

文章编号: 1000-7598-(2006) 增-0661-04

真空联合堆载预压处理深厚软土地基的 施工与监测方法研究

崔绍炎, 陆凤华

(江苏盐城水利建设有限公司, 盐城 224002)

摘 要: 对于深厚软土地基, 采用真空联合堆载是一个经济合理的地基加固方法, 但如果施工方法不当会影响加固效果。在堆载过程中应加强现场监测, 以对地基的加固效果和施工期地基的安全进行监测。结合某工程真空联合堆载预压处理软土地基, 对真空联合堆载预压施工与监测方法进行研究, 其成果可供类似工程参考。

关 键 词: 真空联合堆载预压; 施工; 现场监测

中图分类号: TV223

文献标识码: A

Research on construction and monitoring of deep soft foundation treatment by vacuum-surchage preloading

CUI Shao-yan, LU Feng-hua

(Yancheng Water Conservancy Construction Co. Ltd., Yancheng, 224002, China)

Abstract: Vacuum-surchage preloading is an economical and reasonable method for reinforcing the deep soft foundation. Improper construction practice will result in bad effect during the process of vacuum-surchage preloading. So it is necessary to strengthen monitoring of the effect and safety of soft deep foundation reinforcement during all the construction time. A certain project with soft foundation treatment by vacuum-surchage preloading is described in detail. The methods of construction and monitoring can be for reference to other projects.

Key words: vacuum-surchage preloading; construction; in-situ monitoring

1 引 言

在工程实践中处理深厚软土地基一般采用桩基础以确保地基的加固效果, 但采用桩基础工程造价将明显增加, 有必要考虑其他一些经济合理的地基处理方法, 以满足工程要求。真空联合堆载预压是在工程实践中探索出来的一个经济合理的深厚软土地基加固方法, 该方法的重要特点是加固影响深度大, 加固后地基沉降量小, 一般情况下能够满足工程使用要求, 但在采用真空联合堆载预压法处理深厚软土地基的过程中施工工艺要求与方法是否恰当, 是关系地基处理好坏的关键因素, 而在施工中采用相应的地基监测与检测方法是评判地基加固效果的重要手段。为此, 本文结合某工程对真空联合堆载

预压施工工艺与方法以及地基施工监测与检测方法进行研究与介绍。

某泵站工程地基为深厚淤土层, 地基土质具有含水率高、压缩性大、强度低、淤土厚度深的特点, 地层由上往下为素填土、重粉质砂壤土、软塑黏土、淤泥质黏土、淤泥质粉质黏土、极细砂、淤泥质粉质黏土、壤土, 工程地基属不良的软弱地基类型, 主要软土层埋藏浅、厚度大, 软土层累计厚度约 33.6 m, 为深厚软土地基, 采用真空堆载联合预压地基处理方案。

2 施工工艺要求与方法

2.1 材料与施工控制标准

针对本工程的加固深度, 确定采用 C 型塑料排

水板^[1], 梅花型布置, 相距 1.0 m, 打设深度至—23.0 m。砂垫层采用中粗砂, 含泥量小于 5%, 砂垫层的渗透系数大于 1×10^{-2} cm/s, 主管为 $\Phi 82.9$ mm 的 PVC 管, 壁厚大于 2.7 mm; 支滤管为 $\Phi 55$ mm 的 PVC 管, 壁厚大于 2.3 mm, 该管型能承受足够的径向真空压力而不变形。

由于最大堆土高度为 9.5 m, 堆载速率控制边桩水平位移小于 5 mm/d, 基底中心沉降速率小于 15 mm/d。控制在边桩水平位移 < 5 mm/d, 基底中心点沉降速率小于 15 mm/d, 孔隙水压力不超过预压荷载产生应力的 60%, 膜下真空度要大于 80 kPa。堆载分层均匀, 严禁局部堆升。卸载前地基平均固结度达 90% 以上, 连续 7 d 日平均沉降量不大于 2 mm。

2.2 施工过程与方法

真空联合堆载预压处理深厚地基施工主要工序为: 清理场地、测量放样、铺设砂垫层、施打塑料排水板、监测设施安装、密封膜和真空排水系统安装、抽真空、土方堆载、联合预压及观测试验等。真空联合预压区域从基底向两侧分别外延 11.0 m, 真空膜的平面范围大于排水板区域为 3.0 m, 其布置见图 1。

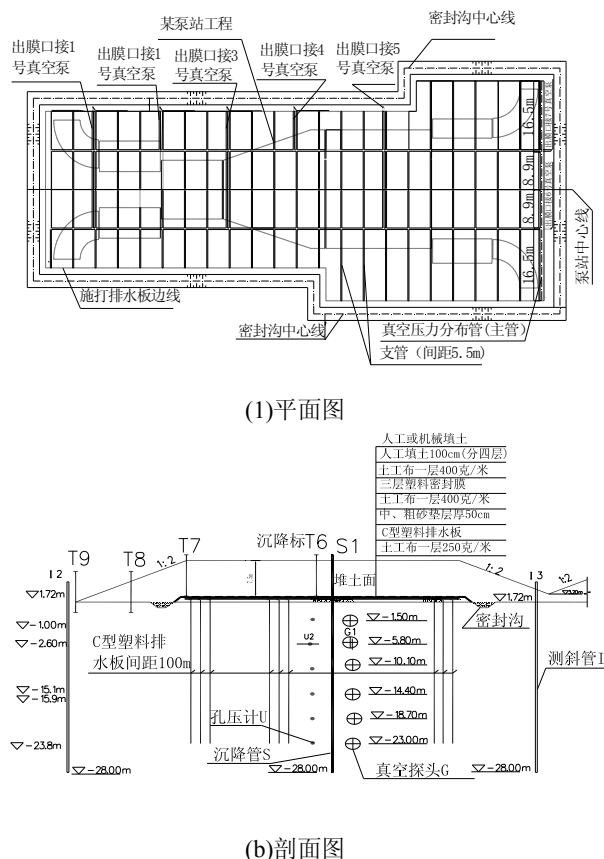


图 1 某工程真空-堆载联合预压布置图
Fig.1 Arrangement plan of some project by vacuum-surcharge preloading

(1) 场地平整与砂垫层

首先对原场地进行平整, 然后铺设砂垫层, 先铺设渗水土工布, 然后铺设 20 cm 厚的砂垫层, 在塑料排水板施打结束、安装真空排水管道后, 再铺设 30 cm 厚的砂垫层。砂垫层范围要超出塑料排水板至密封沟。

(2) 塑料排水板施工

塑料排水板施打时塑料排水板宽度方向与水流向垂直, 塑料排水板伸进砂垫层为 20 cm 后折平 30 cm 长。施工过程中要及时检查所打设排水板的长度与回带情况, 若回带超 50 cm, 则在该板位旁 45 cm 内重新插入补打一根。回带排水板根数不超过施打总根数的 5%。在打设排水板时要检查每根排水板的施工情况, 符合验收标准后方可进行下一根排水板施工。剪断排水板前, 应及时用砂垫层砂料仔细填满打设在排水板周围形成的孔洞。施工时要检查、记录塑料排水板施工数据, 包括深度、板位误差、垂直度、外露长度、回带及补打等情况^[2]。

(3) 真空预压系统施工

埋于砂垫层中的管道分主管和滤管(支管)两种, 主管与支管均为“鱼刺”式布置, 滤管上先钻 $\Phi 6$ mm $\times$ 50 mm 的小孔, 外包一层 400 g/m² 无纺土工布滤膜, 以防杂物堵塞孔、管。主管、滤管的连接用螺纹钢吸水橡胶软管, 主管与滤管之间用三通或四通联接。滤管的末端用木塞或 PVC 圆板封死。滤管排距为 5.5 m, 最外层滤管距场地边的距离为 3 m。

(4) 主管的出膜装置

主管的出膜装置是内外管道的连接口, 它是在主管的出口部位联结一个带有法兰盘的弯曲钢管进行密封, 用橡胶垫圈将真空膜内外的管道连接起来。

(5) 抽真空装置

抽真空装置由高压射流泵、射流喷嘴、循环水箱组成, 安装时要处理好水箱与出膜口的位置、水箱与泵的位置。出膜口与水箱之间的钢丝胶管应长一些, 因为地基沉降和上土对此都有直接影响。

(6) 铺膜下保护土工布

待埋设完真空表测头及其他观测仪器后, 在加固区内铺设一层土工布, 土工布用手提式缝机缝好, 搭接宽度为 15 cm, 土工布铺设范围至密封沟旁的黄砂垫层。然后三层真空膜铺放覆盖整个预压区, 并将膜体四周埋入密封沟内。

(7) 挖填密封沟

为确保密封性, 将密封沟挖深 3.5 m (至淤土层), 坡比小于 1:1, 挖密封沟时清除石块或其它

植物根须等，采用挖掘机结合人工随挖随填，用淤泥或黏土回填密实。

(8) 抽真空及真空维持

开始抽真空，抽真空后加固区内真空度会持续上升，当膜下真空度大于等于 80 kPa 时，即进入正常真空预压阶段。

(9) 铺膜面保护土工布

在膜下真空度稳定在 80 kPa 以上，膜面上的砂眼等漏气点（如有）均修补好以后，铺设一层膜面保护土工布，以保证后期堆载过程中膜面密封良好。

(10) 土方堆载

按设计要求抽真空后膜下真空度稳定在 80 kPa，10 d 后即可进入堆土加载阶段。开始 1 m 厚土料要经过严格筛选，用人工铺填以防止机械破坏密封膜。待填土厚度大于 1 m 后用机械运土压实填筑。堆土速率以现场监测为准，并严格按相关标准进行控制。

(11) 填筑至设计标高时，整个加固区进入真空堆载联合预压阶段。真空预压加固区膜下真空度达 80 kPa 以上的条件下连续抽真空，地基固结度 $U_t \geq 90\%$ 时，连续 7 d 平均沉降量小于等于 2 mm/d 时，即可停泵卸荷。

3 地基监测与检测方法

为监控施工质量、评价加固效果以及控制卸载标准等，必须进行相关的原位监测与现场试验。包括：地表沉降、孔隙水压力、膜下真空度、排水板中真空度、土中真空度、分层沉降、加固前后钻孔取土样、加固前后现场十字板剪切试验、载荷板试验以及土体深层水平位移等。由监测与试验结果可以分析地基加固前后的土体的强度变化特性、地基固结度以及加固后地基承载力特征情况。

3.1 地基监测与检测内容^[3]

(1) 地表沉降。地表沉降标，对真空预压施工起监控作用，并对实际固结度的计算和卸载标准提供最可靠的数据，要求沉降标设置点地面平整，沉降杆不能晃动。临近预压期结束时，根据沉降观测资料计算固结度，为真空卸载提供依据。

(2) 膜下真空度监测。采用膜下真空度测头监测膜下真空度的变化情况。测头的位置不应靠近滤管，应尽量布置在滤管组成的网格中心位置，并置于砂垫层内。同时在地基土体中和排水板中也布置真空度测头，监控真空度在排水体和地基中的传递变化情况。

(3) 孔隙水压力监测。在每个监测单元区域内沿地基不同深度布置一组振弦式孔隙水压力计，监控孔隙水的变化情况，进而推算地基固结度，各个孔隙水压力计分孔埋设，电缆线分别穿过密封膜。

(4) 土体分层沉降监测。真空预压每小区布置 1 根分层沉降管，以监测地基各土层在真空荷载作用下的压缩量。

(5) 加固前后钻孔取土。在加固前、后分别钻孔取土样，在室内对土样进行含水率、密度、孔隙比、压缩性指标等试验。钻孔取样时应尽量避免扰动土样，根据试验结果，分析土体加固前后物理力学性质的变化和土体强度与压缩性的改善程度。

(6) 十字板剪切试验。在软土地基加固前后进行十字板试验对加固土体的强度特性进行研究，它比较准确直观地反映土体强度的变化，是判断土体强度增长最常用的方法。其试验方法是在砂垫层铺设前，在堆土中心线上贴孔进行十字板剪切试验，工程卸载前在同地再进行十字板剪切试验。

(7) 土体深层水平位移。在不同位置布置土体深层水平位移管，监测地基在填筑施工过程中的水平位移情况，根据位移速率和土体变形状况来指导施工，施工过程中有失稳迹象及时报警，确保地基稳定。

(8) 地基载荷板试验。软土地基加固后进行载荷板试验，平板面积取 1.0 m×1.0 m²。由荷载曲线按荷载板宽度推算加固后的地基承载力。

3.2 施工监测频率

为了确保地基在施工期的安全及后期对地基加固效果的评判，本工程在真空联合堆载预压地基在加载期、恒载预压期以及卸载结束后的监测频率见表 1。

表 1 真空堆载联合预压地基施工监测频率表
Table 1 Frequency chart of monitoring foundation construction by vacuum-surcharge preloading

时段	监测项目				
	真空度	表面沉降	测斜	孔隙水压力	分层沉降
加载期不填土 / 次	1	1	1	1	1
加载期填土 / (次/天)	1	1	1	1	1
恒载预压 / (次/7 天)	1	1	1	1	1
卸载后	卸载后回弹观测 1 次/天，至全部卸载后 7 ~10 d				

4 结 语

本文对采用真空联合堆载预压处理深厚软土地

基的施工工艺、方法要求与控制以及地基的监测与检测方法进行系统研究介绍,成果可应用到类似工程实践中。

采用全文方法已成功应用到某泵站的深厚软土地基处理工程实践中,监测与检测结果表明,地基加固效果良好,能够满足工程使用要求。

本工程实践表明,采用真空联合堆载预压进行深厚软土地基处理时,随土层深度的增加真空度逐步

衰减,在表层 6.0 m 范围内真空度始终保持在 50 kPa 以上,这层土最宜作建筑物基础的持力层。

参 考 文 献

- [1] JTJ/T257—96, 塑料排水板质量检验标准[S].
- [2] JTJ/T256—96, 塑料排水板施工规程[S].
- [3] 吴跃东, 赵维炳. 真空-堆载联合预压加固高速公路软基的研究[J]. 河海大学学报, 1999, 27 (6): 77—81.