

[8] SL 191 水工混凝土结构设计规范

[9] SL 377 水利水电工程锚喷支护技术规范

[10] SL 725 水利水电工程安全监测设计规范

[11] SL 764 水工隧洞安全监测技术规范

[12] TB 10121 铁路隧道监控量测技术规程

[13] T/CSRME 026 地下洞室围岩稳定性评估方法

[14] Q/CR 9218 铁路隧道监控量测技术规程

[15] Q/CR 9512 铁路挤压性围岩隧道技术规范
