
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

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

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礎上，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 m²。
- 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 5×10^{-3} cm/s，干密度不宜小于 15kN/m³。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 1×10^{-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 900~1100m²。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。

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

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

$$U_r = 1$$

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

$$F(n) = \frac{C_k t}{H^2} \ln\left(\frac{3n^2 - 1}{n}\right) \quad (4.6.1-2)$$

$$n = d_e / d_w \quad (4.6.1-3)$$

$$\quad (4.6.1-4)$$

$$\quad (4.6.1-5)$$

$$\quad (4.6.1-6)$$

$$d_e = C_1 d \quad (4.6.1-7)$$

$$d_w = C_2 \frac{2(b+\delta)}{\pi} \quad (4.6.1-8)$$

式中 U_{rz} —— 地基的平均总应力固结度；
 U —— 地基的竖向平均应力固结度；
 U^z —— 地基的径向平均应力固结度；
 y_{ab} —— 排水面应力与不透水面应力之比，双面排水时 $y_{ab} = 1$ ；

T_v —— 时间因子；

C_h —— 地基水平向固结系数 (cm^2/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

H —— 地基垂向固结系数 (cm^2/s)；

—— 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)；

C_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)；

C_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)；

δ —— 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：



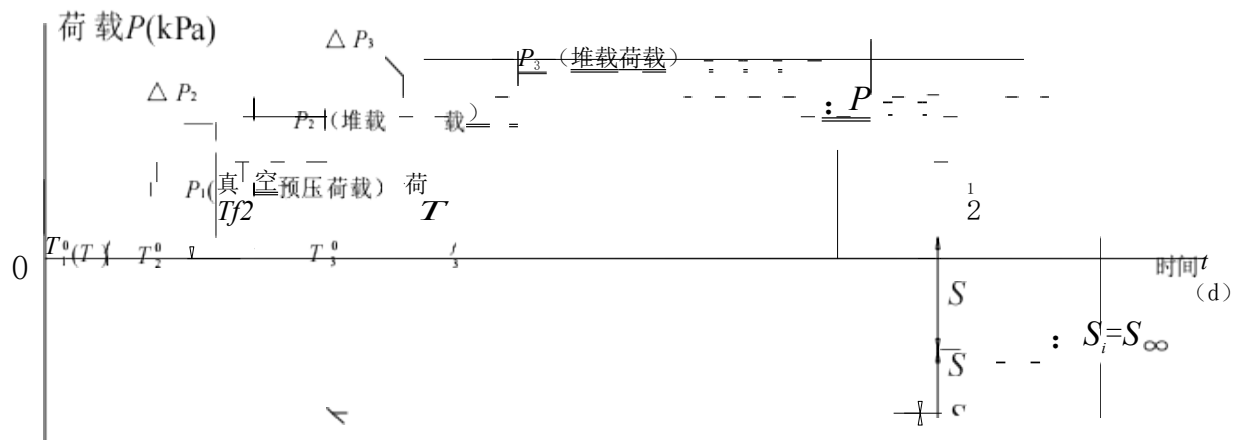


图 4.6.1 分级加荷固结过程示意图

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

式中 U_{rz} —— 地基在 t 时间的平均总应力固结度；

m —— 加荷级数；

$U_{rz(i-\frac{t-t_i^0}{2})}$ —— 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 ΔP_i ， ΔP_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。 (4.6.2)

式中 $S_{d(s)}$ —— 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

n_1 —— 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：

$$Y_0 M_{sd} < \frac{1}{\gamma_R} M_{Rk}$$

$$M_{sd} = Y_s [\sum (x_R - x_i)(W_{ki} + q_{ki}b_i)] \quad (4.6.4-1)$$

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

$$(4.6.4-3)$$

式中 Y_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);
 Y_R —— 抗力分项系数;
 M —— 抗力分项系数;
 Y_s^{Rk} —— 危险滑动面上抗滑力矩的标准值 (kN·m/m);
 $x_R、z_R$ —— 综合分项系数, 可取 1.0;
 $x_i、h_i$ —— 圆心的水平、垂直坐标值 (m);
 W_{ki} —— 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/m²), 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} —— 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;
 $\varphi_{ki}、c_{ki}$ —— 第 i 土条滑动面上中点的二阶导数值;
 h_i

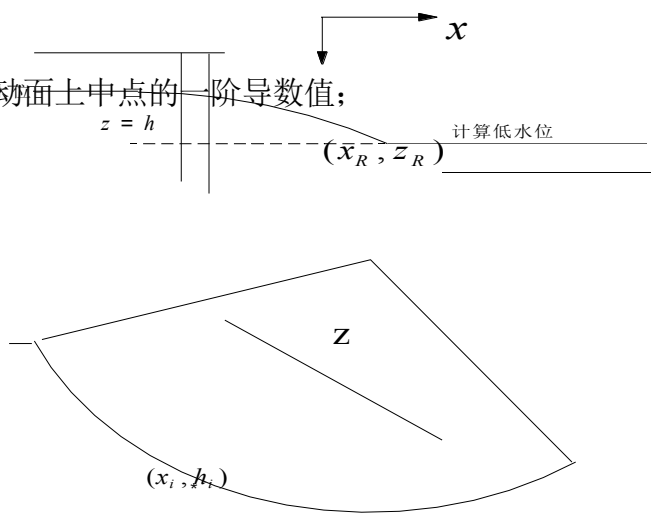


图 4.6.4 稳定计算示意图

4.6.4.2

4.6.4.3

式 (4.6.4-3)

准值取零。

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，超静孔隙水压力标度时，式（4.6.4-2）和式（4.6.4-3）中的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：

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

式中 ΔS_{uk} —— 地基土强度增量的标准值 (kPa)；

U_{σ} —— 应力固结度；

σ_{zk} —— 地基垂直附加应力标准值 (kPa)；

Q_{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

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/808101007045006065>