

公路路基软土地基施工质量控制措施应用

王亮雄

新疆生产建设兵团交通建设有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

【摘要】：软土地基是公路工程建设中常见的一种不良地基，高压缩性、低强度、长固结时间等工程性质给路基施工质量带来了持续的考验。软基处理不好，工后沉降超限、路基失稳、路面结构过早损坏等病害就不可避免会发生。本文从软土的工程特性入手，对软土地基处理施工质量控制的基本原则进行了系统的论述，针对深层处理、浅层处理、过渡段处理和监测检测等主要环节，提出了覆盖施工全过程的系统质量控制措施。文章认为软土地基施工质量控制要确立“处理方案与地质条件精准匹配、施工参数与现场反馈动态调适、工后沉降与稳定双指标协同控制”的基本思路，把质量控制由“事后检验”前移到“过程控制”，用多环节的精细化管理保证软基处理工程的长久稳定。

【关键词】：公路路基；软土地基；施工质量；软基处理；过程控制

DOI:10.12417/2811-0536.26.09.059

1 引言

软土地基是公路工程建设中普遍存在的不良地基，具有高含水率、高压缩性、低强度、敏感性等特点，在上部荷载作用下容易出现过量沉降、不均匀变形等问题，造成路面开裂、桥头跳车等病害，严重威胁公路的使用性能^[1]。我国沿海、沿江冲积平原以及湖泊周围地区软土大量存在，软基处理技术的需求也越来越高。经过长期实践已经形成了排水固结、深层搅拌桩、碎石桩和土工合成材料加筋等成熟技术，各种工法的加固机理和适用条件存在较大差异，施工质量控制要点也不尽相同^[2]。但是软土参数具有很强的变异性，施工参数很难准确地进行预设，处理效果滞后造成质量反馈不及时，隐蔽工程的特殊性又使得质量追溯无从谈起。固有的难题要求软基施工要形成系统的、精细化的质量控制思路，把控制的关口前移到每一道工序上^[3]。

2 软土地基处理施工质量控制的基本原则

2.1 地质条件精准识别

软土地基处理施工质量控制的起点就是对场地地质条件的准确把握。施工阶段的补充勘察是对设计勘察的必要补充，它的主要目的就是验证设计勘察成果，查明局部异常，并且得到施工所需要的精细化参数。施工进场后，要按照设计文件逐段检查软土层分布范围、层厚变化、底部埋深等^[4]。对勘察资料不清或者有疑虑的地段，应采取原位测试或者补充钻探等手段加以证实。软土参数的变异性在施工过程中不能被忽略——同一个场地的不同位置，软土的含水率、压缩性、灵敏度等指标会存在较大的差别，这些差别会直接导致处理方案以及施工参数是否适用。

地质条件精准识别的又一重要方面就是及时发现、应对不良地质现象。施工开挖时发现暗塘、暗浜、墓穴等隐蔽不良地质体，或者出现地下水位异常、软弱夹层分布等与设计不符的情况，应立即报告设计单位到现场核实并提出处理方案。

2.2 施工参数动态匹配

软土地基处理施工参数同地质条件之间存在着明显的现场依赖性。同一个处理技术，在相似的设计参数下，不同的场地施工参数要做出相应的调整。以水泥搅拌桩为例，水泥掺量、水灰比、搅拌次数、提升速度等施工参数应根据现场试桩结果来确定和优化，不能套用其它项目的经验值。试桩是施工参数动态匹配的主要方法，通过试桩可以检验设计参数是否合理，检验施工设备是否适用，掌握施工工艺是否可行，为大面积施工提供可靠的依据。

施工参数动态匹配的又一层次就是施工过程中实时调整。软土是非均质体，同一个场地的不同桩位、不同断面的土层情况也可能会有差别。施工时按电流表读数、钻进速度、返浆状况等即时信息来判定地层变动，适时改变施工参数。边施工、边判断、边调整的动态控制方式，体现出软基施工质量控制的特殊性，即需要施工管理及技术人员具有准确识别地层变化、合理调整施工参数的能力。

2.3 过程控制前置

软土地基处理大多属于隐蔽工程，处理效果在施工完成后短期内无法全面评定，质量缺陷一旦产生，返工处理难度大、成本高。将质量控制由“事后检验”提前到“过程控制”，这是软基施工质量管理基本思路的转变。过程控制的核心就是建立“每一道工序、

每一个环节都有明确的质量标准和控制要求”的施工管理体系，用工序质量来保证最终工程质量。

过程控制前置要求在施工组织设计阶段就确定各个工序的质量控制点、检查方法、验收标准。施工过程中每完成一道工序，就进行质量检验，检验合格后才能进入下一道工序。对关键工序、隐蔽工程要实行旁站监督，保留施工记录、影像资料，保证施工过程质量信息的完整、可追溯。施工参数或者工况条件发生变化时，应立即对质量控制方案进行调整，保证控制措施一直覆盖到当前的施工状态。

3 软土地基处理施工各环节质量控制要点

3.1 浅层处理施工质量控制

换填垫层法是浅层软土地基处理中应用最广的方法，适用于软土层厚度较小、下卧层承载力满足要求的场合。换填垫层施工质量控制重点为垫层材料质量、换填深度、压实质量三个方面。垫层材料宜采用级配良好、质地坚硬、水稳定性好、含泥量符合要求的砂砾石或碎石，超粒径颗粒应予筛除。换填深度应严格按设计文件执行，开挖到设计标高后，对基底进行检验，无软弱夹层和积水时方可进行垫层回填。

垫层回填应采用分层铺筑、逐层压实的方式。每层铺筑厚度要严格控制施工方案所规定范围内，压实遍数要通过试验段来确定。压实度检测要按规范要求逐层进行，压实度不达标的区段应立即补压或返工。垫层顶面高程、平整度控制对于后序路面结构均匀受力也十分重要，在垫层施工完成后应进行高程、平整度检测。

浅层处理的另一种方法就是土工合成材料加筋，即在软基上铺设土工格栅或者土工布来提高软基的整体稳定性。加筋材料铺设前要对基底进行整平压实，铺设时张拉平整、固定牢固。相邻幅之间搭接宽度应满足设计要求，搭接处用U形钉或者连接棒固定。加筋材料铺设之后要尽快覆盖填土，防止长时间暴露造成材料老化或者被施工机械破坏。

3.2 深层处理施工质量控制

深层水泥搅拌桩是应用最广的深层软基处理方法之一。水泥搅拌桩施工质量控制的主要环节有桩位定位、水泥浆配制、搅拌工艺和成桩质量检验。桩位放样误差要符合规范要求，施工时要经常进行桩位复核，防止桩位移幅过大。水泥浆液的水灰比、水泥掺量必须严格按照设计配合比执行，水泥浆液应搅拌均匀、随拌随用，停留时间过长或者离析的水泥浆液不得使用。

搅拌施工应按照“四搅两喷”或者“四搅四喷”的工艺标准进行，喷浆压力、搅拌头提升速度和旋转速度均应控制在设计范围内。施工过程中要实时记录电流变化曲线，异常电流一般表示地层发生变化或者搅拌头磨损，要及时分析原因并采取相应的调整措施。成桩后应做桩身完整性检测及承载力检验，检测不合格的桩位应补桩。

碎石桩、砂石桩法施工质量控制的重点是成桩直径、桩体密实度、桩间土的挤密效果。成孔深度、孔径应符合设计要求，填料应为级配良好的碎石或砂砾石，含泥量超标的材料不得使用。振冲或者沉管施工时要控制填料量及振密时间，保证桩体密实度。桩间土的挤密效果可以用标准贯入试验或者静力触探来检验，挤密效果不达标的地方要加密桩位或者调整施工参数。

3.3 排水固结施工质量控制

排水固结法是利用加快软土中孔隙水的排出，促进土体固结，从而提高地基强度的一种方法。排水固结施工质量控制重点是竖向排水体施工质量、预压荷载实施控制。塑料排水板的打设深度、间距要严格控制，打设过程中不能使排水板发生扭曲、断裂、回带。排水板搭接长度及连接质量应符合设计要求，搭接不牢、连接松脱会降低排水通道的通畅性。

预压填筑属于排水固结法施工的重要环节。堆载预压的填筑速率要按照地基土强度及孔隙水压力监测数据来掌控，加载速率过快会引发地基失稳。预压期间沉降观测、孔隙水压力监测属于控制施工质量、判断卸载时机的主要依据，要依照设计要求的频率和精度来执行。当观测数据表明地基固结度满足设计要求时，才可以卸载进入下一道工序。真空预压的密封性控制也十分重要，密封膜破损或者密封沟漏气都会使真空度降低，从而影响到预压的效果。

3.4 特殊部位处理质量控制

桥头过渡段属于软土地基处理过程中必须加以重视的特殊部位。由于桥台结构物与路堤填土之间存在刚度差异以及变形不协调的问题，桥头过渡段很容易出现差异沉降，进而造成桥头跳车的病害。过渡段软基处理应采用工后沉降要求更严格处理方案，处理范围应包括桥头两侧过渡区段。过渡段填筑材料应采用透水性好、压缩性低的材料，桥台结构物接合部应做好排水和压实处理，保证过渡段与结构物之间平顺衔接。

新旧路基拼接处也要采取相应的软基处理措施。

公路改扩建工程中路基拓宽时新旧路基之间存在差异沉降，是控制难点。拓宽部分的新建路基要实施专门的软基处理，在拼接界面处还要采取加强措施。台阶开挖宽度、坡度应满足设计要求，加筋材料要跨过拼接界面铺设，提高新旧路基整体性。

4 软基处理施工监测与质量控制体系

软土地基处理施工监测属于过程控制的重要手段。监测工作基本定位为用数据来判断状态、用趋势来预测风险、用反馈来调整施工。沉降监测、侧向位移监测、孔隙水压力监测、地下水位监测属于软基处理施工中最为基本、最为常用的监测项目。沉降监测数据是判定地基固结程度、变形稳定性的主要依据，侧向位移监测数据是控制地基稳定性的预警信号，孔隙水压力监测数据反映排水固结的进程与效果的实时状况。

施工监测同施工进度的配合关系要仔细安排。监测点的埋设应在相应的施工工序开始之前完成，并取得初始读数。加载过程中要提高监测频率来获取地基响应的峰值信息。卸载决策要依靠完整的监测数据序列来综合判定，任何一个单独的监测指标都不能成为卸载的唯一依据。当监测数据出现异常或者超出范围的时候，应该立刻启动预警程序，查明原因后采取相应的处理措施。

参考文献：

- [1] 苏齐华.软土地基处理新技术在高速公路路基施工中的应用与效果评估[J].现代装饰,2025(15).
- [2] 刘佳奇,高亮.高速公路软土路基施工控制技术与沉降预测模型研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025(7):119-121.
- [3] 陈侃.公路软土路基处理中强夯法施工技术的应用[J].汽车周刊,2024(2):0085-0087.
- [4] 赵志会.水泥土搅拌桩技术在软土地区路基处理中的应用[J].四川水泥,2025(5):252-254.

软基处理施工质量检验要在施工过程和工后两个阶段分别进行。施工过程中质量检验以工序检查为主，每一道工序完成后都要进行质量检验，检验合格后才能进入下一道工序。工后质量检验是对处理效果的综合评定，在处理完成后经过一段时间的固结沉降之后进行。工后质量检验方法和标准应根据处理方案及设计要求来定，采用原位测试、室内试验、变形观测等手段，对处理后的地基承载力、变形特性、稳定性进行综合评价，保证处理效果达到设计要求和长期使用标准。

5 结语

公路路基软土地基施工质量控制，是地质识别、参数匹配、过程控制、监测反馈四个环节组成的。从浅层换填到深层搅拌，从排水固结到特殊部位处理，每一个施工方法都有其不同的技术要求以及质量控制重点，要按照具体的地质情况和工程需求来制订相应的控制方案。软基施工质量控制所面对的特殊问题就是——处理对象是非均质的、参数是不确定的，所以预设方案很难覆盖所有的工况，而处理效果的滞后性以及隐蔽性又要求控制措施要提前到施工过程之中。解决该问题的关键就是建立施工参数随地质条件变化而变化、控制措施随施工反馈而优化的施工质量管理机制，使质量控制真正渗透到施工全过程。