|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 分类号 | **TV512** | |  | | | 密 级 | | 公开 |
| U D C |  | |  | | | 编 号 | | 10486 |
|  | | | | | | | | |
| 武汉大学logo  **硕 士 学 位 论 文** | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | |
| 城市余泥渣土智能调运方案生成方法研究与系统开发 | | | | | | | | |
|  | | 研究生姓名 | | ： | 游 川 | |  | |
| 学号 | | ： | 2020202060185 | |
| 指导教师姓名、职称 | | ： | 刘 全 副教授 | |
| 校外导师姓名、职称 | | ： | 高级工程师 | |
| 专业类别（领域） | | ： | 水工结构工程 | |
|  | |  |  | |
|  | | | | | | | | |
| 二〇二三年五月 | | | | | | | | |

Research on Decision-making Method and System Development of External Material Transportation Scheme for Large-scale Water Conservancy and Hydropower Engineering

By You Chuan

：Associate.Prof. Liu Quan

May, 2022

论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师指导下，独立进行研究工作所取得的研究成果。除文中已经标明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者（签名）：

2023年 5 月 12 日

摘 要

**关键词：**

**ABSRTACT**

**Keywords:**

目 录

[摘 要 I](#_Toc121418475)

[ABSRTACT II](#_Toc121418476)

[第1章 绪论 4](#_Toc121418477)

[1.1 研究背景及意义 4](#_Toc121418478)

[1.2 问题提出及分析 6](#_Toc121418479)

[1.3 国内外研究现状 7](#_Toc121418480)

[1.3.1 城市建设余泥渣土管理问题研究现状 7](#_Toc121418481)

[1.3.2 物资调运问题和土石方调配问题研究现状 8](#_Toc121418482)

[1.3.3 余泥渣土智能调运算法问题研究现状 8](#_Toc121418483)

[1.4 本文研究内容及思路 8](#_Toc121418484)

[1.4.1 研究内容 8](#_Toc121418485)

[1.4.2 研究方法及技术路线 8](#_Toc121418486)

[第2章 余泥渣土多层调运模型及求解算法 9](#_Toc121418487)

[2.1 余泥渣土多层调运问题分析 9](#_Toc121418488)

[2.1.1 问题描述 9](#_Toc121418489)

[2.1.2 余泥渣土及调运网络特性分析 9](#_Toc121418490)

[2.2 构建余泥渣土调运方案优化模型 9](#_Toc121418491)

[2.2.1 方案优化目标函数 9](#_Toc121418492)

[2.2.2 多层中转余泥渣土调运优化模型 9](#_Toc121418493)

[2.2.3 考虑约束条件的多层中转余泥渣土调运优化模型 9](#_Toc121418494)

[2.3 求解算法 9](#_Toc121418495)

[2.3.1 传统算法分析 9](#_Toc121418496)

[2.3.2 智能优化算法分析 9](#_Toc121418497)

[2.3.3 算法框架 9](#_Toc121418498)

[2.3.4 求解步骤 9](#_Toc121418499)

[2.3.5 求取最优解 9](#_Toc121418500)

[2.4 本章小结 10](#_Toc121418501)

[第3章 基于改进遗传算法的智能优化算法研究 11](#_Toc121418502)

[3.1 智能优化算法理论概述 11](#_Toc121418503)

[3.2 各种算法对比分析 11](#_Toc121418504)

[3.3 遗传算法的构建 11](#_Toc121418505)

[3.3.1 基因编码 11](#_Toc121418506)

[3.3.2 种群初始化与基因解码 11](#_Toc121418507)

[3.3.3 适应度函数的构建 11](#_Toc121418508)

[3.3.4 遗传操作 11](#_Toc121418509)

[3.3.5 交叉、变异算子 11](#_Toc121418510)

[3.4 遗传算法的改进 11](#_Toc121418511)

[3.4.1 基因编码的改进 11](#_Toc121418512)

[3.4.2 交叉、变异算子的改进 11](#_Toc121418513)

[3.4.3 选择算子的改进 11](#_Toc121418514)

[3.5 改进遗传算法应用与效果分析 11](#_Toc121418515)

[3.6 本章小结 11](#_Toc121418516)

[第4章 城市工程建设余泥渣土智能调运系统开发 12](#_Toc121418517)

[4.1 余泥渣土智能调运系统概述 12](#_Toc121418518)

[4.1.1 必要性分析 12](#_Toc121418519)

[4.1.2 系统框架及功能设计 12](#_Toc121418520)

[4.1.3 逻辑架构 12](#_Toc121418521)

[4.2 数据采集模块设计 12](#_Toc121418522)

[4.2.1 基于云平台的数据采集方式 12](#_Toc121418523)

[4.2.2 人工采集数据输入接口 12](#_Toc121418524)

[4.3 数据储存、管理与预处理 12](#_Toc121418525)

[4.3.1 数据库的建立与运行 12](#_Toc121418526)

[4.3.2 基于编码的数据储存与管理 12](#_Toc121418527)

[4.3.3 基于SQL的数据预处理 12](#_Toc121418528)

[4.4 智能算法程序设计 12](#_Toc121418529)

[4.4.1 连接数据库 12](#_Toc121418530)

[4.4.2 导入模型 12](#_Toc121418531)

[4.4.3 遗传算法得出最终方案 12](#_Toc121418532)

[4.5 本章小结 12](#_Toc121418533)

[第5章 工程案例分析 13](#_Toc121418534)

[5.1 工程背景 13](#_Toc121418535)

[5.1.1 工程简介 13](#_Toc121418536)

[5.1.2 交通运输网络信息 13](#_Toc121418537)

[5.1.3 各项目运转情况信息 13](#_Toc121418538)

[5.1.4 渣土字典 13](#_Toc121418539)

[5.1.5 场站信息 13](#_Toc121418540)

[5.1.6 运输车辆信息 13](#_Toc121418541)

[5.2 模型建立与智能算法参数校正 13](#_Toc121418542)

[5.2.1 多层中转余泥渣土调运优化模型的建立 13](#_Toc121418543)

[5.2.2 遗传算法预设参数校正 13](#_Toc121418544)

[5.3 系统应用 13](#_Toc121418545)

[5.3.1 系统运行过程 13](#_Toc121418546)

[5.3.2 运行结果总览 13](#_Toc121418547)

[5.4 本章小结 13](#_Toc121418548)

[第6章 结论与展望 14](#_Toc121418549)

[6.1 研究结论 14](#_Toc121418550)

[6.2 展望 14](#_Toc121418551)

[攻读硕士学位期间发表的科研成果 16](#_Toc121418552)

# 绪论

## 研究背景及意义

城市是现代人类文明的载体，城市化是现代化的重要标志之一。近年随着我国经济的快速发展，城市规模快速增长，党的二十大提出要加快构建新发展格局，着力推动高质量发展，其中的促进区域协调发展指出要提高城市规划、建设、治理水平，加快转变超大特大城市发展方式[1]。随着我国城市化进程明显加快，城市人口、功能和规模不断扩大，发展方式、产业结构和区域布局发生了深刻变化，城市运行系统日益复杂，安全风险不断增大。城市安全基础薄弱，安全管理水平与现代化城市发展要求不适应、不协调的问题比较突出[2]。

余泥渣土，是指城市建设单位、施工单位新建、改建、扩建和拆除各类建筑物建筑过程中产生的弃土，弃料以及其他废弃物，在城市建设过程中一般由城市建设的受纳场进行统一堆置及资源化处理[3,4]。随着城市快速发展，城市建设过程中的余泥渣土剧增，建设弃渣需求强烈，在人口聚集度高的大城市中，每年产生的渣土量数量惊人，例如深圳市2017-2020年预计年均产生的余泥渣土总量就达到了9150万方[5]。巨量的余泥渣土使渣土受纳场堆渣的速度远超规划预期，城市渣土处置问题日益突出，“渣土围城”的隐疾已成为很多城市发展的痛点[5,6]。近年来，一些大型城市甚至由于余泥渣土处置不当发生严重特大生产安全事故，给人民群众生命财产安全造成重大损失，暴露出城市安全管理存在不少漏洞和短板[2]，如2015年12月20日，广东省深圳市红坳余泥渣土受纳场发生滑坡，是目前世界最大的渣土场滑坡，造成77人遇难、33栋建筑物被毁，直接经济损失8.81亿元[7,8]。彼时针对此情况，建设规模较大的城市对大规模的工程渣土排放更多采取异地处置的方式，如深圳市2017年海陆外运量达到了7418万立方米，约占总量的80%[9]。然而过度地依赖异地处置，缺乏规划和实施计划，具有高度不可控的特点[10]，因此越来越多的城市开始编制渣土本地消纳计划，寻求渣土除受纳场堆渣方式以外的多元化消纳方式。

另外在城市建设中的大部分需要土石方填筑的工程，因不具备类似大型水利水电工程可择地选取料场开采土石料的工程条件，面临着料源稀缺、料量稀少的尴尬局面，只能采取从城市周边高价收购的方式，更有甚者选择铤而走险，违规盗采。

综合上述两个方面，一方面，渣土处置缺乏统筹规划，受纳场稀缺，合理调配余泥渣土困难，另一方面，城市建设填筑工程，料源稀缺。因此可考虑由城市当地填筑工程作为余泥渣土的受纳方，解决当前渣土处置困难的问题。例如上海浦东新区为解决重大工程渣土消纳出路，在浦东机场圈围工程中以渣土回填代替吹沙造地，提供大量余泥渣土的消纳容量[11]。在有多个余泥渣土产地和多个渣土中转场地和多个渣土受纳场地且受纳场限制增多、运输网络限制条件增多的情况下，能否生成在整个城市范围内全局最优、成本最低的余泥渣土调运方案成为了能否合理有效解决渣土处置问题的关键问题。

城市余泥渣土调运方案智能生成是指，在城市工程建设阶段综合分析余泥渣土生产和受纳的时间、空间（距离）、质量（料性）、数量等多维工程条件和运输限制条件，从系统的观点出发，立足于方案规划的全局性及整体方案的优越性，通过智能算法的手段，生成全局最优、成本最低的调运方案。最终生成的调运方案将作为城市余泥渣土管理调运的指导性文件，以及估算余泥渣土调运、管理费用的主要依据，是保障城市余泥渣土供应调运以及运营管理的协调均衡，有力有序推进各项工作的基础性文件。可见，城市余泥渣土调运方案事关城市管理建设全局，对构建城市新发展格局，促进区域协调发展，保证城市高质量发展都有重要影响。因此，开展城市余泥渣土调运方案智能生成的系列问题的研究具有重要的工程实用意义和工程科学价值。

除此之外，城市余泥渣土调运方案智能生成还涉及大量的受纳场站网络信息采集、复杂参数计算与生成以及渣土料性信息编码存储等工作。而现有城市余泥渣土的处置和调配问题，主要依靠人工收集受纳场站网络、运输条件以及费用等各类资料数据，借助Excel、CAD等工具完成资料整理和数据参数计算，并结合工程经验完成人工规划和项目间自发协调均衡。这种方法数据采集和参数计算效率低，耗时耗力，且工程经验和项目负责人信息广度会带有较强的主观性和偶然性。对于城市区域级的大范围余泥渣土受纳场网络，数据量大，结构复杂，常需要消耗数月时间，数据储存和管理困难，且难以保证数据精度。目前，我国在大数据建设方面已经走在了世界前列，而后对于数据信息的应用，推动信息化、数字化建设转向人工智能、熟悉孪生建设将成为新一轮的科技发展趋势。在水利工程领域，加快推进水利现代化建设使当前我国实现社会主义现代化的重要战略目标。而水利信息化、智能化建设作为水利现代化的重要组成部分，传统工程技术与智能技术的结合将逐渐成为今后水利行业发展的必然趋势。因此，在国家大力推进传统工程信息化、智能化建设的背景下，本研究将新兴智能算法与传统水电工程土石方调配理论结合应用到城市余泥渣土调运问题中，结合计算机技术、数据库以及互联网等等技术，基于本文提出的调运模型和智能优化算法，开发了城市余泥渣土智能调运系统，旨在帮助本领域工程人员进行城市余泥渣土调运方案设计，实现了从受纳场站网络信息采集、数据参数计算到调运方案智能生成整个余泥渣土方案生成的信息化管理，为余泥渣土调运问题提供了一种智能化闭环解决思路。

## 问题提出及分析

城市余泥渣土调运是将区域范围内的余泥渣土从各个产渣地点统筹规划调运至相应的受纳地点。而余泥渣土调运方案生成问题需要在综合分析受纳的时间和空间、渣土料性、运输强度及受纳场站承受能力等因素的基础上，生成满足可行、经济、工程实际需求以及符合工程建设进度控制等要求的调运方案。目前，我国城市余泥渣土多采用重型卡车公路调运的方式运送至各中转处理场或受纳场站，与其他领域的调运问题不同[12]，城市余泥渣土的调运网络具有以下特征：

（1）约束性。城市轨道交通网络大多对运载余泥渣土的卡车有通行时间和限行载重的特殊要求，尤其对于载重量较大的重型卡车，其载重和尺寸往往会超过一般城市路段的限制标准，在规划调运方案时，必须考虑到城市路段的限行时间窗以及对重型卡车尺寸与载重的限制条件[13]；

（2）时变性。余泥渣土调运网络的时变性是指在不同的工程规划时段，区域范围内余泥渣土产量和受纳场站承受渣土的能力等条件是不同的，即调运网络是非静态的，随工期推进而动态变化。由于工程建设周期较长，在施工期内，调运网络会因为地方交通规划以及工程建设交通规划而新建或者改建公路等交通设施；也可能因交通设施被破坏，造成调运网络的改变，因此城市余泥渣土调运网络具有时变性。

（3）层次性。受纳场站除了作为余泥渣土调运的终点，还可以作为渣土调运的中转场，通过渣土回采，成为下一轮余泥渣土调运的起点。如此，余泥渣土的调运从渣土产渣地通过多层受纳中转站最后调运至无法中转与再利用的终点受纳场站，形成了一个具有层次性、彼此相互连通的多层余泥渣土调运网络。由此表现了余泥渣土调运网络的层次性。

（4）供需相对平衡性。余泥渣土在调运区域内不仅可调运至受纳场站，还可以调运至其他需要相应料性渣土的填筑工程现场进行再利用，在生成调运方案时，应首要考虑满足产渣与填筑的供需相对平衡，以减少受纳场站的处置压力和提高余泥渣土的再利用效率。

可见，城市余泥渣土调运是一个同时具有约束性、时变性、层次性及渣土供需相对平衡性的大规模区域调运问题。现有研究中，针对其他领域普通调运问题的求解方法，一般是通过构建单层或双层调运网络模型，将调运场站抽象的视为网络节点，以网络的路径边权值反映运距、时间、费用等优化目标，然后采用合适的优化方法进行求解求优。这种单层或双层的网络模型缺少了对工程项目渣土供需相对平衡的优先考虑，且网络模型过于单薄，无法反映余泥渣土可多层中转反复再利用的资源特性。因此，不能仅从物资调运的角度研究城市余泥渣土调运问题。也就是说，城市余泥渣土调运方案生成问题除了要考虑交通网络特征之外，还应该立足于整体，从系统角度出发，构建贴合余泥渣土调运网络特性的调运模型，进行余泥渣土调运方案的生成。

为此，本研究从一般的物资调运问题出发，为满足余泥渣土的层次性和供需相对平衡性，立足于水利水电工程施工中的土石方调配相关理论，引入群智能优化算法，提出一种区域级余泥渣土调运方案全局求优的生成方法，该方法框架为图 1.1。具体步骤为：首先根据渣土分级、渣土兼容性、渣土供求质—量关系，在一般的土石方平衡问题的基础上，构建考虑多料源、多目标、多料性及渣土资源化和综合利用等特点的城市余泥渣土多层调运规划模型。然后，本研究基于改进遗传算法设计了一种离散化时间轴的分层分段求解算法对模型进行全局的求解求优，最后通过数据校核得到符合工程实际需求的城市余泥渣土调运方案。案例结果表明：本研究提出的方法可以有效的求解城市余泥渣土调运方案规划问题，为相关领域的物资运输问题研究提供了新的解决思路。

图 1.1 余泥渣土调运方案生成方法框架

同时，本研究还考虑了实际工程中存在的数据采集困难、数据计算处理效率低以及余泥渣土调运方案规划周期长等问题。为此，本研究基于本文提出的余泥渣土多层调运模型和改进遗传算法，结合计算机技术、数据库技术以及物联网等技术，开发了城市工程建设余泥渣土智能调运系统。本系统将复杂的调运规划模型采用高级编程语言进行模拟实现，使用计算机对不同方案进行大量的计算、迭代、分析和比较，最后通过优化得到最优方案；各种设计数据、计算所需参数，通过T-SQL编程储存在数据库中；工程人员可以在用户界面输入数据处理指令，将复杂繁琐的计算工作交给计算机完成，并将计算产生的设计结果输出至Excel表格中，使工程人员及时对方案做出判断和修改。本系统实现了调运网络数据快速采集、数据参数自动化计算和编码化存储以及调运方案属性信息的直观展示等功能，将其应用到城市余泥渣土调运方案规划中，可以大大提高工作效率，降低时间成本，为本领域工作人员进行方案规划提供了一定技术支持。同时在国家大力推进工程数字化、信息化建设的背景下，将传统工程技术与新兴技术结合，助力水利信息化、智能化建设，也是推进水利现代化建设的重要体现。

## 国内外研究现状

* + 1. 城市建设余泥渣土管理问题研究现状

城市余泥渣土管理问题旨在探索余泥渣土科学高效的处置方式以提高城市管理的科学性。在余泥渣土管理方面，James[14]早在2004年建立了建筑垃圾管理的一般模型，模型由建筑垃圾估算、分离经济型分析和处理经济性分析三大模块组成。Ko Hyun Jeung 和 Gerald W.Evans[15]从第三方物流企业的角度构建了混合整数非线型规划物流模型。Huang[16]等针对城市渣土运输问题，利用 Pareto 算法并结合GIS系统平台，建立多目标路径优化模型，以匹配路线选择的需求标准。国内学者的研究多集中于渣土智慧运输管理上，赵坤[17]、张静[18]、王宁等[19]等学者分别研究了应用BIM+GIS技术、GPS和载重量监测等技术监测城市渣土运输过程，并可与执法管理无缝衔接，建立综合监管体系。

上述研究尝试和方法虽然进行了一些探索，然而基于前述问题分析（1.2节），我国的大中型城市建设渣料数量巨大、种类繁多；且各项目进度不一、渣料生产和需求时段多变；余泥渣土资源化技术使部分渣料在系统中会改性，变为固化弃料甚至可用料。渣料调运规划必须基于时间、空间、物料性质、物料数量、受纳场容量和当前存量等多维参数，综合考虑物料运输、加工、再利用的成本和效益，选定优化方案，达到成本最低、环境最优、安全性高等目标。现有研究虽然取得了一定的成果，但主要聚焦于城市渣土的治理、监测和管理，对余泥渣土调运模型和模型求解算法等方面的研究尚不充分，研究角度单一，全局性不足，尚未形成成熟的理论体系和方法框架。

本文着力于当前不足，从全局角度出发，针对问题本身特点，立足于水利水电工程施工中的土石方调配相关理论，引入群智能优化算法，提出一种区域级余泥渣土调运方案全局求优的生成方法。因此，本文在城市余泥渣土管理问题研究现状的基础上，从水利工程施工土石方调配模型和模型求解算法两个角度介绍了相关问题的研究现状。

* + 1. 水利工程施工土石方调配模型问题研究现状

土石方调配问题天然具有线性规划特征，因此建立线性规划（Linear Programming Model，LPM）模型是最自然的想法。周厚贵[20]建立了三峡工程二期围堰料场优化选择的LP模型，寻求各料场的最优取料数量，以最小化料物开采与运输成本。Mohamad[21]等在考虑道路工程中开挖区/弃土区容量模糊性以及费用系数模糊性的基础上，建立了道路工程模糊LP土石方调配模型。大型工程的土石方调配是一个高维的复杂系统，王晓梅等根据面板堆石坝土石方调配的时空关系，将调配过程划分为空间层和时间层，通过空间层与时间层的协调建立了土石方大系统分解协调模型（Large-Scale System Resolution-Coordination Model，LSSRCM）。土石方调配需要与工程进度相协调，是空间调配关系与时间调配关系的联合优化，是一个分阶段动态逐步实施的过程，这与动态规划的背景一致。胡程顺等、柳志新等考虑了调配系统的时间因素，建立了土石方动态优化模型（Dynamic Programming Model，DPM）。申明亮等、柳志新等则考虑土石方调配系统中的道路运输强度的平衡与限制，建立了土石方调配费用与道路运输强度的多目标决策模型，在求解时将道路运输强度目标转化为约束，进而实现单目标化，所得到的土石方调配方案在满足道路系统运输能力的前提下，实现系统费用最小化。此外，还有Jayawarddane等建立了道路工程考虑时间要素的整数规划土石方调配模型。胡志根等通过对砂石料场建设、开采，加工及运输费用组成及其相互关系的系统分析，建立了料场规划的混合整数规划模型，实现砂石系统费用的最小化。

* + 1. 余泥渣土智能调运算法问题研究现状

智能算法的研究现状

## 本文研究内容及思路

* + 1. 研究内容

具体研究内容包括：

（1）城市建设余泥渣土调运方案求解

（2）城市建设余泥渣土调运方案迭代优化

（3）城市建设余泥渣土调运方案智能生成系统开发

（4）工程案例分析及系统应用

* + 1. 研究方法及技术路线

# 余泥渣土多层调运模型及求解算法

## 余泥渣土多层调运问题分析

* + 1. 问题描述
    2. 余泥渣土及调运网络特性分析
       1. 余泥渣土调运特性分析
       2. 调运网络特性分析
       3. 调运方式及限制条件分析

## 构建余泥渣土调运方案优化模型

* + 1. 方案优化目标函数
    2. 多层中转余泥渣土调运优化模型
    3. 考虑约束条件的多层中转余泥渣土调运优化模型
       1. 考虑道路的约束条件
       2. 考虑时变性的约束条件

## 求解算法

* + 1. 传统算法分析
    2. 智能优化算法分析
    3. 算法框架
    4. 求解步骤
    5. 求取最优解

## 本章小结

# 基于改进遗传算法的智能优化算法研究

## 智能优化算法理论概述

## 各种算法对比分析

## 遗传算法的构建

* + 1. 基因编码
    2. 种群初始化与基因解码
    3. 适应度函数的构建
    4. 遗传操作
    5. 交叉、变异算子

## 遗传算法的改进

* + 1. 基因编码的改进
    2. 交叉、变异算子的改进
    3. 选择算子的改进

## 改进遗传算法应用与效果分析

## 本章小结

# 城市工程建设余泥渣土智能调运系统开发

## 余泥渣土智能调运系统概述

* + 1. 必要性分析
    2. 系统框架及功能设计
    3. 逻辑架构

## 数据采集模块设计

* + 1. 基于云平台的数据采集方式
    2. 人工采集数据输入接口

## 数据储存、管理与预处理

* + 1. 数据库的建立与运行
    2. 基于编码的数据储存与管理
    3. 基于SQL的数据预处理

## 智能算法程序设计

* + 1. 连接数据库
    2. 导入模型
    3. 遗传算法得出最终方案

## 本章小结

# 工程案例分析

## 工程背景

* + 1. 工程简介
    2. 交通运输网络信息
    3. 各项目运转情况信息
    4. 渣土字典
    5. 场站信息
    6. 运输车辆信息

## 模型建立与智能算法参数校正

* + 1. 多层中转余泥渣土调运优化模型的建立
    2. 遗传算法预设参数校正

## 系统应用

* + 1. 系统运行过程
    2. 运行结果总览

## 本章小结

# 结论与展望

## 研究结论

Ii

## 展望

[1] 习近平. 高举中国特色社会主义伟大旗帜 为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗 ——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告[EB/OL](2022). http://www.gov.cn/xinwen/2022-10/25/content\_5721685.htm.

[2] 中共中央办公厅, 国务院办公厅. 《关于推进城市安全发展的意见》[EB/OL](2018). http://www.gov.cn/zhengce/2018-01/07/content\_5254181.htm.

[3] 蔡永红. 深圳水径余泥渣土受纳场设计研究[J]. 城市道桥与防洪, 2011(10): 5.

[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(1): 3.

[5] 陈盛达, 张文琦, 李孝安等. 快速城市化背景下工程渣土处置与再利用[C]//2019年中国城市规划年会论文集. .

[6] 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): 4.

[7] 中央政府门户网站. 滑坡山体为堆积的余泥渣土——深圳山体滑坡灾害追踪[EB/OL](2015). http://www.gov.cn/xinwen/2015-12/21/content\_5026040.htm.

[8] 中央政府门户网站. 广东专项整治建筑余泥渣土受纳场 “禁区”内的限期搬迁[EB/OL](2015). http://www.gov.cn/xinwen/2015-12/27/content\_5028238.htm.

[9] 深圳市城市规划设计研究院有限公司. 深圳市余泥渣土受纳场专项规划[R]. .

[10] 深圳市住建局. 深圳市2018年度余泥渣土受纳场实施规划[R]. .

[11] 浦东新区管委会. 浦东新区独辟蹊径给渣土“找出路”实施浦东机场外侧滩涂工程渣土回填消纳[R]. .

[12] 郑茂, 颜世伟, 初秀民等. 舰载机典型调运方案推演与时序优化[J]. 中国舰船研究, 2021, 16(03): 1-8+23. DOI:10.19693/j.issn.1673-3185.01945.

[13] 蒋珊珊. 考虑路段限行时间窗与灵活子路径的车辆径程优化问题研究[J]. 北京交通大学, 2020. DOI:10.26944/d.cnki.gbfju.2020.001574.

[14] WANG J Y, TOURAN A, CHRISTOFOROU C等. A systems analysis tool for construction and demolition wastes management[J]. Waste Management, 2004, 24(10): 989–997. DOI:10.1016/J.WASMAN.2004.07.010.

[15] KO H J, EVANS G W. A genetic algorithm-based heuristic for the dynamic integrated forward/reverse logistics network for 3PLs[J]. Computers & Operations Research, 2007, 34(2): 346–366. DOI:10.1016/J.COR.2005.03.004.

[16] HUANG B, CHEU R L, LIEW Y S. GIS and genetic algorithms for HAZMAT route planning with security considerations[J/OL]. International Journal of Geographical Information Science, 2010, 18(8): 769–787[2022–12–08]. https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13658810410001705307. DOI:10.1080/13658810410001705307.

[17] 赵坤. 渣土运输管理中应用GPS和载重量监测技术的探讨[J]. 城市管理与科技, 2014, 16(1): 2.

[18] 张静. 城市渣土管理中的GIS技术应用与研究[J]. 科技风, 2014(18): 2.

[19] 王宁, 楼岱, 陈大庆等. 基于"BIM+GIS"技术的建筑垃圾精准管控信息管理平台研究初探[J]. 环境工程, 2020, 38(3): 5.

[20] 周厚贵, 曹生荣, 申明亮. 土石方调配研究现状与发展方向[J]. 土木工程学报, 2009(2): 8.

[21] KARIMI S M, SEYED, MOUSAVI J等. Fuzzy Optimization Model for Earthwork Allocations with Imprecise Parameters[J/OL]. Journal of Construction Engineering and Management, 2007, 133(2): 181–190[2022–12–08]. https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290733-9364%282007%29133%3A2%28181%29. DOI:10.1061/(ASCE)0733-9364(2007)133:2(181).

# 攻读硕士学位期间发表的科研成果

**发表论文：**

**参与项目：**