

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyh.2020.12.056

机器人在综合管廊安全运维巡检中的技术需求分析

姬永红, 张 琪

(上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092)

摘 要: 为开发安全、高效的综合管廊智能巡检机器人系统, 分别针对管廊监控系统、管廊本体安全监测以及日常巡检工作内容等方面对巡检机器人提出了技术与应用的实现要求。此外, 充分结合了综合管廊的发展现状, 详细地阐述了智能巡检机器人的技术发展趋势, 最后提出了智能巡检机器人在综合管廊中应用的建议方案。为建立具有经济性、安全性的智慧综合管廊具有重要参考价值。

关键词: 综合管廊; 巡检机器人; 监控系统; 安全监测

中图分类号: TU990.05

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2020)12-0208-04

0 引 言

根据中国城市规划协会统计数据可知, 截至 2017 年底, 国内综合管廊开工长度达 4 700 km, 建成廊体长达 2 500 km。未来几年国内将迈入综合管廊运维管理的高峰期, 然而综合管廊运维痛点也逐渐显露。一方面, 综合管廊内部空间环境复杂, 存在灾害耦合风险, 一旦某一类管线发生安全事故, 同舱内其它管线也极易受到破坏, 进而降低综合管廊整体结构的安全性能。另一方面, 在综合管廊大规模运维阶段, 地震、火灾、水灾、毒气泄漏和设备损坏等风险同样影响了综合管廊的运维安全和城市的运行安全, 进而对广大市民的利益造成损害^[1]。

因此, 为了确保城市运行安全, 需要对综合管廊进行巡检。但目前传统人工巡检模式的工作量较大, 由于综合管廊结构复杂、视觉盲区较多, 人工巡检频次相对较低, 不能实时掌握管廊运行情况, 导致无法及时并精准地对突发灾害事件进行处理或预判。此外, 管廊巡检智能化程度较低, 管廊各系统间的数据信息缺乏关联性, 难以建立有效的综合管廊灾害预警机制, 进而较难保证城市地下综合管廊结构能够有效地达到其使用年限, 势必会为城市运营带来极大安全隐患。

基于此, 住建部发布的《2016-2020 年建筑业信息化发展纲要》文件中提出大力推进 BIM、GIS 等技术在综合管廊建设中的应用^[2]。沈阳市南运河管廊项目^[3]采用 BIM+GIS 技术、机器人自动巡检

以及 APP 移动巡检等技术建立管廊智慧运营管理平台。江立泳^[4]系统地分析了地下综合管廊自动化监控系统的构建, 田俊^[5]针对地铁线路全自动巡检系统开展了深入的探索。

随着人工智能、大数据、物联网等技术逐渐成熟, 更先进、智能的巡检模式应运而生, 即通过巡检机器人智能预测管廊内的安全隐患等技术已成为可能。截至目前, 已有研究针对综合管廊自动巡检机器人的组成和功能进行了详细地介绍^[6-8]。与人工巡检方式相比, 智能机器人巡检数据存档具有高效、精准、便捷的优势, 能实现 24 h 自动化跟踪检测, 更及时准确地发现存在隐患, 最终实现实时信息数据传输、智能化分析监测预警以及及时决策反馈的管控闭环^[9]。

分析现有研究成果, 针对综合管廊自动巡检机器人及其应用的介绍较多, 而从管廊运维需求导向对机器人功能要求的研究较少。本文以实现对管廊病害、老化等服役性能全面、高效的检测、预判和维护为目的, 从管廊监控、管廊巡检内容及管廊廊体安全监测等方面提出了巡检机器人工作的建议方案, 以及智能巡检机器人在综合管廊中的技术与应用的实现需求和未来发展需求。

1 管廊运营维护巡检对机器人的要求

综合管廊主体结构多采用混凝土材料建设, 而混凝土管廊结构在地层不均匀沉降、强震作用等复杂环境下, 难以满足钢筋混凝土管廊结构的安全需求, 并且在上述复杂条件下极易发生管体结构开裂、渗漏水、连接螺栓锈蚀、混凝土剥落、接缝损坏、局部腐蚀等损伤, 缩短管廊结构全周期使用寿命, 增加了巨大的安全隐患。因此, 对于巡检机器人工

收稿日期: 2020-06-19

作者简介: 姬永红(1978—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事综合管廊设计研究工作。

作的要求也更加严格。

除管廊本体以外,管道泄露、破损以及附属设施损坏等问题也较为突出,因此有必要采取周期性自动化与人工巡检相结合的巡检方式、实时全天候监测等主要措施,及时发现各种病害^[9],根据巡视结果采取有效对策消除缺陷,以确保综合管廊结构安全与人员的人身安全。针对管廊本体、入廊管线和附属设施的巡检需求汇总见表 1。

表 1 管廊运营维护巡检内容汇总表

检查项目	检查内容	巡检周期
主体结构巡检	主体结构	内部主体:不少于 1 周 1 次 综合管廊外各类口部:不少于 1 d 1 次 在极端异常气候、周边环境复杂、灾害预警等特殊情况下,应增加巡检频次
	变形缝	
	螺栓孔、注浆孔、 管线引出孔	
	井盖、盖板	
	其他构筑物	
给水、再生水管道		1. 管道及设备运行是否正常; 2. 管道漏损情况; 3. 管道防腐层破损情况、管道及设备锈蚀情况; 4. 管道阀门、倒流防止器、消火栓、泄水阀、伸缩节、支吊架等附属设施的完好情况
排水管道		1. 管道外部破损、腐蚀、渗漏情况; 2. 管道支吊架、支墩腐蚀及破损情况; 3. 管道连接井外观、渗漏及淤积情况; 4. 管道检查井或检查孔外观变形、破损情况、密闭情况; 5. 当采用结构本体排水时,应从临近舱室巡视排水舱的气密情况、渗漏情况
天然气管道		1. 管道舱内有无燃气异味,便携式甲烷气体监测报警装置是否正常; 2. 管道支架及附件防腐涂层应完好,支架固定应牢靠; 3. 管道温度补偿措施、管道穿墙保护功能是否正常; 4. 管道阀门应无泄漏、损坏; 5. 管道附件及标志不得丢失或损坏
入廊 管线 巡检	热力管道	1. 管道无泄漏; 2. 补偿器运行状态应正常; 3. 活动支架应无失稳、失垮,固定支架应无变形; 4. 阀门应无跑冒滴漏现象; 5. 疏水器排水应正常; 6. 管道保温层外表面温度无异常升温; 7. 廊内其他管线应无影响热力管线安全运行和操作的因素
	电力电缆	1. 有无受到同舱其他市政管线的影响; 2. 电缆本体有无破损,电缆铭牌是否完好,相色标志是否齐全、清晰; 3. 电缆外护套与支架、金属构件处有无磨损、锈蚀、老化、放电现象,衬垫是否脱落; 4. 电缆及接头位置是否固定正常,电缆及接头上的防火涂料、防火带是否完好; 5. 支吊架、接地扁钢是否锈蚀,与电气连接点有无松动、锈蚀; 6. 中间接头是否过热,是否渗胶或漏油,中间接头外观是否正常,摆放是否合理,两端电缆是否平直; 7. 终端头有无发热,绝缘油渗漏;引出线连接点有无发热,发热检测应采用红外测温仪测量; 8. 接地线是否良好,连接处是否紧固可靠,有无发热或放电现象;必要时测量电缆连接处温度和单芯电缆金属保护层接地电流,有较大突变时,进行接地系统检查,必要时通知供电公司申请停电检查; 9. 电缆出线部位是否有渗漏、破损、腐蚀等情况,防火分隔封堵是否严密完好
通信线缆		1. 线缆的敷设状况,线缆固定设施有无脱落和丢失,线缆是否有严重下沉和倾斜、折裂; 2. 周围环境对线缆运行有无影响; 3. 线缆有无损毁迹象; 4. 配属装置是否完整有效; 5. 线缆的附属设备是否牢固,有无丢失缺损等情况

表 1 (续)

检查项目		检查内容	巡检周期
消防系统、通风系统		主要设备及组件的外观、连接及运转状况	
附属设施	供电系统	1. 变电站、配电站异响、异味、异物入侵、清洁情况、接头固定情况、部件缺失破损、腐蚀情况; 2. 电力电缆线路电缆运行环境、地表情况、敷设情况、标识缺损情况、绝缘层破损情况、支架架牢固与锈蚀情况、电流指示、电缆接头和端头有无过热或烧坏等; 3. 防雷与接地系统接地导线有无损伤、腐蚀、断股,避雷器损坏情况、与设备连接情况	巡查频次每周不少于 1 次
	照明系统	灯具、线路及控制功能的完好状况	
	监控与报警系统	1. 应检查传感设备、执行设备、控制设备、显示设备、传输线路及设备等的外观、连接状态、供电状况及相应功能等; 2. 应检查软件、数据库的运行状态或运行日志等; 3. 应检查监控中心室内温湿度、清洁度等环境状况; 4. 巡检周期应符合国家现行有关标准要求	监控与报警系统应保持 24 h 不间断运行,并由监控值班人员及时进行信息报送、设备控制和操作
	给排水系统	1. 集水坑内水位是否正常,有无杂物; 2. 水泵能否正常运行,有无异响; 3. 附属阀门是否动作可靠; 4. 管道、管件是否存在堵塞现象、有无锈蚀和破损; 5. 仪表功能是否正常	给排水系统日常巡检应每月不少于 1 次,汛期、供热期应增加巡检频次
	标识系统	标识表面清洁、安装牢固、位置端正、内容清晰完整情况	日常巡检应每月不少于 1 次

2 管廊本体安全监测对机器人的要求

在综合管廊工程的运维阶段,地质条件和外界环境愈加复杂化,与此同时,管廊本体结构长期在不同荷载耦合作用下,会出现接头变形、结构横向收敛变形以及不均匀沉降等问题。同时,周边工程施工也会使应力场、地下水位发生改变,进而导致管廊本体结构变形。若结构变形进一步增加,势必会大幅度降低综合管廊结构承载能力,严重影响综合管廊安全性能。因此,开展管廊本体结构安全监测具有重要意义。

管廊本体结构变形监测观测点应设置在能够反映管廊结构变形特征的位置或监测断面上,每 6~10 a 进行 1 次全面专业检测。以廊体竖向位移、水平位移和轮廓变形为主要检测对象,以 10 mm 变形值作为预警值,当变形显著变化或达到变形预警值时,即需要采取相应措施。结构变形监测第 1 年宜每季度观测 1 次,第 2 a 宜每半年观测 1 次,以后宜每年观测 1 次^[10]。此外,由于地下隧道工程等周边施工影响而实施的变形监测,宜每天观测 1 次或 2 次,当情况相对稳定后,可适当地延长监测周期,当情况恢复稳定后即可终止观测。

3 管廊监控系统对机器人的要求

监控系统的运行维护对象主要包括环境与附属设备监控系统、安防系统、火灾自动报警系统以

及各入廊管线。为确保管廊结构运维安全,应采取固定仪器监控和人员巡视相结合的方式,确保 24 h 实时监控,监控值班人员需及时进行信息报送、设备控制和操作等工作。此外,有必要对每个系统的适用性进行合理优化,并有效地调整各系统的监控内容,以满足现阶段对综合管廊监控系统的运行要求。

3.1 环境与附属设备监控

根据《城市地下综合管廊运行维护及安全技术标准》(GB 51354—2019)可知,环境与设备监控环境参数检测内容包括温湿度监测值、O₂ 浓度、H₂S 浓度、CH₄ 浓度和 CO 浓度等有害气体监测值^[10],并对其传感设备的外观及工作状态进行检查。同时应加强对通风机、照明系统和排水泵运行工况的监控,实时监测配电柜 0.4 kV 运行信号、电控井盖信号和手动紧急报警信号等。当有异常情况出现时,可基于监测信息数据自动发出警报,并及时采取有效措施实现管廊灾害管控。

3.2 安防系统

综合管廊安防系统建设作为城市地下管廊内部建设中的重要一环,主要关乎到管廊内部的安全问题,因此需高度重视安防系统监测工作。首先是视频监控,通过在多个重要位置以及人员流动较大的位置安装视频监控,保证管廊内部无监控死角,实现全自动和全方位的监控,可全面地了解 and 把握管廊内的实际情况。其次为防入侵系统,该

系统可有效地防止综合管廊在无人监控状态下外来人员非法入侵的情况,同时产生报警响应。除此之外,综合管廊门禁系统的重要性不容忽视,针对综合管廊出入人员信息实现自动登记功能,进而提高管廊安全性。

3.3 火灾自动报警系统

火灾为城市综合管廊典型灾害事故,一旦发生火灾事件,将会对管线、附属设施以及管廊本体结构造成不同程度地损害,严重时甚至会出现人身安全隐患,进而造成不良的社会影响。因此,需足够重视管廊火灾自动报警系统。该报警系统可通过对管廊内烟气和温度变化感应,实现快速动态监测感知安全隐患的目的,第一时间发出声光警报,从而很大程度上降低了火灾发生的概率。此外,还需对声光警报系统和消防电话等设备进行实时监测,以确保火灾自动报警系统能正常运行。

4 技术发展趋势

综合管廊作为保障城市正常运转的重要基础设施,提供与智慧城市综合管理平台对接的接口,对于提高城市及管廊智慧化水平具有重要意义。

但综合管廊运维情况及其复杂,为弥补人工巡检检测方式的不足,充分引入机器人技术,采用主动的、全区域的实时监控和动态巡检成为目前首选的巡检方式。从成本方面分析,管廊中入廊管线众多,病害形式相对复杂,对运维人员的专业素质要求较高,若采取机器人巡检方式能在一定程度上减少运维人员的人工费用。此外,集多种移动机器人技术、物联网传感技术、人工智能技术和无线传输技术于一体的巡检机器人,能够有效地减少监控设备的成本投入。从社会方面分析,随着科学技术与社会的快速发展,建立智慧城市综合管理平台已成为各大城市的重要发展方向,目前已有部分实现了实时监控,为管理者提供了大量完整的、及时的专业数据以及数据分析结果,有助于多部门能针对突发灾害事件协同解决。

进一步有效地提升管廊巡检机器人的技术性能具有重要意义,基于此,针对巡检机器人的性能提出了更高的要求。

一方面,目前机器人智能化程度不高,如何提高机器人数据分析能力是现阶段的主要研究目标。另一方面,传感器是收集数据的核心模块,但目前大多数机器人搭载的传感器都大同小异,缺乏针对收集综合管廊内部环境专业的传感器,例如具有应力监测、超声波监测等功能的传感器。此外,如何将物联网传感器与机器人相结合、如何在

无供电及通信的区域由机器人负责近距离采集数据等将成为未来重点研究领域。

此外,目前针对水灾、火灾、地震、爆炸等灾害事故后的应急侦查和人员救援的应急机器人研究较少,研发能适应于综合管廊应急及救援环境的智能机器人技术是未来重要、有价值的发展方向^[1]。更重要的是,如何通过智能巡检机器人建立管廊监控、自动巡检、风险预警、智能维护与管理一体化平台的研究具有重要意义。基于此,提出了智能巡检机器人在综合管廊中的应用建议方案,如图 1 所示。

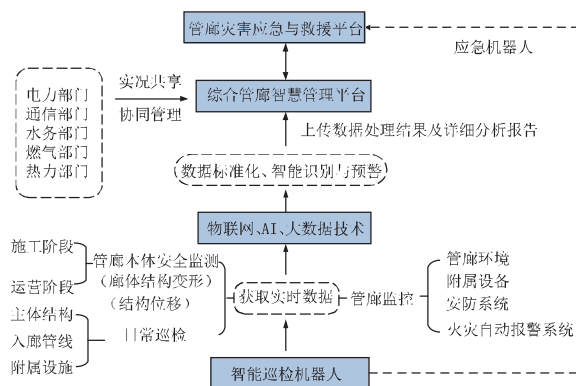


图 1 智能巡检机器人应用方案示意图

5 结论

现阶段智能制造科技成果转换与综合管廊工程结合是未来的必然趋势。随着科学技术飞速发展,高性能的智能巡检机器人在综合管廊中的应用已成为可能。本文针对综合管廊的具体情况,提出了智能巡检机器人在综合管廊中应用的详细要求,并进一步阐述了对管廊巡检机器人的未来展望。

分析表明智能巡检机器人应具备降低人工巡检成本,能够及时并精准地监测到综合管廊中高危隐患点,实现高精度故障位置定位,以及针对各附属设备状态、结构病害隐患、管廊内部环境异常变化等多方面的风险预警,最后能在安全作业及抢险救灾全过程中提供有效辅助等诸多优势。

参考文献:

- [1] 李宏远.城市地下综合管廊运维安全风险研究[D].北京:北京建筑大学,2019.
- [2] 住房和城乡建设部.关于印发 2016—2020 年建筑业信息化发展纲要[EB/OL].(2016-08-23)[2020-10-11].<http://www.nvohurd.gov.cn/201609/t20160918-228929.html>.
- [3] 毕天平,孙强,佟琳等.南运河管廊智慧运维管理平台研究[J].建筑经济,2019,43(3):37-41.
- [4] 江立泳.自动化监控系统在城市地下综合管廊中的应用[J].现代信息科技,2019,3(4):130-131.

表 3 隧道加宽段大跨径高覆土隧道结构方案比选

比选项目	顶板折板拱	顶板横向预应力
结构描述	板厚 1.5 m, 中管廊厚 2.5 m, 配筋 4 层 32@125 cm, 最大含钢量 200 kg/m ³	最大板厚 1.8 m, 3 层 15-7 预应力, 纵向间距 0.5 m; 混凝土拉应力 0.8 MPa, 最大压应力 7.8 MPa
截面面积 / m ²	203.21	223.81
结构设计原则	普通钢筋混凝土结构	顶板部分预应力、侧墙底板钢筋混凝土结构
施工难易程度	结构超筋、混凝土浇筑困难, 结构开裂难避免	板厚大, 混凝土开裂难控制, 预应力反拱大, 结构施工要求高
火灾	钢混结构防火技术成熟	无预应力防火规范, 风险高
耐久性	钢筋混凝土耐久性相对较好	顶板预应力收缩徐变引起开裂, 侧墙钢筋混凝土裂缝等, 耐久性差; 预应力索易腐蚀, 风险高
可靠性	较高	混凝土收缩徐变易造成预应力失效, 受力控制断面中管廊外侧无法加固, 结构安全难保证

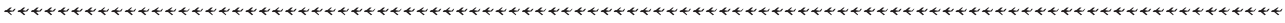
(3)折板拱结构可有效缩短顶板跨径,减少顶板、侧墙弯矩,同时增加侧墙竖向力,有利于结构受力。

(4)折板拱断面为普通混凝土结构,施工控制较为简单,可缩短施工工期,提前投入运营。

综合以上因素,本工程采用施工更易控制,工期更短、用料更少、结构受力更为明确的折板拱结构作为大跨度深埋隧道结构形式,主要用于隧道加宽段。

4 结 语

本文以春申湖隧道为例,研究大跨径深埋隧道结构形式,提出 2 种较为成熟的隧道结构形式:折板拱、顶板预应力结构。折板拱结构的受力介于拱结构和梁结构之间,能更好地发挥混凝土结构的受压承载力,提高结构的跨越能力,从而适用更大跨度的隧道结构。顶板预应力结构形式在隧道顶板施加横向预应力,使顶板处于受压状态,有利于减少混凝土开裂,提高混凝土的耐久性,但施工工期较长且工艺要求更高,基坑暴露时间更长。



(上接第 211 页)

[5] 田俊.中城地铁线路全自动巡检探索[J].都市快轨交通,2019,32(5):19-24.

[6] 车洪磊,史聪灵,胡鹄,等.综合管廊自动巡检机器人介绍及应用[J].科技支撑,2020:88-89.

[7] 裴文良,周明静,李军伟.综合管廊智能巡检机器人的设计[J].制造业自动化,2017,39(1):91-93.

[8] 孙国华.关于智能机器人巡检系统在综合管廊中的运用分析[J].经济·管理·综述,2019:194-195.

[9] 黄山,吴振升,任志刚,等.电力智能巡检机器人研究综述[J].电测与仪表,2020,57(2):26-38.

[10] GB 51354—2019,城市地下综合管廊运行维护及安全技术标准[S].

[11] 张涛,丁宁,蔡晓坚,等.综合管廊巡检机器人综述[J].地下空间与工程学报,2019,15(S2):522-533.