

地铁及地下工程建设风险管理指南

Guideline of risk management for construction of subway and
underground works

批准部门：中华人民共和国建设部

中国建筑工业出版社

2007 北京

关于印发《地铁及地下工程建设风险管理指南》（试行）的通知
建质〔2007〕254号

各省、自治区建设厅，直辖市建委，山东、江苏省建管局，国务院各有关部门，新疆生产建设兵团建设局，有关中央企业（总公司）：

为了规范我国地铁及地下工程建设风险管理工作，提高工程建设的安全、质量水平，最大限度减少因安全事故引发的人员伤亡、经济损失和环境影响，我部委托中国土木工程学会等单位编制了《地铁及地下工程建设风险管理指南》，并经有关方面专家审查论证，现颁发试行。试行中的情况、问题和建议请告我部质量安全司（电话：58933041，传真：58934464）。

附件：《地铁及地下工程建设风险管理指南》（试行）

中华人民共和国建设部

二〇〇七年十一月五日

地铁及地下工程建设风险管理指南

Guideline of risk management for construction of subway and underground works

委托单位： 建设部工程质量安全监督与行业发展司

主编单位： 中国土木工程学会

同济大学

参编单位： 上海城建集团

北京城建设计研究总院有限公司

中铁隧道集团

北京市轨道交通建设管理有限公司

北京城建集团

中国建筑科学研究院

北京城建科技促进中心

评审专家组名单

组长：

王梦恕 中国工程院 院士

副组长：

施仲衡 中国工程院 院士

成员：

徐波 北京 2008 奥运工程指挥部 副指挥

张梅 铁道部工程管理中心主 任

郭陕云 中国土木工程学会隧道及地下工程分会 理事长

陈绍章 广州市地下铁道总公司 总工程师

杨瑾峰 建设部标准定额司标准规范处 处长

周文波 上海隧道工程股份有限公司 总经理

编制组名单

主编：

张雁 中国土木工程学会 秘书长、研究员

黄宏伟 同济大学地下建筑与工程系 教授

成员：

万姜林 中铁隧道集团 副总工程师、教授级高工

王良 北京城建集团总承包部 总工、教授级高工

王占生 北京市轨道交通建设管理有限公司 博士

白云 上海城建集团 总工程师、教授级高工

李丹 中国土木工程学会学术部 副主任、工程师

李军 中国建筑科学研究院科技处 副处长、高工

李礼平 建设部工程质量安全监督与行业发展司 处长

吴竟军 北京城建集团 总工程师、高工

罗富荣 北京市轨道交通建设管理有限公司 副总经理、高工

杨秀仁 北京城建设计研究总院有限公司 总工程师、教授级高工

赵宏彦 建设部工程质量安全监督与行业发展司 处长、高工

张凌 中国土木工程学会学术部 主任、高工

张成满 北京市轨道交通建设管理有限公司 高工

周与诚 北京城建科技促进中心 秘书长、高工

胡群芳 同济大学上海防灾救灾研究所 讲师、博士

顾宇新 建设部工程质量安全监督与行业发展司 副处长

1 总则

1.1 为了规范我国地铁及地下工程建设风险管理，做到有效控制工程建设风险，减少各类风险事故的发生，降低工程经济损失、人员伤亡和环境影响，保障工程建设的安全、质量与进度，达到以较低成本获得最大安全的目标，特制定本风险管理指南（以下简称“指南”）。

1.2 本指南适用于城市轨道交通工程涉及的地铁及地下工程建设期的技术风险管理，其他城市地下工程的改、扩建也可参照本指南执行。

1.3 本指南服务于政府和建设单位实施地铁及地下工程建设风险管理，并为从事工程风险管理和工程建设的管理人员与技术人员提供指导和参考。

1.4 地铁及地下工程建设过程中，涉及政府部门和工程建设参与各方（包括：建设单位、勘察单位、咨询单位、设计单位、施工单位、监理单位、监测单位等），应根据工程特点和要求实施工程风险管理，同时，必须符合政府及相关上级建设主管部门规定的投资、安全、质量要求与管理职责。工程建设参与各方中，建设单位主要承担工程风险管理的监管与决策责任，其他参与各方承担合同中约定的风险管理实施责任。

1.5 地铁及地下工程风险管理除应遵守本管理指南规定外，尚应符合现行国家、行业和地方相关法律、法规、标准、规范和规程。

2 术语

2.1 事故 hazard

可能造成工程发生经济损失、人员伤亡、环境影响、工期延误或耐久性降低等不利事件。

2.2 损失 loss

工程建设中任何潜在的或外在的负面影响或不利的后果，包括经济损失、人员伤亡、环境影响或其他等。

2.3 风险 risk

事故发生的可能性及其损失的组合。

2.4 孕险环境 risk surroundings

潜在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。

2.5 致险因子 risk factors

导致工程风险发生的直接因素，如各种施工方案、施工技术、施工设备、施工操作及人员活动等。

2.6 承险体 elements at risk

遭受或承担风险损失的具体对象，如人员、机械设备、工程结构和周围的建（构）筑物[包括建筑物、道路、管线及其他建（构）筑物等]及生态环境等。

2.7 风险管理 risk management

包含风险界定、风险辨识、风险分析、风险评价与风险控制的全过程。

2.8 风险界定 risk definition

建立工程风险管理分级标准、划分风险评估单元的过程。

2.9 风险辨识 risk identification

调查工程建设中潜在的风险类型、事故发生的地点、时间及原因，并进行系统的筛选、分类的过程。

2.10 风险估计 risk estimation

对工程风险发生的可能性以及不良后果进行数量估算的过程。

2.11 风险分析 risk analysis

包括风险辨识和风险估计，即认识风险发生的本质，采用定性或定量的方法表示风险结果的过程。

2.12 风险评价 risk evaluation

根据制定的工程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的过程。

2.13 风险接受准则 risk acceptance criteria

工程建设参与各方对不同等级风险的可接受或可容忍的水平，可采用定性或定量的分级指标标准描述。

2.14 风险评估 risk assessment

包括风险辨识、风险分析和风险评价，对工程中存在的各种风险及其影响程度进行综合分析、对比排序的过程。

2.15 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。

2.16 风险处置 risk treatment

风险规避的措施或方案，一般包括：风险消除、风险降低、风险转移和风险自留四种方式。

2.17 风险记录 risk register

对已识别的风险实施跟踪管理记录的过程，记录内容包括：风险名称、风险状态、风险控制措施及其处置效果的描述等。

2.18 工程自身 project

指工程的自身结构及附属工程设施。

2.19 第三方 third party

不参与工程建设，受到工程活动影响的周边区域环境、社会群体及人员等。

资风险及对第三方风险等。

按照风险管理层次关系与技术影响因素可分为总体风险和具体风险。具体包括。

(1) 总体风险 社会、政治和金融影响,合同纠纷,企业破产和体制问题,政府干涉,第三方干扰,员工冲突,自然灾害(台风、暴雨或雷击等)等;

(2) 具体风险 工程地质勘察有误或失真,设计失误或漏项,执行的规范或设计存在问题,工程施工方案有误,施工设备故障,人员决策或操作失误,施工质量不能满足标准要求,施工工期延误等。

3.3 工程风险管理

工程风险管理指工程建设参与各方(包括建设单位、勘察单位、咨询单位、设计单位、施工单位、监理单位、监测单位等)通过风险界定、风险辨识、风险估计、风险评价和风险决策,优化组合各种风险管理技术,对工程实施有效风险控制和妥善的跟踪处理的全过程。

3.3.1 目标

在安全可靠、经济合理、技术可行的前提下,把地铁及地下工程期中潜在的各类风险降到尽可能低的水平,以获得最大程度的建设安全与优质的工程质量,控制工程建设投资,降低经济损失或人员伤亡,保障工程建设工期,提高风险督理效益。

3.3.2 范围

- (1) 对工程自身可能造成经济损失以及意外损坏的风险;
- (2) 因工程的工期延长或提前而需承受的风险;
- (3) 工程建设相关人员的安全和健康的风险,包括个人伤害直至死亡;
- (4) 第三方的财产损失风险,主要针对邻近既有各类建(构)筑物,尤其注意历史保护性建筑物、地表和地下基础设施的施工风险;
- (5) 第三方的人员安全和健康等风险;
- (6) 周围区域环境风险,包括对土地、水资源、动植物的破坏,以及对空气的污染、电磁辐射、噪声及振动等。

3.3.3 策略

风险管理策略的制定应使工程建设参与各方在实施工程风险管理过程中目标一致。具体包括:

- (1) 制订工程建设各阶段的风险管理目标;
- (2) 明确工程建设参与各方风险控制责任;
- (3) 建立工程风险管理方案的实施、监控、完善与评审制度和程序;
- (4) 建立工程风险管理的沟通与协调机制;
- (5) 建立科学的、系统的和动态的工程风险管理方案,制定工程风险预防、预警和预案系统,实时更新工程建设信息,动态跟踪风险发展状态,及时实施风险控制措施。

3.3.4 风险管理流程

工程风险管理内推不同建设阶段分步实施,具体风险管理流程包括:风险界定、风险辨识、风险估计、风险评价和风险控制,具体见图 3-3。

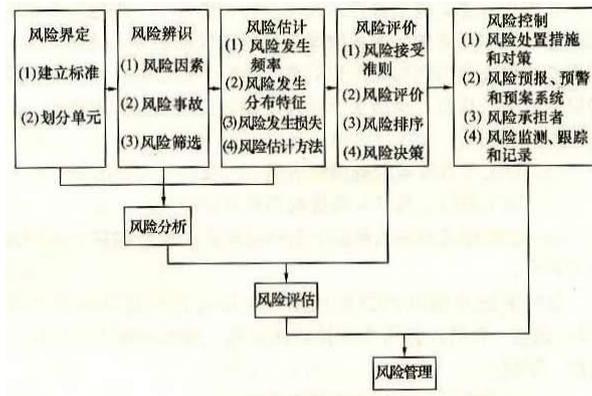


图 3-3 工程风险管理流程

3.3.5 风险处置对策

从工程风险源入手完成风险辨识与评估后，根据项目建设的总体目标，以有利于提高对工程风险的控制能力和降低风险潜在损失为原则，分析并选择合理的风险管理处置对策。风险规避有四种方式，可选择一种或多种实施风险控制，具体对策包括：

(1) 风险消除

不让工程风险发生，将工程风险发生的概率降低直至到零。

(2) 风险降低

通过采取措施或修改技术方案降低工程风险发生的概率和（或）损失。

(3) 风险转移

依法将工程风险的全部或部分转让或转移给第三方（专业单位），或通过保险等合法方式让第三方承担工程风险。

(4) 风险自留

风险自留的前提是所接受的工险可致的损失比风险消除、风险降低和风险转诊所需费用小。采取风险自留对策时应制定可行的风险应急处置预案，采取必要的安全防护措施等。

3.4 工程风险辨识

风险辨识是工程风险管理的重要内容，是工程风险系统的基础。

3.4.1 风险辨识流程

风险辨识可分为 5 个步骤：确定参与者、收集阅读相关资料及专家咨询、风险识别、风险筛选、编制风险辨识报告，风险辨识的流程见图 3-4。

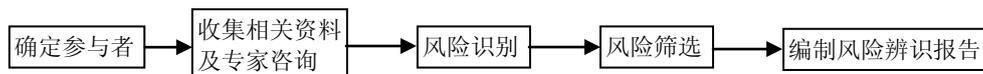


图 3-4 风险辨识流程

3.4.2 确定参与者

地铁及地下工程中风险管理的参与者包括项目建设各方、保险公司及其他有关人员等，根据建设的不同阶段和风险群识的具体要求，由建设单位确定参与工程风险辨识的人员。

工程风险辨识人员应熟知工程的用息，了解工程风险管理的目标 and 需求，具备地铁及地下工程建设经验。

3.4.3 收集相关资料及专家咨询

工程风险辨识时，应广泛收集工程相关资料，并向有丰富经验的专家咨询。其中，需收集的主要资料包括：

- (1) 工程周边水文、地质、自然环境以及人文、社会区域环境等资料；
- (2) 类似工程的施工经验和风险事故或相关数据；
- (3) 工程规划、可行性分析和工程地质勘察等资料；

- (4) 工程周边的建（构）筑物（合地下管线、民防设施、道路等）资料；
- (5) 工程邻近已有地铁及地下工程等资料；
- (6) 工程的设计、施工方案或其他相关文件；
- (7) 可能存在业务联系或影响的相关部门与第三方等信息；
- (8) 其他相关资料。

34.4 风险识别

风险识别主要包括以下三个方面：

(1) 风险因素分析

系统分析工程建设基本资料，对工程建设的目标、阶段、活动和周边环境中的各种风险因素进行分析。

(2) 建立初步识别清单

利用风险调研表或检查表建立初步风险清单，清单中明确列出客观存在的和潜在的各种风险，包括影响工程安全、质量、进度、费用、环境、信誉等方面的各种风险。

(3) 确定风险事故

根据初步风险清单中整理的风险因素，分析与其相关联的各种潜在的损失或影响明确工程风险事故及其发生原因。

3.4.5 风险筛选

根据风险识别的结果对工程风险进行二次识别，整理并筛选与工程活动直接相关的各项风险，删除其中与工程活动无关或影响极小的风险因素及事故，并进行进一步识别分析，确定是否有遗漏的风险点。

3.4.6 编制风险辨识报告

在工程风险识别和筛选的基础上，根据建设各方的具体要求，结合工程特点和需要，以表单形式给出详细的风险点，列出所有工程风险清单。

3.5 工程风险分析方法

风险分析有很多种方法，可分为定性分析方法、定量分析方法和半定量分析方法。其中：

(1) 定性分析方法主要包括专家调查法（包括智暴法 Brainstorming，德尔菲法 Delphi 等）、“如果…怎么办”法(if…then)、失效模式及后果分析法（Failure Mode and Effect Analysis, FMEA）等；

(2) 定量分析方法包括：模糊综合评判法、层次分析法（Analytic Hierarchy Process, AHP）、蒙特卡罗模拟法（Monte-Carlo）、控制区间记忆模型（Controlled Interval and Memory Model, CIM）、神经网络方法（Neutral Network）、等风险图法等；

(3) 半定量分析方法主要包括：事故树法（或称故障树法，Fault Tree Analysis, FTA）、事件树法（Event Tree Analysis, ETA）、影响图方法、原因—结果分析法、风险评价矩阵法，以及各类综合改进方法，如：专家信心指数法、模糊层次综合评估方法、模糊事故树分析法、模糊影响图法等综合评估方法。

在进行风险分析时，可根据工程建设的具体内容，考虑风险发生的特点和工程施工内容来选取。不同风险分析方法的特点及其适用性可参见附录 I。

3.6 工程风险管理责任分担原则

工程风险管理责任分担应遵循以下原则：

- (1) 工程建设参与各方的责、权、利平等、互利与均衡；
- (2) 责、权、利的分配应与工程建设目标和特点相匹配；
- (3) 从工程整体效益出发，制定的责、权、利应最大限度地调动工程建设参与各方的积极性；
- (4) 建设单位承担工程风险管理的监管与决策责任。不同工程建设阶段中，工程建设执行

方负责风险管理的实施，对工程建设期的风险承担合同规定的相应责任。

3.7 工程建设期不同阶段的风险管理

地铁及地下工程建设期的风险管理应贯彻于整个工程建设全过程，结合我国地铁及地下工程建设实际情况，一般按照工程进度可划分为阶段。包括：规划阶段、工程可行性研究（工可）阶段、设计阶段、招投标阶段和施工阶段。考虑工程建设期内不同阶段的建设内容，从工程建设上与各方的角度出发，工程建设期内不同阶段的风险管理内容见表 3-1。

表 3-1 工程建设期内不同阶段的风险管理内容

建设阶段划分	风险管理内容
工程规划阶段	1、规划方案的风险分析 2、工程重大风险源辨识 3、工程投融资风险分析
工程可行性研究（工可）阶段	1、工程风险管理等级标准及对策 2、工程可行性方案风险辨识与评估
工程设计阶段（包括：工程详勘与环境调查、初步设计和施工图设计）	1、工程设计方案与施工方法的风险辨识与评估 2、重大风险源专项风险控制
工程施工招投标阶段	1、招标文件的风险管理要点 2、投标文件的风险管理要点 3、合同签订的风险管理要点
工程施工阶段	1、施工风险管理专项实施细则 2、建立风险预报、预警、预案体系 3、风险控制措施的实施与记录 4、工程施工风险动态跟踪与监控

针对上述各阶段，地铁及地下工程建设期内的风险管理具体工作流程见图 3-5。

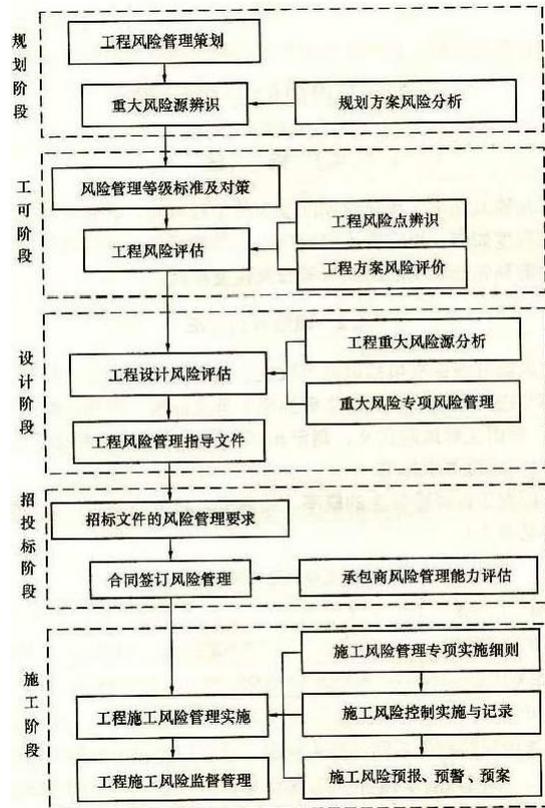


图 3-5 工程建设期不同阶段风险管理流程

4 工程风险分级标准

4.1 概述

地铁及地下工程建设期间发生的工程风险，是否可接受以及接受程度如何，决定着不同的风险控制对策及处置措施，风险管理中需预先制定明确的风险等级及接受准则。

4.2 风险分级标准

风险分级标准包括风险事故发生概率的等级标准（简称风险概率等级）和风险事故发生后的损失等级标准（简称风险损失等级），根据工程风险定义，制定相应风险的分级标准和接受准则。

4.2.1 风险等级标准

根据工程风险发生的概率（或频率）可分为五级，具体等级标准见表 4-1。

表 4-1 工程风险概率等级标准

等级	A	B	C	D	E
事故描述	不可能	很少发生	偶尔发生	可能发生	频繁
区间概率	$P < 0.01\%$	$0.01\% \leq P < 0.1\%$	$0.1\% \leq P < 1\%$	$1\% \leq P < 10\%$	$P \geq 10\%$

注：P 为风险事故发生概率。

考虑风险损失不同的严重程度，建立风险损失的等级标准见表 4-2，不同风险承险体（工程自身、第三方或周边区域环境）的定量风险损失等级标准具体见第 4.3~4.6 节内容。

表 4-2 工程风险损失等级标准

等级	1	2	3	4	5
描述	可忽略的	需考虑的	严重的	非常严重的	灾难性的

4.2.2 风险评价矩阵

根据不同的风险概率等级和风险损失等级，建立风险分级评价矩阵（简称风险评价矩阵）。风险评价矩阵见表 4-3。

表 4-3 风险评价矩阵

风险		风险损失				
		1.可忽略	2.需考虑	3.严重	4.非常严重	5.灾难性
发生概率	A: $P < 0.01\%$	一级	一级	二级	三级	四级
	B: $0.01\% \leq P < 0.1\%$	一级	二级	三级	三级	四级
	C: $0.1\% \leq P < 1\%$	一级	二级	三级	四级	五级
	D: $1\% \leq P < 10\%$	二级	三级	四级	四级	五级
	E: $P \geq 10\%$	二级	三级	四级	五级	五级

4.2.3 风险接受准则

不同等级的风险而采用不同的风险控制对策与处置措施，结合风险评价矩阵，不同等级风险的接受准则和相应的控制对策见表 4-4。

表 4-4 风险接受准则

等级	接受准则	控制方案	应对部门
一级	可忽略的	日常管理和审视	工程建设参与各方
二级	可容许的	需注意，加强日常管理审视	
三级	可接受的	引起重视，需防范、监控措施	
四级	不可接受的	需决策、制定控制、预警措施	政府部门及工程建设参与各方
五级	拒绝接受的	立即停止，整改、规避或启动应急预案	

4.3 工程自身损失等级标准

工程自身风险损失包括：直接经济损失、人员伤亡和工期损失。

4.3.1 直接经济损失

直接经济损失是指工程风险事故发生后所造成工程项目发生的各种直接费用总称,包括工程建设的直接费用及事故修复所需的费用等,直接经济损失等级的定义采用直接经济损失费用总量表示,具体等级标准见表 4-5。

表 4-5 直接经济损失等级标准

损失等级	1	2	3	4	5
经济损失(万元)	EL<500	500≤EL<1000	1000≤EL<5000	5000≤EL<10000	EL≥10000

注: EL=经济损失;参考国务院《生产安全事故报告和调查处理条例》(2007-06-01)。

4.3.2 人员伤亡

人员伤亡是指与工程直接相关的各类建设人员,在参与施工过程中所发生的伤亡,根据人员伤亡的类别和严重程度,具体等级标准见表 4-6。

表 4-6 人员伤亡等级标准

损失等级	1	2	3	4	5
人员伤亡(人)	SI<5	5≤SI<10 或 F<3	10≤SI<50 或 3≤F<10	50≤SI<100 或 10≤F<30	SI≥100 或 F≥30

注: SI=重伤人数, F=死亡人数(含失踪);参考国务院《生产安全事故报告和调查处理条例》(2007-06-01)和《企业职工伤亡事故分类标准》(GB6441-86)。

4.3.3 工期损失

工期损失是指工程风险事故引起工程建设延误的时间,针对不同的工程类型和建设工期,采用两种不同单位标准表示,短期工程 I(建设工期两年以内)采用天表示,长期工程 II(建设工期两年以上)采用月表示,具体等级标准见表 4-7。非合理性的工期提前所引起的工程损失也可参考此标准执行。

表 4-7 工期损失等级标准

损失等级	1	2	3	4	5
延误时间 I(天)	T<10	10≤T<30	30≤T<60	60≤T<90	T≥90
延误时间 II(月)	T<1	1≤T<3	3≤T<6	6≤T<12	T≥12

注: T=延误时间(/天, /月, 每月按 30 天计)。

4.4 第三方损失等级标准

第三方损失是指工程施工引起周边的建(构)筑物[包括建筑物、道路、管线及其他建(构)筑物等]发生破坏或影响其正常使用功的所造成的经济损失,包括可能对非参与工程建设人员的意外伤害。

4.4.1 经济损失

经济损失是指引起的直接经济损失费用和事故修复所需的各种费用,采用直接经济损失费用表示,具体等难见表 4-8。

表 4-8 第三方经济损失等级标准

损失等级	1	2	3	4	5
经济损失(万元)	EL≤50	50<EL≤100	100<EL≤500	500<EL≤1000	EL≥1000

注: EL=经济损失。

4.4.2 人员伤亡

考虑不同的人员伤亡分类与严重程度,具体等级标准见表 4-9。

表 4-9 人员伤亡等级标准

损失等级	1	2	3	4	5
伤亡数(人)	MI<20	MI≥20 或 SI<5	5≤SI<10	F<3 或 SI≥10	F≥3

注: MI=轻伤人数, SI=重伤人数, F=死亡人数(含失踪)

4.5 周边区域环境影响损失等级标准

工程施工引起的周边区域环境影响包括：自然环境污染与社会转移安置等，具体等级标准见表 4-10。

表 4-10 周边区域环境影响损失等级标准

等级	损失严重程度描述
1	涉及范围很小，无群体性影响，需紧急转移安置小于 50 人
2	涉及范围较小，一般群体性影响，需紧急转移安置 50~100 人
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 100~500 人
4	涉及范围很大，区域生态功能部分丧失，需紧急转移安置 500~1000 人
5	涉及范围非常大，区域内周边生态功能严重丧失，紧急转移安置 1000 人以上，正常的经济、社会活动受到严重影响

注：参考《国家处置城市地铁事故灾难应急预案》（2006）、《建设项目环境保护管理条例》（1998-11-18）和《中华人民共和国环境影响评价法》（2003-9-1）。

4.6 社会信誉损失等级标准

任何灾害或事故的发生都会引起社会负面压力，严重影响公众和政府对于工程建设的良好意愿，从而导致工程建设参与单位发生社会信誉损失。社会舆论与公众评价对地铁及地下工程的建设进展影响巨大，社会信誉损失是建设参与单位潜在风险损失的重要部分。社会信誉损失与不同风险事故的后果密切相关。特别是如造成第三方损失或对周边区域环境造成损害，将会引起严重的社会信誉损失。社会信誉损失具体等级标准见表 4-11。

表 4-11 社会信誉损失等级标准

等级	1	2	3	4	5
描述	可忽略的	需考虑的	较严重的	严重的	恶劣的

5 工程规划阶段风险管理

工程规划阶段包括：线路规划方案拟定与专项审会、工程初步勘察与环境调查等。对此阶段进行有效的风险管理，对地铁及地下工程的设计、施工及运营具有重要意义。

建议由政府部门或建设单位委托相关工程风险管理咨询单位协助进行规划阶段的风险管理。

5.1 风险管理目标

确保工程规划方案与城市总体规划和地理环境条件相一致，最大程度地降低因规划不当而导致的工程没什、施工及运营风险。

5.2 风险管理内容

工程阶段的风险管理应重点针对线路方案、工程选址、工程投资、环境影响等进行分析，对规划中潜在的重大风险可考虑采用修改线路方案、重新拟定建设技术方案等措施进行风险控制。主要包括：

- (1) 规划方案与城市轨道交通网络协调性风险分析；
- (2) 交通及客流量预测风险分析；
- (3) 线路选择与工程选址风险分析；
- (4) 场地水文地质初出与环境调查风险分析；
- (5) 工程重大风险源分析；
- (6) 工程投融资可行性风险分析；
- (7) 不同工程规划方案风险综合评价与控制措施。

5.3 工程重大风险源

地铁及地下工程的重大风险源主要是指在工程方案规划设计阶段中，利用工程初勘和环境调查等技术，辨识工程潜在的对工程自身或周边区域环境产生重大风险影响的关键性工程，具体包括：

- (1) 跨江河湖海的工程；
- (2) 邻近或穿越既有轨道线路（含铁路）的工程；
- (3) 邻近或穿越既有建（构）筑物、道路、重要市政管线的工程；
- (4) 邻近或穿越有重要保护性的建（构）筑物或水利设施等工程；
- (5) 重大明挖或暗挖工程；
- (6) 需特殊设计或采用新工艺、新设备或新材料的工程。

6 工程可行性研究阶段风险管理

工程可行性研究（工可）阶段包括：工程可行性方案拟定与施工方法适用性分析等。建议由建设相关单位委托专业的风险咨询单位对工程可行性研究阶段进行风险管理。

6.1 风险管理目标

通过辨识和评估工程建设风险，优化可行性方案，但进和降低由于线位、站位和施工方法一规划方案不合理所带来的风险，为工程设计、施工及保险做好前期准备，初步制定工程风险控制措施，完成工程可行性研究阶段风险评估。

6.2 风险管理内容

工程可行性研究阶段的风险管理内容包括：

- （1）建立工程的风险管理大纲。确定工程风险管理具体要求；
- （2）工程风险评估单元划分；
- （3）工程风险分级标准和接受准则；
- （4）对重要、特殊的工程结构设计和施工方案进行风险分析；
- （5）工程可行性方案风险综合比选，确定总体方案设计，初步制定风险处置对策。

6.3 工程可行性研究阶段风险辨识

潜在的主要风险源或风险包括：

- （1）自然灾害风险（暴雨、洪水、泥石流、飓风、地震等）；
- （2）水文地质与工程地质条件；
- （3）周边环境影响（包括第三方损失及周边区域环境影响）；
- （4）施工方法与施工工期；
- （5）项目投资筹备及投资回报；
- （6）施工场地动、拆迁引发的各类工期、投资及社会影响风险；
- （7）地铁及地下工程运营风险对其周边区域环境影响风险；
- （8）重大关键性节点工程风险。

6.4 施工方法选择风险分析

在工程可行性研究阶段，应对可能采取的工程施工方法加以对比选择与风险分析。目前，地铁及地下工程的施工方法主要分为三大类：明挖法、暗挖法、明暗结合开挖法。针对建设工程类型和特点，可同时有多种施工方法供选择。施工方法选择不当可能会发生重大事故，引发严重的安全、经济、环境和工期风险。

综合考虑地铁及地下工程的建设工程规模、水文地质条件、邻近地下及地面环境等因素，从施工方法的可实现性、安全性、适应性、技术性和经济性，工期进度及对周围环境影响等因素进行综合分析，选择合适的施工方法，以期最大程度地控制和减少风险，避免因施工方法不适合所引起的工程风险。

6.5 工程可行性研究阶段风险评估

工程可行性研究阶段的风险评估应针对工程建设期内的所有风险。并考虑工程运营阶段风险。以城市轨道交通工程为例，风险评估报告主要内容如下：

6.5.1 概述

- （1）工程概况；
- （2）采用的风险评估方法及标准；
- （3）编制依据。

6.5.2 工程总体风险评估

- （1）地质勘察风险；
- （2）线路及车站选址风险；
- （3）招投标风险；

- (4) 工程投资风险;
- (5) 建设工期风险;
- (6) 社会影响风险;
- (7) 地质灾害风险;
- (8) 动、拆迁风险;
- (9) 管线综合风险;
- (10) 交通组织风险;
- (11) 其他风险。

6.5.3 土建结构施工风险评估

(1) 高架车站（包括地面车站）

- a) 基础施工风险分析;
- b) 上部结构施工风险分析。

(2) 高架区间

- a) 基础施工风险分析;
- b) 上部结构施工风险分析。

(3) 地面区间

- a) 地基加固施工风险分析;
- b) 路堤施工风险分析。

(4) 地下车站（明挖车站，采用暗挖或盖挖施工的车站可参考拟定）

- a) 围护结构施工风险分析;
- b) 基坑降水风险分析;
- c) 基坑开挖施工风险分析;
- d) 结构施工风险分析。

(5) 地下区间，应根据不同施工方法来考虑（以盾构法和矿山法为例，其他施工方法可参考拟定）

采用盾构方法施工，主要内容为：

- a) 盾构机选型与地层适应性风险分析;
- b) 盾构制作、运输、组装调试和交货期风险分析;
- c) 主要施工设备（盾构机和盾尾注浆设备等）风险分析;
- d) 盾构进出洞施工风险分析（包括地基加固风险分析）;
- e) 盾构推进阶段的施工风险分析;
- f) 管片生产、运输和拼装风险分析;
- g) 联络通道施工风险分析。

采用矿山法施工，主要内容为：

- a) 矿山法适应性风险分析
- b) 线路不同埋探风险分析
- c) 超前地质预报风险分析;
- d) 施工主要设备风险分析;
- e) 进出洞施工风险分析;
- f) 开挖方案及施工工艺风险分析。
- g) 工作面稳定性风险分析;
- h) 初次支护与衬砌施工风险分析;
- i) 不良地层施工风险分析;
- j) 平行隧道相互施工影响分析;

k) 隧道辅助施工方法风险分析。

(6) 附属工程风险分析 (包括: 通风井、车站出入口和变电站等)。

(7) 重大风险源及关键节点工程风险分析。

6.5.4 机电安装风险评估

(1) 供电系统风险分析;

(2) 通信系统风险分析;

(3) 信号系统风险分析;

(4) 通风和空调系统风险分析;

(5) 给排水、消防系统风险分析;

(6) 防灾、报警与环境控制系统风险分析;

(7) 自动售检票等其他车站设备风险分析;

(8) 轨道及安全门风险分析;

(9) 设备联调风险分析。

6.5.5 人员安全及职业健康风险评估

(1) 人员安全风险分析;

(2) 职业健康风险分析。

6.5.6 工程施工环境影响风险评估

(1) 施工对周边建筑物影响风险分析;

(2) 施工对周边道路及交通影响风险分析;

(3) 施工对周边管线影响风险分析;

(4) 施工对其他地上、地下建(构)筑物的影响风险分析;

(5) 噪声污染风险分析;

(6) 水污染风险分析;

(7) 空气污染风险分析;

(8) 施工渣土污染风险分析;

(9) 生态环境影响风险分析。

6.5.7 工程运营期风险评估

(1) 运营通风及火灾风险分析;

(2) 运营交通事故风险分析;

(3) 运营水灾事故风险分析;

(4) 运营突发事件风险分析;

(5) 运营生态环境影响风险评估 (包括: 噪声、电磁污染、水污染、空气污染和振动等);

(6) 其他运营灾害风险分析 (包括: 地震、暴雨、洪水和恐怖袭击等)。

6.5.8 总体评价

(1) 不同总体设计方案的风险综合比较分析;

(2) 建议的总体设计方案风险分析。

6.5.9 结论和建议

(1) 风险评估结论;

(2) 建议。

7 工程设计阶段风险管理

地铁及地下工程设计阶段包括：工程详勘与环境调查、初步设计和施工图设计。此阶段是工程施工安全的技术基础，是有效降低工程建设技术风险的关键。

建议由建设相关单位委托专业的风险管理咨询单位对工程设计阶段协助进行风险管理。

7.1 工程详勘与环境调查风险管理

工程详勘与环境调查的主要任务是进行地形地貌绘制、工程测量、周边环境调查、工程水文地质勘察及室内岩土力学试验分析等，工程地质勘察与环境调查的主要目的是为工程设计和施工提供必要的基础数据资料。

7.1.1 风险管理目标

通过对工程地质勘察与环境调查报告的过程审查和论证，控制因勘察遗漏、失误或环境调查不准、室内试验方法及参数获取失误等引起的工程设计与施工风险，同时注意避免工程地质勘察施工或环境调查过程中发生的风险。

7.1.2 风险管理内容

工程地质勘察与环境调查风险管理的内容包括：

- (1) 收集工程方案相关资料；审查工程地质勘察与环境调查单位资质、技术管理文件及报告；
- (2) 工程地质勘察方案风险分析，对勘察孔位与数量、钻探与原位测试技术、室内土工试验方法等进行风险分析；
- (3) 工程地质勘察施工风险分析；
- (4) 潜在重大不良水文地质或环境风险分析。

7.1.3 风险管理责任明确

工程地质勘察单位和环境调查单位承担风险管理实施责任；建设单位主要承担组织与协调责任；风险管理咨询单位承担合同中约定的相应咨询责任。

7.2 工程初步设计风险管理

工程初步设计阶段的风险管理应以工援地质勘察与环境调查的风险管理为基础，结合选定的规划线路和建设技术方案，重点针对工程结构的具体设计方案、设计参数及施工工艺与技术，考虑工程建设的投资、安全、工期、环境因素进行风险管理。

7.2.1 风险管理目标

配合工程设计目标和需求，形成符合国家法律、法规和设计规范、条例中要求的安全、可靠、经济、适用和技术先进的设计文件，控制并减少由于设计失误或可施工性差等因资引起的工程功的缺陷、结构损伤及工程事故。同时，通过工程结构设计进一步明确重大风险因素源，对其进行专项初步设计。

7.2.2 风险管理内容

主要考虑工程初步设计中水文地质条件、地层物理力学参数取值、结构设计计算模型的采用等方面存在的的天或失误，对由此可能导致的风险事故进行分析。针对不同的风险等级，建设单位和设计单位可采用调整初步设计方案、补充地质勘探、对新技术进行试验研究等措施规避风险。具体内容包括：

- (1) 收集工程方案相关资料，审查工程设计单位资质，制定工程设计风险管理计划，建立工程设计风险管理体系和技术责任风险管理审查制度；
- (2) 初步设计风险分析单元的划分包括：
 - a) 建筑设计风险分析；
 - b) 结构设计风险分析；
 - c) 给排水设计风险分析；
 - d) 动力与暖通设计风险分析；

- e) 电气、信号与设备监控系统设计风险分析;
- f) 主要设备、新材料或新技术应用风险分析;
- g) 防灾与报警系统风险分析;
- h) 环境保护设计风险分析;
- i) 工程运营风险分析。

(3) 工程方案中潜在的初步设计重大风险分析, 建立设计变更风险管理方法。

7.2.3 风险管理责任明确

工程设计单位承担工程风险管理实施责任, 负责完成工程初步设计。确定工程施工方法和安全专项施工技术; 建设单位主要承担工程初步设计的组织与协调责任, 同时, 与设计单位一起承担工程设计方案决策风险管理责任; 风险管理咨询单位承担合同中约定的相应咨询责任。

7.3 工程施工图设计管理

结合工程初步设计方案, 考虑具体的施工方法及工艺流程, 进一步细化初中, 以保障工程建设施工。施工图设计阶段风险管理的重点是对已辨识的风险制, 以及对由于初步设计审查引起方案变化进行风险评估。

7.3.1 风险管理目标

确保风险源的可靠识别和分级管理, 确保施工图设计方案的具体实施, 采取合理的施工图设计方来对风险进行有效的控制, 对工程中潜在的重大风险进行施工风险专项评估, 提出工程重大风险专项风险管理方案。

7.3.2 风险管理内容

以工程初步设计风险管理内容为基础, 针对建设的关键节点或难点工程进行专项研究, 尤其需注意采用新材料、新工艺、新技术及复杂区域施工的难点单项工程。对用工程施工图设计的具体施工流程、风险控制措施等, 尽量采用量化风险评估方法对工程施工图设计中潜在的风险因素及事故进行专项分析。施工图设计阶段风险管理包括:

- (1) 工程施工风险源的辨识、分级与风险评估;
- (2) 重大风险源的专项分析与控制措施。

7.1.3 风险管理责任明确

工程设计单位承担工程风险管理实施责任, 负责完成工程施工图设计, 确定工程施工方法和安全专项施工技术; 建设单位主要承担工程施工图设计的组织与协调责任, 同时, 与设计单位一起承担工程施工图设计方案决策风险管理责任; 风险管理咨询单位承担合同中约定的相应咨询责任。

8 工程施工招投标阶段风险管理

工程施工招投标阶段风险管理主要包括招、投标文件准备及合同签订风险管理等。

8.1 招标文件风险管理要点

招标文件中的风险管理要点包括：

(1) 在招标文件中，应包含工程施工技术及其他方面的风险管理要求，确定工程建设各方应承担的工程风险管理责任等；

(2) 招标文件应明确说明对投标单位的风险管理实施要求；

(3) 招标文件需包含以下信息；

a) 投标单位在类似工程中进行风险管理的相关信息及其成果；

b) 工程风险管理相关的组织结构与人员安排；

c) 投标单位针对工程施工的风险管理目标概述；

d) 投标单位对工程可能涉及风险的辨识与分析；

e) 投标单位针对工程风险管理提出的措施与建议。

8.2 投标文件风险管理要点

在投标文件中，施工单位的风险管理方案和措施应符合招标文件要求。施工单位风险管理方面的要求包括：

(1) 风险管理的职位安排和人员组织；

(2) 可考虑和预测到的各种风险；

(3) 对工程施工方案的风险评估、风险等级划分和风险控制措施等说明；

(4) 风险管理的日程安排；

(5) 与建设单位的风险管理体系及风险管理小组的协调；

(6) 与其他施工单位风险管理方面的协调；

(7) 与其他部门（如政府部门、质量管理、环境管理部门等）的协调；

(8) 对分包商活动的工程风险控制具体要求和管理制度。

8.3 合同签订风险管理要点

(1) 合同条款的完整性分析；

(2) 以合同为依据，对可能的重点或难点技术方案须明确是否需要二次风险种估；

(3) 工程投资费用及时到位风险；

(4) 工程工期提前或延误风险；

(5) 重要设备（如盾构机）的采购与供货风险；

(6) 对于未辨识的风险，合同中应包括与之相关的风险管理责任，具体实施或执行方案可通过双方商定，在合同条款中补充说明。

9 工程施工阶段风险管理

地铁及地下工程施工技术复杂、项目参与人员多，施工活动可能对工程自身、第三方和周边区域环境产生各种不利影响。工程施工阶段风险管理包括：施工准备期风险管理和施工过程中风险管理。

建议由建设单位或施工单位委托专业的风险管理咨询单位协助实施施工现场风险查勘。

9.1 建设单位风险管理

基于签订的工程合同，建设单位领导并监督施工现场的风险管理，具体工作包括：

(1) 建设单位有责任参与到风险管理全过程中，督促施工单位开展工程风险管理，检查施工单位的风险管理进程。

(2) 根据工程项目及风险等级进行分级管理，建立详细的工程质量管理体系和审查制度，以确保风险管理措施得到切实有效的执行。

(3) 建设单位的风险管理工作有：

a) 建议工程风险管理小组，组织工程建设参与各方共同建立风险管理体系；

b) 开展工程风险管理培训工作，参与工程施工单位的风险管理培训；

c) 负责协调、组织和布置工程建设各方开展工程风险管理工作，按照合同规定及时支付工程风险管理费用；

d) 建立工程现场风险监控动态管理台账，定期对施工单位的风险管理状况进行督查记录；

e) 负责对施工单位的风险管理方案和措施进行审定，其中重大风险的控制须经建设单位评审后方可实施；

f) 定期向政府主管部门报告风险管理情况，配合政府主管单位对重要管理活动实施同步监督管理。

9.2 工程风险管理小组

在施工阶段，建议成立工程风险管理小组。工程风险管理小组是由建设单位、咨询单位、设计单位、施工单位、监理单位、监测单位等工程参与各方负责人代表组成的工程现场风险管理最高机构，由建设单位负责领导，实行“分级管理、分工负责、集体决策”制，在现场有专职人员开展工作。主要职能包括：

(1) 负责组织工程参与各方开展施工风险管理，负责现场风险管理的沟通与协调；

(2) 督促与监督工程参与各方风险管理落实情况，配合工程参与各方实现工程动态风险；

(3) 协助工程参与各方进行工程风险决策与控制，及时了解风险现状，发现风险事故征兆；

(4) 作为风险管理的中枢，一旦发生风险则组织启动相应的风险应急预案。

9.3 施工风险管理实施

9.3.1 基本原则

工程施工阶段是工程风险管理过程的核心，也是工程风险能否得到有效控制的关键。随着工程进展，风险在不断变化，各项风险的发生概率及其损失也在不断改变。因此，工程的施工阶段风险管理应以先期各阶段完成的风险管理为基础，进行风险的动态管理与控制，建议通过委托专业风险管理咨询单位配合开展工程施工过程中的现场风险查勘。

9.3.2 施工单位风险管理

根据签订的工程承包合同，施工单位负责施工现场风险管理的执行和落实，具体工作包括：

(1) 拟定详尽的风险管理计划，制定工程风险管理体系，明确工程风险管理流程；

(2) 制定工程施工风险实施细则，确定工程施工风险管理的人员组织及人员名单、工作职责；

(3) 在工程正式开工建设前，根据工程前期阶段已有的风险评估或管理文件和报告，分析施工前期及合同签订阶段中已识别的工程风险及风险控制措施，并考虑企业的施工设备、技术条件和人员，针对新辨识的风险提出相应的风险控制措施；

(4) 针对风险较大的风险事故，制定工程风险预警标准，列举风险事故发生的征兆现象，编制工程重大风险事故应急处置预案，其中，工程风险应急预案及应急措施应与国家、地方政府及相关的公共应急预案和服务相衔接；

(5) 制定详尽的工程风险管理培训计划，负责对参与工程风险管理的技术人员进行风险管理培训和指导，并对作业层进行施工风险交底；

(6) 当工程设计、施工方案或工期有重大变更时，应对工程风险重新进行分析与评估；

(7) 负责完成工程施工阶段的风险动态评估，研究施工对邻近建（构）筑物影响的风险分析，并梳理重大工程风险，提交施工重大风险动态评估报告；

(8) 结合工程施工进度，施工单位应及时上报工程施工信息，通告建设各方施工风险状况；

(9) 施工单位应对与工程施工有关的事故、意外、缺漏等进行调查与记录，分析风险发生原因，评估风险可能对工程既定投资、工期或计划的影响，并迅速完善风险控制措施，避免类似事故的再次发生

(10) 施工中当某些风险控制措施的执行可能导致工期延误，或对建设单位造成其他的损失时，须经过建设单位批准后方可实施；

(11) 施工单位应根据工程特点，明确工程风险管理过程中的专项保证费用额度，并承诺专款专用。

9.3.3 风险管理工作流程

在工程施工阶段，应建立有效的风险管理机制和工作流程，及时了解、沟通工程风险信息。在现场应完备的风险管理框架，明确岗位部门的设定、权限和流程，使风险处理方案在施工各方迅速达成共识并及时实施。工程施工阶段应遵循的风险管理流程见图 9-1。



图 9-1 工程施工阶段风险管理工作流程

9.3.4 风险管理具体实施

(1) 施工风险辨识和评估

根据工程条件、施工方法以及设备，按照工程施工进度和工序。对工程风险二次风险评估和整理，对工程的重大风险进行梳理和分析，确定工程风险等级，并对重大风险提出规避措施和事故预案，完成施工风险评估报告。具体包括：

- a) 工程各分部工程的主要风险点；
- b) 致险因子与孕险环境；
- c) 风险等级及排序；
- d) 风险管理责任人；
- e) 风险规避措施；
- f) 风险事故预案。

风险评估报告应以正式的文件发送给工程建设各方，并经过讨论使工程各方对工程风险评估等级和控制对策形成共识。

(2) 施工对邻近建（构）筑物影响风险分析

地铁及地下工程的施工都可能会对邻近的各类建（构）筑物产生一定的影响。风险分析的目的是通过建立工程施工引起地层变形与邻近建（构）筑物损坏的费用损失之间的关系，完成施工影响风险分析的经济损失评估。

建议风险分析内容与步骤见图 9-2。

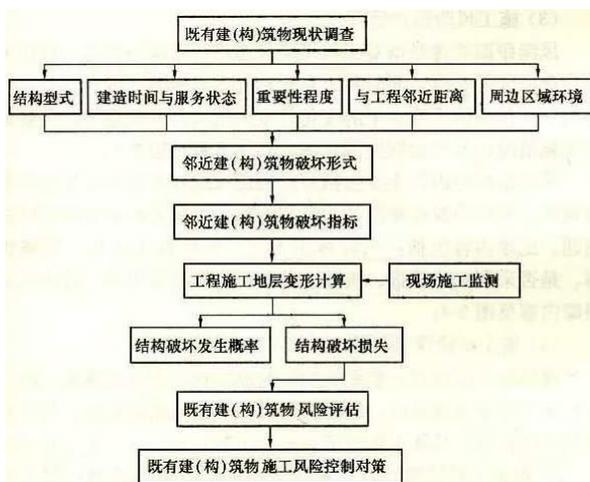


图 9-2 施工对邻近建（构）筑物影响风险分析图

- 对既有建（构）筑物的现状调查，包括：结构形式、建造时间、重要性程度、服务年限与状态、与工程邻近距离及周边区域环境等；
- 判断邻近建（构）筑物的破坏形式，用可以衡量的指标（如裂缝宽度、倾斜度、差异沉降等）定义各个破坏阶段；
- 采用工程施工地层变形计算分析，结合现场监测数据，得到周围地面沉降值，并分析影响地层变形的因素；
- 通过力学计算和统计分析，得到建（构）筑物发生破坏概率。计算建（构）筑物与破坏衡量指标的关系；
- 建立建（构）筑物破坏和损失赔偿之间的关系，将不同级别的破坏与建（构）筑物造价的损失比相对应；
- 得到不同施工工况下建（构）筑物的损失评估，提出工程施工风险控制对策与处置措施。

(3) 施工风险跟踪管理

风险跟踪管理是指对工程风险状态进行跟踪与管理，督促风险规避措施的实施，同时及时发现和处理尚未知识的风险，具体包括：工程总体风险水平的变化、重大风险的发展趋势、规避措施实施情况以及风险损失精况等。具体流程见图 9-3。

风险跟踪的内容主要包括对已辨识风险和其他突发风险的实时观察，对风险发展状况的记录和查询，以便及时地发现和解决问题。记录内容包括：风险辨识人员、风险发生区域、发展状态、是否采取规避措施、实施人员及风险控制效果等。具体风险跟踪内容见图 9-4。

(4) 施工风险预警预报

现场施工应建立一套系统的风险监控和预警预报体系。特别是对于工程重大风险点，应通过对监测数据的动态管理，及时掌握其发展状态。具体工作包括：

- 根据工程风险特点，确定合理的工程监测方案，制定预警标准；
- 将各监测结果和风险事故建立对应关系；
- 确定基于监测结果的风险评价等级；
- 根据监测结果进行风险的动态评价；
- 如果发现异常或超过警戒值，应及时进行风险报警，采取规避措施，做好风险事故处理

准备工作。

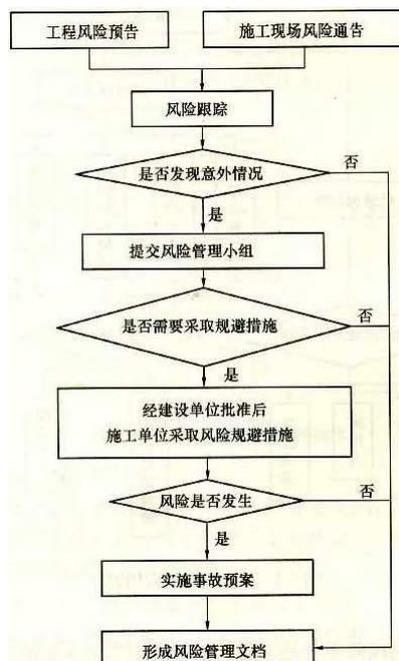


图 9-3 工程施工风险动态跟踪流程图

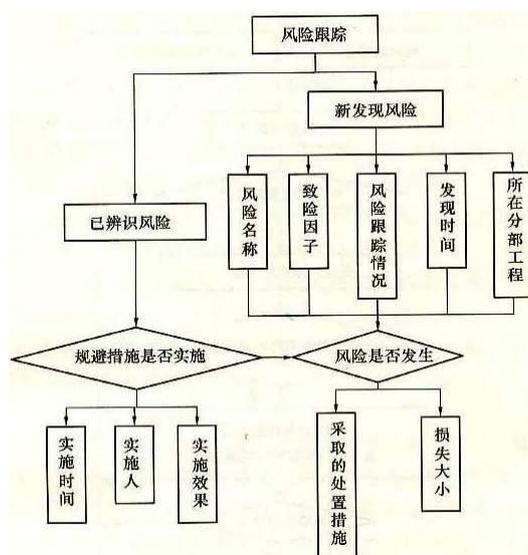


图 9-4 工程风险跟踪内容

(5) 施工风险通告

根据风险评估结果，在每个单项工程施工之前，建设单位应以风险预警的形式，将其中的主要风险点通告施工单位、施工单位应提交专门的风险处置方案，上报建设单位，审批通过后方可施工。

施工现场风险通告是工程风险管理中非常重要的一环，施工单位应在工程现场设置风险宣传牌，对各个阶段的风险点和注意事项进行宣传和教育。现场风险通告应包括：

- a) 主要风险事故；
- b) 风险管理实施责任人；
- c) 致险因子与风险等级；
- d) 施工人员注意事项；
- e) 事故预兆；

- f) 风险规避措施；
- g) 风险事故预案。

(6) 重大事故处理流程

对于重大工程事故，应形成现场风险事故处理程，明确各方职责和主要任务，确保风险事故发生后，能尽快得到妥善处理。具体流程见图 9-5。

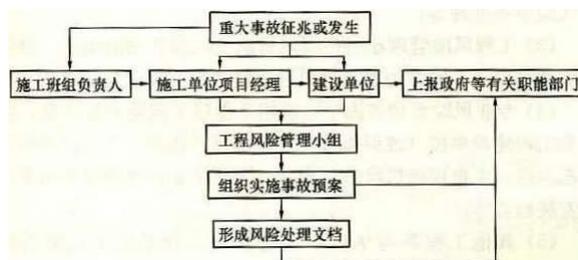


图 9-5 工程重大事故处理程序

(7) 施工风险文档编写

工程建设过程中应形成专门的风险管理文档。风险管理文档和风险评估报告建议应作为工程竣工交验的文件。具体包括：

- a) 主要工程风险及其致险因子；
- b) 工程重大风险点的规避措施和事故预案；
- c) 风险事故的发生时间、地点、原因分析、损失情况和采取的处理措施；
- d) 规避措施的实施责任人、时间和控制效果。

9.4 施工风险管理责任明确

结合工程施工管理与参与单位的具体工作内容，明确工程施工风险管理责任如下：

(1) 建设单位是工程施工风险管理协调与组织主体，负责统领工程施工现场风险管理，对工程施工各参与单位的风险管理方案实行审查，监督实施施工过程风险监控、安全状态判定和风险事故处理，对重大安全事故，及时上报上级主管单位和政府部门，启动工程事故应急预案，并负责组织工程现场抢险；

(2) 施工单位承担工程施工风险管理实施责任，主要负责施工准备期和施工过程中风险源的补充识别与动态风险评估，编制工程施工管理方案和具体风险控制措施，执行风险管理实施细则及风险事务处理等；

(3) 工程风险管理小组负责现场施工风险管理的组织、督促与协调等责任，同时协助工程风险事故的应急决策与组织；

(4) 专业风险管理咨询单位承担工程施工风险查勘责任，主要为工程建设单位（或保险公司）等进行现场施工全过程的风险动态查勘，汇报现场风险管理现状，预测下阶段风险管理的重点及发展趋势等；

(5) 其他工程上与单位承担合同中约定的相关风险管理责任。

10 附录

附录 I 风险分析方法对比一览表

分类	名称	优点	缺点	适用范围
定性分析方法	专家评议法	简单易行, 比较客观。所得结论比较全面、正确, 能够对各种模糊的、不确定的问题做出较为准确的回答	易受主观因素的影响, 有可能使结果产生偏差, 容易偏保守	该方法适用于难以借助精确的分析技术而可依靠集体的直观判断进行预测的风险分析问题
	专家调查法 (包括智暴法 Brainstorming、德尔菲法 Delphi)	可防止由于专家多而产生当面谈困难、效率低。避免因权威作用或人数众多而压倒其他意见。 多次征询意见, 专家可修改意见, 防止专家考虑错漏造成的误差。具有专家评议法的优点	由于专家不能当面交流, 缺乏沟通, 可能会坚持错误意见。由于是函询法, 且又多次重复, 会使某些专家最后不耐烦而不仔细考虑就填写。具有专家评议法的缺点	1. 难以借助精确的分析技术而可依靠集体的直观判断进行预测的风险分析问题。 2. 问题庞大复杂, 专家代表不同的专业并没有交流的历史。 3. 受时间、经费限制, 或因专家之间存有分歧、隔阂不宜当面交换意见
	“如果…怎么办”法 (If…then)	经济有效, 可充分发挥专业人员的知识特长、集思广益, 可找出一个工程所存在的危险、有害性及其程度, 提出消除或降低其危险、有害性的对策措施, 比较醒目、直观	1. 该方法要求参与人员要熟悉工艺、设备, 并且要收集类似工程的有关情况, 以便分析、综合判断。 2. 该方法对于较大的系统进行分析时, 表格数量庞大, 工作量大, 且容易产生错漏	该方法既可适用于一个系统, 又可以适用于系统中某一个环节, 适用范围较广。但不适用于庞大系统分析, 只适用于系统中某一环节或小系统分析
	失效模式和后果分析法 (Failure Mode and Effect Analysis, FMEA)	对于一个系统内部每个部件的每一种可能的失效模式或不正常运行模式都可进行详细分析, 并推断它对于整个系统的影响、可能产生的后果及如何才能避免或减少损失	只能用于考虑非危险性失效, 花费时间, 一般不能考虑各种失效的综合因素	FMEA 可用在整个系统的任何一级, 常用于分析某些复杂的关他设备
半定量分析方法	事故树法 (Fault Tree Analysis, FTA)	1. 对导致灾害事故的各种因素及逻辑关系能取出全面、简洁和形象的描述。 2. 便于查明系统内固有的或潜在的各种危险因素, 为设计、施工和管理提供科学依据。 3. 便于进行逻辑运算, 进行定性、定量分析和系统评价	1. FTA 法步骤较多, 计算较复杂。 2. 在国内外数据较少, 进行定级分析还需要做大量的工作。 3. 用 FTA 法编制的大型故障树不易理解, 且与系统流程图毫无相似之点, 同时在数学上往往非单一解, 包含复杂的逻辑关系。 4. 用于大系统时容易产生遗漏和错误	FTA 法应用比较广, 非常适合于重复性较大的系统。在工程设计阶段对事故查询时, 都可以使用 FTA 对它们的安全性做出评价。 FTA 法经常用于直接经验较少的风险辨识

	<p>事件树法 (Event Tree Analysis, ETA)</p>	<p>ETA 是一种图解形式, 层次清楚、阶段明显, 可进行多阶段、多因素复杂事件动态发展过程的分析, 预测系统中事故发展的趋势。</p> <p>事件树分析法可以定性、定量地辨识初始事件发展为事故的各种过程及后果, 并分析其严重程度。根据事件树图可在各发展阶段采取有效措施。使之向成功方向发展</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.在国内外数据较少, 进行定量分析还需做大量的工作。 2.用于大系统时, 容易产生遗漏和错误。 3.该方法不能分析平行产生的后果, 不能进行详细分析。在事件树上不允许讨论条件独立关系。 4.事件树的大小随着问题中变量个数是指数增长 	<p>EAT 可以用来分析系统故障、设备失效、工艺异常、人的失误等, 应用比较广泛。</p> <p>ETA 法不能分析平行产生的后果, 不适用于详细分析</p>
	<p>影响图方法</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.影响图能够明显地表示一个决策分析过程中变量之间的条件独立关系。 2.影响图能够清晰地表示变量之间的时序关系、信息关系和概率关系。这种图形表示方式适合决策者认识问题的思维过程。 3.影响图的网络表示形式便于用计算机存储信息与操作处理 	<ol style="list-style-type: none"> 1.节点的边缘概率和节点间的条件概率难得到。 2.进行主观概率估计时, 可能会违反概率理论 	<p>影响图方法与事件树法适用性类似, 由于影响图方法比事件树法有更多的优点, 因此, 也可以应用于较大的系统分析</p>
	<p>原因—结果分析法</p>	<p>原因—结果分析法实质是事件树法和事故树法的结合使用, 因此, 它同时具有这两种方法的优点和缺点</p>	<p>原因—结果分析法实质是事件树法和事故树法的结合使用, 因此, 它同时具有这两种方法的优点和缺点</p>	<p>其适用性与事故树法和事件树法类似, 适用于在设计、操作时用来辨识事故的可能结果及其原因。同样的, 它也不适用于大型系统</p>
	<p>风险评价矩阵法</p>	<p>根据系统层次按次序揭示系统、分系统和设备中的危险, 做到不同任何一项, 并按风险的可能性和严重性分类, 以便分别按轻重缓急采取措施更适合现场作业, 可以进行定性和定量分析</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.主观性比较强, 如果经验不足, 会对分析带来麻烦。 2.风险严重等级及风险发生频率是研究者自行确定的, 存在较大的主观误差 	<p>该方法可根据使用的需求对风险等级划分进行修改, 使其适用不同的分析系统, 但要有一定的工程经验和数据资料做依据。其既可适用于整个系统, 又可以适用于系统中某一环节</p>
<p>定量分析法</p>	<p>模糊综合评判法</p>	<p>模糊数学综合评判法给出了一个数学模型, 它简单、容易掌握, 是对多因素、多层次的复杂问题评判效果比较好的方法, 其适用性较广</p>	<p>模糊数学综合评判法隶属函数或隶属度的确定、评价因素对评价对象的权重的确定都有很大的主观性, 其结果也存在较大的主观性。</p> <p>同时对于多因素、多层次的复杂评价, 其计算则比较复杂</p>	<p>模糊数学综合评判方法适用于任何系统的任何环节, 其适用性比较广</p>

<p>层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP)</p>	<p>具有适用、简洁、实用和系统的特点</p>	<p>AHP 得出的结果是粗略的方案排序。对于那种有较高定量要求的决策问题，单纯应用 AHP 是不适合的。</p> <p>在 AHP 的使用过程中，无论建立层次结构还是构造判断矩阵，人的主观判断、选择、偏好对结果的影响极大，判断失误即可能造成决策失误。这就使得用 AHP 进行决策主观成分很大</p>	<p>AHP 应用领域比较广阔，可以分析社会、经济以及科学管理领域中的问题。适用于任何领域的任何环节。但不适用于层次复杂的系统</p>
<p>蒙特卡罗模拟法 (Monte Carlo)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.它能够用于包括随机变量在内的任何计算类型。 2.考虑的变量数目不受限制。 3.用于计算的随机变量可以根据具体数据采用任何分布形式。 4.可以更有效地发挥专家的作用，因为关于每一随机变量的分布的判断可由对参数最熟悉的专家来做出 	<ol style="list-style-type: none"> 1,能够在实际中采用的模拟系统非常复杂，建立模型很困难。 2.必须是群体智慧。众多的不确定性因素均必须给出数量化的概率分布，在实际操作中有困难。 3.没有计人风险因素之间的相互影响，使得风险估计结果可能偏小 	<p>比较适合在大中型项目中应用。优点是可以解决许多复杂的概率运算问题，以及适合于不允许进行真实试验的场合。对于那些费用高的项目或资时长的试验，具有很好的优越性。</p> <p>一般只在进行较精细的系统分析时才使用，它适用于问题比较复杂、要求精度较高的场合，特别是对少数可行方案实行精选比较时更为必要</p>
<p>等风险图法</p>	<p>该方法的优点是方便直观、简单有效，对任何一个具体项目，只要得到其风险发生概率和风险后果，就可直接得到其风险系数</p>	<p>该方法需要得到风险发生概率和风险后果两个变量值，而这两个值在实际操作中不易得到，需要借助其他分析方法，因此，也含有其他分析方法的缺点。同时，根据等风险图只能确定风险系数位于哪一个区间内，如果想得到具体数值，还需要进行计算</p>	<p>该方法适用于对结果要求精度不高，只需要进行粗略分析的项目。同时，如果只进行一个项目一个方案分析，该方法相对繁琐，所以该方法适用于多个类似项目同时分析或一个项目的多个方案比较分析时使用</p>
<p>控制区间记忆模型 (Controlled Interval and Memory Model, CIM)</p>	<p>该方法用直方图代替变量的概率分布，用“和”代替函数积分，变量的概率采取经验分布形式，使风险因素量化过程变得简单、直观，并且易于实现概率的加法和乘法计算</p>	<p>该方法只适合于各变量间相互独立的情况，且最终结果的精确与否与所取区间大小有很大关系，若所取区间较大，得到结果精度不高</p>	<p>该模型适用于结果精度要求不高的项目，且只适用于变量间相互独立或相关性可以忽略的项目</p>

	神经网络方法 (Neutral Network)	具有很强的学习能力、抗故障性和并行性	神经网络综合评估模型在已知数据不足或无法准确构造训练样本集的情况下,需要结合其他综合评估方法得到训练样本集,才能实现对网络的训练。 神经网络方法的计算量很大,当样本大、神经网络所含神经无数量多时更是如此。同时,神经网络方法还面临找不到全局极值的危险	1.预测问题,原因和结果的关系模糊的场合。 2.模式识别,涉及模糊信息的场合。 3.不一定非要得到最优解,主要是快速求得与之相近的次优解的场合。 4.组合数量非常多、实际求解几乎不可能的场合。 5.对非线性很高的系统进行控制的场合
	主成分分析法	1.能将多个指标转化为少数几个指标进行降维处理。 2.能够将指标之间的关联性考虑在内,但计算比较简单。 3.在大样本的情况下,个别样本对主成分的影响不会很大	1.评价标准的不可继承性。 2.评价工作的盲目性。 3.评价结果和评价指导思想的矛盾性。 4.需借助较多的统计资料	主成分分析法可适用于各个领域,但其结果只有在比较相对大小时才有意义
综合分析法	专家信心指数法	具有德尔菲法的优点,一定程度上克服了德尔菲法受个人主观因素影响大的缺点	同德尔菲法	同德尔菲法
	模糊层次综合评估方法	1.同时拥有了层次分析法和模糊数学综合评判法的优点。 2.该方法克服了模糊数学综合评判法中评价因素对评价对象的权重确定主观性强等缺点。	除了模糊数学综合评判法的权重确定的主观性的缺点之外,同时具有层次分析法和模糊数学综合评判法的缺点	其适用范围与模糊数学综合评判法一致
	模糊事故树分析法	1.兼有模糊数学综合评判法和事故树法的优点。 2.避免了对统计资料的强烈依赖性,为事故概率的估计提供了新思路。	除了对统计资料的强烈依赖性之外,同时具有模糊数学综合评判法和事故树法的缺点	适用范围与事故树法相同,与事故树法相比,更适用于那些缺乏基本统计数据的项目
	事故树与模糊综合评判组合分析法	1.兼有事故树法和模糊综合评判法的优点。 2.避免了在确定因素集过程中出现错漏。 3.对风险影响系数大的因素进行分析,得到的结果更科学、合理	除了模糊综合评判法的权重确定的主观性的缺点之外,同时具有事故树法和模糊综合评判法的缺点	适用范围与事故树法相同

参 考 文 献

- [1] Barton N. Risk and risk reduction in TBM rock tunneling [C]// Proceedings of the ISRM International Symposium, Third Asian Rock Mechanics Symposium. Kyoto, Japan; 2004; 29-38
- [2] Bian Y H, Huang H W. Fuzzy fault tree analysis of failure probability of SMW retaining structures in deep excavations [C]// Proceedings of Sessions of Geoshanghai, ASCE Geotechnical special publication No. 155. Shanghai, China; 2006; 312-319
- [3] BSI (2001) BS 6164 (2001) Code of Practice for Safety in Tunneling in the Construction Industry British Standards Institution [S]
- [4] BTS/ICE (2004) Tunnel Lining Design Guide [S]
- [5] Burland J B, Standing J R, Jardine F M. Building Response to Tunneling-Case Studies from Construction of the Jubilee Line Extension, London. Volume 1, Projects and Methods. Volume 2, Case Studies. CIRIA Report No. SP200, CIRIA London
- [6] Clayton C R I. Managing Geotechnical Risk-Improving Productivity in UK Building and Construction. London; Institution of Civil Engineers, 2001; 80
- [7] Einstein H H. Risk and risk analysis in rock engineering [J]. Tunneling and Underground Space Technology, 1996, 11(2)141-155
- [8] Eskesen S D, Kampmann J. Risk reduction strategy in urban tunneling, experience from the Copenhagen Metro, ITA World Tunnel Congress, Tunnels under Pressure. Durban; 2000
- [9] Essex R J. (Ed.) Geotechnical Baseline Reports for Underground Construction, Guidelines and Practices [R]. Reston, USA: American Society of Civil Engineers, 1997; 40
- [10] ETWB. Impossibility/Unforeseen Ground Conditions/Utility Interference (Environment, Transport and Works Bureau Technical Circular

- (Works) No. 17/2004). Hong Kong: Environment, Transport and Works Bureau, Government Secretariat, 2004
- [11] ETWB. Implementation of Systematic Risk Management in Public Works Projects (Environment, Transport and Works Bureau Technical Circular (Works) No. 6/2005). Hong Kong: Environment, Transport and Works Bureau, Government Secretariat, 2005
 - [12] ETWB. Geotechnical Control for Tunnel Works (Environment, Transport and Works Bureau Technical Circular (Works) No. 15/2005). Hong Kong: Environment, Transport and Works Bureau, Government Secretariat, 2005
 - [13] GEO. Site Investigation for Tunnel Works. Technical Guidance Note No. 24 (TGN 24). Hong Kong: Geotechnical Engineering Office, 2005; 1-8
 - [14] GEO Technical Guidance Note No. 25 (TGN25), Geotechnical Risk Management for Tunnel Works, 2. 2005; 1-10
 - [15] Godfrey P S. Control of Risk - A Guide to the Systematic Management of Risk from Construction, Construction Industry Research and Information Association, CIRIA. 1996
 - [16] Hu Qunfang, Huang Hongwei. Modeling of Risk Acceptance Criteria for Tunnel and Underground Engineering. International Conference on Geotechnical Engineering for Disaster Mitigation and Rehabilitation (GEDEL05). Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2005; 543-550
 - [17] Hu Qunfang, Huang Hongwei Numerical Analysis and Risk Assessment on Face Stability of Large-Diameter Tunnels [C]// Proceedings Computational Science-ICCS2007, 7th International Conference Beijing, China, Part III, Taylor & Francis, LNCS 4489 2007. 1180-1187
 - [18] Hu Qunfang, Huang Hongwei. Risk Analysis of Soil Transition in Tunnel Works [C]// Underground Space - the 4th Dimension of Metropolises, Proceedings of the World Tunnel Congress 2007 and 33rd ITA/AITES Annual General Assembly, Prague. London: Taylor & Francis Group, 2007; 209-216
 - [19] Huang H W, Chen L, Zhang F S. Risk analysis of building structure

- due to shield tunneling in urban area [C]// Proceedings of Sessions of Geoshanghai, ASCE Geotechnical special publication NO.155. Shanghai, China; 2006; 150-157
- [20] Huang Hongwei, Hu Qunfang. Risk Analysis of Lining Structure in Large-Diameter Shield Tunnel [C]// International Symposium on New Generation Design Codes for Geotechnical Engineering Practice, Workshop on Cross-Strait Geotechnical Engineering Risk Management. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 2006
- [21] Isaksson M T, Reilly J J, Anderson J M. Risk mitigation for tunnel projects-A structured approach, in Proceedings Challenges for the 21st Century, Alten et al. (eds) Balkema, Rotterdam; 1999
- [22] ITA recommendations of contractual sharing of risks [M]. Second edition. Norwegian Tunneling Society, 1992
- [23] ITIG (2005). A Code of Practice for Risk Management of Tunnel Works. The International Tunneling Insurance Group (in association with the Munich Re Group), 1-37.
- [24] Jaselskis E J, Russel J S. Risk analysis approach to selection of contractor, Evaluation Method [J]. Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 1992, 118(4): 815-821
- [25] Kampmann J, Eskesen S D, Summers J W. Risk assessment helps select the contractor for the Copenhagen Metro System, ITA World Tunnel Congress, Tunnels and Metropolises. Sao Paulo, Balkema, 1998
- [26] Lichtenberg S. The Successive Principle-a New Decision Tool for the Conception Phase, Proceedings, Project Management Institute / INTERNET Symposium [M]. Atlanta; 1989
- [27] Lichtenberg, S. Proactive Management of uncertainty using the Successive Principle [M]. Copenhagen: Polyteknisk Forlag; 2000
- [28] Peck R B. Advantages and limitations of the observational method in applied soil mechanics [J]. Geotechnique, 1969, 19(2): 171-187
- [29] Reilly J J. The management process for complex underground and tunneling projects [J]. Tunneling and Underground Space Technology, 2000, 15(1): 31-44

- [30] Australian/New Zealand Standard 4360, Risk Management [S]. Sydney: Standards Australia International Ltd, 2004
- [31] Søren Degn Eskesen, et al. Guidelines for tunneling risk management, International Tunneling Association, Working Group No. 2, Tunneling and Underground Space Technology 19 [M]. 2004; 217-237
- [32] Stille H, Sturk R, Olsson L. Quality systems and risk analysis-New philosophies in underground construction industry, In Franzén [C]// Bergdahl T S-G, Nordmark A. Proc. Underground Construction in Modern Infrastructure, Stockholm, Rotterdam, Balkema; 1998
- [33] Tengborg P, Olsson L, Johansson J, et al System analysis of the Hvalfjörður tunnel, In Franzén [C]// Bergdahl TS-G, Nordmark A. Proc. Underground Construction in Modern Infrastructure, Stockholm, Rotterdam, Balkema; 1998
- [34] The Engineering Council, London, Guideline on Risk Issues [M]. 1993
- [35] 北京市轨道交通运营突发事件应急预案(简本)[S]. 2006
- [36] 边亦海, 黄宏伟. SMW工法支护结构失效概率的模糊事故树分析[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(5): 664-668
- [37] 边亦海, 黄宏伟. 可信性方法在深基坑工程施工工期风险分析中的应用[J]. 地下空间与工程学报, 2006, (1): 70-73
- [38] 边亦海, 黄宏伟. 深基坑开挖引起的建筑物破坏风险评估[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(增刊): 1892-1896
- [39] 边亦海. 基于风险分析的软土地区深基坑支护方案选择[D]. 上海: 同济大学, 2006
- [40] 陈桂香, 黄宏伟. 对地铁项目全寿命风险管理的研究[J]. 地下空间与工程学报, 2006, (1): 47-51
- [41] 陈桂香. 地铁工程项目的风险管理研究[D]. 上海: 同济大学, 2004
- [42] 陈亮, 黄宏伟, 胡群芳. 盾构隧道施工风险管理数据库系统开发[J]. 地下空间与工程学报, 2005, 1(6)
- [43] 陈亮. 盾构隧道工程施工风险管理与控制软件(TRM)开发研究[D]. 上海: 同济大学, 2006
- [44] 陈龙, 黄宏伟. 软土盾构隧道施工工期风险损失分析[J]. 地下空间与工程学报, 2006, (1): 74-78

- [45] 陈龙, 黄宏伟. 上中路隧道工程风险管理的实践[J]. 地下空间与工程学报, 2006, (1): 65-69
- [46] 陈龙, 黄宏伟, 范益群. 工程项目风险分析若干问题浅议, 地质与勘探[J]. 2003 39(增刊): 360-364
- [47] 陈龙, 黄宏伟. 岩石隧道工程风险分析浅析[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(1): 110-115
- [48] 陈龙, 黄宏伟. 城市软土盾构隧道施工对环境影响风险分析与评估[J]. 现代隧道技术, 2004 41(增刊): 364-369
- [49] 陈龙, 黄宏伟. 地下工程风险评价及决策方法研究[C]//同济大学枫林节专题. 上海: 同济大学出版社, 2004: 239-246
- [50] 陈龙. 城市软土盾构隧道施工工期风险分析与评估研究[D]. 上海: 同济大学, 2004
- [51] 陈龙. 代建制与工程风险管理模式[J]. 市政开发研究, 2005, 3
- [52] 城市公共交通条例(草案)(征求意见稿)[S]. 2007
- [53] 地铁设计规范(GB50157-2003)[S]
- [54] 工程建设重大事故报告和调查程序规定(建设部第3号部令)[S]. 2003
- [55] 郭仲伟著. 风险分析与决策[M]. 北京: 机械工业出版社, 1986
- [56] 国家处置城市地铁事故灾难应急预案[S]. 2006
- [57] 国家突发环境事件应急预案[S]. 2006
- [58] 胡群芳, 黄宏伟. 隧道及地下工程风险接受准则计算模型研究[J]. 地下空间与工程学报, 2006, (1): 36-41
- [59] 胡群芳, 黄宏伟, 陈龙. 盾构隧道施工对城市沥青路面影响的风险评估[J]. 地下空间与工程学报, 2005, 1(2): 263-267
- [60] 胡群芳. 基于地层变异的盾构隧道工程风险分析及其应用研究[D]. 上海: 同济大学, 2006
- [61] 黄宏伟, 曾明, 陈亮, 等. 基于风险数据库的盾构隧道施工风险管理软件(TRM1.0)开发[J]. 地下空间与工程学报, 2006, (1): 36-41
- [62] 黄宏伟, 边亦海, 陈龙. 深基坑工程施工期的风险管理[J]. 地下空间与工程学报, 2005, 1(4)
- [63] 黄宏伟, 陈桂香. 风险管理在降低地铁造价中的作用[J]. 现代隧道技术, 2003, 40(5)
- [64] 黄宏伟. 隧道与地下工程风险管理研究进展[J]. 地下空间与工程学报

- 报, 2006, (1): 13-20
- [65] 建设项目环境保护管理条例[S], 中华人民共和国建设部, 1998
- [66] 李俊伟, 黄宏伟. 地下工程风险评估的熵度量法应用初探[J]. 地下空间与工程学报, 2005, 1(6)
- [67] 罗云, 樊运晓, 马晓春. 风险分析与安全评价[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [68] 企业职工伤亡事故分类标准(GB6441-86)[S].
- [69] 上海市安全生产事故灾难专项应急预案[S]. 2006
- [70] 上海市处置轨道交通事故应急预案[S]. 2005
- [71] 上海市突发公共事件总体应急预案[S]. 上海市人民政府应急办公室, 2006
- [72] 生产安全事故报告和调查处理条例[S]. 国务院, 2007
- [73] 王岩, 黄宏伟. 地铁区间隧道安全评估的层次—模糊综合评判法[J]. 地下空间, 2004, 24(3): 301-305
- [74] 王岩. 软土地铁隧道结构性态评估方法研究[D]. 上海: 同济大学, 2005
- [75] 危害辨识、风险评价和风险控制推荐作法[M]. 2005
- [76] 谢雄耀, 杜军, 黄宏伟, 等. 非开挖施工中风险概率估价方法分析[J]. 地下空间与工程学报, 2006, (1): 42-46
- [77] 余占奎, 黄宏伟, 等. 土木工程项目风险分析[J]. 现代隧道技术, 2004; 41(增刊): 185-187
- [78] 张少夏. 隧道工程风险分析方法及工期损失风险研究[D]. 上海: 同济大学, 2006
- [79] 中华人民共和国环境影响评价法[S]. 2002
- [80] 周杨. 长大隧道工程建设期风险接受准则研究[D]. 上海: 同济大学, 2007