

铁路路基地基处理施工技术与质量控制研究

胡列海

中国水利水电第七工程局有限公司

摘要：在铁路工程中，路基地基处理是一项重点任务，也是整个工程的基础。在不同地质条件下，路基地基的处理要求各有不同，应当结合其特性选择合适的处理方法，并做好质量控制工作，才能构建承载力强、稳定性好的优质路基地基。基于此，本文首先介绍了铁路路基地基处理常用的施工技术，并探讨了施工质量控制的重点和方法，希望能够给相关单位和人员提供一定的参考。

关键词：铁路路基地基；处理施工技术；加固技术；质量控制

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.20.062

引言

在进行铁路施工时，要做好路基地基的处理工作，从而提升整体的承载力，避免铁路投入使用后出现过度沉降、形变等问题。我国幅员辽阔，不同的地区地质条件各有不同，面对多种复杂地形，要合理选择路基地基处理技术，做好地基处理和质量控制工作，确保其强度、密实性、稳定性符合要求，为铁路工程开展奠定有力基础。

一、铁路路基地基处理施工技术

（一）堆载预压技术

铁路路基地基处理的核心在于控制沉降，从而避免路基地基形变。因此可以采用堆载预压技术进行处理，即对路基地基提前施加设计荷载量使地基完成沉降，排出土层中多余的水分和空气，降低工后地基变形的可能性，提升铁路工程整体的稳定性和强度。这项技术广泛应用在软土层等地质结构中，具有操作便捷、成本低廉、材料易得等优势，但堆载预压技术的施工耗时比较长（需要等待预压荷载逐渐生效），工程量大，对于工期管理较为不利，因此当前堆载预压技术的应用越来越少，反之由此衍生的一些技术的应用则越来越多，其中最为典型的当属排水固结法。

排水固结法的技术构成主要分为两部分，即加压系统以及排水系统，二者需要联合应用，缺一不可。总体来看，排水固结法的原理是通过加压的方式来排出土层中的水分，使其固结以提升强度^[1]。因此在实际施工中，需要在合适位置布设排水系统（如竖向排水井等），然后对土层进行加压排水。根据加压方式的差异，排水固结法大致可以分为两个类型：一是真空法，即先铺设砂垫层，然后利用真空泵等机械设备对砂垫层

进行真空排气处理，在负压的作用下，土层中的水分将会被排出，土壤结构更加紧密，承载力更强；二是常压法，在地基周边布设排水井，并在地基上施加荷载，让水分随着排水系统排出^[2]。

（二）振密处理技术

沉降量较大的土层往往具有空隙大、流动性强等特征，振密处理技术的核心原理在于压实土层空隙，提升地基密度，从而达到提高承载力，减少地基沉降的目的。根据操作方法和机械设备的差异，振密处理技术又分为原位压实法、强夯法等多种。

1. 原位压实法

原位压实法采用的是压路机等机械设备，对铁路路基地基进行反复地碾压压实，以达到压缩土层空隙的目的。该技术的优势在于机械操作简便、成本投入较低，但主要适用于范围较小、土层厚度不大、土层位置较高的区域，否则施工效果不显著，工期也比较长。

随着技术的不断优化，在原位压实法的基础上又衍生出了连续压实技术，即将利用振动压路机进行连续的动态压实，以达到减少空隙率、提升密实度的目的。在实际施工中，需要采用专门的连续压实设备，并配备传感器等实时监控装置，以便对土壤的强度、密实度等数据进行精准监测，从而根据设计方案和工程需要对压实的力度和速度进行实时的控制和调整。该技术的优势在于实现了施工操作和质量控制的同步进行，不仅有效保障了施工作业的可靠性，更提升了施工的连续性和效率^[3]。一旦施工过程中出现了薄弱环节（如地基压实情况与设计方案不匹配），监测设备能够实时监测到这一情况，并提示施工人员及时对该区域进行补充碾压。在正式施工之前，需要组织开展试验压实，对轻、中、重度压实区域进行碾压方案的测试，从而确定最佳碾压次数。

2. 强夯法

强夯法是路基地基处理的常用方法，即采用重锤等设备借助自由落体所带来的势能对地面进行夯击，以达到密实土层的目的。强夯法的优势在于设备简单、操作便捷、加固效果明显，但在施工过程中可能会出现较为明显的噪声污染，不适用于噪声控制要求高的区域。因此在强夯法的基础上，出现了冲击压实技术。该技术的基本原理是连续性的轻型压实，即利用冲击压实机对土层进行低频率、大振幅的压实处理，让材料在短时间内内达到较高的密度和强度。冲击压实技术具有穿透力强、

压实效果好、连续性强的优点,适用范围广泛,尤其适合在大面积土层地基中应用,有效解决了噪声污染问题。冲击压实机的压实力主要来源于两方面,一是机械设备的自重,二是滚动时产生的冲击力,能够在短时间内释放大量的动能和势能,实现良好的压实效果。

(三) 粉喷桩处理技术

粉喷桩处理技术是一种利用粉体状固化剂对土层进行深层搅拌以达到加固地基目的的一种技术,常用于含水量较高的黏性土质,如淤泥、粉土等等。常用的固化剂主要为水泥、石灰等材料,将其加入到软土层中,并利用搅拌机进行搅拌,二者会产生理化反应,使土层硬结以达到施工要求的强度和稳定性。

在施工之前需要进行工艺试验,确认工艺参数和设计参数符合要求后方可正式施工。施工所使用的机械设备应当符合喷粉均匀、成桩完整等要求。正式施工时,首先要做好粉喷桩定位工作,严格依据设计图纸进行定位并做好标记,误差应当控制在5cm以内。其次要做好机具移位工作,钻头要正对粉喷桩位置标记处,垂直停放并测量垂直度,误差角度不可超过1%。确认无误后方可钻进至设计标高。然后启动送灰机喷粉,边喷边搅拌边抬钻,让土层与粉体状固化物均匀混合。最后进行复搅和复喷操作,确保深度符合设计要求,复搅完成后方可关闭器械。成桩应当具有连续性,如果出现暂停施工情况时,复工后要要进行长度超过50cm的接桩;如果暂停超过3小时,则不可继续接桩,而是要在原位旁进行补桩施工^[4]。

(四) CFG 桩处理技术

混凝土类桩(即CFG桩)是利用水泥、粉煤灰、碎石等材料,通过成桩机械制作而成的高黏结、高强度桩体,能够借助桩间土、褥垫层的承载作用传递和分担路基地基的荷载。该技术能够形成复合地基,且在施工时不需要另外配筋,因此具有承载效果好、经济性强等优势。此外,CFG桩在施工时还能够起到一定的排水作用,能够有效排出土层中的水分,提升土体强度。

CFG桩的施工方式一般分为三种:第一,利用长螺旋钻孔机和灌注设备直接将混合料灌注成桩,具有施工快捷、稳定性强等优势,但噪声较大、设备维护难度高;第二,利用长螺旋管内泵料CFG钻机灌注成桩,具有施工效率高、成桩质量高、噪声污染较低等优势,但也存在设备要求高、成本高昂等不足;第三,利用震动沉管桩机灌注成桩,具有施工便捷、造价相对低廉等优势,但施工过程中噪声污染较为严重,成桩过程中受到地质等多种因素的干扰,质量稳定性相对较弱。不同施工方式所适用的环境各有差异,应当结合铁路工程路基地基的实际情况合理选择。在应用该技术时需要考虑外部环境因素,由于温度对浆料的影响较大,冬季施工时

要确保料口温度在5℃以上,并且需要对桩头和桩间土实施一定的保温措施,如覆盖保温、热管保温等^[5]。

(五) 高压喷射注浆技术

高压喷射注浆技术是在化学注浆法的基础上演变而来的新型路基地基处理技术,其原理是利用钻机进行钻孔(孔径为3-5cm),然后将注浆管设置在设计位置上,通过高压注浆设备将材料以高压喷射的方式喷出,在高压喷射的冲击下,土体会与浆液进行混合,待凝固后能够形成具有良好承载力和防水止渗效果的复合地基。高压喷射注浆技术的优势包括适用范围广、加固效果好、材料获取便利、环保性能良好等等。

在实际施工时,要做好机械设备的参数控制工作,并设计好浆液材料的配比;注浆管进入钻孔之前,要进行试喷,确保压力、流量符合设计要求;施工时要严格控制浆液喷射密度、回浆量等参数,并做好数据记录工作;喷射注浆时要密切观察设备,一旦发生异常情况要及时进行处理。例如当回浆量过大(超过喷射量的20%)时,要加大喷射压力,并提高提升速度;注浆结束后要进行质量检查,通常在28天后进行,检查内容包括渗透系数、抗压强度等。

(六) 置换法

通过置换形成复合地基是路基地基常用的一种施工方法,将部分土体用强度、稳定性更好的材料进行置换,以提升地基承载力,减少沉降。这一方法施工流程较为简单,但适用范围比较小,一般适用于小面积、土层厚度不高的地基。如果土层厚度过大,采用物理置换法的成本会比较高昂,施工周期也会有所延长。根据施工方式的差异,置换法分为多种形式:第一,局部置换,即挖除一部分软土层,或用打桩的方式将部分土层挤开,然后用性能较好的材料进行填充,已达到提升承载力的目的。第二,整体置换,对于面积和深度都符合要求,平面范围良好的地基,可以采用整体挖除、整体置换的方式进行处理。第三,动力置换,这是一种置换法与强夯法相结合的地基处理方法,即将性能较好的材料通过重锤等设备进行直接夯击,使其逐渐形成上层较为稳固、承载量强的地基^[6]。动力置换进一步细分又能够分为桩式置换和整式置换两种形式,置换材料均采用的是碎石等大强度材料,桩式置换是有间隔地将碎石夯入地基中,形成碎石桩或碎石墩,以发挥复合地基的作用;而整式置换则是将碎石整个夯入地基中,其作用原理类似于更换土垫层。

二、铁路路基地基处理施工技术的质量控制措施

(一) 做好施工材料和机械设备的控制和管理

在进行铁路路基地基处理时,需要使用多种施工材料和机械设备,这是质量控制的一大要点。在材料方面,需要正确选择施工材料并进行适当的预处理,从而

保证其符合施工要求。不同地质条件和土体类型所适用的施工材料是不同的,例如在软土地基中,需要采用强度高、加固效果好的材料;而在砂质地基中,施工材料则应当具备良好的排水渗透性能。材料采购后应当进行进场前的抽样检验工作,对于质量不符合要求的,必须禁止进场。材料的预处理与所选择的路基地基处理技术和工艺要求有密切关系,例如在采用高压喷射注浆技术时,要做好浆液的配比设计工作,结合地基处理的强度要求,对水泥浆液进行合理配比,并添加适当的外加剂。浆液的水灰比通常为1:1,如果浆液中加入粉煤灰等材料时,要保证水泥占比超过30%;浆液需要连续搅拌,时间不得少于3分钟。此外,对于水泥、砂石等施工材料,还要关注其存储条件,做好防水防潮措施,避免造成施工材料变性等问题^[7]。

在机械设备方面,要做好机械设备的选工作,严格选取符合施工工艺技术要求及设备,并做好参数设置工作。在日常工作中,要对机械设备进行养护管理,定期检查设备工况,对其中存在的故障问题及时维修,磨损、损坏的零部件及时更换。在施工操作时,要确保施工人员持证上岗,并依照机械设备的操作规范进行操作,时刻关注设备情况,一旦出现异常状况,要及时停工检查。

(二) 做好现场施工流程的监督和管理

对施工过程进行细致的监督和管理能够确保每个环节都符合施工要求,避免施工中出现不合规现象,影响整个工程的质量。施工现场的监管内容复杂,难度较高,需要施工单位、监理单位充分发挥自身的职责使命,严格遵循相关法律法规和工艺技术规范的要求,对施工人员的作业、施工材料的使用和机械设备的操作进行全过程、精细化管理。

例如在进行路基填筑时,要对施工材料的质量和和使用方法、填筑的厚度和均匀性以及压实流程的操作进行严格监督;在进行关键环节施工时,如地基加固环节、排水系统设置环节等等,要进行定期技术检验,对土体压实度、排水系统功能进行检查,确保其符合技术要求后方可进行后续施工。

此外,管理部门还要对环境条件和安全生产进行监督和管理,一方面,要对施工活动造成的环境影响进行实时监测,包括噪声污染、粉尘污染等等,避免施工活动超出了环保要求;另一方面,要加强安全管理,对施工人员进行安全教育,全面杜绝风险性施工行为,降低安全事故的发生概率。

(三) 做好施工质量控制体系的完善工作

要提升管理效能,确保质量控制工作的有序开展,要加快构建施工质量控制体系。第一,要制定科学有效的管理制度,明确各项工作的责任人、工作规范要求和

奖惩措施,充分调动各方主体的责任意识,共同推动质量控制工作的有序开展。管理部门要明确管理工作的具体内容、关键节点,构建质量控制管理框架,避免出现管理真空现象。第二,要制定质量评估指标,以便科学地反映施工结果的可靠性。具体而言,铁路路基地基处理的施工质量指标主要包括以下方面:一是平整度,需测算表面的高低差是否符合技术规范;二是强度,即路基地基的承载能力;三是排水性能,需评估周边积水情况,避免积水造成路面下陷;四是防护性能,分析路基防护层的完整性和实际性能,是否能够抵御自然、气候等因素的侵蚀等等^[8]。第三,要明确质量控制方法。在项目前期需要制定质量控制方案,明确质量控制目标、标准、检查流程、责任人等等。然后在施工过程中,根据不同施工技术的工艺规范制定施工工作质量检查的频次、测试方法、测试工具等等。为了确保检查结果的可靠性,应当引进现代化的检查工具,如激光扫描仪、光电测量仪等等,确保路基地基工程检查结果具备精准性,值得信赖。

结语

铁路路基地基工程是整个铁路工程的基础和关键,要确保其稳定性和可靠性,避免由于工程质量问题影响整个铁路系统的安全运行。因此在特殊的地质条件下,要对铁路路基地基开展处理工作,增强土体的密实度和承载力,避免出现沉降等问题。要结合工程要求和地质条件,合理选择路基地基处理技术,并做好质量控制工作,从而最大程度提升路基地基的可靠性,保障铁路系统运行。

参考文献

- [1]牛长松.真空联合堆载预压排水固结法在软土路基处治中的应用[J].设备管理与维修,2023,(08):136-138.
- [2]马文锋.直排式真空预压在地基处理中的应用[J].工程技术研究,2023,8(23):206-208.
- [3]赵玉生.高速铁路路基湿陷性黄土地基处理技术研究[J].运输经理世界,2023,(23):148-150.
- [4]于德忠.岩土工程中的地基处理与加固技术研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(03):133-135.
- [5]郝果.铁路路基施工中地基下沉问题的解决对策[J].居舍,2021,(10):38-39.
- [6]苏蓉,孙桂华.软土地基工程勘察与处理技术探究[J].四川水泥,2023,(10):77-79.
- [7]姚昊宇.土壤固化剂在铁路路基地基处理中的应用探讨[J].化工管理,2022,(11):165-168.
- [8]成警万,石振.铁路路基地基处理施工技术与质控分析[J].运输经理世界,2021,(26):7-9.