

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2024.04.048

黄土高填方路堤沉降影响因素及控制技术研究

庄前兵¹,高飞¹,梁伟君¹,王继伟¹,陈群²,蒋再敏²
(1.中交一公局集团有限公司,北京市 100024; 2.兰州交通大学土木工程学院,甘肃 兰州 730070)

摘要:与一般路基相比,高填方路基具有填方高度大、较高耐久性和稳定性等特点,具有施工成本低、使用寿命长等优点。为保证道路的稳定和可持续发展,在我国山区公路经过地势低洼地区路段时,往往采用高填方路堤形式。然而,高填方路堤会出现严重的沉降,从而导致路基不稳定,特别是在黄土地区。通过具体工程实例,对黄土地区高填方路堤沉降进行现场监测,对其沉降影响因素及控制技术进行总结分析,为黄土地区高填方路堤建设提供更好的指导。

关键词:高填方路堤;公路施工;影响因素;现场监测;沉降控制

中图分类号: U416.1+1 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-7716(2024)04-0200-06

0 引言

我国幅员辽阔,地质条件复杂,尤其是我国西北地区,黄土分布广泛。在黄土丰富的西北地区,建设高填方路堤已成为普遍现象。这些高填方路堤就地取材建造,大大降低建设成本,缩短工期。

填方高度大于18 m(土质)或20 m(石质)的路堤属于高填方路堤^[1]。较于一般路堤,高填方路堤有两个明显特点:一是填筑高度大,对路堤的整体强度和抗变形能力要求高,要在很短的时间内完成工后沉降;二是高填方路堤荷载大,对地基的承载力和稳定性要求较高,须对地基采取技术措施^[2]。我国高填方路堤填料大多以土块、石块为主,而该路堤工程采用处理后的黄土为路堤填料,故有必要研究黄土高填方路堤沉降情况。

1 工程概况

本研究依托定西市通定高速公路,全长115 km,总投资逾120亿元,工期约3 a。该高速位于定西市安定区、通渭县境内,地处黄土高原地区。黄土的水敏感性较强,填筑时沉降速率慢,沉降时间久,不利于地基工程。此外,高填方路堤由于填筑高度高,填筑体的自重大,在自重作用下沉降量也很大。

选取ZK61+880~ZK61+960段,其高填方路堤最大填土高度达到27.7 m。路堤采用折线形边坡,

高度8 m以内,边坡比为1:1.5;高度大于8 m,边坡比为1:1.75。该段平面图,如图1所示。地质调查发现,该段高填方路堤位于黄土丘陵区,湿陷性等级Ⅲ级,属于自重型湿陷性黄土,为3~15 m。路基高填土层为填筑土和晚更新统冲洪积黄土状土。土呈现黄褐色,土质相对均匀,稍微湿润,密度在稍密到中密之间。通过勘探,路基的基底地层是黄土状土,地基的稳定性较好。但上部的粉质黏土层具有软塑性,厚3~6 m,强度较低且含水量较高,基底须采取相应的处理措施增强排水。地基土由上到下分为3层,第一层为人工填土,第二层为粉质黏土,第三层为黄土状土。地质断面详见图2。

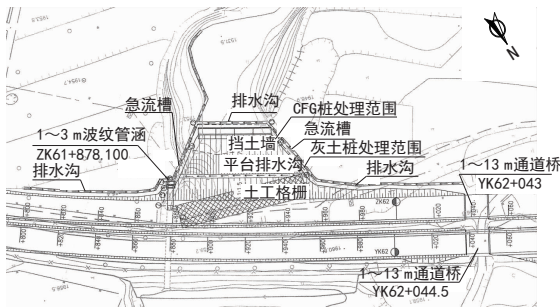


图1 ZK61+880~ZK61+960段路堤平面布置

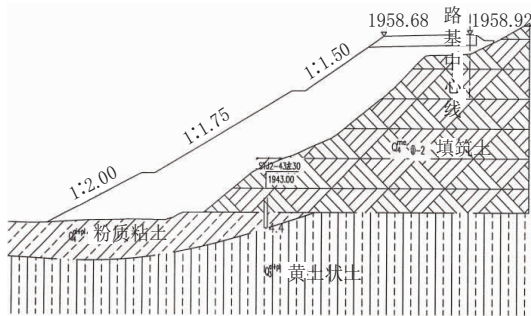


图2 ZK61+900工程地质横断面

收稿日期: 2023-04-14
基金项目: 甘肃省科技计划资助(21YF5GJ189)
作者简介: 庄前兵(1976—),男,本科,高级工程师,从事道桥施工管理工作。

2 高填方路堤沉降的影响因素

2.1 路堤的填料

本项目采用的作为路堤填土场地的黄土为自重湿陷性黄土,填筑填料时难以压实,故要进行湿陷性处理。

2.2 土体压实度

压实度是公路路基施工过程中严格控制的重要指标之一,对路基的稳定性影响很大^[3]。压实度不足,会降低土体的固结压力,其小于自重应力与附加应力之和时,附加应力由行车荷载、地下水、负孔隙水压力等作用产生^[4],从而导致路基发生不均匀沉降。

2.3 土体含水率

在施工过程中,遭受雨水浸泡,或者受地下水的影响,填料结构性遭到破坏,导致路基承载力大幅下降,从而影响路堤的稳定性。此外,在地下水的交替作用下,路基土的含水率变化,土体容重反复波动,在负孔隙水压力的作用下,土体开始发生竖向变形^[5]。

2.4 受地质地形的影响

高填方路堤大多建在沟谷或地势低洼地段,这类地段的压缩变形量大,承载能力低,增加路堤填筑层数后,易发生压缩沉降或挤压滑动,导致路堤局部沉降^[6]。此外,当路堤穿过沟谷时,沟谷中心填高最大,两端逐步降低。由于填筑高度差异,沉降会产生中间低、两边高的不均匀路基^[7]。

3 高填方路堤沉降现场监测

3.1 试验方案

选定 A# 断面(ZK61+900 左侧)和 B# 断面(ZK61+950 左侧)为试验断面,在 1 号位置(坡中)和 2 号位置(坡顶)处,埋设相应的监测仪器,包括分层沉降管、测斜管、单点位移沉降仪等。监测仪器布置如图 3、图 4 所示。通过仪器监测,了解现场高填方路堤沉降变形规律、填筑土层的温度及含水率的变化情况。

3.2 高填方路堤温度监测

在挡土墙底部和背部,以及测斜管上布置温度传感器,测得路堤 5、10、15、20 m 深度处的土体温度。监测历时 9 个月,绘制路堤不同深度处的温度变化关系曲线,如图 5 所示。

由图 5 可知,路堤深度 5 m 处的温度变化较其他深度变化幅度大,路堤深度在 10、15、20 m 处的温度变化幅度不大,且大小都接近。由图 5 还能发现,无论是在冬季,还是在夏季,土体温度只是在一定深

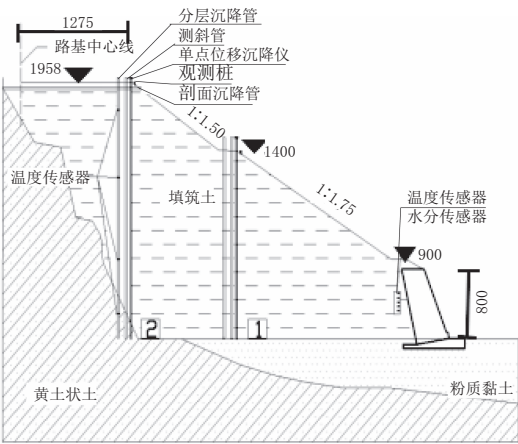


图 3 仪器监测立面布置(单位:cm)

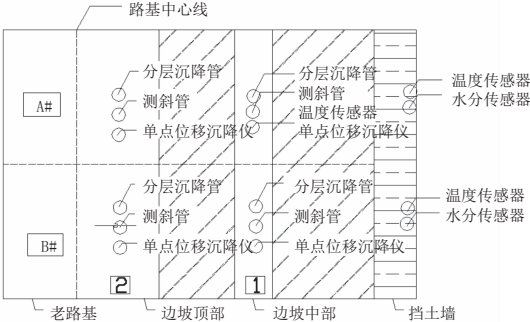


图 4 仪器监测平面布置

度内,受地表温度的影响,但超过这一限度,地表影响减弱,土体温度基本稳定,维持在 11℃左右。

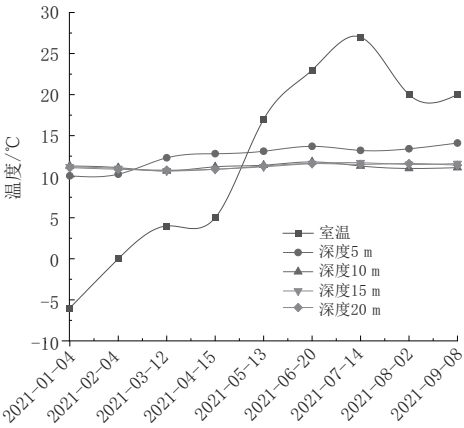


图 5 土体温度变化曲线

3.3 高填方路堤含水率监测

含水率的监测,从 1 月开始,间隔 2 个月进行。其中,7 月连续降雨,雨后又进行了一次监测。分别在高填方路堤深度 1、2、10、20 m 处埋设水分传感器,探究路堤土体内含水率变化情况。土体含水率变化关系曲线,如图 6 所示。

由图 6 可知,路堤含水率随着深度的增加,呈现逐步上升的趋势。由于路堤深度 20 m 处位于粉质黏土层,受地下水影响,含水率远高于其他深度处。由图 6 还能发现,在强降雨期间,路基深处的土体含水率变化不大,而路堤表面排水设施并不完善,导致路

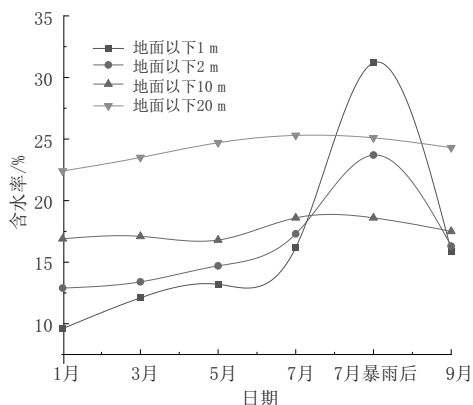


图6 土体含水率变化曲线

堤深度2 m范围内,含水率明显上升,达到31.3%、22.6%。

3.4 高填方路堤横向位移监测

断面1号、2号位置处埋设测斜管,埋设完毕后,自然沉降4 d,再开始监测。监测间隔45 d,周期180 d。根据位移监测数据,绘制1号、2号位置处不同深度的位移变化曲线图,如图7、图8所示。通过曲线图,确定路堤最大横向位移位置,监测此位置的位移大小和位移速率,评价路基稳定性。

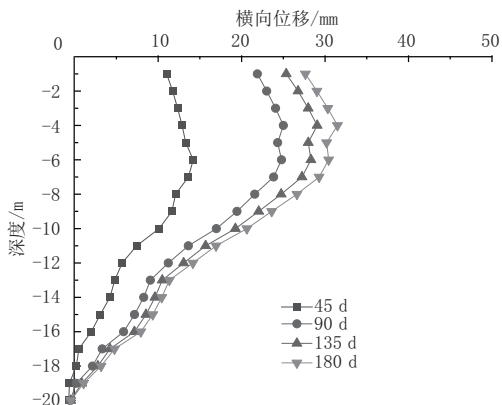


图7 1号位置处路堤横向位移量变化曲线

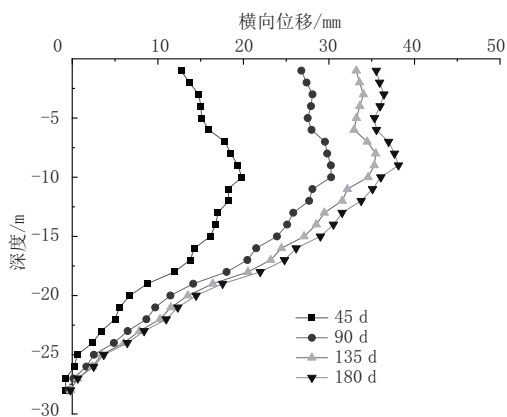


图8 2号位置处路堤横向位移量变化曲线

由图7、图8可知,高填方路堤的横向位移,在深度方向上,都是先增大后减少。1号位置处的最大横

向位移约在地下深度6 m处,其位移量为31.49 mm。2号位置处的最大横向位移约在地下深度9 m处,其位移量为39.36 mm。由于2号位置的填土高度大于1号位置,说明填土高度越高,路堤横向位移的速率越大,横向位移时间也越久。由图7、图8还能发现,90 d内的路堤横向位移量大,90 d后的位移量逐渐减少,并最终趋于稳定,说明路堤在刚填筑完后,有很大的横向位移速率。

以1号位置为例,绘制0~45 d和45~90 d路堤在不同深度处的横向位移速率,如图9所示。

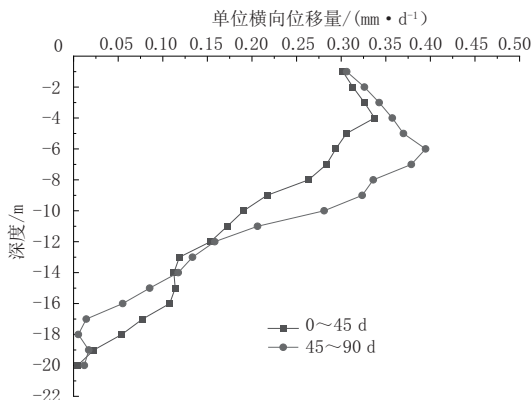


图9 1号位置处路堤不同深度处位移速率曲线

由图9可知,在路堤深度12 m内,0~45 d内的横向位移速率小于45~90 d内的位移速率;而路堤深度12~20 m,45~90 d内的位移速率小。

3.5 高填方路堤竖向沉降监测

通过对原始地基土进行处理,当地面纵坡陡于1:5时,原地面需开挖2 m宽的台阶,台阶需有向内倾斜4%的坡度;平台处采用灰土桩+灰土垫层处治,增强新旧路基的衔接及稳定性,成孔挤密施工后,上部设置50 cm厚5%灰土垫层。填筑沟谷段路基之前,对开挖台阶后的地基以灰土桩进行处理,处理深度6 m。路基填筑每1.2 m铺设一层土工格栅,并以高速波压夯进行补强处理,详见图10。

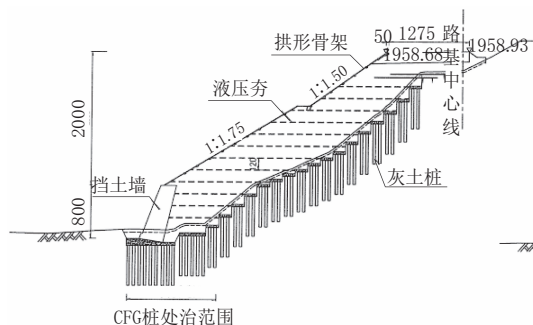


图10 新旧路基处理 ZK61+900 施工横断面(单位:cm)

然后分别在 A# 断面和 B# 断面的 1 号位置和 2 号位置处埋置分层沉降管和单点位移计,进行 180 d 的沉降监测。监测结果见表 1。

表 1 最终沉降位移值					
监测位置	填筑高度/m	填方体沉降量/mm	原地基沉降量/mm	总体沉降量/mm	原地基沉降占总沉降量比例/%
A# 断面	1 号位置	20.5	24.23	2.65	26.88
	2 号位置	27	39.17	4.67	43.84
B# 断面	1 号位置	20	26.16	2.77	28.93
	2 号位置	28	41.53	5.05	46.58

4 高填方路堤沉降规律研究

4.1 工后沉降规律

施工完毕后,总沉降包括原地基的沉降量和填筑体沉降量。计算公式如下:

$$S=S_1+S_2$$

式中: S 为总沉降量,mm; S_1 为原地基沉降量,mm; S_2 为填筑体沉降量,mm。

绘制 1 号、2 号位置处沉降变化关系曲线,如图 11、图 12 所示。

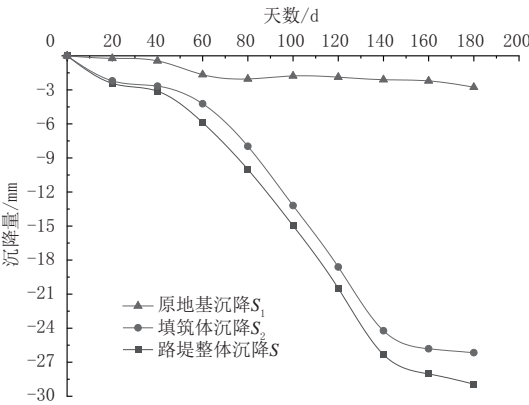


图 11 1 号位置处路堤沉降随时间变化曲线

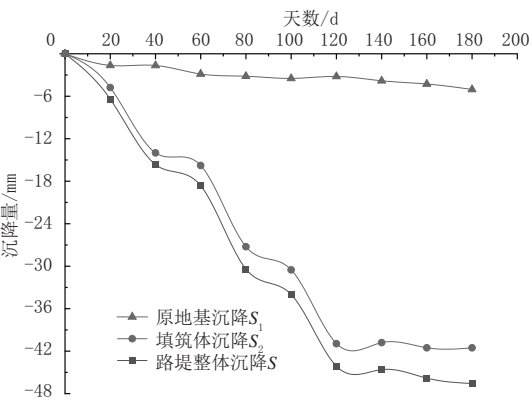


图 12 2 号位置处路堤沉降随时间变化曲线

结合表 1、图 11 和图 12 发现,填筑体的沉降是工后沉降的主要原因,占总沉降量约 90%;而原始地基的沉降变化不大,只占到总沉降量的 10%左右。从

填方高度来看,路堤的填方高度增加,沉降量也逐渐增加。从沉降速率来看,路堤沉降速率的总体趋势与路堤横向位移速率大致相同,短期内沉降位移速率增加,后期速率下降,最终趋于稳定。

4.2 各土层沉降规律

以 B# 断面 2 号位置为例,其填土高度为 28 m,填筑体自下而上分为 4 层,每层 7 m,分层情况如图 13 所示。然后,绘制各层填土的单位沉降量曲线图,如图 14 所示。

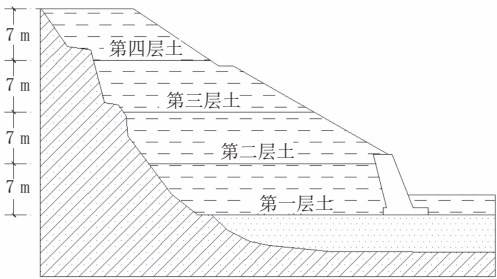


图 13 2 号位置处土体分层示意图

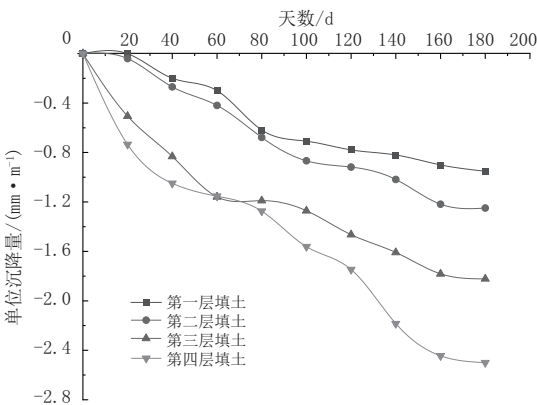


图 14 2 号位置处各层填土单位沉降随时间变化曲线

由图 14 可知,填土层数增加,单位沉降量也逐渐增加。究其原因,随着填方高度的增加,在土体的自重作用下,土体的固结程度也加大,使得土层从上到下的压缩模量逐渐增大。故第一层压缩程度最高,其压缩模量也最大,单位沉降量最小。由图 14 还能发现,曲线可以分为加速下降阶段和下降平缓阶段两个阶段,具体表现在第三、第四层土。这是因为上覆土层在自重作用下,第三、第四层土被进一步压密,同时该土层又受到路堤表面行车荷载作用。

4.3 路堤沉降与地形的关系

依据现场勘测资料,现场的地质断面如图 15 所示。通过现场地质断面图,绘制 A# 断面与 B# 断面地形图,如图 16 所示。选取 A# 断面与 B# 断面的 1 号位置,绘制沉降量关系曲线图,如图 17 所示。

由图 16 可知,B# 断面处在有坡度的斜坡上,填土在斜坡方向容易发生侧向位移,使得沉降量增大。

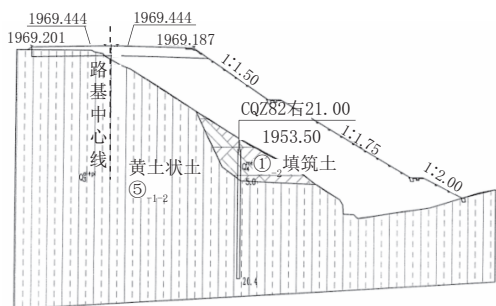


图 15 现场地质断面

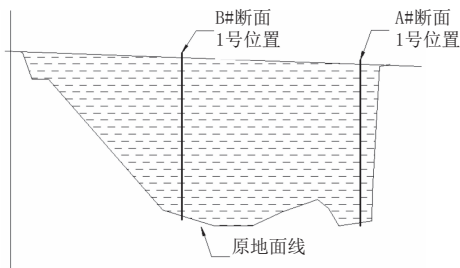


图 16 地形横断面

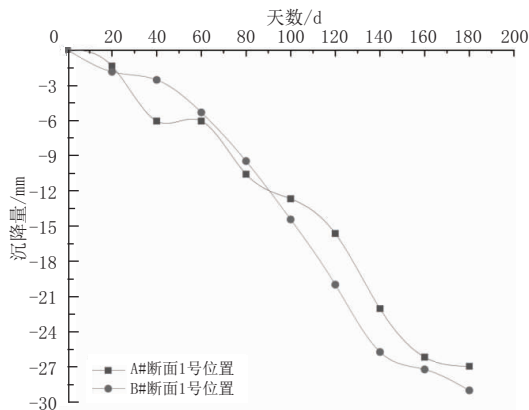


图 17 A#、B# 断面沉降量变化关系

A# 断面处在槽型的沟中,限制了土体的侧向位移,因此沉降量较小。由图 17 可知,A# 断面与 B# 断面的 1 号位置有着相同的施工工艺,但沉降量最终有所不同,B# 断面的沉降量比 A# 断面多 7.6%。由此可见,地形对填筑体工后沉降也有着一定的影响。

5 高填方路堤沉降施工控制

5.1 路堤填料处理

为了改善黄土的湿陷性,采取现场拌合填料的方式,并在拌合过程中加入 3% 的水泥。在填筑施工中,采用分层碾压结合液压补强的方式^[8]。具体而言,在填筑时进行分层碾压,并增设液压夯进行补强。经过碾压夯实后,黄土填料的压实度得到有效提高。路基压实度满足《公路路基施工技术规范》(JTG F10—2019)^[9]的要求。施工时分层厚度不大于 30 cm,路堤压实度不小于 95%。

5.2 原地基土沉降施工控制

从现场监测结果来看,高填方路堤的沉降由两

部分组成,一是填筑体自重作用下产生的沉降,二是原地基在土层填筑附加应力下的沉降。

原地基土压缩性能是决定压缩量的关键因素^[10]。地质勘察详见图 2,地基土含有粉质黏土层,其沉降量较大。因此,必须对原地基进行处理,使其有足够的承载力,否则会影响高填方路堤的稳定性。

为了增加原地基土的承载能力,采用复合地基法。复合地基处理技术能调整路堤变形性状,协调复合地基变形与填土路基变形,有固结沉降快、工后沉降变形小等特点^[11]。埋设灰土挤密桩与天然地基组合成复合地基。施工流程为:通过锤击钢管,将钢管逐步击入土壤中,然后拔出钢管,用灰土逐层回填并压实桩孔,最后横向压成孔而成。这种处理方法有以下优点:一是有效消除黄土的湿陷性;二是通过灰土桩之间的侧向挤压,不仅能提高地基承载力,还能降低其压缩性,使桩与土组成能够承受较大荷载的复合地基;三是使地基有着较好的防水抗渗功能,提高地基基础的均匀性。

5.3 填筑体沉降施工控制

现场监测结果发现,填筑体的沉降是高填路堤沉降的主要原因。填筑路堤时,采用分层压实与冲击压实相结合的联合压实方式,确保压实度满足要求^[12]。

本高填方路堤采用 3% 水泥改良黄土为填料,施工时采用分层碾压结合液压补强的方式,增强填料密实性,使路堤更加稳定可靠。施工流程如图 18 所示。

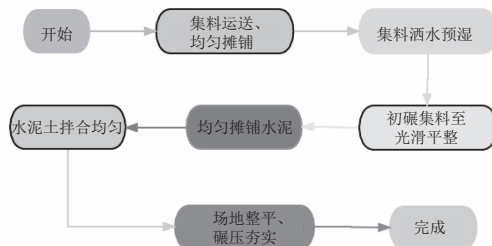


图 18 填筑体施工流程

为了增加高填方路堤的稳定性,坡脚处设置片石混凝土挡墙,坡顶采用预制拱形骨架防护。施工结束后,高填方路堤自然沉降至少半年时间。此外,也可采用增压补强或堆载预压的方法,加速路堤的沉降,保证路基沉降达到总沉降的 90%。进行路面铺筑时,如果发现有沉降差,先将路床沉降差补到设计标高,再进行路面铺筑。

5.4 新旧路基交接处沉降施工控制

本工程为原有路基拓宽工程,因此新旧路基在变形上存在不协调的情况。旧路基在长期行车荷载作用下,沉降已经趋于稳定,而新路基刚刚开始沉

降,沉降量较大。由于新旧路基间沉降量差异较大,容易导致路面开裂,影响行车安全。因此,需要对新旧路基交接处的沉降差进行控制,确保行车安全。

本高填方路堤,填料选择 3%水泥拌合的就近黄土,在旧路基上开挖宽度大于 2 m、内倾角度为 4%的台阶,增设土工格栅来提高结合部位的强度^[13]。为确保交接部位的填料密实,对其增强补压,使填料压实度达到 96%以上。同时,实行实时监测,发现不均匀沉降过大时,及时处理。

5.5 高填方路堤排水控制

土体含水率是路堤沉降的一个重要因素。含水率现场监测,结果表明,连续强降雨、地面排水不及时或者地下水位上升,都会导致土体含水率急剧上升,使土体强度降低,路堤的承载力下降,从而导致路基沉降量增加。因此,对于土体含水率的控制至关重要,尤其是在雨季或者地下水位波动较大的地区。

为了控制土体含水率对路基沉降的影响,综合考虑原地基地形和水文地质条件,采取相应的施工措施。一方面,通过改进和完善路堤的排水系统,设置排水沟、涵洞等构造物,及时把路堤上的水汇集排走,并做好防渗漏处理,封堵路面裂缝,防止水分渗入路基。另一方面,选择使用合理的固化剂,以提升路基的稳定性和牢固性,从而减少路堤的沉降^[14]。

6 结 语

对黄土高填方路堤进行现场监测和施工沉降控制研究,得到以下结论:

(1)在黄土填料中加入 3%的水泥,能够有效消除黄土的湿陷性,将处理后的黄土用作高填方路堤填料,效果很好。

(2)通过埋设灰土挤密桩,与天然地基土组合成复合地基,有效提高软弱基层的承载力。采用分层碾

压结合液压补强的施工方法,提高填料的压实度,从而减少路堤的沉降。

(3)在旧路基开挖宽度大于 2 m、内倾角度为 4%的台阶,铺设土工格栅,同时增强补压,可有效降低新旧路基交接处的沉降。

参考文献:

[1] 资建民.高填方路基快速施工与沉降控制研究[D].武汉:华中科技大学,2008.

[2] 李瑞峰.高速铁路高填方路基沉降控制及计算方法研究[D].成都:西南石油大学,2017.

[3] 王丽丽.高填方路基沉降施工控制技术探讨[J].中国公路,2018(11):154-155.

[4] 曹阳.不同影响因素下高填方路基沉降变形分析[J].内蒙古公路与运输,2018(3):21-26.

[5] 刘蓓.铁路软土路基沉降分析及预测[J].工程技术研究,2019,4(10):219-220.

[6] 郑文诗.高填方路堤沉降预测研究及数值模拟分析[D].重庆:重庆交通大学,2018.

[7] 刘武林.如何在道路施工过程中进行高填方路基沉降控制[J].建材与装饰,2018(42):258-259.

[8] 杨保定.浅谈高速公路高填方路堤填筑压实质量监理[J].城市道桥与防洪,2014,185(9):172-173,194.

[9] JTG F10—2019,公路路基施工技术规范[S].

[10] 傅博峰.软基高路堤变形与破坏机理[J].城市道桥与防洪,2014,182(6):260-264.

[11] ZHANG S, GUO Y, ZHOU T, et al. Study on variable stiffness foundation treatment technology and settlement control[C]//2011 International Conference on Electric Information and Control Engineering. IEEE, 2011: 3641-3644.

[12] 谢军才,龙文帝,何林.高填方路基沉降控制标准与施工设计[J].四川水泥,2022(2):116-117.

[13] 李谊.高填方路基施工工艺及沉降监测分析[J].交通世界,2022(35):70-72.

[14] 杨洁.高填方路基沉降施工控制技术探讨[J].城市建设理论研究,2018(18):97.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com