

软土路基就地固化技术对比

郭小华

渠县公路事业发展中心, 四川省达州市, 635200;

摘要: 本文聚焦软土路基就地固化技术对比展开研究。在介绍软土路基特点及就地固化技术重要性基础上, 分析了常见的水泥固化、石灰固化、深层搅拌桩固化等技术, 从固化原理、适用范围、施工工艺、效果及成本等多方面进行对比。阐述不同技术在不同软土条件下的优劣, 为实际工程中软土路基就地固化技术的合理选择提供参考, 有助于提高软土路基处理效率与质量, 降低工程成本。

关键词: 软土路基; 就地固化技术; 技术对比; 工程应用

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 03. 006

软土路基在我国分布广泛, 其具有含水量高、孔隙比大、压缩性强、抗剪强度低等特点, 若不进行有效处理, 会导致路基沉降、失稳等问题, 严重影响工程质量和安全。软土路基就地固化技术是一种有效改善软土工程性质的方法, 通过原位添加固化剂, 使软土与固化剂发生一系列物理化学反应, 提高软土的强度和稳定性。目前, 多种就地固化技术在工程中得到应用, 但不同技术有各自的特点和适用范围。因此, 对软土路基就地固化技术进行对比分析具有重要的现实意义, 能为工程实践提供科学依据, 实现技术的优化选择。

1 软土路基的特性及就地固化技术概述

1.1 软土路基的特性

软土路基主要由淤泥、淤泥质土等组成, 其含水量通常在 30%-80%之间, 高含水量导致土颗粒间的孔隙较大, 孔隙比一般大于 1.0^[1]。这种高孔隙结构使得软土的压缩性极高, 在荷载作用下容易产生较大的沉降。同时, 软土的抗剪强度很低, 内聚力和内摩擦角较小, 使得路基的稳定性较差, 难以承受较大的上部荷载。此外, 软土的透水性弱, 排水固结时间长, 进一步增加了路基处理的难度。

1.2 就地固化技术的概念与意义

软土路基就地固化技术是指在软土原位添加固化剂, 通过搅拌等方式使固化剂与软土充分混合, 发生物理化学反应, 从而改善软土的工程性质。该技术避免了大量的土方开挖和运输, 减少了对周边环境的影响, 降低了工程成本。同时, 就地固化能够快速提高软土的强度和稳定性, 缩短工期, 适用于各种规模的软土路基处理工程。

2 常见软土路基就地固化技术分析

2.1 水泥固化技术

2.1.1 固化原理

水泥固化技术是把水泥作为固化剂掺入软土的工艺。水泥所含的硅酸三钙、硅酸二钙等矿物成分, 会与软土中的水分发生水化反应, 生成水化硅酸钙、水化铝酸钙等产物。这些水化产物填充于土颗粒孔隙间, 形成网状胶结结构, 将分散的土颗粒黏结为整体。这一过程能有效改善软土的物理力学性质, 显著提升其强度与稳定性, 使原本承载力低、易变形的软土地基具备更可靠的工程性能, 在道路、建筑等领域的地基处理中具有重要应用价值。

2.1.2 适用范围

水泥固化技术对各类软土具有较广的适用性, 尤其在淤泥质土、粉质黏土等土层中效果显著^[2]。该技术的固化成效与软土有机质含量密切相关, 当有机质含量较低时, 水泥与软土的水化反应更充分, 强度提升效果更佳。实际应用中, 水泥掺入量需依据软土物理性质(如含水率、孔隙比)及具体工程要求综合确定, 一般控制在 10%-20% 的范围内。这一比例既能保证水泥与软土充分发生胶结作用, 形成稳定的网状结构, 又可避免材料浪费, 在满足地基承载力提升需求的同时, 兼顾工程经济性, 适用于道路路基、建筑基础等软土地基处理场景。

2.1.3 施工工艺

水泥固化技术施工时, 先对场地进行平整处理, 随后依据设计标准确定水泥掺入比例与搅拌深度。选用专用搅拌设备, 将水泥粉或水泥浆与软土强制搅拌, 过程中需确保搅拌均匀, 防止出现水泥结块或局部未拌和现象, 避免影响固化效果。搅拌结束后, 对固化后的土体进行压实作业, 以增强密实度, 之后进入养护阶段, 养护时间通常不低于 7 天。在此期间, 需保证养护环境适宜, 促使水泥与软土充分发生水化反应, 形成稳定的胶结结构, 从而达到提升软土地基强度与稳定性的工程

目标。

2.2 石灰固化技术

2.2.1 固化原理

石灰固化技术主要通过石灰与软土的物理化学反应改善土体性能。石灰中的氧化钙与软土水分发生水化反应,生成氢氧化钙,随后氢氧化钙与土中活性硅、铝成分发生火山灰反应,生成水化硅酸钙、水化铝酸钙等胶凝物质,这些物质填充土颗粒孔隙并形成胶结结构。同时,石灰的加入使软土 pH 值升高,促使土颗粒表面电荷中和,引发凝聚和团聚作用,优化土体微观结构。这一系列反应协同作用,有效提升软土的强度、水稳定性和承载力,使其从松散高压缩性状态转变为具有一定承载能力的工程土体,在道路地基、堤坝建设等软基处理中发挥重要作用。

2.2.2 适用范围

石灰固化技术适用于含水量高、塑性指数大的软土类型,淤泥等黏性土尤为适用^[3]。石灰对软土中的有机质具备一定适应能力,但当有机质含量过高时,会因阻碍石灰与土颗粒的化学反应,导致固化效果下降。实际应用中,石灰掺入量需根据软土含水率、塑性指数等指标综合确定,通常控制在 6%-12% 范围内。这一比例既能保证石灰与软土充分发生水化反应和火山灰反应,生成足够胶凝物质以增强土体强度,又可避免因用量过多增加成本或引发土体膨胀等问题,使处理后的软土满足道路路基、地基处理等工程对承载力和稳定性的要求,在软土地基改良中具有较好的实用性和经济性。

2.2.3 施工工艺

石灰固化施工时,先将石灰消解为石灰粉或石灰浆,随后均匀撒布在软土表面。采用搅拌设备对石灰与软土进行充分拌和,搅拌深度需符合设计标准,确保石灰与软土在全处理深度范围内均匀混合。搅拌完成后,对土体进行压实作业,以提高密实度。进入养护阶段后,需注意保持土体一定湿度,为石灰的水化反应创造适宜环境,促使氧化钙与水充分反应生成氢氧化钙,并进一步与土中活性成分发生火山灰反应,生成胶凝物质增强土体强度。整个施工流程需严格控制各环节工艺,确保石灰固化效果,使软土性能得到有效改良,满足工程建设需求。

2.3 深层搅拌桩固化技术

2.3.1 固化原理

深层搅拌桩固化技术借助深层搅拌桩机,将水泥浆、石灰浆等固化剂与深层软土强制搅拌,通过固化剂与软土的物理化学反应,形成具备一定强度和整体性的桩体。

在这一过程中,固化剂中的活性成分与软土中的水分、矿物质充分反应,生成胶凝物质填充土颗粒孔隙,使松散软土胶结成坚实桩体。这些桩体与周围软土协同作用,共同承受上部荷载,显著提升路基的承载能力与稳定性。该技术可有效改善软土地基的力学性能,减少沉降变形,适用于道路、建筑等领域的软基处理,尤其在处理深厚软土层时优势显著,能为工程建设提供可靠的地基支撑。

2.3.2 适用范围

深层搅拌桩固化技术适用于处理深度较大的软土路基,通常处理深度可达 15-20 米,对淤泥、淤泥质土、粉土等软土层均有良好处理效果。施工时形成的桩体直径一般在 500-800mm 之间,桩间距需依据路基实际荷载大小与软土物理性质(如含水率、承载力)综合确定,确保桩体与周围土体形成有效受力体系。该技术通过深层搅拌形成的桩体具有较高强度和整体性,能显著提升软土地基的承载能力,减少沉降变形,尤其适用于深厚软土层地区的道路、建筑地基处理,可有效解决传统处理方式在深土层中的局限性,为工程建设提供可靠的地基支撑,兼具技术合理性与工程经济性。

2.3.3 施工工艺

深层搅拌桩施工前,需完成场地平整与桩位放样工作。施工时,启动深层搅拌桩机,驱动搅拌头按设计深度下沉,同时喷入水泥浆或石灰浆等固化剂。在搅拌头提升过程中,持续进行搅拌与喷浆操作,确保固化剂与深层软土充分混合,形成均匀胶结体。为保证桩体质量,通常需重复搅拌下沉与提升工序,使固化剂在全深度范围内与软土充分发生物理化学反应。施工结束后,需对桩体开展质量检测,通过载荷试验、取芯检测等手段验证桩体强度与完整性,同时做好养护工作,确保固化反应充分进行,最终形成满足设计要求的高强度桩体,为软土地基提供可靠承载支撑。

3 软土路基就地固化技术对比

3.1 固化效果对比

从强度增长方面来看,水泥固化技术在早期强度增长较快,一般在 7 天左右就能达到较高的强度,后期强度也能持续增长。石灰固化技术早期强度增长相对较慢,但随着时间的推移,强度也能有一定程度的提高。深层搅拌桩固化技术形成的桩体强度较高,能够有效提高路基的整体承载能力。在抗渗性方面,水泥固化和深层搅拌桩固化能够较好地改善软土的抗渗性能,而石灰固化的抗渗效果相对较弱。

3.2 适用范围对比

在软土处理领域,不同固化技术各有专长。水泥固

化技术适用范围广泛,能应对各类软土,但软土中过高的有机质含量会影响其固化效果。石灰固化技术则更“偏爱”含水量高、塑性指数大的软土,通过特有的物理化学反应,有效改良这类土体性能。深层搅拌桩固化技术在处理深度较大的软土路基时表现突出,尤其是面对深厚软土层,可深入地下 15-20 米,通过深层搅拌形成高强度桩体,与周围土体协同承载,在提升地基稳定性上优势显著,三者为软土地基处理提供了多样选择。

3.3 施工工艺对比

在软土地基处理技术中,水泥固化与石灰固化的施工流程相对简便。借助常规搅拌设备,将水泥或石灰等固化剂与软土充分混合,通过物理化学反应改善土体性能。相比之下,深层搅拌桩固化技术的施工工艺更为复杂。该技术需依靠专用的深层搅拌桩机,深入地下 15-20 米作业,在设备性能、操作精度上要求严格。同时,对施工人员的技术水平和操作经验也有较高标准,不仅要精准控制搅拌深度、固化剂喷入量,还要确保桩体质量均匀,以满足工程对地基承载力与稳定性的要求。

3.4 成本对比

在软土固化技术的成本层面,不同工艺差异显著^[4]。水泥固化技术的成本主要受水泥价格与掺入量影响,通常情况下,若水泥掺入比例较高,材料成本会相应上升。石灰固化技术因石灰价格相对低廉,整体成本更具经济性,尤其适合对成本敏感的工程场景。深层搅拌桩固化技术则因需使用专用设备且施工工艺复杂,前期设备投入与施工成本较高,但在处理 15-20 米的深厚软土层时,其通过深层加固形成的高强度桩体可显著减少后期沉降维护成本,从工程全周期来看综合成本更具优势,尤其适用于对地基稳定性要求高的道路、建筑项目,实现技术效果与经济投入的平衡。

4 实际工程中的技术选择建议

4.1 根据软土性质选择

在选择软土固化技术时,需依据土体特性“量体裁衣”。当软土有机质含量较低且含水量适中时,水泥固化技术是优选,其凭借水泥与土体充分的水化反应,可实现强度快速增长与理想固化效果;若遇到含水量高、塑性指数大的软土,石灰固化技术更能发挥优势,通过石灰与土体的物理化学反应,有效改善高含水率土体的结构性能;而对于处理深度较大的软土路基,深层搅拌桩固化技术更为契合,该技术借助专用设备深入土层 15-20 米进行搅拌作业,形成高强度桩体与周围土体协

同承载,显著提升深厚软土地基的稳定性,三种技术各有侧重,为不同条件的软土处理提供了精准解决方案。

4.2 根据工程要求选择

如果工程对工期要求较高,需要快速提高路基强度,水泥固化技术和深层搅拌桩固化技术更为适用^[5]。如果工程对成本控制较为严格,且软土条件适合,石灰固化技术可以考虑。同时,还要考虑工程对路基的稳定性、抗渗性等方面的要求,综合选择合适的固化技术。

5 结论与展望

5.1 结论

通过对软土路基就地固化技术的对比分析可知,不同的固化技术有各自的特点和适用范围。水泥固化技术强度增长快、适用范围广,但成本相对较高;石灰固化技术成本低,适用于特定软土条件,但固化效果和强度增长相对较慢;深层搅拌桩固化技术适用于处理深度较大的软土路基,但施工工艺复杂、成本较高。在实际工程中,应根据软土性质、工程要求等因素综合考虑,合理选择固化技术,以达到最佳的处理效果和经济效益。

5.2 展望

未来,软土路基就地固化技术将朝着更加环保、高效、智能化的方向发展。一方面,研发新型环保固化剂,减少对环境的影响,提高固化效果。另一方面,利用智能化设备和监测技术,实现施工过程的精准控制和质量实时监测,进一步提高软土路基处理的质量和效率。同时,加强不同固化技术的组合应用研究,充分发挥各种技术的优势,为软土路基处理提供更加有效的解决方案。

参考文献

- [1] 韦杰.公路施工中软土路基施工技术分析[J].运输经理世界,2023,(15):26-29.
- [2] 张志海.公路施工中的软基加固施工技术应用[J].交通世界,2020,(24):33-34.
- [3] 欧孝夺,莫鹏,江杰,等.生石灰与微生物共同固化过湿性铝尾黏土试验研究[J].岩土工程学报,2020,42(04):624-631.
- [4] 马楠,杨艳静,王鑫珏.软土固化技术综述[J].中国水运(下半月),2021,21(10):137-138.
- [5] 张志海.公路施工中的软基加固施工技术应用[J].交通世界,2020,(24):33-34.

作者简介:郭小华,出生年月:1975年7月,性别:男,民族:汉族,籍贯:四川渠县,学历:大学专科,职称:(助理工程师),研究方向:道路与桥梁(含隧道)工程。