ICS 93.140

P67

|  |
| --- |
|  |

**JT**

中华人民共和国交通运输行业标准

JT/T XXXX.3-20XX

|  |
| --- |
|  |

**公路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 engineering construction**

**—Part 3: Tunnel engineering**

（征求意见稿）

|  |
| --- |
|  |
|  |

XXXX-XX-XX发布

XXXX-XX-XX实施

中华人民共和国交通运输部   发布

目 次

[目 次 I](#_Toc29312244)

[前 言 II](#_Toc29312245)

[1 范围 1](#_Toc29312246)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc29312247)

[3 术语和定义 1](#_Toc29312248)

[4 基本原则 2](#_Toc29312249)

[5 总体风险评估 3](#_Toc29312250)

[6 专项风险评估 7](#_Toc29312251)

[7 风险控制 20](#_Toc29312252)

[8 风险评估报告编制 22](#_Toc29312253)

[附录A（资料性附录）专项风险评估指标体系 25](#_Toc29312254)

[附录B（资料性附录）公路隧道工程施工的典型风险事件类型 44](#_Toc29312255)

[附录C（资料性附录）可选用的评估方法 48](#_Toc29312256)

[附录D（资料性附录）公路隧道典型重大风险源风险控制建议 57](#_Toc29312257)

[附录E（资料性附录）施工安全风险评估报告格式 66](#_Toc29312258)

[参考文献 69](#_Toc29312259)

前  言

JT/T XXXX《公路工程施工安全风险评估指南》分为3部分：

——第1部分：总体要求；

——第2部分：桥梁工程；

——第3部分：隧道工程；

——第4部分：路基工程。

本部分为JT/T XXXX 的第3部分。

本部分按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本部分由交通运输部安全与质量监督管理司提出并归口。

本部分起草单位：交通运输部公路科学研究院、北京科技大学、交通运输部科学研究院、昆明理工大学。

本部分主要起草人：李伟、吴顺川、吴忠广、陈磊、严琼、张宇、刘伟、张成良、杨弘卿、谢洪涛、吕祥锋。

**公路工程施工安全风险评估指南**

**第3部分：隧道工程**

1. 范围

JT/T XXXX的本部分规定了公路隧道工程施工安全风险评估的基本原则以及总体风险评估、专项风险评估、风险控制、风险评估报告编制等要求。

本部分适用于以钻爆法施工为主的新建公路隧道工程，改建和扩建公路隧道施工安全风险评估可参照使用。

1. 规范性引用文件

下列文件对于本标准的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改）适用于本标准。

GB/T 6441 企业职工伤亡事故分类

JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准

1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

* 1. 风险 risk

不利事件或事故发生的概率(频率)及其损失的组合。

* 1. 风险事件 risk event

导致工程发生人员伤亡、直接经济损失、社会影响、环境影响或工期延误等不利后果的可能事件。

* 1. 风险源 risk factor

也称致险因素，指可能导致风险事件发生的直接因素，如：施工方案、作业活动、施工设备、危险物质、作业环境等。

* 1. 风险辨识 risk factor identification

调查识别工程建设中潜在的风险类型、发生地点、时间及原因，并进行筛选、分类。

* 1. 风险分析 risk analysis

采用安全系统工程的方法对风险源可能导致的风险事件进行分析，找出可能受伤害人员、致害物、事故原因等，确定物的不安全状态和人的不安全行为。

* 1. 风险估测 risk evaluation

采用定性或定量的方法，对风险事件发生的可能性及严重程度进行估算，并根据风险分级标准和接受准则，对工程风险进行等级分析、危害性评定和风险排序过程。

* 1. 一般风险源 general risk factor

相对简单，影响因素间关联性较低，运用一般知识与经验即可防范的风险源。

* 1. 重大风险源 major risk factor

相对比较复杂，存在较大的不可预见性，引发的风险事件严重性较大，应从工程地质水文地质条件、作业环境、技术方案、施工设备及管理措施等多角度进行控制和防范的风险源。

* 1. 施工安全风险评估 safety risk assessment of construction

针对工程施工过程潜在的风险进行辨识、分析、估测、提出控制措施的系列工作。

* 1. 总体风险评估 general safety risk assessment

以整个隧道工程为评估对象，根据施工前的风险主控因素、建设规模、地质条件、洞口特征、年均降水量和资料完整性等，评估隧道工程施工的整体风险，确定其安全风险等级并提出控制措施建议。

* 1. 专项风险评估 specific risk assessment

以施工区段为评估对象，根据隧道工程地质水文地质条件、作业风险特点以及类似工程事故情况，进行风险辨识、分析、估测，针对其中的重大风险源进行量化评估，划分风险等级，并提出风险控制措施，开展控制效果评估。包括施工前专项风险评估和施工过程专项风险评估。

* 1. 主因素控制指标体系法 main factor control index system method

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与指标体系评估表，对各主控因素与评估指标进行量化分级，对施工安全总体风险作出评估的一种方法。

* 1. 后果当量估计法 risk consequence equivalent estimation method

对人员伤亡、直接经济损失、环境影响、社会影响及工期延误等五种后果的严重程度进行量化统一的一种方法。

* 1. 风险控制预期效果评估expected effect evaluation of risk control

针对风险等级为较大风险（Ⅱ级）及以上的施工区段，检查、确认其风险控制措施的制定情况，并对风险控制措施实施后的预期风险进行评价。

1. 基本原则
   1. 评估阶段划分

隧道工程施工安全风险评估应进行动态管理，分为总体风险评估和专项风险评估两个阶段。

* 1. 评估方法选择

隧道工程施工安全风险评估应根据隧道工程的特点和评估阶段，选择适合的评估方法。

a）总体风险评估宜采用主因素控制指标体系法。

b）专项风险评估中一般风险源的风险估测宜采用检查表法或LEC法；专项风险评估中重大风险源的风险估测宜采用定量方法，施工前风险事件可能性宜采用指标体系法，亦可采用点估计法确定；施工过程风险事件可能性推荐采用指标体系法结合重要性排序法、层次分析法、未确知测度法等综合判定方法，风险事件严重程度宜采用后果当量法。

c）必要时宜采用两种以上方法比对验证风险评估结果，当不同评估方法的评估结果出现较大差异时，应分析导致较大差异的原因，确定合理的评估结果。

* 1. 评估实施步骤

公路隧道工程施工安全风险评估工作包括以下主要步骤：

a）前期准备；

b）总体风险评估；

c）专项风险评估（施工前专项风险评估、施工过程专项风险评估和风险控制预期效果评估）；

d）风险评估报告编制；

e）风险评估报告评审。

1. 总体风险评估
   1. 一般要求
      1. 公路隧道工程应开展总体风险评估。评估结论可为配置工程项目的人员和装备等资源、确定是否开展专项风险评估、初步辨识重大风险源等提供依据。
      2. 总体风险评估应依据项目前期立项批复文件、地质勘察报告、水文气象资料、初步设计批复、施工图设计文件、评估人员的现场调查资料及行业标准、规范等开展评估。
      3. 隧道工程施工安全总体风险评估的结论应明确总体风险等级、主控因素清单（若无可不列出）、重要性指标清单（采用指标体系法时）、风险控制措施建议等内容。
      4. 对总体风险评估等级为较大风险（Ⅱ级）及以上的隧道工程，应组织开展专项风险评估。评估小组应根据总体风险评估结果，提出专项风险评估对象的建议。
   2. 主因素控制指标体系法
      1. 总体风险评估宜采用主因素控制指标体系法，评估分为两个步骤：主控因素判识、指标体系评估。具体评估流程见图1。



图1 主控因素判识流程

* + 1. 主控因素判识
       1. 应从隧道区域环境、隧道长度、围岩情况、预测瓦斯涌出量、预测涌水量、断层破碎带宽度、地应力、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 主控因素判识表

| 评估指标 | | 总体风险等级 | | 说明 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 主控因素 | 因素描述 | 重大风险(Ⅰ级) | 较大风险(Ⅱ级) |
| 隧道区域环境 | 海底隧道、下穿河流湖泊及重要建筑物的隧道 | √ |  |  |
| 隧道长度 | 隧道长度≥8000m | √ |  |  |
| 隧道长度5000m~8000m |  | √ |
| 围岩情况 | Ⅴ级围岩连续长度≥1000m或Ⅴ级围岩长度占隧道长度≥70%且连续长度≥100m | √ |  | 包括竖井、斜井 |
| Ⅴ级围岩连续长度500m~1000m或Ⅴ级围岩长度占隧道长度40%~70% |  | √ |
| 预测瓦斯涌出量 | 预测瓦斯涌出量≥1m3/min | √ |  | 包括竖井、斜井 |
| 预测瓦斯涌出量0.5 m3/min ~1m3/min |  | √ |
| 预测涌水量 | 隧道预测涌水量≥20000m3/d | √ |  | 包括竖井、斜井 |
| 隧道预测涌水量10000 m3/d ~20000m3/d |  | √ |

表2(续) 主控因素判识表

| 评估指标 | | 总体风险等级 | | 说明 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 主控因素 | 因素描述 | 重大风险(Ⅰ级) | 较大风险(Ⅱ级) |
| 断层破碎带宽度 | 断层破碎带宽度≥50m | √ |  |  |
| 断层破碎带宽度20 m ~50m |  | √ |
| 地应力 | 最大主应力≥40MPa | √ |  |  |
| 最大主应力20MPa ~40MPa |  | √ |
| 岩溶发育程度 | 岩溶极发育，存在宽大岩溶洞穴、地下暗河等 | √ |  |  |
| 岩溶发育，存在宽大岩溶发育带或大岩溶洞穴 |  | √ |

注：指标区间的取值原则为区间下限值可取、上限值不可取，本标准中所有指标的区间取值规则相同。

* + - 1. 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。
      2. 若通过主控因素确定主控风险为Ⅰ级（重大风险）时，可不展开指标体系评估；若不满足主控因素或由主控因素确定总体风险等级为Ⅱ级（较大风险）时，应展开指标体系评估。
    1. 指标体系评估
       1. 根据影响隧道工程施工安全风险的主要因素，将指标分为建设规模、地质条件、洞口特征、年均降水量、资料完整性5个项别，对各个项别细分提出若干评估指标，建立评估指标体系。
       2. 指标体系评估表见表3，指标取值基于单洞计算。

表3 指标体系评估表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项别 | 评估指标 | 分级 | 分值 | 说明 |
| 建设规模*B* | 隧道长度*B*1 | ≥5000m | 12 | 根据设计文件确定 |
| 3000m~5000m | 7 |
| 1000m~3000m | 4 |
| <1000m | 1 |
| 隧道开挖跨度  *B*2 | ≥18m | 10 | 根据设计文件确定（仅考虑主隧道开挖跨度） |
| 14m ~18m | 7 |
| 9m~14m | 4 |
| <9m | 1 |
| 地质条件*G* | 围岩情况*G*1 | Ⅴ级围岩连续长度占隧道长度≥70% | 12 | 根据地勘资料、设计文件确定（计算时包括竖井、斜井） |
| Ⅴ级围岩连续长度占隧道长度40%~70% | 7 |

表4(续) 指标体系评估表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项别 | 评估指标 | 分级 | 分值 | 说明 |
| 地质条件*G* |  | Ⅴ级围岩连续长度占隧道长度20%~40% | 4 |  |
| Ⅴ级围岩连续长度占隧道长度<20% | 0 |
| 预测瓦斯涌出量  *G*2 | 预测瓦斯涌出量≥1m3/min | 12 | 根据地勘资料、设计文件确定 |
| 预测瓦斯涌出量0.5m3/min ~1m3/min | 7 |
| 预测瓦斯涌出量<0.5m3/min | 4 |
| 不存在瓦斯 | 0 |
| 预测涌水量*G*3 | ≥20000m3/d | 12 | 根据地勘资料、设计文件确定 |
| 10000m3/d ~20000m3/d | 7 |
| 2000m3/d ~10000m3/d | 4 |
| <2000m3/d | 0 |
| 断层破碎带宽度*G*4 | 断层破碎带宽度≥50m | 7 | 根据地勘资料、设计文件确定（仅计算隧道中最宽破碎带） |
| 断层破碎带宽度20m~50m | 4 |
| 断层破碎带宽度<20m | 2 |
| 不存在断层破碎带 | 0 |
| 硬岩强度应力比*G*5 | <2 | 7 | 根据地勘资料、设计文件确定（仅考虑隧道围岩的最小强度应力比） |
| 2~4 | 4 |
| 4~7 | 2 |
| ≥7 | 0 |
| 岩溶发育程度*G*6 | 岩溶极发育，存在宽大岩溶洞穴、地下暗河等 | 7 | 根据地质勘察资料确定 |
| 岩溶发育，存在宽大岩溶发育带和大岩溶洞穴 | 4 |
| 岩溶较发育，存在岩溶裂隙带和较大岩溶洞 | 2 |
| 岩溶不发育，存在岩溶裂隙、小溶洞发育 | 0 |
| 洞口特征*C* | 地质特征*C*1 | 洞口位于古滑坡体或堆积体上 | 7 | 根据地勘资料、设计文件确定 |
| 洞口边仰坡岩土体破碎，存在失稳危险 | 3 |

表5(续) 指标体系评估表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项别 | 评估指标 | 分级 | 分值 | 说明 |
| 洞口特征*C* | 地质特征*C*1 | 洞口边仰坡较稳定 | 0 |  |
| 洞口偏压角度*C*2 | ≥45° | 3 | 指垂直于隧道洞口的横剖面与地面的交线，该交线与水平面的夹角，根据设计文件确定 |
| 30°~45° | 2 |
| 15°~30° | 1 |
| <15° | 0 |
| 进洞施工难易程度*C*3 | 洞口邻近建（构）筑物、既有线、交通道路等，对洞口施工存在影响，造成进洞施工难度极大 | 3~4 | 其难易程度可从偏压角度、周围是否存在敏感建筑物、地形因素及施工是否便利等方面综合考虑 |
| 洞口邻近建（构）筑物、既有线、交通道路等，对洞口施工存在影响，造成进洞施工较难 | 2 |
| 洞口附近不存在建（构）筑物、既有线、交通道路等或存在但对洞口施工基本无影响，隧道进洞施工较易 | 0 |
| 年均降水量*W* | | ≥1000mm | 1.30 | 根据气象资料确定（近5年降水量平均值） |
| 600mm ~1000mm | 1.20 |
| 300mm ~600mm | 1.10 |
| <300mm | 1.00 |
| 资料完整性*D* | | 地质、水文、气象资料不完整 | 1.05 | 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；调查分析不太清楚、依据欠充分的取大值（包括竖井、斜井） |
| 地质、水文、气象资料基本完整 | 1.02 |
| 地质、水文、气象资料完整 | 1.00 |

* + - 1. 隧道施工安全总体风险分值计算公式为：

 （1）

式中：

*R*—隧道施工安全总体风险评估分值；

*B*1—隧道全长所赋分值；

*B*2—隧道开挖跨度所赋分值；

*D*—工程资料完整性对隧道地质条件的修正系数；

*G*1—隧道围岩情况所赋分值；

*G*2—预测瓦斯涌出量所赋分值；

*G*3—预测涌水量所赋分值；

*G*4—断层破碎带宽度所赋分值（仅计算隧道中最宽破碎带）；

*G*5—硬岩强度应力比所赋分值（仅考虑隧道硬岩的最小强度应力比）；

*G*6—岩溶发育程度；

*W*—年均降水量对隧道洞口特征的修正系数；

*C*1—洞口地质特征所赋分值；

*C*2—洞口偏压角度特征所赋分值；

*C*3—进洞施工难易程度所赋分值。

其中，针对洞口特征，式中*W*×(*C*1+*C*2)+*C*3应取隧道进口、出口计算结果最大值。

* + 1. 风险等级

隧道工程施工安全总体风险分级标准见表6。

表6 施工安全总体风险分级标准

|  |  |
| --- | --- |
| 风险等级 | 计算分值*R* |
| 重大风险（Ⅰ级） | *R*≥40 |
| 较大风险（Ⅱ级） | 26≤*R*<40 |
| 一般风险（Ⅲ级） | 17≤*R*<26 |
| 较小风险（Ⅳ级） | *R*<17 |

1. 专项风险评估
   1. 一般要求
      1. 专项风险评估包括施工前专项风险评估、施工过程专项风险评估和风险控制预期效果评估，应结合现场检测和监测数据进行评估。专项风险评估结论可作为完善隧道工程专项施工方案的依据。
      2. 专项风险评估的基本程序包括：风险辨识、风险分析、风险估测、风险控制和风险控制预期效果评估，具体流程见图 2。

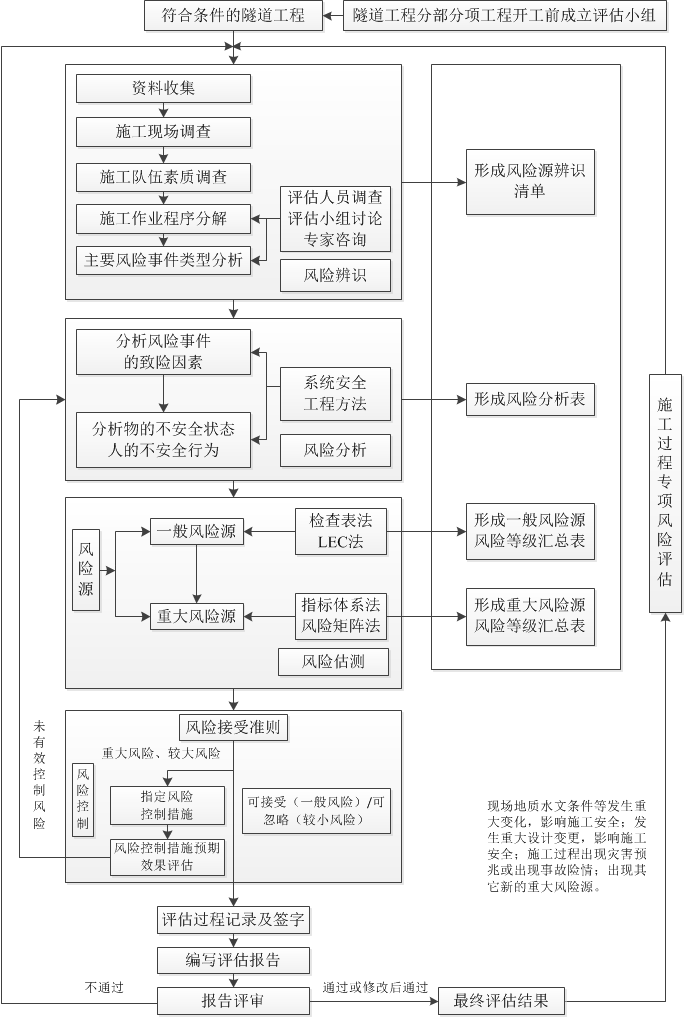


图 2 专项风险评估流程图

* + 1. 施工前专项风险评估
       1. 总体风险评估等级为较大风险（Ⅱ级）及以上的隧道工程应开展施工前专项风险评估，一般风险（Ⅲ级）、较小风险（Ⅳ级）根据具体情况确定。
       2. 施工前专项风险评估应在隧道开工前实施，评估对象为隧道施工区段。
       3. 施工前专项风险评估结论及重大风险源清单应作为专项施工方案的主要依据之一，在此基础上细化改进施工安全风险监测与控制措施。
    2. 施工过程专项风险评估
       1. 隧道工程施工过程中，出现如下情况之一的应开展施工过程专项风险评估：

a）现场地质、水文条件等发生重大变化，影响施工安全；

b）发生重大设计变更，影响施工安全；

c）施工过程出现灾害预兆或出现事故险情；

d）出现其它新的重大风险源。

* + - 1. 施工过程专项风险评估报告应包含评估指标前后变化对比、现阶段风险评估等级、风险控制措施等。
    1. 风险控制预期效果评估

对于风险等级为较大风险（Ⅱ级）及以上的隧道施工区段，应开展风险控制措施的预期效果评估。

* 1. 风险辨识
     1. 风险辨识包括4个步骤：

a）工程资料的收集整理；

b）施工现场地质条件和环境条件的调查（或补充勘察）；

c）施工作业程序分解；

d）施工作业可能发生的风险事件类型分析。

* + 1. 风险辨识需收集、整理的相关工程资料应包括：

a）本工程的可行性研究报告、环评报告、工程地质勘察报告、设计风险评估报告(如有）、初步设计文件、施工图设计文件、工程施工组织设计文件、总体风险评估报告及其它与工程建设安全相关的文件；

b）工程区域内的环境条件，包括建（构）筑物、埋藏物、管道、电缆线、军事设施、铁路、公路、外电架空线路、饮用水源、养殖区、保护动物等可能造成事故的环境因素；

c）工程区域内地质、水文、气象等资料；

d）同类工程事故资料；

e）其它与风险辨识对象相关的资料；

f）施工过程专项风险评估时，除a）～e）资料外还应收集重要设计变更资料、施工记录文件、监控量测资料、质量检测报告等；

g）风险控制预期效果评估时，除a）～e）资料外还应收集典型类似工程施工情况、风险控制措施制定情况等。

* + 1. 施工现场地质条件和环境条件调查应包括：

a）地质条件；

b）气象水文条件；

c）周边环境条件；

d）围岩变形破坏迹象和特征；

e）补充地质勘察结果（如有）；

f）现场开挖揭露地质情况的差异；

g）周边环境的变化情况。

* + 1. 施工作业程序分解应依据施工图设计及施工组织设计等文件，将隧道工程施工过程划为不同的评估单元。可参照JTG F80/1-2017以及施工组织设计文件所确定的施工工艺，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，从中辨识风险源。
    2. 根据工程项目实际情况，评估单元可以是分部工程、分项工程、工序（单位）作业，评估单元大小视风险评估具体需求而定。
    3. 隧道工程施工专项风险评估单元以单一的工程措施为对象，同时采取两种以上工程措施的，应结合工程实际进行工序分解。作业程序分解情况应作为风险评估过程的记录之一，公路隧道工程施工作业程序分解可参考表7。

表7 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 | 清表作业 |
| 挖掘作业 |
| 爆破作业 |
| 超前管棚 |
| 支护钢拱架 |
| 喷射混凝土 |
| 洞口边仰坡防护 | 危石清除 |
| 锚杆布设 |
| 混凝土框格施工 |
| 截排水沟施工 |
| 边坡植被 |
| 洞身开挖 | 钻爆作业 | 人工钻孔/凿岩车钻孔 |
| 装药与起爆 |
| 通风 |
| 危石清除（找顶） |
| 洞内运输 | 装渣 |
| 无轨运输/有轨运输 |
| 卸渣 |
| 爆破器材运输 |
| 洞身衬砌 | 初期支护 | 超前支护或超前小导管 |
| 打设锚杆 |
| 立拱架 |
| 铺设钢筋网 |
| 喷射混凝土 |
| 二次衬砌 | 铺设防水层 |

表8(续) 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 |
| --- | --- | --- |
| 洞身衬砌 | 二次衬砌 | 绑扎二次衬砌钢筋 |
| 浇筑二次衬砌混凝土 |
| 填充仰拱混凝土 |
| 隧道路面 | 基层面层 | （沥青）混凝土浇筑 |
| 养生 |
| 交通工程 | 交通安全设施 | 高处作业 |
| 机电设施 | 机电安装 |

* + 1. 施工作业程序分解后，应通过现场调查、评估小组讨论、专家咨询等方式，分析评估单元中可能发生的典型风险事件类型，形成风险辨识清单（见表9）。

表9 施工风险源辨识清单

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 风险源 | 判断依据 |
| 1 | 风险源1 |  |
| 2 | 风险源2 |  |
| … | … |  |
| *N* | 风险源*N* |  |

* + 1. 公路隧道工程施工的典型风险事件类型见附录B。
  1. 风险分析
     1. 评估小组应从人、机、料、法、环等方面对可能导致风险事件的风险源进行分析，分析风险源时可参考GB/T 6441找出可能导致风险事件发生的物的不安全状态和人的不安全行为。
     2. 对于物的不安全状态可能引起的风险事件，主要从地质条件、施工方案、施工环境、施工机械、自然灾害等方面分析。
     3. 对于人的不安全行为可能引起的风险事件，主要从操作错误、违反安全规程和管理缺陷等方面分析。
     4. 在隧道工程施工中，可能受到风险事件伤害的人员类型包括：作业人员自身、同一作业场所的其他作业人员、作业场所周围其他人员。
     5. 风险分析应通过评估小组讨论会的形式实施，宜采用风险传递路径法、鱼刺图法、故障树分析法等安全系统工程理论进行分析，风险分析的结果应填入表10。

表10 施工安全风险分析表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 风险源 | 潜在风险事件类型 | 原因1 | 原因2 | ∙∙∙ ∙∙∙ | 风险事件后果 |
| 风险源1 |  |  |  |  |  |
| 风险源2 |  |  |  |  |  |

表11(续) 施工安全风险分析表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 风险源 | 潜在风险事件类型 | 原因1 | 原因2 | ∙∙∙ ∙∙∙ | 风险事件后果 |
| … |  |  |  |  |  |
| 风险源*N* |  |  |  |  |  |

* 1. 风险估测
     1. 风险估测应采用定性或定量的方法对风险事件发生的可能性及严重程度进行估测。风险等级由风险事件可能性和风险事件严重程度组成的风险矩阵综合确定。
     2. 风险估测方法应结合施工组织设计、风险事件的特点等因素确定。
     3. 风险估测分为一般风险源风险估测和重大风险源风险估测，应对一般风险源风险估测中风险等级较高的风险源列为重大风险源，并开展重大风险源风险估测。
     4. 风险事件可能性的等级分成5级，见表12。

表12 风险事件可能性等级标准

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 概率范围 | 中心值 | 概率等级描述 | 概率等级 |
| ＞0.3 | 1 | 很可能 | Ⅰ |
| 0.03~0.3 | 0.1 | 可能 | Ⅱ |
| 0.003~0.03 | 0.01 | 偶然 | Ⅲ |
| 0.0003~0.003 | 0.001 | 可能性很小 | Ⅳ |
| ＜0.0003 | 0.0001 | 几乎不可能 | Ⅴ |

注：1. 当概率值难以取得时，可用频率代替概率。

2. 中心值代表所给区间的对数平均值对应的概率。

* + 1. 风险事件严重程度的等级分成5级，一般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严重程度等级。当多种后果同时产生时，应考虑人员伤亡、直接经济损失、社会影响、环境影响、工期延误，宜采用后果当量法确定风险事件严重程度等级。
       1. 人员伤亡程度等级划分应依据人员伤亡的类别和严重程度进行分级，见表13；直接经济损失程度等级划分可依据经济损失或经济损失占项目建安费的比例进行分级；对于工程造价较低的公路隧道工程，宜采用“经济损失占项目建安费的比例”进行判定。经济损失和经济损失占项目建安费的比例的等级划分见表14。

表13 人员伤亡程度等级标准

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 等级 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 定性描述 | 特大 | 重大 | 较大 | 一般 | 小 |
| 人员伤亡 | 死亡人数≥30或重伤人数≥100 | 10≤死亡人数<30或50≤重伤人数<100 | 3≤死亡人数<10或10≤重伤人数<50 | 1≤死亡人数<3 或5≤重伤人数<10 | 1≤重伤人数＜5 |

表14 直接经济损失程度等级标准

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 等级 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 定性描述 | 特大 | 重大 | 较大 | 一般 | 小 |
| 经济损失（*Z*）万元 | *Z*≥10000 | 5000≤*Z*＜10000 | 1000≤*Z*＜5000 | 100≤*Z*＜1000 | *Z*＜100 |
| 经济损失占项目建安费的比例（*pr*） | *pr*≥10% | 5%≤*pr*＜10% | 2%≤*pr*＜5% | 1%≤*pr*＜2% | *pr*＜1% |

* + - 1. 隧道工程风险事件严重程度后果当量按式（2）计算确定：

 （2）

式中：

*DC*—风险事件后果当量值；

*C*R—人员伤亡，*C*R1—死亡人数，*C*R2—重伤人数，*C*R3—轻伤人数，主要考虑评估区段的施工人员；

*C*Z—直接经济损失，万元，主要包括人身伤亡后所支出的费用（医疗费用、丧葬及抚恤费用、补助及救济费用、歇工工资）、善后处理费用（处理事故的事务性费用、现场抢救费用、清理现场费用、事故罚款和赔偿费用）和财产损失价值（固定资产损失价值、流动资产损失价值）；

*C*S—社会影响，取值见表15；

*C*H—环境影响，取值见表16；

*C*G—工期延误，月，取值见表18；

表15 社会影响当量取值表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 后果等级 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 社会影响 | 绝大部分群众有意见、反应强烈，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、反应较强烈，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、反应较强烈，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 | 1/2 | 0 |

表16 环境影响当量取值表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 后果等级 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 自然环境影响 | 涉及范围很大，周边生态环境发生严重污染或破坏 | 涉及范围较大，周边生态环境发生较重污染或破坏 | 涉及范围较小，邻近区域生态环境发生轻度污染或破坏 | 涉及范围很小，施工区域生态环境发生很小污染或破坏 | 施工区域生态环境基本不受影响 |

表17(续) 环境影响当量取值表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 后果等级 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 社会环境影响 | 对重要构筑物、水库、民房等影响严重 | 对重要构筑物、水库、民房等影响较大 | 对重要构筑物、水库、民房等影响较小 | 对重要构筑物、水库、民房等影响很小 | 对重要构筑物、水库、民房等无影响 |
| *C*H取值 | 10 | 3 | 1 | 1/2 | 0 |

表18 工期延误

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 后果等级 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 延误时间（月） | 非控制工期工程 | >24 | 12~24 | 6~12 | 1~6 | ≤1 |
| 控制工期工程 | >8 | 4~8 | 2~4 | 0.33~2 | ≤0.33 |
| *C*G取值 | | 24 | 12~24 | 6~12 | 1~6 | ≤1 |

计算得出风险事件后果当量*DC*值后，根据*DC*值对照表19确定发生风险事件的严重程度等级。

表19 风险事件严重程度等级标准

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 风险事件后果等级描述 | 风险事件严重程度等级 | 后果当量*DC* |
| 特大 | Ⅰ | *DC*≥30 |
| 重大 | Ⅱ | 10≤*DC*<30 |
| 较大 | Ⅲ | 3≤*DC*<10 |
| 一般 | Ⅳ | 1≤*DC*<3 |
| 小 | Ⅴ | *DC*<1 |

* + 1. 估测风险等级宜采用风险矩阵法将风险事件可能性和严重程度进行组合，专项风险等级见表20。

表20 专项风险等级标准

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 可能性等级 | | 严重程度等级 | | | | |
| 小 | 一般 | 较大 | 重大 | 特大 |
| Ⅴ | Ⅳ | Ⅲ | Ⅱ | Ⅰ |
| 很可能 | Ⅰ | 较大风险（Ⅱ） | 较大风险（Ⅱ） | 重大风险（Ⅰ） | 重大风险（Ⅰ） | 重大风险（Ⅰ） |
| 可能 | Ⅱ | 一般风险（Ⅲ） | 较大风险（Ⅱ） | 较大风险（Ⅱ） | 重大风险（Ⅰ） | 重大风险（Ⅰ） |
| 偶然 | Ⅲ | 一般风险（Ⅲ） | 一般风险（Ⅲ） | 较大风险（Ⅱ） | 较大风险（Ⅱ） | 重大风险（Ⅰ） |
| 可能性很小 | Ⅳ | 较小风险（Ⅳ） | 一般风险（Ⅲ） | 一般风险（Ⅲ） | 较大风险（Ⅱ） | 较大风险（Ⅱ） |
| 几乎不可能 | Ⅴ | 较小风险（Ⅳ） | 较小风险（Ⅳ） | 一般风险（Ⅲ） | 一般风险（Ⅲ） | 较大风险（Ⅱ） |

* + 1. 风险源估测结果应分别按照一般风险源和重大风险源进行汇总。
  1. 一般风险源风险估测
     1. 一般风险源风险估测宜采用定性（如检查表法）或半定量方法（如LEC法）。
     2. 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，对检查项目列表并逐项检查。
     3. LEC法根据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）、人员暴露于危险环境的频繁程度（E）、发生风险事件可能造成的后果（C）三种因素指标值的乘积进行风险估测，对于风险分值高于70分及以上的，列为重大风险源进行风险估测。
     4. 以列表方式汇总一般风险源风险等级，填入表21。

表21 一般风险源风险等级汇总表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 一般风险源 | 风险等级 | 评估理由 |
| 一般风险源1 |  |  |
| …… |  |  |
| 一般风险源*N* |  |  |

* 1. 重大风险源风险估测
     1. 一般要求
        1. 重大风险源风险估测可分为施工前重大风险源估测和施工过程重大风险源估测。
        2. 重大风险源风险估测应进行定量风险估测，分别估测风险事件可能性和严重程度，综合确定重大风险源风险等级。
        3. 评估风险事件严重程度宜采用后果当量法。
     2. 施工前重大风险源估测
        1. 风险事件可能性的估测方法应采用指标体系法。隧道洞口失稳、坍塌、涌水突泥、大变形、瓦斯爆炸、岩爆六个风险事件的可能性评估指标体系分别见附录A.1-A.6，评估过程中，可根据工程实际情况对现有评估指标进行适当增减，其它风险事件可借鉴参考建立相应的风险事件可能性评估指标体系。对于施工前专项风险评估指标体系中指标分值范围的确定，宜采用固定指标，并重点考虑各指标的相互影响。
        2. 根据双连拱隧道、小净距隧道、分离式隧道等隧道类型和地质、水文、气象等相关资料完整性对隧道的影响程度，可按照表22对风险事件可能性评估分值进行修正。

表22 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

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 隧道类型  *D*1 | 双连拱隧道 | 1.05 | 根据地勘资料、设计文件确定 |
| 小净距隧道 | 1.02 |
| 分离式隧道 | 1.00 |
| 资料完整性  *D*2 | 地质、水文、气象等相关资料不完整 | 1.05 | 根据地勘资料、设计文件确定 |
| 地质、水文、气象等相关资料基本完整 | 1.02 |
| 地质、水文、气象等相关资料完整 | 1.00 |

* + - 1. 隧道洞口失稳风险事件的可能性，应按隧道主线、斜井、竖井洞口工程条件分别确定评估区段，具体评估指标体系见附录表A.1。隧道施工前洞口失稳风险事件可能性分值计算公式为：

 （3）

式中：

*P*—隧道施工前洞口失稳风险事件可能性评估分值；

*D*1—隧道类型对隧道施工前洞口失稳风险事件可能性的修正系数；

*D*2—工程资料完整性对隧道施工前洞口失稳风险事件可能性的修正系数；

*X*11—隧道开挖跨度所赋分值；

*X*21—洞口浅埋段长度所赋分值；

*X*22—洞口偏压角度所赋分值；

*X*31—围岩级别所赋分值；

*X*32—坡体结构所赋分值；

*X*41—年均降水量所赋分值。

计算结果应四舍五入为整数。分值大小确定后，对照表23确定隧道洞口失稳风险事件可能性等级。

表23 隧道施工前洞口失稳风险事件可能性等级标准

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 计算分值 | 风险事件可能性描述 | 等级 |
| *P*≥40 | 很可能 | Ⅰ |
| 25≤*P*<40 | 可能 | Ⅱ |
| 15≤*P*<25 | 偶然 | Ⅲ |
| 5≤*P*<15 | 可能性很小 | Ⅳ |
| *P*<5 | 几乎不可能 | Ⅴ |

* + - 1. 隧道坍塌风险事件的可能性，应按隧道围岩等级确定评估区段，具体评估指标体系见附录表A.2。隧道施工前评估区段坍塌风险事件可能性分值计算公式为：

 （4）

式中：

*P*—隧道施工前坍塌风险事件可能性评估分值；

*D*1—隧道类型对隧道施工前坍塌风险事件可能性的修正系数；

*D*2—工程资料完整性对隧道施工前坍塌风险事件可能性的修正系数；

*X*11—隧道开挖跨度所赋分值；

*X*21—浅埋隧道偏压角度所赋分值；

*X*31—围岩级别所赋分值；

*X*32—断层破碎带宽度所赋分值；

*X*33—优势结构面倾角所赋分值；

*X*41—预测涌水量所赋分值。

计算结果应四舍五入为整数。分值大小确定后，对照表24确定隧道坍塌风险事件可能性等级。

表24 隧道施工前坍塌风险事件可能性等级标准

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 计算分值 | 风险事件可能性描述 | 等级 |
| *P*≥50 | 很可能 | Ⅰ |
| 35≤*P*<50 | 可能 | Ⅱ |
| 20≤*P*<35 | 偶然 | Ⅲ |
| 10≤*P*<20 | 可能性很小 | Ⅳ |
| *P*<10 | 几乎不可能 | Ⅴ |

* + - 1. 隧道涌水突泥风险事件的可能性，应按隧道工程水文地质条件确定评估区段，具体评估指标体系见附录表A.3。隧道施工前涌水突泥风险事件可能性分值计算公式为：

 （5）

式中：

*P*—隧道施工前涌水突泥风险事件可能性评估分值；

*D*1—隧道类型对隧道施工前涌水突泥风险事件可能性的修正系数；

*D*2—工程资料完整性对隧道施工前涌水突泥风险事件可能性的修正系数；

*X*11—不良地质所赋分值；

*X*12—岩溶发育程度所赋分值；

*X*21—预测涌水量所赋分值；

*X*31—周围水体情况所赋分值。

计算结果应四舍五入为整数。分值大小确定后，对照表25确定隧道涌水突泥风险事件可能性等级。

表25 隧道施工前涌水突泥风险事件可能性等级标准

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 计算分值 | 风险事件可能性描述 | 等级 |
| *P*≥40 | 很可能 | Ⅰ |
| 30≤*P*<40 | 可能 | Ⅱ |
| 15≤*P*<30 | 偶然 | Ⅲ |
| 5≤*P*<15 | 可能性很小 | Ⅳ |
| *P*<5 | 几乎不可能 | Ⅴ |

* + - 1. 隧道大变形风险事件的可能性，应按隧道围岩等级确定评估区段，具体评估指标见附录表A.4。隧道施工前大变形风险事件可能性分值计算公式为：

 （6）

式中：

*P*—隧道施工前大变形风险事件可能性评估分值；

*D*1—隧道类型对隧道施工前大变形风险事件可能性的修正系数；

*D*2—工程资料完整性对隧道施工前大变形风险事件可能性的修正系数；

*X*11—隧道开挖跨度所赋分值；

*X*21—浅埋隧道偏压角度所赋分值；

*X*31—围岩级别所赋分值；

*X*32—断层破碎带宽度所赋分值；

*X*33—地应力所赋分值；

*X*41—预测涌水量所赋分值。

计算结果应四舍五入为整数。分值大小确定后，对照表26确定隧道大变形风险事件可能性等级。

表26 隧道施工前大变形风险事件可能性等级标准

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 计算分值 | 风险事件可能性描述 | 等级 |
| *P*≥40 | 很可能 | Ⅰ |
| 30≤*P*<40 | 可能 | Ⅱ |
| 20≤*P*<30 | 偶然 | Ⅲ |
| 10≤*P*<20 | 可能性很小 | Ⅳ |
| *P*<10 | 几乎不可能 | Ⅴ |

* + - 1. 隧道瓦斯爆炸风险事件的可能性，应将整段隧道作为评估区段，具体评估指标见附录表A.5。隧道施工前瓦斯爆炸风险事件可能性分值计算公式为：

 （7）

式中：

*P*—隧道施工前瓦斯爆炸风险事件可能性评估分值；

*D*1—隧道类型对隧道施工前瓦斯爆炸风险事件可能性的修正系数；

*D*2—工程资料完整性对隧道施工前瓦斯爆炸风险事件可能性的修正系数；

*X*11—煤层厚度所赋分值；

*X*12—隧道距煤层距离所赋分值；

*X*21—预测瓦斯压力所赋分值；

*X*22—预测瓦斯涌出量所赋分值。

计算结果应四舍五入为整数。分值大小确定后，对照表27确定隧道瓦斯爆炸风险事件可能性等级。

表27 隧道施工前瓦斯爆炸风险事件可能性等级标准

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 计算分值 | 风险事件可能性描述 | 等级 |
| *P*≥20 | 很可能 | Ⅰ |
| 15≤*P*<20 | 可能 | Ⅱ |
| 10≤*P*<15 | 偶然 | Ⅲ |
| 5≤*P*<10 | 可能性很小 | Ⅳ |
| *P*<5 | 几乎不可能 | Ⅴ |

* + - 1. 隧道岩爆风险事件的可能性，应按围岩等级确定评估区段，具体评估指标见附录表A.6。隧道施工前岩爆风险事件可能性分值计算公式为：

 （8）

式中：

*P*—隧道施工前岩爆风险事件可能性评估分值；

*D*1—隧道类型对隧道施工前岩爆风险事件可能性的修正系数；

*D*2—工程资料完整性对隧道施工前岩爆风险事件可能性的修正系数；

*X*11—地应力所赋分值；

*X*21—岩体质量指标所赋分值；

*X*22—岩石单轴饱和抗压强度所赋分值。

计算结果应四舍五入为整数。分值大小确定后，对照表28确定隧道岩爆风险事件可能性等级。

表28 隧道施工前岩爆风险事件可能性等级标准

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 计算分值 | 风险事件可能性描述 | 等级 |
| *P*≥20 | 很可能 | Ⅰ |
| 15≤*P*<20 | 可能 | Ⅱ |
| 10≤*P*<15 | 偶然 | Ⅲ |
| 5≤*P*<10 | 可能性很小 | Ⅳ |
| *P*<5 | 几乎不可能 | Ⅴ |

* + 1. 施工过程重大风险源估测
       1. 隧道洞口失稳、坍塌、涌水突泥、大变形、瓦斯爆炸、岩爆六个施工过程风险事件可能性评估指标体系分别见附录A.7-A.12。评估过程中，可根据工程实际情况对现有评估指标进行适当增减，施工过程中的其它风险事件可借鉴参考建立相应的风险事件可能性评估指标体系。对于施工过程专项风险评估指标体系中指标分值范围的确定，宜结合动态评估的原则，采用灵活指标、重点考虑各指标对风险事件影响的重要程度。
       2. 风险事件可能性估测应采用重要性排序法，根据工程实际情况对现有评估指标进行筛选，将各评估指标按重要性从高到低依次进行排序，权重系数按公式（9）计算。各评估指标的权重系数按附录A.13选取。

 （9）

式中：

*γ*—权重系数；

*n*—评估指标项数；

*m*—重要性排序号，*m*≤*n*。

* + - 1. 施工过程重大风险源风险事件可能性大小应按式（10）、（11）计算：

 （10）

 （11）

式中：

*P*—风险事件可能性评估分值；

*Xij*—评估指标的分值，*i*=1、2、……、*m*，*j*=1、2、……、*n*；*m*为项别的数量，*n*为对应第*i*个项别包括的评估指标的数量；

*Rij*—评估指标的基本分值；

*γij*—评估指标的权重系数。

根据计算得到的*P*值对照相应的风险事件可能性等级标准(见表29)确定可能性等级。

表29 施工过程风险事件可能性等级标准

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 计算分值 | 风险事件可能性描述 | 可能性等级 |
| *P*≥60 | 很可能 | Ⅰ |
| 50≤*P*<60 | 可能 | Ⅱ |
| 40≤*P*<50 | 偶然 | Ⅲ |
| 30≤*P*<40 | 可能性很小 | Ⅳ |
| *P*<30 | 几乎不可能 | Ⅴ |

注：1.根据工程风险的具体情况，结合地区经验，可对表29的数值区间进行适当调整。

2.若出现1个或多个重要性指标（评估小组集体讨论确定）取最大值，应调高一个风险等级。

* + 1. 对于施工区段特别复杂的隧道，施工过程重大风险源估测应结合地质预报、监控量测结果，利用数值模拟等手段，采用层次分析法、未确知测度法等综合判定方法（层次分析法、未确知测度法基本步骤参见附录C）。
    2. 根据风险事件发生的可能性、严重程度等级，宜采用风险矩阵法确定重大风险源的施工安全风险等级，划分标准见表14。将专项风险评估的风险等级用不同颜色在施工形象进度图中标识出来，形成施工安全风险分布图，并附于评估报告中，同时以列表方式将不同施工区段的重大风险源列表说明，填入表30。

表30 重大风险源风险等级汇总表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 重大风险源 | 风险事件可能性等级 | 风险事件后果 | | | | | | 风险事件严重程度等级 | 风险等级 | 评定理由 |
| 人员  伤亡 | 直接经  济损失 | 社会影  响 | 环境影  响 | 工期延  长 | 后果当量 |
| 风险源1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 风险源2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| … |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 风险源N |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

1. 风险控制
   1. 一般要求
      1. 根据总体风险评估结果与接受准则，表31明确了风险控制对策。

表31 总体风险评估接受准则与控制对策

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 风险等级 | 接受  准则 | 控制对策 |
| 较小风险  （Ⅳ级） | 可忽略 | 不需采取特别的风险防控措施 |
| 一般风险  （Ⅲ级） | 可接受 | 需采取风险防控措施，加强安全管理力量，严格日常安全生产管理工作 |

表32(续) 总体风险评估接受准则与控制对策

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 风险等级 | 接受  准则 | 控制对策 |
| 较大风险  （Ⅱ级） | 不期望 | 必须采取措施降低风险，采取加大安全管理力量投入、强化安全资源配置、选择有经验及自控能力强的施工单位、增加工程保险投保等措施 |
| 重大风险  （Ⅰ级） | 不可  接受 | 必须采取一整套的措施降低风险，优化工程设计、改进施工工艺，高度重视项目的后续组织实施，采取加大安全管理力量和资金投入、强化安全资源配置、选择有经验及自控能力强的施工单位、增加工程保险投保等措施 |

* + 1. 根据专项风险评估结果与接受准则，提出风险控制对策；根据不同的风险等级提出分级控制措施，确定层级责任和责任人，实施现场管理和监控预警，各等级风险控制措施建议见表33。s

表33 专项风险接受准则与控制对策

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 风险等级 | 接受  准则 | 控制对策 | 分级控制措施 | | | |
| 较小风险  （Ⅳ级） | 可忽略 | 不需采取特别的风险防控措施 | 日常管理 |  |  |  |
| 一般风险  （Ⅲ级） | 可接受 | 需采取风险防控措施，严格日常安全生产管理，加强现场巡视 | 日常管理 | 监控预警 | 专项整治 |  |
| 较大风险  （Ⅱ级） | 不期望 | 必须采取措施降低风险，将风险至少降低到可接受的程度 | 日常管理 | 监控预警 | 多方面专项整治 | 应急准备 |
| 重大风险  （Ⅰ级） | 不可  接受 | 应暂停施工；同时必须采取措施，综合考虑风险成本、工期及规避效果等，按照最优原则，将风险至少降低到可接受的程度，并加强监测和应急准备 | 日常管理 | 监控预警 | 暂停施工、全面整治 | 应急准备 |

* 1. 风险控制措施
     1. 总体风险评估应重点提出风险控制的方向与总体思路，以及安全管理力量投入、资源（财、物）配置、对施工单位的要求。
     2. 专项风险评估应针对重大风险源提出系统全面、重点突出的控制措施建议，作为现场安全管理、专项施工方案编制和完善应急处置的依据。专项风险评估中风险等级为较大风险（Ⅱ级）及以上时，应分析主控因素指标，提出具有针对性的措施。
     3. 应按照专项风险评估的结论，充分考虑工程实际情况，按照不同风险等级，制定适宜的重大风险源风险控制措施，典型的重大风险源控制措施建议可参见附录D。
     4. 施工前和施工期间宜采取的风险控制措施包括调整施工方案、加强安全措施等。
     5. 调整施工方案主要包括：

a）合理调整施工顺序。对施工工序从时间顺序和空间次序上进行合理调整或优化，降低施工风险；

b）改进施工工艺。从专用设备、施工方法、工艺参数上改进，预防和减少发生事故。

* + 1. 加强安全措施，除应执行现行的有关标准、规范外，还应根据实际工程特点，采取有效、可操作性强的安全措施，降低施工安全风险。主要包括安全管理措施、安全替代措施、应急救援措施。
  1. 风险控制预期效果评估
     1. 专项风险评估风险等级为较大风险（Ⅱ级）及以上的隧道施工区段，应开展风险控制预期效果评估。
     2. 风险控制措施制定完成后应结合专项施工方案进行预期风险效果评估。专家组根据典型施工情况，针对风险控制措施，对照附录B（公路隧道工程施工的典型风险事件类型），对采取措施后的风险事件可能性以及严重程度进行集体评定，在此基础上通过风险矩阵法，确定采取措施后预期风险的等级。
     3. 风险控制预期效果评估报告宜以报表形式反映，报表中应包含风险控制措施的制定情况、采取措施后预期风险的等级、完善风险控制措施的建议等。

1. 风险评估报告编制
   1. 一般要求
      1. 风险评估报告应反映风险评估过程的全部工作，风险评估过程中的工作记录、采用的评估方法、获得的评估结果、推荐的控制措施等均应写入评估报告，具体格式见附录E。
      2. 风险评估报告应客观科学、内容全面、文字简洁、数据完整，提出的风险控制措施具有可操作性。
      3. 总体风险评估和专项风险评估的最终报告应进行归档管理。
   2. 风险评估报告编制内容
      1. 总体风险评估报告应包括以下内容：

a）编制依据：

1）行业相关风险管理的法律法规及制度文件；

2）相关的国家和行业标准、规范；

3）项目立项批复文件；

4）项目可行性研究报告、工程地质勘察报告、初步设计文件、施工图设计文件等；

5）现场调查资料。

b）工程概况；

c）评估过程和评估方法；

d）评估内容；

e）控制措施建议；

f）评估结论：

1）风险等级；

2）专项风险评估对象；

3）风险控制措施建议；

4）评估结果自我评价及遗留问题说明。

g）附件（评估计算过程、评估人员信息表等）。

* + 1. 施工前专项风险评估报告应包括以下内容：

a）编制依据：

1）行业相关风险管理的法律法规及制度文件；

2）相关的国家和行业标准、规范；

3）项目可行性研究报告、工程地质勘察报告、初步设计文件、施工图设计文件以及审查意见等；

4）总体风险评估成果及工程前期的风险评估成果；

5）现场调查资料；

6）现场检测监测资料。

b）工程概况；

c）评估过程和评估方法；

d）评估内容；

e）风险控制措施建议；

f）评估结论：

1）风险源风险等级汇总；

2）重要性指标清单；

3）风险预控措施建议；

4）评估结果自我评价及遗留问题说明。

g）附件（评估计算过程、评估人员信息表等）。

* + 1. 施工过程专项风险评估应形成评估报告，除与施工前专项风险评估报告相同内容外， 还应包括以下内容：

a）重大风险源变化情况；

b）重新评估的风险等级及计算过程；

c）拟推荐的风险控制措施；

d）风险控制措施建议。

* + 1. 风险评估报告应按以下格式编排：

a）封面与扉页（包括评估项目名称、报告完成日期、评估小组组长签名）；

b）著录项（评估人员名单，并应亲笔签名）；

c）目录；

d）编制说明；

e）正文；

f）附件。

* + 1. 风险控制预期效果评估宜形成评价报表，报表格式由评估小组自定，应包括以下内容：

a）拟定的风险控制措施；

b）重新评估的风险等级；

c）风险控制措施的完善建议；

d）评估人员信息表。

* 1. 风险评估报告评审
     1. 总体风险评估报告或专项风险评估报告（包括施工前专项风险评估报告、施工过程专项风险评估报告和风险控制预期效果评价报表）编制完成后，应组织专家评审。其中，风险控制预期效果评价报表宜纳入专项施工方案一并评审。
     2. 总体风险评估报告应由建设单位组织评审，专项风险评估报告应由施工单位组织评审。采用专家评审的，评审专家不应少于5人，专家应具有丰富的隧道工程勘察、设计、施工、管理等相关经验。

附录A

**（资料性附录）**

**专项风险评估指标体系**

表A.1~表A.6为公路隧道工程施工前洞口失稳、坍塌、涌水突泥、大变形、瓦斯爆炸、岩爆等6类风险事件可能性评估指标体系 (各指标体系中评估指标的分级取值原则为下限值可取、上限值不可取。)。

表A.1 隧道施工前洞口失稳风险事件可能性评估指标体系

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项别 | 评估指标 | 分级 | 分值范围 | 说明 |
| 建设规模*X*1 | 隧道开挖跨度*X*11 | ≥18m | 10~12 | 根据设计文件确定（仅考虑主隧道开挖跨度） |
| 14m~18m | 7~9 |
| 9m~14m | 4~6 |
| <9m | 0~3 |
| 地形特征*X*2 | 洞口浅埋段长度*X*21 | ≥50m | 6~7 | 根据地勘资料、设计文件确定 |
| 40m~50m | 4~5 |
| 30m~40m | 2~3 |
| <30m | 0~1 |
| 洞口偏压角度*X*22 | ≥45° | 1.3 | 依据设计文件确定 |
| 30°~45° | 1.2 |
| 15°~30° | 1.1 |
| <15° | 1.0 |
| 地质条件*X*3 | 围岩级别（[BQ]值）*X*31 | Ⅴ级（<250）、土体 | 1.5 | 根据设计文件确定 |
| Ⅳ级（251~350） | 1.3 |
| Ⅲ级（351~450） | 1.1 |
| Ⅰ、Ⅱ级（≥451） | 1.0 |
| 坡体结构*X*32 | 存在古滑坡体 | 1.5 | 根据地勘资料、设计文件、现场勘查确定 |
| 缓顺向坡（坡角大于岩层倾角，同时岩层倾角大于15°） | 1.3 |
| 斜交坡 | 1.1 |
| 横交坡 | 1.0 |
| 气象条件*X*4 | 年均降水量*X*41 | ≥1000mm | 1.20 | 根据气象资料确定（近5年降水量平均值） |
| 600mm~1000mm | 1.10 |
| 300mm~600mm | 1.05 |
| <300mm | 1.00 |

表A.2 隧道施工前坍塌风险事件可能性评估指标体系

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项别 | 评估指标 | 分级 | 分值范围 | 说明 |
| 建设规模*X*1 | 隧道开挖跨度*X*11 | ≥18m | 10~12 | 根据设计文件确定（仅考虑主隧道开挖跨度） |
| 14m~18m | 7~9 |
| 9m~14m | 4~6 |
| <9m | 1~3 |
| 地形特征*X*2 | 浅埋隧道偏压角度*X*21 | ≥45° | 5~6 | 依据设计文件确定 |
| 30°~45° | 3~4 |
| 15°~30° | 2 |
| <15° | 1 |
| 地质条件*X*3 | 围岩级别（[BQ]值）  *X*31 | Ⅴ级（<250）、土体 | 10~12 | 根据设计文件确定 |
| Ⅳ级（251~350） | 7~9 |
| Ⅲ级（351~450） | 4~6 |
| Ⅰ、Ⅱ级（≥451） | 1 |
| 断层破碎带宽度*X*32 | 断层破碎带宽度≥50m | 1.3 | 根据地勘资料、设计文件确定 |
| 断层破碎带宽度20m~50m | 1.2 |
| 断层破碎带宽度<20m | 1.1 |
| 不存在断层破碎带 | 1.0 |
| 优势结构面倾角*X*33 | 0°~25° | 1.3 | 指岩体中满足一定优势指标(结构面的性质、数量、规模和分形等优势指标)，对岩体稳定性起控制作用的结构面，根据地勘资料、设计文件确定 |
| 25°~55° | 1.2 |
| 55°~70° | 1.1 |
| 70°~90° | 1.0 |
| 水文地质条件*X*4 | 预测涌水量*X*41 | ≥20000m3/d | 1.3 | 根据设计文件确定 |
| 10000m3/d~20000m3/d | 1.2 |
| 2000m3/d~10000m3/d | 1.1 |
| <2000m3/d | 1.0 |

表A.3 隧道施工前涌水突泥风险事件可能性评估指标体系

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项别 | 评估指标 | 分级 | 分值范围 | 说明 |
| 地质条件*X*1 | 不良地质*X*11 | 隧道附近底板上方存在大型含导水构造，或隧道附近存在大型承压含导水构造 | 2 | 根据设计文件确定 |
| 隧道附近底板上方存在中型含导水构造或下方存在大型含导水构造，或隧道附近存在中型承压含导水构造 | 1.5 |
| 隧道附近底板上方存在小型含导水构造，下方存在中型含导水构造，或隧道附近存在小型承压含导水构造 | 1 |
| 隧道附近底板下方存在小型含导水构造 | 0.5 |
| 岩溶发育程度*X*12 | 岩溶极发育，存在宽大岩溶洞穴、地下暗河、塌陷坑等 | 2 | 根据设计文件确定 |
| 岩溶发育，存在宽大岩溶发育带或大岩溶洞穴 | 1.5 |
| 岩溶较发育，存在岩溶裂隙带或较大岩溶洞穴 | 1 |
| 岩溶不发育，存在岩溶裂隙、小溶洞发育 | 0.5 |
| 水文地质条件*X*2 | 预测涌水量*X*21 | ≥20000m3/d | 10~12 | 根据设计文件确定 |
| 10000m3/d~20000m3/d | 7~9 |
| 2000m3/d~10000m3/d | 4~6 |
| <2000m3/d | 0~3 |
| 环境条件*X*3 | 周围水体情况*X*31 | 隧道上方地表存在湖泊、河流、水库等水体 | 1.2 | 根据现场调查情况确定（综合考虑降雨量和地表径流） |
| 隧道附近存在补给性水体 | 1.1 |
| 隧道周围不存在补给性水体 | 1.0 |

表A.4 隧道施工前大变形风险事件可能性评估指标体系

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项别 | 评估指标 | 分级 | 分值范围 | 说明 |
| 建设规模*X*1 | 隧道开挖跨度*X*11 | ≥18m | 10~12 | 根据设计文件确定（仅考虑主隧道开挖跨度） |
| 14m~18m | 7~9 |
| 9m~14m | 4~6 |
| <9m | 1~3 |
| 地形特征*X*2 | 浅埋隧道偏压角度*X*21 | ≥45° | 5~6 | 依据设计文件确定 |
| 30°~45° | 3~4 |
| 15°~30° | 2 |
| <15° | 1 |
| 地质条件*X*3 | 围岩级别（[BQ]值）  *X*31 | Ⅴ级（<250）、土体 | 10~12 | 根据设计文件确定 |
| Ⅳ级（251~350） | 7~9 |
| Ⅲ级（351~450） | 4~6 |
| Ⅰ、Ⅱ级（≥451） | 1 |
| 断层破碎带宽度*X*32 | 断层破碎带宽度≥50m | 1.3 | 根据地勘资料、设计文件确定 |
| 断层破碎带宽度20m~50m | 1.2 |
| 断层破碎带宽度<20m | 1.1 |
| 不存在断层破碎带 | 1.0 |
| 地应力  *X*33 | ＞20MPa | 5~6 | 根据地勘资料、设计文件确定 |
| 13MPa~20MPa | 3~4 |
| 7MPa~13MPa | 2 |
| <7MPa | 1 |
| 水文地质条件*X*4 | 预测涌水量*X*41 | ≥20000m3/d | 1.15 | 根据设计文件确定 |
| 10000m3/d~20000m3/d | 1.1 |
| 2000m3/d~10000m3/d | 1.05 |
| <2000m3/d | 1.0 |

表A.5 隧道施工前瓦斯爆炸风险事件可能性评估指标体系

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项别 | 评估指标 | 分级 | 分值范围 | 说明 |
| 地质条件*X*1 | 煤层厚度*X*11 | ≥10m | 7~9 | — |
| 5m~10m | 5 |
| 2m~5m | 3 |
| <2m | 1 |
| 隧道距煤层距离*X*12 | 0m~20m | 1 | 最小直线距离 |
| 20m~80m | 0.8 |
| 80m~150m | 0.4 |
| ≥150m | 0 |
| 瓦斯因素*X*2 | 预测瓦斯压力*X*21 | ≥0.74MPa | 1.4~1.5 | 开挖扰动前的地层中瓦斯压力 |
| 0.35MPa~0.74MPa | 1.3 |
| 0.1MPa~0.35MPa | 1.2 |
| 0MPa~0.1MPa | 1.1 |
| 预测瓦斯涌出量*X*22 | ≥1m3/min | 10~12 | 单位时间内从煤或岩层、采落的煤（岩）涌出的瓦斯量 |
| 0.5m3/min~1m3/min | 7~9 |
| <0.5m3/min | 4~6 |

表A.6 隧道施工前岩爆风险事件可能性评估指标体系

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项别 | 评估指标 | 分级 | 分值范围 | 说明 |
| 地质条件*X*1 | 地应力*X*11 | ≥40MPa | 10~12 | 根据设计文件确定 |
| 20MPa~40MPa | 7~9 |
| 10MPa~20MPa | 4~6 |
| <10MPa | 0~3 |
| 岩性因素*X*2 | 岩体质量指标*RQD* *X*21 | ≥70% | 1.3 | 根据地勘资料、设计文件确定 |
| 50%~70% | 1.2 |
| 25%~50% | 1.1 |
| <25% | 1.0 |
| 岩石单轴饱和抗压强度*X*22 | ≥100MPa | 1.4~1.6 | 根据地勘资料、设计文件确定 |
| 60MPa~100MPa | 1.2 |
| <60MPa | 1.0 |

表A.7~表A.12为公路隧道工程施工过程中洞口失稳、坍塌、涌水突泥、大变形、瓦斯爆炸、岩爆等6类风险事件可能性评估指标体系 (各指标体系中评估指标的分级取值原则为下限值可取、上限值不可取) 。

表A.7 隧道施工过程洞口失稳风险事件可能性评估指标体系

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项别 | 评估指标 | 分级 | 基本分值(*Rij*) | | 权重  系数  (*γ*ij) | 评估  分值  (*X*ij) | 说明 |
| 分值范围 | 取值 |
| 建设规模*X*1 | 隧道开挖跨度*X*11 | ≥18m | 75<*Rij*≤100 | *R*11 | *γ*11 | *X*11= *R*11×*γ*11 | 根据设计文件确定 |
| 14m~18m | 50<*Rij*≤75 |
| 9m~14m | 25<*Rij*≤50 |
| <9m | 0<*Rij*≤25 |
| 地形特征*X*2 | 洞口浅埋段长度  *X*21 | ≥50m | 75<*Rij*≤100 | *R*21 | *γ*21 | *X*21= *R*21×*γ*21 | 根据地勘资料、设计文件确定 |
| 40m~50m | 50<*Rij*≤75 |
| 30m~40m | 25<*Rij*≤50 |
| ＜30m | 0<*Rij*≤25 |
| 洞口偏压角度*X*22 | ≥45° | 75<*Rij*≤100 | *R*22 | *γ*22 | *X*22= *R*22×*γ*22 | 依据设计文件确定 |
| 30°~45° | 50<*Rij*≤75 |
| 15°~30° | 25<*Rij*≤50 |
| <15° | 0<*Rij*≤25 |
| 地质条件*X*3 | 围岩级别([*BQ*]值)  *X*31 | Ⅴ级（<250）、土体 | 75<*Rij*≤100 | *R*31 | *γ*31 | *X*31=  *R*31×*γ*31 | 依据设计文件、现场条件确定 |
| Ⅳ级（251~350） | 50<*Rij*≤75 |
| Ⅲ级（351~450） | 25<*Rij*≤50 |
| Ⅰ、Ⅱ级（≥451） | 0<*Rij*≤25 |
| 坡体结构*X*32 | 存在古滑坡体 | 75<*Rij*≤100 | *R*32 | *γ*32 | *X*32=  *R*32×*γ*32 | 根据地勘资料、设计文件、现场勘查确定 |
| 缓顺向坡(坡角大于岩层倾角，同时岩层倾角大于15°) | 50<*Rij*≤75 |
| 斜交坡 | 25<*Rij*≤50 |
| 横交坡 | 0<*Rij*≤25 |
| 气象条件*X*4 | 年均降水量*X*41 | ≥1000mm | 75<*Rij*≤100 | *R*41 | *γ*41 | *X*41= *R*41×*γ*41 | 根据气象资料确定（近5年降水量平均值） |
| 600mm~1000mm | 50<*Rij*≤75 |
| 300mm~600mm | 25<*Rij*≤50 |
| <300mm | 0<*Rij*≤25 |

表A.7（续） 隧道施工过程洞口失稳风险事件可能性评估指标体系

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项别 | 评估指标 | 分级 | 基本分值(*R*ij) | | 权重  系数  (*γ*ij) | 评估  分值  (*X*ij) | 说明 |
| 分值范围 | 取值 |
| 超前预报与监测*X*5 | 相对变形值(*u/B*)*X*51 | 强烈变形≥4% | 75<*Rij*≤100 | *R*51 | *γ*51 | *X*51=  *R*51×*γ*51 | *u*为隧道最大变形位移（拱、帮），*B*为隧道等效半径 |
| 高度变形3%~4% | 50<*Rij*≤75 |
| 中度变形2%~3% | 25<*Rij*≤50 |
| 轻微变形1%~2% | 0<*Rij*≤25 |
| 监控量测  方案*X*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<*Rij*≤100 | *R*52 | *γ*52 | *X*52=  *R*52×*γ*52 | 根据现场调查情况判定 |
| 量测频率较低、有一定必测项目，但不全面、信息反馈较差 | 50<*Rij*≤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<*Rij*≤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<*Rij*≤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 | 0 |

表A.8 隧道施工过程坍塌风险事件可能性评估指标体系

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项别 | 评估指标 | 分级 | 基本分值(*R*ij) | | 权重系数(*γ*ij) | 评估  分值  (*X*ij) | 说明 |
| 分值范围 | 取值 |
| 建设规模*X*1 | 隧道开挖跨度*X*11 | ≥18m | 75<*Rij*≤100 | *R*11 | *γ*11 | *X*11=  *R*11×*γ*11 | 根据设计文件确定 |
| 14m~18m | 50<*Rij*≤75 |
| 9m~14m | 25<*Rij*≤50 |
| <9m | 0<*Rij*≤25 |
| 地形特征  *X*2 | 隧道埋深*X*21 | ≥800m | 75<*Rij*≤100 | *R*21 | *γ*21 | *X*21=  *R*21×*γ*21 | 根据设计文件、现场条件确定 |
| 500m~800m | 50<*Rij*≤75 |
| 200m~500m | 25<*Rij*≤50 |
| <200m | 0<*Rij*≤25 |
| 浅埋隧道偏压角度*X*22 | ≥45° | 75<*Rij*≤100 | *R*22 | *γ*22 | *X*22=  *R*22×*γ*22 | 根据设计文件、现场条件确定 |
| 30°~45° | 50<*Rij*≤75 |
| 15°~30° | 25<*Rij*≤50 |
| <15° | 0<*Rij*≤25 |
| 地质条件  *X*3 | 围岩级别([BQ]值)  *X*31 | Ⅴ级（<250）、土体 | 75<*Rij*≤100 | *R*31 | *γ*31 | *X*31=  *R*31×*γ*31 | 根据设计文件、现场条件确定 |
| Ⅳ级（251~350） | 50<*Rij*≤75 |
| Ⅲ级（351~450） | 25<*Rij*≤50 |
| Ⅰ、Ⅱ级（≥451） | 0<*Rij*≤25 |
| 断层破碎带宽度*X*32 | 断层破碎带宽度≥50m | 75<*Rij*≤100 | *R*32 | *γ*32 | *X*32=  *R*32×*γ*32 | 根据地勘资料、设计文件、现场条件确定 |
| 断层破碎带宽度20m~50m | 50<*Rij*≤75 |
| 断层破碎带宽度<20m | 25<*Rij*≤50 |
| 不存在断层破碎带 | 0 |
| 断层破碎带胶结程度*X*33 | 严重松弛胶结碎裂结构 | 75<*Rij*≤100 | *R*33 | *γ*33 | *X*33=  *R*33×*γ*33 | 根据地勘资料、设计文件、现场条件确定 |
| 松弛的胶结碎裂结构 | 50<*Rij*≤75 |
| 轻度松弛的胶结碎裂结构 | 25<*Rij*≤50 |
| 紧密的胶结碎裂结构 | 0<*Rij*≤25 |
| 优势结构面倾角*X*34 | 0°~25° | 75<*Rij*≤100 | *R*34 | *γ*34 | *X*34=  *R*34×*γ*34 | 根据现场条件确定 |
| 25°~55° | 50<*Rij*≤75 |
| 55°~70° | 25<*Rij*≤50 |
| 70°~90° | 0<*Rij*≤25 |

表A.8（续） 隧道施工过程坍塌风险事件可能性评估指标体系

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项别 | 评估指标 | 分级 | 基本分值(*R*ij) | | 权重系数(*γi*j) | 评估  分值  (*X*ij) | 说明 |
| 分值范围 | 取值 |
| 水文地质条件*X*4 | 地下涌水情况  *X*41 | 每10m长隧道涌水量≥125L/min | 75<*Rij*≤100 | *R*41 | *γ*41 | *X*41=  *R*41×*γ*41 | 根据现场调查情况确定。注：每10m长隧道涌水量=隧道二衬至掌子面总出水量÷掌子面距二衬的距离×10 |
| 每10m长隧道涌水量25L/min~125L/min | 50<*Rij*≤75 |
| 每10m长隧道涌水量10L/min~25L/min | 25<*Rij*≤50 |
| 每10m长隧道涌水量<10L/min | 0<*Rij*≤25 |
| 施工因素*X*5 | 衬砌安全距离*X*51 | Ⅳ级围岩二次衬砌距掌子面距离110m以上，Ⅴ级围岩90m以上 | 75<*Rij*≤100 | *R*51 | *γ*51 | *X*51=  *R*51×*γ*51 | 根据实际施工情况确定, 建议用线性内插法确定 |
| Ⅳ级围岩二次衬砌距掌子面距离90m~110m，Ⅴ级围岩70m~90m | 50<*Rij*≤75 |
| Ⅳ级围岩二次衬砌距掌子面距离90m以下，Ⅴ级围岩70m以下 | 0 |
| 仰拱安全距离*X*52 | Ⅲ级围岩仰拱距掌子面距离100m以上，Ⅳ级围岩60m以上，Ⅴ级围岩50m以上 | 75<*Rij*≤100 | *R*52 | *γ*52 | *X*52=  *R*52×*γ*52 | 根据实际施工情况确定, 建议用线性内插法确定 |
| Ⅲ级围岩仰拱距掌子面距离90m~100m，Ⅳ级围岩50m~60m，Ⅴ级围岩40m~50m | 50<*Rij*≤75 |
| Ⅲ级围岩仰拱距掌子面距离90m以下，Ⅳ级围岩50m以下，Ⅴ级围岩40m以下 | 0 |

表A.8（续） 隧道施工过程围岩坍塌风险事件可能性评估指标体系

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项别 | 评估指标 | 分级 | 基本分值(*R*ij) | | 权重系数(*γ*ij) | 评估  分值  (*X*ij) | 说明 |
| 分值范围 | 取值 |
| 超期预报与监测*X*6 | 超前地质预报*X*61 | 地震波场/电磁波场前兆信息变化强烈 | 75<*Rij*≤100 | *R*61 | *γ*61 | *X*61=  *R*61×*γ*61 | 根据超前地质预报结果确定 |
| 地震波场/电磁波场前兆信息变化较强 | 50<*Rij*≤75 |
| 地震波场/电磁波场前兆信息变化较小 | 0<*Rij*≤50 |
| 相对变形值(*u/B*)*X*62 | 强烈变形≥4% | 75<*Rij*≤100 | *R*62 | *γ*62 | *X*62=  *R*62×*γ*62 | u为隧道最大变形位移（拱、帮），B为隧道等效半径 |
| 高度变形3%~4% | 50<*Rij*≤75 |
| 中度变形2%~3% | 25<*Rij*≤50 |
| 轻微变形1%~2% | 0<*Rij*≤25 |
| 监控量测方案*X*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<*Rij*≤100 | *R*63 | *γ*63 | *X*63=  *R*63×*γ*63 | 根据现场调查情况确定 |
| 量测频率较低、有一定必测项目，但不全面、信息反馈较差 | 50<*Rij*≤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<*Rij*≤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<*Rij*≤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 | 0 |

表A.9 隧道施工过程涌水突泥风险事件可能性评估指标体系

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项别 | 评估指标 | 分级 | 基本分值(*R*ij) | | 权重系数(*γ*ij) | 评估  分值  (*X*ij) | 说明 |
| 分值范围 | 取值 |
| 地质条件*X*1 | 不良地质*X*11 | 隧道附近底板上方存在大型含导水构造，或隧道附近存在大型承压含导水构造 | 75<*Rij*≤100 | *R*11 | *γ*11 | *X*11=  *R*11×*γ*11 | 根据设计文件、现场条件确定 |
| 隧道附近底板上方存在中型含导水构造，或隧道附近底板下方存在大型含导水构造，或隧道附近存在中型承压含导水构造 | 50<*Rij*≤75 |
| 隧道附近底板上方存在小型含导水构造，或隧道附近底板下方存在中型含导水构造，或隧道附近存在小型承压含导水构造 | 25<*Rij*≤50 |
| 隧道附近底板下方存在小型含导水构造 | 0<*Rij*≤25 |
| 岩溶发育程度*X*12 | 岩溶极发育，存在宽大岩溶洞穴、地下暗河、塌陷坑等 | 75<*Rij*≤100 | *R*12 | *γ*12 | *X*12=  *R*12×*γ*12 | 根据设计文件、现场条件确定 |
| 岩溶发育，存在宽大岩溶发育带和大岩溶洞穴 | 50<*Rij*≤75 |
| 岩溶较发育，存在岩溶裂隙带和较大岩溶洞 | 25<*Rij*≤50 |
| 岩溶不发育，存在岩溶裂隙、小溶洞发育 | 0<*Rij*≤25 |
| 水文地质条件*X*2 | 地下涌水情况  *X*21 | 每10m长隧道涌水量≥125L/min | 75<*Rij*≤100 | *R*21 | *γ*21 | *X*21=  *R*21×*γ*21 | 根据现场调查情况确定。注：每10m长隧道涌水量=隧道二衬至掌子面总出水量÷掌子面距二衬的距离×10 |
| 每10m长隧道涌水量25L/min~125L/min | 50<*Rij*≤75 |
| 每10m长隧道涌水量10L/min~25L/min | 25<*Rij*≤50 |
| 每10m长隧道涌水量<10L/min | 0<*Rij*≤25 |

表A.9（续） 隧道施工过程涌水突泥风险事件可能性评估指标体系

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项别 | 评估指标 | 分级 | 基本分值(*R*ij) | | 权重系数(*γ*ij) | 评估  分值  (*X*ij) | 说明 |
| 分值范围 | 取值 |
| 环境条件*X*3 | 周围水体情况*X*31 | 隧道上方地表存在湖泊、河流、水库等水体 | 50<*Rij*≤100 | *R*31 | *γ*31 | *X*31=  *R*31×*γ*31 | 根据现场调查情况确定（综合考虑降雨量和地表径流） |
| 隧道附近存在补给性水体 | 0<*Rij*≤50 |
| 隧道周围不存在补给性水体 | 0 |
| 施工因素*X*4 | 防排水措施  *X*41 | 很差 | 75<*Rij*≤100 | *R*41 | *γ*41 | *X*41=  *R*41×*γ*41 | 根据现场调查情况确定 |
| 较差 | 50<*Rij*≤75 |
| 一般 | 25<*Rij*≤50 |
| 基本合理 | 0<*Rij*≤25 |
| 超前预报与监测*X*5 | 超前地质预报*X*51 | 涌水突泥现象显著 | 75<*Rij*≤100 | *R*51 | *γ*51 | *X*51=  *R*51×*γ*51 | 根据超前地质预报结果确定 |
| 涌水突泥现象较显著 | 50<*Rij*≤75 |
| 涌水突泥现象不显著 | 0<*Rij*≤50 |
| 无涌水突泥现象 | 0 |
| 监控量测方案*X*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<*Rij*≤100 | *R*52 | *γ*52 | *X*52=  *R*52×*γ*52 | 根据现场调查情况确定 |
| 量测频率较低、有一定必测项目，但不全面、信息反馈较差 | 50<*Rij*≤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<*Rij*≤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<*Rij*≤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 | 0 |

表A.10 隧道施工过程大变形风险事件可能性评估指标体系

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项别 | 评估指标 | 分级 | 基本分值(*R*ij) | | 权重系数(*γ*ij) | 评估  分值(*X*ij) | 说明 |
| 分值  范围 | 取值 |
| 建设规模*X*1 | 隧道开挖跨度*X*11 | ≥18m | 75<*Rij*≤100 | *R*11 | *γ*11 | *X*11=  *R*11×*γ*11 | 根据设计文件确定 |
| 14m~18m | 50<*Rij*≤75 |
| 9m~14m | 25<*Rij*≤50 |
| <9m | 0<*Rij*≤25 |
| 地形特征  *X*2 | 浅埋隧道偏压角度*X*21 | ≥45° | 75<*Rij*≤100 | *R*22 | *γ*22 | *X*12=  *R*12×*γ*12 | 依据设计文件、现场条件确定 |
| 30°~45° | 50<*Rij*≤75 |
| 15°~30° | 25<*Rij*≤50 |
| <15° | 0<*Rij*≤25 |
| 地质条件*X*3 | 围岩级别([*BQ*]值)  *X*31 | Ⅴ级（<250）、土体 | 75<*Rij*≤100 | *R*31 | *γ*31 | *X*31=  *R*31×*γ*31 | 根据设计文件、现场条件确定 |
| Ⅳ级（251~350） | 50<*Rij*≤75 |
| Ⅲ级（351~450） | 25<*Rij*≤50 |
| Ⅰ、Ⅱ级（≥451） | 0<*Rij*≤25 |
| 断层破碎带宽度*X*32 | 断层破碎带宽度≥50m | 75<*Rij*≤100 | *R*32 | *γ*32 | *X*32=  *R*32×*γ*32 | 根据地勘资料、设计文件、现场条件确定 |
| 断层破碎带宽度20m~50m | 50<*Rij*≤75 |
| 断层破碎带宽度<20m | 25<*Rij*≤50 |
| 不存在断层破碎带 | 0 |
| 断层破碎带胶  结程度*X*33 | 严重松弛胶结碎裂结构 | 75<*Rij*≤100 | *R*33 | *γ*33 | *X*33=  *R*33×*γ*33 | 根据地勘资料、设计文件、现场条件确定 |
| 松弛的胶结碎裂结构 | 50<*Rij*≤75 |
| 轻度松弛的胶结碎裂结构 | 25<*Rij*≤50 |
| 紧密的胶结碎裂结构 | 0<*Rij*≤25 |
| 地应力*X*34 | ＞20MPa | 75<*Rij*≤100 | *R*34 | *γ*34 | *X*34=  *R*34×*γ*34 | 根据地勘资料、设计文件、现场条件确定 |
| 13MPa~20MPa | 50<*Rij*≤75 |
| 7MPa~13MPa | 25<*Rij*≤50 |
| <7MPa | 0<*Rij*≤25 |
| 水文地质条件*X*4 | 地下涌水情况*X*41 | 每10m长隧道涌水量≥125L/min | 75<*Rij*≤100 | *R*41 | *γ*41 | *X*41=  *R*41×*γ*41 | 根据现场调查情况确定。注：每10m长隧道涌水量=隧道二衬至掌子面总出水量÷掌子面距二衬的距离×10 |
| 每10m长隧道涌水量25L/min~125L/min | 50<*Rij*≤75 |
| 每10m长隧道涌水量10L/min~25L/min | 25<*Rij*≤50 |
| 每10m长隧道涌水量<10L/min | 0<*Rij*≤25 |

表A.10（续） 隧道施工过程大变形风险事件可能性评估指标体系

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项别 | 评估指标 | 分级 | 基本分值(*R*ij) | | 权重系数(*γ*ij) | 评估  分值(*X*ij) | 说明 |
| 分值  范围 | 取值 |
| 施工因素*X*5 | 衬砌安全距离*X*51 | Ⅳ级围岩二次衬砌距掌子面距离110m以上，Ⅴ级围岩90m以上 | 75<R*ij*≤100 | R51 | γ51 | *X*51=  *R*51×*γ*51 | 根据实际施工情况确定, 建议用线性内插法确定 |
| Ⅳ级围岩二次衬砌距掌子面距离90m~110m，Ⅴ级围岩70m~90m | 50<R*ij*≤75 |
| Ⅳ级围岩二次衬砌距掌子面距离90m以下，Ⅴ级围岩70m以下 | 0 |
| 仰拱安全距离*X*52 | Ⅲ级围岩仰拱距掌子面距离100m以上，Ⅳ级围岩60m以上，Ⅴ级围岩50m以上 | 75<*Rij*≤100 | *R*52 | *γ*52 | *X*52=  *R*52×*γ*52 | 根据实际施工情况确定, 建议用线性内插法确定 |
| Ⅲ级围岩仰拱距掌子面距离90m~100m，Ⅳ级围岩50m~60m，Ⅴ级围岩40m~50m | 50<*Rij*≤75 |
| Ⅲ级围岩仰拱距掌子面距离90m以下，Ⅳ级围岩50m以下，Ⅴ级围岩40m以下 | 0 |
| 超前预报与监测*X*6 | 超前地质预报*X*61 | 地震波场/电磁波场前兆信息变化强烈 | 75<*Rij*≤100 | *R*61 | *γ*61 | *X*61=  *R*61×*γ*61 | 根据超前地质预报结果确定 |
| 地震波场/电磁波场前兆信息变化较强 | 50<*Rij*≤75 |
| 地震波场/电磁波场前兆信息变化较小 | 0<*Rij*≤50 |
| 相对变形值(*u/B*) *X*62 | 强烈变形≥4% | 75<*Rij*≤100 | *R*62 | γ62 | *X*62=  *R*62×*γ*62 | *u*为隧道最大变形位移（拱、帮），*B*为隧道等效半径 |
| 高度变形3%~4% | 50<*Rij*≤75 |
| 中度变形2%~3% | 25<*Rij*≤50 |
| 轻微变形1%~2% | 0<*Rij*≤25 |
| 监控量测方案*X*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<*Rij*≤100 | *R*63 | *γ*63 | *X*63=  *R*63×*γ*63 | 根据现场调查情况确定 |
| 量测频率较低、有一定必测项目，但不全面、信息反馈较差 | 50<*Rij*≤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<*Rij*≤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<*Rij*≤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 | 0 |

表A.11 隧道施工过程瓦斯爆炸风险事件可能性评估指标体系

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项别 | 评估指标 | 分级 | 基本分值(*R*ij) | | 权重系数(*γ*ij) | 评估  分值(*X*ij) | 说明 |
| 分值范围 | 取值 |
| 地质条件*X*1 | 煤层厚度*X*11 | ≥10m | 75<*Rij*≤100 | *R*11 | *γ*11 | *X*11=  *R*11×*γ*11 |  |
| 5m~10m | 50<*Rij*≤75 |
| 2m~5m | 25<*Rij*≤50 |
| <2m | 0<*Rij*≤25 |
| 隧道距煤层距离*X*12 | 0m~20m | 75<*Rij*≤100 | *R*12 | *γ*12 | *X*12=  *R*12×*γ*12 | 最小直线距离 |
| 20m~80m | 50<*Rij*≤75 |
| 80m~150m | 25<*Rij*≤50 |
| ≥150m | 0<*Rij*≤25 |
| 瓦斯因素*X*2 | 瓦斯涌出量 *X*21 | 瓦斯涌出量≥1m3/min | 75<*Rij*≤100 | *R*21 | *γ*21 | *X*21  *R*21×*γ*21 | 单位时间内从煤层和岩层以及采落的煤（岩）所涌出的瓦斯量，由现场条件确定 |
| 瓦斯涌出量0.5m3/min~1m3/min | 50<*Rij*≤75 |
| 瓦斯涌出量<0.5m3/min | 25<*Rij*≤50 |
| 不存在瓦斯 | 0 |
| 开挖工作面瓦斯浓度*X*22 | ≥1.5% | 75<*Rij*≤100 | *R*22 | *γ*22 | *X*22=  *R*22×*γ*22 | 开挖工作面附近20m内风流中瓦斯浓度，由现场条件确定 |
| 1%~1.5% | 50<*Rij*≤75 |
| 0.5%~1% | 25<*Rij*≤50 |
| <0.5% | 0<*Rij*≤25 |
| 施工因素*X*3 | 隧道通风量*X*31 | 实际通风量达到设计标准的60%~70% | 75<*Rij*≤100 | *R*31 | *γ*31 | *X*31=  *R*31×*γ*31 | 按照实际通风量与设计通风量的比值，合理确定分值，由现场条件确定 |
| 实际通风量达到设计标准的70%~80% | 50<*Rij*≤75 |
| 实际通风量达到设计标准的80%~90% | 25<*Rij*≤50 |
| 实际通风量达到设计标准的90%以上 | 0<*Rij*≤25 |

表A.11（续） 隧道施工过程瓦斯爆炸风险事件可能性评估指标体系

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项别 | 评估指标 | 分级 | 基本分值(*R*ij) | | 权重系数(*γ*ij) | 评估  分值(*X*ij) | 说明 |
| 分值范围 | 取值 |
| 超前预报与监测*X*4 | 超前地质预报*X*41 | 煤岩动力现象显著 | 75<*Rij*≤100 | *R*41 | *γ*41 | *X*41=  *R*41×*γ*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 |
| 煤岩动力现象较显著 | 50<*Rij*≤75 |
| 煤岩动力现象不显著 | 25<*Rij*≤50 |
| 无煤岩动力现象 | 0 |
| 监控量测  方案*X*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<*Rij*≤100 | *R*42 | *γ*42 | *X*42=  *R*42×*γ*42 | 根据现场调查情况确定 |
| 量测频率较低、有一定必测项目，但不全面、信息反馈较差 | 50<*Rij*≤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<*Rij*≤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<*Rij*≤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 | 0 |
| 机电设备因素*X*5 | 电气设备防爆情况*X*51 | 未按规范采用防爆设备 | 0<*Rij*≤100 | *R*51 | *γ*51 | *X*51=  *R*51×*γ*51 | 按照未采用防爆措施的设备占设备总数的比例，合理确定分值 |
| 按规范采用防爆设备 | 0 |

表A.12 隧道施工过程岩爆风险事件可能性评估指标体系

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项别 | 评估指标 | 分级 | 基本分值(*R*ij) | | 权重  系数  (*γ*ij) | 评估  分值  (*X*ij) | 说明 |
| 分值范围 | 取值 |
| 应力因素*X*1 | 强度脆性系数  *X*11 | ≥18 | 75<*Rij*≤100 | *R*11 | *γ*11 | *X*11=  *R*11×*γ*11 | 强度脆性系数为岩石单轴抗压强度与抗拉强度之比 |
| 14~18 | 50<*Rij*≤75 |
| 10~14 | 25<*Rij*≤50 |
| <10 | 0<*Rij*≤25 |
| 强度应力比*X*12 | <2 | 75<*Rij*≤100 | *R*12 | *γ*12 | *X*12=  *R*12×*γ*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 |
| 2~4 | 50<*Rij*≤75 |
| 4~7 | 25<*Rij*≤50 |
| >7 | 0 |
| 能量因素*X*2 | 岩爆倾向性指数*X*21 | ≥ 5.0 | 75<*Rij*≤100 | *R*21 | *γ*21 | *X*21=  *R*21×*γ*21 | 单轴压缩加卸载条件下，岩石弹性应变能与耗损应变能之比 |
| 3.5~5.0 | 50<*Rij*≤75 |
| 2.0~3.5 | 25<*Rij*≤50 |
| <2.0 | 0 |
| 结构面因素*X*3 | 结构面发育、结合程度 *X*31 | 结构面组数1~2组，且平均间距1.0m以上，结合好或一般 | 75<*Rij*≤100 | *R*31 | *γ*31 | *X*31=  *R*31×*γ*31 | 根据现场调查情况确定，结构面结合程度只考虑主要结构面 |
| 结构面组数1~2组，且平均间距1.0m以上，结合差；或结构面组数2~3组，且平均间距0.4~1.0m，结合好或一般 | 50<*Rij*≤75 |
| 结构面组数2~3组，且平均间距0.4m~1.0m，结合差；或结构面组数3组以上，且平均间距0.2m~0.4m，结合好或一般 | 25<*Rij*≤50 |
| 结构面组数3组以上，且平均间距0.2m~0.4m，结合差；或结构面组数3组以上，且平均间距0.2m以下，结合一般或差 | 0<*Rij*≤25 |

表A.13 重要性排序法权重系数表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 指标项目数量 | 权重系数 | 指标重要性排序 | | | | | | | | | | | | | |
| 第一 | 第二 | 第三 | 第四 | 第五 | 第六 | 第七 | 第八 | 第九 | 第十 | 第十一 | 第十二 | 第十三 | 总权重 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | ∑λ |
| 一项 | λ | 1.00 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 |
| 二项 | λ | 0.75 | 0.25 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 |
| 三项 | λ | 0.56 | 0.33 | 0.11 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 |
| 四项 | λ | 0.44 | 0.31 | 0.19 | 0.06 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 |
| 五项 | λ | 0.36 | 0.28 | 0.20 | 0.11 | 0.05 | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 |
| 六项 | λ | 0.31 | 0.25 | 0.19 | 0.14 | 0.08 | 0.03 | — | — | — | — | — | — | — | 1 |
| 七项 | λ | 0.27 | 0.22 | 0.18 | 0.14 | 0.10 | 0.06 | 0.03 | — | — | — | — | — | — | 1 |
| 八项 | λ | 0.23 | 0.20 | 0.17 | 0.14 | 0.11 | 0.08 | 0.05 | 0.02 | — | — | — | — | — | 1 |
| 九项 | λ | 0.21 | 0.19 | 0.16 | 0.14 | 0.11 | 0.09 | 0.06 | 0.03 | 0.01 | — | — | — | — | 1 |
| 十项 | λ | 0.19 | 0.17 | 0.15 | 0.13 | 0.11 | 0.09 | 0.07 | 0.05 | 0.03 | 0.01 | — | — | — | 1 |
| 十一项 | λ | 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 | λ | 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 | λ | 0.15 | 0.14 | 0.12 | 0.11 | 0.10 | 0.09 | 0.08 | 0.07 | 0.05 | 0.04 | 0.03 | 0.02 | 0.01 | 1 |

附录B

**（资料性附录）**

**公路隧道工程施工的典型风险事件类型**

表B.1给出了公路隧道施工各环节可能出现的典型风险事故类型，包括洞口失稳、坍塌、涌水突泥、大变形、可燃气体爆炸、岩爆、爆炸、火灾、物体打击、高处坠落、触电、起重伤害、冒顶片帮、机械伤害、车辆伤害等。

表B.1 公路隧道工程施工的典型风险事件类型

| **风险事件类型**  **主要作业内容及程序** | **洞口失稳** | **坍塌** | **涌水突泥** | **大变形** | **可燃气**  **体爆炸** | **岩爆** | **爆炸** | **火灾** | **物体**  **打击** | **高处**  **坠落** | **触电** | **起重伤害** | **冒顶片帮** | **机械伤害** | **车辆伤害** | **其它** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **一、临时工程** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **1.场地平整** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| a. 便道施工及危险点处理 |  |  |  |  |  |  |  |  |  | ○ | ○ |  |  | ○ |  |  |
| **2.施工场地布置** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| a. 临时建筑 |  |  |  |  |  |  |  |  | ○ | ○ | ○ |  |  |  |  |  |
| b. 混凝土拌合场 |  |  |  |  |  |  |  |  |  | ○ | ○ |  |  |  |  |  |
| c. 钢拱架、锚杆等加工场 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | ○ | **○** |  | ○ |  |  |
| d. 弃渣场 |  |  |  |  |  |  |  |  |  | ○ |  |  |  |  | ○ |  |
| e. 重型机具进场 |  |  |  |  |  |  |  |  | **○** |  |  | ○ |  |  | ○ |  |
| **二、洞口工程** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **1.边坡开挖及防护** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| a. 地表清除（清表） |  |  |  |  |  |  |  |  | ○ | ○ |  |  |  | ○ |  |  |
| b. 坡面开挖 |  |  |  |  |  |  |  |  | ○ | ○ |  |  |  | ○ |  |  |
| c. 弃土运输 |  |  |  |  |  |  |  |  | ○ |  |  |  |  | ○ | ○ |  |
| d. 打设锚杆 |  |  |  |  |  |  |  |  | ○ | ○ |  |  |  | ○ |  |  |

表B.1(续) 公路隧道工程施工的典型风险事件类型

| **风险事件类型**  **主要作业内容及程序** | **洞口失稳** | **坍塌** | **涌水突泥** | **大变形** | **可燃气**  **体爆炸** | **岩爆** | **爆炸** | **火灾** | **物体**  **打击** | **高处**  **坠落** | **触电** | **起重伤害** | **冒顶片帮** | **机械伤害** | **车辆伤害** | **其它** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| e. 喷射混凝土 |  |  |  |  |  |  |  |  |  | ○ | ○ |  |  | ○ |  |  |
| f. 截水沟开挖 |  |  |  |  |  |  |  |  | ○ | ○ |  |  |  | ○ |  |  |
| 2.洞口施工 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| a. 洞口测量 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| b. 洞口管棚或小导管施工 |  |  |  |  |  |  |  |  |  | ○ | ○ |  |  | ○ |  |  |
| c. 注浆 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | ○ |  |  |
| d. 洞口开挖（爆破或机械开挖） | ○ | ○ | ○ | ○ |  |  | ○ |  |  |  |  |  | ○ | ○ |  |  |
| e. 架设钢拱架 |  |  |  |  |  |  |  |  | ○ | ○ | ○ |  |  | ○ |  |  |
| f. 锚喷支护 | ○ | ○ |  | ○ |  |  |  |  | ○ | ○ |  |  |  | ○ |  |  |
| g. 明洞工程 | ○ |  |  |  |  |  |  |  | ○ | ○ | ○ |  |  | ○ |  |  |
| 三、洞身开挖 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1.隧道开挖 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| a. 中心线及高程测量 |  |  |  |  |  |  |  |  | ○ |  |  |  |  |  |  |  |
| b. 布孔 |  |  |  |  |  |  |  |  |  | ○ |  |  |  |  |  |  |
| c. 钻孔 |  |  | ○ |  |  |  |  |  |  | ○ | ○ |  | ○ | ○ |  |  |
| d. 装药及结线 |  |  |  |  |  |  |  |  | ○ | ○ |  |  |  |  |  |  |
| e. 起爆 |  | ○ | ○ | ○ | ○ |  | ○ |  | ○ |  |  |  | ○ |  |  |  |
| f. 通风 |  | ○ | ○ | ○ |  | ○ |  |  |  |  | ○ |  |  |  |  |  |
| g. 盲炮检查和危石清理（找顶） |  | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |  |  | ○ |  |  |  | ○ | ○ |  |  |
| h. 出渣 |  | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |  |  | ○ |  |  |  | ○ | ○ | ○ |  |

表B.1(续) 公路隧道工程施工的典型风险事件类型

| **风险事件类型**  **主要作业内容及程序** | **洞口失稳** | **坍塌** | **涌水突泥** | **大变形** | **可燃气**  **体爆炸** | **岩爆** | **爆炸** | **火灾** | **物体**  **打击** | **高处**  **坠落** | **触电** | **起重伤害** | **冒顶片帮** | **机械伤害** | **车辆伤害** | **其它** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 2.初期支护 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| a. 初喷 |  | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |  |  | ○ |  | ○ |  | ○ | ○ |  |  |
| b. 立钢拱架 |  | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |  |  | ○ | ○ | ○ |  | ○ |  |  |  |
| c. 钢筋网铺设 |  | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |  |  | ○ | ○ | ○ |  | ○ |  |  |  |
| d. 打锚杆 |  | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |  |  | ○ | ○ | ○ |  | ○ | ○ |  |  |
| e. 喷射混凝土 |  | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |  |  | ○ |  |  |  | ○ |  |  |  |
| 3. 仰拱施工 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| a. 仰拱开挖 |  | ○ | ○ | ○ |  |  |  |  |  |  |  |  |  | ○ | ○ |  |
| b. 仰拱钢拱架施工 |  |  | ○ | ○ | ○ |  |  |  |  |  | ○ |  | ○ |  |  |  |
| c. 绑扎钢筋 |  |  | ○ | ○ | ○ |  |  |  |  |  | ○ |  |  |  |  |  |
| d. 混凝土浇筑 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | ○ |  |  | ○ |  |  |
| 4. 监控量测 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| a. 监测仪器装设及监控量测 |  |  |  |  |  |  |  |  | ○ | ○ |  |  |  |  |  |  |
| 四、二次衬砌 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1. 防水层工程 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| a. 搭设施工台车 |  |  |  |  |  |  |  |  | ○ | ○ | ○ |  |  | ○ |  |  |
| b. 初支表面处理 |  |  |  |  |  |  |  |  | ○ | ○ | ○ |  |  | ○ |  |  |
| c. 土工布铺设 |  |  |  |  |  |  |  | ○ |  | ○ | ○ |  |  | ○ |  |  |
| d. 防水板铺设 |  |  |  |  |  |  |  | ○ |  | ○ | ○ |  |  | ○ |  |  |

表B.1(续) 公路隧道工程施工的典型风险事件类型

| **风险事件类型**  **主要作业内容及程序** | **洞口失稳** | **坍塌** | **涌水突泥** | **大变形** | **可燃气**  **体爆炸** | **岩爆** | **爆炸** | **火灾** | **物体**  **打击** | **高处**  **坠落** | **触电** | **起重伤害** | **冒顶片帮** | **机械伤害** | **车辆伤害** | **其它** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 2. 二衬工程 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| a. 钢筋绑扎 |  |  |  |  |  |  |  |  | ○ | ○ | ○ |  |  |  |  |  |
| b. 模板架设 |  |  |  |  |  |  |  |  |  | ○ |  |  |  | ○ |  |  |
| c. 混凝土浇筑 |  |  |  |  |  |  |  |  |  | ○ | ○ |  |  | ○ | ○ |  |
| d. 混凝土养护 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | ○ |  |  |
| e. 拆模 |  |  |  |  |  |  |  |  | ○ | ○ | ○ |  |  | ○ |  |  |
| 五、其它工程 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1.管沟施工 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| a. 管沟混凝土工程 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | ○ |  |  | ○ |  |  |
| 2. 路面工程 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| a. 沥青或混凝土路面摊铺 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | ○ |  |  | ○ | ○ |  |
| 3. 交通工程 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| a. 机电工程 |  |  |  |  |  |  |  |  |  | ○ | ○ |  |  | ○ |  |  |
| b. 安全设施 |  |  |  |  |  |  |  |  |  | ○ |  |  |  | ○ |  |  |

附录C

**（资料性附录）**

**可选用的评估方法**

表C.1给出了风险评估常用的技术方法，评估人员应根据评估目的、评估对象特点，确定可行的评估工作组织形式，合理选用评估方法，也可选用本附录以外的其它方法，鼓励创新。

表C.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 | 专家评议法 | **优点：**①简单易行，比较客观；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。  **缺点：**易受主观因素影响，有可能使结果产生偏差，容易偏于保守。 | 适用于难以借助精确的分析技术而可依靠专家的集体直观判断进行预测的危险源风险分析。 |
| 专家调查法(包括智力风暴法、德尔菲法) | **优点：**可避免因专家多而产生当面交流困难、效率低等问题。  **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，且可能多次重复，会使某些专家最后不耐烦而不仔细填写；③具有专家评议法的缺点。 | ①难以借助精确的分析技术而可依靠集体的直观判断进行预测的风险分析；②问题复杂、专家代表不同的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。 |
| “如果  …  怎么  办”法 | **优点：**经济有效，可充分发挥专业人员的知识特长、集思广益，可得到具体工程存在的危险、有害性及其程度，提出消除或降低其危险性、有害性的对策措施，较为醒目、直观。  **缺点：**①要求参与人员熟悉工艺、设备，并且要收集类似工程的有关情况，以便分析，综合判断；②对较大系统进行分析时，表格数量多，工作量大，易产生错漏。 | ①既可适用于一个系统，也可以适用于系统中某一环节，适用范围较广；②一般不适用于较大系统分析，只适用于系统中某一环节或小系统分析。 |
| 半 定 量 分 析 法 | 事故树法 | **优点：**对导致灾害事故的各种因素及逻辑关系能做出全面、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，便于进行逻辑运算，进行定性、定量分析和系统评价。  **缺点：**步骤较多，计算较复杂。 | ①事故树法应用比较广，非常适合复杂性较大的系统；②在工程设计阶段对事故查询时，均可使用此法对其安全性做出评价；③事故树法经常用于直接经验较少的危险源辨识。 |

表C.1(续) 常用的评估方法及其特点

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 分类 | 名称 | 优缺点 | 适用范围 |
|  | 事件树法 | **优点：**事件树法是一种图解形式，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的分析，预测系统中事故发生的趋势。  **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不能分析平行产生的后果，不能进行详细分析；④事件树的大小随着问题中变量个数呈指数增长。 | ①事件树可以用于分析系统故障、设备失效、工艺异常、人的失误等，应用较为广泛；②事件树法不能分析平行产生的后果，不适用于详细分析。 |
| 影响图方法 | **优点：**①能明显地表示一个决策分析问题中变量之间的条件独立关系； 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影响图的网络表示形式便于采用计算机存贮信息与操作处理。  **缺点：**①节点的边缘概率和节点间的条件概率难以计算；②进行主观概率估计时，可能会违反概率理论。 | 影响图方法与事件树法适用性类似，由于影响图方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。 |
| 原因-结果分析法 | **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，其同时具有前述两种方法的优缺点。 | 其适用性与事故树法和事件法类似，适用于在设计、操作时辨识事故的可能结果及原因，但不适于大型系统。 |
| 风险评价矩阵法 | **优点：**根据系统层次按次序揭示系统、分系统和设备中的危险源，做到不漏任何一项，并按风险的可能性和严重性分类，以便分别按轻重缓急采取措施，适于现场作业。  **缺点：**①主观性较强，如果经验不足，会产生误差；②风险严重等级及风险发生频率是研究者自行确定的，存在较大的主观误差。 | ①可根据使用需求对风险等级划分进行修改，使其适用不同的分析系统，但需有一定的工程经验和数据资料；②既可适用于整个系统，又可以适用于系统中某一环节。 |
| 定 量 分 析 方 法 | 模糊数学综合评判法 | **优点：**给出数学模型，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，适用性较广。  **缺点：**①隶属函数或隶属度的确定、评价因素对评价对象的权重的确定均有很大的主观性，其结果也存在较大的主观性；②同时对多因素、多层次的复杂问题评价，计算比较复杂。 | 适用于任何系统的任何环节，适用性较广。 |
| 层次分析法 | **优点：**具有实用、简洁和系统的特点。  **缺点：**①AHP得出的结果是粗略的方案排序；②对于有较高定量要求的决策问题，单纯应用APH，无论建立层次结构还是构造判断矩阵，主·观判断、选择、偏好对结果的影响极大。 | 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。 |

表C.1(续) 常用的评估方法及其特点

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 分类 | 名称 | 优缺点 | 适用范围 |
| 定  量  分  析  方  法 | 蒙特卡  洛模拟  法 | **优点：**①可用于包括随机变量在内的任何计算类型；②考虑的变量数目不受限制；③用于计算的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。  **缺点：**①模拟系统较复杂，模型建立困难；②没有计入风险因素之间的相互影响，使得风险估计结果可能偏小。 | ①比较适合在大中型项目中应用；②可解决复杂的概率运算问题，适合于无法进行真实试验的场合；③对于费用高或费时长的试验，具有明显优越性；④一般在进行较精细的系统分析时使用，适用于问题比较复杂、要求精度较高的场合，特别是对少数可行方案实行精选比较时。 |
| 等风险图法 | **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。  **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，需借助其它分析方法；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。 | 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的多个方案比较分析时使用。 |
| 控制区间记忆模型 | **优点：**用直方图代替变量的概率分布，用“和”代替函数积分，变量的概率分布采取经验分布形式，使风险因素量化过程较为简单、直观，且易于实现概率的加法和乘法计算。  **缺点：**只适合于各变量间相互独立的情况，且最终结果的精确与否与所取区间大小有较大关系。 | 适用于结果精确度要求不高的项目，且只适用于变量间相互独立或相关性可忽略的项目。 |
| 神经网  络方法 | **优点：**具有很强的学习能力、抗故障性和并行性。  **缺点：**神经网络综合评估模型在己知数据不足或无法准确构造训练样本集的情况下，需要结合其它综合评估方法得到训练样本集，才能实现对网络的训练。 | ①预测问题，原因和结果的关系模糊的场合；②模式辨识，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的场合；④组合数量非常多，难以得到全部求解集合的场合；⑤对非线性很高的系统进行控制的场合。 |
| 主成分  分析法 | **优点：**①能将多个指标转化为少数几个指标进行降维处理；②能够将指标之间的关联性考虑在内，且计算比较简单；③在大样本的情况下，个别样本对主成分的影响不大。  **缺点：**①存在评价标准的不可继承性、评价工作盲目性及评价结果和评价指导思想的矛盾性；②需借助较多的统计资料。 | 适用于各个领域，但其结果只是在比较相对大小时才有意义。 |

表C.1(续) 常用的评估方法及其特点

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 分类 | 名称 | 优缺点 | 适用范围 |
| 综 合 分 析 方 法 | 专家信心指数法 | **优点：**具有德尔菲法的优点，一定程度上克服了德尔菲法受个人主观因素影响大的缺点。  **缺点：**同德尔菲法 | 同德尔菲法 |
| 模糊层次综合评估方法 | **优点：**①同时拥有层次分析法和模糊数学综合评判法的优点；②克服了模糊数学综合评判法中评价因素对评价对象的权重确定主观性强等缺点。  **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。 | 其适用范围与模糊数学综合评判法一致。 |
| 事故树与模糊综合评判组合分析法 | **优点：**①兼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，得到的结果更科学、合理。  **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。 | 适用范围与事故树法相同。 |

以下给出了层次分析法、点估计法、未确知测度法的基本步骤，供评估人员参考。其中层次分析法可用于确定指标权重，点估计法用于确定风险事件可能性，未确知测度法可用于综合确定专项风险评估中洞口失稳、坍塌、大变形、涌水突泥、瓦斯爆炸、岩爆等风险事件的风险等级。

(2) 层次分析法

权重系数反映了评估指标对风险影响的程度，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）建立重大风险安全风险指标多层次结构模型，如图C.1所示。



图C.1 层次结构模型

b）通过两两比较确定两指标间相对重要程度，可采用1~9标度法进行取值确定两指标间相对重要程度，见表C.2，建立判断矩阵表，判断矩阵中*aij*表示指标*ai*相对于指标*aj*的重要程度，见表C.3。

表C.2 因素两两比较的标度

|  |  |
| --- | --- |
| 标度值aij | 含义 |
| 1 | 表示两个因素相比，前者比后者同等重要 |
| 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值 |
| 倒数 | 因素一与因素二比较结果是因素二与因素一重要性比较结果的倒数 |

表C.3 指标间两两判断矩阵表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 判断项指标 | *A*1 | *A*2 |  | *Aj* |  | *An* |
| *A*1 | *a*11 | *a*12 |  | *a*1*j* |  | *a*1*n* |
|  |  |  |  |  |  |  |
| *Ai* | *ai*1 | *ai*2 |  | *aij* |  | *ain* |
|  |  |  |  |  |  |  |
| *An* | *an*1 | *an*2 |  | *anj* |  | *ann* |

c）按照式（12）计算判断矩阵中每行元素的几何平均值，再按照式（13）进行归一化处理得到相对权重值。

 （12）

 （13）

d）通过式（14）计算判断矩阵的最大特征值*λ*max，计算*CI*进行一致性检验，随机一致性指标*RI*见表B.4，若*CI/RI*<0.1，则判断矩阵符合要求，否则应写出新的矩阵，重新进行计算。所有判断矩阵符合要求时，计算各层次指标的组合权重。

 （14）

 （15）

式中：

*CI*—判断矩阵的一般一致性指标；

*n*—判断矩阵的阶数。

表C.4 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 |

(3) 点估计法

针对施工前风险事件可能性等级的确定，除指标体系法外，亦可采用点估计法。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，通过各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：

当有几个随机变量影响目标值时，状态函数可表示为：

 （16）

式中：

*x*1，*x*2，∙∙∙*xn*—随机变量；

*Z*—目标值。

b）取点组合：

在随机变量 *xi*(*i*=1,2,∙∙∙,*xn*)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）上分别对称地择其2个取值点，通常取均值*μxi*的正负三个标准差*σxi*，即

 （17）

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）一阶矩*M*1，随机变量*Z*的一阶矩，定义为

 （18）

其点估计为

 （19）

2）二阶中心矩*M*2，随机变量*Z*的二阶中心矩为*Z*的方差*σZ*2，其定义为

 （20）

其点估计为

 （21）

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*μZ*和标准差*σZ*。

d）求概率密度函数(PDF)和累积分布函数(CDF)：

1）由均值*μZ*和方差*σZ*拟合出正态分布的概率密度函数：

 （22）

2）求正态分布的累积分布函数：

 （23）

得到正态分布的累计分布函数后，每一个可能性分值都对应一个可能性，结合表15-20即可确定重大风险源发生的可能性等级。

(4) 未确知测度法

针对施工过程中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、未确知性、模糊性、随机性和非线性，如何科学合理地将不确定、未确知信息进行分析评价，是确定各风险事件风险等级的难点，未确知测度理论为解决这一问题提供较好的方法。该法通过构造各个评价因子的单指标测度函数求出单指标测度矩阵，再将多指标权重和多指标综合测度评价向量的计算值通过优化结果识别得出满足要求置信度的评价等级，其基本步骤如下：

a）建立隧道专项风险评估的指标体系。删除具有较大相关性的风险指标，选择具有代表性的风险指标，形成具有相互独立性的隧道风险指标体系，指标体系包含几个大类，大类中包括选取多项因素作为评价因子。

首先将定性指标通过相关文献及专家建议定量化，再运用分级标准化法将每个指标分为4级，建立评判集为*U*={*C*1*,C*2*,C*3*,C*4}，即Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级，分别代表风险性极高、风险性高度、风险性中度和风险性低度，每级都根据专家建议设置一个取值标准，形成分级标准评定表：

表C.5 分级标准评定表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 评价因子 | 分级标准 | | | |
| Ⅰ级(*C*1) | Ⅱ级(*C*2) | Ⅲ级(*C*3) | Ⅳ级(*C*4) |
| 评价因子1 | >*c1* | *b1*~*c1* | *a1*~*b1* | <*a1* |
| 评价因子2 | >*c2* | *b2*~*c2* | *a2*~*b2* | <*a2* |
| … | … | … | … | … |
| 评价因子*m* | >*cm* | *bm*~*cm* | *am*~*bm* | <*am* |

结合工程实际、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值，见表C.6。

表C.6 风险评估指标调查统计表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 评价指标 | 评价因子 | 评价赋值 |
| 评价指标1 | 评价因子1 | *α* |
| 评价指标2 | 评价因子2 | *β* |
| … | … | … |
| 评价指标*n* | 评价因子*m* | *γ* |

b）建立隧道施工安全状态各影响因素的未确知测度函数。单指标测度函数的定义为：

 （24）

 （25）

 （26）

式中：

*i*=1，2，…，*n*；*j*=1，2…，*m*；

*Xi*—第*i*个指标的测量值；

*μ*—未确知测度。

根据上述单指标测度的定义及表C.5和表C.6，构建单指标测度函数(函数图形见图C.2、图C.3、图C.4)以便求得隧道施工各评价指标的测度。



图C.2 评价因子1的未确知函数



图C.3 评价因子2的未确知函数



图C.4 评价因子*m*的未确知函数

将表C.6中评价因子代入上述的单指标测度的函数中，可计算得到单指标评价矩阵。

 （27）

c）利用信息熵理论计算各评估指标的指标权重。指标区分权重是指评价因子*Xi*与其它因子相比具有的相对重要程度，记作*wj*(*xi*)，0≤*wj*≤1令：

 （28）

式中：

*νj*—指标*j* 提供的信息量；

*k*—评价等级的数量；

—单指标测度。

各指标的权重为：

 （29）

d）依照置信度识别准则判定等级。

根据指标权重可得到综合测度*μik*，*μik*表示*Xi*隶属于第*k*个等级的程度，即：

 （30）

得综合测度评价矩阵：

 （31）

为了得到最优评价结果，引入置信度评价准则，设λ为置信度（*λ*≥0.5）。若评价空间{*C*1,*C*2,…,*Cp*}是有序的，且*C*1>*C*2>…>*Cp*，令：

 （32）

则认为优化对象*Ri*属于第*k*0个评价类*Ck*0。

附录D

**（资料性附录）**

**公路隧道典型重大风险源风险控制建议**

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、安全培训等方面分别制定具体措施，可参照表D.1。

表D.1 隧道洞口失稳风险事件控制措施建议

| **控制措施** | **重大风险(Ⅰ级)** | **较高风险(Ⅱ级)** | **一般风险(Ⅲ级)** |
| --- | --- | --- | --- |
| (1) 前期工作 | | | |
| ①资料收集 | 收集洞口周边地质资料，观测洞口周围滑坡、岩体崩塌情况。 | | 最好收集上述资料。 |
| ②断层破碎带 | 采用超前地质预报等方式对洞口附近是否存在断层破碎带及其状态进行确定。 | | |
| ③浅埋式、明洞 | 进行地表沉降、拱顶下沉等监测。 | | |
| ④周围结构物 | 测量周围结构物的距离，研究对其影响程度的大小 | | |
| (2) 开挖作业 | | | |
| ①滑塌表土、灌木、危石 | 应先清理洞口上方及侧方可能滑塌的表土、灌木及山坡危石等。 | | |
| ②截、排水系统 | 洞口的截、排水系统应该在进洞前完成，并应与路基排水顺接，截、排系统排水不得冲刷路基坡面、桥台锥体、农田屋舍，土质截水沟、排水沟应随挖随衬砌。 | | |
| ③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。 | 不良地质条件下应讨论改变施工方法及超前支护方案。 | |
| (3) 支护 | | | |
| ①喷射混凝土 | 开挖后迅速喷射混凝土。 | | |
| 根据情况对掌子面喷射混凝土。 | 对于地质不良段应讨论确定。 | |
| 根据情况二次喷射混凝土。 | 对于地质不良段应讨论确定。 | |
| 采用钢筋网、喷射混凝土进行加固。 | 对于地质不良段应讨论确定。围岩不够稳定时，可以张挂金属网。加上锚网后再喷射混凝土进行加固。 | |
| ②锚杆与锚喷支护 | 锚杆应根据地质条件，采用固结性好并便于施工的方式打设。 | | |

表D.1(续) 隧道洞口失稳风险事件控制措施建议

| **控制措施** | **重大风险(Ⅰ级)** | **较高风险(Ⅱ级)** | **一般风险(Ⅲ级)** |
| --- | --- | --- | --- |
| ③钢拱架支护 | 缩小钢拱架的间隔。  扩大钢拱架的断面。  使用适合围岩条件的底板、垫板。  讨论钢拱架的形状是否适合。 | 不良地质路段应缩小。  不良地质路段扩大。  不良地质路段应使用合适的底板、垫板。  不良地质路段应讨论其形状。 | |
| ④绿植化 | 应根据实际情况，对隧道洞口进行绿植化。 | | |
| (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。 | | |
| 洞口施工应监测边、仰坡变形。 | | |
| (5) 洞门 | 可采用翼墙式（八字）墙式洞门，翼墙和端墙共同作用，抵抗山体水平推向力。 | 可采用端墙式洞门，其作用在于支护洞口仰坡，保持其稳定，并将仰坡水流汇集排出。 | |
| (6) 洞口失稳防护培训 | 应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。 | | |

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、支护方式、监控量测、二次衬砌、安全教育等方面分别制定具体措施，可参照表D.2。

表D.2 隧道坍塌风险事件控制措施建议

| **控制措施** | **重大风险(Ⅰ级)** | **较高风险(Ⅱ级)** | **一般风险(Ⅲ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（包括自然灾害）等。 | | 最好收集上述资料。 |
| ②洞口段 | 对有关滑坡、岩体崩塌等观测。 | | 对是否需要观测进行论证。 |
| ③断层、破碎带 | 接近断层、破碎带时，应采用超前地质预报等方式进行确认。 | | |
| ④浅埋段 | 进行地表沉降、拱顶下沉等观测。 | | |
| (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。 | 不良地质条件下应讨论改变施工方法及超前支护方案。 | |
| ②危石 | 应分段仔细检查爆破段并清除危石。  钻孔作业前后、爆破后、废渣处理时及处理后，应进行仔细检查，并去除。  地震后应检查以上地点。 | | |

表D.2(续) 隧道坍塌风险事件控制措施建议

| **控制措施** | **重大风险(Ⅰ级)** | **较高风险(Ⅱ级)** | **一般风险(Ⅲ级)** |
| --- | --- | --- | --- |
| (3) 支护 | | | |
| ①喷射混凝土 | 开挖后迅速喷射混凝土。 | | |
|  | 根据情况对掌子面喷射混凝土。 | 对于地质不良段应讨论确定。 | |
| 根据情况二次喷射混凝土。 | 对于地质不良段应讨论确定。 | |
| 采用钢筋网、喷射混凝土进行加固。 | 对于地质不良段应讨论确定。 | |
| ②锚杆 | 锚杆应根据地质条件，采用固结性好并便于施工的方式打设。  施工时，应进行拉拔试验确认其性能。 | | |
| ③钢拱架支护 | 缩小钢拱架的间隔。  扩大钢拱架的断面。  使用适合围岩条件的底板、垫板。  讨论钢拱架的形状是否适合。 | 不良地质路段应缩小。  不良地质路段扩大。  不良地质路段应使用合适的底板、垫板。  不良地质路段应讨论其形状。 | |
| (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。 | | |
| 缩小监控量测间隔。  增加监控量测频度。 | 不良地质路段应缩小。  不良地质路段应增加频度。 | |
| 根据监控量测、观察的结果，初期支护发生变形时，应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衬砌。 | 不良地质路段应对是否闭合及尽早衬砌进行讨论  应对临时衬砌进行讨论。 | |
| (6) 坍塌防护培训 | 应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。 | | |

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、防涌水突泥培训等方面分级制定具体对策措施，可参照表D.3。

表D.3 隧道涌水突泥风险事件控制措施建议

| **控制措施** | **重大风险(Ⅰ级)** | **较高风险(Ⅱ级)** | **一般风险(Ⅲ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情况的资料。 | | 根据需要，对周围隧道工程出现涌水情况的资料进行收集。 |

表D.3(续) 隧道涌水突泥风险事件控制措施建议

| **控制措施** | **重大风险(Ⅰ级)** | **较高风险(Ⅱ级)** | **一般风险(Ⅲ级)** |
| --- | --- | --- | --- |
| (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、止水施工法。 | | 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，进行涌水调查及排水，根据需要可以改变开挖方法 | 进行短距离钻孔。 | |
| ②集水坑 | 采用水平钻孔进行排水，作业途中有障碍时，应设置集水坑。 | 讨论集水坑是否设置。 | |
| ③止水施工法 | 排水较为困难时，使用帷幕注浆。 | 根据需要，部分地段进行帷幕注浆。 | 根据需要，讨论是否进行帷幕注浆。 |
| ④测量管理 | 测量洞内的涌水量、地下水位、水质的变化等。 | | 根据需要，测量洞内的涌水量、地下水位、水质的变化等情况。 |
| 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。 | | 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。 |
| 连续调查开挖面的地质变化并进行图示。 | 根据需要连续调查开挖面的地层变化并进行图示。 | |
| 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 | 记录并整理施工中的各项测量结果，根据数据把握涌水的危险度。 | | |
| (4) 警报装置 | 应设置发生紧急情况的警报装置。  发出警报的标准、警报的种类、警报后的应急行动等应提前确定，并通知到相关人员。  应确定警报装置检修及维护的标准。 | | |
| (5) 应急措施 | | | |
| ①应急器械 | 应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。 | | |
| ③避难训练 | 进行紧急情况避险训练。 | | |
| ④救护训练 | 进行紧急情况的人员救护训练。 | | |
| (6) 涌水突泥知识培训 | 培训围绕下列内容：  涌水的危险性；  防止事故发生的措施及注意事项；  检查方法；  发生紧急情况时的对策。 | | |

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、防水排水、初期支护、监控量测、二次衬砌、应急措施等方面分别制定具体措施，可参照表D.4。

表D.4 隧道围岩大变形风险事件控制措施建议

| **控制措施** | | **重大风险(Ⅰ级)** | **较高风险(Ⅱ级)** | **一般风险(Ⅲ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（包括自然灾害）等。 | | 最好收集上述资料。 |
| (2) 开挖技术 | | | | |
| ②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。 | | 对于不良地质路段应讨论改变施工方法。 | |
| ③控制方法 | 上部断面开挖后应立即采取控制围岩及初期支护变形量的措施。 | | 不良地质条件下或围岩变形较大时，上部断面开挖后应立即采取控制围岩及初期支护变形量的措施。 | |
| ④预留变形量 | 按设计要求预留变形量，预留变形量的大小应根据监控量测信息进行调整。 | | | |
| (3) 防水排水 | | | | |
| ①防水 | | 按设计做好防水混凝土、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变形机理的分析。 | 对于不良地质路段应讨论确定。 | |
| 覆层较薄和渗透强地层，地表水及早处理。 | | |
| 隧道开挖后应尽快初喷混凝土封闭岩面，并控制施工用水。 | 膨胀岩、土质地层、围岩松软地段开挖后应尽快初喷混凝土封闭岩面，并控制施工用水。 | |
| ②排水 | | 根据实际情况制定合理有效的排水方案，确保排水措施满足隧道排水要求。 | | |
| (4)超前支护 | | 围岩自稳条件差的地段应该进行超前支护、预加固处理，并符合设计要求。 | | |
| (5) 初期支护 | | | | |
| ①钢拱架支护 | | 缩小钢拱架的间隔。  扩大钢拱架的断面。  讨论钢拱架的形状是否适合。 | 不良地质路段应缩小。  不良地质路段应扩大。  不良地质路段应讨论其形状。 | |
| 使用适合围岩条件的底板、垫板。 | | |

表D.4(续) 隧道围岩大变形风险事件控制措施建议

| **控制措施** | **重大风险(Ⅰ级)** | **较高风险(Ⅱ级)** | **一般风险(Ⅲ级)** |
| --- | --- | --- | --- |
| ②锚杆 | 锚杆应根据地质条件，采用固结性好并便于施工的方式打设。  施工后，应进行锚杆拉拔试验确认锚杆性能。 | | |
| ③喷射混凝土 | 开挖后迅速喷射混凝土。 | | |
| 根据围岩条件二次喷射混凝土。 | 对于不良地质路段应讨论确定。 | |
| 根据围岩条件采用钢筋网、喷射混凝土进行加固。 | 对于不良地质路段应讨论确定。 | |
| (6) 监控量测 | 施工过程中应监测围岩净空位移、围岩压力、拱顶下沉、周边位移、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，发现变形异常时应及时处理。 | | 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。 |
| 缩小监控量测间隔。  增加监控量测频度。 | 不良地质路段应缩小。  不良地质路段应增加频度。 | |
| 增加超前预报探测深度。  增加超前预报探测频度。 | 遇不良地质条件时应加强超前预报。 | |
| (7) 二次衬砌 | 仰拱、二衬施工符合设计和规范要求。 | | |
| 初衬稳定后，仰拱、二衬及时施做，封闭成环。 | 不良地质路段应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措施。 | | |

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、火源管理、应急措施、防瓦斯培训等方面制定具体对策措施，可参照表D.5。

表D.5 隧道瓦斯爆炸风险事件控制措施建议

| **控制措施** | **重大风险(Ⅰ级)** | **较高风险**  **(Ⅱ级)** | **一般风险(Ⅲ级)** |
| --- | --- | --- | --- |
| (1) 前期资料收集 | 根据地形、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的产生状况、瓦斯爆炸事故、瓦斯的对策措施等资料。 | | 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。 |

表D.5(续) 隧道瓦斯爆炸风险事件控制措施建议

| **控制措施** | **重大风险(Ⅰ级)** | **较高风险**  **(Ⅱ级)** | **一般风险(Ⅲ级)** |
| --- | --- | --- | --- |
| (2) 施工中调查 | 根据开挖面的观察结果，进行钻探或超前地质预报，对气体的涌出量、气体压力、成分等进行调查，以及本质安全型机械设备的配置情况。 | 根据开挖面观察结果，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 | 在开挖面顶端、隧道中间、模板台车、电气设备等附近，设定检测瓦斯浓度的位置。指定检测员，进行检测。 | | |
| 在瓦斯容易停滞的场所，设置固定式检测器，实时进行检测。 | | 施工开始后，如有需要应进行测定。 |
| 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精确测定。 | | 在当天作业开始前进行测定。 |
| 除瓦斯浓度外，氧气浓度、气压、洞内的温度、风速等也需测定。 | | |
| ③信息沟通机制 | 确定检测结果的信息沟通机制。特别应明确出现异常值时，向现场负责人报告的渠道和机制。 | | |
| ④记录、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。  在可能产生瓦斯的施工区域，设置能充分稀释产生气体的换气设备。 | | |
| 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外时，应设置通风竖井。 | 对通风竖井的设置进行论证。 | |
| (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D.5(续) 隧道瓦斯爆炸风险事件控制措施建议

| **控制措施** | **重大风险(Ⅰ级)** | **较高风险**  **(Ⅱ级)** | **一般风险(Ⅲ级)** | |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| (6) 火源管理 | | | | |
| ①火的管理 | 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、相机用闪光灯等可能成为火源的物品在洞口标示，向相关人员公告，禁止将上述物品带入隧道内。另外，还应实施进洞前随身物品检查等具体措施。 | 原则上禁止带入火源，并进行标示。 | | |
| 在隧道内，将动火作业变更为不用火的方法或转移到洞外作业。  着火用具由作业主管进行保管。  动火前对周围的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，提前提出申请。  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，应提前提出申请，并采取必要的措施。 | |
| ②机电设备防爆 | 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应具有防爆性能。  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。 | | |
| 使用耐火性电缆。 | 讨论使用耐火性电缆。 | | 根据需要讨论是否使用耐火性的电缆。 |
| ③电气设备绝缘 | 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。 | 根据情况讨论采用何种炸药。 | | |
| ⑤其它 | 为防止服装、通风管等的静电，采取防止带电、接地等措施。 | | | 特殊情况下采用。 |

表D.5(续) 隧道瓦斯爆炸风险事件控制措施建议

| **控制措施** | **重大风险(Ⅰ级)** | **较高风险**  **(Ⅱ级)** | **一般风险(Ⅲ级)** |
| --- | --- | --- | --- |
| (7) 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。 | | |
| (8) 防瓦斯爆炸培训 | 培训围绕下列内容：  可燃性气体的性质；  瓦斯爆炸的危害；  瓦斯的检测；  通风；  火源管理；  应急处置措施。 | | |

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、岩爆防护培训等方面分别制定具体措施，可参照表D.6。

表D.6 隧道岩爆风险事件控制措施建议

| **控制措施** | **重大风险(Ⅰ级)** | **较高风险(Ⅱ级)** | **一般风险(Ⅲ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。 | | 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，初步确定今后施工过程中哪些部位及里程容易发生岩爆现象，对于岩爆地段，优化隧道形状和方位、调整隧道施工顺序。 | | 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，以及先导硐，后刷扩的二次推进的掘进方式。 | 进行长距离钻孔掘进。 | |
| ②爆破控制 | 微差起爆，严格控制最大单响药量，减小药量和减少爆破频率，提高光爆效果，减小应力集中。 | 根据需要，适当进行爆破频率、药量等控制 | |
| ③应力释放 | 用打超前孔或在孔中实施小爆破以进行应力释放。 | 讨论是否钻应力释放孔。 | |
| ④围岩洒水 | 在掌子面（工作面）和洞壁经常喷洒冷水，降低表层围岩强度。 | 根据需要，适当喷洒冷水。 | |

表D.6 隧道岩爆风险事件控制措施建议

| **控制措施** | **重大风险(Ⅰ级)** | **较高风险(Ⅱ级)** | **一般风险(Ⅲ级)** |
| --- | --- | --- | --- |
| ⑤围岩支护 | 采取双层锚网喷加钢筋梁联合支护，防止岩爆的发生。 | 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，利用人的肉眼和耳朵去观测作业区异常现象，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、脱片或出现异常的响声等，做到及时发现险情及时处理。 | | 根据需要，观测作业区的边帮开裂、脱片和异常的响声等情况。 |
| 仪器监测，可结合现场实际利用两维收敛以及锚杆测力计、多点位移计等监测仪器进行监测。 | | 根据需要，监测作业区围岩的应力位移情况。 |
| 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 | 记录并整理施工中的各项测量结果，根据数据把握岩爆的危险度。 | | |
| (4) 警报装置 | 应设置发生紧急情况的警报装置。  发出警报的标准、警报的种类、警报后的应急行动等应提前确定，并通知到相关人员。  应确定警报装置检修及维护的标准。 | | |
| (5) 应急措施 | | | |
| ①应急器械 | 应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 | 进行紧急情况的人员救护训练。 | | |
| (6) 岩爆防护培训 | 培训围绕下列内容：  岩爆的危险性；  防止岩爆发生的措施及注意事项；  检查方法；  发生紧急情况时的对策。 | | |

附录E

**（资料性附录）**

**施工安全风险评估报告格式**

(1) 封面

封面示例见图E.1。

(2) 扉页一

① 扉页一应注明：施工安全风险评估报告编制单位名称（加盖公章）。

② 评估小组负责人，并应亲笔签名。

③ 扉页一示例见图E.2。

(3) 扉页二

评估小组人员名单和职称，并应亲笔签名。

(4) 概述

(5) 目录

(6) 正文

(7) 附件

图E.1 评估报告封面示例

评估项目名称（二号宋体）

**施工安全总体（专项）风险评估报告**

**（一号黑体加粗）**

**评估报告完成日期（三号宋体加粗）**

评估项目名称（三号宋体）

**施工安全总体（专项）风险评估报告**

**（二号宋体加粗）**

**编制单位：（四号宋体加粗）**

**评估小组负责人：（四号宋体加粗）**

**日期：（四号宋体加粗）**

图E.2 评估报告扉页示例

图E.2 评估报告扉页示例

参考文献

[1] GB 50021-2001 岩土工程勘察规范

[2] GB/T 50218-2014 工程岩体分级标准

[3] GB 50287-2016 水力发电工程地质勘察规范

[4] GB 50487-2008 水利水电工程地质勘察规范

[5] JTG B01-2014 公路工程技术标准

[7] JTG C20-2011 公路工程地质勘察规范

[8] JTG 3370.1-2018 公路隧道设计规范 第一册 土建工程

[9] JTG F60-2009 公路隧道施工技术规范

[10] JTG F90-2015 公路工程施工安全技术规范

[11] DL/T 5195-2004 水工隧洞设计规范

[12] TB 10003-2016 铁路隧道设计规范

[13] TB 10120-2019 铁路瓦斯隧道技术规范