

土木工程中地基处理与复合地基技术的应用

韦宇

广西韦合绿园门窗幕墙有限公司

摘要: 虽在当前的行业发展中地基处理技术呈现多样化和先进性特点,但每种地基处理技术都有其适用条件,为构成稳定耐用的地基条件,有关人员需深入现场展开调研,分析地质水文条件,选择合适的地基处理技术。复合地基技术为两种及两种以上的地基组合,其地基承载力高,更能满足土木工程的建设要求,各土木工程中如选择复合地基技术,应加强方案比选与技术控制。基于此,本文重点分析了土木工程中的地基处理技术类型及复合地基技术的具体应用,以期为建设提供技术参考。

关键词: 土木工程;地基处理;复合地基技术;应用
【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.13.043

地基处理关乎土木工程的结构稳定与安全,如在施工作业中未根据实际情况选择恰当的地基处理工艺,后续施工建设中易出现安全事故,不利于实现土木工程的施工目标。当下随着土木工程事业的现代化发展,各个土木工程都对地基施工提出了新的要求,工程企业在前期应做好现场调研,合理对比多种地基处理技术的优缺点,选择最佳工艺。当工程项目采用复合地基技术时,施工人员应做好受力分析与计算,优化技术流程与路径,发挥复合地基的支撑、承载作用。

一、土木工程的地基处理技术

(一) 振冲法地基处理技术

土木工程项目建设中振冲法地基施工技术的应用频次较高,施工作业中需配备振冲器,由该设备形成水平方向的振动力,持续振挤填料、周边土体,以保障地基的承载力等达到标准,从根本上控制沉降现象,使地基能抵御外部作用力^[1]。大量的工程经验表明,振冲法多用在沙土地基、黏土地基的施工中。现阶段的技术条件下,振冲法地基处理包含振冲密实法和振冲桩加固法两种,其原理高度一致,但施工过程有一定区别。如土木工程所在地属于松散砂土地质条件,利用振冲法地基施工时,应通过密实方式来解决砂土液化现象,保障砂土的密实度。一旦在施工建设中砂土颗粒较大,且地基土质的含水量超出标准,应通过振冲桩加固方式,就是利用碎石材料来填充,以改善地基性能。

(二) DDC 灰土挤密技术

DDC灰土挤密技术是传统地基处理技术的改良结果。传统的灰土挤密技术一般与地基土结合构成复合地基,此方式下所形成的地基承载力高、稳定性好,但很多情况下很难达到理想的施工效果,且整个施工流程复杂,需注意很多方面。将DDC灰土挤密技术与传统的灰土挤密技术相对比,发现前者的强夯效果相对理想,经此方式下的地基条件,抗变形能力强、承载力较高。DDC灰土挤密与传统灰土挤密技术的对比结果如表1所示。

表1 DDC灰土挤密技术与传统灰土挤密技术的对比

对比内容	处理深度	成孔次数	处理效果
DDC灰土挤密技术	最深可达50m,此范围成孔不受影响	一次成孔,二次重锤夯料扩孔	处理后的地基遇水不湿陷、地震不液化,压缩变形小、承载力高、刚度均匀
传统灰土挤密技术	5~15m,超过此深度时接管相对困难	一次成孔挤密,不扩孔	处理后能消除黄土地基的湿陷性,提高地基承载力,持力层范围内的变形减小,承载力提高1~2.5倍

(三) 预压法地基处理技术

土木工程地基处理中如采用预压法,就是要在施工作业正式开始之前,在拟建设施工场地上增加一定的荷载,通过荷载对地基的作用排除地基中的水分,增强地基土质的密实度,减小不同土体的空隙,改善地基性能。淤泥、充填土等黏土性地基中预压法的施工效果相对理想,可细分为真空预压与堆载预压两种,施工期间应根据现场条件合理选择施工技术。如地基深度较大,真空预压法较为适用,其深度一般保持在15m左右,但利用此方式组织施工作业时,工程人员需在现场合理布置排水井,为地基排水提供便捷^[2]。堆载预压可细分为天然地基堆载和砂井地基堆载两种类型,有关人员主要考虑土层厚度情况来选择技术。

(四) 强夯法

土木工程的地基施工中,强夯法的应用范围较广,碎石土、低饱和度粉土、黏性土、砂土、杂填土、湿陷性黄土等土质条件下均可采用此地基工艺。依据强夯法的发展及应用情况,本质上为动力法,规范利用强夯工艺能加固工业废弃料、建筑废弃料等形成的填土地基。如某土木工程为中风化砂岩、泥岩构成的基岩条件,在地基施工作业中土石方工程量较大,填方高度大,由于独立基础对地基承载力特征值有严格规定,在选择地基施工技术时应避免选择高成本、长周期的挖孔桩、分层碾压技术,而应该选用强夯法,此技术不仅具有经济性优势,施工操作还相对便捷,施工效率高。为提高施工整体质量,相关人员在前期的工作中需清晰了解现场的地基条件,在此前提下优化强夯施工方案,合理确定施工参数。强夯法施工的作业要求如表2所示。

表2 土建工程基础强夯处理技术要求

项目	要求
基础地面设计标高以下4m地基承载力特征值	≥ 200kPa
基础地面设计标高以下4m地基压实系数	≥ 0.94
4~8m范围内地基承载力特征值	≥ 150kPa
4~8m范围内地基压实系数	≥ 0.92
深度超8m地基承载力特征值	≥ 130kPa
深度超8m地基压实系数	≥ 0.88

当施工人员了解了土木工程的强夯规范后，技术人员可采用梅纳公式计算填土厚度、夯击点之间距离、夯击能量等数据，按照以下公式：

$$H = \alpha \sqrt{\frac{wh}{10}}$$

上式中， H 、 α 、 w 、 h 分别代表影响深度（m）、修正系数、锤重量（kN）、落距（m）。

（五）CFG短桩复合地基

面临砂土、填土、非饱和黏性土、饱和粉土等土质条件时施工人员可利用CFG短桩复合地基，此类地基处理技术能改善地基条件，主要是因为地基具有置换特点，桩间承载力较小。以某箱型基础的土木工程为例，场地标高、基底标高、地下静止潜水位标高、基础埋深分别为42.69m、36.54m、28.56m、4.75m，工程现场所在地主要为细砂土质，天然地基条件达不到设计要求，综合现场的诸多情况后，采用CFG短桩复合地基。结合本工程项目情况，沉降量应在10cm以内，倾斜率保持在0.0015%以内，地基承载力需超460kPa。本工程项目的施工作业中，场地新近沉积土的承载力大小不一，存在一定的形状异变性，综合分析后将细砂层下第四级沉积土作为CFG短桩端持力层，通过长螺旋钻成孔管内泵压施工作业，保持有效桩长、桩径、相邻CFG短桩之间距离符合施工标准，并控制桩体数量、桩身混凝土强度、褥垫层厚度。在CFG短桩复合地基施工作业中，涉及的施工流程较多，主要工序为钻机就位、成孔、钻杆内灌注混凝土、提升钻杆、灌注孔底混凝土、边泵送边提升钻杆、成桩、移动钻机等^[3]。每一步骤的施工效果都影响最终的施工质量，施工期间应加强细节把控，保障每一环节的施工质量，加强不同流程之间的衔接性。为达到CFG复合地基的施工目标，成孔技术人员、压灌技术人员、搅拌人员、提钻人员等需加强施工协调，密切关注施工进度与效果，采取优化措施，确保钻头提升速度、混凝土泵送量等符合实际需求。

（六）静压灌浆处理技术

静压灌浆技术常被用于地基处理中，在施工过程中需创造良好的压力条件，主要为液压、气压，有效配合注浆管，使固化浆液能快速打入地层，填充和挤密原有地层。许多土木工程的地基施工中均采用的是套管护壁注浆法，在此技术下为提高地基性能，施工人员需根据现场的地质条件定位钻孔，保障每一孔位的合理性，使用厚度在4~8mm的钢护筒，护筒内径应参考钻头直径来

确定，一般比钻头直径大0.1~0.2m。钻孔作业期间施工人员应同步压入套管，结合现场土质情况确定深度，如现场属黏土地层，压入深度需超1m，砂土的压入深度需超1.5m，在此操作下完成洗孔、下放注浆管等施工任务，随着管路的提升由专业人员分段开展灌注作业。地基处理中不仅可采用套管护壁注浆法，还能采用钻杆注浆、预埋花管法等，具体的施工中应综合现场条件优选技术。

（七）旋喷高压注浆处理技术

一些土木工程的地基处理中采用的是旋喷高压注浆技术，此技术以化学注浆法为基础，又融合了高压水射流切割技术。根据其加固地基的原理及过程，施工之前有关人员需做好高压喷嘴的固定处理，将压力保持在10~25MPa之间，并将调配好的泥浆注入到孔洞内，用泥浆性能改良地基条件。结合当下的施工经验，旋喷高压注浆技术多用在淤泥质土、粉土等软土地基中，通过规范化施工作业可提高地基综合性能。但利用旋喷高压注浆技术时，施工人员需合理控制旋喷距离、设置钻孔参数。现场钻孔作业中如钻孔深度较大，达到了2~3cm，施工人员需合理调整孔隙率，保持孔隙率不超1%。与其他的地基处理技术相对比，旋喷高压注浆技术的噪声小、占地面积小，对地基的加固效果相对明显。

二、土木工程中复合地基技术的具体应用

总体来看，复合地基技术为地基施工中比较常用的方式，具体的施工作业中应立足项目本身来选定复合地基类型。以下以某工程项目为例进行详细分析。

（一）工程概况

某土木工程项目，建设用地面积为13.53万m²，建筑面积为45.58万m²，被分成南北两个区域，北区为商业用地，建有生活广场、综合办公楼、酒店、商业街区。依据项目规划，建设场地大概需要10.4万m²，目标建筑为10栋高层建筑（其中有购物中心、商务楼与店铺）、12栋超高层建筑（其中有办公楼、公寓楼住宅）、地下室。10栋多层建筑地上部分为2~8层，地下部分为1~2层，为达到结构施工的质量目标，选择框架结构，采用筏板基础；12栋多层建筑，地上部分19~34层，还有2层地下室。

（二）水文地质条件

本项目建设所在地的水文地质环境相对复杂，给现场作业带来了一定影响。前期阶段安排专人进入现场展开了一系列调查，发现施工场地有地下水，属第四系上层滞水、岩石裂隙水，季节性降水与蒸发是影响水位高低的重要因素，每年6~9月的地下水位较高，含水量较大，12~次年2月为枯水期，水位较低。正式施工之前，有关人员利用新技术、新仪器开展了专业化测量，发现一旦地下水处于相对稳定的状态下，水位基本保持在0.5~2.7m之间，一旦进入丰水期，其水位上涨迅速，达到了3~6m。为保障基础施工质量，施工现场相关人员需根据地下水类型、水位变化特征等采取降排水措施，通过管径降水、坑内明排、在围护结构周围设置排水沟、集水坑来促进排水。从多个方面分析，本土木工程项目中选择CFG桩复合地基技术。

（三）CFG 桩复合地基处理技术的优点

1. 施工简便、节约时间、成本低、质量容易控制

CFG桩复合技术的施工流程简单，施工人员在前期只需进行简单培训即可掌握技术要点，施工过程中的效率较高，耗时短。与桩基技术相比较，CFG桩复合地基中可用工业废料粉煤灰填充桩体，即使不用钢筋材料，地基的承载力也相对较高，这种用料特点也降低了CFG桩复合地基的施工成本。

2. CFG桩复合地基的承载力调整灵活，适用范围广

许多土木工程中均可采用CFG桩复合地基，这类地基条件的适用范围广，在规范化施工作业下可大大提高地基性能，并依据设计承载力合理调整桩体长度，克服传统地基技术的诸多不足。

（四）CFG 桩复合地基施工技术要点

1. 强化桩基的前期准备

虽CFG桩复合地基技术越发成熟，但每一工程项目各有其特殊性，为在土木工程中凸显CFG桩复合地基的作用，前期准备十分关键。根据大量的项目经验，前期准备主要涉及以下工作：综合诸多因素，制定科学、可行的施工方案，在此方案中包含技术流程等；技术人员、施工人员等各司其职，完成技术交底工作，并为后续的地基施工创造良好条件；如发现异常情况不利于CFG桩复合地基施工，专业人员需制定科学的工作计划和应急预案；依据CFG桩复合地基施工要求，准备好材料、设备，确保材料性能、设备质量等与施工要求相一致，严禁使用劣质材料，或者设备性能偏低。

2. 桩机就位

桩机就位为其中的一项关键工作，相关人员在移动桩机时应适当调整机身，始终保持机身底盘水平，桩管需垂直并套在桩尖上，将桩管垂直度保持在1%以内。

3. 混合料搅拌

在CFG桩复合地基施工中对混合料的需求量较大，在配制混合料时必须参考实际要求，确保混合料性能。针对本项目的地基施工，选用的是C15混凝土，坍落度为160~200mm。在搅拌混凝土期间施工人员需注意温度和时间，搅拌时间应超过2min，当搅拌充分且均匀后再装车运往作业现场。

4. 钻机钻进

CFG桩复合地基施工中，钻孔为关键步骤，此步骤需配备特定型号的钻机辅助施工作业。钻机在钻进过程中为保障成孔质量，施工人员必须关注土壤与地质条件，在不同的土层条件下，钻进难易程度各有不同，且钻进参数也有显著区别。技术人员需结合前期分析，选用不同尺度的钻杆完成钻进作业，当钻孔到达地面后及时关闭钻头阀门，再完成钻进操作，始终遵循先慢后快的原则，以保持钻杆的稳定性^[4]。作业人员需熟悉钻机钻进原理，即使在施工中面临突发情况，也能采取最为恰当的处理方式。

5. 拔管，压灌成桩

当钻进深度达到一定标准后立即停止钻进作业，进入浇筑施工作业，此环节的工作中，拔管与压灌成桩的施工要求较高。正式浇筑之前，施工人员应根据施工标

准准备材料，检查深度、高度等是否符合规定，在达标后再开始浇筑。浇筑作业期间在钻杆装填配制好的混合料，保持拔管与混凝土传送的同步性，将钻机提升速度控制在正常标准。如现场砂层中的含水量较高，应适当减小钻孔速度，预防塌孔与断桩问题^[5]。施工作业中各种高度条件是需要重点把控的部分，如桩顶高度、混凝土顶面高度、浮渣高度、混凝土高度等，如这些高度条件不符合要求，无法保障地基性能。在具体的施工作业中必须安排人员负责检查和测量，确保高度条件达标，减小误差。

6. 移机

CFG桩施工过程中可能因操作等引发一定的偏差，针对这一现象，在现场必须安排专人负责施工检验，规范移机。移机就是钻机移位到下一个桩再继续施工，因为CFG桩周围的土体较多，可能被其他临近桩位覆盖，或者在其他因素的影响下出现明显的移动现象，为此，移位之前有关人员需准确测量周围桩的具体位置，以确保桩位精度。

7. 清桩间土及破桩头

伴随着施工作业的稳步开展，桩旁边的土可能被携带出来，导致桩表土体较多。为达到地基施工要求，施工作业中相关人员需及时清理桩表土体及杂物，也需清理破的桩头。

8. 记录参数，确定钻地地点

CFG桩复合地基施工中，施工作业过程中常常涉及大量的参数，及时记录这些参数能保障在现场施工出现问题的情况下调取相应的数据分析原因、采取控制措施。如施工作业中针对场地标高、桩长钻的深度等，都需要做好标记，当完全确定了钻地地点后再启动钻机，进入钻孔环节。如施工作业期间发现了质量或者安全隐患，有关人员需及时调取前期所记录的各项数据及文件，排查原因，制定解决措施，及时恢复施工作业。

结束语

现阶段的土木工程项目中，地基施工关乎工程的建设质量、安全及效益，为达到工程的综合目标，工程企业需注重地基施工，参考地基土质类型，合理选择施工技术，必要时采用复合地基技术，构建承载力高、稳定性好的地基条件。

参考文献

- [1] 陈华裕. 预制桩复合地基技术及其应用研究[J]. 科技创新与应用, 2022, 12(36): 185-188.
- [2] 黄俊光, 张恒, 李伟科, 李磊. 可调控正负压刚性桩复合地基关键技术研究[J]. 建筑结构, 2022, 52(24): 100-105.
- [3] 陈士凯. CFG桩复合地基技术在地基处理工程中的监理控制[J]. 建设监理, 2022, (06): 38-41.
- [4] 邱晓光. 复合地基技术在市政道路软弱路基处治中的应用[J]. 江西建材, 2021, (12): 175-177.
- [5] 程少振, 党昱敬. 双向螺旋挤土刚性桩复合地基技术特点及工程应用研究[J]. 建筑科学, 2021, 37(11): 41-47+70.