

微型桩在边坡中的研究现状综述

刘 炯

中南勘察设计院集团有限公司, 湖北 武汉 430050

[摘要]随着滑坡治理工程的复杂多样化、场地地形等的限制及快速施工的需要,微型桩在滑坡治理工程中的应用越来越广泛,但其受力机理尚不十分明确,本论文阐述了国内外的微型桩研究现状,及现有研究存在的问题,以期对相关研究提供参考。

[关键词]微型桩;滑坡治理;计算方法

DOI: 10.33142/ec.v7i3.11428

中图分类号: TU753.8

文献标识码: A

Review of the Research Status of Micro Piles in Slopes

LIU Jiong

Zhongnan Engineering Corporation Limited, Wuhan, Hubei, 430050, China

Abstract: With the complexity and diversity of landslide control engineering, the limitations of site terrain, and the need for rapid construction, the application of micro piles in landslide control engineering is becoming increasingly widespread. However, its stress mechanism is not yet very clear. This paper elaborates on the research status of micro piles at home and abroad, as well as the existing problems, in order to provide reference for related research.

Keywords: micro piles; landslide control; computing method

引言

滑坡是一种分布范围广、发生频繁的地质灾害,由于它的形成条件和发生机理复杂多变,极易对人们的生产生活造成危害。随着各国经济的发展和国土开发的利用,遇到的滑坡越来越多,滑坡加固的方法也越来越多,微型桩是近二十年才发展起来的一种新型方法。微型桩的出现帮助工程师解决了许多困难的支护问题,特别是在施工条件受到严格限制的情况下,微型桩具有其独特的优点。目前微型桩主要应用于基坑支护、地基加固、地面沉陷修复等,在边坡工程中应用较少,其计算理论也相对滞后。因此研究微型桩组合结构在滑坡治理中的作用机理及计算方法有非常重要的作用。

20 实际 50 年代初,随着对桩土结构认识的深入及机械化水平的提高,意大利人 F. Lizzi 首先使用了微型桩加固地基^[1],并取得了专利。随后微型桩开始在欧洲及美国扩展开来,在此期间微型桩主要用作建筑地基的加固使用。在 1972 年以后为随着微型桩专利期满,微型桩开始有了更为广泛的应用也由原来的钻孔灌注单一施工方法逐渐发展为扩底桩、预支静压等方法。使用范围也由当初的建筑地基处理逐渐扩展到基坑支护、浅层边坡处治上、公路路基下沉修复及铁路下边坡路基支挡等,目前在國內微型桩也已得到广泛的应用并取得了一定的效果^[2-3]。

微型桩通常指孔径小于 300mm 的小桩,其往往通过钻孔成孔,将钢筋笼、工字钢、钢管等插入钻孔浇筑混凝土或砂浆进行成桩。由桩身本身承担弯矩及和土体共同作用产生抵抗滑坡推力的弯矩和剪力,进而阻止滑坡体滑动。其具有以下特点:其桩径较小,可以达到很深的深度,穿越各种岩石和障碍;由于长细比很大,其荷载的传递可通

过桩身的摩擦阻力进行传递,底部不需扩孔;施工时震动、地面扰动和噪音均较小,这对于正在发生变形的坡体具有重要意义;由于通过钻孔成孔,不需像抗滑桩一样进行人工挖孔,其既能用于地下水位以上,也能用于地下水位以下,这对于库岸边坡地有很大的意义,可不受降水及库水位变动的影响;在狭窄施工场地,机械进出困难环境条件复杂时,微型桩由于制作简单,对场地条件要求简单,与其他支挡类结构相比有其明显的优点。

微型桩开始使用时主要是单排钻孔灌注桩的形式。而随着工程的需要,往往采用组合框架的形式对边坡进行处治,增加系梁后,微型桩组合机构也由原来的悬臂受力结构变为框架结构,其抵抗推力的水平明显增大,注浆后与土体往往形成复合结构体系,可以共同抵抗滑动体对结构产生的弯矩和剪力。其场地的适应性也强,由于需要工作面更且桩孔直径较小且不受地下水位的影响,可以在狭小的施工场地开展施工。

近年来微型桩的应用也开始结合其他治理措施共同发挥作用,主要有:

(1) 微型桩与普通抗滑桩相结合:为保证施工安全,在抗滑桩锚固段部分使用微型桩,同时锚固段受拉部分加大微型桩布置数量,上部受荷段和抗滑桩布置相同,设计时采用了普通抗滑桩的理论方法进行受力分析和钢筋布置^[5]。

(2) 微型桩与挡土墙相结合:上部普通重力式挡墙,挡墙基础与微型桩群连接,通过微型桩锚固在稳定地层中,可减少抗滑移挡墙的截面尺寸及基础埋深,方便施工,因而对滑坡的扰动小,对中小型浅层滑坡和蠕变变形中的滑坡适用性较好。

(3) 微型桩与预应力锚索相结合:当滑坡处于变形

阶段,通过微型桩可快速、安全地对边坡进行治理,同时在微型桩顶梁处结合预应力锚索,可弥补微型桩单桩刚度小,易变性的缺点,在现场测试中对微型桩的内力、锚索拉力、微型桩水平位移进行观测,观测结果显示治理效果良好。

(4)微型桩与压力注浆技术相结合:该方法采用钢管压力注浆,采用多排钻孔由钢化管在一定压力注浆,通过钢管的支挡作用,注浆时对土体的加固及改善来达到整治滑坡的目的,计算分析时将微型桩群及周围部分土体当做抗滑挡墙来进行受力分析及设计。

如今微型桩也广泛用于滑坡处治、黄土边坡处治、膨胀土边坡处治、库案滑坡处治,但由于其受力计算及相关受力原理并不明晰,目前也限制了其发展。美国联邦曾于2000年出版了相关微型桩施工指南。但同国外相比,我国在微型桩方面的研究明显滞后,致使在设计中工程设计人员往往凭经验设计,缺少相关理论的支撑,现有的理论分析落后于工程实际的发展。

国内微型桩在模型试验方面的研究注重于工作性状因素对微型桩应力应变状态影响的研究,包括桩体配筋、连系梁作用、桩间距、排间距、滑坡推力分布;在数值模型试验方面主要考虑桩体锚固深度、土体弹性模量、桩体位移、桩体抗拔特性等;设计计算方法主要借鉴抗滑桩设计计算方法。对于桩体嵌固段采用弹性地基梁进行计算,对于受荷段计算方法不同,主要有通过假设桩体顶部力通过弹性地基梁对受荷段进行计算、将桩体比作抗滑挡墙采用等效计算、采用 $p-y$ 曲线通过桩体变形求得岩土支挡力进行受荷段的计算。

由于历史时间较短,加之理论研究的不充分,在实际工程使用中,微型桩的设计目前面对一些问题:(1)目前对于微型桩的使用主要还是凭经验设计,缺乏一个比较系统的认识;(2)尽管目前微型桩的实际案例许多,但是并未形成一套系统的设计计算理论,对微型桩的受力机理还不十分明确(3)小孔径桩相比同样截面积大孔径桩钻孔费用过高导致其实施造价过高。这些都在一定程度上限制了微型桩的发展,鉴于此,本文在系统总结前人对微型桩研究的基础上,对现有的微型桩试验研究和计算方法进行分析和探讨。

目前微型桩的相关研究主要集中在:试验研究、计算方法研究、数值模拟研究。

1 试验研究

目前微型桩的试验研究根据试验规模的不同有室内试验和现场试验,根据体系受力结构研究的不同又分为单桩试验、多排桩试验和框架复合桩试验。

2009年孙书伟^[4]通过室内模型试验对比研究了微型桩群与普通抗滑桩的抗滑特性,发现微型桩具有较好的抗滑特性,但承载力略小于普通抗滑桩,两者的受力机理不同,普通抗滑桩刚度大,其破坏主要是桩后土体的压裂破坏,而微型桩抗弯刚度较小,桩身可产生大挠度变形,通过桩顶梁的作用使得后排桩产生负弯矩,前排桩产生正弯矩从而可提高微型桩群的整体刚度。

2010年闫金凯^[3]在模型试验的基础上,对微型桩的不同布筋形式做了研究,指出桩周配筋优于桩心配筋,对单桩和群桩桩体受力范围作了研究,指出单桩受荷段弯矩集中于滑面上10倍桩径,群桩受荷段弯矩分布于整个受荷段其中滑面上15倍桩径内弯矩较大;微型桩破坏前主要是桩体的抗弯和抗剪起抗滑作用,破坏后主要是桩体内钢筋的抗拉起抗滑作用。

刘鸿^[5]通过对空间桁架的微型桩组合模型试验进行研究,认为连系梁可以有效的限制微型桩的桩顶位移,桁架的体系组合结构可以显著的增强滑面的抗剪能力,微型桩桩土共同作用可以具有更好的抗压和抗剪能力,但对于桩土的分担比及土体对桩体的影响程度并未给出明确结论。

辛建平^[6]通过物理模型试验研究单排与多排微型桩的受力破坏模式,认为多排微型桩具有更好的抗滑效果,但容易产生次级滑面,桩体的破坏为张拉和压剪破坏模式,建议将微型桩应用于应急抢险工程。

2 微型桩的计算方法

目前微型桩的计算方法主要有:计算抗滑桩的计算方法、等效算法、数值计算等方法。

(1)借鉴抗滑桩的计算方法。借鉴抗滑桩的计算方法,在嵌固段采用弹性梁理论,将上下部分结合,根据桩底支撑条件不同,假定其为自有端、铰支端、固定端,通过联立桩底平衡条件得到每个截面的弯矩、剪力及位移。当微型桩间距较大,不能与土体形成一个统一整体的时候,通过假定滑坡推力分布形式,通过门字型框架受力模型进行计算,对其进行计算。而当桩体较近时,有学者建议采用等效的方法对其进行计算。

周德培^[7]通过平面刚架结构模型,假定微型桩受力时滑面处为固定端,通过假定滑坡推力的分布模式,通过刚架对桩体上部进行受力分析,在此基础上通过弹性地基梁对下部进行分别计算。

孙丽娟^[8]基于 $p-y$ 曲线法,结合微型桩组合抗滑结构的受力特点,提出采用 $p-y$ 曲线对微型桩进行计算的方法,但现阶段由于桩体的 $p-y$ 曲线较难以得到,其应用到实际工程中尚有一定的限制条件。

王金梅^[9]对微型桩单桩进行了研究,考虑了微型桩与周围岩土体的间的摩擦力作用,将微型桩分为上部摩擦受拉段,中部滑坡推力作用段和下部锚固段进行分析,采用初参数法给出了微型桩的具体计算公式,发现摩擦力的作用能显著减小微型桩的弯曲变形,可以有效的控制滑坡体的位移。

以上方法是根据弹性地基梁理论,计算桩体内力,其采用的计算方法与抗滑桩嵌固段类似。但是其在计算时并未考虑桩前岩土体可能的岩土体剩余下滑力,当计算所得岩土体抗力小于桩前岩土体的剩余抗滑力时,前后的桩前岩土体可能产生滑动,此时桩体可能并未发生破坏,而支挡结构的完整性则已经发生破坏。因此在实际计算中,要复核滑面上岩土体所提供的抗力与被动土压力及桩前剩余抗滑力,当其大

于两者中任一个时,都要重新调整地基系数,重复进行计算。这和抗滑桩计算是一致的,抗滑桩受荷段的计算一般采用地基系数法,而对于受荷段的计算有两种方法,一种是悬臂桩法,一种是地基系数法,而当采用地基系数法对受荷段进行计算时,需要复核其求得的桩前岩土体对于桩的作用力与桩前被动土压力及桩前剩余抗滑力的大小,当桩前岩土体弹性抗力大于两者中任何一着时,要调整地基系数取值,直至小于桩前被动土压力和桩前剩余抗滑力为止。

(2) 等效法。朱宝龙^[10]将钢管压力注浆型微型桩,应用于工程实际中,在分析时将其视为一个桩土复合的抗滑挡墙,对其按照挡墙的相关设计方法进行处理,但此种方法可以考虑桩体复合的抗滑移稳定性,难以考虑单桩的受力,压浆对于土体性质的改良难以实际确定。

王英杰^[11]将桩土视为一个整体,将滑动面以上当做一个弹性板,其实质是将桩土复合体当做一个受弯构件进行计算,且其计算时难以考虑微型桩的实际受力,其只是考虑了截面的正应力,未考虑截面的剪应力,计算结果将导致微型桩群实际计算可承受滑坡推力将大于单桩受力,对实际工程将产生不利影响。

采用等效法也存在一定的问题,即采用等效刚度必须保证结构的整体性,而当采用等效刚度计算时,由于其是按后桩受压,前桩受拉进行计算的,和抗滑桩不同,抗滑桩中箍筋的布置使得由于截面弯矩和截面剪力可以满足斜截面的要求,由于土体本身一般认为不考虑抗拉强度,其抗剪强度和混凝土也难以相比,当采用等效刚度进行计算时,其正截面承载力是满足要求的,但其很难满足斜截面的抗剪要求,其破坏类似于无腹筋的钢筋混凝土梁受弯状态下的斜截面破坏形式,因此在实际计算中还要复核桩间土的承载能力。

(3) 数值计算方法。辛建平^[12]运用 FLAC 软件,采用强度折减法对单排和含有连系梁的三排微型桩进行了模拟研究,计算结果表明同单排微型桩滑动面的剪切破坏破坏不同,三排微型桩的破坏由于连系梁的作用,主要破坏形式为滑动面处的拉剪破坏,而单排和多排微型桩的最大弯矩均位于滑带处。单其对微型桩配筋并未做深入研究,而不同配筋的微型桩其破坏模式可能并不相同。

张瑛^[13]对龙会气田站滑坡中微型桩的应用进行了数值分析,认为设置联系梁后可以显著减小桩体顶的位移,由于前后桩体轴力的作用可形成负弯矩,将导致前排微型桩要承担竖向的拉力,后排微型桩要承受竖向的压力,这与抗滑桩的受力不同。同时研究认为微型桩的土拱效应主要从桩顶下 2m 以下,在滑坡推力最大位置土拱效应更为明显。并建议实际设计时桩间距在 8d,排间距在 6.7d,锚固长度在 2/5 桩长时比较合适,并指出各参数中列间距影响最大,排间距影响次之,锚固长度影响最小。

李志雨^[14]对在膨胀土中的微型桩的加固进行了分析,运用 FLAC 软件模拟表明在下滑力作用下,群桩整体发生位移,在桩顶处桩体的位移最大,在滑动面附近桩体的受

力最大,并认为由于微型桩的加固作用,可有效的防止土体塑性区的贯通,桩间距对于微型桩的效果影响很大。

3 结语

微型桩是一门新型的、正在迅速发展的边坡治理支护技术。由于其具有对滑坡扰动小、施工速度快、施工条件受环境地质条件影响小、布桩灵活等特点,其在地基加固、基础工程等已经得到了较为广泛的应用,并引起了业界的广泛关注和研究。目前在国内外的一些滑坡治理中虽然已经取得了一定的应用,而且也取得了很好的效果和经济收益,但是其理论研究仍然较为匮乏,设计计算理论越来越满足不了日益发展的工程实践需要。微型桩作为近些年的新的治理边坡的手段,其在工程中的已经得到了广泛应用,但是针对微型桩的整体受力性能目前还存在一定的分歧,且对于桩间距、排间距等尚未达成较明确的看法,微型桩群桩的共同作用计算目前尚未成熟,还需进一步地开展研究。

【参考文献】

- [1] 史佩栋. 小桩的起源、应用与发展[J]. 岩土工程界, 2005(8): 18-19.
- [2] 刘世东. 注浆与钢管微型桩组合加固滑坡试验研究[D]. 四川: 西南交通大学, 2011.
- [3] 闫金凯. 滑坡微型桩群桩加固工程模型试验研究[J]. 土木工程学报, 2011(4): 120-128.
- [4] 孙书伟. 微型桩群与普通抗滑桩抗滑特性的对比试验研究[J]. 岩土工程学报, 2009(10): 1564-1570.
- [5] 刘鸿. 微型桩组合结构模型抗滑机制试验研究[J]. 岩土力学, 2013(12): 3446-3452.
- [6] 辛建平. 单排与三排微型抗滑桩大型模型试验研究[J]. 岩土力学, 2015(4): 1050-1056.
- [7] 周德培. 微型桩组合抗滑结构及其设计理论[J]. 岩石力学与工程学报, 2009(7): 1353-1362.
- [8] 孙立娟. 基于 p-y 曲线的微型桩计算理论与应用[D]. 四川: 西南交通大学, 2011.
- [9] 王金梅, 张迎宾, 赵兴权. 微型抗滑桩单桩设计计算模型及算法研究[J]. 岩土力学, 2015(8): 2395-2401.
- [10] 朱宝龙. 类软土滑坡工程特性及钢管压力注浆型抗滑挡墙的理论研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2005.
- [11] 王英杰. 基于桩土共同作用下的注浆微型桩设计计算[J]. 西南科技大学学报, 2014(2): 33-36.
- [12] 辛建平. 微型桩破坏机理的数值模拟[J]. 地下空间与工程学报, 2013(6): 1326-1332.
- [13] 张瑛. 基于龙会滑坡钻孔微型桩土拱效应三维分析[D]. 成都: 成都理工大学, 2013.
- [14] 李志雨. 微型桩加固膨胀土滑坡数值模拟研究[D]. 西安: 西安工业大学, 2014.

作者简介: 刘炯 (1991.7—), 汉族, 硕士研究生学历, 毕业院校为中国地质大学(武汉)。现就职中南勘察设计院集团有限公司。