

黄河冲积平原区砂性土路基施工技术

任成龙

(中交一航局城市交通工程有限公司)

摘 要:沿黄高速项目地处豫东黄河冲积平原漫滩工程地质区,由于地表 5 m 范围内大部分为砂性土且作业区均处于基本农田范围,故路基料源以黄河故道砂性土为主。为解决砂性土路基施工过程中易松散带来的压实度难控制、工后沉降严重及雨季极易产生边坡破坏等特有问题,在项目施工过程中,采用严控施工工艺,优化机械组合、含水率和质量控制等多方面实践改进,并创新采用冲击补强、改进边坡防护等方法,路基工后沉降量明显降低、路基整体稳定性有效改善。在后续砂性土路基施工中,通过采取合适处治措施,砂性土可以作为有效的公路路基填料。

关键词:砂性土;压实度;含水率;工后沉降;边坡防护

0 引言

砂性土是岩石经过风化作用后的产物,由于其颗粒以粉粒为主,黏粒含量低,具有低塑性、水稳定性差等特点,使得路基填筑质量及其稳定性的优劣直接影响公路建设水平。砂性土在我国黄河冲积平原和黄泛区尤为典型,国内早期多采用换填法处理砂性土路基,但存在成本高、工期长、环保性差等问题,逐渐转向改良技术研究;国外对砂土路基的研究多集中于沙漠地区或特殊气候条件下的处理技术,其重点在于结合当地环境特点,开发适应性更强的材料与工艺。因此,采用适合砂性土材料特点的施工工艺和防护方法,实现对路基工程的全生命周期管理,是保证公路长久稳定的有效方法。

1 工程概况

沿黄高速公路地处开封市兰考县,路线全长 32.532 km,路基宽度分为双向四车道 27 m、双向六车道 34.5 m 两种,路基 93 区最小填筑高度为 3.65 m,最大填筑高度为 7.48 m,整体填方量约 590 万 m^3 。由于区域内多为基本农田,路基料源主要以黄河故道砂性土为主,通过击实试验测定其天然含水率为 10.5%,最佳含水率为 13.4%,最大干密度为 1.78 g/cm^3 。因砂性土松散不易碾压成型的土壤特性,使得路基压实度和工后沉降控制成为施工难点。此外,河南地区虽然降水频次少,但急雨骤降特点明显,其对砂性土边坡的集中冲刷作用,给砂性土路基的稳定性带来较大危害,为此,通过改进采用植被纤维毯的防护方式保证边坡稳定。

2 砂性土路基特点

2.1 砂性土特点

经过现场取样筛查,开封兰考地区的砂性土黏性颗粒含量少,以粉粒和砂粒为主,颗粒粒径大多在 0.25~0.75 mm 之间,颗粒均匀、级配不良,使得承载能力受压实度和含水量影响显著。同时,由于孔隙间没有细小黏粒填充,不能形成紧密的填充和嵌挤结构,造成抗剪能力差,使得通车后的砂性土路基随着填筑高度的增加,沉降变形呈抛物线增加^[1]。

2.2 砂性土路基主要问题

由于砂性土多为饱和土、固结时间短、透水性强等特点,易造成快速失水,碾压难以成型,压实度控制难度大。

砂性土路基因其发达的毛细网状带,降低了孔隙水消散速度,继而削弱了颗粒之间的吸附力、黏聚力,造成颗粒内部之间的咬合、稳定过程缓慢,使得其在施工期间完成的工后沉降一般在 80%左右^[2]。因此,易于造成通车后路基的不均匀沉降及桥头跳车等质量通病。

砂性土颗粒间松散、缺少黏聚力,尤其是面对降雨带来的土体含水量增加时,将极大降低土的抗剪强度,使得砂性土边坡在降雨条件下的冲刷量显著高于其他土质,易于造成冲毁,降低路基耐久性。

3 工艺控制

3.1 基底清理与表土处理

路基填筑前,按照 30 cm 厚清除原地表植被和耕植土之后进行路基填前碾压,对于鱼塘等软

基需抽水翻晒后铺设砂垫层。遇软基地段，采用碎石或砂砾垫层，含泥量 $\leq 5\%$ ，宽度超出坡脚 0.5~1 m，分层压实。根据不同地形合理设置台阶。原地表压实度 $\geq 90\%$ ，清除的地表耕植土集中堆放，以备植草绿化时使用。

3.2 数据采集及放样

用 GPS 放出填筑边线及各断面高程测设点，用全站仪对该段路基范围填前高程按每 20 m 一个断面，每个断面 5 个点进行测设，作为松铺厚度、压实层厚的计算依据。随后按照路基面积和图纸规定的每层压实厚度计算上土方量，计算填方段所需的上土车数。

放样过程中首先用 GPS 纵向每 20 m 放出线路中线，用石灰线做出标记。根据实测高程及设计坡比计算出每个断面两侧宽度，准确确定出每个断面的边线，并用石灰线纵向连接，确定路基上土范围(为保证路基施工压实度，每侧超填 0.5 m)，确保作业人员能直观、准确施工。

3.3 布料控制

根据车厢体积计算每车摊铺面积确定方格尺寸，每一个方格内卸一车填料。在路基边线方格位置，按测量控制标高标杆挂线，路基中间位置做好标高控制点，确保摊铺厚度和路面坡度。松铺系数按照 1.18 计算，上土网格布置见图 1。



图 1 上土网格布置图

上料车辆按照标记好的方格逐车逐格卸料，运土车辆按照规定路线沿一侧行驶，控制转弯半径避免挫伤填筑面基层，同时，在路基中轴线位置做好标高参照点，便于摊铺过程中厚度及坡度控制。

3.4 含水率控制

3.4.1 最佳含水率

在砂性土中，最佳含水率时有利于增强毛细水的连接性，颗粒间黏结效果明显，继而增加内

摩擦力和咬合力，砂性土的密实度显著提升。在试验段施工期间，通过击实试验测定填料含水率，结果如表 1 所示。

表 1 抗剪强度与含水率关系对照表

实际含水率/%	黏聚力平均值/kPa	内摩擦角平均值/(°)
0	0	37.9
8.3	9	28
10.4	11	26
12.1	15	25
14.0	13	24
15.1	8	22

由表 1 可知，黄河故道砂性土最佳含水率为 12.1%~14%，取土场天然含水率为 10.5%，故而在施工前通过取土场洒水焖料及现场补充洒水的方式改善填料碾压前含水率。

3.4.2 碾压含水率

结合项目当地气候及砂性土试验分析，碾压含水率为最佳含水率的 104%~105%，则每 200 m 标准段补水量为(按高 4%计算)： $2\,068\text{ m}^3\times 1.78\text{ t/m}^3\times (13.4\%+4\%-10.5\%)=254\text{ t}$ ，水车罐体容量为 12 m^3 ，则需补水 22 车。由于砂性土饱水后陷车情况明显，水车应选用六驱动力以上车型，便于高效施工作业。

整平施工流程为：采用 DS160 型推土机粗平→采用六驱洒水车高压雾化补水，补水过程中控制车辆匀速行驶，以确保补水的均匀性，避免集中喷洒或漏洒，引发“弹簧”土或土质松散的问题，补水过程可采用 PY 180 型平地机配合翻拌作业，最终将含水率控制在 17%~18%之间→补水完成后使用平地机及人工辅助精平。

3.5 碾压施工控制

碾压时按照“先轻后重、先振后静、先慢后快、先低后高”的原则。从路基外侧向中线侧碾压，确保匀速行驶，压路机路迹重叠 45 cm，确保碾压面无遗漏。

兰考地区常年多风，导致砂性土表面极易失水，造成上下含水率不同，在碾压时表面因为处于干燥状态而容易产生拥砂现象，此时，若继续采用传统钢轮压路机碾压，会破坏顶部整体性。而且，砂性土毛细管比较发达，若此时补洒的水量控制不好，又容易导致下部含水率过大而更不易压实。

为此，结合砂性土物理特性及试验数据(见

表 2、表 3)，待钢轮压路机碾压过后，引入胶轮压路机碾压收面，通过胶轮压路机的细花纹胶轮对砂性土进行揉搓和压实，微调其内部颗粒位置，使其更加紧密，从而有效提高了路基的密实度和平整度。

表 2 松铺 25 cm 厚检测情况表

设备组合及碾压方式	压实度/%	含水率/%	压实厚度/cm	松铺系数
静压 1 次，弱振 1 次，强振 1 次	85.1	14.2	22.1	1.13
静压 1 次，弱振 1 次，强振 2 次	92.0	15.5	21.6	1.16
静压 1 次，弱振 1 次，强振 2 次，胶轮压路机收面 1 次	93.8	17.5	21.4	1.17

表 3 松铺 30 cm 厚检测情况表

设备组合及碾压方式	压实度/%	含水率/%	压实厚度/cm	松铺系数
静压 1 次，弱振 1 次，强振 1 次	84.5	14.7	26.3	1.14
静压 1 次，弱振 1 次，强振 2 次	91.6	15.8	25.6	1.17
静压 1 次，弱振 1 次，强振 2 次，胶轮压路机收面 1 次	93.5	17.9	25.4	1.18

由表 2、表 3 可确定，最终碾压工艺流程为：采用 26 t 振动压路机按照 2.5 km/h 的速度静压 1 遍→采用 3.0 km/h 的速度弱振 1 遍→强振 2 遍，速度控制 3.5 km/h 左右→使用 30 t 胶轮压路机按照 5.0 km/h 的速度收面 2 遍，彻底消除轮迹。

4 冲击补强

4.1 冲击碾压原理

对于砂性土路基，通过周期性地低频大振幅冲击力作用，产生强烈冲击波向路基下深层传播，大大加速了孔隙水的消散，提高了土的固结速度，加速了压实过程，使土体得到最大限度的压实，使疏松的土石颗粒孔隙逐步减小，咬合状态变得紧密，填料得到压实，并且本层填料与下部填料得以很好的衔接^[3]。

为了降低砂性土路基的工后沉降带来的质量通病，创新采用 6830 型冲击式压实机冲击压实技术，通过周期性“揉压—碾压—冲击”作用，加深砂性土颗粒间的位移、变形和剪切，提高土的固结速度，加速整体压实过程。

4.2 冲击压实施工工艺

采用冲击压路机压实路基时，同一碾压带纵向至少要冲击 6 次以上，按照 8~9 km/h 的速度，对同一碾压带纵向错轮 1/6 组织补强，保证地面受到均匀地冲击压实，使土密度均匀，路基强度提高幅度一致，避免出现漏冲或过冲现象；过程

中要适量洒水，以降低扬尘提高压实效率；同时，在冲击压实过后针对表面坑槽较大的情形，做好表层松散土的整平、复压，保证冲击层的压实度。冲击压实施工工艺流程如图 2 所示。

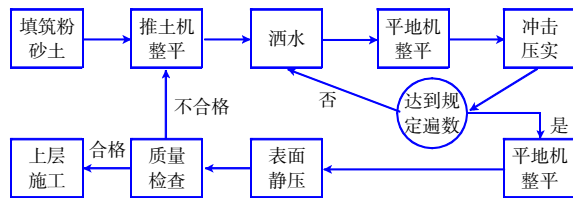


图 2 冲击压实砂性土工艺流程图

4.3 压实数据

本项目路基经过冲击碾压后，其有效作用范围为 0.8 m。由表 4 可知，压实度平均提高约 1.83%，弯沉代表值也由冲击前的平均 236(0.01 mm)，降低至冲击后的 223(0.01 mm)，提高了填土的密实度和均匀性。同时，通过对冲击碾压前后高程及宽度进行对比，冲击后土方高程平均下降 17 mm，宽度平均增加 3.7 mm，减少了路基工程沉降量。

表 4 压实度及弯沉值检测表

检测项目	检测位置	冲击碾压前	冲击碾压后	变化情况	检测方法
压实度/%	测点 1	92.3	94.1	上升 1.8	灌砂法检测
	测点 2	93.2	94.8	上升 1.6	
	测点 3	92.7	95.0	上升 2.3	
	测点 4	92.4	95.3	上升 2.9	
	测点 5	93.6	94.6	上升 1.0	
	测点 6	93.5	94.9	上升 1.4	
	平均值	92.95	94.8	上升 1.83	
弯沉值/(0.01 mm)	测点 1	238	224	下降 14	贝克曼梁法检测
	测点 2	236	222	下降 14	
	测点 3	240	228	下降 12	
	测点 4	234	220	下降 14	
	测点 5	230	218	下降 12	
	测点 6	236	224	下降 12	
	平均值	236	223	下降 13	

5 砂性土路基防护

5.1 气候条件

项目所在地属温带季风气候区，四季风显著、干湿冷热四季分明、雨量充沛、冬冷夏热。冬春季多风干燥，夏季雨量集中，春秋两季是过渡季节，春季多东南风，秋季多东北风。历年年平均降水量 677.7 mm，最大 1 224.8 mm，最小 319.1 mm。

降雨多集中在7~8月份,占全年降雨量的62%。多年平均蒸发量为2247.7 mm。

在此气候条件下,砂性土路基施工因其土质松散、土壤贫瘠,单靠路基土源本身的营养含量无法保证植物的发芽生长,造成传统植草的养护成本高、成活率低;而圬工防护生态效果差、施工难度大、效率低、影响施工进度。因此通过勘察项目周边既有高速路基边坡防护情况,改进采用植物纤维毯防护。

5.2 路基防护施工工艺

路基防护主要施工工艺流程为:草籽选择→坪床处理→植物纤维毯铺设及固定→洒水养护。

1) 草籽选择:植被纤维毯中的草籽及营养基质,根据地域位置、气候特点、土壤等特点选用适宜的种类及配置,并通过野外试验确定。

2) 坪床处理:采用滚筒夯对边坡进行碾压、夯实,滚筒夯碾压3遍(静、动、静各1遍)确保坡面表面平整密实、无松散土体,碾压完成后对边坡坡比进行验收。

3) 植被纤维毯铺设及固定:纤维毯铺设时从坡顶至坡脚由上而下铺放草毯卷。同时用锚杆和锚钉固定住植物纤维毯的顶部和底角。

4) 洒水养护:养护工序按照“少喷、慢喷、勤喷”的原则雾状洒水,以湿到地下10~15 cm为宜。

5.3 防护效果

植被纤维毯防护不仅在施工阶段有效防止了风、热、降雨等不利因素对土壤的侵蚀,起到对土壤和种子的物理保护作用,保障施工过程边坡的稳定;同时,通过将植物种子置于纤维毯内的形式,为护坡植物更好的发芽、快速蹲苗有效提供了水、光、肥料等条件,保证植物防护的快发芽、快出苗、快成坪。经过2 a雨季的考验,项目边坡均未出现明显的损毁,有效保护了坡面地表,增强了砂性土路基水土流失防控能力。

6 质量控制

1) 填筑阶段:砂性土使用前,要测定其密度、含水量、最大干密度、最佳含水率等关键指标,摊铺、整平、碾压过程中均需密切关注其含水率;布料过程中,路基填筑按照横断面全宽分成水平层次逐层填筑。雨季施工期间,做好临时排水施工,即可以通过开挖路基两侧临时排水沟,与永久排水设施相结合的方式,有效排出积水,

保护路基不被冲刷。

2) 冲击补强阶段:控制合理的冲击遍数,冲击过多非但不能提高路基压实度,反而会破坏原有的整体性,路基整体冲击作业前通过现场土质结合试验数据,确定的最佳冲击遍数为10~15遍;施工碾压时,压实边距路基边沿应预留1.5 m以上富裕度,并做好冲击过程的沉降及坡脚位移的监测。

3) 防护施工阶段:兰考地区以每年3月—5月、9月—10月2个时间段组织绿化施工,有效提高发芽成活率。洒水养护的用水量按照出芽期、幼苗期、生长期3个时期根据实际情况确定。其中出芽期植物纤维毯铺设完成,整体并全方位的浇一遍透水,以利种子萌芽;幼苗期每隔1~3 d的早晨进行1次喷灌,喷灌要求为土壤0~20 cm厚度内能始终保持湿润,以利出苗和齐苗;生长期可逐渐减少浇水次数,并可根据降水情况加以调整。浇水时间最好安排在下午,一次性浇足浇透,浇水标准为达到湿透土层10 cm以上,以提高茎叶的韧度,促进其正常生长发育^[4]。

7 结语

本项目主要围绕砂性土路基填筑、补强及防护3个方面采取改进措施,成功提高了压实度合格率,降低了工后沉降量,提升了边坡防护工程效益,加快了整体施工进度,保证了砂性土路基的整体强度和稳定性。通过对含水率及碾压设备组合的试验,总结了不同施工条件下设备规格及碾压遍数对压实度的影响,积累了施工经验,可为今后类似工程的施工提供借鉴和参考。但本工程施工作业环境处于黄河冲积平原区,对于黄泛区、高填路基等条件下的砂性土路基应用还有很多问题有待进一步研究和验证,如富水区的毛细水上升控制、毛细水对砂性土路基性能的影响、高填方砂性土路基沉降控制等。

参考文献:

- [1] 袁玉卿. 粉砂土路基处理技术及应用[M]. 北京:中国建筑业出版社,2013.
- [2] 王新增,李强,范培生. 冲击压实技术在兰许高速公路粉质砂性土路基中的应用[J]. 交通科技,2005(1):25-27.
- [3] 张玮,张宁. 公路建设中砂性土路基填筑施工工艺研究[J]. 工程技术研究,2018(13):247-248.
- [4] 靳红翠. 植物纤维毯在粉砂性土路基公路边坡防护中的应用[J]. 公路交通科技(应用技术版),2010,6(12):67-70.