

港口岩土工程特性与地基处理技术研究

刘井满

天津天科工程管理有限公司 天津 300456

【摘要】：随着我国沿海港口建设规模持续扩大，大型深水码头、集装箱港区及综合物流枢纽不断向深水化、大型化方向发展，港口工程建设面临复杂海洋地质环境带来的诸多挑战。港口区域普遍存在软黏土层厚度大、天然含水率高、压缩性强及承载能力低等特点，地基稳定性问题已成为影响港口工程安全与使用寿命的重要因素。本文围绕港口岩土工程特性及地基处理技术展开研究，在分析港区软弱土层高含水率、强压缩性及低承载力等工程特性的基础上，系统探讨了排水固结、复合地基加固及高压旋喷等地基处理技术的应用机制，并提出多技术协同与智能监测相结合的优化路径。通过工程案例分析，验证了优化方案在提升地基承载力与稳定性方面的有效性，为港口工程地基处理提供了技术参考。

【关键词】：岩土工程；地基处理；港口；工艺

DOI:10.12417/2811-0536.26.09.048

前言

随着全球贸易体系的持续深化与我国沿海开放格局的不断拓展，港口工程作为连接海陆运输体系的关键节点，其基础设施建设正呈现出大型化、深水化与高荷载化的发展趋势。在此过程中，港口工程选址普遍位于河口冲积平原、滨海滩涂及吹填造地区域，这些区域在长期海陆交互沉积作用下形成了典型的软弱地基环境。地层结构多以淤泥质土、软黏土及松散砂土为主，普遍具有天然含水率高、孔隙比大、压缩性强及抗剪强度低等不良工程特性。

1 港口岩土工程性质

港口工程一般会建在河口三角洲、滨海滩涂以及近岸吹填的地方，由于受到海洋沉积、潮汐冲刷和地下水长时间的影响，就会形成由淤泥质土、软黏土、松散砂土等组成的复杂的地层结构。该类地基天然含水量高、孔隙比大、压缩性好、抗剪强度小，在港口码头、堆场、重载运输设施长期荷载的作用下容易出现沉降变形和稳定性的问题。因此要了解清楚港口岩土工程性质，才能很好地选择出合适的地基处理方法来保证工程的安全施工。

表 1 港口一般岩土层主要工程性质参数

土层类型	淤泥质土	软黏土	粉质黏土	细砂层	中粗砂层
层厚/m	8~15	10~25	5~12	3~10	5~20
天然含水率/%	55~72	40~60	28~40	18~25	15~22

孔隙比	1.35~1.80	1.10~1.50	0.80~1.20	0.60~0.90	0.50~0.75
压缩系数/MPa ⁻¹	0.85~1.50	0.50~1.00	0.25~0.60	0.10~0.25	0.05~0.15
黏聚力/kPa	8~15	12~25	20~35	0~5	0~3
内摩擦角/(°)	4~8	8~12	12~18	28~34	32~38
地基承载力特征值/kPa	45~70	70~120	120~180	150~250	220~350

港口区域地层主要为软弱土层，淤泥质土以及软黏土具有明显的高含水率、高孔隙比的特点。淤泥质土天然含水率最大可以达到 72%，压缩系数大于等于 1.50MPa⁻¹，表明它在受到荷载的时候会有很大的沉降变形。另外，这类土层黏聚力和内摩擦角都比较小，地基承载力特征值一般都小于 70kPa，不能够直接满足大吨位码头结构和重载堆场的要求。相比之下，细砂层、中粗砂层虽然承载力好但是当遇到地下水位高或者地震的时候就会出现液化的情况。

2 港口岩土工程地基处理工艺流程

2.1 工程勘察和参数确定

港口岩土工程地基处理的第一步就是做工程地质勘察以及地基参数的分析。因为港口建设的地方大多数处在滨海滩涂、河口冲积平原、吹填造地区域里，地层构造比较复杂而且空间上差别很大，所以要用钻探、静力触探、室内试验等方法来得到地基基础参数。一般情况下，港区勘探孔的距离为 30 到 50 米，重点结构区可以缩短到 20 米以内。

作者简介：刘井满，男（1979.4-），汉，本科，吉林省东丰县，中级，研究方向：建筑工程。

用土体天然含水率、孔隙比、压缩模量、抗剪强度等数据来创建起一个完整的地层模型,再把码头荷载、堆场荷载、大型港机设备荷载这些因素考虑进去做一次承载力检验。对于软土层厚度大于15米的地方还要做沉降预测分析和稳定性评价,确定之后的加固深度和处理范围。本阶段的主要目的就是准确找出软弱地基的分布情况,给以后的处理方法挑选出合适的方案,防止因为参数误差造成处理效果不好或者造成不必要的花费。

2.2 场地整理和排水系统的创建

勘察评价之后要对施工地段做场地整理以及排水系统建设。因为港口地区地下水位高,有些吹填区地下水埋深小于1米,所以应该先创建起临时排水网,减小地表积水给施工质量带来的影响。施工的时候先清除表层的杂填土和软弱覆盖层,再用推平压实的方法来形成一个稳定的施工平台。

接着铺上厚度为0.4到0.8米的中粗砂垫层做为水平排水通道,按照设计的要求来设置塑料排水板。排水板间距通常保持在0.8到1.5米左右,插入的时候要穿过软弱土层并且到达比较稳定的土层之上0.5米以上的位置。

2.3 预压固结处理施工

预压固结属于港口软土地基处理当中使用最多的办法之一,它的目的就是用外部的荷载来提早释放出地基的沉降量,从而改善土体的抗剪强度以及承载力。目前工程上主要用的是堆载预压、真空预压这两种方法。

大面积吹填地基一般用真空预压法来处理,用密封膜和真空泵系统不断地把孔隙水抽出,造成地基内部有80到90千帕的负压情况。施工过程中要同时做孔隙水压力和沉降观测,在地基固结度大于等于85%,并且连续几周内沉降速度小于2毫米每昼夜的时候才可以开始下一道工序。该方法可以大大降低工后沉降量,增强港口工程长久运行的稳定性。

2.4 地基加固和复合地基产生

重载码头、集装箱堆场和大件设备基础处,只靠预压固结不能达到承载力的要求,所以还要做地基加固工作。现在港口工程上比较常用的有深层搅拌桩、高压旋喷桩、CFG桩这些技术来创建复合地基。深层搅拌桩把水泥固化剂同原来的软土完全搅拌在一起,得到一个很强的桩体,水泥掺量一般控制在12%到20%之间;高压旋喷桩用的是20到35兆帕的压力浆液来切碎并重新塑造土体,从而改善深层软土的强度;CFG桩桩径一般为400到800毫米,可以和桩间土一

起分担荷载。加固之后地基承载力会从原来的60到100千帕上升到200到400千帕以上,而且大大减小了不均匀沉降的风险,符合港口大型建筑的要求。

3 港口岩土工程地基处理技术的改进方法

3.1 加强地质信息的精确识别

港口地基处理的效果主要依靠前期地质资料获得的精确度来决定。但是,在实际的工程当中,因为港区范围大、地层变化快、吹填历史复杂等原因,传统的勘察结果不能很好地体现地下空间的结构特点,从而造成处理方案同实际地质情况不符的情况。所以要加强对地质信息准确性的认识,提高地基处理设计的针对性和可靠性。

一方面把静力触探、波速测试、地质雷达以及三维地质建模技术结合起来使用起来,创建起一个从地表到地下持力层全部包含在内的数字地质数据库,用以表现地层分布情况。另一方面对于软弱夹层、透镜体以及局部异常区域做加密勘察工作,从而改善复杂地层的识别准确度。

3.2 加强多种技术的配合使用

港口工程越来越大的时候,单一的地基处理技术已经不能够很好地满足各种复杂的工况下承载力以及变形控制的要求。以后改善的方向应该是从单一的加固变成多种技术一起使用,根据不同的地区地基情况来创建出分层、分块的治理办法。对于深厚的软土地区来说,可以采取预压固结加桩体加固的办法,用预压把大部分沉降给释放出来之后,再用复合地基来承受长期的运营荷载;对于码头前沿受到波浪和冲刷影响比较大的地方,可以同时做地基加固和岸坡稳定的工作;对于吹填区和原状地基交界处,就用不同的加固方法来降低不均匀沉降的风险。

另外还要加大各种处理技术之间参数相容性的研究工作,防止因为刚度差别太大而产生新的变形集中区域。用起多技术一起加固的办法来达到目的,可以发挥出各种技术的优点,也可以达到提高承载力、减小沉降、改善稳定性的效果,给复杂的港口工程赋予了更牢固的技术支持。

3.3 创建智能监测系统

传统的地基处理质量控制主要是依靠阶段性的检测以及人工的巡查来完成的,不能很快地了解到地基内部情况的变化情况,存在着信息滞后、预警能力差等缺点。为了满足现代港口工程的要求,要创建起智能化的监测系统,从而达到对地基处理全过程中各个部分进行动态控制的目的。具体的措施就是把沉降传

感器、孔隙水压力计、倾斜监测装置、应力监测仪器布置在处理区里，用物联网技术来达成数据的即时采集和远程传送。

4 实施效果

4.1 案例背景

以华东沿海一个集装箱港区扩建工程为研究对象，该工程处在河口冲积平原和滨海滩涂交界处，总面积达 68.5 万平方米，新建了 5 万吨级集装箱泊位三个以及相应的堆场、港机轨道基础和物流仓储设施。经过前期勘察之后得知，场地表层是吹填砂层，厚度大约在 2.5 到 4.0 米之间，下面有淤泥质软土层，厚度为 16.8 到 24.5 米，天然含水率平均为 61.3%，孔隙比为 1.58，地基承载力特征值只有 78kPa，不能够达到堆场设计荷载和大型岸桥设备运行的要求。同时场区内地下水位埋深约为 0.8 米，受潮汐的影响很大，存在着长期沉降和局部稳定性不够的问题。

4.2 实施办法

依照场地地质状况以及运营荷载的要求，项目使用数字化勘察、联合预压、复合地基加固、智能监测这几种方法来解决，用静力触探和三维地质建模技术创建出地下空间模型，把场区分成重载区、过渡区、普通荷载区这三个级别，达成差别化的设计目的。对于堆场和岸桥轨道基础部分，用塑料排水板加真空预压的方式做预处理，排水板间距为 1.0 米，插入深度为 22 米，穿过所有的软弱土层，真空系统负压保持在 85kPa 以上，连续工作 120 天，地基固结度达到 90% 以上。重载区再用深层搅拌桩复合地基技术来加强，桩径为 800mm，桩长 24 米，正方形布置间距 2.2 米，水泥掺量保持在 18% 左右，28 天无侧限抗压强度设计值不小于 2.0MPa。对于局部软弱夹层地段，使用高压旋喷桩做补强处理，喷射压力为 30MPa，提高深层土体的均匀程度。施工全过程设置沉降观测点、孔隙水压力观测点以及深层水平位移观测装置，在数据平台上对地基固结过程和加固质量进行实时分析，根据监

测结果不断修改施工参数。

4.3 实施的效果

具体的实施效果见表 2。

表 2 地基处理前后的主要技术参数比较

技术参数	处理前	处理后	提升幅度
地基承载力特征值(kPa)	78	245	214.10%
地压缩模量(MPa)	3.8	12.6	231.60%
十字板抗剪强度(kPa)	18	52	188.90%
地基固结度(%)	42	92	119.00%
复合地基变形模量(MPa)	8.5	28.7	237.60%
地基渗透系数($\times 10^{-6}$ cm/s)	7.8	2.1	73.1%下降
桩土应力比	1	3.8	280.00%
地基均匀性系数	0.62	0.91	46.80%

从表 1 可以看出，在经过优化之后，各个主要的技术指标都得到了很大的改善。地基承载力特征值由原来的 78kPa 变为了 245kPa，符合大型集装箱堆场以及岸桥设备的基础建设的要求；压缩模量和变形模量分别上升到 12.6MPa 和 28.7MPa，说明地基的整体刚度得到了明显的加强。同时抗剪强度也上升到了 52kPa，从而加大了地基的抗滑稳定性。固结度达到 92%，说明软土内部的孔隙水压力已经全部释放完毕，之后的沉降趋势被很好地控制住了。

5 结语

从整体上来说，港口岩土工程由于处在复杂的海陆交界处而具有明显的软弱性和大的非均匀性，主要的问题就是高含水率的软土到处都是，承载力不够，压缩性大，长期固结变形严重，这几种原因一起限制了港口大型化和重载化的工程基础条件。因此，就地基处理技术体系而言，经过一系列的研究发现，利用工程地质精细识别、分区差别化设计、多种方法配合使用来达到地基性能的改善目的，在各个不同的功能区域里都可以得到很好的效果。

参考文献:

- [1] 范金伟.高层建筑岩土工程勘察分析及地基处理技术[J].城市建设理论研究(电子版),2026,(17):174-176.
- [2] 梁健波,武凯强,文继东.岩土工程桩基施工与岩土工程的地基处理[J].中华建设,2026,(5):192-194.
- [3] 张田田,赵志民.高层建筑岩土工程勘察中的地基处理技术探讨[J].散装水泥,2026,(4):71-73.
- [4] 王志鹏.建筑工程中岩土勘察及地基处理技术分析[J].建材世界,2026,47(2):121-124.
- [5] 石爱婷,李德高.岩土工程勘察与地基施工处理技术探讨[J].中国科技纵横,2026,(8):141-143.