

港口工程建设中不良地基的基础处理方法

金俊杰

浙江海港内河港口发展有限公司 浙江 杭州 310000

摘要:港口工程建设中,不良地基因工程地质性质较差,无法直接满足构筑物设计要求,对其引发的承载力不足、沉降变形等问题,严重影响工程质量、安全及运营效益。传统不良地基处理方法存在适用场景局限、处理效果不均等问题。本文阐述港口工程不良地基的界定分类、工程特性及危害,分析各类处理方法的原理与应用特点,探讨处理方法的选型优化、质量控制,为港口工程不良地基的科学处理、高效施工提供参考,助力港口工程高质量建设。

关键词:港口工程建设;不良地基;基础处理;核心方法;质量控制

引言:随着港口工程向深海、软土地区拓展,不良地基成为制约工程建设的核心瓶颈之一。不良地基若处理不当,易引发构筑物开裂、坍塌等安全隐患,延误施工工期、增加维护成本,影响港口正常运营。当前,不良地基处理方法多样,但各类方法的适用条件差异较大,选型不合理、质量控制不到位等问题仍普遍存在。因此,系统梳理不良地基相关理论,优化处理方法与质量管控措施,对推动港口工程安全、高效建设具有重要现实意义。

1 港口工程不良地基相关理论基础

1.1 不良地基的界定与分类

港口工程中,不良地基是指在自然地质作用或人为影响下,工程地质性质较差,无法直接满足港口构筑物设计承载力、稳定性及变形控制要求,需经过处理改造后才能投入工程使用的各类地基。其界定核心在于地基自身特性与港口工程建设需求的匹配度,重点考量承载力、沉降量、抗渗性等关键指标是否达标。根据地基的成因、物质组成及工程性质,可将港口工程不良地基主要分为四类:软土地基,以淤泥、淤泥质土为主,质地松软;杂填土地基,由各类建筑垃圾、生活垃圾或工业废料随意堆积形成;风化岩地基,岩体风化程度高,完整性差、强度低;渗透性地基,土层渗透系数过大,易产生渗流破坏^[1]。

1.2 港口工程不良地基的工程特性

港口工程不良地基受其成因和所处临水环境影响,具有鲜明的工程特性,核心表现为四个方面。一是承载力不足,多数不良地基的抗压强度、抗剪强度较低,无法承受港口码头、堆场等构筑物的荷载,易产生局部或整体沉降。二是沉降变形量大且不均匀,尤其是软土地基和杂填土地基,压缩性高、固结速度慢,建成后易出现持续沉降,导致构筑物开裂、错位。三是渗透性异常,渗透性过强的地基易发生管涌、流沙等渗流破坏,渗透性

过弱则不利于地基排水固结;软土地基还常伴随含水量高、孔隙比大的特点。四是稳定性差,在临水荷载、波浪冲击等作用下,不良地基易发生滑动、坍塌,影响港口构筑物的整体安全性。

1.3 不良地基对港口工程建设的危害

不良地基若未进行有效处理,会对港口工程建设及后期运营造成严重危害,贯穿工程建设全流程。一是影响工程施工进度与质量,地基承载力不足会导致施工过程中基坑坍塌、桩基失稳,需额外投入人力物力进行处理,延误施工周期;不均匀沉降会导致码头面层开裂、装卸设备安装精度不达标,降低工程质量。二是威胁港口构筑物安全,长期沉降会破坏港口码头的结构完整性,导致梁体断裂、桩基倾斜;渗流破坏和地基滑动会直接引发构筑物坍塌,无法正常使用。三是增加工程维护成本,不良地基引发的各类病害需长期检修、加固,不仅耗费大量资源,还可能影响港口正常运营,降低港口的作业效率和使用寿命。

2 港口工程不良地基基础处理核心方法

2.1 密实类处理方法

密实类处理方法核心原理为通过外力作用减小不良地基土的孔隙比,增加土颗粒密实度,进而提升地基承载力与抗剪强度、降低沉降量,适用于松散砂土、粉土及杂填土地基。当前该方法的优化改进重点集中在施工效率提升、密实均匀性控制及能耗降低三方面。(1)传统密实类方法以重锤夯实、振动压实为主,经优化后形成强夯置换复合夯实、高频振动密实等新型工艺。其中强夯工艺通过优化夯锤重量、落距与夯击次数的参数组合,结合分层夯实技术,可有效解决深层土体密实度不足问题,大幅提升深层密实影响深度^[2]。(2)引入智能化监测设备,实时反馈土体密实度数据并动态调整施工参数,避免局部密实度不均;振动压实施工采用高频低幅模式替

代传统低频高幅模式,在保证密实效果的同时,减少对周边构筑物的振动影响,显著提升施工效率。(3)新型环保夯击材料的应用减少了施工扬尘污染,兼顾施工效果与环保需求,进一步完善了密实类处理方法的适用性。

2.2 置换类处理方法

置换类处理方法是指采用强度高、稳定性好的材料,替换不良地基中强度低、压缩性大的软弱土体,通过置换材料与周边土体的协同作用,形成复合地基,达到提升地基承载力、控制沉降的目的。该方法适用于软土地基、淤泥质土地基,当前的发展重点是新型置换材料的研发应用及施工工艺的精细化升级。(1)传统置换材料以砂石、灰土为主,新型置换材料则向高强度、轻质化、环保化方向发展,主要包括陶粒混凝土、泡沫轻质土、再生骨料等。其中,泡沫轻质土密度仅为传统砂石材料的1/3,抗压强度可达1.5MPa以上,用于软土地基置换时,可大幅降低地基自重,减少沉降量,同时施工便捷,可采用泵送浇筑,大幅提升施工效率。再生骨料则通过建筑废弃物破碎加工制成,实现了废弃物资源化利用,其各项力学性能均能满足港口地基置换要求,相较于传统砂石材料,可降低工程造价20%。(2)施工工艺方面,优化形成了高压喷射置换、深层搅拌置换等精细化工艺,通过精准控制置换深度、置换比例,确保置换体与周边土体结合紧密,避免出现分层、脱空等问题,进一步提升了置换处理的可靠性和稳定性。

2.3 加固类处理方法

加固类处理方法核心原理是通过向不良地基中掺入加固材料,或采用物理化学方法,改善土体的物理力学性质,增强土体的黏结力和抗剪强度,实现地基加固的目的。目前,该方法的发展重点是主流工艺的创新优化及应用场景的拓展。主流加固方法主要包括深层搅拌法、高压喷射注浆法、锚杆锚索加固法等,其创新拓展主要体现在材料创新、工艺优化及多方法联合应用三个方面。(1)材料方面,研发了新型复合型加固材料,如水泥-粉煤灰-矿渣复合型固化剂,相较于传统水泥固化剂,加固效果提升30%,且可减少水泥用量,降低碳排放。(2)工艺方面,深层搅拌法优化后采用双轴搅拌、多向搅拌模式,搅拌均匀性大幅提升,加固深度可达25米,适用于深层软土地基加固;高压喷射注浆法则创新采用多喷嘴喷射、旋转提升优化工艺,可形成直径更大、强度更高的加固体,加固体直径可达2.0米,承载力提升至原地基的5倍以上。(3)拓展形成了“加固+排水”“加固+置换”等联合处理工艺,针对复杂不良地基,结合不同方法的优势,实现地基性能的综合提升,满足港口工程高承载力、

低沉降的要求^[1]。

2.4 排水固结类处理方法

排水固结类处理方法核心原理是通过设置排水系统排出地基土孔隙水,加速土体固结,减小孔隙比,提升地基承载力与抗剪强度,同时控制沉降。其优化重点为提升排水效率、缩短固结时间,实现高效处理。传统方法以砂井、塑料排水板排水为主,高效化改进集中在三方面。(1)排水系统方面,采用新型高强度塑料排水板,通水量可达30cm³/s以上,相较于传统塑料排水板,排水效率提升40%,且抗拉强度高,可避免施工过程中出现断裂、扭曲等问题。优化排水板布置方式,采用梅花形、正方形加密布置,缩短排水路径,加速孔隙水排出。(2)改进加载方式,用真空预压与堆载预压联合模式替代单一堆载预压,真空预压快速排水、堆载预压加速固结,使固结时间缩短50%,大幅提升施工效率。(3)应用辅助固结技术,引入电渗排水、真空联合电渗等,针对低渗透性淤泥地基,通过电场加速孔隙水迁移,进一步提升排水固结效率,确保地基短期内达到设计承载力。

2.5 新型处理方法

随着港口工程建设向深海、软土地区拓展,新型处理方法不断涌现,其核心优势在于新颖性、高效性、环保性,可针对特殊不良地基实现精准处理,目前已逐步在港口工程中推广应用。重点新型处理方法主要包括以下方面:(1)微生物加固法是一种环保型新型方法,通过向地基土中注入特定微生物菌液,微生物代谢产生的碳酸钙可填充土体孔隙,将土颗粒胶结在一起,从而提升地基承载力,该方法无需掺入化学材料,对环境无污染,加固后的地基抗渗性、稳定性均大幅提升,适用于各类软土地基处理。(2)土工合成材料加固法则通过铺设高强度土工格栅、土工膜等材料,利用材料的抗拉强度、抗剪强度,约束土体变形,增强土体整体性,新型土工格栅抗拉强度可达100kN/m以上,铺设后可使地基承载力提升2-3倍,且施工便捷、工期短,适用于港口堆场、码头岸坡等区域的地基处理。(3)冻融加固法则适用于寒冷地区的不良地基,通过人工冻结使地基土形成冻土体,利用冻土体的高强度、高稳定性替代软弱土体,解冻后土体结构得到改善,承载力显著提升。

3 港口工程不良地基处理方法的选型优化与质量控制

3.1 不良地基处理方法的选型优化

选型优化需坚持“因地制宜、经济合理、技术可行、效果可靠”的核心原则,核心是结合不良地基类型、工程建设规模及核心使用需求,通过系统对比各类处理方法的适用条件、工期、经济性、处理效果等关键指标,筛

选最优方案,杜绝盲目选型的弊端。选型前需完成全面地质勘察,明确地基核心参数、划分地基类别,再对各类主流处理方法进行全方位对比分析:(1)密实类与置换类处理方法:密实类核心适用于松散砂土、粉土及杂填土地基,不适用于饱和软土,工期15-30天/千平方米,造价80-120元/平方米,承载力提升30%-50%,沉降量 $\leq 50\text{mm}$,不足是深层密实不均、有轻微振动影响;置换类主要适用于软土、淤泥质土地基,尤其适配浅层软弱土层($\leq 5\text{m}$),工期30-60天/千平方米,传统砂石置换造价150-220元/平方米,新型再生骨料可降本20%,承载力提升50%-80%,沉降控制精准,但施工要求高、易出现置换体脱空。(2)加固类与排水固结类处理方法:加固类适用范围最广,适配各类不良地基,尤其适合深层地基($> 10\text{m}$),工期45-90天/千平方米,造价120-180元/平方米,高压喷射注浆法造价超200元/平方米,承载力提升80%-150%,稳定性强,但材料损耗大、质量管控难;排水固结类仅适用于饱和软土,不适用于渗透性异常地基,工期最长(60-120天/千平方米),造价70-110元/平方米,沉降均匀、承载力提升40%-60%,但受温度影响大。(3)新型处理方法及选型建议:微生物加固法适用于各类软土,环保性突出,工期30-60天/千平方米,造价200-300元/平方米,效果稳定但技术不成熟;土工合成材料法适用于堆场、岸坡,工期10-20天/千平方米,造价90-130元/平方米,施工便捷但耐久性不足;冻融法仅适用于寒冷地区,工期15-30天/千平方米,造价140-190元/平方米,效率高但夏季易回沉。综合研判,浅层软土优先选再生骨料置换法,深层地基优先选高压喷射注浆法,工期紧张选土工合成材料法,寒冷地区优先选冻融法^[4]。

3.2 不良地基处理过程中的质量控制要点

质量控制需贯穿处理施工全过程,聚焦关键环节,严控施工质量。(1)施工前,需检查施工材料质量,确保

垫层材料、注浆材料、排水体等符合设计标准,同时核查施工机械设备性能,保障设备正常运行。(2)施工中,严格按照设计方案控制施工参数,如换填垫层的厚度、压实度,夯实法的锤重、落距,注浆法的注浆压力、注浆量,排水固结法的排水体间距、预压荷载等,及时监测施工数据,发现偏差立即调整^[5]。(3)施工后,对处理后的地基进行承载力、沉降量等指标检测,检测合格后方可进入下一工序,同时做好施工记录,确保每一道工序可追溯,杜绝违规施工导致的质量隐患。

结束语:港口工程不良地基处理是一项兼具复杂性、系统性与专业性的工程,其处理效果直接决定港口构筑物的安全性、稳定性与使用寿命。本文从理论基础、处理方法、选型优化及质量控制四个维度,对港口工程不良地基处理相关内容进行了全面梳理与分析,明确了各类处理方法的应用要点与优化方向,提出了针对性的质量控制。未来,需进一步推动新型处理技术与环保材料的研发应用,完善选型优化体系,提升施工精细化水平,为各类复杂不良地基处理提供更高效、经济、可靠的解决方案,助力港口工程行业持续健康发展。

参考文献:

- [1]赵雨来.软基处理技术在港口工程施工中的应用研究[J].工程建设与设计,2021(7):44-46.
- [2]袁逸凡.振冲置换地基处理技术在港口工程中的应用分析[J].珠江水运,2023(2):101-103.
- [3]李同磊.港口土建工程路基路面施工关键技术分析[J].建材发展导向,2025,23(03):103-105.
- [4]梁涛.港口工程建设中软土地基处理技术优化与应用研究[J].科海故事博览,2025(34):58-60.
- [5]张伟华.港口工程地基处理技术及质量控制研究[J].港口科技,2022(8):45-50.