

T/GECS ***—20**

T/GECS

广西工程建设标准化协会团体标准

T/GECS ***—20**

长大隧道施工安全风险评估指南

Guideline for safety risk assessment of long and large tunnel
construction

（提交意见反馈时，请将有关专利连同支持性文件一并附上）

20**-**-** 发布

20**-**-** 实施

广西工程建设标准化协会 发布

前 言

根据广西工程建设标准化协会《关于批准 2023 年广西工程建设标准化协会第二批团体标准立项的通知》（桂建标协〔2023〕56 号）的要求，编制组经深入调查研究，认真总结广西区内外隧道工程设计和施工阶段风险评估的实践经验，参考该领域国内外先进标准和最新科研成果，并在广泛征求我区有关单位意见的基础上，制定本指南。

本指南共分 7 章和 5 个附录，主要技术内容包括：总则、术语、基本规定、总体风险评估、专项风险评估、风险控制措施、风险评估报告编制等。

本指南由广西工程建设标准化协会负责管理，由广西航务建设工程有限公司负责具体技术内容的解释。本指南在执行过程中如有意见或建议，请寄送广西航务建设工程有限公司（地址：南宁市兴宁区邕武路 1 号，邮政编码：530012），以供今后修订时参考。

主 编 单 位：广西航务建设工程有限公司
广西大学

参 编 单 位：广西交通设计集团有限公司
广西路建工程集团有限公司

主 要 起 草 人：

主 要 审 查 人：

目 次

1 总 则	1
2 术 语	3
3 基本规定	6
3.1 风险评估内容与流程	6
3.2 风险评估方法选择	7
4 总体风险评估	9
4.1 一般规定	9
4.2 评估体系	9
4.3 指标体系评估	11
4.4 风险等级	14
5 专项风险评估	15
5.1 一般规定	15
5.2 风险源辨识	16
5.3 风险分析	18
5.4 风险估测	19
5.5 一般风险源估测	23
5.6 重大风险源估测	23
6 风险控制措施	31
6.1 风险接受准则	31
6.2 一般风险源控制措施	32
6.3 重大风险源控制措施	32
6.4 风险控制预期效果评估	33
7 风险评估报告编制	34
7.1 一般规定	34
7.2 相关内容和格式	34
附录 A（资料性） 风险评估方法	36

附录 B（资料性） 专项风险评估指标体系	37
附录 C（资料性） 长大隧道施工典型事故类型对照表	38
附录 D（资料性） 长大隧道施工典型重大安全风险控制建议	39
附录 E（资料性） 长大隧道施工风险评估报告格式	40
本指南用词说明	43
引用标准名录	44

Contents

1 General provisions.....	错误！未定义书签。
2 Terms.....	错误！未定义书签。
3 Basic regulations.....	错误！未定义书签。
3.1 Risk assessment content and process.....	错误！未定义书签。
3.2 Selection of risk assessment methods.....	错误！未定义书签。
4 Overall risk assessment.....	错误！未定义书签。
4.1 General provisions.....	错误！未定义书签。
4.2 Evaluation system.....	错误！未定义书签。
4.3 Indicator system evaluation.....	错误！未定义书签。
4.4 Risk level.....	错误！未定义书签。
5 Special risk assessment.....	15
5.1 General provisions.....	错误！未定义书签。
5.2 Risk source identification.....	16
5.3 Risk analysis.....	18
5.4 Risk estimation.....	19
5.5 General risk source estimation.....	23
5.6 Estimation of major risk sources.....	23
6 Risk control measures.....	31
6.1 Risk Acceptance Criteria.....	31
6.2 General risk source control measures.....	32
6.3 Control measures for major risk sources.....	32
6.4 Evaluation of expected effects of risk control.....	33
7 Preparation of risk assessment report.....	34
7.1 General provisions.....	34
7.2 Related content and format.....	34
Appendix A (Informative) Risk assessment methods.....	36
Appendix B (informative) Special risk assessment indicator system.....	37

Appendix C (informative) Comparison table of typical accident types in long and large tunnel construction.....	38
Appendix D (Informative) Typical major safety risk control suggestions for long and large tunnel construction.....	39
Appendix E (Informative) Format of risk assessment report for long and large tunnel construction.....	错误！未定义书签。
Explanation of vocabulary in this guide.....	错误！未定义书签。
List of reference standards.....	44

1 总 则

1.0.1 为指导长大隧道工程施工安全风险评估工作，有效控制施工安全风险，减少重特大生产安全事故的发生，降低人员伤亡和经济损失，保障长大隧道工程建设的安全，编制本指南。

1.0.2 本指南适用于以钻爆法为主要开挖手段的新建长大公路隧道工程的施工安全风险评估工作，改扩建长大公路隧道工程可参照执行。

1.0.3 本指南确定了长大隧道工程施工阶段安全风险评估的工作原则、操作程序、评估方法、风险估测标准和风险评估报告形式要求。

1.0.4 长大隧道施工安全风险等级分为 I 级（低度风险）、II 级（中度风险）、III 级（高度风险）、IV 级（极高风险）。I、II、III、IV 级分别以绿、黄、橙、红示出。安全风险等级要求见表 1.0.4。

表 1.0.4 安全风险等级要求

风险等级	要 求
I（低）	风险水平可以接受，当前应对措施有效，不必采取额外技术、管理方面的预防措施。
II（中）	风险水平有条件接受，工程有进一步实施预防措施以提升安全性的必要。
III（高）	风险水平有条件接受，必须实施削减风险的应对措施，并需要准备应急计划。
IV（极高）	风险水平不可接受，必须采取有效应对措施将风险等级降低到 III 级及以下水平； 如果应对措施的代价超出项目法人（业主）的承受能力，则更换方案或放弃项目执行。

1.0.5 长大隧道施工安全风险评估分为总体风险评估和专项风险评估。总体风险评估是指开工前根据隧道工程地质环境条件、建设规模、结构特点等孕险环境与致灾因子，评估隧道工程整体风险，估测其安全风险等级，属于静态评估。专项风险评估是指将总体风险评估等级为 III 级（高度风险）及以上隧道工程中施工作业活动（或施工区域）作为评估对象，根据其作业风险特点以及类似工程事故情况，进行风险源普查，并针对其中的重大风险源进行量化评估，提出相应的风险控制措施，属于动态评估。

1.0.6 施工安全风险评估应根据项目工程特点，选择定性和定量相结合的评估方法（常用

评估方法见本指南附录 A)。

1.0.7 本指南主要依据《公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估指南》(试行)、现行《公路水运工程施工安全风险评估指南 第 3 部分：隧道工程》JT/T 1375.3、《公路隧道施工技术规范》JTG/T 3660 和《公路工程施工安全技术规范》JTG F90 等标准的原则制定。

1.0.8 本指南规定了长大隧道工程施工安全风险评估的通用原则，考虑到工程个案间差异性较大，具体评估时可对评估指标、分级标准、评估方法等进行相应改进。

1.0.9 长大隧道工程施工安全风险评估工作除应遵守本指南外，尚应符合国家、行业和地方相关法律法规、现行标准等规定。

2 术 语

2.0.1 风险 risk

不利事件或事故发生的概率(频率)及其损失的组合。

2.0.2 事故 accident

可能造成工程发生人员伤亡、经济损失、环境影响、工期延误或工程耐久性降低等不利事件。本指南重点考虑人员伤亡和经济损失的事故。

2.0.3 风险因素 risk factors

也可称为致险因子，是指导致风险发生的各种主客观的直接因素、危险事件或人员错误行为的统称。

2.0.4 风险损失 risk loss

工程建设过程中任何潜在的或外在的不利影响、破坏或损失，包括人员伤亡、环境影响、经济损失和工期延误等。

2.0.5 风险界定 risk delineation

分析工程建设风险管理目标及对象，划分风险评估单元。

2.0.6 风险辨识 risk 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。

2.0.7 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。

2.0.8 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。

2.0.9 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中专项风险评估。

2.0.10 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

2.0.11 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。

2.0.12 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。

2.0.13 风险评价 risk evaluation

对工程建设风险进行等级评定、风险排序与风险决策。

2.0.14 风险控制 risk control

制定风险处置措施及应急预案，实施风险监测、跟踪与记录。风险处置措施包括风险消除、风险降低、风险转移和风险自留 4 种方式。

2.0.15 风险管理 risk management

对工程建设风险进行风险界定、风险辨识、风险估计、风险评价与风险控制。

2.0.16 风险分析 risk analysis

采用系统安全工程的方法对风险源可能导致的事故进行分析，找出可能受伤害人员、致害物、事故原因等，确定主要的物的不安全状态和人的不安全行为。

2.0.17 风险接受准则 risk acceptance criteria

对风险进行分析与决策，判断风险是否可接受的等级标准。

2.0.18 风险记录 risk register

对已辨识的风险进行记录跟踪管理，记录内容包括风险名称、风险等级、风险处置措施及控制效果等。

2.0.19 人员伤亡 loss of life and personal injury

工程建设风险发生后导致各类人员产生的健康危害、身体伤害及死亡等。

2.0.20 孕险环境 risk surroundings

潜在发生事故的各种工程场地区域、周边环境、施工工艺及管理方案等。

2.0.21 风险源辨识 risk factors identification

通过对工程施工过程进行系统分解，调查各施工工序潜在的事故类型的过程。

2.0.22 施工安全风险评估 construction safety assessment

针对工程施工过程中各项作业活动、作业环境、施工设备、危险物品 等所潜在风险进行风险源辨识、风险分析、风险估测的系列工作。

2.0.23 本质安全 intrinsic safety

在施工设备、施工技术工艺中含有的、内在的能够从根本上防止事故发生的功能。即使作业人员失误或者设备发生故障，仍能保证不发生安全事故。

2.0.24 单位作业 unit construction procedure

单位作业是具有一定专业特征，在施工中由相应工种完成并与其他作业活动间有较清晰界面的施工作业活动，如：模板作业、钻孔作业、爆破作业、吊装作业等。

2.0.25 一般风险源 normal risk factors

指风险源相对简单，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。

2.0.26 重大风险源 high risk factors

指风险源相对比较复杂，存在较大的不可预见性，引发的事故严重性较大，必须从结构设计、环境因素、施工方法、安全管理等角度进行控制和防范的风险源。

3 基本规定

3.1 风险评估内容与流程

3.1.1 长大隧道工程施工安全风险评估内容分为初步设计及施工图阶段风险评估和施工阶段风险评估。

3.1.2 初步设计及施工图阶段应开展以下风险评估工作：

- 1 开展长大隧道工程勘察与环境调查风险评估，对地质风险因素不确定性进行分析；
- 2 根据隧道地质资料分段评估，确定总体风险等级；
- 3 根据设计措施进行再评估，确定残留风险；
- 4 根据总体风险评估结果判断是否需进行专项风险评估，并提出下阶段风险评估工作的建议。

3.1.3 初步设计及施工图阶段风险评估宜按图 3.1.3 所示流程开展。

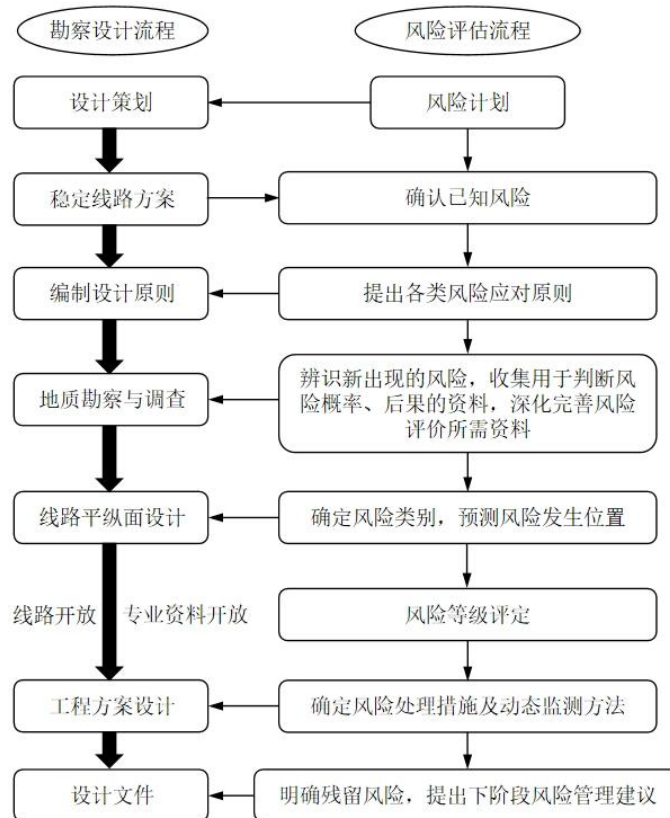


图 3.1.3 初步设计及施工图阶段风险评估流程图

3.1.4 施工阶段应开展以下风险评估工作：

- 1 编制风险计划；
- 2 核对设计提出的风险，评估新出现的风险；
- 3 制定风险管理实施细则及应急预案；
- 4 风险公告及人员培训；
- 5 施工过程中进行动态评估，落实风险控制措施；
- 6 明确残留风险，提出运营阶段风险评估工作的建议。

3.1.5 施工阶段风险评估宜按图 3.1.5 所示流程开展。

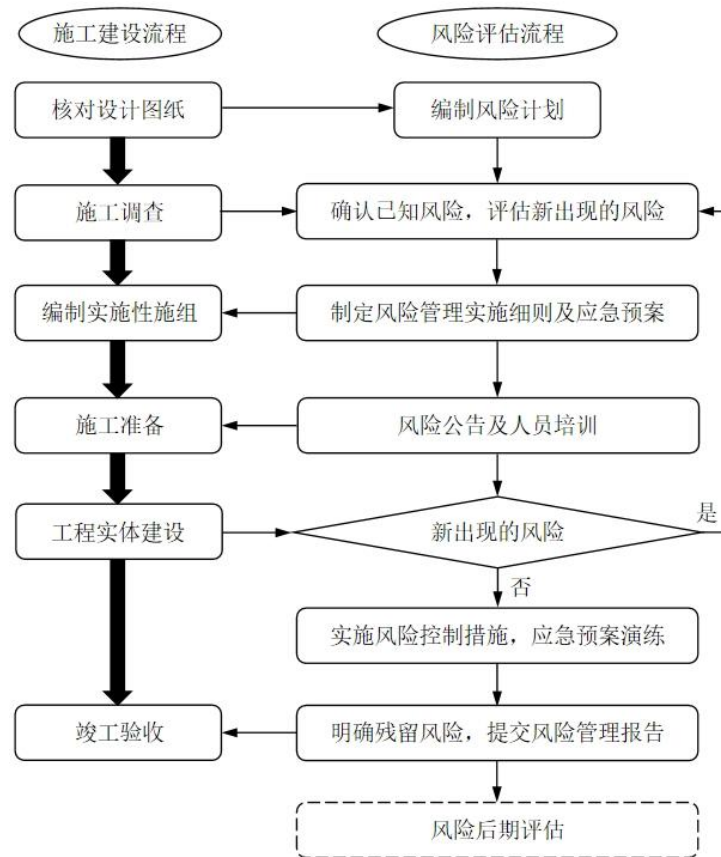


图 3.1.5 施工阶段风险评估流程图

3.2 风险评估方法选择

3.2.1 长大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。

- 1 总体风险评估宜采用主因素控制指标体系法。

2 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。

3 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。

3.2.2 长大隧道工程施工安全风险评估内容与流程除应遵守本指南外，尚应符合现行国家、行业和地方标准等相关规定。

4 总体风险评估

4.1 一般规定

4.1.1 长大隧道工程施工安全总体风险评估，是指施工前，即初步设计及施工图阶段根据隧道工程的地质环境条件、建设规模、结构特点等孕险环境与致险因子，评估隧道工程整体风险，估测其安全风险等级。属于静态评估。

4.1.2 经总体风险评估，对于Ⅲ级（高度风险）及以上等级的长大隧道工程，应组织开展专项风险评估。其他风险等级的隧道工程，视情况确定是否开展专项风险评估。

4.1.3 本指南推荐采用主控因素指标体系法进行总体风险评估。评估小组可根据工程实际情况，并结合自身经验，对本指南推荐的总体风险评估指标体系进行改进。

4.2 评估体系

4.2.1 长大隧道工程施工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。

4.2.2 长大隧道工程施工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。

4.2.3 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 4.2.3。

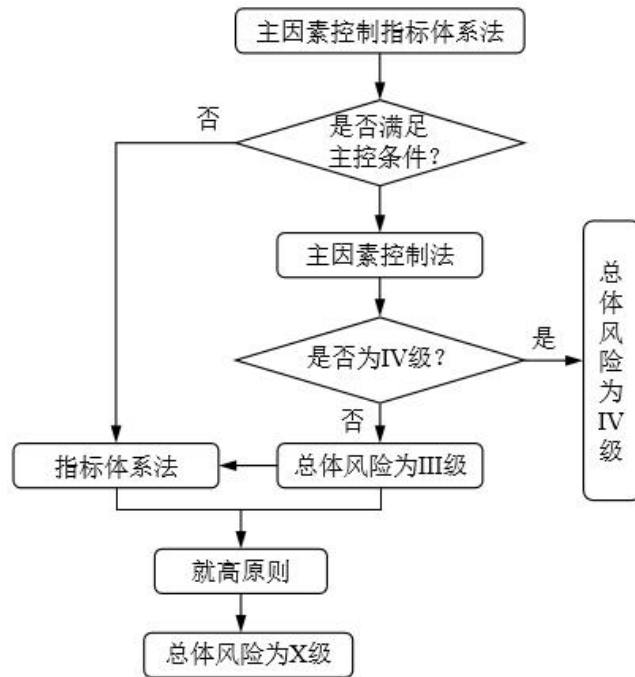


图 4.2.3 主控因素判识流程

4.2.4 长大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。

4.2.5 对总体风险评估等级为高度（III级）及以上的长大隧道工程，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。

4.2.6 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 4.2.6 确定总体风险等级。

表 4.2.6 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	极高风险 (IV级)	高度风险 (III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≥ 1m ³ /min	√		包括竖井、斜井

	预测瓦斯涌出量 $0.5 \text{ m}^3/\text{min} \sim 1 \text{ m}^3/\text{min}$		√	
预测涌水量	隧道预测涌水量 $\geq 20000 \text{ m}^3/\text{d}$	√		包括竖井、斜井
	隧道预测涌水量 $10000 \text{ m}^3/\text{d} \sim 20000 \text{ m}^3/\text{d}$		√	
断层破碎带宽度	断层破碎带宽度 $\geq 50 \text{ m}$	√		
	断层破碎带宽度 $20 \text{ m} \sim 50 \text{ m}$		√	
地应力	最大主应力 $\geq 40 \text{ MPa}$	√		
	最大主应力 $20 \text{ MPa} \sim 40 \text{ MPa}$		√	
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。

4.2.7 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。

4.2.8 若通过主控因素确定主控风险为IV级（极高风险）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III级（高度风险）时，应展开指标体系评估。

4.3 指标体系评估

4.3.1 根据影响长大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。

4.3.2 指标体系评估表见表 4.3.2，指标取值基于单洞计算。

表 4.3.2 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	$\geq 5000 \text{ m}$	12	根据设计文件确定
		$3000 \text{ m} \sim 5000 \text{ m}$	7	
		$1000 \text{ m} \sim 3000 \text{ m}$	4	
	隧道开挖跨 度 B_2	$\geq 18 \text{ m}$	10	根据设计文件确定 (仅考虑主隧道开挖 跨度)
		$14 \text{ m} \sim 18 \text{ m}$	7	
		$9 \text{ m} \sim 14 \text{ m}$	4	
		$< 9 \text{ m}$	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 $\geq 70\%$	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 $40\% \sim 70\%$	7	
		V级围岩连续长度占隧道长度 $20\% \sim 40\%$	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 $\geq 1 \text{ m}^3/\text{min}$	12	根据地勘资料、设计文件确定
		预测瓦斯涌出量 $0.5 \text{ m}^3/\text{min} \sim 1 \text{ m}^3/\text{min}$	7	
		预测瓦斯涌出量 $< 0.5 \text{ m}^3/\text{min}$	4	
		不存在瓦斯	0	
	预测涌水量 G_3	预测瓦斯涌出量 $\geq 1 \text{ m}^3/\text{min}$	12	根据地勘资料、设计文件确定
		$10000 \text{ m}^3/\text{d} \sim 20000 \text{ m}^3/\text{d}$	7	
		$2000 \text{ m}^3/\text{d} \sim 10000 \text{ m}^3/\text{d}$	4	
		$< 2000 \text{ m}^3/\text{d}$	0	
	断层破碎带宽度 G_4	断层破碎带宽度 $\geq 50 \text{ m}$	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 $20 \text{ m} \sim 50 \text{ m}$	4	
		断层破碎带宽度 $< 20 \text{ m}$	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）
		$2 \sim 4$	4	
		$4 \sim 7$	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	
		洞口边仰坡较稳定	0	
	洞口偏压角度 C_2	$\geq 45^\circ$	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
		$30^\circ \sim 45^\circ$	2	
		$15^\circ \sim 30^\circ$	1	
		$< 15^\circ$	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	$\geq 1000 \text{ mm}$	1.30	根据气象资料确定（近5年降水量平均值）	
	$600 \text{ mm} \sim 1000 \text{ mm}$	1.20		
	$300 \text{ mm} \sim 600 \text{ mm}$	1.10		
	$< 300 \text{ mm}$	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		

4.3.3 长大隧道施工安全总体风险分值计算公式为：

$$R = (B_1 + B_2) + D \times (G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + G_5 + G_6) + W \times (C_1 + C_2) + C_3 \quad (4.3.3)$$

式中：

R ——长大隧道施工安全总体风险评估分值；

B_1 ——长大隧道全长所赋分值；

B_2 ——长大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 $W \times (C_1 + C_2) + C_3$ 应取隧道进口、出口计算结果最大值。

4.4 风险等级

4.4.1 长大隧道工程施工安全总体风险分级标准见表 4.4.1。

表 4.4.1 施工安全总体风险分级标准

风险等级	计算分值 R
IV级（极高风险）	$R \geq 40$
III级（高度风险）	$26 \leq R < 40$
II级（中度风险）	$17 \leq R < 26$
I级（低度风险）	$R < 17$

4.4.2 总体风险等级在III级（高度风险）及以上的长大隧道工程，应纳入专项风险评估范围，中度风险（II级）、低度风险（I级）根据具体情况确定。评估小组根据总体风险评估情况，提出专项风险评估中需要重点评估的风险源。其他风险等级的长大隧道工程，也应视情况确定是否开展专项风险评估。

5 专项风险评估

5.1 一般规定

5.1.1 长大隧道工程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。

5.1.2 施工前专项风险评估对象为隧道施工区段，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。

5.1.3 施工过程专项风险评估应根据其作业风险特点以及类似工程事故情况，进行风险源普查，并针对其中的重大风险源进行量化估测，提出相应的风险控制措施。属于动态评估。

5.1.4 除了总体风险评估等级为Ⅲ级（高度风险）及以上，出现如下情况之一的应对施工作业活动也应开展施工过程专项风险评估：

- （1）现场地质、水文条件等发生重大变化，影响施工安全；
- （2）发生重大设计变更，影响施工安全；
- （3）施工过程出现灾害预兆或出现事故险情；
- （4）出现其它新的重大风险源。

5.1.5 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。

5.1.6 专项风险评估前，重大风险源的确定宜符合《公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估指南》（试行）中 4.1.2 的要求。

5.1.7 专项风险评估的基本程序包括：风险源普查、辨识、分析，并针对重大风险源进行估测、控制。具体流程见图 5.1.7。

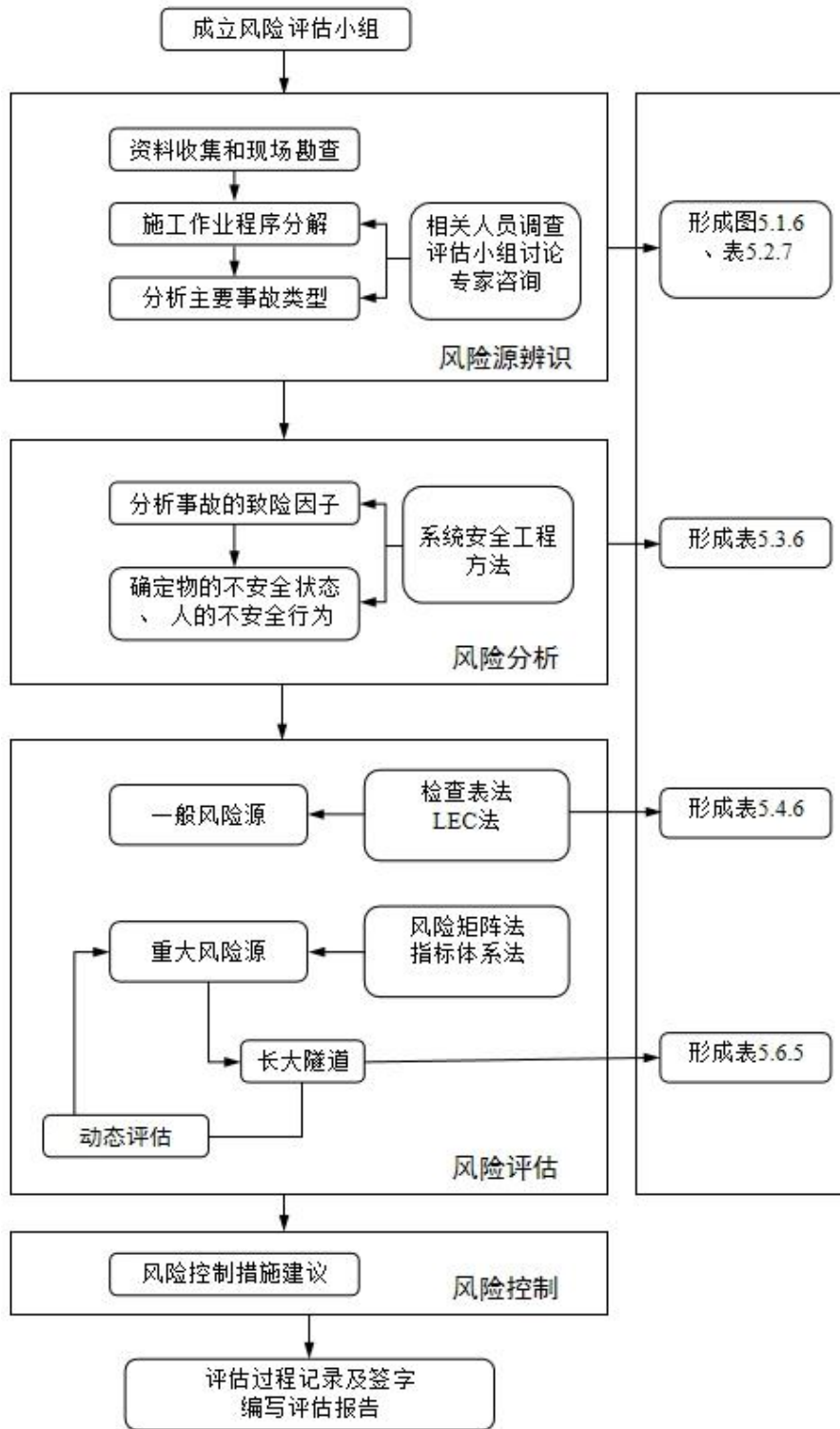


图 5.1.7 专项风险评估流程图

5.2 风险源辨识

5.2.1 风险源辨识包括 3 个步骤：工程资料的收集整理、施工作业程序分解、施工作业可

能发生的安全事故辨识。

5.2.2 工程资料的收集整理主要包括：

(1) 工程可行性研究报告、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、施工图设计文件及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资料；

(2) 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；

(3) 上阶段风险评估的成果；

(4) 其他与风险源辨识对象相关的资料；

(5) 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；

(6) 类似工程施工情况与事故材料、风险控制措施制定情况等。

5.2.3 施工作业程序分解包括分部分项工程及工序（单位）作业划分。可参照现行《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》JTG F80/1，以及施工组织设计文件所确定的施工工艺，将长大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，明确单位作业主要工序、施工方法、作业程序、机械设备和建筑材料等特点。

5.2.4 专项风险评估单元的划分宜符合《公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估指南》（试行）中 4.2.4 的要求。

5.2.5 为便于开展风险评估工作，长大隧道工程施工作业活动一般分解到分项工程。钻爆法施工的长大隧道工程施工作业程序分解情况宜符合《公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估指南》（试行）中 4.2.6 的要求。

5.2.6 施工作业程序分解后，通过相关人员调查、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事故类型，并形成风险源普查清单（见表 5.2.6）。长大隧道工程钻爆法施工作业活动与典型事故类型对照表见附录 C。

表 5.2.6 长大隧道工程施工安全风险源普查清单

序 号	风 险 源	判 断 依 据
1	风险源1	
2	风险源2	
...	...	

N	风险源N	
---	------	--

5.3 风险分析

5.3.1 风险评估小组应从人、机、料、法、环等方面对可能导致事故的致险因子进行分析，分析风险源时可参考现行国家标准《企业职工伤亡事故分类》GB 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。

5.3.2 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。

5.3.3 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。重点分析：

1 致险因子，包括：

- (1) 人员活动、作业能力及其他因素；
- (2) 作业场所内设施、设备及物料等；
- (3) 作业场所外对施工人员安全的影响。

2 可能受到事故伤害的人员类型，包括：

- (1) 作业人员本身；
- (2) 同一作业场所的其他作业人员；
- (3) 周围其他人员。

3 事故发生的原因，包括：

- (1) 机械设备故障；
- (2) 人为失误；
- (3) 自然灾害等。

4 人员伤害程度，包括：

- (1) 死亡
- (2) 重伤
- (3) 轻伤

5.3.4 致险因子分析方法宜符合《公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估指南》（试行）中 4.3.2 的要求。

5.3.5 分析致险因子时应找出可能导致事故发生的物的不安全状态和人的不安全行为。不安全状态和不安全行为分类详见现行国家标准《企业职工伤亡事故分类》GB 6441。

5.3.6 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 5.3.6。

表 5.3.6 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					
...					
风险源N					

5.4 风险估测

5.4.1 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，即风险大小=事故发生可能性×事故严重程度。“×”表示事故发生可能性和事故严重程度的组合。

5.4.2 风险评估方法应结合工程施工内容，安全管理方案、可能发生的事故特点等因素确定。事故可能性评估可选用专家调查法、故障树分析法、事件树分析法等，事故严重程度评估可选用专家调查法等。

5.4.3 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。

5.4.4 一般风险源的风险估测，不宜过分强调精确量化，评估小组可自行设计简单风险等级判定标准，或参考检查表法、LEC 法，以相对风险等级来确定。

5.4.5 重大风险源的风险评估，应进行定量风险评估，确定风险等级。本指南推荐风险矩阵法和指标体系法。

5.4.6 风险估测结果应填入表 5.4.6。

表 5.4.6 风险估测汇总表

编号	风险源		风险评估			
	作业内容	潜在的事故类型	严重程度		可能性	风险大小
			人员伤亡	经济损失		

5.4.7 风险事件可能性的等级分成 5 级，见表 5.4.7。

表 5.4.7 事故可能性等级标准

概率范围	中心值	概率等级描述	概率等级
> 0.3	1	很可能发生	5
0.03 ~ 0.3	0.1	可能发生	4
0.003 ~ 0.03	0.01	偶然发生	3
0.0003 ~ 0.003	0.001	很少发生	2
<0.003	0.001	极不可能发生	1

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。

5.4.8 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。

5.4.9 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 5.4.9-1；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 5.4.9-2。

表 5.4.9-1 人员伤亡等级标准

等级	1	2	3	4	5
定性描述	轻微的	较大的	严重的	很严重的	灾难性的
人员伤亡	1 ≤ 重伤人数 < 5	人员死亡（含失踪）人数 < 3 或 5 ≤ 重伤人数 < 10	3 ≤ 人员死亡（含失踪）人数 < 10 或 10 ≤ 重伤人数 < 50	10 ≤ 人员死亡（含失踪）人数 < 30 或 50 ≤ 重伤人数 < 100	人员死亡（含失踪）人数 ≥ 30 或重伤人数 ≥ 100

表 5.4.9-2 直接经济损失等级标准

等级	1	2	3	4	5
定性描述	轻微的	较大的	严重的	很严重的	灾难性的
经济损失（万元）	$Z < 100$	$100 \leq Z < 1000$	$1000 \leq Z < 5000$	$5000 \leq Z < 10000$	$Z \geq 10000$
经济损失占项目建安费的比例（ P_r ）	$P_r < 1\%$	$1\% \leq P_r < 2\%$	$2\% \leq P_r < 5\%$	$5\% \leq P_r < 10\%$	$P_r \geq 10\%$

5.4.10 长大隧道工程风险事件严重程度后果当量按式（5.4.10）计算确定：

$$D_C = \left(C_{R1} + \frac{C_{R2}}{3} + \frac{C_{R3}}{60} \right) + \left(\frac{C_Z}{400} \right) + C_S + C_H + \frac{C_G}{3} \quad (5.4.10)$$

式中：

D_C —— 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 5.4.10-1；

C_H —— 环境影响，取值见表 5.4.10-2；

C_G —— 工期延误，月，取值见表 5.4.10-3；

表 5.4.10-1 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 5.4.10-2 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,周边环境发生严重污染或破坏	涉及范围较大,周边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
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
CH取值	10	3	1	1/2	0

表 5.4.10-3 工期延误

后果等级		5	4	3	2	1
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 D_c 值后, 根据 D_c 值对照表 5.4.10-4 确定发生风险事件的严重程度等级。

表 5.4.10-4 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 D_c
灾难性的	5	$D_c \geq 30$
很严重的	4	$10 \leq D_c < 30$
严重的	3	$3 \leq D_c < 10$
挺大的	2	$1 \leq D_c < 3$
轻微的	1	$D_c < 1$

5.4.11 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, 可根据风险事件发生的概率等级和后果等级分为IV (极高)、III (高度)、II (中度)、I (低度) 4 级, 并可按表 5.4.11 确定。

表 5.4.11 风险等级标准

概率等级		后果等级				
		灾难性的	很严重的	严重的	较大的	轻微的
		5	4	3	2	1
频繁发生	5	IV (极高)	IV (极高)	IV (极高)	III (高度)	III (高度)
可能发生	4	IV (极高)	IV (极高)	III (高度)	III (高度)	II (中度)
偶然发生	3	IV (极高)	III (高度)	III (高度)	II (中度)	II (中度)

很少发生	2	III（高度）	III（高度）	II（中度）	II（中度）	I（低度）
极不可能发生	1	III（高度）	II（中度）	II（中度）	I（低度）	I（低度）

5.5 一般风险源估测

5.5.1 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）。

5.5.2 以列表方式汇总一般风险源风险等级，填入表 5.5.2。

表 5.5.2 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		

5.6 重大风险源估测

5.6.1 一般要求

1 长大隧道重大风险源风险估测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 长大隧道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。

5.6.2 长大隧道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。

2 长大隧道洞口失稳、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见本指南附录 B，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。

3 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。

5.6.2.1 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长大隧道的的影响程度，可按照表 5.6.2.1 对风险事件可能性评估分值进行修

正。

表 5.6.2.1 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	

5.6.2.2 长大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本指南附录 B。长大隧道施工前洞口失稳风险事件可能性分值计算公式为：

$$P = D_1 \times D_2 \times [(X_{11} + X_{21} \times X_{22}) \times (X_{31} + X_{32}) \times X_{41}] \quad (5.6.2.2)$$

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 5.6.2.2 确定长大隧道洞口失稳风险事件可能性等级。

表 5.6.2.2 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
$P \geq 40$	频繁发生	5
$25 \leq P < 40$	可能发生	4
$15 \leq P < 25$	偶然发生	3
$5 \leq P < 15$	很少发生	2

$P < 5$	极不可能发生	1
---------	--------	---

5.6.2.3 长大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本指南附录 B。长大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：

$$P = D_1 \times D_2 \times [X_{11} + X_{21} + X_{31} \times (X_{32} + X_{33} + X_{41})] \quad (5.6.2.3)$$

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 5.6.2.3 确定长大隧道坍塌风险事件可能性等级。

表 5.6.2.3 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
$P \geq 50$	频繁发生	5
$35 \leq P < 50$	可能发生	4
$20 \leq P < 35$	偶然发生	3
$10 \leq P < 20$	很少发生	2
$P < 10$	极不可能发生	1

5.6.2.4 长大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本指南附录 B。长大隧道施工前涌水突泥风险事件可能性分值计算公式为：

$$P = D_1 \times D_2 \times (X_{11} + X_{12}) \times X_{21} \times X_{31} \quad (5.6.2.4)$$

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 5.6.2.4 确定长大隧道涌水突泥风险事件可能性等级。

表 5.6.2.4 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
$P \geq 40$	频繁发生	5
$30 \leq P < 40$	可能发生	4
$15 \leq P < 30$	偶然发生	3
$5 \leq P < 15$	很少发生	2
$P < 5$	极不可能发生	1

5.6.2.5 长大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，具体评估指标见本指南附录 B。长大隧道施工前大变形风险事件可能性分值计算公式为：

$$P = D_1 \times D_2 \times [X_{11} + X_{21} + X_{33} + X_{31} \times (X_{32} + X_{41})] \quad (5.6.2.5)$$

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 5.6.2.5 确定长大隧道大变形风险事件可能性等级。

表 5.6.2.5 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
$P \geq 40$	频繁发生	5
$30 \leq P < 40$	可能发生	4
$20 \leq P < 30$	偶然发生	3
$10 \leq P < 20$	很少发生	2
$P < 10$	极不可能发生	1

5.6.2.6 长大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，具体评估指标见本指南附录 B。长大隧道施工前瓦斯爆炸风险事件可能性分值计算公式为：

$$P = D_1 \times D_2 \times [X_{11} \times X_{12} + X_{21} \times X_{22}] \quad (5.6.2.6)$$

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 5.6.2.6 确定长大隧道瓦斯爆炸风险事件可能性等级。

表 5.6.2.6 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
$P \geq 20$	频繁发生	5
$15 \leq P < 20$	可能发生	4
$10 \leq P < 15$	偶然发生	3
$5 \leq P < 10$	很少发生	2
$P < 5$	极不可能发生	1

5.6.2.7 长大隧道岩爆风险事件的可能性，应按围岩等级确定评估区段，具体评估指标见本指南附录 B。长大隧道施工前岩爆风险事件可能性分值计算公式为：

$$P = D_1 \times D_2 \times [X_{11} \times X_{21} \times X_{22}] \quad (5.6.2.7)$$

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 5.6.2.7 确定长大隧道岩爆风险事件可能性等级。

表 5.6.2.7 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
$P \geq 20$	频繁发生	5
$15 \leq P < 20$	可能发生	4
$10 \leq P < 15$	偶然发生	3
$5 \leq P < 10$	很少发生	2
$P < 5$	极不可能发生	1

5.6.3 施工过程重大风险源估测

5.6.3.1 长大隧道洞口失稳、坍塌、涌水突泥、大变形、瓦斯爆炸、岩爆 6 个施工过程风险事件可能性评估指标体系见本指南附录 B。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。

5.6.3.2 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（5.6.3.2）计算。各评估指标的权重系数按本指南附录 B 选取。

$$\gamma = \frac{2n - 2m + 1}{n^2} \quad (5.6.3.2)$$

式中：

γ ——权重系数；

n ——评估指标项数；

m ——重要性排序号， $m \leq n$ 。

5.6.3.3 施工过程重大风险源风险事件可能性大小应按式（5.6.3.3-1）、（5.6.3.3-2）计算：

$$P = \sum X_{ij} \quad (5.6.3.3-1)$$

$$X_{ij} = R_{ij} \gamma_{ij} \quad (5.6.3.3-2)$$

式中：

P ——风险事件可能性评估分值；

X_{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的数量；

R_{ij} ——评估指标的基本分值；

γ_{ij} ——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5.6.3.3）确定可能性等级。

表 5.6.3.3 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
$P \geq 60$	频繁发生	5
$50 \leq P < 60$	可能发生	4
$40 \leq P < 50$	偶然发生	3
$30 \leq P < 40$	很少发生	2
$P < 30$	极不可能发生	1

注：1 根据工程风险的具体情况，结合地区经验，可对表5.6.3.3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。

5.6.4 对于施工区段特别复杂的长大隧道，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（参见本指南附录A）。

5.6.5 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 5.4.11。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 5.6.5。

表 5.6.5 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										

6 风险控制措施

6.1 风险接受准则

6.1.1 根据风险评估结果，按照风险接受准则，提出风险控制措施。长大隧道工程施工安全风险接受准则如表 6.1.1 所示。

表 6.1.1 风险接受准则

风险等级	接受准则	处理措施
I（低度）	可忽略	不需采取风险处理措施和监测。
II（中度）	可接受	一般不需采取风险处理措施，但需予以监测。
III（高度）	不期望	必须采取风险处理措施降低风险并加强监测，且满足降低风险的成本不高于风险发生后的损失。
IV（极高）	不可接受	必须高度重视，采取切实可行的规避措施并加强监测，否则要不惜代价将风险至少降低到不期望的程度。

6.1.2 风险控制应根据工程特点、风险评估结果、成本效益比等，选择合适的风险控制措施。措施建议应具体翔实并具操作性。按照针对性和重要性的不同，措施建议可分为应采纳和宜采纳两种类型。

6.1.3 一般风险源控制措施由施工单位按常规制定。重大风险源控制措施应按照预案、预警、预防等三阶段逐一明确要求。经专项风险评估达到高度风险及以上的施工作业活动或施工区段，应采取完善专项施工方案及应急预案、开展施工监测与预警、提高现场防护条件、加强施工安全技术交底和危险告知等措施，防止重大险情或事故发生。

6.1.4 选择风险控制措施时应按照如下顺序进行：

1 本质安全。控制措施宜首先从本质安全的角度，来消除风险源或将风险降低到可接受的程度。

(1) 重新评估工程设计中残留的风险：

a) 是否可变更设计以降低风险？

b)是否可以选择不问施工方法避开风险源或降低风险?

(2) 评估施工临时结构的本质安全。

2 安全隔离或防护。不能从本质安全进行控制的风险，应优先采用隔离或防护的手段降低风险，其顺序是：

(1) 施工方法的残留风险能否通过合理安排施工顺序而避开？

(2) 必须面对的风险源应采取隔离或保护全体作业人员的措施。

(3) 个体防护措施。

3 警告或标示。上述措施采取后残留的风险，应采取警告或标示等辅助措施降低：

(1) 自动监测并发出警告。

(2) 设立警告标志。

(3) 人工观测、警戒、监视或专人指挥。

4 教育培训。将确定的安全措施在施工前通过安全技术交底等方式，传递给安全管理和施工作业人员，减少和避免人的不安全行为。

6.2 一般风险源控制措施

6.2.1 一般风险源控制措施应根据有关技术标准、安全管理要求来制定。

6.2.2 一般风险源对应的触电、高处坠落、物体打击、车辆伤害、火药爆炸、火灾等事故的风险控制措施应简明扼要，明确安全防护、安全警示、安全教育、现场管理等方面的具体内容。

6.3 重大风险源控制措施

6.3.1 重大风险源应按照隧道工程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，制定相适宜的风险控制措施。典型的重大风险源控制措施建议，可参见本指南附录 C、附录 D。

6.3.2 现场施工应建立重大风险源监控和预警预报体系，明确预警预报标准，通过对施工监控数据的动态管理，及时掌握其发展状态，发现异常或超过警戒值，应及时采取规避措施，做好风险事故处理准备工作。

6.3.3 专项风险等级达到Ⅲ级（高度）及以上的施工作业活动或施工区段，其重大风险源

的监控与防治措施、应急预案，应按规定组织论证或复评估后方可实施。

6.4 风险控制预期效果评估

6.4.1 专项风险评估风险等级为较大风险（Ⅱ级）及以上的长大隧道施工区段，应开展风险控制预期效果评估。

6.4.2 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，对照本指南附录 C，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。

6.4.3 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。

7 风险评估报告编制

7.1 一般规定

7.1.1 风险评估报告是长大隧道施工安全风险评估过程的记录，应反映风险评估过程的全部工作，将风险评估过程中的记录表格、采用的评估方法、获得的评估结果、推荐的控制措施等写入评估报告中。

7.1.2 风险评估报告应内容全面，文字简洁，数据完整，客观公正。所提出的风险控制措施应具有可操作性。

7.2 相关内容和格式

7.2.1 风险评估报告应包含以下内容：

1 编制依据

- (1) 项目风险管理方针及策略；
- (2) 相关的国家和行业标准、规范及规定；
- (3) 项目设计和施工方面的文件；
- (4) 项目各阶段（工可、初设、详设等）审查意见；
- (5) 设计阶段风险评估成果。

2 工程概况

3 评估过程和评估方法

4 评估内容

- (1) 总体风险评估；
- (2) 专项风险评估：包括风险源普查、辨识、分析以及重大风险源的估测。

5 对策措施及建议

6 评估结论

- (1) 重大风险源风险等级汇总；

(2) III级和 IV 级风险存在的部位、方式等情况；

(3) 分析评估结果的科学性、可行性、合理性及存在问题。

7.2.2 风险评估报告格式见本指南附录 E，应包括：

- 1 封面（包括评估项目名称、报告完成日期、评估组长签名）
- 2 著录项（评估人员名单，并应亲笔签名）
- 3 目录
- 4 编制说明
- 5 正文（评估报告章节设置参见本指南第 7.2.1 条）
- 6 附件

附录 A（资料性） 风险评估方法

A.0.1 长大隧道工程施工安全风险评估方法宜采用现行行业标准《公路水运工程施工安全风险评估指南 第 3 部分：隧道工程》JTT 1375.3—2024 中附录 G 推荐采用的风险评估方法。

附录 B（资料性） 专项风险评估指标体系

B.0.1 长大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宜符合现行行业标准《公路水运工程施工安全风险评估指南 第 3 部分：隧道工程》JTT 1375.3—2024 中附录 C 的要求。

B.0.2 长大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宜符合现行行业标准《公路水运工程施工安全风险评估指南 第 3 部分：隧道工程》JTT 1375.3—2024 中附录 D 的要求。

附录 C（资料性） 长大隧道施工典型事故类型对照表

C.0.1 长大隧道施工典型事故类型宜参考现行行业标准《公路水运工程施工安全风险评估指南 第 3 部分：隧道工程》JTT 1375.3—2024 中附录 B 的相关内容。

附录 D（资料性） 长大隧道施工典型重大安全风险控制建议

D.0.1 长大隧道施工典型重大安全风险控制建议宜参考现行行业标准《公路水运工程施工安全风险评估指南 第3部分：隧道工程》JTT 1375.3—2024 中附录 E 的相关内容，制定具体控制措施。

附录 E（资料性） 长大隧道施工风险评估报告格式

E.0.1 长大隧道施工风险评估报告格式如下：

1 封面

封面示例见图 E.0.1-1。

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）扉页示例见图 E.0.1-2。

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

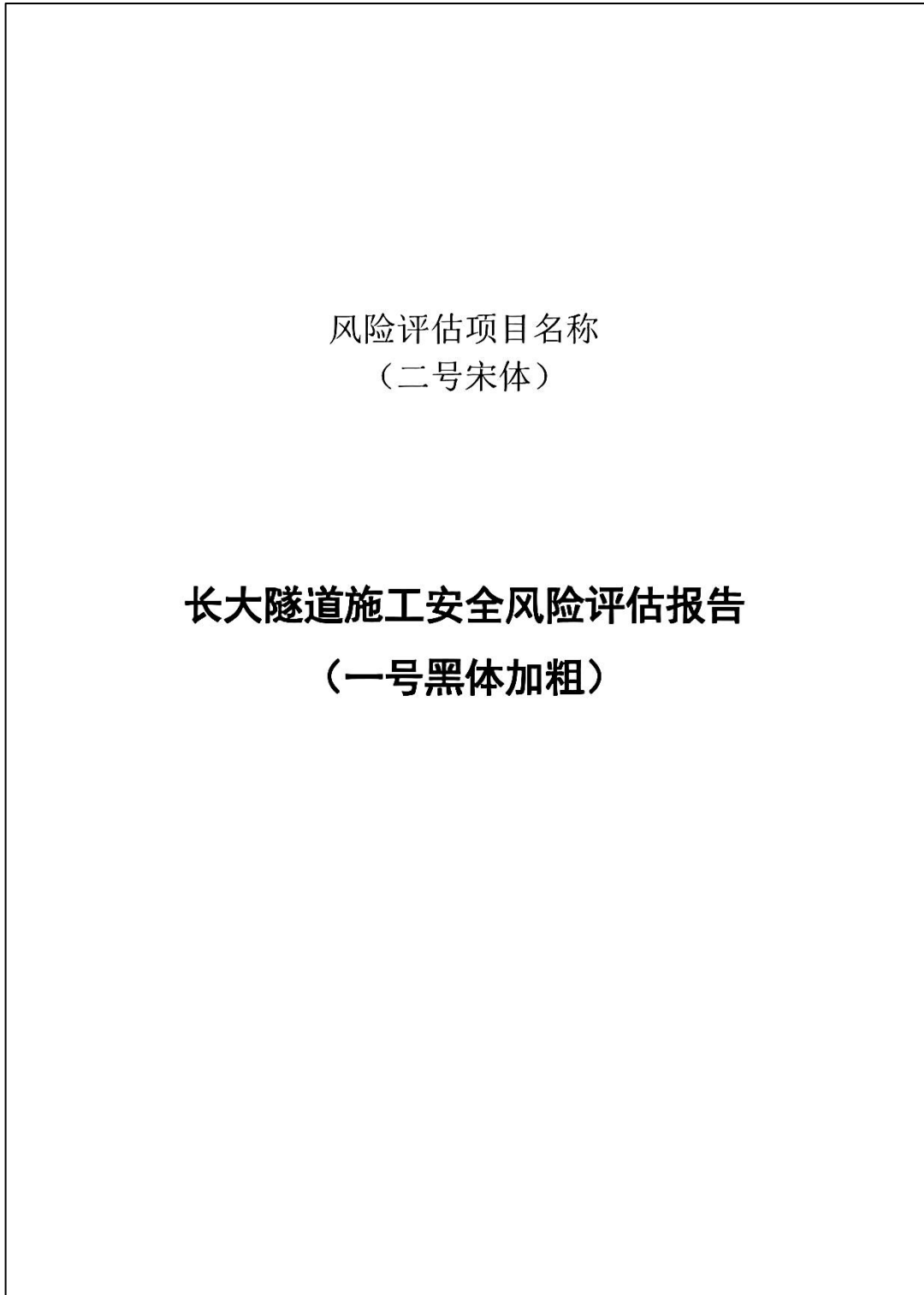


图 E.0.1-1 风险评估报告封面示例

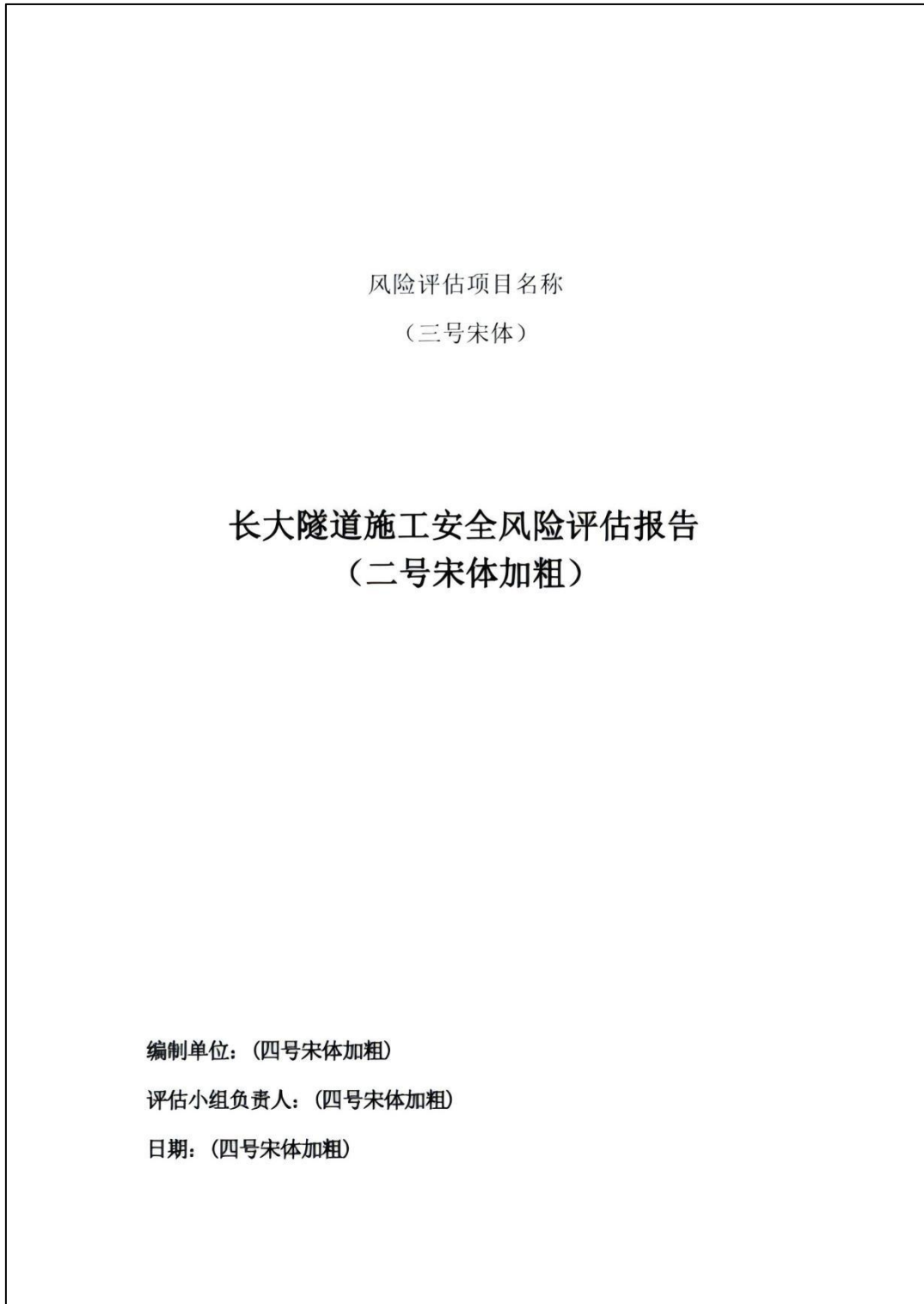


图 E.0.1-2 风险评估报告扉页示例

本指南用词说明

1 为便于在执行本指南条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- [1] GB 6441—86 企业职工伤亡事故分类
- [2] JTG B05—2015 公路项目安全性评价规范
- [3] JTG F80/1—2017 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程
- [4] JTG/T 3660—2020 公路隧道施工技术规范
- [5] JTT 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
- [6] 隧道施工安全九条规定（安监总管二[2014]104号）
- [7] 广西壮族自治区安全生产条例（2016年修订）（广西壮族自治区人大常委会公告第十届第86号）
- [8] 公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估指南（试行）交质监发[2011]217号
- [9] 生产安全事故应急预案管理办法（原国家安监总局令第88号，应急管理部令第2号修改）

广西工程建设标准化协会团体标准

长大隧道施工安全风险评估指南

Guideline for safety risk assessment of long and large tunnel construction

条文说明

目 次

1 总 则	1
2 术 语	2
3 基本规定	3
3.1 风险评估内容与流程	3
3.2 风险评估方法选择	5
4 总体风险评估	6
4.1 一般规定	6
4.2 评估体系	6
4.3 指标体系评估	8
4.4 风险等级	11
5 专项风险评估	12
5.1 一般规定	12
5.2 风险源辨识	13
5.3 风险分析	15
5.4 风险估测	24
5.5 一般风险源估测	33
5.6 重大风险源估测	35
6 风险控制措施	49
6.1 风险接受准则	49
6.2 一般风险源控制措施	50
6.3 重大风险源控制措施	50
6.4 风险控制预期效果评估	51
7 风险评估报告编制	52
7.1 一般规定	52
7.2 相关内容和格式	52
附录 A（资料性） 风险评估方法	53
附录 B（资料性） 专项风险评估指标体系	54

附录 C（资料性） 长大隧道施工典型事故类型对照表	71
附录 D（资料性） 长大隧道施工典型重大安全风险控制建议	72

1 总 则

1.0.1 为指导长大隧道工程施工安全风险评估工作，有效控制施工安全风险，减少重特大生产安全事故的发生，降低人员伤亡和经济损失，保障长大隧道工程建设的安全，编制本指南。

1.0.2~1.0.7 本指南依据《公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估指南》（试行）、现行行业标准《公路水运工程施工安全风险评估指南 第3部分：隧道工程》JTT 1375.3—2024等标准的原则制定。适用于以钻爆法为主要开挖手段的新建长大公路隧道工程的施工安全风险评估工作，确定了长大隧道工程施工阶段安全风险评估的工作原则、操作程序、评估方法、风险估测标准和风险评估报告形式要求。

1.0.8~1.0.9 本指南与相关标准及规范实现了合理的职能划分与衔接，在实施时还需遵循相应标准与规范的具体要求。

2 术 语

术语部分主要介绍了本指南涉及的有关长大隧道工程施工安全风险评估的专业术语，系参照现行行业标准《公路项目安全性评价规范》JTG B05-2015、《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》JTG F80/1-2017、《公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估指南》（试行）交质监发[2011]217 号和《公路水运工程施工安全风险评估指南 第 3 部分：隧道工程》JTT 1375.3-2024 等有关国家和行业标准给出。

3 基本规定

3.1 风险评估内容与流程

3.1.1 长大隧道工程施工安全风险评估内容分为初步设计及施工图阶段风险评估和施工阶段风险评估。初步设计及施工图阶段主要通过对隧道项目的设计与前期资料的分析，评估潜在的安全风险；而施工阶段则侧重于对实际施工过程中出现的风险进行评估和控制。

3.1.2 在初步设计及施工图阶段，需开展的具体风险评估工作。每项工作都为评估长大隧道工程施工的安全风险提供了系统性的方法和流程。具体来说：

1 勘察与环境调查风险评估。这项评估对长大隧道的地质条件及环境影响进行调查，分析潜在的不确定性，以准确评估风险。

2 分段评估并确定总体风险等级。依据长大隧道的地质资料，按段对长大隧道进行风险评估，最终得出整体风险等级。

3 再评估设计措施的残留风险。根据已设计的措施进行再次评估，确认是否存在残留的风险点。

4 判断是否开展专项风险评估。通过总体风险评估结果，决定是否需要进一步的专项风险评估，并为后续工作提供指导意见。

3.1.3 为实施评估提供清晰、标准化的步骤，确保评估的全面性和一致性。初步设计及施工图阶段风险评估宜按图 3.1.3 所示流程开展。

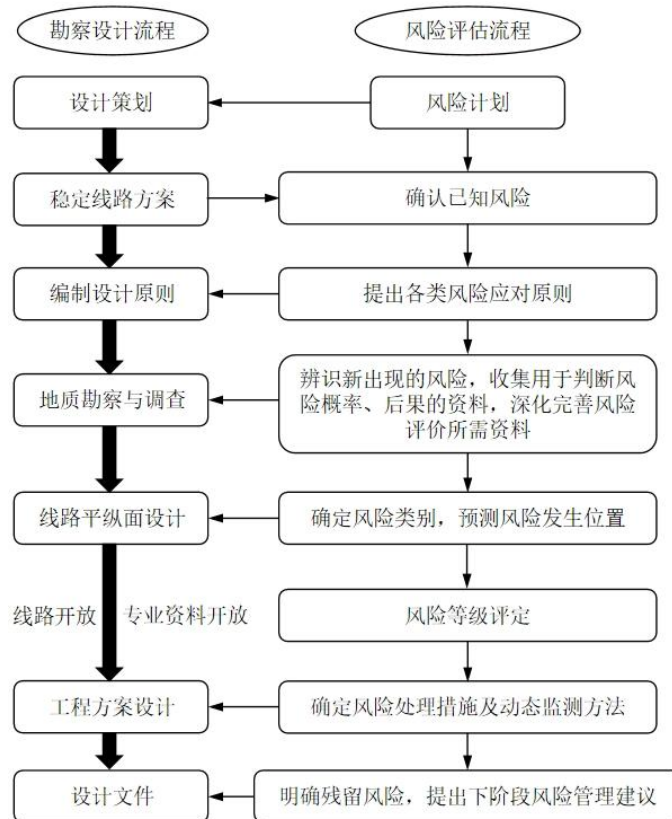


图 3.1.3 初步设计及施工图阶段风险评估流程图

3.1.4 在施工阶段，风险评估的重点转向实施过程中可能出现的新的风险和控制措施。每项工作都涉及到实际操作和风险管理：

- 1 编制风险计划。制定全面的风险管理计划，明确各项风险的预防、应对措施。
- 2 核对设计风险，评估新风险。确认设计阶段已识别的风险是否仍然适用，并评估施工过程中可能新出现的风险。
- 3 制定实施细则及应急预案。详细规定风险管理的具体实施步骤，并制定应急预案以应对突发风险。
- 4 风险公告与人员培训。及时发布风险信息并对施工人员进行培训，提高应对能力。
- 5 动态评估与风险控制。在施工过程中，进行实时的风险评估，调整并落实风险控制措施。
- 6 明确残留风险，提出建议。识别施工阶段剩余的风险，并对运营阶段的风险评估提出建议。

3.1.5 为实施评估提供清晰、标准化的步骤，确保评估的全面性和一致性。施工阶段风险评估宜按图 3.1.5 所示流程开展。

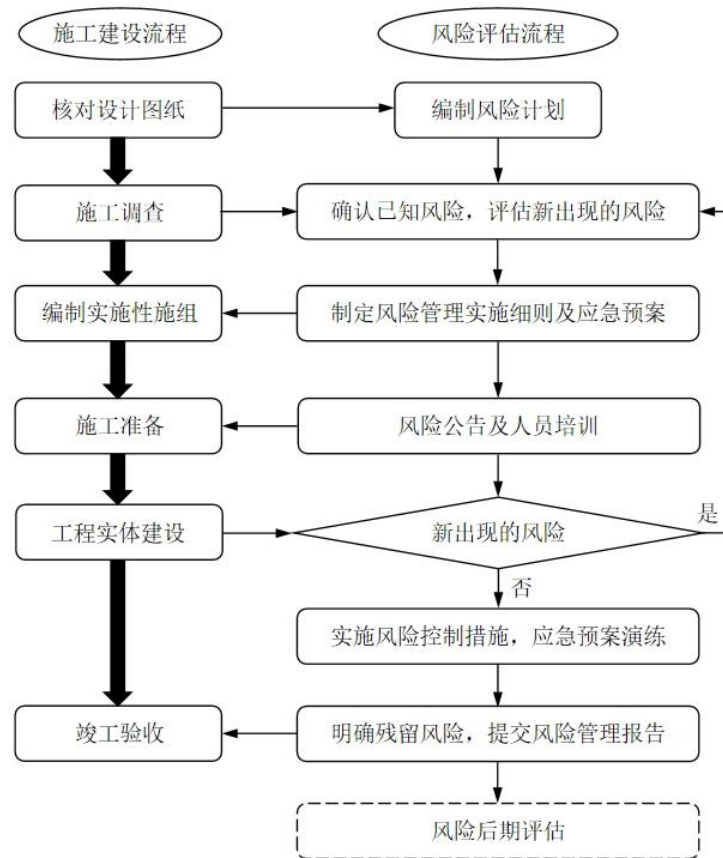


图 3.1.5 施工阶段风险评估流程图

3.2 风险评估方法选择

3.2.1 长大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。

1 总体风险评估。推荐使用主因素控制指标体系法，它能够有效识别和分析长大隧道工程中的关键风险因素。

2 专项风险评估。对于一般风险源，建议使用检查表法或 LEC 法进行估测；对于重大风险源，使用定量方法。施工前的风险事件评估可以使用指标体系法或点估计法，而施工中的风险评估则推荐结合多种方法，如指标体系法、重要性排序法、层次分析法等，综合判定风险事件的可能性和严重程度。

3 比对验证评估结果。当采用不同方法得到的评估结果差异较大时，需要对差异进行分析，确保评估结果的准确性和合理性。

4 总体风险评估

4.1 一般规定

4.1.1 长大隧道工程应开展总体风险评估。主要考虑长大隧道工程的地质条件、建设规模、洞口特征、年均降水量、资料完整性等因素，静态评估长大隧道工程的总体风险。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。

4.1.2 长大隧道工程施工安全总体风险评估主要是将长大隧道工程施工安全总体风险进行分级管理。对于高度风险（Ⅲ级）及以上等级的长大隧道工程，应组织开展专项风险评估，针对具体施工区段进一步详细评估，找出主要风险节点，开展专项风险评估，预先制定风险防控措施。对风险较低的长大隧道工程，若交通运输主管部门、建设单位、监理单位、施工单位等认为有必要，也可根据本标准确定的原则进行专项风险评估。

4.1.3 本指南推荐采用主控因素指标体系法进行总体风险评估。评估小组可根据工程实际情况，并结合自身经验，对本指南推荐的总体风险评估指标体系进行改进，在实施时还需遵循相应标准与规范的具体要求。

4.2 评估体系

4.2.1~4.2.2 长大隧道工程施工安全总体风险评估应尽可能收集原有的地质勘察、施工图设计、水文气象等资料。此外，现场调查也是重要的工作内容，评估小组应对长大隧道沿线的地形环境条件、洞口特征、周边建筑物进行详细调查。

4.2.3 长大隧道工程施工安全总体风险评估宜采用主因素控制指标体系法，该法包括主控因素判识、指标体系评估两个步骤。前者选取关键的、控制性指标因素，并给定阈值，可直接确定隧道总体风险为极高风险（Ⅳ级）或高度风险（Ⅲ级）；后者基于指标体系法，考虑各类因素对总体风险的综合影响。具体评估流程见图 4.2.3。

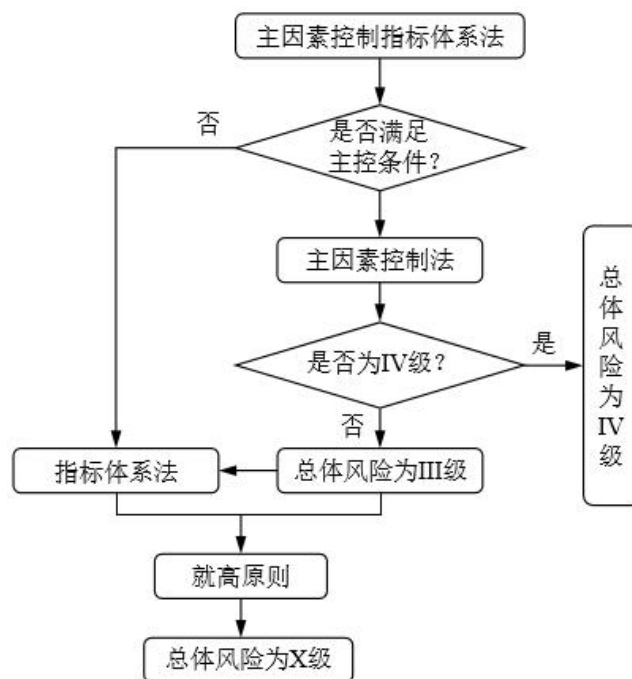


图 4.2.3 主控因素判识流程

4.2.4~4.2.5 长大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。此外，根据长大隧道工程施工安全风险的主要影响因素，建立体现风险特征的主控因素判识表，先由主控因素直接确定风险等级，若不满足主控因素或由主控因素确定总体风险等级为高度风险（III级）时，再进一步对各总体风险评估指标进行赋值分级，从而对长大隧道总体风险作出评估和预测。

4.2.6 本指南选取的主控因素包括：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、地应力和岩溶发育程度。

1 隧道区域环境主要考虑其特殊工况，即是否为海底隧道、下穿河流湖泊及重要建筑物的隧道，通常情况下，其施工条件更为困难，施工安全风险较大。重要构筑物主要指水利设施、高压电线塔、需重要保护的建筑物、古文物等。

2 隧道长度主要考虑最长单洞的长度，若有竖井、斜井时应包括竖井、斜井长度。因为隧道事故的危险性主要受地质条件影响，如果隧道掘进长度大，遇到断层、破碎带以及涌水的可能性也增加，因此隧道越长，风险越大。

3 围岩情况在长度占比的基础上还考虑了V级围岩连续长度。当待评估隧道长度很大，往往V级围岩长度占比小于40%，但V级围岩连续长度已满足现行相关标准和本指南对

中、长大隧道的定义标准，该隧道施工风险仍然很大。另外，考虑到公路隧道施工技术的日趋成熟，IV级围岩不纳入考虑范围。

4 预测瓦斯涌出量是指单位时间内涌出的瓦斯量，其大小值是发生瓦斯爆炸事故的先决条件。一般情况下，瓦斯涌出量直接影响爆炸发生的可能性，瓦斯涌出量越大，发生爆炸的风险越大。

5 预测涌水量是评估隧道涌水突泥事故的关键性指标，其大小直接关乎有无涌水突泥事故的风险，故将该指标作为评估总体风险的主控因素。

6 断层破碎带宽度，一般而言，断层及其影响带内，岩体应力较低，近影响带岩体局部可能存在应力集中现象，易引起塌方、岩爆等事故。此外，断层破碎带往往岩石较为破碎，围岩等级较低，是地表水、地下水流动的天然通道，是引发塌方、大变形、甚至涌水突泥等灾害的主要因素。本指南根据断层破碎带的宽度分类，宽度分级沿袭现行指南，宽度越大，则在断层破碎带及其影响带中的施工周期越长，施工安全风险越高。

7 地应力，是在天然状态下，存在于岩体内部的应力，是公路隧道工程的基本外荷载之一。隧道开挖后，围岩发生应力重分布，切向应力显著增大，径向应力减少，容易造成围岩失稳，一般来说，地应力越大，风险越高。此外，当没有地应力的实测成果时，可依据现行相关标准进行确定。

8 岩溶发育程度与可溶性岩石密切相关，当隧道穿越岩溶发育区时，往往存在安全隐患，故应查明岩溶及地质灾害的形态与分布、岩溶发育规律等。岩溶越发育，储存的岩溶水越多，引发事故的可能性越大。

4.2.7~4.2.8 若长大隧道工况满足主控因素判识表中的某项指标，则可直接确定总体风险等级为IV级或III级，不同主控因素的判识结果不一致时，采用就高原则确定风险等级；如不满足主控因素判识表或判识结果为III级，则进一步采用指标体系评估确定总体风险等级。当指标体系评估结果与主控因素判识结果不一致时，采用就高原则确定总体风险最终风险等级。

4.3 指标体系评估

4.3.1 影响长大隧道工程施工安全风险的因素众多，考虑到长大隧道施工前相关单位已有的勘察信息，选取建设规模、地质条件、洞口特征、年均降水量、资料完整性5个项别建

立评估指标体系。本指南给出了指标体系评估表，指标取值应针对单洞。

4.3.2 长大隧道工程施工安全总体风险评估指标包括：建设规模、地质条件、洞口特征、年均降水量、资料完整性等，各指标和风险大小的关系说明如下：

1 建设规模 B ，主要考虑隧道长度和开挖跨度。

隧道长度 B_1 见主控因素判识部分对该指标的说明。隧道开挖跨度 B_2 指隧道开挖横断面的水平最大宽度，开挖跨度 B_2 越大，隧道断面开挖持续时间越长，支护结构难以快速封闭成环，安全稳定性问题越突出，风险也越大。隧道跨度及其分类应根据现行相关标准进行确定。

2 地质条件 G ，主要考虑围岩情况、预测瓦斯涌出量、预测涌水量、断层破碎带宽度、硬岩强度应力比、岩溶发育程度，这些因素是隧道发生塌方、涌水突泥、瓦斯爆炸、岩爆等风险事件的主要客观条件。

(1) 围岩情况 G_1 ，长大隧道的围岩等级是工程地质勘察的重要内容，是影响长大隧道围岩稳定性的关键性指标。一般来说，围岩等级越低，围岩稳定性越差，对应的施工风险越高。大量工程经验表明，整条长大隧道中 V 级围岩施工难度大，容易诱发坍塌事故，本指南将 V 级围岩连续长度占隧道长度的比例作为评估指标，并将该指标比例大小分别定为 70% 以下、40%~70%、20%~40% 和 20% 以上 4 档评分，其是能够反映长大隧道工程总体施工风险的一个主要因素。

(2) 预测瓦斯涌出量 G_2 ，指单位时间内涌出的瓦斯量。本指南将瓦斯涌出量划分为大于 $1\text{m}^3/\text{min}$ 、 $0.5\text{m}^3/\text{min}\sim 1\text{m}^3/\text{min}$ 、 $0.5\text{m}^3/\text{min}$ 以下和不存在瓦斯 4 个等级。

(3) 预测涌水量 G_3 ，隧道涌水量是影响长大隧道涌水突泥风险的关键因素，可以根据前期地勘资料和超前地质预报资料对涌水量进行定量估计，长大隧道预测涌水量越大，长大隧道发生涌水突泥的风险越大。

(4) 断层破碎带宽度 G_4 ，一般而言，断层及其影响带内，岩体应力较低，近影响带岩体局部可能存在应力集中现象，易引起塌方、岩爆等事故。此外，断层破碎带往往岩石较为破碎，围岩等级较高，是地表水、地下水流动的天然通道，是引发坍塌、大变形等灾害的主要因素。本指南根据断层破碎带的宽度分类，宽度分级沿袭现行指南，宽度越大，则在断层破碎带及其影响带中的施工周期越长，施工风险越高。

(5) 硬岩强度应力比 G_5 ，为岩石饱和单轴抗压强度与垂直洞轴线方向的最大初始应

力之比，是判断岩爆倾向性的常用指标。应依据现行相关标准进行取值。

(6) 岩溶发育程度 G_6 ，岩溶发育程度与可溶性岩石密切相关，当长大隧道穿越岩溶发育区时，往往存在安全隐患，故应查明岩溶及地质灾害的形态与分布、岩溶发育规律等。岩溶越发育，储存的岩溶水越多，引发事故的可能性越大。

3 洞口特征 C ，主要考虑地质特征、洞口偏压角度、进洞施工难易程度。

(1) 地质特征 C_1 主要考虑长大隧道洞口岩土体的抗滑能力，古滑坡体或堆积体、破碎的边仰坡、比较稳定的边仰坡三者抗滑能力依次增加，施工风险依次减弱，考虑比较稳定的边仰坡有足够的抗滑能力，赋分值为 0。

(2) 洞口偏压角度 C_2 ，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。大多数偏压隧道处于洞口段与浅埋段，地形因素造成的偏压对隧道洞口浅埋段的稳定性影响很大，本指南以岩层倾角表示偏压情况，倾角越大，则发生洞口失稳、塌方等事故的可能性就越大，将洞口偏压角度分为大于 45° 、 $30^\circ\sim 45^\circ$ 、 $15^\circ\sim 30^\circ$ 、 15° 以下 4 个等级进行评价。

(3) 进洞施工难易程度 C_3 ，洞口的不良地质条件、临近的建（构）筑物、公路、桥涵以及雨期、融雪期、严寒季节等均会加大进洞施工难度。以进洞施工难易程度为考量指标，进洞施工越困难，则施工风险越大。

4 年均降水量 W ，降水量过大，特别是持续的强降水，影响洞口工程施工；如果地表的排水、截水设施不完善，大量的地表水将会渗入地层，此外，在长大隧道浅埋段降水易渗入隧道围岩，软化岩体并降低围岩强度，影响隧道围岩稳定性。故降水量越大，则总体施工安全风险越大。

5 资料完整性 D ，主要考虑地质、水文、气象资料完整性对地质条件的影响，资料越完整，可获取的隧道地质信息越多，对应地质条件 G 的二级指标值也越准确，对应的修正系数越小。

4.3.3 本指南给出了长大隧道施工安全总体风险分值计算公式。总体原则为同一项别下的二级指标评估分值相加，资料完整性对地质条件的影响、降水量对洞口特征的影响分别作为系数处理。

4.4 风险等级

4.4.1 依据现行相关标准，本指南给出了隧道工程总体风险分级标准，见说明表 4.4.1。对照此分级标准即可得出总体风险等级。

说明表 4.4.1 施工安全总体风险分级标准

风险等级	计算分值 R
IV级（极高风险）	$R \geq 40$
III级（高度风险）	$26 \leq R < 40$
II级（中度风险）	$17 \leq R < 26$
I级（低度风险）	$R < 17$

4.4.2 评估小组根据总体风险评估情况，提出专项风险评估中需要重点评估的风险源。其他风险等级的长大隧道工程，也应视情况确定是否开展专项风险评估。

5 专项风险评估

5.1 一般规定

5.1.1 专项风险评估属于可能灾害的针对性评估，评估对象是隧道工程的施工区段，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。专项风险评估通过风险辨识、风险分析、风险估测等过程，找出影响事故发生的各个因素，进而提出风险控制措施。为检验风险控制措施实施后的残留风险情况，需开展风险控制预期效果评估。

5.1.2 施工前专项风险评估在隧道开工前进行，不考虑人为及管理因素，应参照长大隧道工程本身属性、勘察设计文件等静态条件展开评估。此外，施工前专项风险评估结果是作为编制专项施工方案的主要依据。

5.1.3~5.1.5 施工过程专项风险评估并非针对每一条公路隧道，满足其开展条件（总体风险评估等级为较大风险及以上的长大隧道工程）时才得以启动，参照前期专项风险评估文件、长大隧道施工现状、施工过程监控量测及补充的地质资料等展开评估。因此，专项风险评估属于动态评估。

以下对施工过程专项风险评估的启动条件作进一步阐述：

- 1 主要考虑到由于围岩等级急剧变化、突遇溶洞暗河、暴雨等自然因素的重大改变，影响施工安全；
- 2 主要考虑长大隧道施工中监控量测指标值频繁超出正常值范围或现场出现小范围的事故险情；
- 3 主要考虑到前期勘察不充分、资料不完整导致重大风险源存在遗漏，以及评估小组对某些评估指标过高或过低的预测等情况，致使现场实际条件与施工前专项风险评估结果不符，出现重大新的风险源。

5.1.6 本指南给出了施工过程专项风险评估报告的内容、形式要求。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。

5.1.7 专项风险评估的基本程序包括：风险源辨识、风险分析、风险估测、风险控制和风险控制预期效果评估。

5.2 风险源辨识

5.2.1 风险源辨识包括工程资料的收集整理、施工作业程序分解、施工作业可能发生的安全事故辨识等 3 个步骤。风险源辨识前应成立评估小组，评估小组负责人应具有类似工程施工经历和五年以上的工程管理经验，评估小组成员的专业范围应覆盖隧道工程的主要施工及管理环节，由评估负责人进行分工，分头开展工作。

5.2.2 收集的资料中，有些是勘察设计单位能提供的，有些是施工单位编写的，还有一部分是需要协调相关单位提供的（如工程区域内的环境条件）。按照《中华人民共和国建筑法》的相关要求，应由建设单位向施工单位提供相关资料。同类工程事故资料等其它相关资料应由评估小组自行收集整理。此外，应注意施工过程专项风险评估和风险预期效果评估还应收集其它指定资料。

5.2.3 施工作业程序分解重点是把握分解的层次。评估小组可以根据安全管理需要、工程实际情况，将长大隧道工程施工按单位工程、分部工程、分项工程逐级分解，并应符合下列规定：

- 1 在合同段中，具有独立施工条件和结构功能的工程为单位工程；
- 2 在单位工程中，按路段长度、结构部位及施工特点等划分的工程为分部工程；
- 3 在分部工程中，根据施工工序、工艺或者材料等划分的工程称为分项工程。

5.2.4 根据工程项目实际情况，专项风险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。施工作业程序分解框见图 5.2.4。

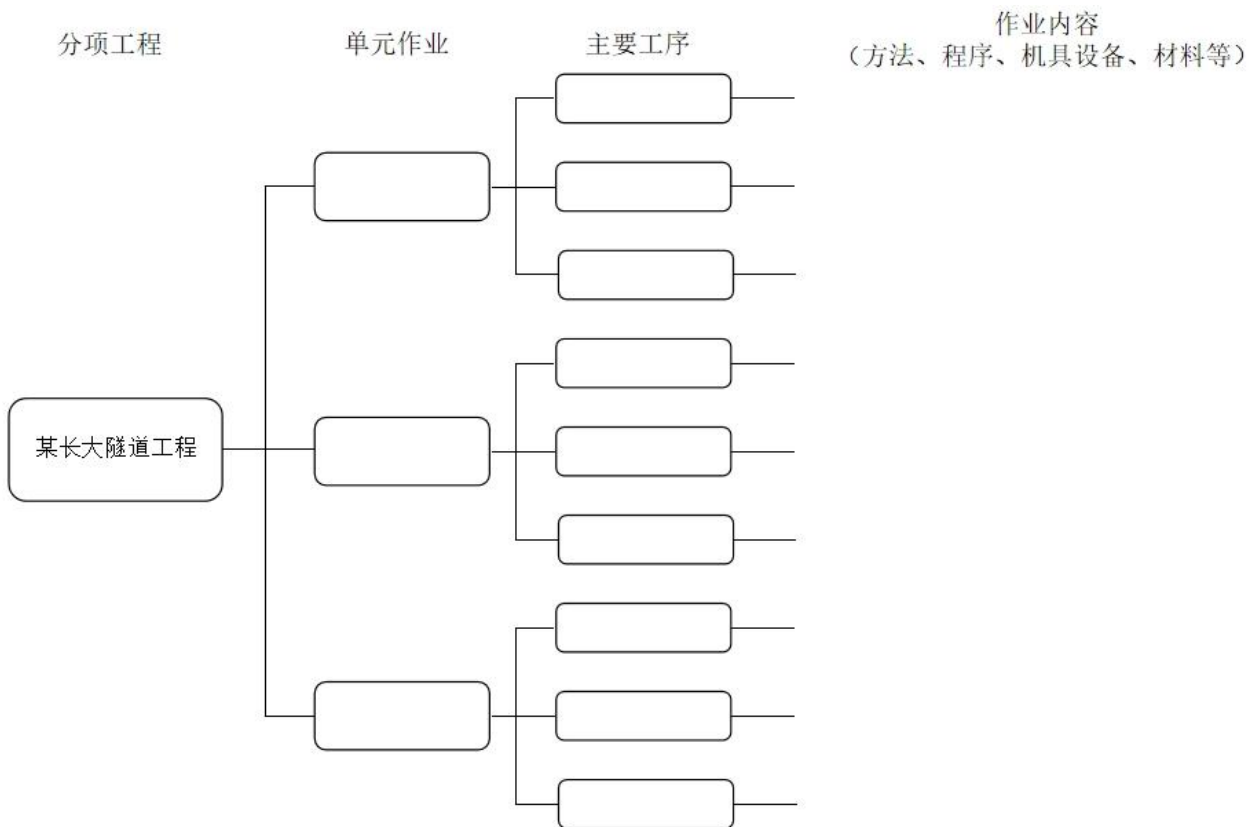


图 5.2.4 施工作业程序分解框图

5.2.5 施工作业程序分解时，应重点将以往事故或险情的施工工序，或有潜在风险的施工工序筛选出来，重点分析以下内容：

- 1 致害物：作业场所内设施、设备及物料等；作业场所对施工人员安全的影响；
- 2 可能受到事故伤害的人员，包括：作业人员本身，同一作业场所的其它作业人员，周围其它人员；
- 3 事故发生的原因，包括：机械故障、自然灾害等。

本指南中长大隧道工程作业程序分解的示例是到单位作业，实际操作时也可到分项工程，重点是根据长大隧道施工难易程度，提出长大隧道施工容易发生人员伤亡的施工作业。同时也应根据长大隧道施工的掘进区段，进行施工作业分解，以便于找出不同施工区段的重大风险事件类型。

每个施工作业可能对应多种可能的风险事件类型，逐一分析可预见的各风险事件类型，从而辨识出风险源。从某种意义上来说，风险评估的最基本元素应该是风险事件，针对分部分项工程的评估实际是针对综合风险的评估，施工安全风险评估应针对每个施工作业活动的每种风险事件类型展开评估工作，考虑到执行层面实际情况，应针对典型施工作业活

动中发生的重大风险事件类型开展定量评估。

风险事件类型分析和风险源辨识是经验性很强的一项工作，应广泛听取专家意见，结合前期事故资料收集整理结果，采用头脑风暴法，按照梳理的施工作业流程确定本工作主要作业活动可能发生的风险事件类型，特别是重大风险事件类型及其对应的风险源。普查成果务必全面、准确。

5.2.6 附录 C 给出了长大隧道工程钻爆法施工作业活动与典型事故类型。

5.3 风险分析

5.3.1 风险分析应在深入分析已有资料的基础上进行，特别是针对确定的施工组织设计、工程施工环境条件、可能的现场情况，应从人、机、料、法、环等方面，找出受伤害对象（人或物）、伤害主体（机械、临时结构、外界条件等）、损失程度（人员伤亡、经济损失、环境和社会影响、工期延误等）、事故原因等。

5.3.2 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。说明表 5.3.2 为现行国家标准《企业职工伤亡事故分类》GB 6441—86 中的不安全状态分类。

1 地质条件变化。主要是分析设计文件中所依据的地质资料和现场开挖揭露的实际地质情况的差异。当地质条件变化较大时，原施工方法可能不当，从而产生较大的施工安全风险。

2 施工方案。主要分析隧道施工所有的分项工程，分析其施工方法和工艺是否得当、相互间的施工工序与衔接是否合理。

3 施工环境方面存在的风险源。主要调查和分析施工场地周边的建筑物、构筑物、埋藏物、管道（油、气、水）、缆线、国防设施、铁路、公路、外电架空线路、地下水体、地表水体等可能造成安全事故的外部环境。

4 施工设备。主要分析爆破开挖、混凝土喷射、仰拱施工、高压供风、高压注浆等使用的可能造成安全事故的施工机械设备。

5 施工材料。主要分析材料过期、失效等质量问题，施工中可能遇到的有毒有害、易燃易爆等物质。

6 自然灾害。主要分析生产、生活区域可能受到暴雨、洪水、泥石流、地震、大风、

雨雪等突发自然灾害造成的风险。

说明表 5.3.2 不安全状态分类

分类号	不安全状态
6.01	防护、保险、信号等装置缺乏或有缺陷
6.01.1	无防护
6.01.1.01	无防护罩
6.01.1.02	无安全保险装置
6.01.1.03	无报警装置
6.01.1.04	无安全标志
6.01.1.05	无护栏、或护栏损坏
6.01.1.06	(电气)未接地
6.01.1.07	绝缘不良
6.01.1.08	局扇无消音系统、噪声大
6.01.1.09	危房内作业
6.01.1.10	未安装防止“跑车”的挡车器或挡车栏
6.01.1.11	其它
6.01.2	防护不当
6.01.2.1	防护罩未在适应位置
6.01.2.2	防护装置调整不当
6.01.2.3	坑道掘进，隧道开凿支撑不当
6.01.2.4	防爆装置不当
6.01.2.5	采伐、集材作业安全距离不够
6.01.2.6	放炮作业隐蔽所有缺陷
6.01.2.7	电气装置带电部分裸露
6.01.2.8	其它
6.02	设备、设施、工具、附件有缺陷
6.02.1	设计不当，结构不合安全要求
6.02.1.1	通道门遮挡视线
6.02.1.2	制动装置有缺欠
6.02.1.3	安全间距不够
6.02.1.4	拦车网有缺欠
6.02.1.5	工件有锋利毛刺、毛边
6.02.1.6	设施上有锋利倒棱
6.02.1.7	其它
6.02.2	强度不够
6.02.2.1	机械强度不够
6.02.2.2	绝缘强度不够
6.02.2.3	起吊重物的绳索不合安全要求
6.01.2.4	其它
6.02.3	设备在非正常状态下运行
6.02.3.1	设备带“病”运转
6.02.3.2	超负荷运转
6.02.3.3	其它
6.02.4	维修、调整不良
6.02.4.1	设备失修
6.02.4.2	地面不平
6.02.4.3	保养不当、设备失灵
6.02.4.4	其它
6.03	个人防护用品用具——防护服、手套、护目镜及面罩、呼吸器官护具、听力护具、安全带、安全帽、安全鞋等缺少或有缺陷
6.03.1	无个人防护用品、用具
6.03.2	所用防护用品、用具不符合安全要求
6.04	生产(施工)场地环境不良
6.04.1	照明光线不良
6.04.1.1	照度不足

分类号	不安全状态
6.04.1.2	作业场地烟雾尘弥漫视物不清
6.04.1.3	光线过强
6.04.2	通风不良
6.04.2.1	无通风
6.04.2.2	通风系统效率低
6.04.2.3	风流短路
6.04.2.4	停电停风时放炮作业
6.04.2.5	瓦斯排放未达到安全浓度放炮作业
6.04.2.6	瓦斯超限
6.04.2.7	其它
6.04.3	作业场所狭窄
6.04.4	作业场地杂乱
6.04.4.1	工具、制品、材料堆放不安全
6.04.4.2	采伐时，未开“安全道”
6.04.4.3	迎门树、坐殿树、搭挂树未作处理
6.04.4.4	其它
6.04.5	交通线路的配置不安全
6.04.6	操作工序设计或配置不安全
6.04.7	地面滑
6.04.7.1	地面有油或其它液体
6.04.7.2	冰雪覆盖
6.04.7.3	地面有其它易滑物
6.04.8	贮存方法不安全
6.04.9	环境温度、湿度不当

5.3.3~5.3.6 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。说明表 5.3.3-1 为现行国家标准《企业职工伤亡事故分类》GB 6441—86 中不安全行为分类。

1 操作错误。不按设计文件和施工组织要求的顺序施工、偷工减料、偷工减序、设备操作错误、易燃易爆品操作不当、多人配合作业不协调、空中抛掷物件、材料工具存放不当等。

2 违反安全规程。高处作业没有个人安全防护用品（安全带、安全帽、安全网）、设备带病运转不维修、设备外露旋转部分不加防护罩、隧道安全监测不到位、酒后作业等。

3 管理缺陷。主要从制度管理和现场管理两方面分析：

(1) 制度管理：从安全管理机构、安全管理人员配备、安全管理责任制、安全培训、安全投入、事故处理、事故应急预案等方面分析；

(2) 现场管理：现场安全巡查、安全隐患查处和事故应急处理等方面分析。

说明表 5.3.3-1 不安全行为分类

分类号	不安全行为
7.01	操作错误、忽视安全、忽视警告
7.01.1	未经许可开动、关停、移动机器
7.01.2	开动、关停机器时未给信号
7.01.3	开关未锁紧，造成意外转动、通电、或泄漏等
7.01.4	忘记关闭设备

7.01.5	忽视警告标志、警告信号
7.01.6	操作错误(指按钮、阀门、搬手、把柄等的操作)
7.01.7	奔跑作业
7.01.8	供料或送料速度过快
7.01.9	机器超速运转
7.01.10	违章驾驶机动车
7.01.11	酒后作业
7.01.12	客货混载
7.01.13	冲压机作业时,手伸进冲压模
7.01.14	工件紧固不牢
7.01.15	压缩空气吹铁屑
7.01.16	其它
7.02	造成安全装置失效
7.02.1	拆除了安全装置
7.02.2	安全装置堵塞,失掉了作用
7.02.3	调整的错误造成安全装置失效
7.02.4	其它
7.03	使用不安全设备
7.03.1	临时使用不牢固的设施
7.03.2	使用无安全装置的设备
7.03.3	其它
7.04	手代替工具操作
7.04.1	用手代替手动工具
7.04.2	用手清除切屑
7.04.3	不用夹具固定,用手拿工件进行机加工
7.05	物体(指成品、半成品、材料、工具、切屑和生产用品等)存放不当
7.06	冒险进入危险场所
7.06.1	冒险进入涵洞
7.06.2	接近漏料处(无安全设施)
7.06.3	采伐、集材、运材、装车时,未离危险区
7.06.4	未经安全监察人员允许进入油罐或井中
7.06.5	未“敲帮问顶”开始作业
7.06.6	冒进信号
7.06.7	调车场超速上下车
7.06.8	易燃易爆场合明火
7.06.9	私自搭乘矿车
7.06.10	在绞车道行走
7.06.11	未及时瞭望
7.07	攀、坐不安全位置(如平台护栏、汽车挡板、吊车吊钩)
7.08	在起吊物下作业、停留
7.09	机器运转时加油、修理、检查、调整、焊接、清扫等工作
7.10	有分散注意力行为
7.11	在必须使用个人防护用品用具的作业或场合中,忽视其使用
7.11.1	未戴护目镜或面罩
7.11.2	未戴防护手套
7.11.3	未穿安全鞋
7.11.4	未戴安全帽
7.11.5	未佩戴呼吸护具
7.11.6	未佩戴安全带
7.11.7	未戴工作帽
7.11.8	其它
7.12	不安全装束
7.12.1	在有旋转零部件的设备旁作业穿过肥大服装
7.12.2	操纵带有旋转零部件的设备时戴手套
7.12.3	其它
7.13	对易燃、易爆等危险物品处理错误

4 在长大隧道工程施工中，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，宜采用采用鱼刺图法、危害及操作性评估（HAZOP）、故障模式与影响分析（FMEA）、故障树分析法、事件树分析法等方法进行分析。等安全系统工程理论进行分析。风险分析的结果应填入说明表 5.3.3-2。

说明表 5.3.3-2 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					
...					
风险源N					

(1) 鱼刺图法

鱼刺图法是把系统中产生事故的原因及造成的结果所构成的因果关系，采用简单的文字和线条加以全面表示的方法。由于分析图的形状像鱼刺，故称“鱼刺图”（见图 5.3.3-1）。

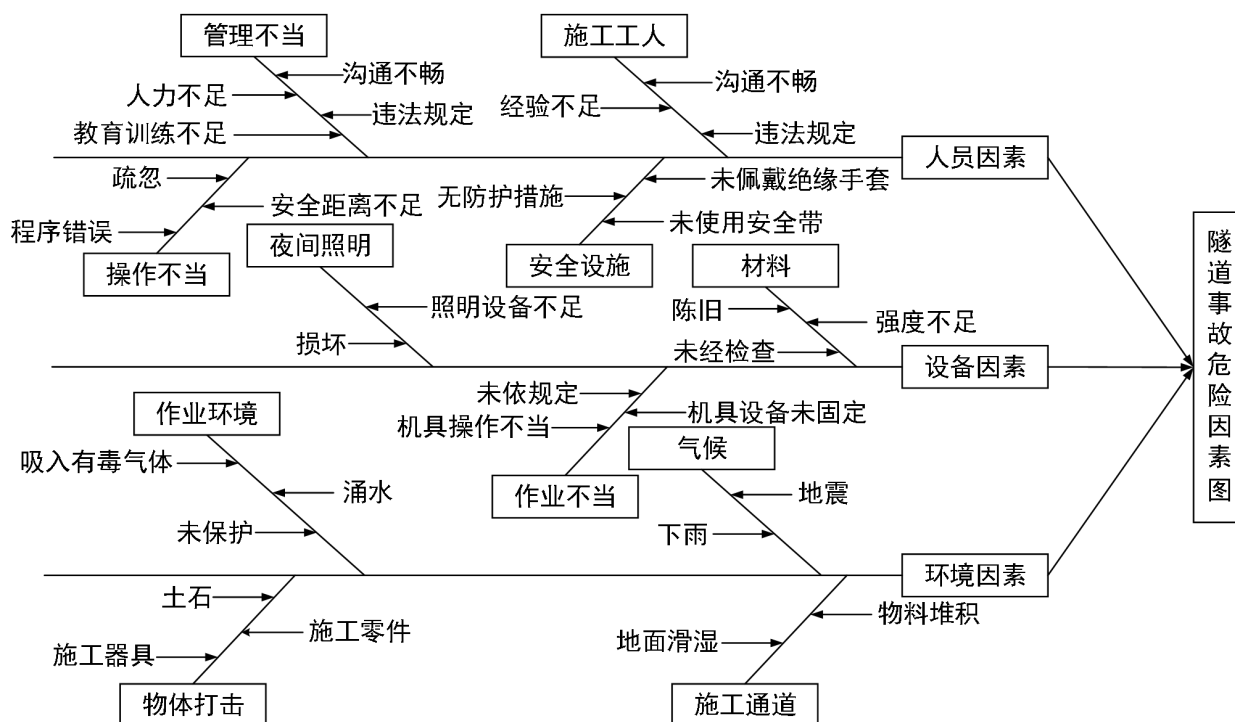


图 5.3.3-1 长大隧道施工安全风险鱼刺图法

制作鱼刺图分 2 个步骤：

第 1 步：分析问题原因及结构

- 针对问题点，选择层别方法（如人、机、料、法、环等）；
- 按头脑风暴分别对各层别找出所有可能原因（因素）；
- 将找出的各因素进行归类、整理，明确其从属关系；
- 分析选取重要因素；
- 检查各要素的描述方法，确保语言简明、意思明确。

第2步：绘制鱼刺图

- 填写鱼头（要解决的问题）；
- 画出主骨（影响结果主要概况因素）；
- 画出大骨，填写大要因；
- 画出中骨、小骨，填写中小要因。

在绘制鱼刺图时应召集建设、施工、监理、第三方评估单位（如有）等相关人员共同分析，将所要解决问题遵从面-线-点依次细化。

（2）危害及操作性评估（HAZOP）

危害及操作性评估（HAZOP）是一种重要的分析方法，用于系统性地识别施工过程中可能出现的危险源及操作问题。通过对施工设计和作业流程的逐项分析，HAZOP能够有效发现潜在的危险和操作风险，为制定预防措施提供依据。隧道施工的复杂性和高风险性使得HAZOP方法在评估过程中尤为重要，尤其在初步设计和施工图阶段，确保施工安全风险得到有效识别和控制。

实施步骤：

1 系统划分。首先，根据隧道施工的各个环节、设备和工艺要求，将施工过程划分为多个功能单元，如勘察阶段、设计阶段、施工阶段等。

2 识别关键参数。对每个功能单元，识别出关键操作参数（如施工环境、地质情况、通风、排水等），这些参数直接影响施工安全。

3 分析偏差。分析各个关键参数可能出现的偏差，如地质条件变化、施工方法不当等，找出可能导致施工风险的因素。

4 评估后果。对每种偏差的潜在后果进行评估，明确其可能对施工安全造成的影响，如坍塌、塌方、窒息等。

5 提出控制措施。基于评估结果，为每个潜在偏差提出相应的控制措施和安全保障方

案。

实施要求：

- 1 评估小组应由具有隧道施工经验的工程师、安全专家、地质专家和设计人员组成，确保能够全面识别潜在风险。
- 2 分析过程中，需结合隧道工程的实际环境，确保每个功能单元的关键参数都得到充分讨论。
- 3 对于每个风险源，必须针对性提出防范措施，并严格落实。

（3）故障模式与影响分析（FMEA）

故障模式与影响分析（FMEA）是一种有效的系统化风险评估方法。FMEA 通过对隧道施工过程中各个组件、设备或环节的潜在故障模式进行分析，能够识别出可能影响施工安全的故障并评估其后果。该方法能够帮助施工单位在早期识别并控制潜在故障模式，从而提高隧道施工的安全性，减少施工事故的发生。

实施步骤：

- 1 明确分析范围。在隧道施工的各个环节中，明确需要分析的对象，如设备故障、施工方法不当、操作失误等。
- 2 识别潜在故障模式。对每个环节、组件或工序，分析可能的故障模式，如设备故障、人员失误、设计缺陷等。
- 3 评估影响。对每种潜在故障模式，评估其对隧道施工安全的影响，如可能导致隧道塌方、结构损伤、火灾等重大事故。
- 4 评分系统。根据每种故障模式的严重性、发生概率和可检测性，采用评分系统进行量化评估。
- 5 制定控制措施。对于高风险的故障模式，制定相应的预防、检测和修复措施，确保能够及时发现和解决潜在问题。

实施要求：

- 1 评估小组应由隧道施工工程师、安全管理人员和设备维护人员等组成，确保每个潜在故障都得到充分评估。
- 2 必须确保对每一个故障模式的评估都具有针对性，特别是对高风险环节应优先处理。
- 3 在实施过程中，需通过多次讨论和验证，确保分析结果准确无误。

(4) 故障树分析法

故障树是将系统的失效事件（称为顶上事件）分解为许多子事件的串、并联组合。在系统中各个基本事件的失效概率已知时，沿故障树图的逻辑关系逆向求解系统的失效概率。故障树是一种特殊的树状逻辑因果关系图，它用规定的逻辑门和事件符号描述系统中各种事物之间的关系。故障树的编制要求分析人员十分熟悉工程系统情况，包括工作程序、各种参数、作业条件、环境影响因素及过去常发事故情况等。故障树解决问题的步骤见图 5.3.3-2。

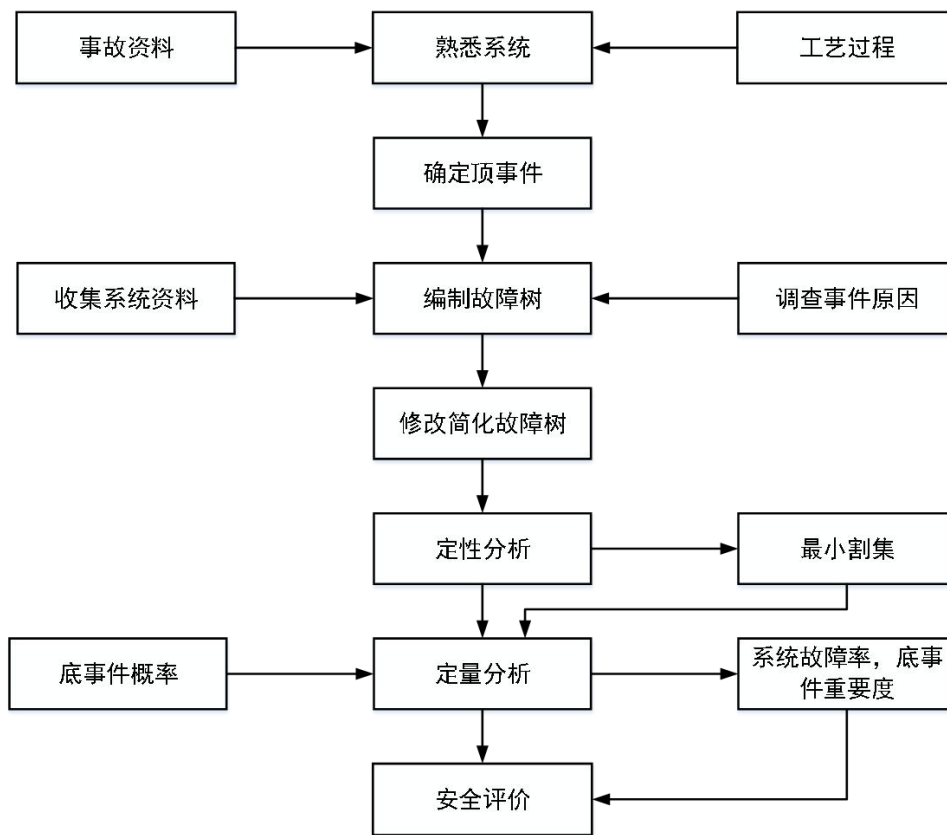


图 5.3.3-2 故障树分析流程图

故障树的绘制见图 5.3.3-3，要分析的对象即为顶上事件（施工安全事故），按逻辑关系可向下罗列顶上事件发生的一级条件及原因，一级条件及原因转换为一级事件，再向下罗列二级事件及原因（ $A1、A2……Ann$ ），依次类推直至事故的基本事件（ $A11、A12……Ann$ ）。目前该方法主要应用于定性评估。

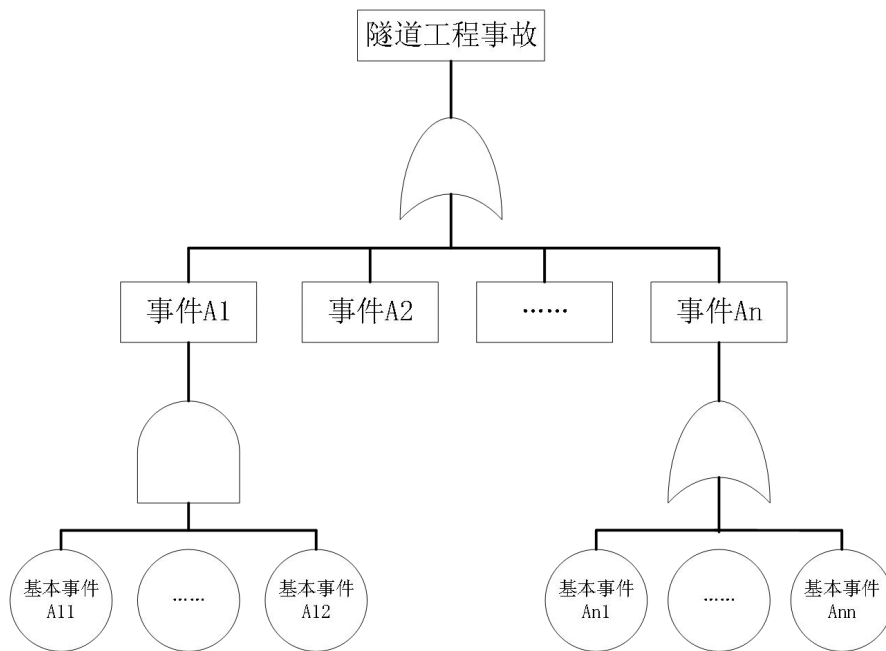


图 5.3.3-3 长大隧道工程施工故障树

(5) 事件树分析法

事件树分析法（ETA）被用作一种评估隧道施工中事故后果的重要方法。通过从初始事故事件出发，逐步追踪可能发生的后续事件，构建事件树，ETA 能够帮助评估隧道施工过程中潜在的事故路径，识别并量化不同路径的风险，从而采取相应的防范和控制措施。

实施步骤：

1 确定初始事件。首先明确可能导致施工事故的初始事件，如隧道支护失败、设备故障等。

2 构建事件树。从初始事件出发，逐步展开，列举所有可能发生的后续事件，并通过树形结构连接起来。每个节点代表一个事件的发生或未发生。

3 量化事件概率。为每个节点事件分配发生的概率值，通常采用历史数据或专家评估的方法来确定每个事件的发生概率。

4 评估后果。通过分析事件树的不同路径，评估每条路径可能导致的后果，如事故等级、人员伤亡、财产损失等。

5 提出控制措施。对高风险的路径，提出相应的控制措施，如加强支护结构、提高监测频次、改进施工方法等。

实施要求：

1 事件树分析应由具有丰富隧道施工和安全管理经验的工程师进行，确保事故路径的

全面性和准确性。

2 分析过程中，应结合隧道工程的实际施工情况和历史数据，以确保事件树的构建尽可能接近实际情况。

3 对于每条高风险路径，应及时提出针对性的控制和应急措施，以有效降低事故发生的可能性。

5.4 风险估测

5.4.1 风险估测是为了将风险源进行区分，确定风险等级便于安全管理。对于风险的大小，综合考虑风险事件可能性和风险事件严重程度，利用风险矩阵综合确定风险源的风险等级。其中， $\text{风险大小} = \text{事故发生可能性} \times \text{事故严重程度}$ 。“ \times ”表示事故发生可能性和事故严重程度的组合。

5.4.2 风险评估方法应结合工程施工内容，安全管理方案、可能发生的事故特点等因素确定。事故可能性评估可选用专家调查法、故障树分析法、事件树分析法等，事故严重程度评估可选用专家调查法等。

5.4.3~5.4.5 明确了一般风险源和重大风险源的关系。在进行风险估测时，所有风险源均先视为一般风险源进行一般风险源风险估测，对于一般风险源风险估测中风险等级较高的风险源，将其列为重大风险源，再进行重大风险源风险估测。由此可见，虽然风险源分为一般风险源和重大风险源，但是由于重大风险源无法直接识别出，只能从一般风险源风险估测产生，这是本指南不能取消一般风险源估测最根本的原因，所以一般风险源风险估测包括对重大风险源的初步定性或者半定量估测。从通俗意义上说，一般风险源估测即为风险源估测。

此外，定义一般风险源风险估测的“高度”等级，可依据选取的评估方法。例如常用的LEC法，对于风险分值高于70分及以上的一般风险源定义为“高度”等级，其它评估方法根据具体情况确定。对于重大风险源的风险评估，应进行定量风险评估，确定风险等级。本指南推荐风险矩阵法和指标体系法。

5.4.6 风险估测结果主要参考了《公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估指南》（试行）的要求。

5.4.7 本指南将风险事件可能性等级分为5级，主要参照了《Guidelines for tunnelling risk

management》、《港口工程施工安全风险评估指南》、《铁路隧道风险评估暂行规定》、《公路桥梁和隧道工程设计安全风险评估指南(试行)》、《地铁及地下工程建设风险管理指南》等国内外相关标准。

5.4.8 将风险事件严重程度的等级分成 5 级，并提供两种确定风险事件严重程度的方法：第一种方法一般主要考虑人员伤亡和直接经济损失；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，宜采用第二种方法，即使用后果当量法确定风险事件严重程度等级。

5.4.9 人员伤亡和直接经济损失的程度等级划分主要参考《铁路建设工程风险管理技术规范》Q/CR 9006—2014，一般情况下，从人员伤亡和直接经济损失两个方面并采用就高原则确定风险事件严重程度。

当多种后果同时产生时，在人员伤亡、直接经济损失的基础上，参照《Guidelines for tunnelling risk management》、《铁路隧道风险评估暂行规定》、《公路水路行业安全生产风险辨识评估管控基本规范》（试行）等国内外相关标准，进一步考虑社会影响、环境影响、工期延长等方面影响，采用后果当量法确定风险事件严重程度等级。

针对长大隧道施工风险事件后果的多样性以及各种风险事件后果计量方式的不统一，根据相关文献，引入当量的概念，当多种后果同时产生时，采用后果当量法确定风险事故严重程度等级。后果当量法的意义主要有两个：一是其能够综合考虑多种后果的影响，而不是单纯利用就高原则来确定严重程度等级，这可以避免对风险事件严重程度的误判；二是后果当量法考虑并量化了社会、环境影响等，尤其是当量值的引入，可以更直观地认识到各后果严重程度大小，统一的衡量标准对于施工人员对风险的理解具有重要意义。

如何确定各后果之前的换算标准是后果当量法是否合理有效的关键，以下给出本指南确定各后果当量值参考的相关规范和说明：

1 人员伤亡

说明表 5.4.9-1 《铁路建设工程风险管理技术规范》Q/CR 9006—2014

后果等级	1	2	3	4	5
人员伤亡数量 (人)	$F \geq 30$ 或 $SI \geq 100$	$10 \leq F < 30$ 或 $50 \leq SI < 100$	$3 \leq F < 10$ 或 $10 \leq SI < 50$	$F < 3$ 或 $SI < 10$ 或 $MI \geq 5$	$MI < 5$

注：F 为死亡人数；SI 为重伤；MI 为轻伤

说明表 5.4.9-2 国际隧协：《Guidelines for tunnelling risk management》

	Disastrous	Severe	Serious	Considerable	Insignificant
No.of fatalities/injuries	$F > 10$	$1 < F \leq 10, SI > 10$	$1F, 1 < SI \leq 10$	$1 SI, 1 < MI \leq 10$	$1MI$

注：F-fatality; SI-serious injury; MI-minor injury.

说明表 5.4.9-3 《生产安全事故报告和调查处理条例》人员伤亡等级判断标准

事故等级	判断标准
特别重大	30 人以上死亡，或者 100 人以上重伤（包括急性工业中毒，下同）
重大	10 人以上 30 人以下死亡，或者 50 人以上 100 人以下重伤
较大	3 人以上 10 人以下死亡，或者 10 人以上 50 人以下重伤
一般	3 人以下死亡，或者 10 人以下重伤

说明表 5.4.9-4 《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》GB50652—2011

等级	1	2	3	4	5
建设人员	死亡（含失踪） 10 人以上	死亡（含失踪）3~9 人， 或重伤 10 人以上	死亡（含失踪）1~2 人， 或重伤 2~9 人	重伤 1 人，或轻伤 2~10 人	轻伤 1 人
第三方	死亡（含失踪）1 人以上	重伤 2~9 人	重伤 1 人	轻伤 2~10 人	轻伤 1 人

参考以上标准，可发现同一级别中死亡人数和重伤人数比例约为 3~5: 1，即 1 人死亡的后果约等于 3 到 5 人重伤。

《企业职工伤亡事故分类》规定：

(1) 轻伤指损失工作日低于 105 日的失能伤害；

(2) 重伤指相当于附录 B（下文未列出）表中损失工作日等于和超过 105 日的失能伤害；

(3) 死亡或永久性全失能伤害规定为 6000 日。

经计算，《企业职工伤亡事故分类》中附录 B 列出的所有重伤平均损失工作日为 2286 天，按照损失工作日计算，死亡、重伤和轻伤严重后果比例约为 1: 3: 60。

综上，1 人死亡=3 人重伤=60 人轻伤。

通过综合考虑，本指南将人员伤亡等级划分如下：

说明表 5.4.9-5 本指南人员伤亡等级标准

等级	1	2	3	4	5
定性描述	轻微的	较大的	严重的	很严重的	灾难性的
人员	$1 \leq \text{重伤人数} < 5$	人员死亡（含失	$3 \leq \text{人员死亡（含失$	$10 \leq \text{人员死亡（含失$	人员死亡（含失踪）

伤亡		踪)人数 < 3 或 5 ≤ 重伤人数 < 10	踪)人数 < 10 或 10 ≤ 重伤人数 < 50	踪)人数 < 30 或 50 ≤ 重伤人数 < 100	人数 ≥ 30 或重伤人 数 ≥ 100
----	--	-----------------------------	-------------------------------	--------------------------------	-------------------------

2 直接经济损失

说明表 5.4.9-6 《铁路建设工程风险管理技术规范》Q/CR 9006—2014

后果等级	1	2	3	4	5
绝对经济损失 (万元)	$EL \geq 10000$	$5000 \leq EL < 10000$	$1000 \leq EL < 5000$	$100 \leq EL < 1000$	$EL < 100$
相对经济损失 (%)	$EL \geq 100$	$50 \leq EL < 100$	$20 \leq EL < 50$	$5 \leq EL < 20$	$EL < 5$

注：1 “EL”指经济损失；

2 相对经济损失的基数为原工程的造价；

3 后果等级取绝对经济损失或相对经济损失中对应的最高等级。

说明表 5.4.9-7 《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》GB 50652—2011

等级	1	2	3	4	5
工程本身	1000 万元以上	500 万元~1000 万元	100 万元~500 万元	50 万元~100 万元	50 万元以下
第三方	200 万元以上	100 万元~200 万元	50 万元~100 万元	10 万元~50 万元	10 万元以下

说明表 5.4.9-8 国际隧协：《Guidelines for tunnelling risk management》

Economic loss to owner

	Disastrous	Severe	Serious	Considerable	Insignificant
Loss in Million Euro	> 30	3 ~ 30	0.3 ~ 3	0.03 ~ 0.3	< 0.03

Damage or economic loss to third party

	Disastrous	Severe	Serious	Considerable	Insignificant
Loss in Million Euro	> 3	0.3 ~ 3	0.03 ~ 0.3	0.003 ~ 0.03	< 0.003

《生产安全事故报告和调查处理条例》中规定：

根据生产安全事故（以下简称事故）造成的人员伤亡或者直接经济损失，事故一般分为以下等级：

（1）特别重大事故，是指造成 30 人以上死亡，或者 100 人以上重伤（包括急性工业中毒，下同），或者 1 亿元以上直接经济损失的事故；

(2) 重大事故，是指造成 10 人以上 30 人以下死亡，或者 50 人以上 100 人以下重伤，或者 5000 万元以上 1 亿元以下直接经济损失的事故；

(3) 较大事故，是指造成 3 人以上 10 人以下死亡，或者 10 人以上 50 人以下重伤，或者 1000 万元以上 5000 万元以下直接经济损失的事故；

(4) 一般事故，是指造成 3 人以下死亡，或者 10 人以下重伤，或者 1000 万元以下直接经济损失的事故。

简单计算，1 人死亡的严重后果，约和 300~500 万的直接经济损失相当。

此外，《工伤保险条例》第三十九条规定，职工因工死亡，其近亲属按照下列规定从工伤保险基金领取丧葬补助金、供养亲属抚恤金和一次性工亡补助金：

(1) 丧葬补助金按统筹地区上年度职工月平均工资 6 个月支付；

(2) 供养亲属抚恤金按照职工本人工资的一定比例发给由因工死亡职工生前提供主要生活来源、无劳动能力的亲属。标准为：配偶每月 40%，其他亲属每人每月 30%，孤寡老人或者孤儿每人每月在上述标准的基础上增加 10%，核定的各供养亲属的抚恤金之和不应高于因工死亡职工生前的工资；

(3) 一次性工亡补助金标准按上一年度全国城镇居民人均可支配收入的 20 倍支付。

说明表 5.4.9-9 为举例计算结果，根据国家统计局资料，2018 年全国城镇居民人均可支配收入 39251 元，人均年工资约 8 万元。假设供养亲属抚恤金赔偿比例为 70%，赔偿 10 年。经计算，1 人死亡的赔偿总额约为 138 万。

说明表 5.4.9-9 赔偿金额计算结果

赔偿项目	赔偿标准（近似值）
丧葬补助金	8 万元/年×0.5 年=4 万元
供养亲属抚恤金	5.6 万/年×10 年=56 万元
死亡赔偿金	39251 元/年×20 年=78.5 万元
合计	约 138.5 万元

综上，为了与 1 亿元直接经济损失和 30 人以上死亡严重后果相当，也不考虑相对的经济损失占比，1 人死亡相当于约 400 万元直接经济损失。

通过综合考虑，本指南将直接经济损失等级标准划分如下：

说明表 5.4.9-10 直接经济损失等级标准

等级	1	2	3	4	5
定性描述	轻微的	较大的	严重的	很严重的	灾难性的

经济损失 (万元)	$Z < 100$	$100 \leq Z < 1000$	$1000 \leq Z < 5000$	$5000 \leq Z < 10000$	$Z \geq 10000$
经济损失占项目建安费的比例 (P_r)	$P_r < 1\%$	$1\% \leq P_r < 2\%$	$2\% \leq P_r < 5\%$	$5\% \leq P_r < 10\%$	$P_r \geq 10\%$

5.4.10 长大隧道工程风险事件严重程度后果当量

1 环境影响

说明表 5.4.10-1 《铁路建设工程风险管理技术规范》Q/CR 9006—2014

后果等级	1	2	3	4	5
自然环境影响	涉及范围非常大, 周边生态环境发生严重污染或破坏	涉及范围很大, 周边生态环境发生较重污染或破坏	涉及范围较大, 邻近区域内生态环境发生污染或破坏	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少污染或破坏
社会环境影响	恶劣的, 或需转移安置 1000 人以上	严重的, 或需转移安置 500 人~1000 人	较严重的, 或需转移安置 100 人~500 人	需考虑的, 或需转移安置 50 人~100 人	轻微的, 或需转移安置小于 50 人

说明表 5.4.10-2 《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》GB 50652—2011

等级	1	2	3	4	5
影响范围及程度	涉及范围非常大, 周边生态环境发生严重污染或破坏	涉及范围很大, 周边生态环境发生较重污染或破坏	涉及范围较大, 区域内生态环境发生污染或破坏	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少污染或破坏

结合以上两个标准, 本指南环境影响分为自然环境和社会环境两个方面, 并考虑到公路隧道施工相比化工等工业活动对环境的影响较轻, 所以淡化了各等级的定性描述措辞, 从整体上看降低了一级。同时, 为了与人员伤亡等级保持一致, 取死亡人数的等级上限人数作为当量值, 当量值分别为: 10、3、1、1/2、0。

2 社会影响

说明表 5.4.10-3 《铁路建设工程风险管理技术规范》Q/CR 9006—2014

后果等级	1	2	3	4	5
社会影响	绝大部分群众有意见、反应极其强烈, 可能引发大规模群体性事件	大部分群众有意见、反应特别强烈, 可能引发较大规模群体性事件	部分群众有意见、反应强烈, 可能引发矛盾冲突	多数群众理解支持但少部分人有意、通过有效工作可防范与化解矛盾	绝大多数群众理解支持, 极少数人有意见, 矛盾易化解

本指南社会影响分级描述参考该标准, 并淡化措辞, 整体上减低一级。当量值取法方

法和环境影响取值相同，即为 10、3、1、1/2、0。

3 工期延误

说明表 5.4.10-4 《铁路建设工程风险管理技术规范》Q/CR 9006—2014

后果等级		1	2	3	4	5
控制工期工程	绝对延误时间（月/单一事故）	> 12	6 ~ 12	3 ~ 6	0.5 ~ 3	≤ 0.5
	相对延误时间（%）	> 50	20 ~ 50	10 ~ 20	5 ~ 10	≤ 5
非控制工期工程	绝对延误时间（月/单一事故）	> 24	12 ~ 24	6 ~ 12	1 ~ 6	≤ 1
	相对延误时间（%）	> 100	50 ~ 100	25 ~ 50	10 ~ 25	≤ 10

说明表 5.4.10-5 《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》GB 50652—2011

等级	1	2	3	4	5
长期工程	延误大于 9 个月	延误 6 个月~9 个月	延误 3 个月~6 个月	延误 1 个月~3 个月	延误少于 1 个月
短期工程	延误大于 90d	延误大于 60d~90d	延误 30d~60d	延误 10d~30d	延误少于 10d

说明表 5.4.10-6 国际隧协：Guidelines for tunnelling risk management

Delay (two alternative examples are shown)

	Disastrous	Severe	Serious	Considerable	Insignificant
Delay(1)(months per hazard)	> 10	1 ~ 10	0.1 ~ 1	0.01 ~ 0.1	< 0.01
Delay(2)(months per hazard)	> 24	6 ~ 24	2 ~ 6	1/2 ~ 2	< 1/2

综上，本指南将工期延误分为两类：控制工期工程和非控制工期工程，并征求专家意见，令 1 个当量=3 个月非控制工期工程=1 个月控制工期工程。

结合以上标准和说明，1 个当量=1 人死亡=400 万经济损失=三级的社会或环境影响=3 个月非控制工期工程=1 个月控制工期工程。

在之前的指南中，是利用就高原则考虑多种后果，而后果当量法的引入，是通过综合考虑每种后果影响的当量值，完善就高原则中不尽合理之处。因此，划分等级区间也是按照符合就高原则，并进一步优化就高原则的方法进行。

为计算后果当量法各区间端点值，取后果各区间下限值。值得注意的是，本指南淡化措辞后，由当量值可知环境、社会影响后果为 5 级时相当于人员死亡的 4 级，依次类推。确定等级时，将环境和社会影响当量值提高一个等级，保持和人员死亡后果当量一致，避免因同等级下环境和社会影响当量过小导致的等级下限值过低。环境和社会影响提高后的各等级从高到低的当量值为：30、10、3、1、1/2（本指南实际为 10、3、1、1/2、0）。

说明表 5.4.10-7 后果各区间下限值

等级	5	4	3	2	1
人员死亡	30	10	3	1	0
直接经济损失	10000	5000	1000	100	0
环境影响	30	10	3	1	1/2
社会影响	30	10	3	1	1/2
工期延误	24	12	6	1	0

对于5种后果等级出现1、1、1、1、X（组合一）的情况，后果等级按照就高原则取X级，后果当量法也与之保持一致。取1、1、1、1、X等级的下限值代入本指南公式计算，结果如下：

表 5.4.10-8 组合一 试算结果

等级	死亡人数	直接经济损失	工期延长	环境影响	社会影响	计算结果	后果当量等级
2级	2	1	1	1	1	2	2
	1	2	1	1	1	1	
	1	1	2	1	1	1.33	
	1	1	1	2	1	1	
	1	1	1	1	2	1.5	
3级	3	1	1	1	1	4	3
	1	3	1	1	1	3.5	
	1	1	3	1	1	3	
	1	1	1	3	1	3.5	
	1	1	1	1	3	3.5	
4级	4	1	1	1	1	11	4
	1	4	1	1	1	13.5	
	1	1	4	1	1	5	
	1	1	1	4	1	10.5	
	1	1	1	1	4	10.5	
5级	5	1	1	1	1	31	5
	1	5	1	1	1	26	
	1	1	5	1	1	9	
	1	1	1	5	1	30.5	
	1	1	1	1	5	30.5	

综上后果当量法划分区间为：

表 5.4.10-9 后果当量法等级区间划分

后果等级	1	2	3	4	5
当量值 DC	$DC < 1$	$1 \leq DC < 3$	$3 \leq DC < 10$	$10 \leq DC < 30$	$DC \geq 30$

对于5种后果等级出现X、X、X、X、X-1（组合二）情况，与1、1、1、1、X相同，

就高原则均定为 X 级，显然不太合理，利用后果当量法则可以区分，以下是试算结果：

表 5.4.10-10 组合二试算结果

就高原则等级	死亡人数	经济损失	工期延长	环境影响	社会影响	计算结果	后果当量等级
2	1	2	2	2	2	2.58	2
	2	1	2	2	2	3.33	3
	2	2	1	2	2	3.25	3
	2	2	2	1	2	3.08	3
	2	2	2	2	1	3.08	3
3	2	3	3	3	3	11.5	4
	3	2	3	3	3	11.25	4
	3	3	2	3	3	11.83	4
	3	3	3	2	3	11.5	4
	3	3	3	3	2	11.5	4
4	3	4	4	4	4	39.5	5
	4	3	4	4	4	36.5	
	4	4	3	4	4	44.5	
	4	4	4	3	4	39.5	
	4	4	4	4	3	39.5	
5	4	5	5	5	5	103	5
	5	4	5	5	5	110.5	
	5	5	4	5	5	119	
	5	5	5	4	5	103	
	5	5	5	5	4	103	

由上表知，对于 2 级组合的情况，部分上升为 3 级，而对于 3 和 4 级的组合情况，后果当量法计算后均上升一个等级，从逻辑上看也是合理的。

综上所述，后果当量法相对于就高原则有其优越性，且该等级区间划分也较为合理，从只考虑人员死亡后果的角度看，该等级也满足《生产安全事故报告和调查处理条例》的相关要求，可见，该后果当量法是基于人员伤亡进行当量换算的。

此外，这里给出了直接经济损失的统计范围。根据《企业职工伤亡事故经济损失统计标准》GB 6721—86，伤亡事故经济损失指企业职工在劳动生产过程中发生伤亡事故所引起的一切经济损失，包括直接经济损失和间接经济损失。

直接经济损失指因事故造成人身伤亡及善后处理支出的费用和毁坏财产的价值，其统计范围为：

人身伤亡后所支出的费用：医疗费用（含护理费用）、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；

财产损失价值：固定资产损失价值、流动资产损失价值。

间接经济损失指因事故导致产值减少、资源破坏和受事故影响而造成其它损失的价值，其统计范围为：

停产、减产损失价值；

工作损失价值；

资源损失价值；

处理环境污染的费用；

补充新职工的培训费用；

其它损失费用。

本指南中“直接经济损失”统计范围和该标准保持一致，此外还考虑了人员伤亡、社会影响、环境影响和工期延误等后果。需注意，在“直接经济损失”中考虑了人员伤亡的赔偿等费用，更多侧重于企业的支出费用，而“人员伤亡”则是从社会管理和评价事故对社会和人类的影响的角度考虑的，应注意区分。

5.4.11 专项风险等级标准规定了低度风险（Ⅰ级）、中度风险（Ⅱ级）、高度风险（Ⅲ级）、极高风险（Ⅳ级）4个风险等级，风险等级利用风险矩阵，由风险事件可能性和严重程度组成的矩阵表来综合判定。

5.5 一般风险源估测

5.5.1~5.5.2 一般风险源风险估测，可采用定性方法（如检查表法），或半定量方法（如LEC法）等确定风险等级。

1 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，将检查项目列表逐项检查，即做一份安全检查和危险诊断的项目明细表、备忘录。安全检查表法可以直观地反映出问题，可以作为评估者评估时提出对策建议的重要依据，并且可以使对策建议更有针对性和可操作性，通风安全检查表示例如说明表 5.5.1-1 所示。

说明表 5.5.1-1 隧道通风安全检查表

检查内容	检查依据	检查结果	备注
1.空气中有害物质容许浓度 2.通风设备 3.自动报警装置 4.	1.空气中有害物质容许浓度是否满足施工规范要求。 2.通风设备数量是否足够，通风设备是否开启。 3.自动报警装置指示灯是否完好，监测系统是否正常工作。 4.		

2 LEC 法（作业条件危险性评价法）

LEC 法是根据作业人员在具有潜在危险性环境中作业，以影响作业条件危险性的因素进行评价的方法。作业条件危险性评价法的评价步骤如下：

(1) 组成专家组。

(2) 对于一个具有潜在危险性的作业条件，确定事故类型，找出影响危险性的主要因素：

L ——事故发生的可能性；

E ——人员暴露于危险环境的频繁程度；

C ——发生事故可能造成的后果。

(3) 由专家组成员按规定标准对 L 、 E 、 C 分别评分，取分值集的平均值作为 L 、 E 、 C 的计算分值。用计算的危险性分值 (D) 评价作业条件的危险性等级。其计算公式为：

$$D = L \times E \times C \quad (5.5.1-1)$$

式中：

L ——事故发生的可能性大小，取值见说明表 5.5.1-2；

E ——人员暴露于危险环境的频繁程度，取值见说明表 5.5.1-3；

C ——发生事故可能造成的后果，取值见说明表 5.5.1-4；

D ——危险性分值，确定危险等级的划分标准见说明表 5.5.1-5。

说明表 5.5.1-2 事故发生的可能性分值 L

分数值	10	6	3	1	0.5	0.2	0.1
事故发生的可能性	完全会被预料到	相当可能	可能，但不经常	完全意外，可能小	可以设想，不太可能	极不可能	实际上不可能

说明表 5.5.1-3 暴露于危险环境的频繁程度分值 E

分数值	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
------------------	------	---------------	---------------	------------	------------	------------

说明表 5.5.1-4 事故造成的后果分值 C

分数值	100	40	15	7	3	1
事故造成的后果	10人以上 死亡	3人以上9人以下 死亡	1人死亡	严重伤残	有伤残	轻伤，需救 护

说明表 5.5.1-5 危险性等级划分标准

危险性分值 D	≥ 320	≥ 160 ~ 320	≥ 70 ~ 160	≥ 20 ~ 70	< 20
危险程度	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
危险等级	1	2	3	4	5

一般情况下，事故发生的可能性越大，风险越大；暴露于危险环境的频繁程度越大，风险越大；事故产生的后果越大，风险越大。运用作业条件危险评价分析法进行分析时，对于风险分值高于 70 分及以上的，列为重大风险源并进行风险估测。

(4) 以列表方式汇总一般风险源风险等级。

5.6 重大风险源估测

5.6.1 一般要求

1 重大风险源风险估测应分为施工前重大风险源估测和施工过程重大风险源估测，两者分别与施工前、施工过程专项风险评估对应，主要考虑到施工前、施工过程获取评估信息手段、评估指标体系、评估方法的变化等因素。通常来讲，施工过程可获取的指标信息、评估方法更为多样，评估指标体系更为复杂，指标更加准确、可靠。

2 重大风险源往往在一个工程中常多处存在，为了找出风险控制的重点，应进行定量风险估测，即先确定风险事件可能性和严重程度，再基于风险矩阵法确定该风险事件的风险等级。

5.6.2 长大隧道施工前重大风险源估测

1 本指南中风险事件可能性是根据施工前风险事件可能性评估指标体系，结合工程实际情况对评估指标赋值，再将分值进行加乘运算求得综合评分，参照各施工前风险事件可能性等级标准得出风险等级。

根据国内外 969 条隧道的各类灾害或潜在灾害统计结果，塌方、岩爆、瓦斯爆炸、大变形以及涌水突泥是隧道施工中频繁发生的。如图 5.6.2-1 和图 5.6.2-2 所示，统计数据中共有隧道大变形灾害事件 265 起，占总数的 27.4%；塌方事件 483 起，占总数的 49.9%；瓦斯爆炸事件 47 起，占总数的 4.9%；岩爆事件 92 起，占总数的 9.5%；涌水突泥事件 81 起，占总数的 8.4%。此外隧道洞口段施工往往作为隧道工程的主要控制工程段，其结构及地层通常具有稳定性差、受力复杂、施工技术难度高和支护工程量大等特点，因此隧道洞口段易发生失稳坍塌、滑坡等灾害，处置不当将严重影响工程作业人员生命财产安全和施工进度。故本指南主要考虑洞口失稳、坍塌、涌水突泥、大变形、瓦斯爆炸和岩爆等 6 种风险事件类型，并建立相应的风险事件可能性评估指标体系。

在评估过程中，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、重点考虑各指标的相互影响进行分值范围的确定。

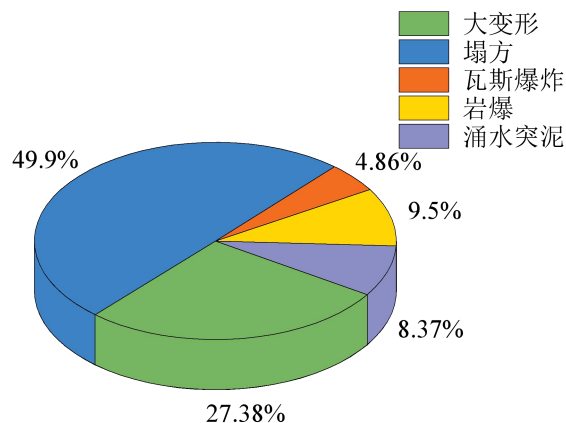


图 5.6.2-1 隧道各类事故发生比例

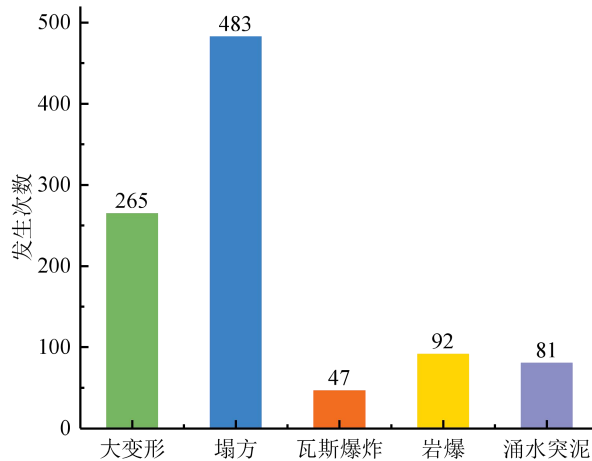


图 5.6.2-2 隧道发生各类灾害的数量

2 连拱隧道指两洞拱部衬砌结构通过中柱相连接的隧道结构，是一种常用于复杂特殊地形的结构型式。与分离式隧道相比，连拱隧道施工更为复杂，且不同开挖顺序对隧道结构及围岩的影响难以把握，施工风险较大。

小净距隧道指上下行双洞洞壁净距较小，不能按独立双洞考虑的隧道结构。当前，我国在小净距隧道设计、施工以及其关键技术等方面的研究尚未成熟，理论研究尚未形成体系，施工风险较大。故需考虑这两种隧道类型对各风险事件可能性造成的影响，在本指南中作为修正值体现。

资料完整性是指地质、水文、气象、勘察设计等相关资料的完整性。从评估角度来看，资料完整性可理解为隧道现有资料对于本指南评估指标的满足程度，即评估小组根据隧道现有资料能否得出较为准确的分值，若不能，则评估小组需凭主观经验估算赋值，这对评估结果的影响较大，故引入资料完整性作为修正指标。

3 降水通常会增加洞口施工难度，增大失稳风险，故将年均降水量作为地形地质条件的修正系数；将隧道开挖跨度与被洞口偏压角度修正过的洞口浅埋段长度分值相加，再与降水量、地质条件对应的系数、隧道类型和资料完整性修正系数相乘得到被评价施工区段发生洞口失稳事故的可能性等级。

施工前各风险事件等级区间划分方法如下：通过对每个指标分值进行随机抽样 10^6 次，代入各风险事件可能性计算公式，并画出分值的累计频率曲线，结合坍塌和涌水风险事件的工程案例试算。

图 5.6.2-3 为隧道施工前洞口失稳风险事件可能性评估分值累计频率曲线，分级区间取累计频率曲线占比分别为 <3%、3~20%、20~50%、50~80%、>80% 作为洞口失稳的 5 个等

级区间。

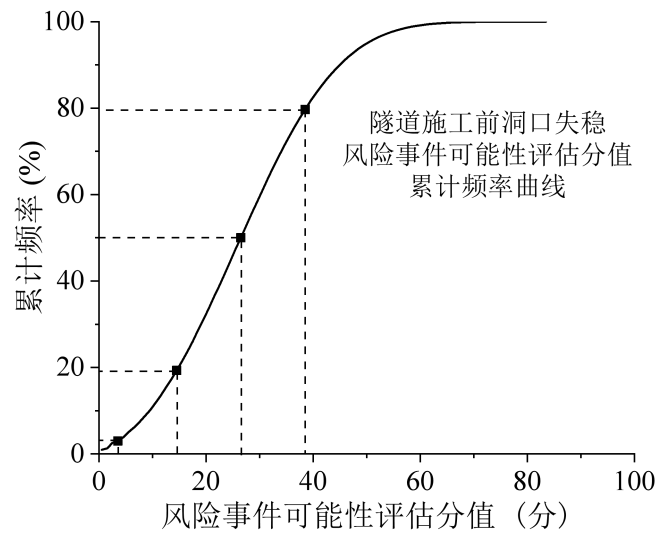


图 5.6.2-3 隧道施工前洞口失稳风险事件可能性评估分值累计频率曲线

4 将断层破碎带宽度、优势结构面倾角、预测涌水量作为隧道围岩级别的系数来处理，主要考虑到三者往往表现为对围岩强度的削减作用；围岩级别、浅埋隧道偏压角度、隧道开挖跨度是引发坍塌事故的重要因素，将 3 者进行加和，与修正系数相乘得到被评价施工区段发生坍塌事故的可能性等级。

坍塌风险事件案例试算结果见说明表 5.6.2-1 和图 5.6.2-4，《公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估指南》（试行）中最高等级为IV级。由说明表 5.6.2-1 和图 5.6.2-4 易知，现行指南I级和II级的分界点约为 25 分，对应本指南坍塌风险事件可能性评估分值累计频率约为 20%，《公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估指南》（试行）中II级和III级的分界点约在 30~35 分之间，对应本指南累计频率约为 50%；《公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估指南》（试行）中III级和IV级的分界点在 45 分以上，对应本指南累计频率约为 80%。此外，考虑到各分级区间长度相差不宜太大，取累计频率曲线占比分别为<3%、3~20%、20~50%、50~80%、>80%作为坍塌的 5 个等级区间。

说明表 5.6.2-1 坍塌风险事件试算结果汇总

风险事件	依据本指南试算分数	依据《公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估指南》（试行）评估等级
坍塌	38	III
	28	II
	31	III
	28	II
	33	III

	28	II
	31	III
	40	III
	23	II
	40	III
	36	III
	30	II
	36	III
	40	III
	10	II
	26	II
	36	III
	38	III
	28	II
	34	III
	43	III
	32	II
	41	III
	31	II
	41	III
	44	III
	32	II

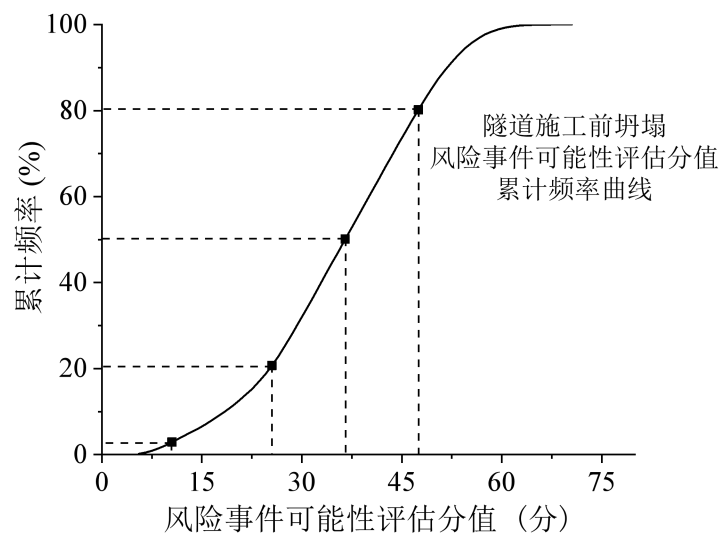


图 5.6.2-4 隧道施工前坍塌风险事件可能性评估分值累计频率曲线

5 水体情况往往作为补充水体增加涌水突泥风险，故将其作为“扩大修正”系数；不良地质和岩溶发育程度往往与涌水量有直接关系故将其加和作为预测涌水量的“修正”系数，再与周围水体情况确定的系数、修正系数相乘得到被评价施工区段的涌水突泥风险事件可

能性等级。

涌水突泥风险事件案例试算结果见说明表 5.6.2-2 和图 5.6.2-5, 搜集的工程评估报告资料中等评估级按照五级划分, 和本标准相同。由说明表 5.6.2-2 和图 5.6.2-5 易知, V级和IV级的分界点约为 5 分, 对应本指南涌水突泥风险事件可能性评估分值累计频率约为 20%, II级和I级的分界点约为 40 分, 对应本指南累计频率约为 95%。此外, 结合坍塌的划分标准, 取累计频率占比分别为<20%、20~50%、50~80%、80~95%、>95%作为涌水突泥的 5 个等级分值区间。

说明表 5.6.2-2 涌水突泥风险事件试算结果汇总

风险事件	依据本指南试算分数	评估等级
涌水突泥	3	V
	40	II
	42	I
	8	IV
	21	II

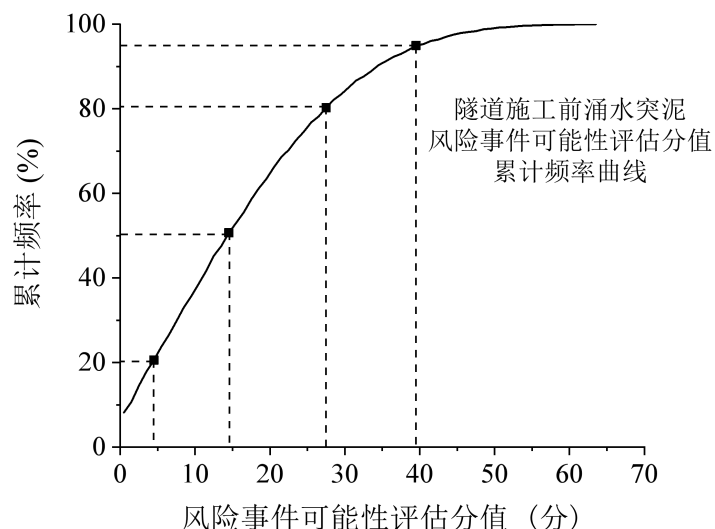


图 5.6.2-5 隧道施工前涌水突泥风险事件可能性评估分值累计频率曲线

6 将断层破碎带宽度、预测涌水量作为围岩级别的修正系数, 主要考虑到两者会在一定程度上弱化围岩强度。隧道开挖跨度、浅埋隧道偏压角度、围岩级别、地应力是引发大变形事故的重要因素, 将 4 者进行加和, 与修正系数相乘得到被评价施工区段的大变形风险事件可能性等级。

图 5.6.2-6 为隧道施工前大变形风险事件可能性评估分值累计频率曲线, 参考坍塌的划分标准, 取累计频率曲线占比分别为<3%、3~20%、20~50%、50~80%、>80%作为大变形

的 5 个等级区间。

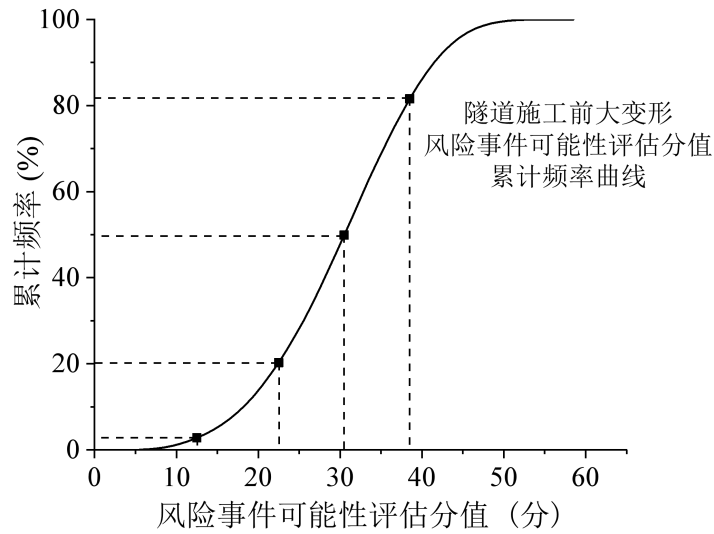


图 5.6.2-6 隧道施工前大变形风险事件可能性评估分值累计频率曲线

7 将瓦斯压力作为瓦斯涌出量的“修正”系数，是因为压力越大则单位时间内隧道瓦斯涌出量越多；将隧道距煤层距离作为煤层厚度的“修正”系数，是因为隧道距煤层距离越小，煤层厚度才会对隧道施工安全的威胁越大，发生瓦斯爆炸的风险越大。两指标分别与对应的“修正”系数相乘后再相加，得到被评价施工区段的瓦斯爆炸风险事件可能性等级。

图 5.6.2-7 为隧道施工前瓦斯爆炸风险事件可能性评估分值累计频率曲线，参考坍塌的划分标准，取累计频率曲线占比分别为<3%、3~20%、20~50%、50~80%、>80%作为瓦斯爆炸的 5 个等级区间。

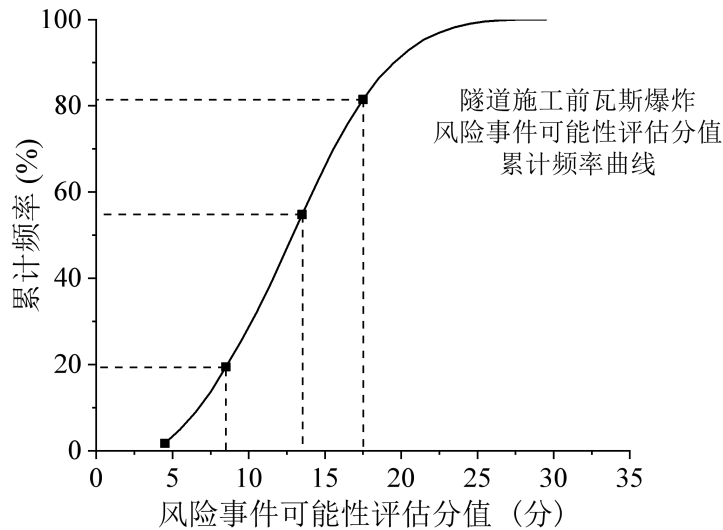


图 5.6.2-7 隧道施工前瓦斯爆炸风险事件可能性评估分值累计频率曲线

8 3 个指标从不同角度揭示岩爆影响因素，其中地应力是诱发岩爆关键指标，将岩体质量指标 RQD、岩石单轴饱和抗压强度作为地应力的系数来处理，3 者之积再与修正系数

相乘，就可得到被评估区段的岩爆风险事件可能性等级。

图 5.6.2-8 为隧道施工前岩爆风险事件可能性评估分值累计频率曲线，参考涌水突泥的划分标准，取累计频率曲线占比分别为<20%、20~50%、50~80%、80~95%、>95%作为岩爆的 5 个等级区间。

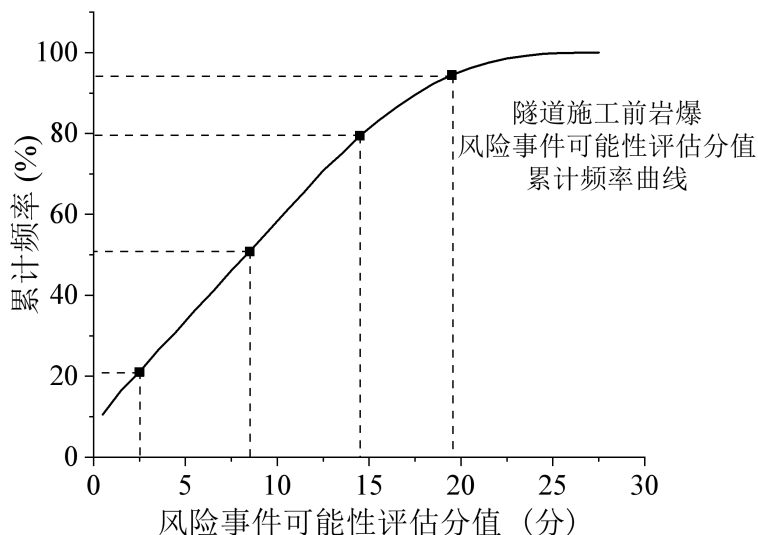


图 5.6.2-8 隧道施工前岩爆风险事件可能性评估分值累计频率曲线

5.6.3 施工过程重大风险源估测

5.6.3.1 本指南建立了隧道洞口失稳、坍塌、涌水突泥、大变形、瓦斯爆炸、岩爆 6 个施工过程风险事件可能性评估指标体系。与施工前的不同之处在于，施工过程引入了地质超前预报、监控量测等动态指标。参照相关标准规范和隧道实际工程经验，对施工过程隧道洞口失稳、坍塌、涌水突泥、大变形、瓦斯爆炸、岩爆等 6 个风险事件可能性评价指标体系作出说明，见本指南附录 B.0.2-1~B.0.2-6。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。

5.6.3.2 施工过程重大风险源估测采用定性和定量相结合的方法。风险事件严重程度的估测宜采用后果当量法，风险事件可能性的估测方法宜采用指标体系法，指标权重的确定推荐采用重要性排序法。

重要性排序法确定指标权重的步骤如下：

重要性排序法是根据评估指标与风险事件发生可能性以及后果严重程度（优先考虑人员伤亡）的相关性，进行综合评判后，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（5.6.3.2）计算。根据指标个数和重要性程度可按照本指南附录 B.0.2-7 直接

选取各评估指标的权重系数。

$$\gamma = \frac{2n - 2m + 1}{n^2} \quad (5.6.3.2)$$

式中：

γ ——权重系数；

n ——评估指标项数；

m ——重要性排序号， $m \leq n$ 。

5.6.3.3~5.6.5 施工过程重大风险源估测与施工前相比，评估指标的揭露程度更高，对各指标的准确把握要求也更高，因此与施工前指标各等级固定分值不同，施工过程采用百分制打分和权重来综合定量估测。通过动态权重来满足施工过程复杂的现场实际情况，充分发挥评估小组的主观经验，达到准确评估的目的。风险事件可能性为该风险事件各评估指标的评估分值 R_{ij} 与对应的指标权重 γ_{ij} 的乘积之和。

由于施工过程风险事件评估指标体系采用百分制打分并结合指标权重，各风险事件可能性分值累计频数曲线基本相同，见图 5.6.3.3-1，因此统一划分等级。参考施工前坍塌风险事件的划分标准，以累计频率占比分别为 <3%、3~20%、20~50%、50~80%、>80% 作为 5 个等级区间，对应的分值约是以 10 分为步距，从小于 30 分到大于 60 分。

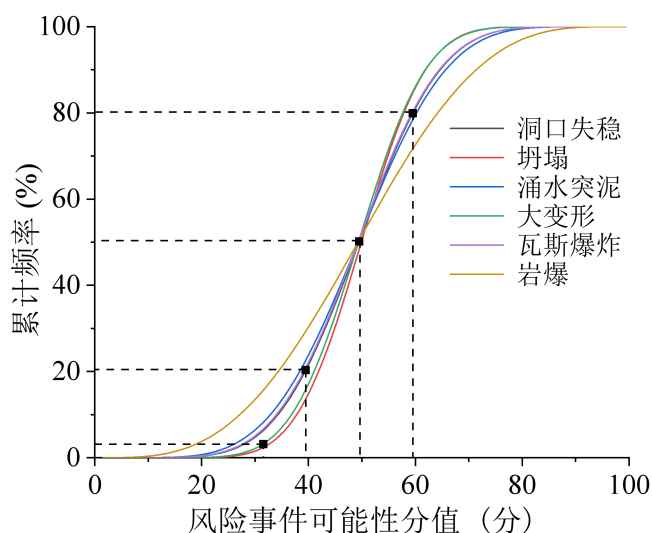


图 5.6.3.3-1 隧道施工过程风险事件可能性评估分值累计频率曲线

当施工区段情况特别复杂，需要结合现场监控量测等手段，必要时还应借助数值模拟等手段进行重大风险源估测。采用层次分析法、未确知测度法等综合判定方法，具体说明如下：

1 层次分析法

第一步：建立重大风险安全风险指标多层次结构模型，见图 5.6.3.3-2。

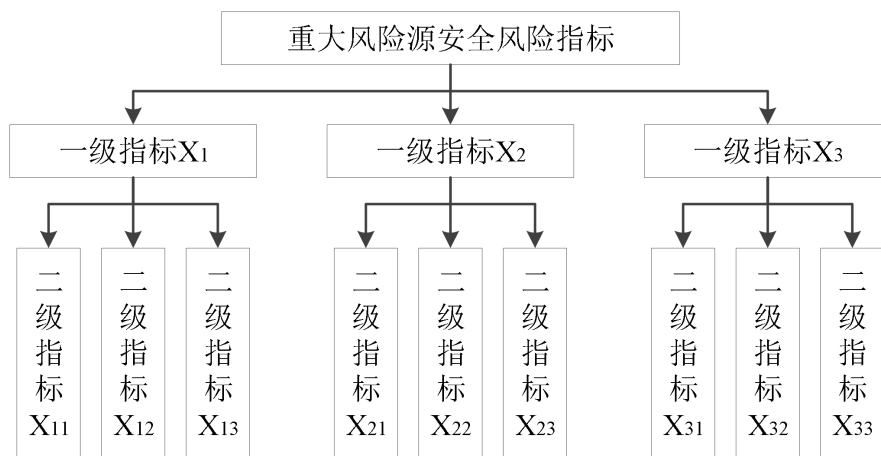


图 5.6.3.3-2 层次结构模型

第二步：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 2 指标间相对重要程度，见说明表 5.6.3.3-1，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，见说明表 5.6.3.3-2。

说明表 5.6.3.3-1 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
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

说明表 5.6.3.3-2 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}

第三步：按照式（5.6.3.3-1）计算判断矩阵中每行元素的几何平均值 \bar{w}_i ，再按照式（5.6.3.3-2）进行归一化处理得到相对权重值 w_i 。

$$\bar{w}_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}} \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (5.6.3.3-1)$$

$$w_i = \bar{w}_i / \sum_{i=1}^n \bar{w}_i \quad (5.6.3.3-2)$$

第四步：通过式（5.6.3.3-3）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 见说明表 5.6.3.3-3，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。

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(Aw)_i}{nw_i} \quad (5.6.3.3-3)$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{(n-1)} \quad (5.6.3.3-4)$$

式中：

CI——判断矩阵的一般一致性指标；

n——判断矩阵的阶数。

说明表 5.6.3.3-3 随机一致性指标 RI 取值表

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

2 未确知测度法

第一步：建立长大隧道专项风险评估的风险事件评估指标体系。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，各大类中包括多项指标，即评价因子。

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 5.6.3.3-4 分级标准评定表

评价因子	分级标准			
	I级 (C1)	II级 (C2)	III级 (C3)	IV级 (C4)
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，对施工中隧道的各评价指标进行赋值，见说明表 5.6.3.3-5。

说明表 5.6.3.3-5 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
	评价因子 2	β
...
评价指标 n	评价因子 m	γ

第二步：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：

$$0 \leq \mu(X_i^j \in C_k) \leq 1 \quad (5.6.3.3-5)$$

$$\mu(X_i^j \in U) = 1 \quad (5.6.3.3-6)$$

$$\mu[X_i^j \in U_{l=1}^k C_l] = \sum_{l=1}^k \mu(X_i^j \in C_l) \quad k = 1, 2, \dots, p \quad (5.6.3.3-7)$$

式中：

$i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m; k=1, 2, 3, 4;$

X_i —— 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说明表 5.6.3.3-4 和说明表 5.6.3.3-5，构建单指标测度函数（函数图形见图 5.6.3.3-3、图 5.6.3.3-4、图 5.6.3.3-4）以便求得隧道施工各评价指标的

测度。

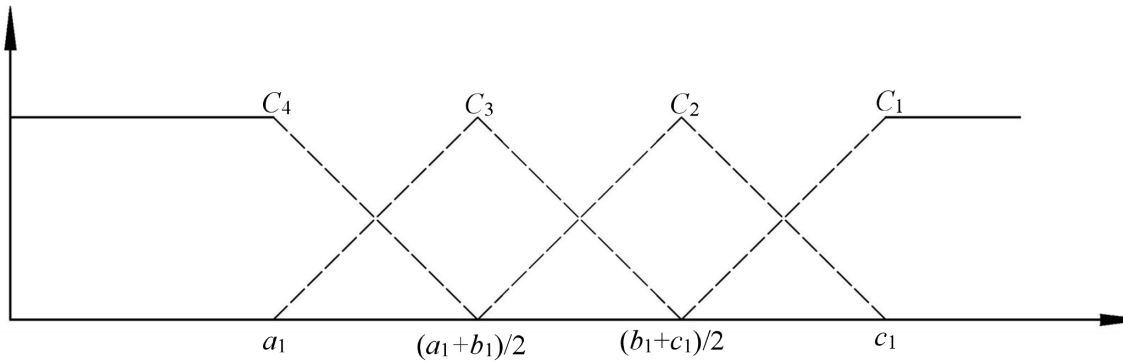


图 5.6.3.3-3 X 评价因子 1 的未知函数

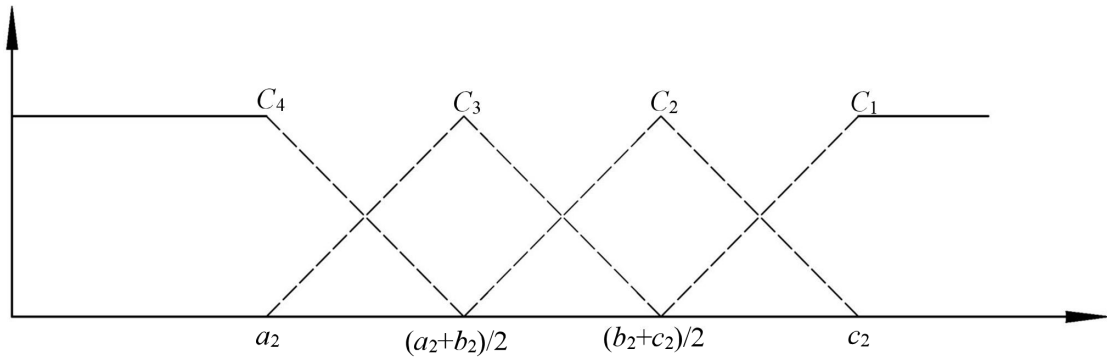


图 5.6.3.3-4 X 评价因子 2 的未知函数

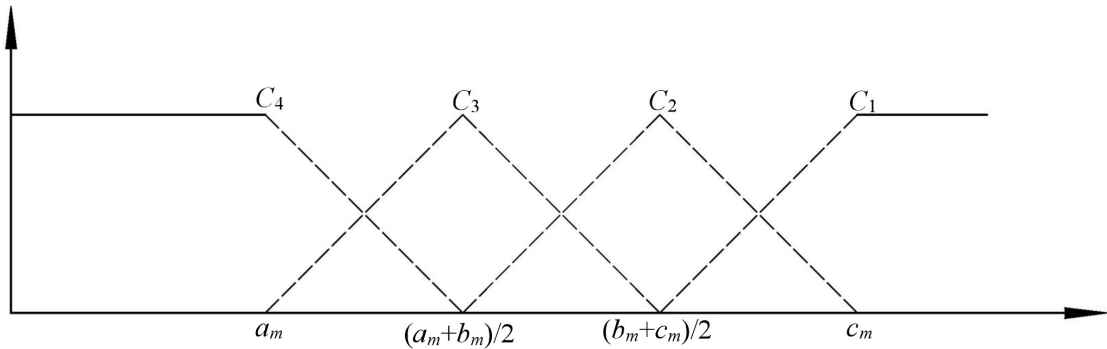


图 5.6.3.3-5 X 评价因子 m 的未知函数

将说明表 5.6.3.3-5 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。

$$\left(\mu_{ijk} \right)_{m \times p} = \begin{bmatrix} \mu_{i11} & \cdots & \mu_{i1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{imd} & \cdots & \mu_{imp} \end{bmatrix} \quad (5.6.3.3-8)$$

第三步：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 X_i

与其它因子相比具有的相对重要程度，记作 $w_j(x_i)$ ， $0 \leq w_j \leq 1$ 。令：

$$v_i = 1 + \frac{1}{\lg p} \sum_{k=1}^p \mu_{ik}^j \cdot \lg \mu_{ik}^j \quad (5.6.3.3-9)$$

式中：

v_j ——指标 j 提供的信息量；

k ——评价等级的数量；

μ_{ik}^j ——单指标测度。

各指标的权重为：

$$w_j = v_j / \sum_{i=1}^m v_i \quad (5.6.3.3-10)$$

第四步：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 μ_{ik} ， μ_{ik} 表示 X_i 隶属于第 k 个等级的程度，即：

$$\mu_{ik} = \sum_{j=1}^m w_j \mu_{ik}^j \quad (i=1, 2, \dots, n; k=1, 2, 3, 4) \quad (5.6.3.3-11)$$

得综合测度评价矩阵：

$$(\mu_{ik})_{n \times k} = \begin{bmatrix} \mu_{11} & \cdots & \mu_{14} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{n1} & \cdots & \mu_{n4} \end{bmatrix} \quad (5.6.3.3-12)$$

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 ($\lambda \geq 0.5$)。若评价空间 $\{C_1, C_2, \dots, C_p\}$ 是有序的，且 $C_1 > C_2 > \dots > C_p$ ，令：

$$k_0 = \min\{k: \sum_{i=1}^k \mu_{il} \geq \lambda, (k = 1, 2, \dots, p)\} \quad (5.6.3.3-13)$$

则认为优化对象 R_i 属于第 k_0 个评价类 C_{k_0} 。

第五步：根据风险事件发生的可能性、严重程度等级，采用风险矩阵法确定重大风险源的施工安全风险等级。并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。

6 风险控制措施

6.1 风险接受准则

6.1.1 风险评估结果为判断哪些风险是可接受的，哪些需要控制或消除提供了基础。表 6.1.1 列出了适用于长大隧道工程的具体风险接受准则，以指导在施工过程中如何对待和应对不同等级的风险。

表 6.1.1 风险接受准则

风险等级	接受准则	处理措施
I（低度）	可忽略	不需采取风险处理措施和监测。
II（中度）	可接受	一般不需采取风险处理措施，但需予以监测。
III（高度）	不期望	必须采取风险处理措施降低风险并加强监测，且满足降低风险的成本不高于风险发生后的损失。
IV（极高）	不可接受	必须高度重视，采取切实可行的规避措施并加强监测，否则要不惜代价将风险至少降低到不期望的程度。

6.1.2 风险控制措施的选择应综合考虑长大隧道工程的特点、风险评估结果、以及成本效益比等多方面因素。在制定控制措施时，建议要具体且可操作，确保能落实到实际施工中。根据风险控制措施的针对性和重要性，措施建议可以分为应采纳（必须采纳）和宜采纳（建议采纳）两类，以确保最重要和最紧迫的风险优先处理。

6.1.3 对于一般风险源控制措施，施工单位按照常规安全管理要求制定，通常不需要特殊的预案或详细规划。对于重大风险源控制措施，应对较为严重的风险源，需按预案、预警、预防三个阶段明确控制要求。特别是对于高度风险及以上的施工作业活动，必须制定完善的专项施工方案与应急预案，并采取相应的安全措施，如施工监测、现场防护措施、施工安全技术交底、危险告知等，确保提前预防和及时应对可能的风险或事故。

6.1.4 本指南提供了风险控制措施选择的优先顺序，以确保最有效的风险防控：

- 1.本质安全。首先考虑从设计和施工方法上消除或减少风险源，包括重新评估设计中

的风险并考虑其他施工方法。如果可以通过改变设计或施工方法避免风险源，这是最理想的控制措施。

2 安全隔离或防护。当无法通过本质安全控制风险时，应采用隔离或防护措施，比如通过调整施工顺序避免风险源，或者使用隔离措施保护施工人员的安全。个体防护措施应作为补充。

3 警告或标示。如果上述措施后仍有风险，应采取警告标识或监测手段提醒作业人员，减少安全事故的发生。

4 教育培训。通过教育和培训，确保所有施工人员都能理解和掌握安全控制措施，减少因人为疏忽或操作不当导致的事故。

6.2 一般风险源控制措施

6.2.1 一般风险源控制措施应根据现有的技术标准、安全管理要求来进行，确保措施符合法规和行业规定，具有合理性和规范性。

6.2.2 对于一般风险源，控制措施应当简明且具体。针对常见事故类型（如触电、高处坠落、火灾等），需要明确以下几个方面：

- 1 安全防护。采取适当的防护措施来避免风险发生。
- 2 安全警示。设置明显的警示标识，提醒作业人员注意安全。
- 3 安全教育。加强作业人员的安全教育和培训，提升其安全意识。
- 4 现场管理。通过现场管理确保施工过程中安全防护措施的落实和执行。

6.3 重大风险源控制措施

6.3.1 针对重大风险源，制定风险控制措施时要充分考虑长大隧道工程的实际情况和不同风险等级。应根据专项风险评估的结果制定适宜的控制措施，可参考本指南附录 C 和附录 D 中提供的典型控制措施作为指导。

6.3.2 施工现场需要建立有效的重大风险源监控和预警系统。通过对施工监控数据的实时管理，可以及时发现风险变化，并根据预设的标准采取预警措施。一旦发现异常或超过警戒值，应立即采取规避措施，并做好应急处理准备，避免风险事件的发生。

6.3.3 对于专项风险等级达到Ⅲ级（高度风险）及以上的施工作业活动或施工区段，必须

经过详细论证或复评估，确保其监控与防治措施以及应急预案的有效性，才能正式实施。这项要求旨在确保对重大风险的管理是科学、合理且经过严格审查的，以最大程度地保障施工安全。

6.4 风险控制预期效果评估

6.4.1 专项风险等级评估为较大风险（Ⅱ级）及以上的风险事件一旦发生，会造成较大的人身伤亡和财产损失等。因此，有必要开展风险控制预期效果评估，包括对风险控制措施制定情况的确认评价以及风险控制措施实施后的预期效果评估。

6.4.2 风险控制措施制定情况的确认评价过程中采用的安全检查表，应包含方案中采取的风险控制措施，以确定风险控制措施是否有完整、可行、有效，同时对风险控制措施的问题和不足进行记录，以便后期进一步完善风险控制措施。

安全检查表法是依据相关的标准、规范，对工程、系统中已知的危险类别、设计缺陷以及与一般工艺设备、操作、管理有关的潜在危险性和有害性进行判别检查。适用于工程、系统的各个阶段，是系统安全工程的一种最基础、最简便、广泛应用的系统危险性评价方法。同时，本条介绍了采取风险控制措施后预期风险的评审方式。评审依据是典型施工情况与风险控制措施制定的情况。

以评审结论为基础，通过风险矩阵法，确定采取措施后预期风险等级。预期风险等级共有4级：低度风险（Ⅰ级）、中度风险（Ⅱ级）、高度风险（Ⅲ级）、极高风险（Ⅳ级）。

6.4.3 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。

7 风险评估报告编制

7.1 一般规定

7.1.1~7.1.2 本指南给出了风险评估报告编制内容的整体要求。工作记录就是指专项评估流程图中所列的各个表格，评估结果主要是重大风险源的情况总结，控制措施建议就是应采取、宜采取的主要措施。另外，专家调查过程中的各类问卷结果也应附到报告中。

7.2 相关内容和格式

7.2.1 本指南给出了总体风险评估报告、专项风险评估报告内容要求，部分工程某些内容可能没有。另外，在内容序编排上也可以前后调整，但应包含规定的主要内容。

7.2.2 本指南给出了风险评估报告评审的格式以及相关要求。

附录 A（资料性） 风险评估方法

A.0.1 本指南总结了风险评估常用的技术方法，供风险评估人员参考。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。

附录 B（资料性） 专项风险评估指标体系

B.0.1-1 隧道施工前洞口失稳风险事件可能性评估指标体系

根据《公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估指南》（试行）的研究成果和专家意见，从隧道建设规模、地形特征、地质条件、水文地质条件等 4 个方面建立隧道施工前洞口失稳风险事件可能性评估指标体系。其中建设规模包含了隧道开挖跨度一项指标，地形特征包含了洞口浅埋段长度、洞口偏压角度等指标，地质条件包含了围岩级别（[BQ]值）、坡体结构等指标，水文地质条件包含了年平均降水量指标。

1 隧道开挖跨度 X_{11} ，按开挖宽度 B 可将隧道划分为小跨度隧道、中跨度隧道、大跨度隧道、超大跨度隧道，开挖宽度 B 越大，隧道断面开挖持续时间较长，支护结构难以快速封闭成环，安全性问题越突出。

2 洞口浅埋段长度 X_{21} ，浅埋段是决定洞口处稳定性的重要因素，该段岩体质量往往相对较差，易受降水影响。洞口浅埋段长度越长，则该段施工时间越长，发生失稳的风险就会越大。

3 洞口偏压角度 X_{22} ，指的是垂直于隧道洞口的横剖面与地面的交线同水平面的夹角。大多数偏压隧道处于洞口段与浅埋段，地形因素造成的偏压对隧道洞口浅埋段的稳定性影响特别大，本指南以岩层倾角表示偏压情况，倾角越大，则发生洞口失稳、塌方等事故的可能性就越大。

4 围岩级别（[BQ]值） X_{31} ，按地下工程岩体质量指标[BQ]值确定岩体级别，围岩级别越低，则围岩质量越差，对应的洞口失稳风险也越大¹。

5 坡体结构 X_{32} ，洞口应设于山坡稳定、地质条件较好的位置。与坡面正交的横交坡结构较为理想，而斜交坡、缓顺向坡、古滑坡体结构的失稳风险相对依次增加。

6 年均降水量 X_{41} ，降水量过大，特别是持续的强降水，严重影响隧道工程洞口施工。如果地表的排水、截水设施不完善，大量的地表水将会渗入地层。此外，降水容易在隧道浅埋段渗入隧道围岩，软化岩体并降低围岩强度，影响隧道围岩稳定性。故降水量越大，则洞口失稳风险越大。

根据降水量随地域分布的特征而言，我国大陆地区各年降水量主要分布在200mm~3000mm之间，且东南部降雨普遍比西北部多。隧道运营期间降水量对隧道风险的分为四级，其分级标准为：

说明表 B.0.1-1 隧道运营期降雨量对隧道的风险分级标准

等级	I级 (轻微)	II级 (较轻微)	III级 (中度)	IV级 (较严重)	V级 (严重)
降雨量/mm	< 200	200 ~ 400	400 ~ 800	800 ~ 1600	> 1600

B.0.1-2 隧道施工前坍塌风险事件可能性评估指标体系

根据《公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估指南》（试行）的研究成果和专家意见，从隧道建设规模、地形特征、地质条件、水文地质条件等4个方面建立隧道施工前坍塌风险事件可能性评估指标体系。其中建设规模包含了隧道开挖跨度指标，地形特征包含了浅埋隧道偏压角度等指标，地质条件包含了围岩级别（[BQ]值）、断层破碎带宽度、优势结构面倾角等指标，水文地质条件包含了隧道预测涌水量指标。

1 隧道开挖跨度 X_{11} ，按开挖宽度可将隧道划分为小跨度隧道、中跨度隧道、大跨度隧道、超大跨度隧道，开挖宽度越大，隧道断面开挖持续时间较长，支护结构难以快速封闭成环，安全性问题越突出。

2 浅埋隧道偏压角度 X_{21} ，是指垂直于隧道洞口的横剖面与地面的交线同水平面的夹角。大多数偏压隧道处于洞口段与浅埋段，地形因素造成的偏压对隧道洞口浅埋段的稳定性影响特别大，本指南以岩层倾角表示偏压情况，倾角越大，则发生洞口失稳、塌方等事故的可能性就越大。

3 围岩级别（[BQ]值） X_{31} ，围岩级别越低，则围岩质量越差，围岩自稳能力越差，对应的坍塌风险越大，对施工作业条件的要求也越高。评估过程中，同一施工区段内围岩级别不一的情况下，应取低值。

4 断层破碎带宽度 X_{32} ，一般而言，断层及其影响带内岩体往往较为破碎，且围岩等级较低，是地表水、地下水流动的天然通道，是引发坍塌的主要因素之一。本指南根据断层破碎带的宽度分类，宽度越大，则在断层破碎带及其影响带的施工周期越长，隧道坍塌的风险越高。

5 优势结构面倾角 X_{33} ，其概念来源于岩体结构控制理论。该理论认为岩石并非完整

的，它被各种各样的结构面切割，这些结构面包括节理面、断层面、劈理面、软弱层等。优势结构面就是在上述各种结构面中按一定的优势指标找出对相应区域稳定性有控制作用的结构面，优势指标可以是时间、性质、数量、规模和分形等。优势结构面的产状对隧道围岩稳定性影响较大，本指南以优势结构面倾角描述结构面对围岩稳定性的影响程度，优势结构面倾角越小，则潜在的风险越大。

6 预测涌水量 X_{41} ，地下水是诱发塌方的所有因素中最具活力和最具影响力的因素。岩体在水的溶解、软化、侵蚀等作用下凝聚力减小，力学强度降低，围岩自稳能力大大下降，导致隧道发生坍塌事故的概率增大。

B.0.1-3 隧道施工前涌水突泥风险事件可能性评估指标体系

根据《公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估指南》（试行）的研究成果和专家意见，从隧道地质条件、水文地质特征、水文地质特征、环境条件等 4 个方面建立隧道施工前涌水突泥风险事件可能性评估指标体系。其中地质条件包含了不良地质、岩溶发育程度等指标，水文地质特征包含了隧道预测涌水量指标，环境条件包含了周围水体情况指标。

1 不良地质 X_{11} ，不良地质的发育程度影响工程的安全性和处治难度，不良地质主要考虑含导水构造或承压含导水构造。不良地质的富水性、导水性及其与隧道的空间位置关系对涌水突泥风险影响较大，甚至起到了决定性作用。

2 岩溶发育程度 X_{12} ，岩溶发育程度与可溶性岩石密切相关，当隧道穿越岩溶发育区时，往往存在安全隐患，故应查明岩溶及地质灾害的形态与分布、岩溶发育规律等。岩溶越发育，则储存的岩溶水越多，引发事故的可能性越大。

3 预测涌水量 X_{21} ，该指标是影响隧道涌水突泥风险的关键因素，可以根据前期地勘资料和超前地质预报资料对涌水量进行定量估计，隧道预测涌水量越大，隧道发生涌水突泥的风险越大。

4 周围水体情况 X_{31} ，地表水发育地段易产生涌水、突泥及塌方冒顶等事故。隧道上方若存在湖泊、河流、水库等水体等补给性水体，则引发隧道涌水突泥的可能性较大。

B.0.1-4 隧道施工前大变形风险事件可能性评估指标体系

根据《公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估指南》（试行）的研究成果和专家意见，从建设规模、地形特征、地质条件、水文地质条件等 4 个方面建立隧道施工前大变形事故可能性评估指标体系。其中建设规模包含了隧道开挖跨度指标，地形特征包含了浅埋隧道

偏压角度指标，地质条件包含了围岩级别（[BQ]值）、断层破碎带宽度、地应力等指标，水文地质条件包含了预测涌水量指标。

1 隧道开挖跨度 X_{11} ，按开挖宽度可将隧道划分为小跨度隧道、中跨度隧道、大跨度隧道、超大跨度隧道。开挖宽度越大，其支护与开挖方式要求越高，发生围岩大变形的风险越高^[41]。

2 浅埋隧道偏压角度 X_{21} ，是指垂直于隧道洞口的横剖面与地面的交线同水平面的夹角。大多数偏压隧道处于洞口段与浅埋段，地形因素造成的偏压对隧道洞口浅埋段的稳定性影响特别大，洞身一侧压力过大，极易导致挤压大变形的发生。偏压角度越大，对应的风险等级越高。

3 围岩级别（[BQ]值） X_{31} ，结合隧道设计文件，围岩级别越低，变形模量往往越小，相同的应力条件下发生大变形的风险越大，施工作业条件要求也越高。评估过程中，对于同一施工区段内围岩级别不一致的情况，应取低值。

4 断层破碎带宽度 X_{32} ，隧道经过断层破碎带的地段地质条件复杂，围岩岩性陡然变差，支护难以及时跟进变化，导致围岩发生较大范围内的变形。隧道穿越的断层破碎带的宽度越大，发生大变形的风险越高。

5 地应力 X_{34} ，主要考虑到高地应力下软岩大变形。一般来说，隧道埋深越大，围岩初始地应力越大。高地应力状态下，受开挖扰动影响，围岩在集中应力作用下发生显著变形，且变形时间较长，甚至在初次及二次支护后仍未稳定，影响隧道施工安全。这种情况下，地应力越大则更容易发生大变形。

6 预测涌水量 X_{41} ，参照已有的研究结果，岩体在水的溶解、软化、侵蚀等作用下凝聚力减小，力学强度降低，围岩自稳能力下降，增加围岩变形。

B.0.1-5 隧道施工前瓦斯爆炸风险事件可能性评估指标体系

根据《公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估指南》（试行）的研究成果和专家意见，从地质条件、瓦斯因素等 2 个方面建立隧道施工前瓦斯爆炸风险事件评估指标体系。其中地质条件包含了煤层厚度、隧道距煤层距离等指标，瓦斯因素包含了预测瓦斯压力、预测瓦斯涌出量等指标。

1 煤层厚度 X_{11} ，煤层厚度影响其内部瓦斯的蕴藏量，煤层越厚，对应的风险等级越高。评估时应综合考量含煤地层的分布，煤层数及顶底板特征和位置，煤层厚度、倾角。

2 隧道距煤层距离 X_{12} ，指隧道中心线距周边瓦斯煤层的最小直线距离。距离越近，越易受瓦斯侵扰，施工时发生瓦斯爆炸的风险越高。

3 预测瓦斯压力 X_{21} ，指受开挖扰动前的地层中瓦斯的压力。瓦斯压力越大，发生瓦斯爆炸的风险越高，现行相关标准按照瓦斯压力和煤层瓦斯含量将瓦斯隧道工区分为非瓦斯、微瓦斯、低瓦斯、高瓦斯和瓦斯突出 5 个等级，而瓦斯压力有三个区间，分别为 $<0.1\text{MPa}$ 、 $0.1\sim 0.74\text{MPa}$ 和 $\geq 0.74\text{MPa}$ 。当瓦斯压力 $\geq 0.74\text{MPa}$ 时，有瓦斯突出的危险。

4 预测瓦斯涌出量 X_{22} ，指施工前预测的单位时间内从煤层和采落的煤(岩)中所涌出的瓦斯量。瓦斯涌出量直接影响发生瓦斯爆炸风险事件的可能性，瓦斯涌出越多，发生瓦斯爆炸的风险越大。本指南将瓦斯涌出量划分为大于 $1\text{m}^3/\text{min}$ 、 $0.5\text{m}^3/\text{min}\sim 1\text{m}^3/\text{min}$ 、 $0.5\text{m}^3/\text{min}$ 以下、不存在瓦斯 4 个等级。

B.0.1-6 隧道施工前岩爆风险事件可能性评估指标体系

根据《公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估指南》（试行）的研究成果和专家意见，从地质条件、岩性因素等 2 个方面建立评估指标体系。其中地质条件包含了地应力指标，岩性因素包含了岩体质量指标 RQD、岩石单轴饱和抗压强度等指标。

1 地应力 X_{11} ，高地应力是发生岩爆的必要条件。通常来说，初始地应力水平越高，发生岩爆的风险越高。结合隧道实际工程经验并参照现行相关标准，本指南将地应力分级定为 10MPa 以下、 10MPa 、 20MPa 、 40MPa 以上 4 个档进行评分。

2 岩石质量指标 RQD X_{21} ，指长度在 10cm （含 10cm ）以上的岩芯累计长度占钻孔长度的百分比，是能够反映岩体完整性程度。已有的研究成果表明岩爆更易发生在完整性较好的岩体。相关研究将岩石质量以 25%、50%、70% 为界划分为 4 级，考虑到指标划分区间个数应尽量保持一致性，本指南采用 RQD 指标。

3 岩石单轴饱和抗压强度 X_{22} ，该值反映了岩石在外荷载作用下，抵抗变形直至破坏的能力，也能体现岩石储能能力，且容易获得。岩石单轴饱和抗压强度 RC 一般采用实测值，若无实测值，可采用实测的岩石点荷载强度指数 $I_{s(50)}$ 的换算值，即按国家标准规定的换算式计算：

$$R_C = 22.82 I_{s(50)}^{0.75} \quad (\text{B.0.1-6-1})$$

4 岩石单轴饱和抗压强度 RC 的划分方法是在总结并参考国内已有的划分方法和工程实践经验的基础上提出的。从说明表 B.0.1-6-1 中可知，现行各标准均以 30MPa 作为硬质

岩与软质岩的划分值，以 60MPa 作为较硬岩和坚硬岩的划分值。但大量文献表明岩爆往往发生在高应力状态下围岩条件较好处，相比较而言，现有岩石单轴饱和抗压强度分级区间值偏小，故作为岩爆的评估指标，在此处上调了划分值。

说明表 B.0.1-6-1 国内岩石坚硬程度的强度划分

标准名称	硬质岩 (MPa)			软质岩 (MPa)		
	极硬岩	坚硬岩	较硬岩	较软岩	软岩	极软岩
《岩土工程勘察规范》GB 50021—2001	> 60		60 ~ 30	30 ~ 15	15 ~ 5	≤ 5
《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》JTG 3370.1—2018	> 60		60 ~ 30	30 ~ 15	15 ~ 5	< 5
《水工隧洞设计规范》SL 279—2016	> 60		60 ~ 30	30 ~ 15	15 ~ 5	-
《铁路隧道设计规范》TB 10003—2016	> 60		60 ~ 30	30 ~ 15	15 ~ 5	≤ 5
《水利水电工程地质勘察规范》GB 50487—2008	> 60		60 ~ 30	30 ~ 15	15 ~ 5	≤ 5
《水力发电工程地质勘察规范》GB 50287—2016	> 60		60 ~ 30	30 ~ 15	15 ~ 5	-
《工程岩体分级标准》GB/T50218—2014	> 60		60 ~ 30	30 ~ 15	15 ~ 5	≤ 5
《公路工程地质勘察规范》JTG C20—2011	> 60		60 ~ 30	30 ~ 15	15 ~ 5	≤ 5
本指南	> 60		60 ~ 30	< 0		

B.0.2-1 隧道施工过程中洞口失稳风险事件可能性评估指标体系

根据《公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估指南》（试行）的研究成果和专家意见，从隧道建设规模、地形特征、地质条件、气象条件、超前预报与监测等 5 个方面建立隧道施工过程中洞口失稳风险事件可能性评估指标体系。其中建设规模包含了隧道开挖跨度指标，地形特征包含了洞口浅埋段长度、洞口偏压角度等指标，地质条件包含了围岩级别（[BQ] 值）、坡体结构等指标，气象条件包含了年平均降水量指标，超前预报与监测包含了相对变形值、监控量测方案等指标。

1 隧道开挖跨度 X_{11} ，按开挖宽度 B 将隧道划分为小跨度隧道、中跨度隧道、大跨度隧道、超大跨度隧道，开挖宽度 B 越大，隧道断面开挖持续时间较长，支护结构难以快速封闭成环，安全稳定性问题越突出。

2 洞口浅埋段长度 X_{21} ，浅埋段是决定洞口处稳定性的重要因素，该段岩体质量往往相对较差，易受降水影响。洞口浅埋段长度越长，该段施工时间越长，发生失稳的风险就会越大。

3 洞口偏压角度 X_{22} ，是指垂直于隧道洞口的横剖面与地面的交线同水平面的夹角。大多数偏压隧道处于洞口段与浅埋段，地形因素造成的偏压对隧道洞口浅埋段的稳定性影响特别大，本指南以岩层倾角表示偏压情况，倾角越大，则发生洞口失稳、塌方等事故的可能性就越大。

4 围岩级别 ([BQ]值) X_{31} , 按地下工程岩体质量指标[BQ]值确定岩体级别, 围岩级别越低, 则围岩质量越差, 对应的洞口失稳风险也越大。

5 坡体结构 X_{32} , 洞口应设于山坡稳定、地质条件较好的位置, 隧道轴线与坡面正交的横交坡结构最为理想。而斜交坡、缓顺向坡、古滑坡体的失稳风险相对依次增加。

6 年均降水量 X_{41} , 降水量过大, 特别是持续的强降水, 严重影响洞口工程施工; 如果地表的排水、截水设施不完善, 大量的地表水将会渗入地层, 此外降水容易在隧道浅埋段渗入隧道围岩, 软化岩体并降低围岩强度, 影响隧道围岩稳定性。故降水量越大, 则洞口失稳风险越大。

7 相对变形值 (u/B) X_{51} , 隧道开挖后, 围岩表面因开挖扰动作用会产生部分变形, 相对变形值即为变形量 u 与隧道等效半径 B 之比, 评估时按照就高原则, 选取评估区段内变形量最大的断面, 相对变形值越大, 则洞口失稳风险越大。

8 监控量测方案 X_{52} , 监控量测包括量测频率、监测项目、信息反馈等内容。合理的监控量测频率、全面的必测项目与及时的信息反馈可以有效降低风险事件发生的可能性。

B.0.2-2 隧道施工过程坍塌风险事件可能性评估指标体系

根据《公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估指南》(试行)的研究成果和专家意见, 从隧道建设规模、地形特征、地质条件、水文地质条件、施工因素、超前预报与监测等 6 个方面建立隧道施工过程坍塌风险事件可能性评估指标体系。其中建设规模包含了隧道开挖跨度指标, 地形特征包含了隧道埋深、浅埋隧道偏压角度等指标, 地质条件包含了围岩级别 ([BQ]值)、断层破碎带宽度、断层破碎带胶结程度、优势结构面倾角等指标, 水文地质条件包含了地下涌水情况指标, 施工因素包含了衬砌安全距离、仰拱安全距离等指标, 超前预报与监测包含了超前地质预报、相对变形值、监控量测方案等指标。

1 隧道开挖跨度 X_{11} , 按开挖宽度可将隧道划分为小跨度隧道、中跨度隧道、大跨度隧道、超大跨度隧道, 开挖宽度越大, 隧道断面开挖持续时间较长, 支护结构难以快速封闭成环, 安全性问题越突出。

2 隧道埋深 X_{21} , 这里主要考虑高地应力下的坍塌风险。一般来说, 隧道埋深越大, 围岩初始地应力越大。高地应力状态下, 受开挖扰动及岩体内部结构面影响, 在围岩内部一定范围内易形成松动圈, 再加之爆破扰动, 易造成围岩坍塌。

3 浅埋隧道偏压角度 X_{22} , 是指垂直于隧道洞口的横剖面与地面的交线同水平面的夹

角。大多数偏压隧道处于洞口段与浅埋段，地形因素造成的偏压对隧道洞口浅埋段的稳定性影响特别大，本标准以岩层倾角表示偏压情况，倾角越大，则发生坍塌事故的可能性就越大。

4 围岩级别（[BQ]值） X_{31} ，围岩级别越低，则围岩质量越差，则围岩自稳能力越差，对应的坍塌风险越大，施工作业条件要求也越高。评估过程中，对于同一施工区段内围岩级别不一的情况，应取低值。

5 断层破碎带宽度 X_{32} ，一般而言，断层及其影响带内岩体往往较为破碎，围岩等级较低，是地表水、地下水流动的天然通道，是引发坍塌的主要因素之一。本指南根据断层破碎带的宽度分类，宽度越大，则在断层破碎带及其影响带中施工周期越长，坍塌风险越高。

6 断层破碎带胶结情况 X_{33} ，本指南将断层破碎带视为岩体碎裂结构，以该结构的胶结程度作为划分依据，胶结程度越差或越松弛的断层破碎带，其潜在的坍塌风险越大，说明表 B.0.2-2-1 给出了各分类的基本特征，作为评估参考。

说明表 B.0.2-2-1 断层破碎带胶结情况分类特征

结构类型	基本特征
严重松弛的胶结碎裂结构	裂隙间距小于 0.1m，延伸短，一般小于 0.5m，结构严重松弛，岩体内发育较多的表生结构面，并且有些结构面充填次生泥。
松弛的胶结碎裂结构	裂隙间距小于 0.1m，延伸短，一般小于 0.5m，结构松弛明显，岩体完整性变差，岩体透水性较强，变形模量较低。
有轻度松弛的胶结碎裂结构	裂隙间距小于 0.1m，延伸短，一般小于 0.5m，受河谷风化、应力场变化虽有轻度松弛，但胶结的碎裂结构仍保持较紧密的结构，大部分岩体完整性较好，少量较差，岩体透水性弱，抗变形能力较强。
紧密的胶结碎裂结构	裂隙间距小于 0.1m，延伸短，一般小于 0.5m，结构面被后期的钙质充填胶结良好，岩块之间的胶结呈紧密状，岩体完整性为完整~较完整，岩体透水性弱，抗变形能力强。

7 优势结构面倾角 X_{34} ，其概念来源于岩体结构控制理论。该理论认为岩石并非完整的，它被各种各样的结构面切割，这些结构面包括节理面、断层面、劈理面、软弱层等。优势结构面就是在上述各种结构面按一定的优势指标找出对区域稳定性起控制作用的结构面，优势指标可以是时间、性质、数量、规模和分形等。优势结构面的产状对隧道围岩稳定性影响较大，本指南以优势结构面倾角描述结构面对围岩稳定性的影响程度，优势结构面倾角越小，则潜在的风险越大。

8 地下涌水情况 X_{41} ，参考表 B.0.2-2-2 中的相关标准，采用 10m 洞长渗水量定量描述

隧道围岩出水状况，可分为干燥或潮湿状态、点滴状出水、线状流水及涌水三种状态，隧道中每 10m 长段涌水量=隧道二衬至掌子面总出水量÷掌子面距二衬距离的长度×10。

说明表 B.0.2-2-2 国内有关地下涌水情况规范汇总

标准名称	地下水出水状态	状态名称与定量描述		
		状态 1	状态 2	状态 3
《水工隧洞设计规范》 DL/T 5195—2004	10m 洞长水量 Q (L/min·10m) 或压力水头 H (MPa)	干燥到渗水滴, $Q \leq 25$ 或 $H \leq 0.1$	线状流水, $25 < Q \leq 125$ $0.1 < H \leq 1.0$	涌水, $Q > 125$ $H > 1.0$
《水利水电工程地质勘察规程》 GB 50487—2008	10m 洞长水量 Q (L/min·10m) 或压力水头 H (MPa)	渗水到滴水, $Q \leq 25$ 或 $H \leq 0.1$	线状流水, $25 < Q \leq 125$ $0.1 < H \leq 1.0$	涌水, $Q > 125$ $H > 1.0$
《铁路隧道设计规范》TB 10003—2016	10m 洞长渗水量 Q (L/min·10m)	潮湿或点滴装出水, $Q \leq 25$	淋雨状或线状出水, $25 \sim 125$	涌流状出水, > 125
节理岩体地质力学分级 (RMR 法)	10m 洞长水量 Q (L/min·10m) 或裂隙水压与最大主应力比值 ζ	干燥, 湿润, 滴水, $Q \leq 25$ 或 $\zeta \leq 0.2$	线状流水 $25 < Q \leq 125$ $0.2 < \zeta \leq 0.5$	涌水, $Q > 125$ $\zeta > 0.5$
《工程岩体分级标准》GB 50218—2014	水压 p (MPa), 或 10m 洞长水量 Q (L/min·10m)	潮湿或点状滴水, $p \leq 0.1$ 或 $Q \leq 25$	淋雨状或线状出水, $0.1 < p \leq 0.5$ $25 < Q \leq 125$	涌流状出水, $P > 0.5$ 或 $Q > 125$

9 衬砌安全距离 X_{51} , IV级围岩二次衬砌距掌子面的距离不得大于 90m, V级及以上围岩不得大于 70m, 软弱围岩及不良地质隧道的二衬衬砌应及时施作。

10 仰拱开挖施工应符合相关规定:IV级及以上围岩仰拱每循环开挖长度不得大于 3m, 不得分幅施作, 仰拱与掌子面的距离, III级围岩不得超过 90m, IV级围岩不得超过 50m, V级及以上围岩不得超过 40m。

11 超前地质预报 X_{61} , 采用地质雷达、超前导坑、超前探孔等超前预报手段, 提前探明隧道开挖工作面前方的工程地质和水文地质条件, 为隧道开挖、支护等工作提供基础资料, 可以有效降低风险发生的可能性。

12 相对变形值 (u/B) X_{62} , 隧道开挖后, 围岩表面因开挖扰动作用会产生部分变形, 相对变形值即为变形量 u 与隧道等效半径 B 之比, 评估时按照就高原则, 选取评估区段内变形量最大的断面, 相对变形值越大, 则风险越大。

13 监控量测方案 X_{63} , 监控量测包括量测频率、监测项目、信息反馈等内容。合理的监控量测频率、全面的必测项目与及时的信息反馈可以有效降低风险事件发生的可能性。

B.0.2-3 隧道施工过程涌水突泥风险事件可能性评估指标体系

根据《公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估指南》(试行)的研究成果和专家意见,

从隧道地质条件、水文地质条件、环境条件、施工因素、超前预报与监测等 5 个方面建立隧道施工前涌水突泥风险事件可能性评估指标体系。其中地质条件包含了不良地质、岩溶发育程度等指标，水文地质特征包含了地下涌水情况指标，环境条件包含了周围水体情况指标，施工因素包含了防排水措施指标、超前预报与监测包含了超前地质预报、监控量测方案等指标。

1 不良地质 X_{11} ，不良地质的发育程度直接影响工程的安全性和处治难度，不良地质构造通常是指隧道附近潜在的突水通道或突水水源，不良地质构造的富水性、导水性及其空间位置关系在很大程度上决定涌水突泥风险的大小。

2 岩溶发育程度 X_{12} ，岩溶发育的程度与可溶岩的岩性密切相关，当隧道穿越岩溶发育区时，往往存在安全隐患，在工程地质勘察时不仅应查明岩溶及地质灾害的形态与分布，还应注意岩溶发育规律，岩溶越发育，储存的岩溶水越多，引发涌水突泥事故的风险越大。

3 地下涌水情况 X_{21} ，参考说明表 B.0.2-2-1，采用 10m 洞长渗水量定量描述隧道围岩出水状况，可分为干燥或潮湿状态、点滴状出水、线状流水及涌水状态，隧道中每 10m 长段涌水量=隧道二衬至掌子面总出水量÷掌子面距二衬距离的长度×10。

4 周围水体情况 X_{31} ，地表水发育地段易产生涌水、突泥及塌方冒顶等事故。隧道上方若存在湖泊、河流、水库等水体等补给性水体，引发隧道涌水突泥的可能性越大。

5 防排水措施 X_{41} ，隧道防排水设计根据隧道所处环境和地下水敏感性、地层岩性等条件采取不同的处理策略：浅埋、低水压段，当环境要求较高时，采取“完全堵水”的原则，必要时进行地表注浆加固、堵水和引排地表水；一般埋深、中等水压段，采用“以堵为主，限量排放”的原则，加强围岩注浆堵水；深埋、高水压段，在隧道开挖及衬砌前对周边围岩进行注浆加固，设置排水系统进行泄压，隧道结构设计承载一定的水压力（0.5MPa）。将防排水措施分为很差、较差、一般、基本合理共 4 挡，防排水措施越差，则涌水突泥风险越大。

6 超前地质预报 X_{51} ，采用地质雷达、超前导坑、超前探孔等超前预报手段，提前探明隧道开挖工作面前方的工程地质和水文地质条件，为隧道开挖、支护等工作提供基础资料，可以有效降低风险发生的可能性。

7 监控量测方案 X_{52} ，监控量测包括量测频率、监测项目、信息反馈等内容。全方位监控量测与及时的信息反馈可以有效降低发生风险事件的可能性，监控量测越合理，监测

项目越完善，反馈信息越及时，发生风险的可能性越低。

B.0.2-4 隧道施工过程大变形风险事件可能性评估指标体系

根据《公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估指南》（试行）的研究成果和专家意见，从建设规模、地形特征、地质条件、水文地质条件、施工因素、超前预报与监测等6个方面建立隧道施工过程大变形事故可能性评估指标体系。建设规模包含了隧道开挖跨度指标，地形特征包含了浅埋隧道偏压角度指标，地质条件包含了围岩级别、断层破碎带宽度、断层破碎带胶结程度、地应力等指标，水文地质条件包含了地下涌水情况指标，施工因素包含了衬砌安全距离、仰拱安全距离等指标，超前预报与监测包含了超前地质预报、相对变形值、监控量测方案等指标。

1 隧道开挖跨度 X_{11} ，按开挖宽度可将隧道划分为小跨度隧道、中跨度隧道、大跨度隧道、超大跨度隧道。开挖宽度越大，其支护与开挖方式要求越高，发生围岩大变形的风险越高^[41]。

2 浅埋隧道偏压角度 X_{21} ，是指垂直于隧道洞口的横剖面与地面的交线同水平面的夹角。大多数偏压隧道处于洞口段与浅埋段，地形因素造成的偏压对隧道洞口浅埋段的稳定性影响特别大，洞身一侧压力过大，极易导致挤压大变形的发生。偏压角度越大，对应的风险等级越高。

3 围岩级别（[BQ]值） X_{31} ，结合隧道设计文件，围岩级别越低，变形模量往往越小，相同的应力条件下发生大变形的风险越大，施工作业条件要求也越高。评估过程中，对于同一施工区段内围岩级别不一致的情况，应取低值。

4 断层破碎带宽度 X_{32} ，隧道经过断层破碎带的地段地质条件复杂，围岩岩性陡然变差，支护难以及时跟进变化，导致围岩发生较大范围内的变形。隧道穿越的断层破碎带的宽度越大，发生大变形的风险越高。

5 断层破碎带胶结程度 X_{33} ，本指南将断层破碎带视为岩体碎裂结构，以该结构的胶结程度作为划分依据，胶结程度越差或越松弛的断层破碎带，其潜在的坍塌风险越大，详细分级见说明表 B.0.2-2-2。

6 地应力 X_{34} ，主要考虑到高地应力下软岩大变形。一般来说，隧道埋深越大，围岩初始地应力越大。高地应力状态下，受开挖扰动影响，围岩在集中应力作用下发生显著变形，且变形时间长，甚至在初次及二次支护后仍未稳定，影响隧道施工安全。这种情况下，

地应力越大则更容易发生大变形。

7 地下涌水情况 X_{41} ，参考说明表 B.0.2-2-2，采用 10m 洞长渗水量定量描述隧道围岩出水状况，可分为干燥或潮湿状态、点滴状出水、线状流水及涌水状态，根据现场调查情况确定，隧道中每 10m 长段涌水量=隧道二衬至掌子面总出水量÷掌子面距二衬距离的长度×10。

8 级围岩二次衬砌距掌子面的距离不得大于 90m，V 级及以上围岩不得大于 70m，软弱围岩及不良地质隧道的二衬衬砌应及时施作。

9 仰拱安全距离 X_{52} ，仰拱开挖施工应符合相关规定：IV 级及以上围岩仰拱每循环开挖长度不得大于 3m，不得分幅施作，仰拱与掌子面的距离，III 级围岩不得超过 90m，IV 级围岩不得超过 50m，V 级及以上围岩不得超过 40m。

10 超前地质预报 X_{61} ，超前地质预报应根据不同的地质复杂程度分级，针对不同的地质问题，选择不同的方法和手段进行，并贯穿于施工全过程。评估过程中，应根据超前测量反馈情况，合理进行打分。

11 相对变形值 (u/B) X_{62} ，隧道开挖后，围岩表面因开挖扰动作用会产生部分变形，相对变形值即为变形量 u 与隧道等效半径 B 之比，评估时按照就高原则，选取评估区段内变形量最大的断面，相对变形值越大，则风险越大。

12 监控量测方案 X_{63} ，监控量测包括量测频率、监测项目、信息反馈等内容。合理的监控量测频率、全面的必测项目与及时的信息反馈可以有效降低风险事件发生的可能性。

B.0.2-5 隧道施工过程瓦斯爆炸风险事件可能性评估指标体系

根据《公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估指南》（试行）的研究成果和专家意见，从地质条件、瓦斯因素、施工因素、超前预报与监测、机电设备因素等 5 个方面建立隧道施工过程瓦斯爆炸风险事件可能性评估指标体系。地质条件包含了煤层厚度、隧道距煤层距离等指标，瓦斯因素包含了瓦斯涌出量、开挖工作面瓦斯浓度等指标，施工因素包含了隧道通风量指标，超前预报与监测包含了超前地质预报、监控量测方案等指标，机电设备因素包含了机电设备防爆情况指标。

1 煤层厚度 X_{11} ，煤层厚度影响其内部瓦斯的蕴藏量，煤层越厚，对应的风险等级越高。评估时应综合考量含煤地层的分布、煤层数、顶底板特征和位置、煤层厚度、倾角等因素。

2 隧道距煤层距离 X_{12} ，指隧道中心线距周边含瓦斯煤层的最小直线距离。距离越近，

越易受瓦斯侵扰，施工时发生瓦斯爆炸的风险越高。

3 瓦斯涌出量 X_{21} ，指施工前预测的单位时间内从煤（岩）层以及采落的煤（岩）所涌出的瓦斯量。瓦斯涌出量直接影响发生风险的可能性，瓦斯涌出越多，发生瓦斯爆炸的风险越大。本指南将瓦斯涌出量划分为大于 $1\text{m}^3/\text{min}$ 、 $0.5\text{m}^3/\text{min} \sim 1\text{m}^3/\text{min}$ 、 $0.5\text{m}^3/\text{min}$ 以下、不存在瓦斯 4 个等级。

4 开挖工作面瓦斯浓度 X_{22} ，开挖工作面瓦斯浓度是决定是否进行施工的重要指标，在瓦斯隧道施工时应随时检测作业范围内的瓦斯浓度，瓦斯浓度大于或等于 1%，应立即停止电钻钻孔作业；瓦斯浓度大于或等于 1.5%，必须停止工作，撤人、切断电源、查明原因、加强通风。

5 隧道通风量 X_{31} ，隧道通风可以稀释隧道内瓦斯及有害气体，降低洞内瓦斯的浓度，故隧道通风情况越好，对应的风险等级越低。评估时应考虑隧道通风系统的合理性，从通风方式，通风量，通风设备 3 方面综合评价。

6 超前地质预报 X_{41} ，采用地质雷达、超前导坑、超前探孔等超前预报手段，提前探明隧道开挖工作面前方的工程地质和水文地质条件，为隧道开挖、支护等工作提供基础资料，可以有效降低瓦斯爆炸风险发生的可能性。评估时应根据超前测量反馈情况，合理进行打分。

7 监控量测方案 X_{42} ，监控量测包括量测频率、监测项目、信息反馈等内容。全方位监控量测与及时的信息反馈可以有效降低发生风险事件的可能性，监控量测越合理，监测项目越完善，反馈信息越及时，发生风险的可能性越低。

8 电气设备防爆情况 X_{51} ，机电设备应符合下列防爆安全规定：

（1）瓦斯工区使用的电测距仪及其它有电源的设备，应采用防爆型，当不得不使用非防爆型时，在仪器设备 20m 范围内瓦斯浓度必须小于 1%；

（2）安装后的机电设备，必须经过外观、防爆性能、操作性能的检查，合格后方可投入使用；

（3）机电设备应重点检查专用供电线路、专用变压器、专用开关、瓦斯浓度超限与供电的闭锁、局扇与供电的闭锁情况。供电线路应无明接头，无接头连接不紧密或散接头，有漏电保护装置，有接地装置，电缆悬挂整齐，防护装置齐全等；

（4）电动装渣、开挖等作业机械在操作中，防爆开关表面温度过高时应立即停止作

业；

(5) 蓄电池机车及矿灯的充电房应距洞口 50m 以外；

(6) 隧道内使用的机电设备，在使用期间，除日常检查外，应按规定周期进行检查。评估时应综合考虑各方面情况，合理进行打分。

B.0.2-6 隧道施工过程中岩爆风险事件可能性评估指标体系

根据《公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估指南》（试行）的研究成果和征集专家意见，从应力因素、能量因素、结构面因素等 3 个方面建立评估指标体系。应力因素包含了强度脆性系数、强度应力比等指标，能量因素包含了岩爆倾向性指数指标，结构面因素包含了结构面特征指标。

1 强度脆性系数 X_{11} ，为岩石单轴抗压强度与岩石单轴抗拉强度之比，是评价岩石脆性、判断岩爆倾向性以及岩爆烈度分级的常用指标，参照有关研究，本指南将可将脆性系数分为 4 个等级，脆性系数越小，发生岩爆的风险越高。

2 强度应力比 X_{12} ，为岩石的岩石饱和单轴抗压强度与垂直洞轴线方向的最大初始应力之比，是判断岩爆倾向性、进行岩爆烈度分级的常用指标。参照现行相关标准，本指南将强度应力比分为 4 个等级，强度应力比值越小，发生岩爆的风险越高。

3 岩爆倾向性指数 X_{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。不同的岩爆倾向性指数对应的岩爆等级见说明表 B.0.2-6-1。该值可通过开展室内岩石力学试验获取，由式（B.0.2-6-1）计算弹性变形能指数。

$$W_{et} = W_{sp} / W_{st} \quad (\text{B.0.2-6-1})$$

式中：

W_{sp} —— 试样加载到单轴抗压强度的 0.7~0.8 倍应力水平后卸载到单轴抗压强度的 0.05 倍应力水平时恢复的弹性应变能， J/m^3 ；

W_{st} —— 加卸载循环中试样产生塑性变形和微裂隙而消耗的能量， J/m^3 。

说明表 B.0.2-6-1 岩爆倾向性指数与岩爆等级的关系

岩爆倾向性指数	岩爆等级
$2.0 \leq W_{et} \leq 3.5$	轻微岩爆
$3.5 \leq W_{et} \leq 5.0$	中等岩爆
$W_{et} \geq 5.0$	强烈或极强岩爆

4 结构面发育、结合程度 X_{31} ，已有的研究结果表明岩体结构面对岩爆的发生和岩爆

烈度具有控制作用，因此本指南将结构面因素纳入评估指标。主要考虑结构面发育程度、主要结构面的结合程度，说明表 B.0.2-6-2 列出了国内现有规范关于结构面的定性分级，可知 3 种规范分级标准基本一致，本指南亦沿用此分级方法。

说明表 B.0.2-6-2 结构面的定性分级

标准名称		完整程度		完整	较完整		较破碎		破碎		极破碎
		完整	较完整	较破碎	破碎	极破碎					
《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》 JTG 3370.1—2018	结构面发育程度	组数	1~2	1~2	2~3	2~3	≥3	≥3		无序	
		平均间距 (m)	>1	>1	1~0.4	1~0.4	0.2~0.4	0.2~0.4	≤0.2		
	主要结构面结合程度	好或一般	差	好或一般	差	好或一般	差	一般或差	很差		
《工程岩体分级》 GB/T 50218—2014	结构面发育程度	组数	1~2	1~2	2~3	2~3	≥3	≥3		无序	
		平均间距 (m)	>1	>1	1~0.4	1~0.4	0.4~0.2	0.4~0.2	<0.2		
	主要结构面结合程度	结合好或结合一般	结合差	结合好或结合一般	结合差	结合好或结合一般	结合差	结合好或结合一般	结合很差		
《铁路隧道设计规范》TB 10003—2016	结构面发育程度	组数	1~2	1~2	2~3	2~3	≥3	≥3		无序	
		平均间距 (m)	>1	>1	1~0.4	1~0.4	0.4~0.2	0.4~0.2	<0.2		
	主要结构面结合程度	结合好或一般	结合差	结合好或一般	结合差	结合好或一般	结合差	结合一般或差	结合很差		
《公路工程地质勘察规范》 JTG C20—2011	结构面发育程度	组数	1~2	1~2	2~3	2~3	≥3	≥3		无序	
		平均间距 (m)	>1	>1	1~0.4	1~0.4	0.4~0.2	0.4~0.2	<0.2		
	主要结构面结合程度	好或一般	差	好或一般	差	好或一般	差	一般或差	很差		

参考说明表 B.0.2-6-2 中相关标准，结构面的结合程度按说明表 B.0.2-6-3 确定。

说明表 B.0.2-6-3 结构面结合程度的划分

结合程度	结构面特征
------	-------

结合好	张开度小于 1mm，为硅质、铁质或钙质胶结，或结构面粗糙，无充填物； 张开度 1mm ~ 3mm，为硅质或铁质胶结； 张开度大于 3mm，结构面粗糙，为硅质胶结。
结合一般	张开度小于 1mm，结构面平直，钙泥质胶结或无充填物； 张开度 1mm ~ 3mm，为钙质胶结； 张开度大于 3mm，结构面粗糙，为铁质或钙质胶结。
结合差	张开度 1mm ~ 3mm，结构面平直，为泥质胶结或钙泥质胶结； 张开度大于 3mm，多为泥质或岩屑充填。
结合很差	泥质充填或泥夹岩屑充填，充填物厚度大于起伏差。

B.0.2-7 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。“按评估指标重要性排序确定权重取值”的方法，即重要性排序法，是对评估指标按重要性排序，视相邻指标权重系数差值相同，具有一定的合理性和科学性。采用重要性排序法，可根据表表 B.0.2-7 选取权重系数进行简化处理。

表 B.0.2-7 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													总权重
		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	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
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 C（资料性） 长大隧道施工典型事故类型对照表

C.0.1 长大隧道施工典型事故类型宜参考现行行业标准《公路水运工程施工安全风险评估指南 第 3 部分：隧道工程》JTT 1375.3—2024 中附录 B 的相关内容。

附录 D（资料性） 长大隧道施工典型重大安全风险控制建议

D.0.1 长大隧道施工典型重大安全风险控制建议宜参考现行行业标准《公路水运工程施工安全风险评估指南 第 3 部分：隧道工程》JTT 1375.3—2024 中附录 E 的相关内容，制定具体控制措施。

