



T

团 体 标 准

T/CSPSTC XXX-202X

水工隧洞围岩稳定与支护结构数值计 算技术规程

Technical code for numerical calculation of surrounding rock stability and
support structure in hydraulic tunnels

(征求意见稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国科技产业化促进会 发布
中国标准出版社 出版

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本规定	2
5 基本资料	2
6 分析方法和流程	2
6.1 分析方法	2
6.2 分析流程	2
7 模型建立	3
7.1 模型构建	3
7.2 本构模型	3
7.3 边界条件	3
8 计算荷载和方案	4
8.1 荷载和荷载组合	4
8.2 计算方案	5
9 参数选取	5
9.1 围岩物理力学参数	5
9.2 结构面参数	6
9.3 支护参数	6
10 初始地应力场及渗流场反演	6
10.1 初始地应力场反演	6
10.2 天然渗流场反演	7
11 计算分析	7
11.1 施工期模拟	7
11.2 运行期模拟	7
11.3 结构安全	7
12 结果评价	8
12.1 围岩稳定性评价	8
12.2 支护结构安全性评价	8
13 反馈设计	8
14 成果编制规定	9
附 录 A（资料性）数值分析基础资料表	11
附 录 B（资料性）数值模拟流程图	12
附 录 C（规范性）围岩稳定性评价主要标准	13
附 录 D（资料性）本构模型	16
参考文献	18

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。

本文件由中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司提出。

本文件由中国科技产业化促进会归口。

本文件起草单位：XXX、XXX。

本文件主要起草人：XXX、XXX。

引 言

为规范水工隧洞数值分析工作原则、工作内容和深度要求，特制定本文件：

- a) 规范水工隧洞围岩稳定与支护结构数值计算分析的基本资料要求、分析方法与流程、模型建立原则、参数选取依据、荷载组合规定、计算方案制定以及结果评价准则；
- b) 通过规范化的技术流程和评价体系，确保数值计算结果的合理性、准确性及其在工程设计优化与评价中的有效应用价值；
- c) 为编制系统、规范、深度适宜的水工隧洞围岩稳定与支护结构数值计算分析报告提供明确的技术依据。

水工隧洞围岩稳定与支护结构数值计算技术规程

1 范围

本文件规定了水工隧洞围岩稳定与支护结构数值的基本资料、分析方法和流程、模型建立、计算荷载和方案、参数选取、初始地应力场及渗流场反演、计算分析、结果评价、反馈设计、结论及建议。

本文件适用于大中型水利水电工程中水工隧洞围岩及结构数值计算分析报告编制，对于规模较小、条件较简单的小中型可适当简化，计算分析深度和报告内容编制可根据不同类型工程任务和特点有所调整。

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。

GB 50017 钢结构设计标准

GB 50086 岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范

GB/T 51394 水工建筑物荷载标准

NB/T 11011 水工混凝土结构设计规范

NB 35047 水电工程水工建筑物抗震设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

水工隧洞 hydraulic tunnel

在山体中或地下开凿的过水洞。水工隧洞可用于灌溉、发电、供水、泄水、输水、施工导流和通航。

3.2

最大相对误差 maximum relative error

以围岩力学参数为输入、围岩监测信息为输出所构成的系统，通过反复进行的正算结果与监测位移进行对比，以辨识围岩力学参数为目的的反馈。

3.3

荷载释放系数 load release coefficient

应充分反映每个施工步骤内开挖面的空间作用效应，且应反映支护施作时间的影响。

3.4

力学参数反馈 mechanical parameter back analysis

以围岩力学参数为输入、围岩监测信息为输出所构成的系统，通过反复进行的正算结果与监测位移进行对比，以辨识围岩力学参数为目的的反馈。

3.5

施工反馈 construction feedback

以人为的施工参数作为输入、围岩监测信息作为输出，以调整施工参数、控制隧洞

稳定状态为目的的反馈。

3.6

围岩稳定性评价 surrounding rock stability assessment

依据工程类比法，理论分析或数值模拟等方法，对围岩稳定程度进行定性和定量的分析判断并作结论。

4 基本规定

4.1 水工隧洞围岩稳定与支护结构计算应确定主要任务目标，搜集数值分析所需的工程地质、水文地质及工程设计等基本资料。

4.2 水工隧洞围岩稳定与支护结构计算应明确分析方法、计算模型、边界条件、参数选取、施工方案、计算方案、计算流程等内容，提出数值分析结果评价结论和意见建议。

4.3 水工隧洞围岩稳定与支护结构计算应明确提出采用的计算假定条件，且假定条件应与工程实际情况相符合。

4.4 水工隧洞围岩稳定与支护结构计算应展示模型对应的数值云图、等值线图等图表，并配以文字论述和说明。

附 录 A
(资料性)
数值分析基础资料表

数值分析基础资料表见表 A.1。

表 A.1 数值分析基础资料表

序号	资料名称	资料明细
1	体型布置	① 工程规模、工程等级、工程抗震设防类别，水工隧洞等级 ② 典型横、纵断面布置及体型资料 ③ 水工隧洞开挖及支护布置资料 ④ 回填、接触等灌浆布置资料 ⑤ 施工工序资料
2	地形地质	① 地形分布资料 ② 岩体断裂构造资料 ③ 影响隧道围岩稳定的关键结构面
3	水文地质	① 水文地质分区资料 ② 水位资料 ③ 降雨资料 ④ 泥沙资料
4	试验资料	① 原位试验。例如现场波速试验、现场载荷试验、原位直剪试验、钻孔压水试验、地应力测试试验等。 ② 室内试验。例如三轴试验、单轴试验、直剪试验等。
5	材料参数	① 隧洞沿线的围岩物理力学参数 ② 隧洞混凝土、钢板等衬砌材料参数 ③ 隧洞喷射混凝土、锚杆、锚索、锚筋桩、钢支撑、回填灌浆等支护材料参数 ④ 隧洞沿线的围岩渗透系数
6	荷载资料	① 围岩压力、地应力 ② 洞内水压力或压力线，包含静水压力、水击压力、涌浪压力、脉动压力等资料 ③ 地下水压力或压力线 ④ 回填灌浆压力 ⑤ 场地类别、地震加速度、反应谱等地震资料
7	监测资料	① 锚杆、锚索等应力资料 ② 围岩变形资料 ③ 围岩渗透压力 ④ 外水压力

附录 B
(资料性)
数值模拟流程图

数值模拟流程图见图 B.1。

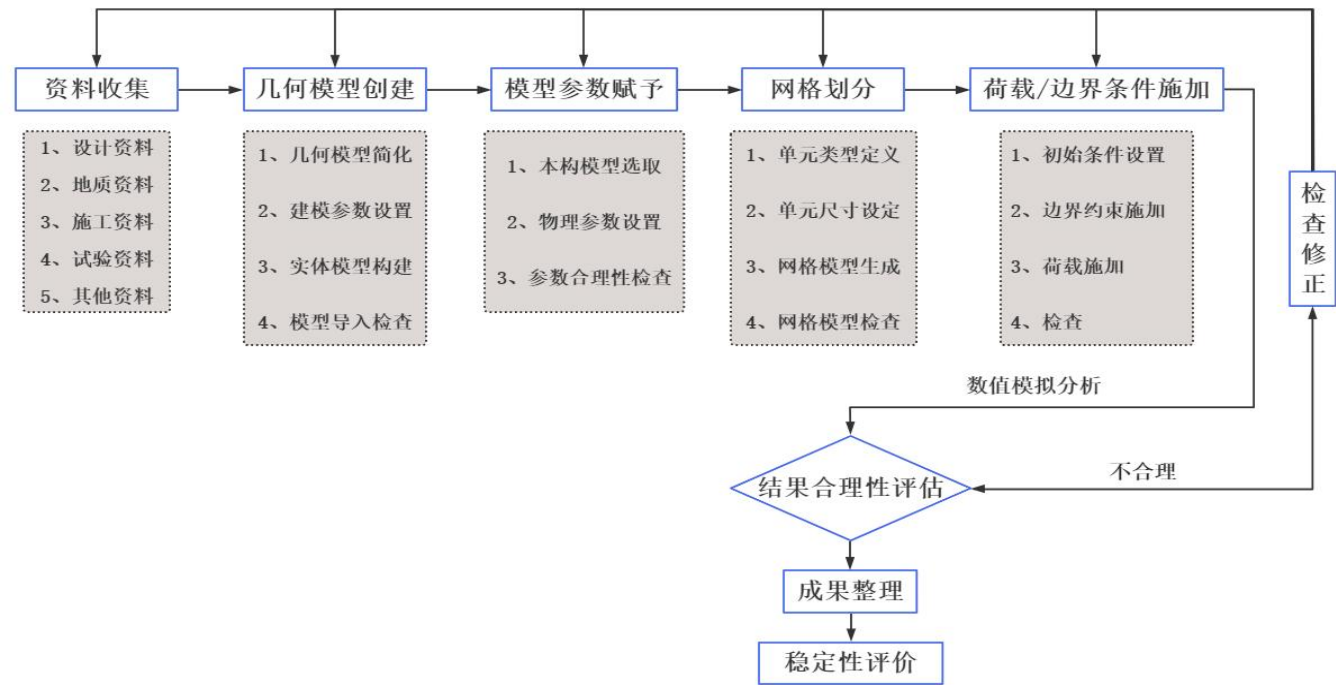


图 B.1 数值模拟流程图

附录 C
(规范性)
围岩稳定性评价主要标准

C.1 隧洞周边允许位移相对值应遵循 GB 50086 的规定,隧洞周边的实测位移相对值或用回归分析推算的最终位移值均应小于表 C.1 所列数据值。

表 C.1 隧洞周边允许位移相对值 (%)

围岩类别	隧洞埋深 (m)		
	<50	50~300	300~500
III	0.1~0.3	0.2~0.5	0.4~1.2
IV	0.15~0.5	0.4~1.2	0.8~2.0
V	0.2~0.8	0.6~1.6	1.0~3.0

周边位移相对值系指两测点间实测位移累计值与两测点间距离之比,两测点间位移值也称收敛值。

脆性围岩取表中较小值,塑性围岩取表中较大值。

本表适用于高跨比 0.8~1.2 的下列地下工程: III级围岩跨度不大于 20 m; IV级围岩跨度不大于 15 m; V级围岩跨度不大于 10 m。

I、II级围岩中进行量测的地下工程以及 III、IV、V级围岩中在表注 3 范围之外的地下工程应根据实测数据的综合分析或工程类比方法确定允许值

C.2 水工隧洞块体稳定性评价流程应按照图 C.1 进行,通过块体体积和安全系数确定水工隧洞局部失稳模式。

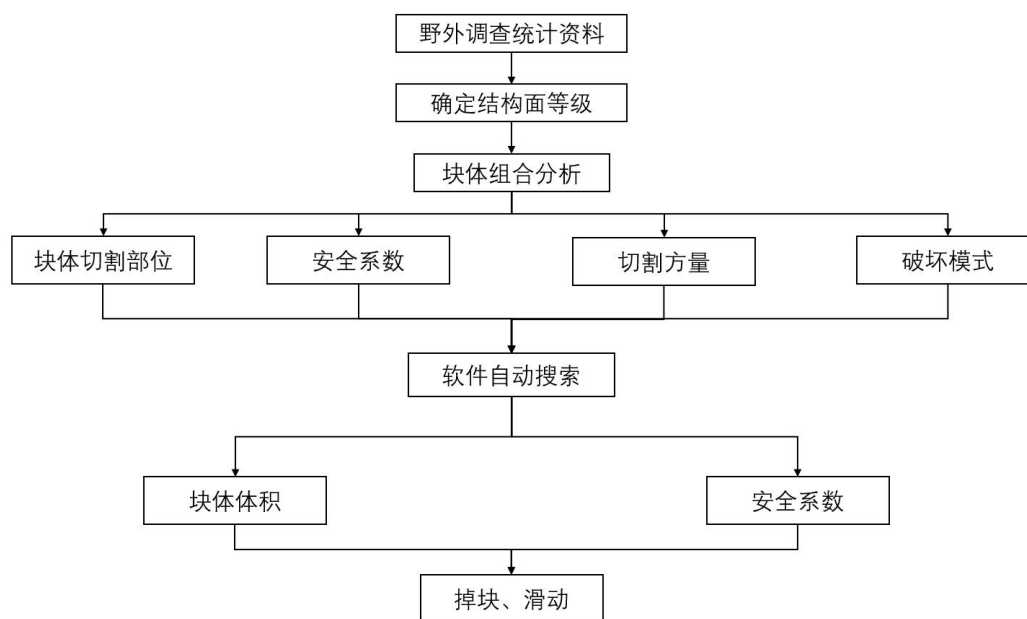


图 C.1 水工隧洞块体稳定性评价流程图

C.3 塑性区与围岩稳定性之间的关系应按照表 C.2 进行判断。另外，塑性区在锚杆长度范围之内，则可以认为洞室围岩稳定。

表 C.2 塑性区与围岩稳定性关系

	稳定安全	稳定性欠佳	稳定性差	不稳定
f_p	<0.7	0.7~0.8	1.0	1.2
d_p	<0.3	0.3	0.4	0.5
注： f_p 为塑性区范围与洞室开挖区的比值， d_p 为塑性区最大深度和开挖区域跨度的比值。				

C.4 将围岩抗拉/压强度与数值法计算得到的围岩重分布应力定义为二次应力的围岩强度应力比，其与围岩稳定性之间的关系应按照表 C.3 进行判断。

表 C.3 二次应力的围岩强度应力比与围岩稳定性关系

	稳定安全	稳定性欠佳	稳定性差	不稳定
二次应力的围岩强度应力比 r_s	>4.0	4~3	3~2	<2

C.5 数值法计算得到的锚杆的超限比例与围岩稳定性之间的关系应按照表 C.4 进行判断。

表 C.4 锚杆性能与围岩稳定性关系

	稳定安全	稳定性欠佳	稳定性差	不稳定
锚索应力超限比率(%)	0	0%~10%	10%~25%	>25%

C.6 数值法计算得到的渗流场，需判断水工隧洞各部位的最大渗透坡降，计算值小于对应位置的允许渗透坡降则说明达到渗透稳定。

C.7 数值法计算得到的钢支撑上轴力和弯矩，应根据 GB 20017 规定，按照公式 C.1 进行整体稳定性计算。

$$\frac{M_x}{\phi_b W_x f} \leq 1.0$$

(C.1)

式中：

- M_x —— 绕强轴作用的最大弯矩设计值，单位为牛每毫米（N·mm）；
- W_x —— 按受压最大纤维确定的梁毛截面模量，当截面板件宽厚比等级为 S_1 级、 S_2 级、 S_3 级或 S_4 级时，应取全截面模量；当截面板件宽厚比等级为 S_5 级时，应取有效截面模量，均匀受压翼缘有效外伸宽度可取 $15\varepsilon_k$ ，腹板有效截面积，单位为立方毫米（mm³）。
- ϕ_b —— 梁的整体稳定性系数，无量纲；
- f —— 钢材的抗弯强度设计值，单位为兆帕（Mpa）。

在两个主平面受弯的 H 型钢截面或工字形截面构件，其整体稳定性应按公式（C.2）计算：

$$\frac{M_x}{\phi_b W_x f} + \frac{M_y}{\gamma_y W_y f} \leq 1.0 \quad (\text{C.2})$$

式中：

- M_x —— 绕强轴作用的最大弯矩设计值，单位为牛每毫米（N·mm）；
- M_y —— 绕 y 轴的弯矩设计值。单位为牛每毫米（N·mm）；
- W_x —— 按受压最大纤维确定的梁毛截面模量，当截面板件宽厚比等级为 S_1 级、 S_2 级、 S_3 级或 S_4 级时，应取全截面模量；当截面板件宽厚比等级为 S_5 级时，应取有效截面模量，均匀受压翼缘有效外伸宽度可取 $15\epsilon_k$ ，腹板有效截面积，单位为立方毫米（mm³）；
- W_y —— 按受压最大纤维确定的对 y 轴的梁毛截面模量，单位为立方毫米（mm³）；
- ϕ_b —— 梁的整体稳定性系数；
- γ_y —— 对 y 轴的截面塑性发展系数，无量纲；
- f —— 钢材的抗弯强度设计值，单位为兆帕（Mpa）。

附录 D
(资料性)
本构模型

D.1 摩尔库伦模型 (Mohr-Coulomb)

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan(\varphi) \quad (\text{D.1})$$

式中：

τ —— 材料在某一平面上的抗剪强度，单位兆帕 (Mpa)。

c —— 粘聚力，单位兆帕 (Mpa)。

σ —— 作用在破坏面上的有效正应力，单位兆帕 (Mpa)。

φ —— 内摩擦角，单位度 (°)。

摩尔库伦模型可用于岩体及土体的稳定性及非线性分析，在工程领域中通过强度参数计算边坡、基坑的临界滑移面角度，预测土体破坏模式，用于隧道支护参数计算、地基承载力评估，结合软件模拟开挖后的应力重分布。

D.2 应变软化模型

基本思想：材料认为岩土类材料的抗剪强度并非一个固定值。在加载过程中，强度会先达到一个峰值，随后随着应变（变形）的继续增加，强度会逐渐降低，最终稳定在一个较低的残余强度，即应变软化。

应变软化模型可以用来解释和预测材料在极端荷载作用下的行为，如地震、爆炸等。适用于可用于岩体及土体的稳定性及非线性分析。

D.3 霍克-布朗模型 (Hoek-Brown)

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \cdot (m_b \cdot \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s)^a \quad (\text{D.2})$$

式中：

σ_1' —— 破坏时的最大有效主应力（岩石所能承受的极限应力），单位兆帕 (Mpa)。

σ_3' —— 作用在岩石上的最小有效主应力（围压），单位兆帕 (Mpa)。

σ_{ci} —— 完整岩石的单轴抗压强度，通过试验获取的基准参数，单位兆帕 (Mpa)。

m_b —— 岩体的霍克-布朗常数，反映了岩体的抗剪强度特性，其值受岩体质量控制。通过 GSI（地质强度指标）获取，无量纲。

s —— 岩体常数，代表了岩体破碎程度。对于完整岩石， $s=1.0$ ；对于完全破碎岩石， $s=0$ 。

a —— 岩体常数，代表了岩体破碎程度。对于完整岩石， $a=0.5$ ；对于完全破碎岩石， $a=0.65$ 。

基于一套经验性的方程，将岩体的强度与完整岩石的性质和岩体的破碎程度定量地联系起来，从而能够更真实地预测岩体的非线性破坏行为。

D.4 德鲁克-普拉格模型 (Drucker-Prager)

$$f = \alpha I_1 + \sqrt{J_2} - K = 0 \quad (\text{D.3})$$

式中：

I_1 —— 应力的第一不变量， $I_1 = \sigma_{ii} = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z$ 。

J_2 —— 应力偏量第二不变量， $J_2 = \frac{1}{2}s_i s_i = \frac{1}{6}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]$ 。

α —— 强度参数，反映了材料强度对平均应力（围压）的敏感性，无量纲。

K —— 强度参数，反映了材料在零围压条件下的抗剪强度，无量纲。

在岩土工程数值分析中应用极为广泛，该强度理论同时反映了体积应力、剪应力和中间主应力对岩石强度的影响，通常作为材料的屈服准则，与一个流动法则（如相关联或不相关联流动法则）共同构成材料的本构模型。

参 考 文 献

- [1] NB/T 10391 水工隧洞设计规范
-