基坑桩锚支护设计新方法

姚爱国
(中国地质大学〈武汉〉工程学院,湖北 武汉 430074)

摘　要:简要讨论了用于桩锚支护设计的自由端法与固定端法中存在的问题,提出了一种新的设计方法。新方法在计算土压力零点以下长度时采用力平衡而不是力矩平衡的方法,简化了计算,计算结果较趋近于安全、节省的目标。给出了详细计算过程与计算实例。

关键词:基坑开挖;桩锚支护;设计方法
中图分类号:TU47　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000 – 3746(2000)05 – 0033 – 02

A New Design Method of Anchored Sheet Pile Wall for Excavation/ *YAO Ai-guo* (China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China)

Abstract: The problems in the free and fixed earth support methods for thd design of the anchored sheet pile wall for excavation are briefly discussed. A new method for the design is proposed. A forces equilibrium rather than moment equilibrium method is adopted to calculate the length from the point where the stress of the soil down to zero to the bottom of the pile. The calculation is simplified by the new method, and the results approach to the goal of safety and cost saving. The details of the calculation procedures and examples to demonstrate the calculation are presented in this paper.

Key words: excavation; anchored sheet pile wall; designing methods

随着经济建设的发展,基坑工程起来越多。基坑工程是涉及多学科的复杂工程,也是出事故较多的工程。基坑事故的原因是多方面的,但唐业清[1]与曾宪明[2]的调查结果都表明,设计不当造成的基坑事故占 40% 以上。因而深入研究基坑支护设计理论与设计方法具有重要意义。

基坑支护设计方法可分为 3 类[3],即常规设计方法或压力平衡法、弹性地基梁法和有限元法。弹性地基梁法与有限元法计算较为复杂,并且难以计算出嵌固深度等参数,因而应用得不如常规设计方法普遍。尽管不少人认为有限元法可能是将来的发展方向,但现在无论是国内还是国外,基坑设计规范大多还规定采用常规方法设计基坑支护结构[4,5],所以有必要对常规设计方法做进一步的研究。

国内外应用最多的常规设计方法有自由端法和固定端法[4,6]。本文着重讨论这 2 种方法的原理及不足之处,在此基础上提出一种新的计算方法。

1　自由端法与固定端法分析

1.1　自由端法

自由端法认为在主动土压力、被动土压力与锚固力的共同作用下,桩墙处于平衡状态。如图 1 所示单锚支护的情况下,对 C 点可列出力的平衡方程 $\sum F = 0$ 与力矩平衡方程 $\sum M_c = 0$。由这 2 个方程可解 2 个未知数,即可解出锚固力与桩的嵌固深度。这实际上是把支护结构当作分离体处理,整个分离体处于平衡状态。由于 C 点力矩为零,相当于简支端或铰链支座,故称为简支梁法或自由端法。从理论力学的角度来看,这种理论是合理的。但是从材料力学的角度来看,由于在桩底端弯矩和剪力同时为零,这里取得极大值。也就是说梁上某处有相当大的负弯矩值,或者说弯矩分布相当不均匀。而这个相当大的弯矩值不是由主动土压力引起的,而是由较大的锚固力引起的。用这个值来设计桩身截面是相当不合理的,会造成较大的浪费。以致于不得不采用某种方法人为地减小弯矩值[4]。

由基坑的破坏形式知,自由端法理论与实际情况相差较远。基坑破坏的形式是多种多样的,这在实践中已得到验证。我们采用弹塑性有限元的方法也对多个基坑的破坏进行了模拟分析,证明基坑破坏有近似于圆弧滑动、有平滑破坏、有以转动为主的破坏,更多的是几种破坏形式的复合。在那些以转动为主的破坏形式中,很少有以桩墙底端为转动轴的破坏形式。而按自由端法设计的基坑有不少是以"踢腿"的形式破坏的。这就是说按自由端法计算的锚固力过大,另外也说明按桩墙底端作为力矩平衡点与实际不相符合。

1.2　固定端法

所谓固定端法也叫等值梁法,图 2 为其计算原理图。先找出主动土压力强度与被动土压力强度相等的点,如图 2 中 D 点,假设此点为弯矩零点,由对此点的力与力矩平衡条件求出锚固力以及 AD 段作用于 DC 段的合外力,由对 C 点的力矩平衡求出 DC 段的长度。实际上这种方法是把桩当作三铰支梁,锚固点为一处铰支,土压力强度为零的点为一处铰支,底端弯矩为零的点为另一处铰支。由于对土压力为零的

收稿日期:2000 – 07 – 15

作者简介:姚爱国(1955 –),男(汉族),河南人,中国地质大学(武汉)副教授,勘察工程专业,从事钻探与岩土工程方面的教学与科研工作,湖北省武汉市武昌南湖,(027)87481446,a.yao@dns.cug.edu.cn。

万方数据

点列力矩平衡方程求出锚固力，因而该点的弯矩为零。又由于该点为反弯矩点，该点上下弯矩变号，适当调整锚固力的位置或大小，可使正负弯矩值大致相等。按这个弯矩值设计的桩截面应该是比较合理的。但是对 DC 段采用力矩平衡的方法求出其长度，使得桩的总嵌固深度较大，以至于有经验的设计者，往往根据经验适当减小其长度。建设部的基坑支护标准，假定基坑以下主动土压力按矩形分布，这样做可降低桩墙的计算嵌固深度。建设部标准基本属于固定端法，只是在基坑下主动土压力简化为矩形分布

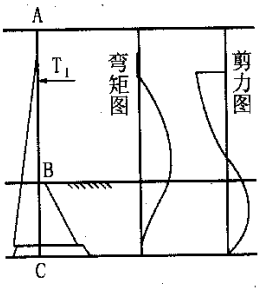

图 1 自由端法计算原理图

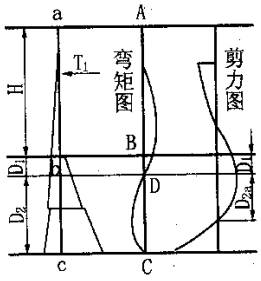

图 2 固定端法计算原理图

从力学的角度来分析，固定端法所存在的问题有 2 点：一是假设主动土压力强度与被动土压力强度相等的点为弯矩零点，二是对 C 点列力矩平衡方程求 DC 的长度。对于第一点，虽然从理论上说不太严密，但与不少实际情况却相差不太远。况且基坑支护的受力状况是非常复杂的，不同的地层条件和支撑条件，其弯矩零点的位置可能会不相同，因此这一点在实际设计中是可以接受的。对于第二点，由于这种理论上的不合理，造成设计桩长过长，会造成材料浪费，则应该加以改进。

2 改进的设计方法

2.1 改进法计算步骤

笔者基于上述理由，提出了改进的固定端法。所谓改进的固定端法只是对固定端法的最后一步进行了改进，即采用力的平衡条件而不是力矩平衡条件计算 DC 的长度。图 3 为改进法的计算原理图，图中所对应的地层为单层砂性土。图 4 为改进法与固定端法原理对比图。

改进法计算步骤如下。

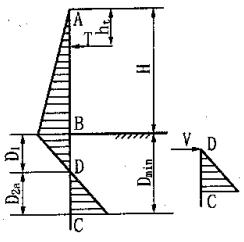

图 3 改进法计算简图

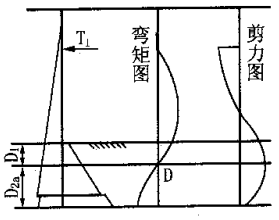

图 4 改进法与固定端法原理对比图

2.1.1 求出主动土压力与被动土压力平衡点距基坑坑底的距离

$$D_1 = Hk_a/(k_p - k_a) \tag{1}$$

式中：H——开挖深度，m；k_a——主动土压力系数；k_p——被动土压力系数。

2.1.2 考虑 AD 段的平衡可求出锚固力 T 与分段平衡力 V

由 $\sum m_d = 0$ 求出锚固力：

$$T = \gamma[k_a(D_1 + H)^3 - k_pD_1^3]/[6(H - h_t + D_1)] \tag{2}$$

式中：h_t——锚杆距坑顶距离，m；γ——土的重度，kN/m³。

由 $\sum X_{AD} = 0$ 求出作用于 D 点的合力：

$$V = \gamma k_a(H + D_1)^2/2 - \gamma k_pD_1^2/2 - T \tag{3}$$

2.1.3 求出土压力强度为零的点至剪力平衡点的距离 D_{2a}

由 DC 段力的平衡方程 $\sum X_{DC} = 0$ 可得：

$$V - \gamma(k_p - k_a)D_{2a}^2/2 = 0$$

即：

$$D_{2a} = \sqrt{2V/[\gamma(k_p - k_a)]} \tag{4}$$

2.1.4 最小嵌固深度 D_{min}

$$D_{min} = f(D_1 + D_{2a}) \tag{5}$$

式中：f——嵌固深度安全系数。

与常规固定端法相比，这种方法仅改变了第三步，把原来的由力矩平衡法求 D_2 改为用外力平衡法求 D_{2a}。从力学角度分析，本方法把 AC 段看作分离体，对 AC 段考虑力的平衡，又对 D 点考虑力矩平衡，桩墙已达到平衡状态。从计算过程看，常规方法考虑力矩平衡需要考虑 D_2 的 3 次方程。本方法由力的平衡只需考虑 D_{2a} 的 2 次方程，计算简化了。

从计算结果来看，在均匀单层砂土中，有

$$D_2 = \sqrt{3}D_{2a}$$

本法计算土压力零点以下长度桩长比固定端法计算结果小，两者相差 $\sqrt{3}$ 倍。这种方法计算出的锚固力与固定端法一致，而计算出的桩墙嵌固深度与自由端法的计算结果比较接近。国外有人早就提出，应该采用固定端法算出的锚固力，采用自由端法计算出的桩长。改进的固定端法刚好满足这一要求。

为能清楚地说明本方法，下面给出一个较简单的算例。

2.2 改进法计算实例

基坑开挖深度 $H = 8$ m，在距坑顶 $h_t = 3$ m 处设置一道锚杆。土层力学参数为：$\gamma = 19$ kN/m³，$\varphi = 30°$，$C = 0$。取 $f = 1$。

(1) 求 D_1

$$D_1 = Hk_a/(k_p - k_a)$$
$$= 8 \times 0.3333/(3 - 0.3333)$$
$$= 1.00 \text{ m}$$

(2) 求锚固力

$$\sum M_d = 0$$
$$\gamma k_a(H + D_1)^3/6 - \gamma k_pD_1^3/6 - T(H + D_1 - h_t) = 0$$
$$T = \gamma[k_a(H + D_1)^3 - k_pD_1^3]/[6(H + D_1 - h_t)]$$
$$= 19 \times [0.3333 \times (8 + 1)^3 - 3 \times 1^3]/[6 \times (8 + 1 - 3)]$$
$$= 126.66 \text{ kN}$$

(3) 求 D_{2a}

$$V = \gamma k_a(H + D_1)^2/2 - \gamma k_pD_1^2/2 - T$$
$$= 19 \times 0.3333 \times 9^2/2 - 19 \times 3 \times 1^2/2 - 126.6664$$
$$= 101.31 \text{ kN}$$
$$D_{2a} = \sqrt{2V/[\gamma(k_p - k_a)]}$$
$$= \sqrt{2 \times 101.3144/[19 \times (3 - 0.3333)]}$$
$$= 2 \text{ m}$$

(下转第 37 页)

万方数据

(上接第 34 页)

(4)求最小嵌固深度

$D_{min} = f(D_1 + D_{2a}) = 1 \times (1 + 2) = 3$ m

为进一步检验改进的方法,我们对多个例子进行了对比计算。按自由端法、固定端法、建设部标准以及改进法分别计算出锚固力与嵌固深度,再用弹塑性有限元法分别计算出各种情况下的位移,以便于比较。图 5 为某工程桩墙位移曲线比较。由图可看出,改进的固定端法计算桩长短,最大位移并不太大,比较接近既安全又节约的目标。更进一步的资料笔者将另文论述。

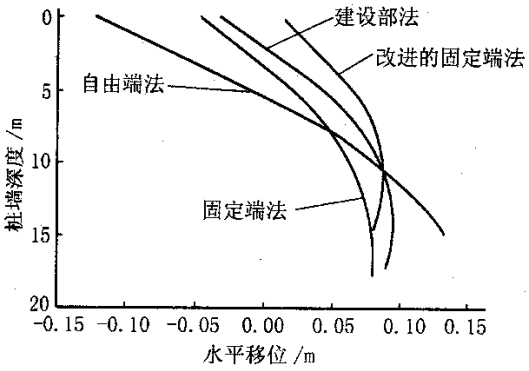

图 5 桩墙位移曲线比较

3 结论

基坑支护设计理论还不完善,进一步探讨基坑支护设计方法,有助于更好地理解设计的基本原理,减少基坑工程事故。

自由端法对坑底取力矩平衡的设计原理与实际基坑支护破坏方式不符合。固定端法求土压力零点以下的长度时又采用力矩平衡的原理是不合理的,这导致了其计算嵌固深度值较大。本文提出的方法,力学上符合平衡原理,计算简单,计算结果较接近于既安全又节约的目标。

参考文献:

[1] 唐业清,李启民,崔江余.基坑工程事故分析处理[M].北京:中国建筑工业出版社,1999.

[2] 曾宪明,林润德,易平.基坑与边坡事故警示录[M].北京:中国建筑工业出版社,1999.

[3] Jean-Louis Briaud, et al. Beam-column method for tieback walls[J]. Journal of Geotechnics and Geoenvironment Engineering (USA), 1998, (67).

[4] Cernica J N. Foundation Design[Z]. John Wiley & Sons Inc, 1995.

[5] 黄强.建筑基坑支护技术规程应用手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1999.

[6] DB42/159—1998,深基坑工程技术规定(湖北省地方标准)[S].

万方数据