

边坡工程中地下水位动态变化对滑坡推力计算及抗滑桩设计的影响

曹文正

重庆市渝西水利电力勘测设计院有限公司 重庆 402160

【摘要】：地下水位动态变化是影响边坡稳定性的关键因素之一。研究表明，地下水位波动会显著改变边坡的水压力分布，从而对滑坡推力计算产生重要影响。水位升高时，边坡的稳定性可能下降，导致滑坡推力增大。合理的抗滑桩设计可以有效抵抗滑坡推力，确保边坡安全。在此背景下，探讨地下水位变化对滑坡推力计算及抗滑桩设计的影响，提出了动态水位条件下的抗滑桩设计优化方法。该研究为边坡工程的设计和施工提供了理论依据和技术支持。

【关键词】：地下水位；滑坡推力；抗滑桩设计；边坡稳定性；动态变化

DOI:10.12417/2705-0998.26.06.030

引言

边坡工程常面临着地下水位变化对稳定性的影响。地下水位波动会引起边坡的水压力变化，进而改变土体的力学性质，增加滑坡的风险。滑坡推力的计算和抗滑桩的设计往往依赖于准确的地下水位数据。地下水位并非固定不变，而是随季节、降水等因素发生动态变化，这使得边坡的稳定性评估更为复杂。研究如何在动态水位条件下进行滑坡推力计算，并优化抗滑桩设计，已成为工程领域的重要课题。这不仅关乎工程的安全性，也关系到项目的经济性和可持续性。因此，如何准确地考虑地下水位变化，改进设计方法，成为亟待解决的关键问题。

1 地下水位对边坡稳定性的影响

1.1 地下水位的变化特征

地下水位的变化通常受到气候、降水量和季节性影响，表现为周期性的波动。在降水较多的时期，地下水位上升，土壤中的水分含量增大；而在干旱季节，地下水位下降，土体干燥。水位的波动不仅受季节变化的影响，还可能受到人为活动的干扰，如开采、灌溉或地下水抽取。地下水位的动态变化会改变边坡的水文条件，导致土壤强度和稳定性的变化，在边坡设计时，必须考虑地下水位的波动范围和变化速率，尤其是在高水位季节，极易引发土体滑动。

1.2 地下水位变化对土体性质的影响

地下水位的变化对土体的力学性质产生显著影响，特别是对土壤的孔隙水压力和摩擦力的影响。水位升高时，土壤孔隙中水的存在会改变土体的有效应力，降低土壤的剪切强度，增加滑坡的发生几率^[1]。在水位下降的情况下，土体的干燥程度增加，土体的抗剪强度相对提高。但若地下水位持续低于正常水平，土体可能出现干裂现象，影响土体的整体稳定性。地下水位的波动使得土体的物理状态随之变化，这对滑坡推力和抗滑设计提出了更高要求。

1.3 地下水位波动对滑坡推力的影响

地下水位的波动直接影响边坡的滑坡推力，尤其是水位上升时，水压力对边坡产生的推动力显著增大。随着水位的上升，土壤中水分增多，导致土壤孔隙压力增大，进而降低土体的抗剪强度，易导致滑坡发生。水位回落时，水分的减少有助于增强土体的抗滑能力，但如果地下水位急剧下降，可能引发土体的收缩、裂隙出现，使边坡在干湿交替作用下更加脆弱。滑坡推力计算需要综合考虑地下水位的动态变化，精确预测水位变化对滑坡稳定性的影响，以便采取相应的加固措施，确保边坡安全。

2 滑坡推力计算的影响因素

2.1 滑坡推力的基本概念

滑坡推力指的是作用于边坡滑动面上的力，其来源主要包括重力、土壤的内聚力以及外部荷载。重力是滑坡推力的最主要来源，尤其在坡度较大的情况下，土体的重量对滑动面的推力作用显著增强。水文条件也是滑坡推力的重要组成部分，水位的变化会引起土体中水的压力变化，进而影响土体的稳定性。滑坡推力的计算通常依赖于斜坡的几何形态、土体的力学特性以及地下水的分布情况。滑坡推力增大时，会加剧边坡失稳的风险，因此准确评估其大小是设计抗滑桩及其他防护措施的基础。

2.2 地下水位变化对滑坡推力的具体影响

地下水位变化直接影响滑坡推力的大小。水位升高时，水体对滑动面施加的水压力显著增大，从而使土体的抗剪强度降低。水压力增加会导致滑坡体内部孔隙水压力增大，土体的有效应力减小，进而导致滑坡推力的增大。地下水位升高不仅增加了滑坡的推力，也可能改变土体的排水条件，使土体的物理性质发生改变，进一步降低其抗滑能力^[2]。特别在降雨季节，地下水位的快速上升会导致边坡失稳，增加滑坡发生的几率。根据水位变化的幅度和速率，滑坡推力需要重新计算，以确保

对边坡的准确评估。

2.3 水位变化对滑坡推力计算模型的修正

水位的动态变化要求对滑坡推力计算模型进行修正。传统的滑坡推力模型往往假设水位为常态，忽略了水位变化对土体力学特性的影响。实际工程中水位的波动非常常见，忽视这一因素会导致计算结果偏差较大。为此，滑坡推力计算模型必须考虑水位变化的因素，修正原有模型中的水压力分布。具体来说，当水位升高时，应考虑水体对滑坡面施加的静水压力以及可能引发的渗流效应。水位变化对模型的修正不仅包括静水压力的调整，还需要引入动态水力学分析，评估水位变化对土体强度、应力和变形的实际影响，确保滑坡推力计算结果的准确性。

3 抗滑桩设计的优化方法

3.1 抗滑桩设计的基本原则

抗滑桩设计的核心目的是有效抵抗滑坡推力并确保边坡的长期稳定。设计时首先需要考虑桩体的承载能力，即桩基应具有足够的强度与稳定性以承受边坡的滑坡推力。桩体与周围土体的相互作用是设计中的关键因素，桩体的抗拔力与土体的抗剪力应达到平衡，以确保桩体不发生位移或倾斜。桩的深度、直径、材料选择以及桩间距等参数需要根据地质条件、边坡角度和地下水位等因素精确计算。抗滑桩的分布应确保能够均匀分布滑坡推力，同时避免出现过度集中的荷载，造成局部失稳。抗滑桩设计不仅要满足静态稳定的要求，还需考虑动态荷载和外部环境变化对边坡稳定性的影响，确保桩体的抗滑能力在不同条件下依然保持有效。

3.2 动态水位条件下抗滑桩设计的改进

在动态水位条件下，抗滑桩设计需考虑水位波动对桩体稳定性的影响。水位升高时，水压力对边坡产生较大推力，增加了抗滑桩的负担。为了适应这一变化，抗滑桩的设计需要进行动态调整。设计中，桩基的深度和承载力需根据水位波动幅度进行优化，以确保即便在水位高涨的极端情况下，桩体仍能稳定支撑边坡。桩基的材料和防腐性能应满足水位长期波动的要求，特别是在地下水环境较为复杂的地区^[3]。通过加强桩基的抗压和抗拔能力，确保其能够抵御水位变化带来的外部压力。在设计过程中还需模拟不同水位条件下的土壤行为和桩体响应，进行非线性分析，以优化桩体的尺寸和布局。抗滑桩设计应考虑到水位波动的长期影响，确保边坡在动态水文条件下的安全性。

3.3 抗滑桩设计的计算与实践

抗滑桩设计的计算过程涉及复杂的力学分析与数学建模，尤其是在面对动态水位变化时。设计人员需通过数值模拟技术对桩体及其周围土壤的相互作用进行分析，评估水位波动对桩基的影响。计算中，除了考虑滑坡推力，还需综合考虑水压力、

土体剪切强度、桩的承载能力和桩与土壤的摩擦系数。通过建立水位变化下的滑坡推力模型，可以获得更为准确的计算结果。在实践中，抗滑桩的布置不仅要考虑静态荷载，还需评估可能的动态荷载对设计的影响，尤其是强降雨或地下水位突升情况下的作用力。在现场施工时，实际的地质条件可能与理论计算有所偏差，施工过程中需要根据实时监测数据调整桩基的位置和深度，以确保抗滑桩的设计效果得以充分发挥。在工程实践中，抗滑桩的应用还需要与其他防护措施如排水系统、土体加固等配合使用，以实现边坡稳定性的综合保障。

4 地下水位变化对抗滑桩设计的影响分析

4.1 地下水位升高对桩体承载力的影响

地下水位的升高会直接影响桩体的承载力，尤其是在饱和土壤条件下，水的存在使得土体的有效应力减少。水位上升时，土体中的水分增加，导致土壤孔隙压力上升，从而降低了土体的抗剪强度。在这种情况下，桩基所能提供的摩擦力和承载力大幅下降，使得桩体承受的滑坡推力增大，进而影响抗滑桩的稳定性。在设计抗滑桩时，需充分考虑地下水位的变化，尤其是高水位条件下，适当增加桩基深度和加固措施，以确保桩体的承载能力不被削弱。同时，考虑到水位波动的动态特性，应选用耐腐蚀性强的材料，防止水位变化引起桩体的腐蚀或损坏。

4.2 地下水位变化对抗滑桩稳定性的影响

地下水位的变化会影响桩体与土壤之间的相互作用，进而影响抗滑桩的稳定性。水位升高时，土体的稳定性减弱，桩体与土壤的摩擦力可能下降，桩体的整体稳定性因此受到威胁。水位的变化还可能导致桩基的浮力效应，特别是在水位突然升高的情况下，桩体可能出现上浮现象，进而影响抗滑桩的有效性^[4]。为了应对这一问题，抗滑桩设计应增加桩基的嵌入深度，并通过加固土体、优化桩间距等方式，增强桩体与土壤的结合力。合理安排排水系统，避免水分过多积聚，也是提高抗滑桩稳定性的有效手段。

4.3 抗滑桩设计的水位适应性分析

抗滑桩设计需要具备适应地下水位变化的能力，这要求设计过程中必须考虑水位波动对桩体和土体相互作用的影响。水位的波动不仅会改变土体的物理性质，还会导致滑坡推力的波动。抗滑桩的设计必须具有一定的灵活性和适应性，能够根据不同水位条件调整桩体的深度、长度及布置方式。适应性设计考虑了多种水文情境下的稳定性需求，通过优化桩基材料、使用更强的桩基和适合当地水文条件的设计方法，确保抗滑桩能够在动态水位条件下保持长期稳定性。

5 案例分析与工程应用

5.1 典型边坡工程案例分析

在某高速公路边坡工程中,地质勘探发现该区域的地下水位变化较为频繁,尤其是雨季期间,地下水位急剧上升,导致边坡土体的稳定性受到威胁。通过采用抗滑桩进行加固设计,针对该区域的水文环境和土壤特性,设计团队通过数值模拟分析了水位升高情况下滑坡推力的变化,确认了桩基深度和布置方式的优化方案。在实际施工中,抗滑桩的布局密集,桩深较深,能够有效分担滑坡推力,增强边坡稳定性。在施工过程中加强了排水系统,确保水位波动不会引起土体饱和或局部失稳。施工完成后,边坡在多个季节的实际使用中未出现滑坡现象,验证了抗滑桩设计的有效性。该案例证明了地下水位波动对边坡稳定性有直接影响,合理设计抗滑桩并结合排水系统,能够有效提高边坡的稳定性。

5.2 地下水位动态变化对设计方案的影响

在另一处山区铁路工程的边坡加固项目中,地下水位的动态变化对设计方案产生了显著影响。该地区的地下水位不仅受到季节性变化的影响,还与周围开采活动和自然降水量紧密相关。设计团队通过精细化的水文分析模型,预测了水位波动对边坡稳定性产生的不同影响^[5]。水位上升导致滑坡推力增加,传统的抗滑桩设计无法满足极端水位条件下的稳定性要求,因此设计方案进行了相应的调整。桩体深度和桩间距被加密,同时采用了具有更高抗压能力的钢筋混凝土材料。通过对滑坡推力的动态计算,设计团队最终选择了多层桩基结构,并针对地

下水位变化设计了自动排水系统,确保了水位上升时能有效控制水压力对桩体的影响。工程实施后,边坡在多个极端水文条件下保持了良好的稳定性,充分展示了水位动态变化对设计方案调整的重要性。

5.3 实际工程中的抗滑桩设计优化建议

在实际工程中,抗滑桩设计面临的挑战之一是如何应对地下水水位波动带来的不确定性。为此,设计人员应在进行抗滑桩设计时,除了考虑常规的静态荷载和土体强度外,还必须加入水位动态变化因素。水位波动不仅影响土体的抗剪强度,也可能导致桩体在不稳定土层中的不均匀受力。在进行抗滑桩设计时,建议采用基于数值模拟的动态分析方法,通过模拟不同水文条件下的滑坡推力变化,优化桩体的布置和尺寸。桩基材料的选择应具备较高的耐水性,能够抵抗长期的水位变化对桩体的腐蚀和侵蚀。抗滑桩的加固效果不仅取决于桩体本身,还需要配合有效的排水系统,以确保在水位升高时,土体不发生过度饱和或渗流现象。设计时应考虑对桩体进行定期监测,以便及时调整设计方案应对地下水位变化。通过这些优化建议,可以显著提高抗滑桩在复杂水文条件下的稳定性和安全性。

6 结语

地下水位的动态变化对边坡工程中的滑坡推力计算及抗滑桩设计具有显著影响。研究结果表明,准确考虑水位波动对于提高边坡稳定性和优化抗滑桩设计至关重要。未来应进一步深化地下水位变化对抗滑桩设计影响的研究,并在实际工程中不断完善设计方案,以确保工程的长期安全性和稳定性。

参考文献:

- [1] 邓波,肖育奇,杨明辉,王东星.地下水位变动下抗滑桩加固土坡稳定性上限分析[J].哈尔滨工程大学学报,2025,46(4):710-719.
- [2] 刘璐,葛长山.甘肃兰州金河煤矿洗煤厂滑坡抗滑桩优化设计分析[J].安徽地质,2025,35(4):331-335+339.
- [3] 李亚博,胡新丽,徐楚,张海燕,刘欣宇.基于土拱效应的多层滑带滑坡抗滑桩加固效果研究[J].地球科学,2025,50(8):3153-3166.
- [4] 邓金玉.岩土工程勘察中地下水位变化对地基承载力的影响研究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(5):005-008.
- [5] 郭金.市政道路工程中地下水位高地区的施工难点及处理技术研究[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2025(1):009-012.