

DB61

陕西省地方标准

DB 61/T 1802—2023

## 水工隧洞突涌水风险评估及防治技术规范

Risk Assessment and Prevention Technical Specification of Water Bursting for  
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 ..... 1

5 突涌水危险性等级评价与风险评估 ..... 2

6 突涌水防治 ..... 4

附录 A （规范性） 埋深<100 m 的隧洞突涌水危险性评价方法 ..... 7

附录 B （规范性） 埋深≥400 m 的隧洞突涌水危险性评价方法 ..... 10

参 考 文 献 ..... 15

## 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、西安理工大学、中铁隧道股份有限公司。

本文件主要起草人：董鹏、李立民、许增光、刘国平、赵力、魏军政、王琪、沈军明、宋晓峰、吕 毓敏、党辉、李玉波、刘茜、闫良。

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

# 水工隧洞突涌水风险评估及防治技术规范

## 1 范围

本文件规定了水工隧洞突涌水风险评估及防治的基本要求、危险性等级评价、风险评估、防治等方面的内容。

本文件适用于水工隧洞突涌水风险评估及防治的设计、施工。

## 2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**突涌水** water bursting

隧洞工程施工中，地下水突然大量涌出的现象。

### 3.2

**突泥** mud bursting

隧洞工程施工中，在一定水压力作用下，突然大量涌出水、泥、砂、石、渣等混杂物的现象称为突泥。

### 3.3

**最大涌水量** maximum water yield

隧洞工程某段施工时的峰值涌水量。

### 3.4

**正常涌水量** normal water yield

隧洞工程某段施工基本稳定时的涌水量。

### 3.5

**超前地质预报** geological predication

在地质分析的基础上，采用物探、钻探等手段，对开挖面前方的地质条件进行探测、分析和评价。

## 4 基本要求

4.1 水工隧洞有下列情形时，应进行突涌水（突泥）风险的研判：

- a) 穿越富水层或其它汇水构造；
- b) 穿越可溶岩层与非可溶岩层接触带；
- c) 位于岩溶地下水水平径流带或深部缓流带；
- d) 位于松散含水层中；
- e) 穿越富水（饱水）的断层带、节理密集带或其它构造破碎带；
- f) 穿越充水（充填）岩溶洞穴、地下暗河、地表水体影响等地段。

4.2 应收集分析现有区域地质、工程地质、水文地质、遥感影像、类似工程勘察设计及突涌水防治措施等资料。

4.3 应在分析地层岩性、地质构造、地下水类型、分布特征及补径排条件，隧洞围岩、构造的透水性、连通性以及隧洞围岩的充水条件和富水程度的基础上，划分水文地质单元，进行富水性分区。

4.4 应根据工程地质、水文地质条件预测隧洞施工发生突涌水、突泥段落和涌水量，评价对隧洞施工的影响，进行风险评估。

4.5 突涌水风险等级划分应根据突涌水危险性等级和突涌水灾害发生后果等级确定。

4.6 突涌水风险评估应根据工程实施和环境变化情况，对风险事件影响程度实施动态调整。

4.7 应提出与风险等级相对应的超前地质预报方法及工程措施。

4.8 施工过程中应开展水文地质观测与巡视，必要时补充勘察。

## 5 突涌水危险性等级评价与风险评估

### 5.1 一般要求

5.1.1 水工隧洞应根据工程地质条件、水文地质条件和开挖方式综合预测突涌水发生的危险性等级。

5.1.2 隧洞突涌水危险性等级评价应以地质勘察为基础，基于水文地质资料以及施工现场记录，分析致灾构造，遴选致灾因子，根据评价结果预测隧洞涌水范围，并结合施工方案提出建议处理措施。

5.1.3 突涌水量预测宜综合运用地下径流模数法、地下径流深度法、大气降水入渗法、地下水动力学法、水文地质比拟法及多指标综合评价法。

5.1.4 风险评估方法可采用专家调查法、风险矩阵法、层次分析法、故障树法、模糊综合评估法、蒙特卡罗法、敏感性分析法等。

5.1.5 基于多指标综合评价法的隧洞突涌水危险性等级应考虑隧洞埋深。按埋深小于 100 m、埋深大于 400 m（含）隧洞评价，介于两者之间的隧洞分别进行评价后取高值。

### 5.2 隧洞（埋深<100 m）突涌水危险性等级评价

5.2.1 评价指标应包括：

- a) 地层岩性  $J_1$ ；
- b) 修正的岩层倾角  $J_2$ ；
- c) 可溶岩与非可溶岩接触带  $J_3$ ；
- d) 断层带宽度  $J_4$ ；
- e) 断层性质  $J_5$ ；
- f) 节理裂隙发育程度  $J_6$ ；
- g) 地表水流量  $J_7$ ；

- h) 地表汇水面积  $J_8$ ;
- i) 隧洞埋深  $J_9$ ;
- j) 施工干扰度  $J_{10}$ 。

5.2.2 指标致灾因子等级划分采用定量指标、定性指标。定量指标可采用连续变化的分值表述致灾程度，定性指标可采用专家打分法进行量化分级。

5.2.3 危险性等级宜划分为四级：极高危险（Ⅰ级）、高危险（Ⅱ级）、中等危险（Ⅲ级）、低危险（Ⅳ级）。埋深 $<100\text{ m}$ 的隧洞突涌水危险性评价方法按照附录 A 执行。

5.2.4 埋深小于  $100\text{ m}$  的隧洞突涌水危险性等级划分及涌水量预测，应按表 1 确定。

表 1 埋深 $<100\text{ m}$ 的隧洞突涌水危险性等级及其与预测涌水量的对应关系

| 危险性等级    | 灾害程度      | 单点最大涌水量 $Q$<br>( $10^4\text{m}^3/\text{d}$ ) |
|----------|-----------|----------------------------------------------|
| 极高危险（Ⅰ级） | 极强，灾难性后果  | $Q \geq 1$                                   |
| 高危险（Ⅱ级）  | 强，危害严重    | $0.3 \leq Q < 1$                             |
| 中等危险（Ⅲ级） | 稍强，影响施工   | $0.05 \leq Q < 0.3$                          |
| 低危险（Ⅳ级）  | 一般，工程损失较小 | $Q < 0.05$                                   |

### 5.3 隧洞(埋深 $\geq 400\text{ m}$ )突涌水危险性等级评价

5.3.1 评价指标应包括：

- a) 地层岩性  $I_1$ ，包括岩体结构  $I_{11}$  和岩石类型  $I_{12}$  两个二级指标；
- b) 岩层产状  $I_2$ ；
- c) 可溶岩与非可溶岩（岩性）接触带  $I_3$ ；
- d) 不良地质  $I_4$ ，包括断层破碎带宽度  $I_{41}$  和断层性质  $I_{42}$  两个二级指标；
- e) 层面（间）节理裂隙与地表河流规模结合度  $I_5$ ；
- f) 地表汇流条件  $I_6$ ；
- g) 隧洞底部水头压力  $I_7$ 。

5.3.2 评价指标的致灾程度应根据各指标具体的致灾特征采用打分法表述。定量指标可采用连续变化的分值表述，定性指标可采用离散化的分值表述。

5.3.3 危险性等级宜划分为四级：高危险（Ⅰ级）、中等危险（Ⅱ级）、低危险（Ⅲ级）、微/无危险（Ⅳ级）。埋深 $\geq 400\text{ m}$ 的隧洞突涌水危险性评价方法按照附录 B 执行。

5.3.4 埋深 $\geq 400\text{ m}$ 的隧洞突涌水危险性等级划分及涌水量预测，应按表 2 确定。

表 2 埋深 $\geq 400\text{ m}$ 的隧洞突涌水危险性等级及其与预测涌水量的对应关系

| 危险性等级         | 灾害程度       | 单点最大涌水量 $Q$<br>( $10^4\text{m}^3/\text{d}$ ) |
|---------------|------------|----------------------------------------------|
| 高危险（Ⅰ级）       | 强，危害严重     | $Q \geq 5$                                   |
| 中等危险（Ⅱ级）      | 稍强，影响施工    | $1 \leq Q < 5$                               |
| 低危险（Ⅲ级）       | 一般，工程损失较小  | $0.1 \leq Q < 1$                             |
| 微危险或基本无危险（Ⅳ级） | 对施工进度基本无影响 | $Q < 0.1$                                    |

### 5.4 突涌水风险评估

5.4.1 突涌水后果可分为：灾难、严重、较大、一般和轻微，突涌水后果等级见表 3。

表 3 突涌水后果等级

| 后果等级     | 5    | 4   | 3    | 2   | 1  |
|----------|------|-----|------|-----|----|
| 后果定性描述   | 灾难   | 严重  | 较大   | 一般  | 轻微 |
| 突涌水危险性等级 | 极高危险 | 高危险 | 中等危险 | 低危险 |    |

5.4.2 突涌水发生概率等级见表 4。

表 4 发生概率等级

| 概率范围                  | 定性判别   | 概率等级 |
|-----------------------|--------|------|
| >0.3                  | 频繁发生   | 5    |
| 0.03~0.3              | 可能发生   | 4    |
| 0.003~0.03            | 偶然发生   | 3    |
| 0.0003~0.003          | 很少发生   | 2    |
| ≤0.0003               | 极不可能发生 | 1    |
| 注：“~”含义为包括上限值而不包括下限值。 |        |      |

5.4.3 根据后果等级及发生概率，突涌水风险等级宜分为四级：极高、高度、中度及低度，见表 5。

表 5 突涌水风险等级

| 概率等级 | 后果等级 |    |    |    |    |
|------|------|----|----|----|----|
|      | 1    | 2  | 3  | 4  | 5  |
| 5    | 高度   | 高度 | 极高 | 极高 | 极高 |
| 4    | 中度   | 高度 | 高度 | 极高 | 极高 |
| 3    | 中度   | 中度 | 高度 | 高度 | 极高 |
| 2    | 低度   | 中度 | 中度 | 高度 | 高度 |
| 1    | 低度   | 低度 | 中度 | 中度 | 高度 |

5.4.4 风险接受准则与控制原则见表 6。

表 6 风险接受准则与控制原则

| 风险等级   | 极高                   | 高度                  | 中度                | 低度                   |
|--------|----------------------|---------------------|-------------------|----------------------|
| 接受准则   | 不可接受                 | 不期望                 | 可接受               | 可忽略                  |
| 风险控制原则 | 应高度重视并规避，否则应采取有效措施处理 | 应重视并采取有效措施处理，加强风险监测 | 宜采取有效措施处理，并进行风险监测 | 可不采取措施，但需关注，防止风险等级上升 |

6 突涌水防治

6.1 一般要求

6.1.1 水工隧洞突涌水防治应符合“预防为主、疏堵结合、环保经济”的要求。

6.1.2 隧洞突涌水防治应结合工程地质条件、地下水类型、水量水压大小、补给条件、风险评估等综合确定。

6.1.3 隧洞突涌水防治应根据综合超前地质预报结果，选择适合地质条件的排水、堵水等辅助施工方法。

6.2 防治

6.2.1 应按隧洞突涌水风险等级分别制定防治措施，见表 7～表 10。

表 7 施工准备

| 风险等级      | 极高风险                                                 | 高度风险               | 中度风险                 | 低度风险 |  |  |
|-----------|------------------------------------------------------|--------------------|----------------------|------|--|--|
| 地质资料      | 收集分析隧洞不良地质段如断层、破碎带富水等地质及富水情况。收集分析隧洞周边已完工和在建隧洞工程突涌水情况 |                    |                      |      |  |  |
| 气象资料      | 收集分析当地近年来的气象、水文情况及极端气象可能造成的危害                        |                    |                      |      |  |  |
| 施工预案      | 采取排水分流降压措施以及超前帷幕注浆止水等综合措施                            | 采用限量排放及超前帷幕注浆止水等措施 | 采用超前小导管封堵注浆或局部径向浅孔注浆 |      |  |  |
| 设计文件复核    | 复核设计中关于突水涌泥的处置预案，并制定针对性的施工措施                         |                    |                      |      |  |  |
| 实施性施工组织设计 | 根据设计资料、结合现场情况，制定完善的实施性施工组织设计，包括预警措施及突发灾害应急预案         |                    |                      |      |  |  |

表 8 超前地质预报

| 风险等级   | 极高风险                                                                                 | 高度风险    | 中度风险                     | 低度风险   |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------------------------|--------|
| 地质调查分析 | (1) 对重点区段进行补充地面地质调查，宏观预报发生施工地质灾害的类型和发生的可能性<br>(2) 对开挖过程进行地质素描<br>(3) 分析地质素描成果，评价地质条件 |         |                          |        |
| 超前预报   | 宜采用电法、电磁法、弹性波法和超前探孔等两种以上方法，对开挖面前方赋水的不良地质体综合判定                                        |         | 宜采用弹性波法、电磁法等方法进行综合超前地质预报 | 根据需要确定 |
|        | 宜采取钻孔验证                                                                              | 必要时钻孔验证 |                          |        |

表 9 辅助施工

| 风险等级 | 极高风险                              | 高度风险                    | 中度风险                      | 低度风险   |
|------|-----------------------------------|-------------------------|---------------------------|--------|
| 排水措施 | 采取长距离钻孔，进行涌水调查与排水。作业途中有障碍时，应设置集水坑 |                         | 根据需要确定                    |        |
| 堵水措施 | 宜采用超前预注浆或超前全断面深孔预注浆止水             | 部分地段宜采用超前预注浆或超前周边孔预注浆止水 | 宜采用径向注浆或局部径向注浆，必要时进行超前预注浆 | 根据需要确定 |

表 10 水文监测

| 风险等级   | 极高风险                                                                                                              | 高度风险 | 中度风险                   | 低度风险 |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------------------|------|
| 人工观察   | (1) 观察掌子面及超前钻孔地下水的水量及水质变化，并注意水对围岩稳定性的影响；<br>(2) 观察地下水影响下的初期支护混凝土表面脱落、开裂等现象及其程度；<br>(3) 根据观察的结果对涌水突泥可能性进行预判，及时做出预报 |      |                        |      |
| 水文地质测量 | 宜测量洞内的涌水量、水压、地下水位、水质的变化等                                                                                          |      | 根据需要，测量洞内的涌水量、水质的变化等   |      |
|        | 宜采用洞外现有水井或设置观测井（孔）的方式，测量地下水位及水质变化                                                                                 |      | 根据需要，测量洞外地下水位及水质变化     |      |
|        | 宜连续调查开挖面的地质变化并进行图示                                                                                                |      | 根据需要，连续调查开挖面的地质变化并进行图示 |      |

- 6.2.2 超前地质预报方法的选择应与施工工法相适应。钻爆法宜采用电法、电磁法、弹性波法等，TBM 法宜采用电法和弹性波法等。
- 6.2.3 在富水软弱断层破碎带、岩溶发育区、重大物探异常区等复杂地质地段应采用超前水平钻探预报前方地质情况。
- 6.2.4 根据隧洞现场涌水量大小、水压情况采取不同的突涌水处置措施，见表 11。

表 11 应急处置措施

| 风险等级 | 极高风险                                                    | 高度风险                                | 中度风险                           | 低度风险                |
|------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------------------|
| 处置措施 | 可采用泄水洞、迂回导坑、全断面超前预注浆、径向补注浆。围岩极不稳定洞段，研究采用冷冻法。配置大功率潜水泵和管路 | 可采用超前预注浆、全断面超前预注浆、径向补注浆。配置大功率潜水泵和管路 | 可采用集中出水点导引、径向或局部注浆。配置大功率潜水泵和管路 | 可采用封堵和导排措施。配置潜水泵和管路 |
| 应急器械 | 根据需要设置发电机、铁锹、沙袋、橡皮筏等设备并放在相应的位置                          |                                     |                                |                     |
| 排水设置 | 根据地下水量、隧洞长度、隧洞断面、隧洞坡度等因素，设置有充分排水能力的排水设备                 |                                     |                                |                     |
| 避难训练 | 定期进行突发性突涌水灾害避险演练                                        |                                     |                                |                     |
| 救护训练 | 定期进行救护训练                                                |                                     |                                |                     |

附 录 A  
(规范性)

埋深<100 m 的隧洞突涌水危险性评价方法

A.1 埋深<100 m 的隧洞突涌水危险性等级评价按评价指标分类和分级，应划分各指标危险性等级区间与限值，取值标准应符合表 A-1 的规定。

表 A-1 埋深<100m 的隧洞突涌水危险性评价指标及分级标准

| 评价指标                                      | IV      | III         | II          | I      |
|-------------------------------------------|---------|-------------|-------------|--------|
| 地层岩性 $J_1$                                | 不可溶     | 弱可溶         | 中等可溶        | 强可溶    |
| 测量值                                       | 0~0.042 | 0.042~0.104 | 0.104~0.254 | >0.254 |
| 修正的岩层倾角 $J_2$                             | 0~5     | 5~10        | 10~25       | 25~45  |
| 可溶岩与非可溶岩接触带 $J_3$                         | 不/微发育   | 弱发育         | 中等发育        | 强发育    |
| 分值                                        | 100~85  | 85~70       | 70~60       | 60~0   |
| 断层带宽度 $J_4$ , m                           | 0~1     | 1~5         | 5~10        | >10    |
| 断层性质 $J_5$                                | 压性      | 扭性          | 张扭性         | 张性     |
| 分值                                        | 100~85  | 85~70       | 70~60       | 60~0   |
| 节理裂隙发育程度 $J_6$                            | 不/微发育   | 弱发育         | 中等发育        | 强发育    |
| 分值                                        | 100~85  | 85~70       | 70~60       | 60~0   |
| 地表水流量 $J_7$ , $10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ | 0~1     | 1~5         | 5~10        | >10    |
| 地表汇水面积 $J_8$ , $\text{m}^2$               | <5      | 5~7.5       | 7.5~10      | >10    |
| 隧洞埋深 $J_9$ , m                            | 100~60  | 60~40       | 40~20       | 20~0   |
| 施工干扰度 $J_{10}$                            | 无/微     | 弱           | 中等          | 强      |
| 分值                                        | 100~85  | 85~70       | 70~60       | 60~0   |

A.2 属性识别模型

结合10个指标的致灾程度分值，用最大特征值法计算各指标的权重为 $\omega=(0.120, 0.036, 0.132, 0.119, 0.075, 0.095, 0.123, 0.123, 0.132, 0.044)$ 。危险性等级的确定：根据综合隶属度公式计算总评分，并根据属性识别系统确定突涌水危险性等级。

A.2.1 多指标综合属性测度分析

综合属性测度  $\mu_{tk}$  可按式计算：

$$\mu_{tk} = \sum_{j=1}^m \omega_j \mu_{tjk} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中： $\omega_j$ 为第  $j$  个指标的权重，满足

$$0 \leq \omega_j \leq 1, \sum_{j=1}^m \omega_j = 1 \dots\dots\dots (A.2)$$

权重  $w_j$  反映了第  $j$  个指标  $J_j$  对  $x$  的重要性，它可以由专家和试验数据确定。

### A.2.2 属性识别分析系统

$\lambda$  为置信度系数， $0.5 < \lambda \leq 1$ 。工程应用中  $\lambda$  通常取值在 0.6~0.7 之间。

当  $C_1 > C_2 > \dots > C_K$ ，即危险性随着  $k$  的增大而减小。若满足，

$$k_0 = \min \left\{ k : \sum_{l=1}^k \mu_{kl} \geq \lambda \mid 1 \leq k \leq K \right\} \dots\dots\dots (A.3)$$

则认为  $x$  属于  $C_{k_0}$  级别。

当  $C_1 < C_2 < \dots < C_K$ ，即危险性随着  $k$  的增大而增大。若满足，

$$k_0 = \max \left\{ k : \sum_{l=k}^K \mu_{kl} \geq \lambda \mid 1 \leq k \leq K \right\} \dots\dots\dots (A.4)$$

则认为  $x$  属于  $C_{k_0}$  级别。

### A.3 算例

以秦岭输水隧洞下穿椒溪河段 K2+685~K2+962 为例（最小埋深仅为 20 m），介绍该评价方法的应用过程。

#### A.3.1 评价指标测量值

A.3.1.1 地层岩性  $J_1$ ：椒溪河段大理岩占 80%，石英片岩占 20%。按公式(5)定量化取值为  $t=0.207$ 。

$$t = \sum_{i=1}^4 A_i B_i = A_1 B_1 + A_2 B_2 + A_3 B_3 + A_4 B_4 = 0.636 B_1 + 0.259 B_2 + 0.105 B_3 \dots\dots\dots (A.5)$$

式中： $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$  和  $A_4$  分别代表强可溶、中等可溶、弱可溶和不可溶岩对隧洞突涌水的影响程度，分别为 0.636、0.259、0.105 和 0； $B_1$ 、 $B_2$ 、 $B_3$  和  $B_4$  分别代表强可溶、中等可溶、弱可溶和不可溶岩占岩石总量的百分比。

A.3.1.2 修正的岩层倾角  $J_2$ ：经过现场勘测，确定岩层倾角为  $55^\circ$ 、 $50^\circ$ ，各占比例为 50%、50%。则修正的岩层倾角为  $\varphi = 25 + (65 - 55) = 35^\circ$ 、 $\varphi = 25 + (65 - 50) = 40^\circ$ 。

A.3.1.3 可溶岩与非可溶岩接触带  $J_3$ ：专家判定此下穿河段岩性接触带为中等有利于岩溶发育，评分值为 65 分。

A.3.1.4 断层带宽度  $J_4$ ：椒溪河段发育有两条断层 fs2 和 fs3，fs2 为右旋平移逆断层，宽度为 70 m；fs3 为逆断层，宽度为 15m，为早期初—脆性剪切带的继承性断层。

A.3.1.5 断层性质  $J_5$ ：由上可知，fs2 和 fs3 断层均为逆断层，即压性，评估为 90 分。

A.3.1.6 节理裂隙发育程度  $J_6$ ：通过现场地质勘察判定节理裂隙、溶蚀裂隙较发育~发育，评分值为 60 分。

A.3.1.7 地表水流量  $J_7$ ：该段隧洞上覆河流为椒溪河，测量得知河流断面平均流量为  $62208000 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

A.3.1.8 地表汇水面积  $J_8$ ：通过专家评判确定地表河流汇水流域面积为  $S=20 \text{ km}^2$ 。

A.3.1.9 隧洞埋深  $J_9$ : 根据勘察资料可知, 河床底部距离隧洞拱顶最小高度为 20 m。  
A.3.1.10 施工干扰度  $J_{10}$ : 根据专家评判可知, 施工干扰为中等, 给出评分值为 70 分。

A.3.2 属性识别分析结果

A.3.2.1 属性识别时采用置信度系数 $\lambda=0.65$ , 将定量化的指标参数值代入属性测度函数, 得到各风险等级对应的单指标隶属度。风险等级计算结果见表 A-2。

表 A-2 秦岭输水隧洞 K2+685~K2+962 段属性测度计算表

| 评价指标     |             | 测量值                                       | 单指标属性测度        |                |                |                |
|----------|-------------|-------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|          |             |                                           | C <sub>4</sub> | C <sub>3</sub> | C <sub>2</sub> | C <sub>1</sub> |
| $J_1$    | 地层岩性        | 石英片岩、大理岩(0.207)                           | 0              | 0              | 0.81           | 0.19           |
| $J_2$    | 岩层倾角        | 55°(50%)/50°(50%)                         | 0              | 0              | 0              | 1              |
| $J_3$    | 可溶岩与非可溶岩接触带 | 中等~非                                      | 0              | 0              | 1              | 0              |
| $J_4$    | 断层宽度        | 15m                                       | 0              | 0              | 0              | 1              |
| $J_5$    | 断层性质        | 压性                                        | 0.83           | 0.17           | 0              | 0              |
| $J_6$    | 裂隙发育情况      | 较发育~发育                                    | 0              | 0              | 0.50           | 0.50           |
| $J_7$    | 地表水流量       | 6220.8(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /d) | 0              | 0              | 0              | 1              |
| $J_8$    | 地表汇水面积      | 20km <sup>2</sup>                         | 0              | 0              | 0              | 1              |
| $J_9$    | 隧洞埋深        | 20m                                       | 0              | 0              | 0.5            | 0.5            |
| $J_{10}$ | 施工干扰        | 中等                                        | 0              | 0.5            | 0.5            | 0              |
| 综合属性测度   |             |                                           | 0.0625         | 0.0345         | 0.3649         | 0.5381         |

A.3.2.1 由表 A-2 可知, 当  $k=1$  时,  $\sum_{l=1}^4 \mu_{xl} = 0.0625 + 0.0345 + 0.3649 + 0.5381 = 1 > 0.65$  ;

当  $k=2$  时 ,  $\sum_{l=2}^4 \mu_{xl} = 0.0625 + 0.0345 + 0.3649 = 0.4619 < 0.65$  。 所以 当  $k=1$  时 ,

$k_0 = \max \left\{ k : \sum_{l=k}^4 \mu_{xl} \geq 0.65, 1 \leq k \leq 4 \right\}$  成立。即椒溪河浅埋段发生突涌水的危险性等级为 I 级, 具有极高危险性。根据表 1, 预测该段涌水量 $\geq 1.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

附 录 B  
(规范性)

埋深≥400 m 的隧洞突涌水危险性评价方法

B.1 埋深≥400 m 的隧洞突涌水危险性评价指标取值标准

B.1.1 地层岩性  $I_1$  的致灾程度由岩体结构  $I_{11}$  和岩石类型  $I_{12}$  两个二级指标表述：

表 B.1 地层岩性 /致灾程度表述

| 岩体结构 $I_{11}$ | 粗晶结构和<br>亮晶结构       | 粒屑结构              | 泥晶结构            | 生物碎屑结构 |
|---------------|---------------------|-------------------|-----------------|--------|
| 分值            | 90                  | 60                | 40              | 20     |
| 岩石类型 $I_{12}$ | 灰质泥岩、泥岩、其他非碳酸<br>岩类 | 灰质白云岩、白云岩、<br>大理岩 | 白云质灰岩、泥质石<br>灰岩 | 石灰岩    |
| 分值            | 90                  | 70                | 30              | 10     |

若所评价段出现多种岩石类型（结构）时，可采用式（B.1）计算分值：

$$I_{1j} = \sum_{n=1}^m I_{1jn}^n A_n, \quad j=1,2; m=1,2,3,4,5 \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

$m$ 为岩石的类型（结构）数；

$I_{1j}^n$  为第 $n$ 种岩石类型（结构）的分值；

$A_n$ 为第 $n$ 种岩石量占岩石总量的百分比。

B.1.2 岩层产状  $I_2$  的致灾程度评分值可由岩层倾角 $\psi$ 表述：

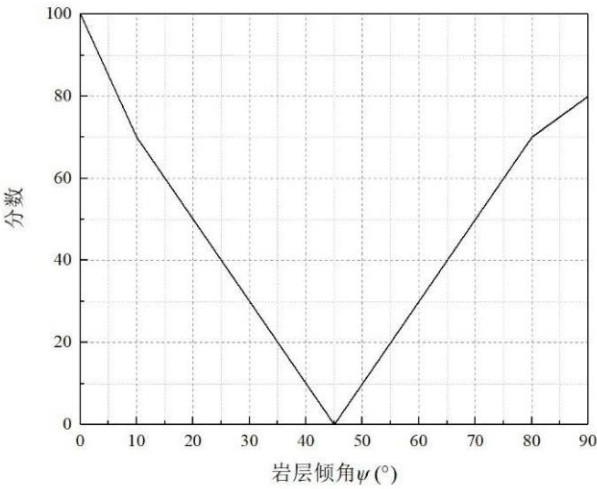


图 B.1 岩层倾角  $I_2$  的致灾程度

若所评价段岩层产状出现多种岩层倾角时，可采用式（2）计算分值：

$$I_2 = \sum_{a=1}^b I_2^a A_a \dots\dots\dots (B.2)$$

式中：  
*b*为该段的岩层倾角数；  
*I<sub>2</sub><sup>a</sup>*为第*a*种岩层倾角的分值；  
*A<sub>a</sub>*为第*a*种岩层倾角区域所占该段总区域的百分比。

B.1.3 可溶岩与非可溶岩（岩性）接触带 *I<sub>3</sub>* 的致灾程度由接触带规模及发育程度表述：

表 B.2 可溶岩与非可溶岩（岩性）接触带致灾程度

|                                 |                    |                            |              |               |
|---------------------------------|--------------------|----------------------------|--------------|---------------|
| 接触带规模及发育程度 <i>I<sub>3</sub></i> | 弱可溶岩或中等可溶岩与非可溶岩接触带 | 强可溶岩与非可溶岩接触带、中等可溶岩与弱可溶岩接触带 | 强可溶岩与弱可溶岩接触带 | 强可溶岩与中等可溶岩接触带 |
| 分值                              | 80                 | 60                         | 40           | 20            |

B.1.4 不良地质 *I* 的致灾程度由破碎带宽度 *I<sub>1</sub>* 与断层性质 *I<sub>2</sub>* 两个二级指标表述：

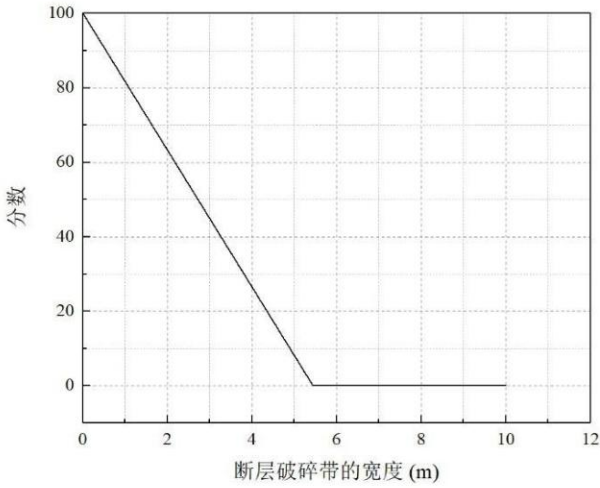


图 B.2 断层破碎带宽度 *I<sub>1</sub>* 的致灾程度

表 B.3 断层性质 *I<sub>2</sub>* 致灾程度

|                           |     |     |    |        |
|---------------------------|-----|-----|----|--------|
| 断层性质 <i>I<sub>2</sub></i> | 压性  | 压扭性 | 扭性 | 张性或张扭性 |
| 分值                        | 100 | 70  | 50 | 30     |

B.1.5 层面（间）节理裂隙与地表河流规模结合度 *I<sub>5</sub>* 的致灾程度由节理裂隙发育及其与地表河流规模的结合度来表述：

表 B.4 节理裂隙发育及其与地表河流规模的结合度  $I_5$ 致灾程度

| 节理裂隙发育程度与地表河流规模结合度 $I_5$ | 无长大裂隙或长大裂隙不发育，且裂隙处河流流量为 $(0\sim1)\times10^4\text{m}^3/\text{d}$ | 长大裂隙不发育—较发育或长大裂隙不发育倾向洞身，且裂隙处河流流量为 $(1\sim5)\times10^4\text{m}^3/\text{d}$ | 长大裂隙较发育—发育或长大裂隙较发育倾向洞身，且裂隙处河流流量为 $(5\sim10)\times10^4\text{m}^3/\text{d}$ | 长大裂隙很发育倾向洞身，且裂隙处河流流量 $(>10)\times10^4\text{m}^3/\text{d}$ |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 分值                       | 80                                                              | 50                                                                        | 20                                                                        | 10                                                        |

B.1.6 地表汇流条件  $I_6$ 的致灾程度由地表汇水面积表述：

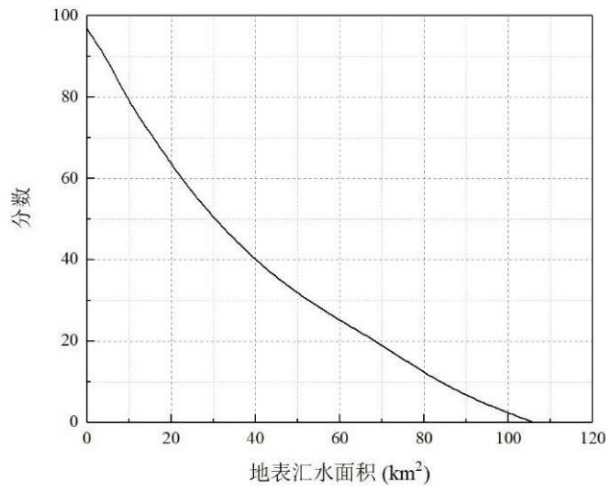


图 B.3 地表汇水面积  $I_6$ 的致灾程度

B.1.7 隧洞底部水头压力  $I_7$ 的致灾程度表述：

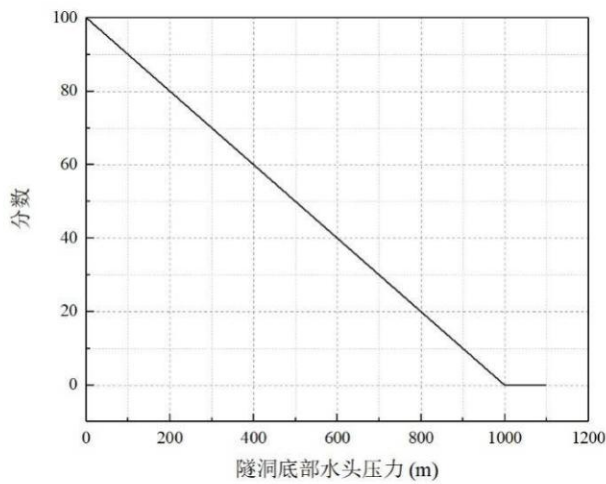


图 B.4 隧洞底部水头压力  $I_7$ 的致灾程度

B.2 评级层等级

B.2.1 针对 7 个指标结合每个指标的致灾程度分值，基于最大特征值法计算各指标的权重为 $\omega=(0.067, 0.035, 0.152, 0.259, 0.149, 0.279, 0.058)$ ，同理，二级指标的相应权值为 $\omega_{11}=0.250, \omega_{12}=0.750, \omega_{41}=0.5, \omega_{42}=0.5$ 。

B.2.2 危险性等级的确定：利用总评分计算公式计算总评分，并根据评级层等级确定突涌水危险性等级。

B.2.3 一级指标  $I_i$  的分值计算公式:

$$I_i = \sum_{j=1}^2 \omega_{ij} I_{ij} \dots\dots\dots (B.3)$$

式中:  
 $\omega_{ij}$ 为第*i*个一级指标下的第*j*个二级指标的权值;  
 $I_{ij}$ 为第*i*个一级指标下的第*j*个二级指标的分值。

B.2.4 危险性总评分  $C$ 的计算公式:

$$C = \sum_{i=1}^7 \omega_i I_i \dots\dots\dots (B.4)$$

式中:  
 $\omega_i$ 为第*i*个指标下的权值;  
 $I_i$ 为第*i*个指标的分值。

表 B-5 突涌水灾害危险性等级与评级层等级的对应关系

| 危险性等级           | 评级层等级             |
|-----------------|-------------------|
| 高危险性（Ⅰ级）        | $C \leq 25$       |
| 中等危险性（Ⅱ级）       | $25 < C \leq 50$  |
| 低危险性（Ⅲ级）        | $50 < C \leq 75$  |
| 微危险性或基本无危险性（Ⅳ级） | $75 < C \leq 100$ |

B.3 算例

B.3.1 以引汉济渭工程秦岭输水隧洞花岗岩段K32+000~K38+000为例（埋深950 m ~1451 m），介绍该评价方法的应用过程。

B.3.1.1 各指标量化打分如下:

- a) 地层岩性  $I_1$ : 该段主要分布为印支期侵入岩的花岗岩（ $\gamma_5$ ）：灰白色，中粗粒结构，岩体完整，岩质坚硬，属坚硬岩，由表 B-1 查得岩体结构  $I_{11}$  分值为 90 分；主要成份为长石、石英，含少量角闪石、黑云母，岩石类型  $I_{12}$  对应分值为 90 分。
- b) 岩层产状  $I_2$ : 其岩层倾角均为 0 度，故查得  $I_2$  的分值为 100 分。
- c) 可溶岩与非可溶岩接触带  $I_3$ : 该段区域内均为花岗岩为弱可溶岩与非可溶岩接触带，故由表 B-2 得其量化打分为 80 分。
- d) 不良地质  $I_4$ : 该段分布有 f7 断层：通过东木河及石板沟，断层宽度较窄，断面平直光滑，有擦痕，局部集中为断层组。产状  $N80^\circ \sim 85^\circ W / 70^\circ \sim 85^\circ N$ （ $5^\circ \sim 10^\circ \angle 70^\circ \sim 85^\circ$ ），断裂带物质以碎裂岩为主，断层破碎带宽度 10 m~30 m， $I_{41}$  分值在图 B.2 中查得为 0 分。断层性质为走滑剪切带，为张扭性， $I_{42}$  分值由表 B-3 查得为 30 分。
- e) 节理裂隙发育程度与洞身的结合性  $I_5$ : 长大裂隙不发育—较发育与倾向洞身，故由表 B-4 得其量化打分为 80 分。
- f) 地表汇流条件  $I_6$ : 该段分布的地表河流有七里沟、石板沟，汇水面积为各河流汇水面积之和 33.1 km<sup>2</sup>，故从图 B.3 中查得分值为 47 分。

g) 隧洞底部水头压力  $I_7$ : 该段隧洞底部的平均水头压力为 1095 m, 故从图 B.4 中查得分值为 0 分。

### B.3.1.2 计算一级指标

对存在二级指标的地层岩性  $I_1$  和不良地质  $I_4$ , 利用式 (3) 计算其相应分值。

$$I_1 = \sum_{j=1}^2 \omega_j I_{1j} = \omega_1 I_{11} + \omega_2 I_{12} = 0.250 \times 20 + 0.750 \times 10 = 12.5 \dots\dots\dots (B.5)$$

式中:

$\omega_{1j}$  为地层岩性指标  $I_1$  的第  $j$  个二级指标的权值;

$I_{1j}$  为地层岩性指标  $I_1$  的第  $j$  个二级指标的分值。

$$I_4 = \sum_{j=1}^2 \omega_j I_{4j} = \omega_1 I_{41} + \omega_2 I_{42} = 0.5 \times 100 + 0.5 \times 70 = 85 \dots\dots\dots (B.6)$$

式中:

$\omega_{4j}$  为不良地质指标  $I_4$  的第  $j$  个二级指标的权值;

$I_{4j}$  为不良地质指标  $I_4$  的第  $j$  个二级指标的分值。

因此, 该段  $I_1 = 12.5$  分,  $I_4 = 85$  分。

### B.3.1.3 计算危险性总评分值

利用式 (4) 计算危险性的总评分值, 该段的总评分为  $C = 50.66$  分。

### B.3.1.4 确定危险性等级

该段的总评分为  $C = 50.66$  分, 根据表 B-5 确定其危险性等级为 III 级。

### B.3.1.5 突涌水量的预测

经评价, 该段突涌水危险性等级为 III 级, 根据表 2 埋深  $\geq 400$  m 的隧洞突涌水风险等级与水量划分情况, 判断该段单点最大突涌水量在  $0.1 \times 10^4 \leq Q < 1 \times 10^4$  ( $\text{m}^3/\text{d}$ ) 之间。

## 参 考 文 献

- [1] GB/T 27921 风险管理 风险评估技术
  - [2] GB/T 40112 地质灾害危险性评估规范
  - [3] GB 50108 地下工程防水技术规范
  - [4] GB 50287 水力发电工程地质勘察规范
  - [5] GB 50487 水利水电工程地质勘察规范
  - [6] DL/T 5148 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范
  - [7] SL 279 水工隧洞设计规范
  - [8] SL 373 水利水电工程水文地质勘察规范
  - [9] SL 629 引调水线路工程地质勘察规范
  - [10] SL 725 水利水电工程安全监测设计规范
  - [11] TB 10049 铁路工程水文地质勘察规范
-