

软土地基处理技术对比及工程应用研究

何江 331082199009116935

摘要：软土地基因含水率高、压缩性大、承载力低等特性，一直是道路、建筑等工程施工中需要重点解决的地基问题，选择适配的处理技术直接决定工程的施工质量与长期运行稳定性。本文梳理当前工程领域常用的软土地基处理技术，从技术原理、适用条件、成本、处理效果等维度开展对比分析，结合具体工程案例探讨不同技术的应用要点，为同类工程的软基处理方案选择提供参考。研究表明，不存在通用最优的软土地基处理技术，需结合工程地质条件、项目预算、工期要求等多因素进行方案适配，复合处理技术能在复杂软基工况下实现更好的技术经济效果。

关键词：软土地基；处理技术；技术对比；工程应用

一、软土地基的工程特性与处理必要性

软土一般指天然含水率高、孔隙比大、压缩性高、抗剪强度低的细颗粒土，在我国沿海沿江平原、湖沼沉积区分布广泛。根据工程勘察规范，软土的天然含水率通常大于液限，孔隙比大于 1.0，不排水抗剪强度小于 20kPa，压缩系数大于 0.5MPa⁻¹，还具有明显的流变性和触变性，在外荷载作用下容易产生持续沉降和不均匀变形。

软土地基如果未经有效处理直接开展上部结构施工，会引发一系列工程问题：一是地基承载力不足，导致上部结构开裂甚至倾覆；二是后期沉降过大，影响道路、桥梁等设施的使用功能，比如高速公路软基沉降超标会导致路面平整度下降，增加养护成本；三是不均匀沉降引发结构变形，对建筑墙体、管道管线造成破坏。因此，针对工程区域的软土特性选择合理的处理技术，是保障软土区域工程质量的核心环节。

二、常见软土地基处理技术分析

2.1 换填垫层法

换填垫层法是工程中最基础的软基处理技术，其原理是将基础范围内一定深度的软弱软土层挖除，换填强度较高、压缩性较低的碎石、砂石、灰土等稳定性材料，分层压实后形成受力垫层，提高地基承载力。该技术适用于软土层厚度不超过 3m 的浅层软基处理，施工工艺简单，不需要复杂的设备，处理后地基承载

力提升明显，成本较低。但换填法的深度受限，软土层厚度过大时挖方和换填工程量急剧增加，经济性大幅下降。

2.2 堆载预压法

堆载预压法属于排水固结类处理技术，原理是在软土层中设置竖向排水体（如塑料排水板、砂井），通过在地基表面堆载预压，迫使软土中的孔隙水慢慢排出，土体逐渐固结沉降，提高土体强度。该技术不需要大型特殊设备，材料成本较低，适用于厚度较大的饱和软黏土地基处理，尤其适合道路工程这类对沉降要求较高的线性工程。但堆载预压需要较长的预压周期，通常需要几个月到几年，会延长项目工期，同时堆载需要大量的堆料，临时征地和材料转运成本较高。

2.3 水泥粉煤灰碎石桩（CFG 桩）法

CFG 桩是一种半刚性桩体复合地基处理技术，通过机械成孔后灌注水泥、粉煤灰、碎石的混合料形成桩体，桩体与桩间土共同承受上部荷载。该技术处理后地基承载力提升幅度大，沉降变形小，适用范围广，可以处理从几米到几十米厚度的软土地基，而且桩体强度高，稳定性好，在建筑和桥梁基础处理中应用广泛。但 CFG 桩的施工成本相对较高，需要专业的成孔和灌注设备，对施工单位的技术水平要求较高。

2.4 水泥搅拌桩法

水泥搅拌桩分为湿法和干法两种，原理是利用搅拌设备将水泥浆液或水泥粉与原位软土强制搅拌，经过物理化学反应形成整体性好、强度较高的水泥土桩体，形成复合地基。水泥搅拌桩可以充分利用原位土体，不需要大量挖除换填，对周边环境扰动小，适用于淤泥、淤泥质土等软土地基处理，在城际铁路、市政道路工程中应用较多。但水泥搅拌桩的桩体强度受软土含水率影响较大，施工质量控制难度较高，对于有机质含量高的软土处理效果较差。

2.5 真空预压法

真空预压法是在堆载预压基础上发展的排水固结技术，通过在软基表面铺设密封膜，利用真空泵抽出膜下空气形成真空负压，迫使软土中的孔隙水排出，实现土体固结。该技术不需要堆载材料，节省了堆料运输和堆放成本，施工速度比堆载预压快，工期更短，对周边环境影响小，适合大面积软基处理工程。但真空预压对密封要求高，在透气性能好的砂层分布区域处理效果较差，设备投入成本较高。

三、不同软土地基处理技术对比

处理技术	适用软基厚度	承载力提升幅度	工期	施工成本	质量控制难度
换填垫层法	≤3m 浅层	中等	短	低	低
堆载预压法	≤20m	中等	长	较低	低
真空预压法	≤20m	中等	中	中等	中等
水泥搅拌桩	≤15m	较高	中	中等	较高
CFG 桩	≤30m	高	中短	高	中等

从技术适配性来看，浅层软基优先选择换填垫层法，技术简单且成本最低；大面积饱和软黏土地基，工期相对宽松时选择堆载预压法，经济性更好；工期要求紧的大面积软基可以选择真空预压法；对承载力要求高的建筑、桥梁工程，软基厚度较大时优先选择 CFG 桩；市政线性工程、对周边扰动要求高的区域适合水泥搅拌桩。当前工程领域越来越多采用复合处理技术，比如真空预压+水泥搅拌桩联合处理，既可以通过排水固结降低软土含水率，又可以通过桩体提高整体承载力，比单一技术处理效果更好。

四、工程应用案例分析

某沿海地区市政主干道工程，全长 6.2km，沿线分布有厚 4~12m 的海相沉积软土层，软土天然含水率为 48%~62%，孔隙比 1.4~1.8，天然承载力仅为 50~65kPa，设计要求路基完工后工后沉降不超过 30cm，不均匀沉降不超过 0.2%，项目总工期为 12 个月，要求软基处理工期不超过 4 个月。

项目前期对比了三种方案：方案一为堆载预压，成本约 1200 万元，但预压工期需要 8 个月，无法满足总工期要求；方案二为全段采用 CFG 桩，工期满足要求，但成本达到 3200 万元，超出项目预算；方案三为分区处理，软土层厚度小于 4m 的路段采用换填碎石垫层，厚度 4~12m 的路段采用真空预压+水泥搅拌桩复合处理，最终总造价约 1800 万元，工期约 3.5 个月，满足工期和预算要求。

施工完成后，经过 6 个月的沉降观测，路基平均沉降量为 18cm，最大沉降量为 25cm，满足设计要求。该案例表明，分区选择适配的处理技术，合理采用复合工艺，能够在技术、工期、成本之间实现平衡，取得良好的处理效果。

五、结论

软土地基处理是工程建设中的关键环节，不同处理技术各有适用条件和优缺点，工程应用中不能盲目追求高技术、高成本方案，需要结合项目的地质条件、工期要求、预算控制、环境影响等多方面因素综合选择。对于复杂软土地基，采用多种技术复合处理的方案，往往能够比单一技术获得更优的技术经济指标。未来随着工程技术发展，低能耗、短工期、环保型的软基处理技术会得到更广泛的应用，相关工艺标准和质量控制方法也需要进一步完善。

参考文献

- [1] 龚晓南. 地基处理手册[M]. 中国建筑工业出版社, 2008.
- [2] 刘海冲, 李进军. 沿海地区软土地基处理技术研究进展[J]. 岩土工程学报, 2012, 34(增刊 1): 567-571.
- [3] 王婧. 软土地基处理技术在市政道路工程中的应用对比研究[J]. 工程技术研究, 2023, 8(12): 62-64.