

软弱土层地铁车辆段路基地基加固技术

刘宝光

天津市地下铁道集团有限公司

摘要: 地铁车辆段路基地基加固是地铁建设中不可或缺的一环,特别是在软弱土层地区,地基加固技术显得尤为关键。本文旨在深入探讨软弱土层地铁车辆段路基地基加固技术的原理、方法及技术,通过分析为相关工程实践提供理论支撑和实践指导。

关键词: 软弱土层; 地铁车辆段; 路基地基; 加固技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.18.063

引言

随着城市化进程的加速,地铁作为现代城市交通的重要组成部分,其建设规模日益扩大。然而,地铁建设往往面临着复杂的地质条件,特别是在软弱土层地区,地基加固成为确保地铁车辆段路基稳定和行车安全的重要技术。因此,研究软弱土层地铁车辆段路基地基加固技术具有重要的现实意义和工程价值。

一、地基加固技术的原理

地基加固技术,旨在通过一系列工程措施,改善地基的物理力学性质,提高地基的承载力和稳定性,确保上部结构的安全与稳定,这一技术的核心在于对地基土层进行针对性的加固处理,使其适应并满足工程结构的承载需求。地基加固技术的原理,可以概括为对地基土层的力学性质进行改善与提升,在实际工程中,地基土层往往存在各种不足,如承载力低、压缩性高、透水性差等,这些问题可能导致地基的沉降、变形,甚至破坏,从而威胁上部结构的安全。因此,地基加固技术的首要任务,就是针对这些问题,采取有效的措施进行改善。改善地基土层力学性质的方法多种多样,包括增加土层的密实度、改变土层的颗粒组成、提高土层的内聚力等,这些方法旨在通过改变土层的物理状态和结构,增强其抵抗外力的能力,例如,通过压实或振动等方法,可以使土层颗粒重新排列,形成更紧密的结构,从而提高土层的密实度和承载力。除了改善土层的力学性质外,地基加固技术还需要考虑土层的渗透性和稳定性等因素,渗透性的改善有助于加速地基的排水固结过程,减少水分对地基稳定性的影响,而稳定性的提升则需要通过增强土层的整体性和连续性来实现,以防止地基在外力作用下发生破坏。在实际应用中,地基加固技术的选择应根据具体工程的地质条件、结构要求和施工条件等因素进行综合考虑,不同的加固方法各有其适用范围和优缺点,需要根据实际情况进行选择和调整,同时,地基加固技术的实施还需要遵循一定的施工规范和标准,确保施工质量和安全^[1]。

二、地基加固技术的分类

(一) 物理加固法

物理加固法主要利用物理原理改变地基土层的结构或性质,其中,换填法是一种常见的物理加固方法,通过挖除地基中的软弱土层,并换填为强度更高、稳定性更好的材料,如砂、碎石或灰土等,从而提高地基的承载能力,此外,振密挤实法也是物理加固法的一种,通过振动或冲击作用,使地基土层颗粒重新排列,变得更加紧密,从而提高地基的密实度和强度。

(二) 化学加固法

化学加固法则是通过向地基中加入化学材料,改善土层的力学性质,注浆法是一种常见的化学加固方法,通过在地基中注入浆液,填充土层中的空隙,与土层发生化学反应,形成坚固的结构体,从而提高地基的承载力和稳定性,此外,还有使用高分子材料、水泥等材料进行地基加固的化学方法,这些材料能够与地基土层发生化学反应,形成稳定的结构,增强地基的承载能力。

(三) 机械加固法

机械加固法则是利用机械设备对地基进行加固处理,桩基法是一种常见的机械加固方法,通过在地基中打入或浇筑桩体,将上部结构的荷载传递到深层地基或岩层中,从而提高地基的承载能力,此外,还有使用预应力锚索、土钉等机械设备进行地基加固的方法,这些方法能够增加地基的稳定性,防止地基的变形和破坏。

三、软弱土层地质特性及其对地铁车辆段路基的影响

(一) 软弱土层对地铁车辆段路基稳定性的威胁

软弱土层的地质特性对地铁车辆段路基的稳定性构成了显著威胁,由于软弱土层的强度低、压缩性高,其承载能力远远低于坚实土层。在地铁车辆段的建设过程中,路基需要承受来自列车运行的巨大荷载,当路基建设在软弱土层之上时,这种荷载很容易导致软弱土层发生压缩变形,进而引发路基的沉降和不均匀沉降,这种沉降不仅会影响地铁线路的平整度,还可能导致轨道几何尺寸的改变,对列车的安全运行构成严重威胁。此外,软弱土层的稳定性也易受到外部环境因素的影响,例如,地下水位的变化、降雨等因素都可能导致软弱土层的物理性质发生变化,进一步降低其稳定性,这种变化可能使原本已经稳定的路基结构出现新的沉降或变形,增加了地铁车辆段运营的风险。

(二) 软弱土层对地铁车辆段路基排水性能的影响

软弱土层的渗透性通常较差,这意味着水分在其中的运移速度较慢,对于地铁车辆段路基来说,排水性能

的好坏直接关系到路基的稳定性和安全性，当路基建设在软弱土层上时，由于软弱土层的渗透性差，雨水或其他来源的水分很容易在路基内部积聚，形成积水，长期积水不仅会导致路基材料的软化、强度降低，还可能引发路基的局部破坏，如冲刷、淘空等现象。此外，积水还可能对地铁车辆段的电气设备和轨道设施造成腐蚀和损坏，进一步增加运营风险。

（三）软弱土层对地铁车辆段路基施工难度的影响

由于软弱土层的工程性质较差，地铁车辆段路基的施工难度会相应增加，在施工过程中，为了保证路基的稳定性和承载能力，可能需要对软弱土层进行特殊处理，如换填、加固等，这些处理措施不仅增加了施工成本，还可能延长施工周期。此外，软弱土层的存在还可能对施工机械和设备造成不利影响，如陷入、打滑等现象，进一步影响施工效率和质量^[2]。

（四）软弱土层对地铁车辆段路基长期安全运营的潜在影响

除了上述直接影响外，软弱土层还可能对地铁车辆段路基的长期安全运营产生潜在影响，由于软弱土层的物理性质和化学性质可能随时间和环境条件的变化而发生变化，这种变化可能导致原本已经稳定的路基结构出现新的安全隐患，例如，长期运营过程中列车的反复荷载可能导致软弱土层的疲劳破坏；地下水位的变化可能引发软弱土层的膨胀或收缩；环境温度的变化可能导致软弱土层中的水分迁移和冻融循环等，这些潜在影响可能逐渐累积并最终导致路基结构的破坏和失效，对地铁车辆段的长期安全运营构成严重威胁。

四、软弱土层地铁车辆段路基地基加固技术的具体应用

（一）换填法应用

换填法是通过挖除地基中的软弱土层，并换填以强度高、稳定性好的材料，从而提高地基的整体性能，这一方法不仅能够显著提高地基的承载力，减少地基的沉降和变形，还能有效改善地基的排水性能，确保地铁车辆段的安全运行。在实际应用中，换填法的施工步骤通常包括以下几个方面：首先，需要对软弱土层进行详细的勘察和评估，确定换填的范围和深度，这一过程需要借助地质勘探等手段，对地基的土层分布、厚度、物理力学性质等进行全面了解。其次，根据勘察结果，制定合理的换填方案，包括换填材料的选择、换填厚度的确定等，换填材料应满足强度高、稳定性好、排水性能优良等要求，常用的材料包括碎石、砂土、灰土等。接下来，按照设计方案进行开挖，清除软弱土层。在开挖过程中，应注意保护周围环境和结构，避免对其造成损害，开挖完成后，便可以进行换填材料的填筑。填筑过程中，应保证材料的均匀性和密实性，避免出现空隙或不均匀沉降。最后，对换填后的地基进行压实和检测，确保其达到设计要求的承载力和稳定性。值得注意的

是，换填法的应用虽然具有显著的效果，但也存在一定的局限性和挑战。首先，换填法的施工周期较长，成本相对较高，因此需要综合考虑工程的经济性和时间要求。其次，换填法的施工质量和效果受到多种因素的影响，如换填材料的性质、施工过程中的质量控制等。因此，在实际应用中，需要严格控制施工质量，确保换填效果达到预期目标。

（二）排水固结法应用

排水固结法是通过设置排水系统，加速地基土层的固结过程，从而改善地基的性能，在软弱土层中，土颗粒间往往含有较多的水分，导致地基的承载力和稳定性降低，排水固结法通过排水设施将多余的水分排出，使土颗粒重新排列，达到更加紧密的状态，进而提高地基的强度和稳定性。在实际应用中，排水固结法的施工步骤通常包括以下几个方面：首先，需要对地基进行详细的勘察和分析，确定软弱土层的分布范围、厚度以及物理力学性质。这一步骤对于制定合适的加固方案至关重要。其次，根据勘察结果，在地基中设置排水系统。这通常包括在地基中布置砂井、塑料排水板等排水设施，以便有效地将多余水分排出。同时，还需设置预压荷载，通过施加一定的压力，加速土层的固结过程。在施工过程中，排水固结法的质量控制同样关键，一方面，需要确保排水设施的安装质量和间距符合设计要求，以保证排水效果的最大化，另一方面，还需对预压荷载的大小和施加方式进行精确控制，避免对地基造成过大的扰动或破坏。值得注意的是，排水固结法的应用虽然效果显著，但也存在一定的局限性和适用条件，例如，在地下水位较高或土层渗透性较差的情况下，排水固结法的效果可能会受到一定影响，因此，在选择该方法时，需要综合考虑地质条件、工程要求以及经济成本等因素。

（三）桩基法应用

桩基法通过在地基中设置桩体，将上部结构的荷载传递到深层地基中，从而提高地基的承载力和稳定性，在软弱土层中，由于土层的承载力和稳定性较差，难以直接承受上部结构的荷载，因此需要采用桩基法进行加固。在实际应用中，桩基法的施工步骤通常包括以下几个方面：首先，需要对地基进行详细的勘察和分析，确定软弱土层的分布范围、厚度以及物理力学性质，以便制定合理的桩基布置方案。其次，根据设计方案，选择合适的桩型和桩径，并确定桩体的长度和间距。然后，通过打桩或钻孔等方式将桩体安装到预定位置，确保桩体的垂直度和稳定性。最后，对桩体进行质量检测，确保其满足设计要求。桩基法的应用具有诸多优点，首先，它能够显著提高地基的承载力和稳定性，有效减少地基的沉降和变形。其次，桩基法能够适应不同地质条件和工程要求，具有较强的灵活性和适应性。此外，桩基法还具有施工周期短、成本相对较低等优势，因此在

地铁车辆段路基地基加固中得到了广泛应用。

（四）砂垫层法应用

砂垫层法的应用主要基于其良好的透水性和承载能力，通过在软弱土层上方铺设一层砂垫层，可以有效地将上部荷载分散到更广泛的区域，从而减小软弱土层的应力集中现象，同时，砂垫层的高透水性有助于地基内部水分的排出，加速土层的固结过程，提高地基的整体稳定性。在实际应用中，砂垫层法的施工流程相对简单，首先，需要对地基表面进行清理和平整，确保无杂物和凸起，然后，按照设计要求选择合适的砂料，通常选用质地坚硬、粒径均匀的砂子作为垫层材料，接下来，通过机械或人工方式将砂料均匀铺设在地基表面，形成一定厚度的砂垫层，在铺设过程中，需要严格控制砂垫层的厚度和均匀性，确保其能够充分发挥分散荷载和排水的作用。砂垫层法的应用不仅能够有效提高地基的承载能力，还能够降低地基沉降的风险，通过分散荷载，砂垫层能够减小软弱土层的压力，从而减少地基的沉降量，同时，砂垫层的透水性有助于地基内部水分的排出，进一步减少因水分积累而引起地基沉降。此外，砂垫层法还具有施工周期短、成本相对较低的优势，由于砂垫层法的施工流程相对简单，所需材料和设备也较为常见，因此其施工周期通常较短，能够满足地铁车辆段建设的工期要求，同时，砂垫层法的成本也相对较低，有助于降低工程总体造价。需要注意的是，在应用砂垫层法时，需要充分考虑地基的实际情况和工程要求，对于不同厚度和性质的软弱土层，需要制定相应的施工方案和措施，以确保加固效果达到预期目标，同时，在施工过程中需要严格控制施工质量，确保砂垫层的铺设质量和均匀性，避免出现局部沉降或破坏现象^[3]。

（五）强夯法应用

强夯法是利用重锤的自由落体运动对地基进行高能量的夯击，从而压缩土体，排出土体中的空气和水分，增加土体的密实度，提高地基的承载力和稳定性，该方法具有施工简单、周期短、成本相对较低的优点，特别适用于处理大面积、深厚软弱土层的地基加固。在实际应用中，强夯法的施工流程通常包括以下几个步骤：首先，对地基进行详细的勘察和分析，确定软弱土层的分布范围、厚度以及物理力学性质，为制定合适的强夯方案提供依据。其次，根据勘察结果，选择合适的夯击能量和夯击遍数，确保夯击效果达到设计要求。然后，按照预定的夯击顺序和间距进行夯击施工，注意控制夯击点的布置和夯击能量的分配，避免对地基造成过大的扰动。最后，对夯击后的地基进行质量检测，确保其承载力和稳定性满足工程要求。为了充分发挥强夯法的加固效果，通常需要与其他地基加固技术结合使用，例如，在处理深厚软弱土层时，可以采用强夯法与砂垫层法或

桩基法相结合的综合加固方案，首先，通过砂垫层法或桩基法提高地基的整体稳定性和承载力，然后再利用强夯法对地基进行进一步的加固处理，这样不仅可以提高加固效果，还可以降低工程成本，实现更好的经济效益。

（六）灌浆法应用

灌浆法通过向地基中注入特制的浆液，利用浆液的扩散、渗透和填充作用，实现对软弱土层的加固，其基本原理在于浆液能够与土壤颗粒紧密结合，形成稳定的土体结构，从而提高地基的承载力和稳定性，这种加固方法不仅适用于浅层地基处理，还能有效应对深层软弱土层的加固问题。在实际应用中，灌浆法的施工流程严谨且高效。首先，需要对地基进行详细的勘察，确定软弱土层的分布范围、厚度及物理力学性质，为后续的灌浆施工提供准确的数据支持，接着，根据勘察结果，制定合适的灌浆方案，包括浆液的配比、注浆压力、注浆速度等关键参数。在灌浆施工过程中，钻孔和注浆是两个核心环节，钻孔需要精确控制孔位和孔径，确保浆液能够顺利注入预定位置，注浆时，需严格控制注浆压力和速度，避免对地基造成过大的扰动，同时，还需注意浆液的均匀扩散和充分填充，确保加固效果达到最佳。然而，灌浆法的应用也需要注意一些问题，首先，浆液的配比和性能对加固效果具有重要影响，需要根据实际情况进行精确计算和调配。其次，在注浆过程中，需要严格控制注浆压力和速度，避免对地基造成过大的扰动或破坏。此外，灌浆施工完成后，还需要对地基进行充分的养护和监测，确保加固效果达到预期目标。

结语

通过对软弱土层地铁车辆段路基地基加固技术的研究，可以得出以下结论：首先，地基加固技术是确保地铁车辆段路基稳定和行车安全的关键技术；其次，根据地质条件和工程要求选择合适的加固技术至关重要；最后，加固效果的评估与优化是确保工程质量和降低成本的关键环节。展望未来，随着科技的不断进步和工程实践的不断积累，地基加固技术将不断创新和完善。未来的研究可以进一步探索新型加固材料和技术方法，提高加固效果和降低工程成本；同时，加强地基加固技术的标准化和规范化研究，推动地铁车辆段路基地基加固技术的持续发展。

参考文献

- [1] 余炎挺. PHC桩在软弱土层地铁车辆段地基加固中的应用[J]. 建筑安全, 2022, 37(08): 13-16.
- [2] 赵光营. 软弱土层地铁车辆段路基地基加固技术[J]. 中华建设, 2022, (06): 106-108.
- [3] 张晓晓. 控制下覆软夹层地铁车辆段地基的不均匀沉降措施研究[D]. 北京交通大学, 2012, 65(8): 87-90.