

DOI: 10.3785/j.issn.2096-7195.2020.04.015

【新装备新工艺】

水载预压在软土路基处理中的应用浅析

祝关翔¹, 余清涛²

(1 杭州萧山交通投资集团有限公司, 浙江 杭州 311201; 2 浙江省交通规划设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310030)

摘要: 现阶段, 软土地区地基处理主要采用土石方堆载预压的方法, 但是受土石方短缺的影响, 软土地区路堤堆载预压成本不断上升。在水资源丰富的沿海平原地区, 水载预压是一种成本低、工期短、环保效应好的处理方法。基于水载预压在国内的应用现状, 总结了该方法的施工要点、优缺点及发展趋势, 为相关工程提供参考。

关键词: 软土地基; 路堤; 水载预压

中图分类号: TU447

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2020)04-0357-04

Application of water preloading in soft soil subgrade treatment

ZHU Guan-xiang¹, YU Qing-tao²

(1. Hangzhou Xiaoshan Transportation Investment Group Co., Ltd., Hangzhou 311201, China;

2. Zhejiang Provincial Institute of Communications Planning, Design & Research Co., Ltd., Hangzhou 310030, China)

Abstract: Currently, the foundation treatment in soft soil areas mainly adopts the method of earthwork preloading. However, due to the shortage of earthwork, the cost of the subgrade surcharge preloading in soft soil area is increasing. In coastal plain areas with abundant water resources, water preloading is a treatment method with low cost, short construction period and good environmental protection effect. Based on the application status of water preloading in China, the construction key points, advantages, disadvantages and development trend of this method are summarized. It can provide reference for related projects.

Key words: soft soil foundation; subgrade; water preloading

0 引言

我国沿海地区广泛分布着深厚的软土地基, 软土具有强度低、含水量大、渗透性差、压缩性高等特点。长期以来, 软土地基是造成公路桥头跳车、路堤沉降、路面开裂、墩台倾斜变形等各种病害的重要影响因素。现阶段, 软土地区路基处理主要采用土石方堆载预压的方法。近年来, 随着滨海围垦和交通基础设施建设的加快, 土石方的需求越来越大, 加上环境保护政策的越来越严厉, 矿山开采越来越困难, 土石方填料的供应严重不足, 导致公路建设的成本不断攀升, 建设工期也受到影响。如碎石在过去 10 年单价上涨了 5~6 倍, 部分地区碎石单价达到 200 元/m³, 石质宕渣外购费用也接近 90 元/m³, 且市场上供不应求, 来源不稳定。

为解决这一困境, 采用新工艺代替或减少传统

的土石方堆载预压工艺势在必行。在滨海平原地区, 河网密布、渠塘相连, 水资源十分丰富, 利用水资源代替土石方成为了首选方案。

1 水载预压的应用现状

1.1 真空联合水载预压

利用水荷载进行预压, 最早出现于围垦工程中, 如施麟丽等^[1]、崔伯华^[2]、刘寒鹏^[3]、刘福权^[4]等分别介绍了采用真空联合覆水预压处理吹填土地基的案例。在这些工程中, 覆水主要起到加强密封、防止真空膜老化等作用, 由于受软基稳定性影响, 围堰填筑深度不高, 覆水深度一般不大, 较少考虑其堆载作用。王海鹏等^[5]、唐海峰等^[6]进一步通过室内模型试验和现场试验, 分析了真空联合覆水预压处理软土地基的工艺特点、加固机理及存在的

收稿日期: 2020-07-07

作者简介: 祝关翔(1964—), 男, 杭州萧山人, 本科, 主要从事交通工程建设管理工作。E-mail: 32677123@qq.com。

若干问题。由于该方法需要在软基上修筑围堰,一般仅适用于大面积软基处理工程,对于处理区域为带状的公路工程而言,修筑围堰往往并不经济。此外,如密封膜保护不当发生破损,抽真空过程中极易产生“循环水”,对真空预压处理效果产生较大不利影响,见图1。



图1 真空联合水载预压现场

Fig. 1 Construction site of vacuum combined with water preloading

1.2 水载预压在路基工程中的应用

水载预压在国内路基工程中的应用,最早出现于珠三角地区。如陈智^[7]介绍了京珠高速公路广州段、蔡镇生等^[8]介绍了佛山一环工程中水采用水载预压的详细施工工艺及处理效果。以佛山一环工程为例,该工程试验段长度390 m,宽度120 m,路基设计高度平均约为2 m,等载1 m,超载1 m。由于该工程路基宽度较大,适宜采用水池式水载预压法,最终设计围堰高2.0 m,覆水深度1.8 m。经过8~11个月的预压,路基普遍沉降400~600 mm,并趋于收敛,完全达到了其它路段采用土石方堆载预压的效果。经济效益对比发现,水载预压的造价为29.31元/m²,而同期采用常规堆载预压造价为58.74元/m²,水载预压节约成本近60%。

鉴于良好的经济效益,水载预压在沿海、沿湖平原地区路基工程中逐渐得到推广应用,如温州绕城高速公路、湖南南益高速工路、广东汕头苏埃通道工程、广东兴汕高速等均采用了这一技术,并发展出不同的施工工艺。

目前,水载预压法按覆水方式的不同,分为水池式、水箱式、水袋式三种,详述如下。

(1) 水池式

水池式水载预压法通过在路基上修筑水池蓄水的方法来实现预压。首先,在路基预压区域四周修筑土石方围堰,在围堰顶部及围堰内铺设1~2层PVC密封膜,在围堰顶铺设20~50 cm厚的黏土压膜,并在围堰上设置若干溢水口以排放雨水等,保

持水深,在围堰底部预留若干排水孔以便卸载时排水。向围堰内注水时,充水高度宜低于围堰顶20 cm左右。该方法加载和卸载都较快,对不均匀沉降的适应性较好,但围堰的高度和稳定性受到地基承载力的限制,加载高度不高,一般在1~2 m左右。同时,对于一般宽度的路基,修筑围堰并不经济。

(2) 水箱式

水箱式水载预压法采用水箱蓄水的方式进行预压。首先,采用钢模板在路基上组装成开口水箱,在箱内铺设PVC密封膜,然后注水并安装箱盖后进行预压。该方法的水箱可以根据所需预压水深进行多层叠放,预压完毕水箱可以回收并再次使用,降低成本,但一次性投入较大,对地基不均匀变形适应性也较差,因此应用较少,见图2。

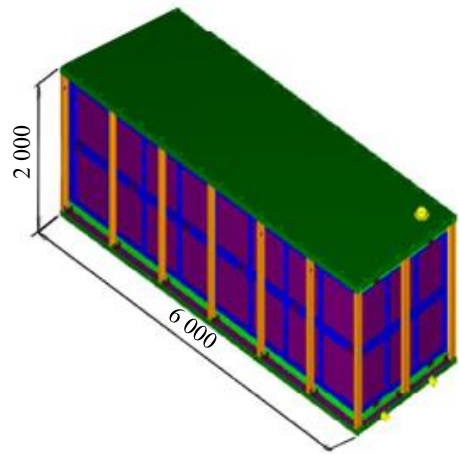


图2 预压水箱示意图

Fig. 2 Schematic diagram of water tank of preloading

(3) 水袋式

水袋式水载预压法采用高强度PVC水袋或橡胶水袋充水进行预压,是近年来发展起来的一种新工艺。由于无需修筑围堰、加载和卸载较快,材料可回收利用等优点,近年来大多数路基水载预压工程均采用了这一工艺,见图3。



图3 水袋式预压现场

Fig. 3 Construction site of preloading in with water bags

2 水载预压的优势及存在的问题

2.1 水载预压的优势

与传统的土石方堆载预压相比,水堆载预压的工艺具有以下几个显著的优势:

(1) 传统土石方堆载料源越来越难以保证,供应极不稳定,严重影响工期;水资源在沿海平原地区极为丰富,可就地取材,成本低廉。

(2) 传统土石方堆载在分层施工加载过程中,压实度、碾压遍数控制要求高,在堆载预压期沉降大的情况下,还要不断分层加载,施工控制困难;水堆载预压只要采用泵送水即可调整荷载,密实性、荷载高度容易控制。

(3) 传统土石方堆载预压期末需要机械卸载,对路床扰动比较大;水堆载预压可非常方便地排水卸载,对路床密实度几乎没有扰动。

(4) 传统土石方预压期末存在土方弃置的问题,增加工期和成本;水堆载预压零弃方,而且容器可以多次使用,废弃的容器可回炉再加工利用,能节约资源、降低造价。

按路基长度 1 km、宽度 26 m、堆载高度 1 m 计算,水载预压可减少土石方用量 2.6 万 m³,节约工期 14 d,降低成本 30% 以上,详细对比如表 1 所示。

2.2 水载预压存在的问题

尽管相比传统的土石方堆载预压有众多优势,在路基工程中得到越来越多的应用,水载预压目前仍然存在一些问题急需解决。以水袋式水载预压为例,主要有如下几点:

(1) 预压所需水袋数量较多,节约造价有限。由于需要大量的水袋,该工艺经济效益直接取决于

水袋的租赁时间。已有的现场试验研究结果显示,当预压时间在 6 个月以下时,水载预压相对于土石方堆载预压具有非常明显的优势;当预压时间在 9 个月左右时,水载预压相对于土石方堆载预压的经济效益已不再突出;当预压时间在 12 个月以上时,水载预压相对于土石方堆载预压已不具备经济优势。

(2) 水袋材质较软,分级加载困难。无论是 PVC 水袋还是橡胶水袋,都存在材质较软的缺点,随着储水量增加其形状会发生变化,不易实现分级注水加载过程,且材质不透明,难以直观判断水袋内水位高度。

(3) 由于充水后形状不规则,水袋分层叠放实施困难,堆载高度受到限制。同时,水袋之间往往存在较多的空隙,局部荷载分布不均匀。

(4) 水袋易因磨损而出现漏水现象,一定程度上影响路基的固结效果,同时也为施工和监测带来困难。

3 水载预压的发展趋势

鉴于水载预压在软土路基工程中的应用现状,该工艺进一步的改进可从以下几个方向考虑:

(1) 开发新型储水囊袋,制定产业化标准

目前市场上存在的 PVC 材质、橡胶材质等储水囊袋质量标准不一、性能参数各异,在使用中暴露出各种问题。有必要系统研究水袋的受力与变形特性、耐热性能、耐磨性能等,综合考虑造价和施工便捷性,研发适宜于路堤水载预压的新型储水囊袋及其组合连接方式,制定其产业化标准,提升施工效率和经济效益。

表 1 土石方堆载与水堆载效益对比

Tab. 1 Comparison of earthwork loading and water loading

对比项目	土石方堆载	水载
预压材料	土石方: 2.6 万 m ³	水: 4.68 万 m ³
加载设备	运输车辆: 870 车 (约 30 m ³ /车)	水泵: 30 台 (65 m ³ /h)
加载时间	15 d (10 台车, 12 h 工作制, 每趟往返 2 h)	1 d (30 台水泵, 24 h 工作)
工作程序	土方运输、摊铺、碾压、卸除	围压摊铺、注水、卸载、打包
施工条件	土石方充足、天气良好、道路通行良好、同一工作面只能循环作业	水源充足、电源方便, 所有工作面可同时作业
效益对比	(1) 大量车辆和设备交叉作业, 现场安全管理难度大 (2) 环境保护政策趋严, 取土弃土成本高 (3) 大量使用大型机械设备, 尾气排放大 (4) 扬尘、泥土污染大, 文明施工条件差	(1) 绿色环保, 安全可靠, 施工简捷、成本节约 (2) 平原地区水源丰富, 取水方便 (3) 施工设备简单, 水泵、水管、水囊 (4) 环境污染小, 文明施工条件好

(2) 开发新型围堰, 减少水袋用量

朱益军等^[9]提出了一种围堤囊条、储水围堤及水堆载预压的方法。该围堤囊条包括外层的水囊条和内层的气囊条, 水囊条内注水形成注水层, 注水层的水量与气囊条中的气压平衡维持水囊条的饱满有型。围堤囊条之间密封连接合围形成矩形结构, 矩形结构底部铺设防水膜形成蓄水池, 预压水分层注入蓄水池内实施水堆载预压。围堤囊条内注水层水位随预压水分步加载而逐步增高, 比预压水水位高 20~50 cm, 使围堤加载重量与围堤内侧密封水池内预压水达到压力平衡, 维持围堤囊条与蓄水池的密封稳定状态(见图 4)。该技术较好地解决了围堤的分级堆载问题, 可实现预压过程中的连续加载, 同时可大大减少水袋的使用量, 降低水袋成本, 但该方法目前还未实现工程应用, 有待进一步的验证。

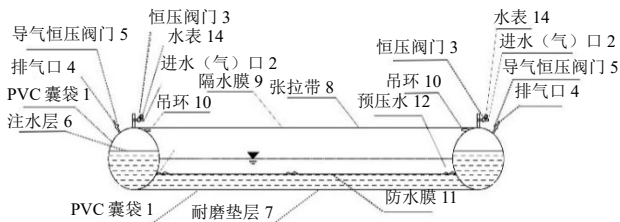


图 4 基于可伸缩囊条围堰的水池预压示意图

Fig. 4 Schematic diagram of water pool preloading based on expandable strip cofferdam

(3) 开发配套监测及安全控制系统

传统的堆载预压监测手段难以适应水载预压的要求, 基于高新传感设备, 研究开发水载预压配套自动化加载监测及安全控制系统, 实现自动化加载监测及安全控制, 提高施工过程安全性, 也将是该工艺未来改进的方向。

4 结 语

水载预压法的有效性已为多项工程所验证, 特别适用于水资源丰富的沿海平原软土地区路基处理工程, 可带来显著的经济效益和环境效益, 具有广阔的应用前景。

参考文献

[1] 施麟丽, 乔建敏, 陆玉琳. 真空-复水联合预压法在大面积软土地基上的应用[J]. 上海地质, 2004(4): 23-25, 32.

SHI Lin-li, QIAO Jian-min, LU Yu-lin. Application of vacuum preloading in large and super soft foundation[J]. Shanghai Geology, 2004(4): 23-25, 32.

[2] 崔伯华. 真空加水载联合加固处理温州港七里港区堆场软基[J]. 水运工程, 2006(8): 103-107.

CUI Bo-hua. Soft subsoil improvement at storage yard of Wenzhou port qili port area by vacuum combined with water surcharge preloading[J]. Port & Waterway Engineering, 2006(8): 103-107.

[3] 刘和文. 真空-覆水联合预压法加固大面积软土地基的工程实践[J]. 安徽建筑, 2007, 14(5): 74-76.

LIU He-wen. Application of vacuum-heaped preloading to the consolidation of extensive soft foundation[J]. Anhui Architecture, 2007, 14(5): 74-76.

[4] 刘福权. 覆水真空预压在福建软土地基处理中的应用[J]. 福建建筑, 2008(9): 59-61, 74.

LIU Fu-quan. Application of water-covered and vacuum preloading in soft soil foundation of Fujian[J]. Fujian Architecture & Construction, 2008(9): 59-61, 74.

[5] 王海鹏, 唐彤芝, 平克磊, 等. 真空预压水下补膜新技术研究[J]. 施工技术, 2008, 37(10): 84-86.

WANG Hai-peng, TANG Tong-zhi, PING Ke-lei, et al. Research on underwater membrane repairing technology in vacuum preloading[J]. Construction Technology, 2008, 37(10): 84-86.

[6] 唐海峰, 彭建华, 康景文, 等. 软土地区真空预压+覆水与堆载预压地基处理方法综合比较的试验研究[J]. 工程勘察, 2010(S1): 316-325.

TANG Hai-feng, PENG Jian-hua, KANG Jing-wen, et al. Vacuum preloading+overlying water with preloading ground approach of integrated test compared on soft soil[J]. Geotechnical Investigation & Survying, 2010(S1): 316-325.

[7] 陈智. 水荷载预压法在高速公路软基处理中的应用[J]. 华南港工, 2005(2): 27-30, 43.

CHEN Zhi. Application of water preloading in soft ground treatment of expressway[J]. South China Harbour Engineering, 2005(2): 27-30, 43.

[8] 蔡镇生, 陈思文, 许发明. 水载预压在公路软基处理中的应用分析[J]. 广东公路交通, 2006(2): 15-17.

[9] 朱益军, 刘开富, 俞峰, 等. 一种围堤囊条、储水围堤及进行水堆载预压的方法: 中国, 105350511B[P]. 2017-03-29.