

# 水利工程中深水基础施工技术的发展与创新

李保虎

中交路桥建设有限公司 北京东城 100027

**摘要:** 水利工程作为国家基础设施建设的重要组成部分,对于保障水资源安全、促进经济发展和改善生态环境具有不可替代的作用。随着我国水利工程建设的不断推进,深水基础施工技术逐渐成为研究和实践的重点领域。深水基础施工技术不仅关系到工程的安全性和耐久性,还直接影响到工程的经济性和环保性。因此,深入研究和创新深水基础施工技术,对于推动我国水利工程建设的發展具有重要意义。本文旨在系统地分析深水基础施工中的关键技术,探讨创新技术在实际工程中的应用案例,并提出解决技术难题和瓶颈的有效对策。

**关键词:** 水利工程;深水;基础施工

## 引言

水利工程在现代社会中扮演着至关重要的角色。从防洪减灾到水资源调配,从农业灌溉到电力供应,水利工程建设直接影响到国家的经济安全和社会稳定。随着经济的快速发展和城市化进程的加快,对水资源的需求日益增加,对水利工程的要求也不断提高。特别是在沿海地区和江河湖泊周边,水利工程建设不仅需要解决水资源的利用问题,还要应对复杂的水文地质条件,确保工程的安全性和可靠性。深水基础施工是水利工程中的一项关键环节,其复杂性和技术难度远高于陆地基础施工。深水环境中的水压、水流、泥沙沉积等因素对施工工艺和设备提出了极高的要求。例如,在长江口、珠江口等河口地区,由于水深较大,水流湍急,泥沙沉积严重,传统的施工方法往往难以满足工程需求。深水基础施工还面临着地质条件复杂、施工周期长、成本高、风险大等挑战。这些问题不仅影响工程的进度和质量,还可能对周边环境造成不利影响,因此需要采用先进的施工技术和方法来应对。

## 一、深水基础施工中的关键技术分析

### (一) 深水钻孔灌注桩技术

深水钻孔灌注桩技术是深水基础施工中的一重要技术,它通过在水下钻孔并灌注混凝土来形成桩基,从而为建筑物提供稳固的基础。在深水环境中,由于水深较大,水流湍急,地质条件复杂,施工难度远高于陆地基础施工。为了确保桩基的稳定性和耐久性,深水钻孔灌注桩技术在钻孔、清孔、钢筋笼安装、混凝土灌注等各个环节都需要采用先进的技术和设备。

在钻孔阶段,常用的钻孔设备有回转钻机、冲击钻机和反循环钻机。回转钻机适用于软土层,冲击钻机适用于硬岩层,反循环钻机则适用于各种地质条件。为了提高钻孔效率和质量,现代钻孔设备通常配备了自动化控制系统,能够实时监测钻孔深度、钻孔速度和钻孔压力等参数,确保钻孔过程的精确性和安全性。

清孔是钻孔后的关键步骤,目的是清除孔内的泥浆和碎屑,确保孔壁的清洁和平整。常用的清孔方法有正循环清孔和反循环清孔。正循环清孔是通过泥浆泵将泥浆注入孔内,利用泥浆的循环将孔内的杂质带出;反循环清孔则是通过孔底的抽吸装置将孔内的泥浆和杂质抽出。反循环清孔效率更高,适用于深水环境中的复杂地质条件。

钢筋笼的安装是保证桩基强度和稳定性的关键步骤。在深水环境中,钢筋笼的安装需要考虑水流的影响,通常采用浮吊或专用安装设备将钢筋笼准确地放入孔内。为了防止钢筋笼在下放过程中发生倾斜或变形,钢筋笼的设计需要具备足够的刚度和稳定性。钢筋笼的连接部位需要进行严格的焊接和检查,确保连接的牢固性和可靠性。

混凝土灌注是深水钻孔灌注桩施工的最后一步,也是最为关键的步骤。在深水环境中,混凝土的灌注需要克服水压和水流的影响,确保混凝土的均匀性和密实性。常用的灌注方法有导管法和泵送法。导管法是通过导管将混凝土从孔口输送到孔底,然后逐渐提升导管,使混凝土均匀地充满孔内;泵送法则是通过泵送设备将混凝土直接输送到孔内。为了提高混凝土的性能,现代施工中通常采用高性能混凝土,这种混凝土具有良好的流动

性和抗压强度，能够在深水环境中保持良好的施工性能。

## （二）深水沉井与沉箱技术

深水沉井与沉箱技术是深水基础施工中的另一种重要技术，通过在水下建造沉井或沉箱来形成基础结构。沉井和沉箱在深水环境中的应用广泛，特别是在大型桥梁、港口和水下隧道等工程中。沉井和沉箱的施工过程包括制作、下沉和封底等步骤，每个步骤都需要严格控制，以确保施工质量和安全。

沉井的制作通常在陆地上进行，然后通过浮运或拖运的方式运至施工地点。沉井的制作材料主要有钢筋混凝土和预应力混凝土，其中预应力混凝土具有更高的强度和耐久性，适用于深水环境中的复杂地质条件。沉井的制作过程中，需要对模板、钢筋和混凝土进行严格的质量控制，确保沉井的尺寸和形状符合设计要求。

沉井的下沉是施工过程中最为关键的步骤，通常采用水下挖土和抽水的方法进行。水下挖土可以通过抓斗、吸泥泵等设备进行，挖土过程中需要实时监测沉井的下沉速度和位置，确保沉井的稳定性和安全性。抽水是通过在沉井内部设置抽水设备，将沉井内的水排出，从而降低水压，促进沉井的下沉。为了防止沉井在下沉过程中发生倾斜或偏移，通常需要在沉井的四周设置导向装置，确保沉井的垂直度和稳定性。

沉井的封底是施工过程中的最后一步，目的是将沉井与地基紧密结合，形成一个稳固的基础结构。封底通常采用混凝土浇筑的方法，通过在沉井底部铺设钢筋网，然后浇筑混凝土，使沉井与地基紧密结合。为了提高封底的强度和耐久性，现代施工中通常采用高性能混凝土，这种混凝土具有良好的流动性和抗压强度，能够在深水环境中保持良好的施工性能。

沉箱技术与沉井技术类似，但沉箱通常具有更大的尺寸和更复杂的结构。沉箱的制作和下沉过程与沉井类似，但沉箱的封底通常采用更为复杂的施工方法，如水下焊接和 underwater 混凝土浇筑。沉箱在深水环境中的应用广泛，特别是在大型桥梁和 underwater 隧道等工程中，能够提供更为稳固和可靠的基础结构。

## （三）深水基础防护与加固技术

深水基础防护与加固技术是确保深水基础结构长期稳定和耐久的重要手段。深水环境中的基础结构面临水流冲刷、腐蚀和地质变动等多种不利因素的影响，因此，防护与加固技术在深水基础施工中的重要意义。

基础防护技术主要包括护岸工程、护底工程和防冲刷工程。护岸工程通过在基础周围设置护岸结构，如混

凝土护岸、石笼护岸和生态护岸，防止水流对基础的冲刷和侵蚀。护底工程则通过在基础底部铺设防冲刷材料，如卵石、碎石和土工布，减少水流对基础底部的冲刷作用。防冲刷工程则通过设置防冲刷结构，如防冲刷板、防冲刷墙和防冲刷桩，进一步提高基础的抗冲刷能力。

基础加固技术主要包括桩基加固、注浆加固和锚杆加固。桩基加固是通过在基础周围增设桩基，提高基础的整体稳定性和承载能力。注浆加固是通过在基础周围注入水泥浆或化学浆液，提高基础周围土体的密实度和强度，减少基础的沉降和变形。锚杆加固是通过在基础周围设置锚杆，将基础与周围岩土体紧密结合，提高基础的抗滑能力和抗倾覆能力。

在深水环境中，基础防护与加固技术需要考虑水流、地质和环境等多种因素的影响，采用综合性的防护与加固措施，确保基础结构的长期稳定和耐久。现代施工中，通常采用先进的监测技术和设备，如智能传感器和无人机，实时监测基础结构的健康状况，及时发现和处理潜在的问题，确保基础结构的安全和可靠。

## 二、创新技术在深水基础施工中的应用案例

### （一）智能化监测系统在深水基础施工中的应用

随着科技的不断进步，智能化监测系统在深水基础施工中的应用日益广泛，为施工过程的安全和质量提供了强有力的保障。智能化监测系统主要包括传感器网络、数据采集与传输系统、数据分析与处理平台以及可视化界面等组成部分。这些系统能够实时监测深水基础施工中的各项参数，如水位、温度、压力、位移、应力等，从而及时发现潜在问题并采取相应措施。

在实际应用中，智能化监测系统在深水钻孔灌注桩施工中发挥了重要作用。通过在桩基内部和周围布设多种传感器，可以实时监测桩基的应力变化、位移情况以及周围土体的稳定性。这些数据通过无线传输技术实时传输到监测平台，工程师可以利用先进的数据分析工具对数据进行处理和分析，及时发现异常情况并采取相应措施，确保施工安全和质量。例如，在某大型跨海大桥的深水基础施工中，智能化监测系统成功预测了一次桩基位移异常，避免了可能的工程事故，大大提高了施工效率和安全性。

智能化监测系统还广泛应用于深水沉井和沉箱施工中。在沉井和沉箱的下沉过程中，通过布设在结构内部和周围的传感器，可以实时监测沉井和沉箱的下沉速度、倾斜度、应力分布等关键参数。这些数据对于确保沉井和沉箱的稳定性和安全性至关重要。例如，在某大型港

口的深水沉箱施工中，智能化监测系统通过实时监测沉箱的倾斜度和应力分布，及时调整下沉速度和方向，确保了沉箱的顺利下沉，避免了因倾斜过大而导致的工程事故。

### （二）高性能材料在深水基础结构中的应用

高性能材料在深水基础结构中的应用，不仅提高了结构的耐久性和安全性，还显著提升了施工效率和经济效益。高性能材料主要包括高性能混凝土、高强度钢材、复合材料等，这些材料具有优异的力学性能、耐腐蚀性和耐久性，能够有效应对深水环境中的复杂条件。

高性能混凝土在深水基础结构中的应用尤为广泛。高性能混凝土具有高强、高韧、低渗透等特性，能够有效抵抗深水环境中的腐蚀和侵蚀。在深水钻孔灌注桩施工中，使用高性能混凝土可以显著提高桩基的承载力和耐久性，延长桩基的使用寿命。例如，在某大型海上风电场的深水基础施工中，使用高性能混凝土灌注桩，成功解决了深水环境中的腐蚀问题，确保了桩基的长期稳定性和安全性。

高强度钢材在深水基础结构中的应用也日益增多。高强度钢材具有优异的力学性能和耐腐蚀性，能够有效应对深水环境中的高压力和腐蚀问题。在深水沉井和沉箱施工中，使用高强度钢材可以显著提高结构的承载力和稳定性。例如，在某大型跨海隧道的深水基础施工中，使用高强度钢材制造的沉井和沉箱，成功应对了深水环境中的高压力和腐蚀问题，确保了工程的安全和顺利进行。

复合材料在深水基础结构中的应用也逐渐受到重视。复合材料具有轻质、高强、耐腐蚀等优点，能够有效应对深水环境中的复杂条件。在深水基础防护和加固中，使用复合材料可以显著提高结构的耐久性和安全性。例如，在某大型海上石油平台的深水基础施工中，使用复合材料制造的防护层，成功解决了深水环境中的腐蚀和侵蚀问题，确保了平台的长期稳定性和安全性。

### （三）新型施工工法与工艺的创新实践

新型施工工法与工艺的创新实践，为深水基础施工提供了新的解决方案，显著提高了施工效率和质量。这些创新实践主要包括新型钻孔技术、新型沉井与沉箱施工技术、新型基础防护与加固技术等。

新型钻孔技术在深水基础施工中的应用，显著提高了钻孔效率和质量。例如，旋转导向钻孔技术通过使用旋转导向钻具，可以在深水环境中实现精确的钻孔定位和导向，避免了传统钻孔技术中的偏差和误差。在某大

型跨海大桥的深水基础施工中，使用旋转导向钻孔技术，成功实现了高精度的钻孔定位，确保了桩基的稳定性和安全性。

新型沉井与沉箱施工技术在深水基础施工中的应用，显著提高了施工效率和安全性。例如，气幕下沉技术通过在沉井和沉箱周围形成气幕，可以有效减少下沉阻力，提高下沉速度和稳定性。在某大型港口的深水沉箱施工中，使用气幕下沉技术，成功实现了沉箱的快速下沉，避免了因下沉速度过慢而导致的工程延误。

新型基础防护与加固技术在深水基础施工中的应用，显著提高了结构的耐久性和安全性。例如，高压喷射注浆技术通过在深水基础周围进行高压喷射注浆，可以有效提高基础的稳定性和耐久性。在某大型海上风电场的深水基础施工中，使用高压喷射注浆技术，成功解决了深水环境中的基础稳定性问题，确保了风电场的长期稳定性和安全性。

创新技术在深水基础施工中的应用，不仅提高了施工效率和质量，还显著提升了结构的耐久性和安全性，为深水基础施工提供了新的解决方案。随着科技的不断进步，未来将有更多的创新技术应用于深水基础施工中，推动水利工程的发展和进步。

### 结束语

深水基础施工技术在近年来取得了显著的进步，这些技术的发展不仅解决了传统施工方法在深水环境下的诸多难题，也为水利工程的顺利实施提供了坚实的技术支撑。深水钻孔灌注桩技术在复杂地质条件下的应用，极大地提高了桩基的承载能力和施工效率。通过先进的钻孔设备和精确的定位系统，施工人员能够在深水环境中准确地完成钻孔和灌注作业，确保桩基的质量和稳定性。

### 参考文献

- [1] 李宁, 杜松, 王振, 等. 中马友谊大桥主桥深水基础临时结构设计及施工技术[J]. 桥梁建设, 2023, 53(4): 147-154.
- [2] 唐诚. 山区深水厚卵石层桥梁基础施工技术[J]. 铁道建筑技术, 2022(003): 000.
- [3] 霍会岗. 深水基础锁口钢管桩围堰内支撑整体下放施工技术研究[J]. 2024(4): 187-189.
- [4] 张建业. 拉各斯轻轨跨海大桥深水基础工程施工技术研究[J]. 铁道建筑技术, 2024(5): 117-120.