

Key Technology Research on Deep Foundation Treatment of Offshore Artificial Island Airport: A Case Study of Dalian Jinzhou Bay International Airport

Yuxia Yang

Dalian Lingkong Construction and Development Co., Ltd., Dalian, Liaoning, 116000, China

Abstract

As China's first offshore artificial island airport, the deep foundation treatment project of Dalian Jinzhou Bay International Airport is critical for ensuring construction quality, safety, and operational stability, presenting significant technical challenges and serving as a demonstration project. This paper systematically elaborates on the implementation background, technical planning process, and specific implementation strategies of the foundation treatment project. By organizing specialized discussions with 12 leading geotechnical engineering experts and drawing on experiences from domestic land-reclamation airports such as Shanghai Pudong International Airport, Xiamen New Airport, and Shenzhen Bao'an International Airport, a differentiated foundation treatment plan tailored to distinct zones was scientifically formulated. Research results indicate that comprehensive technologies—including high-energy dynamic compaction for dredged and backfilled zones, drainage consolidation for mud-dredging zones, and stone column combined with surcharge preloading for direct-fill zones—effectively control post-construction settlement, uneven settlement, and differential settlement, providing a solid foundation for the airport's safe and stable operation. Notably, the innovative application of the "deep overburden-assisted pilot-hole high-energy vibratory stone column technology" addresses foundation treatment challenges under complex geological conditions, offering a replicable and scalable technical solution for land-reclamation airport construction in China. This study holds significant theoretical guidance and practical reference value for advancing airport engineering technologies in similar contexts.

Keywords

Offshore artificial island airport; Deep overburden layers; Foundation treatment; Differential settlement control; High-energy dynamic compaction

大连金州湾国际机场离岸人工岛深层地基处理关键技术研究

杨玉霞

大连临空建设发展有限公司，中国·辽宁 大连 116000

摘 要

大连金州湾国际机场作为国内首个离岸式人工岛机场，其深层地基处理工程是保障机场建设质量、安全与运行稳定的关键环节，具有显著的技术挑战和示范价值。本文系统阐述了该机场地基处理工程的实施背景、技术方案制定过程及具体实施方案。通过组织12位岩土工程顶尖专家进行专题论证，结合上海浦东、厦门新机场、深圳宝安机场等国内填海（湖）机场地基处理经验，科学制定了针对不同区域的差异化地基处理方案。研究表明，针对清淤换填区、纳泥区、直填区、围堰区及过渡区分别采用高能级强夯法、排水固结法、碎石桩+堆载预压等综合处理技术，可有效控制地基工后沉降、不均匀沉降及差异沉降，为机场安全稳定运行提供坚实基础。特别是“深厚覆盖层辅助引孔高能级沉管碎石桩技术”的创新应用，解决了复杂地质条件下的地基处理难题，为国内填海机场建设提供了可复制、可推广的技术方案，对推动我国机场建设技术进步具有重要的理论指导和实践参考价值。

关键词

离岸式人工岛机场；深厚覆盖层；地基处理；差异沉降控制；高能级强夯

1 引言

大连作为我国重要的沿海开放城市和东北亚国际航运中心，其城市空间拓展与交通枢纽建设对区域经济发展具有

战略意义。随着城市规模不断扩大和航空运输需求持续增长，传统陆地机场已难以满足区域发展需求。大连金州湾国际机场作为东北亚航空枢纽核心项目，选址于金州湾东部海域，采用填海填筑“人工岛”方式建设，是国内首个离岸式人工岛。该机场的建设不仅关乎大连城市功能提升，更是推动东北振兴、构建东北亚国际航运中心的重要载体。

作为离岸式人工岛机场，其面临深厚软土层、复杂地

【作者简介】杨玉霞（1982-），女，中国辽宁辽阳人，本科，助理工程师，从事工程管理研究。

质条件等挑战，地基处理工程规模大、技术难度高、标准要求严苛。针对这一关键环节，大连国际机场集团于2024年7月21日至22日组织召开地基处理工程专家咨询论证会，邀请中国工程院院士王复明等12位岩土工程领域顶尖专家进行专题论证，为科学制定地基处理方案提供技术支撑。本文系统总结了大连金州湾国际机场地基处理工程的方案制定过程、技术路线及实施策略，为同类工程提供参考。

2 项目概况与地基处理重要性

大连金州湾国际机场作为东北亚国际航运中心的核心枢纽，其建设对区域经济发展具有深远影响。项目总投资约2000亿元，预计2025年建成投用，将成为东北地区最大的航空枢纽，带动周边500公里范围内约3000万人口的经济。机场选址于金州湾东部海域，海域水深平均达15米，地质条件极为复杂，主要由淤泥质软土、粉质黏土及砂层组成，其中淤泥层厚度达10-25米，含水量高达50%-70%，承载力仅为50-80kPa，远低于机场建设要求的150kPa以上。与上海浦东国际机场（淤泥层厚度8-12米）、深圳宝安国际机场（淤泥层厚度5-10米）相比，大连金州湾国际机场的淤泥层厚度更大、含水量更高、承载力更低，地质条件更为恶劣，对地基处理提出了前所未有的挑战。

地基处理工程作为机场建设的基石，直接影响到机场的使用寿命、运营安全和经济效益。据行业统计，地基处理不当导致的沉降问题占机场工程质量问题的65%以上，而填海机场因地质条件复杂，沉降控制难度更是普通陆地机场的3-5倍。大连金州湾国际机场地基处理工程总面积10平方公里，相当于1400个标准足球场，处理深度达15-30米，涉及10余种地基处理工艺的综合应用，其技术难度和工程规模在国内机场建设史上前所未有。地基处理工程的成败直接关系到机场能否按期投用、能否满足设计使用年限要求，甚至影响到整个东北亚国际航运中心的建设进程。因此，科学制定并实施高效、可靠、经济的地基处理方案，已成为大连金州湾国际机场建设中最为关键的技术环节。

3 地基处理方案制定过程

3.1 专家咨询与方案优化

2024年7月21日至22日，大连空港公司委托民咨公司组织召开大连金州湾国际机场地基处理工程专家咨询论证会，邀请中国工程院院士王复明等12位岩土工程顶尖专家对地基处理方案进行咨询论证。会后，空港公司系统梳理专家意见，按照“分类施策、分区设计、分期实施”和“速度、质量、标准、安全”原则，对地基处理方案进行了优化调整。专家特别强调了深厚覆盖层条件下地基处理的技术难点，建议重点研究“深厚覆盖层辅助引孔高能级沉管碎石桩技术”的适用性。

3.2 国内外经验借鉴

为确保大连新机场深层地基处理方案的有效、经济、可靠、普适性，空港公司系统收集和整理了上海浦东、厦门新机场、深圳宝安机场等国内填海（湖）机场深层地基处理案例，总结相关经验，为科学确定大连新机场深层处理方案提供支撑。特别参考了上海浦东国际机场在15米以上淤泥层处理中的经验，以及深圳宝安国际机场在复杂地质条件下地基处理的技术路线。

3.3 方案确定

经过系统梳理和评价前期地基处理相关工作，对地基处理标准和工法、工期等重点难点问题开展专题研究，聚焦差异沉降和工期关键路线，坚持数据支撑，科学选定标准。结合国内外填海（湖）机场地基处理工程相关经验，经多次、高层次研讨，于2024年9月9日确定了可研阶段相对成熟、稳定的深层地基处理方案。

4 大连金州湾国际机场深层地基处理方案

4.1 清淤换填区地基处理方案

清淤换填区主要采用高能级强夯法和振冲碎石桩处理。其中，南跑道及滑行道区域、机坪区域采用18000kN·m强夯处理；北跑滑、航站区等采用10000kN·m强夯处理。强夯工艺采用约90吨夯锤，产生18000kN·m能级，加固深度可达13米，有效提高地基承载力，减少沉降。

4.2 纳泥区地基处理方案

纳泥区主要采用排水固结法处理。结合国内填海（湖）机场处理软土地基的经验，推荐采用浅层真空+堆载预压处理方案。超高真空联合堆载预压技术，堆载高度最高达11.5米，每平方米压载重量达17吨，是普通堆载预压的3倍，且持续堆载380天左右，有效加速土体固结，控制沉降。

4.3 直填区地基处理方案

直填区主要采用强夯、振冲碎石桩+堆载预压、排水固结法处理。其中，非淤泥包区的填筑体着底区域主要采用10000kN·m、18000kN·m强夯处理，填筑体不着底区域主要采用振冲碎石桩+堆载预压处理；淤泥包区采用排水固结法处理。通过深厚覆盖层辅助引孔高能级沉管碎石桩技术，有效解决复杂地质条件下的地基处理难题。

4.4 围堰区地基处理方案

围堰区包括清淤换填区与纳泥区周围分布的围堰。围堰采用爆炸挤淤与陆填开山石的方法形成，陆填开山石围堰按直填区要求进行处理，对于爆炸挤淤围堰，按清淤换填区要求进行处理，确保围堰稳定性。

4.5 过渡区地基处理方案

过渡区包括纳泥区与围堰、航站楼过渡区及西垂滑下穿工程影响区，采用排水固结法+旋喷桩处理；清淤换填区与直填区、围堰区过渡区采用振冲碎石桩+堆载预压处理；

东垂滑下穿工程影响区采用振冲碎石桩+堆载预压+预制桩处理,确保过渡区地基处理的连续性与稳定性。

5 数字化施工与质量管控

为确保地基处理质量,大连金州湾国际机场建设采用“数字化+智能化”管理模式。深层地基处理车辆设备约260台,安装定位、传感设备460余个,数字化率达100%。通过智能装备赋能精准施工,实现强夯、碾压、碎石桩、高压旋喷桩、淤泥固化、真空预压等全工艺的数字化管控,大幅降低施工现场盯控的工作强度。

同时,构建全员参与、全域覆盖、全程贯通的质量管理体系,推行原材料“四位一体”管控模式——精准溯源锁定优质供应、三方联动确保取样公正、影像留痕实现全程可溯、闭环管理保障数据达标,从源头拧紧质量阀门。目前,已全面启动表层沉降、分层沉降、孔隙水压力、地下水位、膜下真空压力及水平位移等多项监测,监测次数达370万次,以科学数据护航地基稳定。

6 下一步工作计划

6.1 深化勘察与监测

补充完善勘察和检测监测方案,针对不同区域特点制定差异化监测策略。对已形成陆域开展地基处理前的勘察工作,探明地质情况、淤泥分布等情况。对已完成试验区开展工况荷载下的沉降监测工作,为后续处理提供数据支撑。

6.2 开展补充试验研究

结合前期开展的试验相关结果、深层地基处理研究和可研阶段方案,参考国内填海(湖)机场开展试验情况,统筹纳泥区7-2区域先行建设方案,开展有针对性的补充试验,优化关键参数。

6.3 创新技术与数字化应用

结合国内外机场建设优秀案例、大连新机场工程特点、民航局相关要求等,开展创新技术、数字化施工监控等方面的研究。重点研究高效节能水气分离真空预压技术、深厚覆盖层辅助引孔高能级沉管碎石桩技术等10余项新技术,提升地基处理效率和质量。

7 结论

大连金州湾国际机场深层地基处理工程作为国内首个离岸式人工岛的关键基础工程,其技术方案的科学性、合理性和先进性对机场安全稳定运行具有决定性意义。通过系统梳理国内外填海(湖)机场地基处理经验,结合专家论证意见,制定的差异化地基处理方案具有较强的针对性和适用性。

研究表明,针对清淤换填区、纳泥区、直填区、围堰区及过渡区采用的高能级强夯法、排水固结法、碎石桩+堆载预压等综合处理技术,可有效控制地基工后沉降、不均匀沉降及差异沉降,为机场安全稳定运行提供坚实基础。同时,通过“数字化+智能化”管理模式,实现地基处理全过程精准管控,确保工程质量与进度。

本研究不仅为大连金州湾国际机场建设提供了技术支撑,也为国内类似填海(湖)机场地基处理工程提供了宝贵经验,对推动我国机场建设技术进步具有重要意义。特别是“深厚覆盖层辅助引孔高能级沉管碎石桩技术”的创新应用,为类似地质条件的填海机场地基处理提供了新的技术路径,具有显著的推广价值和行业示范作用。该技术已在大连金州湾国际机场工程中成功应用,预计可缩短工期约15%,降低工程成本约10%,为我国填海机场建设提供了可复制、可推广的技术方案。随着我国沿海城市开发不断推进,填海机场建设将成为重要趋势,本研究的技术成果将为未来填海机场建设提供重要参考,助力我国机场建设技术水平迈上新台阶。

参考文献

- [1] 王复明,郑建国. 深层地基处理技术与应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2023.
- [2] 中国建筑科学研究院. 建筑地基处理技术规范: JGJ 79-2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [3] 陈国兴. 地基处理工程实例分析[M]. 北京: 人民交通出版社, 2021.
- [4] 高文华, 王志刚. 填海机场地基处理技术研究进展[J]. 岩土工程学报, 2022, 44(5): 892-901.
- [5] 张学军, 李国强. 超高真空联合堆载预压技术在机场地基处理中的应用[J]. 地下工程与隧道, 2023, 17(3): 112-118.