



# 直排式真空预压工艺创新实践

王旭<sup>1</sup>, 刘强<sup>2</sup>, 芦志强<sup>2</sup>

(1. 中交天津航港湾建设工程有限公司, 天津 300450; 2. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

**摘要:** 对比真空预压工艺传统工艺与直排式工艺的优势与缺陷, 对直排式真空预压工艺在黄骅港某地基处理工程创新实践中展现出的效率高、速度快、成本低等特点进行了分析。

**关键词:** 地基处理; 直排式真空预压工艺; 创新实践

中图分类号: U 655.54<sup>+</sup>4.4

文献标志码: B

文章编号: 1002-4972(2014)04-0164-04

## Innovative practice of straight-line vacuum preloading

WANG Xu<sup>1</sup>, LIU Qiang<sup>2</sup>, LU Zhi-qiang<sup>2</sup>

(1. CCCC Tianjin Harbor Engineering Co., Ltd., Tianjin 300450, China;

2. CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

**Abstract:** This paper contrasts the advantages and defects of traditional technology and straight-line technology of vacuum preloading, and analyzes the characteristics of the straight-line vacuum preloading technology including high efficiency, high speed and low cost, etc. which is shown in the innovative practice of ground treatment in Huanghua port.

**Key words:** ground treatment; technology of straight-line vacuum preloading; innovative practice

目前, 真空预压法以其低廉的施工成本、较少的土石方用量、较短的预压时间以及稳定的加载过程得到了广泛的应用。为了进一步节省砂石料用量, 提高排水板内真空度的有效传递深度, 从而降低造价、提高地基加固效果, 国内许多单位和学者针对真空预压的改进做了大量的研究工作<sup>[1]</sup>, 其中直排式真空预压法就是其中一个方向, 随着应用经验日益增加, 工艺也日渐成熟。2012年, 在黄骅港某地基处理工程中对该功法进行了创新实践研究。

### 1 工艺原理<sup>[2-3]</sup>

直排式真空预压原理与真空预压法相同, 在不改变土体中总应力的情况下, 降低土中的孔隙水压力, 使土中的有效应力得以增加, 从而使地

基土体强度及承载力得到提高, 达到加固地基的目的。被加固土体的总应力 $\sigma_0$ 不变, 通过降低孔隙水压力 $u_0$ 而提高其有效应力 $\sigma_0'$ 。

利用有效应力原表达式

$$\sigma_0 = \sigma_0' \uparrow + u_0 \downarrow \quad (1)$$

式中:  $\sigma_0$ 为地基内某点总应力;  $\sigma_0'$ 为地基内某点原有的有效应力;  $u_0$ 为地基内某点原有的孔隙水压力。

在潜水泵产生真空负载作用下, 通过滤管与排水板传递的真空压力, 使孔隙水压力形成压差, 经过排水通道产生渗流, 孔隙水压力降至:

$$u = u_0 - (P_a - P_n) \quad (2)$$

式中:  $u_0$ 为地基内某点原有的孔隙水压力;  $P_a$ 为大气压力;  $P_n$ 为地基内某点的真空压力;  $u = u_0 - (P_a - P_n) = \Delta P$ 为地基内某点的压差。

收稿日期: 2013-07-23

作者简介: 王旭 (1989—), 男, 助理工程师, 主要从事港口、海岸及近海工程施工工作。

同时孔隙水压力降低并转化为有效应力,增加至:

$$\sigma' = \sigma_0 + (P_a - P_n) \quad (3)$$

式中: $\sigma_0$ 为地基内某点原有的总应力;直排式真空预压法是通过减少真空压力在传递至排水板之前的损耗,来进一步降低排水板和土体内的真空压力 $P_n$ ,从而增加土体有效应力 $\sigma'$ ,提高真空预压的利用效率,缩短加固时间,提高加固效果。

## 2 工艺分析<sup>[4-6]</sup>

直排式真空预压工法通过取消水平砂垫层的排水及传递真空作用,将真空抽气管与塑料排水板直接相连,减少真空度在传递途径的损失,提高真空荷载的作用能效,从而提高地基处理的加固质量;减少排水通道的阻力,加快孔隙水排出,从而提高固结速度,缩短工期。

### 1) 减小真空能量损耗,提高真空利用效率。

传统真空预压工艺中,真空压力在传递过程中受到砂垫层,滤管、排水板滤膜的阻尼作用,能量损耗很大。实测资料显示,真空泵出口压力不小于96 kPa,经过主管、滤管传递到砂垫层后,真空表实测压力为80~85 kPa,再经过滤膜传递至排水板后,真空压力随深度逐渐衰减明显。

另外,常规真空预压工艺中,排水板打设过程中的“翻浆冒泥”现象污染了水平排水砂垫层,导致真空压力传递效率更差,影响地基处理效果。

直排式真空预压的关键环节就是消除了传递过程中水平砂垫层、滤管和排水板滤膜对真空能量的消耗,使其到达排水板的真空压力保持在80 kPa左右,且延排水板深度损耗很少,从而提高了真空预压的利用效率,提高加固效果,缩短施工周期。

### 2) 能效高,速度快。

由于直排式真空预压提高了真空利用效率,使排水板内的真空压力比常规真空预压方法高,使沉降速率比常规真空预压提高,最终使得直排式真空预压持载时间比常规真空预压减少20%~30%。

### 3) 取消砂垫层,加固时间短,施工成本低。

常规真空预压工艺中,水平排水垫层一般要选取透水性较好的中粗砂,价格昂贵;直排式真

空预压工艺中,真空泵通过主管、连接软管与塑料排水板直接连接,取消了砂垫层,代之以工作垫层,该工作垫层仅提供打设排水板、埋设滤管、铺滤膜等后续工作的支撑作用,因此可以采用土方、粉砂等廉价材料,从而降低了施工成本。

另外,由于直排式真空预压真空利用效率高,持载时间比常规真空预压短,因此用电量少,使得地基处理成本降低。

## 3 新工艺在工程中的实际应用

### 3.1 工程概况

本次采用直排式新工艺处理的黄骅港某地基处理工程施工总面积为:112 551 m<sup>2</sup>。共分为4个真空预压区。设计恒载抽气时间为75 d,固结度要求达到85%。

### 3.2 工程设计

在原泥面上依次铺设:1层编织布(160 g/m<sup>2</sup>)、1层竹竿网(间距1.0 m×1.0 m),1层编织布(160 g/m<sup>2</sup>),人工联合轻型机械回填厚度1.0 m的素土形成工作垫层;然后打设塑料排水板,长14 m,间距1.0 m,正方形布置;黏土密封墙施工采用双排搅拌轴设备,宽度1.2 m,拌和深度至透气粉土层以下1.0 m;射流泵及真空排水管网布置施工,真空排水管网分为主管、支管和连接管3种,射流泵应满足13台/万m<sup>2</sup>的布置要求,所有射流泵24 h满负荷运转;埋设监测仪器后开挖压膜沟和铺膜;真空预压不少于70 d。

### 3.3 工艺创新

1) 板头装置:板头装置用于连接支管及排水板外露部分。在施工准备阶段,经多次试验对比,改良定型,模具设计已进入专利申领阶段,相应安装操作技术规范已初步确定。

2) 主管和支管:主要作用是构建水平排水网络,传递真空压力。材料为PVC塑料管,直径分别为75 mm和50 mm。

3) 连接软管:用于连接主管与板头装置,材料为PU塑料管,直径为12 mm。施工中改良了排水管连接方式,增加了支管塑料三通和防止漏气的密封垫(图1)。

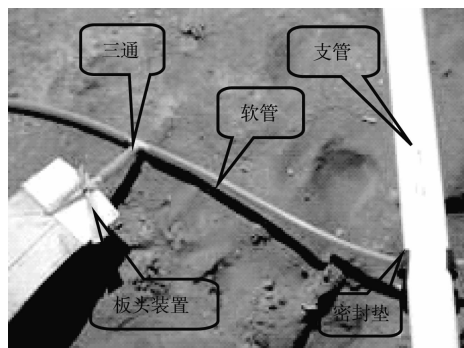


图1 板头、软管和真空管连接

### 3.4 效果对比

1) 加固前后土性指标变化。

加固前后土性指标变化见表1。

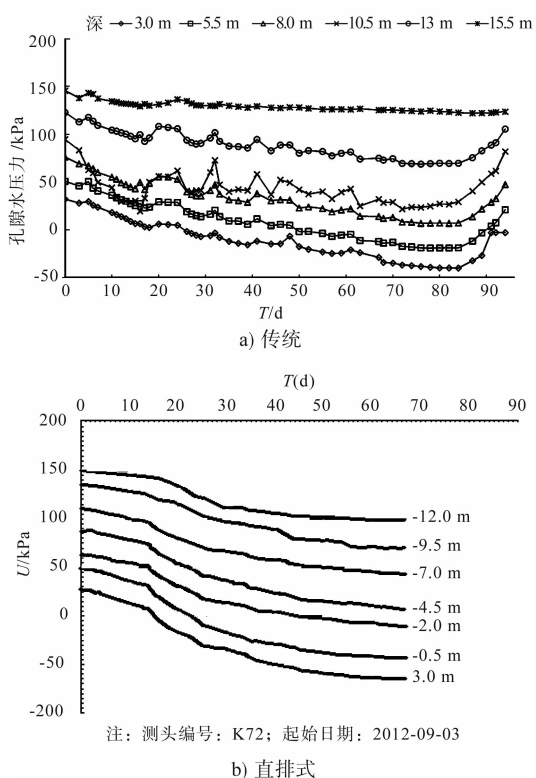
由表1可以看出,各分区软土的含水率、孔隙比、液塑性指数都有不同程度的降低,重度增加,快剪和固快试验指标、压缩模量、无侧限抗压强度也有不同程度的增长。场区加固深度内的土体强度总体增幅较大。

表1 主要软土层加固前后物理力学性质指标变化情况对比

加固土层名称	取样阶段	含水率/ %	天然密度/ ( $t \cdot m^{-3}$ )	孔隙比 $e_0$	液性指数 $I_z$	快剪	
						粘聚力 $c$ / kPa	摩擦角 $\varphi$ / ( $^\circ$ )
① <sub>2</sub> 冲填土	加固前	35.7	1.826	0.958	1.35	9.0	3.0
	加固后	28.5	1.911	0.792	0.84	14.0	3.1
	增幅/%	-20.1	0.470	-17.3	-37.7	55.6	3.3
② <sub>2</sub> 淤泥质黏土	加固前	45.8	1.717	1.284	1.27	7.0	0.0
	加固后	39.7	1.779	1.108	0.91	13.7	0.9
	增幅/%	-13.4	0.360	-13.7	-28.8	95.2	
③ <sub>4</sub> 淤泥质黏土	加固前	41.0	1.767	1.141	1.12	13.3	2.1
	加固后	36.2	1.811	1.016	0.93	16.5	2.5
	增幅/%	-11.6	0.250	-10.9	-17.3	24.5	15.3

2) 孔压消散情况对比。

孔压消散情况对比见图2。



注: 测头编号: K72; 起始日期: 2012-09-03

图2 真空预压孔压消散曲线

通过真空预压区孔压消散曲线的对比可以看出,在达到相同固结度的情况下,直排式真空预压的持载时间更短,真空能量传递深度更深,孔压消散速率更快,能量利用效率更高。

### 4 结语

直排式真空预压技术是在传统施工的基础上对真空压力传递系统进行优化的新技术,具有如下优势:

1) 效率高:真空设备产生的能量直接传递到排水板,克服了传统工艺中压力在砂垫层和滤膜传递过程中大量衰减的弱点,使真空压力的利用效率大大提高。

2) 速度快:直排式是通过管线直接将真空压力作用在排水板上,传导速度快、效果显现快。主要表现在泵表压力和膜下表压力提高至设计值比传统工艺快约30%,施工周期缩短17%。

3) 成本低:直排式真空预压工艺用主管与支管及板头装置(约8.5元/ $m^2$ )代替了传统的砂垫

层和滤管(42元/m<sup>2</sup>);另外由于真空压力的损失小,维持真空度的开泵数量由传统工艺的13台/万m<sup>2</sup>减少至8台/万m<sup>2</sup>,相同条件下耗电量及抽气设备降低成本38.5%;真空预压持载时间减少,相应耗电量降低成本22%。

#### 参考文献:

- [1] 董志良.堆载及真空预压砂井地基固结解析理论[J].水运工程,1992(9):1-7.
- [2] 董志良.真空预压法加固软基技术的理论与实践[C]//广东:广东土力学与基础工程学术交流大会论文集,

1998:83-91.

- [3] 董志良,胡利文,张功新.真空及真空联合堆载预压法加固软基的机理与理论研究[J].水运工程,2005(9):83-91.
- [4] 黄松涛.超软土地基加固现场常见问题及处理对策[J].水运工程,2008(10):176-182.
- [5] 李时亮.真空预压加固软土地基作用机理分析[J].岩土办学,2008(2):479-482.
- [6] 黄瑞,夏玉斌,黄旺祥.大铲湾港区一期试验区直排式真空预压法[J].水运工程,2009(5):122-127.

(本文编辑 郭雪珍)

.....

(上接第153页)

1) 根据有限元模拟降雨入渗过程中不同时刻的渗流场的计算结果,认识到降雨入渗诱发岸坡失稳的机制是:随着雨水的入渗,岸坡土体含水量、孔隙水压力逐渐增大,土体暂态饱和区域也逐渐扩大,基质吸力减小,直接导致岸坡土体有效应力减小,抗剪强度降低,从而使岸坡稳定性降低。

2) 在降雨强度一定的情况下,岸坡稳定安全系数随降雨历时的延长而逐渐减小;在降雨历时一定的情况下,降雨强度越大,安全系数越低,高强度的持续降雨是岸坡失稳破坏的主要诱发因素,因此有必要在强降雨来临之前对岸坡做好加固措施。

3) 在降雨强度和历时一定的情况下,岸坡土体渗透系数越大,安全系数越小。

4) 降雨入渗引发岸坡失稳的模式为渐进牵引式破坏,软土岸坡塑性破坏区域最先出现在坡脚,并沿坡面向上发展,逐渐形成连续的塑性贯通滑动面,对于进一步认识岸坡工程滑坡机理具有一定的指导意义。

#### 参考文献:

- [1] 荣冠,王思敬,王恩志,等.强降雨下元磨公路典型工程边坡稳定性研究[J].岩石力学与工程学报,2008,127(4):704-711.
- [2] 魏宁,茜平一,傅旭东.降雨和蒸发对土质边坡稳定性的影响[J].岩土力学,2006,27(5):778-786.

- [3] 马殿光.内河航道土质岸坡生态治理技术及应用研究[D].天津:天津大学,2013.
- [4] 周宏博,孙树林,尚文涛,等.降雨雨型和强度对土质边坡稳定性影响分析[J].科学技术与工程,2012,12(11):2602-2606.
- [5] 张洪全.考虑降水渗流对边坡稳定性影响分析[J].地基与基础,2009,23(6):853-855.
- [6] 樊有维,章羽,金雪莲,等.降雨对均质各向异性土质边坡稳定性的影响[J].岩土力学,2006,27(S2):337-342.
- [7] 刘新喜,夏元友,蔡俊杰,等.降雨入渗下强风化软岩高填方路堤边坡稳定性研究[J].岩土力学,2007,28(8):1705-1709.
- [8] 徐晗,朱以文,蔡元奇,等.降雨入渗条件下非饱和土边坡稳定分析[J].岩土力学,2005,26(12):1957-1962.
- [9] 曹蹇,潘家明.天津滨海软土地区深基坑支护结构的设计与实践[J].港工技术,2012,49(5):57-59.
- [10] Lumb P. Effect of rainstorm on slope stability[C]. Proc of Sym on Hong Kong Soils, Hong Kong, 1962: 73-87.
- [11] Sammori T, Tsuboyama Y. Parametric study on slope stability with numerical simulation in consideration of seepage process[C]. Proc 6th Int Symp on Landslide Bell (ed) Balkema, Rotterdam, 1991: 539-544.
- [12] 姚海林,陈守义.降雨入渗对非饱和膨胀土边坡稳定性影响的参数研究[J].岩石力学与工程学报,2002,21(7):1034-1039.
- [13] 费康,张建伟.ABAQUS在岩土工程中的应用[M].北京:中国水利水电出版社,2010.

(本文编辑 郭雪珍)