

---

**JTS**

中华人民共和国行业标准

JTS 147-2-2009

---

# 真空预压加固软土地基技术规程

Technical Specification for Vacuum Preloading Technique to  
Improve Soft Soils

2009-08-09 发布

2009-11-01 实施

---

中华人民共和国交通运输部发布

---

中华人民共和国行业标准

# 真空预压加固软土地基技术规程

**JTS 147-2-2009**

主编单位：中交天津港湾工程研究院有限公司

批准部门：中华人民共和国交通运输部

施行日期：2009年11月1日

**人民交通出版社**

2009·北京

---

## 关于发布《真空预压加固软土地基技术规程》

(JTS 147-2-2009) 的公告

2009 年第 30 号

现发布《真空预压加固软土地基技术规程》。本规程为强制性行业标准，编号为 JTS 147-2-2009，自 2009 年 11 月 1 日起施行。

本标准由我部组织中交天津港湾工程研究院有限公司等单位编制完成，由我部水运局负责管理和解释，由人民交通出版社出版发行。

特此公告

中华人民共和国交通运输部

二零零九年八月九日

---

## 制定说明

本规程是在总结 20 多年来我国水运工程应用真空预压加固软土地基实践经验的基础上,经深入调查研究和广泛征意见,并结合我国水运工程建设发展的实际编制而成。主要包括真空预压加固软土地基技术的设计、施工和加固效果检测等内容。

本规程的主编单位为中交天津港湾工程研究院有限公司,参加单位为中交第一航务工程局有限公司,中交第一航务工程勘察设计院有限公司,天津港建设和中交四航工程研究院有限公司。

真空预压加固软土地基技术是我国自主创新的成套技术。该技术 20 多年来在水运工程中得到了广泛应用,对缓解我国陆域港口陆域用地紧缺、实现资源合理利用起到了重要作用。为保障水运工程软基加固的工程质量、提高真空预压加固软土地基技术的应用水平,促进我国水运建设事业的不断发展,交通部水运司组织中交天津港湾工程研究院有限公司等单位制定本规程。

本规程共分 6 章和 3 个附录,并附条文说明。本规程编写人员分工如下:

- 1 总则:张 敬
- 2 术语:张 敬 梁爱华
- 3 基本规定:郭述军 苗中海
- 4 设计:刘爱民 郭述军 刘天韵 蔡波 孙万禾
- 5 施工:苗中海 杨京方 阚卫明 郑新亮 刘亚平 邹 立
- 6 加固效果检测:阚卫明 苗中海 孙万禾

附录 A:刘爱民 阚卫明

附录 B:杨京方 刘爱民

附录 C:郭述军 孙万禾

本规程于 2009 年 2 月 14 日通过审核,2009 年 8 月 9 日发布,自 2009 年 11 月 11 日起实施。

本规程由交通运输部水运司负责管理和解释,请各有关单位在使用过程中,将发现的问题和意见及时函告交通运输部水运司(地址:北京市建国门内大街 11 号,交通运输部水运司工程技术处,邮政编码:100736)和本规程管理组(地址:天津市河西区大沽南路 1002 号,中交天津港湾工程研究院有限公司,邮政编码:300222),以便修订时参考。

---

## 目 次

1	总则	(1)
2	术语	(2)
3	基本规定	(3)
4	设计	(4)
4.1	一般规定	(4)
4.2	荷载	(4)
4.3	排水系统	(4)
4.4	密封系统	(5)
4.5	抽真空设备	(5)
4.6	设计计算	(5)
5	施工	(10)
5.1	一般规定	(10)
5.2	排水系统	(10)
5.3	密封系统	(10)
5.4	加载	(11)
5.5	施工监控	(11)
6	加固效果检测	(13)
附录 A	监控记录表	(14)
附录 B	由现场实测资料推算沉降量及固结度	(21)
附录 C	本规程用词用语说明	(22)
附加说明	本规程主编单位、参加单位、主要起草人、总校人员	

---

和管理组	人员名单 .....	(23)
附	条文说明 .....	(25)

---

# 1 总 则

**1.0.1** 为统一真空加固软土地基工程设计、施工和检测的技术要求，有效控制工程质量，制定本规程

**1.0.2** 本规程适用于陆上真空预压加固软土地基工程的设计、施工、施工监控和加固效果检测。潮间带区域的工程可参考执行。

**1.0.3** 真空预压加固软土地基工程设计、施工、施工监控和加固效果检测，除应符合本规程的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

---

## 2 术 语

### 2.0.1 真空预压法

利用真空压力或真空联合堆载压力，使土体排水固结加固软土地基的方法。

### 2.0.2 密封系统

对加固区起密封作用的结构统称，包括密封膜、压膜沟、覆水围埝、膜上覆水和密封墙等。

### 2.0.3 压膜沟

加固区周边开挖的埋设密封膜的槽。

### 2.0.4 覆水围埝

在压膜沟位置填筑的挡住密封膜上覆水的围埝。



---

## 3 基本规定

### 3.0.1 真空预压设计、施工应具备下列主要资料：

(1) 场地的工程地质资料，包括各土层的含水率、重度、界限含水率、压缩曲线、水平与垂向固结系数、渗透系数、抗剪强度等物理力学指标和地下水位、承压水层、透水透气层及其与水源的连通情况等；

(2) 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；

(3) 工期；

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

(5) 地下管线及障碍物的分布情况。

**3.0.2** 真空预压法宜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，加固区周边应采取确保膜下真空压力满足设计要求的密封措施。对塑性指数大于 25 且含水率大于 85% 的流泥，应通过现场试验确定其适用性。

**3.0.3** 加固区边线与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保护措施。

**3.0.4** 施工图设计阶段的勘察布孔间距宜为 50~75m。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、平均应变固结度和沉降速率确定；对以地基承载力或抗滑稳定性控制的工程，卸载标准应根据地基土强度、平均应力固结度和沉降速率确定。

**3.0.6** 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。

**3.0.7** 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，并根据试验结果优化设计。

---

## 4 设计

### 4.1 一般规定

- 4.1.1 真空预压的加固范围宜大于拟建建筑物基础外缘所包围的范围。
- 4.1.2 真空预压加固范围较大时应分区加固，分区面积宜为 2 万~4 万 m<sup>2</sup>。
- 4.1.3 真空预压竖向排水通道宜穿透软土层，但不应进入下卧透水层。软土层深厚时，对以地基承载力或稳定性控制的工程，打设深度应超过危险滑动面下 3m；对以沉降控制的工程，打设深度应满足工程对地基残余沉降量的要求。
- 4.1.4 真空联合堆载预压时，堆载体的坡肩线应与真空预压边线重合。
- 4.1.5 膜上堆载应在真空预压满载 10d 后进行。
- 4.1.6 真空联合堆载预压应提出分级加载要求，加载过程中稳定性控制应满足下列要求：
- (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。
- 4.1.7 卸载时加固深度范围内地基平均总应变固结度不宜小于 80%。
- 4.1.8 设计应提出施工监控和加固效果检测要求。

### 4.2 荷载

- 4.2.1 对边界密封条件良好的淤泥、淤泥质土或黏土地基，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。
- 4.2.2 当真空预压荷载小于预压荷载设计值时，可采用真空联合堆载预压。
- 4.2.3 当残余沉降量或加固时间不满足工程要求时，可采用超载预压。

### 4.3 排水系统

- 4.3.1 水平排水垫层应具有良好的透水性和连续性，水平排水垫层宜采用含泥量不大于 5% 的中砂或粗砂，厚度不宜小于 0.4m。砂料的渗透系数不宜小于  $5 \times 10^{-3}$  cm/s，干密度不宜小于 15kN/m<sup>3</sup>。经充分论证并经试验后，中、粗砂紧缺地区可采用其它材料或其他形式的排水通道。
- 4.3.2 水平排水垫层中应设置排水滤管，滤管横向间距宜为 6~7m，纵向间距宜为 30~40m。
- 4.3.3 垂直排水系统宜采用塑料排水板，塑料排水板的技术要求应符合现行行业标准《水运工程塑料排水板应用技术规程》(JTS 206-1) 的有关规定。
- 4.3.4 塑料排水板间距宜为 0.7m~1.3m，对高灵敏度黏性土宜取大值。

## 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。单层密封膜的技术要求应符合表 4.4.1 的要求。

密封膜技术要求 表 4.4.1

最小抗拉强度 (MP)		最小断裂伸长率 (%)	最小直角撕裂强度 (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、不透气层顶面以下 0.5m。

4.4.3 当加固区边界透水透气层较深时，密封措施宜采用黏土密封墙。黏土密封墙厚度不宜小于 1.2m，拌合后墙体的黏粒含量应大于 15%，渗透系数应小于  $1 \times 10^{-5}$  cm/s。

4.4.4 真空预压密封膜上应有一定厚度的覆水。

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。

## 4.5 抽真空设备

4.5.1 抽真空设备宜采用射流泵，其单机功率不宜低于 7.5kW，在进气孔封闭状态下，其真空压力不应小于 96kPa。

4.5.2 抽真空设备宜均匀布置在加固区四周，必要时也可适量布置在加固区中部，每台设备的控制面积宜为 900~1100m<sup>2</sup>。施工后期抽真空设备开启数量应超过总数的 80%。

## 4.6 设计计算

4.6.1 地基应力固结度计算应符合下列规定。

4.6.1.1 瞬时加荷条件下，地基的平均总应力固结度、竖向平均应力固结度和径向平均应力固结度可按下列公式计算。

$$U_{rz} = 1 - (1 - U_z)(1 - U_r) \quad (4.6.1-1)$$

$$U_z = 1 - \frac{1}{1 + \gamma_{ab}} \frac{16}{\pi^2} \sum_{m=1}^{\infty} \exp[-(2m-1)^2 \frac{\pi^2}{4} T_v] \left[ \frac{\gamma_{ab}}{(2m-1)^2} - \frac{2(1-\gamma_{ab})}{(2m-1)^3 \pi} (-1)^m \right] \quad (4.6.1-2)$$

$$U_r = 1 - \exp\left(-\frac{8C_v t}{F(n)d_e^2}\right) \quad (4.6.1-3)$$

$$T_v = \frac{C_v t}{H^2} \quad (4.6.1-4)$$

$$F(n) = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln(n) - \frac{3n^2 - 1}{4n^2} \quad (4.6.1-5)$$

$$n = d_e / d_w \quad (4.6.1-6)$$

$$d_e = \alpha_1 d \quad (4.6.1-7)$$

$$d_w = \alpha_2 \frac{2(b + \delta)}{\pi} \quad (4.6.1-8)$$

- 式中  $U_{rz}$  —— 地基的平均总应力固结度；  
 $U_z$  —— 地基的竖向平均应力固结度；  
 $U_r$  —— 地基的径向平均应力固结度；  
 $\gamma_{ab}$  —— 排水面应力与不透水面应力之比，双面排水时  $\gamma_{ab} = 1$ ；  
 $T_v$  —— 时间因子；  
 $C_h$  —— 地基水平向固结系数 ( $\text{cm}^2/\text{s}$ )；  
 $t$  —— 固结时间 (s)；  
 $F(n)$  —— 井径比因子  
 $d_e$  —— 塑料排水板径向排水范围的等效直径 (cm)；  
 $C_v$  —— 地基垂向固结系数 ( $\text{cm}^2/\text{s}$ )；  
 $H$  —— 排水面至不透水面的垂直距离 (cm)，对双面排水为土层厚度之半，对单面排水为土层厚度  
 $n$  —— 井径比；  
 $d_w$  —— 塑料排水板的等效换算直径 (cm)；  
 $\alpha_1$  —— 换算系数，正三角形布置时取 1.05，正方形布置时取 1.13；  
 $d$  —— 塑料排水板中心间距 (cm)；  
 $\alpha_2$  —— 换算系数，无试验资料时可取 0.75~1.0；  
 $b$  —— 塑料排水板的宽度 (cm)；  
 $\delta$  —— 塑料排水板的厚度 (cm)。

4.6.1.2 分级加荷条件下，地基在某时间的平均总应力固结度（图 4.6.1）可按下列式计算：

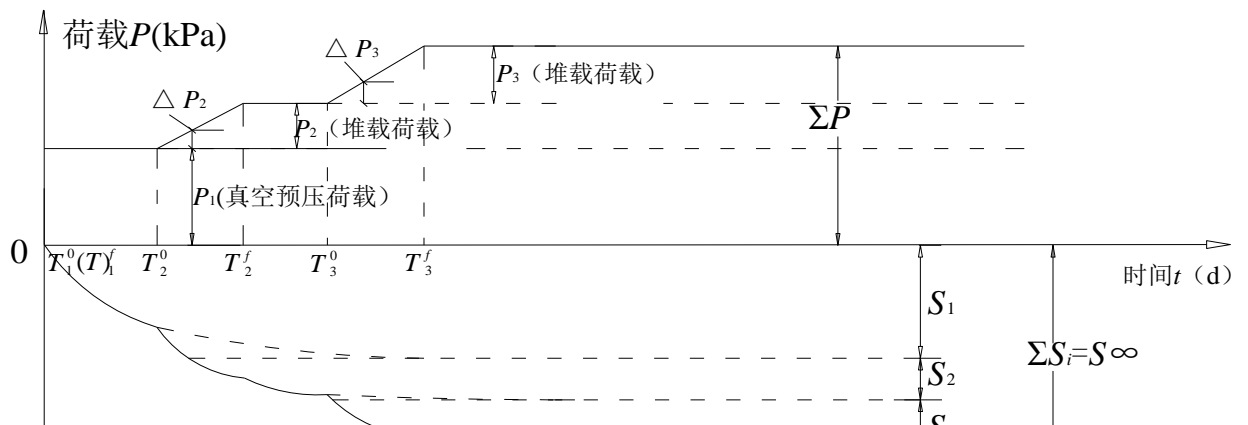


图 4.6.1 分级加荷固结过程示意图

$$U_{rz} = \sum_{i=1}^m U_{rzi(t-\frac{r_i^0-r_i^f}{2})} \frac{P_i}{\sum P_i} \quad (4.6.1-9)$$

- 式中  $U_{rz}$  —— 地基在  $t$  时间的平均总应力固结度；
- $m$  —— 加荷级数；
- $U_{rzi(t-\frac{r_i^0-r_i^f}{2})}$  —— 瞬时加荷条件下，对应于第  $i$  级荷载在时间  $t$  时的平均总应力固结度；
- $t$  —— 计算应力固结度的时间 (s)；
- $T_i^0$  —— 第  $i$  级荷载加荷的起始时间 (s)；
- $T_i^f$  —— 第  $i$  级荷载加荷的终了时间 (s)，当计算加荷期间的应力固结度时， $T_i^f$  应改为  $t$ ；
- $P_i$  —— 第  $i$  级预压荷载 (kPa)，当计算加荷期间的应力固结度时，式中  $P_i$  应改为  $\Delta P_i$ ， $\Delta P_i$  为对应于第  $i$  级荷载加荷期间  $t$  时间的荷载增量。

**4.6.1.3** 当地基土灵敏度较高、塑料排水板间距较小或塑料排水板打设深度较大时，应计算井阻与涂抹效应对地基应力固结度的影响，计算方法可参照现行行业标准《水运工程塑料排水板应用技术规程》(JTS 206-1) 的有关规定执行。

**4.6.2** 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。

$$S_{d\infty} = m_s \sum_{i=1}^{n1} \frac{e_{0i} - e_{1i}}{1 + e_{0i}} h_i \quad (4.6.2)$$

- 式中  $S_{d\infty}$  —— 地基的最终竖向沉降量设计值 (cm)；
- $m_s$  —— 经验系数，可取 1.0~1.3，荷载较大、地基较软时取高值。也可按地区经验选取
- $n1$  —— 计算压缩土层的分层数量；
- $e_{0i}$  —— 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，可取均值；
- $e_{1i}$  —— 第  $i$  土层在平均最终压力设计值作用下压缩稳定时的孔隙比设计值，可取均值；
- $h_i$  —— 第  $i$  土层厚度 (cm)，当土层厚度较大时宜划分若干小层。

**4.6.3** 沉降计算时，受压层的计算深度可取附加应力与自重应力的比值为 0.1 时的深度。

**4.6.4** 真空联合堆载预压加荷期间的整体稳定验算符合下列规定。

**4.6.4.1** 整体稳定验算宜采用圆弧滑动面 (图 4.6.4) 可按下列公式计算：

$$\gamma_0 M_{sd} \leq \frac{1}{\gamma_R} M_{Rk} \quad (4.6.4-1)$$

$$M_{sd} = \gamma_s \left[ \sum (x_R - x_i)(W_{ki} + q_{ki} b_i) \right] \quad (4.6.4-2)$$

$$M_{Rk} = \sum (h_i - z_R) \left[ (W_{ki} + q_{ki} b_i - u_{ki} b_i) \tan \varphi_{ki} + c_{ki} b_i \right] \left[ 1 + \frac{(h_i - \tan \varphi_{ki} / \gamma_R)^2}{1 + (\tan \varphi_{ki} / \gamma_R)^2} \right] \quad (4.6.4-3)$$

式中  $\gamma_0$  —— 重要性系数，安全等级为一级、二级、三级的建筑物分别取 1.1、1.0、1.0；

- $M_{sd}$  —— 作用于危险滑动面上滑动力矩的设计值 (kN·m/m);
- $\gamma_R$  —— 抗力分项系数;
- $M_{Rk}$  —— 危险滑动面上抗滑力矩的标准值 (kN·m/m);
- $\gamma_s$  —— 综合分项系数, 可取 1.0;
- $x_R, z_R$  —— 圆心的水平、垂直坐标值 (m);
- $x_i, h_i$  —— 第  $i$  土条滑动面上中点的水平、垂直坐标值 (m);
- $W_{ki}$  —— 第  $i$  土条重力标准值 (kN/m), 可取均值, 零压线以下用浮重度计算; 当有渗流时: 滑动力矩设计值  $M_{sd}$  中计算低水位以上零压线以下部分的重力标准值用饱和重度计算;
- $q_{ki}$  —— 为第  $i$  土条顶面的可变作用标准值 (kN/m<sup>2</sup>), 应按现行行业标准《港口工程荷载规范》(JTJ215) 确定;
- $b_i$  —— 第  $i$  土条宽度 (m);
- $u_{ki}$  —— 第  $i$  土条滑动面上超静孔隙水压力标准值 (kPa), 可取均值;
- $\varphi_{ki}, c_{ki}$  —— 分别为第  $i$  土条滑动面上的固结快剪内摩擦角 (°) 和黏聚力 (kPa) 标准值, 可取均值;
- $h_i'$  —— 第  $i$  土条滑动面上中点的一阶导数值;

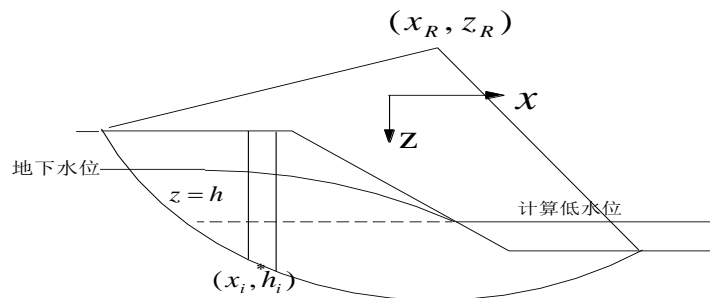


图 4.6.4 稳定计算示意图

**4.6.4.2** 当采用十字板剪强度或三轴不固结不排水剪强度等总强度时, 式 (4.6.4-2) 和式 (4.6.4-3) 中相应土体指标应采用十字板剪强度或其它总强度标准值, 超静孔隙水压力标准值取零。

**4.6.4.3** 最小抗力分项系数宜采用表 4.6.4 中的低值。

抗力分项系数

表 4.6.4

强度指标	适用条件	抗力分项系数
固结快剪	宜采用	1.3-1.5
十字板剪	宜采用	1.1-1.3
三轴不固结不排水剪	有经验时采用	根据经验取值
快剪 (直剪)	有经验时采用	根据经验取值

---

**4.6.4.4** 下一级堆载高度计算宜考虑地基土在已经施加荷载下的强度增长。

**4.6.4.5** 对正常压密的黏性土，地基土强度增量标准值可按下式计算：

$$\Delta S_{uk} = U_{\sigma} \sigma_{zk} \tan \varphi_{cq} \quad (4.6.4-4)$$

式中  $\Delta S_{uk}$  —— 地基土强度增量的标准值 (kPa)；

$U_{\sigma}$  —— 应力固结度；

$\sigma_{zk}$  —— 地基垂直附加应力标准值 (kPa)；

$\varphi_{cq}$  —— 固结快剪内摩擦角标准值 ( $^{\circ}$ )，可取均值。

**4.6.5** 对于欠固结地基，其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 施工准备应包括下列内容：

- (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 水平排水垫层施工应满足下列规定要求：

- (1) 水平排水垫层中无淤泥包和泥砂混合现象；
- (2) 水平排水垫层中无尖石和铁器等有棱角的或尖锐的硬物；
- (3) 水平排水垫层的材质和铺设质量满足设计要求；
- (4) 当加固区表层无法直接铺设水平排水垫层时，采取相应的施工措施。

#### 5.2.2 塑料排水板打设应按照现行行业标准《水运工程塑料排水板应用技术规程》(JTS 206-1)的有关规定执行。

#### 5.2.3 滤管施工应满足下列要求：

- (1) 滤管埋入水平排水垫层中间；
- (2) 滤管连接件与滤管连接牢固，连接长度不小于 100mm；
- (3) 滤管及其连接件在预压过程中能适应地基变形。

#### 5.2.4 滤管出膜处应保证密封效果。

### 5.3 密 封 系 统

#### 5.3.1 压膜沟的开挖与回填应满足下列要求：

- (1) 压膜沟深度和宽度满足设计要求；
- (2) 压膜沟内外坡平整，无砂料存在；
- (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垫层中 20cm 以上；需要接长时，按现行行业标准《水运工程塑料排水板应用技术规程》(JTS206—1)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法，搅拌桩直径不宜小于 700mm，搭接宽度不



宜小于 200mm，成桩搅拌应均匀，黏土密封墙的深度、厚度、黏粒含量和渗透系数应满足设计要求。

### 5.3.3 铺设密封膜应满足下列要求：

(1) 密封膜加工后的边长大于加固区相应边长 4m，当加固区地质复杂时，适当加长密封膜并松弛铺设；

(2) 密封膜采用热合法拼接，2 块膜的搭接宽度不小于 15mm，无热合不紧或热穿现象，有孔洞时及时修补；

(3) 铺膜时风力不大于 5 级，并从上风侧开始；

(4) 压膜沟内的密封膜紧贴内侧坡面铺平。

(5) 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。

### 5.3.4 覆水围埝的尺寸和材料应满足设计要求。

### 5.3.5 抽气期间应经常检查密封膜，有破损时应及时修补。

## 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。

### 5.4.2 试抽气时间宜为 4~10d，发现问题应及时处理。

### 5.4.3 正式抽气阶段膜下真空压力应满足设计要求。

### 5.4.4 膜上堆载施工应满足下列要求：

(1) 堆载前先在密封膜上按设计要求铺设保护层；

(2) 堆载施工时间和各级荷载大小满足设计要求。

### 5.4.5 停泵和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：

(1) 地表沉降；

(2) 膜下真空压力；

(3) 孔隙水压力；

(4) 侧向位移；

(5) 深层分层沉降；

(6) 地下水位。

### 5.5.2 施工过程中可根据需要对下列项目进行监控：

(1) 加固区外侧边桩位移；

(2) 周边建筑物的位移和沉降；

(3) 塑料排水板内部的真空压力。

### 5.5.3 施工监控项目的记录表格式可参照附录 A。

### 5.5.4 监控仪器的数量及布设应满足设计要求，监控仪器应在打设塑料排水板后，铺设密封膜前布设。

---

**5.5.5** 各监控项目的观测频率宜满足下列要求：

- (1) 膜下真空压力：2~4h 观测 1 次；
- (2) 孔隙水压力、地表沉降和塑料排水板内部真空压力在加载初期每天 1 次，中后期 2~4d 观测 1 次；
- (3) 其余监控项目在加载初期每 1~2d 观测 1 次，中后期 3~5d 观测 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对侧向位移加密观测；
- (5) 出现异常情况时加密观测。

**5.5.6** 根据现场实测资料推算最终沉降量及固结度可按附录 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和现场取土及室内试验，必要时尚应进行加固后的地基承载力检测。

**6.0.2** 加固前的地基土检测应在打设排水板前进行，加固后的检测应在卸载 3~5d 后进行。

**6.0.3** 检测报告中应对固结沉降、强度增长和其他检测结果进行分析，并对加固效果作出评价。

---

# 附录 A 监控记录表

**A.0.1** 地表沉降现场记录可采用高程测量记录表(表 A.0.1)。

高程测量记录表

表 A.0.1

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 膜下真空压力现场记录可采用膜下真空压力观测记录表（表 A.0.2）

真空压力观测记录表

表 A.0.2

工程名称:

月	日	时	膜下真空压力 (kP)				
			1#表	2#表	3#表	4#表	...

记录:

校核:

**A.0.3** 孔隙水压力和塑料排水板内部真空压力现场记录可采用孔隙水压力（塑料排水板内真空压力）观测记录表（表 A.0.3）

**孔隙水压力（塑料排水板内真空压力）观测记录表**

**表 A.0.3**

工程名称：

观测日期：


测量：

校核：

A. 0. 4 侧向位移现场记录可采用侧向位移记录表（表 A. 0. 4）

侧向位移记录表

表 A. 0. 4

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+ (0.01m)	B- (0.01m)
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				
...				

测量：

校核：

**A.0.5** 分层沉降现场记录可采用分层沉降观测记录表（表 A.0.5）

**分层沉降观测记录表**

**表 A.0.5**

工程名称:

观测日期:

接收仪编号	观测编号	现时读数 (mm)	测点编号	现时读数

测量:

校核:



A. 0. 6 水位现场记录可采用水位观测记录表（表 A. 0. 6）

水位观测记录表

表 A. 0. 6

工程名称：


测量：

校核：

A. 0. 7 边桩位移现场记录可采用边桩位移观测记录表（表 A. 0. 7）

边桩位移观测记录表

表 A. 0. 7

工程名称：

边桩编号	距基线距离（mm）			
	1#桩	2#桩	3#桩	
观测日期				

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** 地基的最终沉降量可根据实测沉降资料按下列公式推算：

$$S_t = S_0 + \frac{t}{\alpha + \beta t} \quad (\text{B.0.1-1})$$

$$S_\infty = S_0 + \frac{1}{\beta} \quad (\text{B.0.1-2})$$

式中  $S_t$  —— 满载  $t$  时间的实测沉降量  
(cm)；

$S_0$  —— 满载开始时的实测沉降量  
(cm)；

$t$  —— 满载预压时间 (s)，从满载时  
刻算起；

$S_\infty$  —— 最终沉降量 (cm)；

$\alpha$ 、 $\beta$  —— 待定系数，可根据实测资料  
确定，见图 B.0.1。

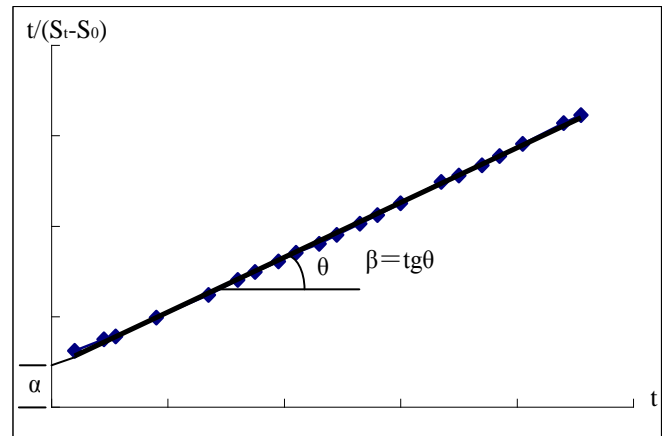


图 B.0.1  $\alpha$ 、 $\beta$  值确定示意图

**B.0.2** 地基的应变固结度可根据实测沉降资料按下式推算：

$$U'_\varepsilon = \frac{S_t}{S_\infty} \times 100\% \quad (\text{B.0.2})$$

式中  $U'_\varepsilon$  ——  $t$  时间地基应变固结度；

$S_t$  ——  $t$  时间的实测沉降量 (cm)；

$S_\infty$  —— 最终沉降量 (cm)。

**B.0.3** 地基的应力固结度可根据实测孔隙水压力资料按下式推算：

$$U_{rz} = \frac{\Delta u}{P + u_0} \times 100\% \quad (\text{B.0.3})$$

式中  $U_{rz}$  —— 地基应力固结度；

$\Delta u$  —— 预压过程中孔隙水压力消散值 (kPa)；

$P$  —— 预压荷载 (kPa)；

$u_0$  —— 预压前超静孔隙水压力 (kPa)。

---

## 附录 C 本规程用词用语、说明

**C.0.1** 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度的用词用语说明如下：

(1) 表示很严格，非这样做不可的：

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：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

(3) 对表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”或“可”；

反面词采用“不宜”。

**C.0.2** 条文中指定应按其他有关标准、规范执行时，写法为“应符合……的有关规定”或“应按……执行。”

---

## 附加说明

### 本规程主编单位、参加单位、

### 主要起草人、总校人员和管理人员名单

主编单位： 中交天津港湾工程研究院有限公司

参加单位： 中交第一航务工程局有限公司

中交第一航务工程勘察设计院有限公司

天津港建设公司

中交四航工程研究院有限公司

主要起草人： 张 敬（中交天津港湾工程研究院有限公司）

刘爱民（中交天津港湾工程研究院有限公司）

苗中海（中交天津港湾工程研究院有限公司）

（以下按姓氏笔画为序）

孙万禾（中交天津港湾工程研究院有限公司）

刘天韵（中交天津港湾工程研究院有限公司）

刘亚平（中交第一航务工程局有限公司）

邹 立（天津港建设公司）

杨京方（中交天津港湾工程研究院有限公司）

郑新亮（中交四航工程研究院有限公司）

郭述军（中交天津港湾工程研究院有限公司）

梁爱华（中交天津港湾工程研究院有限公司）

蔡 波（中交第一航务工程勘察设计院有限公司）

阚卫明（中交天津港湾工程研究院有限公司）

总校人员名单： 胡 明（交通运输部水运局）

李德春（交通运输部水运局）

吴敦龙（中交水运规划设计院有限公司）

---

李树奇（中交天津港湾工程研究院有限公司）  
叶国良（中交天津港湾工程研究院有限公司）  
刘爱民（中交天津港湾工程研究院有限公司）  
黄传志（中交天津港湾工程研究院有限公司）  
孙万禾（中交天津港湾工程研究院有限公司）  
刘天韵（中交天津港湾工程研究院有限公司）  
董 方（人民交通出版社）

管理组人员名单：刘爱民（中交天津港湾工程研究院有限公司）  
徐树华（中交天津港湾工程研究院有限公司）  
刘天韵（中交天津港湾工程研究院有限公司）

---

中华人民共和国行业标准

# 真空预压加固软土地基技术规程

**JTS 147-2-2009**

条文说明





---

## 目 次

1 总 则 .....	(28)
3 基本规定 .....	(29)
4 设 计 .....	(30)
4.1 一般规定 .....	(30)
4.2 荷载 .....	(30)
4.3 排水系统 .....	(30)
4.4 密封系统 .....	(31)
4.5 抽真空设备 .....	(31)
5 施 工 .....	(32)
5.2 排水系统 .....	(32)
5.5 施工监控 .....	(32)
6 加固效果检测 .....	(33)
附录 B 地基最终沉降量及固结度推算 .....	(34)

---

# 1 总 则

**1.0.1** 真空预压加固软土地基技术 1985 年通过国家技术鉴定，并于 1987 年取得国家发明专利，已成为我国软土地基加固的重要方法之一，20 多年来在港口、围海造陆、公路和机场跑道等工程中得到广泛的应用，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。此前，我国水运工程行业尚无真空预压加固软土地基技术的设计和施工标准，因此，制定本规程指导设计、施工是非常有必要的。

**1.0.2** 潮间带是指高潮时淹没、低潮时露出水面的滩涂区域。

---

## 3 基本规定

**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，采取密封措施常用打设黏土密封墙、开挖换填和垂直铺设密封膜穿过透水透气层等方法。对塑性指数大于 25 且含水率大于 85% 的流泥，有时采用真空预压处理后地基土强度仍然较低，需要通过现场试验确定其适用性。

**3.0.3** 大量的工程经验表明，在距真空预压边界 15m 范围内会有较为明显的沉降，20m 以外沉降和侧向位移会较小。

**3.0.7** 影响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应变固结度，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

**4.1.6** 本条参考了现行行业标准《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79-2002)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,工程实践经验表明,在真空联合堆载期间,地基的沉降速率在 30mm/d 以下较好。

**4.1.7** 真空预压需要达到的应变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。

### 4.2 荷载

**4.2.1** 对淤泥及淤泥质黏土,按照目前的施工工艺,膜下真空荷载能达到 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能到 80kPa。

### 4.3 排水系统

**4.3.1** 中砂或粗砂中的含泥量是指公称粒径不大于 0.08mm 的颗粒质量占砂料总质量的百分比。

现行的《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79-2002)中规定水平排水砂垫层的厚度不应小于 500mm,现行的中国土工合成材料工程协会主编的《塑料排水带地基设计规程》(CTAG 02-97)中规定水平排水砂垫层的厚度不应大于 400mm。天津港地区真空预压及真空联合堆载预压工程中水平排水砂垫层的厚度多采用 400mm,均取得了满意的加固效果。

针对砂资源的紧张情况,可调查结果显示,有采用排水盲沟代替砂垫层作为水平排水通道的工程实例,也取得了较理想的加固效果。

**4.3.4** 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,由于地基的扰动和涂抹等因素的影响,当塑料排水板间距小于 0.7m 时,对地基的扰动很大,塑料排水板打设费用增加较多,而加固时间的减少并不明显;当塑料排水板间距大于 1.3m 时,塑料排水板打设费用减少,而加固时间的增长明显,造成施工的总体费用增加,因此真空预压常用的塑料排水板间距为 0.7~1.3m。

---

## 4.4 密封系统

**4.4.3** 工程实践表明，当黏土密封墙的黏粒含量大于 15%时，渗透系数小于  $1 \times 10^{-5}$  cm/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；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）。

## 4.5 抽真空设备

**4.5.1** 目前抽真空设备种类较多，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 96KPa 的真空压力，但是在有水气补充的情况下，抽真空效果还不理想，本条推荐采用功率不低于 7.5kW 的抽真空设备。

**4.5.2** 每台抽真空设备控制面积是以功率不低于 7.5kW 考虑的，根据工程经验，抽真空设备的功率低于 7.5kW 时，加固效果不易保证。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

### 5.2 排 水 系 统

**5.2.1** 真空预压法是将密封膜铺在砂垫层上抽真空，而单层密封膜厚度一般只有0.12~0.16mm，因此，如砂垫层中混有尖石和铁器等利刃硬物，往往很容易将密封膜扎破，造成真空压力的损失。有些孔洞微小，发现和粘补均很困难，往往是工程质量的一个隐患。

### 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 对真空预压处理的软土地基，现场原位强度检测的内容主要为十字板剪切试验检测和现场静力触探检测等。

---

## 附录 B 地基最终沉降量及固结度推算

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，本条推荐的是经验双曲线法，它是将满载后的所有观测结果都参与统计分析，剔除异常点后求得 $\alpha$ 、 $\beta$ ，从而求得最终沉降量。