

真空联合堆载预压加固高速公路软土地基应用及机理分析

雷正敏¹,冯晓腊¹,李方华²,阳成¹

(1. 中国地质大学 武汉 工程学院 湖北 武汉 430074; 2. 铁道第四勘察设计院 湖北 武汉 430063)

摘要 详细介绍了真空联合堆载预压法对高速公路软土地基进行加固的基本原理、基本方法和施工工艺等,并以图表的形式对加固效果进行分析评价。结果表明:真空联合堆载预压法是一种既经济又有效的处理软土地基的方法,这种方法值得大面积推广和应用。

关键词 真空预压;中江高速公路;软土地基;地基加固

中图分类号:U416.1 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2006)04-0008-03

Mechanism and Application of Combination of Vacuum Preloading and Surcharge Preloading in the Soft Soil Foundation of Freeway/LEI Zheng-min¹, FENG Xiao-la¹, LI Fang-hua², YANG Cheng¹(1. China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China; 2. The Fourth Survey and Design Institute of China Railway, Wuhan Hubei 430063, China)

Abstract: The method of combination of vacuum preloading and surcharge preloading is an effective technique to treat the soft soil foundation. The basic principles, the basic mechanism and construction technology of the method to strength the freeway's weak soil are introduced. The outcomes are indicated in pictures, it is shown that the vacuum preloading in combination with surcharge preloading treatment method is successful; and it can be adopted in the similar engineering cases.

Key words: vacuum preloading; Zhong - Jiang Express Way; soft soil foundation; foundation reinforcement

1 概述

真空联合堆载预压法是在真空预压法基础上发展起来的,是真空预压和堆载预压两种加固方法的叠加,在堆载预压的同时再加一真空荷载同时作用,促使土体充分固结压缩。

真空联合堆载预压有很多的优点,也有很大的应用空间,能够满足国家重点项目建设的要求,而且我们已经积累了比较丰富的施工经验,将真空联合堆载预压法全面引入软土地基加固是势在必行的结果。但是,真空联合堆载预压法的有些本质机理目前还没有完全搞清楚,这其中包括沉降和稳定性的控制指标,真空荷载的持续时间和真空荷载影响范围等问题。本文通过对中江高速公路真空联合堆载预压段加固机理和加固效果的分析研究,为今后将真空联合堆载预压法全面引入软基处理提供一定的理论和实践指导。

2 工程概况

中江高速公路沿线分布有大量的软土地基,该软土不仅有珠江三角洲软土高含水量、大孔隙比、低强度、小渗透性的共性,还具有高有机质含量,纵横

向不均匀分布的特性,其有机质含量远高于规范的规定值。

真空预压段位于平原区,微地貌右边以苗圃为主,左边以鱼塘及低洼地为主,地面高程 0.6 ~ 2.7 m。填土高度为 6 ~ 7.5 m,软基处理路段总长 120 多米,宽度 47 ~ 49 m,真空预压处理面积约 5800 m²。

根据原位测试及钻探资料,勘探深度内土层自上而下分为:

①耕植土,厚度约为 2 m,主要为亚粘土,局部含植物根茎;

②淤泥,褐灰色,流塑,局部含粉砂;

③粉砂,灰色,饱和,松散,局部为贝壳富集层,本层全场分布,层底埋深在自然地面下 12 ~ 16 m,砂垫层标高下埋深 8 ~ 9 m;

④淤泥质粘土,灰~深灰色,饱和,流塑,全场分布,层底埋深 22 ~ 25 m;

⑤淤泥质粘土或粉砂,灰色,主要为淤泥质粘土,局部夹粉砂。

淤泥和淤泥质粘土物理力学性质指标见表 1。

表 1 淤泥和淤泥质粘土物理力学性质指标表

		含水量 /%	天然密 度/(g· cm ⁻³)	孔 隙 比	液性 指数	压缩 模量 /MPa	直接快剪	
							粘聚力 /kPa	内摩擦 角/(°)
淤泥 质粘 土	最大值	55.4	1.81	1.493	4.62	6.28	36.0	23.7
	最小值	41.2	1.66	1.108	1.02	1.69	10.2	8.6
	平均值	45.2	1.72	1.271	1.57	2.77	14.55	10.4
淤泥	最大值	66.3	1.66	1.755	2.17	2.17	14.0	9.1
	最小值	55.0	1.57	1.512	1.27	1.24	4.0	3.0
	平均值	57.7	1.62	1.623	1.53	1.57	8.9	5.6

本区第③层粉砂层的存在决定了真空预压前需要对该层粉砂进行密封处理,按设计要求,采用密封帷幕的方式进行封堵。

3 加固方法和原理

3.1 原理

真空预压法是用薄膜对需要加固的软基进行密封与大气隔离,借助射流泵抽真空,通过铺在加固体表面的砂垫层中的管道及竖向排水体袋装砂并将加固体内的空气和水抽走,形成真空,在地表砂垫层产生负压,该负压通过真空管路及竖向排水体逐渐向深度方向延伸,并向四周土体扩散,使加固土体内部与排水通道、砂垫层中产生压差,在此压差作用下,土体中的孔隙水不断由排水通道排出,使孔隙水压力降低,最终使土体固结压密,而堆载预压是在建筑物施工前,用堆载的方法对地基土进行预压,排出孔隙水,使地基土固结压实,从而提高地基强度和减少建筑物建成后的沉降量。这两种方法都属于排水预压法的加固手段。

真空联合堆载预压法是在真空预压法基础上发展起来的,是真空预压和堆载预压两种加固方法的叠加,在堆载预压的同时再加一真空荷载同时作用,促使土体充分固结压缩。

3.2 施工工艺

真空联合堆载预压法加固软基时,首先应在需加固的软基表面铺设水平排水砂垫层,在砂垫层按一定间距、深度打设纵向通道袋装砂井,然后在砂垫层中按一定方式布设横向排水通道、支主滤管,再将不透气的薄膜铺盖在砂垫层上,将加固土体与大气隔开,通过射流真空泵将膜下土体的空气和水抽出,使土体固结,最后采用薄层轮加法填筑路堤,使地基土体在真空堆载两重作用下排水固结,从而达到地基加固的目的。

施工中应该注意以下几点:

(1)在铺设抽水主管和支滤管之前要清理场

地,使得场地砂垫层表面无碎石、贝壳等尖锐的物体,以免施工时薄膜被刺破,影响加固进度和效果。

(2)密封膜应用抗老化性好的,韧性高,抗穿刺性强,整体性及密封性好的聚氯乙烯薄膜,密闭沟要有一定的深度,薄膜在沟内锚固,沟内用粘性土回填密实。

(3)真空管路连接紧密,接头牢固、密封、且有一定柔性,并在真空管路中设止回阀和闸阀。

4 加固效果分析

根据本段特点,现场设置了孔隙水压力仪、测斜孔、表面沉降板、真空度测定仪、水位测定仪等监测仪器,观测结果表明软土加固取得了较好的效果。

4.1 膜下真空度

膜下真空度,不仅是检验施工密封性、真空设备性能的直接反映,而且还是验证能否达到处理效果的直观反映。

本真空预压段在抽真空的 1 星期内,膜下真空度呈摆动上升趋势,最高达到 85 kPa 左右。在抽真空 10 天后,真空度基本保持恒定,稳定在 75 kPa 左右,施工期测得膜下真空度最大值为 85 kPa,泵上真空度为 90 kPa。加固区沉降、真空度和堆载随时间的关系见图 1,系列 5 是真空度曲线,系列 4 是填土荷载曲线,系列 1、2、3 分别是路堤左、中、右处的沉降曲线。

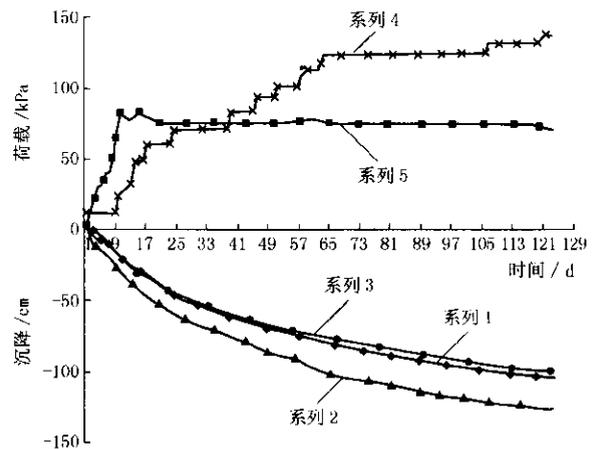


图 1 加固区沉降、真空度和堆载随时间变化曲线

在抽真空时,不仅要有一套可靠的抽真空设备,还需要有良好的气密性。在抽真空初期膜下真空度同泵上真空度相近,随着抽气阀的全部开启,地下水逐渐抽出,泵上真空度同膜下真空度拉开距离,有时还会局部出现膜下真空度大于泵上真空度,但抽真空度达到一定阶段后,泵上和膜下真空度达到稳定,

泵上真空度始终保持高于膜下真空度 3~5 kPa。在深度方向上真空度沿深度方向衰减很大,测得砂垫层下 8 m 的真空度仅有 5 kPa 左右,再往下则几乎为零。

从表面沉降随时间变化曲线和实测数据可看出,加固区在真空联合堆载阶段沉降较小,沉降曲线平缓,每级填方引起的沉降量没有真空荷载引起的沉降大。抽真空初期测得最大沉降速率达到 70 mm/d,在联合加固中对应每一级填土荷载,沉降速率总表现为突然增大,然后逐渐变缓,呈渐变收敛的趋势,施工期内平均沉降在 10 mm/d 左右,固结速率较常规处理方式快 2~3 倍,且路堤始终保持稳定,说明该方法可以加快沉降速度,从而可以缩短工期。

4.2 侧斜

结合真空预压断面左侧侧向位移沿深度的变化曲线,通过对实测数据的分析,在真空预压阶段,土体位移向加固区内收缩,其值由管口逐渐沿深度方向衰减,这种收缩在抽真空前期甚为明显,以后逐渐变小,位移值在加载前达到向内的最大值。侧向位移随深度变化曲线见图 2。

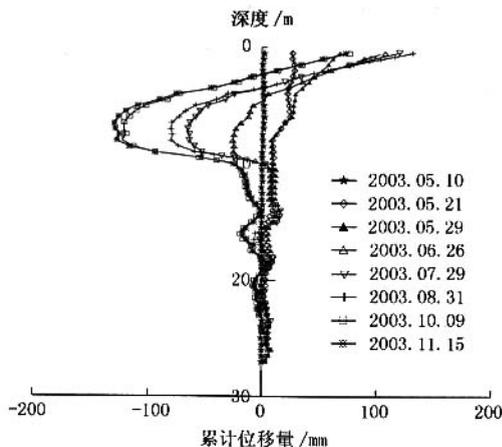


图 2 侧向位移随深度变化曲线

从图 2 可知,在真空联合堆载阶段,对应于每一级填土,加固区填土有向外被挤出趋势,但在加载初期表现不是很明显,侧斜曲线反映总的累计位移仍是指向加固区内的,这是因为一方面由于路基填筑而引起土体向外挤出,另一方面由于真空负压作用,土体又有向内的收缩位移,约束了土体向外的挤出,因此在这一阶段虽然加载,但土体位移仍然向内,可避免向外位移时产生的剪切破坏,故加载是不会发生稳定问题的,而单纯的堆载预压要考虑土体的破坏性,因而限制了堆载的速率。

随着加荷荷载的增大,土体侧向位移越来越大。而且侧向位移常在地表下 5~8 m 处最大,这是由于真空度在土体内沿深度方向是逐渐衰减的,由真空负压产生内侧位移的能力沿深度也是逐渐减弱的,也就是说在不同深度的抵御土体向外位移的能力是不同的。同常规的堆载预压相近,采用了真空预压后,侧向挤出变形值变小,并能在较短时间内达到稳定,随着填土的间歇,土体在真空堆载预压作用下产生固结,土体强度得以提高,抵制变形的能力又逐渐变强,这无疑加快了软土的固结速率,减小了工后沉降量。

4.3 孔隙水压力

为了解决在真空堆载作用下,加固土体孔隙水压力的变化,有效应力的转化情况等,在真空预压处理区内埋设了孔隙水压力测头,采用孔压监测仪进行观测。图 3 为孔隙水压力随时间变化曲线。

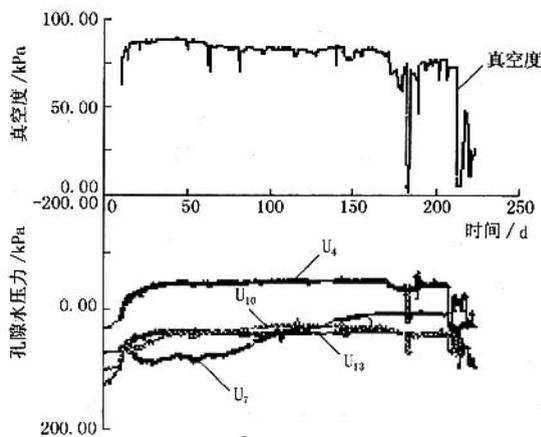


图 3 孔隙水压力随时间变化曲线

从图 3 可以看出,在抽真空初期孔隙水压力随真空度增减成反比例增长。孔压对真空度的变化很敏感,随真空度的摆动而产生波动,当真空度在施工后期有所下降时,孔压明显上升。

从图 3 可以看出,在真空联合堆载预压阶段,对应于每一级堆载都有超孔隙水压力生成,但是由于有真空负压作用,超孔隙水压力在极短时间内得以消散。在加载的过程中由于在抽真空,浅层孔压值始终维持在较低的水平线上,其孔压消散度、孔压系数均优于常规堆载预压法施工,具有明显优势。从图中可以发现当对加固土体抽真空时,或进行真空卸载时,深层土层处孔隙水压力也有明显变化,而对每级填土荷载却几乎无反映,说明真空预压不仅对浅层土体有加固作用,而且能影响深层土体,因此真空荷载比单纯的堆载有更大的影响范围。

(下转第 13 页)

结果见图 1。

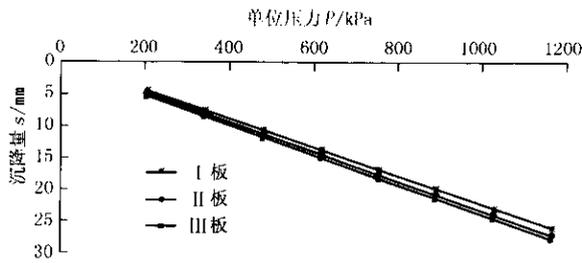


图 1 复合地基静力载荷试验 $P-s$ 曲线

6 结语

本工程由于拟建筒仓荷重较大及场地地层条件的限制而采用 CFG 桩复合地基,取得了较好经济效益,同时也为在西部地区高(高层)大(荷重较大)建筑物的地基处理提供了可以借鉴的经验。

(1)CFG 桩复合地基的设计必须了解建筑物的特性(如不同状态下荷载的组合情况、变形限制等方面要求)、场地的岩土工程条件等,特别是施工前应进行成桩工艺性试验,为设计、施工提供可靠的依据及施工参数。

(上接第 10 页)

5 结语

通过对本段真空联合堆载预压施工的试验研究,可看出在高有机质含量的软土中,只要能保证真空度,采用真空联合堆载预压法加固地基是切实可行的,能取得很好的加固效果,这种方法值得大力推广。其优点具体体现在以下几个方面。

(1)提高质量、缩短工期。真空预压只改变土体的球应力,而不产生剪应力,因此土体只产生向预压区内的收缩变形,促使土体进一步压实。由于抽真空时土体只产生向“内”的收缩变形,真空堆载可一次性施加,而不用担心土体会象常规堆载时因荷载过大而产生失稳破坏的现象,保证了施工质量。而且,同常规堆载预压法施工相比,可缩短填土时间 2~3 个月,提前完成了超载,使路基提前进入超载预压期。

(2)减小工后沉降。采用真空预压后其施工工

(2)采用长螺旋钻管内泵压混合料施工工艺能大大提高施工速度,但施工前应根据送料管的情况选用不同压力的混凝土泵,如泵的压力太低,会造成堵管现象,影响成桩质量。

(3)截取保护桩长及褥垫层施工应尽量避免采用机械,机械施工极易造成桩身上部破裂或断桩,影响桩体完整性检测。

另外,地基处理后基础设计时其承载力标准值只进行深度修正且修正系数为 1,当场地有好的桩端持力层,且其下卧层致密坚硬时其修正系数是否可以增大,增大到多少,只有通过大量工程和载荷试验结果分析才能确定,这是该地区 CFG 桩复合地基值得研究的方面。

参考文献:

- [1] JGJ 79-2002, 建筑地基处理技术规范[S]
- [2] 叶书麟. 地基处理工程实例应用手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.
- [3] 唐业清. 简明地基基础设计施工手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.

期的沉降速率是常规施工方法的 2~3 倍,其固结速率也大大加快,同时真空荷载可在较短时间内达到一定的压力,使路基提前进入超载预压期,从而大大减小了工后沉降量。

(3)节约材料,减少投资。真空联合堆载预压加固深度、固结速度明显大于常规堆载预压,不存在超载土方引起的卸载弃方等问题,不仅节约了土地和时间,也减少了投资。

参考文献:

- [1] 姜炎. 真空排水预压法加固软土技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
- [2] 顾晓鲁,等. 地基与基础(第三版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [3] 杨顺安,冯晓腊,等. 软土理论与工程[M]. 北京: 地质出版社, 2000.
- [4] 叶书麟,等. 地基处理与托换技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994.