

干振挤密地基处理设计与施工的工程实践

马青海

(洛阳有色金属加工设计研究院,河南 洛阳 471039)

摘要:结合某搬迁工程填土地基处理设计施工实践,介绍了对未完成自重固结过程的堆填土采用干振碎石挤密桩加固挤密软弱地基的机理,设计方法和施工注意事项。当工程中遇到含水量较高难以成孔的填土时,介绍了利用石灰桩吸水膨胀的作用,结合沉管引孔解决了碎石桩的成孔问题的成功经验。施工工艺简单,充分利用了当地的丰富原材料,降低了工程造价。

关键词:干振碎石挤密桩;地基处理;沉降;变形;置换率

中图分类号:TU472;TU476.1

文献标识码:A

0 前言

某铜材厂搬迁改扩建工程位于广州某镇工业开发区。主厂房设计为纵横多跨的钢筋混凝土排架结构,厂房跨度18~30m,柱距6m和12m。最大吊车吨位20/5t,轨顶标高11.200m。车间内设备密集,地坪堆料区荷载达100kN/m²,主厂房以及厂区内的主要建筑和构筑物荷重大,对沉降要求严格。

该建设场地地质条件复杂,原为剥蚀残丘地貌,有较大冲沟地带贯穿场地,在进行三通一平时,西北边较大冲沟地带的填土厚度一般6~9m,最深达10m以上,土性为含砾粉砂岩风化土堆填的素填土,呈褐红色、松散状,西南角地段有少量微风化砾岩块石。填土很不均匀,未经压实处理,未完成自重固结过程,工程地质报告中未提供承载力值。填土下各土层分别为:(1)坡积层。原山包上的坡积层已剥离,而冲沟边缘上有的坡积层超覆在冲洪积层之上,土性为粉质粘土,夹粘土,最大厚度6.3m, $f_{ak} = 170\text{kPa}$ 。(2)冲洪积层。为山涧的冲洪积物,主要分布在冲沟地带,土性繁多,粘性土及粉土多在冲积层的上层,最厚8.4m, $f_{ak} = 180\text{kPa}$ 。该层中下部分布有粉、细砂层及中、粗砾砂。(3)残积层。土性为含砾砂岩风化残积的粉质粘土,该层部分地段露出地表,厚度0.5~9.6m, $f_{ak} = 200\text{kPa}$ 。(4)基岩。岩性以砾岩为主 $f_{ak} = 500\text{kPa}$ 。

场地内地下水位距地面下0.5~8.6m,主要受大气降水补给。

本工程对沉降要求严格,但在主要持力层范围内土层分布不均,甚至还在填土范围之内,不能满足设计所需荷载要求。广东地区主要以桩基、深层搅拌桩、个别地区也有使用强夯处理地基^[1-5]。由于填土中含风化砾岩块石搅拌桩施工困难,价格高。强夯处理因邻近建筑物而无施工可能性。经方案论证后,对主厂房采用了大直径人工挖孔灌注桩基础^[6],填土地基建筑物和构筑物全部采用干振碎石桩加固处理,这在地区还是首次使用,处理效果和经济效益显著,达到国内先进水平。处理面积共计17030m²,总桩数18400根,处理用碎石体积21533m³。

1 干振碎石桩加固地基的原理

振碎石桩加固地基的实质是把松散的天然地基变成由碎石桩和挤密的桩间土组成共同工作的复合地基,其承载力可以大幅度提高。

干振碎石桩在成孔和振密碎石的过程中,挤密和振密效应是复合地基承载力提高的主要因素,承载力比加固前可提高60%以上。此外由于桩间土对桩身有很好的约束作用,碎石桩体的强度高,压缩模量大,在刚性基础作用下,地基中应力按压缩模量大小进行分布,因此,桩上应力集中所产生的置换作用

是复合地基承载力提高的第二个因素。碎石桩的垫层作用主要是用在较厚的软弱土层中,碎石桩没有穿透(见图 1),这样整个碎石桩复合地基对于没有加固的下卧软弱层起垫层作用。

2 加固地基的设计

本工程地基加固的目的是满足建筑物对地基承载力和对沉降及差异沉降的要求。设计采用理论计算与现场试验相结合。要求加固处理后复合地基承载力特征值 $f_{SPK} \geq 100\text{kPa}$, 压缩模量 $E_{SP} \geq 5.0\text{MPa}$, 处理深度到老土层。先进行理论计算,再用工程桩小区域试桩,通过满荷试验验证并适时修改理论设计值。

2.1 理论计算

根据规范规定^[7],地基处理范围超出基础外缘 1~3 排桩。对大负荷堆载区或设备基础区采用满堂处理。布桩形式采用正三角形满堂布置,成孔桩径取 $\phi 420\text{mm}$,桩长 4~9.6m,平均 6.8m,桩端达到老土层与否(进入老土层 $< 300\text{mm}$)是通过振动器上密实电流来反映的。

(1)碎石桩置换率 m

根据规范^[7]

$$E_{SP} = [1 + m(n - 1)]E_s \tag{1}$$

式中 E_{SP} 为复合土层的压缩模量; E_s 为桩间土的压缩模量; n 为桩土应力比,对粉土可取 1.5~3,取 $n = 3$ 。

下面以压缩空气站加固计算为例。

$E_{SP} = 5.0\text{MPa}$, $E_s = 3.29\text{MPa}$, $f_{SPK} = 100\text{kPa}$,由(1)式可计算出: $m = 26\%$ 。该值偏大,因为公式中没有考虑桩间土的挤密效应。

(2)桩距:按正三角形布桩

$$m = \frac{d^2}{d_e^2} \tag{2}$$

式中 d 为桩径,取 $\phi 420$; d_e 为等效影响圆的直径, $d_e = 1.05S$ 。

由式(2)计算得: $S = 784\text{mm}$,取 $S = 750\text{mm}$ 布桩。图 2 为基础平面布置图。

复合地基的变形按国家《建筑地基基础设计规范》GBJ50007-2002 的有关规定计算(过程从略)。经计算加固后复合地基在设计荷载作用下总沉降量为 40mm,满足设计要求。

2.2 验证试验

试验是在压缩空气站试桩区域内,选取三个有代表性的桩位,进行复合地基静载荷试验。荷载按设计要求的两倍加载,试验按规范^[7]附录 A 规定进行。试桩施工及检测结果见表 1。

根据试验结果,按规范^[7]复合地基承载力特征值可取极限荷载的一半,则

$$f_{SPK}/(\text{kN/m}^2) = \frac{112.5 + 112.5 + 168.75}{2 \times 3 \times 0.5625} = 116.6$$

各试点满足其极差不超过平均值的 30%,可取其平均值为复合地基承载力特征值。

由试验结果可看出,复合地基承载力和压缩模量达到设计要求。

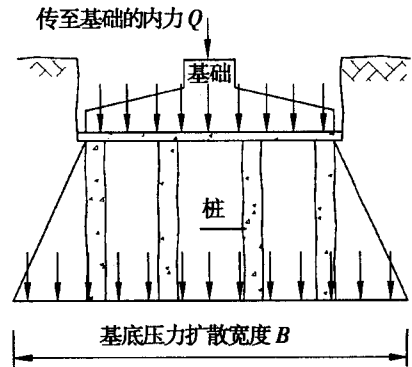


图 1 碎石桩垫层应力扩散示意图

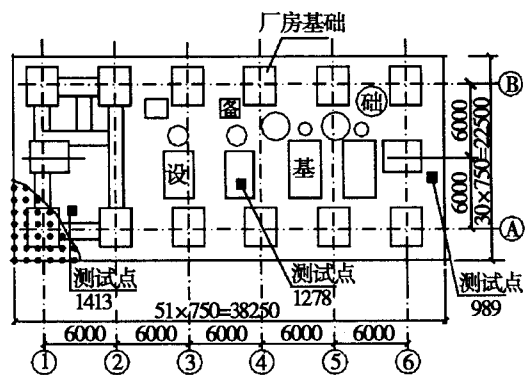


图 2 桩及基础平面布置图

表 1 压缩空气站试点施工及检测结果

| 桩号 | 施工情况 | | | 检测结果 | | | | | | | |
|------|------|--------------------|--------|---------------------|------|--------|---------|---------|---------|-------|---------------|
| | 桩长/m | 灌入量/m ³ | 密实电流/A | 压板面积/m ² | 孔径/m | 入土桩长/m | 极限荷载/kN | 总沉降量/mm | 残余沉降/mm | 回弹率/% | 最大荷载时变形模量/MPa |
| 989 | 9.6 | 1.47 | ≤50 | 0.5625 | φ420 | 9.6 | 112.5 | 10.19 | 7.06 | 30.72 | 12.09 |
| 1278 | 9.5 | 1.38 | ≤50 | 0.5625 | φ420 | 9.5 | 112.5 | 14.91 | 11.27 | 24.72 | 8.23 |
| 1413 | 9.8 | 1.7 | ≤50 | 0.5625 | φ420 | 9.8 | 168.75 | 29.44 | 25.65 | 12.87 | 6.28 |

3 施工工艺

施工机具:干振成孔器 10 台,其中 8 台工作,2 台备用。以每台机器每天成桩 50 根计算工期为 45d。另有起吊机械和填料机具。施工工艺见图 3。干法振动加固地基的工艺首先是使用振孔器挤土成孔,对于高压缩性土,成孔电流一般控制在 80 ~ 100A,成孔速度控制在 0.5 ~ 1.0m/min。成孔后在孔中倒入 1.0m 高的碎石,再用振孔器振密碎石,密实电流 ≤ 50A,留振时间控制在 10 ~ 20s。碎石料最大粒径不大于 50mm。桩的施工顺序由里向外方式施工。

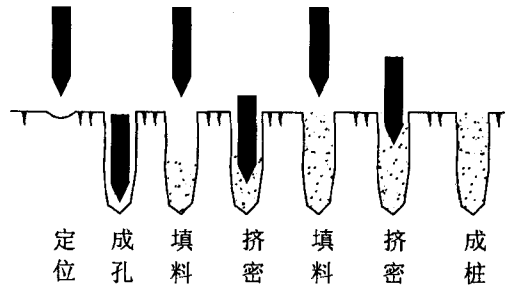


图 3 干法震动加固地基工艺图

基础施工前,应在桩顶部先进行机械碾压或夯实,后铺设厚度 ≥ 300mm 的碎石垫层,垫层压实系数 λ ≥ 0.94。

4 讨论

4.1 含水量变化的影响

干振碎石桩加固技术是十分有效的地基处理方法,但在处理未完成自重固结过程的新近填土中应用,尚缺乏报道。碎石桩成孔问题一直为制约这项技术的关键,虽然用碎石桩加固在本工程中获得成功,但在板带区域施工的制桩难度较大,在地表下 3 ~ 4m 处遇地表滞水,原拟采用 φ300 的引导孔至老土层(约 6 ~ 8m),由于土质松软,遇水后人工不能成孔,用干振器成孔则遇水振动后孔内回淤,特别是在已建厂房柱列周围 3 ~ 4.5m 范围内,由于二次回填土未经夯实,回淤现象更为严重。经现场试验,土的孔隙率及含水量等远大于地质报告所提供的数值,其原因是经过雨季后地下水位回升,再加之施工场地较周围室外场地低,填土中含水量增大,土壤在干振器的振动下,孔隙水压力增加溢出,形成泥水混合物而回淤。

施工中观察表明:孔隙比 > 0.8 的土含水量越大成孔就越困难,因此在选择使用干振碎石桩加固地基时,特别是对土性复杂的新近填土,除应考虑土体的抗剪强度外,更重要的是应该考虑到含水量变化的影响,尤其是地下水属大气降水补给的地区,由于干振碎石桩遇地下水位较高时成孔困难,所以对地下水位以下使用时,应先试桩成孔,只有在可以保证成孔的情况下才可使用。在本工程施工中试用了石灰桩,利用石灰桩吸水膨胀的作用,改善周围条件,结合沉管引孔,解决了碎石桩的成孔问题,再采用干振碎石桩加固,取得了较好的效果,可为类似地质条件的工程借鉴。

4.2 面积置换率的影响因素

振冲置换加固设计目前还处在半理论半经验状态,由于设计前期缺乏试验手段,有些设计参数只能凭经验选定。一般复合地基承载力特征值 f_{SPk} 应按现场复合地基载荷试验确定,对于无现场载荷试验资料的,规范^[7]推荐用公式

$$f_{SPk} = mf_{Pk} + (1 + m)f_{Sk} \tag{3}$$

式中 f_{SPk} 规范规定可用加固前的天然地基承载力特征值 f_{Sk} 代替。但干振碎石桩置换加固地基不完全相同于振冲置换加固,其复合地基承载力提高的主要因素是挤密作用,桩间土干密度比加固前大幅度

提高,孔隙比大幅度减小,变形模量变大。显然,干振碎石桩处理地基计算时,桩间土取用处理前的地基承载力特征值是不合适的。置换率 m 的影响很大,往往使计算值比实际值偏大。直接影响处理方案的经济性。工程设计中,在无试验资料时,可以用修正后的下式估算复合地基土的承载力^[7]

$$f_{SPk} = [1 + m(n - 1)]f_{Sk} \quad (4)$$

根据工程试验统计资料表明,经干振碎石桩加固后,桩间土承载力可提高40%以上^[8,9],为安全起见,桩土应力比 n 对粘性土取2~4,对粉土和砂土取1.5~3,原土强度低取大值,原土强度高取小值^[7]。

5 结束语

干振碎石桩地基加固处理的工程实践证明干振碎石桩加固技术在新近填土地质条件中的应用是可行的,处理后地基土承载力明显提高,加固效果显著。该方法具有施工方便,速度快,填料来源广泛,造价低等优点,具有很好的推广应用前景。在本工程实践总结出的适合新近填土地质条件特性的干振碎石桩施工工艺及质量控制措施,可供类似地质条件下的工程借鉴。

参考文献:

- [1] 崔立军.旋喷桩的设计计算[J].工程建设与设计,2004,(195):38-40.
- [2] 王 军.水泥土搅拌桩中垫层设置的试验研究[J].工程建设与设计,2004,(189):40-42.
- [3] 蔡 建.南通地区静压桩单桩承载力分析计算[J].建筑结构,2004,34(5):63-65.
- [4] 张 玲.松散软土地采用静压管桩的施工技术[J].施工技术,2005,34(1):51-53.
- [5] 吴 峰.强夯法处理填土地基效果分析[J].地基处理,2004,15(2):40-44.
- [6] 原明虎.灌注桩竖向极限承载力的性状与确定[J].地基处理,2004,15(1):30-36.
- [7] JGJ79-2002,建筑地基处理技术规范[S].
- [8] 徐 洋,谢康和,刘干斌,等.复合双层地基的极限承载力的计算[J].土木工程学报,2004,37(4):82-86.
- [9] 陈龙珠,梁发云,严 平,等.带褥垫层刚-柔性桩复合地基工程性状的试验研究[J].建筑结构学报,2004,25(3):125-129.