

真空预压法在滨海地区地基处理项目的质量控制 与检测标准管理研究

胡 兵

上海金滨海建设发展有限公司 上海 200000

【摘要】：滨海地区吹填软土地基具有含水量高、孔隙比大、承载力低、固结速度慢等特点，易引发地基沉降、失稳等工程隐患，严重制约工程建设的安全性与稳定性。本文以滨海吹填软土工程地基处理为例，对采用直排式真空预压法进行地基处理的方法及其质量控制进行了研究，并从施工前材料、机械设备的质量控制到施工过程中主要环节的技术控制，再到地基处理后剪切强度试验、平板载荷试验以及固结程度等方面提出了质量控制方法。同时对地基处理效果监测及工程验收制定出相应的标准检测体系，以期为滨海软土地基处理提供参考。

【关键词】：真空预压法；软土地基；质量控制；检测标准；滨海工程

DOI:10.12417/3083-5526.26.01.018

引言

滨海地区吹填软土地基具有压缩性大、沉降慢、承载力低等特点，对工程建设的安全性和稳定性有着较大的影响。在实际的地基处理工作中，直排型真空预压技术具备快速、便捷及绿色特点，可以很好地提高地基的整体稳固程度。因此，在实际操作中还应采取科学有效的质量管理手段和规范化的检验机制加以保证。本文将围绕真空预压施工技术、施工监控及验收标准，分析加固成效与管理策略。

1 项目概况与工程问题

1.1 项目背景与地质条件

金山滨海国际文化旅游度假区滨海新片区地基处理一期工程，场地属湖沼平原地貌，原为滨海浅滩，经人工吹填形成陆域，场地地势略有起伏，标高介于 2.96m 至 6.62m 之间，吹填土厚度 3~9m。场地深度 25.30m 范围内地基土为第四纪晚更新世及全新世沉积物，主要由粘性土、粉性土及砂土组成，成层分布特征明显。核心土层为近期人工吹填形成的第①3-1 层和①3-2 层，其中①3-1 层以淤泥质土为主，局部为粉性土，土质极软且不均，呈欠固结状态，厚度 0.4~8.2m；①3-2 层以粘质粉土为主，局部为砂质粉土，夹淤泥质土，土质松散，土性无规律，厚度 0.7~9.0m。场地水文地质条件复杂，主要水体为海水，浅部分布潜水，地下水位埋深 0.20m~1.50m，局部分布第⑤2 层微承压水，水头埋深 3m~11m，场地东南角存在明浜，浜底有 20—30cm 淤泥分布，进一步加剧了地质复杂性。地基处理分区见图 1。

1.2 吹填软土地基的主要工程问题

吹填软土地基具有较大的工程隐患，主要问题是由于其本身土质原因以及地质情况而导致的地基在稳定性和承载能力上不够，不能适应工程建设需求。吹填软土地基含水量较高，孔隙比较大，并且其自身的抗剪切能力比较弱，在透水方面的

能力也比较弱，属于一种欠固结的状态，因此地基本身的承载力并不能满足工程的实际建设需求，很容易出现不均匀沉降现象或者地基不稳定的现象。吹填土土质不均、土性变化大，且明浜区域浜底淤泥承载力极低，易造成局部沉降超标；浅层土体承载力低，使得插板机等施工机械设备不能正常进场作业，制约施工进度。场地临近海塘大堤，地基处理过程中易产生水平位移和竖向沉降，可能对海塘结构稳定性造成不利影响，且膜下水位监测难度大，密封效果把控不当易引发真空度不足，影响地基加固成效。



图 1 地基处理分区图

1.3 采用直排式真空预压法的必要性

根据本项目吹填软土地基的特点和主要存在的问题，选用直排式真空预压法对地基进行处理非常有必要也非常合适。相比于堆载预压法、水泥搅拌桩法等其他方法，直排式真空预压法施工速度快、时间短，能有效压缩地基固结时间，满足项目建设的时间要求。此法能直接排除地基中孔隙水，减小排水渠道堵塞情况的发生，加快固结速率，可以有针对性地改善吹填软土渗流率低、固结慢的现象，大大提高地基承载力及抗剪强度，有效地降低并防止地基沉降量过大以及产生差异沉降。其施工过程环保节能，无需大量堆载材料，可避免堆载施工对临近海塘的附加荷载影响，降低海塘失稳风险^[1]。同时，该方法可适配场地浅层土体承载力低、施工机械设备进场困难的现

状，结合吹填管袋技术可形成稳定施工作业面，且能通过精准控制真空度实现地基均匀加固，确保地基处理效果满足设计要求，为后续工程建设提供稳定的地基条件。

2 真空预压法项目质量控制措施

2.1 施工前材料与设备质量控制

施工前材料与设备质量控制是真空预压法地基处理成效的基础保障，需严格遵循设计标准及规范要求，对核心材料、辅助材料及施工设备进行全流程管控，杜绝不合格材料进场、不合格设备投入使用。塑料排水板采用热熔整体式原生型SPB-C型，进场前需核查产品出厂合格证、性能检测报告，重点检测其通水量、纵向通水量、滤膜渗透系数及抗拉强度，确保通水量不低于设计标准，滤膜渗透系数满足排水要求，抗拉强度可承受施工插设过程中的拉力作用，进场后随机抽样复检，复检不合格者全部退场。排水滤管选用环刚度不小于20kN/m²的合格产品，真空主管采用φ75mm PVC-U管，支管采用φ50mm PVC-U管，接头选用配套变径三通、四通，进场后检查管道壁厚、抗压性能及密封性，避免管道破损、漏气影响真空度传递。密封膜采用两层抗老化、韧性强、抗穿刺性能优良的聚氯乙烯薄膜，工厂热合一次成型，进场前检查膜体厚度、密封性及热合质量，确保无破损、无针孔，搭接宽度不小于15mm，热合处无松动、融穿现象。密封墙施工所用泥浆需控制比重不小于1.35，不含粗颗粒，黏粒掺入比35%，水泥掺量5%，进场材料需核查水泥强度等级、黏土纯度等指标^[2]。施工设备方面，抽真空设备采用单台功率不小于7.5kW的射流泵，进场后调试运行，检测其真空度输出稳定程度、气密性、运行效率是否满足满负荷工作状态下能达到本工程所需膜下真空度≥85kPa要求；插板机检测其定位精准度、插深控制范围是否能够保证排水板插设深度误差≤设计深度。仪器设备主要有沉降计、孔隙水压力计、测斜仪、真空度监测仪等，对进场前的仪器进行校准，并保证其监测结果准确可靠，满足工程监测精度要求。所有材料及设备进场后需分类堆放、妥善保管，塑料排水板避免日晒雨淋，密封膜远离尖锐杂物，设备定期维护保养，确保施工期间正常运行。

2.2 施工过程关键工艺控制

施工过程关键工艺控制是确保真空预压法加固效果的核心，需严格按照设计方案及施工规范，对各施工工序进行精准管控，重点把控工序衔接及关键参数，确保每道工序质量达标，具体施工工艺流程如图2所示。

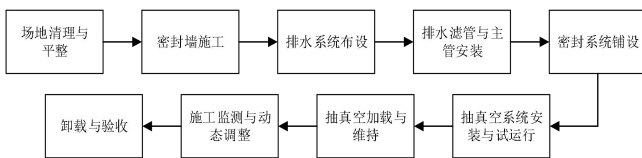


图2 施工过程关键工艺流程

场地清理平整将地面上的杂草、石块、树根等杂物清理干净，将明浜区域清淤，将浜底淤泥全部清除后用合格填料回填压实，场地平整坡度控制在合理的范围内，防止积水而影响后期施工；密封墙采用φ700@500双轴黏土搅拌桩，两喷三搅，下搅速度1.0m/min，上搅速度不大于0.5m/min，桩长应大于第①③-2层砂质粉土下0.5m，保证封闭住透水层，同时在施工过程中控制好搅拌均匀程度、注浆泥浆量，成桩7d后进行原位注水渗透试验，确保渗透系数<1×10⁻⁶cm/s。排水系统铺设中，塑料排水板采用正三角形布置，根据分区不同控制间距为1.0m、1.1m、1.2m，插设深度按照地质条件及设计要求控制在4m至21.5m，插设过程中避免排水板扭曲、断裂、脱节，插设完成后及时剪断，确保外露长度满足与滤管连接要求；排水滤管与塑料排水板采用手型接头连接，连接紧密无松动，真空主管按20m间距铺设，主管与支管交叉处连接牢固，连接处密封处理，避免漏气。密封系统铺设前，在加固区周围开挖密封沟，沟深需切断透水层，最浅进入不透水层顶面以下0.5m，边坡1:0.5，沟内塑料排水板不剪断；密封膜下先铺设一层200g/m²无纺土工布，土工布铺设平整、无破损、无褶皱，随后铺设两层密封膜，膜体铺设平整，无悬空、破损，分区密封膜搭接处采用搭接膜法，压入密封沟内用素粘土回填压实，覆土厚度不小于1m^[3]。抽真空系统安装完成后，先进行2~3天试抽气，检查设备运行状况及系统气密性，排查漏气点并及时修补；正式抽真空时，逐步提升真空度，确保膜下真空度稳定在不小于85kPa，维持时间满足设计要求，抽真空期间定期检查真空度变化，及时处理设备故障及漏气问题。抽真空过程中同步进行地表沉降、孔隙水压力、深层水平位移、水位等监测，根据监测数据调整抽真空参数，确保地基固结均匀，沉降速率及位移量控制在设计允许范围内，待地基固结度达到设计标准、沉降速率满足卸载要求后，停止抽真空，进行卸载验收。

2.3 地基加固成效分析

为了准确评价真空预压法处理滨海吹填土地基的效果，在工程监测的基础上进行现场原位测试，采用十字板剪切试验、浅层平板载荷试验以及固结度计算分别从土体抗剪强度指标、土体承载力指标和土体固结程度三个方面进行了系统的对比研究。

2.3.1 十字板剪切试验结果对比分析

十字板剪切试验在各加固分区典型断面布设试验点，采用原位测试方法测定地基土抗剪强度，重点分析浅层吹填土加固前后的力学特性变化，具体结果如表1所示。

表1 十字板剪切试验结果

试验类型	加固前指标值	加固后指标值	提升幅度	设计控制值
十字板剪切强度	8.2 - 12.5kPa	23.6 - 31.8kPa	187.8% - 154.4%	≥20kPa

加固前浅层土体呈欠固结状态，十字板剪切强度较低，无法满足上部荷载承载要求；加固完成后，土体经真空预压排水固结，颗粒排列趋于致密，孔隙水压力有效消散，抗剪强度显著提升，各分区试验值均达到设计控制值且离散性较小，表明真空预压可有效改善吹填土软弱特性，增强土体抗剪能力，加固效果均匀稳定。

2.3.2 浅层平板载荷试验结果分析

浅层平板载荷试验选取各加固分区代表性点位，采用圆形承压板，按规范要求分级加载、卸载，测定地基承载力特征值及沉降量，具体如表2所示。

表2 浅层平板载荷试验结果

试验类型	加固前指标值	加固后指标值	提升幅度	设计控制值
浅层平板载荷承载力特征值	45 - 60kPa	120 - 150kPa	166.7% - 150.0%	≥ 100kPa

试验结果显示，加固前地基承载力特征值偏低，加载后沉降量较大且沉降稳定时间长，土体压缩性高；加固后地基承载力特征值提升至设计要求以上，加载过程中沉降速率逐步减缓，稳定时间缩短，荷载—沉降曲线无明显突降段，表明地基压缩性显著降低，承载性能大幅提升，可满足后续工程施工及使用荷载要求。

2.3.3 固结度计算结果分析

基于施工期间地表沉降、孔隙水压力监测数据，采用分层总和法结合孔隙水压力消散规律计算地基固结度，重点分析各分区不同深度土体的固结进程，具体结果如表3所示。

表3 固结度计算结果

试验类型	加固前指标值	加固后指标值	提升幅度	设计控制值
地基平均固结度	25% - 35%	85% - 92%	240.0% - 162.9%	≥80%

加固初期，孔隙水压力快速上升后逐步消散，固结度增长较快；随着真空预压时间延长，固结速率趋于平缓，最终各分区地基平均固结度均达到设计卸载要求。深层土体固结度略低于浅层土体，与吹填土分层特性及排水路径相关，整体固结均

参考文献：

[1] 翟自强,穆鹏华,赵晓磊,等.基于分级真空预压法的多层软土地基加固技术研究[J].建筑机械,2026,(01):346-351.
 [2] 彭金超.港口航道工程软基处理中真空预压施工技术的运用[J].珠江水运,2025,(24):35-37.
 [3] 潘斌斌.基于真空联合堆载预压技术的软土地基处理方法[J].中国建筑金属结构,2025,24(15):172-174.
 [4] 魏治有.软土地基真空预压法加固施工技术及应用效果[J].四川水泥,2025,(07):262-264.
 [5] 沈威.大面积深厚软土地基真空预压加固处理技术与数值分析[J].工程与建设,2025,39(01):124-126.

匀，表明排水系统布设合理，抽真空参数控制得当，地基排水固结效果达到设计预期。

3 检测标准管理

3.1 地基处理效果监测标准

对真空预压施工全过程进行地基处理效果监测，确定监测点布置、监测时间间隔、监测精度以及监测资料管理的要求。监测项目包括真空度、地面沉降、孔隙水压力、深层水平位移、地下水位；测点布置在每个加固区呈网格状设置，关键部位应适当增加数量^[4]。真空度测试利用真空度检测计，膜下真空度：2h监测1次，在稳定期4h监测1次，精度不小于1kPa，须稳定于设计要求范围内；地表沉降：选用沉降计，施工前期每日监测1次，当沉降速率控制值时，加密为每6小时1次，精度不小于0.1mm，及时跟踪分析沉降变化规律；孔隙水压力/深层水平位移/地下水位：按照规范要求设置监测频率。监测成果即时录入、即时复核，异常值即时检查处理，监测信息定时整理分析，全面反映地基固结和变形情况。

3.2 工程质量检测与验收标准

工程质量检测与验收分工序检测、阶段性验收及竣工验收三个层级，明确各层级检测内容、检测方法及其合格判定标准。工序检测重点核查塑料排水板插设质量、密封膜铺设质量、密封墙施工质量及抽真空系统运行质量，不合格工序需整改后重新检测。阶段性验收针对场地清理、排水系统布设、密封系统施工等关键工序开展，验收合格后方可进入下一道工序^[5]。竣工验收结合现场试验成果以及有关施工记录，检查十字板剪切强度、地基承载力特征值、固结度等主要参数应达到设计控制标准，施工资料齐全、监测数据集真实可靠即可进行验收，以保证地基处理工程质量能够满足上部工程施工的需求。

4 结语

本文基于滨海吹填软土路基工程特征，针对工程项目主要工程问题以及选择直排式真空预压法的合理性进行论述，探讨该方法的质量控制技术，并进行了不同类型的现场试验来检验加固的效果，制定相应的检测标准体系。合理的质量控制的检测标准可以提高地基加固的质量，解决滨海软土路基处理的问题。未来可以结合更多的工程实例，完善质量控制及检验标准，使其更具适应性和合理性。