

水袋堆载预压法在高等级公路软基处理中的应用

常金明 赵得虎

(中铁一局集团第五工程有限公司, 陕西 宝鸡 721000)

摘要:目前高等级公路软土地基建设受软土地基承载力差、含水量大、渗透性弱等特点影响,常出现沉降问题,不仅影响行车安全性及舒适性,而且增加公路营运成本。因此采取有效措施解决高等级公路沉降现象成为当下急需解决的重要课题,而堆载预压排水固结法是当前软基处治的主要方法之一。传统软土路基堆载预压采用路基填料来堆载,这种方案对机械、堆载填料需求量大,施工工序复杂繁琐,成本高,影响当地环境。采用水袋预压可避免预压期结束后大量预压土方的卸载,提高施工效率,节约用地,降低工程造价,且有利于水土保持和环境保护,具有重要的经济意义和社会意义。

关键词:软土地基;水袋预压系统;水袋预压法应用;水袋预压法优缺点;效益

中图分类号:K928 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-6344(2021)05-0087-03

1 导言

随着我国经济的高速发展,公路工程建设事业也迎来了蓬勃发展的新时期,浙江省作为沿海发达省份,高等级公路建设得到迅猛发展。浙江省地处中国东南沿海长江三角洲南翼,浙北、浙东平原区广泛分布软土层,以海相为主,部分为湖沼,近年来,大量高等级公路修建于软土地基上,促使工程技术人员积累了大量的设计与施工经验,其中堆载预压为常见的预压处理方式,目前国内外关于堆载预压的研究均是建立在太沙基渗流固结理论基础上(太沙基渗流固结理论是土力学的最重要理论之一)。由于堆载预压处理效果与堆载所采用的材料无关,只与荷载大小和预压时间有关,无论采用何种预压方式,路面摊铺施工前必须进行路基卸载,为了避免大量土方卸载,耗费大量成本,故“以水代土”的预压工艺“水袋堆载预压法”顺势而生。

2 工程概况

G235 富阳灵桥至渔山段工程起于富阳区灵桥镇,主要利用春永线老路拓宽,局部路段截弯取直,经里山、渔山等乡镇,至于富阳区渔山乡与萧山交界处(长岭头),沿线所经过地区属富春江冲海积平原、丘陵山前冲海积平原和浙西北龙门山脉低山丘陵区。线路左侧为富春江,右侧为平原或丘陵。路线全长 10.48 公里,其中 K12+310-K13+250 长 960m 老路拼宽段,路基填土高度 3~5m,软土层厚度 24.3m,因工后沉降不满足 $\leq 15\text{cm}$ 的要求,且原有路基与拓宽路基的路拱横坡度的工后增大值 $> 0.5\%$,故设计该路段需进行软基处理,即超载预压,超载材料采用路基填料,卸载界限为预压 6 个月后,且连续 2 月沉降速率 $< 8\text{mm}/\text{月}$ 。

因本工程临近富春江,位于二级水源保护区,环保要求高,矿产资源匮乏,目前国家强抓环保治理工作,附近山体禁止开采,致使预压土方量缺口较大,所需预压土方均需外购,同时外购土方距离较远,受道路限重、环保等因素制约,填料进场费用高,严重影响工程进度,项目施工成本加大。此外加载、卸载预压土方均需利用原春永线公路通行,由于老路保通(改扩建),交通组织困难,安全风险高。施工时间跨度长。

我部结合现场实际情况,根据市场调查,水囊可折叠性好,运输、拆除方便,现场操作简单,不需要大量机械、人员配合作业,能快速充水完成路基堆载,而且采用密封设计,后期拆除便捷、速度快亦不会对原路基造成破坏,地方干扰小,经济型和实用性较好,可随时进行超载预压,故计划 K12+310-K12+640 段采用橡胶密封水囊进行水袋预压取代堆载土预压试验。

3 软基特性及常见处理方法介绍

软土具有高含水率、弱透水性、固结速度缓慢、大孔隙比、高压缩性、低抗剪强度、触变性、流变性等特点,这些特点直接关系到公路路基的基础形式、软土地基的处理方式、预压期等。在软土地基上修建公路,容易产生路基整体沉降、不均匀沉降、路基失稳,造成路面不平、开裂、桥头跳车等病害现象。

现阶段我国对于深层软土路基的处理,基本可以分为三大类:排水固结法、复合地基法、轻质路堤法。排水固结法由于具有环保、造价低、施工方便、在

能够保证足够预压期的条件下处理效果良好等特点,在一般路段的软基处理上得到了广泛应用。排水固结法由加载系统和排水系统两大部分组成,加载系统一般可分为堆载预压、真空预压及真空联合堆载预压,其中堆载预压是最为常用的预压方式。堆载预压是指在软土地基上施加荷载,促使地基排水、固结、压密,以提高地基强度,减少在使用荷载作用下产生的工后沉降量。若预压荷载等于路基荷载与路面等效荷载之和,称为等载预压;若预压荷载大于路基荷载与路面等效荷载之和,称为超载预压;若预压荷载小于路基荷载与路面等效荷载之和,称为欠载预压。欠载预压通常适用于采用复合地基处理的软土路段,对于排水固结法而言,一般以等载预压和超载预压为主。

4 水袋预压系统介绍

我国对预压水袋的研发始于 2012 年,由武汉速安达建筑橡胶制品有限公司开发出了外加筋 PVC 密封水袋,应用与桥梁支架预压,在实际使用过程中由于 PVC 水袋强度低,容易老化,耐磨性能差等缺点,难以满足桥梁预压水袋要求质量轻,强度高,柔软性好,耐磨性好,耐候性好,成本低等要求,市面上无适合的材料和加工设备能够满足要求,因此难以推广应用。直至 2017 年,该公司研制出的橡胶水袋成功应用于桥梁支架预压,之后在桥梁桁架配载、移动模架预压、挂篮吊重方案均有应用。

2018 年 5 月,湖南南益高速首次采用水袋堆载预压,广东兴宁至汕尾高速、潮汕环线高速等先后进行了成功应用。

4.1 水袋系统组成

路基水袋堆载预压系统包含水袋、加载系统、安全控制系统及零星设备系统;



图 4-1 路基水袋堆载系统工作效果

4.2 水袋结构构成

其中堆载水袋由囊身、进(出)水阀门、排气阀门组成,根据常规路基堆载荷载要求选择堆载水袋结构尺寸。

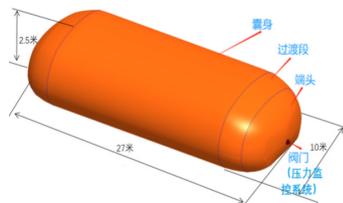


图 4-2 水袋结构示意图

4.3 水袋材料性能

本工程采用整体硫化成型橡胶堆载预压水袋，与传统的方法相比，继承了传统橡胶材料的强度高、耐磨性好、耐老化、密封性好等特点；同时降低1/3左右成本，1/2左右重量，还具有好的加工性能。

表 4-1 水袋性能参数

序号	名称	橡胶布 (标准)
1	涂层类型	橡胶
2	厚度	1.5-2.5mm
3	重量	2100-3500g/m ²
4	拉力强度	经 (维) 向 8000n/5cm
5	设计寿命	5 年以上
6	使用温度	-30-100℃
7	特性	防火、防毒、防冻、防紫外线、耐磨防刺

4.4 路基堆载水袋受力分析

假设水袋充气高度为 H 米，不考虑顶部空气压力，按理想状态分析水袋受力。现取 5 厘米宽 (材料检测标准宽度) 水袋单元材料受力最大处分析：

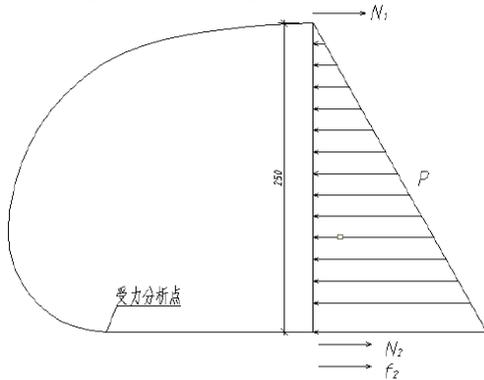


图 4-3 密封水囊受力分析图

其中 N1、N2 为水袋单元拉力，P 为水袋内压力，f2 为地面摩擦力，根据力矩平衡： $N_2XH = PX_2H/3$ ， $P = \rho gLH^2/2$ ，其中 L 为单元宽度。

袋体材料最大受力： $N_2 = \rho gH^2L/3$ (注：此计算理论未考虑内部空气压力等因素)

编号	水袋高度 H (m)	5cm宽材料经、纬向最大受力理论值 (N)	材料安全系数
1	0.5	42	95
2	1	167	24
3	1.5	375	11
4	2	667	6
5	2.5	1041	3.8
6	3	1500	2.7
7	3.5	2041	2

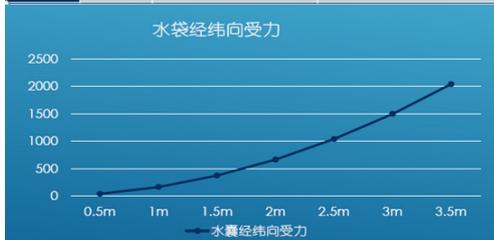


图 4-4 密封水囊受力图

5 水袋预压法应用

为确保我部软土路基工程顺利进行，提高工程效率，保证工程质量，避免盲目施工给工程带来损失，决定 K12+310-K12+640 段进行水袋堆载预压试验段施工。因堆载预压处理效果与堆载所采用的材料无关，只与荷载大小和预压时间有关。因水与宕渣质量比 1 : 2.32，经每平方米荷载等质量换算，厚度为 100cm 预压宕渣等于 2.3m 高水袋重量，同时考虑本工程为改扩建 (部分路段截弯取直)，路基全宽不等 (32-36m)，故水袋采取横向及纵向相结合的方式布置，即尺寸为 27m × 10m × 2.5m 大水袋与 10m × 5m × 2.5m 小水袋。



图 5-1 水袋布置方式

5.1 施工准备

在已验收完成待预压路基上摊铺重量不低于 300g 的土工布，进一步保护水袋避免被尖锐物损坏，然后在其上摊铺隔水层，避免施工用水浸泡路基及卸载水冲刷路基；土工布和隔水层摊铺要注意和机械设备协调配合，切忌机械将其损坏，摊铺时搭接 20cm，防止水袋直接接触路基面层。

5.2 水袋定位

为了保证后续水袋注水后能贴紧，避免漏压，水袋摆放前必须先行定位，再行摆放，水袋定位主要采取控制相邻水袋阀门的距离，利用皮尺和石灰等工具将水袋位置画出，确保水袋的整齐划一。

5.3 水袋摊铺

必须保证水袋无大褶皱，特别是水袋底部和端部，确保平顺，以免影响后期注水后水袋的外形，直接降低水袋的安全性，此过程可以依靠风机协助。

5.4 水袋注水

水袋摊铺到位后，可进行注水作业，注水期间根据设计要求，加强沉降监测，根据沉降速率分级加载，平均一台水泵约 6 小时可注满一条水袋，注水施工关键是关注水袋的状态，一旦有异常及时暂停注水作业，待查明情况。

5.5 水袋卸载

经持续不间断沉降观测至一定时间段，判定达到卸载要求后，方可连接水管将水袋内水排至指定位置，然后打包堆放。



图 5-2 现场预压情况

6 水袋预压优缺点

表 6-1 水袋预压法优缺点对比

项目	堆载方式	传统填土堆载	新型水袋堆载
	设备	挖机、后八轮、推土机、平地机、压路机	
施工效率 (试验段)		在天气良好、土源充足、机械配合到位等前提下，需 20 天左右完成堆载土方施工。施工过程繁琐复杂，卸土推平、分层碾压，预压完成后，需大量机械运弃土方，施工效率较低。	不受天气影响，在水源充足的情况下，可根据监测数据逐级加载。预压完成后，将卸载水直接排放至灌溉水渠中即可。
施工成本		使用大量大型机械设备，且耗时较长，成本较高；	使用机械较少，较传统方式节约成本；
施工安全		各种机械交叉作业，保通道交通组织困难，易引起安全事故；	所需机械设备很少，风险源极少；
施工环保		需土量大，无满足需要的取土场，且大量取土极易破坏当地的生态环境。同时后期弃土，亦无可用弃土场；使用大量大型机械设备，造成资源浪费，与国家的节能减排政策相违背且影响周边居民正常生活；运土过程中极易产生扬尘、撒土，破坏当地交通，也与环保、文明施工相悖；	当地水系发达，沟渠密布；施工中仅仅用到水泵、空压机等小型设备，节约资源；预压完成后，水可重新排放至附近沟渠，不会破坏当地的水资源；水袋可回收，重复利用，造成环境污染基本可以忽略不计；

各千斤顶同步回落,保证梁片在回落过程中横向高差控制在1mm内,梁端2侧高差控制在2mm内。如落梁后发现横隔板出现局部0.2mm以下裂缝用建筑结构胶进行封闭处理即可。

4 注意事项

(1) 在每个桥墩上部布置两个千斤顶,在千斤顶布置过程中一定要确保上下平整,在局部不平整区域采用薄钢板垫平,确保千斤顶与梁板秘贴。

(2) 在布置其他辅助设备时,注意不要将相关设备放置在梁板上,这样可以有效减少顶升力,减轻千斤顶的额外负担。

(3) 在顶升前必须对记录仪器进行校验,确保仪器的精度,在仪器搬运及操作时必须派专人负责,以免仪器出现损坏。

(4) 顶升过程一定要控制速度,缓慢进行,派专人看守千斤顶,从而确保每个千斤顶同步顶升,顶升过程中如有异常应立即停止顶升作业,检查设备情况,设备正常后继续施工。

5 结论

(1) 由于该桥横跨城市快速路,人流车流较大,通过方案比选的方式选择了桥墩墩顶直接顶升的方式对桥梁进行加高,该方法大大减少对现场交

(上接第88页)

7 效益分析

7.1 经济效益:

土方预压及卸载施工工期1个月,水袋预压及卸载工期15天且不受雨季影响,工期显著缩短;土方施工筑筑及卸载费用相比水袋预压加载及卸载费用较高;水袋预压无加载弃土处置费,无土方购置等费用。

7.2 技术效益:

使用水袋预压方案后,既解决了取土问题,也告别了传统堆载土施工工序多,后期卸载时间长以及卸载土方处置等问题,避免设置卸载土方弃土场,减少开挖土方和渣土车作业。水袋预压采用密封水囊,水囊可折叠性好,运输、拆除方便,现场操作简单,不需要大量机械、人员配合作业,能快速充水完成对路基堆载,且不受天气影响。后期拆除便捷、速度快亦不会对原路基造成较大破坏,水为可再生资源,经处理后排放至河流,避免对水体造成污染,且可循环利用。

7.3 社会效益:

将原设计软基段土方堆载预压,采用水袋预压法,即节能减排,也很好的保护当地生态环境不被破坏,面对节能减排、循环经济、低碳经济的新时代要求,水袋预压的成功应用,完全符合当代“绿水青山就是金山银山”的理念,将节能环保、绿色循环、低碳发展融入公路规划、设计、建设管理等各个环节,符合我国生态文明建设要求。在业主及地方政府多次环保检查中,得到了各界领导的一致好评,也为沿海(江)地区公路路基软基水袋预

通的影响,同时减少了材料及人工费,有效节约施工成本,

(2) 在顶升施工过程中,采用了多次、小距离、同步控制相结合的顶升方式进行顶升,使整个顶升施工过程得到有效控制,安全高效的完成顶升任务,最终达到使既有桥梁稳定增高的目标。

参考文献

- [1]刘来君,赵小星.桥梁加固设计与施工技术[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [2]邱湧彬,刘世忠,李丽园.顶升技术在城市桥梁改造中的应用[J].施工技术,2013,05:62-66.
- [3]刘世忠.桥梁施工[M].北京:中国铁道出版社,2010.
- [4]夏洪波,刘世忠,刘志翁,等.单箱五室连续弯箱梁桥旋转的顶升关键技术[J].兰州交通大学学报,2012,04:36-40.
- [5]陈智强.厦门仙岳路改造工程既有桥梁顶升技术[J].公路,2012,(9):79--87.
- [6]蒋岩峰,蓝戊己.桥梁整体顶升关键技术研究[J].建筑结构,2007,S1:547-549.

压处理提供了宝贵经验,具有较好的推广应用前景。

8 总结

本工程水袋预压试验路段根据土方堆载预压要求,经等载换算,水体预压高度为2.3m,现场自2019年6月25日对水袋进行加载,2019年7月7日加载完成,预压至2020年2月14日结束,经水袋预压段及土方预压段现场实测沉降数据比对,两者数据变化一致且各点位数据均符合设计及规范要求。成功完成了该段试验段相关工作,为后续大面积软土路基预压工程施工获得了宝贵的经验。

同时近年来国家对环保保的要求明显提高,绿水青山理念深入人心,大量矿山关闭,路基填料来源愈发紧张,远距离的运输导致土方成本剧增,由于水袋预压具有成本低,可就地取材,施工速度快,绿色环保等特点,预计在水源丰富的软土地基路段,采用水袋荷载取代设计路床以上部分的填土荷载(水袋预压法)应用前景广阔。

参考文献

- [1]公路软土地基路堤设计与施工技术细则 JTG/T D31-02-2013;
- [2]公路工程水文勘测设计规范 JTG C30-2015;
- [3]公路路基施工技术规范 JTG F10-2006;
- [4]G235 富阳灵桥至渔山段工程两阶段施工图;
- [5]公路工程质量检验评定标准(第一册 土建工程)
- [6]水袋预压在软基础公路工程中的应用(2019年2月第3版);