

夯实水泥土桩的加固机理 与影响其加固强度的主要因素

周辉峰¹, 王贵和¹, 储江生²

(1. 中国地质大学(北京)工程技术学院, 北京 100083; 2. 淮南市建筑勘察设计院岩土公司, 安徽 淮南 232007)

摘 要:阐述了夯实水泥土桩地基处理新方法的加固机理;从桩体材料、设计与施工等方面分析了影响夯实水泥土桩加固强度的主要因素。

关键词:夯实水泥土桩;加固机理;桩体强度

中图分类号:TU472.3*1 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3746(2001)S1-0032-03

夯实水泥土桩是近几年在北京及周边地区新发展起来的一种地基处理方法。施工时,把水泥和素土按一定质量比例均匀拌和,并在桩孔内夯实而形成具有一定强度的桩体。许多工程在施工时掺入一定比例的生石灰(即为“水泥灰土桩”),也有个别情况还掺入少量粉细砂或粉煤灰。从施工工艺和加固机理方面讲,夯实水泥土桩兼有水泥土搅拌桩和石灰桩、灰土桩的特点。虽然进入市场的时间比较短,但因其工艺简单、施工周期短、质量容易控制、噪声低、无污染、造价低廉等优点,应用日趋广泛。

1 夯实水泥土桩加固机理

从夯实水泥土桩的施工过程,桩体材料的固化、硬结,到桩与桩间土形成的复合地基,每一阶段都体现着对软弱土地基的加固作用,这其中包括了置换、夯实、挤密、吸水、胶结和热学等多重作用。

1.1 水泥与土的固结机理

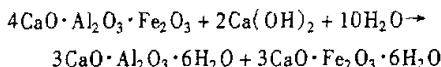
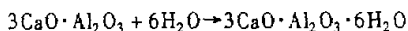
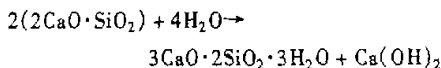
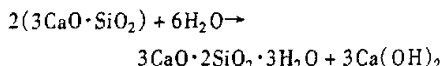
水泥作为一种固化剂,与土料拌和后,两者之间(也包括水泥与桩周土之间)产生一系列的物理-化学反应,硬结成具有整体性、水稳定性和一定强度的水泥加固土,从而提高地基强度和增大变形模量。

1.1.1 水泥的水解和水化反应

普通硅酸盐水泥主要包括硅酸三钙、硅酸二钙、铝酸三钙、铁铝酸四钙等水泥矿物。用水泥加固软土时,水泥颗粒表面的矿物与土体中的水发生水解

和水化反应,生成氢氧化钙、含水硅酸钙、含水铝酸钙及含水铁酸钙等化合物。

该过程可用下列反应式表示:



当水泥的各种水化物生成后,有的自身继续硬化,形成水泥骨架;有的则与其周围具有一定活性的粘土颗粒发生反应。

1.1.2 离子交换与团粒化作用

粘土微粒表面带有钠离子 Na^+ 和钾离子 K^+ , 它们能和水泥水化反应中生成的氢氧化钙中的钙离子 Ca^{2+} 进行当量吸附交换,使较小的土颗粒形成较大的土团粒;而水泥水化反应生成的凝胶粒子的比表面积比原水泥颗粒约大 1000 倍,因而产生很大的表面能,具有很强的吸附活性,能使较大的土团粒进一步结合起来,形成水泥土的团粒结构。坚固的结构联结,使水泥土的强度得以大大提高。

1.1.3 硬凝反应

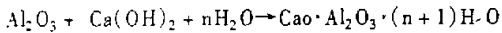
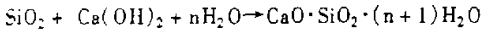
随着水泥水化反应的深入,产生的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 与组成粘土矿物的二氧化硅及氧化铝进行化学反应,

收稿日期:2001-05-30

作者简介:周辉峰(1965-),男(汉族),河北赵县人,中国地质大学(北京)讲师,勘探机械专业,硕士,从事基础工程施工机械教学与科研工作,北京市海淀区学院路 29 号,(010)82322628;王贵和(1966-),男(汉族),河北人,中国地质大学(北京)副教授,探矿工程专业,博士,从事勘查工程教学与科研工作;储江生(1973-),男(汉族),安徽潜江人,淮南市建筑勘察设计院岩土公司助理工程师,勘察工程专业,从事工程勘察与桩基施工工作。

生成稳定的结晶化合物,与粘土颗粒粘结在一起,并逐渐硬化,增大了水泥土的强度;而且由于其结构比较致密,水分不易浸入,从而使水泥土具有足够的水稳定性。

硬凝反应过程如下:



需要指出的是,上述一系列反应的条件是:土料和桩周土体中要有足够发生水泥水化反应和硬凝反应的水量,在各反应式中都表明了这一条件。对于夯实水泥土桩来说,土料中的含水量是以满足桩体夯实密度为前提(见下述),而施工的地层都在地下水位以上或经过人工降水,在掺入生石灰的情况下,又吸收了相当一部分水分,因此水泥的水化反应、水泥土的硬结速度都比较缓慢,这一点与水泥土搅拌桩有较大的区别。

1.2 石灰的吸水挤密和胶结作用

生石灰是多种地基处理方法中采用的一种材料,如石灰桩、灰土桩等。石灰填入孔内夯实后既挤密又吸水,吸水后又进一步挤密。这一过程同时伴随着放热反应、离子交换和团粒化作用及胶凝反应。

生石灰掺入土料中,吸收土料和桩周土中的水分发生水化反应(消解反应),生成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$,桩身体积膨胀并释放出一定的热量。体积膨胀对桩间土产生较大的挤压力,使桩间土密实度提高。而反应释放出的热量又使土产生升温汽化现象,使地基中含水量下降,空隙比减小,提高了桩间土的强度。

生石灰的水化反应生成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$,象上述的水泥与土的固结过程一样, Ca^{2+} 与粘土微粒表面的钠离子 Na^+ 和钾离子 K^+ 产生离子交换,形成较大的灰土团粒结构。而粘土中的二氧化硅和氧化铝与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 发生化学反应,生成水化硅酸钙、水化铝酸钙等水化物,这些水化物对土颗粒产生胶结作用,使之趋于紧密,土的强度得到提高。

与水泥土的固化一样,由于含水量和灰土比的关系,上述反应过程也比较缓慢。在含水量较高的地层,灰土的硬结过程会快一些。

2 影响夯实水泥土桩加固强度的因素

2.1 桩体材料方面

2.1.1 水泥

(1)通常都选用 325 ~ 425 普通硅酸盐水泥或矿渣水泥。普通硅酸盐水泥的活性高,早期和后期的强度均较好,其加固效果优于其它水泥品种。但碰

到含酸性物质的地下水时,对水泥土会产生结晶性侵蚀,这时应选用抗酸性水泥,以提高水泥土桩体的抗蚀性能。

水泥标号也直接影响水泥土的强度,根据水泥土搅拌桩的试验数据^[1],当水泥标号提高 100 号,水泥土的强度可提高 20% ~ 30%,一些夯实水泥土桩的工程实例也证明了这一点。

(2)水泥加固土的强度随水泥掺入比的增加而增大,但到了一定程度后,强度增加的幅度并不大。水泥掺入比(混合料配合比)应按工程要求、土料性质、采用的水泥品种,由试验确定,并使桩体试块强度大于 3 倍桩体应力^[2]:

$$R_{28} > 3 R_k / A_p$$

式中: R_{28} ——水泥土桩体试块 28 天龄期强度; R_k ——单桩承载力标准值, kN, 按现行《建筑地基基础设计规范》(GBJ 7—89)取用; A_p ——桩的截面积, m^2 。

(3)水泥土的强度随龄期的增长而提高,但由于其固结过程非常缓慢,桩体强度的增加也呈现为一个相当长的过程。超过 28 天龄期后,水泥土强度仍会有较明显的增强,因此在进行载荷检验时应考虑到这一因素。

2.1.2 土料与桩间土

(1)桩体由混合料夯填而成,在相同水泥掺量条件下,桩体密实度是决定桩体强度的主要因素,而混合料含水量则是决定桩体夯实密度的重要因素之一,含水量过高和过低都会影响夯实效果。无论是机械夯实,还是人工夯实,均应由现场试验来确定混合料含水量,这里应结合土料最佳含水量、混合料配合比、夯锤质量、夯锤落距、夯击次数等因素来综合考虑。现场也可以采用一种简易的判别方法:混合料手捏成团,一触即散。

混合料的压实系数 ≤ 0.93 。

(2)土料中的含水量不仅对桩体夯实密度有着重大影响,并且也直接影响着水泥、生石灰与土料的一系列反应和硬结过程。若土料与桩间土中的含水量过低,桩体材料之间反应过于缓慢,会影响桩身强度的提高与发挥;若含水量超过一定限度,加固效果反而会下降。

(3)对水泥土桩的加固效果会产生影响的因素还有土料与桩间土中的有机质含量和土料粒径。土体中的有机质,会阻碍水泥水化反应的进行,影响水泥土的固化,降低水泥土的强度。土料中的有机质含量 $\geq 5\%$ ^[2],不得含有冻土或膨胀土,使用时应过

10~20 mm 筛;如果原位土不能满足上述要求,则应从别处另供土。

(4)工程中使用的土料以粉土居多,土的粘性较大时可掺入少量粉细砂或粉煤灰,这些材料可以起到细骨料的作用、粉煤灰的活性也会在一定程度上促进桩体强度的提高。

2.2 方案设计方面

方案设计是关系工程成败的关键环节。在设计阶段,应当详细了解施工场地的地形地貌、土的组成与分布、土中含水量、有机质含量、土质粒度分析、地下水的侵蚀性等资料。这些数据与资料是选择地基处理方案和进行详细方案设计的重要依据。除了根据上部结构对地基承载力的要求,按照技术规定确定桩的尺寸、垫层厚度,计算复合地基承载力和变形外,还必须考虑其他因素可能会带来的影响。比如有的场地土的物理力学性质具有一定的分区性,特别是含水量的变化会直接影响到水泥土的加固强度和地基沉降量;有的场地的地下水具有结晶侵蚀作用、有机质含量过高等。如果资料不全,并且只从建筑物对地基承载力的要求出发,往往会使加固效果不理想或不成功。

2.3 施工方面

任何一种地基处理方法,要达到预期的加固效果,除了合理的设计方案和施工工艺,更需要严

格的管理措施与手段。有时尽管选用了合适的地基处理方案,但工程最后成功与否,则往往直接取决于施工过程本身。施工过程对夯实水泥土桩的加固效果的影响主要体现在配料、拌和、填夯等几个主要环节上。

为保证最终的加固效果,在各施工环节上应注意以下几个问题:

(1)保证桩孔尺寸和形状符合要求,夯填混合料前将孔底土夯实。

(2)土料经过筛选,严格控制配料比例,不可偷工减料。

(3)控制混合料含水量。

(4)拌合均匀,拌合好的混合料尽快填入孔内。

(5)根据夯实密度试验,控制填料厚度、夯锤落距和夯击次数;选用的夯锤应与桩径相适应。

(6)施工过程中,对成桩质量应及时进行抽样检验,检验不合格的桩应采取加桩或其他补救措施。

目前夯实水泥土桩的施工以人工方式居多,更应加强现场的监理工作,掌握关键技术环节,以确保工程质量。

参考文献:

- [1] 叶书麟,韩杰,叶观宝.地基处理与托换技术[M].北京:中国建筑工业出版社,1997.
- [2] Q/JY 07—1997,夯实水泥土桩技术规定[S].