

上海市工程渣土海陆联运消纳路径及运营方案研究 ——以临港新片区为例

谢亿平

[上海城投兴港投资建设(集团)有限公司,上海市 201306]

摘要: 随着我国城市化快速发展,城市建设项目的数量和规模在不断扩大,工程渣土等建筑垃圾的产量也在逐年增长,对城市管理者来说,解决“渣土围城”问题迫在眉睫。以临港新片区为例,着眼于上海市工程渣土的消纳问题,因地制宜提出将海陆联运与小洋山北吹填工程相结合的渣土消纳新路径,并分析其与传统陆路运输在成本结构、交通影响和效率上的差异,同时分析渣土运输过程中渣土出运码头、交通组织、海陆联运管理所存在的问题并提出了相应的解决方案,为上海市及国内同类城市解决工程渣土消纳难题提供参考借鉴,助推城市绿色发展。

关键词: 工程渣土;消纳方案;海陆联运;吹填工程;临港新片区

中图分类号: TU746.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)05-0165-05

Research on Consumption Approach and Operation Scheme of Joint Sea-Rail Transportation of Construction Spoil in Shanghai: A Case Study of Lingang Special Area

XIE Yiping

[Shanghai Chengtou Xinggang Investment and Construction (Group) Co., Ltd., Shanghai 201306, China]

Abstract: With the rapid urbanization in China, the number and scale of urban construction projects continue to expand, leading to a yearly increase in the production of construction waste such as construction spoil. For urban managers, solving the problem of “spoil besieging city” has become an urgent task. Taking Lingang Special Area as an example, and focusing on the consumption of construction spoil in Shanghai, a new spoil consumption approach combing the joint sea-rail transportation with the hydraulic reclamation project on the north side of Xiaoyangshan Island is proposed according to the local conditions. The differences between it and traditional land transportation in terms of cost structure, traffic impact and efficiency are analyzed. Additionally, the challenges in spoil shipping wharf, traffic organization and joint road-sea transportation management in the spoil transportation process are analyzed, and the corresponding solutions are provided, which provide valuable reference for addressing the consumption challenges of construction spoil in Shanghai and similar local cities, promoting urban green development.

Keywords: construction spoil; consumption scheme; joint sea-rail transportation; hydraulic reclamation project; Lingang Special Area

0 引言

随着我国城市化进程的不断加快,建筑垃圾的产生量也在持续增加,据住房和城乡建设部的测算数据,近年我国城市建筑垃圾年产量超20亿t,约占城市固体废物总量的40%^[1]。其中工程渣土占比最大,增速最快。以上海市为例,据有关部门统计,近年来上海市工程渣土平均每年申报量约为8 000万t^[2]。

未来,随着城市地下空间的大规模开发,工程渣土的产量还将不断增长,有关工程渣土的消纳问题成为新型城市化发展中亟待处理的重点与难点。

发达国家在工程渣土消纳管理领域已形成较为成熟的技术体系,其核心路径是推进渣土资源化利用。德国是最早提出对渣土等建筑垃圾进行回收处置的国家,其自1970年起已出台超160个与垃圾处置相关的法律法规,其中与渣土资源化利用相关的有数十个,德国《循环经济与废物管理办法》规定,渣土可经处理后作为道路路基填料^[3]。美国对渣土开

收稿日期: 2025-07-01

作者简介: 谢亿平(1983—),男,硕士,高级经济师,从事城市治理和运营等工作。

展分层次综合利用,70%渣土通过分拣加工后再生利用(制成沥青、水泥或建材),剩余30%采用就地分拣处置、一般性回填等方式利用^[4]。日本将建筑垃圾视为“建筑副产品”,通过“再生资源化设施”分类处理,并建立“土方银行”实现高效调配^[5]。

国内各地也已开展工程渣土的资源化利用,包括回填复垦、堆山造景、回填造地等。如浙江省东衡村利用城市渣土对106多万 m^2 矿坑进行回填复垦,复垦修复后达到了耕地利用标准^[6]。天津选址废弃垃圾填埋场,启动堆山造景工程,利用200多万 m^3 的渣土堆出了50 m高的人造山,在城区打造了独具特色的南翠屏公园^[7]。上海南汇东滩整治工程将工程渣土资源化利用形成可利用的土地,年消纳渣土超600万 m^3 ^[8]。

然而,当前渣土消纳还面临较多的困境。以上海临港新片区为例,2020—2022年渣土年均产量达1160万 m^3 ,但登记消纳点仅23处,消纳地点分散、消纳容量有限。根据上海市“中心城区统筹,郊区自行消纳”的原则^[9],临港新片区的渣土消纳难以满足项目大规模出土需求。其次存在地域性适配障碍,主城区砂性土的特质导致绿林、农业等项目无法全量有效利用工程渣土,项目需另寻消纳场所。此外传统陆运成本较高,限制跨区域调配可行性。

1 工程渣土在小洋山岛消纳利用的路径研究

1.1 小洋山北填土需求分析

由于临港新片区工程渣土消纳空间战略后备不足,主城区砂性土的特质又导致无法全量利用于绿林、农业等项目,工程渣土消纳已成为临港新片区项目推进、固投释放、城市建设过程中的一个瓶颈问题。同时,因国际航运中心建设需要,洋山深水港区小洋山岛北作业区集装箱码头及配套工程项目已于2022年11月开工建设。小洋山工程采用吹砂成陆工艺,填土形成的陆域主要用于集装箱码头区(布置7个7万t级和15个2万t级集装箱泊位及工作船码头)及综合服务功能区,码头岸线总长6100 m,陆域总面积约663.97万 m^2 ^[10],预计该项目未来3~5年内还需大量填土。参考小洋北工程相关需土协议,陆域回填的土质含砂量(粒径大于0.075 mm的颗粒质量)需超过总质量的10.7%,且出土不得为淤泥、有机土、泥炭等。根据临港地区建设项目出运渣土的检测报告,土料含砂量基本都在25%左右,非淤泥、有机土或泥炭,能够与小洋山北工程对砂性土的需求相匹配。

1.2 运输方式分析

目前从临港新片区到小洋山岛的运输方式主要为陆路运输,中途必经东海大桥,大桥全长32.5 km,年设计通行车流量为430万车次,日均1.17万辆次,是连接小洋山岛与陆地的唯一陆运通道。近年来,随着洋山深水港集装箱吞吐量的不断增长,东海大桥车流量也持续走高,2024年全年通行总量达到设计流量的2.3倍^[11]。若采用纯陆运模式,由于载重有限,运输大体量的工程渣土需配备数量较多的渣土车,易对东海大桥的交通造成一定压力。当遇高峰时段,东海大桥交通堵塞,也会降低渣土车的出行效率。因此,考虑到东海大桥交通状况与渣土车载重限制等问题,建议采用“陆运+海运”相结合的方式,即渣土车在临港新片区内出土点装土,经市政道路行驶至渣土出运码头,渣土经卸车装船后沿海路运至小洋山北,最后进行吹填上岛。海陆联运渣土出运码头距离临港地区出土点和小洋北都不宜过远,且能够满足渣土出运设备布置的要求。经考察,位于东海大桥西侧的芦潮港车客渡码头,是临港地区距离小洋北最近的一个码头,距离临港新片区15 km左右,地理位置十分优越,可改造后用作海陆联运渣土出运码头。海陆联运与陆路运输总体运营路线示意图如图1所示。

2 工程渣土海陆联运消纳运营方案研究

2.1 重点问题分析

2.1.1 渣土出运码头功能问题

渣土出运码头面上作业泊位需设置渣土出运平台,码头前沿停泊水域、回旋水域水深条件能够满足设计船型的靠离泊要求。此外,还需考虑码头环保设施、地磅及道闸满足使用需求。芦潮港码头作为临港新片区工程渣土海陆联运的核心枢纽,现有设施在承载大规模渣土出运任务时存在部分功能性缺陷,原码头无渣土出运平台,不具备渣土运输条件,码头局部水深较浅,无法满足渣土船靠离泊要求。另外,环保防控设施缺失使码头作业区面临粉尘与污水排放风险。因此,需进行渣土出运码头改造,使其满足渣土车卸车、渣土船安全靠泊、渣土装船等要求。

2.1.2 交通组织问题

首先是海陆运输衔接方面,渣土码头运营期单个泊位每天约装载4条船,每个船次之间有约2 h的渣土船靠离泊及辅助时间,此期间该泊位无法进行装卸作业,此时只有部分泊位能够作业,海上台风、大雨、雷暴等天气对船运影响较大,运输不确定性增



(a) 海陆联运总体运营路线示意图



(b) 陆路运输总体运营路线示意图

图1 海陆联运(上)与陆路运输(下)总体运营路线示意图

加,不利因素出现时甚至全部泊位都不能作业。码头上渣土池储量也有限,有可能会造成渣土车积压等待的情况。

其次是海上运输问题。沿线航道船舶交通流较大,船舶航行过程中,相互之间存在一定通航安全影响。该区段与北侧临港公用码头距离较近,同时有大量进出锚地和沿岸航行的船舶,船舶之间易形成交叉会遇态势,存在碰撞风险。

2.1.3 渣土的土质不均问题

临港是吹填形成的陆域,其土质主要为无黏性粉砂粒料和黏粒含量占主要成分的软黏土,固结程度低、含水率高,强度低^[12]。这些工程渣土用于吹填工程前需分类进行系统性预处理,以改善其工程特性,确保吹填后地基的稳定性和承载能力。

2.1.4 海陆联运管理问题

联运作业的参与者众多,涉及陆运公司、船运公司、码头管理部门,以及交通组织、渣土消纳配额管理等^[13],需城管、交管、海事、环保等多部门监管。一旦跨部门协同机制不畅、全链条监管存在漏洞,易导致处置能力滞后,偷倒、超载等违规行为频发。

2.2 重点问题解决方案研究

2.2.1 渣土出运码头改造

本次改造通过局部淤浅区域疏浚,增设三座渣

土出运平台、配置双挖机作业系统、洗车环保设施及地磅,并实施变电站、泵站迁移的设施空间重组,构建起包含渣土装卸-清洗-计量全流程的优化作业体系,有效提升码头运营效率与安全水平。装卸方面码头面上增设3座渣土出运平台,分别对应三个出运泊位,即码头前沿布置一座,后沿布置两座。出运平台平面布置如图2所示,后沿自东向西依次为1#出运平台、2#出运平台,前沿为3#出运平台。平台前部设置两个渣土池,渣土池前沿设置4 m宽的挖机作业道,每个平台布置2台挖机进行卸土作业。清洗方面在码头东侧斜坡道处布置一套洗车台+沉淀池+水箱综合系统,渣土车完成卸土作业后需经洗车台喷淋清洗后才可驶出码头作业区。在引桥入口道闸处设置2台地磅及配套地磅房,进出码头车道各设置1台地磅,中间设置配套地磅房,以计量渣土运输量。现码头变电站、泵站位于码头中间,会阻碍渣土车行进路线,对码头运营安全造成影响,因此需要移位改造,将变电站移至现泵站西侧约9.84 m处,将泵站移至码头东侧斜坡道平台附近,以提升码头安全水平。改造后码头总体布置如图2所示。根据上海市现有渣土码头运营经验,汽车在码头上运行的瓶颈在卸车作业平台,单辆汽车在渣土池卸车的效率大约为每辆车3 min。本工程码头共有6个卸车点,整个码头上车辆通行效率大约为30 s/1辆车。按每年作业天数220 d每天作业时间16 h计算,每天单程1 920车次,渣土车辆(单车10 m³)运输能力为420万m³/年(756万t/年)。

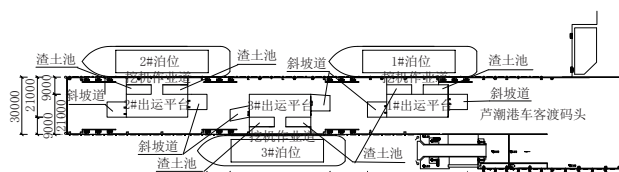


图2 渣土出运平台总体布置图

2.2.2 交通组织规划

建立气象风险智能预警系统,弹性调整运输计划。同时租用空地(约5.07 hm²)作为蓄车区域,在渣土车积压时合理引导,分流等待,避免造成市政道路拥堵。考虑最极端情况,3个泊位都不能进行装船作业叠加车辆出现高峰流量,持续2 h,最多会出现600辆车积压情况,因此蓄车场地容量大于600辆车。蓄车场交通流向图如图3所示。

此外运输船舶配备船舶自动识别系统(Automatic Identification System, AIS)和高频无线通信系统(Very high frequency, VHF),并全程开启AIS,让其处于良

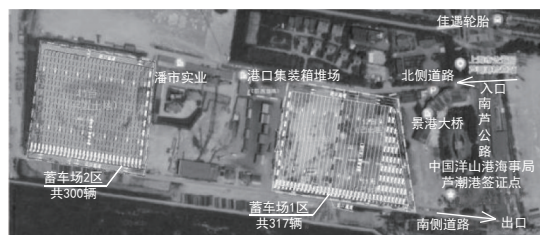


图3 蓄车场交通流向图

好使用状态,并保持相应频道的甚高频守听,按照规定向船舶交通管理中心进行报告,保持与过往船舶的沟通与联系,提醒过往船舶注意避让。

本工程码头作业天数的计算考虑扣除台风、大雨、雷暴等天气因素影响装船作业的不利天数,并考虑不利因素的重叠发生及延时影响,参考其他渣土出运码头运营经验,经分析,年作业天数约为 220 d。

2.2.3 渣土的土质不均解决方案

渣土运输至码头后,通过在地磅房上部设置自动化土质检验装置,自动检测渣土颗粒形态,电导率及含水率,进行称重计量及土质筛查,分类卸车入渣土池,装船后分类运输。海运至小洋山后分类堆放到临时堆放地。分类后的渣土在临时堆放地暂存期间,进行苫盖以防雨水冲刷,并设置临时排水沟和沉淀池,防止水土流失对周边环境造成二次污染。对无黏性粉砂粒料土进行堆载预压或真空预压,加速粉砂层固结,快速降低含水率。针对高黏粒软黏土进行自然晾晒,待表层干燥后再翻挖晾晒,以提高承载力。堆载预压成本为堆载材料(如砂石、袋装土),以及分层堆载的人工、机械租赁费,整体成本中等,工期受堆载分级影响,通常为 30~60 d。真空预压成本为真空泵、密封膜等设备费,以及密封层施工费,初期设备投入较高但无需大量堆载材料,整体成本中等偏上;工期因真空负压加速孔隙水排出,固结效率比堆载预压高 30%~50%,通常为 20~40 d。自然晾晒成本仅为表层翻挖的人工/机械费,整体成本最低,工期受气候条件(降雨、温度、湿度)影响极大,总工期通常为 20~45 d。

2.2.4 海陆联运管理方案

规范组织管理,改造芦潮港车客渡码头并启用,作为临港新片区工程渣土运至小洋山北的中转点。由临港管委会相关主管部门负责统筹协调,提前规划工程渣土运输路线;具体运输作业实行“海陆联运,分工协作”模式,由渣土运输管理公司负责渣土装点至码头的陆上运输组织,内容包括装点出土对接、陆上运输处置证办理、跨省转移利用管理台账编

制及定期报主管部门、车辆信息化全程监控等;由渣土航运公司负责码头至小洋山北的海上运输组织,包括码头运营管理、运输船舶备案及船舶处置证办理、船舶航运组织、卸土上岛衔接等。

开发智能调度系统,对项目工程渣土的运营、营收、生产、车辆及人员进行可视化管控,同步运输计划、通报异常情况、协调解决问题,提高管理效率。包括陆运监控,通过工地摄像头识别渣土装载量,结合车辆 GPS 轨迹分析规避违规倾倒;码头管理,在码头部署智能地磅与车牌识别系统,实现渣土车“称重—登记—放行”全流程自动化,并与船舶装载数据实时比对;船舶追踪,对接 AIS 船舶定位系统,实时监控海上运输路径。此外所有渣土运输船舶、渣土运输车辆及现场管理人员统一配备高频无线电对讲机,在指定频道 24 h 在线,及时跟踪渣土运输动态情况,在高频无法辐射区域采取移动电话等通讯设备进行补充。建立电子联单系统,实现“出土工地—运输企业—码头—船舶—消纳场地”数据链贯通;设立作业标准,通过预约排班制进行管控,确保车辆快进快出,减少压车现象;建立应急管理机制:当收到气象部门发布的恶劣天气(如大风、大雾)预警,码头作业暂停,立即启动应急疏导机制,将抵达码头的渣土运输车辆引导至就近的已规划蓄车场进行等候,避免造成交通拥堵与社会影响。工程渣土业务管理平台操作界面意向图如图 4 所示。



图4 工程渣土业务管理平台操作界面意向图

3 陆路运输与海陆联运成本对比分析

在工程渣土消纳方案的成本结构对比中,海陆联运模式相较于传统陆路运输上有显著优势。海陆联运通过结合短途陆运与长距离水路运输,有效缩短了陆路运输总里程。传统陆路运输单程 55 km,往返总计 110 km,按 1 元/(km·m³)计。海陆联运陆路运输单程 20 km,往返 40 元/m³,水路运输单程 40 km,往返 31 元/m³,单价低 35.5%,大幅降低了单位运输成本并提升了整体运输效率,同时规避了陆路运输中产生的过桥费用,其消纳终端直接对接吹填工程,

省去了传统卸土场的卸点费用。然而,海陆联运模式需要依托码头进行渣土的中转装卸,由此产生了特定的码头作业成本以及需分摊固定码头设施(如折旧与运营)的初期投入。总体而言,海陆联运在长距离、大规模渣土运输,特别是临港新片区这类沿海区域对接吹填工程的应用场景中,展现出更优的经济性和流程适配性。海陆联运与陆运成本结构对比如表1所列。

表1 陆路运输与海陆联运成本结构对比分析

成本类别	陆路运输/(元·m ⁻³)	海陆联运/(元·m ⁻³)
运输费	110	71
过桥费	9	0
卸点费	28	0
码头装卸成本	0	12
上岛吹填成本	0	11
码头折旧与运营成本	0	18
总成本	147	112

4 海陆联运消纳方案优势分析

一是破解工程渣土规模化消纳处置难题,提升渣土利用水平。本方案将临港新片区建设出土需求与小洋山北集装箱码头及配套工程项目需土现状对接,既科学合理地解决了临港新片区大量工程渣土的消纳处置难题,又能推进小洋山北项目建设填土进程,助力国际航运中心功能提升,一举两得。

二是运输成本降低,环境污染减少。与其他运输方式相比,海运碳排放量相对较低,据相关研究显示,水路运输的碳排放强度约为公路运输的8.3%^[14],发展海路联运有助于促进交通运输领域节能减排。与纯陆运模式相比,海陆联运模式不仅减轻了东海大桥的交通运输压力,也降低了运输成本,提高了运输效率。单艘运输船舶的工程渣土装载量远大于单辆渣土车的装载量,且海运路线相对固定,不受陆地交通拥堵、限行等的限制,无需缴纳过桥费,更适用于临港新片区远距离、大体量工程渣土运输。

三是盘活闲置资源,创经济效益。由于临港新片区车客渡海运业务已搬迁至洋山沈家湾客运码头,目前芦潮港车客渡码头处于闲置状态。经改造后,可将该码头充分利用起来,作为工程渣土海陆联运的关键中转站与发展“水经济”的重要渠道,能够产生一定的经济效益,有效盘活资源,也有助于区域航运业的发展。

5 结论与展望

工程渣土的消纳处置是当前临港新片区建设发

展所面临的一项重要问题,文章提出了一条海陆联运与小洋山北吹填工程相结合的渣土消纳新路径,对芦潮港车客渡码头进行改造,新增工程渣土中转功能,开辟“临港新片区-小洋山”土方海运通道,既解决了临港新片区工程渣土的消纳难题,也能够盘活闲置资源,解决了小洋山北吹填工程的砂土来源问题,具有一定的环保效益和经济效益。

本研究成果不仅了解决实际问题,也具有借鉴意义,能够指导同类城市及地区因地制宜的探索和确定渣土消纳处置方式,实现城市工程渣土的大规模科学消纳。

参考文献:

- [1] 徐海云. 建筑垃圾管理政策及处理利用现状[EB/OL]. (2020-09-13)[2025-03-17]. <https://www.mee.gov.cn/home/ztbd/2020/wfcsjssdgz/bczc/gnjy/202009/P020200917381378481231.pdf>.
- [2] 上海市人民政府. 上海市人民政府办公厅关于印发《上海市生态空间建设和市容环境优化“十四五”规划》的通知[EB/OL]. (2021-7-14)[2025-7-1] <https://www.shanghai.gov.cn/nw12344/20210804/6b844da3270b4b4c847b2a74c3813781.html>.
- [3] 马志恒,王卫杰,张冠洲. 城市工程渣土资源分类及综合利用研究[J]. 江苏建筑, 2015(6): 100-103.
- [4] 冷发光,何更新,张仁瑜,等. 国内外建筑垃圾资源化现状及发展趋势[J]. 环境卫生工程, 2009, 17(1): 33-35.
- [5] 曹小琳,刘仁海. 建筑废弃物资源化多级利用模式研究[J]. 建筑经济, 2009(6): 91-93.
- [6] 李平. 浙江德清: 3800亩废矿地变身绿色高产田[N/OL]. 新华每日电讯, (2022-12-21)[2025-03-17]. https://www.news.cn/mrdx/2022-12/21/c_1310685383.htm.
- [7] 肖建庄,张青天,段珍华,等. 建筑废物堆山造景工程探索[J]. 结构工程师, 2019, 35(4): 60-69.
- [8] 张文虎,才多,欧阳礼捷. 工程渣土在新圈围库区的消纳实践研究——以上海南汇东滩N1库区为例[J]. 四川环境, 2023, 42(6): 226-231.
- [9] 上海市人民政府办公厅. 上海市人民政府办公厅印发《关于全面加强本市固体废物综合治理的工作方案》的通知[EB/OL]. (2025-1-20)[2025-03-17]. <https://www.shanghai.gov.cn/nw12344/20250120/8b72dc0188154af3be4b40a8a439bfbe.html>.
- [10] 上海国际港务集团股份有限公司董事会. 上海国际港务(集团)股份有限公司关于投资建设上海国际航运中心洋山深水港区小洋山北作业区集装箱码头及配套工程的公告[EB/OL]. (2022-09-23)[2025-03-17]. <https://www.portshanghai.com.cn/downdoc.aspx?cid=2853>.
- [11] 俞金旻. 洋山港吞吐量破2600万箱,助力上海港成全球首个五千万箱大港[EB/OL]. (2025-01-09)[2025-03-17]. <https://www.bjnews.com.cn/detail/1736334903129198.html>.
- [12] 李晓勇. 上海临港吹填土地基处理方案比选分析[J]. 低温建筑技术, 2020, 42(5): 114-117.
- [13] 张滨,黄波,樊娉.“一带一路”背景下我国海陆联运建设与发展[J]. 中国流通经济, 2015, 29(6): 96-102.
- [14] 田佩宁,毛保华,童瑞咏,等. 我国交通运输行业及不同运输方式的碳排放水平和强度分析[J]. 气候变化研究进展, 2023, 19(3): 347-356.