

中国交通运输协会团体标准

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

编制说明

2023-12

一、任务来源、起草单位、协作单位、主要起草人

根据中国交通运输协会发布的“2021 年度第四批团体标准项目立项的公告”（中交协秘字〔2021〕34 号）要求，由山东大学联合多家单位作为起草单位，负责本规程的编制工作。

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。

二、制订标准的必要性和意义

为实现城市地铁下穿既有道路坍塌风险预控技术的标准化，提升我国城市道路应对地下施工风险的响应能力，保障道路运行安全和运行效率，引导城市地铁下穿既有道路坍塌风险预控技术工程的不良地质探测、监测方法设计、风险评估、预控施工、监控预警。从国内相关标准调研来看，内容主要涉及地下病害体分类、探测、验证及风险评估，内尚缺少一部针对城市地铁下穿既有道路坍塌风险预控技术的指南，对于地铁下穿道路这一特定场景，风险防控措施不规范易导致地下空间突水、突泥灾害，地上路网中断、人车伤亡等重大事故，有必要制定城市地铁下穿既有道路风险预控技术规程，保障城市路网和地铁施工安全。

三、主要工作过程

本标准通过收集既有工程应用经验，以及相关研究成果、试验检测结果及使用单位反馈信息，确定标准编制方向。经中国交通运输协会立项和大纲审批通过，根据评审会专家意见，形成征求意见稿，报中国交通运输协会评审。再根据评审会专家意见进行补充、修改，经中国交通运输协会同意，挂网征求意见。针对反馈意见，提出处理办法，进行补充、修改，形成送审稿。经中国交通运输协会同意，进行专家审查。根据专家审查会形成的专家意见进行修改，形成报批稿，上报审批。

四、制订标准的原则和依据，与现行法律、法规、标准的关系

本标准制订的基本原则是以现有研究工作为基础，参照国家规范、标准，针对地下

空间灾变风险预控技术进行定义、描述和规范。

本规程编制过程中，查阅了下列规范、标准和技术规程：

- 1 《地下工程渗漏治理技术规程》（JGJ/T 437-2010）
- 2 《时间序列 InSAR 地表形变监测数据处理规范》（CH/T 6006-2018）
- 3 《城市轨道交通工程监测技术规范》（GB 50911-2013）
- 4 《地铁运营安全评价标准》（GB/T 50438-2007）
- 5 《铁路隧道监控量测技术规程》（Q/CR9218-2015）
- 6 《建筑基坑工程监测技术标准》（GB50497-2019）
- 7 《岩溶空洞泡沫混凝土充填技术规程》（T/CECS 590-2019）
- 8 《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》（JGJT 212-2018）

T/CECS 590 岩溶空洞泡沫混凝土充填技术规程相关行业提出了《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》（JGJ/T 437-2018），内容主要涉及地下病害体分类、地下病害体探测、地下病害体验证、地下病害体风险评估；中国工程建设标准化协会制订了《岩溶空洞泡沫混凝土充填技术规程》（T/CECS 590-2019），内容主要涉及采用泡沫混凝土充填岩溶空洞的工程勘察、设计、材料、施工及工程质量检验等。以上均未给出针对城市地铁下穿既有道路坍塌风险预控技术的设计指标和较为详细的措施。

五、主要条款的说明，主要技术指标、参数、实验验证的论述

1 总则

本文件规定了坍塌高风险区动态监测、道路坍塌风险评估及预控等内容，使城市道路应对地下施工风险的响应能力得到提高。

本文件同时为新技术、新材料、新设备、新工艺预留后期应用的技术端口。

3 术语

在现有标准规范的基础上增加了以下术语。

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 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。

3.4 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。

4 基本规定

4.1 总体原则

明确了风险预控技术的应用情形，明确了风险探测目标，提出了动态监测方法及数据处理流程，制定了城市地铁下穿既有道路坍塌风险预控技术流程。

4.2 地下风险源探测

明确了地下风险探测的处理流程，并明确地下风险源探测所需条件。

4.3 动态监测

明确了动态监测预警制度的内容及反馈形式。

4.4 风险评估

明确了风险评估的内容及评级方式。

4.5 风险预控

明确了风险预控的原则及性能指标。

5 地下风险源探测

5.1 基本要求

5.1.2 规定地下风险源探测可采取的方法。

5.1.3 规定城市地铁下穿既有道路坍塌风险源的类型。

5.1.4 规定风险源的验证。

5.2 地下风险源

5.2.1 规定了地下风险源的探测内容。

5.2.2 规定了适用空洞风险源的探测方法和探测的具体内容。

5.2.3 规定了适用富水砂层风险源的探测方法和探测的具体内容。

5.2.4 规定了适用断层破碎带风险源的探测方法和探测的具体内容。

5.2.5 规定了适用回填土风险源的探测方法和探测的具体内容。

5.2.2 规定了适用地下管线渗漏风险源的探测方法和探测的具体内容。

5.3 地下风险源验证

5.3.1 规定地下风险源验证应确定的内容。

5.3.2 规定地下风险源验证验证点选择考虑因素。

5.3.3 规定了地下风险源成果验证的方法。

6 道路坍塌高风险区动态监测

6.1 一般规定

6.1.1 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。

明确了动态监测内容。

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。

明确了动态监测原则。

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。

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。

明确了地上、地表、地下不同监测内容的动态监测方法。

6.3 动态监测要求

6.3.1 地上动态监测方法实施应满足：

1) 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；

2) 监测范围：监测范围必须完全覆盖安全预警边界；

3) 监测频率：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；

4) 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 地表动态监测实施应满足：

1) 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；

2) 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；

3) 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。

4) 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；

5) 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。

提出了地表动态监测的具体要求。

6.3.3 地下动态监测实施应满足：

1) 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；

2) 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；

3) 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；

4) 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 明确了动态变形预警指标要求。

6.4.2 明确了动态变形监测频率要求。

提出了地表动态监测的具体要求。

7 道路坍塌风险评估

7.1 基本要求

7.1.2 风险评估指标选择需充分考虑指标与引起道路坍塌的相关性；同时考虑到地下风险源及地下管线等的隐蔽性，选择便于获取的指标。

7.2 风险因素分析

7.2.3 本标准依据工程经验、理论计算、案例分析等给出了道路坍塌风险影响因素分析内容，包括地下主要风险源及地质条件、邻近设施、施工工法、道路车辆、地下管线等周边因素。

7.3 明确了风险评价的内容。

8 道路坍塌风险预控

8.1 地表预控对策

8.1.1 空洞充填措施应符合以下规定：

a) 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。

b) 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

c) 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。

明确了空洞填充材料的选择方法及质量检验指标。

8.1.2 地表注浆加固措施应符合以下规定：

a) 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。

b) 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。

c) 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。

明确了注浆加固措施的选择方法及设计参数。

d) 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。

明确了注浆加固效果检查方法。

8.1.3 地下管线预先保护措施应符合以下规定：

a) 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。

b) 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。

明确了热力管线的保护方法。

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。

明确了钢板的铺设方法。

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 $\Phi 76\text{mm}$ -180mm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 $\Phi 6\text{ mm}$ -12mm，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。

明确了管棚注浆的施工方法。

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

明确了超前小导管的适用范围。

六、重大意见分歧的处理依据及结果

本标准制订过程中尚未发生过重大意见分歧。

七、采用国际标准和国外先进标准的，说明采标程度，以及与国内外同类标准水平的对比情况

本标准未采用国际标准和国外先进标准。

八、作为推荐性标准建议及其理由

随着我国城市化进程的加速，地铁在城市交通中所占的份额将越来越大，我国各大中城市制定了中远期地铁线路规划，预期将形成完善的快速轨道交通网络。目前我国已有数十个城市向国务院申请建造地下铁道，城市轨道交通的大规模建设，必然会带来各条线路的交叉、换乘问题，产生很多节点车站和区间隧道的穿越。这造成了地下空间施工与地上路网交互影响的问题。对于地铁下穿道路这一特定场景，风险防控措施不规范易导致地下空间突水、突泥灾害，地上路网中断、人车伤亡等重大事故。从相关标准调研来看，目前仍旧缺少城市地铁下穿既有道路坍塌风险预控技术的措施规范/规程。为实现我国城市地铁下穿既有道路坍塌风险预控技术的标准化，引导城市地铁下穿既有道路坍塌风险预控技术工程不良地质探测、监测方法设计、风险评估、预控施工、监控预警，有必要制定系统的城市地铁下穿既有道路坍塌风险预控技术规程，以便规范行业，保证工程应用安全。

九、贯彻标准的措施建议

(1) 精心组织安排，开展宣贯培训。建议由行业主管部门统一安排，召开标准宣贯会，对涉及的交通建设、监理、设计、施工等单位开展标准实施培训和宣贯普及。明确城市地铁下穿既有道路坍塌风险预控技术的设计要领、施工工艺、检测方法、质量验收等方面的具体要求，有效推动贯标工作的开展及落实。

(2) 定期组织科研、生产、应用、检验等各环节人员进行技术交流，不断对城市地铁下穿既有道路坍塌风险预控技术进行补充，保持技术领先。

十、其他应说明的事项

暂无。