

建立监测预警系统对建筑余泥渣土受纳场的重要性研究

吴桐¹,张记峰¹,张贵鑫¹,陆毅²,金洪调³

(1、广东省建设工程质量安全检测总站有限公司 广州510500; 2、广州大学 广州510006;
3、华思(广州)测控科技有限公司 广州511400)

摘要:随着我国城市发展迈入存量更新时代,建筑余泥渣土“围城”和受纳场安全问题越发凸显。以深圳市某渣土受纳场工程为依托,通过文献研究与实地调研,总结建筑余泥渣土的工程特点及受纳场运营的风险因素,归纳受纳场安全监控所面临的问题,发现传统监测手段已无法满足当前综合安全监控的需要。结合智能传感器、扫描测绘、物联网、云计算等技术,提出一种受纳场安全监测预警系统的研发技术路线,并阐述系统建立的可行性。该系统可实现多维度、综合化、智慧化、可视化的建筑余泥渣土受纳场的安全监测预警与稳定性评估功能,未来将助力政府和企业逐步搭建起城市建筑余泥渣土受纳场综合安全监管体系与预警、应急机制。因此,受纳场监测预警系统具有重要的研究价值和广泛的应用前景。

关键词:建筑余泥渣土; 受纳场安全; 多维感知; 监测预警; 系统集成

中图分类号:X799.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-4563(2022)02-001-04

Study on the Importance of Establishing Monitoring and Early Warning System for Receiving Field of Construction Residual Soil

WU Tong¹, ZHANG Jifeng¹, ZHANG Guixin¹, LU Yi², JIN Hongtiao³

(1、Guangdong Construction Engineering Quality & Safety Testing Head Station Co., Ltd. Guangzhou 510500, China;
2、Guangzhou University Guangzhou 510006, China;
3、Huasi (Guangzhou) Measurement and Control Technology Co., Ltd. Guangzhou 511400, China)

Abstract: With the development of China's cities entering the era of stock renewal, the safety problems of construction residual soil surrounding the city and receiving field are becoming more and more prominent. Based on a residue receiving field project in Shenzhen city, this paper summarizes the engineering characteristics of construction residue and the risk factors of the receiving field operation through literature research and field investigation, and concludes the problems faced by the safety monitoring of the receiving field. Traditional monitoring methods can no longer meet the needs of the current comprehensive safety monitoring. Combined with intelligent sensor, scanning mapping, Internet of things, cloud computing and other technologies, this paper puts forward a research and development technical route of receiving field safety monitoring and early warning system, and expounds the feasibility of establishing the system. The system can realize the functions of multi-dimensional, comprehensive, intelligent and visual safety monitoring, early-warning and stability assessment of the construction residual sludge receiving field, and will help the government and enterprises gradually set up the comprehensive safety supervision system and early-warning and emergency mechanism of the urban construction residual sludge receiving field in the future. Therefore, the receiving field monitoring and early warning system has important research value and wide application prospect.

Key words: construction residual soil; receiving field security; multidimensional perception; monitoring and early warning; system integration

0 引言

中国城市发展已经迈入存量更新时代,城市更新迅速,大型市政设施的建设产生了大量建筑余泥渣土,余泥渣土的处理难度剧增。余泥渣土的随意堆放将侵占大量的建设用地,还有可能危害公共安全、污染土地及水资源等。建筑余泥渣土“围城”已成为影响城市生态可持续发展的严重的“城市病”,引起政府与社会各界的高度重视。

一方面,大量建筑余泥渣土未能有效利用与回收再利用。对于进行余泥渣土填海造陆,其填海区规划、建设的工作会涉及海洋法约束与国家海洋管理部门的严格审批,且测评工作量巨大^[1],所以填海的解决方法困难重重。对于开展余泥渣土资源化再利用,

作者简介:吴桐(1993-),男,硕士,助理工程师,主要从事监测自动化理论及应用技术研究。

E-mail:378978255@qq.com

目前我国建筑垃圾的资源化率却不到5%^[2],远低于国外如德国、美国、荷兰、新加坡等发达国家的余泥渣土资源化率达到80%以上^[3]的水平,余泥渣土循环再利用的发展之路任重道远。

另一方面,各地已建成投入使用的受纳场大部分已经或即将被填满,大量建筑余泥渣土“无处可倒”的问题将会爆发^[4]。以深圳为例,早在2000年以前,城市建设基本面临缺乏土方的境地,但未引起政府和民众的特别重视。到了2008年,随着地铁工程的全面开工,余泥渣土的排放问题全面爆发,市内仅有一座余泥渣土受纳场,库容不足100万m³,与此同时市内余泥渣土产生量已突破2000万m³,凸显供需严重不平衡^[5]。另外一些民间的非法违规渣土场应运而生,乱倒现象、违法占地、污染环境等问题层出不穷,而且其在选址上具有很大的随意性,如道路两边的高堆填,留下许多安全隐患^[6]。因此,亟需建造更多现代化的受纳场,对城市建筑余泥渣土进行规范化集中堆填管

理,并以此逐步实现土地资源的再开发利用。

2015年,深圳市光明新区红坳余泥渣土受纳场发生特别重大滑坡事故,造成严重的人员与财产损失,滑坡事故的发生直接导致深圳市最大的余泥渣土受纳场停运,整顿期间全市产生的余泥渣土仅能运往周边城市和工程,同时市内规划的27个受纳场建设项目也因此而停摆^[7]。

综上所述,由于目前城市建设产生的余泥渣土的回收率、重复利用率、资源化程度太低,且各地已经建成的余泥渣土受纳场被快速填满,受纳场的运营和规划建设又常常受制于安全问题,再加上每年产生的渣土量不会在短时间内急剧减少,这就很容易使大城市频繁陷入渣土无处安放的困境中。因此,切实有效地保证受纳场在建设、堆填、封场阶段的安全,充分了解堆填体的各项特性与影响因素,落实全生命周期动态防灾减灾的相关工作,才能从整体上提升受纳场建设与运营的安全系数,这有望成为解决未来大城市“渣土围城”的关键议题。

1 受纳场监测研究现状与存在问题

目前,对受纳场进行全面、有效的监测监控,是保证受纳场安全使用的主要选择。但由于建筑余泥渣土受纳场为填埋场型人工堆填坡体,而且进场余泥渣土内杂质较多,与自然沉积坡体存在明显差异,渣土堆积体土体的物理特性和力学强度存在显著各项异性、不均一分布等特点,另外渣土中碎石含量较高,土质较为松散,易构成软弱层,极易造成滑坡灾害^[8]。再加上受纳场体量大、影响范围广、未知影响因素多、工程数据缺乏等特点,给受纳场安全监测的实施与效果带来了阻碍和挑战。

近年来,有一些学者开展了对建筑余泥渣土受纳场监控与测量等方面的研究,方建锋^[9]与姜建生^[10]以水径渣土受纳场的建设项目作为依托,在监测措施及运营维护等方面进行了分析,对几个关键的断面进行深部位移监测,并定期开展人工巡查,为运营期稳定性判断提供直观的数据及地貌变形特征数据;张雅琼等人^[11]基于高分一号(GF-1)卫星遥感影像技术对余泥渣土场实时监管所具有的显著技术优势,研究出生态空间周边余泥渣土场快速提取方法,并通过数据分析提高了提取的精度,为生态空间区域及周边建筑余泥渣土场环境风险管控提供技术支持。柏君等人^[12]基于无人机,利用低空无人机摄影测量技术获取垃圾填埋库区连续一年的影像数据,通过观测垃圾填埋场固体物质的体积空间变化,较准确地评估其有效库容量,为城市管理者进行垃圾填埋处理决策和安排提供科学依据,但该方法能否应用于建筑余泥渣土受纳场的库容监管及库区地质形变监测还有待检验。

建筑余泥渣土受纳场安全监测预警与科学管控的实现所面临的主要问题如下:

(1) 近年来的研究极少涉及建筑余泥渣土受纳场监测技术的内容,且多局限于深层水平位移监测的研究,或单一技术应用于监测,并非系统性的融合研究。因此行业中缺乏成熟、完善、有针对性的建筑余泥渣土受纳场安全监测相关的监测技术、监测方法、监测预警以及安全评估标准。

(2) 建筑余泥渣土受纳场占地面积广、体量庞大、工况复杂,加上所处周边环境长期的人类活动、地下水侵蚀及短期强降雨诱发等情况下,更容易使受纳场堆填体出现失稳险情^[13],所以仅仅依靠单一或传统的测量手段,不但难以实现对整个区域的系统性测量与监控,还不利于及时发现受纳场失稳的险情及影响因素。

建筑余泥渣土受纳场的建设、使用、封存是一个变化的过程,所以需要借助新的测量与监控技术,实现全天候、多维度、动态的监测作业,才能实时掌握受纳场安全稳定的运营状况。

(3) 国内没有针对纯建筑余泥渣土受纳场监测的作业标准或技术规范,难以对监测项目的实施进行有效指导和评判;目前监测工作的实施细节主要依据行业标准《土石坝安全监测技术规范:DL/T 5259—2012》,存在标准适用性问题。

(4) 建筑余泥渣土受纳场库区的容量、沉降、形变和挡土坝的设计均为理论值或估计值,其实际使用的科学性与合理性,以及安全性与稳定性等都需要通过检测、监测数据进行校验。

(5) 目前的受纳场普遍存在不同类型余泥渣土的随意堆放现象,且渣土内杂质较多、含水量大小不一、差异明显等问题。这些问题如果不能妥善处置将造成堆填体的密度、含水率与种类不均匀,对于渣土的碾压效率有较大影响,不仅会降低填埋容量,影响经济效益,甚至会引起局部渣土强度的突然丧失,导致堆填体失稳。另一方面,若没有充分了解余泥渣土堆填体的工程分类和力学性能,会使后期堆填体安全性监测和稳定性分析存在一定难度,也不利于封库后坡体安全隐患的修复与渣土资源化的进行。

可见,研究并探索出一套科学、完善、可行的监测体系方法,建立建筑余泥渣土受纳场监测预警系统,实现受纳场全生命周期的实时、动态多维感知与安全监控至关重要。

2 受纳场多维感知监测技术与预警系统应用研究

2.1 监测项目工程概况

深圳市某建筑余泥渣土受纳场现状为山谷丘陵山地和水域(见图1),总用地面积为37万m³,余泥渣土设计库容量453万m³,对受纳的余泥渣土逐层堆填后进行碾压,受纳场封场受纳标高为44~79m,余泥渣土最大受纳高度为35m。工程主要包括场地清淤工程、挡土坝工程、场区作业及道路工程、给排水工程、封场

及复绿工程等。依据《建筑余泥渣土受纳场建设技术规范:DBJ/T 15-118—2016》,该受纳场安全等级为二级。



图1 受纳场区域红线

Fig.1 Red Line of Receiving Field Area

受纳场共设置2座挡土坝,坝高分别为5 m和6 m,总长度为343 m,采用桩板式挡土墙;对坡脚外侧地面线低于坡脚处时,第一级边坡的防护采用人字形骨架护坡,护坡面积7 412 m²,对低洼积水处采用C20片石混凝土护坡,护坡面积1 931 m²。

2.2 受纳场多维感知监测技术与预警系统研发内容

本项目将联合高校、高新技术企业及当地相关政府管理部门,依托于深圳市某建筑余泥渣土受纳场工程,拟对受纳场的建设、运营、封场全生命周期,开展多维度监测预警系统及相关技术应用研究,主要研究内容如下:

(1) 将已有的边坡安全与环境等相关自动化监测技术手段应用于该受纳场安全监测中,如受纳场库区沉降、降雨量(见图2)、周边环境、挡土坝和堆填边坡的水平与竖向位移、孔隙水压力、深层土体水平位移及地下水位监测(见图2)等主要监测项目,并结合监控摄像头与计算机视觉技术,运用物联网及无线通讯技术,把采集到的数据信息实时上传到互联网或远程监控中心。通过与传统测量方法及历史监测数据的对比,检验各自动化监测技术的科学性、适用性、互补性和数据精度,通过对“点-线-面”多维感知监测数据的综合分析,检验整个受纳场及周边区域安全监测的实时性、全面性和有效性。



图2 受纳场自动化监测设备

Fig.2 Automatic Monitoring Equipment for Receiving Field

(2) 基于移动端研发一款针对建筑余泥渣土受纳场安全巡视检查的智能APP,并配合广东省建筑科学研究院自主研发的5G智能监测车及车载检测模块,开展受纳场安全运营及现场仪器设备运维的智能人

工巡检,实现全域数据的综合应用。采用无人机摄影测量(见图3)、三维激光扫描(见图4)、高精度数字图像变形监测、二维地探雷达等新技术,定期对受纳场库区及周边区域开展地形勘测、大面积区域沉降监测、边坡表面形变检测、库容量变化监控等应用测试,构建受纳场三维模型,最后分析智能巡检与各非接触表面探测技术的应用效果,探索建筑余泥渣土受纳场高效的智慧安全运维新方法。



图3 无人机倾斜摄影测量与三维实景建模

Fig.3 Uav Tilt Photography and 3D Real Scene Modeling

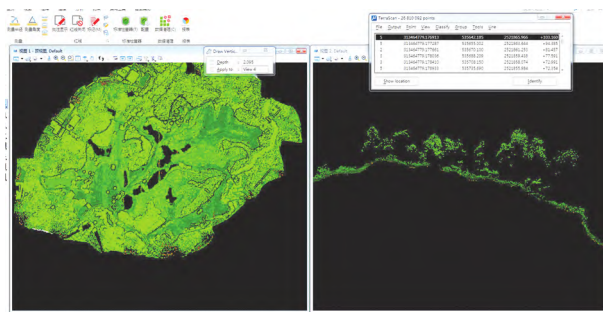


图4 无人机三维激光扫描点云成果

Fig.4 Point Cloud Data Achievement of UAV 3D Laser Scanning Technology

(3) 将以受纳场和余泥渣土作为研究对象,通过原位试验、钻孔取样、室内试验等分析不同堆填方式下余泥渣土的构成和工程特性(见图5),结合数值仿真分析研究渣土、周围岩土体力学性能及受纳场内水域处理方式对受纳场及其库容量的影响规律,揭示堆填过程中渣土受纳场容量的变化特点,建立复杂环境下受纳场的安全评价机制。



图5 受纳场现场余泥渣土堆填情况

Fig.5 Filling Situation of Construction Residual Soil at the Receiving Field

同时,收集建筑余泥渣土受纳场工程地质勘测、检测资料、试验数据以及海量异构历史监测数据进行整合与分析,不仅可反馈至设计方进行校核,检验受纳场、堆填体、边坡、挡土坝等工程设计是否满足当初

的要求;还可以基于三维建模手段,结合表面检测、自动化监测、渣土试验,能更直观地“由表及里”全面了解堆填体及挡土边坡的构成与变化(见图6),将对受纳场库区及边坡整体稳定性与安全性的综合评估起关键作用。

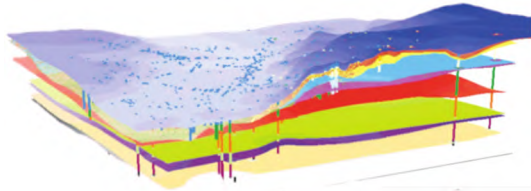


图6 三维地质模型

Fig.6 3D Geological Modeling

(4) 基于云平台及TEAM^[14]三维模型为底图开发的智能监测预警云系统,建立城市建筑余泥渣土受纳场建设与运维全过程的可视化监管平台(见图7)。用户可以通过云平台客户端远程实时了解受纳场的安全运营情况,实现受纳场监测、巡检与检测的云上管理(见图8),监测数据与安全评估的云上分析,成果报告的一键生成等功能。当监测数据和现场出现异常或危险时,云平台能将预警信息及时推送至相关人员。



图7 建筑余泥渣土受纳场智能监测预警云

Fig.7 Intelligent Monitoring and Early Warning Cloud Platform for Construction Residual Mud Receiving Field



图8 受纳场现场多维感知智能巡检体系

Fig.8 Multi-dimensional Perception Intelligent Inspection System of Receiving Field

(5) 基于受纳场监测预警系统的完善与优化,研究并整理出一套完整的、有针对性的监测预警实施体系(见图9),通过多样化的监测方法与丰富的历史数据,不仅能帮助业主更有效地对受纳场进行安全监控与实际经济效益分析,还可以协助政府有关管理部门更好开展城市建筑余泥渣土处置与安全监管工作,缓解市民对建筑余泥渣土受纳场安全问题的担忧,给社会带来积极的影响。

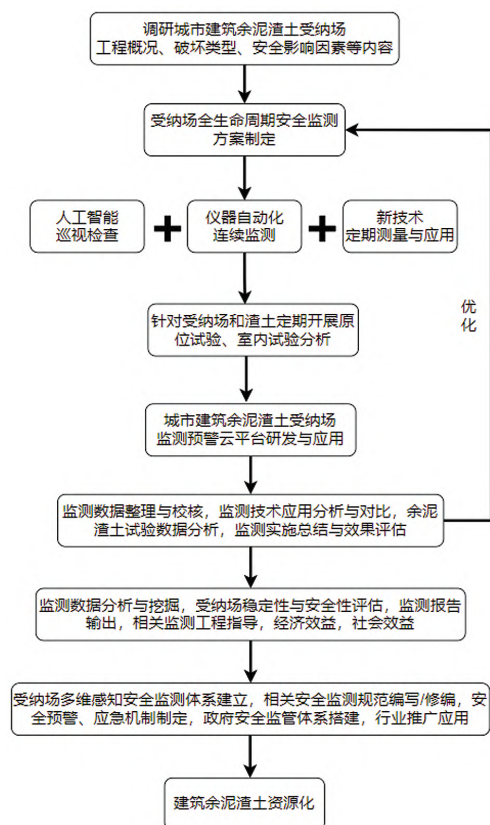


图9 受纳场多维感知监测预警体系研究路线

Fig.9 Research Route of Multidimensional Perception Monitoring and Early Warning System of Receiving Field

工程实践与多维度监测数据的积累将有助于推动城市建筑余泥渣土受纳处理相关领域的研究与发展,逐步实现余泥渣土受纳场相关安全监控体系的建立,监测规范的编写或修编,安全预警、应急机制的制定,政府智慧监管体系的搭建,以及渣土变成再生材料的各项研究。

3 项目研究的预期效果及展望

(1) 本项目研究立足于实用创新应用的角度,对城市建筑余泥渣土受纳场区实现地面和地层三维模型建立,并进行渣土感知、环境感知、形变感知、应力感知、危险源感知等多维度实时监测,同时结合现场智能巡检与渣土试验,基于云计算开发以三维模型为底图的可视化智能监测云系统,可随时随地在移动端实时掌握现场情况,满足海量异构监测数据的云端查询、多数据融合处理与存储,实现受纳场安全自动化监测、巡检、分析、评估、报告和报警的云上统一管理及数据信息三维可视化展示。监测预警系统是综合了自动化监测、人工巡检、定期检测检验的协同监控新模式的载体,具有重要的研究价值和广泛的应用前景,其建立将利于填补受纳场安全监控相关行业监测技术标准和规范的缺失,助力政府逐步搭建起城市建筑余泥渣土受纳场安全监管体系,以点带面解决城市“渣土吃人”的隐疾。

(下转第78页)

- 冻结过程[J]. 建井技术, 2017, 38(5): 56-60+50.
- [6] 王余鹏, 韩伟. 富水砾砂地层中联络通道的冷冻加固施工技术[J]. 建材技术与应用, 2020(5): 23-26.
- [7] 竺维彬, 李世佳, 方恩权, 等. 衡盾泥膜护壁工艺在富水砂层带压开仓作业中的应用[J]. 市政技术, 2018, 36(2): 91-94.
- [8] 韩晓瑞, 朱伟, 刘泉维, 等. 泥浆性质对泥水盾构开挖面泥膜形成质量影响[J]. 岩土力学, 2008, 29(S1): 288-292.
- [9] 冯亮. 砂卵石地层衡盾泥辅助盾构带压开仓技术研究[J]. 铁道建筑技术, 2017(3): 83-87.
- [10] 万维燕. 全断面富水砂层“衡盾泥”辅助带压进仓施工技术[J]. 铁道建筑技术, 2017(5): 60-63.
- [11] 谢铁军, 吕涛, 杨果林, 等. 富水砂卵石地层EPB盾构衡盾泥辅助施工关键技术研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2020, 18(5): 74-79.
- [12] 郭广才, 李世佳, 陈嘉诚. 衡盾泥膜护壁工艺在海底塌陷地层带压开仓中的应用[J]. 都市轨道交通, 2019, 32(6): 92-97.

(上接第4页)

(2) 从建筑余泥渣土受纳场的坡体土性质和力学强度的分布特性出发, 结合国内外人工堆填体的失稳案例分析, 找出堆填体破坏形式以及影响稳定性的主要因素。通过数值分析方法, 对造成堆填体失稳的主要影响因素进行评价, 进而总结出重点监测参数和堆填体关键特征点, 并对重要监测参数与监测断面选择、测点布设、数据分析计算等方法进行优化, 再结合历史监测数据, 最终实现受纳场堆填体与边坡的稳定性实时评估标准, 以及安全预警、应急机制的建立。

(3) 研究项目联合了建筑余泥管理单位、高等教育机构等共同开展, 力求建立一个教育示范基地, 成为相关从业人员与科研人员的实训实践试验田, 拟打造建筑余泥渣土管理、运营监控等系列流程的标准化建设, 同时结合高校教育资源, 将项目融合于教学, 起到技术培训和安全教育的作用。

(4) 将带来巨大的经济效益与社会效益, 如通过总结不同堆填方式对渣土工程特性的影响, 结合成本和稳定性优化堆填管理方案; 基于无人机与监测数据找出受纳场库容量实时评估方法; 呼应国家十四五倡导的碳中和排放与可持续的新发展理念, 在充分认识渣土工程分类和性能的基础上, 开展建筑余泥渣土资源化的系统工程研究。

参 考 文 献

- [1] 萧辉, 涂重航, 谷岳飞, 等. “渣土围城”隐疾成为很多城市痛点[J]. 安全与健康, 2016(1): 7-10.
- [2] 丹兴陈腐垃圾处理设备. 建筑垃圾资源化市场空间巨大, 建筑垃圾处理行业发展依然是蓝海[EB/OL]. (2021-05-27) [2021-10-20]. [https://baijiahao.baidu.com/s?id=](https://baijiahao.baidu.com/s?id=1700904708772704005&wfr=spider&for=pc)
- [3] 李思文, 王毅, 李师. 国外余泥渣土的处置方法及其借鉴作用[J]. 中国土地, 2020(12): 44-46.
- [4] 黄志斌. 深圳市余泥渣土处理设施现状和对策[J]. 环境卫生工程, 2013, 21(1): 50-52.
- [5] 深圳市住建局. 深圳市余泥渣土受纳场专项规划(2011—2020)[Z], 2008.
- [6] 万亚男. 2019年中国建筑垃圾处理行业发展现状及趋势分析 建筑垃圾资源化可创造出万亿价值[EB/OL]. (2019-05-21) [2021-10-20]. <https://www.qianzhan.com/analyst/detail/220/190520-dd93bd75.html>.
- [7] 李丹, 孙占琦, 苏颖, 等. 深圳市余泥渣土现状及策略分析[J]. 施工技术, 2018, 47(S3): 129-131.
- [8] 高杨. 人工堆填体滑坡远程滑动机理研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2018.
- [9] 方建锋. 深圳市水径余泥渣土受纳场边坡监测与稳定性分析——以深圳市水径余泥渣土受纳场边坡为例[J]. 资源节约与环保, 2016(8): 101-103+109.
- [10] 姜建生. 深圳市水径余泥渣土受纳场建设经验探讨[J]. 林业建设, 2017(5): 50-54.
- [11] 张雅琼, 赵宇昕, 屈冉, 等. 基于GF-1卫星遥感影像的生态空间周边建筑余泥渣土场提取方法研究[J]. 环境保护科学, 2018, 44(6): 50-55+89.
- [12] 柏君, 董秀军, 陈立坚, 等. 无人机摄影测量技术应用于垃圾填埋场形变监测及库容储量分析[J]. 测绘通报, 2020(12): 27-31+117.
- [13] 杨威. 郴宁高速公路万华岩边坡监测与稳定性评价方法研究[D]. 长沙: 中南大学, 2013.
- [14] 陈少祥, 何钦, 周聪, 等. 基于三维建模手段的多模型融合应用探索[J]. 广东土木与建筑, 2021, 28(2): 1-4+12.