

团 体 标 准

T/CAPSA XXXX—XXXX

综合管廊风险识别要求

Requirements for risk identification of utility tunnel

（征求意见稿）

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

公共安全科学技术学会 发布

目 次

前 言 III

引 言 IV

1 范围 5

2 规范性引用文件 5

3 术语和定义 5

4 综合管廊风险识别原则 5

 4.1 概述 5

 4.2 系统性 5

 4.3 科学性 6

 4.4 适用性 6

 4.5 动态性 6

5 综合管廊风险识别基本要求 6

 5.1 概述 6

 5.2 风险识别人员 6

 5.3 风险识别内容 6

 5.4 风险识别频率 6

6 综合管廊风险识别过程 6

 6.1 资料准备 6

 6.2 识别方法确认 7

 6.3 识别单元划分 7

 6.4 单元内部的风险识别 7

 6.5 风险识别报告 7

7 综合管廊风险识别信息管理要求 8

 7.1 概述 8

 7.2 综合管廊运维管理平台 8

 7.3 综合管廊风险管理系统 8

8 后续活动 8

 8.1 风险监测 8

 8.2 风险分析 8

 8.3 风险缓解 8

 8.4 应急演练 8

 8.5 教育培训 8

附 录 A （规范性） 风险源清单..... 9

附 录 B （规范性） 风险识别记录..... 15

附 录 C （资料性） 综合管廊风险识别方法与应用示例..... 16

 C.1 检查表、分层分类法 16

C.2 情景分析法 16

C.3 故障模式和影响分析法 17

C.4 能量驱动的风险识别模型 17

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。

本文件由公共安全科学技术学会标准化工作委员会提出并归口。

本文件起草单位：中国矿业大学（北京）、中国建筑设计研究院有限公司、清华大学、北京航空航天大学。

本文件主要起草人：吴建松、王鑫、白一平、周睿、李跃飞、蔡继涛、刘坤琦、邹孝付。

引 言

综合管廊是实现城市地下空间集约、安全、高效利用的关键基础设施，容纳电力、通信、天然气、供热、给排水等多种城市工程管线。综合管廊内部管线种类多样，风险隐患隐蔽复杂，事故演化级联交织。因此，开展管廊风险识别是确保城市地下生命线安全稳定运行的重要基础，通过系统识别潜在隐患和薄弱环节，能够提前制定精准防控措施，有效预防安全事故发生，保障城市基础设施建设和人民生命财产安全。

目前，管廊风险管理主要依据《城市综合管廊工程技术规范》、《城镇综合管廊运行维护及安全技术标准》等国家标准，以及部分地方性规程。这些标准对管廊设计、施工和运维提出了通用要求，并涉及火灾、渗漏等典型风险的防控条款。然而，现有标准对风险识别的针对性不足，且未充分涵盖新兴风险。此外，不同标准间存在交叉或空白，导致实际应用时操作性不强。

本文件规范了识别综合管廊风险的流程、方法和要求，从而实现全面、准确地识别综合管廊的风险，从源头上化解风险，为后期的风险评估、应急预案完善等安全应急管理工作奠定基础。本文件目的在于服务综合管廊运维期的利益相关方，包括管理部门、投资方、管廊运营方、管线运营方等。

综合管廊风险识别要求

1 范围

本文件规定了综合管廊风险识别过程、信息化管理和后续活动。
本文件适用于城市综合管廊运营维护阶段的风险识别及其结果的信息化管理。

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 23694 风险管理 术语
GB/T 50838 城市综合管廊工程技术标准

3 术语和定义

GB/T 23694-2024、GB/T 50838-2015界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

综合管廊 utility tunnel

建于城市地下用于容纳两类及以上城市工程管线、内部空间能够满足人员通行的构筑物及附属设施。包括干线综合管廊、支线综合管廊和小型综合管廊三类。

3.2

风险识别 safety risk identification

识别、确认和描述与综合管廊运营和维护管理安全相关的风险的过程。

3.3

风险评估 risk assessment

风险识别、风险分析和风险评价的全过程。

3.4

风险识别单元 identification unit

为了明确风险识别的范围和对象，可将整个系统、空间或设施划分为具有特定风险特征的若干相对独立的单元。这些单元可以是物理上分离的区域，也可以是功能上独立的单元。

3.5

风险源 risk source

可能单独或共同引发风险的要素。

注：一个风险可能是另一个风险的风险源。

4 综合管廊风险识别原则

4.1 概述

4.1.1 综合管廊的风险识别对象应系统、完整，包括主体、附属设施和管线。综合管廊主体提供了安装附属设施和各种管线的空间。综合管廊的附属设施保证了主体、内部环境、管线的稳定运行和运营维护人员的安全，包括消防、通风、照明、监控报警、排水系统等。管线是综合管廊的主要服务对象，包括燃气、热力、电信、电力、给水、再生水、排水等。运维管理平台是一个综合管理平台，提供内部管理、外部沟通、与管线管理单位及相关管理部门的协调，并具有综合处理能力。

4.1.2 综合管廊的风险识别应遵循系统性、科学性、适用性和动态性原则。

4.2 系统性

全面考虑综合管廊的整个运营过程，分析多种类型的风险及其相互影响，系统识别综合管廊内的风险；

4.3 科学性

科学认识综合管廊的风险特征，运用科学的风险识别方法和信息技术，科学地进行风险识别；

4.4 适用性

根据不同地区、不同综合管廊项目的风险管理需求和特点，以及综合管廊运营服务商的需求，适当调整风险识别方法和内容，提高对当地和项目的适用性；

4.5 动态性

根据综合管廊实际运营维护情况，调整风险识别频率，并利用信息平台，根据风险处置情况和综合管廊维护改造新情况，动态更新风险识别结果。

5 综合管廊风险识别基本要求

5.1 概述

综合管廊风险识别是指风险识别人员针对风险识别的项目和内容，采用合理、适用的风险识别方法和流程，有计划地开展的风险识别工作。风险识别流程包括资料准备、识别单元划分、风险识别、风险报告等内容。

在综合管廊内有防爆要求的区域进行风险识别工作的人员、设备、仪器和操作系统应符合相应的防爆安全规定。

5.2 风险识别人员

风险识别人员应在综合管廊、管线和安全管理方面拥有足够的知识和经验。风险识别人员应配备风险识别所需的常规检测工具。如果常规工具无法有效识别风险，则应配备专用仪器和设备。

5.3 风险识别内容

综合管廊的风险可分为人、物、管理、环境四大类。风险分布范围包括综合管廊的内部空间和外部空间，风险识别对象包括主体、附属设施、管线、运维管理平台等。

本文件总结了主体、附属设施、管线、运维管理平台内外空间常见的人、物、管理、环境四大类风险。风险源清单见附录 A。

5.4 风险识别频率

风险识别的频率应符合当地的法律法规。风险识别原则上每年进行一次。在下列情况下，需要重新进行全面或部分风险识别：

- 发生安全事故；
- 发生重大维修；
- 关键技术措施更新；
- 廊内管线或设备老化；
- 综合管廊主体或廊内管线发生重大改造；
- 内外部环境发生变化。

6 综合管廊风险识别过程

6.1 资料准备

风险识别人员在进行风险识别前应收集资料，资料收集完成后，应核实所收集资料的准确性和完整性。要特别注意资料与实际不符的内容。要对相关资料进行深入了解和分析，全面掌握综合管廊及相关组织的系统和内外部环境概况。综合管廊风险识别前收集的资料应包括以下内容：

- 综合管廊和管廊内管线的设计图纸、计算表、地质勘测报告以及地上和地下工程的相互关系；

- 综合管廊施工过程中的各种检查记录和竣工验收资料；
- 管廊工程所在地区的气候特征、地质水文资料、自然灾害历史统计数据等；
- 管廊管线的运行参数和监测数据；
- 管廊运营公司的管理制度文件、操作规程、应急预案等；
- 综合管廊的日常检查记录、维护记录、故障处理记录、改造施工记录等；
- 评估人员认为必要的其他相关资料。

6.2 识别方法确认

风险识别人员应根据附属设施的类型、材料、施工方法、管线类型、管线运行参数、项目所在地区的气候特征以及利益相关者的需求，选择适当的识别技术。风险识别技术可包括：

- 以证据为基础的方法，如文献综述和历史数据分析；
- 实证方法，包括测试和建模，以确定在特定情况下可能发生的情况；
- 认知调查，广泛征求有经验人员的意见；
- 将所考虑的问题分成若干小问题，每个小问题都用提出“如果”问题的方法逐一考虑；
- 鼓励对未来的可能性进行想象性思考的方法，如情景分析；
- 基于过去数据或理论模型的核对表或分类法。

以上方法均可用于综合管廊的风险识别，风险识别技术方法的具体操作流程可参考GB/T 27921-2023。

本文件在附录A中提出了详细的风险源清单模板，在附录C中提出了适用于管廊的4种风险识别方法。

6.3 识别单元划分

综合管廊是一种线性结构。为了提高识别效率，避免遗漏，对综合管廊的识别单元进行了划分。综合管廊的识别单元应满足以下要求：

- 风险识别工作应根据识别任务中明确的识别对象的大小、长度等因素划分单元，以单元为系统进行识别；
- 根据综合管廊的实际施工情况和所选识别方法的特点，将综合管廊划分为若干单元；
- 可将一个防火单元或通风单元划分为一个识别单元，也可根据实际综合管廊的总长度，选择适当的长度作为单元划分的分区依据；
- 识别单元应包括综合管廊内外的三维空间范围。

6.4 单元内部的风险识别

风险识别人员应根据风险识别单元划分实际和识别方案，对各单元进行风险识别。

在识别过程中遇到紧急情况时，风险识别人员应及时中止识别并及时上报。

在风险识别过程中，对识别出的风险进行同步记录，记录表可参考附录 B。

6.5 风险识别报告

6.5.1 风险识别完成后，应及时撰写风险识别报告。识别报告应全面、综合反映风险识别的各项工作，文字简洁准确，信息清晰可靠，结论明确。

6.5.2 风险识别报告至少应包括以下内容：

- 识别对象和范围；
- 识别对象概述；
- 识别单元划分；
- 风险识别过程概述；
- 风险识别结果和建议。

6.5.3 出现以下情况时，风险识别报告不再有效，应重新进行风险识别：

- 发生重大维修和升级；
- 工艺状态发生重大变化；
- 监测措施发生重大变化；
- 运营单位的管理制度发生重大变化。

7 综合管廊风险识别信息管理要求

7.1 概述

信息技术应用于风险识别，信息管理应用于流程结论报告。

7.2 综合管廊运维管理平台

综合管廊运维管理平台应包括风险识别管理模块，该模块应具备以下功能：

——数据采集与分析，通过传感器、摄像头等终端设备采集综合管廊运行信息，利用机器学习、数据分析等技术智能识别潜在风险；

——风险监测与预警，对识别出的风险进行监测，及时提醒运维人员注意综合管廊中的潜在风险；

——风险管理决策支持，根据风险识别结果和组织的风险管理策略，提供决策支持。

识别方案、人员、结论应及时录入信息管理系统。

7.3 综合管廊风险管理系统

宜建立城市或区域级信息互联的综合管廊风险管理系统，对风险识别、风险评估、风险处置等相关信息进行管理。

区域风险管理系统应具备各级风险信息查询、分析、比对等功能，以图、表等形式实现重要风险分析和区域整体风险分布。

依托风险管理系统，宜应用大数据、人工智能、多源异构数据融合等技术，实现动态、科学、精准的风险管理。

8 后续活动

8.1 风险监测

根据风险识别报告，确定综合管廊风险监测重点，并采取相应的监测监控措施，准确监控风险源和相关危险情况。

8.2 风险分析

在风险识别的基础上开展风险分析，选用合适的计算方法，分析综合管廊潜在风险事件的发生可能性和后果严重性。

8.3 风险缓解

对于不可接受的风险或可以降低的风险，应综合考虑综合管廊运营公司的应急资源、降低风险的合理性和可能性，实施风险缓解措施，降低风险或彻底消除风险。

8.4 应急演练

根据风险识别得出的风险源和潜在后果，开展有针对性的综合管廊应急演练，完善演练方案和应急资源准备。

8.5 教育培训

根据风险识别报告，明确风险类型和影响，制定有针对性的综合管廊教育培训方案，制定持续性培训规划，不断提高综合管廊作业人员的风险识别、风险分析、风险处置能力。

附录 A
(规范性)
风险源清单

综合管廊所具有的共性风险源见表A. 1。

表A. 1 综合管廊共性风险源清单

一级风险源	二级风险源	风险源	潜在后果
人员因素	误操作	焊缝有裂纹	管道泄漏
		焊缝未焊透	管道开裂
		焊缝错边严重	管道泄漏
		焊缝有气孔、夹渣	焊缝松动
		焊接点未采取修复措施	结构不稳定
		预留管道接头未用盲板焊死	管道泄漏
		防变形措施缺陷	管道变形
		阀门、接口、法兰施工缺陷	不稳定的支撑
		局部刚性处理	不稳定力
		密封不良	管道泄漏
		管线穿越障碍处理不当	管道损坏、附属设施损坏
		排气阀位置选取不当	管道损坏、附属设施损坏
		安装时碰撞造成机械损伤	管道损坏、附属设施损坏
		防腐层施工缺陷	管道损坏、附属设施损坏
		管道及设备运输过程损伤	管道损坏
		管道支座无偏安装	管道泄漏
		未进行强度及严密性试验	管道开裂
		运行前未进行冲洗或吹扫	管道损坏
		其他误操作因素	
	缺乏安全知识	忽视警示标志	危险作业
		不使用安全防护用品	人员伤亡
		不按操作规程操作	人员伤亡、附属设施损坏
		不使用安全设备	人员伤亡
		冒险进入危险场所	人员伤亡
		违规进食或吸烟	人员伤亡
		其他缺乏安全知识因素	
	设计缺陷	管径设计不合理	管道功能异常
		管线坡度设计不合理	管道功能异常
		管压设计不当	管道泄漏
		管道壁厚设计不当	管道脱落/倾斜
		管道支撑装置设计不当	人员伤亡、附属设施损坏、潜在级联事故
		管道间安全距离设计不当	管道连接故障
		管箍设计不合理	管道功能异常
		其他设计缺陷因素	
	其他人员因素		
设备设施因素		管材选材不当	管线损坏

	设备设施、工具附件缺陷	阀门、法兰存在缺陷	管道连接泄漏或故障
		排气阀失效	无法有效排气
		设备设施强度不够	管线损坏
		刚度不够	管道易变形/破裂
		弯头质量未达标	管道泄漏/堵塞
		稳定性差	管道支撑不稳定
		密封胶老化	管线损坏
		应力集中	管线损坏
		应力持续存在	管线损坏
		外形缺陷	管线损坏
		管材质量检验不合格	管线损坏
		管线超龄服役	管线损坏
		维修工具落后	事故发生延迟
		防护装置设施缺陷	管线损坏
		主体结构损毁	结构坍塌、管线损坏
		其他设备设施、工具附件缺陷因素	
	安全设施的缺陷	管线支撑不当	管线变形/倾斜/破裂
		防火和报警设施不足	火灾爆炸
		没有安全标志	人员伤亡
		其他安全设施缺陷因素	
	腐蚀	防腐涂层附着力降低	管道腐蚀/泄漏
		防腐涂层脱落	管道腐蚀/泄漏
		管道中含有腐蚀性介质	管道腐蚀/泄漏
		其他腐蚀因素	
	管道沉积和堵塞	施工期间清洁不力	管道堵塞
		建筑垃圾和生活垃圾进入管道	管道堵塞/损坏
		管道中滋生真菌	管道堵塞/腐蚀
		全年未清洁管道	管道堵塞/腐蚀
		上下游管道坡度分布不合理	介质输送不稳定
		管道内壁结垢	管道堵塞/损坏
		其他管道沉积和堵塞因素	
	警报故障	不定期检查	事故报告延迟
		人为破坏	事故报告延迟
		其他报警故障因素	
	物理爆炸	压力超过极限值	管道破裂/爆炸
		安全阀弹簧损坏	安全阀故障
		安全阀设计不当	安全阀操作异常
		电压调节器故障	管道压力不稳定
		其他物理爆炸因素	
	其他设备设施因素		
管理因素	制度和规定	安全管理规章制度不健全	事故风险升高
		日常监督检查不力	事故风险升高
		安全操作规程不完善	事故风险升高
		工作安排不合理	事故风险升高
		其他制度和规定因素	
	组织与指挥	安全管理机构不健全	事故风险升高

		安全管理人员不足	事故后果扩大
		地下管线独立运行，协调机制不健全	事故后果扩大
		没有应急工作组	应急措施不当
		缺乏应急预案	应急措施不当
		发现问题不及时	事故后果扩大
		事故处理不及时	事故后果扩大
		指挥员对管线信息了解不全面	事故风险升高
		缺乏安全教育	事故风险升高
		其他组织指挥因素	
	安全培训和教育	缺乏专业培训	误操作
		缺乏安全技能培训	误操作
		其他培训教育因素	
	运行和管理方面	阀门开关操作不当	不稳定的管道流速
		管道压力控制不当	管道压力异常
		泵启动/停止错误	管道压力异常
		管道老化和更换不及时	管道泄漏/破裂
		传感器停用	监控设备故障
		气体检测仪校准漂移	错误检测/漏检
		其他运行管理因素	
	其他管理因素		
环境因素	内部环境	湿度过高或结露严重	管线损坏、附属设施损坏
		温湿度变化过大	管线损坏、附属设施损坏
		气体间交叉反应	管线损坏、附属设施损坏
		氧气不足	人员窒息
		气压控制不当	管线损坏、附属设施损坏
		其他内部环境因素	
	外部环境	自然灾害（地震、洪水、泥石流、山体滑坡、台风、雷电等）	综合管廊主体损坏
		地基沉降	综合管廊主体损坏
		建筑荷载	综合管廊主体损坏
		交通荷载	综合管廊主体损坏
		土壤腐蚀	综合管廊主体损坏
		其他外部环境因素	
	第三方损坏	盗窃设备和设施	综合管廊运营事故
		恐怖袭击	综合管廊主体损坏、管线损坏
		建筑破坏	综合管廊主体损坏、管线损坏
		非法施工	综合管廊主体损坏、管线损坏
		违规堆放重物	管线损坏、附属设施损坏
		未经授权人员进入造成的破坏	管线损坏、附属设施损坏
		其他第三方损坏因素	
	其他环境因素		

综合管廊内部不同管线所具有的特性风险源见表A. 2。

表A. 2 综合管廊内部管道风险源清单

一级风险源	二级风险源	风险源	潜在后果
-------	-------	-----	------

燃气管道因素	管道泄漏/爆炸	含有腐蚀性介质	管道腐蚀
		环境湿度过大	管道腐蚀
		泄压阀故障	管道压力升高
		压力控制器故障	管道压力升高
		截止阀故障	管道压力升高
		其他泄漏或爆炸因素	
	火灾/爆炸	电气防爆性能差	触发燃烧
		静电接地性能差	触发燃烧
		防雷性能差	触发燃烧
		安全距离不足	触发燃烧
		吸烟	触发燃烧
		非法用火	触发燃烧
		其他火灾或爆炸因素	
热力管线因素	管道泄漏/爆炸	泄压阀故障	管道压力升高
		压力控制器故障	管道压力升高
		介质pH值低	管道腐蚀
		补偿器故障	管道压力升高
		绝缘层故障	管道压力升高
		导向支架故障	管道损坏
		排水阀故障	管道压力升高
		三通分支位置不合理	管道损坏
		其他泄漏或爆炸因素	
	烫伤	未经授权人员进入	烫伤
		通风不良	烫伤
		直接接触供热管道的工作管道	烫伤
		外露部分没有防烫伤标志	烫伤
		其他烫伤因素	
供水/再生水因素	管道泄漏/爆炸	介质pH值低	管道腐蚀
		细菌、真菌、有机物或沉积物沉积	管道腐蚀
		泄压阀故障	管道压力升高
		压力控制器故障	管道压力升高
		其他泄漏或爆炸因素	
	冻胀因素	温度低于零摄氏度	管道因冻结而变形
		绝缘层损坏	管道因冻结而变形
		变形缝不足	管道损坏
		温度传感器故障	管道因冻结而变形
		其他冻胀因素	
电力/通信因素	短路/起火	防鼠防蚁层受损	电缆损坏
		防潮涂层不良	电缆损坏
		温度和湿度控制不当	电缆损坏
		接触电阻过大	火灾
		其他短路或起火因素	
	电击	未穿戴防护服	电击
		安全距离不足	电击
		缺乏隔离设施	电击
		缺少警告标志	电击

		其他电击因素	
		吸烟	触发燃烧
		高温作业不当	触发燃烧
		温度传感器故障	触发燃烧
		断电装置故障	触发燃烧
		其他火灾因素	
		未合理设置屏蔽层	电磁干扰
		滤波器设置不当	电磁干扰
		接地不合理	电磁干扰
		其他电磁辐射因素	
污水管道因素	管道泄漏/爆炸	介质pH值低	管道腐蚀
		细菌、真菌、有机物或沉积物沉积	管道腐蚀
		泄压阀故障	管道压力升高
		压力控制器故障	管道压力升高
		其他泄漏或爆炸因素	
	冻胀	温度低于零摄氏度	管道因冻结而变形
		绝缘层损坏	管道因冻结而变形
		变形缝不足	管道损坏
		温度传感器故障	管道因冻结而变形
		其他冻胀因素	
	火灾/爆炸	电气防爆性能差	火灾爆炸
		静电接地性能差	火灾爆炸
		防雷性能差	火灾爆炸
		安全距离不足	火灾爆炸
		吸烟	火灾爆炸
		高温作业不当	火灾爆炸
		其他火灾或爆炸因素	

综合管廊信息系统所具有的特性风险源见表A. 3。

表A. 3 信息系统风险源清单

一级风险源	二级风险源	风险源	潜在后果
运行和维护管理平台因素	计算机硬件因素	存储设备故障	业务无法正常运行
		智能终端设备故障	业务无法正常运行
		网络设备故障	业务无法正常运行
		安全设备故障	业务无法正常运行
		其他计算机硬件因素	
	基础性软件因素	应用系统漏洞	外部攻击数据泄漏
		网络控制信号干扰	控制失灵
		黑客入侵	数据泄漏
		部署环境信息干扰	业务无法正常运行
		目标实体物理环境异常	业务无法正常运行
		数据备份信息不真实、不完整	业务无法正常运行
		用户数据泄漏	数据信息泄漏
		其他基础性软件因素	
	数字孪生系统因素	数据传输信息不真实、不完整	孪生体运行错误
		目标实体与数字实体间数据交互故障	孪生体运行错误
		数字实体与服务应用间数据交互故障	孪生体运行错误
		目标实体访问控制故障	物理实体无法控制

		数字实体访问控制故障	物理实体无法控制
		其他数字孪生系统因素	

附 录 B
(规范性)
风险识别记录

风险识别记录表模板见表B. 1。

表B. 1 风险识别记录表

项目名称		识别时间		识别人员	
识别单元	风险内容	位置	风险描述	潜在后果	

附录 C
(资料性)
综合管廊风险识别方法与应用示例

C.1 检查表、分层分类法

C.1.1 基本原理

综合管廊风险识别可采用检查表与分层分类法相结合的方法，该方法适用于管廊运维期风险识别。

检查表法便于理解背景、识别风险，以及针对不同目的对风险进行分组，还可用于对风险控制和处置方式进行分类，明确责任机制，进行风险汇总和信息传递。检查表的编制应基于管廊设计文件、运维规程及既往事故案例。检查表应依据管廊实际运营情况和风险变化动态更新。

分层分类法是基于风险的共同属性对其进行归类，归类法是“自上而下”的概念上派生的分类方法，分类法是“自下而上”的经验或理论上派生的分类方法。分层分类法主要确保各类别之间相互独立和全面详尽，即避免重叠和遗漏。在此基础上，对管廊运维中的人、物、管理、环境四个维度逐级细化，形成多层次风险分类体系。

C.1.2 应用示例

该方法通过对管廊运维中各系统、各环节的逐项核查，识别人员、设备设施、管理及环境等方面的潜在风险源。具体按以下步骤进行：

a) 确定识别单元。综合管廊为线性结构，为提高识别效率并避免遗漏，宜将一个防火分区或通风分区划分为一个识别单元，也可根据管廊实际长度按一定里程划分单元，识别单元应涵盖管廊内外三维空间范围。

b) 编制检查表。基于收集的资料，从人员因素、设备设施因素、管理因素、环境因素四个维度编制检查表，检查表应涵盖管廊本体结构、附属设施、入廊管线、作业活动及外部环境等各方面因素。

c) 对照检查。持检查表对每个识别单元逐项核查，核对所列风险源是否客观存在，同时通过现场勘察与人员问询识别检查表之外的新风险源。

c) 记录结果。识别过程中同步填写附录B的风险识别记录表，记录风险内容、位置、风险描述及潜在后果，形成风险源清单。

该方法通过逐项核查管廊本体、附属设施、入廊管线、运维作业及外部环境等关键要素，实现了对管廊运维阶段潜在风险隐患的系统识别，风险识别人员可根据管廊运营状况的变化，定期对检查表内容进行复核与更新，确保识别结果的时效性与准确性。

C.2 情景分析法

C.2.1 基本原理

综合管廊风险识别可采用情景分析法。情景分析是一系列技术的总称，均为预测未来态势发展的模型。一般而言，首先定义一个合理的场景，并根据各种可能的未来发展研究可能发生的情景与后果。情景分析最常用于识别风险和探索后果。它可以在战略和运营层面使用，也可以用于整个组织或组织的一部分，对于结构功能复杂，管线设备多样的综合管廊同样适用。

C.2.2 应用示例

该方法适用于综合管廊运维阶段典型情景的风险识别与推演。以管廊火灾事故为例，应用时按以下步骤进行：

a) 资料收集与情景设定。基于管廊设计文件、运维记录及火灾事故案例，识别管廊运营中可能出现的典型火灾事故情景，包括但不限于燃气舱燃气泄漏引发火灾爆炸、电力舱电力电缆起火、热力管道保温层受热起火、舱内可燃物起火等，进而明确各情景的触发条件和发展阶段。

b) 情景推演与分析。针对设定的火灾情景，分析从起火到灾情扩大的完整演化链条。以燃气舱燃气泄漏引发火灾为例，推演内容包括泄漏点位置、泄漏燃气在受限空间内的扩散路径与积聚浓度、点火源位置、喷射火或燃气爆炸、高温或烟气在舱内的扩散情况、可能引发的次生事件等。

c) 风险识别与记录。根据火灾情景推演结果, 识别各阶段的关键风险因素和薄弱环节。识别过程中同步填写附录B的风险识别记录表, 记录风险内容、位置、风险描述及潜在后果。

C.3 故障模式和影响分析法

C.3.1 基本原理

故障模式和影响分析(FMEA, Failure Modes and Effects Analysis)将硬件、系统、过程或程序细分为元素, 对于每个元素, 明确其可能故障的方式、故障的原因和影响。FMEA完成后可进行关键性分析, 明确每种故障模式的重要性(FMECA, Failure Modes, Effects and Criticality Analysis)。对每个元素宜记录以下内容: 功能、可能的故障模式、每种故障模式的产生机制、故障发生的后果、故障是否无害或破坏性、故障检测的方法和时机、以及应对故障的现有措施。通过系统识别综合管廊内不同设备设施中各元素的潜在故障模式及其影响, 有助于在早期发现风险源和薄弱环节。

C.3.2 应用示例

该方法适用于综合管廊运维阶段关键设备的风险识别。以管廊火灾报警系统为例, 应用时可参考以下步骤进行:

- a) 确定分析对象。将火灾报警系统细分为火灾报警控制器、可燃气体探测器、感烟探测器、感温探测器、手动报警按钮等元素, 逐一明确各元素的功能。
- b) 识别故障模式。针对每个元素, 识别可能发生的故障模式。以可燃气体探测器为例, 可能的故障模式包括探测器失效、灵敏度降低、信号传输中断、校准漂移等。
- c) 分析故障原因与影响。分析每种故障模式的原因及其对火灾报警系统乃至管廊整体安全运行的影响。
- d) 评估现有检测手段与措施。明确每种故障模式的现有检测手段, 如通过定期校准保证探测器精度、通过报警控制器自检功能监测探测器在线状态、通过日常巡检发现探测器污损情况等。
- e) 记录结果。识别过程中同步填写附录B的风险识别记录表, 记录设备名称、故障模式、故障原因、潜在后果及现有检测手段, 形成设备风险清单。

C.4 能量驱动的风险识别模型

C.4.1 基本原理

综合管廊风险识别可采用能量驱动的风险识别模型。该模型融合了能量异常转移理论、预先危险性分析、演化树三种方法。首先以能量异常转移理论识别系统内的能量种类及异常转移模式, 进而应用预先危险性分析方法, 针对初始事件双向推演其可能原因与潜在后果, 最终以演化树方法实现多因素耦合影响下的致因网络构建与风险溯源, 从而实现对综合管廊系统潜在风险的系统性识别。

C.4.2 应用示例

该方法适用于综合管廊运维阶段系统性风险识别。以管廊天然气泄漏事故为例, 应用时参考以下步骤进行:

- a) 识别主要能量种类。识别管廊内运输的主要能量形式, 包括化学能、热能、电能、动能等, 分析各类能量的存储对象和常态下的输运路径。
- b) 分析能量失控模式。分析异常状态下能量突破约束而失控的形式。以燃气舱为例, 天然气管道因腐蚀或外力破坏发生泄漏, 其所含化学能异常释放, 在受限空间内积聚形成爆炸性混合气体, 遇点火源后转化为热能和动能, 引发火灾爆炸事故。
- c) 构建演化树。从天然气泄漏这一初始事件出发, 沿因果链条向后推演: 泄漏发生后, 若通风系统未能有效启动, 可燃气体持续积聚; 当浓度达到爆炸极限时, 遇电气火花或静电等点火源即发生爆炸; 爆炸产生的冲击波破坏相邻管道及管廊结构, 引发次生泄漏和级联事故。同时向前追溯泄漏的原因, 包括管道腐蚀、施工损伤、阀门密封失效等。

d) 提取风险要素。基于所构建的演化树，提取位于拓扑结构顶部的全部基本原因事件。包括燃气管道腐蚀、接口密封失效、通风系统故障、电气设备不防爆、静电接地不良、防火隔断失效等，即构成天然气泄漏事故的风险要素。

e) 记录结果。识别过程中同步填写附录B的风险识别记录表，记录风险内容、位置、风险描述及潜在后果，形成风险清单。

参 考 文 献

- [1] GB/T 27921-2023 风险管理 风险评估技术
- [2] GB/T 42768-2023 公共安全 城市安全风险评估
- [3] DB11/T 2365-2024 中小型酒店安全风险评估规范