



不同类型滤膜排水板真空预压现场试验研究

蒋杰, 闫伟

(上海东华建设管理有限公司, 上海 200030)

摘要: 随着港口建设的快速发展, 高效、快速处理新近吹填淤泥成为迫切需要解决的问题。在现场试验的基础上, 结合各项监测及检测结果, 分析真空预压加固机理, 对比不同类型滤膜排水板的加固效果, 并研究不同类型滤膜排水板的淤堵情况。试验结果表明: 采用防泥蝶形接头直接连接排水板和钢丝软管, 可很好地提高真空度的传递效率, 管到排水板的真空度损失小; 抽真空过程中, 土中细颗粒随着水向排水板附近移动形成“土柱”, 距排水板越远, 孔压消散越差, 土体的剪切强度越小, 结合孔压监测数据和土体剪切强度值分析得到“土柱”的深度范围为 1.5~2.0 m, 进口滤膜排水板的处理效果优于合资滤膜排水板, 普通滤膜排水板处理效果最差; 处理后排水板的渗透系数仍能满足设计要求, 土体的渗透系数随着距排水板距离的减小而减小, 板间土处理较差主要原因是“土柱”阻碍了真空度向周围土体的传递。

关键词: 新近吹填淤泥; 现场试验; 加固机理; 加固效果; 土柱

中图分类号: TU 447; U 6

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2017)02-0149-06

Vacuum preloading field test by different types of drainage membrane plates

JIANG Jie, YAN Wei

(Shanghai Donghua Construction Management Co., Ltd., Shanghai 200030, China)

Abstract: With the rapid development of port construction, the foundation treatment of newly reclaimed silt becomes the problem which is needed to solve urgently. On the basis of field test, combining the results of each monitoring and testing, and in order to analyze the strengthening mechanism of vacuum preloading and contrast the reinforcement effect of different types of drainage plate, we study the clogging of different types of drainage plates. The testing results indicate that the connecting drainage plate and steel wire hose by new butterfly joint directly improve the transfer efficiency of vacuum degree greatly, and the vacuum degree tube to drainage plate just has small loss. During the vacuum pumping, the fine particles in soil moving toward the drainage plate with water forms the “soil column”, the pore pressure dissipation and shear strength become less with the increase of distance between drainage plate and soil. The depth range of “soil column is 1.5 m to 2.0 m based on the analysis of pore pressure dissipation and shear strength of soil. Analyzing the treatment effect of different types of drainage plates, we know that the imported membrane drainage plate is better than the the joint-ventured membrane drainage plate, and the joint-ventured is better than the ordinary membrane drainage plate. The permeability coefficient of drainage plate after treatment still meets the design requirements, and the permeability coefficient of soil reduces with the decrease of distance between the drainage plate and soil. The cause of bad treatment of soil between drainage plates is that “soil column” blocks the transfer of vacuum degree to surrounding soil.

Keywords: newly reclaimed silt; field test; strengthening mechanism; reinforcement effect; soil column

收稿日期: 2016-06-01

作者简介: 蒋杰 (1981—), 男, 工程师, 从事港口及航道工程管理工作。

随着港口建设的快速发展,为保护环境和充分利用资源,航道疏浚的淤泥多用于场地的吹填。新近吹填的淤泥具有含水率高、压缩性高、孔隙比高及渗透性低的特点,尤其对于工期紧的工程项目,需要对初始含水率达到100%~200%的吹填淤泥进行处理,以满足后期施工的要求。目前新近吹填淤泥的处理方式多采用真空预压方法,如何高效、快速地处理新近吹填淤泥成为工程迫切需要解决的问题^[1]。董志良等基于天津滨海新区新近吹填超软土的工程特性,研发出了相应的浅表层超软土真空预压处理技术,并对比分析了若干种不同的加固方案,地基处理过程中发现排水板周围形成“土柱”,严重影响了真空度向周围土体的传递,导致“土柱”间土体的强度与土柱相比较小,有明显的不均匀性^[2-3]。陈平山等对新近吹填土加固过程中“土柱”的形成机理进行研究,认为“土柱”是周围土体细颗粒在渗透力作用下向排水板聚集的结果^[4]。邱长林等考虑真空预压过程中孔隙变化对固结过程的影响,建立了吹填

土地基真空固结分析模型^[5]。王永平等基于模型试验,研究了不同类型排水板的淤堵特性,研究结果均表明:对于黏粒含量较高的吹填土,孔径较大的防淤堵滤膜处理效果明显优于普通滤膜^[6-8]。

本文基于现场试验,采用不同类型滤膜排水板,结合各项监测与检测结果,分析新近吹填超软土的加固机理,对比不同类型滤膜排水板的加固效果,并分析其防淤堵情况。

1 试验方案

1.1 监测方案

为较好地对比不同类型滤膜排水板的处理效果,试验区选择土性较均匀的场地,新近吹填土厚度5 m,含水率100%~200%;液限60.2%;塑限32.2%。

排水板选用进口滤膜排水板、合资滤膜排水板及普通滤膜排水板3种类型,不同类型滤膜排水板的物理指标见表1。

表1 不同类型滤膜排水板的物理指标

排水板类型	试验项目	设计值	实测值
进口滤膜排水板	纵向通水量/(cm ³ /s)(侧压力350 kPa)	≥25	102.4
	滤膜等效孔径/mm(以O ₉₅ 计)	0.075~0.12(以O ₉₈ 计)	0.12(以O ₉₈ 计)
	滤膜渗透系数/(cm/s)(水中浸泡24 h)	≥0.005	0.014
合资滤膜排水板	纵向通水量/(cm ³ /s)(侧压力350 kPa)	≥25	95.6
	滤膜等效孔径/mm(以O ₉₅ 计)	0.075~0.12(以O ₉₈ 计)	0.094
	滤膜渗透系数/(cm/s)(水中浸泡24 h)	≥0.005	0.01
国产滤膜排水板	纵向通水量/(cm ³ /s)(侧压力350 kPa)	≥25	89.8
	滤膜等效孔径/mm(以O ₉₅ 计)	≤0.075(以O ₉₈ 计)	0.069(以O ₉₈ 计)
	滤膜渗透系数/(cm/s)(水中浸泡24 h)	≥0.000 5	0.008 5

由表2可知,纵向通水量、滤膜等效孔径、滤膜渗透系数3个物理指标均是进口滤膜排水板最大,合资滤膜排水板次之,国产滤膜排水板最小。

排水板间距为85 cm,插板深度4.5 m,使用不透水的钢丝软管替代传统滤管,并将排水板与钢丝软管通过蝶形接头直接连接(图1)。

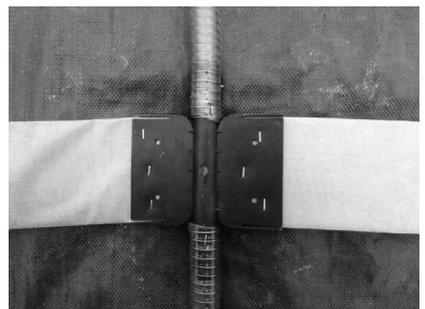


图1 排水板与钢丝软管连接

为更好地对比不同类型滤膜排水板的处理效果, 试验区域选取时需保证地质条件的一致性。不同类型滤膜排水板及监测点的布置见图 2, 监测内容包括管内及板内不同深度的真空度、不同区域的地表沉降及距排水板不同距离和不同深度土体的孔压消散值。

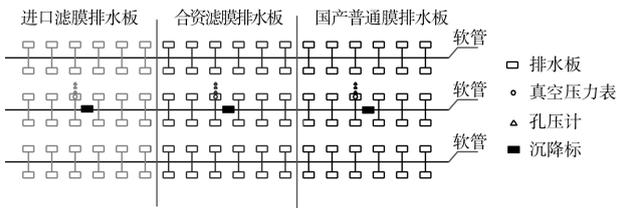


图 2 排水板及监测点布置

对不同类型排水板, 在排水板不同深度处 (1.0、3.0、4.5 m) 布置真空测头 (图 3)。

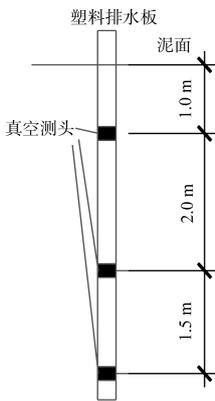


图 3 真空测头断面布置

孔压计距排水板的距离选择 15、30 及 42.5 cm, 孔压计的埋设深度为 1.0、3.0 及 4.5 m (图 4)。

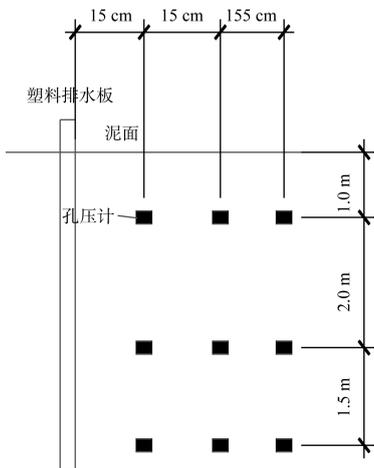


图 4 孔压计埋设断面

1.2 检测方案

真空预压处理结束后, 为比较不同类型滤膜排水板的处理效果, 拟对处理后土体进行十字板剪切试验和渗透试验, 对排水板进行渗透试验, 检测点的布置见图 5。

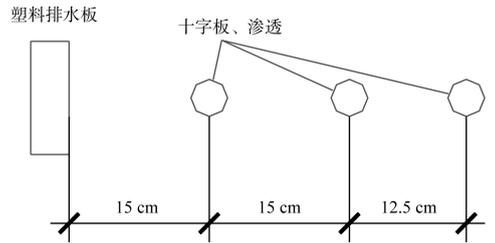


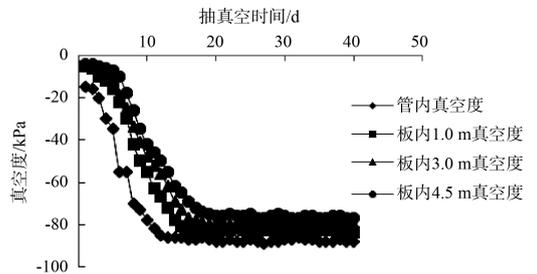
图 5 检测点布置

十字板剪切试验采用便携式十字板剪切仪, 具有精度高、便于操作的优点。十字板剪切试验的土样深度根据处理后土体的状态进行确定。

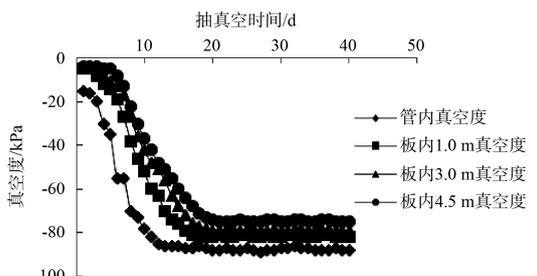
2 试验结果分析

2.1 真空度

真空度的监测包括管内和排水板不同深度真空度。真空荷载采用分级加载的方式, 第一级荷载 55 kPa (7 d), 第二级荷载加载到 85 kPa (14 d), 14 d 后真空度基本保持稳定, 管内及排水板内不同深度处的真空度见图 6。



a) 进口滤膜排水板



b) 合资滤膜排水板

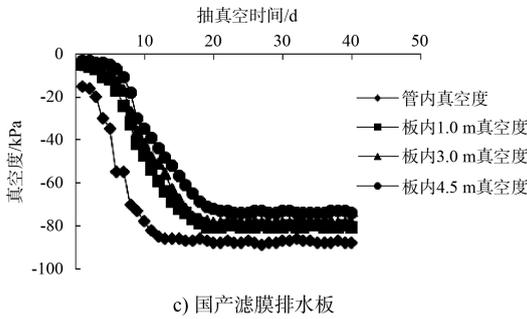


图6 管内及排水板不同深度处真空度

由图6可知,随着抽真空的进行,管内及排水板内不同深度处真空度逐渐增加,由于排水管路采用密封的钢丝软管,真空度传递过程中沿程损失小,传递速度较快,此外钢丝软管有较高的抗压强度,抽真空过程中不会出现管压瘪的现象,对真空度的传递和排水均有利,管内的真空度最后可达到88 kPa。现场采用新型高效抽真空设备,设备性能稳定,抽真空期间未出现问题,真空度稳定性较好。抽真空初期,管内及排水板内的真空度增长缓慢,分析其原因主要是吹填土的含水量较大,插板后表层有30 cm左右的水,且初期排出的水主要是土体中的自由水。板内不同深度处的真空度与管内真空度相比有部分衰减,不同类型滤膜排水板不同深度稳定后的真空度及衰减度见表2。

表2 不同类型滤膜排水板不同深度稳定后的真空度及衰减度

排水板类型	稳定后真空度/kPa			衰减度/%		
	1.0 m	3.0 m	4.5 m	1.0 m	3.0 m	4.5 m
进口滤膜	84	80	77	4.5	9.1	12.5
合资滤膜	82	79	75	6.8	10.2	14.8
国产滤膜	81	79	74	8.0	10.2	15.9

由表2可知,排水板内不同深度的真空度与管内相比下降不大,最大衰减度为15.9%,与文献[9]中的方案2类似,管到排水板内的真空度损失较小。随着排水板内深度的增加,由于井阻和排水板弯折的影响,真空度逐渐减小;随着排水板的纵向通水量越大,真空度损失越小。

2.2 地表沉降

在不同类型滤膜排水板所在区域分别设置一个沉降标,沉降随时间的变化曲线见图7。

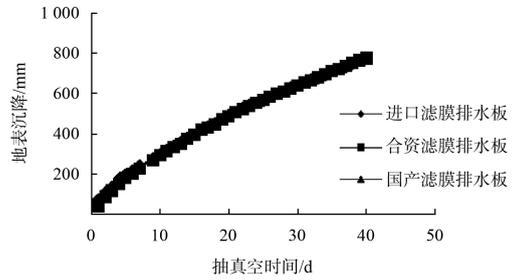


图7 不同类型排水板所在区域沉降随时间变化曲线

由图7可知,不同类型滤膜排水板所在区域的地表沉降均随着抽真空的进行逐渐增大,到抽真空40 d时,沉降仍没有收敛的趋势;不同区域的地表沉降相差不大,原因是所进行的试验区域较小,且相互连在一起,相当于是一个整体。

2.3 孔压消散规律

真空预压过程中,排水板周围形成椭圆形的土柱,为更好地研究土柱,且距地表越近,产生的土柱越明显,因而选择埋深1.0 m、距排水板不同距离的孔压数据进行分析(图8)。

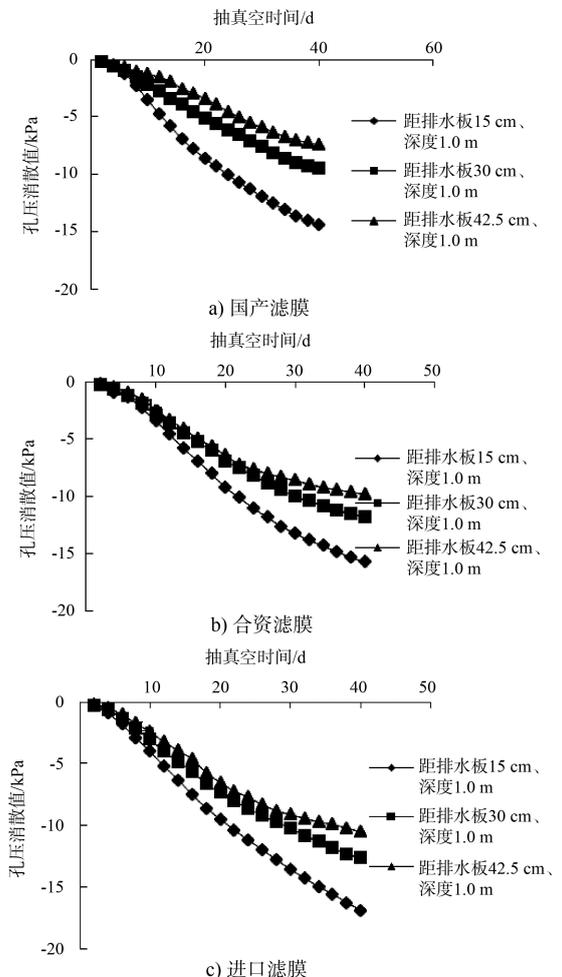


图8 不同排水板对应的土体孔压消散曲线

由图 8 可知, 不同位置的超孔压均随着抽真空的进行逐渐降低; 抽真空初期, 孔压消散值较小, 主要是由于土体的含水率较大, 排出的是土体中的自由水, 随着抽真空的进行, 土体中的自由水逐渐减少, 超孔压迅速减小, 到后期超孔压减小的速度开始变缓, 且随着距排水板距离的增加, 孔压消散值逐渐减小, 分析其原因是排水板周围形成土柱, 阻碍了真空度向周围土体的传递; 对比使用不同类型滤膜排水板时土体的孔压消散值, 发现进口滤膜排水板对应土体的孔压消散值最大, 合资滤膜排水板次之, 国产普通滤膜排水板最差。

为分析真空预压过程中不同深度土体的孔压消散规律, 选取国产普通滤膜排水板, 对应的土体孔压消散规律见图 9。

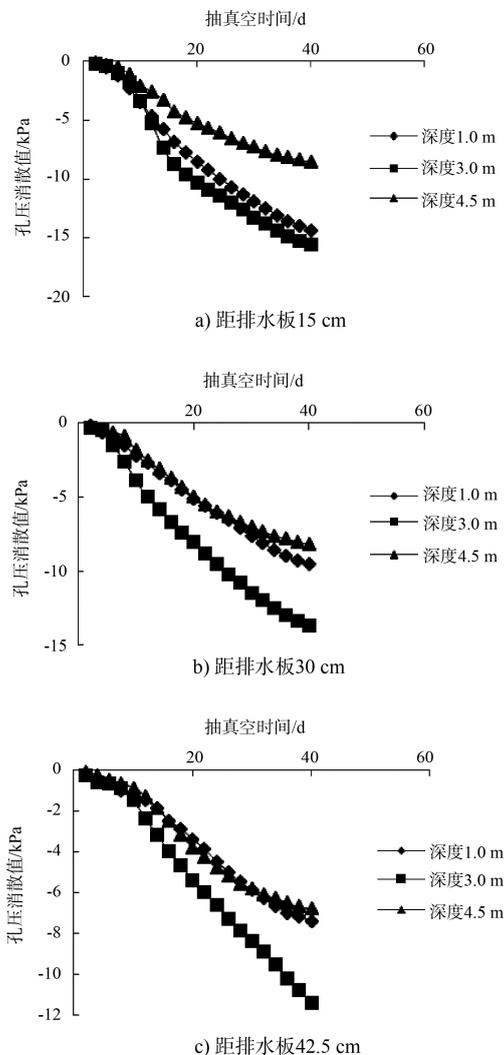


图 9 不同深度土体的孔压消散曲线

由图 9 可知, 埋深 3.0 m 的土体孔压消散值最大, 其原因是: 由于水力分选上部颗粒较细, 在抽真空过程中, 细颗粒随水向排水板周围移动, 形成渗透性极小的“土柱”, 从而阻碍真空度向周围土体的传递。对比分析距排水板不同距离的孔压消散规律, 发现距排水板较近时 (15 cm), 1.0 m 深度和 3.0 m 深度处土体的孔压消散值相差不大, 间接说明距排水板 15 cm、1.0 m 深度处土体有明显的“土柱”现象。

2.4 十字板剪切试验成果

为分析不同类型滤膜排水板的处理效果, 真空预压后进行了十字板剪切试验。不同区域土体的剪切强度随深度的变化曲线见图 10。

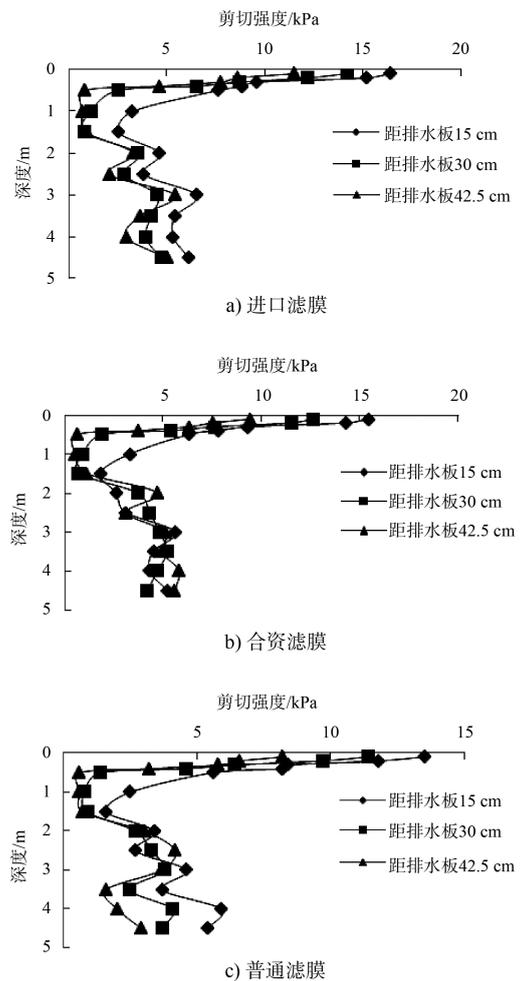


图 10 不同排水板区域剪切强度随深度变化曲线

由图 10 可知, 经过真空预压处理后, 表层土体的强度明显提高, 排水板间的土体均得到加固, “土柱” 出现交叉, 表层的吹填土由原先的流动状

态浮泥变化软塑状态的淤泥，硬壳层的厚度达到40 cm，剪切强度范围为3~16 kPa，随着与排水板距离的增加，硬壳层范围内土体的强度有所减小。在埋深1.5 m处，距排水板15 cm土体的强度与距排水板30 cm及42.5 cm的土体强度相比明显较大，深度继续增加时，不同距离处的土体强度均出现明显增大，可看出“土柱”的深度范围为1.5~2.0 m。对比分析不同类型排水板区域土体的剪切强度随深度变化曲线可知，硬壳层范围内进口滤膜排水板的处理效果较好，合资滤膜次之，最后是普通滤膜排水板。

2.5 渗透试验结果

真空预压处理结束后，为分析排水板的淤堵情况和“土柱”的形成原因，分别对排水板和硬壳层范围内距排水板不同距离的土体进行渗透试验。排水板的试验结果见表3。

表3 不同类型排水板处理后滤膜的渗透系数比较 cm/s

类型	处理前	处理后
进口滤膜排水板	0.014 0	0.010 0
合资滤膜排水板	0.010 0	0.018 0
国产滤膜排水板	0.008 5	0.007 4

由表3可知，处理前后排水板滤膜的渗透系数有所减小，但与设计要求的标准值0.000 5 cm/s相比，仍能较好地满足要求。对比不同类型排水板处理前后的渗透系数，进口滤膜排水板优于合资滤膜排水板，合资滤膜排水板优于普通滤膜排水板。

硬壳层范围内土体的渗透系数随深度的变化曲线见图11。

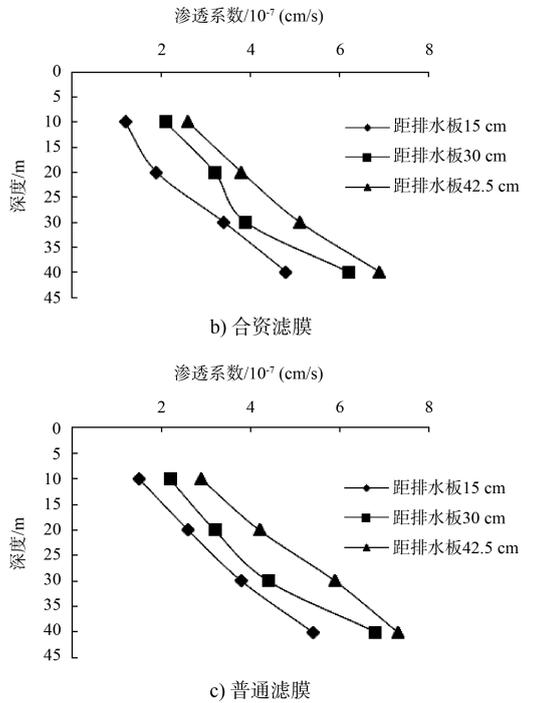


图11 不同排水板处理后土体渗透系数随深度变化曲线

由图11可知，随着深度的增加，硬壳层范围内土体的渗透系数逐渐减小，距排水板越近，土体的渗透系数越小，说明抽真空过程中，土体中的细颗粒随着水流向排水板附近流动，聚集在排水板周围形成“土柱”。“土柱”的渗透性极低，结合处理后排水板的渗透试验，渗透系数与标准值相比仍能满足要求，说明板间土处理较差主要是由于“土柱”的形成，阻碍了真空度向周围土的传递。

3 结论

1) 采用蝶形接头直接连接排水板和钢丝软管后，管到排水板的真空度衰减较小，提高了真空度的传递效率。此外，新设备的采用保证了真空度的稳定。

2) 抽真空初期，主要排出的是土体中的自由水，孔压消散较小，随着抽真空的进行，孔压消散逐渐增大，但在排水板周围形成的“土柱”影响了真空度向周围土体的传递，因而距排水板距离越大，孔压消散值越小。对比不同类型排水板，进口滤膜排水板对应土体的孔压消散值最大。

(下转第165页)

