

团 体 标 准

T/CCTAS XX—2024

城市地下工程下穿既有道路坍塌风险预控 技术规程

Technical specification for pre-control of collapse risk of urban underground
engineering under existing roads

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

中国交通运输协会 发 布

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

 4.1 预控原则 错误！未定义书签。

 4.2 预控原则地下病害体探测方法 2

 4.3 动态监测 2

 4.4 风险评估 3

 4.5 风险预控 3

5 地下风险源探测 3

 5.1 一般规定 错误！未定义书签。

 5.2 地下风险源 3

 5.3 地下风险源验证 4

6 道路坍塌高风险区动态监测 4

 6.1 一般规定 错误！未定义书签。

 6.2 动态监测方法 4

 6.3 动态监测要求 4

7 道路坍塌风险评估 6

 7.1 一般规定 错误！未定义书签。

 7.2 风险因素分析 6

 7.3 风险可能性评价 7

8 道路坍塌风险预控 10

 8.1 空洞充填 10

 8.2 注浆加固 错误！未定义书签。

 8.3 超前管棚 错误！未定义书签。

 8.4 超前小导管 错误！未定义书签。

 8.5 地下管线预先保护 错误！未定义书签。

 8.6 冷冻加固 错误！未定义书签。

 8.7 路面防护 错误！未定义书签。

 8.8 交通管控 错误！未定义书签。

附 录 A （资料性）时间序列 InSAR 地表形变监测精度推荐等级 12

参 考 文 献 13

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。

本文件由中国交通运输协会新技术促进分会提出。

本文件由中国交通运输协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：山东大学、中国石油大学（华东）、中国城市规划设计研究院、青岛市西海岸轨道交通有限公司、山东能源集团有限公司、青岛市勘察测绘研究院、中铁一局集团第五工程有限公司、青岛海信网络科技股份有限公司、山东建筑大学、山东科技大学、枣庄学院、山东交通学院。

本文件主要起草人：刘人太、李术才、张庆松、白继文、范建国、刘衍凯、张连震、于鹏、杨绍玉、朱祥山、常勇、王孟、董岳、刘爱华、姚伟奇、张培元、林琴岗、陈家财、李健健、许新骥、冯啸、王洪波、姜鹏、李志鹏、梁家磊、陈新、程冰川、黄长鑫、赵军云、王安妮、童浩、王惠雨。

城市地下工程下穿既有道路坍塌风险预控技术规程

1 范围

本文件规定了地下空间灾变风险预控技术的术语和定义、基本规定、地下病害体探测、坍塌高风险区动态监测、道路坍塌风险评估、道路坍塌风险预控。

本规程适用于城市地铁隧道、车站、通道等工程下穿既有道路施工期间，道路坍塌风险的探测、监测、风险评估与预控。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 50438 地铁运营安全评价标准
- GB 50497 建筑基坑工程监测技术标准
- GB 50911 城市轨道交通工程监测技术规范
- JGJ/T 437 城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准
- CH/T 6006 时间序列InSAR地表形变监测数据处理规范
- Q/CR9218 铁路隧道监控量测技术规程
- T/CECS 590 岩溶空洞泡沫混凝土充填技术规程
- JGJT 212 地下工程渗漏治理技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 既有道路 Existing roads

现在存在的道路。

3.2 道路坍塌风险 Road collapse risk

引起路面坍塌的风险源。

3.3 地表形变监测 Ground deformation monitoring

获取某一地区地表形变信息的过程。应用的测量方法主要是水准测量、全球导航卫星系统(GNSS)测量或合成孔径雷达干涉测量等。

3.4 全分布式布里渊光纤感测技术 Fully distributed Brillouin optical fiber sensing technique

利用光纤中传输光波的布里渊散射，无需具体的传感探头，即可测量光纤沿线结构任意位置处应变与温度的感测技术，简称分布式光纤感测技术。

3.5 时间序列 SAR 图像 Time series SAR images

同一颗或编队SAR卫星对同一地区以相同的拍摄模式、入射角和极化方式获取的多次重复观测雷达图像。

3.6 地下风险源 Underground risk sources

存在于地面以下的空洞、脱空、疏松体、富水体等威胁城市安全的不良地质体。

3.7 空洞 void

地下土体中自然发育或人工形成的具有一定规模的洞体。

3.8 风险评估 Risk evaluation

对风险进行界定、辨别和估计，采用定性或定量方法分析风险。

3.9 风险等级 Level of risk

根据地下病害体风险发生可能性等级及风险后果等级综合确定的风险程度。

4 基本规定

4.1 总体原则

4.1.1 城市地下工程下穿既有道路坍塌风险预控技术应在下列情形进行：

- a) 地下工程施工前，宜进行风险预控；
- b) 地下工程施工中，宜定期进行风险预控；
- c) 地下工程施工后，宜进行风险预控；
- d) 当地面发生严重变形或塌陷事故、地下管线发生变形或破损时，应立即进行风险预控；
- e) 城市主干道路、广场及重点管线区域，宜进行风险预控；
- f) 城市重大社会活动举办前，宜对涉及的道路区域进行风险预控；
- g) 新建自来水、热力管线通水后，宜进行风险预控。

4.1.2 城市地铁下穿既有道路坍塌风险预控技术的处理原则包括：

- a) 采用地球物理探测方法对施工影响区域进行详细探查，明确施工影响范围内地下病害体的存在形式、规模、大小；
- b) 依据地球物理探测结果制定合适的施工区域动态监测方法，获取地表、地层、隧洞的变形数据，反演地下病害体的发展规律，动态反应施工影响区域变形状态，并用于修正、验证处置方案的实施效果；
- c) 利用道路坍塌风险评估对动态变形数据进行动态分析，实时反应道路坍塌风险等级，用于修正监测方法和改进道路坍塌风险处置措施；
- d) 利用动态改进的道路坍塌风险处置措施完成道路坍塌风险控制，确保施工安全。
- e) 城市地铁下穿既有道路坍塌风险预控包括如下技术流程：地下病害体地球物理探测、坍塌高风险区动态监测、道路坍塌风险评估、道路坍塌风险预控。

4.2 地下病害体探测方法

城镇道路地下风险源探测应结合既有的岩土工程、市政设施、水文气象、已发生病害记录等资料，选用合理技术方法，查明探测区域内地下风险源的属性特征，对探测的道路进行塌陷风险评估，提出风险管控对策，并应对地下风险源进行数字化管理。

地下风险源的探测应具备下列条件：

- a) 地下风险源与周边土体应存在一定的地球物理性质差异。
- b) 地下风险源尺寸相对于埋藏深度或探测距离应具有一定的规模。
- c) 现场应具备探测的实施条件。

4.3 动态监测

坍塌高风险区动态监测应符合下列规定：

- a) 动态监测应建立预警管理制度，包括监测预警等级、预警标准、警情报送对象、时间和方式等。
- b) 当现场地质情况或施工方法发生变化时，应及时调整动态监测项目和内容。

- c) 动态监测数据应及时校对和整理，信息传递渠道通畅，反馈及时有效。
- d) 采用信息化手段进行监控量测数据分析和反馈。

4.4 风险评估

道路坍塌风险评估应符合下列规定：

- a) 道路坍塌风险评估应采用在地下病害体综合探测的基础上，结合城市地铁工程规模、埋深、施工工法、支护结构设计以及周边环境信息，确定其坍塌风险等级，提出风险控制对策建议。
- b) 道路坍塌风险评估应包括地下病害体探测、坍塌高风险区动态监测、风险发生可能性评价、风险后果评价及风险等级评定。
- c) 坍塌风险发生可能性和风险后果评价宜采用指标体系法，坍塌风险等级评定宜采用风险矩阵法。

4.5 风险预控

道路坍塌风险预控应符合下列规定：

- a) 充填设计应根据工程勘察报告以及拟建工程特征确定泡沫混凝土的等级、抗压强度、流动度等性能指标。
- b) 城市轨道交通隧道超前预注浆应坚持因地制宜、安全可靠、经济合理、保护环境的原则。
- c) 城市轨道交通隧道超前预注浆过程必须严格按照施工方案执行，确保钻孔安全注浆。根据注浆和地层的变化，适时调整注浆压力和注浆材料的种类及配比，保证注浆质量。
- d) 城市轨道交通隧道超前预注浆安全控制应结合地铁隧道安全控制措施和监测系统，隧道已有的监测系统应妥善保护和使用。

5 地下风险源探测

5.1 基本要求

5.1.1 地下风险源的探测旨在摸清施工区域地质情况，获取地下风险源及不良地质因素的相关属性，经道路坍塌风险评估后为坍塌风险动态监控及道路坍塌风险预控措施的设计提供基本数据。

5.1.2 地下风险源的探测可采用地球物理探测方法，并与钻探、井探、槽探、洞探等方法组合使用。

5.1.3 城市地铁下穿既有道路坍塌风险源探测应包括空洞、富水砂层、断层破碎带、回填土、地下管线渗漏等。

5.1.4 对地下风险源的探测成果应进行验证，并符合 JGJ/T437 等的相关规定。

5.2 地下风险源

5.2.1 地下风险源的探测内容应包括风险源的类型、埋深、位置、尺寸、数量、填充物、地下水位以及风险源周围地质状况。

5.2.2 空洞的探测可采用探地雷达法、高密度电阻率法、瞬态面波法、微动勘探法、地震映像法和瞬变电磁法等地球物理方法，与钻探、井探、槽探、洞探。对于空洞应探测其空洞尺寸、位置、规模、富水状态、填充物、地下水位等。

5.2.3 对于富水砂层可采用探地雷达法、瞬态面波法和微动勘探法探测砂层的埋深、砂层厚度、地层分布等，采用钻探取样、原位测试、室内试验等方法获取砂层含水率、内摩擦角、密度、密实度、颗粒级配等物理性质。

5.2.4 断层破碎带可采用探地雷达法、瞬态面波法和微动勘探法探测破碎带规模、位置、延展方向、倾向、倾角、贯穿情况、地下水位等，采用钻孔取样的方法获取破碎带岩体的力学性质和裂隙分布情况。

5.2.5 对于回填土可采用探地雷达法、瞬态面波法和微动勘探法探测回填土分布、厚度等，采用钻孔取样、原位测试等方法获取回填土的物质成分、颗粒级配、均匀性、密实性、压缩性和湿陷性。

5.2.6 对于地下管线渗漏可采用探地雷达法、高密度电阻率法、瞬变电磁法等探测地下管线渗漏的位置、影响范围等，并采取钻探等方式探测渗漏管线周围土体的含水率、渗透率等。

5.3 地下风险源验证

5.3.1 地下风险源探测成果的验证应确定风险源的类型、埋深等属性。

5.3.2 成果验证点宜根据地下风险源类型、场地条件和危害对象的重要性等因素进行选择。

5.3.3 成果验证的方法应符合下列规定：

- a) 宜选用钻探、挖探、钎探等方法；
- b) 验证点宜布设在地下风险源的物探反应最强部位或中心部位；
- c) 当验证地下风险源边界时，宜在地下风险源边缘增设验证点；
- d) 对采用单一方法探测的地下病害体，当不具备钻探、挖探、钎探等作业条件时，可采用其他物探方法进行验证。

5.3.4 地下风险源探测成果的判定应符合 JGJ/T437 等的相关规定。

6 道路坍塌高风险区动态监测

6.1 基本要求

6.1.1 动态监测通常用于观察和测量地质、环境、结构或其它系统的变化。动态监测内容主要由地下监测部分、地表应力应变监测、地上监测部三部分组成。

6.1.2 道路坍塌高风险区动态监测应满足“适应过程、应急聚焦”的原则，建议采用多源监测技术协同监测，针对不同监测现场、数据分辨率要求、监测精度、监测周期优化监测方案。

6.1.3 动态监测必须具备数据实时融合显示平台，使用数据融合技术将不同来源的数据整合在一起，以提供更全面、更准确的信息。同时，平台须具备安全预警功能，预警内容应包括：预警级别、报警测位置、预警范围、报警监测数值和预警阈值等信息，动态监测应符合 CH/T 6006 规定的要求。

6.2 动态监测方法

6.2.1 地上监测内容为位移监测，方法主要有三维激光扫描方法、全自动测量机器人方法、卫星遥感方法（光学/电磁波）、合成孔径雷达方法、全球定位系统（GPS）、无人机和航空摄影、水准监测方法、全站仪测量方法等。水准监测方法中竖向位移及水平位移监测方法应分别符合 GB 50911 规定的要求。

6.2.2 地表主要监测内容为应力应变监测，其主要监测方法主要有电阻式应力应变计、光纤应力应变计、全分布式光纤传感监测、震弦式应力应变计等方法。

6.2.3 地下监测内容为地下水位监测、温度监测、应力监测、位移监测，主要监测方法地震波监测、电磁检测、温度传感器监测、位移计监测、应变计监测。

6.2.4 多监测内容同步进行时应满足：

- a) 时间协同：确保所有监测活动都是时间同步的，以便在分析时可以相互印证。
- b) 空间协同：地下、地表和地上的监测应在相同或相近的地点进行，以便能够全面理解一个区域的动态。
- c) 参数协同：尽量确保不同监测方法测量的参数是可以互相验证或互补。例如，如果地下监测观测到地表移动，地表应力应变监测应该能够对这一现象给出独立的数据。

6.3 动态监测要求

6.3.1 地上动态监测方法实施应满足：

- a) 监测基准点/控制点：布设于风险影响范围以外的稳定区域，且每个监测工程的竖向位移观测的基准点不应少于 3 个，水平位移观测的基准点不应少于 4 个。基准点应定期复测，当时用工作基点时应与基准点进行联测；
- b) 监测范围：监测范围必须完全覆盖安全预警边界；
- c) 监测频率：应符合 GB/T 50438 规定的要求，监测频率应根据风险预警等级分级设置，建议分为长周期监测、短周期监测、动态实时监测；
- d) 监测预警值：监测预警值分级设置，建议分为相应规范预警阈值的 60%、70%、80%、90%等四个等级。

6.3.2 地表动态监测实施过程中应满足：

- a) 传感器选择：传感器类型选择应与现场环境温度、湿度、化学性质等相适应，传感器精度、量程满足测量要求；
- b) 传感器安装：传感器优先选择无损安装方式，避免因设备安装造成被测结构损伤。监测设备应部署于相对稳定、观测代表性强的地点，同时增加相应保护装置，避免设备受外在环境、人、物等影响；
- c) 传感器检校：定期对传感器进行检校，同时对监测结果进行不确定性分析，明确其可信度。
- d) 监测数据处理：传感器易受环境种温度、湿度、风等因素影响，数据处理时必须进行数据补偿处理；
- e) 监测数据传输与访问：对传感器数据和控制接口的访问权限进行安全设置，使用无线传输时应加密数据以保护其安全，同时确保数据及时备份。

6.3.3 地下动态监测过程中应满足：

- a) 监测方法选择：根据监测内容、监测精度、地理和地质条件选择合适的两种及以上地下监测方法，确保不同监测数据可以相互验证；
- b) 监测传感器安装：多种传感器应优先选择组合安装，既能剔除犹豫地下环境变化造成的误差，又能减少对既有地层的损坏。例如温度传感器与应变传感器同步安装，可以利用温度数据对应力应变监测数据进行数据补偿处理；
- c) 时间相关性：地下监测频率应与地表监测频率呈周期性同步状态，便于解释地下和地表现象的内在联系；
- d) 多参数协同：地下动态监测往往会出现多对象、多方法，监测过程种须注意多参数协同观测，既能获取地下风险源的发展原因，又能在不同维度解释地下风险源的范围、发育状态、发展方向。

6.4 动态监测预警指标

6.4.1 动态变形预警指标要求

监测数据必须是可靠真实，监测数据真实性要求所有监测数据必须以原始记录为依据。监测预警指标参照下表1，并应符合Q/CR9218规定的要求。

表1 动态变形报警指标

监测项目	变化速率报警值	累计变形报警值	
建筑物沉降	1 mm/d	30mm	
地下管线沉降	2 mm/d	雨污	20mm
		其它	30mm
拱顶沉降	3 mm/d	20mm	
管片沉降	2 mm/d	10mm	
净空（管片）收敛	2 mm/d	10mm	
地表沉降	3 mm/d	-30mm/+10mm	

地下水位	500	1000
坡顶水平位移	$\geq 2\text{mm/d}$	$\leq 0.1\%H$ 且 $\leq 20\text{mm}$
坡顶竖向位移	$\geq 2\text{mm/d}$	$\leq 0.1\%H$ 且 $\leq 20\text{mm}$
锁口梁顶部竖向位移	2mm/d	$-30\text{mm}/+10\text{mm}$
钢筋应力、支撑轴力	依据技术设计书	设计容许值的0.7倍

6.4.2 动态变形监测频率要求

监测项目必须进行周期性监测，监测频率指标参照下表2，监测设备及精度应符合GB50497规定的要求。

表2 动态变形监测频率指标

监测项目	量测频率	
	基坑或区间开挖期间	基坑开挖完成后至地表稳定期间
建筑物沉降	1 次/天	1 次/3~30天
地下管线沉降	1 次/天	1 次/3~30天
拱顶沉降	1 次/天	1 次/3~30天
管片沉降	1 次/天	1 次/3~30天
净空（管片）收敛	1 次/天	1 次/3~30天
地表沉降	1 次/天	1 次/3~30天
地下水位	1 次/天	1 次/3~30天
坡顶水平位移	1 次/天	1 次/3~30天
坡顶竖向位移	1 次/天	1 次/3~30天
锁口梁顶部竖向位移	1 次/天	1 次/3~30天
爆破振动	每炮必测	
现场巡视	每 天	

7 道路坍塌风险评估

7.1 基本要求

7.1.1 道路坍塌风险评估的原则为动态评估、时时反馈坍塌风险等级，达到改进风险区动态监测方法及预警指标，检验与指导道路坍塌处置措施的目的。

7.1.2 道路坍塌风险评估应在地下风险源综合探测的基础上，结合城市地铁工程规模、埋深、施工工法、支护结构设计以及周边环境信息，确定其坍塌风险等级，提出风险控制对策建议。

7.1.3 风险评估指标及权重应根据地下风险源特征、地质环境、建（构）筑物分布、人员分布、社会影响等因素确定，指标应具有代表性、针对性和全面性。

7.2 风险因素分析

7.2.1 根据风险评估要求，应对施工过程影响道路坍塌的风险因素进行分析调查。

7.2.2 风险因素调查可根据不同因素的特点，采用资料收集、现场探测等方式进行。

7.2.3 道路坍塌风险影响因素分析应包含下列内容：

- a) 地下风险源类型、规模、位置和埋深等信息。
- b) 地下风险源影响范围内道路、地下管线、地下建（构）筑物、地面设施、行驶车辆等属性及与地下风险源的相对位置关系。
- c) 地下风险源周边工程地质、水文地质条件及气象水文条件。
- d) 地下风险源影响范围内地面出现的变形、沉陷、裂缝、坑槽、积水等异常情况及其严重程度和历史塌陷情况。
- e) 地下风险源影响范围内的地下管线及管井淤堵、变形、破损等异常情况及其严重程度。
- f) 地下风险源影响范围内的地面开挖、地下工程和邻近建筑工程施工等现状及历史状况。
- g) 地下风险源影响范围内的开挖工法、开挖影响范围及相对位置关系。
- h) 地表道路交通荷载、流量、车速等交通繁重程度。

7.3 风险评价

7.3.1 风险因素可能性评价指标宜按表 1 取值。

表 1 道路坍塌风险发生可能性评价指标体系

一级指标	二级指标		评价指标取值	
			评价依据	取值范围
地下风险源规模 P_A	地下风险源面积 P_{A1}		$S \geq 15\text{m}^2$	90~100
			$10\text{m}^2 \leq S < 15\text{m}^2$	70~90
			$3\text{m}^2 \leq S < 10\text{m}^2$	50~70
			$S < 3\text{m}^2$	20~50
	地下风险源高度 P_{A2}		$d > 4\text{m}$	90~100
			$2\text{m} < d \leq 4\text{m}$	80~90
			$1\text{m} < d \leq 2\text{m}$	70~80
			$d \leq 1\text{m}$	60~70
临近设施 P_B	道路 P_{B1}	覆跨比 P_{B11}	$0 < r \leq 0.5$	90~100
			$0.5 < r \leq 1$	70~90
			$1 < r \leq 3$	40~70
			$r > 3$	0~40
		道路现状 P_{B12}	4	90~100
			3	80~90
			2	70~80
			1	60~70
			0	0
	地下管线 P_{B2}	病害体与管线的相对位置 P_{B21}	$l_{gx} \leq 1\text{m}$, 管线上下1m(含1m)范围内	90~100
			$l_{gx} \leq 1\text{m}$, 管线下方1m~5m(含5m)	80~90
			$1\text{m} < l_{gx} \leq 3\text{m}$, 管线下方1m~5m(含1m)	70~80
			$1\text{m} < l_{gx} \leq 3\text{m}$, 管线上下1m范围内	50~70
			其他情况	0~50
		管线脆弱性 P_{B22}	具有下列情况之一: 1 砌体、石棉水泥、陶罐等易损材质; 2 地下风险源处于管线接口处; 3 地下风险源周边存在供水、排水管线漏水现象	90~100
			塑料等强度较小材料	80~90
			灰口铸铁等可靠性较低材料	70~80
			混凝土、球墨铸铁、钢管等可靠性较高	60~70

			材料	
		服役年限 P_{B23}		
	地下构筑物（非管线） P_{B3}	$n \geq 30$ 年		90~100
				70~90
				50~70
		$5 \leq n < 30$ 年		90~100
				70~90
				40~70
		$n < 5$ 年		90~100
				70~90
				40~70
	地面设施 P_{B4}	$R_{gzw} \leq 1$		90~100
				70~90
				40~70
				0~40
环境因素 P_C	岩土体条件 P_{C1}	$R_{dm} \leq 1$		90~100
				70~90
				40~70
				0~40
	施工干扰 P_{C2}	$1 < R_{gzw} \leq 2$		90~100
				70~90
				40~70
	地表荷载 P_{C3}	$2 < R_{gzw} \leq 3$		90~100
				70~90
				40~70
	水环境条件 P_{C4}	$R_{gzw} > 3$		90~100
				70~90
				40~70
				0~40
	松散填土、粉土和砂土	$1 < R_{dm} \leq 2$		90~100
				70~90
				40~70
				0~40
	中密填土、粉土和砂土，松散卵（碎）砾石，黏性土	$2 < R_{dm} \leq 3$		90~100
				70~90
				40~70
				0~40
	密实填土、粉土和砂土	$R_{dm} > 3$		90~100
				70~90
				40~70
				0~40
	中密~密实碎石土	$R_{dm} > 3$		90~100
				70~90
				40~70
				0~40

注：1 地下构筑物包括但不限于地铁、地下隧道、地下人防设施、地下停车场等；

2 表中 S 为地下风险源投影面积(m^2)； d 为地下风险源高度(m)； l 为地下构筑物、地面设施或施工边界与地下风险源边界之间的最小距离(m)； l_{gx} 为地下风险源边界与管线边界的最小水平距离(m)； n 为地下管线服役年限(年)； r 为地下风险源覆跨比； R_{gzw} 为地下构筑物边界和地下风险源边界之间的最小距离与地下风险源最大跨度的比值； R_{dm} 为地面设施边界和地下风险源边界之间的最小距离与地下风险源最大跨度的比值。

7.3.2 风险分值宜按下列公式计算：

$$P = K(W_A P_A + W_B P_B + W_C P_C) \quad (1)$$

$$W_A + W_B + W_C = 1 \quad (2)$$

式中： P —风险分值；

P_A —地下风险源规模指标；

P_B —邻近设施指标；

P_C —环境因素指标；

K —地下风险源类型系数，脱空取1.0，空洞取1.0，严重疏松体取0.9，富水体取0.7，一般疏松体取0.5；

W_A —地下风险源规模指标权重，取0.4-0.6；

W_B —邻近设施指标权重，取0.1-0.2；

W_C —环境因素指标权重，取0.2-0.4。

7.3.3 道路现状为地表受损等级，主要用于绝对化的描述地表交通受损程度，其具体表征方法如下：

$$B_{12} = \begin{cases} 0 & C_a = 0 \\ 1 & 0 < C_a \leq 9 \\ 2 & 9 < C_a \leq 30 \\ 3 & 30 < C_a \leq 100 \\ 4 & 100 < C_a \end{cases}$$

(3)

其中， C_a 为地表已发生坍塌面积，主要用于表征地表坍塌的严重程度。此外， r_c 为坍塌外切正方形的边长，用以近似描述坍塌范围。其数学关系近似如下：

$$r_c = 2\sqrt{C_a/\pi} \quad (4)$$

7.3.4 地下风险源规模指标宜按下式计算：

$$P_A = 0.7P_{A1} + 0.3P_{A2} \quad (5)$$

式中： P_A —地下风险源规模指标；

P_{A1} —地下风险源面积指标；

P_{A2} —地下风险源高度指标。

7.3.5 邻近设施指标宜按下列公示计算：

$$P_B = \max(P_{Bj}) + 0.1 \left[\sum_{j=1}^4 P_{Bj} - \max(P_{Bj}) \right], j=1、2、3、4 \quad (6)$$

$$P_{B1} = 0.8P_{B11} + 0.2P_{B12} \quad (7)$$

$$P_{B2} = 0.5P_{B21} + 0.4P_{B22} + 0.1P_{B23} \quad (8)$$

式中： P_B —邻近设施指标，当计算结果大于100时，取100；

P_{B1} —道路指标；

P_{B2} —地下管线指标；

P_{B11} —覆跨比指标；

P_{B12} —道路现状指标；

P_{B21} —地下风险源与管线的相对位置指标；

P_{B22} —管线脆弱性指标；

P_{B23} —服役年限指标；

P_{B3} —地下构筑物（非管线）指标；

P_{B4} —地面设施指标。

7.3.6 环境因素指标宜按下列公示计算：

$$P_C = W_{C1} P_{C1} + W_{C2} P_{C2} + W_{C3} P_{C3} + W_{C4} P_{C4} \quad (9)$$

$$W_{C1} + W_{C2} + W_{C3} + W_{C4} = 1 \quad (10)$$

式中： P_{C1} —岩土体条件指标；

P_{C2} —施工干扰指标；

P_{C3} —地表荷载指标；

P_{C4} —水环境条件指标；

W_{C1} —岩土体条件指标权重，取0.3-0.4；

W_{C2} —施工干扰指标权重，矿山法取0.4，盾构法取0.3；

W_{C3} —地表荷载指标权重，取0.15-0.25；

W_{C4} —水环境条件指标权重，取0.05-0.15。

7.3.7 道路坍塌风险宜根据评价结果划分为5个等级，如表2所示。

表2 道路坍塌风险等级划分

等级	风险分值	文字描述
I	$0 \leq P < 30$	有微小沉降，无坍塌风险
II	$30 \leq P < 50$	有中等沉降，无坍塌风险
III	$50 \leq P < 70$	有大量沉降，近期有坍塌风险
IV	$70 \leq P < 90$	近期发生坍塌可能性较大
V	$90 \leq P < 100$	近期发生坍塌可能性极大

8 道路坍塌风险预控

现行的道路坍塌风险预控措施种类繁多，本标准主要规范了普适性强、施工时效性高、操作相对简单的几种方法。提前处理类预控措施包括空洞充填、注浆加固、超前管棚、超前小导管、地下管线预先保护等，事中处理类预控措施包括路面防护、交通管控等。地表预控对策主要包括空洞充填、注浆加固、地下管线预先保护、路面防护、交通管控等。地下预控对策主要包括超前管棚、超前小导管等。

8.1 地表预控对策

8.1.1 空洞充填措施应符合以下规定：

- 空洞充填材料宜根据空洞尺寸、位置、规模、富水状态、填充物、地下水位等信息确定，宜采用泡沫混凝土、固废充填材料。
- 空洞充填过程中宜进行施工过程质量检验，对于泡沫混凝土的检测指标包括湿容重、流动度、密度。质量检验应符合 T/CECS 590 规定的要求
- 空洞充填完毕后应进行充填质量检验，质量检验应以连续分布的充填孔为基本单位。充填完毕后通过钻探取芯方式测强度，采用物探等方式测密实度，进行充填效果检测。

8.1.2 地表注浆加固措施应符合以下规定：

- 注浆加固措施宜根据风险源类型确定注浆加固范围、注浆材料、注浆工艺、注浆压力、注浆效果检查方式等。
- 对于富水砂层、断层破碎带、回填土等风险源，埋深小于7米宜进行地表注浆加固。风险源埋深超过7米，或地表不具备作业条件，建议洞内注浆加固。洞内帷幕注浆适用于隧道处于稳定性差的软弱围岩、富水围岩、坍方及涌水事故处理等特殊困难地段。
- 注浆加固范围宜设计3-5米，注浆材料根据注浆介质宜选用水泥单液浆、水泥黏土浆液、超细水泥浆、化学浆、水泥-水玻璃双液浆等。
- 注浆效果检查方面，对于富水砂层、断层破碎带、回填土等风险源，采用地表注浆方式治理，宜采用钻孔电视看孔壁完整性；宜采用检查孔法判断注浆加固质量，检查孔数量宜为注浆孔数量的10%，监测孔数量宜为注浆孔数量的8%-12%；宜采用压水实验测渗透系数，砂层或断层破碎带风险源注浆加固后渗透系数宜小于 $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 。渗透试验应符合 JGJT 212 规定的要求。

8.1.3 地下管线预先保护措施应符合以下规定：

- 依据相关部门提供的地下管线图纸资料，核对弄清各类地下管线的确切情况。
- 对于热力管线的保护，综合现场条件，宜挖开路面，根据管线悬吊保护方案，将其悬吊至稳定位置。大管径管线（管径大于1000mm）的保护采用钢便桥结构形式。小管径管线（管径小于1000mm）的保护的采用以混凝土支撑为悬吊点焊接型钢的结构形式。

- c) 开挖现场宜设置警示杆、警示灯带等警示标志，防止开挖过程中机械设备碰撞悬吊管线及夜间施工警示作用。
- d) 地下施工影响的地下管线设置沉降测点，工程实施中，定期观测管线的沉降量。
- e) 电缆、通讯管线的保护宜依据有关部门建议，明确施工区域及施工时有可能影响到的区域上的现状管线位置，及时制定有效的保护方法。

8.1.4 路面防护措施应符合以下规定：

- a) 对于有重大风险源的交通繁忙路段，宜在路面铺设 20mm 厚钢板，提高路面整体稳定性和可靠性。钢板间宜采用钢筋焊接固定，限制钢板路面侧向位移的路缘石宜置于道路两侧。
- b) 钢板路的路面、路线和路宽宜根据现场实际情况确定。

8.1.5 交通管控措施应符合以下规定：

- a) 对交通流量较大的重点路段，综合灾害源预计波及范围、道路等级，确定交通管控区，宜采用限速、限距、限重、限行的交通辅助措施。

8.2 地下预控对策

8.2.1 超前管棚措施应符合以下规定：

- a) 超前大管棚注浆适用于隧道处于含水多和自稳能力极低的砂土质地层、破碎带、堆积体、坍方体，以及浅埋隧道或近接既有建（构）筑物等地段。
- b) 超前大管棚注浆设计应考虑根据地质条件、隧道断面形式与风险源位置关系等因素。
- c) 超前大管棚宜沿隧道拱顶 150° 布设，如遇隧道偏压、侧穿风险源等特殊情况下可延伸到隧道边墙或不对称单边布设，相邻管棚管间的间隙不宜大于 250mm，外插角宜控制在 0°-8°。可不设管棚工作间，采用类同小导管注浆的搭接方法，搭接长度的水平投影不宜小于 3.0m。
- d) 超前大管棚长度根据需要加固和支撑的范围确定，不宜小于 10.0m。管棚钢管宜采用 $\Phi 76\text{mm}-180\text{mm}$ 无缝钢管或焊接钢管制作，管材壁厚不宜小于 5mm，溢浆孔直径宜为 $\Phi 6\text{mm}-12\text{mm}$ ，管尾部 2.0m 范围内不应设溢浆孔。
- e) 超前大管棚注浆材料宜选用双液浆、单液浆或砂浆。止浆塞分段后退式注浆工艺应选用单液浆。
- f) 超前大管棚在完成每孔注浆后，宜在钢管内增设钢筋笼和灌满水泥砂浆，以提高其支承刚度。
- g) 自稳能力较差的地层（如：含水砂层、卵砾石层）宜采用偏心潜孔锤直接将管棚管以套管的形式带入。大管棚的其他施作方法包括钻机引孔后顶入、偏心潜孔锤带入、套管成孔放入等方法，应根据工程条件选取合理、经济的施工方法。

8.2.2 超前小导管措施应符合以下规定：

- a) 超前小导管注浆适用于隧道拱部软弱围岩，松散、无粘结土层、自稳能力差的砂层及砂砾（卵石）层级破碎岩层。
- b) 超前小导管施工的各项参数确定应根据围岩边界地质条件、围岩状况、支护结构形式及隧道断面尺寸而定。
- c) 小导管外插角度一般控制在 10°-15°。注浆压力控制在 2MPa 左右。浆液扩散半径宜为 0.5m。注浆速度控制在 50-100L/min。每循环小导管的搭接长度控制在 1m 以内。

附 录 A

(资料性)

时间序列 InSAR 地表形变监测精度推荐等级

精度等级	波段	分辨率	对应的 SAR 传感器	适用监测对象
≤10	L	20-50	JERS-1.ALOS PALSAR.ALOS-2 PALSAR-2	区域性（植被较 多）
≤8	C	5-20	ERS-1/2.ENVISATASAR.RADARSAT-1. RADARSAT-2.Stinel-1A/1B	区域性（植被较 少）
≤5	X	1-5	TerraSAR-X/ TanDEM-X	重点目标

参 考 文 献