

复合桩在路桥施工技术的应用分析

陈勇

新疆北新路桥集团股份有限公司，新疆乌鲁木齐，830000；

摘要：随着全球城市化进程的加速和交通运输需求的不断增长，基础设施建设迎来了前所未有的发展机遇，路桥工程作为城市交通网络的重要组成部分，不仅承载着日益繁重的交通流量，在软土地基分布较为广泛的地区还面临着更为复杂的地质条件挑战。基于此，本文以复合桩为研究对象，对其技术要点、应用措施及发展前景进行深度剖析，希望能够对相关人士有所启发。

关键词：复合桩；路桥工程；荷载传递

DOI： 10.69979/3029-2727.24.12.005

软土地基因其具有低承载力、高压缩性以及稳定性不足等特性，给路桥施工带来了诸多挑战和困难，这些问题不但严重影响到路桥工程的耐久性与安全性，还会大幅增加后期维护成本，对社会经济发展和民众出行安全构成潜在威胁。而复合桩通过集成不同材料的优势来形成高强度、高稳定性的桩体结构，能够有效提高地基的承载力和抗变形能力，减少路桥施工中的沉降问题。

1 道路施工中复合桩的技术要点

1.1 桩体材料融合

复合桩作为较为新兴的桩基技术，通过融合多种不同性质的材料构建出高强度、高稳定性的桩体结构，这一特性也使其可以在复杂地质条件下的道路桥梁工程中展现出较高的应用价值。比如劲性复合桩就是整合了水泥土搅拌桩与预应力管桩的双重优势，从而开创一种全新的桩基解决方案。而水泥土搅拌桩作为劲性复合桩的重要组成，其核心在于采用水泥作为主要固化剂，并依据实际情况科学、合理地掺入粉煤灰、矿渣粉或其他高效外加剂，以进一步提升材料的综合性能。在施工过程中，利用专业的搅拌机，将软土与水泥等固化剂进行强制混合，通过发生一系列物理化学反应，使原本软弱的土壤转化为具有相当强度和稳定性的水泥土材料，这一过程不仅大幅改善了软土的力学性质，还能够为后续桩体构建奠定坚实基础。

当水泥土搅拌桩成桩并完成基本养护后需要插入预应力管桩，这种桩体类型以其高强度、高抗弯承载力和良好的抗裂性能所著称，需要使用专业设备精准插入到已经硬化的水泥土搅拌桩中。随着水泥土的持续硬化

而紧紧包裹住这根预制管桩体，使二者之间形成紧密的力学耦合关系，从而在面对各种复杂荷载条件时展现出更加出色的力学性质。此外，劲性复合桩通过精确的施工控制和材料配比调整能够更好地适应不同地区的特定地质条件，进而实现桩体性能与工程需求的完美匹配。

1.2 载体材料选择

载体材料的选择在复合桩设计与应用中占据着重要位置，其整体质量直接关系到桩体承载力、稳定性及长期服役性能，合理的载体材料不但可以明显提升复合桩的综合性能，更是能够确保道路桥梁工程在安全的前提下有效控制成本，从而实现经济效益与工程质量的双赢。

砂石和碎石是复合桩中常见的载体材料，以其独特的物理特性在路桥工程实践中得到了广泛应用，这类材料具备良好的透水性能，意味着桩体在形成及使用期间可以有效避免水分积聚而导致的软化或承载力下降等情况。同时，砂石与碎石颗粒间的空隙可以为桩体与周围土体之间的摩擦力提供良好的发挥空间，增加桩体侧阻力的同时也能够大幅提升其抗拔能力和水平承载力；而这些硬质颗粒在一定程度上能够限制土体的侧向变形，使其整体稳定性得到进一步提升。而矿渣的应用则侧重于利用其独特的化学活性与胶凝性，其在与水接触后会经过一系列化学反应而生成具有胶结作用的化合物，使得桩体内部结构逐渐致密化而提升其强度与耐久性，特别是在一些对桩体强度要求较高的工程场景，矿渣的掺入往往能起到事半功倍的效果。

但实际工程中的载体材料选择并非一成不变，而是要结合具体的地质条件、工程要求及成本预算等多个因

素进行综合考虑,比如砂石和碎石在软土地基中具有良好的透水性和承载性能而更受欢迎;而在一些含有高含量可溶盐或腐蚀性物质的土壤中选择具有更高抗化学侵蚀能力的材料,或通过添加特定的外加剂来改善桩体的耐腐蚀性。

1.3 界面荷载传递

复合桩界面荷载传递机制是其发挥承载作用的核心所在,涉及桩体与地基土之间的相互作用过程,其中荷载传递主要依赖于桩侧摩擦力和桩端阻力两大机制。桩侧摩擦力作为荷载传递的主要途径之一,源于桩体与地基土界面间的摩擦力,其产生原因一方面依赖于桩体材料的选择和地基土性质,另一方面也会受到桩体表面特性的影响。一个设计合理的桩体表面应该与地基土形成良好的摩擦接触,从而确保荷载能够顺畅、高效地通过侧壁传递至周围土体中。施工团队为增强这一效应,一般会采取优化桩体形状、增加桩体粗糙度等手段来增大接触面积和提升摩擦系数,比如采用波纹状、螺旋形或其他非规则形状的桩体设计等方式可以有效提升桩侧与地基土之间的接触面积,进而增加摩擦力与荷载传递效率。而桩端阻力主要取决于桩端与地基土之间的接触面积和接触压力,桩端设计往往更加注重材料选择及端部几何形状,以确保在承受荷载时能够形成足够的接触应力并将其有效分散至地基土中。路桥施工为提升桩端阻力常常会采取扩大桩端、设置锥形或球形端头等方法,这些设计能够在一定程度上增加桩端与地基土的接触面积,从而提高桩体的承载能力。

2 复合桩在路桥施工中的应用措施

2.1 合理选择复合桩类型

针对承载力不足的软弱土层,水泥搅拌桩作为一种有效的地基加固手段能够大幅提升土壤承载能力和抵抗液化的能力,进而保障建筑物的稳固。然而,若遇到岩石层埋藏较深的地质情况,则更适宜采用锚杆桩或钻孔灌注桩等桩型,这些桩型能够穿透至岩层,提供坚实的支撑。另外,在地下水位较高的区域,选择套管灌注桩或搅拌桩等桩型能够更好地适应复杂的水文环境,从而确保桩基施工的质量与安全性。

不同类型的复合桩因其结构特点和材料性能的差异,在承载能力、抗侧力性能以及抗震性等方面展现出各自的优点,因此,在选择复合桩类型时,必须充分评

估工程对承载力的实际需求以及对变形控制的严格要求。例如,对于那些需要承载重大负荷的工程项目,选择如双壁搅拌桩或增强型搅拌桩等能提供更高承载性能的桩型会比较理想的选择。对于那些要求桩基具备较高抗侧力性能的工程,可以使用锚杆桩并围绕桩体精心布置锚杆的方式来显著增强整体结构的稳定性和抗侧力能力。此外,如果工程项目位于地震频发的区域,就需要在提高重视程度的基础上采用增强土钉墙这类抗震性能出色的桩型,以强化结构的稳固可靠性。

在挑选复合桩类型的过程中,施工技术的可行性和成本效率是必须认真考虑的关键因素。鉴于不同种类的复合桩在施工时所采用的工艺方法各有千秋,例如,振动搅拌法、旋挖钻孔灌注桩工艺以及锚杆注浆技术等均展现出独特的技术特点,因此在作出决定时,需全面分析施工现场的具体状况、可用设备资源以及施工队伍的专业能力。同时,还需细致评估各类桩型的施工成本,涵盖设备购置或租赁成本、材料购置费用以及人工费用等方面,在确保工程质量符合标准的基础上,选择既经济实惠又符合要求的复合桩类型,对于有效控制并削减工程整体成本具有极其重要的意义。

2.2 优化设计参数

在道路桥梁项目的建造过程中,针对不同地层力学特性的差异,施工团队需灵活改变桩身长度,确保桩基础能贴合各类地层的独特条件。对于软弱土层,由于土壤承载力较低,因此通常需要更深的桩基来提供足够的支撑力;而对于坚硬的岩石层,由于岩石本身具有较高的承载力,因此较短的桩身往往就能满足需求,并且这种做法更经济实惠。为了保证桩基设计的科学性,施工团队必须对地质层开展详尽的勘探和研究工作,精确了解各层地质的力学特性,为桩基设计奠定坚实的理论基础。桩头作为桩基的重要承载部分,其设计同样需要高度重视。在承载力较弱的软土区域,为了分散压力并增强桩的负载能力,需要设计较大底面积的桩头;而在坚硬的岩石层中,桩头设计的重点则转向增强桩基的稳固性。若能依据地质条件科学进行桩头设计,便能使其更好地融入周围环境,从而大幅度增强桩的综合效能,进一步确保工程项目的稳固与安全。

另外,增强桩体强度和稳定性的一个极为有效的方法是选用合适的增强材料,而这一方法的核心在于对材料进行谨慎选择并严格控制其配比,例如,在混凝土桩

的制造流程中，诸如添加剂的种类选择、纤维材料的确定以及钢筋的配置比例和具体数量等因素，均会对桩体的抗压能力、抗拉性能以及抗弯曲强度产生显著影响。在软弱土层施工的搅拌桩，若能精确调控水泥添加量和注浆配比，将能大幅提升桩体的剪切抵抗力。由此可知，对增强材料的种类及其配比进行精确调控，可以在保证桩基强度的前提下，使其更能灵活适应各种复杂多变的地质环境，进而提升整个工程项目的可靠性和长期耐久性。

2.3 施工工艺改进

在路桥施工领域，地质灾害频繁发生、施工难度日益增大等多重难题给传统的桩基施工方法带来了严峻考验。为了达成提高施工效率并稳固桩基质量这一目标，迫切需要引进并采用先进的桩基施工技术。例如，在处理软弱土层时，可以将振动搅拌法、旋挖钻孔灌注桩法等高效施工手段作为优先选择；而在岩石地质条件下，则应优先选用技术先进的钻孔灌注桩技术，既能够大幅提速施工进度，还能有效规避施工中的各种风险，确保复合桩能在复杂地质环境下稳定且有效地发挥作用。此外，随着社会对环境保护意识的日益增强，应用环境友好型施工工艺以降低施工活动对周边环境的负面影响也变得尤为重要，主要包括采用无振动、低噪声的环保施工技术以及利用可再生能源供电、选用低碳环保材料等措施，从而在最大程度上减轻施工对生态系统的破坏。此做法既遵循了可持续发展的核心理念，又显著提升了工程的整体面貌，赢得了社会各界的广泛好评与肯定。

2.4 监测与评估方法

地层的变化对于复合桩的性能表现发挥着决定性作用，所以，施工过程中的地质勘察、地下水位的持续监控以及地震活动的监测等工作环节必不可少，能够及时提供地质参数变动和施工场地现状的准确信息，使得施工团队能够敏锐地察觉到地质条件的细微变化以及施工过程中可能存在的隐患。施工团队利用这些实时获取的监测数据能够迅速且精确地做出反应，通过调整施工策略、改进工作流程来灵活适应地质条件的起伏变化，以此来保证施工全程的安全性和效率。

复合桩的质量主要取决于其承载能力和结构稳固性，采用应变计和振动监测等尖端的结构力学监测手段，可以即时获取桩体变形和承载能力等重要性能指标的

数据。将这些现场实测数据与设计规范进行对照分析，可以科学精确地评估复合桩的实际效能，进而保障工程项目达到既定的质量和安全标准。

另外，还可以通过桩基荷载试验来全面且精确地评估复合桩的承载能力，主要是利用静载测试、动载测试等多种途径将桩基在真实负载条件下的效能状态完整呈现。在试验进行时，要时刻保持对桩基变形程度、沉降状况等重要参数的关注，以确保在发现潜在问题时能够在第一时间采取有效措施加以妥善处理。

3 复合桩技术的未来发展趋势

3.1 先进材料与设计理念

随着未来的技术发展，复合桩将会更多地融入高性能混凝土、纤维增强材料等先进建材，旨在加强桩身的结构稳固性、提高抗震效能，并确保其长期使用的耐久性能。此外，利用智能化的设计思路与前沿的建模技术手段相结合，能显著提升桩体设计的工作效率，进而显著增强复合桩的整体工程性能。

3.2 全过程信息化施工管理

在复合桩施工的未来趋势中，信息化与智能化的管理模式将会受到更多重视并被广泛应用。为此，需要在整个施工过程中，积极采用实时监测技术、尖端的人工智能算法以及大数据分析技术进行全面且细致的监控和数据挖掘，从而显著提升复合桩施工的可控程度和预测精度。

3.3 智能施工设备的应用

科技的日新月异预示着复合桩施工领域即将迎来一场革命性的转变，未来施工将更加倾向于采用智能化设备，无人机、机器人及自动化装备等智能技术的融入将大幅促进施工效率的提升，实现施工进度的飞跃。同时，这些智能化设备的应用还将大幅度削减人力成本，显著减少施工过程中的安全风险，确保施工人员的生命与财产安全得到更坚实的保障。

4 结语

综上所述，本文从技术原理、设计选型、施工要点以及发展前景等几方面，对复合桩在路桥工程中的应用进行系统性阐述与讨论，希望能够为复合桩在路桥施工中的广泛应用和推广奠定理论基础，进一步推动我国基础设施建设的高质量发展。

参考文献

- [1] 伍贤峰. 水中大桩径钢管复合桩钻孔灌注施工工艺及质量控制分析[J]. 广东建材, 2025, 41(01): 55-59.
- [2] 李梦瑶, 周国燕, 张建华. 基于有限单元法的劲性复合桩抗拔承载力研究[J]. 河南城建学院学报, 2024, 33(06): 56-63.
- [3] 吴俊峰. 拉森钢板桩结合H型钢复合桩在深基坑支护中的应用[J]. 工程技术研究, 2024, 9(23): 116-118+152.
- [4] 钟少敏, 钱小安. 陡坡硬岩河床上U形锁扣钢管复合桩围堰施工关键技术[J]. 交通科技与管理, 2024, 5(2): 167-169.
- [5] 郭承宇, 宗钟凌, 黄蕴晗, 庄潇轩. 双向搅螺旋桩芯劲性复合桩抗压承载性能试验研究[J]. 岩土工程技术, 2024, 38(06): 745-749.
- [6] 王曙光, 尹浩, 段启伟, 王浩宇, 李钦锐, 李湛. 低净空下旋喷静压钢管复合桩竖向抗压承载特性的试验研究[J]. 岩土工程学报, 1-8.
- [7] 王曙光, 段启伟, 王浩宇, 李湛, 李钦锐. 低净空环境旋喷静压复合桩的试验研究[J]. 地下空间与工程学报, 2024, 20(S1): 188-195.