

碎石挤密桩在砂土液化路基处理中的应用研究

王建海

中咨公路工程监理咨询有限公司 宁夏 银川 750001

摘要：本文围绕碎石挤密桩在砂土液化路基处理中的应用展开研究。首先阐述了砂土液化的危害及研究背景，接着详细介绍了碎石挤密桩的加固原理，包括其挤密作用、排水作用和预震作用。然后通过实际工程案例，从工程概况、地质条件、设计参数确定、施工工艺与质量控制等方面，深入分析了碎石挤密桩在砂土液化路基处理中的具体应用过程。最后对处理效果进行了评估，包括现场检测方法和处理效果分析，结果表明碎石挤密桩在砂土液化路基处理中具有良好的应用效果，能有效提高路基的稳定性和抗液化能力。同时，对碎石挤密桩在应用中存在的问题进行了探讨，并提出了相应的改进措施，为今后类似工程提供了参考。

关键词：碎石挤密桩；砂土液化；路基处理；加固原理；工程应用

1 引言

砂土液化是地震灾害中常见的一种地质现象，当饱和砂土受到地震作用时，土颗粒间的有效应力会因孔隙水压力的急剧上升而降低甚至消失，导致砂土失去抗剪强度，呈现出类似液体的状态。砂土液化会对路基、建筑物等基础设施造成严重的破坏，如路基沉陷、滑坡、建筑物倾斜或倒塌等，给人民生命财产安全带来巨大威胁。因此，对砂土液化路基进行有效处理是保障工程安全的重要环节。碎石挤密桩作为一种常用的地基处理方法，在处理砂土液化路基方面具有独特的优势。它通过在砂土中成孔并填入碎石形成桩体，利用桩体的挤密、排水和预震等作用，改善砂土的物理力学性质，提高路基的抗液化能力。近年来，随着工程建设规模的不断扩大和对工程安全要求的日益提高，碎石挤密桩在砂土液化路基处理中的应用越来越广泛，相关研究也不断深入。本文旨在通过对碎石挤密桩在砂土液化路基处理中的应用进行研究，为实际工程提供理论依据和技术支持。

2 砂土液化的危害及研究背景

2.1 砂土液化的危害

一是路基沉陷：砂土液化后，路基土体的强度急剧降低，无法承受上部结构的荷载，导致路基发生不均匀沉陷。这种沉陷会使路面出现裂缝、坑洼等病害，影响行车安全和舒适性。二是滑坡：液化后的砂土失去了抗剪强度，在重力或其他外力作用下，容易沿着软弱面发生滑动，形成滑坡。滑坡会破坏路基和周边建筑物，造成严重的经济损失和人员伤亡。三是建筑物破坏：对于靠近砂土液化区域的路基上的建筑物，地基的液化会导致建筑物基础失稳，引起建筑物的倾斜、开裂甚至倒塌。

2.2 研究背景

自20世纪以来，全球范围内发生了多次强烈地震，其中砂土液化造成的破坏屡见不鲜。例如，1964年美国阿拉斯加地震、1976年中国唐山地震、1995年日本阪神地震等，都给当地的基础设施带来了巨大的损失。这些地震灾害引起了工程界对砂土液化问题的高度重视，促使学者们开展了大量的研究工作，包括砂土液化的机理、影响因素、判别方法以及防治措施等方面。在砂土液化的防治措施中，地基处理方法是最为直接和有效的手段之一。目前，常用的地基处理方法有振冲法、强夯法、砂石桩法等。碎石挤密桩作为砂石桩法的一种，由于其施工工艺简单、成本较低、处理效果显著等优点，在砂土液化路基处理中得到了广泛的应用。然而，碎石挤密桩在不同地质条件下的应用效果和设计参数还需要进一步深入研究，以提高其应用的科学性和合理性。

3 碎石挤密桩的加固原理

3.1 挤密作用

在成孔过程中，振动或冲击作用会使桩孔周围的砂土颗粒重新排列，孔隙比减小，土体变得更加密实。随着碎石的填入和振密，桩体对周围土体产生进一步的挤压作用，使桩间土的干密度增大，内摩擦角提高，从而提高了砂土的抗剪强度和抗液化能力^[1]。挤密作用的效果与桩的间距、桩径、成孔方法以及土体的性质等因素有关。一般来说，桩间距越小、桩径越大，挤密效果越明显；对于松散的砂土，挤密作用更为显著。

3.2 排水作用

碎石挤密桩具有良好的透水性，在地震作用下，砂土中的孔隙水压力会迅速上升。此时，桩体可以作为排水通道，使孔隙水及时排出，降低孔隙水压力，从而减少土体的有效应力降低幅度，提高土体的抗液化能力。

排水作用的发挥与桩体的渗透性、桩长以及地下水的补给条件等因素有关。桩体的渗透性越好、桩长越长,排水效果越显著。

3.3 预震作用

在成桩过程中,振动或冲击作用会对桩间土产生预震效果。预震可以使砂土颗粒重新排列,使其达到更稳定的状态,同时还能提高砂土的相对密度和抗液化强度。预震作用的效果与振动频率、振幅以及振动时间等因素有关^[2]。适当的预震参数可以使砂土的抗液化性能得到明显改善。

4 应用案例: G1816 乌玛高速宁夏惠农(蒙宁界)至石嘴山段碎石挤密桩工程

4.1 项目背景

本项目为G1816乌玛高速宁夏惠农(蒙宁界)至石嘴山段建设工程,一标段路线全长20.332公里,采用四车道高速公路标准建设,设计速度100km/h,路基宽度26m。鉴于项目区域存在液化路基问题,设计采用碎石挤密桩进行处理,共计621371米,旨在通过物理挤密作用增强路基的稳定性和承载力,确保高速公路的安全运营。

4.2 工程概况与地质条件

工程概况:项目施工内容广泛,涵盖路基、桥涵、路面及防排水工程。针对液化路基,设计采用碎石挤密桩作为主要处理措施。一般路基段碎石挤密桩桩径设定为40cm,桩间距1.5m,桥头段则加密至1.4m以提高处理效果。处理深度根据液化土层深度灵活调整,确保桩长能够有效穿透液化层并达到设计要求。桩顶铺设30cm砾类土褥垫层,进一步改善路基的排水性能和整体稳定性。

地质条件:施工区域地层主要为第四系冲洪积粉土、粉质黏土、粉细砂,这些土层潮湿且可塑,土质较均匀,但液化指数IIE高达46.85,液化等级为严重,液化层深度达到15.5m,属于饱和稍密~中密细砂层。这种地质条件对路基稳定性构成严重威胁,因此采用碎石挤密桩进行加固处理显得尤为重要。

4.3 施工准备

人员准备:项目团队由经验丰富的专业人员组成,包括项目经理、项目总工、安全总监、质检工程师等关键岗位人员。项目经理负责整体协调与管理,项目总工提供技术支持与质量管理,安全总监则专注于项目安全环保工作^[3]。此外,还配备了足够的作业班组人员,确保施工任务的顺利完成。

材料准备:碎石材料选用拉僧庙东兴石料场的未风化碎石,粒径严格控制在19-50mm之间,含泥量小于5%,以确保材料质量符合设计要求。材料进场前需进行

严格检验,确保每批材料均满足质量标准。

机械准备:项目配备了振动沉管挤密桩机(DZ75KS)、装载机(ZL50C)、运输汽车、振动压路机等关键机械设备,并进行了全面的进场检验与调试,确保机械设备性能良好,能够满足施工需求。

4.4 施工工艺与流程

4.4.1 施工工艺

清表及场地平整→测量放样→布置桩位→桩机就位→锤击成孔→投料→拔管反插→成桩试验检测→碎石垫层施工。

4.4.2 关键流程细节

清表及场地平整:首先清除地表障碍物,如树木、杂草等,并回填30cm砾类土,使用压路机对地面进行碾压密实,为后续施工创造良好条件。

测量放样:根据设计图纸和坐标控制点,准确放样每个桩位,并使用白灰点做好标识,确保桩位准确无误。

桩机就位:调整桩机位置,确保桩管垂直对准桩位,使用线锤吊线检查桩管垂直度,偏差不大于1.5%。

锤击成孔与投料:边振动边下沉桩管至设计深度,按充盈系数准备碎石,边提升桩管边投料,确保碎石灌入量满足设计要求。投料过程中需及时挖除管桩带出的泥土,防止孔口泥土掉入孔内。

拔管反插:拔管过程中边振动边反插,确保碎石密实。反插深度由深到浅,总反插次数不得小于10次,以保证成桩质量。

4.5 施工注意事项

对于松软地段,需使用钢板或垫木作为垫板,确保机械设备稳定作业。施工前对机械设备进行全面检查,确保运转正常,避免因机械故障影响施工进度。碎石级配需为自然级配,粒径和含泥量需严格控制,以确保成桩质量。桩机就位后需校正桩管长度和垂直度,确保成孔质量。施工过程中需密切关注沉桩深度、制桩时间等关键参数,确保施工质量。详细记录沉桩深度、制桩时间、灌入量、反插次数等关键参数,为后续检测与验收提供依据。

4.6 检测与验收

4.6.1 原材料检测

碎石桩选用的碎石进场按批进行检测,碎石粒径为19-50mm,含泥量<5%。检验数量:同一产地、品种、规格且连续进场的碎石,每600T为一批次进行检验。

4.6.2 成桩检测

碎石桩的间距、桩径、竖直度允许偏差及检验标准应满足下表要求:

表1 质量保证措施

序号	项目	允许偏差	施工单位检查数量	检测依据/试验方法
1△	密实度(%)	贯入量100mm时的击实数大于5次	检验总桩数2%	重Ⅱ型动力触探试验
2△	桩长(m)	≥设计值	查施工记录	测绳
3	桩径(mm)	≥设计值	检验总桩数3%,且不少于5点	尺量
4	桩距(mm)	±150mm	检验总桩数3%,且不少于5点	尺量
5△	地基承载力(Kpa)	满足设计要求	检验总桩数0.1%,且不少于3处	JGJ 340-2015载荷试验
6	粒料灌入率(%)	≥设计值	/	查施工记录
7	竖直度	1.5	查施工记录	测沉管竖直度

建立完善的机械维护与保养制度确保机械设备始终处于良好状态;定期对机械设备进行检查与维修保养工作以延长使用寿命并提高施工效率。严格控制进场材料质量并建立完善材料管理制度;对不合格材料进行退货处理并追究相关责任;同时加强材料储存与运输过程中的管理防止材料受潮或污染影响使用效果。对施工人员进行详细的技术交底工作确保施工人员了解施工要点和质量标准;同时加强施工人员的培训工作提高施工技能水平以确保施工质量稳定可靠。加强施工过程中的监控力度并建立自检制度;对关键环节进行重点监控并做好记录以便后续检查与验收;同时鼓励施工人员自检互检提高施工质量意识。

5 碎石挤密桩应用中存在的问题及改进措施

5.1 存在的问题

一是施工质量控制难度较大:碎石挤密桩的施工质量受到多种因素的影响,如成孔工艺、填料质量、振密参数等。在实际施工中,难以精确控制每个环节的施工质量,可能导致部分桩体的密实度不满足设计要求,影响处理效果。二是对周边环境的影响:振动沉管法成孔过程中会产生较大的振动和噪音,对周边建筑物和居民的生活可能会造成一定的影响。特别是在城市或人口密集区域,这一问题更为突出。三是处理深度有限:对于深层砂土液化地层,碎石挤密桩的处理效果可能会受到一定限制。随着深度的增加,成孔难度增大,振密效果也会降低,难以保证深层砂土得到有效的处理。

5.2 改进措施

加强施工质量控制:建立完善的施工质量管理体系,加强对施工人员的培训和技术交底,提高施工人员的质量意识和技术水平。在施工过程中,严格按照施工工艺和质量控制标准进行操作,加强对每个环节的检验和监测,及时发现和解决问题。例如,可以采用自动化监测设备实时监测桩体的振密情况,确保桩体的密实度满足设计要求。

采取减振降噪措施:在振动沉管法成孔过程中,可

以采用减振垫、消声器等减振降噪设备,降低振动和噪音对周边环境的影响。同时,合理安排施工时间,避免在居民休息时间进行高噪音作业^[4]。此外,还可以探索采用其他成孔工艺,如长螺旋钻孔法等,减少振动和噪音的产生。

优化设计参数和施工工艺:对于深层砂土液化地层,可以通过优化设计参数和施工工艺来提高处理效果。例如,适当减小桩间距、增加桩长、采用分级振密等方法,提高深层砂土的挤密效果。同时,可以结合其他地基处理方法,如强夯法、水泥搅拌桩法等,形成复合地基处理方案,充分发挥各种方法的优势,提高路基的整体稳定性和抗液化能力。

结语

本文研究碎石挤密桩在砂土液化路基处理中的应用得出结论:碎石挤密桩凭借挤密、排水、预震作用,能有效改善砂土物理力学性质,提高其抗剪强度与抗液化能力,是有效处理方法。实际应用中,需依据地质、工程及施工条件合理确定桩径、桩间距等设计参数,并严格把控施工工艺与质量。现场检测表明其应用效果良好,处理后砂土多项性能显著改善,路基承载力与稳定性提高。不过,该技术存在施工质量控制难、影响周边环境、处理深度有限等问题,可通过加强质量控制、减振降噪、优化设计与工艺等改进。总体而言,其应用前景广阔,实际应用要综合考虑因素优化方案,未来可深入探究应用规律,开发先进技术与检测方法提供技术支持。

参考文献

[1]贺小平.碎石挤密桩技术在公路软基处理中的应用[J].交通世界,2023,(33):13-15.
[2]张力.干拌水泥碎石挤密桩技术在公路路基施工中的应用[J].交通世界,2023,(25):83-85.
[3]冯勇.公路软土地基碎石挤密桩处治技术研究[J].黑龙江交通科技,2022,45(05):53-55.
[4]赵永.淤积土地基碎石挤密桩处治分析[J].山东交通科技,2023,(02):54-55+59.