

水泥土挤密桩技术原理及工程应用探究

潘志安

中冶建工集团有限公司 四川 重庆 400000

摘要:水泥土挤密桩技术作为一种有效的地基处理方法,在工程建设中发挥着重要作用。本文探讨了水泥土挤密桩技术原理及工程应用。该技术通过沉管、灌注水泥土混合料等步骤形成桩体,与周围土体构成复合地基,提高地基承载力,减少沉降。其原理包括物理挤密、化学胶结及桩土共同作用。在工程应用中,该技术广泛用于房建工程处理软弱地基,构建复合地基,控制建筑物不均匀沉降;在交通工程中提升路基承载力,减少沉降,保障公路和铁路使用性能;在水利工程中提高堤坝地基密实度与强度,降低渗透系数,保障堤坝安全,增强水工建筑物基础承载能力和抗滑移性能,满足水利工程长期安全运行要求。

关键词:水泥土;挤密桩技术;原理;工程应用

引言

在建筑工程领域,地基处理的质量直接关乎建筑物的稳定与安全。水泥土挤密桩技术作为一种高效且实用的地基处理方法,凭借其独特的成桩原理,在改善地基性能方面展现出显著优势。该技术通过物理挤密与化学胶结的双重作用,使桩体与周围土体紧密结合,形成承载力强、稳定性高的复合地基。从房建工程到交通工程,再到水利工程,水泥土挤密桩技术均有着广泛的应用。本文将深入剖析水泥土挤密桩技术的基本概念、原理,并详细阐述其在不同工程领域的具体应用,旨在为相关工程实践提供全面且深入的理论参考。

1 水泥土挤密桩技术的基本概念

水泥土挤密桩技术作为地基处理领域的常用方法,其核心聚焦于桩体形成过程和所用材料特性。实施时,先借助特定设备,运用沉管、冲击或振动手段,依靠带有活瓣桩尖或混凝土桩尖的钢管克服土体阻力,将其沉入土中至预定深度,此沉管步骤为后续桩体形成创造了不可或缺的空间条件,是整个施工流程的基础所在。完成沉管后,向管内灌注由水泥和土按特定比例混合而成的水泥土混合料,其中水泥充当胶凝材料,土作为骨料。混合后水泥遇水发生水化反应,生成具有胶凝性的水化产物,将土颗粒胶结在一起,同时土的物理化学作用也参与其中,进一步增强了混合料的整体性,使桩体具备一定强度和刚度,能够承受上部结构传递的荷载,有效减少地基沉降。在灌注水泥土混合料过程中,边灌注边同步缓慢拔管的操作极为关键,它能确保混合料在土中连续填充,避免出现空洞或断桩现象,保证桩体的完整性和密实性,若拔管速度过快或灌注不连续,桩体内部就可能存在缺陷,进而影响其承载能力和稳定性。水泥土

挤密桩形成后,会与周围土体共同构成复合地基,这种复合地基通过桩体与土体的相互作用,有效提高了地基的承载能力,桩体承担了大部分上部结构传递的荷载,减少了土体的应力集中,同时对周围土体起到约束作用,限制了土体的侧向变形,改善了地基的变形特性^[1]。水泥土挤密桩技术因施工简便、效果显著,广泛应用于各类建筑工程的地基处理中,无论是工业建筑、民用建筑还是交通基础设施等领域,都能为建筑物的稳定安全提供坚实基础,有效解决软弱地基承载力不足、沉降过大等问题,保障建筑物的正常使用和长期安全。

2 水泥土挤密桩技术原理

2.1 成桩物理原理

成桩时,桩机通过静压或振动方式对地基土施加垂直压力,土体在挤压力作用下向四周位移,内部孔隙体积显著减小,土颗粒排列趋于紧密,地基土密度随之增大,这一挤密效应直接提升了地基承载能力,使其能有效承受上部结构传递的竖向荷载,同时降低地基压缩性,减少后期沉降变形;水泥掺入是引发土体结构改变的关键环节,天然土体具有松散或层状结构,水泥颗粒与土颗粒混合后经机械搅拌充分接触,水泥水化反应生成的胶凝物质(如水化硅酸钙、水化铝酸钙)在土颗粒间形成胶结纽带,将分散土颗粒凝聚成整体,构建出具有网状结构的水泥土复合体,该结构体系不仅增强了土体抗剪强度,还提高了其抗渗性和耐久性,使地基在复杂应力环境下保持稳定;挤密作用优化了土体初始应力状态,水泥胶结重构了土体微观结构,二者共同作用使地基承载力显著提升,经处理后的地基可形成均匀的复合地基层,有效分散上部荷载,减少差异沉降,避免因地基不均匀变形导致的结构开裂或倾斜,该技术通过物理挤密

与化学胶结的双重强化,实现了对软弱地基的加固处理,为建筑物提供稳定可靠的基础支撑,广泛应用于工业与民用建筑、交通工程及水利工程等领域。

2.2 成桩化学原理

成桩化学原理涵盖水化反应与离子交换及团粒化作用两大核心机制。在水泥成桩过程中,水泥与水混合后迅速启动水化反应,生成水化硅酸钙、水化铝酸钙等胶凝性产物,这些物质通过物理化学作用将周围土颗粒胶结为整体,并随反应深化逐渐硬化,最终形成具备特定强度的水泥土桩体,其强度发展直接取决于水化产物的生成量与胶结效率,是评价成桩质量的关键指标^[2]。与此同时,土体中的矿物质在水溶液环境下发生离子解吸与交换,水泥水化释放的钙离子作为主要交换介质,与土颗粒表面的钠离子、氢离子等发生置换,导致土颗粒表面电荷性质改变,削弱了颗粒间的静电排斥作用,促使微小土颗粒通过物理吸附与化学键合形成较大团粒结构,这种结构转变显著优化了土体微观结构,使松散土颗粒聚集为密实块体,进而大幅提升水泥土的抗压、抗剪力学性能。两种机制协同作用:水化反应提供胶结物质基础,离子交换优化固体颗粒级配,共同保障桩体硬化后具备足够的抗压强度、抗剪强度及水稳定性。工程实践中需通过精准控制水泥掺量、水灰比等参数调节反应进程,使两种作用达到动态平衡,从而确保成桩质量满足设计要求。

2.3 桩土共同作用原理

水泥土挤密桩与周边土体共同构成复合地基体系,二者通过相互作用协同承担上部结构传递的荷载。桩体由水泥与土混合固化形成,其强度和弹性模量显著高于天然土体,在荷载分配中承担主要部分:当上部荷载作用时,桩体凭借高模量特性优先受力,通过侧摩阻力和端阻力将荷载向深层土体传递,有效扩大应力扩散范围;同时,桩间土体直接承受部分荷载并提供侧向约束力,限制桩体侧向变形,形成“桩承土拱”的协同受力模式。该复合地基的力学特性呈现非线性特征,其中桩体通常承担60%—80%的竖向荷载,具体比例由桩土模量比、置换率及土体性质决定,桩间土体则通过剪切变形参与工作,应力水平控制在允许范围内;在水平荷载作用下,桩体与土体通过界面摩擦形成整体抗侧力系统,桩体提供抗弯刚度,土体提供被动土压力,共同抵抗水平位移。桩土共同作用通过三方面实现:桩体置换作用提高地基整体强度,桩侧摩阻力增强应力传递效率,土体侧向约束限制桩体变形,这种相互作用使复合地基承载特性优于单一桩体或天然地基,其沉降变形呈现“双曲线”特征,即初

期沉降由桩体压缩主导,后期沉降受土体固结影响^[3]。工程实践中需通过优化桩长、桩径、桩间距等参数调节桩土应力比,确保桩体与土体变形协调,最终实现地基承载力提升与沉降控制的双重目标。

3 水泥土挤密桩技术在工程中的应用

3.1 房建工程应用

在房建工程中,水泥土挤密桩技术是处理软弱地基与构建复合地基的重要手段。针对软弱地基承载力不足、沉降过大的问题,该技术通过机械成孔并灌注水泥土混合料形成桩体,利用桩体的高强度和高质量特性改善地基性能,桩体与周围土体经挤密作用和胶结反应形成紧密结合体,有效提升地基承载力并减少总沉降量,尤其适用于沿海软土地区、淤泥质土层等地质条件下的多层住宅及商业建筑建设。在复合地基构建中,通过科学布置桩位、控制桩间距和桩长等参数,使桩体与天然土体协同承担上部荷载:桩体主要承受竖向荷载并通过侧摩阻力向深层土体传递,同时依靠端阻力分散至下卧层;桩间土体则通过直接承压和侧向约束参与工作,形成“桩-土”协同受力体系,既发挥桩体的置换作用增强局部强度,又利用土体的应力扩散作用提高整体刚度,从而显著控制建筑物的不均匀沉降^[4]。工程实践显示,采用该技术形成的复合地基承载力特征值较天然地基可提高2—3倍,沉降量减少40%—60%,特别适用于处理深度5—15m的软弱土层,通过调整水泥掺量、成桩直径等参数可适应不同地质条件和建筑荷载需求,在多层及高层建筑基础处理中常与强夯法、排水固结法等联合使用,形成综合地基处理方案,进一步增强地基的稳定性和耐久性。

3.2 交通工程应用

公路路基长期承受车辆动态荷载,对地基强度和稳定性有严格要求。在软土地基路段,水泥土挤密桩技术利用机械成孔并灌注水泥土混合料形成桩体。桩体与周围土体通过挤密和胶结作用构建复合地基,提升路基承载力,减少竖向和差异沉降,防止地基变形引发路面裂缝、坑洼,保障公路使用性能。铁路工程对地基稳定性要求更高,需确保列车运行安全舒适。针对铁路软弱土层,该技术优化桩位、桩长、桩间距等参数,使桩体与天然土体形成复合承载体系。桩体通过侧摩阻力将上部荷载向深层传递,利用端阻力分散至下卧层。桩间土体直接承压并提供侧向约束,形成协同受力机制,提高地基强度和刚度,有效控制工后沉降和横向变形,避免轨道不平顺,确保列车平稳运行。该技术适用于5至15米深的软弱土层处理,通过调整水泥掺量、成桩直径等参数适应不同地质条件。在公路工程中,水泥土挤密桩技

术常与砂石垫层、土工格栅配合使用。砂石垫层改善排水性能，土工格栅增强整体性，提升地基处理效果。在铁路工程中，该技术多与CFG桩、管桩等形成组合地基处理方案。不同桩型优势互补，进一步提升地基承载力和变形控制能力，满足高速铁路对地基高稳定性的要求。通过综合应用，水泥土挤密桩技术在交通工程中有效解决软弱地基问题，提升工程质量和安全性，为公路和铁路的长期稳定运行提供可靠保障。

3.3 水利工程应用

水利堤坝地基须具备良好抗渗性与稳定性，采用该技术时通过机械成孔并灌注水泥土混合物形成桩体，桩体与周围土体经挤密和胶结作用形成复合地基，可有效提高堤坝地基密实度与强度，降低地基渗透系数，减少渗流通道，防止因地基渗透性过大引发堤坝渗漏、管涌等病害，保障堤坝在蓄水、泄洪等工况下的安全稳定运行；对于水工建筑物基础如水闸、泵站等，其需长期承受较大水压力及上部结构荷载，对基础承载力和抗滑稳定性要求较高，该技术通过优化桩位布置、控制桩长和桩间距等参数，使桩体与天然土体构成复合承载体系，桩体承受上部荷载并通过侧摩阻力向深层传递，利用端阻力分散到下卧层，桩间土体通过直接承压和侧向约束参与工作形成“桩-土”协同受力机制，可显著提高基础承载能力，增强抗滑移性能，避免因基础失稳导致建筑物倾斜、沉降等问题，确保水闸启闭、泵站运行等功能正常发挥^[5]。该技术适用于处理软土、粉土等地质条件下的水利工程地基，通过调整水泥掺量、成桩直径等参数可适应不同工程需求，在堤坝工程中常与防渗墙、排水减压井等配合使用，在水工建筑物基础处理中多与桩基

础、扩大基础等形成组合基础方案，通过不同处理措施优势互补进一步提升地基承载性能和抗渗能力，满足水利工程的长期安全运行要求。

结语

综上所述，水泥土挤密桩技术凭借其独特的物理挤密与化学胶结双重强化机制，在房建、交通、水利等工程领域展现出强大的地基处理能力。通过科学优化桩体参数与施工工艺，该技术不仅能有效提升地基承载力、减少沉降变形，还能显著改善地基抗渗性与稳定性，为各类工程构筑起坚实可靠的基础支撑。其广泛的适用性、灵活参数调整能力以及与其他地基处理技术的良好协同性，使其成为解决软弱地基问题的优选方案。随着工程实践的深入与技术创新的推进，水泥土挤密桩技术将持续完善，为保障工程安全、提升建设质量、推动基础设施可持续发展发挥更加重要的作用。

参考文献：

- [1]方志卓.水泥土挤密桩缩孔处理技术分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(4):074-077.
- [2]成效,王晓燕,李立凝.水泥土挤密桩在高层建筑基础施工中的应用[J].河南建材,2025(9):63-66.
- [3]杜霞,张银铂,郭文娟,孙婧.压密注浆+水泥土挤密桩在处理超深素填土地基中的应用[J].中国科技纵横,2025(14):127-130.
- [4]王超,左佃龙,侯立磊.水泥土搅拌桩在软土基坑支护中的应用技术研究[J].建筑技术开发,2025,52(6):159-161.
- [5]刘永波.水泥土挤密桩处理湿陷性黄土地基研究[J].建筑科技,2022,6(4):48-50+53.