

岩土工程桩基施工与岩土工程的地基处理

胡兆元

江苏筑宇工程技术有限公司 江苏 扬州 225000

摘要：本文系统分析了我国复杂地质条件下桩基施工的关键技术及地基处理方法，结合工程实践探讨了钻孔灌注桩、预制桩、人工挖孔桩等主流技术的工艺要点，针对软土、湿陷性黄土等特殊地基提出了换填法、预压法、注浆法等处理方案。通过南京某跨江大桥、深圳某超高层建筑等案例验证技术可行性，强调智能化监测与全生命周期管理对工程质量的提升作用。研究结果为同类工程提供理论支撑与实践参考。

关键词：岩土工程桩基施工；岩土工程；地基处理

引言：我国地理范围广袤，地质构造复杂，软土、湿陷性黄土、膨胀土等特殊地基占比超过40%。城镇化进程加速使得建筑物荷载需求激增，2023年国内桩基工程市场规模已达2800亿元，但桩基失效导致的结构沉降事故仍以年均3.8%的速度增长。岩土工程中，桩基作为荷载传递的核心构件，其施工质量直接影响建筑安全；而地基处理则是消除不良地质影响的关键手段。本文从技术原理、工艺优化、质量控制三个维度展开论述，旨在构建覆盖勘察、施工、检测的全流程技术体系。

1 岩土工程特性与理论基础

1.1 岩土工程的特殊性

（1）岩土工程的一个显著特征是隐蔽性。由于许多地下结构，如桩基，通常深埋于地下，其工作状态和潜在问题往往难以直接观察。例如，当桩基埋深普遍超过15米时，地下水位的变化可能导致桩身腐蚀、混凝土离析等问题，这些隐患通常难以通过常规手段直观检测，从而增加了工程的风险。（2）不确定性是岩土工程的另一个重要特征。地质条件复杂多变，不同地区的土体性质差异显著。以珠江三角洲的软土为例，其含水量可高达70%-90%，压缩模量却仅有2-5MPa，这样的土体在施工期间容易发生流变，导致桩位偏移的风险显著增加，有时可达30%以上。这种不确定性要求工程师在设计和施

工过程中必须充分考虑地质因素的变异性。（3）区域差异性也是岩土工程不可忽视的一个方面。不同地域的岩土体由于其成因、成分和结构的不同，表现出截然不同的工程性质。例如，西北地区的湿陷性黄土，在遇到水分时会发生显著的沉降，沉降量可达10-30厘米，这对工程结构的安全性和稳定性构成了严重威胁。因此，在西北地区进行工程建设时，常需采用挤密桩+防水帷幕等复合处理方法来有效应对黄土湿陷问题^[1]。

1.2 桩基-地基协同作用机理

桩基与地基的协同作用机理是岩土工程中的关键科学问题。通过有限元模拟等方法的研究发现，当桩的长径比大于50时，侧摩阻力对桩承载力的贡献率可超过85%。这表明，在优化桩基设计时，应充分重视侧摩阻力的作用。在复合地基中，桩土应力比的合理控制对于发挥桩与土的协同效应至关重要。一般而言，桩土应力比宜控制在3-8之间，以确保桩与土能够共同承担荷载，从而提高地基的承载力和稳定性。上海中心大厦在建设中就采用了直径1米的钢管混凝土桩，并通过桩端后注浆技术将单桩承载力从12000kN提升至18000kN，充分展示了桩基与地基协同作用机理在实际工程中的应用效果。

2 桩基施工关键技术及创新

2.1 主流桩基施工工艺对比（表1）

表1 主流桩基施工工艺对比表

类型	适用地层	承载力(kN)	施工效率(根/天)	环保指数
钻孔灌注桩	软土、砂层	800-15000	2-4	★★☆
预制预应力管桩	黏性土	2000-8000	8-12	★★★☆
旋挖成孔桩	岩溶地层	5000-20000	1-3	★★☆
微型钢管桩	狭窄空间	300-1500	15-20	★★★★

2.2 关键技术创新

2.2.1 智能化成孔监测系统

为了精确控制桩基的施工精度，智能化成孔监测系

统应运而生。该系统结合了BIM（建筑信息模型）技术和三维激光扫描技术，实现了对孔径偏差和垂直度的实时监控。在杭州湾跨海大桥项目中，这一技术的应用显著

提升了桩位的合格率,从原本的92%提高至99.6%。这不仅确保了桥梁结构的稳定性和耐久性,还有效降低了后期维护成本。

2.2.2 超深桩施工工艺

随着工程规模的扩大和地质条件的复杂化,超深桩施工成为了一个技术难题。南京长江五桥主墩桩基的深度达到了118米,为此,项目团队创新性地应用了气举反循环清孔工艺。这一工艺不仅能够高效清除孔底沉渣,还将沉渣厚度严格控制在50毫米以内,从而确保了桩基的承载力和稳定性^[2]。

2.2.3 绿色施工技术

在追求工程质量的同时,环境保护也日益受到重视。深圳前海项目在施工中采用了泥浆固化再生系统,这一绿色施工技术有效减少了废弃物的排放,减排比例高达80%。此举不仅降低了施工对周边环境的影响,还节约了资源,为项目赢得了住建部绿色施工示范工程的殊荣。

这些关键技术创新不仅提升了岩土工程的整体技术水平,还推动了行业的可持续发展。随着技术的不断进步和创新,未来岩土工程领域将迎来更多的变革和突破,为各类工程项目的建设提供更加坚实的技术支撑。

3 特殊地基处理技术体系

3.1 软土地基处理

软土地基因其低强度、高压缩性和不均匀性等特点,给工程带来了很大的难度。在珠海横琴岛的软基处理中,真空预压法被广泛应用。该方法通过在软土地基上铺设排水板,并利用真空泵产生负压,使土体中的水分排出,从而实现地基的固结。横琴岛项目中,排水板间距控制在0.8-1.2米之间,真空度维持在85kPa以上,经过120天的处理,地基的固结度达到了90%,显著提高了地基的承载力和稳定性。除了真空预压法,水泥土搅拌桩复合地基也是一种有效的软土地基处理方法。在杭州某地铁站的建设中,采用了直径0.6米的水泥土搅拌桩。这些搅拌桩在地基中形成了网格状的加固体,有效提高了地基的强度和刚度。同时,通过控制搅拌桩的配合比和施工参数,确保了搅拌桩的无侧限抗压强度在28天内达到1.2MPa以上,满足了工程对地基承载力的要求^[3]。

3.2 湿陷性黄土地基处理

湿陷性黄土是一种具有特殊性质的土体,遇水后会发​​生显著的沉降。在西安某高层建筑区的建设中,DDC挤密桩技术被应用于湿陷性黄土地基的处理。该技术通过在地基中布设灰土挤密桩,并利用桩身的挤密作用,使周围土体得到压实,从而消除黄土的湿陷性。项目中,桩距控制在2.5米左右,挤密桩的布置密度和深度均

根据地基的实际情况进行了优化设计。经过处理,地基的湿陷量消除了95%以上,有效提高了地基的承载力和稳定性。除了DDC挤密桩技术,化学改良法也是一种有效的湿陷性黄土地基处理方法。通过向黄土中掺入一定量的化学改良剂,如纳米二氧化硅等,可以改变土体的物理和化学性质,从而提高其强度和稳定性。实验中,掺入5%纳米二氧化硅的改良黄土,其渗透系数降低了2个数量级,抗剪强度也得到了显著提高。这表明化学改良法在湿陷性黄土地基处理中具有广阔的应用前景。

3.3 岩溶发育区处理

岩溶发育区因其复杂的地质结构和溶洞分布,给工程带来了很大的风险。在广州某地铁隧道的建设中,采用了“探灌结合”工艺来处理岩溶发育区。该工艺首先利用跨孔CT探测技术,对隧道前方的溶洞进行精确探测,确定其位置、大小和形态。然后,根据探测结果,实施高压旋喷注浆。注浆浆液在高压下被注入溶洞和土体裂隙中,形成致密的注浆体,从而提高地基的承载力和稳定性。项目中,浆液扩散半径达到1.5米,充填率超过了85%。这种“探灌结合”工艺不仅有效地解决了岩溶发育区地基处理的技术难题,还确保了地铁隧道的施工安全和质量。在注浆材料的选择上,也进行了精心的设计和优化。为了确保注浆体具有足够的强度和稳定性,采用了高性能的水泥基注浆材料。这些材料具有早期强度高、凝结时间短、抗渗性好等优点,能够满足岩溶发育区地基处理对注浆材料的高要求。同时,在注浆过程中,还严格控制了注浆压力和注浆速度,以确保注浆浆液能够均匀、充分地填充溶洞和土体裂隙。

4 工程实践与质量控制

在岩土工程的实践中,确保工程质量和施工安全是至关重要的。通过一系列科学的质量控制措施和技术手段,可以有效地提升工程的整体性能和使用寿命。以下将对几个典型案例分析以及全过程质量控制要点进行详细阐述。

4.1 典型案例分析

4.1.1 南京长江第二大桥北汉桥

南京长江第二大桥北汉桥的建设中,面对穿越13米深淤泥层的巨大挑战,工程团队采用了先进的技术手段和质量控制措施。他们使用了Φ2.5米的钻孔桩,这种大尺寸的桩能够提供更好的承载力和稳定性。在钻孔过程中,为了保持孔壁的稳定性,采用了膨润土泥浆护壁技术,有效地防止了塌孔和缩孔的发生。同时,为了确保桩身的质量,施工团队还采用了超声波检测技术对桩身完整性进行检测。最终,经过严格的检测,所有桩基均

达到了I类桩的标准,比例高达100%,这为大桥的安全运营提供了坚实的保障。

4.1.2 雄安新区某市政工程

在雄安新区某市政工程中,桩基施工的质量控制同样得到了高度的重视。为了实现对桩基施工过程的实时监控和数据分析,工程团队运用了桩基云计算平台。该平台能够实时收集并分析1264根管桩的锤击数和贯入度数据,通过大数据分析和机器学习算法,能够提前预警潜在的缺陷桩。在实际施工中,该平台成功预警了3处缺陷桩,为后续的修补和处理提供了宝贵的时间窗口,避免了潜在的安全隐患。这一案例充分展示了数字化、智能化技术在岩土工程质量控制中的应用潜力和价值。

4.2 全过程质量控制要点

4.2.1 勘察阶段

勘察阶段是岩土工程质量控制的基础。在这一阶段,需要采用高精度、高效率的勘探手段来准确识别地层界面和地质条件。多通道面波仪作为一种先进的勘探设备,在勘察阶段得到了广泛应用。它能够通过分析面波在地层中的传播特性来识别地层界面,具有勘探速度快、分辨率高、操作简便等优点。在实际应用中,多通道面波仪的勘探精度误差能够控制在5%以内,为后续的施工设计提供了可靠的地质依据。

4.2.2 施工阶段

施工阶段是岩土工程质量控制的关键环节。为了确保桩基施工的质量和安​​全,需要建立全面的监控体系来实时监测施工过程中的关键参数。在南京长江第二大桥北汉桥和雄安新区某市政工程中,均采用了桩基施工五参数监控体系。这五个参数包括垂直度、孔深、沉渣厚度、混凝土坍落度和灌注速度。通过实时监控这些参数的变化情况,能够及时发现并纠正施工过程中的偏差和问题,确保桩基的施工质量符合设计要求。在垂直度的监控上,采用了高精度测斜仪来实时测量桩身的倾斜角度;在孔深的监控上,利用测绳或激光测距仪来准确测量孔的深度;在沉渣厚度的监控上,通过清孔后的泥浆比重和含砂量来判断沉渣的厚度;在混凝土坍落度的监

控上,使用坍落度筒来定期检测混凝土的流动性;在灌注速度的监控上,根据混凝土的供应情况和桩径的大小来合理调整灌注速度^[4]。

4.2.3 验收阶段

验收阶段是岩土工程质量控制的最后一道防线。在这一阶段,需要采用多种检测手段来全面评估桩基的质量和安​​全性能。高应变检测和声波透射法是两种常用的检测方法。高应变检测能够评估桩身的承载力和完整性,通过敲击桩顶并测量产生的应力波信号来分析桩身的力学性质。声波透射法则能够检测桩身内部的缺陷和裂缝情况,通过向桩身内部发射声波并接收反射信号来分析桩身的内部结构。在南京长江第二大桥北汉桥和雄安新区某市政工程中,均综合应用了这两种检测方法来进行桩基的验收检测。其中,高应变检测的检测率不低于10%,声波透射法的检测率则达到了100%,确保了每一根桩的质量都得到了严格的检验。

结束语

岩土工程桩基施工与地基处理作为工程建设的基石,直接关系到整个项目的安​​全性、稳定性和耐久性。随着技术的不断进步和创新,我们见证了桩基施工工艺的日益精进和地基处理技术的多元化发展。从智能化成孔监测系统到超深桩施工工艺,再到绿色施工技术的广泛应用,每一项技术的突破都为岩土工程领域带来了新的活力。未来,我们有理由相信,在科技与创新的驱动下,岩土工程桩基施工与地基处理技术将更加成熟、高效,为构建更加安​​全、可靠的工程结构贡献力量。

参考文献

- [1]张继科,张语宸,刘世安.岩土工程桩基施工与岩土工程的地基处理[J].中国住宅设施,2023,(18): 166-168.
- [2]段宏波.岩土工程桩基施工与勘察措施[J].江苏建材,2023,(09): 85-87.
- [3]尹元辉.基于岩土工程桩基础施工中存在的问题及对策[J].城市建设理论研究(电子版),2022,(13):140-141.
- [4]高玉平.研究岩土工程地基处理的常用方法及应用[J].世界有色金属,2020,(22):252-253.