

水泥粉喷桩技术在兰海高速公路黄土软基处理中的应用

侯云龙

(甘肃地质工程总公司,甘肃兰州730000)

摘要:结合兰海高速公路 HL15 标段的施工中用水泥粉喷桩复合地基加固软土地基经验,阐述用水泥粉喷桩加固软土地基设计计算中技术指标的选用,结合公路工程实例介绍并探讨该技术在黄土地区的应用。

关键词:水泥粉喷桩;软基处理;指标选用;黄土地区

中图分类号:U416.1 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2006)01-0035-03

1 发展现状

随着公路等级的提高,传统处理软土地基的方法已不能满足施工的要求。水泥粉喷桩复合地基作为地基加固技术,因加固软土地基效果好,速度快,可最大限度地减少施工后地基土的沉降量,特别对于减少地基不均匀沉降、防止路堤失稳等方面有着其它软土地基处理方法无法比拟的优点。

近几年来,在我国南方和沿海地区,高速公路软土地基处理工程中,水泥粉喷桩复合地基得到了广泛地应用。目前,在我国广大的黄土地区的工程施工中也开始采用该方法。

2 工程概况

国道主干线丹拉公路兰海高速公路达家台—海石湾段,全长 43.336 km。路线通过的湟水河 II 级阶地,现状为大片农田,并分布有不少蓄水池塘和人工鱼池。由于长期农田灌溉,致使地表水不断下渗浸润,地下水位上升,使黄土层饱和、软化,在局部地段形成软塑~流塑状的黄土软土地层,厚度在 1.0~6.0 m 不等,土体的天然含水量一般大于塑限含水量,多与硬塑状土层相间分布,极易产生不均匀沉降。黄土软土物理力学试验指数见表 1。

表 1 黄土软土物理力学试验指数统计表

| 序号 | 取样深度 /m | 可塑性界限 | | | | 天然含水量 W /% | 容重 R /($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$) | 含水比 e_0 /% |
|----|----------|-------------|-------------|------------|------------|--------------|---|--------------|
| | | 液限 W_L /% | 塑限 W_p /% | 塑性指数 I_p | 液性指数 I_L | | | |
| 1 | 1.85~27 | 26.15~26 | 15.8~16.19 | 10.35~9.81 | 0.72~1.25 | 23.3~28.45 | 17.8~17.3 | 0.89~1.09 |
| 2 | 1.6~13.2 | 29.15~26.18 | 18.35~16.65 | 10.8~9.53 | 0.72~0 | 26.14~11.08 | 18.1~18.4 | 0.9~0.42 |
| 3 | 1.75~18 | 24.31~27.52 | 18.25~16.65 | 6.06~10.87 | 0.56~0.5 | 21.62~22.09 | 16.3~19.6 | 0.89~0.8 |
| 4 | 2.4~7.5 | 25.25~26.32 | 17.82~20.22 | 7.43~6.1 | 0.9~1.01 | 24.5~16.41 | 18.1 | 0.97~1 |
| 5 | 1.75~8 | 27.91~26.66 | 19.04~20.3 | 8.87~6.26 | 0.83~1.02 | 26.37~26.68 | 18.4~19.4 | 0.94~1 |
| 6 | 1.7~6.2 | 26.66~26.44 | 20.3~18.11 | 6.26~8.33 | 1.02~0.85 | 26.68~25.2 | 18~18.5 | 0.78~0.95 |

3 黄土软基处理方案及设计

3.1 处理方案的确定

根据以往的施工经验,软土地基处理方法一般采用换填法、强夯法、挤密砂桩等方法。上述措施对软土厚度要求特殊,占用耕地多,沉降量大,往往造成后期养护工作困难。

兰海 HL15 标段的软基处理中,通过水泥粉喷桩加固黄土软基的现场测试试验,经有关专家和部门的反复论证,普遍认为使用水泥粉喷技术对黄土软基进行加固处理与其他方法相比,施工工艺简便、

效率高、经济可行。

3.2 设计计算公式

水泥粉喷桩复合地基的设计,就是要在满足复合地基承载力和稳定性要求的前提下,确定粉喷桩的桩长、桩土面积置换率。水泥粉喷桩介于刚性桩和柔性桩之间,可按复合地基考虑,其承载力可按下列式估算:

$$[P] = \eta P_c A_p \quad (1)$$

$$\delta_{sp} = \alpha_s \delta_p + (1 - \alpha_s) \delta_d \beta \quad (2)$$

式中: $[P]$ ——单桩容许承载力, kN; η ——桩身强度折减系数; A_p ——桩的面积, m^2 ; δ_{sp} ——复合地基

收稿日期:2005-08-04; 改回日期:2005-12-27

作者简介:侯云龙(1976-),男(汉族),河北邢台人,甘肃地质工程总公司,岩土工程专业,从事岩土工程勘察、施工与技术管理工作,甘肃省兰州市红星巷123号,(0931)8611492,hy18001@yahoo.com.cn。

万方数据

容许承载力, kPa; δ_p ——桩身容许承载力, $\delta_p = \eta P_t$, kPa; δ_s ——桩间土天然地基容许承载力, kPa; β ——桩间土承载力折减系数; α_s ——置换率, $\alpha_s = nA_p/A$, 可取 10% ~ 20%; n ——桩根数; A ——加固总面积, m^2 。

3.3 设计参数的选择

在黄土地区, 水泥粉喷桩复合地基加固软土地基, 从设计参数到工艺与其他地区相比有一定的特殊性。通过水泥粉喷桩在黄土软基处理试验测试中取得的数据及试验结果与理论计算结果进行比较发现, 利用现有规范参数计算出的结果与试验结果存在一定差距。根据该路段黄土地基的特点和水泥黄土的特性比对, 在水泥粉喷桩复合地基的设计计算中, 可以对公式中的一些参数进行适当调整, 则更符合在黄土地区利用水泥粉喷桩进行软基处理的实际情况。

(1) 桩间土承载力折减系数 β , 当桩间土为软黄土时, 其柔性基础可取 0.8 ~ 1.2 (规范值 0.5 ~ 1.0)^[1], 对刚性基础可取 0.6 ~ 0.7; 当桩端土为硬土时, 可取 0.1 ~ 0.5 (规范值 0.1 ~ 0.4)^[1]。

(2) 桩身强度折减系数 η , 对水泥黄土粉喷桩可取 0.5 ~ 0.7 (规范值 0.3 ~ 0.4)^[1]。

(3) 桩周围土的平均摩擦力, 对软塑状黄土可取 12 ~ 18 kPa; 对可塑状黄土可取 18 ~ 24 kPa (规范值 12 ~ 15 kPa)^[1]。

(4) 桩端天然地基土的承载力折减系数 α , 对软黄土地基取 0.5 ~ 0.6 (规范值 0.4 ~ 0.6)^[1]。

3.4 平面布置形式的选择

水泥粉喷桩软黄土复合地基的布桩形式可根据施工区的工程地质条件、对地基承载力和变形的要求, 以及施工工艺和设备情况, 采用桩式、壁式、格栅式、块体式等平面布置形式。在兰海高速公路 HL15 标段的软黄土复合地基加固工程中, 平面布置采用了梅花桩式布置 (见图 1)。

粉喷桩布桩间距受面积置换率控制, 从桩长范围内复合体的模量来看, 桩间距越小, 模量越高, 该范围内压缩量越小; 从粉喷桩处理后总沉降量减少方面来看, 桩间距变化并不产生总沉降量较大的改变; 水泥粉喷桩在软黄土区一般都按摩擦桩对待, 因此考虑群桩效应, 桩间距不宜过小, 一般不小于 2 倍桩径。该设计中, 水泥粉喷桩间距 1.1 ~ 1.25 m (见图 1)。为防止处于软基段的路基发生不均匀的沉降, 扩散应力和增大复合地基的稳定性, 在路基粉喷桩的桩顶设置 10 cm 厚土工格室加固, 土工格室内

填砂砾碎石 (见图 1)。

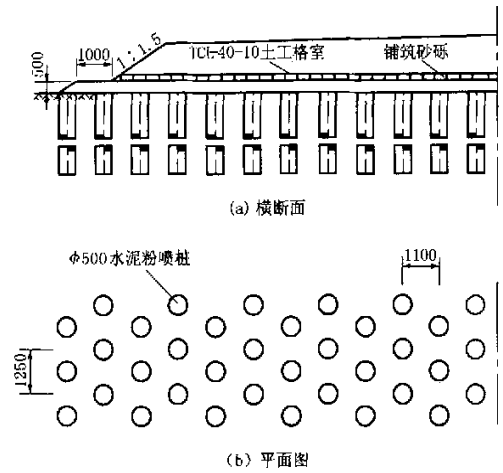


图 1 路基横断面及桩位布置图

4 水泥粉喷桩施工工艺

4.1 清表

清除原地面 10 ~ 30 cm 厚的耕植土和附着物, 场地低洼处应回填粘性土, 不得回填杂填土, 筑压平整, 测定平整后的地面高程; 地表过软处应采取防止机械失稳或沉陷的措施, 当场地质质较差时, 应设施工垫层。

4.2 放样

准确放线, 布置出所有桩位, 桩距 1.25 m, 排距 1.10 m, 呈梅花形布置, 桩位偏差不超出 5 cm, 用 $\phi 6$ mm 钢筋或竹签加白灰标记, 并建立桩位平面网格控制系统, 绘制桩位平面布置图, 确定施工工作流路段。

4.3 粉喷搅拌钻机就位对中

按施工顺序, 深层搅拌机就位, 调整钻机平台, 检查导向架和搅拌轴的垂直度, 间接测定桩身的垂直度, 要求垂直度误差 $< 1\%$, 检查钻头直径, 其磨损量 ≤ 1 cm, 使钻头对中桩位误差 ≤ 5 cm。

4.4 预搅下沉

启动钻机下钻, 使钻头边旋转边钻进, 保持速度 0.5 m/min, 转速 30 r/min。根据设计要求控制桩底标高, 桩底应超深 10 ~ 20 cm。边旋转边喷高压气, 结合含水率记录和标记, 对含水率 $< 28\%$ 的原基计算出加水量, 按钻机的钻进速度进行注水。

4.5 提升喷粉

钻头到位后, 调整钻头反向旋转, 边旋转边以 0.5 m/min 的速度提升, 搅拌速度 30 r/min。此时, 粉体发送器开始喷粉, 保持送粉空气的压力为 0.4

MPa,气流为 20 L/s,保证桩身的喷粉量,每根桩的水泥用量误差控制在 ±5 kg。

(1)提升过程必须保持与送粉一致,不允许先提升后喷粉。

(2)喷粉过程中,若发现套管漏气或堵管,则应立即停止喷粉。

(3)时刻观察供粉计量仪的数字变化,若发现明显减少或突然停止,要立即记录,以利于补粉或复搅,复打重叠孔段应大于 1 m。

4.6 停粉

当钻头提升到离地面 50 cm 时,发送器应停止喷粉,改送压缩空气,注意不应该将水泥粉带入剩余的 50 cm 土内或带出地表,以防止给后面施工造成困难,一般采取减缓提升速度至 0.3 m/min。

4.7 复搅下沉

为了提高上部桩身强度,适应荷载应力传递,须进行复搅,复搅深度为 5 m,桩长不足 5 m 的要整桩复搅,其工艺如前所述,并观察复搅深度。

4.8 提升

工艺如 4.6,整桩喷粉结束后,应检查计量仪,若喷粉量不足,应整桩复打。

4.9 桩头处理

桩头 50 cm 以内要用粘土回填夯实。

5 施工效果

本工程使用了 3 台 PH-5D 型钻机及 75 kW 发电机组等设备,消耗了 32.5 普通硅酸盐水泥 2517.5 t,成桩 7916 个,总延长米 47500 m,加固土体 259200 m³。加固后的桩身按 2% 进行了取心,取

心合格率 100%。检验结果表明,用该法加固黄土软基后形成的复合地基,不需预压即可获得较高的复合地基承载力及复合变形模量,加固土体柱的压缩量仅为 0.6% 左右,下卧层的沉降量也有明显减少,使地基沉降总量下降 1/3 ~ 2/3;施工时低压操作,安全可靠,对周围环境及建筑物无不良影响。该方法在兰海高速公路 HL15 标段软基处理的施工中,由于设计试验阶段对个别计算参数进行了适当调整,施工工艺更符合实际,施工效率更高,施工成本要比其他工艺方法节约 30% 左右。

6 结语

水泥粉喷桩处理软土地基,特别在黄土地区,这是一项新技术。首先,它具有显著的质量效益,加固后的水泥黄土复合地基,其抗压强度比天然软黄土提高数十倍甚至数百倍,它与周围天然土层组成的复合地基可大大地提高承载力,减少沉降量。其次,工程造价相对较低。据初步测算,采用水泥粉喷桩加固软土地基,要比采用刚性混凝土灌注桩的工程费用低 50% 左右,具有良好的社会效益和环境效益。由于对计算参数进行了调整,使计算过程清晰、简单、易操作,更适合在黄土地区的应用,加快了设计与施工进度。

参考文献:

[1] TB 10113-96,粉体喷搅法加固软弱土层技术规范[S].
[2] JGJ 79-2002,建筑地基处理技术规范[S].
[3] GB 50007-2002,建筑地基基础设计规范[S].

(上接第 34 页)

表 3 位移观测成果表

| 观测点号 | 最大位移量/mm | 最大沉降量/mm | 观测点号 | 最大位移量/mm | 最大沉降量/mm |
|------|----------|----------|------|----------|----------|
| B1 | 7.5 | 3.1 | B11 | 4.9 | 2.8 |
| B2 | 7.5 | 4.5 | B12 | 6.5 | 2.7 |
| B3 | 9.1 | 3.6 | B13 | 8.2 | 3.9 |
| B4 | 8.0 | 1.9 | B14 | 4.7 | 2.0 |
| B5 | 6.9 | 3.1 | B15 | 7.1 | 4.0 |
| B6 | 5.7 | 3.1 | B16 | 10.8 | 3.6 |
| B7 | 6.0 | 4.4 | B17 | 6.8 | 1.9 |
| B8 | 8.7 | 4.4 | B18 | 9.4 | 4.4 |
| B9 | 8.7 | 3.8 | B19 | 11.0 | 5.3 |
| B10 | 5.3 | 3.5 | B20 | 7.6 | 2.6 |

7 结语

第 29 届奥运会青岛帆船中心陆域工程 II 标段,靠近海边,地质条件差,且属大面积的深基坑施工,施工时又适逢雨水季节,具有相当大的施工难度。其最终能够取得圆满成功,说明旋喷注浆止水帷幕施工措施是合理可行的。

旋喷桩止水帷幕造价低、效果好,随着城市的发展,其在深基坑支护中应用前景广泛。

参考文献:

[1] JGJ 120-99,建筑基坑支护技术规程[S].
[2] GB 5007-2001,建筑地基与基础设计规范[S].
[3] 徐至钧,等.高压喷射注浆法处理地基[M].北京:机械工业出版社,2004.
[4] JGJ 79-2002,建筑地基处理技术规范[S].