

浅议湿陷性黄土区大厚度填方路基处理

柳顺贵, 康联合国, 童景盛

(中国市政工程西北设计研究院有限公司, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 现行《公路路基设计规范》和《城市道路路基设计规范》对湿陷性处理思想和原则都是借鉴《湿陷性黄土地区建筑标准》相关内容。由于建筑物对变形和承载力有相当高要求, 根据建筑物等级的不同对地基湿陷性全部处理和用桩基穿越整个黄土层。建筑物占地面积较小, 对地基湿陷性全部处理或用桩基穿透黄土层是必要和合理的。但公路、城市道路、场地等面积较大、对地基变形和承载力要求较低的工程, 按《湿陷性黄土地区建筑标准》相关要求全部处理湿陷性, 就存在可行性、经济性和合理性的问题。大厚度填土湿陷性对工程的影响主要是承载力不足和变形过大的问题, 采取一定工程措施解决路基影响范围承载力不足的问题, 将大厚度填土湿陷性问题转换为控制路基沉降变形的问题, 实现矛盾转化、问题简化, 达到全填方厚度范围内解决问题的效果。根据大厚度黄土填筑场地随着埋深增加土的密实度会逐步提高、随着埋深增加土体受水浸湿的概率逐步减少的特点, 进行具有针对性工程方案设计, 使大厚度填方湿陷性处理方法、范围、标准和程度合理、经济是当前须要解决问题。

关键词: 大厚度黄土填方; 湿陷性; 沉降量; 变形

中图分类号: U416.1

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)12-0021-05

0 引言

随着城市化进程不断推进, 城市的面积不断的扩大, 平整的河谷区域已开发完, 低坡缓丘区域的开发成为未来城市建设的主要战场。兰州市位于我国黄土高原区域, 城市属狭长的河谷性城市, 随着城市人口的不断增加, 城市面积的不断扩大, 黄河 I 级阶地, 河谷地带开发已完成。城市向北扩张正在如火如荼地进行。

1 兰州恒大文旅城工程实例

兰州恒大文旅城就是兰州市北山低丘缓坡区域开发的一个具有代表性实例。兰州恒大文旅城场地面积约 5.0 km², 整个场地地质为湿陷性 I~III 级区域, 场地黄土覆盖层厚度平均在 30~100 m 左右, 场地初级平整在 2012 年进行的, 当时由于工程管理等原因, 场地初级平整时主要进行土方的挖填平整, 对黄土湿陷性未进行任何的处理、填筑过程未按工程相关规范与标准进行相应的压实工作。现要在平整后的场地上进行工程建设, 根据地理信息模型在挖方区和填土厚度小于 30.0 m 区域布置建筑。在填方厚度大于 30.0 m 区域布置市政道路等基础设施。

现场局部地段填方厚度为 30.0~100.0 m, 原来场平填筑时没有对填料的湿陷性进行处理、填筑时未对填筑施工质量进行控制。场地处于自然沉降与慢慢密实状态。工程建设要对大厚度填方内黄土进行换填或全部挖除进行处理是不合理、不经济的, 也是不现实的。根据地勘工作调查和工程经验判断大厚度填方土体在自然状态下呈现出的随着埋深增加土体的密实性在增大、随着埋深的增加土体受水浸湿的概率再降低的特点, 分析拟建工程对地基的要求。大厚度填土湿陷性对工程的影响主要是承载力不足和变形过大的问题, 采取一定工程措施解决路基影响范围内承载力不足的问题, 将大厚度填土湿陷性问题转换为控制路基沉降变形的问题, 使大厚度填方内沉降变形量达到《公路路基设计规范》和《城市道路路基设计规范》相关要求, 实现矛盾转化、问题简化, 达到全填方范围内解决问题的效果。根据以上处理问题思路, 结合现有工程处理技术水平和经济性提出工程处理方案: 路基顶面采用灰土垫层+灰土挤密桩(桩长 15.0~20.0 m), 再对路基影响范围内由于施工、运营产生沉降量和全填方深度范围内土体固结沉降变形进行计算与控制。本方案从定型和定量两个角度说明问题, 以定量说明问题为主。

1.1 现场条件

1.1.1 地形、地貌

(1) 原始地形、地貌

收稿日期: 2021-07-23

作者简介: 柳顺贵(1977—), 男, 本科, 高级工程师, 从事工程设计工作。

根据已收集到有关资料^[1],项目场地 2012 年之前基本保持了原始的黄土梁峁及沟谷地貌,呈现梁峁与沟谷相间的分布的地形形态,场地地形总体呈现北高南低的趋势,见图 1。



图 1 现场原始地貌

(2) 初级场平后的地形、地貌

在土地一级开发中,通过对黄土梁峁黄山、沟壑回填进行土地整平开发,见图 2。整平后场地较为平坦,场地地形自北向南倾斜。地势总体北高南低,自南向北场地高程介于 1 640 ~ 1 750 m; 场地周边地形起伏大,部分沟壑未回填完成。沟壑回填采用原始梁峁削山后的马兰黄土进行回填,见图 3。



图 2 现场平整后地貌

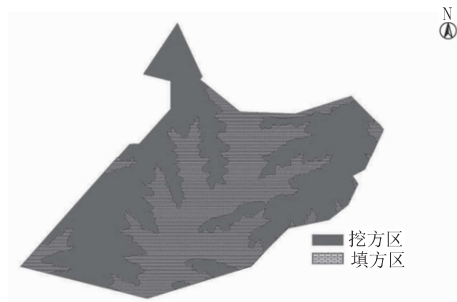


图 3 现场填挖区域图

1.1.2 地质条件

根据勘探揭露及地质调绘, 场地地层结构自上而下描述及分布特征综述如下:

(1) ①₋₁ 层杂填土(Q4ml): 杂色, 松散~密实, 主要由建筑垃圾组成, 分布于场地内的便道区域, 为修筑临时道路的填筑体, 杂填土层厚度较薄, 该土层厚度一般都在 0.80 ~ 3.00 m, 平均 1.94 m, 层底高程 1 621.94 ~ 1 791.28 m。

(2) ①₋₂ 层素填土(Q4ml): 浅黄色, 松散~稍密, 主要由粉土组成。该层主要分布于原始场地地势相

对较低的沟谷区域, 受原始地形影响, 填土层厚度变化极大, 层厚一般在 1.00 ~ 104.80 m, 层底埋深 1.00 ~ 104.80 m, 见图 4。



图 4 素填土土样

(3) ②₋₁ 层黄状粉土(Q4al+pl): 褐黄色, 稍湿~湿, 稍密, 显水平层理, 层厚一般在 11.60 m, 层底埋深 104.10 m。

(4) ②₋₂ 层粉细砂(Q4al+pl): 褐黄色, 稍湿~湿, 稍密, 显水平层理, 颗粒成分主要为石英及长石、云母等, 夹有花岗岩、砂岩碎屑, 层厚一般在 0.50 ~ 2.30 m, 平均 1.43 m, 层底埋深: 72.20 ~ 99.30 m。

(5) ③₋₁ 层湿陷性马兰黄土(Q3eol): 浅黄色, 稍湿, 稍密~中密。土质较均匀, 上部可见大孔隙及垂直节理发育。该层在场地浅挖方区以及填方区地普遍分布, 层厚一般在 0.60 ~ 50.30 m, 层底埋深 3.50 ~ 101.20 m, 见图 5。



图 5 马兰黄土土样

(6) ③₋₂ 层非湿陷性马兰黄土(Q3eol): 浅黄色, 稍湿, 中密~密实, 土质较均匀, 随深度增加, 孔隙率渐小, 层厚一般在 0.40 ~ 98.40 m, 层底埋深 15.90 ~ 106.90 m。

1.1.3 高填方区地质说明

根据现场调查, 拟建工程场区高填方区, 主要是通过开挖现状山体填筑到沟谷地区。整个填方区地质较为简单, 主要以土①₋₂ 层素填土(Q4ml)为主, 填方厚度为 0 ~ 105 m; 根据调查, 拟建场地场平自 2012 年开始平整, 至 2013 年年底基本完成, 在回填期间, 进行了局部强夯处理。2014 年后场地又进行了两次大范围的场地平整, 沟谷回填及回填区域多采用分层推筑、分层压实回填, 见图 6。

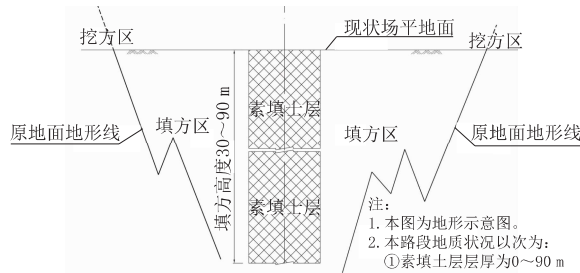


图 6 填方示意图

2 大厚度填方处理方法研究

根据大厚度黄土填筑场地所呈现的特点,充分利用随着填土厚度增加填筑土体的密实性在增加,随着填土厚度增加浸水概率再大幅度减少特点,将通常处理黄土场地主要是靠高强度、大范围^[2]处理措施来减小和消除黄土湿陷性问题转化为充分结合现场土体自身特点、抓住黄土湿陷性对路基影响的本质问题是沉降变形的问题。结合大厚度填土所呈现随深度增加密实性增加的特点,把路基处理重点放在路基顶面密实性较小的区域,通过处理提高路基的密实性、降低湿陷性、减小路基沉降变形;通过人工地基处理,在路基顶面形成一定厚度密实的硬壳层阻断、减少了地表水下渗,降低了填方深处填土发生湿陷的概率。硬壳层分散了路面荷载、减小了填方深处土体附加压应力,减小了路基沉降变形。

本次方案设计采用模型^[3]:1.5 m 垫层(灰土)+15.0 m 挤密桩(灰土)对路基顶面一定厚度范围进行处理。对路基影响范围内由于路基处理、工程建设、运营产生沉降量和全填方深度范围内土体固结沉降变形进行计算与控制。为简化问题,路基处理范围(灰土垫层+挤密桩)内认为湿陷性已全部处理,把该部分简化为一刚体(没有变形)。将车辆荷载、路面结构、垫层和挤密桩视为附加在现状土体上的附加荷载,计算附加荷载引起路基影响范围内的沉降变形。计算全部填土范围内随时间固结沉降量,使工程建设的附加荷载引起沉降变形量与填土随时间固结沉降量之和小于《公路路基设计规范》所确定变形量。

2.1 地基应力计算

根据地勘资料反映,在高填方区,土质全为黄土,具有 IV 级湿陷性。整个工程地质问题是:湿陷性+填筑土欠固结性^[4]。

2.1.1 地基附加应力

工程设计路基处理方案是:1.5 m 灰土垫层+15.0 m 灰土挤密桩处理,见图 7。

道路建成后,车辆荷载、路面结构层荷载和灰土

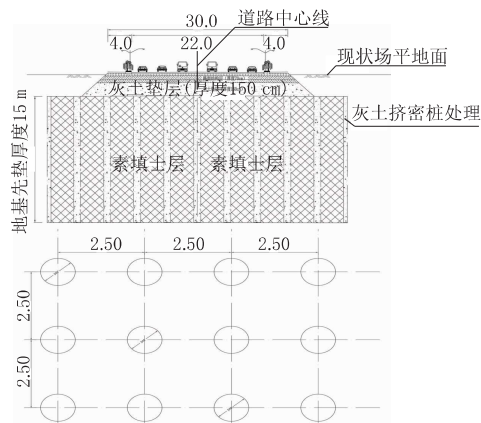


图 7 路基处理图(单位:m)

挤密桩形成附加荷载为路基的附加荷载见表 1,其形成应力为附加应力,具体计算结果见表 2。

表 1 路基附加荷载计算表

序号	荷载名称	应力/kPa
1	车辆等效土柱换算	5.46
2	路面结构层	14.73
3	灰土垫层	26.25
4	灰土挤密桩	34.13
附加应力合计		80.57

表 2 附加荷载在路基中引起应力

序号	深度 Z/m	l/b	z/b	应力系数 α_z	附加应力 α_z /kPa
1	0.75	2.13	0.1	0.249 56	80.428 2
2	2.25	2.13	0.3	0.251 7	81.117 88
3	3.75	2.13	0.5	0.238 5	76.863 78
4	5.25	2.13	0.7	0.225 4	72.641 91
5	6.75	2.13	0.9	0.209 1	67.388 75
6	8.25	2.13	1.1	0.191 4	61.684 39
7	9.75	2.13	1.3	0.173 9	56.044 49
8	11.25	2.13	1.5	0.165 3	53.272 88
9	12.75	2.13	1.7	0.142	45.763 76
10	14.25	2.13	1.9	0.128 2	41.316 3
11	15.75	2.13	2.1	0.115 8	37.320 02
12	17.25	2.13	2.3	0.104 8	33.774 94
13	18.75	2.13	2.5	0.100 9	32.518 05
14	20.25	2.13	2.7	0.092 3	29.746 44
15	21.75	2.13	2.9	0.082 3	26.523 64

2.1.2 路基自重应力计算

根据大填方区 TJ03 孔的《土工试验成果报告表》相关资料,计算 BxL 矩形的中心点处下方自重应力,具体计算结果见表 3。

地基受压层度确定:根据相关规范内容^[4],路基沉降量计算深由附加应力与自重应力的比值确定,见图 8。

$\sigma=0.2\sigma_z$ 对应深度为沉降量计算深度 Z_n 。最后确定路基受压层深度 $Z_n=14.25$ m。

表 3 自重应力计算表

序号	取样深度 /m	土层厚度 /m	重度 γ_i / ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	每层自重 应力 /kPa	ΣP_i /kPa
1	18.0 ~ 18.20	0.75	15.18	11.385	
2	19.50 ~ 19.70	1.5	15.23	22.845	34.23
3	21.00 ~ 21.20	1.5	14.31	21.465	55.695
4	22.50 ~ 22.70	1.5	15.29	22.935	78.63
5	24.00 ~ 24.20	1.5	15.10	22.65	101.28
6	25.50 ~ 25.70	1.5	14.80	22.2	123.48
7	27.00 ~ 27.20	1.5	15.48	23.22	146.7
8	28.50 ~ 28.70	1.5	15.10	22.65	169.35
9	30.00 ~ 30.20	1.5	14.99	22.485	191.84
10	31.50 ~ 31.70	1.5	15.39	23.085	214.92
11	33.00 ~ 33.20	1.5	14.90	22.35	237.27
12	34.50 ~ 34.70	1.5	16.86	25.29	262.59
13	36.00 ~ 36.20	1.5	15.97	23.955	286.495
14	37.70 ~ 37.90	1.5	15.29	22.935	309.43
15	39.20 ~ 39.40	1.5	15.19	22.785	332.215

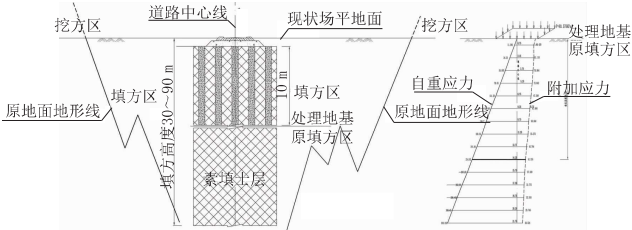


图 8 路基应力图

2.2 路基沉降量计算

2.2.1 附加应力与自重引起路基沉降量计算

根据现场地勘工作取样深度及土工试验成果报告的资料统计,计算地基在附加荷载与自重下沉降变形量,见表 4。

表 4 地基沉降计算表

序号	土层厚度 h_i /m	土的压缩系数 a / MPa^{-1}	孔隙比 e_i	平均附加应力 $\bar{\sigma}_z$ /kPa	沉降量 s_i /mm
1	0.75	0.14	0.871	80.50	4.5
2	1.5	0.12	0.838	80.77	7.91
3	1.5	0.19	1.01	78.99	11.2
4	1.5	0.15	0.852	74.75	9.08
5	1.5	0.19	0.879	70.015	10.62
6	1.5	0.11	0.919	64.536	5.55
7	1.5	0.13	0.827	58.864	6.28
8	1.5	0.11	0.857	54.659	4.86
9	1.5	0.17	0.89	49.518	6.681
10	1.5	0.09	0.825	43.540	3.22

因工程建设路基产生沉降量为 S :

$$S = \sum_{i=1}^{10} S_i = 4.5 + 7.91 + 11.2 + 9.08 + 10.62 + 5.55 + 6.28 + 4.86 + 6.681 + 3.22 = 69.901 \text{ mm}$$

2.2.2 地基随时间沉降量计算

由于工程位于大厚度黄土填方区,在工程施工完成投入运营后,随时间推移,地基会发生自然缓慢沉降,地基填土的固结度会逐步的提高。地基随时间

沉降长期积累,对工程危害也是较大的,在工程设计时要充分考虑到这一部分沉降。现通过地质资料计算该部分沉降量。

该项目填土层厚度为 30 ~ 100 m 不等,工程勘察时通过探井取样,有土工试验成果的填土层厚度约为 40 m,通过数据分析,通过有限数据去推理和计算全填方厚度的固结沉降量,见表 5。

表 5 路基固结沉降计算表

序号	固结度 $U/\%$	系数 a	时间因子 T_v	时间 t/a	沉降量 S_t /cm
1	25	∞	0.016	0.041	2.825
2	50	∞	0.085	0.22	5.65
3	75	∞	0.33	0.82	8.475
4	90	∞	0.75	1.875	10.17

根据工程特点,项目区最终沉降量为工程建设时沉降与地基随时间沉降量之和,本项目的总沉降量为 17.16 cm (工程建设沉降 6.99 cm 加随时间沉降量 10.17 cm)。

本工程方案设计中,初步拟定该项目设置管线检漏沟,将管线设置在检漏沟内。检漏沟为钢筋混凝土结构。根据《公路路基设计规范》^[5]中关于容许工后沉降规定,本项目路基工后沉降按干线公路的二级公路的涵洞、箱涵、通道处位置计,容许工后沉降量。通过比较本项目地基总沉降量小于规范规定容许工后沉降量。

2.3 地基剩余湿陷量计算

根据工程方案,综合考虑到工程实际情况。在进行路基灰土挤密处理范围内,路基湿陷性全部处理。路基处理范围以下部分考虑到浸水的可能性,对其湿陷性量进行计算,对其对工程危害性进行评估。

根据甘肃省地方标准《大厚度湿陷性黄土地场地工程处理技术规程》相关规定^[6](见表 6),地基处理后的剩余湿陷量评估值 Δz 。

表 6 不同深度地基土深度浸水机率系数(a)

序号	基础底面下深度 /m	a (建议值)
1	10 ~ 15	0.8
2	15 ~ 20	0.6
3	20 ~ 25	0.4
4	大于 25	0.2

根据工程方案,本项目剩余湿陷量计算范围为 15 ~ 20 m、20 ~ 25 m 和大于 25 m 三个范围。

(1)15 ~ 20 m 范围(计算结果见表 7)根据公式

$$\Delta z = \beta_0 \sum_{i=1}^n a_i \delta_{zs_i} h_i$$

(2)20 ~ 25 m 范围(计算结果见表 8)

表 7 15~20 m 范围剩余湿陷量计算表

序号	层厚 h_i /m	β_0	a_i	δ_{zsi}	Δz /m
1	1.5	1.5	0.6	0.065	0.087 75
2	1.5	1.5	0.6	0.033	0.044 5
合计					0.132 3

表 8 20~25 m 范围剩余湿陷量计算表

序号	层厚 h_i /m	β_0	a_i	δ_{zsi}	Δz /m
1	1.5	1.5	0.4	0.111	0.099
2	1.5	1.5	0.4	0.037	0.033 3
3	2.0	1.5	0.4	0.045	0.054
合计					0.186 3

(3)大于 25 m 范围(计算结果见表 9)

表 9 大于 25 m 范围剩余湿陷量计算表

序号	层厚 h_i /m	β_0	a_i	δ_{zsi}	Δz /m
1	1.5			0.086	0.038 7
2	1.5			0.031	0.013 95
3	1.5	1.5	0.2	0.062	0.027 9
4	1.5			0.079	0.035 55
5	1.5			0.035	0.015 75
合计					0.131 85

剩余湿陷量合计为:

$\Delta z = 0.132\ 3+0.186\ 3+0.131\ 85=0.450\ 65\ \text{m}$

考虑到路基在顶面已经进行处理(1.5 m 灰土垫层 +15.0 m 灰土挤密桩),处理后处理层的密实度有较大提高,降低了水渗透系数,相应透水性大大降低,形成了一个不透水层,起到了隔水层的作用。在路基全部填方区域内虽有 0.45m 剩余湿陷量,但其发生的湿陷的概率已大大降低,对工程可靠度是一个低概率的事件,从工程经济与合理性方面是不值得再去用工程措施处理的。

3 对处理结果的分析

本工程方案根据湿陷性黄土不遇水浸湿承载力能满足路基承载力需要;湿陷性对道路路基实质影响是路基变形的影响的认识。

本工程方案采用根据大厚度填土的特点(随着填土埋深的增加土的密实性不断增加、随着填土深度增加受水浸湿的概率不断降低的特点),充分利用填土特点,用合理、经济的工程措施及有限的工程处理范围,使路基沉降变形控制在规范容许的范围之内,通过控制路基沉降变形解决了大厚度黄土填筑区全填筑高度范围内黄土湿陷性问题。根据工程经验和相关理论对处理结果进行定型与定量的分析评价。

定型分析:本工程方案在路基顶面形成一定厚度的人工地基硬壳层,该层的刚度和承载力较自然

地基大大提高,给路面结构层提供了一个刚度较大、变形较小和厚度较厚路基垫层,就像桥梁的承台一样,起到了分散荷载,减小变形作用;处理后地基形成了一个较大厚度的路基硬壳层,形成土拱效应;路基处理达到处理路基影响范围内的黄土的湿陷性,解决路基影响范围内的沉降变形的问题。通过工程原理、工程经验,处理结果达到了路基对变形和承载力的要求。

定量分析:本方案通过计算由于工程施工和运营给路基带来附加应力所引起沉降量,计算全填方深度范围内随时间固结沉降所引起沉降量,使路基全填方厚度范围内的沉降量小于规范所容许的范围。以数据说话定量分析、定量的控制了道路路基沉降变形,使路基的沉降处于可控、允许的范围内。

4 结 语

(1)抓住了湿陷性问题实质是路基沉降变形的问题,将处理填土湿陷性问题转换为控制路基变形问题。

(2)充分利用大厚度填方所呈现的特点,随着填方深度的增加土体的密实度在增加,随着埋深的增加土体受水浸湿的概率大幅降低的特点。

(3)合理的确定路基的处理范围,计算全填厚度内的路基沉降变形,解决全填方厚度沉降变形的问题,达到了全厚度、全面解决问题的目的。

(4)以成熟的工程技术,解决工程复杂的问题。

(5)本处理方案虽在兰州北山低丘缓坡区域大厚度黄土填方区工程建设的一个实例,但本方案提出处理方案思路、工法具有通用性;本方案主要思路是抓住了路基湿陷性本质是路基沉降变形量,通过计算与控制路基沉降变形量确定路基处理范围与标准,解决了过去道路路基湿陷性处理范围与标准主要依据工程经验、处理原则与思想杂乱的问题,使问题解决结果定型、定量可控。本方案所采用的思路与工法具有使用的普遍性。

参考文献:

[1] 甘肃中建市政工程设计有限公司.兰州恒大文化旅游城项目岩土工程勘察报告[Z].2018.
[2] GB 50025—2018,湿陷性黄土地区建筑规范[S].
[3] 中国市政工程西北设计研究院有限公司.兰州恒大文化旅游城道路基础设施路基处理方案[Z].2018.
[4] 陈希哲.土力学地基基础(第三版)[M].北京:清华大学出版社,2006.
[5] JTG D30—2015,公路路基设计规范[S].
[6] DB62/T 25—3060—2012,大厚度湿陷性黄土场地工程处理技术规范[S].