

对现阶段抗滑桩设计中几个问题的再讨论

葛 华, 刘汉超

(成都理工大学工程地质研究所, 成都 610059)

摘 要: 现阶段抗滑桩的设计方法主要还是参照桥梁桩基的设计方法推导、发展、演变而来; 通过对目前滑坡防治工程中抗滑桩设计的步骤、设计理论和方法加以总结和分析, 指出了现今抗滑桩设计理论中仍存在的一些问题, 特别是作用于桩身荷载的不确定性以及荷载分布形式的不确定性是现阶段抗滑桩设计中亟待解决的问题, 并且提出应以被动桩的观点来进行抗滑桩的设计。对于所有这些问题的解决将会使抗滑桩设计的理论和方法更加趋于完善和合理。

关键词: 滑坡防治工程; 抗滑桩; 抗滑桩设计

中图分类号: TU 457

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)03-0151-02

Further Discussion on Some Questions in Designing Anti-sliding Piles at Present

GE Hua, LIU Han - chao

(Institute of Engineering Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: Nowadays, anti-sliding piles design method is mainly evolved from the method of the bridge pile foundation design. The authors summarize and analyse the processes and methods of the anti-sliding piles design used in landslide protection engineering at present. Furthermore, some problems still exposed in these methods, especially the indeterminacy of the load acting on anti-sliding piles as well as the indeterminacy of its distribution, are canvassed. In the end, it is point out that the point of view of passive force bearing piles should be applied to designing the anti-sliding piles. So solving all these problems will undoubtedly make those theories and methods perfect and reasonable in the process of designing anti-sliding piles.

Key words: landslide control engineering; anti-sliding piles; anti-sliding piles design

1 前 言

自 60~70 年代以来, 抗滑桩这种支挡结构物以其结构形式简单、刚度大、抗力大、施工便利等众多优点在滑坡防治工程中得到了广泛运用, 特别是 80 年代初随着工程技术的不断发展, 各种岩土锚固技术, 特别是预应力锚固技术也被引入到滑坡治理当中。这些技术的自身发展以及综合运用为滑坡的治理工作开辟了新的途径。尽管近二三十年来抗滑桩已经发展成为一种处治滑坡的主要手段, 但是从目前的设计方法上看, 主要还是参照桥梁桩基的设计方法推导、发展、演变而来, 其中某些重要的设计参数也是参照其他工程的经验取值确定的。同时, 由于对桩和桩周岩土体的共同作用问题也还没有形成系统深入的理论认识, 使得在现阶段的普通抗滑桩的设计方法中仍然存在很多不尽合理之处。因此, 将普通抗滑桩现今常用的计算理论与方法加以分析比较, 进行更深一步的讨论, 对于今后抗滑桩设计理论的优化与改进, 甚至对于整个滑坡治理工程的推进都是很有意义也是非常必要的。

2 普通抗滑桩的设计理论与方法

2.1 普通抗滑桩设计的一般步骤

普通抗滑桩设计的一般步骤主要可以分为以下几步:

(1) 根据勘察所得的地质剖面及滑带岩土体的抗剪强度参数, 运用传递系数法计算滑坡推力。

(2) 根据地形、地质条件, 综合考虑施工便利、经济合理的原则确定设桩部位及范围。

(3) 根据滑坡推力大小, 结合地形及滑体、滑床的地层性质, 拟定桩长、桩截面尺寸及桩间距。

(4) 选用合适的计算理论和方法, 计算桩身各截面上的内力及变位。

(5) 校核地基强度。若抗滑桩传递至滑面以下地层的侧壁应力超过该地层的侧向容许抗压强度时, 应调整桩的嵌固段埋深或桩的截面尺寸以及桩间距, 重新计算, 直至满足要求。

(6) 根据计算所得结果, 绘制桩身内力图(包括剪力图和弯矩图)。

(7) 根据桩身所选用的建筑材料进行桩的结构设计。现今工程上常常选用钢筋混凝土桩, 为此还要进行配筋设计。

2.2 普通抗滑桩的受力模式

普通抗滑桩这种抗滑支挡结构物从受荷方式的总体特征上来看, 应该属于承受横向荷载的梁式构件, 一般由受荷段和锚固段组成。受荷段主要承受滑坡推力、土压力等, 进而又通过锚固段将这些外荷的作用传递到滑带以下滑床的稳定地层之中, 从而平衡滑体的下滑推力, 达到稳固滑坡的作用^[1]。普通抗滑桩受力示意图详见图 1。

2.3 普通抗滑桩的计算理论与方法

现阶段普通抗滑桩的设计计算理论和方法主要还是借鉴于桥梁桩基的计算理论。鉴于普通抗滑桩主要承受横向水平荷载,所以它的计算方法也多从承受横向水平荷载的桩基的计算方法推导演变而来。关于承受横向荷载桩基的计算方法,前人曾经采用各种不同的方法研究过^[2,3],其中主要包括以下几种方法:

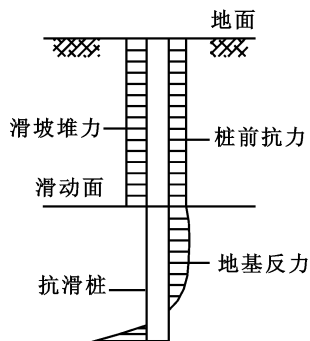


图1 抗滑桩受力示意图

(1) 极限平衡法:该方法常用于刚性短桩的内力分析,它假定桩的承载力极限状态完全由桩侧土的屈服所引起,桩的横向极限承载力由极限状态下的土的静力平衡条件求得,不考虑桩的自身变形问题。

(2) 地基反力系数法:由于该方法在现阶段的抗滑桩设计中运用的比较普遍,故略作详细的介绍。该法将 Winkler 的“弹性地基”理论引入桩的水平荷载分析,将承受水平荷载的单桩看作是处于水平地基系数 $k_h(z)$ 随深度变化的 Winkler 地基上的竖直梁,且不考虑桩土之间的黏着力和摩阻力,建立如下典型微分方程:

$$EI \frac{d^4 x}{dz^4} + p(z, x) = 0 \quad (1)$$

$$p(z, x) = b_0 k_h(z) x \quad (2)$$

式中: EI ——桩身横向抗弯刚度, E 为桩身材料的弹性模量, I 为桩横截面惯性矩; z, x ——桩身深度坐标和水平位移; $p(z, x)$ ——深度 z 处单位桩长上的土抗力; b_0 ——桩截面计算宽度; $k_h(z)$ ——沿深度变化的地基水平反力系数。

在实际应用中常根据桩锚固段地层的岩土性质假定地基水平反力系数为某种分布。常用的有(a)认为地基系数不随深度变化为常数,因常用“ K ”表示故相应的计算方法称之为“ K ”法,可适用于地基为较完整岩层的情况。(b)认为地基系数随深度按线性比例变化,地基系数的比例系数用“ m ”表示故相应的计算方法称之为“ m ”法,可适用于地基为密实土层或严重风化破碎岩层的情况。不论采用何种形式的,代入(1)式后均要求解该线性微分方程,一般求得该方程通解后,再根据桩底的边界约束条件求得该种约束条件下的特解,据此再求得桩身各截面处的内力及变位。

(3) 弹性理论法:该法假定桩埋置于各向同性的线弹性半无限空间中,以弹性连续介质理论来求解桩土的荷载效应,并用受水平力作用下的 Mindlin 解来计算桩周土的位移,且用细长杆的挠曲方程求解桩的位移。

(4) 有限元分析法:该法将有限元原理运用到桩的设计分析当中,可以考虑桩周土体的非线性弹性、弹塑性和黏弹塑性等变形性状,对于模拟桩土共同作用、动力效应及求解桩的特殊边界约束条件等问题,比之上述几种方法显得优越的多。

从目前抗滑桩设计的工程实践来看,抗滑桩设计的理论和方法主要采用上述承受横向荷载桩基计算方法中的前两

种方法,即极限平衡法和地基反力系数法,尤以地基反力系数法运用较多。而将弹性理论法用于抗滑桩实际工程设计中的则很少见到,究其原因主要是弹性理论方法把土体看作线弹性体,一般只有在桩身荷载充分低于极限值时,也即只有在弹性限度范围内时该法的求解才是适当的,而抗滑桩这种结构物往往要承受很大的外荷并通过自身将外荷向桩周土体传递,也就很难保证桩周土体一直处于弹性状态,故将该法应用于抗滑桩设计也就偏于保守,显得不尽合理了。随着现代计算机技术的飞速发展以及有限元理论的自身发展,国内外均已开发了大型的有限元通用分析软件包,这使得有限元分析法在抗滑桩设计中的应用也越来越普遍。

3 普通抗滑桩设计方法中存在的几点问题

目前,对于普通抗滑桩设计方法中存在的一些问题已有很多学者发表了自己的见解并提出了相应的解决办法。总的说来,主要都是针对抗滑桩采用地基反力系数法设计时对地基反力系数随深度的分布情况所进行的修正和改进,提出了多种线性的和非线性的地基反力法,有的也已被列入了设计规范中^[4]。但是,这些方法基本上都是仅考虑桩受荷后由桩的变位引起的桩周土体对桩的反作用的影响,而对于产生这些作用影响的直接原因,即抗滑桩所受的外荷条件,也即设桩处滑坡体的剩余下滑推力的分布形式、作用位置等条件常采用了简化假定的方法。这实际上就陷入了一个误区,即不论抗滑桩内力分析和结构设计的理论方法多么先进,连引起抗滑桩内力和变位的直接原因——作用于抗滑桩上的荷载形式都不能明确的确定,而是仅仅对抗滑桩的内力计算和结构设计的理论方法进行优化改进,这对于整个抗滑桩设计体系的优化和改进就显得意义不大了。鉴于上述这些原因,笔者认为现阶段普通抗滑桩设计中还存在以下一些问题:

(1) 作用于桩身荷载的不确定性。现阶段确定作用于抗滑桩桩身荷载,也即设桩处滑坡体的剩余下滑推力的方法主要还是传递系数法。该法需要对滑坡体将要遭遇的各种不利工况条件进行组合,并且选取在设计基准期内较常遇到的不利工况组合作为滑坡治理的设计工况,选取设计基准期内较难遇到的工况组合作为校核工况,然后结合工程经验及治理工程的重要性选取恰当的安全系数来计算剩余下滑推力并以此作为抗滑桩内力计算和结构设计的依据。事实上经过稳定性分析评价可知,大多数滑坡(尤其是目前三峡库区的滑坡及变形体)的失稳状态都是在今后可能遭遇的几种不利工况的组合下发生的,而采用的设桩推力也是在该种情况下获得的。仅以此也可看出,抗滑桩设计采用的荷载实际上是一些不利工况条件下荷载的组合,这些荷载本身的变异性就很复杂,而且出现的频度也不一样,所以设计时事实上就无法精确确定作用在桩身上的荷载。

(2) 桩身受荷段滑坡推力分布形式的不确定性。滑坡推力的分布形式与滑坡的类型、治理部位地层性质、桩的相对柔度、布桩情况、滑坡体目前的变形情况及地基反力系数等因素有关^[1]。目前设计阶段常常采用简化的矩形分布、三角形分布和梯形分布。事实上,从很多滑坡的变形观测资料可以看出,滑坡的下滑推力往往都不是呈线性分布的而是呈很复杂的非线性分布,这也是由构成滑坡的岩土体自身的非线性、各向异性等条件决定的。如果再考虑有多层滑面的情况则滑坡推力的分布情况就更为复杂,在滑面处可能会出现转折和突变。所以将滑坡推力的实际分布仅以几种简单的线性分布形式来代替也显得不尽合理了。

(下转第156页)

2.3 关系式的检验

在本流域选取任意两块区域作为检验样区,见图 1。根据实际工作需要,取加权总体误差分别为 0.5%~2%,利用以上公式(3)(4)分别计算所需要的最大 DEM 空间分辨率。随后在检验样区按照计算出来的空间分辨率建立 DEM 提取坡度,如果所提取的坡度加权总体误差仍然分非常接近公式计算的误差,则说明本公式可以在黄土丘陵沟壑区可以推广使用(平均相对误差也使用同样方法进行检验)。表 2 是根据公式(3)(4)计算出来的不同误差所对应的分辨率。

表 2 误差及对应分辨率数据表

加权总体误差/%	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2	2.25	2.5
所对应分辨率/m	8.4	17.6	26.8	36.0	45.2	54.4	63.6	72.8	82.0	91.2
平均总体误差/%	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2	2.25	2.5
所对应分辨率/m	7.8	24.2	40.6	57.1	73.5	90.0	106.4	122.9	139.3	155.8

随后按照表 2 的分辨率在检验样区建立 DEM 提取坡度,计算其误差,进行检验样区结果数据与通用公式对应数据之间的差异显著性检验。选用 SPSS 软件,进行 t 均值检验,显著性水平均为 0.05,检验结果如下表:

表 3 检验样区相关数据表

DEM 分辨率/m	8.4	17.6	26.8	36.0	45.2	54.4	63.6	72.8	82.0	91.2	t 统计量
加权总	检验样区 1	0.24	0.49	0.76	1.01	1.14	1.52	1.92	1.91	2.44	2.23-0.03
体误差/%	检验样区 2	0.24	0.48	0.73	0.97	1.19	1.47	1.81	2.21	2.14	2.65 0.04
DEM 分辨率/m	7.8	24.2	40.6	57.1	73.5	90.0	106.4	122.9	139.3	155.8	t test
平均总/%	检验样区 1	0.24	0.48	0.81	0.90	1.22	1.48	1.79	1.95	2.02	2.56-0.09
体误差	检验样区 2	0.28	0.46	0.71	1.08	1.28	1.66	1.70	2.18	2.41	2.57 0.16

参考文献:

[1] 李大军,龚健雅,邹时林,等.未知误差分布的熵不确定度[J].测绘通报,2002,(12):5-7.

[2] 陈楠,汤国安,刘咏梅,等.基于不同比例尺的 DEM 地形信息比较[J].西北大学学报,2003,33(2):237-240.

[3] 陈楠,林宗坚,李成名,等.1:10000 及 1:50000 比例尺 DEM 信息容量的比较[J].测绘科学,2004,29(3):39-41.

[4] 陈楠,林宗坚,李成名,等.基于信息论的不同比例尺 DEM 地形信息比较分析[J].遥感信息,2004,75(3):5-9.

[5] 汤国安,陈楠,柳咏梅,等.黄土丘陵沟壑区 1:1 万及 1:5 万比例尺 DEM 地形信息容量对比[J].水土保持通报,2001,21(2):34-36.

[6] 汤国安,赵牡丹,李天问,等.提取黄土高原地面坡度的不确定性[J].地理学报,2003,58(6):824-830.

[7] 汤国安,陈正江,赵牡丹,等.ArcView 地理信息系统空间分析方法[M].北京:科学出版社,2002.

[8] 朱雪龙.应用信息论基础[M].北京:清华大学出版社,2001.

[9] 阎国年,钱亚东,陈钟明.基于栅格数字高程模型自动提取黄土地貌沟沿线技术研究[J].地理科学,1998,18(6):567-573.

[10] Tang Guoan. A Research on the Accuracy of Digital Elevation Models[M]. Beijing and New York: Science Press, 2000.

(上接第 152 页)

(3) 桩受荷变形后,反馈影响桩周岩土体会导致荷载的调整和应力重分布。其实这是所有桩基所共同面对的问题,而不是抗滑桩所独有的问题。抗滑桩桩身上所承受的荷载是由于滑坡体的运动而引起的,它与有无桩的存在、以及桩的形状、数量和布置均有关,是变化的。所以抗滑桩应该属于被动桩的范畴^[5],必须将桩-土体系当作整体来考虑。关于被动桩的工作机理,迄今还未有较系统成熟的理论描述,这也是今后抗滑桩设计中需要重点研究的一个课题。

参考文献:

[1] 铁道部第二勘测设计院.抗滑桩设计与计算[M].北京:中国铁道出版社,1983.32-65.

[2] 刘金砺.桩基础设计与计算[M].北京:中国建筑工业出版社,1990.182-187,189-206.

[3] 刘兴远,等.桩基工作特性分析的神经网络模型[M].北京:中国建筑工业出版社,1999.114-118.

[4] 中华人民共和国行业标准.建筑桩基技术规范(JGJ94-94)[S].北京:中国建筑工业出版社,1995.110-129.

[5] 林天健,等.桩基础设计指南[M].北京:中国建筑工业出版社,1999.24-26,160-161.

[6] 贺建清,等.弹性抗滑桩设计中几个问题的探讨[J].岩石力学与工程学报,1999,18(5):600-602.

[7] 罗一农.抗滑桩设计中几个问题的商榷[J].路基工程,1997,(6):9-13.

通过查 t 分布表知道,计算所得的 t 统计量绝对数值均远小于检验数值 2.101,即通过了 t 检验。所以认为 2 个检验样区的数据与通用公式的计算数据之间差异不显著,即本通用方程是可以使用的。

3 结 论

(1) 空间分辨率的变化会造成 DEM 提取坡度的不确定性变化。但是这种不确定性变化是有规律的,坡度向中等坡度集中,陡坡区域缩小,平缓坡区域先减少后增加。表现为坡度组合熵在减小,标准差在增大。

(2) 分辨率的变化对 DEM 坡度的概括是分段不同的,即对不同的坡度有不同的特点。根据对现有统计资料的定性分析可以将这种概括能力分为三类,同时本文提出了相关系数分析方法从定量的角度研究了分段概括能力,所得到的结论与定性分析完全吻合,说明这种方法是可行的。同时本文提出了黄土丘陵沟壑区域 1:1 万 DEM 分辨率对其所提取的坡度不确定性影响的定量计算公式。

(3) 本文提出了 DEM 提取坡度加权总体误差与平均总体误差的概念及计算方法,并找到了根据误差计算所需要的分辨率的经验公式,公式通过了实际检验。这对于实际工作选定分辨率提供了科学依据,同时对节约成本具有实际意义。

(4) DEM 的比例尺、数据的组织方式、建立的工艺方案对 DEM 提取坡度的不确定性也具有重要影响,因此本研究可以继续深化,通过扩大研究样区,考虑更多的因素,发现更加普遍的规律。

4 结 语

抗滑桩这种抗滑阻挡结构物已经成为滑坡防治工程中一种重要的工程措施。如何将现今抗滑桩设计中存在的问题加以深入分析和解决,使抗滑桩的设计理论和方法更加完善和合理已日益成为众多学者研究的焦点。对这些问题的解决,将对抗滑桩设计理论和方法的推进乃至整个滑坡防治工程技术的推进都将起到举足轻重的作用。