

排桩支护结构中圈梁截面的设计研究

张武刚 龙 汉 尚 昊
(解放军理工大学工程兵工程学院, 南京 210007)

[摘 要] 建立了考虑圈梁作用的排桩支护结构计算模型, 编制了圈梁 - 排桩相互作用分析的有限元计算程序——BP - analysis, 利用该程序对截面积相同但高宽不同的圈梁的约束效果进行分析, 结果表明宽度较大者约束效果佳。
[关键词] 排桩 圈梁 截面设计 有限元

排桩是目前我国各地普遍应用的一种基坑支护结构。在施工实践中, 排桩桩顶通常都设置一道钢筋混凝土连梁(即圈梁), 圈梁使原本各自独立受力的支护桩连成为一个整体。理论分析和实际监测均表明, 圈梁对支护桩有一定的约束作用, 因此, 圈梁的作用应该是一个不可忽略的因素。但是, 由于对排桩支护结构的工作机理和设计计算方法还缺乏必要的研究, 我国现行的有关排桩设计的规程中仍没有反映圈梁的影响^[1], 具有很大的不合理性。排桩支护中圈梁的工程设计, 其宽度(竖向)一般取为支护桩径 $D \pm (100 \sim 200 \text{ mm})$, 而高度的设计和圈梁配筋设计在很大程度上则要凭借个人经验而难免带有盲目性。更为严重的是, 一些施工单位过份依赖圈梁的约束作用, 降低了支护桩的施工质量要求, 给基坑工程埋下事故隐患。因此, 圈梁作用的研究对排桩支护结构的设计和应用具有重要的理论及实用价值。

1 圈梁 - 排桩相互作用分析

基坑是一个具有长、宽、深不同尺寸的空间几何体, 由于各支护桩所处的位置以及地层条件、受力条件不尽相同, 因此, 各桩的内力和变形也是不相同的。尤其是对一些无锚撑的排桩支护结构, 如果桩顶没有设置圈梁或圈梁刚度太小, 各桩间也就没有较强的力学联系, 排桩不能形成一个整体, 各桩的受力和变形将各自自由发展。如果某根桩受力过大, 或施工质量不合格, 导致其在荷载作用下变形过大或折断, 轻则使相邻的桩承受更大的压力, 使各桩产生相继破坏的趋势, 重则有可能使基坑在此桩处直接失稳。如果在桩顶设置了具有一定刚度的圈梁, 且圈梁封闭或两端具有可靠约束(见图 1), 那么, 支护桩在侧土压力、地面超载作用下产生的变形, 将会受到圈梁的约束和限制, 在圈梁和支护桩桩顶之间产生相互作用力。这种相互作用力是与圈梁和桩的变形相耦合的, 随着变形的增加, 相互作用力也在增大, 圈梁对桩顶的约束作用就越强, 反过来又抑制了变形的增长, 因此, 桩身的变形要比桩顶自由的情况明显减小。从圈梁角度来看, 圈梁和桩之间的相互作用力, 也迫使圈梁产生向基坑内的变形, 由于基坑和支护结构的空间效应^[2,3], 各桩顶处对圈梁的作用力大小也不尽相同, 因此, 圈梁在不同部位的变形也不相等。但从支护桩与圈梁连接的节点来看, 两者的变形是一致的、协调的, 即圈梁的水平位移等于桩顶的水平位移, 圈梁的扭转角等于桩顶的转角。

根据以上分析可知, 圈梁和排桩协同工作, 构成了一个静力平衡的空间结构体系。圈梁的作用就是约束和协调各桩的受力和变形, 同时作为结构的一部分, 承受外荷载的作

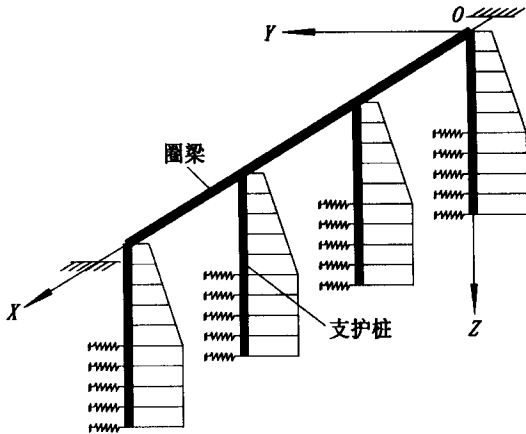


图 1 排桩支护结构模型
用, 并不仅仅只是一种构造措施。

2 计算模型建立

2.1 基本假定

- 1) 支护桩、圈梁均为线弹性体;
- 2) 桩侧土为 Winkler 离散线性弹簧, 不考虑桩土之间的粘着力和摩阻力;
- 3) 采用较为符合工程实际的地基土水平抗力系数 $K(z)$ 随深度线性增加的假定, $K(z) = m \cdot z$, 即 M 法;
- 4) 桩后主动侧土压力在开挖面以上按朗肯理论分层计算, 在开挖面以下取矩形分布, 其值取为开挖面处的土压力^[4]。

2.2 计算模型

在以上分析及基本假定的基础上, 为了反映不同部位的圈梁对排桩约束的变化, 圈梁与排桩之间的相互作用力近似地用一个侧向弹簧和一个抗扭弹簧来表示, 从而得到圈梁 - 排桩相互作用的计算模型(图 2)。

仅考虑侧向弹簧作用时, 任一处 x_i 的弹簧刚度可用下式计算^[5]。

$$R_T = \frac{24 EI}{x_i^2 (l - x_i)^2} \tag{1}$$

式中, E 为圈梁的弹模, I 为圈梁的惯性矩, l 为圈梁长度, x_i 为计算点到基坑拐角的距离。

3 有限元程序设计

采用弹性地基梁有限元法求解排桩支护结构, 将支护桩划分为 N 个单元, $N + 1$ 个结点, 其中土层分界点、锚杆作用点、开挖面均按结点考虑。开挖面以上支护桩为梁单元, 以下

[收稿日期] 2001 - 06; [责任编辑] 肖 辰。

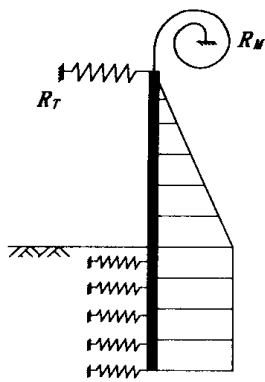


图2 排桩支护结构计算模型
支护桩为弹性地基梁单元,土弹簧采用“M”法进行计算。
锚杆和圈梁均按弹簧处理。对于一个截面积为A,弹模为E,自由段长度为L_s,平面间距为S,倾角为θ的锚杆,其等效弹簧刚度系数K_{ss}按下式计算^[6]:

$$K_{ss} = \frac{A \cdot E \cdot \cos \theta}{S \cdot L_s} \tag{2}$$

求出土弹簧、锚杆弹簧和圈梁弹簧后,将其纳入到结构总体刚度矩阵中一并考虑即可。

在以上分析的基础上,编制了圈梁-排桩相互作用分析的弹性地基梁有限元程序BP-analysis,并利用本程序对排桩支护结构中圈梁的约束作用进行分析。

4 圈梁的截面设计

某科研生活楼工程,建筑物地上六层,地下一层,地面超载为99 kPa,基坑开挖深度6.1 m。其A段长度40 m,支护方案为人工挖孔灌注桩+旋喷桩+锚杆:桩长11.1 m,桩径φ600 mm,桩身混凝土等级为C20,纵向配筋12 φ22,箍筋φ10 @200,桩中心距1.0 m;锚杆为2 φ28,长度16 m,锚杆水平设计分力241 kN;桩顶设置钢筋混凝土圈梁,圈梁截面尺寸1.0 m×1.0 m。

表1 不同截面的圈梁参数

序号	截面 b × h (m × m)	惯性矩 I _b (m ⁴)	圈梁与桩的 刚度比 I _b /I _p
1	0.8 × 0.8	0.03413	1.6972
2	1.0 × 1.0	0.08333	4.1437
3	1.1 × 1.1	0.12201	6.0671
4	0.8 × 1.0	0.06667	3.3153
5	1.0 × 0.8	0.04267	2.1218
6	0.8 × 1.1	0.08873	4.4122
7	1.1 × 0.8	0.04693	2.3337
8	1.0 × 1.1	0.11092	5.5157
9	1.1 × 1.0	0.09167	4.5584

表1是9种圈梁截面及其参数,其中有3对圈梁的截面积相同但惯性矩不同,通过其约束效果的不同来研究圈梁截面的优化设计。这里需要特别指出,圈梁截面的高度h是其水平方向的长度,而b是其竖向的长度。

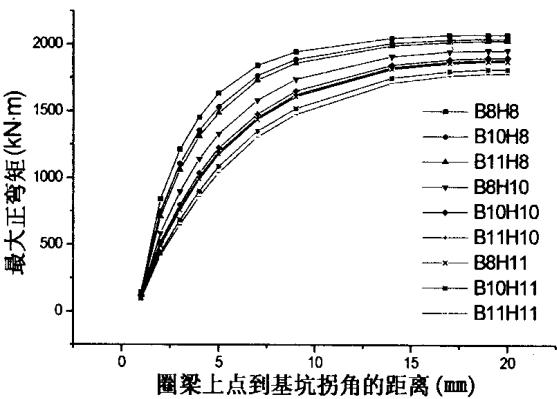
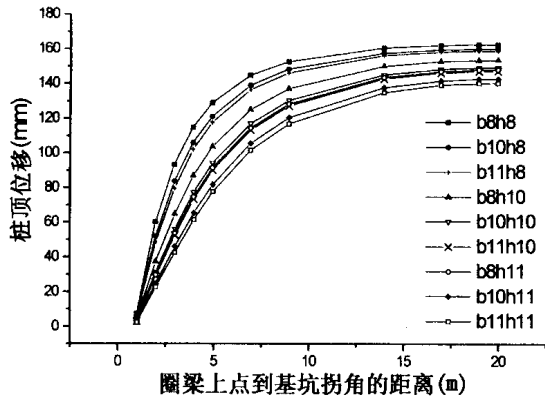


图3 圈梁截面不同时各桩顶的位移及桩身最大正弯矩

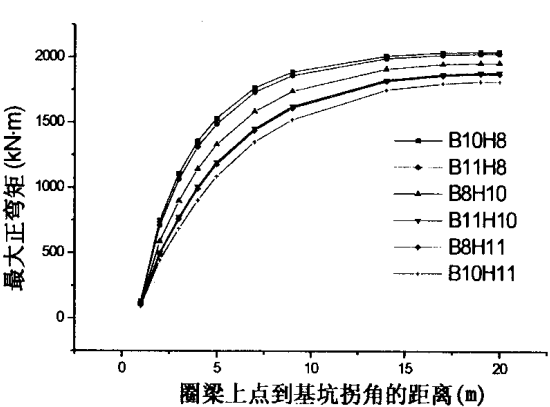
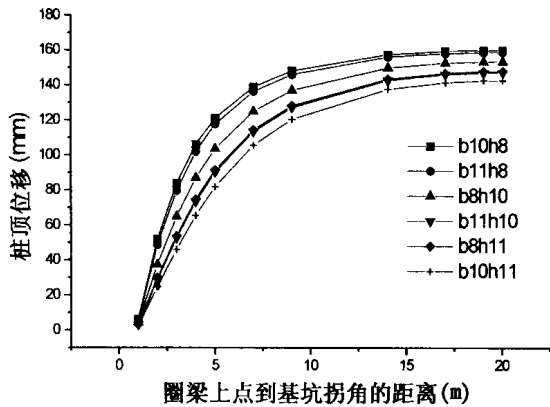


图4 圈梁截面面积相同但高宽不同时各桩顶的位移及桩身最大弯矩

图3是以上9种不同截面圈梁作用下基坑边的水平位移及各支护桩的最大弯矩。总体来看,加大圈梁截面对限制

桩顶水平位移及桩身弯矩有较大作用,尤其对拐角到四分之一跨中之间的桩作用明显。由图中还可看出,加大圈梁宽度



b 的作用不如加大圈梁高度 h 的作用显著,但由于圈梁截面不能无限制增加,因此,企图通过加大圈梁截面使基坑周边满足变形要求的作法是不现实的,设计和施工单位不应对圈梁的约束作用估计过高。

图 4 是 3 对截面相同但高宽不同的圈梁的约束效果。由图中可以看出,虽然消耗的材料相同,但高度较大的圈梁,支护桩的桩顶位移和桩身弯矩均较小。这说明,高度较大的圈梁其约束效果更明显,高度相差越大,区别更大,而合理的圈梁截面对于限制桩的内力和变形都是有利的。因此,在设计圈梁截面时,应使其高度尽量大,以便更充分地发挥其约束作用。

经过其他工程实例的计算分析,并考虑到工程实际中支护桩径大小的限制,建议取圈梁高度 $h = (D + 300) \text{ mm}$, D 为桩径。

5 结 论

本文将圈梁简化为作用于桩顶的弹簧,建立了圈梁 - 排桩相互作用的计算模型,在此基础上编制了弹性地基梁有限元程序 BP - analysis,对圈梁的作用进行分析,主要探讨了圈梁截面的变化对支护桩内力与变形的约束影响,得出了如下两点结论:

1) 加大圈梁截面可提高圈梁对桩的约束作用,但不应

过多依赖于圈梁的约束作用。

2) 截面相同但高宽不同的圈梁,高度较大者约束效果好,建议圈梁的截面高度取支护桩桩径 $D + 300 \text{ mm}$ 。

参考文献

[1] 中华人民共和国行业标准. 建筑基坑支护技术规程. JG 120 - 99. 北京:中国建筑工业出版社,1999.
[2] Fook - Hou Lee, Kwet - Yew Yong, Kevin C. N. Quan, and Kum - Thong Chee. Effect of corners in strutted excavations: field monitoring and case histories. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 1998, 124(4): 339348.
[3] 杨雪强,刘祖德,何世秀. 论深基坑支护的空间效应. 岩土工程学报, 1998, 20(2): 7478.
[4] 杨学林,施祖元,益德清. 带撑支护结构受力计算. 建筑结构, 2000, (5): 3639.
[5] 庄文舒,杨应玖. 高层建筑深基坑支护结构三维计算方法研究. 武汉水利电力大学学报, 1998, 31(1): 9599.
[6] 金亚兵. 有限单元法用于锚杆桩支护系统的计算分析. 工程勘察, 1997, (3): 15.

第一作者通讯地址:北京市德外安翔北里九号 306 基建办公室 邮编:100101

(上接第 44 页)

胡敦欣 海洋学家。1936 年生于山东即墨。1961 年毕业于山东大学、山东海洋学院。1966 年中国科学院海洋研究所研究生毕业。中国科学院海洋研究所研究员。在太平洋发现“棉兰老潜流”,改变了有关太平洋西边界流动力学结构的传统认识,对海洋经向热量输送、平衡和气候有重要影响;在中国陆架发现中尺度涡“东海冷涡”,推进了中国陆架环流的研究;把地球化学上的“ PO^- ($-135\text{PO}_4 + \text{O}_2$)”在海洋中是独立于氧的一个保守量的概念引入大洋环流反演模式,提高了反演模式的确定性和计算精度;提出的浙江沿岸上升流非风生机制,修正了传统的风生沿岸上升流理论;发现并从动力学上解释了“在陆架上,上升流与海底软泥沉积有密切关系”的科学现象,推进了物理海洋与海洋沉积之间交叉学科领域的研究。

钟大赉 构造地质学、大陆动力学家。1933 年生于山东青岛。1954 年毕业于北京地质学院。1963 年获前苏联列宁格勒矿业学院副博士学位。中国科学院地质与地球物理研究所研究员。长期从事构造地质领域的研究,致力于不同尺度构造研究的结合,深部构造与浅部构造、深部物质运动对地壳演化关系的研究。对我国古特提斯造山带进行了系统研究,阐明了全球古特提斯发育最好地域的古板块演化规律。对新生代印度与亚洲大陆碰撞前缘变形进行的研究,为青藏高原及其周缘新生代地质构造格局和环境演变的关系建立了时空框架。在我国较早地运用中、小、微构造相结合,研究矿田构造、断裂和褶皱形成的历史分析和力学分析,提出深层不均一控制浅层构造的形成,进一步发展了断块构造理论。

徐世浙 地球物理学家。1936 年生于浙江台州。1956 年毕业于长春地质学院。浙江大学教授。长期从事地球物理科研教学工作。提出用构制保角变换座标网的方法,将数学上无法用许克变换的任意地形曲线变换为水平线,解决了国内外任意地形磁场、重力场的曲线延拓和电阻率法二维地形改正问题,使地球物理场的计算更加准确和科学,这对我国广大山区的地球物理资料的正确解释有重要意义。长期致力于地球物理的数值计算方法的研究,是国内外最早将有限元法和边界元法应用于地球物理勘探的研究者之一,有效地解决了许多地球物理计算难题。边界元法计算效果好,效率高,使原来难于计算的电阻率法三维问题,计算效率提高千倍以上,具有重要的实用价值。

涂传诤 空间物理学家。1940 年生于北京。1964 年毕业于北京大学。北京大学教授。提出并证实了太阳风阿尔芬起伏中存在着湍流相互作用,发展了新的湍流传输理论。该理论把对太阳风起伏的阿尔芬波描述与湍流描述结合了起来,从而解决了在以往研究中的矛盾,该理论得到广泛的正面引用,被称为“涂氏模型”或“WKB like turbulence model”;发展了非均匀磁流体介质中的湍流传输理论。提出并论证了在太阳风湍流中存在着压力平衡结构和快磁声波,给出观测证据证明以往流行的“近似不可压理论”不能用来解释太阳风可压缩起伏。提出了两分量模型用来描述小尺度传输结构和阿尔芬湍流。通过上述理论,分别阐明了一些重要的观测结果。

(中国科学院地学部办公室 刘勇卫 申倚敏 供稿)