

文章编号:1671-8879(2009)01-0031-05

低液限粘土路基的现场试验

赵 红^{1,2}, 折学森¹, 卢和全^{1,3}, 范红英¹

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064; 2. 中交第一公路勘察设计研究院有限公司, 陕西 西安 710075; 3. 陕西省高速公路建设集团公司, 陕西 西安 710054)

摘要:结合靖边—延安高速公路工程实际及大量的现场试验结果,分析了低液限粘土路基的施工工艺、质量控制要点及现场试验方法,并对低液限粘土压实的机具选择、路堤填土合理分层厚度、压实质量控制和检测技术进行了研究。结果表明:选用虚铺厚度为 30 cm、填土含水量(质量分数)超过最佳含水量+1%左右时,采用振动羊脚碾碾压 6~7 遍、20 t 振动压路机碾压 4~5 遍、静压 1 遍收面,土层内各分层压实度均已达到要求,压实效果最佳;低液限粘土是路堤施工的适宜填料,可在其普遍存在地区充分利用。

关键词:道路工程;路基;低液限粘土;现场试验

中图分类号:U416.1 **文献标志码:**A

Field test of low liquid limit clay subgrade

ZHAO Hong^{1,2}, SHE Xue-sen¹, LU He-quan^{1,3}, FAN Hong-ying¹

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. The First Highway Survey and Design Institute of China Co Ltd, Xi'an 710075, Shaanxi, China; 3. Shaanxi Province Group Corporation of Highway Construction, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: Based on engineering practice of Jingbian—Yan'an freeway and a large amounts of field experimental datum. The paper discussed the construction craft, quality control, the field test means of low liquid limit clay, studied the machines choice for the compaction of the clay, the reasonable laminated thickness of roadbed filling, the compaction effect control and the measuring technique. The results of show that the reasonable laminated thickness of roadbed filling is 30cm, the water content of roadbed filling is more +1% than the optimal water. The number of rolling by sheep-foot roller is about six or seven times, the number of rolling by 20 t vibrating roller is about four or five times, the static surface compactness; This notes that the low liquid limited clay is the appropriate filler of embankment construction, and should be fully utilized in its plentiful area. 4 tabs, 10 figs, 8 refs.

Key words: road engineering; subgrade; low liquid limited clay; field test

收稿日期:2008-02-08

基金项目:国家自然科学基金项目(40802068)

作者简介:赵 红(1975-),女,陕西蒲城人,中交第一公路勘察设计研究院有限公司工程师,长安大学工学博士研究生,

E-mail:zhaored2008@163.com.

0 引言

低液限粘土的液限低,塑性指数小,强度低,水稳定性差,在路基施工中压实相当困难^[1]。国内外对低液限粘土虽有不少研究,但系统性、完整性尚不够,许多问题还需做深入探索。目前,对浅薄且局部性低液限粘土路基的改良处理技术研究的较多,而针对公路建设中普遍遇到的且分布范围较大的低液限粘土路基性态及其处理技术研究的较少,尤其缺乏在不同碾压施工工艺、不同机械组合及不同松铺厚度下的实体试验路测试资料^[2];对低液限粘土的微观结构分析试验资料较多,而对公路路基现场原位测试及原状土体路用性能的试验较少。如果机械设备不配套及施工措施不合理,路基压实度很难满足要求^[3]。由于中国土地资源相对匮乏,人均耕地少,对于公路建设中遇到的低液限粘土,若完全弃之不用,采用其他筑路材料换填,则将显著增加建设投资。为此,本文分析了低液限粘土填筑路基的可行性,对靖安(靖边—延安)高速公路低液限粘土路基开展了试验研究。

1 试验段概况

试验段选在靖安高速公路 LII01 标最具代表性的 K54+200~K54+750 路段,其填土高度范围为 1.5~8.98 m。靖安高速公路由北向南跨越毛乌素沙漠、黄土梁峁斜坡沟壑、洞(掌)地和延河谷阶地等地貌单元,低液限粘土层厚不一致,从 1.5~20 m 不等,分布连续性差,其主要的物理力学性质见表 1。低液限粘土填料的最大干密度为 1.78 g/cm³,最佳含水量(质量分数)为 11.0%。每种工况下,路基按左半幅或右半幅分层填筑,松铺厚度分别为 25、30、35 cm。

采用 4 种不同机械组合进行碾压试验。

2 现场试验的主要内容和方案

为了研究低液限粘土填筑路基的可行性,现场试验主要有以下几方面:①低液限粘土路堤压实施工的合理分层厚度与压实施工工艺;②选择最佳机具组合;③低液限粘土路堤压实施工的质量控制和检测技术;④低液限粘土路堤的经济性评价。

现场试验方案选取了 4 种不同的机械组合,分别在不同的虚铺厚度下进行施工碾压。4 种不同的机械组合分别为:组合 1,18 t 压路机静压与 20 t 振动压路机弱振;组合 2,18 t 羊脚碾振动压路机与 20 t

表 1 靖安高速公路 LII01 标段土料场试验汇总

土样编号	物理试验					击实试验		土样类型
	含水量/ %	重度 γ / (g·cm ⁻³)	液限 W_L / %	塑限 W_P / %	塑性指数 I_P / %	最佳含水量 W_{opt} / %	最大干密度 $\gamma_{d,max}$ / (g·m ⁻³)	
1	8.2	2.60	31.0	19.1	11.9	11.2	1.77	低液限粘土
2	6.8	2.61	29.4	18.5	10.9	11.0	1.78	低液限粘土

① 本试验依据《公路土工试验规程》。

② 土样依据上述规程 2.1.7 条及 2.4.3 条塑性图进行分类。

振动压路机;组合 3,20 t 压路机静压与 20 t 振动压路机;组合 4,18 t 羊脚碾静压与 20 t 振动压路机。虚铺厚度分别选取 25、30、35 cm。当每层填高达到预定的碾压遍数后,分别在每个断面距中线 5、10 m 位置处取样,测定干密度。沿路线按每 10 m 布设一个检测断面。若分层厚度小于或等于 30 cm 时,分为 4 层,分别在深度 0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm、15~20 cm 处取样;若分层厚度大于 30 cm 时,分为 3 层,分别在深度 0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm 处取样。采用灌砂法测定压实度,每次测前需要标定灌砂筒下部圆锥体内砂的质量,最后取平均值。每层施工中定点测量填方高程。每半幅观测 5 个断面,共 10 个点,测点位置分别距路线中线垂直距离 5、10 m。在填料虚铺厚度达到要求并整平后,在相应测点位置测定压前高程;压路机碾压达到预定的碾压遍数时,在相应位置处测定碾压后的高程,计算相对高差。

3 施工工艺流程

施工工艺流程为:施工准备→基底处理→分层填筑→摊铺整平→洒水或晾晒→机械碾压→检验签证→基床整修等。施工流程见图 1(见下页)。

3.1 基底处理

填筑前按技术要求,认真做好基底处理,根据基底土质、植被情况及填土高度分别采取相应的处理措施。挖除树根,去除表层底种植土、草皮等。地面横坡不陡于 1:10 时直接碾压;地面横坡为 1:10~1:5 时,将表土翻松并压实;地面横坡或纵坡陡于 1:5 时,应将路基纵横方向底原地面挖成不小于 2 m 的台阶,台阶顶面做成 2%~4% 的内倾斜坡。地表清理后进行原地面碾压,压实度不小于 90%。

3.2 填料试验

路基施工前,对填料按规范^[1-2]规定的方法进行颗粒分析(含水量、密度、液限、塑限、有机质含量(质量分数)、承载比。击实试验等)。填方路段的填土,

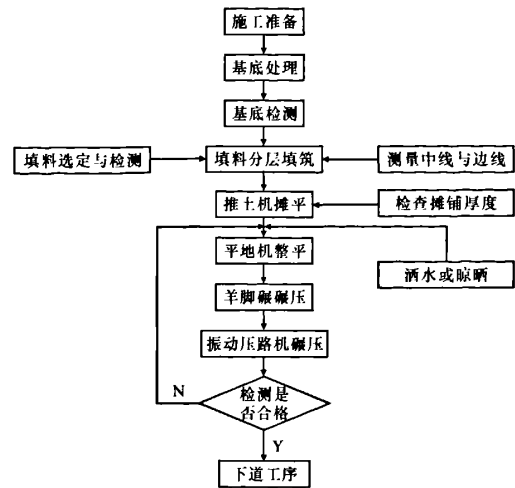


图 1 施工流程

应选用满足高速公路路基填料要求的材料进行填筑,具体要求见表 2。对不同性质的土应分别填筑,每层累计厚度不宜大于 50 cm^[4]。

表 2 一级公路路基的填料要求

项目分类 (路面底面以下深度)		填料最小强度率 (高速公路及 一级公路)/%	填料最大 粒径/cm
路 堤	上路床(0~30 cm)	8.0	10
	下路床(30~80 cm)	5.0	10
	上路堤(80~150 cm)	4.0	15
	下路堤(大于 150 cm)	3.0	15
零填及路堑路床(0~30 cm)		8.0	10

3.3 填筑作业

(1)施工放样。路基施工前,对导线点、水准点进行复测,必要时加密,以满足施工放样的要求。在施工中,始终坚持“三线四度”。三线为:中线、两侧边线;四度为:厚度、密实度、拱度和平整度。控制路基分层厚度,以确保每层的压实度;严格控制填筑密实度,以确保路基的质量及后期沉降不超标;控制拱度,以确保雨水及时排出;控制平整度,以确保路基压实度均匀,并在下雨时路基不积水。

(2)填筑方法。路堤采用水平分层法进行填筑,按照横断面全宽分成水平层逐渐向上填筑,如原地面不平,应从最低处分层填起。每层检验合格后进入下一层填筑^[5]。

(3)摊铺整平。采用自卸车运土,推土机进行初平,再用平地机进行整平,做到控制层表面平整、均匀,每层填土宽度超出设计 50 cm,以利机械作业,保证路堤边缘有足够的压实度。填筑完成后,按设计要求刷坡。

(4)洒水、晾晒。路基填土的含水量控制在最佳含水量的±2%,当含水量超出最佳含水量的±2%时,采用土坑挖沟拉槽降低水位和在路基上摊铺、翻松晾晒相结合的方法,降低填土的含水量。当含水量低于-2%时,洒水润湿,加水量 $M_w(t)$ 可按下式估算

$$M_w(t) = M_s(W_{opt} - W)/(1 + W)$$

式中: $M_w(t)$ 为加水量; M_s 为拟加湿填料的湿重; W 、 W_{opt} 分别为填料的天然含水量和最佳含水量(重型击实试验)。

洒水可采用取土坑内提前洒水闷湿和路基上洒水搅拌相结合的方法。

(5)机械碾压。碾压前,先对填土层的松铺厚度、平整度和含水量进行检查,确保符合要求,方可进行碾压。由于低液限粘土天然含水量小,液限指数低,施工中应先采用 90 推土机稳压;第二遍采用 18 t 振动羊脚碾碾压,以增加压实深度;第三遍采用 20 t 振动压路机振动碾压。横向接头轮迹重迭宽度为 40~50 cm,相邻两区段纵向重迭 1~1.5 cm。视压实度适当增加压实遍数。压实速度最大不超过 4 km/h,采用先慢后快由两边向中间碾压。碾压的同时,试验人员现场用灌砂法(环刀法)对压实效果和路基含水量进行检测,洒水车随时对含水量小的地方补水。待压实度满足要求后,采用 20 t 光轮压路机以 3~4 km/h 的速度进行静压封面。碾压工艺流程见图 2。

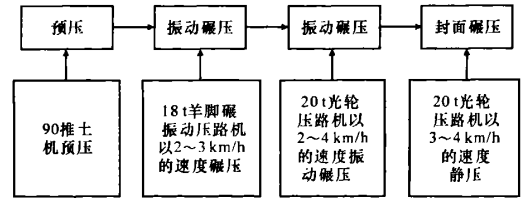


图 2 碾压工艺流程

4 主要试验结果

4.1 同一虚铺厚度下不同机械组合的试验结果

图 3~图 5(见下页)给出了同一虚铺厚度下、不同机械组合的碾压遍数与土基压实度的关系曲线。压路工艺及机具不同,施加于土体上的作用力大小及作用原理不同,压实效果也不同。当采用平碾碾压时,土体承受碾的重力;当采用振动碾时,土体不但承受碾的重力还要承受振动力;而带凸块的捣压轮具有静压、冲击揉搓及拌和等多种因素的综合作用^[6]。从试验结果来看(表 3(见下页)),对于 4 种机械碾压组合,捣实压路机即振动羊脚碾(机械组合 2)碾压效果最好,其明显特点是单位面积上的压力

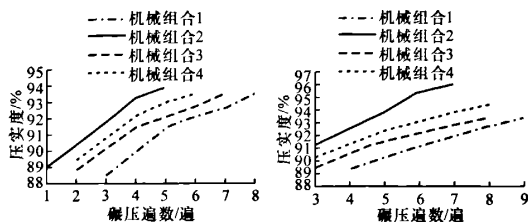


图3 虚铺厚度 25 cm 时不同机械组合的试验结果

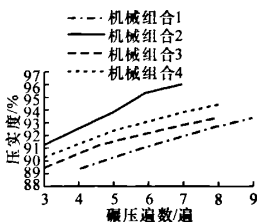


图4 虚铺厚度 30 cm 时不同机械组合的试验结果

大,同时振动,凸块本身还可以对土壤起到揉搓的作用,压力又可以能量波的形式传递得更深更远。虚铺厚度 25 cm 时,机械组合 2 的平均压实度为 93.8%,比其他组合的压实度稍大;虚铺厚度 30 cm 时,机械组合 2 的平均压实度为 96.1%,比其他组合的压实度大 2.8%;虚铺厚度 35 cm 时,机械组合 2 的平均压实度为 94.2%,比其他组合大 1.0%。因此在同一松铺厚度下,振动羊脚碾的压实效果最佳。

表3 不同机械组合下不同虚铺厚度的压实度及相对高差检测汇总

组 合	参 数	虚铺厚度 25 cm				虚铺厚度 30 cm				虚铺厚度 35 cm			
机械组合 1	碾压遍数/遍	3	5	7	8	4	6	8	9	4	8	10	11
	平均压实度/%	88.5	91.4	92.6	93.5	89.3	91.1	92.7	93.4	89.1	91.1	92.6	93.1
	相对沉降量(累计沉降量)/mm	22.0	15.2	10.3	6.7(54.2)	30.6	18.0	10.0	5.4(64.0)	27.8	16.4	10.6	6.5(61.3)
机械组合 2	碾压遍数/遍	1	3	4	5	3	5	6	7	3	6	7	8
	平均压实度/%	89.1	91.8	93.2	93.8	91.3	93.8	95.4	96.1	90.0	92.1	93.5	94.2
	相对沉降量(累计沉降量)/mm	27.2	15.0	11.3	7.0(59.5)	33.5	21.0	13.6	6.0(74.1)	31.2	19.4	12.5	6.7(69.8)
机械组合 3	碾压遍数/遍	2	4	6	7	3	5	7	8	4	7	9	10
	平均压实度/%	88.9	91.4	92.7	93.5	89.5	91.5	92.8	93.5	89.3	91.3	92.9	93.4
	相对沉降量(累计沉降量)/mm	25.1	14.5	12.0	5.9(57.5)	30.5	19.0	11.5	6.3(67.3)	29.8	18.4	9.8	6.7(64.7)
机械组合 4	碾压遍数/遍	2	4	5	6	3	5	7	8	3	6	9	10
	平均压实度/%	89.4	92.1	92.9	93.5	90.3	92.3	93.8	94.4	89.7	91.9	93.2	93.8
	相对沉降量(累计沉降量)/mm	26.5	15.5	10.0	6.5(58.5)	31.0	19.5	12.0	6.0(68.5)	29.9	19.0	10.5	5.9(65.2)

30 cm 压实效果最好。表 3 表明,在同一机械组合下,虚铺厚度 30 cm 时,压实效果最好。

4.3 相对沉降量观测及虚铺系数

用同一压路机对同一材料进行碾压时,最初若干遍的碾压对增高材料的干密度影响很大。最初若干遍的碾压,相对沉降量比较大;随着碾压遍数继续增加,相对沉降量逐渐减小,干密度的增长率就逐渐减小;碾压遍数超过一定数值后,相对沉降量几乎为 0,干密度实际上就不再增加了。图 7~图 9(见下页)给出了同一虚铺厚度下不同机械组合的累计沉降量,在同一虚铺厚度下机械组合 2 的累计沉降量最大。由表 3 可以看出,虚铺厚度 25 cm 时,机械组合 2 累计沉降量为 59.5 mm,虚铺系数为 1.312;虚铺厚度 30 cm 时,机械组合 2 累计沉降量为 74.1 mm,虚铺系数为 1.328;虚铺厚度 35 cm 时,机械组

4.2 同一机械组合下不同虚铺厚度的试验结果

一般情况下,铺层愈厚,其在相同的压力条件下的密实度愈小;而铺层太薄也不利于其荷载能力的增强,且施工效率降低很多^[7-8]。因此,需要找到一个合理的铺层厚度,既能提高施工效率,又能用现有的压实手段达到设计密实度要求。图 6 给出了在机械组合 2 下不同虚铺厚度的碾压遍数与压实度的关系曲线。从图 6 可看出,在机械组合 2 下,虚铺厚度

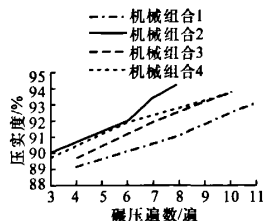


图5 虚铺厚度 35 cm 时不同机械组合的试验结果

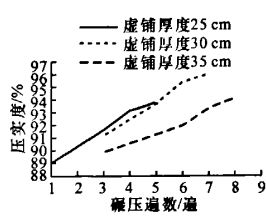


图6 机械组合 2 下不同虚铺厚度的试验结果

合 2 累计沉降量为 69.8 mm,虚铺系数为 1.249。因此,虚铺厚度 30 cm 采用机械组合 2,虚铺系数最大,压实效果最好。

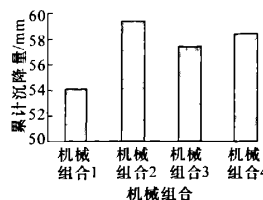


图7 虚铺厚度 25 cm 时不同机械组合的累计沉降量

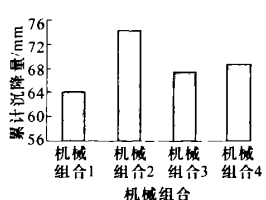


图8 虚铺厚度 30 cm 时不同机械组合的累计沉降量

4.4 现场回弹模量试验

现场回弹模量试验是依据文献[1]中承载板测定土基回弹模量试验方法进行的。试验测点位于靖安高速公路 LII01 标,虚铺厚度为 30 cm,采用机械

组合 2。试验设备采用 200 kN 荷载传感器及电阻应变仪,用 120 kN 油压千斤顶传力,承载板尺寸为 30 cm(直径)× 20 mm(厚度)的圆形钢板,弯沉仪两台,利用黄河牌 JN150 汽车盛砂石作反力,距后轴 0.8 m 处安装一高度为 280 mm 的工字钢作承重横梁。分别在不同压实度下测得土基的回弹模量试验数据如表 4 所示;图 10 给出了回弹模量与压实度的关系曲线。

表 4 不同压实度下回弹模量数据

压实度/%	89.8	93.4	94.9	95.7	97.8
回弹模量/MPa	78.83	95.82	110.24	122.92	135.78

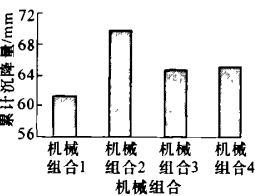


图 9 虚铺厚度 35 cm 时不同机械组合的累计沉降量

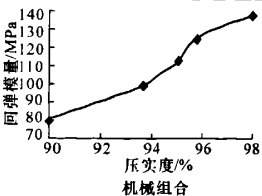


图 10 土基压实度与低液限粘土回弹模量的关系曲线

由表 4 和图 10 可看出,低液限粘土的回弹模量与土基压实度密切相关。随着压实度的不断提高,回弹模量随之增大,压实度由 89.8%提高至 97.8%时,回弹模量值由 78.83 MPa 提高至 135.78 MPa。这说明,提高低液限粘土路基的压实度,可以有效地提高路基的回弹模量。

5 结 语

(1)在不同松铺厚度下,各种机械组合碾压的前 4 遍内,土体平均压实度及各分层的压实度增幅较大,特别是表层;此后,平均压实度及各分层压实度的增长速度较缓慢;碾压遍数超过一定数值后,压实度实际上就不再增加了。

(2)含水量对路基压实效果的影响比较显著,靖安高速公路低液限粘土路基在虚铺厚度为 30 cm 时,含水量超过最佳含水量+1%左右,压实效果最明显。试验段填土最佳含水量为 11.0%;因此,在虚铺厚度 30 cm 时,填土的含水量控制在 11.9%~12.3%之间压实效果最佳。

(3)压实工艺及机具不同,施加于土体上的作用力大小以及作用原理不同;压实效果也不同。在同一松铺厚度下,振动羊脚碾的压实效果最佳。

(4)一般情况下,铺层愈厚,在相同的压力条件下的密实度愈小,而铺层太薄也不利于其荷载能力的增强,且施工效率降低很多;试验结果表明,采用

振动羊脚碾、虚铺厚度 30 cm 时,压实效果最好。

(5)低液限粘土的回弹模量与土基压实度密切相关,因此,提高低液限粘土路基的压实度,可有效提高路基的回弹模量。

参考文献:

References:

[1] JTJ 059—95,公路路基路面现场测试规程[S].
[2] JTJ 033—95,公路路基施工技术规范[S].
[3] 李 冰,焦生杰.振动压路机与振动压实技术[M].北京:人民交通出版社,2001.
[4] 毛洪录,曹卫东,商庆森,等.含砂低液限粘土路基压实标准的探讨[J].山东大学学报:工学版,2003,33(5):593-596.
MAO Hong-lu,CAO Wei-dong,SHANG Qing-sen,et al. Study on compaction standard of subgrade with bearing sand silt of low liquid limit[J]. Journal of Shandong University: Technology Edition, 2003, 33(5):593-596.
[5] 谭昌明,徐日庆,周 建,等.软粘土路基沉降的一维固结反演与预测[J].中国公路学报,2002,15(4):14-16.
TAN Chang-ming, XU Ri-qing, ZHOU Jian, et al. Settlement back-analysis and prediction for soft clay ground of embankment[J]. China Journal of Highway and Transport, 2002, 15(4):14-16.
[6] 吴立坚,钟发林,吴昌兴,等.高液限土路基填筑技术研究[J].中国公路学报,2003,16(1):32-35.
WU Li-jian, ZHONG Fa-lin, WU Chang-xing, et al. Study of subgrade construction from high liquid limit soil[J]. China Journal of Highway and Transport, 2003, 16(1):32-35.
[7] 张红春,戴经梁,李小重,等.智能冲击压路机路基压实度自动检测方法[J].交通运输工程学报,2007,7(5):63-67.
ZHANG Hong-chun, DAI Jing-liang, LI Xiao-zhong, et al. Compactness automatic detecting method of subgrade for intelligent impact roller[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007, 7(5): 63-67.
[8] 吴超凡,申爱琴,王秉纲.半刚性基层材料的碾压机械优化组合[J].长安大学学报:自然科学版,2007,27(1):11-14.
WU Chao-fan, SHEN Ai-qin, WANG Bing-gang. Optimal combination of compacting machineries on semi-rigid base material[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2007, 27(1):11-14.