

# 真空联合堆载预压技术在桥头软基处理中的应用

程振德

(上海南汇建设发展总公司,上海市 200000)

**摘 要:**真空联合堆载预压法作为新的软基处理方法,在公路及其他工程建设软基处理中得到了广泛的应用。该文以上海大东公路桥头软基处理工程为例,结合道路沉降、边桩等监测结果分析了处治效果。

**关键词:**真空堆载预压;软基处理;沉降;水平位移;监测分析

**中图分类号:**TU472 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2006)05-0177-03

## 1 概述

真空联合堆载预压法在我国加固港口工程、水工建筑工程、工业民用建筑、道路工程的软土地基处理工程中,已有不少成功案例<sup>[1][2]</sup>。真空堆载排水预压法是在真空预压和堆载预压基础上发展起来的软基处理技术,具有真空预压和堆载预压的双重加固效果。在堆载过程中,地基土也会产生侧向挤压变形,但由于处理区真空荷载的作用,真空产生的侧向收缩变形与堆载产生的侧向挤出变形叠加后相折减;另一方面,真空荷载作用下地基土会快速固结,强度增长较快,从而可使堆载速度加快,而不发生失稳。真空联合堆载预压法以其缩短施工工期、消除工后沉降和提高施工质量等方面诸多的优势,越来越多地受到关注。

上海地区滨江临海,境内河流纵横交错,软土分布极为广泛,上海地区软土主要为沿海软土,沉厚较厚,给上海地区道路建设地基处理带来较大的难题。为优化地基处理方法,节省软土地基处理造价,节约工期,有效减少和控制桥头工后沉降量,进一步提高桥头段路堤在车辆高速行驶的平稳舒适度,我们结合在建工程进行了真空堆载联合预压技术的工程实践。

## 2 工程概况

大东公路浦东运河桥头过渡段,填土厚度 4 m,土层分布情况见表 1,其中③<sub>3</sub>、④、⑤<sub>1-1</sub>等土层压缩性较强,总层厚达 19m,埋深较浅,计算沉降量较大。由于高压压缩土层排水性能较差,沉降固结时间较长,工期要求较高,因此必须进行软基处理以满足工后沉降要求。另外,本项目桥头两侧还有一条深达 4 m 宽 30 m 左右的明浜存在,对应区域实际填土高度达 7 m,远远超过计算临界填土高

度 4.5 m 的要求,因此,在进行软基处理过程中还应重点考虑路基稳定问题。

表 1 桥头段地质勘察结果

层号	标高(m)	土性
① <sub>1</sub>	+3.98~+2.98	人工填土
② <sub>1</sub>	+2.98~+1.38	暗浜填土
② <sub>2</sub>	+1.38~+0.58	灰黄色粉质粘土
③ <sub>2</sub>	+0.58~-1.02	灰色粉质粘土
③ <sub>3</sub>	-1.02~-2.62	灰色淤泥质粉质粘土
④	-2.62~-14.52	灰色淤泥质粘土
⑤ <sub>1-1</sub>	-14.52~-20.02	灰色粘土
⑤ <sub>1-2</sub>	-20.02~-21.02	灰色粉质粘土
⑥ <sub>1</sub>	-21.02~-23.02	暗绿色粘土
⑥ <sub>2</sub>	-23.02~-24.02	草黄色粘土
⑦ <sub>1-1</sub>	-24.02~-27.02	草黄色砂质粉土
⑦ <sub>1-2</sub>	-27.02~-29.32	草黄~灰色粉细砂
⑦ <sub>2-1</sub>	-29.32~-41.02	灰色粉细砂

## 3 真空联合堆载预压设计与施工

在考虑浦东运河桥头路段地质条件、沉降与稳定、工期等因素后,综合经济技术指标,决定采用真空联合堆载预压法作为桥头过渡段软基处理方案。

真空联合堆载预压法与其他方法相比具有如下优势<sup>[3]</sup>:

(1)该方法不受填土速率的限制,超载量大,预压时间明显缩短;

(2)真空负压可以平衡堆载产生的向外的挤出作用,可明显增强施工过程中路基的整体稳定性,对项目尤为适用;

(3)该方法的采用可省去超载预压土方的挖运、填筑、卸载挖移、弃堆等工序,一定程度上节约工程造价。

设计取真空固结压力为 80 kPa,相当于 4 m 厚的覆土荷载(路堤填料密度按 20.0 kN/m<sup>3</sup> 计),超载过 1 m,真空 + 超载联合作用,加快路基固结,桥头两侧各处置 50 m。受总工期制约,桥头填筑时间仅有 6 个月左右的时间,设计中适当加大了塑料排

收稿日期:2006-06-03

作者简介:程振德(1958-),男,上海人,经济师,董事长,从事市政工程造价及建设管理工作。



水板打设密度,塑料排水板在平面上按梅花型布置(见图1),塑料排水板布设间距 $S=1.2\text{ m}$ 。横向处理宽度为路堤坡脚外 $1.0\text{ m}$ ,处理深度尽可能深入或穿透软土层,局部打设深度达 $20\text{ m}$ 。塑料排水板芯板采用聚乙烯或聚丙烯新料(非再生塑料),滤膜采用粘合型涤纶无纺土工布,排水板厚采用 $4.5\text{ mm}$ ,板宽为 $10\text{ cm}$ 。塑料排水板搭接应采用滤管内平接的方法,搭接长度不小于 $20\text{ cm}$ 。

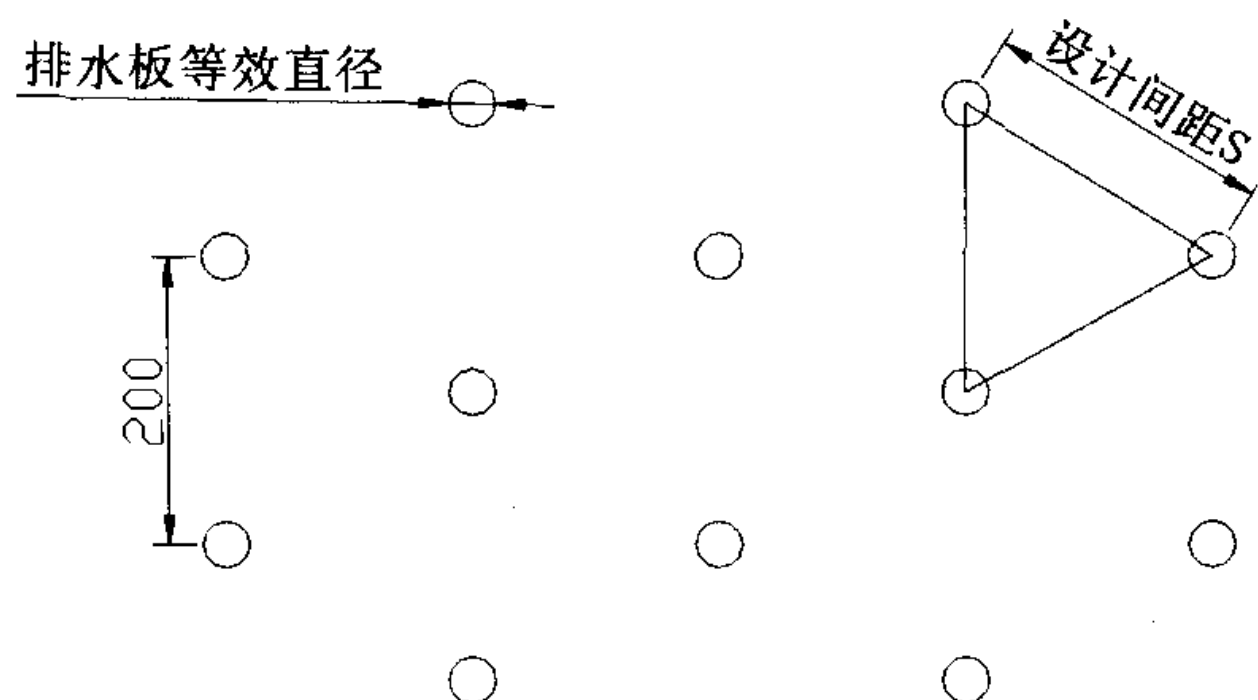


图1 排水板平面布置图

真空预压法的施工大致过程如下:桥头处理范围之基底设 $50\text{ cm}$ 的中粗砂排水垫层与按上文要求打设塑料排水板,并在垫层中预埋长度不小于 $50\text{ cm}$ 的塑料排水板;采用人工配合挖土机开挖密封沟,密封沟深度 $1.5\text{ m}$ 以上,在铺设密封膜后,密封沟采用淤泥或粘土回填,将膜边垂直插入软土中后,并在沟内覆水,以确保膜周边的密封;埋设吸水管,吸水管分为主管和支滤管,真空管路间各连接点需严格进行密封处理,保证真空度在管内不受损失,并使排水畅通。在挖密封沟的同时,可进行主管和支管的连接、安装和埋设,还应将露出砂垫层表面的排水板埋入砂垫层中;在垫层上设二层针刺无纺土工布,土工布之间铺设二层密封膜,采用粘结法保证土工布的整体性,粘结宽度不小于 $5\text{ cm}$ ,粘结强度不低于土工布的抗拉强度;出膜连接与真空泵系统安装;选取 $7.5\text{ kW}$ 的真空泵抽真空,每台泵控制加固面积 $800\sim 1\,200\text{ m}^2$ 。膜下真空度稳定的达到 $75\text{ kPa}$ ,抽真空 $10\text{ d}$ 左右开始进行上部堆载,即边抽真空边堆载,堆载前在密封膜上再铺一层土工布,第一层填土需采用中细砂或粘性土,厚度 $50\text{ cm}$ ,以免破坏密封膜。实施真空预压结合堆载施工过程中,应每天测量膜下真空度,真空度应稳定地维持在 $80\text{ kPa}$ 左右,发现漏气,应及时处理。堆载时宜采用轻型运输工具,不得破坏密封膜。真空预压加固区膜下真空度达到 $80\text{ kPa}$ 左右的条件下抽真空4个月,当沉降稳定后可停泵卸荷。沉降稳定标准采用:实测地面沉降速率连续 $5\sim 10\text{ d}$ 平均沉降量不大于 $2\text{ mm/d}$ ,方可进行上部结构的施工。

#### 4 路基沉降与稳定性监测

为控制真空预压的整个施工过程,作者进行了跟踪观测,并在两桥头布设了如下监测仪器包括:沉降板、水平位移边桩、孔隙水压力计(埋设深度为 $5、10、15\text{ m}$ )等,其详细布设情况见图2。

##### 4.1 路基加载过程

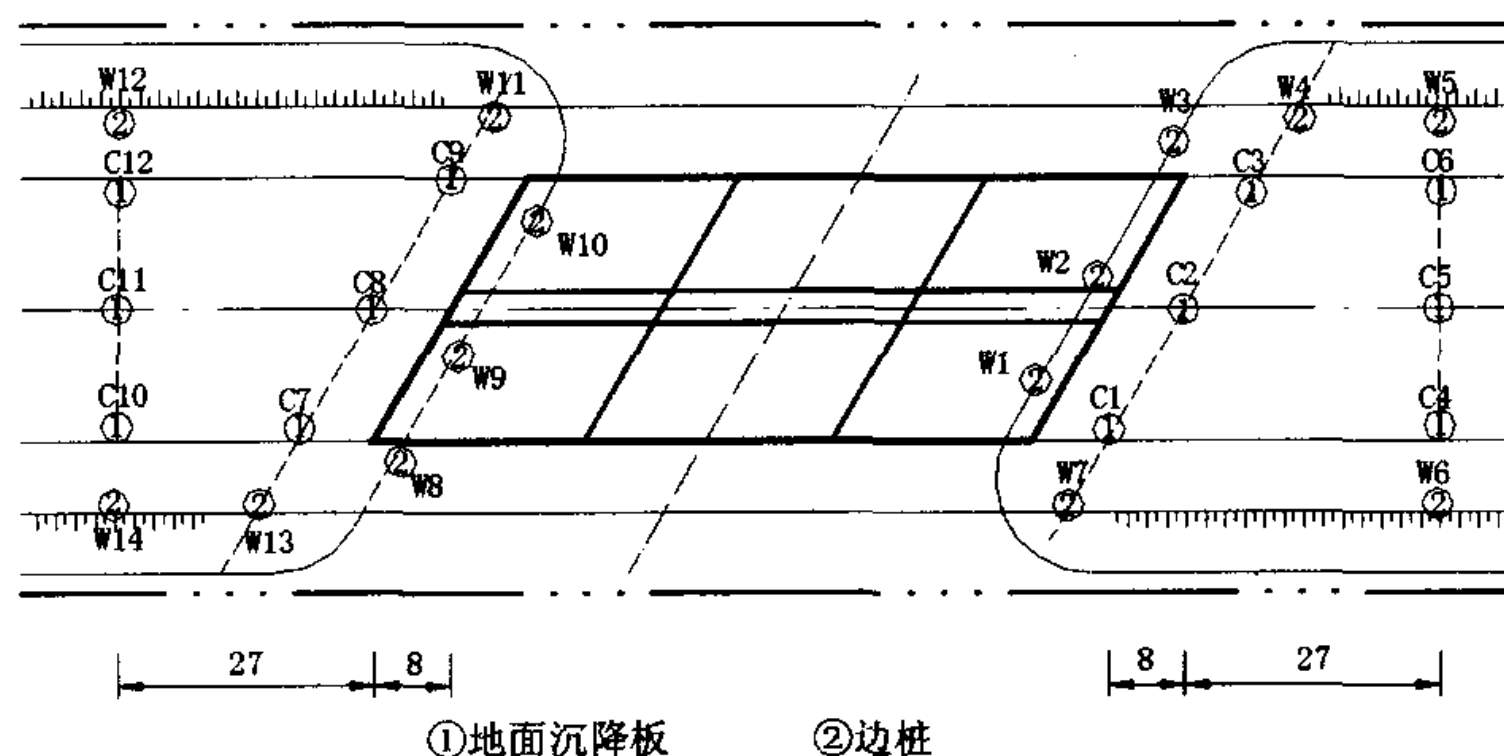


图2 加固区测点布置示意图

整个路基加载过程包括真空预压荷载的施加并稳压一段时间,粉煤灰轻质路堤填筑施工两个月,施工4个月后卸除真空预压荷载。路基加载过程见图3。受施工现场条件制约,本次跟踪监测是在真空预压荷载达到要求后进行的,测试内容包括路基沉降( $\text{cm}$ )、边桩水平位移( $\text{cm}$ )、孔隙水压力( $\text{kPa}$ )等。

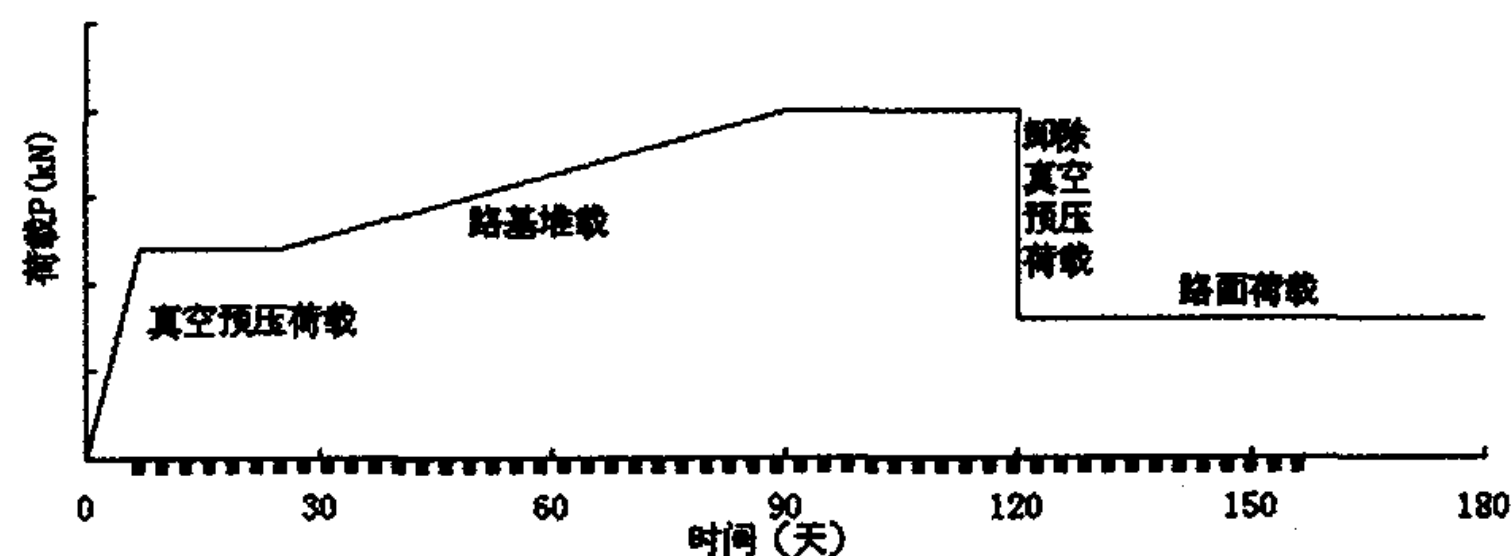


图3 加载曲线示意图

##### 4.2 路基沉降监测与分析

路基沉降随时间关系见图4,由图4可以看出本次沉降监测过程中总沉降最大值仅为 $247\text{ mm}$ ,而理论计算结果表明路基总沉降达 $800\text{ mm}$ 以上,与本次实测结果相差较大。为此我们就差异沉降进行了分析:本次所监测的沉降仅为沉降的一部分,较大的沉降量在打设车沉降板与抽真空过程中业已发生,根据现场简单测量,此部分沉降达 $60\text{ cm}$ 。图5为沉降速率随时间关系曲线,可见,整个施工过程中沉降速率均较小,小于 $5\text{ mm/d}$ 。我们分析认为在排水板打设与抽真空过程中,软土层即发生固结,强度与压缩模量快速提高。最终导致路基填筑时,仅有较小的沉降速率。在施工3个半月左右时间时,路基沉降速率即满足沉降稳定标准要求(小于 $0.2\text{ mm/d}$ ),比设计预



期提前半个月左右时间,为安全起见,真空预压时间按4个月控制。

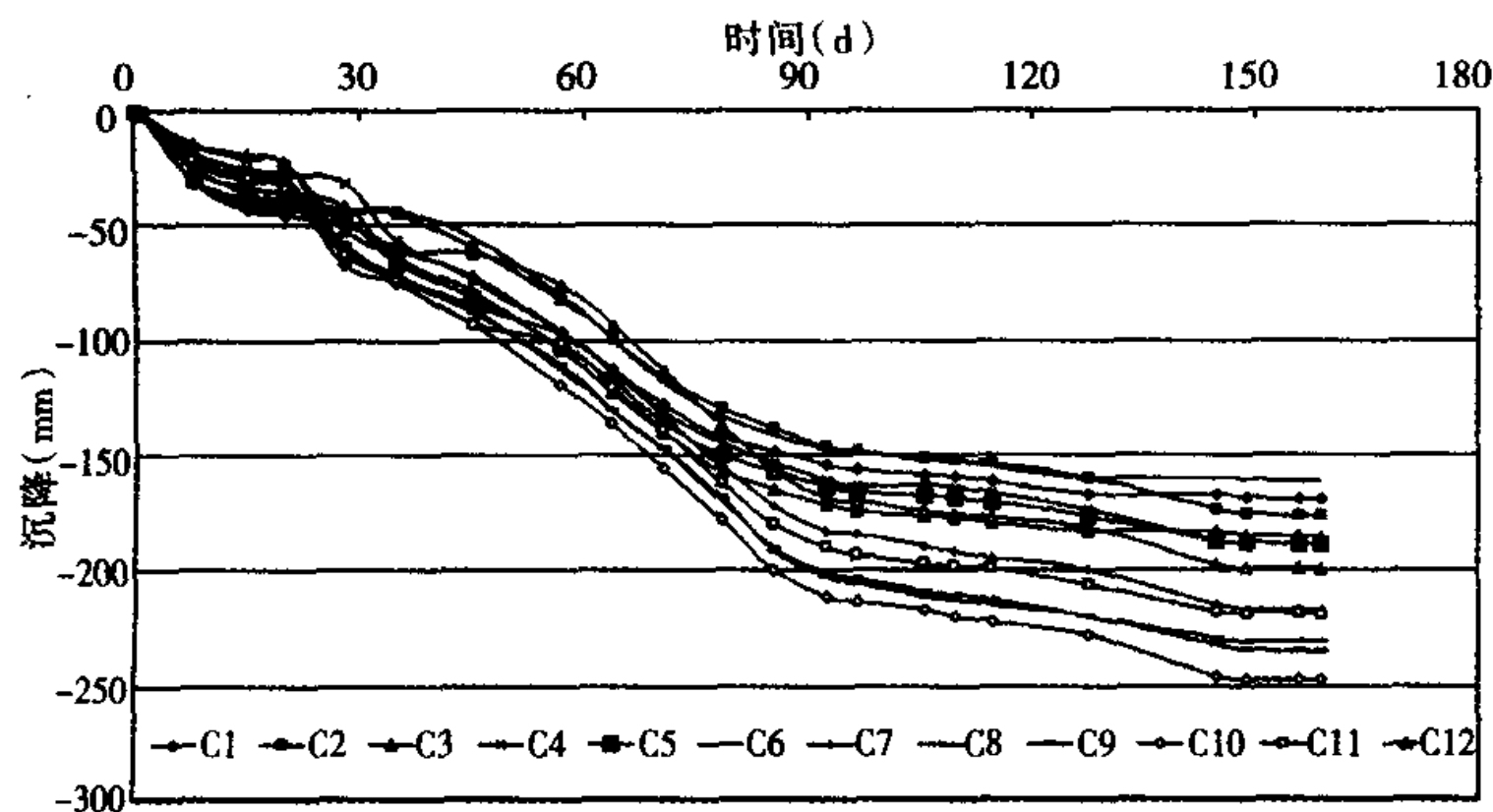


图4 地表沉降随时间关系曲线

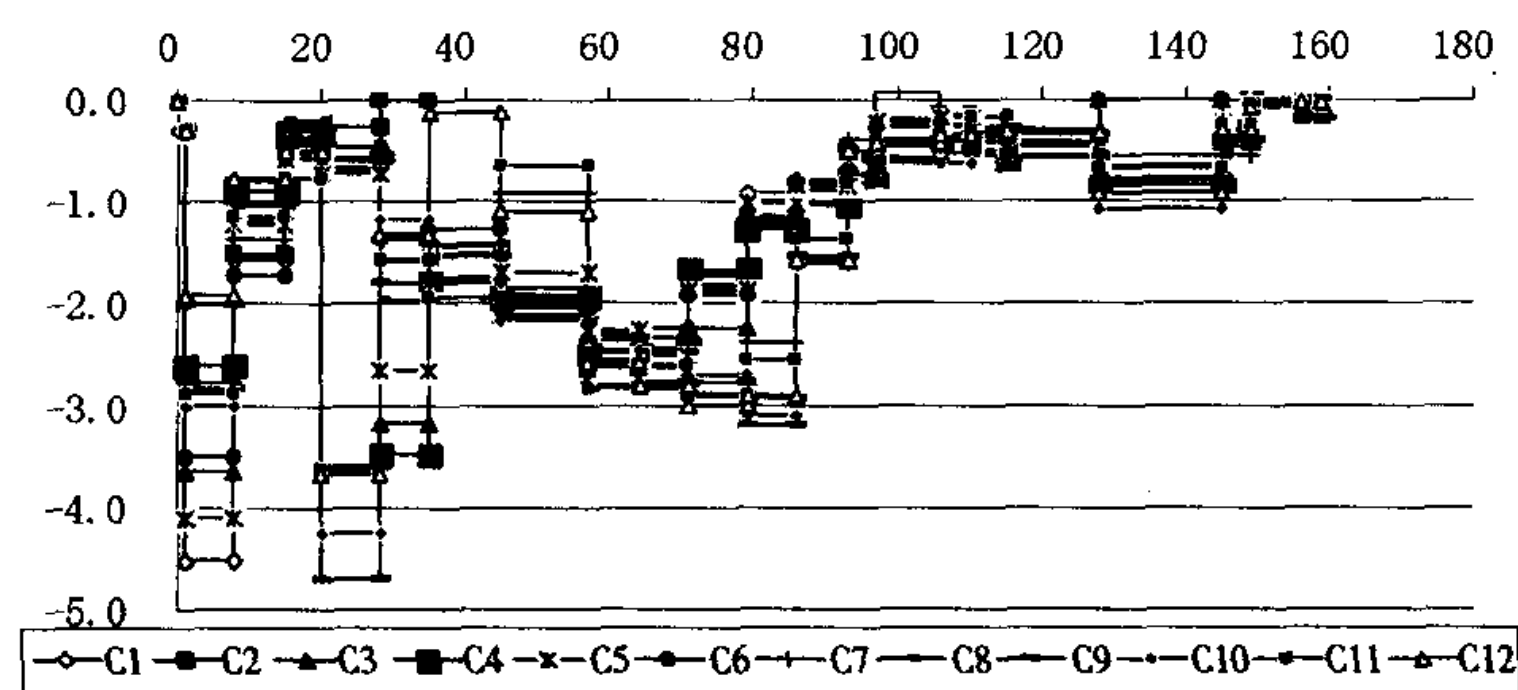


图5 沉降速率（mm/d）随时间关系曲线

#### 4.3 边桩位移监测

边桩位移随时间变化曲线见图6,边桩位移速率（mm/d）随时间关系曲线见图7,可以看出项目边桩位移较小,最大值仅为62 mm。可见在真空荷载的作用下,边桩位移较小,变形速率较小,整个施工期间沉降速率均小于1.8 mm/d。120 d后左右时间真空卸载后,边桩水平位移很快趋向稳定,变形速率明显降低,日位移量均小于0.2 mm/d。

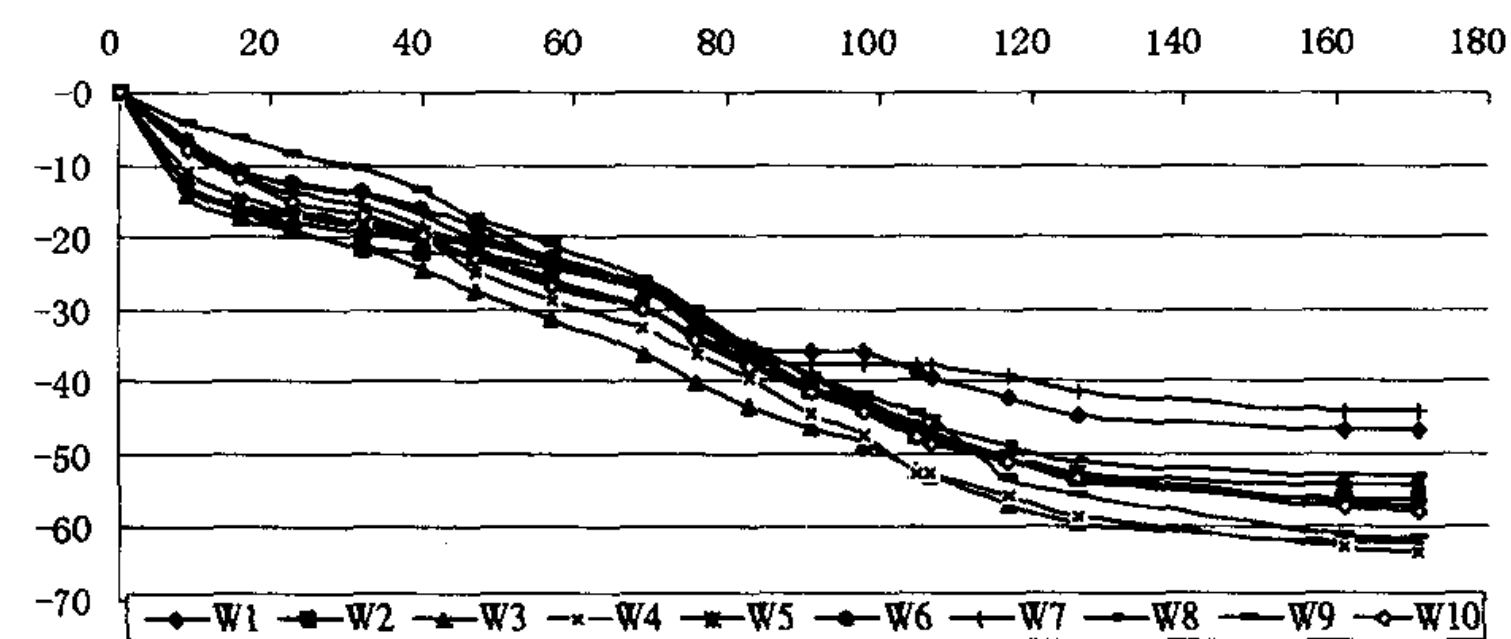


图6 边桩位移随时间变化曲线

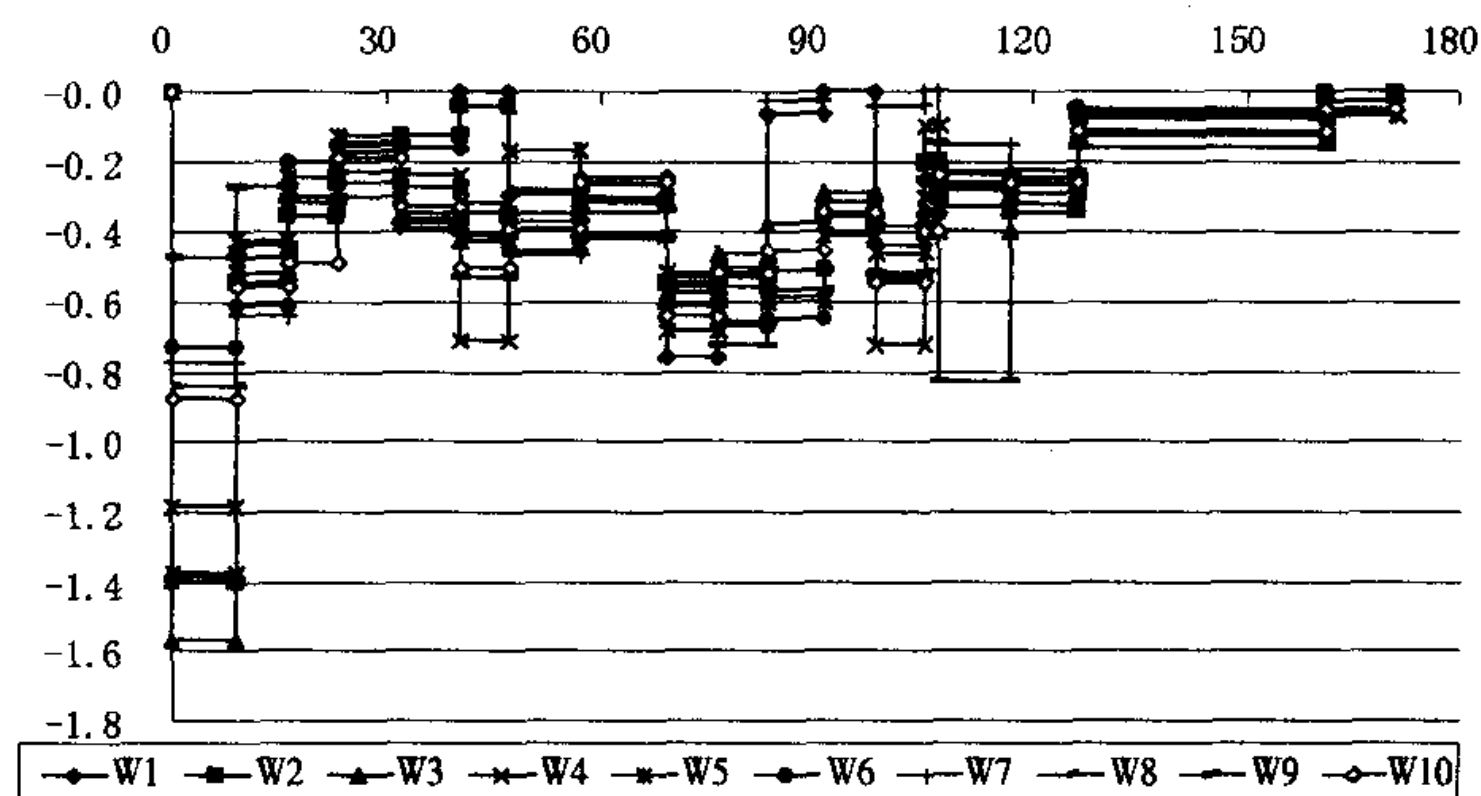


图7 边桩位移速率（mm/d）随时间关系曲线

本文较详细的阐述了真空预压法在加固大东公路浦东运河桥20 m厚桥头软土地基的施工方法与监测过程,得出如下结论:

(1)采用真空堆载预压进行软基处理,在打设塑料排水板与抽真空至稳压过程中,路基内即产生较大沉降,较大程度上减小了后期路基堆载过程中的沉降。

(2)沉降监控结果表明,整个路基填筑过程中产生的沉降量较小,实际沉降稳定时间较预计的4个月时间提前了半个月。在卸除真空荷载后,路基沉降稳定,沉降速率最大值仅为0.2 mm/d。整个施工短短5个月左右时间便达到比较理想的处治效果。

(3)水平向位移观测结果表明,整个施工过程中水平向位移速率均低于0.5 cm/d的稳定控制上限要求,路基稳定性良好。

(4)本工程实践表明:对上海地区而言,真空堆载预压是一种极具应用价值的软基处理方法,该方法可大幅度缩短施工工期,消除工后沉降,增强施工过程中路基的整体稳定性,提高施工质量,与此同时还可省去超载预压土方的挖运、填筑、卸载挖移、弃堆等工序。

#### 参考文献

- [1]江苏省交通厅,江苏省高速公路建设指挥部.江苏省高速公路建设论文集[C].北京:人民交通出版社,2003.
- [2]闫澎旺,朱平,等.真空预压法加固软土地基的效果观测分析[J].水利学报,2003,12.
- [3]张留俊,王福胜,刘建都.高速公路软土地基处理技术[M].北京:人民交通出版社,2002.

## 5 结论

## 深圳打造我国最长市政大道

素有“深圳第一路”之称的深南大道年底将直抵东莞交界处,与正在建设中的宝安大道连接成一条横贯深圳东西、直达东莞的最主要干道。两路连通后,总长将达60多km,形成百里长街的城市景观路,总长度超过了“神州第一街”——北京长安街,将成为我国最长的市政大道。