

冀鲁地区黄土公路路基处理技术对比分析*

田森, 韩智超, 岳贤君

(山东交通学院 交通土建工程学院, 山东 济南 250023)

摘要: 为研究湿陷性黄土合理的压实工艺, 在莘南(莘县—南乐)高速公路聊城莘县段铺设试验路段, 设计振动碾压、冲击碾压及强夯 3 种处理方案, 通过对比分析经 3 种方案处理后黄土的沉降量、湿陷性, 得到不同处理方式后路基沉降量和湿陷系数的变化, 分析不同处理方案的有效处理深度和适用性。

关键词: 公路; 路基; 黄土地区; 压实工艺; 沉降量; 湿陷系数

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2019)01-0069-03

黄土自身孔隙率大, 透水性强, 具有湿陷性, 且所处地区降水不规律, 黄土地区路基问题突出。针对黄土地基的处理, 武丹、毛云程等分析了冻融循环情况下路基及边坡的稳定性状态; 赵炜、刘海松、李国玺等分析了黄土地基下路基水损害原因, 提出了处理措施; 刘怡林等利用 GIS 系统数据分析功能及属性数据管理功能实现了对黄土地区地基承载力的有效评价; 李彦武分析了黄土地区边坡防护病害成因, 并提出了边坡防护措施。该文在莘南(莘县—南乐)高速公路聊城莘县段进行现场试验, 采用不同压实方式进行分析对比, 研究中西部地区湿陷性黄土地基处治技术。

1 黄土的特性

在干燥气候条件下, 黄土空隙较大, 多孔, 且有柱状节理, 无层理。同时所含高岭石、水云母等矿物可使黄土吸附碳酸盐, 通过碳酸盐促使土颗粒胶结组合。黄土的多孔性与孔隙之间的碳酸盐易溶于水, 是黄土湿陷性的主要原因。因此, 含水率对于黄土的影响较大, 含水率增大会对黄土路基结构造成巨大破坏。路基破坏后, 通过反射裂缝可造成路面开裂等破损, 进而造成整个道路体系发生不可逆转的破坏。桥梁受地基的影响也较大, 桥台与桥梁连接处的不均匀沉降极易导致桥头跳车等, 对行车舒适性影响较大, 情况恶劣时可能造成桥梁坍塌。因此, 在黄土地区进行施工时, 应根据黄土特性合理调配施工机械, 实现优势互补。

按照 GB 50025-2004《湿陷性黄土地区建筑规

范》中的划分方案, 黄土高原自东向西分为 I (陇西地区)~VII 区(边缘地区)。试验路段位于 VI 区(冀鲁地区), 其工程地质情况为: 粒度组成、孔隙率等由北向南逐渐减少, 相应地液限与塑性指数逐渐增加; 黄土的干密度由北向南呈逐渐增大的趋势。

2 湿陷性黄土的常用处理方法

(1) 换填法。即以高质量砾石土等将原先不足以支撑构造物的软土地基、黄土地基等换填, 提高地基承载力。该方法操作较方便, 仅需将浅层土置换即可。但所需换填土层厚度超过 1 m 时, 换填法成本较高。换填法较适合填土面积较小且深度较浅路段的处理, 如局部回填工程或桥台等, 当需大面积换填时, 换填厚度宜控制在 50 cm 以内或选择其他压实方法。

(2) 强夯法。强夯法通过大型履带式强夯机 10~40 t 重锤自高空自由落下, 将势能转化为动能, 对地基进行夯实, 迅速提高软土地基或黄土地基的承载力及压缩模量等, 减小地基土孔隙率, 使地基形成稳定、致密的土层, 改善地基使用性能。强夯法应用较广泛, 主要用于处理湿陷性黄土、低饱和度粉土的填土路基等。其处理深度大, 处理后地基较均匀; 施工速度快, 质量较易控制; 造价经济, 在大面积场地处理或局部场站处理方面具有优势。但其噪声与振动过大, 在闹市区施工存在一定局限性。

(3) 冲击碾压法。冲击碾压法通过冲击压路机的非圆形轮滚动产生的位能落差与压路机行驶的动能相结合对路基材料进行压实处理, 改善路基性能,

* 基金项目: 山东省自然科学基金项目(ZR2017LEE026)

提高路基承载能力。冲击碾压采用高振幅、低频率的碾压形式,通过冲击碾的作用,可较好地将路基材料进行冲击与揉搓,提高路基性能。较适合于稍湿的黏性土和湿陷性黄土等地基处理。处理后地基较均匀,且对地基的作用深度较大;其施工效率高,速度快;造价经济,可进行大面积施工碾压。但冲击碾压在局部处理时受场地限制极可能出现路基压不实等情况。

(4) 振动碾压法。振动碾压与冲击碾压相似,均通过偏心力使土层致密。但振动碾压通过偏心块的高速运动产生振动力,其高频、低幅的压实方式适合于浅层湿陷性黄土、非饱和软土地基处理。振动碾压是较常见的压实方式,简单可行,但仅在浅层处理方面效果明显,常用于压实表层松软土,施工工艺上常采用分层填土压实。

(5) 挤密法(碎石桩、灰土桩)。挤密法一般适用于地下水位较深(5~10 m)的杂填土、软弱黏性土、湿陷性黄土地基等的处理。其施工难度较大且施工成本较高,多用于施工条件较恶劣的高填方路基或高大桥梁桥台或地基的处理。由于造价太高,挤密法不适合大面积的地基场站处理。

3 湿陷性黄土处理方案设计

试验场地位于莘南高速公路聊城段 K164+500—K165+500 处,根据探井资料,试验点的主要特征为无振摇反应,刀切面少有光泽,干强度和韧性中等,含铁锰氧化物,粘粒一般,虫孔发育。所在地区降水不规律,地基处理时应特别注意含水量控制,避免含水量过高出现橡皮土(及时进行翻晒或撒入粉煤灰等拌和)、含水量过低导致压不实(及时洒水或用其他措施进行控制,同时控制施工松铺厚度)。

3.1 处理方案

通过现场试验分析对比处理前后黄土地区湿陷性路基的物理力学指标变化,吸取前人对湿陷性黄土地区路基的处治经验,选定黄土地区路基处理方案的依据为:1) 消除浅层地基黄土湿陷性;2) 地基承载力满足要求;3) 处理后路基沉降变形满足要求;4) 综合考虑路基周围排水设施的建立。实践证明,路基压实效果的好坏,不仅与碾压机具的重量相关,而且与碾压遍数、作用时间密切相关。据此确定试验段黄土路基采用振动碾压、冲击碾压和强夯处理方案。

3.1.1 振动碾压

施工前先清表至设计标高,并对原地面进行整平碾压,检测合格后方可进行下一步工序。同时每隔 200 m 设置 1 个纵向观测点,每个观测点横向设置 5 个观测点,检测每次压实完成后的沉降量。振动碾压遍数设计为 5、10 和 15 遍。施工流程:

(1) 在试验段打方格,按照松铺厚度 50 cm、方格为 6 m×10 m 卸料,每个方格按一车料卸载。

(2) 用推土机加人工整平场地,对颗粒不均匀处进行处理,其后用平地机进行精平,测量标高。

(3) 用振动压路机进行碾压,碾压时压路机轮距错开 1/3,对错轮距离、压路机速度及每碾压一遍后的沉降量等严格把关,每次碾压结束后测量标高和压实度,根据标高计算沉降量。碾压最后阶段,先用振动压路机或光轮压路机静压一遍,检测压实度合格后再用光轮压路机慢速静压收光一遍。

3.1.2 冲击碾压

冲击碾压施工工艺流程与振动碾压相似,不同之处在于机械选用差异。冲击压路机的基本参数为:冲碾轮为 2 个三瓣式凹凸轮;牵引车功率为 375 kW,履带式,冲击能量为 25 kJ;冲击压路机的行驶速度为 10~12 km/h,纵向冲压轮周距为 1/6 轮,横向相互重叠 20~30 cm。

根据施工经验及理论计算结果,对于 20 m 宽路段,全断面碾压 1 遍需使压路机往返 5.2 圈左右,但实际操作中以冲击压路机行驶 8 圈为 1 遍,共碾压 45 遍。松铺完成后进行一次路基检验,每 5 遍碾压后进行一次检测,共检测 9 次。冲击碾压遍数设计为 25 和 45 遍。

3.1.3 强夯法

强夯的有效加固深度见表 1。试验段强夯处理所用单击夯击能分别为 800、1 800、2 200 kN·m。

表 1 不同夯击能的有效加固深度

单击夯击能/ (kN·m)	加固深度/m	
	碎石土、砂土等 粗颗粒土	粉土、黏性土、湿陷性 黄土等细颗粒土
1 000	5.0~6.0	4.0~5.0
2 000	6.0~7.0	5.0~6.0
3 000	7.0~8.0	6.0~7.0
4 000	8.0~9.0	7.0~8.0
5 000	9.0~9.5	8.0~8.5
6 000	9.5~10.0	8.5~9.0
8 000	10.0~10.5	9.0~9.5

强夯施工前进行试夯,确定现场土样的干密度、湿陷性、承载力和夯击次数、夯击能。夯点以梅花状布置,夯点间以 $1/4d$ 搭接,满夯与第二遍夯击之间的间隔时间根据试夯结果确定。

3.2 试验结果分析

3.2.1 沉降变形

振动碾压(5、10和15遍)、冲击碾压(25和45遍)及强夯(800、1 800和2 200 kN·m)处理后试验段黄土路基沉降情况见表2。

表2 处理后黄土地基的沉降变形

处理方法	不同填土高度(m)地基的沉降变形/cm					
	2	3	6	10	15	
振动碾压	5遍	5.51	9.02	17.66	42.53	67.42
	10遍	5.31	8.86	16.93	41.55	63.81
	15遍	4.73	8.56	15.80	38.39	63.73
冲击碾压	25遍	4.97	8.02	14.92	37.83	61.56
	45遍	3.85	7.25	13.77	34.61	57.82
强夯	800 kN·m	4.42	8.21	15.23	38.56	61.37
	1 800 kN·m	6.58	7.49	11.94	36.28	55.40
	2 200 kN·m	3.02	6.28	9.73	31.72	49.78

由表2可知:1) 振动碾压15遍后,3 m以内黄土填方地基的沉降量为4.7~8.6 cm,10 m及以上高填方路基的沉降量超过38 cm。2) 冲击碾压25遍后,6 m以内黄土填方地基的沉降量达15 cm;冲击碾压45遍后,6 m以内黄土填方地基的沉降量达14 cm,10 m及以上高填方路基的沉降量超过34 cm。3) 各单击夯击能下,强夯处理后,10 m及以上高填方路基的沉降量均超过31 cm。3种处理方式下,高填方黄土路基的沉降量均超过JTG D30—2015《公路路基设计规范》要求的30 cm。

3.2.2 湿陷系数

根据规范,湿陷系数可通过室内压缩试验、现场荷载试验及现场试坑浸水试验测出。采用室内压缩试验时,湿陷系数按式(1)计算:

$$\delta_s = \frac{h_p - h'_p}{h_0} \quad (1)$$

式中: h_p 为保持天然湿度和结构的试样加压至一定压力时下沉稳定后的高度(mm); h'_p 为上述加压稳定后的试样在浸水(饱和)作用下附加下沉稳定后的高度(mm); h_0 为试样的原始高度(mm)。

该试验段采用室内压缩试验方式,通过单线法压缩试验测得湿陷系数(见表3)。

表3 处理前后黄土地基的湿陷系数对比

处理方式	湿陷系数	处理方式	湿陷系数
处理前	0.054 0	强夯	0.017 3
振动碾压	0.003 2	冲击碾压	0.023 9

根据GB 50025—2004《湿陷性黄土地区建筑规范》,湿陷系数 $\delta_s < 0.015$ 时,为非湿陷性黄土; $\delta_s = 0.015 \sim 0.03$ 时,为湿陷性轻微黄土; $\delta_s = 0.03 \sim 0.07$ 时,为湿陷性中等黄土; $\delta_s > 0.07$ 时,为湿陷性强烈黄土。由表3可知:1) 振动碾压处理后路基的湿陷系数小于其他2种处理方式;强夯的处理效果强于冲击碾压。2) 3种方式处理后的黄土地基均可定义为非湿陷性或湿陷性轻微黄土,即3种方法均可消除黄土的湿陷性。

4 结论

(1) 振动碾压、冲击碾压和强夯处理后,高填方黄土路基的沉降量均超过JTG D30—2015《公路路基设计规范》要求的30 cm,不满足要求,需通过换填法或挤密桩法改善地基土性能。

(2) 振动碾压的影响深度最小,未达到试验段的最小填土高度2 m,其有效处理深度为0~0.5 m;冲击碾压的影响深度略大于振动碾压,其有效处理深度为0.5~1 m;强夯的影响深度最大,试验段的影响深度达8 m左右。

(3) 振动碾压、冲击碾压和强夯法对消除浅层黄土湿陷性均有显著作用,但对于高填方黄土路基需通过其他手段进行处理。

参考文献:

- [1] 倪万魁,颜斌,刘海松.公路路基黄土湿陷性评价问题[J].工程地质学报,2007,15(4).
- [2] 刘洋.公路湿陷性黄土路基病害分析与处理[J].今日科苑,2007(20).
- [3] 武丹.冻融循环作用对黄土路基性质及边坡稳定性的影响研究[D].太原:太原理工大学,2017.
- [4] 毛云程,李国玉,张青龙,等.季节冻土区黄土路基水分与温度变化规律研究[J].冰川冻土,2014(4).
- [5] 赵伟.黄土地区高速公路路基水毁原因及治理方法探讨[J].山西建筑,2017,43(34).
- [6] 刘海松,倪万魁,杨泓全,等.黄土路基降雨入渗现场试验[J].地球科学与环境学报,2008,30(1).
- [7] 李国玺,祁伟.黄土地区路基路面排水病害浅析[J].公路,2014(6).

型,模型采用实体单元划分网格,共有 14 507 个节点、40 924 个单元。计算得 U 形抱架上的荷载为 38.7 kN,加载在钢丝绳连接孔面上。边界条件为 U 形抱架与盖梁限制型钢抵紧盖梁方向的平动。

U 形抱架的应力分布见图 6。由图 6 可知:U 形抱架的最大应力发生在 U 形角内侧,为 134.2 MPa,小于规范规定的抗拉和抗压强度设计值 $[\sigma]=300$ MPa,吊架平台主梁的强度满足规范要求。

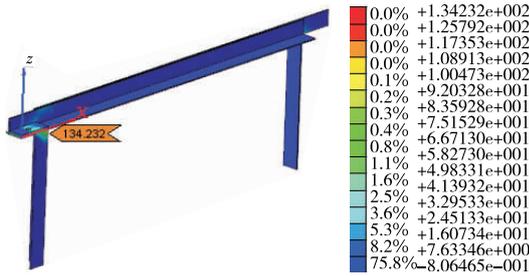


图 6 U 形抱架的应力分布(单位:MPa)

3.4 墩柱的验算

采用 MIDAS/Civil 建立墩柱实体单元模型,共有 13 069 个节点、11 824 个单元,材料为 C30 砼。将 U 形抱架上的荷载按实际搭设位置加载在盖梁上。墩柱的应力分布见图 7。由图 7 可知:墩柱的最大拉应力出现在墩柱底部,为 1.97 MPa,小于规范规定的砼抗拉强度标准值 $[\sigma]=2.01$ MPa,墩柱的强度满足规范要求。

4 结语

该文根据四川遂资高速公路上桥梁工程的实际设计组合吊架系统,计算结果表明其构件均符合规

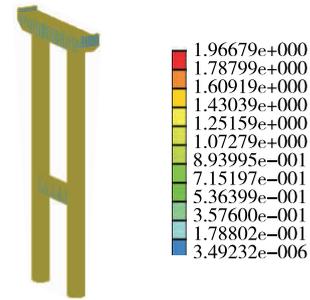


图 7 墩柱的应力分布(单位:MPa)

范要求,结构可靠,强度、刚度等具有足够的安全储备。该组合吊架系统主要针对地形不一的桥梁,吊架平台可根据不同桥跨自由选择成品吊架数量进行组装,可灵活调整尺寸和位置,装拆安全、快捷;不破坏桥梁构件;占用车道时间短;工期短,可重复利用,施工强度低;不受检修桥梁梁底净高的限制,不影响桥下通航或通车要求,适用性强。

参考文献:

[1] GB 50017-2003, 钢结构设计规范[S].
 [2] GB 8918-2006, 重要用途钢丝绳[S].
 [3] JTG/T D60-01-2004, 公路桥梁抗风设计规范[S].
 [4] Y Matsumoto, T Nishioka, H Shiojifi, et al. Dynamic design of footbridges[A]. IABSE Proceedings[C], 1978.
 [5] 温晓曦. 桥梁加固工程钢缆索兜吊平台设计与施工技术[J]. 湖南交通科技, 2013, 39(2).
 [6] 魏魁, 高洪波. 大跨径连续刚构桥梁底维修平台设计[J]. 世界桥梁, 2017, 45(1).

收稿日期:2018-05-18

(上接第 71 页)

[8] 刘怡林, 支喜兰, 石刚. 基于 GIS 的黄土地区公路地基承载力评价系统[J]. 公路, 2006(1).
 [9] 李彦武. 黄土地区路基防护与支挡工程病害及防治措施[J]. 公路交通科技, 2009, 26(9).
 [10] 李彦武. 黄土地区路基病害分析及防治对策[J]. 公路, 2009(8).
 [11] GB 50025-2004, 湿陷性黄土地区建筑规范[S].
 [12] 范敏, 倪万魁. 黄土高原地区公路路基土性参数统计分析[J]. 地球科学与环境学报, 2006, 28(2).
 [13] 徐芹选, 赵景波, 祁晓丽. 黄土孔隙度及粒度组成关系初探[J]. 西安工程学院学报, 2000, 22(1).
 [14] 王永焱. 中国黄土结构特征及物理力学性质[M]. 北京: 科学出版社, 1990.

[15] 王高航. 黄土地区高等级公路路基工程施工[J]. 公路, 2005(10).
 [16] 王国昀. 车辆荷载对公路路基动力响应的现场试验研究[J]. 公路与汽运, 2010(2).
 [17] 景宏君, 张斌. 黄土地区公路路基冲击压实试验[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2004, 24(1).
 [18] 任新涛, 赵占成. 基于冲击碾压技术的黄土路基试验研究[J]. 山西交通科技, 2018(1).
 [19] 陈杰宏. 高速公路湿陷性黄土地区路基强夯施工技术研究[J]. 交通世界, 2015(19).
 [20] 严琼, 乔可帅, 陈钊, 等. 基于连续-离散耦合的公路拓宽路基变形及换填处治宏观分析[J]. 公路交通科技, 2017, 34(10).

收稿日期:2018-09-19