

附件

公路桥梁和隧道工程设计安全风险评估指南
(试行)

目 录

1 总则	1
2 术语	2
3 安全风险等级确定	5
3.1 风险发生概率等级与判断标准	5
3.2 风险损失等级与判断标准	5
3.3 风险等级的确定	6
4 评估方法	7
4.1 风险源的评估方法	7
4.2 风险源发生概率的评估方法	8
4.3 风险损失的评估方法	9
4.4 风险等级的评估方法	9
5 安全风险评估程序与要求	10
5.1 评估程序.....	10
5.2 评估小组及评估人员要求	10
5.3 评估报告内容及格式	11
6 安全风险应对与管理	13
6.1 一般规定.....	13
6.2 安全风险应对	13
6.3 风险管理	13
7 桥梁工程初步设计阶段安全风险评估	15
7.1 一般规定	15
7.2 评估流程	15
7.3 风险源	17
7.4 风险事件与风险源辨识	18
7.5 风险控制	20
8 桥梁工程施工图设计阶段安全风险评估	22

8.1 一般规定	22
8.2 评估流程	22
8.3 风险评估	24
9 隧道工程初步设计阶段安全风险评估	25
9.1 一般规定	25
9.2 评估流程	25
9.3 风险源	27
9.4 风险事件与风险源辨识	28
9.5 评估方法	34
9.6 风险评估	34
9.7 风险控制	35
10 隧道工程施工图设计阶段安全风险评估	37
10.1 一般规定	37
10.2 评估流程	37
10.3 风险评估	39
附录A 表格	40
附录B 专家调查法	43
附录C 风险发生概率和风险损失量化方法	45
附录D 评估报告格式	48

1 总则

1.0.1 为指导公路桥梁和隧道工程设计安全风险评估工作,提高工程建设和运营安全性,编制本指南。

1.0.2 本指南适用于公路工程初步设计及施工图设计阶段桥梁和隧道工程安全风险评估。

1.0.3 工程安全风险评估,应按照以下步骤进行:确定工程风险源,估测风险源风险发生概率和风险损失,确定风险源风险等级,采取相应的风险控制措施。

1.0.4 公路桥梁和隧道工程设计安全风险等级分为 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。

表 1 安全风险等级要求

风险等级	要求
I	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	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	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	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 公路桥梁和隧道工程设计安全风险评估工作,除符合本指南要求外,尚应符合国家、行业和地方相关法律法规及标准规范的规定。

2 术语

2.0.1 风险 Risk

事故发生的可能性及其损失的组合。

2.0.2 损失 Loss

工程建设中任何潜在的或外在的负面影响或不利后果，包括人员伤亡、经济损失、工期延误、环境影响或其他损失等。

2.0.3 风险事件 Hazard

可能造成工程建设中人员伤亡、经济损失、工期延误、环境影响或耐久性降低等不利事件。

2.0.4 风险源 Risk source

可能导致风险事件发生的因素。

2.0.5 评估对象 Assessment object

需要进行安全风险评估的工程项目。

2.0.6 风险辨识 Risk identification

调查工程建设中潜在的风险类型、事故可能发生的地点、时间及原因，并进行系统筛选、分类。

2.0.7 风险估测 Risk estimation

在风险辨识的基础上，通过对收集的资料进行分析，运用定性或定量的方法，估计和预测风险发生的概率和损失程度。

2.0.8 风险分析 Risk analysis

包括风险辨识和风险估测，即认识安全风险发生的本质，采用定性或定量的方法表示安全风险分析的过程。

2.0.9 风险评价 Risk evaluation

根据制定的工程安全风险分级划分和接受准则,对工程进行安全风险等级确定、危害性评定和安全风险排序。

2.0.10 风险控制 Risk control

为降低工程风险损失所采取的处置对策、技术方案或措施等。

2.0.11 风险评估 Risk assessment

包括风险辨识、风险估测、风险评价和风险控制,对工程中存在的各种安全风险及其影响程度进行综合分析。

2.0.12 风险管理 Risk management

包括风险辨识、风险估测、风险评价和风险控制等全过程管理。

2.0.13 风险接受准则 Risk acceptance criteria

参与工程建设的各方对不同等级安全风险的可接受的水平,可采用定性或定量的分级描述。

2.0.14 风险指标体系 Risk index system

体现风险源与风险事件分类及层次关系的树状或层状结构。

2.0.15 风险登记 Risk register

对识别的风险事件及其风险源进行登记,并对相应的风险源及风险事件处理结果进行记录。

2.0.16 风险监控 Risk monitoring

风险管理过程中,对风险进行的全程动态监控。

2.0.17 初始风险 Initial risk

工程建设各阶段未采取风险控制措施前就已存在的风险。

2.0.18 残留风险 Residual risk

对初始风险采取处理措施后自留或转移到下一阶段的风险。

3 安全风险等级确定

公路桥梁和隧道工程设计安全风险等级，应结合风险发生概率等级和风险损失等级确定。

3.1 风险发生概率等级与判断标准

工程安全风险发生概率等级分为 1、2、3、4、5 级。各等级判断标准见表 3-1。

表 3-1 风险发生概率等级判断标准

等级	定量判断标准（概率区间）	定性判断标准
1	$P_f < 0.0003$	几乎不可能发生
2	$0.0003 \leq P_f < 0.003$	很少发生
3	$0.003 \leq P_f < 0.03$	偶然发生
4	$0.03 \leq P_f < 0.3$	可能发生
5	$P_f \geq 0.3$	频繁发生

注1： P_f 为概率值，当概率值难以取得时，可用年发生频率代替。

2：风险发生概率等级应优先采用定量判断标准确定。当无法进行定量计算时，可采用定性判断标准确定。

3.2 风险损失等级与判断标准

3.2.1 风险损失等级分为 1、2、3、4、5 级。应按人员伤亡等级、经济损失等级及环境影响等级等因素确定。当多种损失同时产生时，应采用就高原则确定风险损失等级。

3.2.2 人员伤亡等级的判断标准见表 3-2。

表 3-2 人员伤亡等级判断标准

等级	判断标准
1	重伤人数 5 人以下
2	3 人以下死亡（含失踪）或 5 人以上 10 人以下重伤
3	3 人以上 10 人以下人员死亡（含失踪）或 10 人以上 50 人以下重伤
4	10 人以上 30 人以上人员死亡（含失踪）或 50 人以上 100 人以下重伤
5	30 人以上人员死亡（含失踪）或 100 人以上重伤

注1：参考国务院《生产安全事故报告和调查处理条例》和《企业职工伤亡事故分类标准》(GB6441-86)。

2：“以上”包含本数，“以下”不包含本数，下同。

3.2.3 经济损失等级的判断标准见表 3-3。

表 3-3 经济损失等级判断标准

等级	判断标准
1	经济损失 500 万元以下
2	经济损失 500 万元以上 1000 万元以下
3	经济损失 1000 万元以上 5000 万元以下
4	经济损失 5000 万元以上 10000 万元以下
5	经济损失 10000 万元以上

注 1: 参考国务院《生产安全事故报告和调查处理条例》。

2: 对总造价较低的工程, 如石拱桥等, 可采用相对经济损失进行判定。

3.2.4 环境影响等级的判断标准见表 3-4。

表 3-4 环境影响等级判断标准

等级	判断标准
1	涉及范围很小, 无群体性影响, 需紧急转移安置人数 50 人以下
2	涉及范围较小, 一般群体性影响, 需紧急转移安置人数 50 人以上 100 人以下
3	涉及范围大, 区域正常经济、社会活动受影响, 需紧急转移安置人数 100 人以上 500 人以下
4	涉及范围很大, 区域生态功能部分丧失, 需紧急转移安置人数 500 人以上 1000 人以下
5	涉及范围非常大, 区域内周边生态功能严重丧失, 需紧急转移安置人数 1000 人以上, 正常的经济、社会活动受到严重影响

注: 参考《建设项目环境保护管理条例》和《中华人民共和国环境影响评价法》。

3.3 风险等级的确定

根据安全风险发生概率等级和损失等级, 按表 3-5, 确定风险等级。

表 3-5 风险等级表

风险发生概率	风险损失				
	1	2	3	4	5
1	I	I	II	II	III
2	I	II	II	III	III
3	II	II	III	III	IV
4	II	III	III	IV	IV
5	III	III	IV	IV	IV

注: 参考国际隧道协会《Guidelines for Tunnelling Risk Management》。

4 评估方法

公路桥梁和隧道工程设计安全风险评估，首先是通过类似结构工程的安全风险发生情况的调查，以及专家的现场或书面调查，在研究分析设计、施工、运营阶段可能发生安全风险诱因的基础上，确定关键风险源及将要风险源，并分类完成安全风险列表(见附录 A)；二是采用定性与定量相结合的方法，对风险源的风险发生概率及损失进行分析和评估，确定其发生的可能性及严重程度(见附录 B、附录 C)；三是根据已确定的风险发生概率等级和风险损失等级，按照风险等级确定的相关要求，确定安全风险等级；四是针对不同的安全风险等级，研究提出相应的应对措施。

4.1 风险源的评估方法

4.1.1 评估小组首先进行风险源辨识工作。步骤是先进行现场查看，收集工程基础资料。所收集的资料应包括：

- (1) 类似工程事故资料。
- (2) 拟建桥梁和隧道设计文件。
- (3) 工程区域内水文、地质、自然环境等资料。
- (4) 工程规划、可行性研究和工程地质勘察报告等资料。
- (5) 工程区域内的建(构)筑物(含管线、民防设施、铁路、公路等)资料。
- (6) 其他与评估对象相关的资料。

4.1.2 评估小组对所收集的资料进行分析、归纳，按照附录 A 表 A-1 的格式，填写完成风险源普查表。

4.1.3 根据桥梁和隧道工程建设条件、设计方案、施工技术、运营管理划分评估单元，并将风险源普查结果按照评估单元划分归类，分析当前桥梁和隧道工程中是否存在该风险源。当存在时，则给出依据，明确存在的方式及产生的影响，并按照附录 A 表 A-2 的格式，填写完成检查表。

4.1.4 检查表完成后，通过相关人员咨询、评估小组讨论、专家咨询的方式，判断该风险源重要程度，并记录判断依据。按照附录 A 表 A-3 的格式，填写完成风险源列表。

所咨询的相关人员宜选择：

- (1) 建设单位、设计单位有关人员。
- (2) 当地具有丰富桥梁工程建设经验的工程技术人员。
- (3) 具有同类工程丰富建设经验的国内外桥梁工程专家。

所咨询的专家宜选择：

- (1) 直接参与工程的建设单位、设计单位专家。
- (2) 了解该工程建设情况的国内外桥梁工程资深专家。
- (3) 评估小组内的桥梁工程专家。

4.1.5 施工图设计阶段应在初步设计阶段确定的风险源基础上，根据工程实际情况增减有关风险源。

4.2 风险源发生概率的评估方法

4.2.1 风险源发生概率可采取专家调查法、概率分析法、层次分析法、事故树法、模糊综合评价法等方法进行确定。根据工程不同阶段的特点，可选择 1 种方法或者多种方法相结合确定风险源发生概率。

4.2.2 初步设计阶段安全风险评估，风险源发生概率一般采用专家调查法确定。专家调查法具体内容见附录 B。

4.2.3 施工图设计阶段安全风险评估，风险源发生概率一般采用概率分析法、专家调查法等方法确定。各方法具体内容见附录 C。

4.3 风险损失的评估方法

4.3.1 初步设计阶段和施工图设计阶段安全风险评估，风险损失一般采用专家调查法确定，也可采用层次分析法、事故树法、模糊综合评价等方法确定。各方法具体内容见附录 B、附录 C。

4.4 风险等级的评估方法

根据风险发生概率和风险损失的估测值，按照风险评价矩阵方法，查表确定风险等级。

具体确定方法是：

(1) 风险值=风险发生概率×风险损失。“×”表示风险发生概率和风险损失的级别的组合。

(2) 由风险发生概率和风险损失的级别，查表 3-5 确定风险等级，并参照表 1，得到风险水平及与其相对应的要求。

5 安全风险评估程序与要求

5.1 评估程序

5.1.1 承担安全风险评估工作的单位组建评估小组。

5.1.2 评估小组根据工程所处阶段及特点，开展风险评估。评估过程中，评估小组应与设计人员进行有关安全风险评估情况的沟通。对 III 级（高度）和 IV 级（极高）风险，应报告项目法人（业主）。项目法人（业主）应及时组织对 III 级（高度）和 IV 级（极高）风险进行审查。

5.1.3 根据项目规模及复杂程度，评估小组应在 1~2 个月内提交安全风险评估报告。

5.1.4 项目法人（业主）应对安全风险评估报告进行评审。设计单位应根据评审结果和评估报告提出的风险应对措施，修改完善设计方案。

5.1.5 安全风险评估报告同设计文件一并报送行政主管部门审批。

5.2 评估小组及评估人员要求

5.2.1 安全风险评估工作由承担设计任务的设计单位负责。设计单位应组织专门的人员建立评估小组，承担安全风险评估工作。

5.2.2 风险评估小组应由经验丰富的桥梁、隧道、地质、评估等专业人员组成，一般 5~7 人为宜。

5.2.3 评估小组负责人，应当具有 20 年以上设计（施工）经验，并在类似工程项目中担任过设计（施工）负责人，教授级高级工程师技术职称。

5.2.4 评估小组成员应具有 7 年以上设计（施工）经验，工程师以上技术职称。

5.3 评估报告内容及格式

5.3.1 评估报告包含如下内容：

- (1) 编制依据。
- (2) 工程概况。
- (3) 安全风险评估流程与评估方法。
- (4) 安全风险评估内容。
- (5) 安全风险评估结论。

5.3.2 编制依据应包含如下内容：

- (1) 相应的国家和行业标准、规范及规定。
- (2) 工程基础性资料。
- (3) 上阶段的审查意见与评估结果（如有）。

5.3.3 安全风险评估内容应包括如下内容：

- (1) 风险源的确定。
- (2) 风险源发生概率和风险损失的确定。
- (3) 风险等级的确定。
- (4) 控制措施的确定。

5.3.4 安全风险评估结论。

评估报告最后为安全风险评估结论，包括如下内容：

- (1) 各风险源发生概率和风险损失的汇总。

(2) 项目中 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。

5.3.5 评估报告格式见附录 D。

6 安全风险应对与管理

6.1 一般规定

6.1.1 根据安全风险评估报告结论，应制定具有针对性的应对措施，以预防、降低或消除安全隐患。

6.1.2 安全风险管理应在保障安全、保护环境和控制成本的前提下，采取合理的控制对策把安全风险控制在可接受的水平。

6.2 安全风险应对

6.2.1 应根据评估的风险等级，提出风险应对策略，制定风险对策表，风险对策表应包括设计、施工、残留风险等内容。对 III 级风险，应由设计单位制定应急预案。

6.2.2 本阶段无法判断的风险，需在评估报告中明确，并提出下阶段工作的建议和措施。

6.3 风险管理

6.3.1 风险评估小组应根据工程环境的变化及工程进展情况，定期反馈评估结果，并与相关单位及时沟通。

6.3.2 评估小组应根据评估目标，全面考察与评价各阶段风险控制对策执行的效果，跟踪记录各阶段风险在采取应对措施后的变化情况。

6.3.3 评估小组应建立风险登记档案，跟踪风险的变化，并根据风险控制措施的落实情况进行动态评估。

6.3.4 对于需要进行监控的风险源，设计单位应制定详细的监控计划、监控技术标准

和风险预警方案。

6.3.5 项目管理人员和有关人员应进行安全风险培训。

7 桥梁工程初步设计阶段安全风险评估

7.1 一般规定

7.1.1 公路桥梁初步设计阶段安全风险评估,应对设计文件中同深度比选的多个设计方案同时进行安全风险评估。根据评估结果,视风险等级对初步设计方案进行修改完善。若风险等级极高时,应对初步设计方案重新论证。

7.1.2 安全风险评估应结合初步设计阶段工程特点,针对工程的建设条件、结构方案、施工技术以及运营等方面的风险,开展相应的安全风险评估工作。

7.1.3 对新技术、新材料、新设备的应用风险,应综合考虑创新与风险可承受能力之间的平衡。

7.1.4 依据安全风险评估结果,按照技术可行性及经济合理性的原则,提出相应的风险控制措施。

7.1.5 设计单位应根据安全风险评估提出的风险控制措施,及时对设计文件进行修改完善。

7.1.6 初步设计阶段安全风险评估报告,应作为下一阶段安全风险评估的重要依据和基础。

7.2 评估流程

7.2.1 初步设计阶段安全风险评估流程见图 7-1。

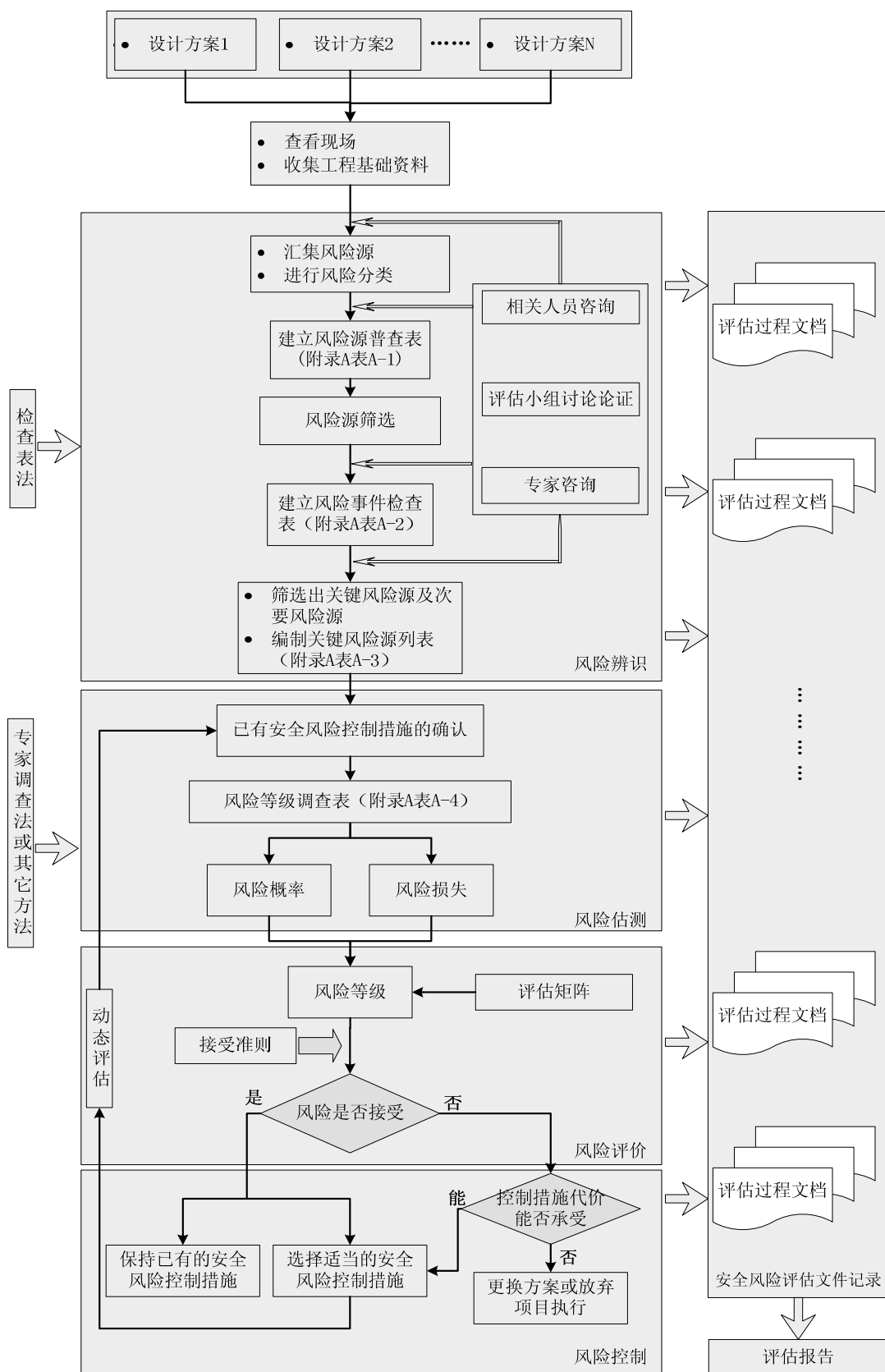


图 7-1 初步设计阶段安全风险评估流程图

7.3 风险源

7.3.1 初步设计阶段安全风险评估应充分了解可行性研究阶段成果，结合本阶段的勘察和设计资料，从建设条件、结构方案、施工技术、运营管理四个方面进行评估。在选定初步设计阶段风险源时，需确认推测的风险源是否存在不确定性，并推测该不确定性带来的各种可能的事故。初步设计阶段风险源见表 7-1。

表 7-1 初步设计阶段风险源表

序号	类型	风险源
1	建设条件	地质
2		水文
3		气象
4		运输通行
5		周边环境
6	
7	结构方案	设计理论
8		设计方案
9		新技术、新材料
10	
11	施工技术	施工方案
12		新技术、新材料、新设备的应用
13	
14	运营管理	水文
15		气象
16		车船撞击
17		实际车辆荷载与设计差异
18	

7.3.2 桥梁建设条件风险是指由于地形地貌、地质、水文、气象、运输通行、周边环境等因素（风险源）所导致的风险。

7.3.3 桥梁结构方案风险是指由于结构设计理论、设计方案以及采用新技术、新材料等因素（风险源）所导致的风险。

7.3.4 施工技术风险是指由于施工方案的选择、施工工艺的安全性以及采用新材料、新技术、新设备等因素（风险源）所导致的风险。

7.3.5 运营管理风险是指由于水文、气象、车船撞、车辆实际荷载与设计差异程度等因素所导致的风险。

7.4 风险事件与风险源辨识

7.4.1 初步设计阶段，风险源与施工期间安全风险事件检查表见表 7-2（根据具体工程可作适当增减）。

表 7-2 桥梁工程施工期间风险事件与风险源检查表

风险源 \ 风险事件			基础沉降	支架倒塌	构件损伤	结构倒塌
建设条件	地质	岩性及风化程度	★	★	★	★	
		构造带	★	★	★	★	
		地下水	★	★	★	★	
		高边坡		★	★	★	
		岩溶	★	★	★	★	
		泥石流			★	★	
		液化土			★	★	
		煤层及矿藏采空区	★	★	★	★	
		冻土	★	★	★	★	
		软土	★	★	★	★	
		膨胀土	★	★			
		盐渍土			★	★	
						
	水文	冰凌			★	★	
		风暴潮			★	★	
		洪水			★	★	
						
	气象	风			★	★	
		雷电			★	★	
		冻雨			★	★	
						
	运输通行	船撞			★	★	
		车撞			★		
						

	周边环境	管线、民防设施，铁路、公路等线位交叉			★	★	
						
结构方案		设计理论			★	★	
		设计方案			★	★	
		新技术、新材料			★	★	
						
施工技术		施工方法			★	★	
		施工设备					
		新工艺			★	★	
						

注：“★”表示该风险源对风险事件有影响，以下表同。

7.4.2 初步设计阶段，风险源与运营期间安全风险事件检查表见表 7-3（根据具体工程可作适当增减）。

表 7-3 桥梁工程运营期间风险事件与风险源检查表

风险源 \ 风险事件			基础沉降	抖振、颤振、涡振	行车安全	构件损伤	结构倒塌
运营管理	运营条件	岩性及风化程度	★			★	★	
		构造带	★			★	★	
		地下水	★			★	★	
		高边坡				★	★	
		岩溶	★			★	★	
		液化土				★	★	
		泥石流				★	★	
		煤层及矿藏采空区	★			★	★	
		冻土	★			★	★	
		软土	★			★	★	
		膨胀土	★					
		盐渍土				★	★	
							
	水文	河槽摆动	★			★	★	
		冰凌				★	★	

		风暴潮				★	★	
		洪水				★	★	
							
	气象	风		★	★	★	★	
		雷电				★		
		冻雨			★	★		
							
	运输通行	船撞				★	★	
		车撞				★		
							
	运营管理	实际车辆荷载与设计差异				★	★	
		交通量				★	★	
							

7.5 风险控制

初步设计阶段应考虑各种风险控制措施的成本和效益，选择合适的风险控制措施，提出风险控制的具体实施方案。应对措施建议应具体详实，具有可操作性。按照针对性和重要性的不同，措施和建议可分为应采纳和宜采纳两种类型。

7.5.1 建设条件风险控制

(1) 地形地貌、地质、水文、气象、运输通行

应对专题研究报告进行评估，必要时，可要求建设管理单位补充相关专题研究。

(2) 周边环境

① 初步设计阶段应根据工程所处地理环境编制相应的施工方案。

② 初步设计阶段应充分考虑周边环境对施工的影响，并将影响结果进行优化处理。

7.5.2 结构方案风险控制

应对设计理论、设计方案、新技术、新材料等相关材料进行评估，并应对设计方案的技术难度进行评价。必要时，可要求建设管理单位补充相关研究内容。

7.5.3 初步设计阶段可能引起的施工技术风险的控制

(1) 施工方案

- ① 应对不同桥型的不同施工工法进行适应性评价，选择风险最小的施工工法。
- ② 制定应对突发事件的应急预案。

(2) 新技术、新材料、新设备的应用

项目建设单位应组织开展必要的专题研究。

7.5.4 初步设计阶段可能引起的运营风险的控制

对实际车辆荷载与设计差异所造成的风险，应要求设计单位深化设计方案，提高结构抵抗实际车辆荷载与设计差异影响的能力。

对车辆、船舶撞击桥梁并可能造成破坏的内容，应按要求开展研究并给出合理的设计和管理措施。

地质、水文、气象、运输通行方面所引起的运营风险，其风险控制措施可参照 7.5.1。

8 桥梁工程施工图设计阶段安全风险评估

8.1 一般规定

8.1.1 公路桥梁施工图设计阶段安全风险评估,应结合初步设计审查意见对初步设计阶段的安全风险评估进行细化,重点是对上一阶段的残留风险,以及对施工方案、施工工法、结构方案可能存在的安全风险进行有效评估,并提出相应的安全应对措施。当风险产生的后果可能为突发性事件(倾覆、压溃、倒塌等)时,施工图设计阶段应明确施工方案、施工工艺、注意事项、监控要求等,并进行有效的风险管理。

8.1.2 当初步设计阶段风险评估为Ⅲ级(高度)风险或者设计方案变更时,应重点进行评估,给出降低风险的应对措施和相应的风险监控方案。

8.1.3 施工图设计阶段,依据风险评估结果,评估小组应按照技术可行性及经济合理性的原则,提出降低风险的应对措施。

8.1.4 设计单位应根据安全评估提出的风险控制措施,及时对设计文件进行修改完善。

8.1.5 施工图设计阶段安全风险评估报告,应作为施工阶段评估的重要依据和基础。

8.2 评估流程

施工图设计阶段安全风险评估流程见图 8-1。

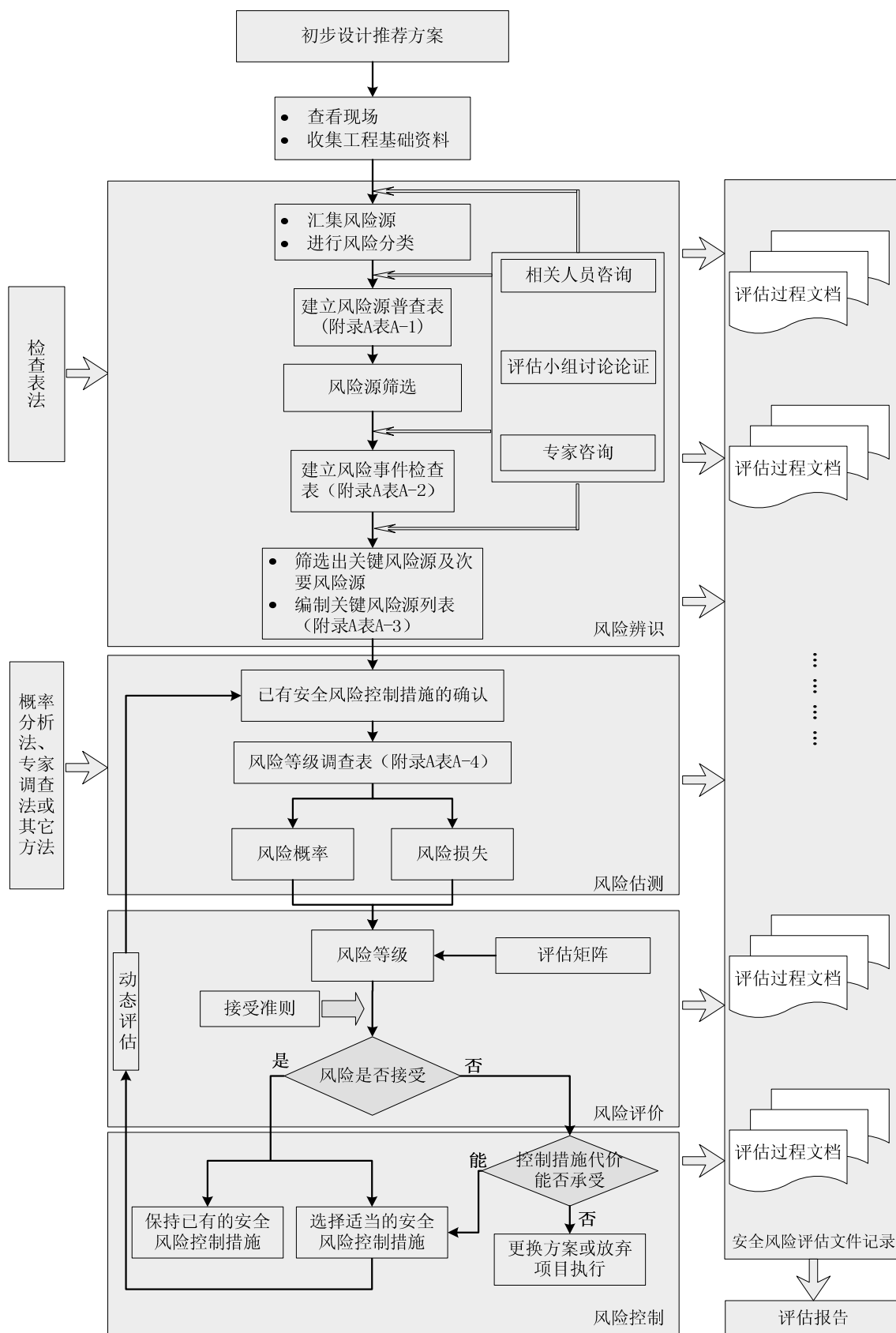


图 8-1 施工图设计阶段安全风险评估流程图

8.3 风险评估

8.3.1 施工图设计阶段，评估方法以定量方法为主，可综合采用概率分析、专家调查等方法。

8.3.2 施工图设计阶段，桥梁方案进行重大修改或者风险水平较高时，应进行重点评估。

8.3.3 对 III 级（高度）风险，设计单位应重点关注，制定应急预案，并在施工阶段加强风险监控。

8.3.4 对 IV 级（极高）残留风险，应向项目法人（业主）报告。

8.3.5 评估报告应分别给出不同典型安全事件的概率等级、损失等级和风险等级评估结果；并对风险事件和风险源按重要性进行排序，确定风险措施实施的重点，优化成本。

8.3.6 施工图设计阶段的安全风险控制措施主要包括构造设计的合理性、建设条件、施工方案以及结构风险等方面的重要风险控制预案。

8.3.7 施工图设计阶段安全风险评估内容和成果应满足施工图设计阶段安全风险控制的基本要求。

9 隧道工程初步设计阶段安全风险评估

9.1 一般规定

9.1.1 公路隧道初步设计阶段安全风险评估，应对设计文件中同深度比选的多个设计方案同时进行安全风险评估。根据评估结果，视风险等级对初步设计方案进行修改完善。若风险等级极高时，应对初步设计方案重新论证。

9.1.2 工程安全风险评估应结合初步设计阶段的特点，针对隧道工程的建设条件、结构方案、施工技术以及运营等方面的风险，开展相应的安全风险评估工作。

9.1.3 新技术、新材料、新设备的应用风险，应综合考虑创新与风险可承受能力之间的平衡。

9.1.4 根据安全风险评估结果，按照技术可行性及经济合理性的原则，提出相应的风险控制措施。

9.1.5 设计单位应根据安全评估提出的风险控制措施，及时对设计文件进行修改完善。

9.1.6 初步设计阶段安全风险评估报告，应作为下一阶段评估的重要依据和基础。

9.2 评估流程

9.2.1 初步设计阶段隧道安全风险评估分为单一风险事件的分段评估、单一风险事件的整体评估和隧道总体风险评估。

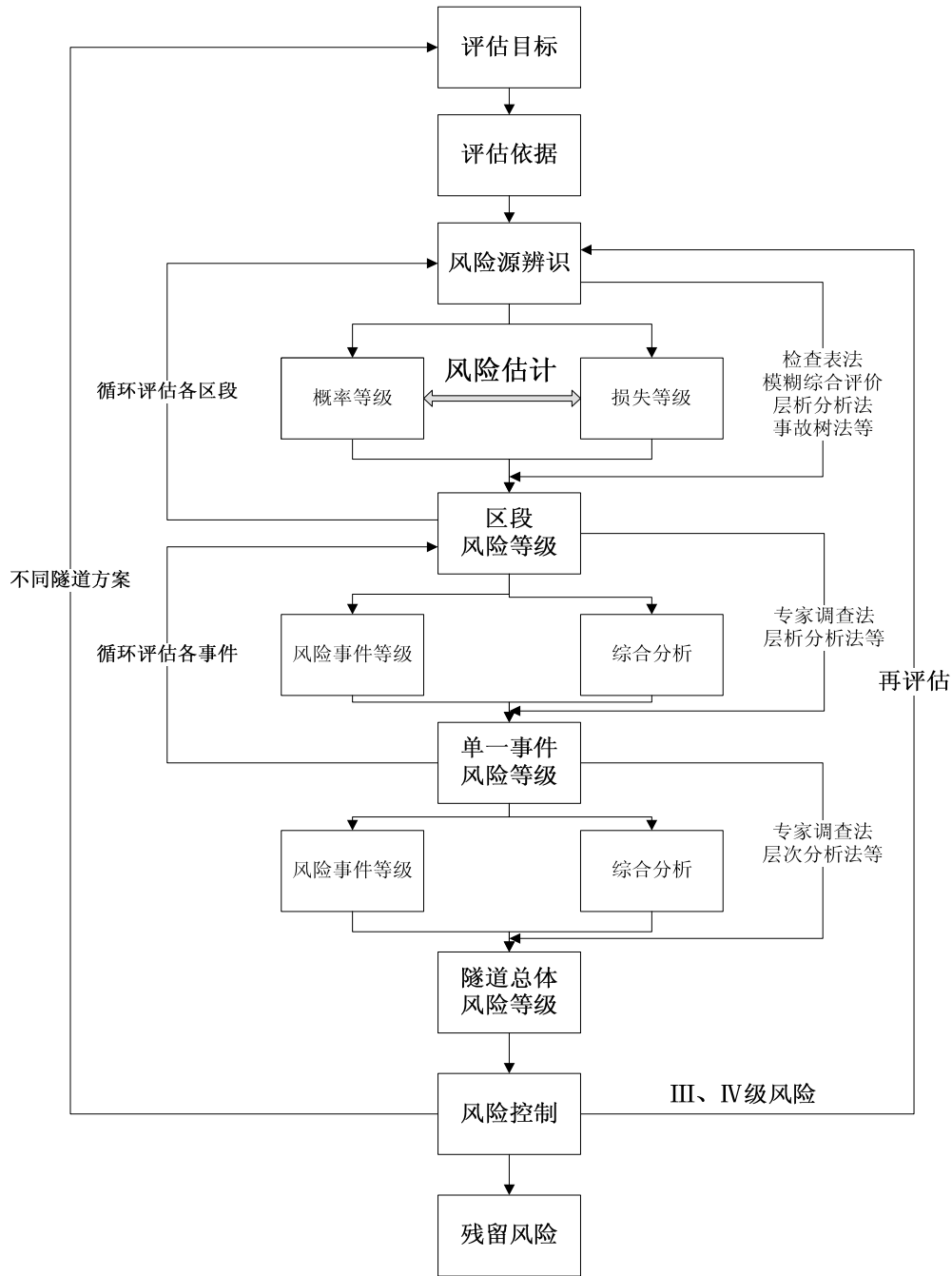
(1) 单一风险事件的分段评估，是指评估某一风险事件（如塌方、大变形等）在隧道沿线某一区段的风险等级，给出不同区段的风险等级。

(2) 单一风险事件的整体评估，是指根据单一风险事件的分段评估结果，评估隧道某一风险事件的风险等级。

(3) 隧道总体风险评估，是指根据隧道单一风险事件的评估结果，评估隧道多个风

险事件情况下的综合风险等级。

9.2.2 风险评估的流程见图 9-1。



图中：

1 评估目标：初步设计阶段单一设计方案风险。2 评估依据：初勘地质资料、设计方案。

3 风险源辨识：在单一区段的单一风险事件和风险源辨识。

4 区段风险等级：单一风险事件在隧道范围内某一区段的风险等级。

5 单一事件风险等级：隧道设计方案单一风险事件的风险等级。6 隧道总体风险等级：评估得到的隧道总体初始风险。

图 9-1 隧道工程初步设计阶段安全风险评估流程图

9.2.3 多个设计方案的安全评估按照 9.2.2 的风险评估流程进行多次评估即可，比较方案的再评估根据实际需要进行。

9.3 风险源

9.3.1 风险源分为四个大类，包括隧道建设条件、结构方案、施工技术以及运营管理，见表 9-1。

表 9-1 初步设计阶段风险源表

类型	亚类
建设条件	地形地貌
	地质（工程地质、水文地质）
	不良地质、特殊岩土
	周边环境

结构方案	设计方案
	设计理论
	新技术、新材料

施工技术	施工方案
	新技术、新材料、新工艺

运营管理	线形、通风、防灾、救援逃生、照明

9.3.2 隧道建设条件风险是指由于地形地貌、工程地质、水文地质、不良地质、特殊岩土、地震烈度等因素（风险源）所导致的风险。

9.3.3 结构方案风险是指由于设计方法、计算参数或者设计方案以及采用新材料、新技术等因素（风险源）所导致的风险。

9.3.4 施工技术风险是指由于施工方案、施工工艺以及采用新材料、新技术、新工艺等因素（风险源）所导致的风险。

9.3.5 运营管理风险是指由于初步设计阶段隧道线形（平面线形、纵坡、横断面）、通风方案、救援能力、监控方案等因素（风险源）所导致的风险。

9.4 风险事件与风险源辨识

9.4.1 初步设计阶段，钻爆法隧道安全风险事件及风险源，见表 9-2（根据具体工程可作适当增减）。

表 9-2 钻爆法隧道安全风险事件与风险源检查表

风险源			风险事件	洞口失稳	塌方	瓦斯	突泥（水、石）	大变形	岩爆	结构风险	交通事故	火灾	……
建设条件	地形地貌		地表植被、水系	★	★		★				★		
			偏压	★	★								
			……										
	地质		岩性及风化程度	★	★		★	★	★				
			构造（单斜、向斜、背斜、断层）	★	★	★	★	★	★				
			地下水	★	★		★	★					
			……										
	不良地质		滑坡	★	★			★					
			岩堆	★	★			★					
			顺层	★	★			★					
			岩溶				★						
			煤层及矿藏采空区		★	★	★						
			挤压性地层					★					
			……										
	特殊岩土		冻土					★					
			软土					★					
			膨胀岩（土）					★					
			黄土					★					
			……										
	周边环境		道路、村庄、河流（湖泊）	★	★		★	★					
结构方案	设计方案	设计情况	常规设计	★	★	★	★	★	★	★			
			特殊设计	★	★	★	★	★	★	★			
			监控量测设计	★	★	★	★	★	★				
		隧道	断面大小	★	★	★	★	★	★				

		特征	埋深		★	★	★	★	★					
			长度	★	★	★	★	★	★		★	★		
		辅助坑道	类型			★	★							
			断面大小			★	★						★	
			埋深			★	★		★					
			位置			★	★							
		设计理论	设计方法								★			
	计算参数								★					
	新技术、新材料									★				
													

施工技术	施工方案	施工工法	★	★	★	★	★	★				
		施工工艺	★	★	★	★	★	★				
		施工参数	★	★	★	★	★	★				
		施工辅助措施	★	★	★	★	★	★				
	新工艺		★	★								
											

运营管理	线形	平面线形								★		
		纵坡								★		
	通风方案									★	★	
	防灾救援方案									★	★	
	监控方案									★	★	
	照明方案									★		
	交通量									★	★	
											

注：“★”表示该风险源对风险事件有影响，以下表同。

9.4.2 初步设计阶段掘进机法和盾构法隧道安全风险事件及风险源参见表 9-3（根据具体工程可作适当增减）。

表 9-3 掘进机法和盾构法隧道安全风险事件与风险源检查表

风险源			风险事件	设备风险	进出洞风险	掘进风险	结构风险	交通事故	火灾	……
建设条件	地形地貌		地表植被、水系		★			★		
			洞口地形		★					
			……							
	地质		岩性及风化程度	★	★	★				
			构造（单斜、向斜、背斜、断层）	★	★	★				
			地下水	★	★	★				
			……							
	不良地质		顺层	★		★				
			岩溶	★		★				
			煤层及矿藏采空区	★		★				
			挤压性地层	★		★				
			……							
	特殊岩土		膨胀岩（土）	★		★				
			冻土	★		★				
			软土	★		★				
			黄土	★		★				
			……							
	周边环境		建（构）筑物	★	★	★				
			下穿江、河	★	★	★				
			……							
结构方案	设计 方案	设计 情况	常规设计	★	★	★	★			
			特殊设计	★	★	★	★			
			监控量测设计	★	★	★				
			设备选型	★	★	★				
			……							
		隧道特 征	断面大小	★	★	★				
			长度			★		★	★	
			埋深			★				

									
		辅助坑道						★		
	设计理论	设计方法				★				
		计算参数				★				
									
	新技术、新材料					★				
施工技术	施工工法			★	★					
	施工工艺			★	★					
	施工参数		★	★	★					
	辅助施工措施			★	★					
	新工艺				★					
									
运营管理	线形	平面线形					★			
		纵坡					★			
	通风方案							★		
	防灾救援						★	★		
	监控方案						★	★		
	照明方案						★			
	交通量						★	★		
									

注：进出洞风险为盾构法风险。

9.4.3 初步设计阶段沉管法隧道安全风险事件及风险源参见表 9-4（根据具体工程可作适当增减）。

表 9-4 沉管法隧道安全风险事件与风险源检查表

风险源 \ 风险事件			管段沉降	管段渗漏水	结构	交通事故	火灾
建设条件	地质	地质条件	★	★	★			
		河海床变迁	★	★	★			
							
	周边环境	周边水系、环保要求	★					
							
结构方案	沉降控制	监测和信息反馈设计	★	★				
		减小对原状地基土体的扰动	★					
							
	混凝土管段的预制	管段防水		★	★			
							
	管段运输与就位	起浮和抗浮问题	★		★			
		管段沉放设计	★	★	★			
		管段自防水		★	★			
		施工缝防水		★				
		管段接头防水		★	★			
		监测和信息反馈设计	★	★				
							
	设计理论	设计方法			★			
		计算参数			★			
							
	新技术、新材料				★			
施工技术	施工工艺		★	★				
	施工参数		★	★				
	辅助施工措施		★	★				
	新工艺		★	★				
							
运营管理	纵坡					★		
	通风方案						★	
	防灾救援方案					★	★	
	监控方案					★	★	
	照明方案					★		
	交通量					★	★	
							

9.5 评估方法

9.5.1 单一风险事件的区段评估方法有层次分析法、事故树法、模糊综合评价法、概率分析法，参见附录 C。

- (1) 检查表法可用于风险事件风险源辨识。
- (2) 层次分析法可用于风险源重要性排序，不能进行风险源辨识。
- (3) 事故树法可用于风险源辨识，并确定风险事件发生的概率。
- (4) 模糊综合评价法可进行风险源辨识，确定风险事件的风险等级。
- (5) 概率分析法可确定事件发生的概率。

9.5.2 单一风险事件的整体评估方法有专家调查法、层次分析法、模糊综合评价法，参见附录 B、附录 C。

依据单一风险事件的区段评估结果，采用层次分析法或者专家调查法确定每一区段的风险事件的权重，然后确定风险事件的概率等级和损失等级，采用风险矩阵确定风险等级，宜结合专家调查法或者模糊综合评价法的结果，综合分析确定风险事件的风险等级。也可以把区段风险等级的最高等级作为单一风险事件的风险等级。

专家调查法、模糊综合评价法也可以直接评估得到单一风险事件的风险等级。

9.5.3 隧道总体风险评估方法有专家调查法、层次分析法，参见附录 B、附录 C。

依据单一风险事件的风险等级，采用层次分析法或者专家调查法确定每一个风险事件的权重，确定隧道方案的概率等级和损失等级，采用风险矩阵确定风险等级，宜结合专家调查法或者模糊综合评价法的结果，综合分析确定隧道方案的风险等级。

专家调查法、模糊综合评价法也可以直接评估得到隧道方案的风险等级。

9.6 风险评估

初步设计阶段应结合初步设计原则，综合考虑建设条件和设计方案确定安全风险（典型风险事件）等级，给出相应的风险控制或风险监控方案，主要工作包括：

- (1) 根据建设条件和初步设计方案，分段评估不同典型风险事件的初始风险，形成不同典型风险事件隧道纵向风险等级分布图。
- (2) 根据不同典型风险事件分段评估结果，确定单一风险事件的风险等级和隧道总体风险等级。
- (3) 结合初步设计阶段设计原则和不同典型风险事件的初始风险，制定风险控制措施。
- (4) 对 III 级（高度）、IV 级（极高）安全风险进行再评估，并确定残留风险。
- (5) 对 IV 级（极高）残留风险，必须采取风险控制措施降低风险或对方案重新论证。
- (6) 对 III 级（高度）残留风险，设计单位应制定风险监控方案，加强监控，并在施工图阶段跟踪或者再评估。
- (7) 对 II 级（中度）残留风险，设计单位应跟踪监控风险。

9.7 风险控制

9.7.1 初步设计阶段的安全风险控制措施主要包括设计方案的合理性、建设条件、施工方案以及结构风险等方面的重要风险控制对策。

9.7.2 风险控制对策、处置措施建议如下：

- (1) 确定设计方案的安全审查内容和程序。
- (2) 审核工程地质、水文地质勘察资料及周边环境资料。
- (3) 审核与隧道结构工程相关的设计。
- (4) 审核相应的施工方案、辅助工法和特殊条款。
- (5) 审核监控系统的配置原则，建立并完善全线工程监控网。
- (6) 编写相关表格，对可能存在的风险事件进行分析评价，提出应对措施，对残余风险进行评价、控制，并进行有效跟踪。

9.7.3 针对钻爆法隧道主要风险事件的风险对策建议如下：

- (1) 应对国内外类似工程进行调研。
- (2) 进行详细地质勘察，对沿线区域地形、地貌、地质情况、不良地质、特殊岩土分布情况进行深入调查与分析，提供翔实可靠的地质资料。

9.7.4 针对掘进机法主要风险事件的风险对策可参考盾构法、矿山法或新奥法隧

道的相关风险对策。

9.7.5 针对盾构法隧道主要风险事件的风险对策建议如下：

（1）进行详细地质勘察，对沿线区域地形、地貌、地质情况，不良地质、特殊岩土分布情况进行深入调查与分析，提供翔实可靠的地质资料。

（2）基于地勘资料，开展方案适应性研究。

9.7.6 针对沉管法隧道主要风险事件的风险对策建议如下：

（1）进行详细地质勘察，对沿线区域地形、地貌、地质情况，不良地质、特殊岩土分布情况进行深入调查与分析，提供翔实可靠的地质资料。

（2）基于地勘资料，开展方案适应性研究。

9.7.7 初步设计阶段可能引起的运营期安全风险事件的风险对策建议如下：

根据评估结果，要求设计单位优化完善隧道平面线形及纵坡，完善通风、救援、逃生方案，对于长大隧道开展防灾救援方案的细化研究，细化监控方案，对隧道车流量实时监控。

10 隧道工程施工图设计阶段安全风险评估

10.1 一般规定

10.1.1 公路隧道施工图设计阶段安全风险评估，应结合初步设计审查意见对初步设计安全风险评估进行细化，重点对施工工法、施工方案以及结构方案可能存在的安全风险进行有效评估，并提出相应的安全应对措施。当钻爆法隧道安全风险产生的后果可能为突发性事件（塌方、瓦斯、突水、涌泥、大变形等）时，施工图设计阶段应明确详细的施工方案、施工工艺、注意事项、监控要求等，并进行有效的风险管理。

10.1.2 当初步设计阶段风险评估为 III 级（高度）风险或者设计方案变更时，应重点进行评估，给出降低风险的应对措施和相应的风险监控方案。

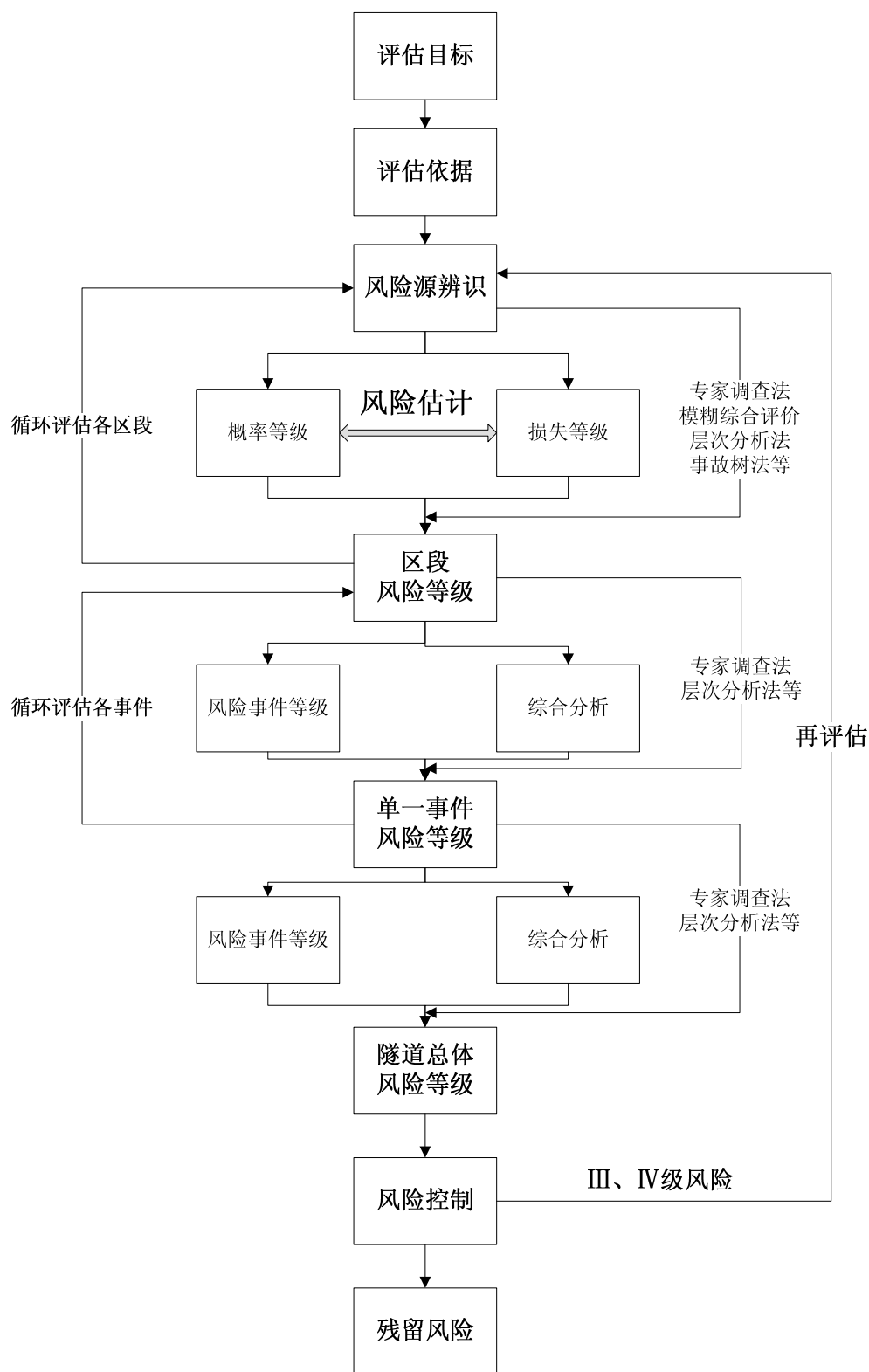
10.1.3 施工图设计阶段，依据风险评估结果，评估小组应按照技术可行性及经济合理性的原则，提出降低风险的应对措施。

10.1.4 设计单位应根据安全评估提出的风险控制措施，及时对设计文件进行修改完善。

10.1.5 施工图设计阶段安全风险评估报告，应作为下一阶段评估的重要依据和基础。

10.2 评估流程

隧道工程施工图阶段安全风险评估流程见图 10-1。



图中：

- 1 评估目标：重点是不同风险事件的区段评估和单一风险事件的风险等级。
- 2 评估依据：地质资料、设计方案、施工方案。
- 3 风险源辨识：在单一区段的单一风险事件和风险源辨识。
- 4 区段风险等级：单一风险事件在隧道范围内某一区段的风险等级。

图 10-1 隧道工程施工图设计阶段安全风险评估流程图

10.3 风险评估

10.3.1 评估方法可综合采用概率分析法、专家调查法、层次分析法、事故树法、模糊综合评价法等，风险辨识、风险估测、风险控制等内容可参考初步设计阶段。

10.3.2 在施工图设计阶段，隧道方案进行重大修改或者残留风险较高时，应进行重点评估，特别是大断面复杂地质条件隧道。

10.3.3 当初始风险为Ⅲ级（高度）及以上时应结合风险控制措施进行再评估，确定残留风险。

10.3.4 对Ⅳ级（极高）残留风险，设计单位应报送项目法人（业主）。

10.3.5 对Ⅲ级（高度）残留风险，设计单位应重点关注，制定应急预案，并在施工阶段加强风险监控。

10.3.6 评估报告应分别给出不同典型安全事件的概率等级、损失等级和风险等级评估结果，形成风险等级分布图。对风险事件和风险源按重要性进行排序，确定风险措施实施的重点，优化成本。

10.3.7 施工图设计阶段的安全风险控制措施主要包括设计方案的合理性、建设条件、施工方案以及结构风险等方面的重要风险控制预案。

10.3.8 施工图设计阶段安全风险评估内容和成果应满足施工图阶段安全风险控制的基本要求。

附录 A 表格

表 A-1 风险源普查表

项目名称:

序号	典型风险		风险源所处阶段			描述
			设计阶段	施工阶段	运营阶段	
1	风险1	风险源 1-1:				
		风险源 1-2:				
					
		风险源 1-m:				
2	风险2	风险源 2-1				
		风险源 2-2				
					
		风险源 2-m				
...				
N	风险n	风险源 n-1				
		风险源 n-2				
					
		风险源 n-m				
填表人:			填表日期:			

注：“典型风险”栏为同类桥梁和隧道工程所存在风险源的归纳总结；“描述”栏为每项风险源可能存在的方式、产生的影响及已有典型事故教训和成功经验的简要说明。

表 A-2 检查表

序号	检查项目		是否存在该风险源	存在方式	产生的影响
1	风险1	风险源 1-1			
		风险源 1-2			
				
		风险源 1-m			
2	风险2	风险源 2-1			
		风险源 2-2			
				
		风险源 2-m			
.....			
N	风险n	风险源 n-1			
		风险源 n-2			
				
		风险源 n-m			
填表人：				填表日期：	

表 A-3 风险源列表

序号	典型风险		次要风险源	主要风险源	判断依据
1	风险1	风险源 1-1			
		风险源 1-2			
				
		风险源 1-m			
2	风险2	风险源 2-1			
		风险源 2-2			
				
		风险源 2-m			
.....			
N	风险n	风险源 n-1			
		风险源 n-2			
				
		风险源 n-m			
填表人：				填表日期：	

表 A-4 风险等级调查表

典型风险	风险源	当前状态	假定采取的（基于“正常施工”和“正常运营”）缓解风险措施	风险发生概率级别	风险损失级别			评定概率和损失级别的理由	建议进一步采取的措施
					人员伤亡	经济损失	环境影响		
风险 1	风险源 1-1								
	风险源 1-2								
								
	风险源 1-m								
风险 2	风险源 2-1								
	风险源 2-2								
								
	风险源 2-m								

.....								
风险 n	风 险 源 n-1								
	风 险 源 n-2								
								
	风 险 源 n-m								

注：1. 专家可根据具体工程实际情况，增减主要风险源，评估小组应视情研究是否将其补入风险源列表。

2. 风险等级调查表的编制应保证结构完整、风险源完备、信息简练准确。

3. “典型风险”栏、“风险源”栏、“当前状态”栏、“假定采取的（基于“正常施工”和“正常运营”）缓解风险措施”栏由风险评估小组在专家调查前完整制定。

4. “当前状态”栏应填写与对应风险源相关的建设条件和设计方案信息，例如某座处于设计阶段的桥梁，评估其钢桥面疲劳破坏风险，“当前状态”栏应根据设计、专题研究、试验资料，填入工程设计方案中与该风险源有关的荷载参数、构造细节、桥梁建设条件等，该信息宜具体、详尽，涉及设计方案中对该风险有影响的详细技术缺陷。

5. “假定采取的（基于“正常施工”和“正常运营”）缓解风险措施”栏应填写与对应风险源相关的施工技术和运营管理信息，例如某座设计阶段桥梁的钢桥面疲劳破坏风险，此处可填写：精密工厂加工、工地焊接减少应力集中、治理超载、加强巡检。该信息宜概括而简练，不涉及精密工程加工、工地焊接、治理和巡检细节。

6. “风险发生概率级别”栏、“风险损失级别”栏、“评定概率和损失级别的理由”栏、“建议进一步采取的措施”栏由专家填写完成。

7. 当专家已判定并填写某一风险源的“风险发生概率级别”栏、“风险损失级别”栏相关内容时，则必须填写“评定概率和损失级别的理由”栏和“建议进一步采取的措施”栏。

附录 B 专家调查法

专家调查法的一般步骤为：

（1）编制专家调查表

专家调查表的编制从结构上应包括六部分：标题、说明语、风险发生概率等级与判断标准、风险损失等级与判断标准、风险等级调查表、项目基础资料。

说明语为本次专家调查的解释性内容，应包括目的、指导提示性语言、相关要求等。

风险发生概率等级与判断标准、风险损失等级与判断标准可参见 3.1 节、3.2 节。

风险等级调查表可参见附录 A 表 A-4 的格式。

参与填写风险等级调查表的专家宜选择：

- ① 了解该工程建设情况的国内外桥梁工程资深专家，不宜选择直接参与工程的项目法人（业主）单位、设计单位、咨询单位、施工单位、监理单位、养护管理单位的专家。
- ② 评估小组内部具有丰富风险评估经验的专家。

项目基础资料应简要提供与工程方案相关的信息。

（2）选择专家

采用专家调查法时，专家人数应有合理的规模。专家的人数取决于项目的特点、规模、复杂程度和风险的性质而定，一般不宜少于 10 人。

专家的选择，宜做到评估小组内专家和行业内专家协调平衡。

（3）风险等级调查表填写

风险等级调查表的填写可通过现场会议、寄发调查表等方式完成。

专家填写风险等级调查表时，可从风险等级调查表中“典型风险”栏、“风险源”栏、“当前状态”栏、“假定采取的（基于“正常施工”和“正常运营”）缓解风险措施”栏及专家调查表的“项目基础资料”部分获取有关基本信息，也可由评估小组直接介绍相关信息。

当专家意见比较分散时，应再次征询意见，待专家重新考虑后再次提出自己判定风险发生概率和风险损失等级的理由，调整等级判定结果。

（4）整理、统计调查表。

在风险等级调查表集中回收完成后，应对调查表进行逐份检查，剔除不合格的调查表，然后将合格调查表统一编号，以便于调查数据的统计。

对某一项风险的发生概率和相应风险损失，应统计所有合格表格对该项的判定值，按照加权平均的方式进行计算。当权值不易判定时，可按权值为 1 处理。

附录 C 风险发生概率和风险损失量化方法

(1) 概率分析法

该方法用于风险分析及风险估测，概率分析方法包括蒙特卡洛等多种方法。

此类方法是根据有限的实际统计资料，利用概率论和数理统计方法求解风险发生概率，以此来衡量风险水平高低的计算方法，一般步骤为：

①确定评估对象的数学模型。

②收集随机变量(如风荷载、车辆荷载、地震荷载等)的试验、观测资料，进行统计分析，得出各随机变量的统计量（均值、标准差和分布类型）。

③计算风险概率。

该方法能准确、有效地对风险进行定量评估，但需要建立评估目标的数学模型，并确定各参数变量的概率分布规律，比较复杂，需要计算机编程辅助分析。

(2) 层次分析法

该方法用于风险辨识及风险概率、损失的估测。

层次分析法是按照一定的规律把决策过程层次化、数量化，是一种对多方案或多目标进行决策的方法，一般步骤为：

①构造因素和子因素的判断矩阵。

②构造两两比较判断矩阵，从层次结构的第二层开始，对于从属于（或影响到）上一层某个因素的同层诸因素，用成对比较法和比较尺度构造成对比较矩阵，直至最下层。

③针对某一标准，计算各风险因素的权重，对于每一个成对比较矩阵，计算最大特征根及对应特征向量，特征向量即为该比较矩阵中各因素权重值。

④计算当前一层风险相对总目标的排序权重。

⑤进行一致性检验。

该方法可以有效地对影响评估目标的风险因素进行定量分析，并比较各因素之间权重大小，因此，该方法可对已知风险源进行定量分析。

（3）事故树法

该方法用于风险辨识及风险概率、损失的估测。

事故树分析法起源于故障树分析法，不仅能分析出事故的直接原因，而且能深入地揭示出事故的潜在原因，用它描述事故的因果关系直观明了，思路清晰，逻辑性强，既可定性分析，又可定量分析。该方法可确定每一个层次的发生概率和风险源、风险事件的重要性排序，一般步骤为：

①调查分析风险事件。要求在过去类似工程案例的基础上，分析可能发生的所有风险事件。

②确定顶上事件。所谓顶上事件，就是所要分析的对象事件。顶上事件可以为单一风险事件，也可以为总体风险。

③调查与事件有关的所有原因事件和各种风险因素。

④画出事故树。根据上述资料，从顶上事件起进行演绎分析，一级一级地找出所有直接原因事件，直到所要分析的深度，按照其逻辑关系，画出事故树。

⑤定性分析。根据事故树结构进行简化，求出最小割集和最小径集，确定各基本事件的结构重要度排序。

⑥计算顶上事件发生概率。首先根据所调查的情况和资料，确定所有原因事件的发生概率，并标在事故树上。根据这些基本数据，求出顶上事件(事故)发生概率。

该方法能对各种风险进行辨识和估测，不仅能分析出事故的直接原因，而且能深入地揭示出事故的潜在原因。用它描述事故的因果关系直观、明了，思路清晰，逻辑性强，可完成风险的定性、定量分析。

（4）模糊综合评估法

用于风险的概率和损失估测。

模糊综合评估法是采用模糊理论和最大隶属度原则对多因素系统进行评价的一种方法，一般步骤为：

①对评估项目进行综合分析，建立风险事件的评价指标体系。

②建立风险事件等级评估矩阵。

③确定各风险因素的权重。

④进行单因素或者多因素综合评估，得到风险评估矩阵。

⑤利用最大隶属度原则，确定风险等级。

该方法可以通过计算得出目标风险的量化指标，但计算较复杂，难度较大。

附录 D 评估报告格式

(1) 封面

封面示例见图 D-1。

(2) 扉页一

① 扉页一应署明：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 D-2。

(3) 扉页三

评估小组人员名单和职称。

(4) 概述

(5) 目录

(6) 正文

(7) 附件

<p>评估项目名称（二号宋体）</p> <p>XX 阶段（二号黑体）</p> <p>安全风险评估报告（一号黑体加粗）</p> <p>评估报告完成日期（三号宋体加粗）</p>

图 D-1 评估报告封面示例

注：“XX 阶段”应根据评估阶段填写为：初步设计阶段、施工图设计阶段。

<p>评估项目名称（三号宋体）</p> <p>XX 阶段（三号宋体）</p> <p>安全风险评估报告（二号宋体加粗）</p> <p>编制单位：（四号宋体加粗）</p> <p>评估小组负责人：（四号宋体加粗）</p> <p>日期：（四号宋体加粗）</p>
--

图 D-2 扉页一示例

注：编制单位应加盖公章。评估小组负责人应亲笔签名。