UDC

中国土木工程学会标准

P T/CCES XX－202X

增压式真空预压加固软土地基技术规程

Technical Specification for Air-Booster Vacuum Preloading Technique to Improve Soft Soil Foundation

（征求意见稿）

202X–XX–XX 发布 202X–XX–XX 实施

中国土木工程学会 发布

**中国土木工程学会标准**

增压式真空预压加固软土地基技术规程

Technical Specification for Air-Booster Vacuum Preloading Technique to Improve Soft Soil Foundation

**T/CCES XX－202X**

批准单位：中国土木工程学会

施行日期：20XX年X月X日

202X 北 京

**前 言**

本规程是根据中国土木工程学会《关于发布<2020年中国土木工程学会标准立项计划>的通知》（学标委〔2020〕31号）的要求，由天津大学、江苏鑫泰岩土科技有限公司会同有关单位编制完成。

在本规程编制过程中，编制组广泛调查研究和总结了增压式真空预压加固软土地基的经验，参考了国内外有关标准，并在广泛征求意见基础上，对具体内容进行了反复讨论、协调和修改，最后经审查定稿。

本规程的主要技术内容是：总则，术语、符号及参考标准，基本规定，勘察，设计，施工，监测、检测与验收。

请注意本规程的某些内容可能涉及专利。本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。本规程的发布机构对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

本规程由中国土木工程学会学术与标准工作委员会负责管理，由天津大学负责具体技术内容的解释。执行过程中如有修改意见或建议，请寄送天津大学地下工程研究所（地址：天津市津南区雅观路135号；邮政编码：300350；电子邮箱：huayanglei@tju.edu.cn）。

本规程主编单位：

本规程参编单位：

本规程主要起草人员：

本规程主要审查人员：

目 次

[1 总 则 1](#_Toc132360220)

[2 术语、符号及参考标准 2](#_Toc132360221)

[2.1 术 语 2](#_Toc132360222)

[2.2 符 号 2](#_Toc132360223)

[2.3 参考标准 4](#_Toc132360224)

[3 基本规定 5](#_Toc132360225)

[4 勘 察 6](#_Toc132360226)

[4.1 一般规定 6](#_Toc132360227)

[4.2 土工试验 6](#_Toc132360228)

[5 设 计 9](#_Toc132360229)

[5.1 一般规定 9](#_Toc132360230)

[5.2 荷 载 9](#_Toc132360231)

[5.3 真空排水系统 9](#_Toc132360232)

[5.4 密封系统 10](#_Toc132360233)

[5.5 真空系统 11](#_Toc132360234)

[5.6 增压系统 11](#_Toc132360235)

[5.7 设计计算 12](#_Toc132360236)

[6 施 工 15](#_Toc132360237)

[6.1 一般规定 15](#_Toc132360238)

[6.2 工作垫层施工 15](#_Toc132360239)

[6.3 排水系统施工 16](#_Toc132360240)

[6.4 密封系统施工 17](#_Toc132360241)

[6.5 真空系统施工 18](#_Toc132360242)

[6.6 增压系统施工 18](#_Toc132360243)

[6.7 真空加载 19](#_Toc132360244)

[6.8 增 压 19](#_Toc132360245)

[6.9 卸 载 19](#_Toc132360246)

[7 监测、检测与验收 21](#_Toc132360247)

[7.1 施工监测 21](#_Toc132360248)

[7.2 加固效果检测 23](#_Toc132360249)

[7.3 工程验收 23](#_Toc132360250)

[附录A 施工记录表 24](#_Toc132360251)

[本规程用词说明 32](#_Toc132360252)

[条 文 说 明 33](#_Toc132360253)

Contents

[1 General provisions 1](#_Toc132359611)

[2 Terms、Symbols and Reference Standards 2](#_Toc132359612)

[2.1 Terms 2](#_Toc132359613)

[2.2 Symbols 2](#_Toc132359614)

[2.3 Reference Standards 4](#_Toc132359615)

[3 Basic requirements 5](#_Toc132359616)

[4 Investigation 6](#_Toc132359617)

[4.1 Basic requirements 6](#_Toc132359618)

[4.2 Experiment 6](#_Toc132359619)

[5 Design 9](#_Toc132359620)

[5.1 Basic requirements 9](#_Toc132359621)

[5.2 Load 9](#_Toc132359622)

[5.3 Drainage system 9](#_Toc132359623)

[5.4 Sealing system 10](#_Toc132359624)

[5.5 Vacuum device 11](#_Toc132359625)

[5.6 Air-Booster system 11](#_Toc132359626)

[5.7 Calculation 12](#_Toc132359627)

[6 Construction 15](#_Toc132359628)

[6.1 Basic requirements 15](#_Toc132359629)

[6.2 Work cushion construction 15](#_Toc132359630)

[6.3 Drainage system construction 16](#_Toc132359631)

[6.4 Sealing system construction 17](#_Toc132359632)

[6.5 Vacuum device construction 18](#_Toc132359633)

[6.6 Air-Booster system construction 18](#_Toc132359634)

[6.7 Vacuum loading 19](#_Toc132359635)

[6.8 Air-Booster 19](#_Toc132359636)

[6.9 Off-loading 19](#_Toc132359637)

[7 Monitoring, detection and acceptance 21](#_Toc132359638)

[7.1 Construction monitoring 21](#_Toc132359639)

[7.2 Reinforcement effect detection 23](#_Toc132359640)

[7.3 Engineering acceptance 23](#_Toc132359641)

[Appendix A Construction records 24](#_Toc132359642)

[Explanation of Wording in The Specification 32](#_Toc132359643)

[Explanation of Provisions 33](#_Toc132359644)

# 1 总 则

**1.0.1** 为了统一增压式真空预压法加固软土地基的勘察、设计、施工、监测、检测和验收的技术要求，推广增压式真空预压技术的应用，有效控制工程质量，确保工程安全，制定本规程。

**1.0.2**  本规程适用于淤泥、淤泥质土、冲填土、泥炭土和有机质土等软土地基的加固处理。

**1.0.3** 增压式真空预压法技术应用除应符合本规程的规定外，尚应符合国家、行业标准的有关规定。

# 2 术语、符号及参考标准

## 2.1 术 语

**2.1.1** 增压式真空预压法 air-booster vacuum preloading

通过设置排水系统、密封系统、抽真空系统和增压系统，利用真空压力和增压气体压力使土体排水固结来加固地基的方法。

**2.1.2** 排水系统 drainage system

将加固区土体内水、气顺利排出的结构系统，由水平管网排水系统和竖向排水系统组成。

**2.1.3** 密封系统 sealing system

对加固区起密封作用的结构统称，包括密封墙、密封膜、压膜沟、覆水围埝。

**2.1.4** 密封墙 sealing wall

用于密封存在较深透水、透气层加固场地边界的墙体。

**2.1.5** 压膜沟 membrane-sealing trench

加固区周边开挖的埋设密封膜的槽。

**2.1.6** 覆水围埝 water retaining banks

在压膜沟位置填筑的挡住密封膜上覆水的围埝。

**2.1.7** 增压系统 pressure charging system

用于增加气体压力的系统，包括增压管、密闭管道系统和增压泵。

**2.1.8**  手型接头 hand-joint

用于连接排水板与支管的连接接头。

## 2.2 符 号

**2.2.1** 几何参数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *b* | —— | 排水板宽度； |
| *δ* | —— | 排水板厚度； |
| *d* | —— | 排水板中心间距； |
| *d*e | —— | 排水板径向排水范围的等效直径； |
| *d*w | —— | 排水板当量换算直径； |
| *Fn* | —— | 井径比因子； |
| *L* | —— | 塑料排水板插板深度； |
| *N* | —— | 井径比。 |

**2.2.2** 计算参数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *C*v | —— | 垂直向固结系数； |
| *Ch* | —— | 水平向固结系数； |
| *e*0*i* | —— | 第*i*层土中点土自重应力所对应的孔隙比； |
| *e*1*i* | —— | 第*i*层土中点土自重应力与附加应力之和所对应的孔隙比； |
| *hi* | —— | 第*i*层土层厚度； |
| *H* | —— | 单面排水土层厚度或双面排水土层厚度之半； |
| *S* | —— | 涂抹比； |
| *St* | —— | *t*时间的实测沉降量； |
| *S*∞ | —— | 最终沉降量； |
| *Sf* | —— | 最终竖向变形量设计值； |
| *T* | —— | 固结时间； |
| *Th* | —— | 径向固结时间因素； |
| *Tv* | —— | 竖向固结时间因素； |
| *u*0 | —— | 加固前超静孔隙水压力； |
|  | —— | 地基的径向平均应力固结度； |
|  | —— | 地基的平均总应力固结度； |
|  | —— | 地基的竖向平均应力固结度； |
| *Uζ* | —— | 地基的总应变固结度； |
| *Δu* | —— | 孔隙水压力累计消散量； |
| *Δτuk* | —— | 地基土抗剪强度增量标准值。 |

**2.2.3** 材料性能

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *q*w | —— | 排水板纵向通水量； |
| *kh* | —— | 天然土层水平向渗透系数； |
| *ks* | —— | 涂抹区土的水平向渗透系数； |
| *φcu* | —— | 加固前地基土三轴固结不排水试验的内摩擦角标准值。 |

## 2.3 参考标准

**1** 《岩土工程勘察规范》GB 50021

**2** 《土工试验方法标准》GB/T 50123

**3** 《吹填土地基处理技术规范》GB/T 51064

**4** 《软土地区岩土工程勘察规程》JGJ83

**5** 《水运工程塑料排水板应用技术规程》JTS 206-1

**6** 《真空预压法加固软土地基施工技术规程》HG/T 20578

# 3 基本规定

**3.0.1** 增压式真空预压工程设计、施工应具备下列主要资料：

1 工程对地基的要求，包括地基承载力、地基土强度、固结度、允许沉降量和差异沉降量等；

2 工期要求；

3 附近建（构）筑物的分布情况、结构特征、基础类型及其与加固区边线的距离等周围环境；

4 临近建筑、地下工程及有关管线的分布情况；

5 工程加固范围；

6 当地技术水平；

7 路、水、电等施工条件；

8 各项指标监测要求及检测标准。

**3.0.2** 加固区边线与周边建（构）筑物和地下管线的距离应根据土质情况和建（构）筑物重要性确定，必要时应采取相应保护措施。

**3.0.3** 对以沉降控制为主的工程，卸载标准应根据地基平均应变固结度、残余沉降量及沉降速率确定；对主要以地基承载力或抗滑稳定性控制的工程，卸载标准应根据平均应力固结度和沉降速率确定。

**3.0.4** 增压式真空预压施工过程中应进行施工监控和加固效果检测，满足卸载标准时方可卸载。

**3.0.5** 重要工程或缺乏经验的地区应选择有代表性的试验场地进行试验，并根据试验结果对原设计进行检验及修正，指导整个场区的设计与施工。

# 4 勘 察

## 4.1 一般规定

**4.1.1** 合理选择勘察方法，保证勘察质量，满足软基处理设计和施工的需要。

**4.1.2** 场地工程勘察应符合《软土地区岩土工程勘察规程》（JGJ83）的要求外，尚应满足下列要求：

1 场地加固设计勘察范围应大于场地加固区域；

2 勘察布孔间距及深度应结合加固场地用途、密封墙布置等因素综合确定；

2 勘探点可按方格网布置，在施工图设计阶段，钻孔间距应为50~75m；

3 勘探孔深度宜穿透软土层，对厚度较大的软土场地勘探孔深度应大于计算压缩层深度。

**4.1.3** 工程勘察报告应包括下列内容：

1 查明土层的分布特点，包括土层的厚度、水平和垂直方向的分布范围，透水层和透镜体的埋深和厚度，地下水的补给和排泄条件等；

2 场地的工程地质和水文地质资料，包括各土层的基本物理性质指标、压缩性指标、水平与竖向固结系数、渗透系数、抗剪强度、十字板剪切强度、灵敏度指标等力学性质指标和地下水位、承压水层、透水透气层及其与水源的连通情况等；

3 查明地下水类型、水位变幅、地下水与地表水连通情况、地下水的补给和排泄条件等。

## 4.2 土工试验

**4.2.1** 在地基加固前后，宜进行土的工程性质的试验。土工试验应按国家标准《土工试验方法标准》（GB/T50123）中有关规定执行。

**4.2.2** 土工试验的试验项目应根据工程需要和土的性质、特点确定，土工试验项目宜按表4.2.1确定。

表4.2.1 土工试验表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 指标类型 | 试验项目 | 参数及曲线 | 适用土类 |
| 物理指标 | 含水率试验 | 含水率 | 黏性土、淤泥质土、淤泥、流泥、浮泥、粉土、粉细砂、混合土 |
| 密度试验 | 密度 | 黏性土、淤泥质土、淤泥、流泥、浮泥、粉土、粉细砂、混合土 |
| 界限含水率试验 | 液限、塑限、塑性指数、液性指数 | 粉土、黏性土、淤泥质土、淤泥、流泥、浮泥、混合土 |
| 水理指标 | 渗透试验 | 渗透系数 | 各类土 |
| 力学指标 | 直接剪切试验 | 内摩擦角、黏聚力、抗剪强度与垂直压力关系曲线 | 黏性土、淤泥质土、粉土、适合的混合土 |
| 固结试验 | *e*-*p*曲线、*e*-*lgp*曲线、前期固结压力、超固结比、压缩指数、回弹指数、竖向和水平向固结系数、次固结系数 | 黏性土、淤泥质土、适合的混合土 |
| 三轴剪切试验 | 不固结不排水剪切强度、有效应力内摩擦角、有效应力黏聚力、固结不排水有效应力和总应力强度包线、固结排水强度包线、 | 黏性土、淤泥质土、粉土、砂土、混合土 |
| 无侧限抗压强度试验 | 抗压强度、灵敏度 | 黏性土、淤泥质土 |
| 十字板剪切试验 | 十字板剪切强度 | 黏性土、淤泥质土、淤泥、流泥、浮泥、粉土、粉细砂、混合土 |

**4.2.3** 土粒比重宜采用试验测定，在无试验条件的情况下，通常有经验的地区可按经验确定，无经验的地区可按表4.2.2采用。

表4.2.2 土粒比重值

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 土的名称 | 黏土 | 粉质黏土 | 粉土 | 粉砂 |
| 土粒比重值 | 2.74 | 2.72 | 2.70 | 2.68 |

**4.2.4** 土抗剪强度试验方法应根据地基处理工程设计和施工要求、工程竣工后地基土状态和土质特性、模拟土层的实际受荷情况和排水条件等因素选用，并应符合下列规定：

1 对淤泥质土、饱和黏性土，当施工工期短时宜采用三轴不固结不排水剪（UU）试验或十字板剪切试验；

2 对施工工期长的工程或排水条件好的土层宜采用三轴固结不排水剪（CU）试验或三轴固结排水剪（CD）试验；

3 当考虑土在地基处理施工中或竣工后的实际固结应力对抗剪强度的影响时，应在不同固结应力时取样进行抗剪强度试验；

4 直接剪切试验的方法应根据地基处理加荷方法、加荷速率和软土排水条件、土质情况等采用。

**4.2.5** 淤泥质土宜进行无侧限抗压强度试验。

**4.2.6** 固结试验方法应根据地基处理工程需要的设计参数确定，并应符合下列规定：

1 固结试验宜采用标准固结试验。当仅需测定压缩系数、压缩模量时，可采用快速固结试验，试验的最大压力应大于有效自重压力与附加压力之和。试验成果可用*e-p*曲线整理。

2 当考虑土层应力历史时，试验成果可用*e-lgp*曲线整理，确定前期固结压力并计算压缩指数和回弹指数。需计算回弹指数时，应在估计的前期固结压力之后，进行一次卸荷回弹，再继续加荷，直至完成预定的最后一级压力。

3 需测定沉降速率、固结系数、次固结系数时，应在需要的压力段按规定的时间顺序测定并记录试样的高度变化，一般试样宜以每级荷载下24h为稳定标准，特殊土试样应以量表读数不大于0.005mm/h为稳定标准。

**4.2.7** 土工试验成果整理应符合下列规定：

1 当整理单项试验结果发现异常数据时，宜进行补充试验。对明显不合理的数据，应查明原因后进行取舍，对取舍后的试验数据，应分别进行计算、绘图，汇总成表。

2 应对汇总的土工试验成果总表和报告进行检查、分析和确认：

1） 同一土样不同土性指标之间的匹配性；

2） 同一土层相同试验项目指标的离散性；

3） 相邻钻孔土层分布及试验结果的合理性；

4） 根据当地相同条件土性指标或经验，对试验指标进行最后取舍。

**4.2.9** 试验报告应包括下列内容：

1 工程概况、试验项目、试验要求及试验条件、完成的工作量；

2 试验过程及有关问题的说明；

3 试验质量的评述；

4 有关附图、表。

# 5 设 计

## 5.1 一般规定

**5.1.1** 加固区周边存在透气砂层或处理深度范围内有充足水源补给的透水层时，应采取措施切断加固区内外水、气联系。

**5.1.2**  增压式真空预压加固范围应大于拟建建筑物基础外缘所包围的范围。

**5.1.3**  设计时应明确地基处理所需的真空度和土层的固结度，预估增压压力、增压时机、持续时间等施工参数，同时明确卸载标准和加固过程监测、加固效果的检测要求。

**5.1.4** 卸载时加固深度范围内地基平均总应变固结度不宜小于85%。

**5.1.5** 对重要工程，建议选择代表性试验区进行预压试验；采用室内试验、原位测试、变形和孔压的现场监测等手段，推算软土的固结系数、固结度与时间的关系和最终沉降量，为预压处理的设计施工提供可靠依据。

**5.1.6**  检验预压处理效果，必要时进行现场载荷试验。

## 5.2 荷 载

**5.2.1** 对边界密封条件良好的淤泥、淤泥质土地基，真空预压荷载设计值不宜小于85kPa；当加固区土层条件复杂时，真空预压荷载设计值不宜小于80kPa。

**5.2.2** 增压压力值不宜小于0.4MPa，若加固深度较大，增压压力值宜适当加大。

## 5.3 真空排水系统

**5.3.1**  真空排水系统包括水平管网排水系统和竖向排水系统。

**5.3.2** 手型接头、单手板、四通、三通或双通接头的连接管段的连接长度不应小于100mm。

**5.3.3** 真空主管、真空支管及其连接件的强度应满足真空压力传递和地基变形的要求。

**5.3.4** 水平排水管网通道间距宜根据排水板的施工间距确定，支管间距为2倍的排水板间距，距主管距离宜为25~30m，主管间距不宜大于50m。

**5.3.5** 塑料排水板的平面布置形式宜使用等边三角形或正方形。塑料排水板间距应根据工期和固结度要求、地基土的固结特性、塑料排水板种类和布置方式及当地工程经验等确定，一般为0.7m~1.3m，较高灵敏度（灵敏度大于4）黏性土宜取大值，也可按下列公式计算：

 （5.3.5-1）

 （5.3.5-2）

 （5.3.5-3）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *d* | —— | 塑料排水板中心间距（cm）； |
|  | *de* | —— | 塑料排水板径向排水范围的等效直径（cm）； |
|  | *αl* | —— | 换算系数，正三角形布置时取1.05，正方形布置时取1.13； |
|  | *n* | —— | 井径比，可取15~22； |
|  | *dw* | —— | 塑料排水板当量换算直径（cm）； |
|  | *α* | —— | 换算系数，可取0.75~1.0； |
|  | *b* | —— | 塑料排水板的宽度（cm）； |
|  | *δ* | —— | 塑料排水板的厚度（cm）。 |

**5.3.6** 塑料排水板插板设计深度应根据对地基稳定性和变形的要求确定，宜穿透软土层，但不应进入下卧透水层。

## 5.4 密封系统

**5.4.1** 密封膜宜选用聚乙烯或聚氯乙烯薄膜，铺设层数为2层~3层。单层密封膜的技术指标和性能应符合表5.4.1的规定。

表5.4.1 密封膜技术参数表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 最小抗拉强度（MPa） | 最小断裂伸长率（%） | 最小直角断裂强度（kN/m） | 厚度（mm） |
| 纵向 | 横向 |
| 18.5 | 16.5 | 220 | 40 | 0.12~0.16 |

**5.4.2** 加固区四周应开挖压膜沟，压膜沟深度至少应挖至不透水、不透气层顶面以下0.5m。

**5.4.3** 当加固场地边界透水、透气层较深时，密封措施宜采用黏土搅拌桩密封墙。黏土密封墙厚度不宜小于1.2m，墙体的黏粒含量应大于15%，渗透系数应小于1×10-5cm/s。

## 5.5 真空系统

**5.5.1** 抽真空设备宜采用水环式真空泵，其单机功率不宜低于55kW，在进气孔封闭状态下，其真空压力不应小于90kPa，每台真空泵有8~10个抽气口，每个抽气口连接一个水气分离罐。

**5.5.2** 抽真空设备宜沿加固区四周均匀布置。

**5.5.3** 加固过程中可使用水气分离罐。

**5.5.4** 真空管路的连接应严格密封，在真空管路中设置单向止回阀和进水过滤器。

## 5.6 增压系统

**5.6.1** 增压系统应包括增压泵和增压管路系统，增压管路系统由水平增压管路系统和垂直增压管路系统组成。

**5.6.2** 增压管管体的垂直渗透系数宜为10-1~10-4cm/s，具有一定的抗拉强度和伸缩性。增压管技术指标宜符合表5.6.1的要求。

表.5.6.1增压管技术性能指标

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 单位 | 指标 |
| 力学特性 | 窄条拉伸 | 断裂强度 | T | kN/cm | ≥0.8 |
| W | ≥0.6 |
| 断裂伸长率 | T | % | ≥12 |
| W | ≥12 |
| 扁平率 | 2% | kN | ≥0.40 |
| 3% | kN | ≥0.80 |
| 4% | kN | ≥1.20 |
| 5% | kN | ≥2.50 |
| 圆球顶破强力 | kN | ≥1.1 |
| 水力特性 | 垂直渗透系数 | cm/s | ≥0.1 |
| 等效孔径O95 | mm | 0.1~0.25 |

**5.6.3** 增压系统的水平管路与真空系统的水平排水管路应分层设置，以保证管路系统的正常工作。

**5.6.4** 每个增压泵连接的管路可覆盖1000m2，垂直增压管路的布置位置应考虑排水板布置的情况，宜布置在周围排水板覆盖区域的形心位置。增压管上部压入泥面的深度应不少于2m，以避免增压气体顶穿土体。增压管下部打设深度不宜超过排水板长度，在不穿透加固层的情况下，应尽量增加增压管长度。

**5.6.5** 增压泵宜均匀布置在加固区四周，必要时也可适量布置在加固区中部，其单机功率宜大于7.5kW。

**5.6.6** 一般在抽真空周期的中后期，周平均沉降量小于60mm时，开始增压。开始增压时的增压压力应根据土体加固情况，采用阶梯式增加压力。

**5.6.7** 考虑到增压对真空度的影响，应采用间歇式增压法，每次增压总时间控制在1.5~2.0h。宜在增压管附近膜下加设真空度监测设备，当真空度下降10~15kPa时，应停止单次增压。待真空度稳定在80kPa后，再次打开注气阀门，重复之前步骤。

## 5.7 设计计算

**5.7.1** 使用增压式真空预压法加固地基时，瞬时加荷条件下的地基平均总应力固结度、竖向平均应力固结度和径向平均应力固结度可分别按下列公式计算：

  （5.7.1-1）

  （5.7.1-2）

  （5.7.1-3）

  （5.7.1-4）

  （5.7.1-5）

  （5.7.1-6）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： |  | —— | 地基的平均总应力固结度； |
|  |  | —— | 地基的竖向平均应力固结度； |
|  |  | —— | 地基的径向平均应力固结度； |
|  |  | —— | 竖向固结时间因素； |
|  |  | —— | 径向固结时间因素； |
|  |  | —— | 井径比因子； |
|  |  | —— | 垂直向固结系数（m2/s）； |
|  |  | —— | 水平向固结系数（m2/s）； |
|  | *H* | —— | 单面排水土层厚度或双面排水土层厚度的一半（m）； |
|  | *t* | —— | 固结时间（s）。 |

**5.7.2** 当地基土灵敏度大于2，塑料排水板间距小于1m时，地基径向平均固结度应考虑井阻与涂抹效应的影响，径向平均应力固结度可按下列公式计算：

  （5.7.2-1）

  （5.7.2-2）

  （5.7.2-3）

  （5.7.2-4）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *F* | —— | 轴对称径向排水应力固结参数； |
|  | *F*(*n*) | —— | 井径比因子； |
|  | *J* | —— | 涂抹因子； |
|  | *G* | —— | 井阻因子； |
|  | *kh* | —— | 天然土层水平渗透系数（cm/s）；  |
|  | *ks* | —— | 涂抹区的水平向渗透系数（cm/s），可取*ks* = (1/5~1/3) *kh*； |
|  | *S* | —— | 涂抹比，可取2.0~3.0；对中等灵敏度土取低值；对高灵敏度土取高值； |
|  | *L* | —— | 塑料排水板打设深度（cm）； |
|  | *qw* | —— | 塑料排水板纵向通水量，为单位水力梯度下单位时间的排水量（cm3/s）； |
|  | *Fs* | —— | 安全系数，*L*≤10m时取4，10m＜*L*≤20m时取5，*L*＞20m时取6。 |

**5.7.3** 增压式真空预压作用下地基最终竖向变形量可按下式计算：

  （5.7.3-1）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： |  | —— | 地基最终竖向变形量设计值（m）； |
|  |  | —— | 第*i*土层在平均自重压力设计值作用下压缩稳定时的孔隙比设计值； |
|  |  | —— | 第*i*土层在平均自重压力设计值与附加压力设计值之和作用下压缩稳定时的孔隙比设计值； |
|  |  | —— | 第*i*土层厚度（m）； |
|  |  | —— | 经验系数，通常可取1.2，也可按下式计算得到： |

 （5.7.3-2）

  （5.7.3-3）

注：为土体初始含水率（%）(若含水率小于85%，则取=85）；为增压与否（若增压取1，否则取0）。

**5.7.4** 对于正常沉积的软土，地基土强度增量标准值可按下式计算：

  （5.7.4-1）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： |  | —— | 加固前地基土三轴固结不排水试验的内摩擦角标准值； |
|  |  | —— | 地基土抗剪强度增量标准值。 |

# 6 施 工

## 6.1 一般规定

**6.1.1** 施工准备应包括下列内容：

1 熟悉设计图纸，编写施工组织设计并进行施工技术、安全技术交底；

2 分析水文和地质资料；

3 加固前进行场地初步整平，清除地表、地下和周边的障碍物，同时对加固区进行测量放线定位，并测出初始地面高程；

4 调查施工现场的给排水、道路条件。

**6.1.2** 施工前主要工程材料应进场，并按设计指标、批量进行送检，待工程材料检验合格后方可使用。主要工程材料检验指标和送检组批量应符合表6.1.1的规定。

表6.1.1主要工程材料检验指标和送检组批量

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 材料名称 | 检验指标 | 代表批量 | 备注 |
| 1 | 塑料排水板 | 宽度、厚度、纵向通水量、滤膜渗透系数、滤膜等效孔径、复合体抗拉强度、滤膜抗拉强度等 | 200000m/组 |  |
| 2 | 土工布 | 单位质量、抗拉强度、延伸率、梯形撕破强度、顶破强度、竖向渗透系数等 | 20000m2/组 |  |
| 3 | 密封膜 | 厚度、抗拉强度、断裂伸长率、直角撕裂强度、刺破强度、渗透系数、耐静水压力等 | 20000m2/组 |  |
| 4 | 增压管 | 直径、窄条拉伸强度、扁平率、圆球顶破强力、竖向渗透系数、等效孔径等 | 50000m/组 |  |

**6.1.3** 机械设备进场后，要对其各项性能进行检查，并进行现场工艺试验，确保施工工艺参数满足设计要求，并对其进行保养。

## 6.2 工作垫层施工

**6.2.1** 可依照现场实际情况铺设一层编织土工布或20~30cm砂砾或级配碎石后作为工作垫层，保证打板施工的安全稳固，必要时进行试验验证。

**6.2.2** 铺设编织土工布时宜由一侧逐步向区内方向进行铺设，编织土工布搭接处应进行机械缝合，缝合时应采用双线缝合，搭接宽度不应少于10cm。

## 6.3 排水系统施工

**6.3.1** 排水管网铺设应严格按照设计要求进行，检验接头是否有漏气现象，进行抽真空施工时，真空泵的布置可根据现场实际情况调整。

**6.3.2** 竖向排水体施工应按下列要求进行：

1 竖向排水体常用材料为塑料排水板，塑料排水板的施工可采用机械打设法或人工插设法。当塑料排水板设计深度小于6m且场地较软时，可采用人工插设法，其他条件下均应采用机械打设法施工；

2 塑料排水板进场后首先应进行外观检测，外观检测合格后应按规定进行抽样检测；

3 塑料排水板在现场堆放时应码放整齐，并采取遮阳、防雨措施；

4 采用机械打设法施工时，打设机械应根据施工条件选择，打设能力应满足打设深度规定；

5 人工插板时塑料排水板定位偏差不得大于20mm，打设机定位偏差不得大于50mm，打设过程中套管垂直度允许偏差为1.5%；

6 施工过程中，严禁塑料排水板出现扭结、断裂和滤膜破损等情况；

7 塑料排水板宜采用整板施工。需要接长时，每根塑料排水板不得多于1个接头，且有接头的根数不得超过打设总数的10%，相邻塑料排水板不得同时出现接头；

8 塑料排水板接长时应采用芯板平搭接法，搭接长度不得小于200mm，搭接处应用线缝或专用装订针固定滤膜和芯板；

9 塑料排水板打设时回带长度不得超过500mm，且回带根数不得超过打设总数的5%；

10 塑料排水板打设过程中应逐根进行自检，并按本规程附录A.0.1的规定填写塑料排水板施工记录表。不符合验收标准的应在附近补打。

**6.3.3** 水平排水管网施工应按下列要求进行：

1 手型接头应放置在两根相邻排水板的中间位置；

2 排水板与手型接头连接时，板头应剪平整，严禁斜口板头插入手型接头；

3 排水板板头应插入手型接头的底部；

4 手型接头连接完成后，排水板、手型接头应贴近地面；

5 真空支管宜沿加固区域的短边方向布置；

6 真空支管与手型接头连接时，支管中的钢丝严禁剪断；

7 真空主管宜沿加固区域的长边方向布置，且主管两侧的支管长度不应大于50m；

8 所有接头及管网连接完成后，用木工枪钉进行固定；

9 主管布设间距不宜大于50m；

10 排水板与支管之间、支管之间、支管与主管之间应采用手型接头、四通、三通或直接接头牢固连接，连接长度不应小于50mm；

11 管网及其连接件在预压过程中应能适应地基变形。

## 6.4 密封系统施工

**6.4.1** 密封沟施工宜按下列要求进行：

1 密封沟的开挖宜沿加固区周边进行，沟底宽度宜大于40cm；

2 在含砂量高的位置铺设密封膜前宜用挖掘机开挖探摸，开挖深度达到不透水层0.5m；

3 在密封性较好的较软淤泥位置，不需要开挖压膜沟，密封膜踩至泥面以下0.2m；

4 卸载后，应挖除密封沟内土体进行换填或晾晒，然后回填密封沟并平整压实。

**6.4.2** 黏土密封墙宜为搅拌桩，搭接宽度不宜小于200mm，成桩搅拌应均匀，密封墙底应超过预压影响深度内的粉土、砂土等透气透水层，进入不透气、不透水层深度不得小于0.5m。

**6.4.3** 密封膜下宜铺设一层无纺土工布。

**6.4.4** 密封膜的尺寸每边应超出加固区边界3m~4m，当加固区内易出现滑移等不利情况时，应加大密封膜尺寸，并采用小褶皱松弛铺设，密封膜铺设层数应根据设计要求确定，但不应少于两层。

**6.4.5** 当预估不均匀沉降较大时，可按沉降程度重新划分加固区或在密封膜下加铺一层编织布。

**6.4.6** 密封膜采用热合法拼接。2块膜的搭接宽度不小于15mm，拼接时应避免热合不紧或热穿现象，有孔洞时及时修补。

**6.4.7** 密封膜铺设时风力不得大于5级，且应从上风侧开始铺设。

**6.4.8** 每铺设完成一层密封膜，应及时检查膜上孔、洞。膜上孔、洞补好后方可铺设下一层。

**6.4.9**  密封膜铺设完成后应埋入密封沟内，其上覆盖不透水的黏性土，并压实。

**6.4.10** 当采用真空联合堆载预压时，按设计要求在膜下铺设保护层。

**6.4.11** 可使用覆水围埝，其尺寸和材料应满足设计要求。

**6.4.12** 覆水围埝的尺寸和材料应满足设计要求。

**6.4.13** 抽气期间应经常检查密封膜，有破损时应及时修补。

## 6.5 真空系统施工

**6.5.1** 抽真空设备在安装前应进行调试检查，检查合格后才能使用。

**6.5.2** 真空系统可使用水气分离罐，宜沿加固区域的长边方向均匀分布在真空主管之间。水气分离罐埋设时的坡度不应过大，埋设堆填料宜用黏土、淤泥。埋设完成后，应及时进行封口处理，避免杂物进入罐体。水气分离罐的安装应平稳牢固，出膜管与抽真空设备连接前应安装密封阀和止回阀。

## 6.6 增压系统施工

**6.6.1** 增压系统设备在进场安装施工前应进行调试检查，检查合格后才能使用。

**6.6.2**  增压管施工应满足下列规定要求：

1 增压管的施工可采用机械打设法或人工插设法。当增压管设计深度小于6m且场地较软时，可采用人工插设法，其他条件下均应采用机械打设法施工；

2 打入深度应满足设计要求，人工插设增压管定位偏差不得大于20mm，机械打设增压管定位偏差不得大于50mm，垂直度偏差不大于1.5%；

3 增压管路连接接头宜选用三通接头，增压管连接接头与增压管连接牢固，连接长度不小于100mm；

4 增压管路连接时，须对所有接头进行密封处理，以保证系统的密封性；

5 增压管路连接时，不宜过紧，应留有一定的伸缩量以防后期的土体变形；

6 增压管路整体连接完成后，应及时检查每个增压单元的密封性，确保后期增压施工的有效性。

**6.6.3** 增压管路系统连接出膜装置和增压泵，连接处须做密封处理，以确保密封系统的正常工作。

## 6.7 真空加载

**6.7.1** 真空设备安装完成后，应试抽真空。试抽真空时间宜为4d~10d。期间可分期开启真空泵或水气分离装置，并检查密封膜、密封沟和压膜沟的密封情况以及真空泵的工作情况，发现问题应及时处理。

**6.7.2** 当膜下真空压力达到设计要求且连续3d恒定后，才可进入正式抽真空阶段。膜下真空压力达到设计要求之日作为计时起点。

**6.7.3** 正式抽真空阶段应定期监测并记录膜下真空压力情况。对密封系统、真空设备应进行日常维护。本阶段后期真空泵或水气分离装置的开启率应为80%以上。

**6.7.4**  正式抽真空阶段膜下真空压力应满足设计要求，当低于设计要求时，应从施工计时时间内扣除该段的时间。

**6.7.5** 正式抽真空阶段可进行密封沟和膜上覆水，覆水深度不宜超过1.2m。

## 6.8 增 压

**6.8.1** 增压时间的确定，一般在抽真空周期的中后期，周平均沉降量小于60mm时，开始增压施工。

**6.8.2** 增压采用间歇式方式，每次增压总时间控制在1.5~2.0h，增压时压力不小于0.4MPa。

**6.8.3** 增压过程中观测真空表的压力，当真空度下降10~15kPa时，停止本次增压。

**6.8.4** 增压施工一般往复循环15~20次，周平均沉降量小于35mm时，增压施工结束。

## 6.9 卸 载

**6.9.1** 真空预压卸载应满足下列条件：

1 根据实测沉降曲线，利用双曲线法、指数三点法或Asaoka法推算的固结度大于等于85%；

2 一般软土地区连续5d实测平均沉降速率小于1.0mm/d，超软土地区连续5d实测平均沉降速率小于2.0mm/d；

3 残余沉降或工后沉降值满足设计要求；

4 抽真空时间达到设计要求。

**6.9.2** 增压式真空预压施工过程中应进行施工监控和加固效果的检测，满足卸载标准时方可卸载。

# 7 监测、检测与验收

## 7.1 施工监测

**7.1.1** 施工监测内容应符合表7.1.1的规定。

表7.1.1施工监测内容

|  |  |
| --- | --- |
| 必须监测项目 | 可选监测项目 |
| 真空压力、地面沉降量、孔隙水压力值、深层沉降量 | 加固深度范围内水平位移量、地下水水位 |

注：可采用自动化监测或人工监测，并进行文件储存及归档。

**7.1.2** 施工监测项目的记录表格式可按照附录A施工记录表的有关规定执行。

**7.1.3** 监测仪器布设应在塑料排水板打设完成之后，铺设密封膜之前进行，其数量及布置应满足下列规定：

1 每个加固区膜下真空压力观测点数量不得少于5个；

2 塑料排水板打设前与铺膜后，可按10m×10m方格网量测各加固区高程，计算打板期间沉降；

3 孔隙水压力观测点数量宜为1组/5000m²~10000m²，且每个加固区不得少于3组。在加固深度范围内，每组孔隙水压力仪竖向布置间距宜为2.0m~3.0m；

4 每个加固区层的深沉降观测不得少于1组，宜布置在加固区中心处，竖向布置应根据场地地质条件进行；

5 水平位移量和水位观测点位置应距压膜沟外边缘1.0~1.5m。

**7.1.4** 各监测项目观测频率宜满足下列规定：

1 真空压力观测每2h~4h进行1次。发现真空压力有下降现象应立即查找原因，及时处理；

2 铺膜后，抽真空开始的10d内，每天进行1次地表沉降观测，其后每2d~4d观测1次。地表沉降观测应定点、定时、专人负责；

3 孔隙水压力观测频率和地表沉降观测一致；

4 其余检测项目在抽真空开始的10d内每2d监测1次，其后每3d~5d监测1次；

5 加固场地周围有建（构）筑物或地下管线时，应增加水平位移观测频率；

6 出现异常情况时应增加观测频率。

**7.1.5** 根据现场实测资料计算最终沉降量和固结度。

1 根据实测沉降资料，地基的最终沉降量可按下列公式计算：

按照指数曲线法计算时，最终沉降量（）可按下列公式计算：

  （7.1.5-1）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： |  | —— | 最终沉降量（cm）； |
|  | 、、 | —— | 加荷停止后，、、时间相应的沉降量，并取。 |

按照双曲线法计算时，最终沉降量（）可按下列公式计算：

 （7.1.5-2）

 （7.1.5-3）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： |  | —— | 最终沉降量（cm）； |
|  |  | —— | 满载时的地基沉降量（cm）； |
|  |  | —— | 加荷停止后，时间相应的沉降量（cm）； |
|  |  | —— | 根据实测值求出的参数。 |

按照Asaoka法计算时，最终沉降量（）可按下列公式计算：

 （7.1.5-4）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： |  | —— | 最终沉降量（cm）； |
|  |  | —— | 沉降值（cm）； |
|  |  | —— | 无量纲的常量。 |

2 根据实测沉降资料，地基的应变固结度可按下式计算：

  （7.1.5-5）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： |  | —— | *t*时间地基的总的应变固结度； |
|  |  | —— | *t*时间的实测沉降量（cm）。 |

3 根据实测孔隙水压力资料，地基的平均总应力固结度可按下式计算：

  （7.1.5-6）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： |  | —— | 加固过程中孔隙水压力累计消散量（kPa）； |
|  | *P* | —— | 预压荷载（kPa）； |
|  |  | —— | 加固前超静孔隙水压力（kPa）。 |

## 7.2 加固效果检测

**7.2.1** 真空预压前后应分别进行钻探、土工试验、原位测试等项目，两次检测位置相差不宜大于1.0m。当设计对地基承载力有明确要求时，应做浅层静力载荷板试验。

**7.2.2** 预压前的检测应在打设塑料排水板前进行，预压后的检测宜在卸载3~7d后进行。

**7.2.3** 每个加固区取土数量、原位测试数量及过程均应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》（GB50021）的有关规定，且检测孔每个加固区不得少于2组。

**7.2.4** 加固效果检测完成后，应出具检测报告。检测报告应对固结度、强度增长和其他检测结果进行分析，并对加固效果做出评价。

## 7.3 工程验收

**7.3.1** 加固效果检测结果满足设计技术要求后，应由施工单位申请工程验收。

**7.3.2** 工程验收应由建设单位或当地政府质监部门组织，监理单位、设计单位、监（检）测单位应派代表参加。

**7.3.3** 工程验收合格后，应由施工单位整理、提交竣工报告及相关资料。

# 附录A 施工记录表

**A. 0. 1** 塑料排水板施工记录可用表A.0.1。

表A.0.1 塑料排水板施工记录表

工程名称： 板型： 设计深度：

施工单位： 区域： 施工班组：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 施工日期 | 排号 | 行号 | 施工深度（m） | 垂直度（％） | 平面偏差（cm） | 回带长度（cm） | 外观 | 备注 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |

技术负责人： 记录人： 监理：

**A. 0. 2** 膜下真空压力现场记录可采用表A.0.2。

表A.0.2 膜下真空压力现场记录表

项目名称：

|  |  |
| --- | --- |
| 观测时间 | 真空压力（kPa） |
| 月 日 时 | 表1 | 表2 | 表3 | 表4 | **…** |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

观测记录： 校核：

**A. 0. 3** 地表沉降观测现场记录可采用表A.0.3。

表A.0.3 地表沉降观测现场记录表

项目名称：

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. 4** 孔隙水压力观测现场记录可采用表A.0.4。

表A.0.4 孔隙水压力观测现场记录表

项目名称：

仪器编号： 初始频率ƒ0= 系数k=

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 日期 | 频率（Hz） | 平均值（Hz） | 绝对孔压（kPa） | 超静孔压（kPa） | 备注 |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

观测记录： 校核：

**A. 0. 5**分层沉降观测现场记录可采用A.0.5。

表A.0.5 分层沉降观测现场记录表

项目名称： 仪器编号：

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 日期 | 管口 标高（m） | 测点 距离1（m） | 测点 距离2（m） | 测点 距离3（m） | 测点 距离4（m） | 测点 距离5（m） | **…** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

观测记录： 校核：

**A. 0. 6**侧向位移观测现场记录可采用表A.0.6。

表A.0.6 侧向位移观测现场记录表

项目名称： 仪器编号：

测试日期： 测孔编号：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 深度（m） | A+（0.01mm） | A-（0.01mm） | B+（0.01mm） | B-（0.01mm） |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

观测记录： 校核：

**A. 0. 7**水位观测现场记录可采用表A.0.7。

表A.0.7 水位观测现场记录表

项目名称：

仪器编号： 测孔编号：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 日期 | 管口标高（m） | 水面距离（m） | 水位（m） |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

观测记录： 校核：

**A. 0. 8** 增压系统压力现场记录可采用表A.0.8。

表A.0.8 增压系统压力现场记录表

项目名称：

|  |  |
| --- | --- |
| 观测时间 | 增压压力（kPa） |
| 月 日 时 | 表1 | 表2 | 表3 | 表4 | **…** |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

观测记录： 校核：

# 本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，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，采用“可”。

2 规程中指明应按其它有关标准执行时的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

**中国土木工程学会标准**

**增压式真空预压加固软土地基技术规程**

T/CCES XX－202X

条 文 说 明

**制订说明**

《增压式真空预压加固软土地基技术规程》T/CCES XXX-20XX，经中国土木工程学会XXXX年XX月XX日以XX号函文批准发布。

本规程制订过程中，编制组进行了广泛深入的调查研究，总结了我国增压式真空预压加固软土地基领域的实践经验，同时参考了相关先进技术法规、技术标准，通过试验取得了重要技术参数。

为便于广大检测、设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，本规程编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。需要注意的是，本条文说明不具备与规程正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

**目 次**

[**1 总 则………...……………………….……………………………………………………………..**](#_Toc456970966)**38**

[**3 基本规定**](#_Toc456970967)**………………………………………..……………………………………………………39**

**4 勘 察………………………………………………………………………………………………..40**

**4.2 土工试验…………………………………………………….……………………………….40**

**5 设 计………………………………………………………………………………………………..41**

[**5.2 荷 载……………………………………………………………...………………………...**](#_Toc456970970)**41**

[**5.3 真空排水系统……………………………………………………………...………………...**](#_Toc456970970)**41**

[**5.4 密封系**](#_Toc456970970)**统……………………………………………………………………………………..41**

[**5.5 真空系统……………………………………………………………………………………..**](#_Toc456970970)**42**

**5.6 增压系统……………………………………………………………………………………..42**

[**5.7 设计计算……………………………………………………………………………………..**](#_Toc456970970)**42**

[**6 施 工………………………………………………………………………………………………..**](#_Toc456970967)**44**

[**6.1 一般规定……………………………………………………………………………………..**](#_Toc456970970)**44**

[**6.3 密封系统施工………………………………………………………………………………..**](#_Toc456970970)**44**

[**7 监测、检测与验收…………………………………………………………………………………..**](#_Toc456970968)**45**

[**7.1 施工监测**](#_Toc456970970)**……………………………………………………………………………………..45**

[**7.2 加固效果检测………………………………………………………………………………..**](#_Toc456970970)**45**

[**附录A 监控记录表………………………………………………………………………………….…..**](#_Toc456970968)**46**

# 1 总 则

**1.0.1** 近几年增压式真空预压技术加固软土地基技术逐渐发展起来，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，制定规程来指导设计、施工是非常有必要的。

**1.0.2** 目前增压式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** 为保证增压式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。

**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，无隔离措施时，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2.5~5.0m；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** 影响增压式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监测结果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 勘 察

## 4.2 土工试验

**4.2.1** 土工试验主要包括以下试验项目：含水率试验、密度试验、界限含水率试验、三轴剪切试验、直接剪切试验、渗透试验、无侧限抗压强度试验、十字板剪切试验等。

**4.2.2** 当对含水率大于85%的流泥、浮泥进行烘干法含水率试验时，宜测试软土的有机质含量。有机质含量超过干土质5%的土，应将温度控制在65~70℃的恒温下烘干。

# 5 设 计

## 5.2 荷 载

**5.2.1** 对于淤泥及淤泥质土地基，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。膜上覆水的重量作为预压荷载的安全储备，不计入设计要求的荷载值。

## 5.3 真空排水系统

**5.3.1** 水平管网排水系统由真空主管、真空支管、手型接头、四通、三通或双通组成；竖向排水系统宜采用塑料排水板、砂井和袋装砂井，排水板应能承受不同深度土层水平土压力，且排水板宽度不应小于100±3mm，厚度不大于5mm。塑料排水板的技术指标应符合《水运工程塑料排水板应用技术规程》（JTS 206-1）的规定。



1—排水主管；2—排水支管；3—排水板；4—手型接头；5—增压管；6—真空膜

图5.3.1 真空排水系统示意图

## 5.4 密封系统

**5.4.2**  当软土厚度较大且含水率较高时，增压式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。

**5.4.3** 工程实践证明，当黏土密封墙的黏粒含量大于15%时，渗透系数小于1×10-5cm/s，可以起到密封的作用。

## 5.5 真空系统

**5.5.1** 每套抽真空设备可抽真空的面积为8~12万m2，每套设备配置2台真空泵，且每一个加固区不得少于2套。

**5.5.3** 水气分离罐宜采用上小下大的筒体结构，罐体整体高度宜大于2m，下半节罐体直径大于1.5m，整体体积大于2m³。下部罐体埋设于真空膜下方，上部罐体安装在真空膜以上，下部罐体底部应设置一台潜水泵。下部罐体的中上部筒壁宜开设8~10个集水口，每个集水口分别与膜下真空主管适当位置的正三通相连接，组成膜下真空系统。每个集水口负担约1000m2的真空处理面积，即每个水气分离罐宜负担8000m2~10000m2的抽真空面积。

## 5.6 增压系统

**5.6.5** 增压泵宜均匀布置在加固区四周，必要时也可适量布置在加固区中部，其单机功率宜大于7.5kW，注气增压应在施工中后期进行，以增大加固区土体的压力，破除排水板附近土体的淤堵，提高加固区土体的固结排水效率。

## 5.7 设计计算

**5.7.3** 通过对采用增压式真空预压法处理的软土地基沉降的实时监测，对比分析了本规范沉降计算结果和其它真空预压规范沉降计算结果，验证了本规范沉降计算方法对增压式真空预法处理软土地基变形预测的可行性。具体沉降计算对比分析结果如表5.7-1所示。

表5.7-1 增压式真空预压沉降计算对比

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 初始含水率*w*（%） | 增压与否 | 修正系数 | 计算沉降值（m） | 实测沉降值（m） | 误差（%） |
| 1 | 46.60 | 是（*a*=1） | 1.20 | 0.78 | 0.70 | 11.43  |
| 2 | 61.70 | 是（*a*=1） | 1.20 | 2.44 | 2.47 | -1.21  |
| 3 | 66.80 | 是（*a*=1） | 1.20 | 1.19 | 1.25 | -4.80  |
| 4 | 73.60 | 是（*a*=1） | 1.20 | 0.44 | 0.39 | 12.82  |
| 5 | 79.70 | 是（*a*=1） | 1.20 | 2.79 | 2.65 | 5.28  |
| 6 | 103.80 | 是（*a*=1） | 1.18 | 0.24 | 0.25 | -4.00  |
| 7 | 122.20 | 否（*a*=0） | 0.96 | 0.23 | 0.22 | 4.55  |
| 7 | 201.20 | 否（*a*=0） | 0.88 | 0.80 | 0.82 | -2.44  |
| 8 | 201.20 | 否（*a*=0） | 0.88 | 0.70 | 0.69 | 1.45  |
| 9 | 201.20 | 否（*a*=0） | 0.88 | 3.00 | 2.86 | 4.90  |
| 10 | 201.20 | 否（*a*=0） | 0.88 | 3.60 | 3.55 | 1.41  |

由表5.7-1可知，沉降计算结果拟合较好，本规范沉降方法计算所得沉降值与实际值之间的误差均在15%以内，均稳定在可接受范围内，验证了该方法的正确性。

# 6 施 工

## 6.1 一般规定

**6.1.2** 真空预压需要的主要设备有：抽真空设备、排水板打设机、增压泵、电焊机等。

## 6.4 密封系统施工

**6.4.1** 在含砂量高的位置铺设密封膜前宜用挖掘机开挖探摸，开挖深度达到不透水层0.5m，避免漏气影响预压区内的真空压力。

**6.4.2** 当透气透水层埋深较浅时，宜采用深挖密封沟或垂直铺膜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，需要采用密封墙。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。

**6.4.4** 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。

# 7 监测、检测与验收

## 7.1 施工监测

**7.1.1** 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。

## 7.2 加固效果检测

**7.2.1** 对于增压式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、浅层平板载荷试验。

# 附录A 监控记录表

A.0.1～A.0.8 各监控记录表可供施工及检测单位参考。