

复杂地质条件下公路桥梁桩基施工稳定性研究

黄军¹, 安顺波²

1. 浙江交工集团股份有限公司, 浙江 杭州 311305

2. 浙江交工宏途交通建设有限公司, 浙江 杭州 311305

DOI: 10.61369/ME.2026020022

摘 要 : 公路桥梁桩基是桥梁结构主要受力部分, 直接影响整个桥梁的安全性和耐久性, 在复杂地质条件下进行桩基施工容易出现不稳定情况甚至发生事故。本文基于公路桥梁施工实际情况, 避免空泛的理论论述以及大量数据罗列, 针对软土地基、岩溶区、砂卵石地层等常见复杂地质类型探讨其对桩基施工稳定性的影响并给出切实可行的施工控制对策, 解决施工过程中易发生的塌孔、缩颈、桩身质量问题等问题, 为在复杂地质环境下开展公路桥梁桩基作业提供借鉴, 确保工程顺利实施及质量达标。

关 键 词 : 复杂地质; 公路桥梁; 桩基施工; 稳定性; 施工控制

Research on the Stability of Highway Bridge Pile Foundations under Complex Geological Conditions

Huang Jun¹, An Shunbo²

1. Zhejiang Jiaogong Group Co., Ltd. Hangzhou, Zhejiang 311305

2. Zhejiang Jiaogong Hongtu Transportation Construction Co., Ltd. Hangzhou, Zhejiang 311305

Abstract : The pile foundation of highway bridges is the main load-bearing part of the bridge structure, directly affecting the safety and durability of the entire bridge. In complex geological conditions, the construction of pile foundations is prone to instability and even accidents. Based on the actual situation of highway bridge construction, this paper avoids abstract theoretical discussions and extensive data listing. It focuses on the influence of common complex geological types such as soft soil foundation, karst area, and sandy conglomerate stratum on the stability of pile foundation construction and provides practical and feasible construction control countermeasures to solve problems such as hole collapse, necking, and quality issues of the pile body that occur during construction. It provides a reference for conducting pile foundation operations of highway bridges in complex geological environments, ensuring the smooth implementation of the project and meeting the quality standards.

Keywords : complex geology; highway bridge; pile foundation construction; stability; construction control

引言

随着我国公路桥梁建设逐步向山区、河谷、沿海等地发展, 越来越多的工程项目面临复杂的地质条件进行施工。桩基施工作为桥梁建设的基础环节, 在施工过程中受到地质条件的影响较大, 在复杂地质条件下, 由于岩土体性质变化大以及不良地质现象频繁发生而容易引发桩基施工中出现孔壁坍塌、桩身变形、混凝土灌注缺陷等问题, 不但会影响施工进度而且会留下安全隐患, 严重的会导致桩基报废、工程返工造成人力和物力上的浪费^[1]。因此有必要对复杂地质条件下公路桥梁桩基施工稳定性开展研究, 找到影响稳定性的主要因素并提出有效的控制措施, 针对施工现场的具体情况进行处理以提高工程质量及保证施工安全, 这也是目前公路桥梁施工亟待解决的问题。

一、复杂地质条件的主要类型及对桩基施工稳定性的影响

复杂地质条件是岩土体性质不均、不良地质发育造成桩基施工困难大、稳定性差的一种地质情况, 在公路桥梁建设中出现较多的复杂地质有软土地基、岩溶地区以及砂卵石地层等, 还有如膨胀土、冻土等特殊地质, 各种不同的地质类型对桩基施工稳定

性的不利影响程度也不同, 下面分别进行说明:

(一) 软土地基对桩基施工稳定性的影响

软土地基在公路桥梁建设中较为常见, 在沿海及河谷冲积地区尤为突出, 其主要特征为土质松散、含水量较大、抗剪强度较低以及较大的沉降量和较差的整体稳定性等。对于桩基施工造成的影响主要有以下几点: 一方面是在成孔阶段易发生塌孔、缩径等问题, 由于软土本身的承载能力较弱, 在钻进过程中如果操作

不当或泥浆护壁措施不到位,则很容易造成孔壁坍塌的现象发生,特别是当钻速过快时更为常见;另一方面是成桩之后容易出现下沉与桩身弯曲的情况,软土地基受到桩基载荷的作用会产生长期蠕变而产生较大的沉降量,从而引起桩头下沉过大或者不均匀下沉的问题,进而降低桩基的承载能力,严重情况下还会导致桩身折断,危及整个桥体的安全性。另外,在进行软土地基施工的过程中,桩机设备也极易陷入其中,造成桩位偏移,给后续工作带来不利影响^[2]。

(二) 岩溶地区对桩基施工稳定性的影响

岩溶地层主要位于山地丘陵地带,其显著特点是地下有溶洞、溶沟、溶槽等现象发生,在此基础上基岩高低起伏较大给桩基施工造成很大困难。一方面钻孔过程中容易产生漏浆、塌孔问题,溶洞内部大多为空洞或者被松散土质填充,当钻头碰到溶洞时泥浆迅速流失使得孔内水位骤降,孔壁失去泥浆保护而坍塌,停工处理;如果遇到大体积溶洞并且未进行预先探测的话还会造成桩身悬空,达不到设计承载能力的要求。另一方面嵌岩桩基施工难度高,由于岩溶地区基岩高低不平,桩基嵌入岩层长度不易把握,而且溶洞周围岩石风化严重,桩底与岩层之间难以良好结合从而降低桩基端承力作用效果,同时钻孔作业中易出现卡钻、埋钻等情况,对整个工程的安全性以及工期进度都带来不利影响。

(三) 砂卵石地层对桩基施工稳定性的影响

砂卵石地层主要位于河岸及山前冲积扇等地质环境中,其特征为粒径较大、强度较高以及透水性较好,在桩基施工中对成孔以及混凝土灌注两方面造成较大的影响。在成孔过程中由于砂卵石硬度大,一般钻头难以将其破碎,钻速较低,而且容易发生孔壁坍塌现象,因砂卵石地层具有良好的透水性能,泥浆护壁不易形成有效泥皮,孔壁土体易受到地下水侵蚀而产生塌孔;另外,砂卵石颗粒间存在较大间隙,在钻孔时易产生大量孔底沉渣,如果清孔不到位,则会降低桩端承载能力。在混凝土浇筑过程中,由于砂卵石地层透水性强,混凝土浇筑过程中易出现浆液流失,导致桩身出现蜂窝、麻面、断桩等问题,影响桩身完整性和稳定性^[3]。

(四) 其他复杂地质对桩基施工稳定性的影响

除了以上三种常见的复杂地层之外,还有像膨胀土、冻土这样的特殊地层也会对桩基施工造成不利影响。膨胀土地层遇水膨胀、失水收缩,会对桩身施加较大的水平推力,使桩体发生弯曲甚至断裂;而冻土地层由于受到低温作用而硬化,在温度升高融化之后其承载能力会突然降低,从而引起桩基下沉过大,此外,在冻结期间土壤体积增大也会给桩身带来挤压效应,解冻时土壤体积缩小还会造成桩周土体松散,不利于发挥桩侧摩阻力的作用^[4]。

二、复杂地质条件下公路桥梁桩基施工稳定性控制措施

根据不同的复杂地质情况影响,基于公路桥梁桩基施工实际情况出发,“接地气、可落地、重实效”,避免过多的理论阐述以及专业的器械堆砌,在施工前准备阶段、成孔过程、钢筋笼加工及吊装就位、混凝土浇筑这四个方面给出相应的稳定性保障措施

来解决施工中遇到的问题。

(一) 施工准备阶段的稳定性控制

施工前的准备工作对于保证桩基工程顺利实施至关重要,主要是做好地质勘探以及施工组织设计工作,防止盲目开工。一是加强地质勘察,在施工之前不能仅仅依靠之前的勘探资料,而应该根据现场情况再做进一步勘探,特别是要查明桩位附近有无溶洞、软土夹层、砂卵石富集区等地质不良地段,了解岩土体分布及地下水位高低等问题,并标出危险点位,以便为后续制定合理的施工方案提供可靠依据;二是完善施工方案,基于补充勘探成果,根据不同类型的地层分别编制相应的施工方案,确定钻进方法、泥浆性能指标、清孔要求、灌注程序等内容,不能简单套用一般性方案,例如在软土地基上应着重考虑泥浆护壁与防塌孔措施,在岩溶地区应注意采取溶洞处理及防漏浆措施,在砂卵石地层中需重视钻进和清孔措施等;三是做好机械设备及物资储备工作,依据地质状况选用合适的钻具,如在砂卵石地层使用耐磨且强度高的钻头,在软土地基采用适用的旋挖钻机等;同时备足各种类型的泥浆原料和填充物,如在岩溶地区携带片石、黏土等用于填充溶洞,确保工程能够有序开展^[5]。

(二) 成孔阶段的稳定性控制

成孔过程是桩基工程中保证施工安全的重要一环,在此过程中要把握好对孔壁稳定性、孔型规则性以及孔底洁净度的控制,根据不同的地层情况采用相应的对策。

针对软土地基,一方面控制钻进速度,采取分层钻进的方法,防止过快钻进造成孔壁松动,在钻进时根据土质情况调节钻速,软土地段降低钻进速度,减少对周围土体的扰动;另一方面改善泥浆护壁措施,使用粘度合适的泥浆,增强泥浆护壁作用,保证孔内泥浆液面高出地下水位一定高度,保持孔内外压力一致,避免塌孔现象发生;最后要及时清理钻孔,钻到预定深度后,进行换浆、正反循环等清孔工序,将孔底残留物清除干净以免过多沉渣影响桩身强度。

对岩溶地区,第一是预先处理好溶洞,如发现小溶洞可用片石、黏土混合填充,压实后继续钻进;如发现大溶洞则用钢筋混凝土套管进行保护,保证孔壁稳定;第二是控制好泥浆用量及比重,在钻探时注意观察泥浆液面的变化情况,如有漏失应及时补入泥浆并加大比重以提高护壁能力;第三是不要盲目钻进,在遇到岩石硬度突然变化的情况下应放慢钻速,检查是否有溶洞或者岩面凹凸不平的情况发生以免造成卡钻、埋钻等事故^[6]。

针对砂卵石地层,一是选择合理的钻进方式,以旋挖钻进为主,使用专用的砂卵石钻头,加快钻进速度,降低对孔壁的扰动;二是做好泥浆护壁工作,使用高粘度泥浆,在孔壁上形成一层较厚的泥皮,阻止地下水侵蚀孔壁,避免塌孔的发生;三是反复清孔,因为砂卵石地层容易造成沉渣堆积,在钻至设计标高之后,先进行一次清孔,放入钢筋笼后再第二次清孔,保证孔底沉渣达到规定的要求。

(三) 钢筋笼制作与安装阶段的稳定性控制

钢筋笼制作及安装质量对桩身结构稳定性以及承载能力有较大影响,在施工时应注重对钢筋笼制作精度、安装垂直度以及固

定效果进行把控，防止发生钢筋笼偏移、变形、上浮等现象。第一是加强钢筋笼制作管理，在图纸设计基础上明确钢筋笼规格、间距和长度，在加工过程中保证焊接结实、绑扎严密，杜绝出现松散、扭曲等情况，同时留足保护层厚度以避免桩身外露。第二是控制好安装垂直度，在吊装之前要检测钻孔垂直度是否合格，然后匀速下放钢筋笼以免碰撞到孔壁造成塌陷事故的发生，另外还需要用定位器来固定住它以防产生位移。第三是要预防钢筋笼上浮，在浇筑混凝土时要随时监控其位置变化情况一旦发现上浮趋势就要立即采取措施改变浇注速度或者导管埋深，严重情况下还需使用重物压住它使其保持不动。

（四）混凝土灌注阶段的稳定性控制

混凝土灌注是形成桩身的重要一环，关键是保证灌注连续性、导管埋深以及混凝土质量，防止发生断桩、夹泥、蜂窝等情况。首先保证混凝土质量，使用满足设计要求的混凝土，控制好混凝土坍落度及和易性，防止混凝土离析，在浇筑前检验混凝土均匀程度是否达标；其次控制好导管埋深，将导管放置到孔底之上一定高度后进行灌注，在灌注时适时上拔导管使导管埋深处于正常范围内，以防埋深太小造成断桩或者埋深太大而引起导管堵塞；最后保证灌注连续性，在混凝土灌注期间尽量不要停止，如果不可避免需要暂停，则暂停时间不能太久并且做好相关记录并检查是否有问题发生；当灌注至桩顶部位时，超过设计标高一定长度，以确保桩顶混凝土的质量，防止出现桩顶浮浆过多、强度不够的现象。此外，灌注过程中还需注意混凝土的供应速度，确保与导管提升速度相协调，避免因供料不足而中断。同时，加强孔内水位与泥浆指标的监测，防止塌孔。在拔除最后一节导管前，应准确测量混凝土面标高，确保超灌高度足以在桩顶形成良好桩体。灌注结束后，及时清洗导管与灌注设备，并按要求对桩头进行养护。

三、施工过程中的应急处置措施

在复杂地质条件下进行桩基施工具有较大不确定性，不可避免会出现一些意外情况，在此之前做好应急预案能够尽可能减少

事故带来的损失以及保证工程顺利进行。一是塌孔应急措施，在施工过程中发生塌孔时要立刻停止钻探作业并撤走所有机械设备，向孔内注入一定量的泥浆以保持孔壁稳定，如果塌孔面积不大可以用片石、黏土回填后继续钻探；如果塌孔严重就需要清理掉孔内的塌陷物然后再重新成孔。二是漏浆应急措施，在岩石溶洞或者砂卵石地层中容易出现漏浆现象，一旦发生漏浆就要马上停止灌注工作并向孔内加注泥浆来弥补流失的部分同时用片石、黏土等材料对漏浆位置进行封堵，待漏浆停止后再继续后续工序。三是卡钻、埋钻应急措施，在钻进过程中发生卡钻、埋钻的情况切忌硬拉钻杆以免造成钻具损坏，可采取松动钻具、注入泥浆润滑等方法慢慢把钻具拔出，如无法取出则需要清除孔内泥土后再处理。四是混凝土浇筑异常应急措施，若出现混凝土离析、导管堵塞等问题，立即停止浇筑，清理导管内堵塞的混凝土，重新调整混凝土配合比，确保混凝土质量后，再继续灌注，避免出现断桩。

四、结论

在复杂地质环境下，公路桥梁桩基施工稳定性受到多种因素的影响，如地质条件、施工方法以及操作规程等。常见的不良地质有软土、溶洞、砂卵石等地质情况，容易造成塌孔、缩颈、断桩等问题的发生，影响工程质量及施工安全。为了保证桩基施工质量，在施工前应进行详细的地质勘探工作并制定合理的施工方案，根据不同的地质情况进行成孔、钢筋笼安装、混凝土浇筑等工作时要采取相应的措施加以控制，同时做好应急预案以防止突发事件发生。本文所提出的控制措施贴近实际应用，避免空泛的理论论述与大量数据罗列，针对公路桥梁工程的具体问题提出切实可行的解决方案，可作为复杂地质条件下公路桥梁桩基施工的重要参考依据，有助于提高桩基施工的质量水平，确保公路桥梁的安全性和耐久性得到有效保障。

参考文献

[1] 张建. 高速公路岩溶区桥梁桩基溶洞预处理施工工艺对比与优化研究 [J]. 工程建设与设计, 2026, (02): 157-159.
[2] 马朋朋, 李超, 马永政, 李豪杰, 王飞. 铁路跨海大桥墩基施工对毗邻公路桥扰动敏感性研究 [J]. 中外公路, 1-12.
[3] 曹俊林. 公路桥梁施工中桩基施工技术 with 质量控制 [J]. 工程建设与设计, 2026, (01): 217-219.
[4] 董化林. 复杂地质条件下高速公路桥梁桩基施工难点与要点分析 [J]. 运输经理世界, 2025, (35): 107-109.
[5] 胡睿智, 徐海峰. 浅谈桥梁桩基大型溶洞处理技术 [J]. 技术与市场, 2025, 32 (12): 100-104.
[6] 朱旭东. 山岭陡坡段桥梁桩基竖向承载特性现场检测方案及结果分析 [J]. 交通世界, 2025, (35): 181-183.