

塑料板排水预压法加固软基效果分析

张雅丽 王志权

(深圳市南油开发建设有限公司, 广东 深圳 518054)

摘要: 根据欲加固软基特点, 采用塑料板排水预压法对其进行加固处理, 通过合理安排施工顺序、布设排水系统和监测系统, 现场监测及检测资料分析证明软基排水固结效果良好, 达到了设计要求。

关键词: 软基; 排水预压法; 塑料板; 固结

中图分类号: TU 413.5 **文献标识码:** A

Analysis of effect of consolidation of soft ground with plastic wick drain and preloading method

ZHANG Ya-li, WANG Zhi-quan

(Shenzhen Nanyou Development and Construction Co.Ltd., Shenzhen 518054, China)

Abstract: Plastic wick drain and preloading method is adopted to consolidate the soft ground. The construction procedure is reasonably planned; and the systems of drainage and monitor are reasonably arranged. Through analyzing the results of monitoring and checking data, it is shown that the effect of consolidation of soft ground is excellent; and the design standard is reached.

Key words: soft ground; method of drainage and preloading; plastic wick; consolidation

1 引言

排水预压法是加固软基的常用方法, 通过加载使软基产生附加应力并通过排水通道排出孔隙水。工程上常采用堆载预压和真空预压两种方法产生附加应力, 通过布设砂井或塑料排水板及铺设砂垫层分别形成竖向和水平排水体。其中, 作为新型排水材料的塑料排水板因性能好、质量可靠、施工方便、工效高、工程费用低等优点已逐渐取代砂井, 得到广泛应用。

塑料排水板由聚氯乙烯制成透水芯带、外套无纺布制成, 其关键参数是纵向通水量和滤膜的强度; 排水机理与袋装砂井基本相同, 固结效果主要受涂抹层影响, 井阻影响相对较小。国内大量室内及现场试验研究结果表明, 国内常用的断面为 100 mm×4 mm 的塑料排水板, 可折合成 7 cm 直径的砂井进行设计。排水板等效换算直径 d_w 也可用下式计算:

$$d_w = 2a(b + \delta) / \pi \quad (1)$$

式中 d_w 为塑料排水板当量直径; a 为换算系数,

无试验资料时可取 $a=0.75\sim1.00$; b 为塑料排水板宽度 (mm); δ 为塑料排水板厚度 (mm)。

每根排水板的有效影响圆直径 d_e 与其布置形式有关: 正三角形布置时, $d_e=1.05d$; 正四边形布置时, $d_e=1.13d$ (d 为插塑料排水板水平间距)^[1]。

2 工程概况

314 地块软基位于深圳南油开发区前海月亮湾片区, 总面积为 $27\times10^4\text{ m}^2$, 在原海相淤泥面上吹填建港废弃淤泥形成了陆域, 经过近半年的晾晒, 表面形成 0.1~0.3m 厚的硬壳淤泥层。为配合项目开发, 需在吹填淤泥地块上加固软基 $8\times10^4\text{ m}^2$, 并要求在 8 个月内完工。

2.1 软基特性

整个加固层由吹填淤泥硬壳层、吹填淤泥层和原海相淤泥层组成, 各层特性如下:

(1) 吹填淤泥硬壳层: 由吹填淤泥静态落淤形成, 灰色, 表面呈龟裂状, 深 0.1~0.3 m, 粒度较细, 含水量由地表向下递增, 欠固结、饱和、高压缩性。

(2) 吹填淤泥层：呈灰色，可流动、欠固结，不均匀，超饱和。含有砂粒或砂团和含有贝壳，有腐臭味和滑腻感，属高灵敏性土。厚 1.0~4.0 m，平均厚 2.7 m。

(3) 原海相淤泥层：呈深灰、灰黑色，饱和、流塑~软塑，具有滑腻感和粘滞感。含贝壳，有腥臭味，含水量大，压缩性高，抗剪强度低，属高灵敏性，且呈欠固结状态，平均层厚 10.6 m。各淤泥层物理力学性质见表 1。

2.2 工程特点

(1) 施工难度大 加固淤泥层厚 13.6 m，且吹填淤泥含水量为 104.6 %、孔隙比为 2.824，超饱和、高孔隙比、高压缩性、高灵敏性，属于超软基，施

工难度大。

(2) 加固区边界条件不利 待处理软基为 314 地块部分区域，两面邻淤泥，两面邻开山石围堰，排水通道受到较大限制，因此加固方法及施工技术必须充分考虑软弱边界的影响，防止边界滑移。

(3) 施工期短 工期为 8 个月，也就是要求淤泥在短时间内排出大量的孔隙水，压缩固结。

2.3 设计要求

加固处理后，竣工面标高为黄海高程+4.2 m，淤泥平均固结度达到 90 % 以上，在均布荷载作用下，覆盖层与淤泥层交界处的承载力不低于 80 kPa，淤泥层剩余沉降量不超过 200 mm。

表 1 加固前后淤泥层物理力学性质
Table 1 The physical and mechanical properties of sludges before and after consolidation

状态	淤泥层类型	天然含水量 $\omega / (\%)$	重度 $\gamma / \text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	孔隙比 e	液限 $W_L / (\%)$	塑限 $W_P / (\%)$	塑性指数 I_P	液性指数 I_L	压缩模量 E_s / MPa	压缩系数 a / MPa^{-1}	固结系数 $C_v / \text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
加固前	吹淤硬壳层	63.2	16.3	1.736	51.7	31.8	19.9	1.300	2.538	1.438	
	吹填淤泥	104.6	14.1	2.824	50.0	32.7	17.3	3.789	2.084	1.915	
	原状海相淤泥	80.0	15.5	2.060	51.3		22.5	2.610	1.800	1.701	5.18×10^{-4}
加固后	淤泥层	55.0	16.7	1.554	50.0	29.7	20.3	1.360	2.270	1.076	6.10×10^{-4}

3 加固技术

(1) 加固方案 根据上述软基特性和工程特点，采用常规方法处理该软基难以达到预期效果，经过详细的技术论证和方案比较，确定采用塑料板排水超载预压法加固。施工工序为：填砂垫层→插塑料排水板→设置集水井→埋设监测仪器及观测→填土碾压→超载预压砂→卸载→效果检验→验收。根据监测情况控制加载速率，在保证施工期间内地基稳定的条件下，尽量缩短各施工工序的时间，增加满载后的排水固结时间，加快固结，以达到良好的处理效果。

(2) 质量保证措施^[2] 在吹填淤泥面上铺填含泥量小于 5 % 的中粗砂至+3.3 m 标高，作为水平排水体，填砂厚度均大于 50 cm，以保证横向排水通畅。

根据淤泥厚度选用 SPB—II 型塑料排水板（断面为 100 mm×4 mm）作为竖向排水体，其特性参数如下：纵向通水量为 35 cm³/s，滤膜渗透系数为 18×10⁻⁴ cm/s，滤膜抗拉强度为 32 N/cm(干态)、22 N/cm(湿态)，符合《塑料排水板质量检验标准》

(JTJ/T257)；采用正三角形布置，水平间距 1.1 m ($d_e = 1.155 \text{ m}$, $d_w = 66.24 \text{ mm}$, $\alpha = 1$)，打插深度按进入淤泥层控制，严禁出现回带现象；采用 8 台对地基扰动较小的液压式履带插板机打插，施工满足《塑料排水板施工规程》(JTJ/256) 要求，塑料排水板平均打插深度为 16.07 m，插板范围超出软基处理范围。

根据分层总和法预估插塑料板后的淤泥层最终沉降量为 2.8 m，设计填压实土至+6.8 m 标高，分层填土，层厚控制在 50 cm 以内，保证填土层密实度达到 90% 以上；堆预压砂至+10.13 m 标高（高 3.33 m），分 3 层施工，预压范围超出软基处理范围。

场地均布 $\phi 800$ 混凝土管集水井 15 口，在填土、堆载和稳载期间，每口井持续抽水，场地无渗水、积水现象，保证了填土顺利施工。

监测以浅层沉降和侧向位移为主，适当设置了分层沉降、孔隙水压力、地下水位监测项目，各监测孔（标）基本上均布于整个场区。根据监测资料控制和指导施工，及时防止了边坡滑移，保证了地基和边坡稳定，并以此分析软基加固效果。

4 加固效果分析

4.1 监测资料分析

在淤泥层和砂垫层交界面埋设 13 个浅层沉降观测点, 沉降量为 1 661~2 716 mm, 观测期为 9 个月, 沉降差异之大的主要原因是淤泥厚度、性质、荷载及埋设时间等差异引起的。图 1 为典型的荷载-浅层沉降-时间关系曲线, 从图中可以看出, 加载与浅层沉降的增加有明显的对应关系。由实测资料根据指数曲线拟合法推算出淤泥层最终沉降量为 1 699~2 735 mm, 由此计算其固结度为 90.6%~99.8%(>90%)、剩余沉降量为 4~155 mm, 均达到了设计要求。

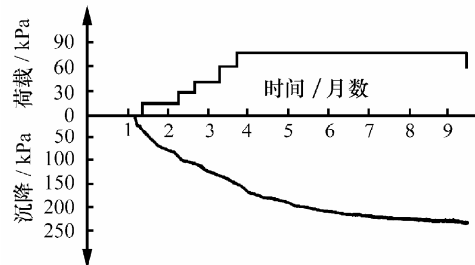


图 1 荷载-浅层沉降-时间关系曲线
Fig.1 Load-surface subsidence-time relation curve

场区东侧和南侧边界分别设置了 3 组、2 组测斜管观测孔。东侧边界的侧向位移以向东挤出为主, 主要发生在深度-0.14~3.45 m 之间, 最大位移 528.66 mm, 南侧边界的侧向位移以向南挤出为主, 主要发生在深度-0.64~-2.73 m 之间, 最大位移 204.01 mm, 均随着深度增加而逐渐减少。侧向位移主要发生于表层淤泥, 深层淤泥的侧向位移量较小, 稳载后明显趋缓; 在整个堆载预压过程中, 侧向位移量均在正常范围内, 场地稳定。

场区设置了 1 组 (4 个) 分层沉降观测点, 由上至下分层标高为 0.358 m, -2.642 m, -5.642 m, -8.642 m, 对应沉降量分别为 2 047 mm, 1 521 mm, 916 mm, 455 mm, 单位压缩量分别为 175 mm/m, 202 mm/m, 154 mm/m, 即加固层中上部单位压缩量较大, 说明其排水固结效果较好。图 2 和图 3 分别为孔隙水压力和地下水位的变化曲线。从图中可以看出, 孔隙水压力和地下水位随荷载的增加而增大, 加预压荷载完成时均达到其峰值, 加载停止后, 孔隙水压力逐渐消散、地下水位逐渐下降, 说明由砂垫层、塑料排水板和集水井构成的排水系统效果明显。

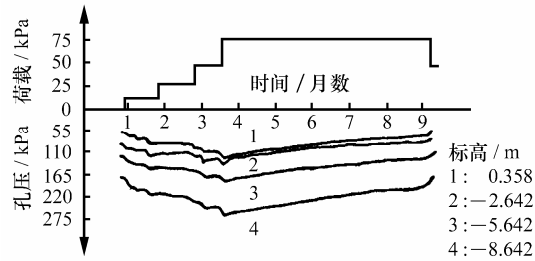


图 2 荷载-孔隙水压力-时间关系曲线
Fig.2 Load-pore water pressure-time relation curve

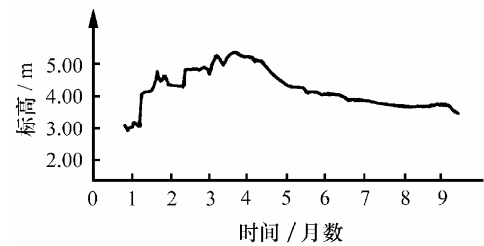


图 3 地下水位-时间关系曲线
Fig.3 Groundwater table-time relation curve

4.2 效果检验结果分析

根据监测资料, 对淤泥固结稳定后进行了效果检验工作: 包括静力触探、十字板剪切试验、标贯试验和室内土工试验。加固后淤泥层的物理力学指标见表 1。对比分析表中数据可知, 加固后的淤泥层与加固前原状海相淤泥相比, 其重力密度、压缩模量、固结系数分别提高了 7.8 %, 26.1 %, 17.8 %; 而含水量、孔隙比、压缩系数分别降低了 31.3%, 24.6%, 36.7%。由表 2 可知, 软基处理后吹填淤泥 C_u 及 C'_u 较处理前分别提高了 502%和 455%; 淤泥

表 2 软基处理前后淤泥层静力触探试验及十字板剪切试验数据对比表
Table 2. Data of experiments of static exploration and shear of sludges before and after consolidation

状态	淤泥类型	十字板剪切试验			静力触探试验		
		C_u	C'_u	S_t	锥头阻力 q_c /kPa	侧壁阻力 f_s /kPa	$\frac{f_s}{q_c}$ (%)
加固前	吹填淤泥	3.10	1.40	2.40	95	2.51	2.64
	原状海相淤泥	6.55	1.80	3.50	195	3.22	1.65
加固后	吹填淤泥	18.68	7.77	2.90			
	原状海相淤泥	27.80	13.03	2.42	520	6.57	1.26

页

层静力触探锥头阻力 (q_c)、侧壁阻力 (f_s) 较原海相淤泥分别提高了 166.7%, 104.0%。根据静力触探试验指标确定淤泥层承载力为 60~110 kPa; 根据十字板剪切试验结果确定的淤泥层承载力为 90~108 kPa, 根据标贯试验和室内试验指标确定淤泥层的承载力为 60~100 kPa, 结合南油前海同类工程经验, 可推断加固后淤泥层物理力学性质有明显改善, 地基承载力达到 80 kPa。

由以上分析结果可知, 该软基经过塑料板排水预压法处理后, 淤泥层的物理力学性质有明显提高和改善, 固结度及地基承载力均达到了设计要求, 软基处理效果良好。

5 结 语

(1) 采用塑料板排水预压法快速加固较厚淤泥

层在技术上是可行的, 并且加固效果良好。

(2) 合理安排施工顺序及布设排水通道、及时抽排水, 使软基的大量孔隙水得以顺利排出, 可有效保证软基在短期内排水固结。

(3) 合理布置监测系统、及时观测, 并根据监测资料动态控制和指导施工, 从而保证了施工期间软基和边坡稳定。

参 考 文 献

- [1] 《地基处理手册》编写委员会. 地基处理手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988.
- [2] 张雅丽. 深圳市南油开发区软基处理工程质量保证措施探讨[J]. 武汉理工大学学报, 2001, 23 (11): 66—68.