

跨江公路铁路桥梁深水基础施工技术难点与应对策略

雷 刚

中交路桥南方工程有限公司 北京 101101

摘 要：当下，交通基础设施建设不断向跨江领域延伸，跨江公路铁路桥梁的建设愈发关键，其中深水基础施工又是重中之重。在实际施工过程中，施工团队面临着一系列棘手的技术难题。高水压使得基础结构承受着巨大的压力，复杂的地质状况增加了地质探测的难度，强水流和波浪对施工设备以及基础结构造成强烈冲击，水下作业不仅操作精度和效率受到严重制约，还威胁着施工人员的安全，这些问题极大地阻碍了施工的顺利进行。本文深度剖析了这些技术难点，从优化基础结构设计、融合多种地质探测方法、应用先进的抗风浪和定位技术、引入水下机器人等先进技术，以及健全安全管理和应急措施等方面，提出了极具针对性和可操作性的应对策略与解决方案。研究旨在为提高跨江公路铁路桥梁深水基础施工的质量与效率提供坚实的理论依据，推动实际工程顺利开展，促使交通基础设施建设迈向更高的台阶。

关键词：跨江桥梁；深水基础；施工技术难点；应对策略

引言：跨江公路铁路桥梁作为交通基础设施的核心部分，对区域经济发展和交通互联互通发挥着关键作用。深水基础作为桥梁的根基，其施工质量直接关系到桥梁的整体稳定性与安全性。不过，由于深水环境存在高水压、地质状况复杂、水流湍急以及波浪作用等特点，使得深水基础施工面临诸多技术挑战。深入探究这些技术难点并寻找行之有效的应对策略，对确保跨江公路铁路桥梁的顺利建设以及长期稳定运行意义重大。例如，某在建跨江大桥的主桥深水基础施工水深达到 60 米，施工难度极大，这充分体现了解决此类技术难题的迫切性。

1 深水基础施工的水压问题及其应对策略

1.1 水压对基础结构的影响

在深水环境里，随着水深增加，水压会呈现线性增长。依据液体压强公式($P = \rho gh$)（其中(P)代表压强，(ρ)为液体密度，(g)是重力加速度，(h)表示深度），水深每增加 10 米，水压大概会增加 1 个标准大气压（101.325kPa）。巨大的水压会在多个方面对基础结构产生影响。首先，水压会对基础结构的外部施加均匀压力，可能致使基础结构变形，像圆柱状基础或许会出现径向收缩。有研究显示，在 50 米水深的水压作用下，直径 2 米的圆柱基础径向收缩量能达到 0.5-1 毫米。其次，水压还有可能影响基础结构内部的孔隙水压力，改变基础周围土体的力学性质，进而对基础的承载能力造成影响。要是基础结构在设计或施工时没有充分考虑水压的影响，就可能出现结构开裂、渗漏甚至整体失稳的情况。

1.2 应对策略

为解决水压问题，在基础结构设计阶段，需要运用先进的计算软件，精准计算不同水深下的水压大小和分布状况，根据计算结果对基础结构设计进行优化。比如，增加基础结构的壁厚，选用高强度、抗水压性能良好的建筑材料，如高性能混凝土和特种钢材。在施工过程中，可以采用沉箱法、围堰法等施工方法。沉箱法是把带有刃脚的箱形结构下沉到设计标高，通过在内部挖土使其逐步下沉，下沉到位后进行封底和填充作业，沉箱结构能够有效抵御水压。围堰法则是在基础施工部位周边修筑临时挡水结构，将水排干后开展基础施工，避免施工过程直接受到水压影响。同时，在施工过程中，要实时监测水压变化，借助压力传感器等设备，将水压数据反馈给施工人员，以便及时调整施工方案。据统计，采用实时水压监测系统后，施工方案调整的及时性提高了 30%，有效减少了因水压问题引发的施工事故。

2 复杂地质条件下的施工技术难点与解决方案

2.1 地质探测的困难

跨江区域的地质条件通常极为复杂，可能存在多种不同的地层，像砂层、黏土层、岩层等，而且各层的厚度、分布情况毫无规律。除此之外，由于江水长期冲刷和地质变迁，还可能存在溶洞、断层等特殊地质构造。传统的地质探测方法在深水环境下存在诸多不足，比如钻探过程中可能因为水流、水压的影响导致钻孔偏差，难以准确获取深部地层的地质信息；地球物理探测方法在复杂地质条件下，信号容易受到干扰，解释结果存在多种可能性。在某跨江桥梁地质探测中，采用传统钻探方法，钻孔偏差率达到 10%-15%，对地质信息的准确性

产生了影响。

2.2 应对策略

为提高地质探测的准确性，可以综合运用多种探测方法。在前期勘察阶段，采用高精度的地震反射波法进行大面积的初步探测，利用反射波的特性初步确定地层结构和可能存在的特殊地质构造。接着，结合钻探法，在关键位置进行钻孔取芯，获取地层的实物样本，对地震反射波法的探测结果进行验证和补充。同时，利用先进的孔内成像技术，如钻孔电视、超声波成像等，对钻孔内部的地质情况进行直观观察，进一步了解地层的详细信息。在施工过程中，如果遇到地质情况与勘察结果不一致的情况，要及时进行补充勘察，采用随钻测井等技术，实时获取施工过程中的地质信息，以便调整施工方案。通过综合运用多种探测方法，某桥梁工程地质探测的准确率从原来的70%提升到了90%以上。

3 水流和波浪对施工的影响及应对措施

3.1 水流和波浪对施工设备和结构的冲击

强水流和波浪会对施工设备和基础结构产生强大的冲击力。对于施工设备，如打桩船、起重机等，在水流和波浪的作用下，可能会发生晃动、漂移，影响设备的定位精度和操作稳定性，甚至可能导致设备损坏。在某跨江大桥施工中，当水流速度达到3米/秒，波浪高度超过1.5米时，打桩船的定位偏差达到了 ± 0.5 米，严重影响了打桩精度。对于基础结构，水流和波浪的冲击力会使基础受到周期性的水平力作用，可能引发基础的振动，长期作用下可能导致基础结构疲劳破坏，降低基础的承载能力。研究表明，在水流速度2-3米/秒、波浪高度1-2米的条件下，基础结构的疲劳寿命可能缩短20%-30%。

3.2 泥沙淤积的干扰

在水流作用下，跨江区域容易出现泥沙淤积现象。泥沙淤积会改变基础周围的地形地貌，增加基础的埋深，影响基础的受力状态。同时，泥沙淤积还可能对施工过程中的测量工作产生干扰，导致测量数据不准确。在进行水下混凝土浇筑时，泥沙淤积可能混入混凝土中，影响混凝土的质量和强度。据实测，在一些泥沙含量较高的水域，每年泥沙淤积厚度可达0.5-1米，对基础施工产生了严重影响。

3.3 应对策略

为减小水流和波浪对施工设备和结构的冲击，可以在施工设备上安装定位和抗风浪装置，比如采用锚泊系统结合动力定位系统，提高设备在水流和波浪中的稳定性。对于基础结构，可以通过优化结构外形，如采用流线型的基础外形，减小水流和波浪的冲击力。针对泥沙

淤积问题，在施工前要对施工区域的水流和泥沙运动规律进行详细研究，通过数值模拟等方法预测泥沙淤积情况。在施工过程中，定期进行水下地形测量，及时掌握泥沙淤积情况。若发现泥沙淤积严重，可以采用疏浚的方法，利用挖泥船等设备清除淤积的泥沙。采用上述措施后，某工程施工设备在恶劣水况下的定位精度提高了50%，泥沙淤积对施工的影响也得到了有效控制。

4 水下作业的技术难点与提升方法

4.1 水下作业的操作精度和效率限制

水下环境存在黑暗、高压、水流等不利因素，严重制约水下作业的操作精度和效率。潜水员在水下作业时，由于视线受到限制，很难准确识别和操作目标物体，操作动作也会因为水的阻力而变得迟缓。同时，水下作业设备的性能也会受到影响，比如水下切割设备的切割速度和精度会降低，水下焊接设备的焊接质量难以保证。有实验数据表明，在水深30米的条件下，潜水员的操作效率仅为陆地的30%-40%，水下焊接的缺陷率比陆地高出2-3倍。

4.2 施工人员的安全威胁

水下作业对施工人员的安全构成较大威胁。高压环境可能导致潜水员患上减压病等职业病，水流和复杂的水下地形可能使潜水员迷失方向，发生意外事故。此外，水下作业时还可能遭遇有毒有害气体、海洋生物攻击等危险情况。据统计，在水下作业事故中，减压病导致的伤亡占比达到15%-20%，因水流和地形导致的事故占比约为30%。

4.3 提升方法

为提高水下作业的操作精度和效率，可以采用先进的水下机器人技术。水下机器人配备高清摄像头、传感器等设备，能够在水下进行精确的探测和操作，不受潜水员生理条件的限制。同时，利用虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术，将水下作业场景实时传输到地面控制中心，操作人员可以在地面通过远程控制技术对水下机器人进行操作，提高操作的准确性和效率。为保障施工人员的安全，要为潜水员配备先进的潜水装备，如氮氧混合气潜水设备，降低减压病的发生风险。同时，加强对潜水员的培训，提高其应对突发情况的能力，制定完善的安全操作规程和应急预案。采用水下机器人作业后，水下作业的操作精度提高了40%-50%，施工人员的安全事故发生率降低了50%以上。

5 深水基础施工中的设备与技术要求

5.1 设备需求

深水基础施工需要一系列专用设备。打桩设备方

面,需要大功率的打桩船,具备高精度的定位系统和强大的打桩能力,以满足在深水环境下将桩打入坚硬地层的要求。例如,某大型跨江大桥施工使用的打桩船,最大打桩深度可达120米,定位精度达到 ± 0.1 米。钻孔设备需要配备先进的钻孔灌注桩机,具有良好的稳定性和适应复杂地质条件的能力。起重设备要求具有较大的起吊能力和高度,能够在水上进行大型构件的吊运作业。此外,还需要配备水下混凝土浇筑设备、潜水设备、测量设备等。

5.2 技术要求

在施工技术方面,需要掌握先进的基础施工技术。如在钻孔灌注桩施工中,要严格控制泥浆的性能指标,确保孔壁的稳定性;在水下混凝土浇筑过程中,要采用合适的浇筑工艺,保证混凝土的浇筑质量,避免出现断桩、夹泥等质量问题。同时,要掌握先进的测量技术,利用全球定位系统(GPS)、全站仪等设备,实现对施工过程的高精度测量和监控。此外,还需要不断研发和应用新材料、新工艺,提高深水基础施工的质量和效率。某工程通过采用新型的水下混凝土浇筑工艺,混凝土的浇筑质量合格率从原来的85%提高到了95%以上。

6 深水基础施工的安全管理与应急措施

6.1 安全管理的重要性

跨江公路铁路桥梁的深水基础施工,环境复杂,安全风险高。水域的特殊性,如水流难测、水下地质复杂,加上施工设备大型化、工艺繁杂,使施工全程充满隐患。此时,安全管理就像一把保护伞,其重要性不言而喻。有效的安全管理能从根源预防事故。通过建立健全安全管理制度,明确各部门和人员职责,让每个人清楚自身安全任务。施工中安排专业监管人员,定期全面排查,不放过任何安全隐患。例如,做好设备定期维护,监督施工操作规范,防止违规操作。统计显示,安全管理到位的项目,事故发生率比管理松懈的项目降低60% - 70%,凸显安全管理的关键作用。

6.2 应急措施

深水基础施工可能遭遇多种突发状况,如水下作业的溺水事故、设备故障以及火灾等。潜水员遇设备故障或水流突变易遇险;大型设备长期在恶劣环境运转,机械、电路故障频发,危及施工进度与人员安全;施工现场易燃物多,火灾一旦发生,后果严重。针对这些潜在事故,需制定详实且有针对性的应急预案。配备救生艇、合适的灭火器、充足急救药品等应急救援设备和物资。定期组织应急演练,模拟各类事故场景,让施工人员熟悉应急流程,提升面对突发状况时的反应速度与救援技能。某项目通过定期演练,施工人员在模拟事故中的响应时间缩短30% - 40%,有效提升应急救援能力,减少事故损失。

结语

跨江公路铁路桥梁深水基础施工存在诸多技术难点,涵盖水压、地质、水流波浪、水下作业、设备技术和安全管理等多个方面。通过采取针对性的应对策略,如优化基础结构设计、综合运用多种地质探测方法、采用先进的施工设备和技术、加强安全管理和应急措施等,可以有效解决这些技术难点,确保跨江公路铁路桥梁深水基础施工的质量和安。随着科技的不断进步,未来还需进一步加强相关技术的研究和创新,持续提升跨江公路铁路桥梁深水基础施工技术水平。

参考文献

- [1]沈荣楼.浅谈大跨度桥梁深水基础单壁钢套箱围堰有限元的应用技术[J].建筑工程技术与设计,2017(16):3053.
- [2]刘俊岭,杨汉彬,杨万理,张育智.深水大跨桥梁施工技术2020年度研究进展[J].土木与环境工程学报(中英文),2021,43(增刊2):297-307.
- [3]王鑫.大跨桥梁深水长大桩基快速成桩施工技术[J].价值工程,2021,40(17):127-128.
- [4]李勇海,杨嘉毅,项远方.涪秀铁路桥梁深水基础施工创新技术[J].施工技术,2021,50(S1):1327-1330.
- [5]严赓强.铁路桥梁深水基础钢板桩围堰主要施工技术[J].价值工程,2024,33(13):121-123.