

ICS 93.060

CCS P 21



# 中华人民共和国交通运输行业标准

JT/T 1375.3—2024

## 公路水运工程施工安全风险评估指南 第3部分：隧道工程

Guideline for safety risk assessment of highway and waterway  
engineering construction—Part 3: Tunnel engineering

2024-08-15 发布

2024-12-01 实施

中华人民共和国交通运输部 发布

## 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 基本要求 .....	2
5 总体风险评估 .....	2
5.1 一般要求 .....	2
5.2 主控因素判识法 .....	2
5.3 指标体系法 .....	5
6 专项风险评估 .....	9
6.1 一般要求 .....	9
6.2 风险辨识与风险分析 .....	9
6.3 风险估测 .....	9
6.4 风险控制预期效果评价 .....	16
7 风险控制措施 .....	16
8 风险评估报告 .....	16
附录 A(资料性) 隧道工程施工作业程序分解示例 .....	17
附录 B(资料性) 公路隧道工程施工典型风险事件类型 .....	20
附录 C(资料性) 施工前风险事件可能性评估指标体系 .....	28
附录 D(资料性) 施工过程中风险事件可能性评估指标体系法 .....	36
附录 E(资料性) 公路隧道典型重大风险源风险控制措施 .....	63
附录 F(资料性) 重要性排序法权重系数表 .....	79
附录 G(资料性) 可选用的评估方法 .....	80
参考文献 .....	89

## 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。

本文件是 JT/T 1375《公路水运工程施工安全风险评估指南》的第3部分。JT/T 1375 已经发布了以下部分：

- 第1部分：总体要求；
- 第3部分：隧道工程；
- 第5部分：港口工程；
- 第6部分：航道工程；
- 第7部分：船闸工程。

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。

本文件由交通运输部安全与质量监督管理局提出并归口。

本文件起草单位：交通运输部公路科学研究所、昆明理工大学、交通运输部科学研究院、北京科技大学、中国路桥工程有限责任公司、四川藏区高速公路有限责任公司。

本文件主要起草人：李伟、吴顺川、吴忠广、陈磊、严琼、吴全立、张宇、刘伟、吴金、王涵、张晨曦、杨弘卿、郑甲佳、李铮、牟力、张文居、王浩、贾迟。

## 引 言

JT/T 1375《公路水运工程施工安全风险评估指南》是指导公路水运工程施工安全风险评估的基础性和通用性标准。JT/T 1375 旨在指导公路水运工程施工安全风险评估工作的开展,由七个部分构成。

- 第1部分:总体要求。确立适用于开展公路水运工程施工安全风险评估工作需要遵守的通用规则和基本规定。
- 第2部分:桥梁工程。为桥梁工程施工安全风险评估工作的开展提供可操作、可参考的评估程序和方法。
- 第3部分:隧道工程。为隧道工程施工安全风险评估工作的开展提供可操作、可参考的评估程序和方法。
- 第4部分:边坡工程。为边坡工程施工安全风险评估工作的开展提供可操作、可参考的评估程序和方法。
- 第5部分:港口工程。为港口工程施工安全风险评估工作的开展提供可操作、可参考的评估程序和方法。
- 第6部分:航道工程。为航道工程施工安全风险评估工作的开展提供可操作、可参考的评估程序和方法。
- 第7部分:船闸工程。为船闸工程施工安全风险评估工作的开展提供可操作、可参考的评估程序和方法。

通过确立基本的评估程序,让评估人员在评估公路水运工程施工安全风险时有据可依,从而规范公路水运工程施工安全风险评估工作,提高评估的质量和评估效率,促使指南功能的有效发挥,更好地提升施工安全管理水平。



# 公路水运工程施工安全风险评估指南

## 第3部分：隧道工程

### 1 范围

本文件规定了公路隧道工程施工安全风险评估的基本要求以及总体风险评估、专项风险评估、风险控制措施、风险评估报告的要求。

本文件适用于钻爆法与盾构法施工的新建公路隧道工程,其他方法施工的新建公路隧道以及改建、扩建和增建公路隧道工程施工安全风险评估可参照使用。

### 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,凡是注日期的引用文件,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。

JT/T 1375.1—2022 公路水运工程施工安全风险评估指南 第1部分:总体要求

JTG F80/1—2017 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程

### 3 术语和定义

JT/T 1375.1—2022 界定的及下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

##### 风险源 risk source

可能单独或共同引发风险的内在要素,按引发风险事件后果严重程度可分为一般风险源和重大风险源。

注:风险源包括致险因素、风险事件等。

[来源:GB/T 23694—2013,4.5.1.2,有修改]

#### 3.2

##### 主控因素判识法 identification method of main controlling factor

根据影响公路隧道工程施工安全风险的主控因素,建立体现风险特征的主控因素判识表,分级量化各主控因素,对隧道施工安全总体风险作出评估的一种方法。

注:主控因素是指隧道结构类型与区域环境、隧道长度、隧道开挖跨度、不良地质等影响公路隧道工程施工安全风险的主要控制性因素。

#### 3.3

##### 后果当量估计法 consequence equivalent estimation method

对风险事件导致的后果严重程度进行量化统一,采用后果当量确定风险事件后果严重程度的一种方法。

注:后果当量是指与综合表征人员伤亡、直接经济损失、社会影响、环境影响及工期延误等后果严重程度相当的量。

#### 4 基本要求

隧道工程施工安全风险评估的基本要求宜符合 JT/T 1375.1—2022 第 4 章的要求,其中,总体风险评估按隧道单洞或单个竖井、斜井划分评估单元,专项风险评估宜结合地质情况按隧道施工区段划分评估单元。

#### 5 总体风险评估

##### 5.1 一般要求

5.1.1 开展总体风险评估依据的资料宜符合 JT/T 1375.1—2022 中 5.1.3 的要求,还应收集隧道工程相关事故案例等作为参考资料。

5.1.2 总体风险评估应采用主控因素判识法或指标体系法等方法,并按图 1 的流程进行评估。

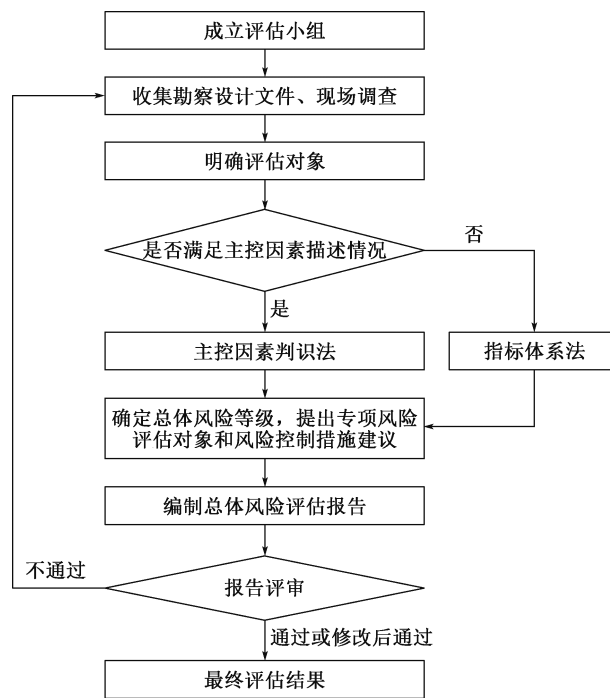


图 1 隧道总体风险评估流程图

5.1.3 双洞和多洞隧道宜分别按单洞进行总体风险评估,并取风险等级高者作为隧道总体风险等级。

5.1.4 隧道工程施工安全总体风险评估的结论宜明确总体风险等级、主控因素清单、重大风险控制措施和专项风险评估对象的建议等。

5.1.5 总体风险评估等级为重大风险(Ⅳ级)、较大风险(Ⅲ级)的隧道工程宜开展专项风险评估。

##### 5.2 主控因素判识法

5.2.1 钻爆法施工的隧道工程宜从隧道结构类型与区域环境、辅助坑道、隧道长度、隧道开挖跨度、洞口地质特征、围岩条件、预测瓦斯涌出量、预测涌水量、隧道最大埋深、岩溶发育程度等方面,判识影响隧道施工安全的主控因素,根据表 1 确定总体风险等级。

表1 主控因素判别表(钻爆法)

评估指标		总体风险等级		说明
主控因素	因素描述	重大风险 (IV级)	较大风险 (III级)	
隧道结构类型与区域环境	海底隧道,下穿河流湖泊、重要水源保护地及重要建(构)筑物的隧道	√	—	下穿重要建(构)筑物的隧道是指隧道与重要建(构)筑物的垂直距离小于4倍隧道开挖跨度且水平距离小于3倍隧道开挖跨度;此处连拱隧道,小净距隧道是指IV级以上围岩长度占比超过50%的情形
	连拱隧道,小净距隧道	—	√	
辅助坑道	辅助坑道为竖井	√	—	
	辅助坑道为斜井	—	√	
隧道长度	隧道长度大于或等于6000m	√	—	
	隧道长度为3000m~6000m	—	√	
隧道开挖跨度	隧道开挖跨度大于或等于18m	√	—	
	隧道开挖跨度为14m~18m	—	√	
洞口地质特征	洞口位于滑坡体或堆积体上	√	—	
围岩条件	V级围岩累计长度大于或等于1000m的长、特长隧道;V级围岩累计长度大于或等于500m的中隧道;V级围岩累计长度大于或等于400m的短隧道	√	—	
	V级围岩累计长度为600m~1000m的长、特长隧道;V级围岩累计长度为400m~500m的中隧道;V级围岩累计长度为300m~400m的短隧道	—	√	
	VI级围岩、断层破碎带、膨胀土、富水软岩段连续长度大于或等于100m,富水砂层	√	—	
	VI级围岩、断层破碎带、膨胀土、富水软岩段连续长度为50m~100m,冻土	—	√	
预测瓦斯涌出量	预测瓦斯涌出量大于或等于3m <sup>3</sup> /min	√	—	瓦斯涌出量大于或等于3m <sup>3</sup> /min为高瓦斯工区,瓦斯涌出量为1m <sup>3</sup> /min~3m <sup>3</sup> /min为低瓦斯工区
	预测瓦斯涌出量为2m <sup>3</sup> /min~3m <sup>3</sup> /min	—	√	
预测涌水量	预测涌水量大于或等于20000m <sup>3</sup> /d	√	—	
	预测涌水量为10000m <sup>3</sup> /d~20000m <sup>3</sup> /d	—	√	
隧道最大埋深	隧道最大埋深大于或等于1200m	√	—	
	隧道最大埋深为800m~1200m	—	√	
岩溶发育程度	岩溶极发育,且存在宽度大于或等于2/3隧道开挖跨度的岩溶洞穴、地下暗河等	√	—	
	岩溶发育,且存在宽度大于或等于1/3隧道开挖跨度的岩溶洞穴等	—	√	



5.2.2 盾构法施工的隧道工程宜从隧道长度、掘进断面直径、附属工程、隧道主体邻近建(构)筑物、隧道穿越水体、不良地质段长度、岩溶发育程度等方面,判识影响隧道施工安全的主控因素,根据表2确定总体风险等级。

表2 主控因素判识表(盾构法)

评估指标		总体风险等级		说明
主控因素	因素描述	重大风险(Ⅳ级)	较大风险(Ⅲ级)	
隧道长度	隧道长度大于或等于6000 m	√	—	隧道长度为两个工作井之间的设计长度
	隧道长度为3000 m~6000 m	—	√	
掘进断面直径	掘进断面直径大于或等于18 m	√	—	
	掘进断面直径为16 m~18 m	—	√	
附属工程	联络通道、始发或者到达端头位于富水砂层或建(构)筑物下无法直接加固	√	—	
	联络通道、始发或者到达端头位于富水地层或开挖线以外1倍覆土厚度加0.5倍洞径范围内存在重要建(构)筑物	—	√	
隧道主体邻近建(构)筑物	隧道正上方或者开挖线以外0.5倍洞径范围内存在密集或高敏感性建(构)筑物,且涉及隧道长度大于或等于600 m	√	—	高敏感性建(构)筑物包括:地下供排水管、天然气管线、军用通信光缆以及重点保护的建筑物等
	开挖线以外0.5倍洞径~1倍覆土厚度加0.5倍洞径范围内存在密集或高敏感性建(构)筑物,且涉及隧道长度大于或等于600 m	—	√	
隧道穿越水体	常水位下隧道长度大于或等于1500 m,或水压大于或等于0.6 MPa	√	—	无特殊说明时,水压均指开挖线最低处水压
	常水位下隧道长度为600 m~1500 m,或水压为0.45 MPa~0.6 MPa	—	√	
不良地质段长度	不良地质段长度大于或等于600 m	√	—	不良地质是指软硬不均地层(硬岩单轴抗压强度大于60 MPa)、富水砂层、深厚淤泥层、饱和粉细砂层、卵石、漂石、孤石层、断层破碎带等
	不良地质段长度为400 m~600 m	—	√	
岩溶发育程度	岩溶极发育,且存在宽度大于或等于2/3洞径的岩溶洞穴、地下暗河等	√	—	
	岩溶发育,且存在宽度大于或等于1/3洞径的岩溶洞穴等	—	√	

5.2.3 由不同主控因素确定的隧道总体风险等级不同时,以等级高值为准。

### 5.3 指标体系法

5.3.1 钻爆法施工的隧道总体风险评估指标体系宜包括建设规模、地质条件、环境海拔、隧道埋深、洞口特征、年均降雨量、资料完整性等7个项别,具体指标体系可根据表3确定。

表3 指标体系评估表(钻爆法)

项别	评估指标	分级	分值	说明
建设规模 $B_{db}$	隧道长度 $B_{db-1}$	$1\ 000\text{ m} \leq B_{db-1} < 3\ 000\text{ m}$	7	根据设计文件确定
		$500\text{ m} \leq B_{db-1} < 1\ 000\text{ m}$	4	
		$B_{db-1} < 500\text{ m}$	1	
	隧道开挖 跨度 $B_{db-2}$	$9\text{ m} \leq B_{db-2} < 14\text{ m}$	4	根据设计文件确定(隧道 主线主要考虑正洞开挖跨 度)
$B_{db-2} < 9\text{ m}$		1		
地质条件 $G_{db}$	围岩条件 $G_{db-1}$	V级围岩累计长度 $400\text{ m} \leq G_{db-1} < 600\text{ m}$ 的长、特长隧道 V级围岩累计长度 $200\text{ m} \leq G_{db-1} < 400\text{ m}$ 的中隧道 V级围岩累计长度 $100\text{ m} \leq G_{db-1} < 300\text{ m}$ 的短隧道 VI级围岩、断层破碎带、膨胀土、富水软岩段连续长度 $30\text{ m} \leq G_{db-1} < 50\text{ m}$	7	根据地质勘察资料、设计文件确定
		V级围岩累计长度 $G_{db-1} < 400\text{ m}$ 的长、特长隧道 V级围岩累计长度 $G_{db-1} < 200\text{ m}$ 的中隧道 V级围岩累计长度 $G_{db-1} < 100\text{ m}$ 的短隧道 VI级围岩、断层破碎带、膨胀土、富水软岩段连续长度 $G_{db-1} < 30\text{ m}$	1	
	预测瓦斯 涌出量 $G_{db-2}$	$1\text{ m}^3/\text{min} \leq G_{db-2} < 2\text{ m}^3/\text{min}$	6	根据地质勘察资料、设计文件确定
		$0.5\text{ m}^3/\text{min} \leq G_{db-2} < 1\text{ m}^3/\text{min}$	2	
		$0\text{ m}^3/\text{min} < G_{db-2} < 0.5\text{ m}^3/\text{min}$	1	
	预测涌水量 $G_{db-3}$	$5\ 000\text{ m}^3/\text{d} \leq G_{db-3} < 10\ 000\text{ m}^3/\text{d}$	12	根据地质勘察资料、设计文件确定
		$2\ 000\text{ m}^3/\text{d} \leq G_{db-3} < 5\ 000\text{ m}^3/\text{d}$	6	
		$G_{db-3} < 2\ 000\text{ m}^3/\text{d}$	1	
	岩溶发育 程度 $G_{db-4}$	岩溶发育	12	根据地质勘察资料确定
		岩溶较发育	6	
岩溶不发育		0		
环境海拔 $H_{db}$	$H_{db} \geq 3\ 500\text{ m}$	7	根据地质勘察资料、设计文件确定	
	$3\ 000\text{ m} \leq H_{db} < 3\ 500\text{ m}$	4		
	$2\ 000\text{ m} \leq H_{db} < 3\ 000\text{ m}$	1		
	$H_{db} < 2\ 000\text{ m}$	0		

表3 指标体系评估表(钻爆法)(续)

项别	评估指标	分级	分值	说明
隧道埋深 $S_{db}$		$400\text{ m} \leq S_{db} < 800\text{ m}$ (高地应力)	12	根据地质勘察资料、设计文件确定
		$400\text{ m} \leq S_{db} < 800\text{ m}$ (非高地应力)	1	
		$50\text{ m} \leq S_{db} < 400\text{ m}$	1	
		$S_{db} < 50\text{ m}$	12	
洞口特征 $C_{db}$	洞口地质特征 $C_{db-1}$	洞口岩层松散、破碎,存在失稳可能	7	根据地质勘察资料、设计文件并结合现场调查确定
		洞口位于地形陡峭、容易产生崩塌或落石的位置	4	
		洞口边仰坡较稳定	0	
	洞口偏压角度 $C_{db-2}$	$C_{db-2} \geq 25^\circ$	7	洞口偏压角度是指隧道轴线与隧道入口处边坡面倾向间的夹角(锐角),具体根据设计文件确定
		$C_{db-2} < 25^\circ$	1	
年均降雨量 $W_{db}$		$W_{db} \geq 2\ 000\text{ mm}$	1.20	根据气象资料确定(近5年降雨量平均值)
		$1\ 500\text{ mm} \leq W_{db} < 2\ 000\text{ mm}$	1.10	
		$800\text{ mm} \leq W_{db} < 1\ 500\text{ mm}$	1.05	
		$W_{db} < 800\text{ mm}$	1.00	
资料完整性 $D$		地质、水文资料不完整,岩土计算参数选取依据欠充分	1.20	对地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件调查分析清楚,岩土计算参数选取依据充分的取小值;否则取大值
		地质、水文资料基本完整,岩土计算参数选取依据较充分	1.10	
		地质、水文资料完整,岩土计算参数选取依据充分	1.00	

5.3.2 盾构法施工的隧道总体风险评估指标体系宜包括建设规模、地质条件、环境条件、盾构机选型、资料完整性等5个项别,具体指标体系可根据表4确定。

表4 指标体系评估表(盾构法)

项别	评估指标	分级	分值	说明
建设规模 $B_{sh}$	隧道长度 $B_{sh-1}$	$1\ 000\text{ m} \leq B_{sh-1} < 3\ 000\text{ m}$	7	根据设计文件确定
		$500\text{ m} \leq B_{sh-1} < 1\ 000\text{ m}$	4	
		$B_{sh-1} < 500\text{ m}$	1	
	掘进断面直径 $B_{sh-2}$	$14\text{ m} \leq B_{sh-2} < 16\text{ m}$	7	根据设计文件确定
		$9\text{ m} \leq B_{sh-2} < 14\text{ m}$	4	
		$B_{sh-2} < 9\text{ m}$	1	

表4 指标体系评估表(盾构法)(续)

项别	评估指标	分级	分值	说明
地质条件 $G_{sh}$	不良地质段长度 $G_{sh-1}$	$100\text{ m} \leq G_{sh-1} < 400\text{ m}$	10	不良地质包括软硬不均地层(硬岩单轴抗压强度大于60 MPa)、富水砂层、深厚淤泥层、饱和粉细砂层、卵石、漂石、孤石层、断层破碎带、岩溶等;两种以上不良地质叠加可适当提高指标分值,取修正系数1.1~1.5,但最高不超过15分
		$0\text{ m} < G_{sh-1} < 100\text{ m}$	5	
		无不良地质	0	
	有害气体 $G_{sh-2}$	隧道洞身穿越含有害气体地层	6	根据地质勘察资料、设计文件确定
		隧道洞身附近存在有害气体地层	2	
		隧道施工区域不存在有害气体地层	0	
	最大水压 $G_{sh-3}$	$0.30\text{ MPa} \leq G_{sh-3} < 0.45\text{ MPa}$	4	最大水压指开挖线最低处水压,根据地质勘察资料、设计文件等确定
		$G_{sh-3} < 0.30\text{ MPa}$	1	
	岩溶发育程度 $G_{sh-4}$	岩溶发育	12	根据地质勘察资料确定
		岩溶较发育	6	
岩溶不发育		0		
环境条件 $E_{sh}$	隧道主体附近建(构)筑物情况 $E_{sh-1}$	开挖线以外1倍覆土厚度加0.5倍洞径范围内存在建(构)筑物,且涉及盾构长度小于600 m	10	建(构)筑物敏感度极高或建筑物较多时取修正系数1.2,一般取1.0
		开挖线以外1倍覆土厚度加0.5~1倍洞径范围内存在建(构)筑物	4	
		开挖线以外1倍覆土厚度加1~2倍洞径范围内存在建(构)筑物	1	
	联络通道、始发或接收端头工程环境情况 $E_{sh-2}$	位于富水砂层	7	根据工程数量可对指标分值进行修正,修正系数1.1~2.0
		位于富水地层或周边有重要建(构)筑物	4	
		位于非富水地层	0	
	隧道穿越水体长度 $E_{sh-3}$	常水位下隧道长度为300 m~600 m	9	根据地质勘察资料、设计文件确定
		常水位下隧道长度为100 m~300 m	4	
		常水位下隧道长度小于100 m	1	
	主隧道范围内障碍物情况 $E_{sh-4}$	明确存在的	10	障碍物为除孤石、漂石外的人工遗留物,如桩基、沉船等,根据地质勘察资料确定
可能存在的		4		
明确不存在的		0		

表 4 指标体系评估表(盾构法)(续)

项别	评估指标	分级	分值	说明
盾构机选型	$S_{sh}$	适应性和可靠性一般	5	根据盾构机选型与评估结果确定
		适应性和可靠性好	0	
资料完整性	$D$	地质、水文资料不完整,岩土计算参数选取依据欠充分	1.20	对地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件调查分析清楚,岩土计算参数选取依据充分的取小值;否则取大值
		地质、水文资料基本完整,岩土计算参数选取依据较充分	1.10	
		地质、水文资料完整,岩土计算参数选取依据充分	1.00	

5.3.3 钻爆法隧道施工安全总体风险分值按公式(1)计算:

$$R_{db} = (B_{db-1} + B_{db-2}) + D \times (G_{db-1} + G_{db-2} + G_{db-3} + G_{db-4}) + H_{db} + S_{db} + W_{db} \times (C_{db-1} + C_{db-2}) \dots\dots\dots(1)$$

式中:

- $R_{db}$  ——钻爆法隧道施工安全总体风险评估分值;
- $B_{db-1}$  ——隧道长度赋分值,取值见表3;
- $B_{db-2}$  ——隧道开挖跨度赋分值,取值见表3;
- $D$  ——资料完整性对隧道地质条件的修正系数,取值见表3;
- $G_{db-1}$  ——围岩条件赋分值,取值见表3;
- $G_{db-2}$  ——预测瓦斯涌出量赋分值,取值见表3;
- $G_{db-3}$  ——预测涌水量赋分值,取值见表3;
- $G_{db-4}$  ——岩溶发育程度赋分值,取值见表3;
- $H_{db}$  ——环境海拔赋分值,取值见表3;
- $S_{db}$  ——隧道埋深赋分值,取值见表3;
- $W_{db}$  ——年均降雨量对隧道洞口特征的修正系数,取值见表3;
- $C_{db-1}$  ——洞口地质特征赋分值,取值见表3;
- $C_{db-2}$  ——洞口偏压角度赋分值,取值见表3;
- $W_{db} \times (C_{db-1} + C_{db-2})$  ——取隧道进口、出口计算结果的较大值。

5.3.4 盾构法隧道施工安全总体风险分值按公式(2)计算:

$$R_{sh} = (B_{sh-1} + B_{sh-2}) + D \times (G_{sh-1} + G_{sh-2} + G_{sh-3} + G_{sh-4} + E_{sh-1} + E_{sh-2} + E_{sh-3} + E_{sh-4}) + S_{sh} \dots\dots\dots(2)$$

式中:

- $R_{sh}$  ——盾构法隧道施工安全总体风险评估分值;
- $B_{sh-1}$  ——隧道长度赋分值,取值见表4;
- $B_{sh-2}$  ——掘进断面直径赋分值,取值见表4;
- $D$  ——资料完整性对隧道地质条件及环境条件的修正系数,取值见表4;
- $G_{sh-1}$  ——不良地质段长度赋分值,取值见表4;
- $G_{sh-2}$  ——有害气体赋分值,取值见表4;
- $G_{sh-3}$  ——最大水压赋分值,取值见表4;

- $G_{sh-4}$  ——岩溶发育程度赋分值,取值见表4;  
 $E_{sh-1}$  ——隧道主体附近建(构)筑物情况赋分值,取值见表4;  
 $E_{sh-2}$  ——联络通道、始发或接收端头工程环境情况赋分值,取值见表4;  
 $E_{sh-3}$  ——隧道穿越水体长度赋分值,取值见表4;  
 $E_{sh-4}$  ——主隧道范围内障碍物情况赋分值,取值见表4;  
 $S_{sh}$  ——盾构机选型赋分值,取值见表4。

5.3.5 隧道工程施工安全总体风险等级按表5确定。

表5 隧道施工安全总体风险等级

风险等级	钻爆法评估分值 $R_{db}$	盾构法评估分值 $R_{sh}$
重大风险(Ⅳ级)	$R_{db} \geq 50$	$R_{sh} \geq 60$
较大风险(Ⅲ级)	$40 \leq R_{db} < 50$	$50 \leq R_{sh} < 60$
一般风险(Ⅱ级)	$25 \leq R_{db} < 40$	$35 \leq R_{sh} < 50$
低风险(Ⅰ级)	$R_{db} < 25$	$R_{sh} < 35$

## 6 专项风险评估

### 6.1 一般要求

专项风险评估的一般要求宜符合 JT/T 1375.1—2022 中 6.1 的规定,隧道工程施工安全专项风险评估流程宜按 JT/T 1375.1—2022 中图 3 进行,其中,一般作业活动和重大作业活动分别以一般风险源和重大风险源代替。

### 6.2 风险辨识与风险分析

6.2.1 风险辨识与风险分析宜符合 JT/T 1375.1—2022 中 6.2 的要求。

6.2.2 风险辨识与风险分析需收集、整理的相关工程资料除宜符合 JT/T 1375.1—2022 中 6.2.2 的要求外,还包括超前地质预报等相关资料。

6.2.3 施工现场地质水文条件和环境条件调查宜符合 JT/T 1375.1—2022 中 6.2.3 的要求,施工过程专项风险评估阶段的现场调查还包括围岩变形破坏迹象等。

6.2.4 施工作业程序分解依据 JTG F80/1—2017 中工程的划分标准、施工图设计及施工组织设计等文件,将隧道工程按照单位工程、分部工程、分项工程、工序(单位)作业的层次进行分解。隧道工程施工作业程序分解示例:钻爆法见表 A.1,盾构法见表 A.2。

6.2.5 公路隧道工程施工典型风险事件类型:钻爆法见表 B.1,盾构法见表 B.2。

### 6.3 风险估测

#### 6.3.1 风险估测方法

6.3.1.1 风险估测方法宜综合考虑风险事件发生的可能性及严重程度,结合施工组织设计、风险事件的特点等因素确定。风险事件发生的可能性可采用指标体系法、专家调查法或点估计法等方法进行估测。

6.3.1.2 钻爆法隧道施工常见的重大风险源包括洞口失稳、坍塌、涌水突泥、大变形、瓦斯爆炸、岩爆等。钻爆法隧道工程可根据实际工程条件选取重大风险源,或补充其他重大风险源。

6.3.1.3 盾构法隧道施工常见的重大风险源包括掌子面失稳、建(构)筑物受损、突水、盾构机损伤等。



盾构法隧道工程可根据实际工程条件选取重大风险源,或补充其他重大风险源。

6.3.2 一般风险源风险估测

6.3.2.1 一般风险源风险估测可采用定性(如检查表法、专家调查法等)或半定量方法(如LEC法等),检查表法和LEC法宜符合JT/T 1375.1—2022中6.3.2.2和6.3.2.3的要求。

6.3.2.2 宜采用风险描述方式将一般风险源风险估测情况进行汇总,并填入表6。

表6 一般风险源风险估测汇总表

一般风险源	风险描述	理由
一般风险源 1		
.....		
一般风险源 N		

6.3.3 重大风险源风险估测

6.3.3.1 重大风险源风险估测宜符合JT/T 1375.1—2022中6.3.3的要求。

6.3.3.2 钻爆法与盾构法隧道施工前风险事件可能性评估指标体系见附录C。其他类型风险事件可参照建立相应的可能性评估指标体系。

注:钻爆法隧道施工前风险事件包括洞口失稳、坍塌、涌水突泥、大变形、瓦斯爆炸、岩爆等;盾构法隧道施工前风险事件包括掌子面失稳、建(构)筑物受损、突水等。

6.3.3.3 根据隧道类型和地质、水文等相关资料完整性,按照表7规定的修正系数对风险事件可能性评估分值进行修正。

表7 隧道类型、资料完整性对风险事件可能性评估分值的修正系数

评估指标	分类	分值	说明
隧道类型 $D_1$	连拱隧道	1.10	适用于钻爆法隧道施工。根据设计文件确定。多洞隧道可根据其间距分别参照连拱隧道和小净距隧道确定修正系数
	小净距隧道	1.05	
	分离式隧道	1.00	
资料完整性 $D_2$	地质、水文资料不完整,岩土计算参数选取依据欠充分	1.20	适用于钻爆法和盾构法隧道施工。对地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件调查分析清楚,岩土计算参数选取依据充分的取小值;否则取大值
	地质、水文资料基本完整,岩土计算参数选取依据较充分	1.10	
	地质、水文资料完整,岩土计算参数选取依据充分	1.00	

6.3.3.4 钻爆法隧道施工前洞口失稳风险事件的可能性,按隧道主线洞口的工程条件确定评估区段,评估指标体系见表C.1。洞口失稳风险事件可能性分值按公式(3)计算:

$$P_{db1} = D_1 \times D_2 \times [(X_{db1-11} + X_{db1-21} \times X_{db1-22}) \times (X_{db1-31} + X_{db1-32} - 1) \times X_{db1-41}] \dots\dots\dots(3)$$

式中:

- $P_{db1}$  ——洞口失稳风险事件可能性评估分值;
- $D_1$  ——隧道类型修正系数,取值见表7;

- $D_2$  ——资料完整性修正系数,取值见表7;
- $X_{db1-11}$  ——隧道开挖跨度赋分值,取值见表C.1;
- $X_{db1-21}$  ——洞口浅埋段长度赋分值,取值见表C.1;
- $X_{db1-22}$  ——洞口偏压角度赋分值,取值见表C.1;
- $X_{db1-31}$  ——围岩级别赋分值,取值见表C.1;
- $X_{db1-32}$  ——坡体结构赋分值,取值见表C.1;
- $X_{db1-41}$  ——年均降雨量与施工季节赋分值,取值见表C.1。

计算得出  $P_{db1}$  后,根据  $P_{db1}$  值对照表8确定钻爆法施工隧道发生洞口失稳风险事件的可能性等级。

表8 隧道施工前洞口失稳风险事件可能性等级(钻爆法)

计算分值	可能性等级描述	等级
$P_{db1} \geq 24$	很可能	5
$14 \leq P_{db1} < 24$	可能	4
$9 \leq P_{db1} < 14$	偶然	3
$6 \leq P_{db1} < 9$	可能性很小	2
$P_{db1} < 6$	几乎不可能	1

6.3.3.5 钻爆法隧道施工前坍塌风险事件的可能性,按隧道围岩等级确定评估区段,评估指标体系见表C.2。评估区段坍塌风险事件可能性分值按公式(4)计算:

$$P_{db2} = D_1 \times D_2 \times (X_{db2-11} + X_{db2-21} \times X_{db2-22} + X_{db2-31} \times X_{db2-32} + X_{db2-33}) \dots\dots\dots(4)$$

式中:

- $P_{db2}$  ——坍塌风险事件可能性评估分值;
- $X_{db2-11}$  ——隧道开挖跨度赋分值,取值见表C.2;
- $X_{db2-21}$  ——浅埋层厚度与覆跨比赋分值,取值见表C.2;
- $X_{db2-22}$  ——浅埋隧道偏压角度赋分值,取值见表C.2;
- $X_{db2-31}$  ——围岩级别赋分值,取值见表C.2;
- $X_{db2-32}$  ——断层破碎带宽度赋分值,取值见表C.2;
- $X_{db2-33}$  ——优势结构面倾角赋分值,取值见表C.2。

计算得出  $P_{db2}$  后,根据  $P_{db2}$  值对照表9确定钻爆法施工隧道发生坍塌风险事件的可能性等级。

表9 隧道施工前坍塌风险事件可能性等级(钻爆法)

计算分值	可能性等级描述	等级
$P_{db2} \geq 26$	很可能	5
$18 \leq P_{db2} < 26$	可能	4
$13 \leq P_{db2} < 18$	偶然	3
$8 \leq P_{db2} < 13$	可能性很小	2
$P_{db2} < 8$	几乎不可能	1

6.3.3.6 钻爆法隧道施工前涌水突泥风险事件的可能性,以根据地形地貌、水文地质、工程地质条件划分的隧道工程水文地质单元作为评估区段,评估指标体系见表C.3。评估区段涌水突泥风险事件可能性分值按公式(5)计算:



$$P_{db3} = D_1 \times D_2 \times (X_{db3-11} + X_{db3-12} + X_{db3-13}) \times X_{db3-21} + X_{db3-31} \dots\dots\dots(5)$$

式中:

- $P_{db3}$  ——涌水突泥风险事件可能性评估分值;
- $X_{db3-11}$  ——围岩级别赋分值,取值见表 C.3;
- $X_{db3-12}$  ——断层破碎带宽度赋分值,取值见表 C.3;
- $X_{db3-13}$  ——岩溶发育程度赋分值,取值见表 C.3;
- $X_{db3-21}$  ——预测涌水量赋分值,取值见表 C.3;
- $X_{db3-31}$  ——地表水体情况赋分值,取值见表 C.3。

计算得出  $P_{db3}$  后,根据  $P_{db3}$  值对照表 10 确定钻爆法施工隧道发生涌水突泥风险事件的可能性等级。

表 10 隧道施工前涌水突泥风险事件可能性等级(钻爆法)

计算分值	可能性等级描述	等级
$P_{db3} \geq 23$	很可能	5
$13 \leq P_{db3} < 23$	可能	4
$9 \leq P_{db3} < 13$	偶然	3
$5 \leq P_{db3} < 9$	可能性很小	2
$P_{db3} < 5$	几乎不可能	1

6.3.3.7 钻爆法隧道施工前大变形风险事件的可能性,按隧道围岩等级确定评估区段,评估指标体系见表 C.4。评估区段大变形风险事件可能性分值按公式(6)计算:

$$P_{db4} = D_1 \times D_2 \times [X_{db4-11} + X_{db4-21} \times X_{db4-22} + (X_{db4-31} + X_{db4-32} + X_{db4-33}) \times X_{db4-34}] \dots\dots\dots(6)$$

式中:

- $P_{db4}$  ——大变形风险事件可能性评估分值;
- $X_{db4-11}$  ——隧道开挖跨度赋分值,取值见表 C.4;
- $X_{db4-21}$  ——浅埋层厚度与覆跨比赋分值,取值见表 C.4;
- $X_{db4-22}$  ——浅埋隧道偏压角度赋分值,取值见表 C.4;
- $X_{db4-31}$  ——围岩级别赋分值,取值见表 C.4;
- $X_{db4-32}$  ——断层破碎带宽度赋分值,取值见表 C.4;
- $X_{db4-33}$  ——特殊岩土体连续长度赋分值,取值见表 C.4;
- $X_{db4-34}$  ——隧道埋深赋分值,取值见表 C.4。

计算得出  $P_{db4}$  后,根据  $P_{db4}$  值对照表 11 确定钻爆法施工隧道发生大变形风险事件的可能性等级。

表 11 隧道施工前大变形风险事件可能性等级(钻爆法)

计算分值	可能性等级描述	等级
$P_{db4} \geq 30$	很可能	5
$20 \leq P_{db4} < 30$	可能	4
$14 \leq P_{db4} < 20$	偶然	3
$9 \leq P_{db4} < 14$	可能性很小	2
$P_{db4} < 9$	几乎不可能	1

6.3.3.8 钻爆法隧道施工前瓦斯爆炸风险事件的可能性,将含瓦斯地层隧道区段作为评估区段,评估指标体系见表 C.5。评估区段瓦斯爆炸风险事件可能性分值按公式(7)计算:

$$P_{db5} = D_1 \times D_2 \times (X_{db5-11} \times X_{db5-12} + X_{db5-21} \times X_{db5-22}) \dots\dots\dots(7)$$

式中:

- $P_{db5}$  —— 瓦斯爆炸风险事件可能性评估分值;
- $X_{db5-11}$  —— 含瓦斯地层(煤矿采空区)厚度赋分值,取值见表 C.5;
- $X_{db5-12}$  —— 隧道距含瓦斯地层(煤矿采空区)距离赋分值,取值见表 C.5;
- $X_{db5-21}$  —— 预测瓦斯涌出量赋分值,取值见表 C.5;
- $X_{db5-22}$  —— 预测瓦斯压力赋分值,取值见表 C.5。

计算得出  $P_{db5}$  后,根据  $P_{db5}$  值对照表 12 确定钻爆法施工隧道发生瓦斯爆炸风险事件的可能性等级。

表 12 隧道施工前瓦斯爆炸风险事件可能性等级(钻爆法)

计算分值	可能性等级描述	等级
$P_{db5} \geq 23$	很可能	5
$18 \leq P_{db5} < 23$	可能	4
$13 \leq P_{db5} < 18$	偶然	3
$4 \leq P_{db5} < 13$	可能性很小	2
$P_{db5} < 4$	几乎不可能	1

6.3.3.9 钻爆法隧道施工前岩爆风险事件的可能性,以 I、II、III 级围岩作为评估区段,评估指标体系见表 C.6。评估区段岩爆风险事件可能性分值按公式(8)计算:

$$P_{db6} = D_1 \times D_2 \times (X_{db6-11} \times X_{db6-21} \times X_{db6-22}) \dots\dots\dots(8)$$

式中:

- $P_{db6}$  —— 岩爆风险事件可能性评估分值;
- $X_{db6-11}$  —— 隧道埋深赋分值,取值见表 C.6;
- $X_{db6-21}$  —— 岩石质量指标(RQD)赋分值,取值见表 C.6;
- $X_{db6-22}$  —— 岩石单轴抗压强度赋分值,取值见表 C.6。

计算得出  $P_{db6}$  后,根据  $P_{db6}$  值对照表 13 确定钻爆法施工隧道发生岩爆风险事件的可能性等级。

表 13 隧道施工前岩爆风险事件可能性等级(钻爆法)

计算分值	可能性等级描述	等级
$P_{db6} \geq 22$	很可能	5
$15 \leq P_{db6} < 22$	可能	4
$10 \leq P_{db6} < 15$	偶然	3
$6 \leq P_{db6} < 10$	可能性很小	2
$P_{db6} < 6$	几乎不可能	1

6.3.3.10 盾构法隧道施工前掌子面失稳、建(构)筑物受损、突水风险事件的可能性,对重点施工工序(如始发、到达、联络通道施工、盾尾刷更换、进仓作业、盾构机安装及拆除等)及特殊施工阶段[如穿越或接近重要建(构)筑物、穿越不良地质段等]进行评估,评估指标体系见表 C.7~表 C.9。盾构法隧道施工前各风险事件可能性分值按公式(9)计算:

$$P_{shk} = D_2 \times \sum X_{shk-ij} \dots\dots\dots(9)$$

式中：

$P_{shk}$  ——盾构法施工隧道风险事件可能性评估分值,  $k$  为风险事件编号,  $k = 1, 2, 3$  分别代表掌子面失稳、建(构)筑物受损、突水风险事件；

$X_{shk-ij}$  ——评估指标的分值,  $i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n; m$  为项别的数量,  $n$  为对应第  $i$  个项别包括的评估指标数量, 取值见表 C.7 ~ 表 C.9。

计算得出  $P_{shk}$  后, 根据  $P_{shk}$  值对照表 14 确定盾构法施工隧道发生各风险事件的可能性等级。

表 14 隧道施工前风险事件可能性等级(盾构法)

计算分值	可能性等级描述	等级
$P_{shk} \geq 40$	很可能	5
$32 \leq P_{shk} < 40$	可能	4
$27 \leq P_{shk} < 32$	偶然	3
$18 \leq P_{shk} < 27$	可能性很小	2
$P_{shk} < 18$	几乎不可能	1

6.3.3.11 施工过程风险事件可能性分析宜结合超前地质预报和监测数据进行, 可采用专家调查法或指标体系法等。其中, 当采用指标体系法确定风险事件可能性时, 可参照附录 D。

6.3.3.12 风险事件的后果严重程度等级分为 5 级, 主要考虑人员伤亡和直接经济损失, 并采用就高原则确定风险事件后果严重程度等级。人员伤亡和直接经济损失程度等级划分宜满足 JT/T 1375.1—2022 中 6.3.3.3 的要求。

6.3.3.13 当多种后果同时产生时, 宜采用后果当量估计法确定风险事件后果严重程度等级, 综合考虑人员伤亡、直接经济损失、社会影响、环境影响、工期延误等。后果当量估计法按公式(10)计算风险事件后果当量  $DC$  值, 并根据表 15 确定风险事件的后果严重程度等级。

$$DC = \left( C_{R1} + \frac{C_{R2}}{3} + \frac{C_{R3}}{60} \right) + \frac{C_Z}{400} + C_S + C_H + C_G \dots\dots\dots(10)$$

式中：

$DC$  ——风险事件后果当量值；

$C_{R1}$ 、 $C_{R2}$ 、 $C_{R3}$  ——死亡人数、重伤人数、轻伤人数；

$C_Z$  ——直接经济损失, 单位为万元, 不包括人员伤亡所支出的费用；

$C_S$  ——社会影响, 取值见表 16；

$C_H$  ——环境影响, 取值见表 17；

$C_G$  ——工期延误, 取值见表 18。

表 15 风险事件后果严重程度等级

后果当量 $DC$	后果等级描述	后果严重程度等级
$DC \geq 45$	特大	5
$15 \leq DC < 45$	重大	4
$5 \leq DC < 15$	较大	3
$1 \leq DC < 5$	一般	2
$DC < 1$	小	1

表 16 社会影响当量取值表

后果等级	5	4	3	2	1
社会影响	绝大部分群众有意见、反映强烈,可能引发大规模群体性事件,媒体高度关注	大部分群众有意见、反映较强烈,可能引发小规模群体性事件,媒体一般关注	小部分群众有意见、反映较强烈,可能引发矛盾冲突	绝大部分群众理解支持,但极少数人有意见,矛盾易化解	群众均无意见
$C_s$ 取值	10	3	1	1/3	0

表 17 环境影响当量取值表

后果等级	5	4	3	2	1
自然环境影响	涉及范围很大,周边生态环境产生严重污染或破坏	涉及范围较大,周边生态环境产生较重污染或破坏	涉及范围较小,邻近区域生态环境产生轻度污染或破坏	涉及范围很小,施工区域生态环境产生很小污染或破坏	施工区域生态环境基本不受影响
社会环境影响	对重要建(构)筑物、水库、民房等影响严重	对重要建(构)筑物、水库、民房等影响较大	对重要建(构)筑物、水库、民房等影响较小	对重要建(构)筑物、水库、民房等影响很小	对重要建(构)筑物、水库、民房等无影响
$C_H$ 取值	10	3	1	1/3	0

表 18 工期延误当量取值表

后果等级		5	4	3	2	1
延误时间(月)	非控制工期工程	$\geq 24$	9~24	3~9	1~3	<1
	控制工期工程	$\geq 8$	3~8	1~3	0.33~1	<0.33
$C_c$ 取值		8	3~8	1~3	0.33~1	<0.33

6.3.3.14 根据风险事件发生的可能性和后果严重程度等级,宜采用风险矩阵法确定重大风险源风险等级,划分标准见表 19。

表 19 重大风险源风险等级标准

可能性等级		后果严重程度等级				
		小	一般	较大	重大	特大
		1	2	3	4	5
很可能	5	较大风险(Ⅲ)	较大风险(Ⅲ)	重大风险(Ⅳ)	重大风险(Ⅳ)	重大风险(Ⅳ)
可能	4	一般风险(Ⅱ)	较大风险(Ⅲ)	较大风险(Ⅲ)	重大风险(Ⅳ)	重大风险(Ⅳ)
偶然	3	一般风险(Ⅱ)	一般风险(Ⅱ)	较大风险(Ⅲ)	较大风险(Ⅲ)	重大风险(Ⅳ)
可能性很小	2	低风险(Ⅰ)	一般风险(Ⅱ)	一般风险(Ⅱ)	较大风险(Ⅲ)	较大风险(Ⅲ)
几乎不可能	1	低风险(Ⅰ)	低风险(Ⅰ)	一般风险(Ⅱ)	一般风险(Ⅱ)	较大风险(Ⅲ)

6.3.3.15 重大风险源按表 20 汇总,且风险等级在施工形象进度图中标识,形成施工安全风险分布图。

表 20 重大风险源风险估测汇总表

重大风险源	施工区段	风险事件可能性等级	风险事件后果					后果当量	风险事件后果严重程度等级	风险等级
			人员伤亡(人)	直接经济损失(万元)	社会影响( $C_s$ 值)	环境影响( $C_H$ 值)	工期延误( $C_C$ 值)			
重大风险源 1										
.....										
重大风险源 N										

#### 6.4 风险控制预期效果评价

风险控制预期效果评价按 JT/T 1375.1—2022 中 6.4 的要求进行。

#### 7 风险控制措施

风险控制措施按 JT/T 1375.1—2022 中第 7 章的要求进行。典型的重大风险源风险控制措施见附录 E。

#### 8 风险评估报告

风险评估报告按 JT/T 1375.1—2022 中第 8 章的要求进行。

## 附录 A

(资料性)

## 隧道工程施工作业程序分解示例

隧道工程钻爆法施工作业程序分解示例见表 A.1, 隧道工程盾构法施工作业程序分解示例见表 A.2。

表 A.1 钻爆法施工作业程序分解示例

分部工程	分项工程	工序(单位)作业
洞口工程	洞口开挖及支护	挖掘作业
		爆破作业
		超前支护
		支护钢拱架
		喷射混凝土
		危石清除
		锚杆、锚索布设
		主(被)动网施工
		抗滑桩施工
		微型桩施工
		注浆
		混凝土框格施工
		截、排水沟施工
边坡绿化		
洞身/仰拱开挖	钻爆作业	人工钻孔/凿岩台车钻孔
		爆破器材运输
		装药、连网与起爆
		通风
		排险
	洞内运输	装渣
		无轨运输/有轨运输
	辅助作业	隧道外的爆破器材运输与储存
		隧道抽、排水
照明安装		
洞身衬砌	初期支护	掌子面围岩初喷混凝土
		超前支护
		锚杆布设

表 A.1 钻爆法施工作业程序分解示例(续)

分部工程	分项工程	工序(单位)作业
洞身衬砌	初期支护	铺设钢筋网
		立拱架
		喷射混凝土
	二次衬砌	铺设防水层
		绑扎二次衬砌钢筋
		浇筑二次衬砌混凝土
		浇筑仰拱混凝土
隧道路面	基层与面层	(沥青)混凝土浇筑
		养生
交通工程	交通安全设施	标志安装
		施划标线
	机电设施	机电安装

表 A.2 盾构法施工作业程序分解示例

分部工程	分项工程	工序(单位)作业
管片预制	管片模具	模具清理
		模具拼装
	管片钢筋	钢筋加工
		钢筋笼制作
		钢筋笼吊装
	管片混凝土	混凝土浇筑
		混凝土收面
	管片养生	管片蒸养
		管片水养
		自然养生
	管片储存	管片脱模
		管片吊装
		管片转运
	管片运输	运输
		吊装
盾构机运输及安拆	盾构机运输	水上及陆地运输
	盾构机安拆	盾构机安装及拆除
		盾构机调试
盾构掘进与管片拼装	配套设施及布局	泥水站安装调试

表 A.2 盾构法施工作业程序分解示例(续)

分部工程	分项工程	工序(单位)作业
盾构掘进与管片拼装	配套设施及布局	管路安装
		泥浆制备与泥水分离
		弃渣及弃浆
	盾构掘进	盾构机始发
		盾构机转接
		盾构常规掘进
		盾构特殊段掘进
		进仓作业
		盾构机到达
	管片拼装	管片垂直/水平运输
		管片安装
		止水条粘贴
	壁后注浆	同步注浆
二次注浆		
内部结构施工	现浇混凝土结构	钢筋绑扎、焊接
		模板安装固定(模板台车)
		混凝土搅拌及运输
		混凝土浇筑及养生
	预制构件	运输
		拼装
联络通道	联络通道开挖及初期支护	管片钻孔
		安全防护门安装
		联络通道开挖
		联络通道支护
	联络通道二次衬砌	二次衬砌钢筋绑扎
		二次衬砌模板安装
混凝土浇筑及养生		
其他工程	路面工程	沥青或水泥混凝土路面摊铺
	交通工程	机电工程
		安全设施





















附录 C

(资料性)

施工前风险事件可能性评估指标体系

C.1 洞口失稳(钻爆法)

隧道施工前洞口失稳风险事件可能性评估指标体系(钻爆法)见表 C.1,评估时可结合工程实际情况进行调整。

表 C.1 隧道施工前洞口失稳风险事件可能性评估指标体系(钻爆法)

项别	评估指标	分级	分值范围	说明
建设规模 $X_{db1-1}$	隧道开挖 跨度 $X_{db1-11}$	$X_{db1-11} \geq 18$ m	12	根据设计文件确定(隧道 主线主要考虑正洞开挖跨 度)。分值按隧道开挖跨度 线性内插取值
		$14$ m $\leq X_{db1-11} < 18$ m	6 ~ 12	
		$9$ m $\leq X_{db1-11} < 14$ m	3 ~ 6	
		$X_{db1-11} < 9$ m	0 ~ 3	
地形特征 $X_{db1-2}$	洞口浅埋段 长度 $X_{db1-21}$	$X_{db1-21} \geq 50$ m	7	根据地质勘察资料、设计 文件确定。分值按洞口浅 埋段长度线性内插取值
		$30$ m $\leq X_{db1-21} < 50$ m	4 ~ 7	
		$10$ m $\leq X_{db1-21} < 30$ m	1 ~ 4	
		$X_{db1-21} < 10$ m	0 ~ 1	
	洞口偏压 角度 $X_{db1-22}$	$X_{db1-22} \geq 25^\circ$	1.5	根据地质勘察资料、设计 文件确定
		$X_{db1-22} < 25^\circ$	1.0	
地质条件 $X_{db1-3}$	围岩级别 $X_{db1-31}$	Ⅵ级	2.0	根据设计文件确定
		Ⅴ级	1.5	
		Ⅳ级	1.1	
		Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级	1.0	
	坡体结构 $X_{db1-32}$	存在古滑坡体	2.0	根据地质勘察资料、设计 文件及现场勘察确定。顺向 坡指岩层倾向与边坡倾向夹 角 $0^\circ \sim 30^\circ$ ;斜交坡指岩层倾 向与边坡倾向夹角 $30^\circ \sim 60^\circ$ ;横交坡指岩层倾向与边 坡倾向夹角 $60^\circ \sim 90^\circ$
		顺向坡(边坡坡角大于岩层倾角,同时岩层倾角大于 $15^\circ$ )	1.5	
斜交坡		1.1		
横交坡		1.0		
气象条件 $X_{db1-4}$	年均降雨量 与施工季节 $X_{db1-41}$	$X_{db1-41} \geq 2\ 000$ mm 或雨季施工,施工周期中可能出现暴雨	1.3	根据隧道所在区域的年 均降雨量确定。如没有过 去 5 年的年均降雨量资料, 可用当地的年降雨量数据 代替 5 年的年均降雨量。 宜避免雨季施工,若在雨 季施工,降雨量越大,持续 时间越长,发生风险事件的 可能性越大
		$1\ 500$ mm $\leq X_{db1-41} < 2\ 000$ mm 或雨季施工,施工周期中可能出现大雨	1.2	
		$800$ mm $\leq X_{db1-41} < 1\ 500$ mm 或雨季施工,施工周期中可能出现中雨	1.1	
		$X_{db1-41} < 800$ mm 或旱季施工	1.0	

## C.2 坍塌(钻爆法)

隧道施工前坍塌风险事件可能性评估指标体系(钻爆法)见表 C.2,评估时可结合工程实际情况进行调整。

表 C.2 隧道施工前坍塌风险事件可能性评估指标体系(钻爆法)

项别	评估指标	分级	分值范围	说明
建设规模 $X_{dh2-1}$	隧道开挖 跨度 $X_{dh2-11}$	$X_{dh2-11} \geq 18$ m	12	根据设计文件确定(隧道 主线主要考虑正洞开挖跨 度)。分值按隧道开挖跨度 线性内插取值
		$14 \text{ m} \leq X_{dh2-11} < 18$ m	6~12	
		$9 \text{ m} \leq X_{dh2-11} < 14$ m	3~6	
		$X_{dh2-11} < 9$ m	0~3	
地形特征 $X_{dh2-2}$	浅埋层厚度 与覆跨比 $X_{dh2-21}$	厚度小于 10 m	12	根据地质勘察资料、设计 文件确定。当浅埋层厚度 小于 10 m 时,不考虑覆跨 比;当浅埋层厚度大于 60 m 时,分值为 0;其他情况按 覆跨比线性内插取值
		覆跨比为 0~2	12~6	
		覆跨比为 2~4	6~3	
		覆跨比等于或大于 4	3~0	
	浅埋隧道 偏压角度 $X_{dh2-22}$	$X_{dh2-22} \geq 25^\circ$	1.5	根据地质勘察资料、设计 文件确定。浅埋隧道偏压 角度是指隧道浅埋段横剖 面与地面交线的倾角
		$X_{dh2-22} < 25^\circ$	1.0	
地质条件 $X_{dh2-3}$	围岩级别 $X_{dh2-31}$	Ⅵ级	12	根据设计文件确定
		Ⅴ级	8	
		Ⅳ级	5	
		Ⅲ级	2	
		I、Ⅱ级	0	
	断层破碎带 宽度 $X_{dh2-32}$	$X_{dh2-32} \geq 50$ m	12	根据地质勘察资料、设计 文件确定
		$20 \text{ m} \leq X_{dh2-32} < 50$ m	6	
		$0 \text{ m} < X_{dh2-32} < 20$ m	3	
		不存在断层破碎带	0	
	优势结构面 倾角 $X_{dh2-33}$	$0^\circ \leq X_{dh2-33} < 25^\circ$	1.3	根据地质勘察资料、设计 文件确定对岩体稳定性起 控制作用的结构面。 指标主要考虑隧道顶板 岩层倾角,若隧道顶板岩 层倾角近水平,则易发生 坍塌。 如存在不利结构面组合 时,取大值
		$25^\circ \leq X_{dh2-33} < 55^\circ$	1.2	
		$55^\circ \leq X_{dh2-33} < 70^\circ$	1.1	
		$70^\circ \leq X_{dh2-33} < 90^\circ$	1.0	

C.3 涌水突泥(钻爆法)

隧道施工前涌水突泥风险事件可能性评估指标体系(钻爆法)见表 C.3,评估时可结合工程实际情况进行调整。

表 C.3 隧道施工前涌水突泥风险事件可能性评估指标体系(钻爆法)

项别	评估指标	分级	分值范围	说明
地质条件 $X_{db3-1}$	围岩级别 $X_{db3-11}$	Ⅵ级	6	根据设计文件确定
		Ⅴ级	4	
		Ⅳ级	2	
		Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级	0	
	断层破碎带 宽度 $X_{db3-12}$	$X_{db3-12} \geq 50$ m	8	根据地质勘察资料、设计文件及现场条件确定。以隧道工程水文地质单元内的最大断层破碎带宽度计算
		$20 \text{ m} \leq X_{db3-12} < 50$ m	4	
		$0 \text{ m} < X_{db3-12} < 20$ m	2	
		不存在断层破碎带	0	
	岩溶发育 程度 $X_{db3-13}$	岩溶极发育	12	根据地质勘察资料、设计文件及现场条件确定
		岩溶发育	8	
		岩溶较发育	4	
		岩溶不发育	0	
水文地质 条件 $X_{db3-2}$	预测涌水量 $X_{db3-21}$	$X_{db3-21} \geq 10\,000 \text{ m}^3/\text{d}$	2.0	根据地质勘察资料及设计文件确定
		$5\,000 \text{ m}^3/\text{d} \leq X_{db3-21} < 10\,000 \text{ m}^3/\text{d}$	1.5	
		$2\,000 \text{ m}^3/\text{d} \leq X_{db3-21} < 5\,000 \text{ m}^3/\text{d}$	1.2	
		$X_{db3-21} < 2\,000 \text{ m}^3/\text{d}$	1.0	
环境条件 $X_{db3-3}$	地表水体 情况 $X_{db3-31}$	隧址地表存在湖泊、河流、水库等水体,且与隧道存在水力联系	12	综合降雨量、地形地貌、水文地质条件等因素,判定地表水体与隧道之间的水力联系
		隧址地表存在湖泊、河流、水库等水体,与隧道水力联系较弱	5	
		隧址地表不存在湖泊、河流、水库等水体	0	

C.4 大变形(钻爆法)

隧道施工前大变形风险事件可能性评估指标体系(钻爆法)见表 C.4,评估时可结合工程实际情况进行调整。

表 C.4 隧道施工前大变形风险事件可能性评估指标体系(钻爆法)

项别	评估指标	分级	分值范围	说明
建设规模 $X_{db4-1}$	隧道开挖 跨度 $X_{db4-11}$	$X_{db4-11} \geq 18$ m	12	根据设计文件确定(隧道主线主要考虑正洞开挖跨度)。分值按隧道开挖跨度线性内插取值
		$14 \text{ m} \leq X_{db4-11} < 18$ m	6~12	
		$9 \text{ m} \leq X_{db4-11} < 14$ m	3~6	
		$X_{db4-11} < 9$ m	0~3	

表 C.4 隧道施工前大变形风险事件可能性评估指标体系(钻爆法)(续)

项别	评估指标	分级	分值范围	说明
地形特征 $X_{db4-2}$	浅埋层厚度与覆跨比 $X_{db4-21}$	厚度小于 10 m	12	根据地质勘察资料、设计文件确定。当浅埋层厚度小于 10 m 时,不考虑覆跨比;当浅埋层厚度大于 60 m 时,分值为 0;其他情况按覆跨比线性内插取值
		覆跨比为 0~2	12~6	
		覆跨比为 2~4	6~3	
		覆跨比等于或大于 4	3~0	
	浅埋隧道偏压角度 $X_{db4-22}$	$X_{db4-22} \geq 25^\circ$	1.5	根据地质勘察资料、设计文件确定
$X_{db4-22} < 25^\circ$		1.0		
地质条件 $X_{db4-3}$	围岩级别 $X_{db4-31}$	Ⅵ级	12	根据设计文件确定
		Ⅴ级	8	
		Ⅳ级	5	
		Ⅲ级	2	
		Ⅰ、Ⅱ级	0	
	断层破碎带宽度 $X_{db4-32}$	$X_{db4-32} \geq 50$ m	8	根据地质勘察资料、设计文件确定
		$20 \text{ m} \leq X_{db4-32} < 50$ m	4	
		$0 \text{ m} < X_{db4-32} < 20$ m	2	
		不存在断层破碎带	0	
	特殊岩土体(膨胀土、冻土、富水软岩等)连续长度 $X_{db4-33}$	$X_{db4-33} \geq 100$ m	12	根据地质勘察资料、设计文件确定。特殊岩土体连续长度小于 10 m 时,分值为 0,其他情况按连续长度线性内插取值
		$50 \text{ m} \leq X_{db4-33} < 100$ m	6~12	
		$10 \text{ m} \leq X_{db4-33} < 50$ m	1~6	
	隧道埋深 $X_{db4-34}$	$X_{db4-34} \geq 1200$ m	2.0	根据地质勘察资料、设计文件确定。如存在高地应力,取大值
$800 \text{ m} \leq X_{db4-34} < 1200$ m		1.6		
$400 \text{ m} \leq X_{db4-34} < 800$ m		1.2		
$X_{db4-34} < 400$ m		1.0		

## C.5 瓦斯爆炸(钻爆法)

隧道施工前瓦斯爆炸风险事件可能性评估指标体系(钻爆法)见表 C.5,评估时可结合工程实际情况进行调整。

表 C.5 隧道施工前瓦斯爆炸风险事件可能性评估指标体系(钻爆法)

项别	评估指标	分级	分值范围	说明
地质条件 $X_{db5-1}$	含瓦斯地层(煤矿采空区)厚度 $X_{db5-11}$	$X_{db5-11} \geq 10$ m	12	含瓦斯地层(煤矿采空区)厚度小于 0.5m 时,分值为 1,其他分值可按厚度线性内插取值
		$5 \text{ m} \leq X_{db5-11} < 10$ m	8~12	
		$2 \text{ m} \leq X_{db5-11} < 5$ m	4~8	
		$X_{db5-11} < 2$ m	1~4	

表 C.5 隧道施工前瓦斯爆炸风险事件可能性评估指标体系(钻爆法)(续)

项别	评估指标	分级	分值范围	说明
地质条件 $X_{db5-1}$	隧道距含瓦斯地层(煤矿采空区)距离 $X_{db5-12}$	$0 \leq X_{db5-12} < 20$ m	1.0	隧道距含瓦斯地层(煤矿采空区)距离指最小直线距离
		$20 \text{ m} \leq X_{db5-12} < 80$ m	0.8	
		$80 \text{ m} \leq X_{db5-12} < 150$ m	0.4	
		$X_{db5-12} \geq 150$ m	0	
瓦斯因素 $X_{db5-2}$	预测瓦斯涌出量 $X_{db5-21}$	$X_{db5-21} \geq 3 \text{ m}^3/\text{min}$	12	可按预测瓦斯涌出量线性内插取值
		$1 \text{ m}^3/\text{min} \leq X_{db5-21} < 3 \text{ m}^3/\text{min}$	2~12	
		$0 \text{ m}^3/\text{min} \leq X_{db5-21} < 1 \text{ m}^3/\text{min}$	0~2	
	预测瓦斯压力 $X_{db5-22}$	$X_{db5-22} \geq 0.74$ MPa	1.5	隧道开挖扰动前的瓦斯压力
		$0.20 \text{ MPa} \leq X_{db5-22} < 0.74$ MPa	1.2	
		$X_{db5-22} < 0.20$ MPa	1.0	

C.6 岩爆(钻爆法)

隧道施工前岩爆风险事件可能性评估指标体系(钻爆法)见表 C.6,评估时可结合工程实际情况及围岩条件进行调整。

表 C.6 隧道施工前岩爆风险事件可能性评估指标体系(钻爆法)

项别	评估指标	分级	分值范围	说明
地质条件 $X_{db6-1}$	隧道埋深 $X_{db6-11}$	$X_{db6-11} \geq 1200$ m	2.0	根据地质勘察资料、设计文件确定
		$800 \text{ m} \leq X_{db6-11} < 1200$ m	1.6	
		$X_{db6-11} < 800$ m	1.0	
岩体因素 $X_{db6-2}$	岩石质量指标(RQD) $X_{db6-21}$	$X_{db6-21} \geq 80\%$	1.5	根据地质勘察资料、设计文件确定
		$70\% \leq X_{db6-21} < 80\%$	1.3	
		$60\% \leq X_{db6-21} < 70\%$	1.1	
		$X_{db6-21} < 60\%$	1.0	
	岩石单轴抗压强度 $X_{db6-22}$	$X_{db6-22} \geq 250$ MPa	12	根据地质勘察资料、设计文件确定。其他分值可按单轴抗压强度线性内插取值
		$150 \text{ MPa} \leq X_{db6-22} < 250$ MPa	8~12	
		$100 \text{ MPa} \leq X_{db6-22} < 150$ MPa	4~8	
		$X_{db6-22} < 100$ MPa	0~4	

C.7 掌子面失稳(盾构法)

隧道施工前掌子面失稳风险事件可能性评估指标体系(盾构法)见表 C.7,评估时可结合工程实际情况进行调整。

表 C.7 隧道施工前掌子面失稳风险事件可能性评估指标体系(盾构法)

项别	评估指标	分级	分值范围	说明
建设规模 $X_{sh1-1}$	掘进断面直径 $X_{sh1-11}$	$X_{sh1-11} \geq 18$ m	10	根据设计文件确定。掘进断面直径小于 9 m 时,分值取 1
		$16 \text{ m} \leq X_{sh1-11} < 18$ m	7 ~ 10	
		$14 \text{ m} \leq X_{sh1-11} < 16$ m	4 ~ 7	
		$X_{sh1-11} < 14$ m	1 ~ 4	
地质与环境条件 $X_{sh1-2}$	覆土厚度(以洞径倍数表示) $X_{sh1-21}$	$X_{sh1-21} < 0.5$	10	根据地质勘察资料、设计文件及现场勘察确定。覆土厚度大于或等于 3 倍洞径时,分值取 1
		$0.5 \leq X_{sh1-21} < 1.0$	10 ~ 7	
		$1.0 \leq X_{sh1-21} < 2.0$	7 ~ 4	
		$X_{sh1-21} \geq 2.0$	4 ~ 1	
	不良地质段长度 $X_{sh1-22}$	$X_{sh1-22} \geq 600$ m	10	根据地质勘察资料、设计文件及现场勘察确定。不良地质包括软硬不均地层(硬岩单轴抗压强度大于 60 MPa)、富水砂层、深厚淤泥层、饱和粉细砂层、卵石、漂石、孤石层、断层破碎带、岩溶等;两种及以上不良地质叠加可适当提高分值,取修正系数 1.1 ~ 1.5,但分值最大不超过 15;在盾构始发或到达阶段,存在不良地质时不按长度考虑,分值均取 10
		$100 \text{ m} \leq X_{sh1-22} < 600$ m	7 ~ 10	
		$0 \text{ m} < X_{sh1-22} < 100$ m	4 ~ 7	
		无不良地质	0	
	邻近/穿越地层水体情况 $X_{sh1-23}$	存在承压水、河道水位变化等不利水文条件	5	根据地质勘察资料、设计文件及现场勘察确定
		存在不间断水源补充	2	
		不存在不利水文条件	0	
	地下管线情况 $X_{sh1-24}$	管线全断面位于富水砂层或粉细砂层	7	根据地质勘察资料、设计文件及现场勘察确定。管线位于隧道正上方取修正系数 1.0,管线位于隧道侧面取修正系数 0.8
		管线部分断面位于富水砂层或粉细砂层	4	
管线位于其他地层		1		
设备选型 $X_{sh1-3}$	盾构机选型 $X_{sh1-31}$	适应性和可靠性较差	3	根据盾构机选型与评估结果确定
		适应性和可靠性一般	2	
		适应性和可靠性较好	1	

## C.8 建(构)筑物受损(盾构法)

隧道施工前建(构)筑物受损风险事件可能性评估指标体系(盾构法)见表 C.8,评估时可结合工程实际情况进行调整。

表 C.8 隧道施工前建(构)筑物受损风险事件可能性评估指标体系(盾构法)

项别	评估指标	分级	分值范围	说明
建设规模 $X_{sh2-1}$	掘进断面直径 $X_{sh2-11}$	$X_{sh2-11} \geq 18$ m	10	根据设计文件确定。掘进断面直径小于9 m时,分值取1
		$16 \text{ m} \leq X_{sh2-11} < 18$ m	7 ~ 10	
		$14 \text{ m} \leq X_{sh2-11} < 16$ m	4 ~ 7	
		$X_{sh2-11} < 14$ m	1 ~ 4	
	覆土厚度(以洞径倍数表示) $X_{sh2-12}$	$X_{sh2-12} < 0.5$	2	根据设计文件确定
$0.5 \leq X_{sh2-12} < 1.0$		1		
隧道线性 $X_{sh2-2}$	路线最小转弯半径(以洞径倍数表示) $X_{sh2-21}$	$X_{sh2-21} < 40$	5	根据设计文件确定。最小转弯半径大于或等于100倍洞径时,分值取1
		$40 \leq X_{sh2-21} < 80$	5 ~ 3	
		$X_{sh2-21} \geq 80$	3 ~ 1	
地质与环境条件 $X_{sh2-3}$	建(构)筑物重要性及敏感性 $X_{sh2-31}$	较高	7	建筑物根据基础类型、用途、功能、受保护程度确定重要性及敏感性;管线根据接头类型及有无压力确定重要性及敏感性
		一般	4	
		较低	1	
	隧道主体与建(构)筑物距离(以洞径倍数表示) $X_{sh2-32}$	$X_{sh2-32} < 0.5$	12	根据设计文件确定。距离大于或等于3倍洞径时,分值取1
		$0.5 \leq X_{sh2-32} < 1.0$	12 ~ 8	
		$1.0 \leq X_{sh2-32} < 2.0$	8 ~ 4	
		$X_{sh2-32} \geq 2.0$	4 ~ 1	
	建(构)筑物保护或加固方案适应性 $X_{sh2-33}$	较差	5	根据施工方案确定
		一般	3	
		较好	1	
建(构)筑物周边不良地质 $X_{sh2-34}$	存在不良地质大于或等于2处	10	根据地质勘察资料、设计文件及现场勘察确定。不良地质包括软硬不均地层(硬岩单轴抗压强度大于60 MPa)、富水砂层、深厚淤泥层、饱和粉细砂层、卵石、漂石、孤石层、断层破碎带、岩溶等	
	存在不良地质1处	5		
	邻近段无不良地质	0		
设备选型 $X_{sh2-4}$	盾构机选型 $X_{sh2-41}$	适应性和可靠性较差	3	根据盾构机选型与评估结果确定
		适应性和可靠性一般	2	
		适应性和可靠性较好	1	

C.9 突水(盾构法)

隧道施工前突水风险事件可能性评估指标体系(盾构法)见表 C.9,评估时可结合工程实际情况进行调整。



表 C.9 隧道施工前突水风险事件可能性评估指标体系(盾构法)

项别	评估指标	分级	分值范围	说明
建设规模 $X_{sh3-1}$	隧道长度 $X_{sh3-11}$	$X_{sh3-11} \geq 6000$ m	5	根据设计文件确定
		$3000 \text{ m} \leq X_{sh3-11} < 6000$ m	3~5	
		$1000 \text{ m} \leq X_{sh3-11} < 3000$ m	2	
		$X_{sh3-11} < 1000$ m	1	
	掘进断面 直径 $X_{sh3-12}$	$X_{sh3-12} \geq 18$ m	5	根据设计文件确定
		$16 \text{ m} \leq X_{sh3-12} < 18$ m	3~5	
		$14 \text{ m} \leq X_{sh3-12} < 16$ m	2	
		$X_{sh3-12} < 14$ m	1	
隧道线性 $X_{sh3-2}$	路线最小 转弯半径 (以洞径倍数 表示) $X_{sh3-21}$	$X_{sh3-21} < 40$	5	根据设计文件确定。最 小转弯半径大于或等于 100倍洞径时,分值取1
		$40 \leq X_{sh3-21} < 80$	5~3	
		$X_{sh3-21} \geq 80$	3~1	
地质与环境 条件 $X_{sh3-3}$	覆土厚度 (以洞径倍数 表示) $X_{sh3-31}$	$X_{sh3-31} < 0.5$	5	根据地质勘察资料、设计 文件及现场勘察确定
		$0.5 \leq X_{sh3-31} < 1.0$	5~3	
		$1.0 \leq X_{sh3-31} < 2.0$	2	
		$X_{sh3-31} \geq 2.0$	1	
	不良地质段 长度 $X_{sh3-32}$	$X_{sh3-32} \geq 600$ m	10	根据地质勘察资料、设计 文件及现场勘察确定。不 良地质包括软硬不均地层 (硬岩单轴抗压强度大于 60 MPa)、富水砂层、深厚淤 泥层、饱和粉细砂层、卵石、 漂石、孤石层、断层破碎带、 岩溶等。在盾构始发或到 达阶段,存在不良地质时不 按长度考虑,分值均取10
		$100 \text{ m} \leq X_{sh3-32} < 600$ m	7~10	
		$0 \text{ m} < X_{sh3-32} < 100$ m	4~7	
		无不良地质	0	
	邻近/穿越 地层水体 情况 $X_{sh3-33}$	存在承压水、河道水位变化等不利水文条件	12	根据地质勘察资料、设计 文件及现场勘察确定。最 大水压 0.45 MPa 时取修正 系数 1.5, 0.1 MPa 时取修正 系数 1.0, 其余系数线性内 插取值,最大分值不超过 12
		存在不间断水源补充	8	
		不存在不利水文条件	0	
	地下管线 情况 $X_{sh3-34}$	管线全断面位于富水砂层或粉细砂层	10	根据地质勘察资料、设计 文件及现场勘察确定。管 线位于隧道正上方取修正 系数 1.0, 管线位于隧道侧 面取修正系数 0.8
管线部分断面位于富水砂层或粉细砂层		7		
管线位于其他地层		4		
设备选型 $X_{sh3-4}$	盾构机选型 $X_{sh3-41}$	适应性和可靠性较差	3	根据盾构机选型与评估 结果确定
		适应性和可靠性一般	2	
		适应性和可靠性较好	1	



附录 D

(资料性)

施工过程风险事件可能性评估指标体系法

D.1 钻爆法隧道施工过程宜重点针对隧道洞口失稳、坍塌、涌水突泥、大变形、瓦斯爆炸、岩爆等六类风险事件进行施工过程风险事件可能性评估,指标体系法评估指标见表 D.2 ~ 表 D.7。

D.2 盾构法隧道施工过程宜重点针对掌子面失稳、建(构)筑物受损、突水、盾构机损伤(包括盾尾密封击穿、主轴密封击穿、保压舱失压、刀具刀盘磨损、卡盾、盾体变形)等四类风险事件进行施工过程风险事件可能性评估,指标体系法评估指标见表 D.8 ~ 表 D.11。

D.3 根据工程实际情况对影响风险事件的评估指标进行筛选,分析各指标对风险事件的影响程度并从高到低依次进行排序,权重系数按公式(D.1)计算,也可按表 F.1 选取。

$$\gamma = \frac{2n - 2m + 1}{n^2} \dots\dots\dots(D.1)$$

式中:

$\gamma$  ——权重系数;

$n$  ——评估指标项数;

$m$  ——重要性排序号,  $m \leq n$ 。

D.4 施工过程重大风险源风险事件可能性大小按公式(D.2)、公式(D.3)计算:

$$P_T = \sum X_{T-ij} \dots\dots\dots(D.2)$$

$$X_{T-ij} = R_{ij}\gamma_{ij} \dots\dots\dots(D.3)$$

式中:

$P_T$  ——风险事件可能性评估分值,T 为钻爆法或盾构法风险事件标识符;

$X_{T-ij}$  ——评估指标的分值,  $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; m$  为项别的数量,  $n$  为对应第  $i$  个项别包括的评估指标数量;

$R_{ij}$  ——评估指标的基本分值,取值见表 D.2 ~ 表 D.11;

$\gamma_{ij}$  ——评估指标的权重系数。

D.5 施工过程重大风险源风险事件可能性等级按表 D.1 确定。

表 D.1 施工过程重大风险源风险事件可能性等级

计算分值	可能性等级描述	可能性等级
$P_T \geq 60$	很可能	5
$45 \leq P_T < 60$	可能	4
$30 \leq P_T < 45$	偶然	3
$15 \leq P_T < 30$	可能性很小	2
$P_T < 15$	几乎不可能	1

注:根据工程风险的具体情况,结合地区经验,可对表 D.1 的计算分值区间进行适当调整。

D.6 对于施工区段特别复杂的隧道,施工过程重大风险源估测宜基于地质预报、监控量测结果,结合数值模拟等手段,采用层次分析法、未确知测度法等综合方法确定风险事件的可能性。常用风险评估方法的优缺点和层次分析法、未确知测度法等方法基本步骤见附录 G。

D.7 洞口失稳(钻爆法)

表 D.2 给出了隧道施工过程洞口失稳风险事件可能性评估指标体系(钻爆法),评估时可结合工程实际情况进行调整。

表 D.2 隧道施工过程洞口失稳风险事件可能性评估指标体系(钻爆法)

项别	评估指标	分级	基本分值( $R_{ij}$ )		权重系数( $\gamma_{ij}$ )	评估分值( $X_{db7-ij}$ )	说明
			分值范围	取值			
建设规模 $X_{db7-1}$	隧道开挖跨度 $X_{db7-11}$	$X_{db7-11} \geq 18$ m	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{11}$	$\gamma_{11}$	$X_{db7-11} = R_{11} \times \gamma_{11}$	根据设计文件确定(隧道主线主要考虑正洞开挖跨度)。当隧道开挖跨度大于或等于 22 m 时,基本分值取 100,其他情况按隧道开挖跨度线性内插取值
		$14 \text{ m} \leq X_{db7-11} < 18$ m	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		$9 \text{ m} \leq X_{db7-11} < 14$ m	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		$X_{db7-11} < 9$ m	$0 < R_{ij} \leq 25$				
地形特征 $X_{db7-2}$	洞口浅埋段长度 $X_{db7-21}$	$X_{db7-21} \geq 50$ m	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{21}$	$\gamma_{21}$	$X_{db7-21} = R_{21} \times \gamma_{21}$	根据地质勘察资料、设计文件及现场条件确定。当洞口浅埋段长度大于或等于 60 m 时,基本分值取 100,其他情况按洞口浅埋段长度线性内插取值
		$30 \text{ m} \leq X_{db7-21} < 50$ m	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		$10 \text{ m} \leq X_{db7-21} < 30$ m	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		$X_{db7-21} < 10$ m	$0 < R_{ij} \leq 25$				
	洞口偏压角度 $X_{db7-22}$	$X_{db7-22} \geq 25^\circ$	$50 < R_{ij} \leq 100$	$R_{22}$	$\gamma_{22}$	$X_{db7-22} = R_{22} \times \gamma_{22}$	根据地质勘察资料、设计文件及现场条件确定。当洞口偏压角度大于或等于 $45^\circ$ 时,基本分值取 100,其他情况按洞口偏压角度线性内插取值
		$X_{db7-22} < 25^\circ$	$0 < R_{ij} \leq 50$				
地质条件 $X_{db7-3}$	围岩级别 $X_{db7-31}$	Ⅵ级	$R_{ij} = 100$	$R_{31}$	$\gamma_{31}$	$X_{db7-31} = R_{31} \times \gamma_{31}$	根据设计文件及现场条件确定
		Ⅴ级	$75 < R_{ij} \leq 100$				
		Ⅳ级	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		Ⅲ级	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		Ⅰ、Ⅱ级	$R_{ij} = 0$				
	坡体结构 $X_{db7-32}$	存在古滑坡体	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{32}$	$\gamma_{32}$	$X_{db7-32} = R_{32} \times \gamma_{32}$	根据地质勘察资料、设计文件及现场条件确定。顺向坡指岩层倾向与边坡倾向夹角 $0^\circ \sim 30^\circ$ ;斜交坡指岩层倾向与边坡倾向夹角 $30^\circ \sim 60^\circ$ ;横交坡指岩层倾向与边坡倾向夹角 $60^\circ \sim 90^\circ$
		顺向坡(边坡坡角大于岩层倾向角,同时岩层倾向角大于 $15^\circ$ )	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		斜交坡	$25 < R_{ij} \leq 50$				
横交坡		$0 < R_{ij} \leq 25$					

表 D.2 隧道施工过程中洞口失稳风险事件可能性评估指标体系(钻爆法)(续)

项别	评估指标	分级	基本分值( $R_{ij}$ )		权重系数( $\gamma_{ij}$ )	评估分值( $X_{db7-ij}$ )	说明
			分值范围	取值			
气象条件 $X_{db7-4}$	施工季节 $X_{db7-41}$	雨季施工,施工周期中可能出现暴雨	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{41}$	$\gamma_{41}$	$X_{db7-41} = R_{41} \times \gamma_{41}$	宜避免雨季施工,若在雨季施工,降雨量越大,持续时间越长,发生风险事件的可能性越大
		雨季施工,施工周期中可能出现大雨	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		雨季施工,施工周期中可能出现中雨	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		旱季施工	$R_{ij} = 0$				
监控量测 $X_{db7-5}$	相对变形值( $u/B$ ) $X_{db7-51}$	大于或等于4%	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{51}$	$\gamma_{51}$	$X_{db7-51} = R_{51} \times \gamma_{51}$	① $u$ 为隧道最大变形位移(拱顶或边墙), $B$ 为隧道开挖跨度;②当相对变形值大于或等于5%时,基本分值取100,其他情况按相对变形值线性内插取值
		3%~4%	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		2%~3%	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		1%~2%	$0 < R_{ij} \leq 25$				
	监控量测方案合理性 $X_{db7-52}$	量测频率很低、必测项目很不全面或无监测项目,信息反馈很差或无反馈	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{52}$	$\gamma_{52}$	$X_{db7-52} = R_{52} \times \gamma_{52}$	根据现场监测情况确定。量测频率越低,必测项目越不全,信息反馈越差,则取值越大
		量测频率较低、有一定必测项目但不全面,信息反馈较差	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		量测频率一般、必测项目较全面,无选测项目,信息反馈一般	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		量测频率较合理、必测项目全面,有一定选测项目,信息反馈及时	$0 < R_{ij} \leq 25$				
		量测频率合理、必测项目全面,选测项目合理,信息反馈很及时	$R_{ij} = 0$				

D.8 坍塌(钻爆法)

表 D.3 给出了隧道施工过程中坍塌风险事件可能性评估指标体系(钻爆法),评估时可结合工程实际情况进行调整。

表 D.3 隧道施工过程坍塌风险事件可能性评估指标体系(钻爆法)

项别	评估指标	分级	基本分值( $R_{ij}$ )		权重系数( $\gamma_{ij}$ )	评估分值( $X_{dl8-ij}$ )	说明	
			分值范围	取值				
建设规模 $X_{dl8-1}$	隧道开挖跨度 $X_{dl8-11}$	$X_{dl8-11} \geq 18$ m	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{11}$	$\gamma_{11}$	$X_{dl8-11} = R_{11} \times \gamma_{11}$	根据设计文件确定(隧道主线主要考虑正洞开挖跨度)。当隧道开挖跨度大于或等于 22 m 时,基本分值取 100,其他情况按隧道开挖跨度线性内插取值	
		$14 \text{ m} \leq X_{dl8-11} < 18$ m	$50 < R_{ij} \leq 75$					
		$9 \text{ m} \leq X_{dl8-11} < 14$ m	$25 < R_{ij} \leq 50$					
		$X_{dl8-11} < 9$ m	$0 < R_{ij} \leq 25$					
地形特征 $X_{dl8-2}$	浅埋层厚度与覆跨比 $X_{dl8-21}$	厚度小于 10 m	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{21}$	$\gamma_{21}$	$X_{dl8-21} = R_{21} \times \gamma_{21}$	根据地质勘察资料、设计文件及现场条件确定。当浅埋层厚度小于 10 m 时,不考虑覆跨比;当浅埋层厚度小于或等于 8 m 时,基本分值取 100;其他情况按覆跨比线性内插取值	
		覆跨比为 0 ~ 2	$50 < R_{ij} \leq 75$					
		覆跨比为 2 ~ 4	$25 < R_{ij} \leq 50$					
		覆跨比大于或等于 4	$0 < R_{ij} \leq 25$					
	浅埋隧道偏压角度 $X_{dl8-22}$	$X_{dl8-22} \geq 25^\circ$	$50 < R_{ij} \leq 100$	$R_{22}$	$\gamma_{22}$	$X_{dl8-22} = R_{22} \times \gamma_{22}$	根据地质勘察资料、设计文件及现场条件确定。当浅埋隧道偏压角度大于或等于 $45^\circ$ 时,基本分值取 100,其他情况按浅埋隧道偏压角度线性内插取值	
		$X_{dl8-22} < 25^\circ$	$0 < R_{ij} \leq 50$					
	地质条件 $X_{dl8-3}$	围岩级别 $X_{dl8-31}$	Ⅵ级	$R_{ij} = 100$	$R_{31}$	$\gamma_{31}$	$X_{dl8-31} = R_{31} \times \gamma_{31}$	根据设计文件及现场条件确定
			Ⅴ级	$50 < R_{ij} < 100$				
Ⅳ级			$25 < R_{ij} \leq 50$					
Ⅲ级			$0 < R_{ij} \leq 25$					
Ⅰ、Ⅱ级			$R_{ij} = 0$					
断层破碎带宽度 $X_{dl8-32}$		$X_{dl8-32} \geq 50$ m	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{32}$	$\gamma_{32}$	$X_{dl8-32} = R_{32} \times \gamma_{32}$	根据地质勘察资料、设计文件及现场条件确定。当断层破碎带宽度大于或等于 60 m 时,基本分值取 100,其他情况按断层破碎带宽度线性内插取值	
		$20 \text{ m} \leq X_{dl8-32} < 50$ m	$50 < R_{ij} \leq 75$					
		$0 \text{ m} < X_{dl8-32} < 20$ m	$25 < R_{ij} \leq 50$					
		不存在断层破碎带	$R_{ij} = 0$					
断层破碎带胶结程度 $X_{dl8-33}$		胶结程度极差	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{33}$	$\gamma_{33}$	$X_{dl8-33} = R_{33} \times \gamma_{33}$	根据地质勘察资料、设计文件及现场条件确定。断层破碎带胶结程度越差,取值越大,反之取值越小	
		胶结程度差	$50 < R_{ij} \leq 75$					
		胶结程度一般	$25 < R_{ij} \leq 50$					
	胶结程度好	$R_{ij} = 0$						

表 D.3 隧道施工过程坍塌风险事件可能性评估指标体系(钻爆法)(续)

项别	评估指标	分级	基本分值( $R_{ij}$ )		权重系数( $\gamma_{ij}$ )	评估分值( $X_{dl8-ij}$ )	说明
			分值范围	取值			
地质条件 $X_{dl8-3}$	优势结构面倾角 $X_{dl8-34}$	$0^\circ < X_{dl8-34} \leq 25^\circ$	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{34}$	$\gamma_{34}$	$X_{dl8-34} = R_{34} \times \gamma_{34}$	根据地质勘察资料、设计文件及现场条件确定。①主要考虑岩层倾角与隧道顶板之间的关系,若隧道顶板岩层倾角近水平,则易发生坍塌;②当优势结构面倾角小于或等于 $15^\circ$ 时,基本分值取100,其他情况按优势结构面倾角线性内插取值
		$25^\circ < X_{dl8-34} \leq 55^\circ$	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		$55^\circ < X_{dl8-34} \leq 70^\circ$	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		$70^\circ < X_{dl8-34} \leq 90^\circ$	$R_{ij} = 0$				
水文地质条件 $X_{dl8-4}$	地下水涌水情况 $X_{dl8-41}$	每10 m长隧道涌水量大于或等于125 L/min	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{41}$	$\gamma_{41}$	$X_{dl8-41} = R_{41} \times \gamma_{41}$	根据现场情况确定。①每10 m长隧道涌水量等于隧道二次衬砌至掌子面总出水量除以掌子面距二次衬砌的距离乘以10;②当每10 m长隧道涌水量大于或等于150 L/min时,基本分值取100,其他情况按每10 m长隧道涌水量线性内插取值
		每10 m长隧道涌水量为25 L/min ~ 125 L/min	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		每10 m长隧道涌水量为10 L/min ~ 25 L/min	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		每10 m长隧道涌水量小于10 L/min	$0 < R_{ij} \leq 25$				
施工因素 $X_{dl8-5}$	衬砌安全距离 $X_{dl8-51}$	IV级围岩二次衬砌距掌子面距离110 m以上,V级围岩二次衬砌距掌子面距离90 m以上,VI级围岩二次衬砌距掌子面距离70 m以上	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{51}$	$\gamma_{51}$	$X_{dl8-51} = R_{51} \times \gamma_{51}$	根据实际施工情况确定。当IV级围岩二次衬砌距掌子面距离130 m以上、V级围岩二次衬砌距掌子面距离110 m以上、VI级围岩二次衬砌距掌子面距离80 m以上时,基本分值取100,其他情况按隧道二次衬砌距掌子面的距离线性内插取值
		IV级围岩二次衬砌距掌子面距离90 m ~ 110 m,V级围岩二次衬砌距掌子面距离70 m ~ 90 m,VI级围岩二次衬砌距掌子面距离50 m ~ 70 m	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		IV级围岩二次衬砌距掌子面距离90 m以下,V级围岩二次衬砌距掌子面距离70 m以下,VI级围岩二次衬砌距掌子面距离50 m以下	$R_{ij} = 0$				

表 D.3 隧道施工过程坍塌风险事件可能性评估指标体系(钻爆法)(续)

项别	评估指标	分级	基本分值( $R_{ij}$ )		权重系数( $\gamma_{ij}$ )	评估分值( $X_{dl8-ij}$ )	说明
			分值范围	取值			
施工因素 $X_{dl8-5}$	仰拱安全距离 $X_{dl8-52}$	Ⅲ级围岩仰拱距掌子面距离 100 m 以上,Ⅳ级围岩仰拱距掌子面距离 60 m 以上,Ⅴ级围岩仰拱距掌子面距离 50 m 以上,Ⅵ级围岩仰拱距掌子面距离 40 m 以上	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{52}$	$\gamma_{52}$	$X_{dl8-52} = R_{52} \times \gamma_{52}$	根据实际施工情况确定。当Ⅲ级围岩仰拱距掌子面距离 110 m 以上、Ⅳ级围岩仰拱距掌子面距离 70 m 以上、Ⅴ级围岩仰拱距掌子面距离 60 m 以上、Ⅵ级围岩仰拱距掌子面距离 50 m 以上时,基本分值取 100,其他情况按仰拱距掌子面距离线性内插取值
		Ⅲ级围岩仰拱距掌子面距离 90 m ~ 100 m,Ⅳ级围岩仰拱距掌子面距离 50 m ~ 60 m,Ⅴ级围岩仰拱距掌子面距离 40 m ~ 50 m,Ⅵ级围岩仰拱距掌子面距离 30 m ~ 40 m	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		Ⅲ级围岩仰拱距掌子面距离 90 m 以下,Ⅳ级围岩仰拱距掌子面距离 50 m 以下,Ⅴ级围岩仰拱距掌子面距离 40 m 以下,Ⅵ级围岩仰拱距掌子面距离 30 m 以下	$R_{ij} = 0$				
超前预报与监控量测 $X_{dl8-6}$	超前地质预报 $X_{dl8-61}$	地震波场/电磁波场前兆信息变化强烈	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{61}$	$\gamma_{61}$	$X_{dl8-61} = R_{61} \times \gamma_{61}$	根据超前地质预报结果确定。超前地质预报中地震波场/电磁波场前兆信息变化越强烈,取值越大,反之取值越小
		地震波场/电磁波场前兆信息变化较强	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		地震波场/电磁波场前兆信息变化较小	$0 < R_{ij} \leq 50$				
	相对变形值( $u/B$ ) $X_{dl8-62}$	大于或等于 4%	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{62}$	$\gamma_{62}$	$X_{dl8-62} = R_{62} \times \gamma_{62}$	① $u$ 为隧道最大变形位移(拱顶或边墙), $B$ 为隧道开挖跨度;②当相对变形值大于或等于 5% 时,基本分值取 100,其他情况按相对变形值线性内插取值
		3% ~ 4%	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		2% ~ 3%	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		1% ~ 2%	$0 < R_{ij} \leq 25$				

表 D.3 隧道施工过程坍塌风险事件可能性评估指标体系(钻爆法)(续)

项别	评估指标	分级	基本分值( $R_{ij}$ )		权重系数( $\gamma_{ij}$ )	评估分值( $X_{dl8-ij}$ )	说明
			分值范围	取值			
超前预报与监控量测 $X_{dl8-6}$	监控量测方案合理性 $X_{dl8-63}$	量测频率很低、必测项目很不全面或无监测项目,信息反馈很差或无反馈	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{63}$	$\gamma_{63}$	$X_{dl8-63} = R_{63} \times \gamma_{63}$	根据现场监测情况确定。量测频率越低,必测项目越不全,信息反馈越差,则取值越大
		量测频率较低、有一定必测项目但不全面,信息反馈较差	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		量测频率一般、必测项目较全面,无选测项目,信息反馈一般	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		量测频率较合理、必测项目全面,有一定选测项目,信息反馈及时	$0 < R_{ij} \leq 25$				
		量测频率合理、必测项目全面,选测项目合理,信息反馈很及时	$R_{ij} = 0$				

D.9 涌水突泥(钻爆法)

表 D.4 给出了隧道施工过程涌水突泥风险事件可能性评估指标体系(钻爆法),评估时可结合工程实际情况进行调整。

表 D.4 隧道施工过程涌水突泥风险事件可能性评估指标体系(钻爆法)

项别	评估指标	分级	基本分值( $R_{ij}$ )		权重系数( $\gamma_{ij}$ )	评估分值( $X_{dl9-ij}$ )	说明
			分值范围	取值			
地质条件 $X_{dl9-1}$	围岩级别 $X_{dl9-11}$	Ⅵ级	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{11}$	$\gamma_{11}$	$X_{dl9-11} = R_{11} \times \gamma_{11}$	根据设计文件及现场条件确定
		Ⅴ级	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		Ⅳ级	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		Ⅲ级	$0 < R_{ij} \leq 25$				
		Ⅰ、Ⅱ级	$R_{ij} = 0$				



表 D.4 隧道施工过程涌水突泥风险事件可能性评估指标体系(钻爆法)(续)

项别	评估指标	分级	基本分值( $R_{ij}$ )		权重系数( $\gamma_{ij}$ )	评估分值( $X_{dl9-ij}$ )	说明
			分值范围	取值			
地质条件 $X_{dl9-1}$	断层破碎带宽度 $X_{dl9-12}$	$X_{dl9-12} \geq 50$ m	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{12}$	$\gamma_{12}$	$X_{dl9-12} = R_{12} \times \gamma_{12}$	根据地质勘察资料、设计文件及现场条件确定。当断层破碎带宽度大于或等于60 m时,基本分值取100,其他情况按断层破碎带宽度线性内插取值
		$20 \text{ m} \leq X_{dl9-12} < 50$ m	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		$0 \text{ m} < X_{dl9-12} < 20$ m	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		不存在断层破碎带	$R_{ij} = 0$				
	岩溶发育程度 $X_{dl9-13}$	岩溶极发育	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{13}$	$\gamma_{13}$	$X_{dl9-13} = R_{13} \times \gamma_{13}$	
		岩溶发育	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		岩溶较发育	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		岩溶不发育	$R_{ij} = 0$				
水文地质条件 $X_{dl9-2}$	地下水涌水情况 $X_{dl9-21}$	每10 m长隧道涌水量大于或等于125 L/min	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{21}$	$\gamma_{21}$	$X_{dl9-21} = R_{21} \times \gamma_{21}$	根据现场情况确定。①每10 m长隧道涌水量等于隧道二次衬砌至掌子面总出水量除以掌子面距二次衬砌的距离乘以10;②当每10 m长隧道涌水量大于或等于150 L/min时,基本分值取100,其他情况按每10 m长隧道涌水量线性内插取值
		每10 m长隧道涌水量为25 L/min ~ 125 L/min	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		每10 m长隧道涌水量为10 L/min ~ 25 L/min	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		每10 m长隧道涌水量小于10 L/min	$0 < R_{ij} \leq 25$				
环境条件 $X_{dl9-3}$	地表水体情况 $X_{dl9-31}$	隧址地表存在湖泊、河流、水库等水体,且与隧道存在水力联系	$50 < R_{ij} \leq 100$	$R_{31}$	$\gamma_{31}$	$X_{dl9-31} = R_{31} \times \gamma_{31}$	综合降雨量、地形地貌、水文地质条件等因素,判定地表水体与隧道之间的水力联系。隧道周围存在湖泊、河流、水库等补给性水体越多,水力联系越强,则取值越大
		隧址地表存在湖泊、河流、水库等水体,与隧道水力联系较弱	$0 < R_{ij} \leq 50$				
		隧址地表不存在湖泊、河流、水库等水体	$R_{ij} = 0$				
施工因素 $X_{dl9-4}$	防排水措施 $X_{dl9-41}$	很差	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{41}$	$\gamma_{41}$	$X_{dl9-41} = R_{41} \times \gamma_{41}$	根据现场情况确定。防排水措施越差,则取值越大,反之取值越小
		较差	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		一般	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		合理	$R_{ij} = 0$				



表 D.4 隧道施工过程涌水突泥风险事件可能性评估指标体系(钻爆法)(续)

项别	评估指标	分级	基本分值( $R_{ij}$ )		权重系数( $\gamma_{ij}$ )	评估分值( $X_{db0-ij}$ )	说明	
			分值范围	取值				
超前 预报 与 监控 量测 $X_{db0-5}$	超前 地质 预报 $X_{db0-51}$	地震波场/电磁波场前兆信息变化强烈	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{51}$	$\gamma_{51}$	$X_{db0-51} = R_{51} \times \gamma_{51}$	根据超前地质预报结果确定。超前地质预报中地震波场/电磁波场前兆信息变化越强烈,取值越大,反之取值越小	
		地震波场/电磁波场前兆信息变化较强	$50 < R_{ij} \leq 75$					
		地震波场/电磁波场前兆信息变化较小	$0 < R_{ij} \leq 50$					
	超前 预报 与 监控 量测 $X_{db0-5}$	监控 量测 方案 合理性 $X_{db0-52}$	量测频率很低、必测项目很不全面或无监测项目,信息反馈很差或无反馈	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{52}$	$\gamma_{52}$	$X_{db0-52} = R_{52} \times \gamma_{52}$	根据现场监测情况确定。量测频率越低,必测项目越不全,信息反馈越差,则取值越大
			量测频率较低、有一定必测项目但不全面,信息反馈较差	$50 < R_{ij} \leq 75$				
			量测频率一般、必测项目较全面,无选测项目,信息反馈一般	$25 < R_{ij} \leq 50$				
			量测频率较合理、必测项目全面,有一定选测项目,信息反馈及时	$0 < R_{ij} \leq 25$				
			量测频率合理、必测项目全面,选测项目合理,信息反馈很及时	$R_{ij} = 0$				

D.10 大变形(钻爆法)

表 D.5 给出了隧道施工过程大变形风险事件可能性评估指标体系(钻爆法),评估时可结合工程实际情况进行调整。

表 D.5 隧道施工过程大变形风险事件可能性评估指标体系(钻爆法)

项别	评估指标	分级	基本分值( $R_{ij}$ )		权重系数( $\gamma_{ij}$ )	评估分值( $X_{db10-ij}$ )	说明
			分值范围	取值			
建设 规模 $X_{db10-1}$	隧道 开挖 跨度 $X_{db10-11}$	$X_{db10-11} \geq 18$ m	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{11}$	$\gamma_{11}$	$X_{db10-11} = R_{11} \times \gamma_{11}$	根据设计文件确定(隧道主线主要考虑正洞开挖跨度)。隧道开挖跨度大于或等于 22 m 时,基本分值取 100,其他分值可按隧道开挖跨度线性内插取值
		$14$ m $\leq X_{db10-11} < 18$ m	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		$9$ m $\leq X_{db10-11} < 14$ m	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		$X_{db10-11} < 9$ m	$0 < R_{ij} \leq 25$				

表 D.5 隧道施工过程中大变形风险事件可能性评估指标体系(钻爆法)(续)

项别	评估指标	分级	基本分值( $R_{ij}$ )		权重系数( $\gamma_{ij}$ )	评估分值( $X_{db10-ij}$ )	说明	
			分值范围	取值				
地形特征 $X_{db10-2}$	浅埋层厚度与覆跨比 $X_{db10-21}$	厚度小于 10 m	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{21}$	$\gamma_{21}$	$X_{db10-21} = R_{21} \times \gamma_{21}$	根据地质勘察资料、设计文件及现场条件确定。当浅埋层厚度小于 10 m 时,不考虑覆跨比;当浅埋层厚度小于或等于 8 m 时,基本分值取 100;其他情况按覆跨比线性内插取值	
		覆跨比为 0~2	$50 < R_{ij} \leq 75$					
		覆跨比为 2~4	$25 < R_{ij} \leq 50$					
		覆跨比大于或等于 4	$0 < R_{ij} \leq 25$					
浅埋隧道偏压角度 $X_{db10-22}$		$X_{db10-22} \geq 25^\circ$	$50 < R_{ij} \leq 100$	$R_{22}$	$\gamma_{22}$	$X_{db10-22} = R_{22} \times \gamma_{22}$	根据地质勘察资料、设计文件及现场条件确定。当浅埋隧道偏压角度大于或等于 $45^\circ$ 时,基本分值取 100,其他情况按浅埋隧道偏压角度线性内插取值	
		$X_{db10-22} < 25^\circ$	$0 < R_{ij} \leq 50$					
地质条件 $X_{db10-3}$	围岩级别 $X_{db10-31}$	Ⅵ级	$R_{ij} = 100$	$R_{31}$	$\gamma_{31}$	$X_{db10-31} = R_{31} \times \gamma_{31}$	根据设计文件及现场条件确定	
		Ⅴ级	$50 < R_{ij} < 100$					
		Ⅳ级	$25 < R_{ij} \leq 50$					
		Ⅲ级	$0 < R_{ij} \leq 25$					
		Ⅰ、Ⅱ级	$R_{ij} = 0$					
	断层破碎带宽度 $X_{db10-32}$		$X_{db10-32} \geq 50$ m	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{32}$	$\gamma_{32}$	$X_{db10-32} = R_{32} \times \gamma_{32}$	根据地质勘察资料、设计文件及现场条件确定。当断层破碎带宽度大于或等于 60 m 时,基本分值取 100,其他情况按断层破碎带宽度线性内插取值
			$20$ m $\leq X_{db10-32} < 50$ m	$50 < R_{ij} \leq 75$				
			$0$ m $< X_{db10-32} < 20$ m	$25 < R_{ij} \leq 50$				
			不存在断层破碎带	$R_{ij} = 0$				
	断层破碎带胶结程度 $X_{db10-33}$		胶结程度极差	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{33}$	$\gamma_{33}$	$X_{db10-33} = R_{33} \times \gamma_{33}$	根据地质勘察资料、设计文件及现场条件确定。断层破碎带胶结程度越差,取值越大,反之取值越小
			胶结程度差	$50 < R_{ij} \leq 75$				
			胶结程度一般	$25 < R_{ij} \leq 50$				
胶结程度好			$R_{ij} = 0$					
特殊岩土体(膨土、冻土、富水软岩等)连续长度 $X_{db10-34}$		$X_{db10-34} \geq 100$ m	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{34}$	$\gamma_{34}$	$X_{db10-34} = R_{34} \times \gamma_{34}$	根据地质勘察资料、设计文件及现场条件确定。当特殊岩土体连续长度大于或等于 120 m 时基本分值取 100,其他情况按隧道特殊岩土体连续长度线性内插取值	
		$50$ m $\leq X_{db10-34} < 100$ m	$50 < R_{ij} \leq 75$					
		$10$ m $\leq X_{db10-34} < 50$ m	$25 < R_{ij} \leq 50$					
		$X_{db10-34} < 10$ m	$0 < R_{ij} \leq 25$					

表 D.5 隧道施工过程中大变形风险事件可能性评估指标体系(钻爆法)(续)

项别	评估指标	分级	基本分值( $R_{ij}$ )		权重系数( $\gamma_{ij}$ )	评估分值( $X_{db10-ij}$ )	说明
			分值范围	取值			
地质条件 $X_{db10-3}$	隧道埋深 $X_{db10-35}$	$X_{db10-35} \geq 1000$ m	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{35}$	$\gamma_{35}$	$X_{db10-35} = R_{35} \times \gamma_{35}$	根据地质勘察资料、设计文件确定。隧道埋深大于或等于 1200 m 时基本分取值 100,其他分值按埋深线性内插取值
		$800 \text{ m} \leq X_{db10-35} < 1000$ m	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		$400 \text{ m} \leq X_{db10-35} < 800$ m	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		$X_{db10-35} < 400$ m	$0 < R_{ij} \leq 25$				
	采空区对工程的影响程度 $X_{db10-36}$	采空区正在发生不连续变形,或现阶段相对稳定,但存在发生不连续变形的可能性大,对隧道工程影响程度大	$R_{ij} = 100$	$R_{36}$	$\gamma_{36}$	$X_{db10-36} = R_{36} \times \gamma_{36}$	根据地质勘察资料、设计文件及现场条件确定
		采空区现阶段相对稳定,但存在发生不连续变形的可能性,对隧道工程影响程度中等	$R_{ij} = 50$				
		发生不连续变形的可能性小,对隧道工程影响程度小	$R_{ij} = 25$				
不存在采空区或采空区密实,对隧道工程无影响	$R_{ij} = 0$						
水文地质条件 $X_{db10-4}$	地下水情况 $X_{db10-41}$	每 10 m 长隧道涌水量大于或等于 125 L/min	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{41}$	$\gamma_{41}$	$X_{db10-41} = R_{41} \times \gamma_{41}$	根据现场情况确定。①每 10 m 长隧道涌水量等于隧道二次衬砌至掌子面总出水量除以掌子面距二次衬砌的距离乘以 10;②当每 10 m 长隧道涌水量大于或等于 150 L/min 时,基本分取值 100,其他情况按每 10 m 长隧道涌水量线性内插取值
		每 10 m 长隧道涌水量为 25 L/min ~ 125 L/min	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		每 10 m 长隧道涌水量为 10 L/min ~ 25 L/min	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		每 10 m 长隧道涌水量小于 10 L/min	$0 < R_{ij} \leq 25$				

表 D.5 隧道施工过程中大变形风险事件可能性评估指标体系(钻爆法)(续)

项别	评估指标	分级	基本分值( $R_{ij}$ )		权重系数( $\gamma_{ij}$ )	评估分值( $X_{db10-ij}$ )	说明
			分值范围	取值			
施工因素 $X_{db10-5}$	衬砌安全距离 $X_{db10-51}$	IV级围岩二次衬砌距掌子面距离110 m以上,V级围岩二次衬砌距掌子面距离90 m以上,VI级围岩二次衬砌距掌子面距离70 m以上	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{51}$	$\gamma_{51}$	$X_{db10-51} = R_{51} \times \gamma_{51}$	根据实际施工情况确定。当IV级围岩二次衬砌距掌子面距离130 m以上、V级围岩二次衬砌距掌子面距离110 m以上、VI级围岩二次衬砌距掌子面距离80 m以上时,基本分值取100,其他情况按二次衬砌距掌子面的距离线性内插取值
		IV级围岩二次衬砌距掌子面距离90 m~110 m,V级围岩二次衬砌距掌子面距离70 m~90 m,VI级围岩二次衬砌距掌子面距离50 m~70 m	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		IV级围岩二次衬砌距掌子面距离90 m以下,V级围岩二次衬砌距掌子面距离70 m以下,VI级围岩二次衬砌距掌子面距离50 m以下	$R_{ij} = 0$				
	仰拱安全距离 $X_{db10-52}$	III级围岩仰拱距掌子面距离100 m以上,IV级围岩仰拱距掌子面距离60 m以上,V级围岩仰拱距掌子面距离50 m以上,VI级围岩仰拱距掌子面距离40 m以上	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{52}$	$\gamma_{52}$	$X_{db10-52} = R_{52} \times \gamma_{52}$	
		III级围岩仰拱距掌子面距离90 m~100 m,IV级围岩仰拱距掌子面距离50 m~60 m,V级围岩仰拱距掌子面距离40 m~50 m,VI级围岩仰拱距掌子面距离30 m~40 m	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		III级围岩仰拱距掌子面距离90 m以下,IV级围岩仰拱距掌子面距离50 m以下,V级围岩仰拱距掌子面距离40 m以下,VI级围岩仰拱距掌子面距离30 m以下	$R_{ij} = 0$				

表 D.5 隧道施工过程中大变形风险事件可能性评估指标体系(钻爆法)(续)

项别	评估指标	分级	基本分值( $R_{ij}$ )		权重系数( $\gamma_{ij}$ )	评估分值( $X_{db10-ij}$ )	说明	
			分值范围	取值				
超前 地质 预报 $X_{db10-61}$	超前地质预报	地震波场/电磁波场前兆信息变化强烈	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{61}$	$\gamma_{61}$	$X_{db10-61} = R_{61} \times \gamma_{61}$	根据超前地质预报结果确定。超前地质预报中地震波场/电磁波场前兆信息变化越强烈,取值越大,反之取值越小	
		地震波场/电磁波场前兆信息变化较强	$50 < R_{ij} \leq 75$					
		地震波场/电磁波场前兆信息变化较小	$0 < R_{ij} \leq 50$					
	相对变形值( $u/B$ ) $X_{db10-62}$	大于或等于4%	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{62}$	$\gamma_{62}$	$X_{db10-62} = R_{62} \times \gamma_{62}$	① $u$ 为隧道最大变形位移(拱顶或边墙), $B$ 为隧道开挖跨度;②当相对变形值大于或等于5%时,基本分值取100,其他情况按相对变形值线性内插取值	
		3%~4%	$50 < R_{ij} \leq 75$					
		2%~3%	$25 < R_{ij} \leq 50$					
		1%~2%	$0 < R_{ij} \leq 25$					
	超前 预报 与 监控 量测 $X_{db10-6}$	量测	量测频率很低、必测项目很不全面或无监测项目,信息反馈很差或无反馈	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{63}$	$\gamma_{63}$	$X_{db10-63} = R_{63} \times \gamma_{63}$	根据现场监测情况确定。量测频率越低,必测项目越不全面,信息反馈越差,则取值越大
			量测频率较低、有一定必测项目但不全面,信息反馈较差	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		监控量测方案合理性 $X_{db10-63}$	量测频率一般、必测项目较全面,无选测项目,信息反馈一般	$25 < R_{ij} \leq 50$				
量测频率较合理、必测项目全面,有一定选测项目,信息反馈及时			$0 < R_{ij} \leq 25$					
量测频率合理、必测项目全面,选测项目合理,信息反馈很及时			$R_{ij} = 0$					

D.11 瓦斯爆炸(钻爆法)

表 D.6 给出了隧道施工过程中瓦斯爆炸风险事件可能性评估指标体系(钻爆法),评估时可结合工程实际情况进行调整。

表 D.6 隧道施工过程瓦斯爆炸风险事件可能性评估指标体系(钻爆法)

项别	评估指标	分级	基本分值( $R_{ij}$ )		权重系数( $\gamma_{ij}$ )	评估分值( $X_{db11-ij}$ )	说明
			分值范围	取值			
地质条件 $X_{db11-1}$	含瓦斯地层(煤矿采空区)厚度 $X_{db11-11}$	$X_{db11-11} \geq 10$ m	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{11}$	$\gamma_{11}$	$X_{db11-11} = R_{11} \times \gamma_{11}$	含瓦斯地层(煤矿采空区)厚度大于或等于 15 m 时,基本分值取 100,其他分值按厚度线性内插取值
		$5 \text{ m} \leq X_{db11-11} < 10$ m	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		$2 \text{ m} \leq X_{db11-11} < 5$ m	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		$X_{db11-11} < 2$ m	$0 < R_{ij} \leq 25$				
	隧道距含瓦斯地层(煤矿采空区)距离 $X_{db11-12}$	$0 \text{ m} \leq X_{db11-12} < 20$ m	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{12}$	$\gamma_{12}$	$X_{db11-12} = R_{12} \times \gamma_{12}$	隧道距含瓦斯地层(煤矿采空区)距离指最小直线距离。隧道距含瓦斯地层(煤矿采空区)距离大于或等于 200 m 时,基本分值取 0,其他分值按距离线性内插取值
		$20 \text{ m} \leq X_{db11-12} < 80$ m	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		$80 \text{ m} \leq X_{db11-12} < 150$ m	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		$X_{db11-12} \geq 150$ m	$0 < R_{ij} \leq 25$				
瓦斯因素 $X_{db11-2}$	开挖工作面瓦斯浓度 $X_{db11-21}$	$X_{db11-21} \geq 1.0\%$	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{21}$	$\gamma_{21}$	$X_{db11-21} = R_{21} \times \gamma_{21}$	掌子面附近 20 m 内瓦斯浓度,由现场条件确定。开挖工作面瓦斯浓度大于或等于 1.2% 时,基本分值取 100,其他分值按瓦斯浓度线性内插取值
		$0.5\% \leq X_{db11-21} < 1.0\%$	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		$0.25\% \leq X_{db11-21} < 0.5\%$	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		$X_{db11-21} < 0.25\%$	$0 < R_{ij} \leq 25$				
施工因素 $X_{db11-3}$	隧道通风量 $X_{db11-31}$	实际通风量达到设计标准的 60% ~ 70%	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{31}$	$\gamma_{31}$	$X_{db11-31} = R_{31} \times \gamma_{31}$	按照实际通风量与设计通风量的比值确定分值,由现场条件确定。实际通风量低于设计标准 50% 时,基本分值取 100,其他分值按通风量线性内插取值
		实际通风量达到设计标准的 70% ~ 80%	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		实际通风量达到设计标准的 80% ~ 90%	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		实际通风量达到设计标准的 90% 以上	$0 < R_{ij} \leq 25$				
超前预报与监控量测 $X_{db11-4}$	超前钻孔 $X_{db11-41}$	煤岩动力现象显著	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{41}$	$\gamma_{41}$	$X_{db11-41} = R_{41} \times \gamma_{41}$	煤岩动力现象主要指钻孔过程中出现的孔内声响、钻屑量大量增加等现象,钻孔中煤岩动力现象越显著分值越高
		煤岩动力现象较显著	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		煤岩动力现象不显著	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		无煤岩动力现象	$R_{ij} = 0$				

表 D.6 隧道施工过程瓦斯爆炸风险事件可能性评估指标体系(钻爆法)(续)

项别	评估指标	分级	基本分值( $R_{ij}$ )		权重系数( $\gamma_{ij}$ )	评估分值( $X_{db11-ij}$ )	说明
			分值范围	取值			
超前预报与监控量测 $X_{db11-4}$	监控量测方案合理性 $X_{db11-42}$	量测频率很低、必测项目很不全面或无监测项目,信息反馈很差或无反馈	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{42}$	$\gamma_{42}$	$X_{db11-42} = R_{42} \times \gamma_{42}$	根据现场监测情况确定。量测频率越低,必测项目越不全面,信息反馈越差,则取值越大
		量测频率较低、有一定必测项目但不全面,信息反馈较差	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		量测频率一般、必测项目较全面,无选测项目,信息反馈一般	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		量测频率较合理、必测项目全面,有一定选测项目,信息反馈及时	$0 < R_{ij} \leq 25$				
		量测频率合理、必测项目全面,选测项目合理,信息反馈很及时	$R_{ij} = 0$				
机电设备因素 $X_{db11-5}$	电气设备防爆情况 $X_{db11-51}$	未按规定采用防爆设备	$0 < R_{ij} \leq 100$	$R_{51}$	$\gamma_{51}$	$X_{db11-51} = R_{51} \times \gamma_{51}$	按照未采用防爆措施的设备占设备总数的比例,确定分值
		按规范采用防爆设备	$R_{ij} = 0$				

D.12 岩爆(钻爆法)

表 D.7 给出了隧道施工过程岩爆风险事件可能性评估指标体系(钻爆法),评估时可结合工程实际情况进行调整。

表 D.7 隧道施工过程岩爆风险事件可能性评估指标体系(钻爆法)

项别	评估指标	分级	基本分值( $R_{ij}$ )		权重系数( $\gamma_{ij}$ )	评估分值( $X_{db12-ij}$ )	说明
			分值范围	取值			
岩石强度及应力因素 $X_{db12-1}$	岩石脆性系数 $X_{db12-11}$	$X_{db12-11} \geq 18$	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{11}$	$\gamma_{11}$	$X_{db12-11} = R_{11} \times \gamma_{11}$	岩石脆性系数为岩石单轴抗压强度与抗拉强度之比。当本评估区段内脆性系数大于或等于 20 时,基本分值取 100,其他分值可按该系数线性内插取值
		$14 \leq X_{db12-11} < 18$	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		$10 \leq X_{db12-11} < 14$	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		$X_{db12-11} < 10$	$R_{ij} = 0$				



表 D.7 隧道施工过程岩爆风险事件可能性评估指标体系(钻爆法)(续)

项别	评估指标	分级	基本分值( $R_{ij}$ )		权重系数( $\gamma_{ij}$ )	评估分值( $X_{db12-ij}$ )	说明
			分值范围	取值			
岩石强度及应力因素 $X_{db12-1}$	强度应力比 $X_{db12-12}$	$X_{db12-12} < 2.5$	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{12}$	$\gamma_{12}$	$X_{db12-12} = R_{12} \times \gamma_{12}$	强度应力比为岩石的单轴抗压强度与所在洞段原岩最大主应力之比。当本评估区段内强度应力比小于 2.0 时,基本分值取 100,其他分值可按强度应力比线性内插取值
		$2.5 \leq X_{db12-12} < 4$					
		$4 \leq X_{db12-12} < 7$					
		$X_{db12-12} \geq 7$					
结构面因素 $X_{db12-2}$	结构面发育及结合程度 $X_{db12-21}$	结构面组数 1 组 ~ 2 组、平均间距大于 1.0 m, 结合好或结合一般	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{21}$	$\gamma_{21}$	$X_{db12-21} = R_{21} \times \gamma_{21}$	根据现场调查情况确定。平均间距指主要结构面的平均值;结构面结合程度只考虑主要结构面,结合程度可参照 GB/T 50218—2014 表 3.2.4 确定;当岩体致密、结构面较少时,基本分值可取 100
		结构面组数 1 组 ~ 2 组、平均间距大于 1.0 m, 结合差;或结构面组数 2 组 ~ 3 组、平均间距 0.4 m ~ 1.0 m, 结合好或结合一般					
		结构面组数 2 组 ~ 3 组、平均间距 0.4 m ~ 1.0 m, 结合差;或结构面组数大于或等于 3 组、平均间距 0.2 m ~ 0.4 m, 结合好或结合一般					
		结构面组数大于或等于 3 组、平均间距 0.2 m ~ 0.4 m, 结合差;或结构面组数大于或等于 3 组、平均间距小于或等于 0.2 m, 结合一般或结合差					

D.13 掌子面失稳(盾构法)

表 D.8 给出了隧道施工过程掌子面失稳风险事件可能性评估指标体系(盾构法),评估时可结合工程实际情况进行调整。

表 D.8 隧道施工过程掌子面失稳风险事件可能性评估指标体系(盾构法)

项别	评估指标	分级	基本分值( $R_{ij}$ )		权重系数( $\gamma_{ij}$ )	评估分值( $X_{sb4-ij}$ )	说明
			分值范围	取值			
建设规模 $X_{sb4-1}$	掘进断面直径 $X_{sb4-11}$	$X_{sb4-11} \geq 18$ m	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{11}$	$\gamma_{11}$	$X_{sb4-11} = R_{11} \times \gamma_{11}$	根据设计文件确定。当掘进断面直径大于或等于 20 m 时,基本分值取 100,其他情况按隧道掘进断面直径线性内插取值
		$16$ m $\leq X_{sb4-11} < 18$ m					
		$14$ m $\leq X_{sb4-11} < 16$ m					
		$X_{sb4-11} < 14$ m					



表 D.8 隧道施工过程中掌子面失稳风险事件可能性评估指标体系(盾构法)(续)

项别	评估指标	分级	基本分值( $R_{ij}$ )		权重系数( $\gamma_{ij}$ )	评估分值( $X_{sh4-ij}$ )	说明
			分值范围	取值			
地质与环境条件 $X_{sh4-2}$	覆土厚度 (以洞径 倍数 表示) $X_{sh4-21}$	$X_{sh4-21} < 0.5$	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{21}$	$\gamma_{21}$	$X_{sh4-21} = R_{21} \times \gamma_{21}$	根据地质勘察资料、设计文件及现场条件确定。当覆土厚度小于 0.3 倍洞径时,基本分值取 100,其他情况按覆土厚度线性内插取值
		$0.5 \leq X_{sh4-21} < 1.0$	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		$1.0 \leq X_{sh4-21} < 2.0$	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		$X_{sh4-21} \geq 2.0$	$0 < R_{ij} \leq 25$				
	不良地质段 长度 $X_{sh4-22}$	$X_{sh4-22} \geq 600$ m	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{22}$	$\gamma_{22}$	$X_{sh4-22} = R_{22} \times \gamma_{22}$	根据地质勘察资料、设计文件及现场条件确定。当不良地质段长度大于或等于 800 m 时,基本分值取 100,其他情况按不良地质段长度线性内插取值。始发或到达阶段根据加固效果按 25 ~ 50 取值
		$100 \text{ m} \leq X_{sh4-22} < 600$ m	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		$0 < X_{sh4-22} < 100$ m	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		无不良地质	$R_{ij} = 0$				
	邻近/穿越 地层 水体 情况 $X_{sh4-23}$	存在承压水、河道水位 变化等不利水文条件	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{23}$	$\gamma_{23}$	$X_{sh4-23} = R_{23} \times \gamma_{23}$	根据现场情况确定
		存在不间断水源补充	$30 < R_{ij} \leq 60$				
		不存在不利水文条件	$R_{ij} = 0$				
	地下 管线 情况 $X_{sh4-24}$	管线全断面位于富水砂 层或粉细砂层	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{24}$	$\gamma_{24}$	$X_{sh4-24} = R_{24} \times \gamma_{24}$	根据现场地质条件确定
管线部分断面位于富水 砂层或粉细砂层		$30 < R_{ij} \leq 60$					
管线位于其他地层		$0 < R_{ij} \leq 30$					
设备 选型 $X_{sh4-3}$	盾构机 选型 $X_{sh4-31}$	适应性和可靠性较差	$R_{31}$	$\gamma_{31}$	$X_{sh4-31} = R_{31} \times \gamma_{31}$	根据盾构机选型与评估结果确定	
		适应性和可靠性一般					$30 < R_{ij} \leq 60$
		适应性和可靠性较好					$0 < R_{ij} \leq 30$
盾构机 控制 $X_{sh4-4}$	超前 注浆 控制 $X_{sh4-41}$	较差	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{41}$	$\gamma_{41}$	$X_{sh4-41} = R_{41} \times \gamma_{41}$	根据现场情况确定
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$				
		较好	$0 < R_{ij} \leq 30$				
	主轴 承密封 质量 $X_{sh4-42}$	较差	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{42}$	$\gamma_{42}$	$X_{sh4-42} = R_{42} \times \gamma_{42}$	根据现场情况确定
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$				
		较好	$0 < R_{ij} \leq 30$				
	盾构机 掘进姿 态控制 $X_{sh4-43}$	较差	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{43}$	$\gamma_{43}$	$X_{sh4-43} = R_{43} \times \gamma_{43}$	根据现场情况确定
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$				
		较好	$0 < R_{ij} \leq 30$				

表 D.8 隧道施工过程中掌子面失稳风险事件可能性评估指标体系(盾构法)(续)

项别	评估指标	分级	基本分值( $R_{ij}$ )		权重系数( $\gamma_{ij}$ )	评估分值( $X_{sh4-ij}$ )	说明
			分值范围	取值			
盾构机控制 $X_{sh4-4}$	盾构掘进参数 $X_{sh4-44}$	不适合	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{44}$	$\gamma_{44}$	$X_{sh4-44} = R_{44} \times \gamma_{44}$	根据现场情况确定
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$				
		适合	$0 < R_{ij} \leq 30$				
	开仓作业压力 $X_{sh4-45}$	$X_{sh4-45} \geq 0.45$ MPa	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{45}$	$\gamma_{45}$	$X_{sh4-45} = R_{45} \times \gamma_{45}$	根据现场情况确定。当开仓作业压力大于或等于 0.6 MPa 时,基本分值取 100,其他情况按开仓作业压力线性内插取值
		$0.35$ MPa $\leq X_{sh4-45} < 0.45$ MPa	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		$0.10$ MPa $\leq X_{sh4-45} < 0.35$ MPa	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		$X_{sh4-45} < 0.10$ MPa	$0 < R_{ij} \leq 25$				
	超挖控制 $X_{sh4-46}$	较差	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{46}$	$\gamma_{46}$	$X_{sh4-46} = R_{46} \times \gamma_{46}$	根据现场情况确定
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$				
		较好	$0 < R_{ij} \leq 30$				
	泥浆质量 $X_{sh4-47}$	较差	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{47}$	$\gamma_{47}$	$X_{sh4-47} = R_{47} \times \gamma_{47}$	根据现场情况确定。针对泥水平衡盾构机
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$				
较好		$0 < R_{ij} \leq 30$					
渣土改良效果 $X_{sh4-48}$	较差	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{48}$	$\gamma_{48}$	$X_{sh4-48} = R_{48} \times \gamma_{48}$	根据现场情况确定。针对土压平衡盾构机	
	一般	$30 < R_{ij} \leq 60$					
	较好	$0 < R_{ij} \leq 30$					

D.14 建(构)筑物受损(盾构法)

表 D.9 给出了隧道施工过程中建(构)筑物受损风险事件可能性评估指标体系(盾构法),评估时可结合工程实际情况进行调整。

表 D.9 隧道施工过程中建(构)筑物受损风险事件可能性评估指标体系(盾构法)

项别	评估指标	分级	基本分值( $R_{ij}$ )		权重系数( $\gamma_{ij}$ )	评估分值( $X_{sh5-ij}$ )	说明
			分值范围	取值			
建设规模 $X_{sh5-1}$	掘进断面直径 $X_{sh5-11}$	$X_{sh5-11} \geq 18$ m	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{11}$	$\gamma_{11}$	$X_{sh5-11} = R_{11} \times \gamma_{11}$	根据设计文件确定。当掘进断面直径大于或等于 20 m 时,基本分值取 100,其他情况按掘进断面直径线性内插取值
		$16$ m $\leq X_{sh5-11} < 18$ m	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		$14$ m $\leq X_{sh5-11} < 16$ m	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		$X_{sh5-11} < 14$ m	$0 < R_{ij} \leq 25$				
	覆土厚度(以洞径倍数表示) $X_{sh5-12}$	$X_{sh5-12} < 0.5$	$50 < R_{ij} \leq 100$	$R_{12}$	$\gamma_{12}$	$X_{sh5-12} = R_{12} \times \gamma_{12}$	根据地质勘察资料、设计文件及现场条件确定。当覆土厚度小于 0.3 倍洞径时,基本分值取 100,其他情况按覆土厚度线性内插取值
		$0.5 \leq X_{sh5-12} < 1.0$	$0 < R_{ij} \leq 50$				

表 D.9 隧道施工过程中建(构)筑物受损风险事件可能性评估指标体系(盾构法)(续)

项别	评估指标	分级	基本分值( $R_{ij}$ )		权重系数( $\gamma_{ij}$ )	评估分值( $X_{sh5-ij}$ )	说明
			分值范围	取值			
隧道线性 $X_{sh5-2}$	路线最小转弯半径(以洞径倍数表示) $X_{sh5-21}$	$X_{sh5-21} < 40$	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{21}$	$\gamma_{21}$	$X_{sh5-21} = R_{21} \times \gamma_{21}$	根据设计文件确定。当转弯半径小于 30 倍洞径时,基本分值取 100,其他情况按转弯半径线性内插取值
		$40 \leq X_{sh5-21} < 80$	$30 < R_{ij} \leq 60$				
		$X_{sh5-21} \geq 80$	$0 < R_{ij} \leq 30$				
地质与环境条件 $X_{sh5-3}$	建(构)筑物重要性及敏感性 $X_{sh5-31}$	较高	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{31}$	$\gamma_{31}$	$X_{sh5-31} = R_{31} \times \gamma_{31}$	根据现场情况确定
		一般	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		较低	$25 < R_{ij} \leq 50$				
	隧道主体与建(构)筑物距离(以洞径倍数表示) $X_{sh5-32}$	$X_{sh5-32} < 0.5$	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{32}$	$\gamma_{32}$	$X_{sh5-32} = R_{32} \times \gamma_{32}$	根据现场情况确定。当距离小于 0.3 倍洞径时,基本分值取 100,其他情况按距离线性内插取值
		$0.5 \leq X_{sh5-32} < 1.0$	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		$1.0 \leq X_{sh5-32} < 2.0$	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		$X_{sh5-32} \geq 2.0$	$0 < R_{ij} \leq 25$				
	建(构)筑物保护或加固方案适应性 $X_{sh5-33}$	较差	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{33}$	$\gamma_{33}$	$X_{sh5-33} = R_{33} \times \gamma_{33}$	根据施工方案确定
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$				
		较好	$0 < R_{ij} \leq 30$				
	不良地质 $X_{sh5-34}$	邻近段存在不良地质大于或等于 2 处	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{34}$	$\gamma_{34}$	$X_{sh5-34} = R_{34} \times \gamma_{34}$	根据现场地质条件确定
		邻近段存在不良地质 1 处	$30 < R_{ij} \leq 60$				
邻近段无不良地质		$R_{ij} = 0$					
设备选型 $X_{sh5-4}$	盾构机选型 $X_{sh5-41}$	适应性和可靠性较差	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{41}$	$\gamma_{41}$	$X_{sh5-41} = R_{41} \times \gamma_{41}$	根据盾构机选型与评估结果确定
		适应性和可靠性一般	$30 < R_{ij} \leq 60$				
		适应性和可靠性较好	$0 < R_{ij} \leq 30$				
盾构机控制 $X_{sh5-5}$	同步注浆控制 $X_{sh5-51}$	较差	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{51}$	$\gamma_{51}$	$X_{sh5-51} = R_{51} \times \gamma_{51}$	根据现场情况确定
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$				
		较好	$0 < R_{ij} \leq 30$				

表 D.9 隧道施工过程中建(构)筑物受损风险事件可能性评估指标体系(盾构法)(续)

项别	评估指标	分级	基本分值( $R_{ij}$ )		权重系数( $\gamma_{ij}$ )	评估分值( $X_{sh5-ij}$ )	说明
			分值范围	取值			
盾构机控制 $X_{sh5-5}$	盾尾密封质量 $X_{sh5-52}$	较差	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{52}$	$\gamma_{52}$	$X_{sh5-52} = R_{52} \times \gamma_{52}$	根据现场情况确定
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$				
		较好	$0 < R_{ij} \leq 30$				
	盾构机掘进姿态控制 $X_{sh5-53}$	较差	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{53}$	$\gamma_{53}$	$X_{sh5-53} = R_{53} \times \gamma_{53}$	根据现场情况确定
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$				
		较好	$0 < R_{ij} \leq 30$				
	管片拼装质量 $X_{sh5-54}$	较差	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{54}$	$\gamma_{54}$	$X_{sh5-54} = R_{54} \times \gamma_{54}$	根据现场情况确定
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$				
		较好	$0 < R_{ij} \leq 30$				
	盾构掘进参数 $X_{sh5-55}$	不适合	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{55}$	$\gamma_{55}$	$X_{sh5-55} = R_{55} \times \gamma_{55}$	根据现场情况确定
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$				
		适合	$0 < R_{ij} \leq 30$				
	开仓作业压力 $X_{sh5-56}$	$X_{sh5-56} \geq 0.45$ MPa	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{56}$	$\gamma_{56}$	$X_{sh5-56} = R_{56} \times \gamma_{56}$	根据现场情况确定。当开仓作业压力大于或等于 0.6 MPa 时,基本分值取 100,其他情况按开仓作业压力线性内插取值
		$0.35$ MPa $\leq X_{sh5-56} < 0.45$ MPa	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		$0.10$ MPa $\leq X_{sh5-56} < 0.35$ MPa	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		$X_{sh5-56} < 0.10$ MPa	$0 < R_{ij} \leq 25$				
	超挖控制 $X_{sh5-57}$	较差	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{57}$	$\gamma_{57}$	$X_{sh5-57} = R_{57} \times \gamma_{57}$	根据现场情况确定
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$				
较好		$0 < R_{ij} \leq 30$					
泥浆质量 $X_{sh5-58}$	较差	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{58}$	$\gamma_{58}$	$X_{sh5-58} = R_{58} \times \gamma_{58}$	根据现场情况确定。针对泥水平衡盾构机	
	一般	$30 < R_{ij} \leq 60$					
	较好	$0 < R_{ij} \leq 30$					
渣土改良效果 $X_{sh5-59}$	较差	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{59}$	$\gamma_{59}$	$X_{sh5-59} = R_{59} \times \gamma_{59}$	根据现场情况确定。针对土压平衡盾构机	
	一般	$30 < R_{ij} \leq 60$					
	较好	$0 < R_{ij} \leq 30$					
施工监测 $X_{sh5-6}$	建(构)筑物变形监测绝对值和速率 $X_{sh5-61}$	变形监测绝对值和速率双控指标均达到控制值	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{61}$	$\gamma_{61}$	$X_{sh5-61} = R_{61} \times \gamma_{61}$	建(构)筑物变形监测控制值根据《城市轨道交通工程监测技术规范》(GB 50911—2013)及产权单位要求确定
		变形监测绝对值和速率双控指标均达到控制值的 85%,或双控指标之一达到控制值	$30 < R_{ij} \leq 60$				
		变形监测绝对值和速率双控指标均达到控制值的 70%,或双控指标之一达到控制值的 85%	$0 < R_{ij} \leq 30$				

表 D.9 隧道施工过程建(构)筑物受损风险事件可能性评估指标体系(盾构法)(续)

项别	评估指标	分级	基本分值( $R_{ij}$ )		权重系数( $\gamma_{ij}$ )	评估分值( $X_{sh5-ij}$ )	说明
			分值范围	取值			
施工监测 $X_{sh5-6}$	监控量测方案合理性 $X_{sh5-62}$	量测频率很低、必测项目很不全面或无监测项目,信息反馈很差或无反馈	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{62}$	$\gamma_{62}$	$X_{sh5-62} = R_{62} \times \gamma_{62}$	根据现场监测情况确定。量测频率越低,必测项目越不全面,信息反馈越差,则取值越大
		量测频率较低、有一定必测项目但不全面,信息反馈较差	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		量测频率一般、必测项目较全面,无选测项目,信息反馈一般	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		量测频率较合理、必测项目全面,有一定选测项目,信息反馈及时	$0 < R_{ij} \leq 25$				
		量测频率合理、必测项目全面,选测项目合理,信息反馈很及时	$R_{ij} = 0$				

D.15 突水(盾构法)

表 D.10 给出了隧道施工过程突水风险事件可能性评估指标体系(盾构法),评估时可结合工程实际情况进行调整。

表 D.10 隧道施工过程突水风险事件可能性评估指标体系(盾构法)

项别	评估指标	分级	基本分值( $R_{ij}$ )		权重系数( $\gamma_{ij}$ )	评估分值( $X_{sh6-ij}$ )	说明
			分值范围	取值			
建设规模 $X_{sh6-1}$	隧道长度 $X_{sh6-11}$	$X_{sh6-11} \geq 6\ 000\ m$	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{11}$	$\gamma_{11}$	$X_{sh6-11} = R_{11} \times \gamma_{11}$	根据设计文件确定。当隧道长度大于或等于 10 km 时,基本分值取 100,其他情况按隧道长度线性内插取值
		$3\ 000\ m \leq X_{sh6-11} < 6\ 000\ m$	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		$1\ 000\ m \leq X_{sh6-11} < 3\ 000\ m$	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		$X_{sh6-11} < 1\ 000\ m$	$0 < R_{ij} \leq 25$				
	掘进断面直径 $X_{sh6-12}$	$X_{sh6-12} \geq 18\ m$	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{12}$	$\gamma_{12}$	$X_{sh6-12} = R_{12} \times \gamma_{12}$	根据设计文件确定。当掘进断面直径大于或等于 20 m 时,基本分值取 100,其他情况按掘进断面直径线性内插取值
		$16\ m \leq X_{sh6-12} < 18\ m$	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		$14\ m \leq X_{sh6-12} < 16\ m$	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		$X_{sh6-12} < 14\ m$	$0 < R_{ij} \leq 25$				

表 D.10 隧道施工过程中突水风险事件可能性评估指标体系(盾构法)(续)

项别	评估指标	分级	基本分值( $R_{ij}$ )		权重系数( $\gamma_{ij}$ )	评估分值( $X_{sh6-ij}$ )	说明
			分值范围	取值			
隧道线性 $X_{sh6-2}$	路线最小转弯半径(以洞径倍数表示) $X_{sh6-21}$	$X_{sh6-21} < 40$	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{21}$	$\gamma_{21}$	$X_{sh6-21} = R_{21} \times \gamma_{21}$	根据设计文件确定。当转弯半径小于 30 倍洞径时,基本分值取 100,其他情况按转弯半径线性内插取值
		$40 \leq X_{sh6-21} < 80$	$30 < R_{ij} \leq 60$				
		$X_{sh6-21} \geq 80$	$0 < R_{ij} \leq 30$				
地质与环境条件 $X_{sh6-3}$	覆土厚度(以洞径倍数表示) $X_{sh6-31}$	$X_{sh6-31} < 0.5$	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{31}$	$\gamma_{31}$	$X_{sh6-31} = R_{31} \times \gamma_{31}$	根据现场情况确定。当覆土厚度小于 3 m 时,基本分值取 100,其他情况按覆土厚度线性内插取值
		$0.5 \leq X_{sh6-31} < 1.0$	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		$1.0 \leq X_{sh6-31} < 2.0$	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		$X_{sh6-31} \geq 2.0$	$0 < R_{ij} \leq 25$				
	不良地质段长度 $X_{sh6-32}$	$X_{sh6-32} \geq 600$ m	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{32}$	$\gamma_{32}$	$X_{sh6-32} = R_{32} \times \gamma_{32}$	根据现场地质条件确定。当不良地质段长度大于或等于 800 m 时,基本分值取 100,其他情况按不良地质段长度线性内插取值。始发或到达阶段根据加固效果按 25~50 取值
		$100 \text{ m} \leq X_{sh6-32} < 600$ m	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		$0 \text{ m} < X_{sh6-32} < 100$ m	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		无不良地质	$R_{ij} = 0$				
	邻近/穿越地层水体情况 $X_{sh6-33}$	存在承压水、河道水位变化等不利水文条件	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{33}$	$\gamma_{33}$	$X_{sh6-33} = R_{33} \times \gamma_{33}$	根据现场地质条件确定
		存在不间断水源补充	$30 < R_{ij} \leq 60$				
		不存在不利水文条件	$R_{ij} = 0$				
	地下管线情况 $X_{sh6-34}$	管线全断面位于富水砂层或粉细砂层	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{34}$	$\gamma_{34}$	$X_{sh6-34} = R_{34} \times \gamma_{34}$	根据现场地质条件确定
管线部分断面位于富水砂层或粉细砂层		$30 < R_{ij} \leq 60$					
管线位于其他地层		$0 < R_{ij} \leq 30$					
设备选型 $X_{sh6-4}$	盾构机选型 $X_{sh6-41}$	适应性和可靠性较差	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{41}$	$\gamma_{41}$	$X_{sh6-41} = R_{41} \times \gamma_{41}$	根据盾构机选型与评估结果确定
		适应性和可靠性一般	$30 < R_{ij} \leq 60$				
		适应性和可靠性较好	$0 < R_{ij} \leq 30$				
辅助措施 $X_{sh6-5}$	反力架或接收托架强度及加工质量 $X_{sh6-51}$	较差	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{51}$	$\gamma_{51}$	$X_{sh6-51} = R_{51} \times \gamma_{51}$	根据现场情况确定
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$				
		较好	$0 < R_{ij} \leq 30$				

表 D.10 隧道施工过程中突水风险事件可能性评估指标体系(盾构法)(续)

项别	评估指标	分级	基本分值( $R_{ij}$ )		权重系数( $\gamma_{ij}$ )	评估分值( $X_{sh6-ij}$ )	说明	
			分值范围	取值				
辅助措施 $X_{sh6-5}$	端头加固效果 $X_{sh6-52}$	较差	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{52}$	$\gamma_{52}$	$X_{sh6-52} = R_{52} \times \gamma_{52}$	根据现场情况确定	
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$					
		较好	$0 < R_{ij} \leq 30$					
	洞门密封质量 $X_{sh6-53}$	较差	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{53}$	$\gamma_{53}$	$X_{sh6-53} = R_{53} \times \gamma_{53}$		
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$					
		较好	$0 < R_{ij} \leq 30$					
盾构机控制 $X_{sh6-6}$	始发/到达掘进参数控制 $X_{sh6-61}$	较差	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{61}$	$\gamma_{61}$	$X_{sh6-61} = R_{61} \times \gamma_{61}$	根据现场情况确定	
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$					
		较好	$0 < R_{ij} \leq 30$					
	始发/到达精度控制 $X_{sh6-62}$	较差	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{62}$	$\gamma_{62}$	$X_{sh6-62} = R_{62} \times \gamma_{62}$		
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$					
		较好	$0 < R_{ij} \leq 30$					
	始发/到达时掘进压力偏差 $X_{sh6-63}$	超过允许范围	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{63}$	$\gamma_{63}$	$X_{sh6-63} = R_{63} \times \gamma_{63}$	根据现场情况确定	
		较大但尚可接受	$30 < R_{ij} \leq 60$					
		较小	$0 < R_{ij} \leq 30$					
	同步注浆控制 $X_{sh6-64}$	较差	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{64}$	$\gamma_{64}$	$X_{sh6-64} = R_{64} \times \gamma_{64}$		根据现场情况确定
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$					
		较好	$0 < R_{ij} \leq 30$					
	盾尾密封质量 $X_{sh6-65}$	较差	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{65}$	$\gamma_{65}$	$X_{sh6-65} = R_{65} \times \gamma_{65}$	根据现场情况确定	
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$					
		较好	$0 < R_{ij} \leq 30$					
	超挖控制 $X_{sh6-66}$	较差	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{66}$	$\gamma_{66}$	$X_{sh6-66} = R_{66} \times \gamma_{66}$		根据现场情况确定
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$					
		较好	$0 < R_{ij} \leq 30$					
	泥浆质量 $X_{sh6-67}$	较差	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{67}$	$\gamma_{67}$	$X_{sh6-67} = R_{67} \times \gamma_{67}$	根据现场情况确定。针对泥水平衡盾构机	
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$					
		较好	$0 < R_{ij} \leq 30$					



表 D.10 隧道施工过程突水风险事件可能性评估指标体系(盾构法)(续)

项别	评估指标	分级	基本分值( $R_{ij}$ )		权重系数( $\gamma_{ij}$ )	评估分值( $X_{sh6-ij}$ )	说明	
			分值范围	取值				
盾构机控制 $X_{sh6-6}$	渣土改良效果 $X_{sh6-68}$	较差	$60 < R_{ij} \leq 100$		$R_{68}$	$\gamma_{68}$	$X_{sh6-68} = R_{68} \times \gamma_{68}$	根据现场情况确定。针对土压平衡盾构机
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$					
		较好	$0 < R_{ij} \leq 30$					

D.16 盾构机损伤(盾构法)

表 D.11 给出了隧道施工过程盾构机损伤风险事件可能性评估指标体系(盾构法),评估时可结合工程实际情况进行调整。

表 D.11 隧道施工过程盾构机损伤风险事件可能性评估指标体系(盾构法)

项别	评估指标	分级	基本分值( $R_{ij}$ )		权重系数( $\gamma_{ij}$ )	评估分值( $X_{sh7-ij}$ )	说明	
			分值范围	取值				
建设规模 $X_{sh7-1}$	隧道长度 $X_{sh7-11}$	$X_{sh7-11} \geq 6000$ m	$75 < R_{ij} \leq 100$		$R_{11}$	$\gamma_{11}$	$X_{sh7-11} = R_{11} \times \gamma_{11}$	根据设计文件确定。当隧道长度大于或等于 10 km 时,基本分值取 100,其他情况按隧道长度线性内插取值。针对盾尾密封击穿、主轴承密封击穿、刀具刀盘磨损
		$3000 \text{ m} \leq X_{sh7-11} < 6000$ m	$50 < R_{ij} \leq 75$					
		$1000 \text{ m} \leq X_{sh7-11} < 3000$ m	$25 < R_{ij} \leq 50$					
		$X_{sh7-11} < 1000$ m	$0 < R_{ij} \leq 25$					
	掘进断面直径 $X_{sh7-12}$	$X_{sh7-12} \geq 18$ m	$75 < R_{ij} \leq 100$		$R_{12}$	$\gamma_{12}$	$X_{sh7-12} = R_{12} \times \gamma_{12}$	根据设计文件确定。当掘进断面直径大于或等于 20 m 时,基本分值取 100,其他情况按隧道掘进断面直径线性内插取值。针对保压舱失压、刀具刀盘磨损
		$16 \text{ m} \leq X_{sh7-12} < 18$ m	$50 < R_{ij} \leq 75$					
		$14 \text{ m} \leq X_{sh7-12} < 16$ m	$25 < R_{ij} \leq 50$					
		$X_{sh7-12} < 14$ m	$0 < R_{ij} \leq 25$					
隧道线性 $X_{sh7-2}$	路线最小转弯半径(以洞径倍数表示) $X_{sh7-21}$	$X_{sh7-21} < 40$	$60 < R_{ij} \leq 100$		$R_{21}$	$\gamma_{21}$	$X_{sh7-21} = R_{21} \times \gamma_{21}$	根据设计文件确定。当转弯半径小于 30 倍洞径时,基本分值取 100,其他情况按转弯半径线性内插取值。针对盾尾密封击穿、刀具刀盘磨损
		$40 \leq X_{sh7-21} < 80$	$30 < R_{ij} \leq 60$					
		$X_{sh7-21} \geq 80$	$0 < R_{ij} \leq 30$					
地质与环境条件 $X_{sh7-3}$	覆土厚度(以洞径倍数表示) $X_{sh7-31}$	$X_{sh7-31} \geq 2.0$	$75 < R_{ij} \leq 100$		$R_{31}$	$\gamma_{31}$	$X_{sh7-31} = R_{31} \times \gamma_{31}$	根据地质勘察资料、设计文件及现场条件确定。当覆土厚度大于 3 倍洞径时,基本分值取 100,其他情况按覆土厚度线性内插取值。针对盾尾密封击穿、主轴承密封击穿
		$1.0 \leq X_{sh7-31} < 2.0$	$50 < R_{ij} \leq 75$					
		$0.5 \leq X_{sh7-31} < 1.0$	$25 < R_{ij} \leq 50$					
		$X_{sh7-31} < 0.5$	$0 < R_{ij} \leq 25$					
	覆土厚度(以洞径倍数表示) $X_{sh7-32}$	$X_{sh7-32} < 0.5$	$75 < R_{ij} \leq 100$		$R_{32}$	$\gamma_{32}$	$X_{sh7-32} = R_{32} \times \gamma_{32}$	根据地质勘察资料、设计文件及现场条件确定。当覆土厚度小于 0.3 倍洞径时,基本分值取 100,其他情况按覆土厚度线性内插取值。针对保压舱失压
		$0.5 \leq X_{sh7-32} < 1.0$	$50 < R_{ij} \leq 75$					
		$1.0 \leq X_{sh7-32} < 2.0$	$25 < R_{ij} \leq 50$					
		$X_{sh7-32} \geq 2.0$	$0 < R_{ij} \leq 25$					



表 D.11 隧道施工过程中盾构机损伤风险事件可能性评估指标体系(盾构法)(续)

项别	评估指标	分级	基本分值( $R_{ij}$ )		权重系数( $\gamma_{ij}$ )	评估分值( $X_{sh7-ij}$ )	说明
			分值范围	取值			
地质与环境条件 $X_{sh7-3}$	不良地质段长度 $X_{sh7-33}$	$X_{sh7-33} \geq 600$ m	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{33}$	$\gamma_{33}$	$X_{sh7-33} = R_{33} \times \gamma_{33}$	根据现场地质条件确定。当不良地质段长度大于或等于 800 m 时,基本分值取 100,其他情况按不良地质段长度线性内插取值。始发或到达阶段根据加固效果按 25~50 取值。针对盾尾密封击穿和主轴承密封击穿,不良地质仅考虑富水砂层、饱和粉细砂层,其余不良地质若富水也可考虑;针对保压舱失压、刀具刀盘磨损和卡盾,不良地质仅考虑软硬不均地层、卵石漂石孤石层、断层破碎带和岩溶
		$100 \text{ m} \leq X_{sh7-33} < 600$ m	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		$0 \text{ m} < X_{sh7-33} < 100$ m	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		无不良地质	$R_{ij} = 0$				
	硬岩段长度 $X_{sh7-34}$	$X_{sh7-34} \geq 500$ m	$75 < R_{ij} \leq 100$	$R_{34}$	$\gamma_{34}$	$X_{sh7-34} = R_{34} \times \gamma_{34}$	根据现场地质条件确定。当硬岩段长度大于或等于 600 m 时,基本分值取 100,其他情况按硬岩段长度线性内插取值,始发或到达阶段按 25 取值。针对盾尾密封击穿、刀具刀盘磨损
		$100 \text{ m} \leq X_{sh7-34} < 500$ m	$50 < R_{ij} \leq 75$				
		$0 \text{ m} < X_{sh7-34} < 100$ m	$25 < R_{ij} \leq 50$				
		无硬岩	$R_{ij} = 0$				
	主隧道范围内障碍物情况 $X_{sh7-35}$	明确存在的	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{35}$	$\gamma_{35}$	$X_{sh7-35} = R_{35} \times \gamma_{35}$	根据现场地质条件确定。针对刀具刀盘磨损、卡盾
		可能存在的	$30 < R_{ij} \leq 60$				
		明确不存在的	$R_{ij} = 0$				
	邻近/穿越地层水体情况 $X_{sh7-36}$	存在承压水、河道水位变化等不利水文条件	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{36}$	$\gamma_{36}$	$X_{sh7-36} = R_{36} \times \gamma_{36}$	根据现场地质条件确定。针对盾尾密封击穿、主轴承密封击穿、保压舱失压
		存在不间断水源补充	$30 < R_{ij} \leq 60$				
		不存在不利水文条件	$R_{ij} = 0$				
	地下管线情况 $X_{sh7-37}$	管线全断面位于富水砂层或粉细砂层	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{37}$	$\gamma_{37}$	$X_{sh7-37} = R_{37} \times \gamma_{37}$	根据现场地质条件确定。针对盾尾密封击穿、主轴承密封击穿、保压舱失压
		管线部分断面位于富水砂层或粉细砂层	$30 < R_{ij} \leq 60$				
管线位于其他地层		$0 < R_{ij} \leq 30$					

表 D.11 隧道施工过程盾构机损伤风险事件可能性评估指标体系(盾构法)(续)

项别	评估指标	分级	基本分值( $R_{ij}$ )		权重系数( $\gamma_{ij}$ )	评估分值( $X_{sh7-ij}$ )	说明
			分值范围	取值			
设备选型 $X_{sh7-4}$	盾尾刷选型 $X_{sh7-41}$	不合适	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{41}$	$\gamma_{41}$	$X_{sh7-41} = R_{41} \times \gamma_{41}$	根据施工方案确定。针对盾尾密封击穿
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$				
		合适	$0 < R_{ij} \leq 30$				
	刀具刀盘选型 $X_{sh7-42}$	不合适	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{42}$	$\gamma_{42}$	$X_{sh7-42} = R_{42} \times \gamma_{42}$	根据施工方案确定。针对刀具刀盘磨损
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$				
		合适	$0 < R_{ij} \leq 30$				
盾构机控制 $X_{sh7-5}$	盾构机掘进姿态控制 $X_{sh7-51}$	较差	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{51}$	$\gamma_{51}$	$X_{sh7-51} = R_{51} \times \gamma_{51}$	根据现场情况确定。针对盾尾密封击穿、主轴承密封击穿、刀具刀盘磨损、盾体变形
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$				
		较好	$0 < R_{ij} \leq 30$				
	盾构掘进参数 $X_{sh7-52}$	不适合	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{52}$	$\gamma_{52}$	$X_{sh7-52} = R_{52} \times \gamma_{52}$	根据现场情况确定。针对盾尾密封击穿、主轴承密封击穿、刀具刀盘磨损
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$				
		适合	$0 < R_{ij} \leq 30$				
	同步注浆控制 $X_{sh7-53}$	较差	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{53}$	$\gamma_{53}$	$X_{sh7-53} = R_{53} \times \gamma_{53}$	根据现场情况确定。针对保压舱失压、刀具刀盘磨损、卡盾
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$				
		较好	$0 < R_{ij} \leq 30$				
	保压舱压力设置 $X_{sh7-54}$	较差	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{54}$	$\gamma_{54}$	$X_{sh7-54} = R_{54} \times \gamma_{54}$	根据现场情况确定。针对保压舱失压
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$				
		较好	$0 < R_{ij} \leq 30$				
	各腔室油脂压力合理性 $X_{sh7-55}$	较差	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{55}$	$\gamma_{55}$	$X_{sh7-55} = R_{55} \times \gamma_{55}$	根据现场情况确定。针对盾尾密封击穿、主轴承密封击穿
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$				
		较好	$0 < R_{ij} \leq 30$				
质量控制 $X_{sh7-6}$	盾尾刷安装质量 $X_{sh7-61}$	较差	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{61}$	$\gamma_{61}$	$X_{sh7-61} = R_{61} \times \gamma_{61}$	根据现场情况确定。针对盾尾密封击穿
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$				
		较好	$0 < R_{ij} \leq 30$				
	初涂油脂质量 $X_{sh7-62}$	较差	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{62}$	$\gamma_{62}$	$X_{sh7-62} = R_{62} \times \gamma_{62}$	根据现场情况确定。针对盾尾密封击穿
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$				
		较好	$0 < R_{ij} \leq 30$				

表 D.11 隧道施工过程中盾构机损伤风险事件可能性评估指标体系(盾构法)(续)

项别	评估指标	分级	基本分值( $R_{ij}$ )		权重系数( $\gamma_{ij}$ )	评估分值( $X_{sh7-ij}$ )	说明
			分值范围	取值			
质量控制 $X_{sh7-6}$	油脂质量 $X_{sh7-63}$	较差	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{63}$	$\gamma_{63}$	$X_{sh7-63} = R_{63} \times \gamma_{63}$	根据现场情况确定。针对盾尾密封击穿、主轴承密封击穿
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$				
		较好	$0 < R_{ij} \leq 30$				
	泥膜质量 $X_{sh7-64}$	较差	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{64}$	$\gamma_{64}$	$X_{sh7-64} = R_{64} \times \gamma_{64}$	根据现场情况确定。针对保压舱失压
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$				
		较好	$0 < R_{ij} \leq 30$				
	盾构机系统性能 $X_{sh7-65}$	不稳定	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{65}$	$\gamma_{65}$	$X_{sh7-65} = R_{65} \times \gamma_{65}$	根据现场情况确定。针对保压舱失压
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$				
		较稳定	$0 < R_{ij} \leq 30$				
	泥浆质量 $X_{sh7-66}$	较差	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{66}$	$\gamma_{66}$	$X_{sh7-66} = R_{66} \times \gamma_{66}$	根据现场情况确定。针对泥水平衡盾构机保压舱失压
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$				
		较好	$0 < R_{ij} \leq 30$				
	渣土改良效果 $X_{sh7-67}$	较差	$60 < R_{ij} \leq 100$	$R_{67}$	$\gamma_{67}$	$X_{sh7-67} = R_{67} \times \gamma_{67}$	根据现场情况确定。针对土压平衡盾构机保压舱失压
		一般	$30 < R_{ij} \leq 60$				
		较好	$0 < R_{ij} \leq 30$				

## 附录 E

(资料性)

## 公路隧道典型重大风险源风险控制措施

E.1 按照专项风险评估确定的风险等级,隧道洞口失稳风险事件可从前期调查、开挖作业、支护作业、监控量测、洞门类型、人员培训等方面分别制定具体风险控制措施,见表 E.1。

表 E.1 隧道洞口失稳风险事件控制措施(钻爆法)

控制措施	重大风险(Ⅳ级)	较大风险(Ⅲ级)	一般风险(Ⅱ级)
(1)前期调查			
①资料收集	收集洞口周边地质资料以及工程施工记录、事故记录与自然灾害记录等		根据需要,收集洞口周边地质资料以及工程施工记录、事故记录与自然灾害记录等
②现场观测	对洞口地形地貌、滑坡体和崩塌体进行观测		论证是否需要进行观测
③断层破碎带	采用地面调查法与超前地质预报相结合方式,对洞口附近是否存在断层破碎带及其状态进行确定		
④周围结构物	测量周围结构物与隧道的空间关系,研究其互相影响程度的大小		
(2)开挖作业			
①滑塌表土、灌木、危石清理	清理洞口上方及侧方可能滑塌的表土、灌木和山坡危石等		
②地表加固	通过地表加固改良洞口周边环境	对于不良地质段讨论确定	
③截、排水系统	洞口截、排水系统宜在进洞施工前完成,并与路基排水顺接,截、排系统排水不宜冲刷路基坡面、桥台锥体、农田屋舍,土质截水沟、排水沟宜随挖随砌		
④开挖方法	根据地质条件、施工条件选择适当开挖方法	不良地质条件下讨论改变施工方法	
(3)支护作业			
①超前支护	根据地质条件,选择小导管注浆、管棚加固等超前支护		
②锚杆、锚索与抗滑桩加固	根据地质条件,采用加固效果好、便于施工的方式布置锚杆、锚索和抗滑桩		
③喷射混凝土	开挖后及时喷射混凝土		
	对开挖面喷射混凝土	对于不良地质段讨论确定	
	对开挖面进行初次喷射混凝土,之后挂钢筋网并二次喷射混凝土	对于不良地质段讨论确定	
④钢拱架支护	缩小钢拱架间距,增大钢拱架断面尺寸; 使用适合围岩条件的垫块、垫板; 讨论钢拱架的形式是否合适	不良地质段宜缩小钢拱架间距; 不良地质段宜增大钢拱架断面尺寸; 不良地质段宜使用适合围岩条件的垫块、垫板; 不良地质段讨论钢拱架形式是否合适	

表 E.1 隧道洞口失稳风险事件控制措施(钻爆法)(续)

控制措施	重大风险(Ⅳ级)	较大风险(Ⅲ级)	一般风险(Ⅱ级)
⑤绿化防护	根据实际情况,对隧道洞口进行绿化防护		
(4)监控量测	根据地质条件和施工情况对隧道边、仰坡变形、洞内变形和地表沉降等进行监测		
	增加监控量测频率	不良地质段增加监控量测频率	
(5)洞门类型	可采用翼墙式洞门,翼墙和端墙共同作用,抵抗山体水平推力	可采用端墙式洞门支护洞口仰坡,保持仰坡稳定,并将仰坡水流汇集排出	
(6)人员培训	对以下内容进行相关培训: 洞口失稳事故的危险性; 防止事故发生的对策及注意事项; 检查方法(检查内容及时间); 发生险情时的应急措施		

E.2 按照专项风险评估确定的风险等级,隧道坍塌风险事件可从前期调查、开挖作业、支护作业、监控量测、二次衬砌、人员培训等方面分别制定具体风险控制措施,见表 E.2。

表 E.2 隧道坍塌风险事件控制措施(钻爆法)

控制措施	重大风险(Ⅳ级)	较大风险(Ⅲ级)	一般风险(Ⅱ级)
(1)前期调查			
①资料收集	收集相关地质资料及周边工程施工记录、事故记录与自然災害记录等		根据需要,收集相关地质资料及周边工程施工记录、事故记录与自然災害记录等
②洞口段	对滑坡体、崩塌体等进行观测		论证是否需要进行观测
③断层破碎带	接近断层破碎带时,采用两种以上超前地质预报方法(包括钻探方法与物探方法等)进行确认		
④浅埋段	进行地表沉降、拱顶下沉、周边收敛等观测		
(2)开挖作业			
①开挖方式	根据地质条件、施工条件选择适当的开挖方式,并根据情况进行超前支护	不良地质条件下讨论改变施工方法及超前支护方案	
②危石	宜分段仔细检查爆破段并清除危石; 钻孔作业前后、爆破后、出渣过程等,仔细检查并清除危石; 地震后重新检查并清除危石		
(3)支护作业			
①超前支护	根据地质条件,选择小导管注浆、管棚加固等超前支护		

表 E.2 隧道坍塌风险事件控制措施(钻爆法)(续)

控制措施	重大风险(Ⅳ级)	较大风险(Ⅲ级)	一般风险(Ⅱ级)
②喷射混凝土	开挖后及时喷射混凝土		
	根据情况对掌子面喷射混凝土	对于不良地质段讨论确定	
	根据情况二次喷射混凝土	对于不良地质段讨论确定	
	首先进行初次喷射混凝土,打设锚杆、挂钢筋网等工序后二次喷射混凝土	对于不良地质段讨论确定	
③锚杆	根据地质条件,采用固结性好且便于施工的方式打设锚杆;施工后,进行锚杆拉拔试验确认锚杆拉拔力		
④钢拱架支护	缩小钢拱架间距,增大钢拱架断面尺寸; 使用适合围岩条件的垫块、垫板; 讨论钢拱架的形式是否合适	不良地质段宜缩小钢拱架间距; 不良地质段宜增大钢拱架断面尺寸; 不良地质段宜使用适合围岩条件的垫块、垫板; 不良地质段讨论钢拱架形式是否合适	
(4)监控量测	根据地质条件和施工情况进行适当的监控量测		
	增加监控量测频率	不良地质段增加监控量测频率	
	根据监控量测结果,当出现初期支护变形异常等情况时,及时预警并采取有效的加固措施		
(5)二次衬砌	讨论是否需要采用仰拱进行断面闭合及尽早浇筑衬砌等问题; 根据情况,可考虑是否采用临时性仰拱	不良地质段对是否闭合及尽早衬砌进行讨论; 对是否采用临时仰拱进行讨论	
(6)人员培训	对以下内容进行相关培训: 坍塌事故的危险性; 防止事故发生的对策及注意事项; 检查方法(检查内容及时间); 发生险情时的应急措施		

E.3 按照专项风险评估确定的风险等级,隧道涌水突泥风险事件可从前期资料收集、施工计划、开挖作业、警报装置、应急措施、人员培训等方面分别制定具体风险控制措施,见表 E.3。

表 E.3 隧道涌水突泥风险事件控制措施(钻爆法)

控制措施	重大风险(Ⅳ级)	较大风险(Ⅲ级)	一般风险(Ⅱ级)
(1)前期资料收集	收集项目周围已完工和在建隧道工程出现涌水突泥情况的资料		根据需要,对周围隧道工程出现涌水突泥情况的资料进行收集
(2)施工计划	在前期调查的基础上,选择适合地质条件的辅助施工方法,如钻排水孔、设置集水坑、降低地下水位、止水施工等		必要时选择适当的辅助施工方法
(3)开挖作业			
①水平钻孔	采取长距离钻孔,进行涌水突泥调查及排水作业,根据需要可以改变开挖方式	进行短距离钻孔	
②集水坑	采用水平钻孔进行排水,钻进有困难、钻孔排水不畅,宜设置集水坑	讨论是否设置集水坑	
③止水施工法	排水困难时,使用帷幕注浆进行止水作业	根据需要,部分地段进行帷幕注浆止水	根据需要,讨论是否进行帷幕注浆止水
④测量管理	根据掌子面的观察结果,采用钻探与超前地质预报相结合的方法,确定掌子面前方及周边的不良地质情况;测量洞内的涌水量、地下水位、水质变化等		根据需要,测量洞内的涌水量、地下水位、水质变化等情况
	采用洞外现有水井或设置观测井的方式,测量地下水位及水质情况		根据需要,采用调查现有水井或观测井的方法测量地下水位及水质情况
	连续调查掌子面的地质变化并进行图示	根据需要,连续调查掌子面的地层变化并进行图示	
⑤信息沟通机制	明确测量结果的联络及报告机制		
⑥记录及保存	记录、整理施工中各项测量结果,根据数据预测涌水突泥的可能性		
(4)警报装置	宜设置发生紧急情况时可发出警报的装置;发出警报的标准、警报的种类、警报后的应急行动等宜提前确定,并通知到相关人员;确定警报装置检修及维护的标准		
(5)应急措施			
①应急器械	宜将紧急情况下使用的器械设置在必要的位置上,并将其位置及使用方法通知相关人员		
②排水设备	根据预测涌水量、隧道断面积、隧道长度、坡度等因素,设置有充分排水能力的排水设备,排水设备抽水能力及数量较设计宜有所富余		
③抽排设备用电管理	部分长距离、高埋深隧道宜设置抽排设备专用高压线路,设置双回路,以免大流量涌水地段停电造成隧道被淹		
④避难训练	进行紧急情况避险训练		



表 E.3 隧道涌水突泥风险事件控制措施(钻爆法)(续)

控制措施	重大风险(Ⅳ级)	较大风险(Ⅲ级)	一般风险(Ⅱ级)
⑤救护训练	进行紧急情况的人员救护训练		
(6)人员培训	对以下内容进行相关培训: 涌水突泥的危险性; 防止事故发生的措施及注意事项; 检查方法(检查内容及时间); 发生紧急情况时的对策,如不宜冒险进洞、严格控制进洞人员、配备安全吹哨人、明确救援方案、把应急救援放在首位等		

E.4 按照专项风险评估确定的风险等级,隧道围岩大变形风险事件可从前期调查、开挖技术、防排水、超前支护、初期支护、监控量测、二次衬砌、应急措施、人员培训等方面分别制定具体风险控制措施,见表 E.4。

表 E.4 隧道围岩大变形风险事件控制措施(钻爆法)

控制措施	重大风险(Ⅳ级)	较大风险(Ⅲ级)	一般风险(Ⅱ级)
(1)前期资料收集	收集相关地质资料及周边工程施工记录、事故记录与自然灾害记录等		根据需要,收集相关地质资料及周边工程施工记录、事故记录与自然灾害记录等
(2)开挖技术			
①开挖方式	根据隧道当前施工段地层岩性及变形情况,制定合理有效的开挖作业方式	对于不良地质段讨论改变开挖方式	
②控制方法	开挖后立即采取措施控制围岩及初期支护变形	在不良地质条件或围岩变形较大时,开挖后立即采取措施控制围岩及初期支护变形	
③预留变形量	按设计要求预留变形量,预留变形量根据监控量测信息进行调整		
(3)防排水			
①防水	按设计要求施作防水混凝土、防水隔离层、施工缝、变形缝、诱导缝防水		
	加强施工中水文地质和围岩变形分析	对于不良地质段讨论确定	
	覆盖层较薄和渗透强地层、地表水及时处理		
	隧道开挖后及时喷射混凝土封闭岩面,并控制施工用水	膨胀岩、土层、围岩松软地段开挖后及时喷射混凝土封闭岩面,并控制施工用水	
②排水	根据实际情况制定合理的排水方案,确保排水措施满足隧道防排水要求		
(4)超前支护	围岩自稳条件差的地段宜进行超前支护、预加固处理,使其符合设计要求		



表 E.4 隧道围岩大变形风险事件控制措施(钻爆法)(续)

控制措施	重大风险(Ⅳ级)	较大风险(Ⅲ级)	一般风险(Ⅱ级)
(5)初期支护			
①钢拱架支护	缩小钢拱架间距,增大钢拱架断面尺寸; 使用适合围岩条件的垫块、垫板; 讨论钢拱架形式是否合适; 钢架支撑宜采用可缩性结构	不良地质段宜缩小钢拱架间距; 不良地质段宜增大钢拱架断面尺寸; 不良地质段宜使用适合围岩条件的垫块、垫板; 不良地质段讨论钢拱架形式是否合适	
②锚杆	根据地质条件,采用固结性好且便于施工的方式打设锚杆;施工后,进行锚杆拉拔试验确认锚杆拉拔力		
③喷射混凝土	开挖后及时喷射混凝土		
	根据围岩条件二次喷射混凝土	对于不良地质段讨论确定	
	根据围岩条件采用钢筋网、喷射混凝土进行加固,必要时采用钢纤维混凝土	对于不良地质段讨论确定	
④锁脚锚杆	围岩为软岩时,必要时采用锁脚锚杆防止底鼓发生	对于不良地质段讨论确定	
(6)监控量测	施工过程中宜监测围岩净空断面、围岩压力、拱顶下沉、周边收敛、底鼓、围岩内部位移、支护结构变形等情况,并依据监测结果及时调整支护参数和预留变形量,发现变形异常时及时处理		根据施工实际情况选择必要监测项目,并根据监测结果调整支护参数和预留变形量,发现变形异常及时处理
	增加监控量测频率	不良地质段增加监控量测频率	
	增加超前地质预报探测深度; 增加超前地质预报探测频率	遇不良地质条件时宜加强超前地质预报	
(7)二次衬砌	仰拱、二次衬砌施工应符合设计和规范要求		
	初支稳定后,仰拱、二次衬砌及时施作,封闭成环	不良地质段宜对是否闭合及尽早衬砌进行讨论	
(8)应急措施	制定围岩变形较大、支护破坏时的应急措施; 制定方案确保紧急情况下人员的安全撤离; 制定事故发生后的救援方案		
(9)人员培训	对以下内容进行相关培训: 大变形事故的危险性; 防止事故发生的对策及注意事项; 检查方法(检查内容及时间); 发生险情时的应急措施		

E.5 按照专项风险评估确定的风险等级,隧道瓦斯爆炸风险事件,可从前期资料收集、施工中调查、瓦斯检测、通风、警报装置、临时用电与照明、火源管理、应急措施、人员培训等方面分别制定具体风险控制措施,见表 E.5。

表 E.5 隧道瓦斯爆炸风险事件控制措施(钻爆法)

控制措施	重大风险(Ⅳ级)	较大风险(Ⅲ级)	一般风险(Ⅱ级)
(1)前期资料收集	根据地质资料调查周边瓦斯存在情况;搜集周边已完工或在建隧道工程瓦斯涌出状况、瓦斯爆炸事故、应对瓦斯的对策措施等资料。如隧道周边存在煤矿、采空区,详细收集煤矿开采有关资料,如煤层分布、采空区分布等		根据需要,搜集周边已完工或在建隧道工程中有关瓦斯的资料
(2)施工中调查	根据掌子面的观察结果,采用钻探与超前地质预报相结合的方法,调查瓦斯的涌出量、瓦斯压力等,以及本质安全型机械设备的配置情况	根据掌子面观察结果,讨论确定是否进行钻探或超前地质预报	
(3)瓦斯检测			
①检测设备	同时使用便携式和固定式检测器		使用便携式检测器
	制定检测器的检查、标定要求		
②检测方法	在掌子面拱顶、隧道中部、模板台车、电气设备等附近,确定检测瓦斯浓度的位置,指定检测员进行检测		
	在瓦斯容易积聚的场所,设置固定式检测器,实时进行检测		施工开始后,如有需要进行测定
	在作业开始前、爆破前后、地震后、低气压等情况下,使用便携式检测器进行测定		在当天作业开始前进行测定
	除瓦斯浓度外,氧气浓度、气压、洞内温度、风速等也需测定		
③信息沟通机制	明确测量结果的联络及报告机制		
④记录及保存	记录并整理施工中的各种检测结果,分析洞内瓦斯情况的变化趋势		
(4)通风			
①设备、方式	选定适合隧道断面、长度的通风方式; 在可能涌出瓦斯的施工区域,设置能充分稀释涌出瓦斯的通风设备; 宜采用双风机、双电源的方式进行通风		
②通风竖井	通风设备不能将瓦斯浓度控制在爆炸极限范围内时,宜设置通风竖井	对通风竖井的设置进行专家论证、审查	
(5)警报装置	设置能监测瓦斯异常情况、并迅速通知附近作业人员的声光自动警报装置		讨论警报装置的种类、功能,采用在出现异常时能迅速向隧道内施工人员发出警报的装置
	制定警报的标准、拉响警报时的行动要求,并向相关人员公告		
	制定警报装置的检查、维护标准		
	安排检查员在每天作业前对警报装置进行检查		

表 E.5 隧道瓦斯爆炸风险事件控制措施(钻爆法)(续)

控制措施	重大风险(Ⅳ级)	较大风险(Ⅲ级)	一般风险(Ⅱ级)
(6)临时用电与照明	参照其他机械的防爆要求,包括防爆等级		
(7)火源管理			
①用火管理	制定隧道内用火标准,并向相关人员公告		
	将香烟、火柴、打火机、普通灯、闪光灯相机等可能产生火源的物品在洞口标示,向相关人员公告,不宜将上述物品带入隧道内。另外,还宜实施进洞前随身物品检查等具体措施	不宜带入火源,并进行标示。如有必要需经审批后动火	
②机电设备防爆	在隧道内,将动火作业变更为不用火的方法或将动火作业转移到洞外作业; 着火用具由作业主管进行保管; 动火前对周围气体浓度进行测定并确保安全; 用火过程中,配监火人,由监火人进行气体浓度的测定; 制定包含以上要求的动火作业管理规定,并贯彻落实	在隧道内进行动火作业时,提前申请; 在作业前、作业中进行气体浓度测定,以确保安全	在隧道内用火时,提前申请,并采取必要的措施
	在可燃性气体浓度可能达到爆炸极限范围场合使用的机电设备具有防爆性能; 制定防爆设备维护、检查的标准,以维持防爆性能	在机电设备附近测定瓦斯浓度,并根据需要采用具有防爆性能的设备	
③电气设备绝缘	使用耐火电缆	讨论使用耐火电缆	根据需要讨论是否使用耐火电缆
	为防止放电、电火花的发生,检查电气设备的绝缘情况		
④爆破	爆破作业,采用三级以上煤矿许用炸药,严格执行一炮三检制度	根据情况讨论采用何种炸药,严格执行一炮三检制度	
⑤其他	穿戴防静电的劳动用品,采取防静电、接地等措施		特殊情况下采用

表 E.5 隧道瓦斯爆炸风险事件控制措施(钻爆法)(续)

控制措施	重大风险(Ⅳ级)	较大风险(Ⅲ级)	一般风险(Ⅱ级)
(8)应急措施			
①应急工具	在必要的场所设置应急处理用具,向相关人员公示设置场所和使用方法		
②应急演练	模拟发生紧急事件,实施应急避难演练		
(9)人员培训	对以下内容进行相关培训: 瓦斯的性质; 瓦斯爆炸的危害; 瓦斯的检测; 通风; 火源管理; 应急处置措施		

E.6 按照专项风险评估确定的风险等级,隧道岩爆风险事件可从前期资料收集、施工计划、开挖作业、警报装置、应急措施、人员培训等方面分别制定风险控制措施,见表 E.6。

表 E.6 隧道岩爆风险事件控制措施(钻爆法)

控制措施	重大风险(Ⅳ级)	较大风险(Ⅲ级)	一般风险(Ⅱ级)
(1)前期资料收集	收集项目周围已完工和在建隧道工程出现岩爆的资料及地质勘察报告资料		根据需要,对周围隧道工程出现岩爆情况的资料进行收集
(2)施工计划	在前期调查的基础上,确定今后施工过程中易发生岩爆的里程及部位,对于易发生岩爆的地段,优化工程布置和开挖方式		必要时,选择适当优化调整方法
(3)开挖作业			
①水平钻孔	采用短进尺、多循环的施工方式,以及先导洞后扩挖二次推进的掘进方式	进行长距离钻孔掘进	
②爆破控制	松动爆破、微差起爆,严格控制最大单段药量,减小药量和减少爆破频率,提高光爆效果,减少应力集中	根据需要,进行爆破频率、药量等控制	
③应力释放	采用应力释放孔或在孔中实施小药量爆破等方式进行应力释放	讨论是否打设应力释放孔	
④围岩洒水	在掌子面(工作面)和洞壁经常喷洒冷水	根据需要,适当喷洒冷水	

表 E.6 隧道岩爆风险事件控制措施(钻爆法)(续)

控制措施	重大风险(Ⅳ级)	较大风险(Ⅲ级)	一般风险(Ⅱ级)
⑤围岩支护	爆破后及时在拱部及侧壁喷射混凝土,采取双层锚喷网加锚杆等联合支护措施,并紧跟二次衬砌工作	根据需要,进行喷射混凝土支护、锚杆支护等	
⑥测量管理	表象观测,利用人的视觉与听觉直观感受作业区域异常现象,做到一听响声、二看位置、三看方向,找出岩爆发生的前兆,如边帮开裂、脱落或出现异常响声等,做到及时发现险情及时处理	根据需要,观测作业区域边帮开裂、脱落和异常响声等情况	
	仪器监测可结合现场实际利用收敛、锚杆测力计、多点位移计等监测仪器进行监测	根据需要,监测作业区域围岩的应力、位移等情况	
⑦信息沟通机制	明确测量结果的联络及报告机制		
⑧记录及保存	记录并整理施工中各项测量结果,根据测量结果判定岩爆的危险度		
(4)警报装置	宜设置发生紧急情况时可发出警报的装置; 提前确定发出警报的标准、警报的种类、警报后的应急行动等,并通知到相关人员; 确定警报装置检修及维护的标准		
(5)应急措施			
①应急器械	宜将紧急情况下使用的器械设置在必要的位置上,并将其位置及使用方法通知相关人员		
②避难训练	进行紧急情况避险训练		
③救护训练	进行紧急情况人员救护训练		
(6)人员培训	对以下内容进行相关培训: 岩爆的危险性; 防止岩爆发生的措施及注意事项; 检查方法(检查内容及时间); 发生紧急情况时的对策		

E.7 按照专项风险评估确定的风险等级,盾构法隧道掌子面失稳风险事件可从前期调查、掘进前、掘进中、监控量测、人员培训等方面分别制定风险控制措施,见表 E.7。

表 E.7 隧道掌子面失稳风险事件控制措施(盾构法)

控制措施	重大风险(Ⅳ级)	较大风险(Ⅲ级)	一般风险(Ⅱ级)
(1)前期调查			
①资料收集	全面收集和掌握工程所在区域场地的工程地质、水文地质和周边环境情况	根据需要,收集工程所在区域场地的工程地质、水文地质和周边环境情况	
②不良地质调查	调查隧道沿线范围内不良地质分布情况		

表 E.7 隧道掌子面失稳风险事件控制措施(盾构法)(续)

控制措施	重大风险(Ⅳ级)	较大风险(Ⅲ级)	一般风险(Ⅱ级)
③水源及地下管线调查	调查隧道沿线范围内是否存在承压水、河道水位变化、不间断水源补给及隧道周边地下管线所处地层情况		根据需要,调查隧道沿线范围内是否存在承压水、河道水位变化、不间断水源补给及隧道周边地下管线所处地层情况
(2)掘进前			
①盾构机选型	根据地质及水文情况,选取适宜的盾构机系统,确保主轴承密封质量及密封油脂质量,选择合理的刀盘刀具		
②地层加固方案及其专项方案	根据不良地质及附近水源情况,采取适宜的地层加固方案及专项方案	可不采取措施	
③试验段	设置试验段进行试掘进,确定主要掘进参数		
(3)掘进中			
①主要掘进参数	根据地质情况选择合适的掘进参数,如掘进速度、总推力、扭矩、刀盘转速、区域油压、同步注浆量、盾尾油脂压注量等,维持合理的土(泥水)仓压力、减小压力波动,加强泥浆管理、泥水循环流量、渣土改良参数和出土量监控,严控超挖		
②泥浆质量/渣土改良效果控制	泥水盾构采用与地层匹配的泥浆技术指标,土压盾构采用与地层匹配的渣土改良技术;加大测试频率,及时调整参数,保证掘进顺利进行	正常参数匹配	
③盾构姿态控制	盾构姿态保持平稳,少纠偏、勤纠偏,避免出现较大偏差量;合理规划盾构机推进姿态,控制盾构机与线路轴线夹角;合理管片选型,避免过小盾尾间隙		
④同步注浆控制	根据超挖情况,合理选择注浆率、注浆量与超挖量匹配;注浆速度与推进速度相匹配,确保盾尾脱出区及时有效填充		
⑤二次补强注浆	穿越后通过管片的预留注浆孔进行二次补强注浆,补充同步注浆未填充部分和体积减少部分	根据监测情况确定	
⑥控制出渣量	严格控制出渣量或者排浆速度,动态调整相关参数,避免过度超挖		
⑦开仓作业	宜选择在地层自稳性强、天然含水率小的地段进行常压开仓作业,有条件加固地层时尽量加固后实施;带压作业时,确保专业人员满足进仓工作要求,通过试验确定泥浆指标与压力控制标准,试验保压成功后方可允许带压作业,并加强过程控制		
⑧盾尾和主轴承密封质量控制	油脂使用量需符合厂家指导标准,保护好盾尾及主轴承密封质量;盾尾油脂压力、主轴承密封压力保持与同步注浆、水土压力相适应		
(4)监控量测	开展信息化施工,加强盾构机姿态测量和地面监控量测,及时反馈信息以调整盾构机掘进参数		
	增加监控量测频率	不良地质段增加监控量测频率	
(5)人员培训	对以下内容进行相关培训: 掌子面失稳事故的危险性; 防止事故发生的对策及注意事项; 地面巡视及警戒线范围; 检查方法(检查内容及时间); 监控方法; 发生险情时的应急措施		



E.8 按照专项风险评估确定的风险等级,盾构法隧道建(构)筑物受损风险事件可从前期调查、穿越前、掘进中、监控量测、警报装置和人员培训等方面分别制定风险控制措施,见表 E.8。

表 E.8 隧道建(构)筑物受损风险事件控制措施(盾构法)

控制措施	重大风险(Ⅳ级)	较大风险(Ⅲ级)	一般风险(Ⅱ级)
(1)前期调查			
①资料收集	全面收集和掌握工程所在区域场地的工程地质、水文地质和周边环境情况		根据需要,收集工程所在区域场地的工程地质、水文地质和周边环境情况
②不良地质调查	调查隧道邻近建(构)筑物范围内不良地质分布情况		根据需要,调查隧道邻近建(构)筑物范围内不良地质分布情况
③现状调查	对邻近建(构)筑物全面调查(包括但不限于建筑物的基础类型、用途、功能、受保护程度,地下管线的接头类型及有无压力,与盾构隧道的空间位置关系),做好现状影像资料采集记录工作。根据现状调查结果确定邻近建(构)筑物的重要性及敏感性		
④现状评估	对邻近建(构)筑物进行现状检测及技术鉴定		
(2)穿越前			
①保护或加固方案	对于抗变形能力较差的建(构)筑物,根据施工前评估结果可预先采取加固、托换或隔离措施等专项方案		可不采取措施
②盾构机选型	盾构机选型阶段考虑邻近建(构)筑物的影响		可不考虑
③设备调试	做好盾构机设备检查,排除各类故障,确保盾构机处于良好的运行状态,确保盾构机一次性连续穿越,避免在建(构)筑物下长时间停机		可不考虑
④试验段	设置试验段进行试掘进,确定主要掘进参数		可不考虑
(3)掘进中			
①主要掘进参数	根据地质情况选择合适的掘进参数,如掘进速度、总推力、扭矩、刀盘转速、区域油压、同步注浆量、盾尾油脂压注浆等,维持合理土(泥水)仓压力、减小压力波动,加强泥浆管理、泥水循环流量、渣土改良参数和出土量监控,严控超挖		
②泥浆质量/渣土改良效果控制	泥水盾构采用与地层匹配的泥浆技术指标;土压盾构采用与地层匹配的渣土改良技术;加大测试频率,及时调整参数,保证掘进顺利进行		正常参数匹配
③盾构姿态控制	盾构姿态保持平稳,少纠偏、勤纠偏,避免出现较大偏差量;合理规划盾构机推进姿态,控制盾构机与线路轴线夹角;合理管片选型,避免过小盾尾间隙		
④同步注浆控制	根据超挖情况,合理选择注浆率,注浆量与超挖量匹配;注浆速度与推进速度相匹配,确保盾尾脱出区及时有效填充		
⑤二次补强注浆	穿越后通过管片预留注浆孔进行二次补强注浆,补充同步注浆未填充部分和体积减少部分		根据监测情况确定

表 E.8 隧道建(构)筑物受损风险事件控制措施(盾构法)(续)

控制措施	重大风险(Ⅳ级)	较大风险(Ⅲ级)	一般风险(Ⅱ级)
⑥盾尾和主轴承密封质量控制	油脂使用量符合厂家指导标准,保护好盾尾及主轴承密封质量;盾尾油脂压力、主轴承密封压力保持与同步注浆、水土压力相适应		
⑦管片拼装质量	确保管片拼装精度,防止出现椭圆形或错台,管片不宜有内外贯穿裂缝和宽度大于0.2 mm的裂缝及混凝土剥落现象,确保管片防水密封质量		
⑧开仓作业	尽量避免在该段换刀,无法避免时尽量选择在地层自稳性强、天然含水率小的地段进行常压开仓作业,有条件加固地层时尽量加固后实施;带压作业时,确保专业人员满足进仓工作要求,通过试验确定泥浆指标与压力控制标准,试验保压成功后方可允许带压作业,并加强过程控制		
(4) 监控量测	开展信息化施工,加强建(构)筑物监控量测,及时掌握建(构)筑物变形情况,根据监测情况,调整盾构机掘进参数		
	增加监控量测频率	不良地质段增加监控量测频率	
(5) 警报装置	根据使用功能建立相关方参加的警报与应急撤离机制		
(6) 人员培训	对以下内容进行相关培训: 建(构)筑物受损事故的危險性; 防止事故发生的对策及注意事项; 地面巡视及警戒线范围; 检查方法(检查内容及时间); 监控方法; 发生险情时的应急措施		

E.9 按照专项风险评估确定的风险等级,盾构法隧道突水风险事件可从前期调查、掘进前、掘进中、监控量测、警报装置、应急措施、人员培训等方面分别制定风险控制措施,见表 E.9。

表 E.9 隧道突水风险事件控制措施(盾构法)

控制措施	重大风险(Ⅳ级)	较大风险(Ⅲ级)	一般风险(Ⅱ级)
(1) 前期调查			
①资料收集	全面收集和掌握工程所在区域场地的工程地质、水文地质、极端天气(暴雨、台风)和周边环境情况		根据需要,收集工程所在区域场地的工程地质、水文地质、极端天气(暴雨、台风)和周边环境情况
②不良地质调查	调查隧道沿线范围内不良地质分布情况		根据需要,调查隧道沿线范围内不良地质分布情况
③水源及地下管线调查	调查隧道沿线范围内是否存在承压水、河道水位变化、不间断水源补给及隧道(含联络通道及端头处)周边地下管线所处地层情况		根据需要,调查隧道沿线范围内是否存在承压水、河道水位变化、不间断水源补给及隧道(含联络通道及端头处)周边地下管线所处地层情况



表 E.9 隧道突水风险事件控制措施(盾构法)(续)

控制措施	重大风险(Ⅳ级)	较大风险(Ⅲ级)	一般风险(Ⅱ级)
(2)掘进前			
①盾构机选型	根据工程地质及水文地质情况,选取适宜的盾构机系统,确保盾尾刷密封质量、主轴承密封质量及密封油脂质量		
②主要措施及其专项方案	根据地质水文条件和盾构机基本情况,可采取加固、冷冻、帷幕隔离、降水措施及盾尾密封更换、开仓作业等专项方案	可不采取措施	
③辅助措施	严格控制始发端或接收端反力架/接收托架强度及加工质量		
	端头采用适合地层特点的加固措施、降水措施或采用钢套筒辅助始发接收	端头采用袖阀管注浆加固	
	零环管片处增设刚性密封装置止水止砂	始发和接收段安装橡胶止水帘布	
(3)掘进中			
①主要掘进参数	根据地质情况选择合适的掘进参数,如掘进速度、总推力、扭矩、刀盘转速、区域油压、同步注浆量、盾尾油脂压注量等,维持合理土(泥水)仓压力、减小压力波动,加强泥浆管理、泥水循环流量、渣土改良参数和出土量监控,严控超挖		
②泥浆质量/渣土改良效果控制	泥水盾构采用与地层匹配的泥浆技术指标;土压盾构采用与地层匹配的渣土改良技术;加大测试频率,及时调整参数,保证掘进顺利进行	正常参数匹配	
③盾尾和主轴承密封质量控制	油脂使用量符合厂家指导标准,保护好盾尾及主轴承密封质量;盾尾油脂压力、主轴承密封压力保持与同步注浆、水土压力相适应		
④同步注浆控制	根据超挖情况,合理选择注浆率,注浆量与超挖量匹配;注浆速度与推进速度相匹配,确保盾尾脱出区及时有效填充		
⑤二次补强注浆	穿越后通过管片预留注浆孔进行二次补强注浆,补充同步注浆未填充部分和体积减少部分	根据监测情况确定	
⑥盾构姿态控制	盾构姿态保持平稳,少纠偏、勤纠偏,避免出现较大偏差量;合理规划盾构机推进姿态,控制盾构机与线路轴线夹角;合理管片选型,避免过小盾尾间隙		
⑦管片拼装质量	确保管片拼装精度,防止出现椭圆形或错台,管片不宜有内外贯穿裂缝和宽度大于0.2 mm的裂缝及混凝土剥落现象,确保管片防水密封质量		
(4)监控量测	开展信息化施工,加强盾构机姿态测量和地面监控量测,及时反馈信息以调整盾构机掘进参数		
	增加监控量测频率	不良地质段增加监控量测频率	
(5)警报装置	建立相关方参加的警报与应急撤离机制		

表 E.9 隧道突水风险事件控制措施(盾构法)(续)

控制措施	重大风险(Ⅳ级)	较大风险(Ⅲ级)	一般风险(Ⅱ级)
(6) 应急措施			
①应急器械	紧急情况下使用器械设置在必要的位置上,并将其位置及使用方法通知相关人员		
②排水设备	根据预测涌水量、隧道断面积、隧道长度、坡度等因素,设置有充分排水能力的排水设备,排水设备抽水能力较设计抽水量宜有所富余		
③抽排设备用电管理	部分长距离、高埋深隧道宜设置抽排设备专用高压线路,有条件设置双回路,以免大流量涌水地段停电造成隧道被淹		
④避难训练	进行紧急情况避险训练		
⑤救护训练	进行紧急情况人员救护训练		
(7) 人员培训	培训围绕下列内容进行: 突水的危险性; 防止事故发生、控制险情扩大、次生灾害发生的措施及注意事项; 地面巡视及警戒线范围; 检查方法; 发生紧急情况时的对策		

E.10 按照专项风险评估确定的风险等级,盾构法隧道盾构机损伤风险事件可从前期调查、掘进前、掘进中、监控量测、警报装置、人员培训等方面分别制定风险控制措施,见表 E.10。

表 E.10 盾构机损伤风险事件控制措施(盾构法)

控制措施	重大风险(Ⅳ级)	较大风险(Ⅲ级)	一般风险(Ⅱ级)
(1) 前期调查			
①资料收集	全面收集和掌握工程所在区域场地的工程地质、水文地质和周边环境情况		根据需要,收集工程所在区域场地的工程地质、水文地质和周边环境情况
②不良地质调查	调查隧道沿线范围内不良地质分布情况		根据需要,调查隧道沿线范围内不良地质分布情况
③水源及地下管线调查	调查隧道沿线范围内是否存在承压水、河道水位变化、不间断水源补给及隧道周边地下管线所处地层情况		根据需要,调查隧道沿线范围内是否存在承压水、河道水位变化、不间断水源补给及隧道周边地下管线所处地层情况
(2) 掘进前			
①盾构机选型	根据工程地质及水文地质情况,选取适宜的盾构机系统,确保主轴承密封质量及密封油脂质量,选择合理的刀盘刀具		
②专项方案	制定刀具管理计划、盾尾密封管理计划、姿态管理等专项方案降低风险		可不采取措施
③试验段	设置试验段进行试掘进,确定主要掘进参数		

表 E.10 盾构机损伤风险事件控制措施(盾构法)(续)

控制措施	重大风险(Ⅳ级)	较大风险(Ⅲ级)	一般风险(Ⅱ级)
(3)掘进中			
①主要掘进参数	根据地质情况选择合适的掘进参数,如掘进速度、总推力、扭矩、刀盘转速、区域油压、同步注浆量、盾尾油脂压注量等,维持合理土(泥水)仓压力、减小压力波动,加强泥浆管理、泥水循环流量、渣土改良参数和出土量监控,严控超挖		
②泥浆质量/渣土改良效果控制	泥水盾构采用与地层匹配的泥浆技术指标;土压盾构采用与地层匹配的渣土改良技术;加大测试频率,及时调整参数,保证掘进顺利进行	正常参数匹配	
③盾尾和主轴承密封质量控制	油脂使用量符合厂家指导标准,确保盾尾及主轴承密封质量;盾尾油脂压力、主轴承密封压力保持与同步注浆、水土压力相适应		
④同步注浆控制	根据超挖情况,合理选择注浆率,注浆量与超挖量匹配;注浆速度与推进速度相匹配,确保盾尾脱出区及时有效填充		
⑤二次补强注浆	穿越后通过管片预留注浆孔进行二次补强注浆,补充同步注浆未填充部分和体积减少部分	根据监测情况确定	
⑥盾构姿态控制	盾构姿态保持平稳,少纠偏、勤纠偏,避免出现较大偏差量;合理规划盾构机推进姿态,控制盾构机与线路轴线夹角;合理管片选型,避免过小盾尾间隙		
⑦开仓作业	尽量选择在地层自稳性强、天然含水率小的地段进行常压开仓作业,有条件加固地层时尽量加固后实施;带压作业时,确保专业人员满足进仓工作要求,通过试验确定泥浆指标与压力控制标准,试验保压成功后方可允许带压作业,并加强过程控制		
(4)监控量测	开展信息化施工,加强盾构机姿态的测量、刀具磨损量检查,盾尾密封及主轴承密封效果检查和地面监控量测,及时反馈信息以调整盾构机掘进参数		
	增加监控量测频率	不良地质段增加监控量测频率	
(5)警报装置	建立相关方参加的警报与应急撤离机制		
(6)人员培训	对以下内容进行相关培训: 盾构机受损事故的危险性; 防止事故发生的对策及注意事项; 检查方法(检查内容及时间); 地面巡视及警戒线范围; 监控方法; 发生险情时的应急措施		

## 附录 F

(资料性)

## 重要性排序法权重系数表

重要性排序法确定的权重系数见表 F.1。

表 F.1 重要性排序法权重系数表

指标数量	指标重要性排序															
	权重系数 $\gamma$															
	第1项	第2项	第3项	第4项	第5项	第6项	第7项	第8项	第9项	第10项	第11项	第12项	第13项	第14项	第15项	总权重 $\Sigma\gamma$
一项	1.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1
二项	0.75	0.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1
三项	0.56	0.33	0.11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1
四项	0.44	0.31	0.19	0.06	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1
五项	0.36	0.28	0.20	0.12	0.04	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1
六项	0.31	0.25	0.19	0.14	0.08	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1
七项	0.27	0.23	0.18	0.14	0.10	0.06	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	1
八项	0.23	0.20	0.17	0.14	0.11	0.08	0.05	0.02	—	—	—	—	—	—	—	1
九项	0.21	0.18	0.16	0.14	0.11	0.09	0.06	0.04	0.01	—	—	—	—	—	—	1
十项	0.19	0.17	0.15	0.13	0.11	0.09	0.07	0.05	0.03	0.01	—	—	—	—	—	1
十一项	0.17	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09	0.07	0.06	0.04	0.03	0.01	—	—	—	—	1
十二项	0.16	0.15	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.06	0.05	0.03	0.02	0.01	—	—	—	1
十三项	0.15	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	—	—	1
十四项	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	—	1
十五项	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	1

**附录 G**  
**(资料性)**  
**可选用的评估方法**

**G.1 常用的评估方法及其特点**

表 G.1 给出了风险评估常用的技术方法,评估人员根据评估目的、评估对象特点,确定可行的评估工作组织形式,选用合理的评估方法,也可选用本附录以外的其他方法。

**表 G.1 常用的评估方法及其特点**

分类	名称	优缺点	适用范围
定性分析方法	检查表法	<p>优点:①简单易行,能够根据预定的目标要求进行检查,突出重点、避免遗漏,便于发现和查明各种危险及隐患;②可作为安全检查人员履行职责的凭证,有利于落实安全生产责任制,并能将安全工作推向群众,达到“群查群治”的目的。</p> <p>缺点:编制检查表难度较大,且不能定量评估</p>	适用于各类系统的设计、验收、运行、管理、事故调查
	专家评议法	<p>优点:①简单易行;②所得结论较为全面,能够对各种模糊、不确定的问题给出较为准确的回答。</p> <p>缺点:易受主观因素影响,有可能使结果产生偏差,易偏于保守</p>	适用于依靠专家集体直观判断进行的风险问题分析
	专家调查法(包括智力风暴法、德尔菲法)	<p>优点:避免因专家多而产生当面交流困难、效率低下等问题。</p> <p>缺点:①由于专家不能当面交流,缺乏沟通,可能会坚持错误意见;②由于是函询法,可能多次重复,会使某些专家不耐烦而不仔细填写;③易受主观因素影响,有可能使结果产生偏差,易偏于保守</p>	适用于:①依靠专家集体直观判断进行的风险问题分析;②问题复杂、专家代表不同专业且没有交流的历史;③受时间、经费限制,或因专家之间存有分歧、隔阂不宜当面交换意见
半定量分析方法	LEC法	<p>优点:简单易行,具有较强的实用性,通过计算 LEC 分值直接判断风险等级,结果清楚、醒目。</p> <p>缺点:影响危险性因素分值主要根据经验确定,具有一定的主观性和局限性</p>	适用于作业现场局部性评价,不适用于整体、系统的评价
	事故树法	<p>优点:①对导致灾害目标事故的各种因素及逻辑关系做出全面、简洁和形象的描述,便于查明系统内固有或潜在的各种危险因素;②便于进行逻辑运算、系统评价以及定性、定量分析。</p> <p>缺点:步骤较多、计算较复杂</p>	①应用较广,适合复杂性较大的系统;②在工程设计阶段对风险事件查询时,可使用此法对其安全性做出评价;③常用于直接经验较少的危险源辨识

表 G.1 常用的评估方法及其特点(续)

分类	名称	优缺点	适用范围
半定量分析方法	事件树法	<p>优点:是一种图解形式法,层次清楚、阶段明显,可进行多阶段、多因素复杂事件动态发展过程分析,预测系统中事故发生的趋势。</p> <p>缺点:①应用数据较少,进行定量分析需做大量的工作;②用于大系统时,容易产生遗漏和错误;③事件树的大小随问题变量个数呈指数增长</p>	<p>①用于分析系统故障、设备失效、工艺异常、人为失误等,应用较为广泛;②不能分析平行产生的后果,不适用于详细分析</p>
	影响图法	<p>优点:①能明显地表示一个决策分析问题中变量之间的独立关系;②能清晰地表示变量之间的时序关系、信息关系和概率关系,适合决策者认识问题的思维过程;③便于采用计算机存储与操作处理。</p> <p>缺点:①节点边缘概率和节点间条件概率难以计算;②进行概率估计时,可能会违反概率理论</p>	<p>影响图法与事件树法适用性类似,由于影响图法比事件树法有更多的优点,因此也可应用于较大系统的分析</p>
	原因-结果分析法	<p>优缺点:原因-结果分析法实质是事件树法和事故树法的结合使用,因此,同时具有前述两种方法的优缺点</p>	<p>适用范围与事故树法和事件树法类似,适用于在设计、操作时分析事故的可能结果及原因,但不适于大型系统</p>
定量分析方法	层次分析法	<p>优点:具有实用、简洁和系统性的特点。</p> <p>缺点:①得出结果是粗略方案的排序;②对于较高定量要求的决策问题,单纯应用层次分析法,无论是建立层次结构或是构造判断矩阵,主观判断、选择、偏好对结果的影响极大</p>	<p>①应用领域较广泛,可以分析社会、经济以及科学管理领域中的问题;②适用于任何领域的任何环节,但不适用于层次复杂的系统</p>
	模糊数学综合评判法	<p>优点:给出的数学模型,简单、易掌握,是多因素、多层次复杂问题评判效果较好的方法,可用于定性、定量分析,适用性较广。</p> <p>缺点:①隶属函数或隶属度的确定、评价因素对评价对象权重的确定和评价结果均有较大的主观性;②对多因素、多层次的复杂问题评价,计算比较复杂</p>	<p>适用于任何系统的任何环节,适用性较广</p>
	蒙特卡洛模拟法	<p>优点:①用于包括随机变量在内的任何计算类型;②考虑变量数目不受限制;③用于计算随机变量可根据具体数据采用任何分布形式;④可有效发挥专家的作用。</p> <p>缺点:①模拟系统较复杂时,模型建立困难;②没有考虑风险因素之间的相互影响,使得风险估计结果可能偏小</p>	<p>①比较适合在大中型项目中应用;②可解决复杂概率运算问题,适合于无法进行真实试验的场合;③对于费用高或费时的试验,具有明显优越性;④在进行较精细的系统分析时使用,适用于问题比较复杂、精度要求较高的场合,特别对少数可行方案实行精选比较适用</p>



表 G.1 常用的评估方法及其特点(续)

分类	名称	优缺点	适用范围
定量分析方法	等风险图法	<p>优点:方便直观、简单有效,对任何一个具体项目,只要得到其风险发生概率和风险后果,即可直接得到其风险系数。</p> <p>缺点:①需得到风险发生概率和风险后果两个变量值,而其在实际操作中不易得到,需借助其他分析方法;②根据等风险图只能确定风险系数位于哪一个区间内,如果需得到具体数值,仍需进行计算</p>	<p>①适用于对结果精度要求不高,只需要进行粗略分析的项目;②适用于多个类似项目同时分析或一个项目多个方案比较分析时使用</p>
	神经网络方法	<p>优点:具有较强的学习能力、抗故障性和并行性。</p> <p>缺点:神经网络综合评估模型在已知数据不足或无法准确构造训练样本集的情况下,需要结合其他综合评估方法得到训练样本集,才能实现对网络的训练</p>	<p>①原因和结果关系模糊;②涉及模糊信息的场合;③不一定得到最优解,可快速求得与之相近的次优解场合;④组合数量非常多,难以得到全部求解集合的场合;⑤对非线性较高的系统进行控制的场合</p>
	点估计法	<p>优点:简单易懂、计算较为方便,能够提供总体参数的估计值。</p> <p>缺点:①用抽样指标直接代替全体指标,不可避免存在一定误差;②若选取参数具有高变异性特点时,计算结果会低估失效概率</p>	<p>①总体 <math>X</math> 的分布函数形式已知,但一个或多个参数未知,借助于总体 <math>X</math> 的一个样本来估计总体未知参数的值的问题;②适用于研究问题中某一变量在一定范围内连续变化</p>
	模糊层次综合评估方法	<p>优点:①具有层次分析法和模糊数学综合评判法的优点;②在一定程度上减少评价因素对评价对象权重确定主观性强的缺点。</p> <p>缺点:除了模糊数学综合评判法权重确定的主观性缺点外,具有层次分析法和模糊数学综合评判法的缺点</p>	<p>适用范围与模糊数学综合评判法一致</p>
	事故树与模糊综合评判组合分析法	<p>优点:①具有事故树法和模糊数学综合评判法的优点;②避免了在确定因素集过程中出现错漏;③对风险影响系数大的因素进行分析,得到结果更科学、合理。</p> <p>缺点:除模糊数学综合评判法的权重确定较为主观的缺点外,具有事故树法和模糊数学综合评判法的缺点</p>	<p>适用范围与事故树法相同</p>
	未确知测度法	<p>优点:实用性强、相对科学合理,是一种量化的评价方法,评价过程更为客观,应用较为广泛。</p> <p>缺点:要求评估指标为定量指标,若为定性指标则需进一步量化</p>	<p>适用于解决有序分割问题、受多因素影响以及不确定性的评价、分类等问题</p>

G.2 LEC 法

因作业人员在具有潜在危险性环境中作业,采用风险事件发生的可能性( $L$ ,见表 G.2)、人员暴露于危险环境的频繁程度( $E$ ,见表 G.3)、发生风险事件可能造成的后果( $C$ ,见表 G.4)三种因素指标值的乘积进行风险估测,对于风险分值( $D$ ,见表 G.5)高于 160 分的风险源,宜列为重大风险源进行风险估测。

风险分值( $D$ )计算按公式(G.1)计算:

$$D = L \times E \times C \dots\dots\dots(G.1)$$

表 G.2 风险事件发生的可能性分值  $L$

分值	10	6	3	1	0.5	0.2	0.1
风险事件发生的可能性	完全会被预料到	相当可能	可能,但不经常	完全意外,可能性小	可以设想,不太可能	极不可能	实际上不可能

表 G.3 暴露于危险环境的频繁程度分值  $E$

分值	10	6	3	2	1	0.5
暴露于危险环境的频繁程度	连续暴露	每天工作时间内暴露	每周一次或偶然暴露	每月暴露一次	每年暴露几次	非常罕见暴露

表 G.4 风险事件造成的后果分值  $C$

分值	100	40	15	7	3	1
风险事件造成的后果	10 人以上死亡	3~9 人死亡	1~2 人死亡	严重伤残	有伤残	轻伤,需救护

表 G.5 风险等级划分标准

风险分值 $D$	$\geq 320$	$\geq 160 \sim 320$	$\geq 70 \sim 160$	$\geq 20 \sim 70$	$< 20$
风险程度	极度危险,不能继续作业	高度危险,需要整改	显著危险,需要整改	比较危险,需要注意	稍有危险,可以接受
风险等级	5	4	3	2	1

G.3 检查表法

检查表法把检查对象加以分解,将大系统分割成若干子系统,以提问或打分的形式,对检查项目列表逐项检查,包括如下形式:

- a) 提问型检查表:提问型检查表(表 G.6)列举需查明的所有导致风险事件的不安全因素,采用提问方式,并以“是”“部分符合”或“否”来回答。“是”表示符合要求;“部分符合”表示有一部分符合要求,另一部分不符合要求;“否”表示还存在问题,有待进一步改进。回答“是”的符号为“√”“部分符合”的符号为“≈”“否”的符号为“×”。在每个提问后可设置改进措施栏。每个检查表均需要注明检查时间、检查者、直接责任人,以便分清责任。为使提出的问题有所依据,可收集有关问题的规章制度、规范标准,在有关条款后面注明名称和所在章节。



表 G.6 提问型检查表

序号	检查项目和内容	检查结果			标准依据	备注
		是	部分符合	否		

b) 打分型检查表:打分型检查表采用判分系统,判分系统可采用三级判分系统:0—1—2—3、0—1—3—5、0—1—4—7,其中评判“0”为不能接受的条款,低于标准较多的判“1”,稍低于标准条件判给刚低于最大值的分数,符合标准条件的判给最大的分数。判定的分数是一种以检查人员的知识和经验为基础的判断意见,检查表中分成不同的检查单元进行检查。为得到更为有效的检查结果,可用所得总分数除以各检查单元的最大总分数的比值,衡量各单元的安全程度。打分型检查表见表 G.7,在表中可采用前述比值表示所检查的平均百分数。

表 G.7 打分型检查表

检查项目和内容	检查结果		备注
	可判分数	判给分数	
检查条款	0—1—2—3(低度危险)		
	0—1—3—5(中度危险)		
	0—1—4—7(高度危险)		
	总的满分	总的判分	
平均百分数等于总的分数除以总的可能的分数等于判分除以满分			
注:选取0—1—2—3时,条款属于低危险程度,对条款的要求为“允许稍有选择,在条件许可的条件下首先应该这样做”;选取0—1—3—5时,条款属于中等危险程度,对条款的要求为“严格,在正常的情况下均应这样做”;选取0—1—4—7时,条款属于高危险程度,对条款的要求为“很严格,非这样做不可”。			

G.4 层次分析法

权重系数反映了评估指标对风险事件的影响程度,目前还没有一种方法能准确确定其数值,针对指标权重确定问题,除重要性排序法以外,也可采用层次分析法,其步骤如下:

a) 建立重大风险源安全风险指标多层次结构模型,见图 G.1。

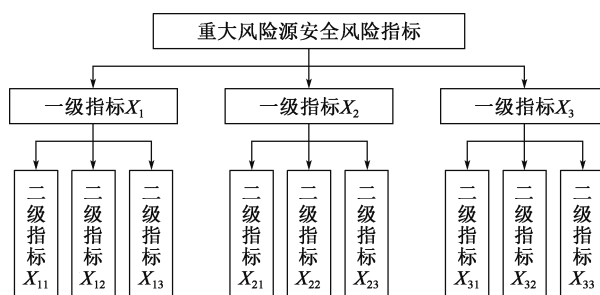


图 G.1 多层次结构模型

b) 通过两两比较确定两指标的相对重要程度,可采用1~9标度法取值确定两指标间相对重要程度,见表 G.8,建立判断矩阵表,判断矩阵中  $a_{ij}$  表示指标  $A_i$  相对于指标  $A_j$  的重要程度,见表 G.9。

表 G.8 因素两两比较的标度

标度值 $a_{ij}$	含义
1	表示两个因素相比,前者与后者同等重要
3	表示两个因素相比,前者比后者稍重要
5	表示两个因素相比,前者比后者明显重要
7	表示两个因素相比,前者比后者强烈重要
9	表示两个因素相比,前者比后者极端重要
2、4、6、8	表示上述相邻判断的中间值
倒数	因素一与因素二重要性比较结果是因素二与因素一比较结果的倒数

表 G.9 指标间两两判断矩阵表

判断项指标	$A_1$	$A_2$	...	$A_j$	...	$A_n$
$A_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	...	$a_{1j}$	...	$a_{1n}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$A_i$	$a_{i1}$	$a_{i2}$	...	$a_{ij}$	...	$a_{in}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$A_n$	$a_{n1}$	$a_{n2}$	...	$a_{nj}$	...	$a_{nn}$

c) 按照公式(G.2)计算判断矩阵中每行元素的几何平均值( $\bar{w}_i$ ),再按照公式(G.3)进行归一化处理得到相对权重值( $w_i$ )。

$$\bar{w}_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad \dots\dots\dots(G.2)$$

$$w_i = \bar{w}_i / \sum_{i=1}^n \bar{w}_i \quad \dots\dots\dots(G.3)$$

d) 通过公式(G.4)计算判断矩阵的最大特征值( $\lambda_{\max}$ ),再通过公式(G.5)计算CI进行一致性检验,随机一致性指标(RI)见表G.10,若CI/RI < 0.1,则判断矩阵符合要求,否则重新写出新的矩阵,进行计算。所有判断矩阵符合要求时,计算各层次指标的组合权重。

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(Aw)_i}{nw_i} \quad \dots\dots\dots(G.4)$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad \dots\dots\dots(G.5)$$

式中:

CI ——判断矩阵的一致性指标;

n ——判断矩阵的阶数。

表 G.10 随机一致性指标RI取值表

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

G.5 点估计法

施工前风险事件可能性等级的确定,除指标体系法外,也可采用点估计法。该法是利用待评估隧道

施工前风险事件部分或全部指标参数值分布的随机性,通过风险事件可能性分值计算公式建立累计概率分布函数,从而确定可能性等级的方法。具体步骤如下:

- a) 确定状态函数。当有多个随机变量影响目标值时,状态函数可用公式(G.6)表示:

$$Z = F(x_1, x_2, \dots, x_n) \dots\dots\dots(G.6)$$

式中:

$Z$  ——目标值;  
 $x_1, x_2, \dots, x_n$  ——随机变量。

- b) 选取样本点组合:

- 1) 在随机变量  $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$  的分布函数未知的情况下,不考虑其变化形态,只在区间  $(x_{\min}, x_{\max})$  上分别对称地选择 2 个取值点,通常取均值  $(\mu_{xi})$  的正负三个标准差  $(\sigma_{xi})$ ,按公式(G.7)计算:

$$\left. \begin{aligned} x_{i1} &= \mu_{xi} + 3\sigma_{xi} \\ x_{i2} &= \mu_{xi} - 3\sigma_{xi} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(G.7)$$

- 2) 每个随机变量均有 2 个取值点,对于  $n$  个随机变量,将会得到  $2^n$  种计算组合,可求解得到  $2^n$  个状态函数  $Z$  的值。

- c) 计算一阶矩和二阶中心矩:

- 1) 随机变量  $Z$  的一阶矩  $(M_1)$ ,按公式(G.8)计算:

$$M_1 = E(Z) = \mu_Z = \int_{-\infty}^{+\infty} zf(z) dz \dots\dots\dots(G.8)$$

- 2) 一阶矩点估计按公式(G.9)计算:

$$M_1 = E(Z) = \mu_Z = \sum_{j=1}^{2^n} P_j Z_j = \frac{1}{2^n} \sum_{j=1}^{2^n} Z_j \dots\dots\dots(G.9)$$

- 3) 随机变量  $Z$  的二阶中心矩  $(M_2)$  为  $Z$  的方差  $(\sigma_Z^2)$ ,按公式(G.10)计算:

$$M_2 = E[(Z - \mu_Z)^2] = \int_{-\infty}^{+\infty} (z - \mu_Z)^2 f(z) dz \dots\dots\dots(G.10)$$

- 4) 二阶中心矩点估计按公式(G.11)计算:

$$M_2 = E[(Z - \mu_Z)^2] = \sigma_Z^2 = \sum_{j=1}^{2^n} P_j Z_j^2 - \mu_Z^2 = \frac{1}{2^n} \sum_{j=1}^{2^n} Z_j^2 - \mu_Z^2 \dots\dots\dots(G.11)$$

- 5) 由  $Z$  的一阶矩和二阶矩,即可以得到反映  $Z$  分布形态的统计参数平均值  $(\mu_Z)$  和标准差  $(\sigma_Z)$ 。

- d) 求概率密度函数和累积分布函数:

- 1) 由平均值  $(\mu_Z)$  和标准差  $(\sigma_Z)$  拟合出正态分布的概率密度函数,按公式(G.12)计算:

$$f(z) = \frac{1}{\sigma_Z \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(z-\mu_Z)^2}{2\sigma_Z^2}} \dots\dots\dots(G.12)$$

- 2) 按公式(G.13)求得正态分布的累积分布函数:

$$F(z) = \frac{1}{\sigma_Z \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{(t-\mu_Z)^2}{2\sigma_Z^2}} dt \dots\dots\dots(G.13)$$

- 3) 得到正态分布的累积分布函数后,根据风险事件可能性等级划分标准即可确定等级。

### G.6 未确知测度法

施工过程各风险事件可能性评估指标体系的指标较多,且指标信息呈现不确定性、模糊性和随机性

等特点,如何科学合理地将不确定、未确知信息进行综合评价是确定各风险事件可能性等级的难点,未确知测度理论为解决这一问题提供较好的方法。该方法通过构造评估指标的单指标测度函数求出单指标测度矩阵,并结合指标权重求出多指标综合测度评价向量,依照置信度识别准则进行等级判定,得出风险事件可能性等级,其基本步骤如下:

- a) 建立施工过程风险事件可能性评估指标体系。选择具有代表性的风险指标,删除具有较大相关性的风险指标,形成具有相互独立性的风险事件可能性评估指标体系,参与的评估指标有  $m$  个,用  $I_1, I_2, \dots, I_m$  表示。
  - 1) 将定性指标定量化,再运用分级标准化法将每个指标分级,若分为 4 级,则可建立评判集为  $U = \{C_1, C_2, C_3, C_4\}$ ,即 I 级、II 级、III 级、IV 级,假定分别代表可能性低度、可能性中度、可能性高度和可能性极高,根据专家建议或相关文献、标准规范等设置一个取值标准,形成分级标准评定表(见表 G.11)。

表 G.11 分级标准评定表

评估指标	分级标准			
	IV级( $C_4$ )	III级( $C_3$ )	II级( $C_2$ )	I级( $C_1$ )
$I_1$	$> c_1$	$b_1 \sim c_1$	$a_1 \sim b_1$	$< a_1$
$I_2$	$> c_2$	$b_2 \sim c_2$	$a_2 \sim b_2$	$< a_2$
...	...	...	...	...
$I_m$	$> c_m$	$b_m \sim c_m$	$a_m \sim b_m$	$< a_m$

- 2) 结合工程对象、相关规范和专家建议,对施工过程中隧道的各评价指标进行赋分,假设有  $n$  个评估区段,以  $x_{ij}$  表示第  $i$  个评估区段关于第  $j$  个评估指标的赋分值。
  - b) 建立未确知测度函数。若  $\mu_{ijk} = \mu(x_{ij} \in C_k)$  表示所赋分值  $x_{ij}$  属于第  $k$  个可能性等级的测度值,且满足公式(G.14)~公式(G.16):

$$0 \leq \mu(x_{ij} \in C_k) \leq 1 \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, 3, 4)$$

.....(G.14)

$$\mu(x_{ij} \in U) = 1 \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$$

.....(G.15)

$$\mu[x_{ij} \in \bigcup_{l=1}^k C_l] = \sum_{l=1}^k \mu(x_{ij} \in C_l) \quad (k = 1, 2, 3, 4)$$

.....(G.16)

- 1) 根据上述单指标测度定义及表 G.11,构建单指标测度函数(函数图形见图 G.2、图 G.3、图 G.4)以便求得各评价指标的测度。

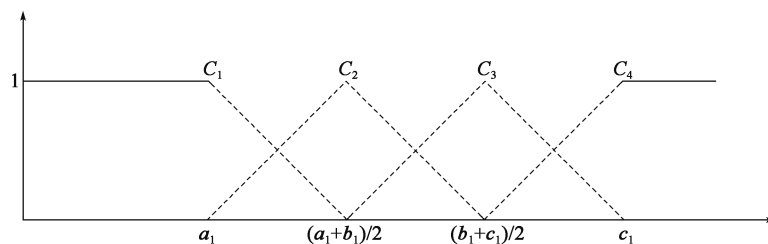


图 G.2 评估指标  $I_1$  的单指标测度函数

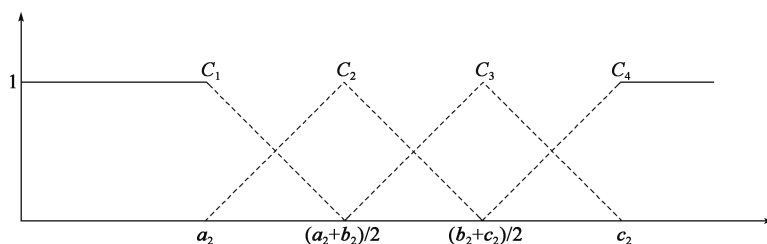


图 G.3 评估指标  $I_2$  的单指标测度函数

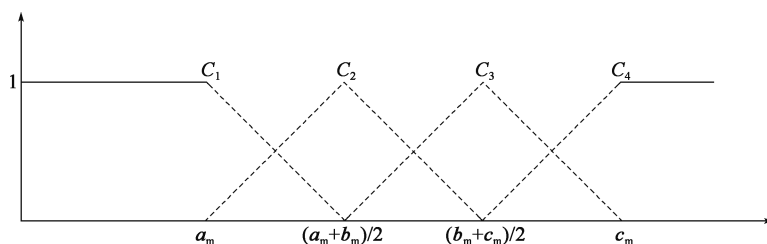


图 G.4 评估指标  $I_m$  的单指标测度函数

- 2) 将某一评估区段的指标赋值代入上述单指标测度函数中,可计算得到单指标评价矩阵  $(\mu_{ijk})_{m \times p}$ ,  $p$  是评判集内的分级个数,这里为 4,见公式(G.17):

$$(\mu_{ijk})_{m \times p} = \begin{bmatrix} \mu_{i11} & \mu_{i12} & \cdots & \mu_{i1p} \\ \mu_{i21} & \mu_{i22} & \cdots & \mu_{i2p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mu_{im1} & \mu_{im2} & \cdots & \mu_{imp} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (G.17)$$

- c) 利用重要性排序法或层次分析法确定指标权重,见公式(G.18):

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_m) \dots\dots\dots (G.18)$$

- d) 依照置信度识别准则判定等级:

- 1) 设  $w_j$  为指标  $I_j (j=1, 2, \dots, m)$  的权重,  $\mu_{ik}$  表示第  $i$  个评估区段隶属于第  $k$  个等级的程度,按公式(G.19)计算:

$$\mu_{ik} = \sum_{j=1}^m w_j \mu_{ijk} \quad (i=1, 2, \dots, n; k=1, 2, 3, 4) \dots\dots\dots (G.19)$$

- 2) 按公式(G.20)计算得出综合测度评价矩阵:

$$(\mu_{ik})_{n \times k} = \begin{bmatrix} \mu_{11} & \cdots & \mu_{14} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{n1} & \cdots & \mu_{n4} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (G.20)$$

- 3) 为得到最优评价结果,引入置信度评价准则,设  $\lambda$  为置信度 ( $\lambda \geq 0.6$ )。若评价空间  $\{C_1, C_2, \dots, C_p\}$  是有序的,且  $C_p > C_{p-1} > \dots > C_1$ ,按公式(G.21)得:

$$k_0 = \min \left\{ k : \sum_{l=1}^k \mu_{il} \geq \lambda \right\} \quad (k=1, 2, 3, 4) \dots\dots\dots (G.21)$$

- 4) 得出第  $i$  个评估区段对象属于第  $k_0$  个级别  $C_{k_0}$ 。

## 参 考 文 献

- [1] GB 18218—2018 危险化学品重大危险源辨识
- [2] GB/T 23694—2013 风险管理 术语
- [3] GB 50021—2009 岩土工程勘察规范
- [4] GB 50112—2013 膨胀土地区建筑技术规范
- [5] GB 50157—2013 地铁设计规范
- [6] GB/T 50218—2014 工程岩体分级标准
- [7] GB 50287—2016 水力发电工程地质勘察规范
- [8] GB 50446—2017 盾构法隧道施工及验收规范
- [9] GB 50487—2008 水利水电工程地质勘察规范
- [10] GB 50911—2013 城市轨道交通工程监测技术规范
- [11] JTG B01—2014 公路工程技术标准
- [12] JTG C20—2011 公路工程地质勘察规范
- [13] JTG F90—2015 公路工程施工安全技术规范
- [14] JTG 3370.1—2018 公路隧道设计规范 第一册 土建工程
- [15] JTG/T 3374—2020 公路瓦斯隧道设计与施工技术规范
- [16] JTG/T 3660—2020 公路隧道施工技术规范
- [17] NB/T 10391—2020 水工隧洞设计规范
- [18] TB 10003—2016 铁路隧道设计规范
- [19] TB 10120—2019 铁路瓦斯隧道技术规范
- [20] 公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估指南(试行)







