**CECS T/CECS XXX： 202X**

**中国工程建设标准化协会标准**

**无砂法真空预压加固软基技术规程**

Technical specification of non-sand blanket vacuum preloading method for soft soil improvement

**（征求意见稿）**

**2025 北 京**

**中国工程建设标准化协会标准**

**无砂法真空预压加固软基技术规程**

Technical specification for non-sand blanket vacuum preloading method for soft soil improvement

**T/CECS XXX:202X**

**主编单位：****中交天津港湾工程研究院有限公司**

**批准单位：中国工程建设标准化协会**

**施行日期：2025年X月X日**

**中国XX出版社**

**2025 北京**

**前 言**

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2023年第一批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字[2023]10号）的要求，编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准的内容包括总则、术语、基本规定、设计、施工及加固效果检测。

本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会水运专业委员会归口管理，由中交天津港湾工程研究院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议请寄送中交天津港湾工程研究院有限公司（地址：天津市河西区大沽南路1002号，邮编：300222）。

主编单位：中交天津港湾工程研究院有限公司

参编单位：中交第一航务工程局有限公司

天津港湾工程质量检测中心有限公司

天津港（集团）有限公司

中交第一航务工程勘察设计院有限公司

连云港港口控股集团有限公司

中交疏浚（集团）股份有限公司

中交第四航务工程勘察设计院有限公司

天津城建大学

浙江数智交院科技股份有限公司

中交水运规划设计院有限公司

浙江海港海洋建设有限公司

主要起草人：刘爱民 郑爱荣 诸葛爱军 侯晋芳 梁爱华 喻志发 王克勤

周 峰 查恩尧 林佑高 卢友兵 蒋学炼 张晴波 张 鑫

陈运涛 侯春岳 彭 瑞 刘 璠 谢万东 任增金 丁 嵬

刘晓鹏 李 卫 曹永华 陈智军 王希根 马强华 季大闰

何晓宇 张铭强 靳 铮

主要审查人：

**目 录**

[1 总 则 1](#_Toc27795)

[2 术 语 2](#_Toc4815)

[3 基本规定 3](#_Toc15172)

[4 设 计 4](#_Toc24984)

[4.1 一般规定 4](#_Toc31738)

[4.2 荷载 4](#_Toc32613)

[4.3 排水系统 4](#_Toc19802)

[4.4 密封系统 5](#_Toc11017)

[4.5 抽真空设备 5](#_Toc2758)

[4.6 设计计算 5](#_Toc21220)

[5 施 工 8](#_Toc3961)

[5.1 一般规定 8](#_Toc31262)

[5.2 排水系统 8](#_Toc31599)

[5.3 密封系统 8](#_Toc3185)

[5.4 加载 9](#_Toc20604)

[5.5 施工监控 9](#_Toc15701)

[6 加固效果检测 10](#_Toc12620)

[附录A 监控记录表 11](#_Toc13718)

[附录B 由现场实测资料推算沉降量及固结度 18](#_Toc6424)

[本标准用词说明 19](#_Toc10911)

[引用标准名录 20](#_Toc23128)

附：[条文说明 21](#_Toc5363)

**Contents**

[1 General Provisions 1](#_Toc14355)

[2 Terms 2](#_Toc16825)

[3 Basic Requirements 3](#_Toc24840)

[4 Design 4](#_Toc9355)

[4.1 General provisions 4](#_Toc13087)

[4.2 Load 4](#_Toc953)

[4.3 Drainage system 4](#_Toc17882)

[4.4 Sealing system 5](#_Toc10457)

[4.5 Vacuum equipment 5](#_Toc29736)

[4.6 Design and calculation 5](#_Toc9223)

[5 Construction 8](#_Toc21238)

[5.1 General provisions 8](#_Toc28342)

[5.2 Drainage system 8](#_Toc13627)

[5.3 Sealing system 8](#_Toc6669)

[5.4 Loading 9](#_Toc29033)

[5.5 Monitoring 9](#_Toc3340)

[6 Testing and Inspection for Soil Improvement 10](#_Toc31598)

Appendix A [Monitoring Table 11](#_Toc14614)

[Appendix B Settlement and Degree of Consolidation Calculated from Field Moritoring Information 18](#_Toc16293)

[Explanation of Wording in This Code 19](#_Toc8082)

[List of Quoted Standards 20](#_Toc20073)

[Explanation of Provisions 21](#_Toc6589)

# 

# 1 总 则

1.0.1 为明确无砂法真空预压加固软土地基工程设计、施工、加固效果检测的技术要求，有效控制工程质量，保证安全，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于陆上无砂法真空预压加固软土地基工程的设计、施工和加固效果检测。

1.0.3 无砂法真空预压加固软土地基的设计、施工和加固效果检测，除应符合本标准的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

# 2 术 语

2.0.1 无砂法真空预压加固软基技术non-sand blanke vacuum preloading method for soft soil improvement

不设置水平排水砂垫层，利用真空压力使土体排水固结的软土地基加固方法。

2.0.2 密封系统sealing system

对加固区起密封作用的所有结构的统称，包括密封膜、压膜沟、密封墙、覆水围埝和膜上覆水。

2.0.3 压膜沟trench used to bury the membrane

加固区周边开挖的埋设密封膜的沟槽。

2.0.4 覆水围埝cofferdams used to maintain water on the membrane

埋设密封膜后，在压膜沟位置填筑的防止密封膜上覆水渗漏的围埝。

# 3 基本规定

3.0.1 无砂法真空预压设计、施工前应具备下列主要信息资料：

1 场地的水文和工程地质资料，包括各层土的基本物理性质指标和压缩曲线、水平和垂直向固结系数、前期固结压力、渗透系数、抗剪强度、地基承载力等力学性质指标，以及有机质含量、地下水位、承压水层、透水透气层及其与水源连通情况等；

2 工程设计对加固后地基的要求，包括地基承载力、固结度、允许沉降量、沉降速率和差异沉降量等；

3 工期要求；

4 周围环境和附近建构筑物的结构特征、基础类型、分布情况；

5 地下管线及障碍物分布情况；

6 陆域形成的方法、工艺等情况。

3.0.2 无砂法真空预压宜应用于加固以黏性土为主的软土地基。当存在粉土、砂土等透水透气层时，应在加固区周边采取密封措施，确保膜下真空度达到设计要求。对于塑性指数大于25或含水率大于等于85％的流泥，应通过现场试验确定其适用性**。**

3.0.3 加固区边线距离周边建筑物和地下管线等的距离应根据土质情况和建筑物重要性确定，且不宜小于20m。当距离较近时，应根据实际情况采取相应措施。

3.0.4 施工图设计阶段的勘察布孔间距宜为50m～75m，根据地质条件的复杂程度，布孔间距可适当放宽或加密，但不应大于100m。勘察深度应大于压缩层的计算深度。

3.0.5 对以沉降控制的工程，卸载标准应根据地基沉降量、残余沉降量、平均固结度和与其对应的沉降速率确定；对以地基承载力和抗滑稳定性控制的工程，卸载标准应根据地基土强度、平均固结度和与其对应的变形速率确定。

3.0.6 无砂法真空预压施工过程中，应对地基加固效果进行监测，满足卸载标准后方可卸载。

3.0.7 对于重要工程或缺乏经验的地区，应选择有代表性的场地进行试验区试验，并根据试验结果进行设计。

3.0.8 施工期间应注意加固区的密封问题及加固过程中对周边建构筑物和地下管线等的影响。

# 4 设 计

## 4.1 一般规定

4.1.1 无砂法真空预压的加固范围应大于拟建建构筑物基础外缘所包围的范围，单边加宽长度应大于3m。

4.1.2 无砂法真空预压加固范围较大时应分区加固，每个分区的面积宜为20,000m2～30,000m2，宜按矩形布置。

4.1.3 无砂法真空预压竖向排水通道宜穿透软土层，当存在没有采取密封措施的下卧透水层时，排水板底标高距透水层顶标高不应小于0.5m。软土层深厚时，对于以稳定性控制的工程，打设深度应超过最危险滑动面下3m；对于以沉降量控制的工程，打设深度应满足设计对地基残余沉降量的要求。

4.1.4 如采用真空联合堆载预压法处理，设计应提出真空联合堆载的分级加载要求和堆载过程中的稳定控制要求，且堆载过程中稳定控制宜符合下列规定：

1 地基向加固区外的侧向位移速率不大于5mm/d；

2 地基沉降速率不大于30mm/d。

4.1.5 卸载前加固深度范围内地基总平均固结度不宜小于80％。

4.1.6 设计应对施工过程监控和加固效果检验提出要求。

4.1.7 当加固区表层为新吹填土且吹填土含水率大于85%时，可采用二次处理的方法：先采用无砂法真空预压技术对表层新吹填土进行加固，待表层新吹填土强度有一定程度提高后再采用无砂法真空预压技术进行深层处理。

## 4.2 荷载

4.2.1 对于边界密封条件良好的淤泥、淤泥质土及黏土，真空预压荷载设计值不宜小于85kPa；当加固区土层条件复杂需要采取黏土密封墙等措施时，真空预压荷载设计值不宜小于80kPa。

4.2.2 当真空预压荷载小于预压荷载设计值时，宜采用真空联合堆载预压，联合堆载荷载应分层施加，必要时应对地基稳定性进行验算。

4.2.3 真空联合堆载时，堆载体的坡肩线应与真空预压边线重合。

4.2.4 当残余沉降量或加固时间不满足工程需要时，可采用超载预压的加固方法。

## 4.3 排水系统

4.3.1 无砂法真空预压垂直排水系统宜采用塑料排水板，塑料排水板的选用应符合现行国家及行业标准的有关规定。

4.3.2 当场地条件不满足塑料排水板打设要求时可设置相应的工作垫层，表层处理时可采用人工打设塑料排水板。

4.3.3 塑料排水板间距宜为0.7m～1.3m，对高灵敏度黏土宜取大值。专门针对新吹填土进行加固时，排水板间距可取0.5m～0.8m。

4.3.4 水平排水系统宜采用环刚度不小于20kN/m2的排水滤管，滤管横向间距宜为一排或两排竖向排水板间距，滤管应与竖向排水板有效连接，加固过程中，滤管与垂直排水系统接口不应脱裂；滤管纵向间距宜为20m～30m。

4.3.5 当采用真空联合堆载预压法加固时，水平排水滤管应埋置于表层加固土层内，不宜突出加固地表平面。

4.3.6 无砂法真空预压可设置水平排水垫层。水平排水垫层可采用土工织物、塑料排水板、三维复合土工排水网等透水性良好的土工合成材料。

## 4.4 密封系统

4.4.1 密封膜宜采用2～3层聚乙烯或聚氯乙烯薄膜。每层密封膜的性能指标应符合本标准表4.4.1的规定。

表4.4.1 密封膜的性能指标

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 抗拉强度(MPa) | | 断裂伸长率(%) | 直角撕裂强度(kN/m) | 厚度(mm) |
| 纵向 | 横向 |
| ≥18.5 | ≥16.5 | ≥220 | ≥40 | 0.12～0.16 |

4.4.2 加固区四周应开挖压膜沟，压膜沟深度至少应挖至不透水透气层顶面以下0.5m。当吹填土厚度较大且含水率较高时，密封膜压入深度应适当增加或将铺膜范围适当外延。

4.4.3 当加固区边界透水透气层较深时，宜采用黏土密封墙。黏土密封墙的宽度不宜小于1.2m，渗透系数应小于1.0×10-5cm/s。

4.4.4 真空预压密封膜上宜有一定厚度的覆水。

4.4.5 采用真空联合堆载预压时，密封膜上下均应设置保护层，保护层可采用土工织物。

4.4.6 当采取一定措施后，可利用表层0.5m～0.8m厚的软土做为密封层，将塑料排水板和排水管路连接后直接进行真空预压加固，加固后应根据需要对表层的软土进行进一步处理。

## 4.5 抽真空设备

4.5.1 抽真空设备宜采用射流泵，在进气孔封闭状态下应能形成不小于96kPa的真空压力，如采用水气分离式真空泵等其他型式的抽真空设备应进行现场试验验证。

4.5.2 抽真空设备宜均匀布置在加固区四周，必要时也可适量在加固区中间布置。采用功率不小于7.5kW的真空射流泵时，每台设备的控制面积宜为900m2～1100m2。施工后期抽真空设备开启数量应在80％以上。

## 4.6 设计计算

4.6.1 瞬时加荷条件下，地基的固结度可仅考虑径向平均固结度并按下列公式计算。

 （4.6.1-1）

 （4.6.1-2）

 （4.6.1-3）

** （4.6.1-4）

 （4.6.1-5）

式中  —— 地基的平均固结度；

 —— 地基的径向平均固结度；

 —— 地基水平向固结系数（cm2/s）；

 —— 固结时间（s）；

 —— 井径比因子；

 —— 井径比；

 —— 塑料排水板径向排水范围的等效圆柱体直径（cm）；

 —— 塑料排水板的等效换算直径（cm）；

 —— 换算系数，正三角形布置时取1.05，正方形布置时取1.13；

 —— 塑料排水板中心间距（cm）；

 —— 换算系数，无试验资料时可取0.75～1.0；

 —— 塑料排水板的宽度（cm）；

 —— 塑料排水板的厚度（cm）。

4.6.2 当表层设置具有良好的透水性和连续性的水平排水垫层时，瞬时加荷条件下，地基的固结度可综合考虑竖向平均固结度和径向平均固结度并按下列公式计算。

 （4.6.2-1）

 （4.6.2-2）

 （4.6.2-3）

式中  —— 地基的平均总固结度；

 —— 地基的竖向平均固结度；

 —— 地基的径向平均固结度；

 —— 排水面应力与不透水面应力之比；

 —— 级数的项数，=1，2，3……；

 —— 时间因子；

 —— 垂直向固结系数（cm2/s）；

 —— 固结时间（s）；

 —— 排水面至不透水面的垂直距离（cm）。

4.6.3 分级加荷条件下，地基在时刻的平均总固结度（图4.6.3）可按下式计算：

 （4.6.3）

式中  —— 地基在时刻的平均总固结度；

 —— 加荷级数；

—— 瞬时加荷条件下，对应于第级荷载时刻的平均总固结度；

 —— 固结时间（s）；

 —— 第级荷载加荷的起始时间（s）；

 —— 第级荷载加荷的终了时间（s），当计算加荷期间的固结度时，应改为*t*；

 —— 第级荷载作用下地基的最终沉降量（cm）。当计算加荷期间的固结度时，本标准公式4.6.3中应改为，为对应于第级荷载加荷期间时刻的荷载增量作用下的最终沉降量。



图4.6.3 分级加荷固结过程示意图

4.6.4 当地基土灵敏度较高、塑料排水板间距较小或打设深度较大时，应考虑井阻与涂抹效应对地基固结度的影响，具体计算方法可参照现行标准《水运工程塑料排水板应用技术规程》JTS/T 206 -1的有关规定执行。

4.6.5 对于正常固结的地基，预压荷载下地基的最终竖向沉降量可按下式计算。

 （4.6.5）

式中  —— 地基的最终竖向沉降量设计值（cm）；

 —— 经验系数，可按地区经验选取；可取1.0～1.4，荷载较大、地基较软时取大值。

 —— 计算压缩土层的分层数量；

 —— 第层土受到平均自重压力设计值压缩稳定时的孔隙比，可取均值；

 —— 第层土受到平均最终压力设计值压缩稳定时的孔隙比，可取均值；

 —— 第层土厚度（cm），当土层厚度较大时宜划分若干小层。

4.6.6 沉降计算时，可取附加应力与自重应力的比值为0.1的深度作为受压层的计算深度。

4.6.7 欠固结地基的固结度和沉降计算应考虑欠固结因素的影响。

# 5 施 工

## 5.1 一般规定

5.1.1施工准备应满足下列要求：

1 调查施工现场的给排水、电、道路条件、地下设施、障碍物情况和周边建筑物等；

2 熟悉设计文件；

3 分析水文和地质资料；

4 复核施工坐标控制点；

5 编制施工组织设计。

5.1.2 施工前应对排水材料、密封膜和施工装备的质量与性能进行检验，合格后方可使用。

## 5.2 排水系统

5.2.1 水平排水垫层的材质和铺设质量应满足设计要求，并符合现行国家及行业标准的有关规定。

5.2.2 塑料排水板打设宜应按照现行标准《水运工程塑料排水板应用技术规程》JTS/T 206-1的有关规定执行。

5.2.3 水平排水滤管施工应符合下列规定：

1 滤管和垂直排水板应有效连接，且有一定富裕量，接口不应随地基沉降而产生脱裂；接口位置应用滤布包裹或采取其他措施，防止在抽气过程中泥沙大量进入，造成通道淤堵或爆膜；

2 滤管连接件应与滤管连接牢固，连接长度不应小于100mm；

3 滤管及其连接件在预压过程中应能适应地基变形。

5.2.4 滤管出膜与抽真空设备相连时，应保证密封效果。

## 5.3 密封系统

5.3.1 压膜沟的开挖与回填应符合下列规定：

1 压膜沟深度和宽度满足设计要求；

2 压膜沟内外坡平整；

3 压膜沟内回填的黏土不含杂质并分层压实；

4 压膜沟内的塑料排水板沿边坡伸入到加固区内的水平排水系统中，并与之建立有效连接；需要接长时，按照现行标准《水运工程塑料排水板应用技术规程》（JTS/T 206-1）的有关规定执行。

5.3.2 黏土密封墙宜采用双排搅拌桩工法施工，搅拌桩直径不宜小于0.7m，搭接宽度不宜小于0.2m，成桩搅拌应均匀，黏土密封墙的深度、宽度、黏粒含量和渗透系数应符合设计要求**。**

5.3.3 铺设密封膜应符合下列规定：

1 密封膜加工后的边长应大于加固区相应边长4m，当加固区地质复杂时，应松弛铺设并适当加长密封膜；

2 密封膜应采用热合法拼接，两块膜的平搭接宽度不应小于15mm，无热合不紧或热穿现象，有孔洞时应及时修补；

3 铺膜时风力不应大于5级，并应从上风侧开始；

4 压膜沟内的密封膜应紧贴内侧坡泥面铺平。

5.3.4 当采用覆水提高密封效果时，应填筑覆水围埝。

5.3.5 抽真空期间应经常检查密封膜密封效果。

## 5.4 加载

5.4.1 抽真空设备的位置和数量应满足设计要求，并应根据抽真空设备种类采用相应的安装工艺。

5.4.2 试抽真空时间宜为4d～10d，宜采用分级加载，发现问题应及时处理。

5.4.3 正式抽真空阶段膜下真空压力应满足设计要求。

5.4.4 如采用真空联合堆载预压法，堆载施工应符合下列规定：

1 真空预压满载计时10d后，方可进行膜上堆载；

2 堆载前应先在密封膜上按设计要求铺设保护层；

3 分级堆载时，各级荷载大小应符合设计要求。

5.4.5 停泵、卸载应满足设计要求。

## 5.5 施工监控

5.5.1 施工过程中应对下列项目进行监控，可按本标准附录A进行记录：

1 地表沉降；

2 排水滤管内真空压力；

3 孔隙水压力；

4 深层水平位移；

5 深层分层沉降；

6 地下水位。

5.5.2 施工过程中可根据工程需要对下列项目进行监控，可按本标准附录A进行记录：

1 加固区外侧边桩位移；

2 周边建筑物的位移和沉降；

3 排水板内部的真空压力。

5.5.3 监测仪器的数量及布设应满足设计要求，监测仪器宜在打设排水板后、铺设密封膜前布设。

5.5.4 各监控项目的监测频率应满足下列要求：

1 排水滤管内真空压力：宜2h～4h监测1次；

2 孔隙水压力、地表沉降和塑料排水板内部真空压力：加载初期宜1d监测1次，中后期宜2d～4d监测1次；

3 其余监控项目：加载初期宜每1d～2d 监测1次，中后期宜3d～5d监测 1次；

4 加固区周围有建筑物和地下管线或采用真空联合堆载预压时宜对侧向位移加密观测；

5 出现异常情况时应加大观测频率。

5.5.5 最终沉降量及固结度应根据现场实测资料推算，推算方法可按标准附录B的规定执行。

# 

# 6 加固效果检测

6.0.1 软土地基加固前、后应进行现场原位强度检测及现场取土和室内试验，需要时尚应进行加固后的地基承载力检测。

6.0.2 加固前检测应在打设塑料排水板前进行，加固后检测应在卸载3d～5d后进行。

6.0.3 检测报告中应对固结沉降、强度增长和其它监测、检测结果进行分析，并对加固效果做出评价，必要时应对工后沉降进行评价。

# 附录A 监控记录表

A.0.1 地表沉降现场记录表格可采用表A.0.1。

表A.0.1 高程测量记录表

工程名称：

仪器编号： 天气：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 日 期 | 测 站 | 后视(mm) | 前视(mm) | 高程(m) |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

测量： 校核：

A.0.2 排水滤管内真空压力现场记录可采用表A.0.2。

表A.0.2 真空压力观测记录表

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 工程名称： | | | | | | | |
| 月 | 日 | 时 | 排水滤管内真空压力（kPa) | | | | | |
| 1#表 | 2#表 | 3#表 | 4#表 | … | |
|  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  | 记录： |  |  |  | 校核： |  |  | |

A.0.3 孔隙水压力（塑料排水板内部真空压力）现场记录表格可采用表A.0.3。

表A.0.3 孔隙水压力（塑料排水板内真空压力）观测记录表

工程名称： 观测日期：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 接收仪编号 | 测点编号 | 现时读数（Hz） | 测点编号 | 现时读数（Hz） |
|
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

测量： 校核：A.0.4 侧向位移观测记录表格可采用表A.0.4

表A.0.4 侧向位移记录表

工程名称： 测量日期：

测孔编号： 仪器编号：

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 深度（m） | A+（0.01mm） | A-（0.01mm） | B+（0.01mm） | | B-（0.01mm） | |
| 0.5 |  |  |  | |  | |
| 1.0 |  |  |  | |  | |
| 1.5 |  |  |  | |  | |
| 2.0 |  |  |  | |  | |
| 2.5 |  |  |  | |  | |
| 3.0 |  |  |  | |  | |
| 3.5 |  |  |  | |  | |
| 4.0 |  |  |  | |  | |
| 4.5 |  |  |  | |  | |
| 5.0 |  |  |  | |  | |
| 5.5 |  |  |  | |  | |
| 6.0 |  |  |  | |  | |
| 6.5 |  |  |  | |  | |
| 7.0 |  |  |  | |  | |
| 7.5 |  |  |  | |  | |
| 8.0 |  |  |  | |  | |
| 8.5 |  |  |  | |  | |
| 9.0 |  |  |  | |  | |
| 9.5 |  |  |  | |  | |
| 10.0 |  |  |  | |  | |
| 10.5 |  |  |  | |  | |
| 11.0 |  |  |  | |  | |
| 11.5 |  |  |  | |  | |
| 12.0 |  |  |  | |  | |
| 12.5 |  |  |  | |  | |
| 13.0 |  |  |  | |  | |
| 13.5 |  |  |  | |  | |
| 14.0 |  |  |  | |  | |
| 14.5 |  |  |  | |  | |
| 15.0 |  |  |  | |  | |
| … |  |  |  | |  | |
|  | 测量： |  | 校核： |  | |

A.0.5 分层沉降现场记录可采用表A.0.5。

表 A.0.5 分层沉降观测记录表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 工程名称： |  |  | 观测日期： |  |
| 接收仪编号 | 测点编号 | 现时读数(mm) | 测点编号 | 现时读数(mm) |
|
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  | 测量： |  | 校核： |  |

A.0.6 水位现场记录可采用表A.0.6。

表 A.0.6 水位观测记录表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 工程名称： |  |  | 仪器编号： |
| 观测日期 | 仪器编号 | 测点编号 | 水面至孔口距离（mm） |
|
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  | 测量： |  | 校核： |

A.0.7 边桩位移现场记录表可采用表A.0.7。

表 A.0.7 边桩位移观测记录表

工程名称：

仪器编号： 天气：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 边桩编号  观测日期 | 距基线距离（mm） | | | |
| 1#桩 | 1#桩 | 1#桩 |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

测量： 校核：

A.0.8 周边建筑物的位移和沉降观测可根据现场情况编制记录表格。

# 附录B 由现场实测资料推算沉降量及固结度

B.0.1 根据实测沉降资料推算地基的最终沉降量可按下列公式计算：

 （B.0.1-1）

当趋近于无穷大时

 （B.0.1-2）

式中 —— 满载时刻的实际沉降量（cm）；

 —— 满载=0时的实际沉降量（cm）；

 —— 最终沉降量（cm）；

 —— 满载预压时间（d），从满载时刻算起；

 —— 待定系数，如图B.0.1所示，可根据图解方法确定。



图B.0.1 图解法求解双曲线α、β值

B.0.2 根据实测沉降结果推算地基的应变固结度可按下式计算：

****  （B.0.2）

式中  —— 根据实测沉降结果推算的时刻地基应变固结度；

 —— 时刻的实际沉降量（cm）；

 —— 最终沉降量（cm）。

B.0.3 根据孔隙水压力观测结果推算地基的应力固结度可按下式计算：

 （B.0.3）

式中 —— 根据孔隙水压力消散结果推算的地基应力固结度；

 —— 预压过程中孔隙水压力消散值（kPa）；

 —— 预压荷载（kPa）；

 —— 预压前超静孔隙水压力（kPa）**。**

# 本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1）表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”；

2）表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”；

3）表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”。

4）表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 本标准中指明应按其他有关标准执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

# 引用标准名录

1．《岩土工程勘察规范》GB50021

2．《水运工程塑料排水板应用技术规程》JTS/T 206-1

3．《水运工程土工合成材料应用技术规范》JTS/T 148

4．《水运工程地基基础施工规范》JTS206

5．《水运工程地基设计规范》JTS147

6．《天津市岩土工程技术规范》DB/T29-20

**中国工程建设标准化协会标准**

**无砂法真空预压加固软基技术规程**

Technical specification of non-sand blanket vacuum preloading method for soft soil improvement

**T/CECS XXX:202X**

**条 文 说 明**

# 

# 目 次

[1 总 则 24](#_Toc17466)

[3 基本规定 25](#_Toc19661)

[4 设 计 26](#_Toc17456)

[4.1 一般规定 26](#_Toc13536)

[4.2 荷 载 26](#_Toc32692)

[4.3 排水系统 26](#_Toc9278)

[4.4 密封系统 27](#_Toc21629)

[4.5 抽真空设备 27](#_Toc9050)

[5 施 工 28](#_Toc11364)

[5.1 一般规定 28](#_Toc13077)

[5.2 排水系统施工 28](#_Toc29065)

[5.3 密封系统施工 28](#_Toc22213)

[5.5 施工监控 28](#_Toc15547)

[6 加固效果检测 29](#_Toc9097)

[附录A 监控记录表 31](#_Toc22528)

[附录B 由现场实测资料推算沉降量及固结度 32](#_Toc10027)

**Contents**

[1 General Provisions 24](#_Toc9794)

[3 Basic Requirements 25](#_Toc26159)

[4 Design 26](#_Toc25337)

[4.1 General provisions 26](#_Toc7064)

[4.2 Load 26](#_Toc30393)

[4.3 Drainage system 26](#_Toc24719)

[4.4 Sealing system 27](#_Toc21198)

[4.5 Vacuum equipment 27](#_Toc18553)

[5 Construction 28](#_Toc12085)

[5.1 General provisions 28](#_Toc23803)

[5.2 Drainage system 28](#_Toc16938)

[5.3 Sealing system 28](#_Toc18890)

[5.5 Monitoring 28](#_Toc17746)

[6 Testing and Inspection for Soil Improvement 29](#_Toc13233)

[Appendix A Monitoring Table 30](#_Toc15648)

[Appendix B Settlement and Degree of Consolidation Calculated from Field Moritoring Information 31](#_Toc31970)

# 1 总 则

1.0.1 近几年随着砂资源日益紧缺，无砂法真空预压加固软土地基技术逐渐发展起来，已经成为我国处理软土地基加固工程的方法之一，在多项工程中得到了广泛的应用，创造了巨大的社会效益和经济效益，同时也积累了一定的经验。为便于该技术的推广应用，进一步总结目前该项技术中的新工艺、新经验，制定标准来指导设计、施工是非常有必要的。

1.0.2 目前无砂法真空预压技术主要应用于陆上工程，如果用来加固潮间带区域的软土地基，所采用的设计、施工方法与陆上基本相同，施工时宜参照陆上施工标准进行。

# 3 基本规定

3.0.1 为保证无砂法真空预压在施工期达到设计真空压力和加固效果，设计前勘察需查明加固深度范围内土的物理力学指标、透水透气层的分布、与水源的连通情况以及地下水透水层中有无承压水等情况。

3.0.2 当需加固的土层有粉土、粉细砂或中粗砂等透水透气层时，采取的密封措施主要有打设黏土密封墙、开挖换填、垂直铺设密封膜穿过透水透气层等方法。对于塑性指数大于25，含水率大于85％的流泥，许多情况下采用真空预压处理后地基土强度仍然较低或长时间达不到卸载要求，需要通过现场试验确定其适用性。如连云港某真空预压加固工程，被加固层土体塑性指数26，土颗粒细，黏粒含量61%，排水板间距设计为1m，设计加固时间为180天，实际加固时间为330天，地基沉降速率仍然达不到设计卸载标准；再如黄骅港某真空预压加固工程，表层4m吹填土，含水率为85%～110%，经120天真空预压加固，满足卸载要求，卸载后吹填土层十字板实测强度小于15kPa，不满足地基承载力80kPa的设计要求。

3.0.3 当在真空预压的影响范围内有地下管道、危墙及其它建筑物时，会使结构物的地基土体产生沉降和侧向变形，若变形过大，则会危及上部结构的安全，甚至会出现管道断裂、墙体倒塌、路堤损毁等严重的工程事故。大量的工程经验表明，在距真空预压边界20m范围内会有较为明显的沉降和侧向位移，30m以外沉降和侧向位移会较小。一般情况下，当距离较近时，可采用开挖明沟阻断，一般开挖深度可控制在2.5m～5.0m；对于不能开挖的情况，可在建筑物与预压区之间打设一排钢板桩或水泥搅拌桩，利用桩的支护作用和阻断效果，减少周围土体的不均匀沉降，抑制土体侧向变形，桩深不小于10m。

3.0.4 勘察深度一般穿过软土层深度达到硬土层。国内外常用应力比法作为确定地基压缩层计算深度的准则。根据经验，选择地基附加应力与地基自重压力达到某一比值，对于深厚软土，一般采用时的深度作为压缩层的计算深度。

3.0.5 无砂法真空预压稳定标准的沉降速率同设计要求的加固深度、加固时间、预压荷载、固结度、残余沉降、排水板打设参数以及土体的压缩模量、水平渗透系数等因素有关。我们进行了深入研究，由于涉及的因素很多，还不能给出一个标准。

3.0.7 影响无砂法真空预压加固效果的因素很多，在重要工程和没有工程经验的地区进行试验工程是十分必要的，根据试验工程的实际变形曲线推算出预压荷载下地基的最终沉降量及固结度，为卸载时间的确定、预压效果的评价及指导全场的设计与施工提供依据。

# 4 设 计

## 4.1 一般规定

4.1.1 为减小边界效应的影响，无砂法真空预压的加固范围要大于建筑物基础外缘所包围的范围。

4.1.4 参考行业标准《建筑地基处理技术规范》(JGJ79-2012)的有关规定。由于预压初期，地基在真空预压荷载下的沉降量较大，而该部分沉降量不会对地基失稳造成影响，在联合堆载时地基沉降速率控制标准需要考虑真空预压荷载下的沉降速率的影响。工程实践经验表明，在真空联合堆载期间，地基的沉降速率宜在30mm/d以下，也有少量的工程超过该沉降速率，有的甚至达到60mm/d左右，地基没有发生失稳破坏，估计是真空预压荷载下的沉降所占的比重较大所致。

4.1.5 真空预压卸载标准主要有两大类，承载力指标，包括质检取样（物理力学指标计算）或载荷板试验承载力卸载指标；沉降指标，包括卸载时沉降速率、工后沉降及固结度指标，其隐含了对地基强度要求。沉降速率与土性指标、加固土层的厚度、排水板打设参数以及施工工艺等有着很大的关系。卸载标准要根据地基使用要求确定。真空预压需要达到的固结度是根据建筑物对地基允许沉降和差异沉降的使用要求而定的。

4.1.7 多项工程经验表明，对于较厚的新吹填土地基，加固后新吹填土尽管沉降量很大，地基承载力提高幅度也很大，但加固后地基承载力的数值仍然偏低，采用二次处理方法可有效地解决这一问题。

## 4.2 荷 载

4.2.1 对于淤泥及淤泥质黏土，按照目前的施工工艺，膜下真空荷载可达到85kPa以上，当加固区周边条件复杂需要采取黏土密封墙等措施时，膜下真空荷载一般也可达到80kPa。膜上覆水的重量做为预压荷载的安全储备，不计入设计要求的荷载值。

4.2.2 由于受到无砂法真空预压工艺的影响，为保证滤管在整个施工过程中的排水效果，联合堆载荷载进行了必要的限制。

4.2.3 为确保预压荷载满足要求，膜上堆载的坡肩线要与真空预压边线重合，坡脚线位置根据周边环境和堆载料的放坡要求而定。

## 4.3 排水系统

4.3.3 理论上讲，加固时间同排水距离的平方成反比，塑料排水板间距越小，真空预压加固时间越短。经验表明，新吹填土本身属于扰动土，减小塑料排水板间距对加固效果的影响比较明显。

4.3.4 由于没有铺设水平排水砂垫层，塑料排水板中排出的水需要直接排入滤管，因此，每根塑料排水板都要与滤管直接连接，同时在纵向每隔一定间距再布置滤管将横向的滤管连接起来，确保排水效果。

4.3.6 当地表承载力特别低时可设置水平排水垫层，其作用如下：（1）便于施工并保证施工安全；（2）减少打设塑料排水板后的泥浆上冒；（3）可以起到一定的水平排水垫层的作用。

## 4.4 密封系统

4.4.2 当吹填土厚度较大且吹填土含水率较高时，无砂法真空预压加固过程中，由于地基沉降量较大，容易出现压膜沟侧翻现象。

4.4.3 工程实践证明，当黏土密封墙渗透系数小于1×10-5cm/s，可以起到密封的作用。

4.4.4 在正式抽真空阶段一般要采取膜上覆水措施。膜上覆水的作用有3个：（1）使得密封效果更好；（2）避免阳光直晒，保护密封膜；（3）膜上覆水荷载可以增加预压荷载（该部分荷载可以作为安全储备）。

4.4.5 密封膜上下的保护层在联合堆载过程中会对密封膜起到保护作用**。**

4.4.6 目前在天津地区已经有相关的现场试验和相应的工程实例，证明利用表层0.5～0.8m厚的软土做为密封层是可行的。

## 4.5 抽真空设备

4.5.1 目前所用的抽真空设备比较混杂，尽管有些功率小的抽真空设备在进气孔封闭时也可以形成不小于0.096MPa的真空压力，但是在有水气补充的情况下，抽真空能力还是不一样，施工时要认真进行设备的调研和选型。目前有不少的新型的节能抽真空设备，如水气分离式真空泵，现场使用时最好先验证其使用效果。

4.5.2 为使真空预压初期尽快达到设计要求的真空压力，设计时可以多布置4～6台抽真空设备，当真空压力达到设计要求时将多设置的抽真空设备关闭。在真空预压施工过程中应确保抽真空设备的开启数量，多项工程实际运行结果表明，施工后期抽真空设备开启数量在80％以上时，施工质量较好。

## 5 施 工

## 5.1 一般规定

5.1.2 真空预压需要的主要设备有：抽真空设备，排水板打设机、潜水泵、电焊机、潜水电机等。

## 5.2 排水系统施工

5.2.3 滤管与塑料排水板的连接质量是影响加固效果的重要因素，在整个施工过程中要能够适应地基变形，不脱裂。

5.2.4 滤管出膜采用的出膜装置一般由膜下和膜上两部分组成，膜下和膜上部分用法兰盘连接。膜上部分同抽真空设备连接，膜下部分同滤管连接。

## 5.3 密封系统施工

5.3.2 当透气透水层埋深较浅时，宜采用深挖压膜沟或垂直铺塑的方法使密封膜埋深超过透气透水层起到密封的作用，当透气透水层埋深较深时，需要采用黏土密封墙。黏土密封墙施工是通过喷浆搅拌机械在透气透水层中掺入黏粒含量较大的泥浆，必要时泥浆中可掺入一定量的膨润土。

5.3.3 为保证密封膜的密封效果，宜采用2～3层聚乙烯或聚氯乙烯薄膜，要求在工厂热合一次成型。

5.3.4 覆水围埝宜用素黏土等不透水材料填筑，当采用透水材料时需要采取措施保证覆水围埝防渗效果。

## 5.5 施工监控

5.5.1 通过对本条所列项目的施工监控结果分析，可以为确定卸载时间提供依据。

# 6 加固效果检测

6.0.1 对于无砂法真空预压处理的软土地基，现场检测的内容主要为十字板强度检测、现场静力触探检测。

# 附录A 监控记录表

A.0.1～A.0.7 各监控记录表可供施工及检测单位参考。

# 附录B 由现场实测资料推算沉降量及固结度

B.0.1 根据实测沉降曲线推算地基的最终沉降量有多种方法，目前常用的有经验双曲线法和三点法，规程推荐的是经验双曲线法，它是将满载后的所用观测结果都参与统计分析，剔除异常点后求得，从而求得最终沉降量。