

# 真空预压法加固大面积软基的影响范围

姜海青

(中铁建港航局集团岩土工程有限公司, 广东 广州 511442)

**摘要:** 在用真空预压法进行软基处理过程中, 对于真空预压引起的竖向、水平向影响范围的大小往往决定着软基处理的成败。为此, 以江门新会南车轨道交通车辆修造基地大面积软基处理工程为依托, 通过在加载区内进行表面沉降、各深度真空度和孔隙水压力的监测, 在区外进行表面沉降、水平位移等数据观测的方法对整个真空加载过程进行定期数据采集, 在前人研究成果的基础上分析得到真空预压法加固大面积软基工程中真空荷载影响范围, 可在处理效果和对周边影响方面为珠三角地区类似工程的施工和设计提供可靠数据和技术参考。

**关键词:** 真空预压; 加固; 大面积; 软基; 影响范围

**中图分类号:** U 655.54<sup>+</sup>4.4

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1002-4972(2013)03-0195-04

## Influence scope of soft ground treatment by vacuum preloading

JIANG Hai-qing

(CRCC Harbour & Channel Engineering Bureau Group Geotechnical Engineering Co., Ltd., Guangzhou 511442, China)

**Abstract:** In the soft ground treatment by vacuum preloading, the horizontal and vertical influence scope caused by the vacuum preloading is essential to the soft ground treatment project. Based on the CSR rail vehicle maintenance-built base's large area soft ground treatment project, according to the monitoring data of surface settlement, vacuum degree and pore water pressure of different depths in the loading area, as well as the surface settlement and horizontal displacement outside the loading area, we get the influence scope of soft ground treatment by vacuum preloading which can provide reliable data and serve as reference for the design and construction of similar projects in the Pearl river delta region.

**Key words:** vacuum preloading; treatment; large area; soft ground; influence scope

真空预压法已被广泛用于软土地基处理, 与早期的堆载预压相比其特点是地基允许日沉降量明显增大, 达到目标固结度的时间明显缩短, 对路基而言其加载期间稳定性更高。在真空预压法进行软基处理过程中, 真空荷载对地基土往往产生正反两方面的影响: 一方面, 加固区内真空荷载竖向和水平向的传递使一定深度范围的土体产生排水固结, 体现在真空荷载达到最大影响深度, 该深度直接影响着真空荷载对软基的处理效果; 另一方面, 真空荷载在加载区外的传递则往

往引起周边建筑地基的不均匀变形以致出现大规模的拉裂缝。为此, 以江门新会南车轨道交通车辆修造基地大面积软基处理工程为依托, 通过在加载区内进行表面沉降、各深度真空度和孔隙水压力的监测, 在区外进行表面沉降、水平位移等数据观测的方法对整个真空加载过程进行定期数据采集, 在前人研究成果的基础上分析得到真空预压法加固大面积软基工程中真空荷载影响范围, 可在处理效果和对周边影响方面为珠三角地区类似工程的施工和设计提供数据和技术参考。

**收稿日期:** 2012-08-15

**作者简介:** 姜海青(1984—), 工程师, 从事地基处理方面的科研与施工管理工作。

### 1 试验场地工程概况

试验场地选在真空预压23区，该区尺寸为148 m × 160 m。图1为23区地质剖面图，控制钻孔间距为60 m，图中地表硬壳层为小于1 m的薄层，主要为吹填砂与根植土；1 m以下为淤泥层，厚度大于12 m，孔隙比 $e=1.82$ ， $w_L=63.5%$ ， $w_p=27.6%$ ， $I_L=1.21$ ， $\alpha_{1-2}=2.33 \text{ MPa}^{-1}$ 竖向渗透系数 $K_v=3.17 \times 10^{-7}$ 粘聚力 $C=4.0 \text{ kPa}$ ，内摩擦角 $\phi=15.5^\circ$ ，为高液限黏性土；淤泥层下卧较厚的淤泥质黏土-黏土层，厚度为8 m左右， $e=0.64$ ， $w_L=36.6%$ ， $w_p=16.8%$ ， $I_L=0.30$ ， $\alpha_{1-2}=0.24 \text{ MPa}^{-1}$ 竖向渗透系数 $K_v=3.58 \times 10^{-8}$ ，粘聚力 $C=14.1 \text{ kPa}$ ，内摩擦角 $\phi=23.6^\circ$ ，为低液限黏土<sup>[1]</sup>；21 m以下为中粗砂层及强风化壳，无溶洞发育。显然该地基属深厚软基，主要的淤泥层孔隙比大、压缩性高、流塑态、渗透性差，而淤泥质黏土-黏土层较致密，静探锥尖阻力为1.5 ~ 2.0 MPa<sup>[2]</sup>，中压缩性，可塑态，压缩性较强差，因而排水体无需打穿淤泥质黏土-黏土层。施工步骤为：1) 清表，将地表硬壳层的根植土清理并平整场地；2) 填砂垫层，厚度为50 cm；3) 打设塑料排水板，根据设计并结合地质情况，本加固区排水板打设深度为17 m；4) 布设网状滤管，间距4 ~ 6 m，并将其与排水板头埋置于砂垫层中；5) 铺设土工布及真空膜；6) 密封，于加固区边界处挖设密封沟，深度需达到渗透性差的淤泥层，并用黏性土填埋；7) 安装真空泵并在7 d内加载至膜下真空度达到80 kPa，并保持。

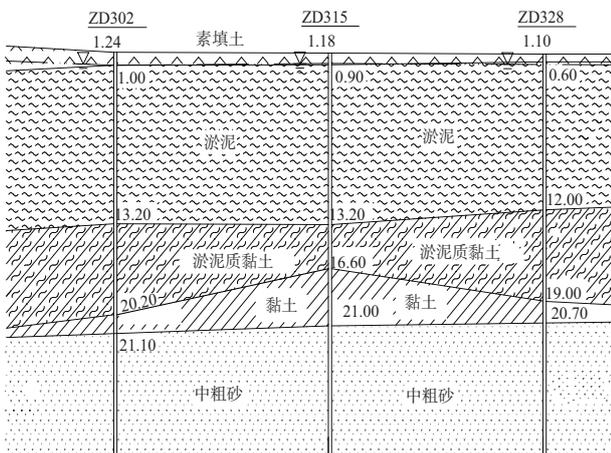


图1 加固区地质剖面

### 2 试验仪器埋设

图2为试验区内真空度和孔压测头的布设。真空测头共设3组，间距30 m，第1和3组于深度为1,3,5,7,9,11,13 m处各埋设真空表测头1个，第2组于深度为2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 m位置各埋设真空表测头1个，孔压测头设置1组，位于第1组真空测头位置，各测头分别埋设于深度为4.8, 9, 13 m位置，分层沉降标1组，各标底板分别埋设于深度为5, 9 m和硬土层顶面处的13 m处。图3为参考前人成果<sup>[3]</sup>制作的真空测头实景图。为确定真空荷载对区外产生的影响范围，笔者设置测斜管-表面沉降板组，分别于密封沟内2 m、密封沟外2, 12, 22 m位置各埋设1组，各组连线与密封沟走向垂直，各组测斜管埋设深度为24 m，该监测断面共设2组（图4）。

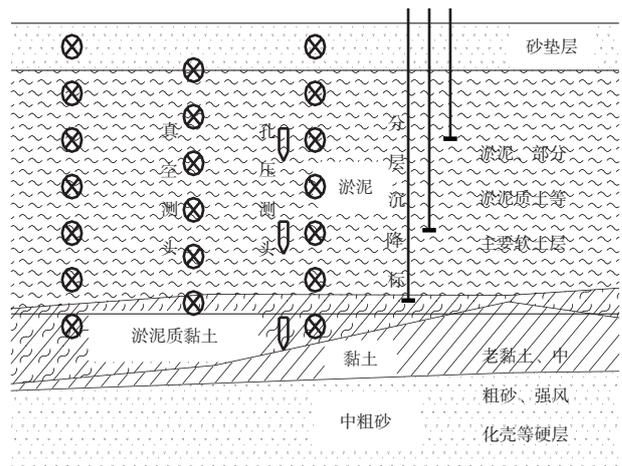


图2 真空荷载竖向传递监测装置布设



图3 真空度测头实景

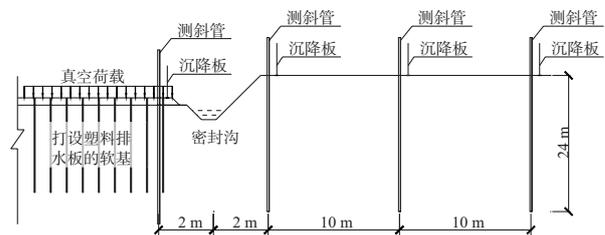


图4 真空荷载水平向传递监测装置布设

### 3 试验数据分析

#### 3.1 真空荷载的竖向传递

抽真空80 d后3组真空表实测真空度-时间关系如图5。考虑地下真空测头距真空表之间气管封闭有气柱，故现场实测值需进行修正。若真空表处大气压为 $P_0$ ，管内初始气柱长度为 $L_0$ ，地表距真空度测头间土层压缩量为 $\Delta S$ ，试验中通过相邻的分层沉降标测得，地表真空荷载于真空度测头处产生的负压 $P_w$ 与真空测头地面实测值 $P_a$ 存在式(1)的关系<sup>[4-5]</sup>。将观测数据代入式(1)可得 $P_w$ 的计算值，根据孔压头监测数据可得 $P_w$ 的实测值。

$$P_w = P_a + \rho_w g \left( \frac{P_a}{P_0 - P_a} L_0 + \Delta S \right) \quad (1)$$

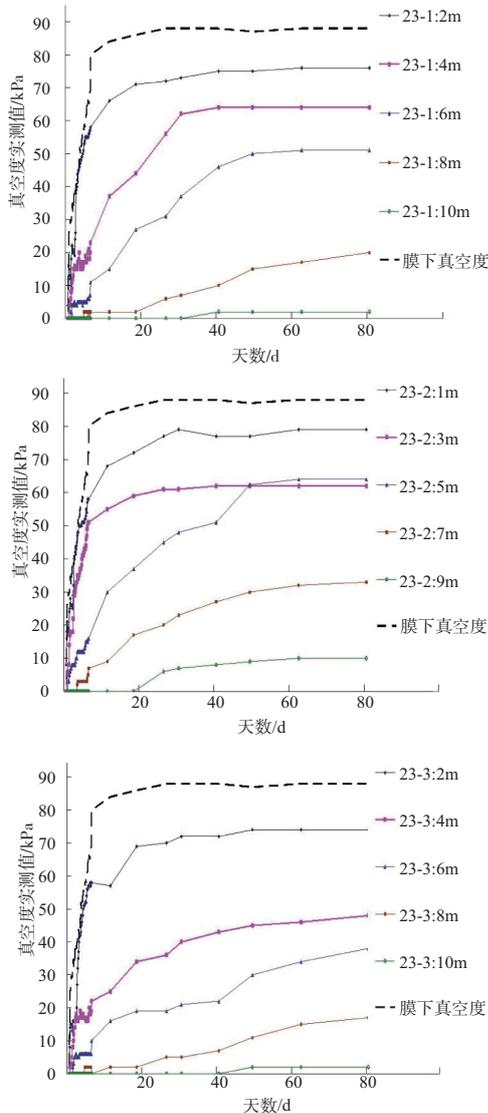


图5 试验区实测真空度-时间关系

由图5可发现在真空加载后，软基内部由浅

及深真空度先后达到最大值，80 d后各深度真空值基本稳定，可通过地面真空表测到的最深位置为-10 m，读数为2~3 kPa，孔压降低计算值为6.4 kPa。表1表明实测真空值小于真空荷载引起的孔压降低值，如地面真空表实测-9 m深度处真空表读数为10 kPa，由式(1)算得孔压降低值为15.1 kPa，而通过孔压计测得的孔压降低值为29 kPa，结合真空加载后18 d，50 d数据均表明真空表读数偏空荷载小，可能是气管中初始水位低于加载前地下水位或地层压缩过程中气管被折。

表1 由真空测头推算的 $P_w$ 与实测孔压降对比

项目	深度/m	$L_0$ /m	$t=18$ d		$t=50$ d		$t=80$ d	
			$P_a$ /kPa	$\Delta S$ /mm	$P_a$ /kPa	$\Delta S$ /mm	$P_a$ /kPa	$\Delta S$ /mm
实测	-5	4	26.5	25	34.5	85	43	104
参数	-9	4	5.3	177	15.3	277	8.5	288
$P_w$ 理	-5	4	41.2		62.4		74.2	
论值	-9	4	9.3		25.3		15.1	
$P_w$ 实	-5	4	48		83		92	
测值	-9	4	17		30		29	

#### 3.2 真空荷载的水平传递

图6为2个监测断面的水平位移数据图，2个0#测斜管位于区内边界处，由内及外依次为1#~3#管。考虑抽真空过程中排水需要和真空区下降较大的原因区外3管的0 m均高于区内0 m约1.5 m，真空加载83 d后0#~3#管最大水平位移速率分别由加载初期最大的15, 10, 4, 1 mm/d减小至0~2.5, 0~1.8, 0~0.5, 0~0.1 mm/d，这表明各管水平位移基本收敛。从2个0#测斜管位移图可看出-11 m以下水平位移不明显，-10~-11 m范围水平位移陡增约200 mm，-10 m以上斜率保持不变约20 mm/m，考虑上覆土压力对深处土体水平位移的限制作用，真空荷载的影响深度应略大于可测得水平位移值的最大深度，即超过10 m。从各断面由加固区向外，真空荷载在竖向的影响深度逐渐变浅，同一深度水平位移明显变小，同一位置水平位移随深度增加也明显变小。与加固区原地面同高程的密封沟以外2, 12, 22 m处累计水平位移分别为459, 70, 14 mm，且均为各测管最大水平位移。图7为根据各管水平位移最大深度确定的真空荷载对加固区外水平位移影响范围界线。图8为根据地表沉降观测绘制的区外

地表沉降发展过程线，监测间隔为10 d左右，沉降折线趋密的发展趋势表明真空加固区外的沉降趋于稳定。0<sup>#</sup>~3<sup>#</sup>位置处地表累计沉降分别为0.873, 0.637, 0.383, 0.207 m。假设相邻沉降测点间的表面沉降与水平距离存在线性关系，通过地表倾斜率 $i_{0-1}, i_{1-2}, i_{2-3}$ 进行线性外插可得出 $i_{n-(n+1)}$ 的数列列为{59, 25.4, 17.6, 15.8, 15.4, ...}，进而可确定地

表沉降理论的零点位置在加载边界外37.2 m处。水平位移数据及分析表明真空荷载引起加固区外地基裂缝的最大范围为边界外24 m，同一水平位置最大裂缝出现在与真空加载前地表同高程处；地表沉降数据及分析表明真空荷载可引起加固区外产生地面沉降的范围约为37 m，离加固区由远及近不均匀沉降加剧。

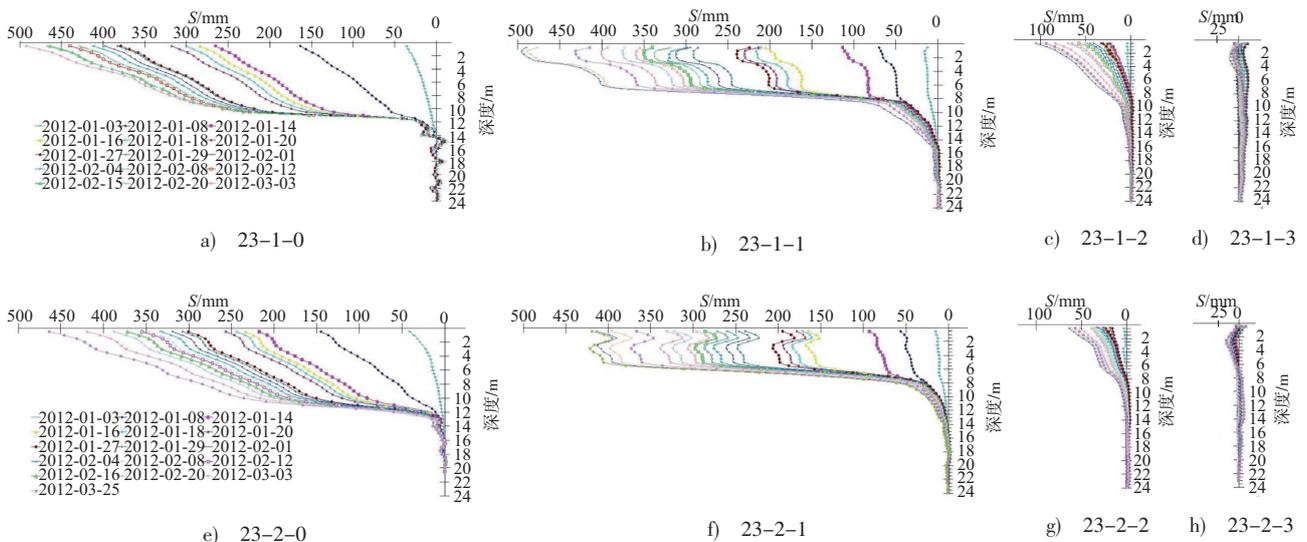


图6 垂直于真空加固区边界两断面水平位移

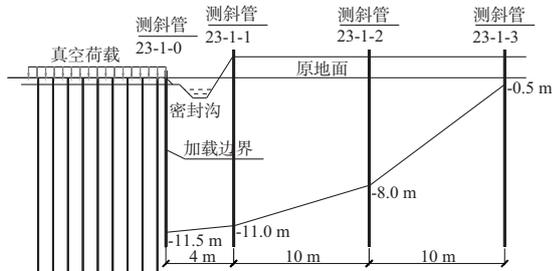


图7 由水平位移确定的最大影响范围

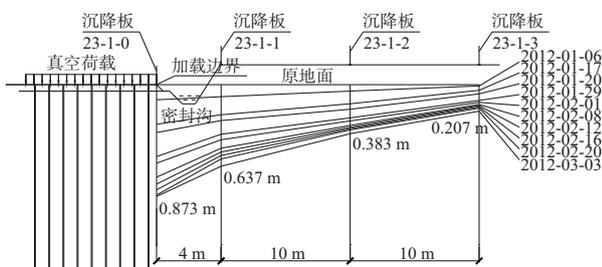


图8 加固区外地表沉降发展折线

#### 4 结论

1) 真空预压法处理大面积深厚软基过程中，

真空荷载加固效果可通过埋设真空度测头和孔压测头的方法进行评价。通过地面真空表测得的地下真空度值往往偏小，需通过气管中气柱长度和地层压缩量修正为孔压降低值进而确定地面真空荷载的影响深度。对于依托工程中厚度约12 m的淤泥层，在地表真空荷载为85 kPa作用下原地面9 m，10 m深处孔压降低约15 kPa，6 kPa，荷载影响深度略大于10 m。

2) 真空加固区外水平位移数据及分析表明真空荷载引起地基裂缝的最大范围为边界外24 m且距离加固区越近影响深度越深，同一水平位置最大裂缝出现在与真空加载前地表同高程处；地表沉降数据及分析表明，真空荷载可引起加固区外产生地面沉降的范围约为37 m，离加固区由远及近不均匀沉降加剧。

(下转第203页)