

山东省地方标准

DB37/T 4445—2021

城市轨道交通土建工程设计安全风险评估
规范

Specification for safety risk assessment of urban rail transit engineering design

2021-11-17 发布

2021-12-17 实施

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本规定 2

5 工程安全风险辨识与分级 3

6 工程自身风险分析与评价 7

7 环境风险分析与评价 10

8 工程安全风险控制 11

9 风险评估成果文件编制 13

附录 A（资料性） 常见工程安全风险表 14

附录 B（资料性） 风险工程分级清单表 18

参考文献 19

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由山东省交通运输厅提出并组织实施。

本文件由山东省城市轨道交通标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：青岛地铁集团有限公司、北京安捷工程咨询有限公司、青岛地矿岩土工程有限公司、北京城建设计发展集团股份有限公司、中铁第一勘察设计院集团有限公司、中铁二院工程集团有限责任公司、青岛市勘察测绘研究院、青岛市市政工程设计研究院、济南轨道交通集团有限公司、烟台市轨道交通集团有限公司、潍坊轨道交通集团有限公司。

本文件主要起草人：迟建平、芦睿泉、刘云、吴学锋、殷险峰、吕培印、米保伟、刘洪华、刘世安、雷刚、龚旭东、张建祥、卞立民、岳章胜、杨绍玉、李克先、张秉鹤、宗超、李虎、尹亚雄、程克森、姜钰、唐明明、王术明、闫君、王忠胜、解超、姜畔、李辉、林琴岗、张鲁明。

城市轨道交通土建工程设计安全风险评估规范

1 范围

本文件给出了山东省城市轨道交通土建工程设计安全风险评估的基本规定、工程安全风险辨识与分级、工程自身风险分析与评价、环境风险分析与评价、工程安全风险控制、风险评估成果文件编制等方面的内容。

本文件适用于山东省新建、改建、扩建城市轨道交通工程设计阶段对土建工程建设安全风险的评估工作。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

风险 risk

不利事件发生的可能性或概率（频率）及其损失的组合。

[来源：GB 50652—2011，定义2.0.1]

3.2

风险因素 risk factors

导致风险发生的各种主客观的有害因素、危险事件或人员错误行为的统称。

[来源：GB 50652—2011，定义2.0.3]

3.3

风险事件 risk event

工程施工对工程围（支）护结构、作业面和周边环境等承险体等产生的不利事件。

3.4

周边环境 surrounding conditions

城市轨道交通工程施工影响范围内的既有轨道交通设施、建（构）筑物、地下管线、桥梁、高速公路、道路、河流、湖泊等环境对象的统称。

[来源：GB 50911—2013，定义2.1.2]

3.5

工程自身风险 engineering risk

因工程结构自身特点、地质条件复杂性或工程施工影响等可能导致的工程结构安全风险。

注：工程自身风险主要包括工程自身工法特点及地质因素引起的风险，如深大基坑、大断面隧道、高架线路、复杂地质条件等。

3.6

周边环境风险 surroundings risk

因工程邻近周边环境，施工导致工程自身与周边环境相互影响所产生的工程结构和环境安全风险。

注：周边环境风险工程主要包括邻近或下（旁）穿建（构）物、重要市政管线、既有道路、下穿或上跨既有线路等。

3.7

风险辨识 risk identification

调查识别工程建设中潜在的安全风险类型、发生地点、时间及原因，并进行筛选、分类。

[来源：GB 50652—2011，定义2.0.7]

3.8

风险分级 risk classification

在风险辨识的基础上，对安全风险进行等级评定与风险排序所做的工作。

3.9

风险评估 risk assessment

对风险进行分析和评价，对风险危害性及其处置措施进行决策。

[来源：GB 50652—2011，定义2.0.12]

3.10

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。

注：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四种方式。

[来源：GB 50652—2011，定义2.0.10]

3.11

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。

[来源：GB 50652—2011，定义2.0.5]

4 基本规定

4.1 评估原则

4.1.1 城市轨道交通土建工程设计阶段应进行安全风险评估。安全风险评估工作应贯穿于初步设计和施工图设计两个阶段，施工阶段变更设计也应以安全评估作为前置条件。

4.1.2 初步设计阶段风险评估应以单位工程为评估单元，施工图设计阶段风险评估应以分部分项工程为评估单元。

4.1.3 安全风险评估应依据岩土工程勘察报告、环境调查资料、相关专题研究报告、政府批复文件和专家咨询或审查意见等，结合具体设计方案开展。

4.1.4 安全风险评估应针对工程自身风险和周边环境风险进行，评估范围宜结合工程位置、工程地质及水文地质条件、周边环境条件、敷设方式、埋置深度、施工方法和结构型式等综合确定。同时应考虑建设工期、造价对工程安全质量的影响。

4.1.5 当工程地质及水文地质情况或周边环境条件发生较大变化，或敷设方式、埋置深度、施工方法和结构型式发生重大调整时，应重新进行安全风险评估。

4.1.6 工程自身风险等级定为 I 级或周边环境风险等级定为 II 级及以上的工程，在施工图设计阶段应进行安全风险专项设计，专项设计文件应通过专家评审。工程自身风险等级定为 II 级的工程应明确风险降级措施。

4.2 评估内容

- 4.2.1 安全风险评估应包括风险辨识、风险分级、风险分析与评价、风险控制措施建议等内容。
- 4.2.2 安全风险评估应开展现场踏勘，基础资料收集与分析，与相关参建单位沟通等工作。安全风险评估成果应在设计文件中体现。
- 4.2.3 初步设计阶段应从合理确定工程整体技术方案、规避或减小工程风险的角度对土建工程技术方案进行安全风险评估，并重点包括如下主要内容：
- 线位、站位选择的合理性及风险；
 - 所采用敷设方式存在的风险；
 - 环境条件及与轨道交通土建工程的相互影响风险；
 - 施工方法的合理性及风险，必要时可建议对其他施工方法进行比选；
 - 围（支）护结构的合理性及风险；
 - 主体结构合理性及风险；
 - 所确定的技术方案对环境影响的风险、对周边环境的保护方案；
 - 对工程的风险大小进行综合评价和分级；
 - 给出必要的建议等。
- 4.2.4 施工图设计阶段应结合工程的具体实施方案、自身及环境风险的控制和处置、风险监测等进行安全风险评估，并包括如下主要内容：
- 分析所采用施工方法的风险，判断围（支）护结构设计的合理性；
 - 分析工程实施对周边环境重要建（构）筑物可能产生的影响；
 - 评估所采用环境保护措施的合理性和有效性；
 - 评估风险监测方案的合理性和可实施性；
 - 对 I 级自身风险工程、II 级及以上的周边环境风险工程开展专项设计等。

5 工程安全风险辨识与分级

5.1 一般规定

- 5.1.1 风险辨识阶段应对影响工程安全的风险因素和可能导致的风险事件进行识别。
- 5.1.2 风险分级标准应根据工程特点、工程地质及水文地质、周边环境条件及可能造成的影响（危害）等，结合建设规模、技术经济和社会发展水平、建设管理经验等确定。
- 5.1.3 工程建设风险类型分为工程自身风险和周边环境风险。
- 5.1.4 工程自身风险和周边环境风险的等级应分别确定。工程自身风险、周边环境风险等级分为 I 级、II 级、III 级、IV 级。
- 5.1.5 各设计阶段应在上一阶段风险辨识和分级的基础上，结合设计方案、工程措施、工程地质及水文地质条件、周边环境条件及其变化等，对风险等级进行核查和必要的调整。
- 5.1.6 风险辨识和分级方法可采用事故树法、检查表法、工程类比法、专家调查法和模糊综合评判法等。

5.2 工程自身风险辨识与分级

- 5.2.1 工程自身风险辨识与分级宜根据工程规模、施工工法、结构型式、工程地质及水文地质条件等因素确定。基本分级以工程自身的特点为基础，重点考虑工程规模、工程地质与水文地质条件、基坑深度及支护结构特点、暗挖结构开挖尺寸、断面形式、覆土厚度、施工工法等。常见工程自身风险因素和风险事件参考附录 A 中表 A.1～表 A.4。

5.2.2 明（盖）挖法的工程风险分级宜以基坑开挖深度为基本依据，并根据基坑型式、工程地质及水文地质条件等进行修正。明（盖）挖法的工程自身风险分级宜符合表 1 的规定。

表1 明（盖）挖法的工程自身风险分级表

自身风险等级	基本分级条件	分级修正依据
I级	地下四层或深度超过25 m（含25 m）的深基坑	a) 对以下情况，宜上调一级： 1) 基坑结构平面或断面复杂； 2) 开挖宽度超过 35 m； 3) 存在高边坡； 4) 工程地质、水文地质条件复杂，如：基坑结构底板标高位于承压水水位以下且不具备降水条件；位于软硬复合地层或软土层内；位于软土或富水砂层等不良地质条件下；岩溶地质；煤系地层；泉水等承压水地层；断层破碎带；采空区； 5) 基坑工程周边环境条件复杂； 6) 采用装配式工法，存在动态拆撑换撑工况车站基坑。 b) 对以下情况，可下调一级： 1) 采用盖挖逆作法施工； 2) 矿山法、盾构（TBM）法工程的施工竖井类基坑； 3) 整体工序及断面工序简单； 4) 工程地质、水文地质条件简单，如：基坑整体位于IV级以上岩层，地下水对工程影响较小等。 c) 对以下情况，可根据情况调整： 1) 采用与工程施工安全有关的新技术、新工艺、新设备、新工法施工时； 2) 结合工程风险因素的识别和深入分析，确有需要调整时。
II级	地下三层或深度在15 m～25 m（含15 m）的深基坑	
III级	地下二层或一层或深度5 m～15 m（含5 m）的基坑	
IV级	基坑深度小于5 m	
注：风险等级修正时，最多只能调整一个等级。		

5.2.3 矿山法的工程风险分级宜以隧道的结构层数、跨度、断面形状及大小为基本依据，并根据工程地质及水文地质条件、隧道空间状态等进行修正。矿山法的工程自身风险分级宜符合表 2 的规定。

表2 矿山法的工程自身风险分级表

自身风险等级	基本分级条件	分级修正依据
I级	双层暗挖车站或净跨超过15.5 m的暗挖单层隧道	a) 对以下情况，宜上调一级： 1) 暗挖结构平面或断面复杂； 2) 暗挖受力体系转换多； 3) 暗挖坡度大； 4) 覆土厚度小； 5) 相邻暗挖隧道间距离近； 6) 群洞效应显著； 7) 采用平顶直墙工法； 8) 结构进入富水砂层，且不具备降水条件； 9) 采用盾构（TBM）扩挖方式形成永久结构的暗挖工程； 10) 地质条件复杂，穿越软土、富水砂层、中强透水的断层破碎带等不
II级	断面大于6 m的矿山法工程	
III级	一般断面矿山法工程	
IV级	隧道建设无相互影响的工程	

自身风险等级	基本分级条件	分级修正依据
		良地质条件的矿山法暗挖区间隧道工程等； 11) 矿山法隧道穿越受扰动地层。 b) 对以下情况，可下调一级：

表2 矿山法的工程自身风险分级表（续）

自身风险等级	基本分级条件	分级修正依据
IV级	隧道建设无相互影响的工程	位于II、III、IV级围岩的暗挖车站及隧道（跨度小于25m）。 c) 对以下情况，可根据情况调整： 1) 采用与工程施工安全有关的新技术、新工艺、新设备、新工法施工时； 2) 结合工程风险因素的识别和深入分析，确有需要调整时。
注：风险等级修正时，最多只能调整一个等级。		

5.2.4 盾构（TBM）法的工程风险分级以盾构/TBM 隧道相互之间的空间位置关系、地质条件的适宜性以及工程部位等为依据，并根据工程地质及水文地质条件、盾构（TBM）机型式等进行修正。盾构（TBM）法的工程自身风险分级应符合表3的规定。

表3 盾构（TBM）法的工程自身风险分级表

自身风险等级	基本分级条件	分级修正依据
I级	较长范围处于非常接近状态的并行或交叠盾构隧道	a) 对以下情况，宜上调一级： 1) 覆土厚度小于1倍洞径； 2) 地质条件复杂； 3) 单洞双线盾构/TBM 隧道； 4) 盾构（TBM）机型与地质条件适应性差地段； 5) 不良地质地段的盾构区间及联络通道； 6) 不良地质地段的盾构始发与到达区段等； 7) 不良地质段落换刀和不良地质始发段无加固条件的情况。 b) 对以下情况，可下调一级： 地质条件简单，穿越地层的均一性较好。 c) 对以下情况，可根据情况调整： 1) 采用与工程施工安全有关的新技术、新工艺、新设备、新工法施工时； 2) 结合工程风险因素的识别和深入分析，确有需要调整时。
II级	较长范围处于接近状态的并行或交叠盾构隧道；盾构区间的联络通道；盾构始发到达区段	
III级	一般的盾构法区间	
IV级	隧道建设无相互影响的工程	
注：风险等级修正时，最多只能调整一个等级。		

5.2.5 高架结构的工程风险分级宜以桥跨、桥型、施工方法为依据，并根据跨度等进行修正。高架结构的工程自身风险分级应符合表4的规定。

表4 高架结构工程自身风险分级表

自身风险等级	基本分级条件	分级修正依据
I级	单跨跨径 ≥ 100 m、斜拉桥、拱桥等体系复杂桥梁	当斜拉桥、拱桥等体系复杂的桥梁主

自身风险等级	基本分级条件	分级修正依据
II级	40 m≤单跨跨径<100 m、存在体系转换的桥梁；独柱高架车站	跨跨度小于80 m时，可下调一个等级。
III级	单跨跨径<40 m、不存在体系转换的桥梁	
IV级	非独柱高架车站	
注1：桥梁承台、基础开挖分级参照表1分级标准； 注2：存在体系转换的桥梁主要指采用悬浇、转体及顶推等施工方法的桥梁。		

5.2.6 工程地质及水文地质条件风险应重点分析不良地质、特殊性岩土、地下水等不利于工程实施的条件及其对工程的影响。

5.3 环境风险辨识与分级

5.3.1 环境风险分级宜根据周边环境设施的重要性、与城市轨道交通工程结构的接近程度及影响范围、周边环境设施的自身特点，依据轨道交通建设对环境设施的影响程度大小综合确定。常见环境风险因素和风险事件见附录 A 中表 A.5 所示。环境风险分级宜符合表 5 的规定。

表5 环境风险分级表

环境设施 重要性	接近关系				分级修正依据
	非常接近	接近	较接近	不接近	
重要设施	I 级	II 级	III 级	IV 级	a) 对以下情况，宜上调一级： 1) 环境设施现状安全性较差； 2) 对保护标准要求高的既有轨道线路（含铁路）、古建、国家城市标志性建筑。 b) 对以下情况，可下调一级： 1) 盾构、TBM 法隧道穿越均一围岩较好的岩质地层； 2) 配合地铁施工改迁后状态良好的管线、调流道路等设施。 c) 对以下情况，可根据情况调整： 1) 当新建轨道交通工程采用与工程施工安全有关的新技术、新工艺、新设备、新工法施工时，根据具体情况结合相关工程经验进行调整； 2) 结合工程风险因素的识别和深入分析，确有需要调整时。
一般设施	II 级	III 级	IV 级	—	

5.3.2 周边环境设施的重要性分为重要设施、一般设施两类。环境设施重要性分级宜符合表 6 的规定。

表6 环境设施重要性分级表

环境设施类别	环境设施重要性类别	
	重要设施	一般设施
地面和地下轨道交通	既有城市轨道交通线路和铁路	——
既有地面建（构）筑物	省市级以上的保护古建筑，高度超过15层（含）的建筑，年代久远、基础条件较差的重点保护的建筑物，重要的烟囱、水塔、油库、加油站、汽罐、高压线铁塔	15层以下的一般建筑物；一般厂房、车库等构筑物等
既有地下构筑物	地下道路和交通隧道、地下商业街及重要人防工程等	地下人行过街通道等

环境设施类别	环境设施重要性类别	
既有市政桥梁	高架桥、立交桥的主桥等	匝道桥、人行天桥等
既有市政管线	雨污水干管（直径≥800 mm）、中压及以上的煤气管或燃气管、石油石化管线、直径较大的自来水管（直径≥500 mm）、热力管（直径≥400 mm）、中水管、军用光缆等，其他使用时间较长的铸铁管、承插式接口混凝土管	小直径雨污水管、低压煤气管或燃气支管、电信、通信、电力管（沟）等
既有市政道路	城市主干道、快速路、高速公路等	城市次干道和支路等
水体（河道、湖泊等）及水工构筑物	江、河、湖和海洋；码头结构、岸坝工程；水源地	一般水塘和小河沟
绿化、植物	受保护古树	其他树木

5.3.3 周边环境设施与新建城市轨道交通结构的接近程度宜用接近关系表示，分为非常接近、接近、较接近和不接近四级。环境设施与新建城市轨道交通结构的接近关系分级宜符合表7的规定。

表7 环境设施与新建城市轨道交通结构的接近关系分级表

施工方法	接近关系			
	非常接近	接近	较接近	不接近
明挖法、盖挖法	≤0.7H	0.7H~1.0H（含）	1.0H~2.0H（含）	>2.0H
矿山法 （包括钻爆法、浅埋暗挖等）	L≤0.5B	L=0.5B~1.5B（含）	L=1.5B~2.5B（含）	L>2.5B
	h≤0.7B	h=0.7B~1.5B（含）	h=1.5B~2.5B（含）	h>2.5B
盾构法、顶管法	L≤0.5D	L=0.5D~1.0D（含）	L=1.0D~1.5D（含）	L>1.5D
	h≤0.7D	h=0.7D~1.5D（含）	h=1.5D~2.0D（含）	h>2.0D
沉井法	≤0.5H	0.5H~1.5H（含）	1.5H~2.5H（含）	>2.5H
高架法	≤1.0d	1.0d~3.0d（含）	3.0d~5.0d（含） 上跨	>5.0d
注1：H为地下工程开挖深度或基底埋深；B为矿山法隧道毛洞宽度，当隧道采用爆破法施工时，需研究爆破振动的影响；D为隧道的外径；L为水平净距，h为垂直净距；d为桥梁桩径；				
注2：矿山法、盾构法、顶管法与环境设施的接近关系依据水平、垂直净距等两项指标确定，为双控指标。				

5.3.4 周边环境设施状况可根据环境设施已使用年限和当前结构完好状况等确定，宜通过一般判断或专项检测等综合确定。

5.3.5 当同一单位（子单位）工程范围内存在多个类型相近的环境设施，且可合并采取同一环境保护处理措施时，可归并为一个环境风险工程群，并按其中较高的风险等级采取措施。

5.4 风险接受准则

5.4.1 针对不同等级风险，应采用不同的风险处置原则和控制方案，各等级风险的接受准则应符合表8的规定。

表8 风险接受准则

等级	接受准则	处置原则	控制方案	应对部门
I级	不可接受	必须采取风险控制措施降低风险，至少应将风险降低至可接受或不愿接受的水平	应编制风险预警与应急处置方案，或进行方案修正或调整等	政府主管部门、工程建设

等级	接受准则	处置原则	控制方案	应对部门
II级	不愿接受	应实施风险管理降低风险，且风险降低的所需成本不应高于风险发生的损失	应实施风险防范与监测，制定风险处置措施	各方
III级	可接受	宜实施风险管理，可采取风险处理措施	宜加强日常管理与监测	工程建设各方
IV级	可忽略	可实施风险管理	可开展日常巡视检查	

6 工程自身风险分析与评价

6.1 一般规定

- 6.1.1 自身风险等级为 I、II 级的工程应重点进行风险分析与评价。
- 6.1.2 风险分析与评价可采用核查设计计算成果、工程类比分析、专家评议等方法，必要时应辅以理论分析和数值模拟等定量方法予以验证。
- 6.1.3 工程自身风险分析与评价应结合设计方案及相关工程措施的安全性、合理性、可实施性和施工风险等进行。
- 6.1.4 工程自身风险分析与评价应重点分析风险发生的主要影响因素、影响范围与影响程度，分析可能发生工程风险事件或事故的类型、发生位置、部位和工序，并给出必要的工程风险控制措施建议。
- 6.1.5 当工程设计中采用“新技术、新工艺、新材料、新设备”时，应进行工程自身风险分析与评价。

6.2 明（盖）挖法

- 6.2.1 明（盖）挖法应主要从以下各方面进行自身风险分析与评价：
- 工法选择的适宜性；
 - 围（支）护结构的合理性；
 - 所采用设计计算模型的合理性，各项基坑稳定安全性等；
 - 地下水处理方案；
 - 土方开挖方式、程序及风险分析；
 - 所采用地层加固措施的适宜性；
 - 盖挖逆作法竖向承载结构施工工艺的合理性和安全性；
 - 吊脚桩（墙）脚稳定性；
 - 爆破对围（支）护结构的影响；
 - 主体结构上浮风险分析。
- 6.2.2 对明（盖）挖法进行自身风险分析与评价时，应结合结构方案和环境条件，分析和提出建议的地下结构沉降或变形控制指标。

6.3 矿山法

- 6.3.1 矿山法宜根据地质条件对施工工法、地下水控制措施、初期支护结构、工程辅助措施、施工顺序、受力转换、计算模型等进行工程自身风险分析与评价。
- 6.3.2 矿山法应重点对下列情况进行工程自身风险分析与评价：
- 降水方案及止水帷幕措施；
 - 隧道开挖范围内存在富水砂层、淤泥质地层等不良地质地层；
 - 大断面隧道；
 - 平顶直墙隧道；

- e) 不良地层暗挖断面从小变大的隧道；
- f) 马头门位置；
- g) 明暗挖接口位置；
- h) 转弯处暗挖工程；
- i) 带泵房的联络通道；
- j) 穿越断裂带、破碎带、采空区、岩溶等不良地质的隧道；
- k) 邻近隧道（交叠隧道、小间距隧道）；
- l) 典型上软下硬地层；
- m) 拱盖法挑高进洞；
- n) 拱盖法大拱脚及高边墙；
- o) 拱盖法出洞；
- p) 爆破对超前支护、初支、拱脚的影响；
- q) 二衬结构上浮风险分析；
- r) 排水型矿山法隧道开挖及使用阶段，水量评估和监测。

6.4 盾构（TBM）法

6.4.1 盾构（TBM）法宜对机械选型、工程辅助措施、施工工序、计算模型、始发（接收）端头加固等进行工程自身风险分析与评价。

6.4.2 盾构法（或带有保压功能的 TBM）工程应重点对下列情况进行工程自身风险分析与评价：

- a) 穿越富水砂层、砂卵石地层；
- b) 穿越复合（不均匀）地层、空洞、（大）漂石、采空区、岩溶等不良地质的隧道；
- c) 穿越断裂带或有水库、河流、湖泊、池塘以及近海、跨海等大型水体及高水头地层；
- d) 始发（接收）井设计方案及始发（接收）段不良地层加固；
- e) 邻近隧道（交叠隧道、小净距隧道）；
- f) 联络通道开洞；
- g) 盾构（TBM）浅埋施工（覆土小于 1.0D）；
- h) 管片设计及拼装；
- i) 较大埋深段始发（接收）地层加固；
- j) 平面曲线地段、纵向大坡度地段始发（接收）。

6.4.3 TBM 法（非保压功能 TBM）工程应重点对下列情况进行工程自身风险分析与评价：

- a) 穿越水量大、渗透性强、软弱地层，强风化岩石地层或邻近强风化岩石地层施工；
- b) 地下水丰富的水库、河流、湖泊、池塘以及近海、跨海等高地下水位地层掘进施工；
- c) 穿越断层或破碎带施工局部掉块风险；
- d) 始发（接收）井开挖施工及始发（接收）段不良地层加固；
- e) 邻近隧道（交叠隧道、小净距隧道）；
- f) 联络通道开洞；
- g) TBM 浅埋施工（覆土小于 1.0D）；
- h) 管片设计及拼装。

6.5 高架结构

6.5.1 高架结构应对设计和施工方案的可行性及可实施性、不良地质条件等进行工程自身风险分析与评价。

6.5.2 高架结构符合下列条件时，应进行工程自身风险分析与评价：

- a) 斜拉桥、拱桥等体系复杂桥梁；
- b) 承台埋深较大（同深基坑）；
- c) 桥梁基础邻近地质断层、滑坡、岩溶等不良地质；
- d) 地质条件复杂、无类似工程经验的大直径桩基；
- e) 独柱高架车站的抗震性能；
- f) 墩身高大模板混凝土浇筑；
- g) 上部结构采用高支架施工、架桥机架设、悬浇、平转转体、顶推等特殊施工方法；
- h) 三层及以上高架车站抗风；
- i) 高架车站大跨钢结构屋盖稳定；
- j) 高架车站与复杂外立面联接节点；
- k) 建筑物、桥完全分离岛式车站基础不均匀沉降；
- l) 高架车站考虑架桥机架梁、运梁车运梁过站；
- m) 位于路中地表架空高架车站结构柱防撞；
- n) 独柱、大悬挑高架车站的抗震性能；
- o) 支座选型及安装工艺；
- p) 容易产生徐变下挠的大跨径桥梁。

7 环境风险分析与评价

7.1 一般规定

7.1.1 环境风险分析与评价宜在环境风险辨识与分级的基础上，根据工程特点、施工工法、施工难度、工程地质和水文地质条件、周边环境的重要程度和自身特点、周边环境与城市轨道交通结构的空间位置关系及环境保护方案或措施等进行。

7.1.2 环境风险分析与评价应针对环境保护设计方案、相关工程措施及选用计算模型（如有）的安全性、合理性、可实施性和施工对环境安全性影响等进行，并给出相应的环境风险控制措施建议。

7.1.3 环境风险分析与评价宜分析风险发生的影响因素、影响范围与程度等，明确可能发生环境风险事件或事故的类型、发生位置、部位和工序。

7.1.4 环境风险分析与评价可根据工程实际，分别或综合采用工程类比法、专家评议法等定性方法和理论分析、实验室仿真模型试验、数值模拟法等定量方法。

7.2 环境风险分析与评价

7.2.1 环境风险分析与评价宜重点对 I、II 级环境风险源进行。

7.2.2 明（盖）挖法、矿山法工程采用工程降水辅助措施时，应对降水引起的地面沉降和周边环境影响情况进行预测分析。

7.2.3 对 I、II 级周边环境风险的工程，应通过工程类比或数值计算等方面，对工程施工给周边环境造成的附加荷载、附加变形影响等进行施工附加影响分析，评价环境对象的安全性，判断施工工法、加固措施等能否满足环境设施所允许的剩余承载能力和剩余变形能力，并结合当地工程经验、相关变形监测规范及环境设施业主单位的要求提供监控量测控制值和工程措施优化或调整等风险控制的方案建议。I、II 级环境专项风险分析与评价流程可参照图 1 执行。

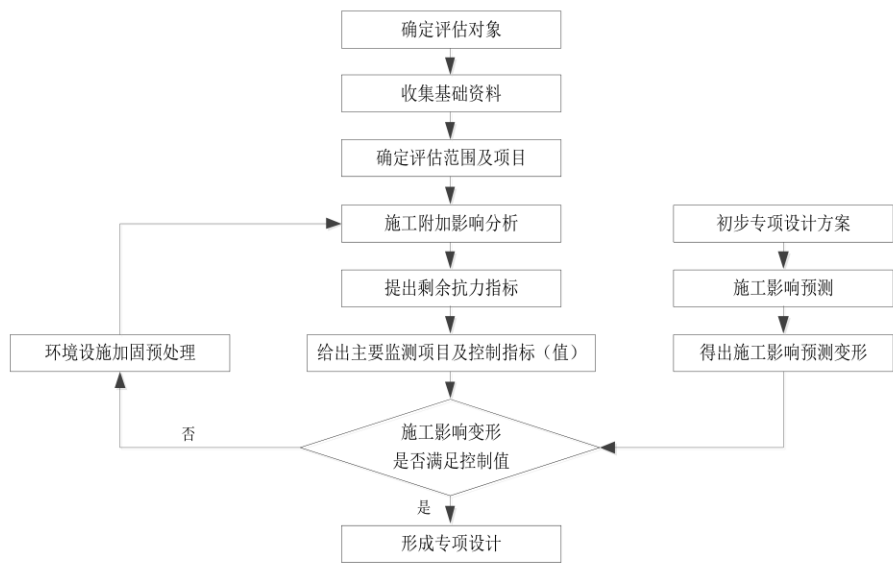


图1 I、II级环境专项风险分析与评价流程

7.2.4 环境影响风险分析与评价应收集相关勘察成果报告、环境调查资料、现状检测报告、环境设施原设计资料、竣工资料等基础资料。针对 I、II 级环境风险工程宜开展专项风险分析与评价。

8 工程安全风险控制

8.1 一般规定

- 8.1.1 安全风险控制应遵循安全第一、预防为主的原则，根据风险等级、评估结论和工程条件等，在风险工程设计中采取安全可靠、经济适用的风险控制方案或措施。
- 8.1.2 初步设计阶段在线路走向、车站站位的选择和布置时，宜避开不良地质和重要周边环境；并通过选择合理的施工方法、围（支）护结构、地下水控制、环境保护等方案降低风险。
- 8.1.3 施工图设计阶段应在安全、经济的基础上，制定工程自身风险控制措施和环境风险控制措施，并给出合理的监测控制值。

8.2 工程自身风险控制

- 8.2.1 明（盖）挖法基坑宜通过合理选择围护结构型式、支撑体系及其相应参数等措施控制工程自身风险，可根据情况采取下列措施：
 - a) 可采用加密钢支撑、加大钢支撑直径、设置倒撑、设置临时立柱等措施，以满足钢支撑稳定性要求；
 - b) 基坑阳角应在两边同时设置支撑，必要时局部应设置混凝土支撑；
 - c) 对变形控制要求严格或易产生较大变形的基坑，宜采用混凝土支撑施工，并考虑砼支撑达到设计强度之前对基坑的临时加固措施；
 - d) 当坑底承压水不满足突涌稳定性要求时，可采用止水帷幕隔断承压水或打设降压井等措施；
 - e) 对支护结构各构件施工顺序及相应的基坑开挖深度、基坑周边荷载限值、地下水和地表水控制、钢支撑防坠落措施、支撑端头型式等提出明确要求；
 - f) 吊脚桩（墙）底锁脚梁应采用混凝土型式，并采用锚索等加强措施；
 - g) 吊脚桩（墙）底预留岩肩处应采用控制爆破或静态破碎等措施保护岩肩。
- 8.2.2 矿山法工程宜通过选择合理的施工开挖方法、开挖步序、辅助施工措施、支护参数、受力转换

形式等措施控制工程自身风险，可根据情况采取下列措施：

- a) 采用注浆小导管、管棚、管幕等超前支护措施；
- b) 采用水平旋喷桩、洞内帷幕注浆、地面注浆等提前加固措施；
- c) 加强初支刚度，必要时增设中隔壁或临时仰拱；
- d) 采取打设锁脚锚杆、施作“L”型拱脚或其它控制拱脚沉降的措施；
- e) 合理选择格栅间距，快速封闭初支，并对初支背后及时充填注浆；
- f) 有断面变化的矿山法隧道，宜从大断面向小断面开挖；当从小断面向大断面开挖时宜先设置过渡段；
- g) 隧道断面采用拱形；
- h) 马头门处遵循“先衬砌后开口”或“先加强后开口”的原则进洞，加强措施采取密排钢格栅、设临时仰拱、打设管棚或双排长导管、设置加强环梁等；
- i) 对隧道施工步序、核心土留置、地面荷载限值、地下水控制提出明确要求；
- j) 通道进拱盖法断面采用门型钢架逐榀调高后，断面由低变高，设置初支钢架进行转换，然后再破除门型钢架进入正洞施工；
- k) 大拱脚设置在完整岩层上，若局部存在节理破碎带设置拱脚梁、拱脚桩；
- l) 拱盖法采用“先二衬后开洞”或“先支护后开洞”的原则出洞，支护措施采用密排型钢、超前管棚、涨壳式预应力锚杆等；
- m) 大拱脚处施工采用控制爆破或静态破碎等措施保护拱脚。

8.2.3 盾构（TBM）法工程宜通过调整盾构/TBM 掘进参数、加强同步注浆等措施控制工程自身风险，并宜符合下列规定：

- a) 严格控制盾构/TBM 压力舱压力，根据监测结果及时调整盾构/TBM 开挖土量、掘进速度等参数；
- b) 严格控制同步注浆量，必要时进行二次注浆，确保盾尾密封；
- c) 严格控制盾构/TBM 掘进姿态，及时纠偏；
- d) 始发（接收）端头采取地层加固措施，以使端头井土体的强度及渗透性满足盾构（TBM）始发或接收要求。仍不能满足要求时，应采取注浆、降水、冷冻法等其他辅助措施；
- e) 盾构/TBM 区间联络通道先加固后施工，破除盾构/TBM 管片前对盾构/TBM 隧道设置可靠的支撑系统。

8.2.4 明（盖）挖法基坑或矿山法隧道采用工程降水辅助措施时，应避免因界面水降不到位、降水效果不好等造成开挖面渗漏、带水作业等安全风险。工程场地地下水位较高且对周边环境的影响较大时，应采用止水帷幕或注浆止水等地下水处理方案。

8.2.5 矿山法、盾构（TBM）法工程的相邻隧道净间距宜大于 1 倍洞径，当隧道净间距小于 0.5 倍洞径时宜对中间土体进行加固。

8.2.6 高架结构宜通过采用合理结构型式和施工方案等措施控制工程自身风险，并符合下列规定：

- a) 大跨度梁桥、斜拉桥、拱桥等体系复杂桥梁，除在计算和构造上保证自身结构安全性外，还应关注主梁后期徐变变形、拉索和吊杆更换对运营安全影响；
- b) 高支架施工方案宜与预制架设和移动模架现浇施工等方案进行安全经济比选后确定；
- c) 当采用架桥机整孔预制架设、节段预制拼装以及存在体系转换的悬臂浇筑、转体和顶推等施工方案时，设计阶段应按实际施工步骤和施工工况进行模拟计算、验算结构强度及稳定性；
- d) 设计阶段应选用合理的支座类型及布置方式，并对安装工艺等提出相关要求；
- e) 高架车站结构与外立面节点联接应有加强措施，验算结构强度和稳定性；
- f) 独柱高架车站抗震性能应满足要求；
- g) 路中高架车站基础及墩台应当采取防撞措施；

h) 顶盖预埋件设置位置应受力合理，并保证预埋件节点混凝土浇筑质量满足设计要求。

8.3 环境风险控制

8.3.1 地下结构环境风险控制宜从施工工法、支护结构施工、土方开挖和地下水控制等方面分析对环境的影响，在严格控制工程自身风险基础上，根据工程条件采用加强围（支）护刚度、设置隔离桩（墙）、地层加固、基础托换、顶升等保护措施，确保周边环境的正常使用及安全。

8.3.2 明（盖）挖法、矿山法工程采用工程降水辅助措施时，施工中应进行地下水动态观测；并应对周边环境进行同步监测，确保地下水位变化下周边环境的正常使用及安全。

8.3.3 矿山法、盾构（TBM）法隧道穿越 I 级环境风险工程时，应设置试掘进段，根据试掘进段施工经验，优化施工参数。

8.3.4 高架结构的环境风险控制应符合下列规定：

- a) 桩基施工时，采用适宜的成桩工艺，并加强防护；
- b) 上跨既有轨道交通线、铁路、市政道路或桥梁等构筑物时，满足产权部门相关规定，并采取专门防护措施；
- c) 临时墩、临时支撑等施工临时结构应进行强度、稳定性等验算，且施工临时结构不得侵入周边环境对象限界。

8.4 工程监测与信息反馈

8.4.1 工程监测设计中应明确工程风险监测对象、项目和监测控制值，对监测点布设、监测仪器、监测频率、监测成果及信息反馈提出相关技术要求。

8.4.2 I、II 级周边环境风险工程的风险源监测控制值，应根据专项安全风险评估成果和专项设计文件，并结合专家审查意见给出。

8.4.3 工程监测设计应根据不同风险工程等级、类型和监测对象的特点进行编制。对 I 级、II 级环境风险的工程，宜采用高精度、多频次的远程自动化监测方法。

8.4.4 工程监测数据达到预报警要求时应立即启动预报警程序，按照预报警预案要求进行监测、信息反馈及施工。

9 风险评估成果文件编制

9.1 初步设计阶段宜编制安全风险评估专篇，评估内容至少应包括下列内容：

- a) 工程概况及设计范围；
- b) 地形地貌、工程地质与水文地质概况；
- c) 自身风险工程、环境风险工程的风险识别，风险源清单表的编制可按附录 B 执行；
- d) 各级工程风险分析及设计控制措施；
- e) 有关附图、附表。

9.2 施工图设计阶段应编制安全风险分级核查表、工程风险设计文件等，文件内容包括风险分析评价、工程环境监测控制标准、工程技术措施、环境影响保护措施和专项监测方案。其中针对 I 级自身风险工程和 I、II 级周边环境风险工程应开展专项设计。

附 录 A
(资料性)
常见工程安全风险表

明(盖)挖法常见风险因素及风险事件见表A.1。

表A.1 明(盖)挖法常见风险因素及风险事件

设计方案或工程措施	风险因素	可能导致的安全风险
围(支)护结构	阳角处支撑布置不当	围护结构变形、基坑失稳
	钢支撑需要换撑时，未考虑最不利工况或最不利工况考虑不周全	围护结构变形、基坑失稳
	锚杆(锚索)较长，其设置未充分考虑周边环境情况，如邻近地下室等	周边环境破坏，或超出建筑红线，影响后期的邻近工程施工
	基坑放坡支护时坡面及坡顶的护坡措施不合理	边坡变形、开裂、坍塌、基坑失稳
	基坑深度变化处的支撑体系布置不当	围护结构变形、基坑失稳
	荷载或边界条件非对称，计算模型未能反映实际情况	围护结构变形、围护桩配筋不合理、基坑失稳、影响周边环境正常使用或周边建构筑物变形过大
	受相邻在建基坑开挖影响，未考虑相互开挖顺序或未采取相应措施或计算模型未能反映实际情况	围护结构变形、围护桩配筋不合理、基坑失稳、影响周边环境正常使用或周边建构筑物变形过大
地下水控制	围护桩桩间、地下连续墙接缝处止水措施不合理，止水效果差	围护结构渗漏、桩(墙)背土体颗粒流失、围护结构变形大、基坑失稳、影响周边环境正常使用或周边建构筑物变形过大
	降水、排水方案未充分考虑水文地质条件，不合理	周边环境沉降、变形大；或水位降不下去
	坑底存在富水粉细砂层，降水方案不合理	坑底涌水、涌砂
	采用止水措施不合理及可能受承压水影响较大，止水效果差	围护结构渗漏、桩(墙)背土体颗粒流失、围护结构变形大、基坑失稳、影响周边环境正常使用或周边建构筑物变形过大
	承压水未进行处置或处置不当	坑底突涌
地层加固	当坑底为软土(淤泥、淤泥质土)地层，无法提供围护结构被动区抗力，导致坑底变形较大时，坑底未加固或加固措施不合理	围护结构变形、基坑失稳
土方开挖	土方开挖方案在实施时可能导致基坑边坡坡顶附加荷载过大	边坡变形、开裂、基坑失稳
	土方开挖方案(如分层开挖厚度等)对地层、周边环境的适应性	周边环境沉降、变形超限
	土方开挖方案导致钢支撑不能及时架设	钢支撑架设不及时，围护结构变形、基坑失稳
	软土(淤泥、淤泥质土)地层中基坑土方开挖，分层开挖厚度过大，或未采取地层加固措施	开挖面坍塌，围护结构变形
	深厚富水砂层中基坑土方开挖，坑内降水失效，或分层开挖厚度过大	开挖面坍塌
	采用“中拉槽”方式开挖，未设置试挖段，未有针对性的监测方案	围护结构变形、开挖面坍塌、基坑失稳、开裂

矿山法工程常见风险因素及风险事件见表A. 2。

表A. 2 矿山法工程常见风险因素及风险事件

设计方案或工程措施	风险因素	可能导致的安全风险事件
超前支护、支护方法	小导管、大管棚等超前支护方法与地层适应性差	拱顶渗漏、坍塌，地表沉降
隧道开挖	大断面隧道施工方法的选择是否合理	初支变形大，掌子面坍塌，不满足周边环境的保护要求
	竖井侧向开口进洞、横通道侧向开口进洞的开挖方案是否合理	初支变形大，掌子面坍塌，不满足周边环境的保护要求
	平面转角处、断面变化处、马头门处、明暗挖交界处，施工的受力体系转换复杂，工序多	掌子面坍塌，初支变形大，不满足周边环境的保护要求
	大跨度平顶直墙断面矿山法施工	隧道坍塌，初支变形大，不满足周边环境的保护要求
邻近隧道施工	相邻隧道净距小（ $\leq 0.5B$ ）	隧道受偏压，中间土体易坍塌
地下水控制	施工降水失效或水位异常	掌子面渗漏、坍塌
	基岩张性裂隙带中强透水带、岩溶水止水失效	掌子面突水、坍塌

盾构法工程常见风险因素及风险事件见表A. 3。

表A. 3 盾构法工程常见风险因素及风险事件

设计方案或工程措施	风险因素	可能导致的安全风险事件
盾构机选型与地层适应性	盾构机选型与地层的适应性	选型不合理，工程推进困难，严重的可导致工程无法进行
	淤泥、淤泥质地层	掌子面坍塌，盾构姿态难以控制
	上软下硬地层	易发生盾构抬头，偏离设计界限
	大卵石、巨型漂石	掌子面坍塌，掘进困难、盾构姿态难以控制
	深厚富水砂层	掌子面坍塌、地面沉降超限、盾构机喷涌
	盾构下卧层为软土层	盾构下沉、管片错台、偏离设计界限
端头加固	盾构端头加固方法与地层的适应性	加固效果达不到强度或防渗要求，引起渗漏、坍塌
	端头加固范围不足	地面沉降、引起渗漏、坍塌
近接隧道施工	相邻盾构隧道间距小	后施工隧道对先施工隧道扰动较大，易发生先施工隧道管片破损
	重叠隧道	盾构下沉、管片接缝张开量加大、管片开裂
隧道掘进	小半径盾构掘进	轴线方向控制难、曲线外侧偏移大、管片错台
地下水控制	始发、接收段存在高地下水与砂层	地面沉降、坍塌
	高地下水压力	涌水

高架结构常见风险因素及风险事件见表A. 4。

表A. 4 高架结构常见风险因素及风险事件

设计方案或工程措施	风险因素	可能导致的安全风险事件
基础及墩台	基础、承台深基坑施工	基坑失稳、坍塌
	超长桩	施工偏差、塌孔、断桩
	运营期间存在被撞风险	结构破坏, 经济损失
支架现浇	高支架施工	支架倒塌
架桥机架设	架桥机、运梁车荷载	主梁\桥墩开裂、强度破坏、架桥机倾覆、主梁倾覆、桥墩失稳、主梁\桥墩局部承压破坏
悬浇	0#块临时固接措施	主梁倾覆
	体系转换方案	主梁开裂、强度破坏、轨顶标高不满足轨道要求
	主梁混凝土超方、悬臂施工不平衡荷载	主梁倾覆、桥墩失稳、主梁开裂、强度破坏
平转转体	主梁混凝土超方、施工不平衡荷载	主梁倾覆、撑脚失稳、无法转体、脱架
	球铰偏心设置不合理	主梁倾覆、撑脚失稳
顶推	临时墩布置及验算	主梁倾覆、临时墩坍塌、主梁开裂、强度破坏、侵入相交限界
	滑道、牵引、纠偏系统设计	无法滑动、局部构件损坏、临时墩失稳
	顶升及落梁	主梁开裂、强度破坏
人行天桥架设	天桥安装过程中对现状交通存在影响	人员伤亡、经济损失、工期延误
顶盖预埋件	预埋件节点混凝土浇筑质量	施工偏差、局部构件损坏
其它	支座安装错误	支座损坏、主梁开裂、强度破坏、行车安全性减小

常见环境风险因素及风险事件见表A. 5。

表A. 5 常见环境风险因素及风险事件

类型	风险因素	可能导致的安全风险事件
受工程施工附加影响	受地层加固影响的既有城市轨道交通工程、周边的房屋、道路、桥涵等	建构筑物不均匀沉降、倾斜、坍塌、影响运营
	受堆载影响的既有城市轨道交通工程、周边的房屋、道路、桥涵等	建构筑物不均匀沉降、倾斜、坍塌、影响运营
	受车站及竖井等明挖施工影响的既有城市轨道交通工程、周边的房屋、道路、桥涵等	建构筑物不均匀沉降、倾斜、坍塌、影响运营
	受盾构、暗挖等隧道施工影响的既有城市轨道交通工程、周边的房屋、道路、桥涵等	建构筑物不均匀沉降、倾斜、坍塌、影响运营
建（构）筑物、桥梁保护措施	基坑邻近既有城市轨道交通工程，无加固、隔离等保护措施	不均匀沉降、开裂、耐久性降低、影响运营
	基坑邻近砖混或框架结构建（构）筑物，无加固、隔离等保护措施	建（构）筑物沉降、开裂、耐久性降低、影响正常使用
	下穿、近距离侧穿既有城市轨道交通工程	不均匀沉降、开裂、耐久性降低、影响运营

表A.5 常见环境风险因素及风险事件（续）

类型	风险因素	可能导致的安全风险事件
建（构）筑物、桥梁保护措施	下穿、近距离侧穿浅基础砖混或框架结构建（构）筑物	建（构）筑物沉降、开裂、耐久性降低、影响正常使用
	下穿、近距离侧穿桩基础（桩底位于隧道以上）砖混或框架结构建（构）筑物	建（构）筑物沉降、开裂、耐久性降低、影响正常使用
	下穿既有桥梁，桥基位于隧道施工强烈影响区	桩基沉降、变形、耐久性降低、影响正常使用
管线保护措施	基坑邻近较大直径（ ≥ 300 mm）热力、煤气、天然气等有压管线，无保护措施	管线沉降、变形甚至爆裂
	基坑邻近较大直径（ ≥ 400 mm）铸铁给水、排水管线，无保护措施	管线沉降、变形甚至渗漏引起基坑涌水、涌砂、围护结构变形坍塌
	基坑邻近较大直径（ ≥ 400 mm）砼给水、排水管线，无保护措施	管线沉降、变形甚至渗漏引起基坑涌水、涌砂、围护结构变形坍塌
	横跨基坑的大埋深、大直径（ $\Phi 800$ 及以上）排水管线采用悬吊保护措施，影响围护桩（墙）施工，未有相应措施	围护桩间距过大，影响围护结构稳定
	横跨基坑的有压、给排水管线，虽采取迁改措施，但迁改后仍距离基坑较近，无保护措施	管线沉降、变形甚至渗漏
	下穿大断面暗涵、排水箱涵	暗涵、箱涵变形、渗漏
	近距离（2 m以内）下穿各种较大直径（ ≥ 300 mm）有压管线如热力管、煤气管、天然气管、石油石化管线等	管线沉降、变形甚至爆裂
	近距离（2 m以内）下穿各种较大直径（ > 400 mm）铸铁给排水管线	管线沉降、变形，渗漏引起隧道涌水、涌砂
	近距离（2 m以内）下穿各种较大直径（ > 400 mm）砼给排水管线	管线沉降、变形，渗漏引起隧道涌水、涌砂
穿越既有轨道交通设施、市政道路或高速公路保护措施	邻近交通繁忙的市政道路	路面沉降、变形甚至开裂
	下穿既有高速公路、铁路干线	路基沉降、变形
	下穿交通繁忙的市政道路	道路沉降、开裂
高架桥上跨既有轨道交通、市政道路或高速公路保护措施	邻近地铁线路	隧道沉降、变形甚至开裂
	上跨既有高速公路、铁路干线	路基沉降、变形
	上跨交通繁忙的市政道路	道路沉降、开裂
高架线临近高压走廊	邻近110 kV以上高压走廊	电击
邻近或下穿地表水体保护措施	下穿地表水体	工作面渗漏、突涌
	基坑邻近地表水体	工作面渗漏、突涌

附 录 B
(资料性)
风险工程分级清单表

初步设计或施工图设计阶段风险源清单表见表B. 1。

表B. 1 初步设计或施工图设计阶段风险源清单表

标段/工点名称： 初步设计/施工图设计单位： 工点设计单位：

序号	风险工程名称	位置、范围	风险基本状况描述	初始风险等级	设计处置措施	残余风险等级	备注
一	工程自身风险(可统计给出各级自身风险工程的数量统计)						
1							
2							
3							
...							
n							
二	周边环境风险(可统计给出各级环境风险工程的数量)						
1	**环境风险						
2	**环境风险						
3							
...							
n							
注1：风险基本状况描述主要包括工程特点、风险因素辨识、可能导致风险事件等内容； 注2：设计处置措施是指工程已采取的设计方案、环境保护方案或工程措施，以及设计变更、方案优化调整及施工 重点注意事项等风险控制对策或建议。							

参 考 文 献

- [1] GB/T 20032 项目风险管理 应用指南
 - [2] GB/T 24353 风险管理 原则与实施指南
 - [3] GB 50157 地铁设计规范
 - [4] GB 50307 城市轨道交通岩土工程勘察规范
 - [5] GB 50497 建筑基坑工程监测技术规范
 - [6] GB 50652 城市轨道交通地下工程建设风险管理规范
 - [7] GB 50722 城市轨道交通建设项目的管理规范
 - [8] GB 50911 城市轨道交通工程监测技术规范
 - [9] 《城市轨道交通工程安全质量管理暂行办法》（建质[2010]5号）
 - [10] 《城市轨道交通工程质量安全检查指南》（建质[2016]173号）
 - [11] 《大型工程技术风险控制要点》（建质函[2018]28号）
 - [12] 《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》（住建部[2018]37号令）
-