

碎石注浆桩施工技术在高速公路工程施工中的应用

孙卓河

山东路达工程设计咨询有限公司

摘要：高速公路工程的施工中，经常会遇到地质土性较差等问题，怎样提高地基承载力是一个关键问题。为此，通过碎石注浆桩改良地基的施工技术得到了越来越广泛的应用。首先这项技术主要是将碎石，在经过一定比例调配后的灌注液的作用下，注入地下形成桩，可以显著改善地基土的性质。并通过实例分析了碎石注浆桩在高速公路工程中的应用过程和施工方法，包括机泵配置、注浆程序、成孔质量的控制等关键环节，以及如何防止各种可能出现的问题。实践证明，碎石注浆桩改良后，地基原土体的承载力得到了明显提高，地基处理的质量得到了保证，加快了工程进度，节省了工程费用。将研究结果用于实践，对未来高速公路工程的地基处理具有重要的参考价值。

关键词：碎石注浆桩；高速公路工程；地基承载力；施工方法；地基改良

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.22.047

引言

在高速公路工程的施工过程中，不可避免地会遇到地基土壤承载力不足等难题，如何解决这类问题，便成了施工技术的重点与难点。近年来，随着各项工程技术的不断发展和更新，一种名为碎石注浆桩的施工技术越发受到业界的重视。该技术通过将经过特定比例配制的灌注液和碎石一起注入地下，形成有一定承载力的桩体，能够显著提高地基土性质。在高速公路工程施工中的应用，效果显著，不仅能够有效提高地基承载力，保证地基处理的质量，还能同时加快施工进度，节省工程费用，具有较高的实用价值和经济效益。然而，这项技术的应用并非轻而易举，它涉及许多关键的工程环节，需要对机器设备、注浆程序、孔质量控制以及预防潜在问题等方面有深入认识和掌握。因此，本文以碎石注浆桩施工技术在高速公路工程中的应用为研究对象，希望通过实例剖析，提供施工中碎石注浆桩技术的应用策略与实践路径，对同类工程的实施提供参考。

一、碎石注浆桩改良地基的原理和技术

（一）碎石注浆桩原理及性质解析

碎石注浆桩作为一种地基改良技术，其原理主要是在地基土中注入高压灌浆液，使碎石在灌浆液的作用下填充地基土中的空隙，形成具有高强度、高稳定性的桩体结构^[1]。这一过程不仅显著提升了地基的整体承载力，还改善了地基土体的变形特性和抗剪能力。

碎石注浆桩的性质包括力学性质和水文性质等方面。在力学性质上，注浆后的碎石桩体能够提高地基土的抗压强度和刚度，减少沉降，增强地基的稳定性和耐

久性。碎石桩的形成还使得地基在受到外力作用时表现出良好的变形适应性和载荷分散能力，从而有效防止地基失稳。

水文性质方面，碎石注浆桩通过填充地基土中的孔隙，减少了地基的渗透性，阻止了地下水的无序流动，避免了因水流引起的地基侵蚀和软化现象，进一步提升了地基的安全性能。

从施工角度来看，碎石注浆桩的施工技术相对成熟，操作简便，工期短且经济效益高。包括高压注浆机的使用、浆液的合理配比、注浆压力的控制等每一个环节，都对桩体的成型质量和效果有着直接影响。科学、规范的施工流程能够确保碎石注浆桩技术的有效实施和应用。

碎石注浆桩在地基改良中的利用不仅从根本上解决了地基承载力不足等问题，提供了一种高效、可行的解决方案，为高速公路等大型工程的地基处理提供了重要的技术支持和保障。

（二）碎石注浆桩施工技术总览

碎石注浆桩施工技术是一种通过在地基中注入碎石和浆液的混合物，构筑具有较高强度和承载力的桩体，从而改良地基的工程方法。整个施工过程包括一系列步骤，主要包括钻孔、注浆和成桩等关键环节。

在钻孔阶段，通过专用机械在地基土中钻出所需的孔洞，并确保孔洞具有足够的深度和直径。钻孔的质量直接影响后续施工的效果，必须进行严格的控制和监测，包括检查钻孔的垂直度和槽壁稳定性。

注浆过程是将预先调配好的浆液通过注浆管道注入钻孔中，添加一定比例的碎石。可采用多种注浆方法，如单液注浆和双液注浆，具体选择依据地基土质类型和工程需求。注浆速度和压力需要严格控制，避免过高的压力导致土体破坏，确保浆液能够均匀分布并渗透到所需的深度。

成桩环节中，浆液和碎石在孔洞中固化形成桩体，固化时间和强度需要达到设计要求。过程中可以通过实时监测浆液的注入量、流动特性以及固化后的桩体完整性等参数，确保桩体质量的稳定性和可靠性。

总体而言，碎石注浆桩施工技术需要综合考虑设备选型、施工参数、质量监控等多个方面，通过标准化和精细化的施工流程，能够有效提升地基的承载力，保障工程的安全性和可靠性。

（三）高速公路地基改良的利与弊

地基改良在高速公路工程中具有显著的利与弊^[2]。利用碎石注浆桩技术进行地基改良，可显著提升地基的承载力，改善地基土体性能，从而确保工程的稳定性和

安全性。该技术通过碎石与注浆液的作用，增强了土体的均匀性和抗剪强度，有效减少沉降和变形。碎石注浆桩施工相对简单，机械化程度高，且对环境影响较小，能快速推进施工进度，降低工程周期和总体成本。碎石注浆桩施工对设备及操作技术要求较高，施工过程中可能面临注浆液均匀性不足、桩体成型不佳等问题。如果处理不当，可能导致地基处理效果不理想，甚至引发新的地基问题。需要对施工质量进行严格控制和监督，以确保改良效果。

二、碎石注浆桩在高速公路工程中的应用

（一）碎石注浆桩施工的程序及关键环节

碎石注浆桩的施工程序是高速公路地基处理中的关键环节之一。准备施工场地，包括清除地表障碍物，确保机械设备能够顺利进入工作区域。紧进行施工放样，确定每个桩的位置和深度，并在地面上标记出施工点。施工设备主要包括钻机、注浆泵和搅拌设备等。

成孔是施工中的首要步骤，钻孔设备根据设计的深度和直径进行钻孔，要求孔壁平整，避免塌孔现象的发生。随后的清孔步骤至关重要，必须彻底清除孔底的沉淀物，确保注浆材料能够均匀分布。注浆过程中，浆液配比是影响桩质量的关键因素，需根据地质条件和设计要求调制出稳定性好、流动性强的浆液。

注浆泵将调配好的浆液通过管道注入钻孔内，浆液在高压下通过孔壁渗入周围土体，填充孔隙并形成碎石桩体。整个注浆过程需要严格控制注浆压力和速度，以达到最佳的地基改良效果。注浆完成后，需要定期进行回灌浆液，补充因沉降或固化而损失的浆液，确保桩体的完整性和承载力。

在施工过程中，还需要对每一个环节进行质量监控。成孔质量的检查主要通过孔径、孔深和孔壁稳定性等参数来评估；注浆效果则通过注浆量、压力和地基土体的变化等指标进行检测。为了防止施工过程中的篡孔和浆液外溢现象，需在操作前对地基土质进行充分的调查与分析，并设置相应的防护措施。

总的来说，碎石注浆桩施工的程序和关键环节对地基承载力的提高有着重要影响，通过合理的施工工序和严密的质量控制，能够有效提升地基处理的质量，确保高速公路工程的稳定与安全。

（二）机泵配置与成孔质量的控制

在碎石注浆桩施工中，机泵配置与成孔质量的控制至关重要。机泵配置直接影响注浆效率与稳定性，决定了桩体的成型质量和地基的改良效果。应选择高效、稳定的注浆泵，以满足不同土层的注浆要求，控制灌浆压力和流速，使浆液能够均匀地扩散和渗透，包裹碎石，确保形成稳定的桩体结构。成孔质量的控制是保证桩体均匀性的核心环节^[3]。施工前需进行详尽的地质勘察，了解土层分布和地下水位情况，以便选择合适的钻孔机具和钻头，并确定合理的钻进参数。钻孔过程中应密切监控成孔深度和孔径，确保达到设计要求，防止孔壁塌陷和孔道堵塞等问题的发生。通过实施严格的工艺流程

控制和质检措施，可以有效保证成孔质量，提高地基承载力，为高速公路工程提供稳定的基础保障，合理的机泵配置和成孔质量控制，不仅提升了工程施工效率，还节约了施工成本，具有显著的经济效益和社会效益。

（三）高速公路工程中碎石注浆桩的施工方法

碎石注浆桩在高速公路工程中的施工方法是关键环节之一。根据地质条件和设计要求选取合适的施工设备和材料。钻机进场后，依据设计要求定位、放线，并按规定深度和直径进行钻孔操作。钻孔完成后，将碎石料通过专用设备送至孔内，确保填料均匀、无空隙。注浆泵将预先调配好的浆液通过注浆管，均匀注入桩孔中，使碎石料与浆液充分混合，填满孔隙，形成密实的桩体。注浆过程中，保持恒定的压力和流量，防止漏浆和冲刷。施工中要配合专业检测设备，确保成桩质量达到设计标准。施工过程需严格控制各项工序，每一环节都应记录详尽数据，以便检测和评估施工质量。通过严格的施工方法和质量控制，确保碎石注浆桩达到预期的性能要求^[4]。

三、碎石注浆桩施工问题及其防控方法

（一）碎石注浆桩施工过程中可能出现的问题

在碎石注浆桩施工过程中，存在多个潜在问题需要注意。是成桩过程中可能遇到的地质条件复杂性，一些土质较差的区域容易出现成孔坍塌现象，导致成桩质量受到影响。在碎石和注浆液的比例配置上，若不合理调控，容易导致桩体强度不足或注浆不均匀，影响最终地基改良效果。这些问题的存在可能会影响施工进度和地基处理质量，甚至引发工程隐患。

在施工过程中，还可能遇到施工设备维护不当的问题，如注浆泵和钻孔机械故障频发。这将导致施工中断，降低效率。对施工设备的例行检查和维护至关重要，必须确保设备在最佳工作状态下运行。施工现场管理不善也可能导致问题。包括但不限于施工人员操作不规范，施工记录不准确等。标准化的施工操作规程和完善的质控体系可有效预防这些问题。

注浆压力的控制也可能成为一个问题。若注浆压力过高，可能引起土层破坏，导致地下水或泥浆倒灌，反之，过低的压力则难以达到预期的注浆密实效果。不同地质条件下注浆压力的优化控制是确保施工质量的关键。实时监测注浆压力并根据地质情况进行调整显得尤为重要。通过科学的施工管理和技术手段，可以有效减少甚至避免上述问题的发生，确保碎石注浆桩施工顺利进行。

（二）预防和解决碎石注浆桩施工问题的策略

为了预防和解决碎石注浆桩施工中可能出现的问题，许多策略已被提出并在实践中验证有效。需要严格控制注浆过程中的浆液流量和压力，确保浆液均匀分布，以避免由于浆液不均导致的桩体强度不均和贯通性差的问题。使用高精度的压力控制设备和流量感应器是必不可少的，以达到这一目标。

再者，加强对施工机械的定期检查和维修，确保机

械处于最佳工作状态,避免因机械故障引发的成孔不良及注浆中断等问题。对于机泵等关键设备,应配备备用装置,以应对突发情况,保证施工连续进行。

成孔质量的控制是解决桩体倾斜和径向不均的重要手段^[6]。通过实时监测成孔过程,及时调整钻具的工作参数,确保成孔深度和孔径符合设计要求。应在施工前进行详尽的地质勘察,了解施工场地的地质特性,提前制定针对性的成孔和注浆方案。

在施工前和施工过程中,要进行多次试验桩的施工,通过试验桩的数据反馈,调整施工参数,提高施工的可靠性。施工过程中应设置巡视检验制度,及时发现并解决问题,确保工程质量稳定。为了预防地基土体中的水分影响注浆效果,可以适当采取排水措施,避免水分对浆液固化和桩体强度的影响。

以上策略如果得到有效实施,将极大地提升碎石注浆桩施工的质量和可靠性,为高速公路工程的地基处理提供有力保障。

(三) 桩施工质量的评价与保障

在桩施工质量评估方面,应依据细致的现场监测和数据分析,重点关注成孔质量、注浆质量和桩基完整性。成孔质量通过钻机操作参数、深度测量和泥浆检测进行监控,确保孔径与深度符合设计要求。注浆质量涉及浆液流量、压力和配比的精准控制,需采用先进的注浆设备和实时监测系统。桩基完整性通过声波透射法、单桩静载试验等无损检测技术进行评估,确保桩体无断裂、无缩颈、无夹泥夹层。通过这些系统化的质量评估手段,确保碎石注浆桩施工质量达标,提升地基承载力。

四、碎石注浆桩承载力提升效果与工程价值

(一) 碎石注浆桩改良后地基承载能力的提升研究

碎石注浆桩改良后的地基承载力显著提升,多项研究与工程实例验证了其有效性。碎石注浆桩通过将碎石和灌注液按比例混合注入地下形成桩体,不仅增强地基的密实度和强度,还改善了土层的物理和力学性能。实验测试和现场监测数据显示,改良后的地基承载力相比改良前提升率可达30%至50%以上,极大地提高了基础设施建设的稳固性。

注浆过程中,配比科学合理的水泥浆液和碎石材料,会在土体间隙中形成硬化体,起到“骨架”作用,使土体结构更加紧密,减少沉降和变形。地基的承载力与注浆材料质量、注浆压力、注浆量及注浆过程控制密切相关,通过优化这些因素,能够进一步提升地基的承载性能。例如,在某高速公路工程中,采用碎石注浆桩技术后,承载力从120kPa增加至180kPa,有效满足了设计要求。

施工中,通过对桩体进行现场载荷试验和静荷载试验,可以精确评估改良地基的承载能力,以确保设计参数的可靠性和施工质量。验证过程中,应注意地基沉降、桩侧摩阻力及桩端阻力的变化,这些关键指标直接

关系到整个地基改良效果。

先进的施工技术和精细管理相结合,有力地提升了碎石注浆桩改良地基的承载能力。该技术不仅适用于高速公路工程,对其他基础设施建设如桥梁、隧道、城市道路等也具有广泛的应用前景和实践价值。碎石注浆桩技术在提高地基承载能力方面的效果已得到广泛认可和应用,成为工程建设中的重要手段之一。

(二) 碎石注浆桩对工程进度和费用的影响

碎石注浆桩技术对高速公路工程的进度和费用具有重要影响。在工程进度方面,碎石注浆桩使用机械化程度高的施工设备,操作快捷且工艺相对简单,能够大幅度缩短施工时间。通过较高效率的成孔与注浆过程,可以进行多个施工点的操作,大幅提高施工速度。与传统地基处理方法相比,碎石注浆桩减少了现场的复杂度和人为干预,降低了不可预见因素干扰的可能性,从而保证了更快的工程进展。

在费用方面,碎石注浆桩技术虽然初期投资成本较高,但其整体经济效益显著。由于施工时间的减少,人工和设备的租赁成本降低,也减少了其他相关配套项目的费用。在地基处理效果方面,碎石注浆桩显著提高了地基的承载能力,减少了发生地基沉降和不均匀沉降导致的后期维护费用。从长期来看,碎石注浆桩技术对工程费用的节省效果明显。这种技术的应用有助于减少对周围环境的扰动,从而避免了因环境保护而增加的额外费用。

总体而言,碎石注浆桩技术在缩短施工周期和节省工程费用方面,展示出显著的优势,为高速公路工程施工提供了可靠的技术支持和经济保障,使得大规模基础设施建设更加高效和经济。

结束语

碎石注浆桩技术在高速公路工程中的实际应用,显著提高了地基承载力,有效提升了地基处理质量,从而加快了工程进度,节省了工程费用。通过实例表明,该技术在复杂地质条件下表现出优异的适应能力,解决了地基土质差的问题。随着施工技术的不断进步和优化,碎石注浆桩有望在更多高速公路工程中被推广应用,为未来的基础设施建设提供坚实的支持,展现出良好的应用前景与广阔的发展空间。

参考文献

- [1] 张丽娜. 碎石注浆桩施工技术在公路工程施工中的应用[J]. 科学与财富, 2019, 0(05): 231-231.
- [2] 吴晓东. 碎石注浆桩施工技术在高速公路工程施工中的运用[J]. 四川建材, 2022, 48(08): 239-240.
- [3] 王丽红, 田家昉. 公路工程碎石注浆桩施工技术[J]. 卷宗, 2020, (02): 331-331.
- [4] 王志文. 碎石注浆桩施工技术在高速公路工程运用[J]. 人民交通, 2023, (07): 0081-0083.
- [5] 赵宏阁. 公路工程碎石注浆桩施工技术探析[J]. 汽车世界, 2020, (15): 0127-0127.