

基于优势面理论的土钉力增量计算方法

徐长磊, 戴俊

(西安科技大学 建筑与土木工程学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 运用优势面理论, 提出了一种考虑施工过程中对土钉力影响的增量计算方法, 并对该方法进行了探讨, 结果表明, 该方法计算的土钉力较好的符合工程实际。

关键词: 基坑支护; 优势面理论; 土钉力; 增量计算方法

中图分类号: TU 470 文献标识码: A 文章编号: 1000 - 4548(2005)10 - 1211 - 04

作者简介: 徐长磊(1980 -), 男, 山东阳谷人, 工程师, 硕士生, 主要从事岩土工程的设计与研究。

An incremental calculation method for soil nail forces based on preferred plane theory

XU Chang-lei, DAI Jun

(Architecture and Civil Engineering School, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: An incremental calculation method for soil nail force was presented and analyzed according to the preferred plane theory, and the effect of construction process on soil nail force could be taken into account. The results indicated that the soil nail forces calculated with this method conformed to the actual situation.

Key words: retaining and protection for foundation pits; preferred plane theory; soil nail force; incremental calculation method

0 前言

近年来, 建筑基坑土钉支护技术得到了推广应用, 土钉支护设计方法也渐趋完善。1999年颁布了中华人民共和国行业标准《建筑基坑技术规程》(JGJ120—99); 此外, 各大城市的基坑支护的地方性规范中也有自己的土钉支护设计方面的规定。但各种设计方法之间仍存在一定的差异, 寻求一种合理的土钉力分布及改进土钉支护的设计方法是十分必要的。

1 我国基坑规程中土钉力的计算^[1]

我国基坑规程采用土钉按面积分担经典朗肯土压力的方法, 土压力分布为三角形, 如图1所示, 即土钉力为

$$T_{jk} = \zeta e_{ajk} S_{xj} S_{yj} / \cos \alpha_j \quad (1)$$

式中 S_{xj}, S_{yj} 为第 j 根土钉相邻其它土钉的水平、垂直间距 (m); e_{ajk} 为第 j 根土钉位置处主动侧压力标准值 (kN), 按朗肯土压力理论计算; α_j 为第 j 根土钉与水平面的夹角; ζ 为考虑坡面倾角的荷载折减系数。可按下式计算

$$\zeta = \frac{\tan \left[\frac{\beta - \varphi}{2} \right] \left[\frac{1}{\tan \eta} - \frac{1}{\tan \beta} \right]}{\tan^2 (45^\circ - \varphi/2)} \quad (2)$$

式中 β 为土钉墙面与水平面的夹角 ($^\circ$); η 为破裂面与水平面的夹角, 取 $\left(\frac{\beta + \varphi}{2} \right)$ ($^\circ$), 如图2所示。

这种方法计算出来的土钉力沿基坑深度是越往下土钉力越大, 与朗肯的土压力的三角形分布一致, 但与实测的分布形状不同。图3为一些实测土钉力分布, 它并不是按三角形分布的。

2 土钉超前缝合支护机理及优势面理论^[2]

在支护与非支护条件下的土体单层、多层及整体稳定性分析、校核基础上, 通过逐层下挖基坑, 逐层进行土钉超前支护, 以尽可能保持、显著提高、最大限度地利用基坑边壁土体固有力学强度, 变土体荷载为支护结构体系的一部分, 最终达到安全、经济地维护深基坑边壁整体稳定之目的。

在某一开挖深度条件下, 坑壁产生滑移具有某种随机性, 即可能出现滑移线簇。但最危险和最先产生的滑移线只有一条, 称之为优势滑移线, 相应的滑移面称为优势滑移面。

滑移体实际下滑以优势滑移控制面的形成为前

提。优势滑移控制面产生初期，以地面出现高变形速率为先导，并以一定的变形速率发展变化。采用具有足够“缝合强度”的土钉逐次超前“缝合”优势滑移控制面，则此滑移面将不会萌生，或不致发展形成。图4所示是由优势滑移线簇与土钉共同组成的一张网格图，称为经纬图。

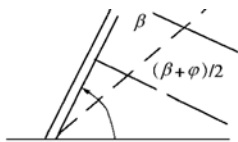
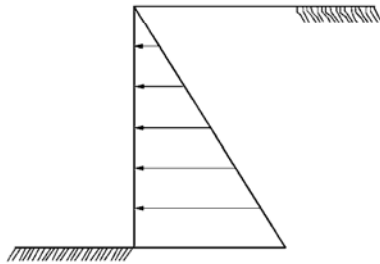


图2 计算倾斜坡面土压力折减系数图

Fig. 2 The calculation of earth pressure coefficient

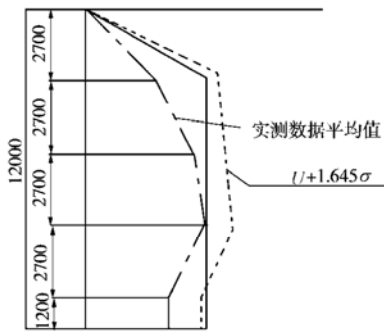


图3 金田工地锚杆最大拉力曲线图^[3]

Fig. 3 The largest bolt forces in the site of Jintian

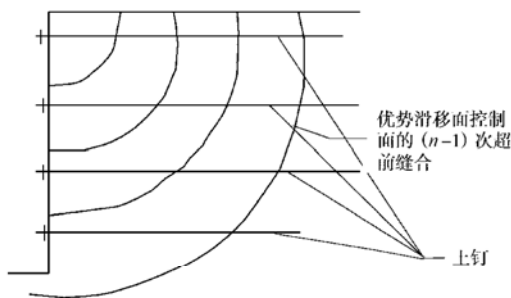
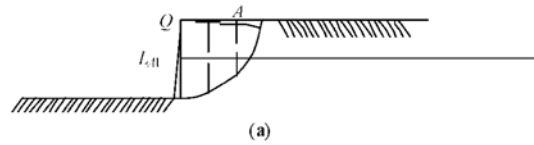


图4 经纬图

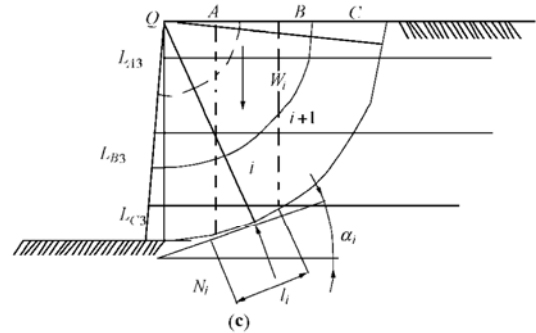
Fig. 4 The longitude and latitude

3 基于优势面理论的土钉力增量法计算探讨

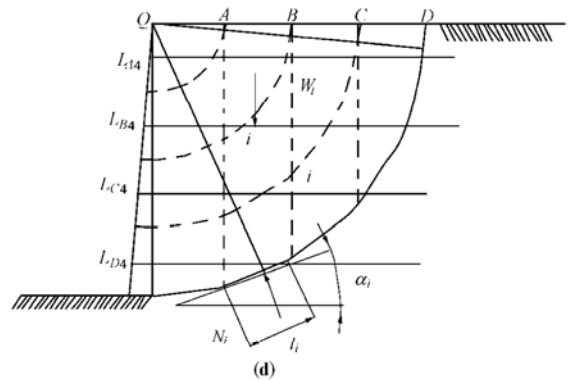
在文献[3, 4]中，杨光华等提出了土钉力的增量算法，并对该方法进行了简化。本文在增量法的基础上，结合优势面理论，探讨基于优势面理论的土钉力增量计算方法。



(a)



(c)



(d)

图5 基坑开挖的各阶段

Fig. 5 The different excavation stages of foundation pit

对本文提出的方法以图5所示来说明，图5(a)表示开挖第一层土方，此时第一层土钉缝合优势滑移面A，滑动体有一个微小的转角位移，土钉有一个伸长量 L_{A1} ；图5(b)表示开挖第二层土方，(此时，滑移面A已经被第一层土钉缝合，所以该施工阶段优势滑移面为B)则第一、二层土钉共同作用缝合优势面

B, 第一层土钉的伸长量增加了 L_{A2} , 第二层土钉伸长 L_{B2} ; 同样图 5 (c) 表示开挖第三层土方, 第一、二、三层土钉共同作用缝合优势面 C, 土钉伸长增加量分别为 L_{A3} 、 L_{B3} 、 L_{C3} ; 图 5 (d) 表示开挖第四层土方, 土钉伸长增加量分别为 L_{A4} 、 L_{B4} 、 L_{C4} 、 L_{D4} 。

根据以上土钉的受力过程机理分析, 得到:

土钉的作用是承担由于开挖而引起的边坡滑动体的全部不平衡力矩, 以保持基坑的稳定。活动区土体的重力 W 乘以重力作用线与转心的垂直距离即是促使土体发生滑动的力矩 M_w , 当土体滑动时, 滑动面上的摩擦力和凝聚力乘以作用线与转心的垂直距离即为抵抗滑动的力矩 M_R ^[5]。当 $M_R < M_w$ 时, 土体就会滑动造成崩塌, 所以需要筑设土钉以增加抵抗力矩, 使土体保持稳定。这些力矩的计算可以按传统的方法, 把活动区的土体竖向分割成若干个土条, 分别计算滑动力矩和抵抗力矩, 然后汇总起来进行比较, 得出所需的由土钉提供的平衡力矩。

仍以图 5 为例来说明, 为了计算简便, 假定:

- (1) 基坑土体是均质, 各层土钉长度相等。
- (2) 优势面均为 1/4 圆柱面, 且圆心为 Q 点。
- (3) 每次开挖深度均为 d , 该层土钉布置于距该工况基坑底面 $d/2$ 处。
- (4) 由于滑体仅有一个微小的角位移, 只考虑土钉承受了轴向荷载 N ^[6]。

这样, 可把土钉近似作为具有相同弹性模量 E 的弹簧, 土钉力与土钉的伸长量成正比。

图 5 (a): 此时

$$N_{A1} \times \frac{d}{2} = M_{W1} - M_{R1} \quad (3)$$

则 $N_{A1} = 2(M_{W1} - M_{R1})/d$ 。 (4)

图 5 (b): 此时

$$N_{A2} \times \frac{d}{2} + N_{B2} \times \frac{3d}{2} = M_{W2} - M_{R2} \quad (5)$$

且由几何关系 (L_{A1} 与土钉的长度相比很小, 故不考虑第一层土钉已伸长的影响) 得到

$$L_{B2} : L_{A2} = 3 : 1 \quad (6)$$

故可近似认为

$$N_{B2} : N_{A2} = (L_{B2} \times E) : (L_{A2} \times E) = 3 : 1 \quad (7)$$

则 $N_{A2} = N_{B2}/3 = (M_{W2} - M_{R2})/5d$ 。 (8)

同理由图 5 (c) 得到

$$\begin{aligned} N_{A3} &= N_{B3}/3 = N_{C3}/5 \\ &= 2(M_{W3} - M_{R3})/35d \quad (9) \end{aligned}$$

由图 5 (d) 得到

$$\begin{aligned} N_{A4} &= N_{B4}/3 = N_{C4}/5 \\ &= N_{D4}/7 = (M_{W4} - M_{R4})/42d \quad (10) \end{aligned}$$

这样各土钉力应为

$$N_A = N_{A1} + N_{A2} + N_{A3} + N_{A4} \quad (11)$$

$$N_B = N_{B2} + N_{B3} + N_{B4} \quad (12)$$

$$N_C = N_{C3} + N_{C4} \quad (13)$$

$$N_D = N_{D4} \quad (14)$$

应用土坡稳定计算中的瑞典圆弧滑动法计算各阶段的 $M_w - M_R$ (如图 5 所示)。

得到

$$M_{Wk} - M_{Rk} = \sum W_i x_i - \sum [c l_i + (N_i - u l_i) \tan \phi] R \quad (15)$$

$k=1,2,3,4$ 。

式中 W_i 为第 i 条土体的自重; N_i 为第 i 条土体底部的总法向反力; x_i 为第 i 条土体自重作用线与转心 Q 距离; l_i - 第 i 条土体底部的边长; u 为土的孔隙应力; c 、 ϕ 为土体抗剪强度指标。

同样可以得到

$$(M_{W4} - M_{R4}) : (M_{W3} - M_{R3}) : (M_{W2} - M_{R2}) : (M_{W1} - M_{R1}) = 16 : 9 : 4 : 1 \quad (16)$$

$$N_A : N_B : N_C : N_D = 4 : 9 : 10 : 7 \quad (17)$$

与之类似, 对于有 n 层开挖支护的基坑可按同样的方法计算土钉力。

4 算 例

为说明问题, 以一均质土体开挖的土坡支护结构为例进行计算分析。某基坑, 开挖深度 6 m, 粘性土, 重度 18 kN/m^3 , 固结不排水剪内摩擦角标准值 12° , 固结不排水剪粘聚力标准值 16 kPa , 土体与锚固体的极限摩阻力标准值 40 kPa 。土钉墙坡面与水平面的夹角为 85° , 地面超载 20 kPa , 无地下水。设计土钉竖向间距 1.1 m , 水平间距 1.5 m 。如图 6 所示。

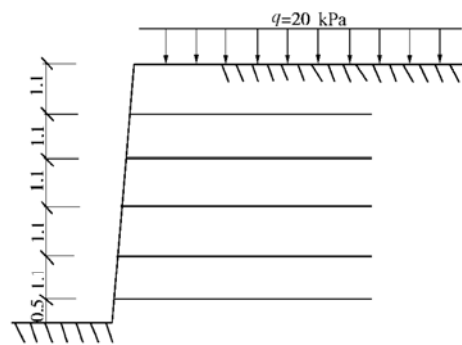


图 6 基坑土钉支护

Fig. 6 The retaining and protection of foundation pit with soil nail

应用本文中提出的基于优势面理论的土钉力增量算法, 分别计算出每层土钉所承担的轴向力, 并与用国家规范计算得出的值相比较。如图 7 可见, 规范中的计算方法是相当于认为土钉是一次施工同时起作用而分担全部侧向压力的, 这种方法未考虑施工过程

的影响,其结果显然是上层土钉力计算值偏小,下层土钉计算值偏大,是不符合实际的。而基于优势面理论的增量算法则考虑了施工过程的影响,因而是较符合实际的。并且由图7可见,基于优势面理论的增量算法得到的土钉力分布形状是与以上通常实测到的土钉力分布形状相似的,说明该方法是一种能反映实际情况的较合理的方法。因此,基于优势面理论的增量算法是计算土钉力的较合理的方法。

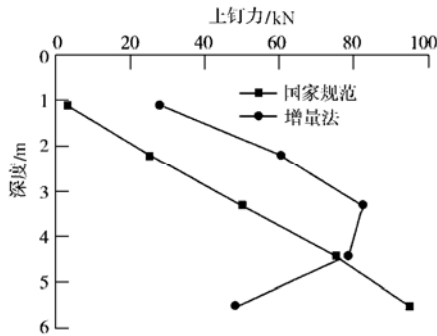


图7 增量法与规范计算所得轴力的比较

Fig. 7 The comparison of soil nail forces calculated with incremental method and Chinese National Code

5 结 论

土钉支护中土钉力是与施工过程有关的,以往土

钉力的计算中对施工过程的影响的考虑是不够的,土钉的超前缝合理论能够更好的反映施工过程对土钉力的影响,运用本文提出的基于优势面理论的土钉力增量算法得到的土钉力其分布形状与实测形状较符合。但由于目前对土钉支护的机理研究还很不够充分,并且在应用本方法计算时做了较多近似处理,计算过程也较复杂,因此,本文的方法还不够完善,还有待于今后的进一步研究,把该方法进行完善并做出一些简化,以更好的指导设计施工,推动土钉支护理论的进步。

参考文献:

- [1] JGJ120-99, 中华人民共和国行业标准建筑基坑技术规程[S].
- [2] 曾宪明,黄久松,王作民. 土钉支护设计与施工手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2000:36-40.
- [3] 杨光华. 深基坑支护结构的实用计算方法及其应用[M]. 北京:地质出版社,2004:89-108.
- [4] 杨光华,黄宏伟. 基坑支护土钉力的简化增量算法[J]. 岩土力学,2004,1:15-19.
- [5] 钱家欢,殷宗泽. 土工原理与计算[M]. 北京:中国水利水电出版社,1996:302-308.
- [6] 陈宗严. 土钉加固边坡的分析计算[J]. 土木工程学报,1994,2:31-36.