

立体空间下地铁施工对桥梁桩基的影响研究

张 遥

哈尔滨地铁集团有限公司 黑龙江 哈尔滨 150000

摘 要：地铁工程施工时，处于立体空间下因为土层的结构变化及土体位移，使得桥梁桩基出现附加位移、弯矩以及变形等现象，进而影响桥梁的整体稳定性。为提升桥梁桩基稳定，从桩基的承载机理、变形模式入手，针对桥梁桩基受力情况进行深入分析，同时详细解析地铁施工对桥梁桩基产生的具体影响。在此基础上，采用隔断墙技术、土体加固技术以及桩基托换等多项技术进行有效控制，以期降低地铁施工对桥梁桩基造成的不利影响，保障桥梁的安全运行。

关键词：地铁施工；桥梁桩基；土层结构变化；土体位移；隔断墙技术；土体加固技术；桩基托换

引言

现代城市化发展速度加快，地铁工程建设数量逐步增多，已经成为现代城市重要交通基础设施。而在地铁线路规划施工的过程中，往往需要穿越城市繁华地带，存在穿越或紧邻桥梁桩基施工的复杂情况。桥梁为城市交通网络体系中核心组成部分，其结构的安全性、稳定性对道路交通通行水平提升有积极作用。而在地铁施工中如果需要穿越桥梁桩基位置必然产生较大影响，这就需要采取合理施工措施才能保证地铁施工顺利完成，且不会给桥梁桩基运营造成任何影响。基于此，深入研究立体空间下地铁施工对桥梁桩基的影响，并采取合理有效的应对措施提高施工效果，也能保证桥梁工程运营的安全性。

1 桥梁桩基受力分析

1.1 桩基的承载机理

桥梁桩基的承载机制构成了一个既复杂又精细的体系，其核心在于桩体与周遭土体间的相互作用。桩基主要通过两种方式来传导并分散来自上部结构的荷载：一是端承力，二是侧摩阻力。端承力指的是桩端直接将荷载传递至下方的坚硬土层或岩层，这要求桩端需深入至足够稳固的持力层中，以确保能够承载大部分荷载，同时避免产生过度的沉降。相比之下，侧摩阻力则是桩身侧面与土体接触时所产生的摩擦力，这种摩擦力随着桩身的深入而逐渐累积，为桩身提供了额外的支撑力量。桥梁桩基在设计中，其承载机制主要通过端撑和侧摩阻双重作用。通过分析地质条件、桩型、桩径、桩长以及施工方法确定适宜施工措施，以提高结构稳定性。同时，桩基承载机制分析时还会受到时间效应的影响。随着桩基承受荷载逐步增大，土体之间的相互作用力也会

发生变化，进而影响桩基结构承载力。因此，桥梁桩基设计与施工中需分析地质条件、荷载特性、时间效应等多方面因素，掌握桩基承载机制再确定适宜施工方案以提高桥梁桩基的安全性、稳定性^[1]。

1.2 桩基的变形模式

桥梁桩基的变形模式描述了在承受荷载时，桩体形状与尺寸所发生的变化，这些变形模式主要包括轴向变形、横向变形以及扭转变形三大类。具体而言，轴向变形指的是桩体在垂直方向荷载作用下产生的压缩或伸长形变，这一变形直接影响桥梁结构的垂直位移和整体稳定性。而横向变形，则是在水平荷载或土体侧向压力作用下，桩体发生的弯曲形变，这种形变可能会引发桩身裂纹、倾斜乃至断裂，从而对桥梁结构的安全性构成重大影响。至于扭转变形，则是桩体在扭矩作用下产生的扭转变形，这种形变常见于桥梁结构受到非均匀荷载或如风力等外部作用。

2 地铁施工对桥梁桩基的影响

2.1 地铁开挖导致桥梁桩基变形、位移

地铁施工过程中开挖作业持续进行，对周边土体产生挤压、卸载的双重作用，必然造成土体应力场发生变化。而应力场发生变化后将其传输到桥梁桩基结构上，受到额外荷载与变形影响导致结构损坏。地铁开挖时产生土体位移以及形变给桥梁桩基造成过大影响，容易出现弯曲、倾斜、水平位移的变形情况。这些变形情况造成桥梁桩基原有形态发生改变，也会导致桥梁桩基力学性能、承载力发生变化。对于地质条件复杂或者软土条件下，地铁开挖施工对桥梁桩基影响更加严重，因为软土地基强度低、压缩性强，容易发生流变与固结，所以在地铁开挖施工时变形、位移严重。此外，地铁开挖施工时产生振动、冲击波给桥梁桩基施加额外动态荷载造成其变形、位移^[2]。

作者简介：张遥，1977.7，吉林，汉族，硕士研究生，建筑工程，高级工程师

2.2 地铁施工导致承台沉降

地铁施工周期较长,各个工序施工时土体开挖和地层扰动必然给桥梁承台造成影响,进而引发沉降现象。承台为桥梁工程中必不可少的组成部分,主要作用是支撑上部结构,并将荷载传输到下部桩基中。但是地铁施工阶段造成土体位移以及形变,导致承台下部土体发生变形,整体性下降,承载力不足。如果承台下部受到地铁开挖的挤压或卸载作用容易发生固结反应,进而导致承台下部沉降,最终引发承台整体沉降反应。除此之外,地铁施工过程中,特别是开挖阶段产生振动效应,也会给承台施加动态荷载导致其沉降速度加快。沉降发生后导致整个桥梁结构的稳定性、安全性无法达到标准,也会对桥梁上部结构耐久性、舒适性造成不利影响。同时,复杂地质条件或者软土地基施工时,承台沉降问题更加严重,这是因为这些地质条件极易出现流变与固结造成沉降问题加剧,对整个桥梁的运营效果造成影响。

2.3 地铁施工导致桥梁桩基变形

地铁隧道掘进施工过程中土体挖掘和地层卸载造成原有的土体应力平衡发生改变,进而导致周边土体发生位移、形变反应。土体的位移与形变一般通过土地和桥梁装置之间相互作用而传递到桩基上,进而导致桥梁桩基发生严重变形现象。地铁施工过程中发生的土体位移极易造成桥梁桩基发生变化,比较常见的是水平位移、垂直沉降以及倾斜等变形问题。上述变形造成桩基结构几何形态发生改变,还会导致桩基力学性能变化、承载力不足。此外,地铁施工中振动不可避免,这也会给桥梁桩基产生变形反应。地铁开挖时振动的存在导致桩身和土地之间相互作用力,使桩身出现振动摇摆的动态响应而引发桩身变形加剧,也会出现桩体结构裂缝、断裂。如果地铁施工时地质条件比较复杂,或者处于软土地区,其土体抗剪强度、承载力相对较差,在地铁施工阶段振动效应更加明显,造成桥梁桩基变形加剧。

3 立体空间下地铁施工对桥梁桩基影响的控制技术

3.1 隔断墙技术

在地铁施工的立体空间环境中,为了有效减轻对桥梁桩基的潜在影响,采用了隔断墙技术进行施工干预。施工前的准备阶段主要包括对地铁隧道与桥梁桩基相对位置的精确勘察,以及基于这些勘察结果来确定隔断墙的具体布局和尺寸。同时,根据详尽的地质勘察报告,会选择最适合的隔断墙材料和施工方法。在实践中,隔断墙常采用的形式有高压旋喷桩和密排灌注桩等,这些形式被证明能够有效地阻断地铁施工引起的振动和位移对桥梁桩基的影响。按照工艺方案开展隔断墙施工,主

要选择使用高压旋喷桩施工方式。在高压旋喷桩施工中,根据工艺方案确定高压设备,将水泥浆等固化材料直接注入到预定土层结构内,通过喷射作用形成强度较高的固化体,进而使隔断墙的结构强度以及稳定性提高。隔断墙施工时为提高结构强度、质量以及稳定性,需加强注浆压力、注浆速度、注浆量控制,并根据现场实际情况作出调整。按照以往工程经验,在注浆施工时压力通常为20~30MPa,注浆速度则保持在合理范围内,使注浆材料能够均匀分布以提高固化效果。此外,注浆量控制极为关键,需考虑到土层特性、隔断墙设计方案进而使隔断墙的性能达到技术标准^[1]。

3.2 土体加固技术

在施工开始之初,首先将搅拌机的搅拌头精确放置在施工区域的中心位置,紧接着启动电动机,随即展开预搅下沉作业。搅拌头持续向下推进,直至触及事先依据地质勘察报告和桥梁桩基布局精心设定的深度,此深度旨在最大化加固效果。抵达预定深度后,轻微提升搅拌头,为接下来的水泥浆制备阶段做好准备。水泥浆的配制是土体加固流程中的核心步骤。依据预设的配比,严谨地将水泥与水混合,该配比通常介于0.45至0.55之间,具体数值需根据施工区域土层的物理特性和化学成分灵活调整。一旦水泥浆制备完成,它便通过搅拌机的中心管道被均匀注入软土之中。与此同时,搅拌头启动,一边喷射水泥浆,一边进行搅拌,并同步提升,直至完全离开地面,这一过程才算圆满结束。为能确保泥浆与土体紧密融合、提高加固施工效果,需将搅拌头重新下沉到规定深度范围内并重复搅拌、喷浆、提升操作。通过上述搅拌操作反复循环进而形成连续且均匀的水泥土桩或石灰土桩。该环节中搅拌头施工时其升降的速度精准控制,通常保持在0.5~1.0m/min之间,从而确保水泥浆和土体能够有效融合,且防止对周边土体造成过大的扰动影响。

3.3 桩基托换

第一,根据地质勘察结果以及桥梁荷载情况,精准确定托换桩的位置、数量以及规格尺寸。托换桩施工时主要选择钻孔灌注桩方式,其直径为600~1200mm之间,具体参数值结合桥梁荷载、地质条件等调整。钻孔施工时深度需穿越软弱地层,并深入到稳定地层内规定深度,从而确保托换桩的承载力合格^[4]。第二,施工结束后开展桩顶处理工作,需保证其桩顶表面具备平整性,并且和托换梁、承台紧密连接,提高连接的强度以及稳定性。开展托换梁以及承台的安装作业,主要采用高强度螺栓连接或者焊接连接等方式,确保托换桩能够紧密连接形成整体。基于此,整个托换结构施工完成,初步形

成托换结构体系,但并未承受荷载。第三,采用千斤顶等装置作为顶升体系,逐步施加荷载道托换结构上。同时,监控桥梁结构变形和沉降情况,并且严格控制顶进作业速度,以免对桥梁结构产生过大的冲击或损坏导致结构性性能下降。荷载转移的比例控制极为关键,需综合桥梁结构运行情况、监测参数调整,确保所有荷载能够安全、平稳的转移到托换结构上。荷载全部转移到托换结构后进行混凝土浇筑施工,确保托换梁或承台与桥梁结构紧密连接,达到牢固、可靠的效果组合形成稳定性较强的受力体系。上述工作结束后,桩基已经被托换桩全部取代,所有荷载由托换结构承担。

3.4 补偿沉降

补偿沉降技术应用的过程中需精准预测、精细化调整,并且保证新托换桩和原结构基础沉降差异有效控制,确保荷载平稳传递以提高支撑结构的稳定性。现场施工阶段补偿沉降技术应用时加强精度检测控制,确保各项数据精准进而提高桥梁桩基的强度和稳定性。补偿沉降技术应用时做好各项准备工作,加强地质勘察,分析桥梁结构形式和承载力参数,再通过先进的计算机软件进行新托换桩沉降预期值的科学评估分析。评估过程中综合分析土层压缩性、桩深刚度性能以及荷载分布情况,进而保证其评估结果具备准确性、可靠性。对于软土地质条件来说,需精准计算分析新托换桩沉降量,使其处于50~100mm之间^[5]。

补偿沉降施工过程中,根据施工方案选择使用预压加载施工技术,并对新托换桩加载测试分析,从而模拟分析实际荷载条件下沉降响应。通过精准计算预压荷载参数以及持续时间,精准计算沉降预期值并结合沉降情况做出调整。通过该方式使沉降控制具备较高精准性,也能保证后续荷载平稳转移以达到沉降稳定的效果。随着荷载逐步向新托换桩转移,现场施工时采用精准性较强的监测设备掌握桥梁结构和托换桩的沉降状况,并且达到持续、精准观测的目的。通过对各项监测数据的分析,明确沉降速率、沉降总量以及沉降分布的不均匀性,使其各项参数在安全阈值范围内,从而提高补偿沉降施工效果,也能确保桥梁结构的整体可靠性和稳定性。

3.5 新型注浆工艺

新型注浆工艺在桩基托换及地基加固等工程项目中依据地质勘察报告的具体内容与工程项目的实际需求,施工团队会精确地规划注浆孔的位置、确定其深度和间距。以软土地基加固为例,注浆孔通常需要穿透软弱土层,深入稳定层至少5米,而孔间距则依据浆液的预期扩散半径来设定,通常保持在1.5米至2.0米之间,以确保

浆液能够有效扩散并充分加固周边的土体。紧接着,施工团队会采用先进的钻孔设备,以每分钟大约30转至50转的速度稳健地进行钻孔作业,以确保所钻孔径能够符合注浆的严格要求。钻孔作业完成后,随即进行清孔处理,这一步骤旨在彻底清除孔内的各类杂质,为后续的注浆作业奠定坚实的质量基础。根据现场施工需求,施工技术人员分析现场情况确定适宜的注浆材料,并加强配比控制以提高材料的性能。在注浆过程中选用超高压喷射注浆施工方式,将喷射注浆压力设定为20~40MPa之间,确保浆液能够深入到土体内部达到土体有效固化的目的。注浆作业开始后现场材料供应充足,达到连续注浆施工的标准,注浆速度设置为5~10L/min,从而确保注浆施工效果合格。

注浆施工结束后立即进入到封口工序,防止外部杂质进入到注浆孔内而给注浆施工效果造成不利影响。注浆施工过程中加强现场监测分析,掌握各项数据并且对注浆效果做出精准化评估以便形成完善的检测记录,也能够提高注浆效果。现场施工效果检查中,以钻检查孔方法比较常见,其数量应超过注浆孔总数的5%,从而确保注浆加固施工后期达到预期效果。

4 结语

当地铁建设项目在立体复杂的空间环境中推进时,会运用到诸如盾构掘进技术、爆破施工工艺以及注浆强化手段等一系列复杂且精细的施工技术和方法,这些施工活动所引发的振动效应、水土压力的动态变化以及地下水位的起伏波动等因素,均有可能对毗邻的桥梁桩基产生不同程度的干扰和影响。桩基,作为桥梁结构体系中至关重要的承重构件,其稳固性与承载能力直接关乎桥梁整体的安危。因此,详尽地探讨地铁施工活动对桥梁桩基产生的具体影响,并探索行之有效的应对策略以减轻这些影响,不仅在理论研究层面具有深远的意义,在工程实践领域同样展现出极高的价值。

参考文献

- [1]唐鹏.紧邻既有地铁高架桥梁深基坑施工开挖方案研究[J].公路与汽运,2020,(02):136-140+166.
- [2]周国强,杨高伟,奚灵智.软土地区地铁盾构区间的桥梁稳定性研究[J].工程技术研究,2020,5(24):34-36.
- [3]孙国凯.地铁施工近接既有市政桥梁基础影响效应分析[J].安徽建筑,2024,31(08):147-150.
- [4]王高飞.对新建异型桥梁承台桩基托换受力的分析[J].价值工程,2022,41(31):135-137.
- [5]吴佩.盾构隧道下穿城市桥梁桩基托换技术施工与监测[J].运输经理世界,2022,(23):71-74.