

公路工程施工中软基处理技术

徐 立

宁波市交建工程监理咨询有限公司 浙江 宁波 315154

摘 要：公路工程施工中，软基处理技术是保障工程质量与安全的关键环节。常见软基处理技术包含换填法、排水固结法、深层搅拌法及强夯法等，各有其适用场景与优势。实际应用时需结合地质条件、工程要求等合理选择。注重施工工艺优化、材料创新及监测反馈控制，可有效提升软基处理效果。本文旨在探讨软基处理技术要点，为公路工程软基处理提供科学参考与实践指导。

关键词：公路工程；软基处理；技术优化

1 公路工程施工中软土地基的工程特性

1.1 高压缩性

软土地基的高压缩性是其最显著的工程特性之一。由于软土主要由细粒土组成，颗粒间空隙大，含水量高，在荷载作用下，土体中的水分和空气被挤出，土颗粒重新排列，导致土体体积显著减小，即产生压缩变形。这种压缩变形在荷载持续作用下会逐渐累积，形成较大的沉降量。在公路工程中，若软土地基未经有效处理，将导致路基沉降不均，路面出现裂缝、坑洼等病害，严重影响行车安全。

1.2 低强度

软土地基的强度低，抗剪强度和承载力均较弱。这是由于软土颗粒细小，表面能大，易吸附水分，形成结合水膜，降低了颗粒间的摩擦力和咬合力。软土的矿物成分多为粘土矿物，其胶结作用较弱，难以形成稳定的土体结构^[1]。因此在公路荷载作用下，软土地基易发生剪切破坏，导致路基失稳。为了提高软土地基的强度，通常需要采取加固措施，如换填、压实、加固桩等，以增强土体的抗剪强度和承载力。

1.3 透水性差

软土地基的透水性差，排水能力弱。由于软土颗粒细小，孔隙率低，且孔隙中充满水分，形成封闭或半封闭的孔隙系统，导致水分难以排出。在公路工程中，若软土地基排水不畅，将导致孔隙水压力增大，降低土体的有效应力，进而影响土体的强度和稳定性。长期积水还可能引起土体软化、泥化，加剧路基沉降和病害的发生。在软土地基处理中，应重视排水措施的设置，如设置排水盲沟、砂垫层等，以加速土体排水固结，提高地基的稳定性。

1.4 流变性

软土地基具有显著的流变性，即在外力作用下，土

体的变形不仅与应力大小有关，还与时间密切相关。在长期荷载作用下，软土地基会发生缓慢而持续的变形，即蠕变。这种蠕变变形在公路工程中表现为路基的长期沉降，对公路的使用性能和寿命构成威胁。为了减小软土地基的流变变形，通常需要采取预压、加固等措施，以加速土体的固结和强度增长，提高地基的长期稳定性。

2 公路工程中常见软基处理技术

在公路工程建设中，软土地基的处理是一个关键环节。软土通常具有含水量高、压缩性大、强度低等不良工程特性，若不进行妥善处理，会导致路基沉降、失稳等问题，严重影响公路的使用性能和寿命。

2.1 换填法

换填法是一种较为传统且应用广泛的软基处理方法。其基本原理是将基础底面以下一定范围内的软弱土层挖去，然后回填强度较高、压缩性较低、性能稳定的材料，如砂、碎石、灰土等，并分层夯实，形成良好的持力层，从而提高地基的承载力，减少地基沉降。换填法的适用范围较广，一般适用于浅层软土地基，处理深度通常控制在3m以内。该方法施工工艺相对简单，不需要复杂的机械设备，易于掌握和操作。在施工过程中，首先要准确确定换填的范围和深度，然后进行开挖，将挖出的软土及时运走。接着按照设计要求回填材料，每层回填厚度不宜过大，一般控制在200-300mm，采用合适的压实设备进行分层压实，确保回填材料的压实度达到设计要求。换填法的优点是处理效果显著，能迅速提高地基强度，减少沉降量。同时由于施工工艺简单，施工周期相对较短，对工程成本的控制也较为有利。

2.2 排水固结法

排水固结法是利用地基排水固结的特性，通过在地基中设置竖向排水体（如砂井、袋装砂井、塑料排水板等）和水平排水层（如砂垫层），加速地基土的排水

固结,从而提高地基的强度和稳定性,减少沉降。在排水固结法中,竖向排水体起到了缩短排水路径的作用,使地基土中的孔隙水能够更快地排出。水平排水层则为孔隙水提供了排出通道,将竖向排水体排出的水引导至地基外。在地基上施加预压荷载,使地基土在荷载作用下产生固结沉降,随着孔隙水的排出,地基土的孔隙比减小,强度逐渐提高。排水固结法适用于处理饱和软黏土地基,尤其适用于厚度较大的软土层。该方法的优点是处理效果较为可靠,能够显著提高地基的强度和稳定性,减少工后沉降。而且,通过合理设计排水系统和预压荷载,可以有效控制地基的沉降速率和沉降量^[2]。

2.3 深层搅拌法

深层搅拌法是利用水泥、石灰等材料作为固化剂,通过深层搅拌机械将固化剂和软土强制搅拌,使固化剂与软土发生一系列物理化学反应,形成具有一定强度和整体性的水泥土桩体或加固体,从而提高地基的强度和稳定性。深层搅拌法主要适用于处理淤泥、淤泥质土、粉土和含水量较高且地基承载力标准值不大于120kPa的黏性土等地基。在施工过程中,深层搅拌机械将固化剂喷入软土中,并进行充分搅拌,使固化剂与软土均匀混合。搅拌过程中,要严格控制搅拌速度、提升速度和喷浆量等参数,确保水泥土桩体的质量。深层搅拌法的优点是施工时无振动、无噪音,对周围环境影响小。形成的水泥土桩体与周围土体形成一个整体,能够有效提高地基的承载力和稳定性,减少沉降。另外,该方法可以根据地基的不同情况调整固化剂的掺入量和搅拌工艺,具有较好的适应性。

2.4 强夯法

强夯法是利用重锤自由落下的巨大夯击能和冲击波作用,对地基土进行强力夯实,使土颗粒重新排列,孔隙减小,从而提高地基的强度和压缩模量,减少沉降。强夯法适用于处理碎石土、砂土、低饱和度的粉土与黏性土、湿陷性黄土、素填土和杂填土等地基。在施工时,将重锤提升到一定高度后自由落下,对地基土进行夯击。夯击次数和夯击能根据地基土的性质和处理要求确定。一般来说,先进行点夯,再进行满夯,点夯的目的是加深加固深度,满夯的目的是使地基表面更加密实。强夯法的优点是施工速度快,处理效果显著,能够大大提高地基的承载力和稳定性。而且,强夯法设备简单,施工成本相对较低。

3 公路工程施工中软基处理技术优化与创新

3.1 施工工艺优化

施工工艺的优化是提升软基处理效果的重要途径。

传统的软基处理施工工艺可能存在效率低下、质量难以精准控制等问题。以排水固结法为例,过去在设置竖向排水体时,施工精度和效率有待提高。如今,借助先进的定位技术和自动化设备,能够更精准地确定竖向排水体的位置,提高施工效率的同时,也保证了排水体的垂直度和间距的均匀性,从而增强了排水效果。在强夯法施工中,传统的施工工艺可能无法根据地基土的实时状态进行动态调整。而现在,通过引入智能控制系统,可以根据夯击过程中的反馈数据,如夯沉量、孔隙水压力等,实时调整夯击能、夯击次数和夯击间隔时间等参数。这种动态调整的施工方式,能够使强夯法更适应不同性质的地基土,提高加固效果,减少因施工参数不合理导致的质量问题。另外,对于换填法施工,优化后的工艺注重分层回填和压实的精细化操作。采用先进的压实设备,结合合理的压实工艺参数,确保每一层回填材料的压实度都能达到设计要求。在开挖和回填过程中,利用数字化测量技术实时监控开挖深度和回填高度,保证施工的准确性。

3.2 材料创新

材料创新为软基处理技术带来了新的突破。在软基处理中,传统的材料可能存在性能不足、耐久性差等问题。现在,研发出了高性能的复合固化剂,这种固化剂不仅具有更高的强度,还能改善水泥土的耐久性和抗腐蚀性。通过添加特殊的添加剂,能够有效提高水泥土桩体在恶劣环境下的性能,延长其使用寿命。在排水固结法中,新型排水材料的应用也显著提高了排水效果^[3]。传统的砂井和塑料排水板在某些情况下排水能力有限。而新型的排水材料,如具有高导水率的纤维排水带,能够更快速地将地基土中的孔隙水排出,缩短固结时间。一些新型的高分子材料也被应用于软基处理中,如用于地基加固的土工合成材料,具有高强度、低延伸率等特点,能够有效增强地基的稳定性和承载能力。材料创新还体现在环保型材料的应用上。在软基处理中,采用可降解或可回收的材料,能够减少对环境的污染。材料创新为软基处理技术提供了更多的选择,能够满足不同工程的需求,同时推动公路工程向绿色、可持续方向发展。

3.3 监测与反馈控制

监测与反馈控制是确保软基处理效果的关键环节。在软基处理施工过程中,通过实时监测地基土的变形、孔隙水压力、应力等参数,能够及时了解地基土的状态变化,为施工决策提供依据。当监测数据出现异常时,能够及时调整施工参数,如加快或减慢排水速度、调整预压荷载等,以保证地基土的固结效果。利用先进的传

传感器技术和数据采集系统,能够实现监测数据的自动化采集和传输。施工人员可以通过手机、电脑等终端设备实时查看监测数据,及时发现问题并采取措施。建立反馈控制模型,根据监测数据对软基处理效果进行预测和评估。如果预测结果显示地基土的强度或稳定性达不到设计要求,可以提前采取补救措施,如增加加固措施、调整施工方案等,监测与反馈控制还能够为后续的工程设计和施工提供宝贵的经验数据。

4 软基处理施工质量控制与监测

4.1 施工质量控制要点软基处理施工质量控制是保障公路工程质量的基石,需贯穿施工全过程。施工准备阶段,地质勘察工作要全面精准。借助钻探、原位测试等手段,掌握软土层的分布范围、厚度、含水量、压缩性等关键参数,为方案设计提供可靠依据。严格把控施工材料质量,换填法中的砂、碎石,需检测颗粒级配、含泥量等指标;水泥、石灰等固化剂,要检查强度等级、安定性等性能,防止不合格材料进场。根据施工工艺要求,选择合适设备并充分调试试运行,确保设备性能稳定。施工过程中,不同方法有不同的控制重点。换填法施工时,严格控制换填材料分层厚度,一般不超过300mm,采用合适压实设备按规定压实遍数压实,保证每层压实度达标,同时注意换填材料与周边土体衔接,避免脱节影响地基整体性。排水固结法施工时,竖向排水体施工质量是关键,要保证砂井、塑料排水板等垂直度、间距和深度符合设计要求,插入时控制施工速度和垂直度偏差,防止排水不畅或排水体损坏。施加预压荷载按方案逐步加载,并实时监测地基沉降和孔隙水压力变化,及时调整加载速率,确保地基稳定固结。深层搅拌法施工中,准确计算水泥浆配合比,保证水泥掺入量,喷浆量均匀连续,搅拌速度适中,使水泥与软土充分搅拌形成强度达标的水泥土桩体。强夯法施工时,合理确定夯击能,根据试夯结果确定夯击次数,避免过度或不足,夯击间隔时间不少于7天,保证地基土有足够固结时间。

4.2 监测与评估方法

在软基处理施工过程中,监测与评估是及时发现问题的、调整施工方案的重要手段。常用的监测方法包括沉降观测、孔隙水压力监测、水平位移监测等。沉降观测通过在地基表面设置沉降观测点,定期测量地基的沉

降量,了解地基的沉降发展情况。孔隙水压力监测可以实时掌握地基土中孔隙水压力的变化,判断地基的固结状态。水平位移监测则用于监测地基土体的水平移动情况,防止地基失稳。评估方法主要基于监测数据进行分析^[4]。通过对沉降量、孔隙水压力、水平位移等数据的整理和分析,绘制变化曲线,判断地基的变形趋势和稳定性。同时将监测数据与设计要求进行对比,评估软基处理效果是否达到预期目标。如果监测数据出现异常,应及时分析原因,采取相应的措施进行调整。

4.3 风险控制措施

在施工前,要进行全面的风险评估,识别可能存在的风险因素,如地质条件变化、施工设备故障、材料质量问题等,并制定相应的应急预案。在施工过程中,加强现场管理和监督,确保施工人员严格按照施工规范和操作规程进行施工。定期对施工设备进行检查和维护,保证设备的正常运行。加强对施工材料的检验和检测,杜绝不合格材料的使用。建立风险预警机制,根据监测数据和现场情况,及时发出风险预警信号。一旦出现风险事件,立即启动应急预案,采取有效的措施进行处理,将损失降到最低。通过全面的风险控制措施,确保软基处理施工的安全和质量。

结束语

综上所述,公路工程施工中的软基处理技术意义重大且复杂多样。不同的处理技术有其独特的作用和适用范围,在实际工程中需精准选用。随着科技的进步,软基处理技术也在不断创新与优化。未来,应持续探索更高效、环保、经济的软基处理方法,加强施工质量控制与监测,确保公路工程的稳定性和耐久性。唯有如此,才能推动公路工程事业蓬勃发展,为社会创造更优质的交通基础设施。

参考文献

- [1]吴鑫煌.软基处理施工技术在公路工程施工中的应用研究[J].运输经理世界,2023(33):13-15.
- [2]黄小荣.公路工程软基处理绿色施工技术的改进及应用[J].工程与建设,2023,37(6):1734-1736+1747.
- [3]李国华.公路工程施工中的软基处理施工技术应用研究[J].运输经理世界,2023(27):7-9.
- [4]赵鹏.水泥搅拌桩在高速公路软基处理中的应用及工后沉降预测[J].交通世界,2022(32):88-90.