

深基坑中钢支撑结构的设计与应用

胡 菲

(武汉市建筑设计院 浙江分院,杭州 310012)

摘 要: 针对深基坑中支撑结构难以计算的问题,介绍了钢结构支撑布置的基本原则及支撑体系算法中的连续梁法。以杭州地区最具代表性的某基坑工程为算例,根据地质条件计算出土压力的分布情况,采用连续梁法计算支撑内力,确定支撑计算长度、立柱设计、对撑设计,根据内力和基坑跨度大小采用 STS 软件设计出一套标准化通用格构式钢结构支撑体系。以期对今后的工程计算起到一定的借鉴作用。

关键词: 钢结构支撑;连续梁;格构式体系

中图分类号: TU753

文献标识码: A

文章编号: 1671-8798(2009)01-0032-04

Design and application of steel braces in deep foundation pit

HU Fei

(Zhejiang Branch of Wuhan Architectural Design Institute, Hangzhou 310012, China)

Abstract: In view of the problems about how to calculate the steel structure support, the paper introduces the basic principle about the arrangement of steel braces and the method of continual beam as one of the support system algorithms. Taking the most representative foundation pit in Hangzhou area for an example and according to the geological condition, the author computes distributed situation of soil pressure, and uses the method of continual beam arithmetic support internal force to determine the braces computation length and the column design as well as the design of symmetry braces. By using software STS, a set of standardization general lattice steel braces system is designed according to the internal force and the span of the foundation pit. Thus this can be used for reference to the projection computation in the future.

Key words: steel braces; continual beam; lattice system

我国很多工程都用到大型基坑技术。钢支撑作为其中重要支撑护壁技术的一个分支,也得到蓬勃发展。相比于混凝土支撑,钢支撑本身自重轻;装拆方便且迅速,可减少围护墙,由于无支撑时间长、土体蠕变而增大变形,即减少时间效应;可施加预应

力;还可根据围护墙变形的发展及时调整预应力值,以控制其变形;钢支撑是工具式结构,可多次重复利用。但是,钢支撑存在容易失稳的问题。针对这一问题,笔者提出了一种空间钢结构支撑体系(格构式体系),选用的材料和性能都与结构优越的网架、网

收稿日期: 2009-01-16

作者简介: 胡 菲(1966—),女,浙江杭州人,高级工程师,硕士,主要从事土木工程技术研究。

壳等空间结构相近。

1 钢支撑体系的布置及组成原则

本文提到的钢支撑,如果不作说明,都是指格构式体系。

设计包括连接节点设计(采用实心螺栓球节点,包括高强螺栓、套筒、封板、锥头及钢球设计)、腰梁设计(采用4块钢板焊接而成的箱形截面)、八字撑构件设计、受压空心半球设计、对撑端部(包括预紧装置)设计、角撑端部设计、钢牛腿(三角支架)设计等一系列辅助结构设计。

一般情况下,对于平面形状接近方形的基坑,宜设置角撑,使基坑有较大的空间,便于组织挖土;对于长方形基坑,宜设置对撑或对撑加角撑(见图1),安全可靠,便于控制变形。内支撑的布置要综合考虑下列因素:

- 1) 基坑平面形状,尺寸和开挖深度。
- 2) 基坑周围的环境保护要求和邻近地下工程的施工情况。
- 3) 主体工程地下结构的布置线。
- 4) 土方开挖和主体工程地下结构的施工顺序和施工方法。

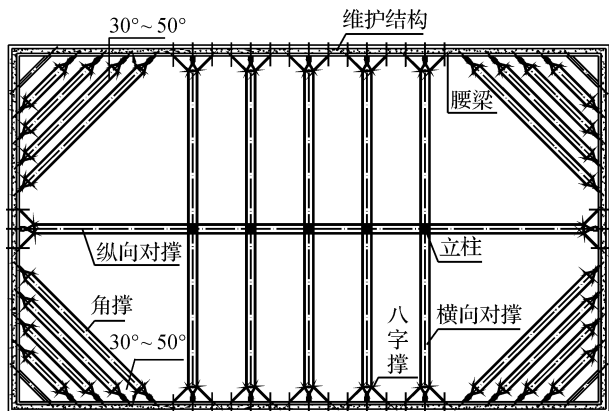


图1 钢支撑体系的布置

Fig.1 Arrangement of the steel support system

结合实际工程具体地讲为支撑轴线应避免开主体工程的柱网轴线,支撑布置要便于挖土,支撑的水平间距不能过小(机械挖土不宜小于8 m)。支撑的竖向布置要考虑地下结构楼盖的布置、拆撑和换撑的方便、便于挖土等。根据需要可以设置一道或多道竖向支撑,数量可根据开挖深度、地质条件和环境保护要求等因数计算确定。在地下水位较高的软土地区,基坑深度小于8 m时,可设一道支撑;基坑深度为10~16 m时,可设置2~4道竖向支撑。当有多

道支撑时,上下各层水平支撑轴线应布置在同一竖向平面内,竖向相邻支撑的净距离不能小于3 m,采用机械挖土时不能小于4 m。为不妨碍主体工程结构施工,支撑顶面与地下室的楼盖梁底面或楼板底面之间的净距离不宜小于300 mm^[1]。

2 支撑体系算法

连续梁法^[2]将支撑体系的某一段腰梁隔离出来作为结构设计的控制段,建立多跨连续梁的计算模型,假定一定的荷载条件,从静力平衡法或弹性抗力法中得到维护结构对腰梁的作用力,将支撑按支座条件处理,求得腰梁内力和支座反力,然后根据支座反力求得支撑内力,这样就可对腰梁和支撑系统进行设计。如图2所示,这种方法比较简单,手算即可得到结果。本论文中的算例就是用基于该方法近似计算腰梁和支撑内力的。

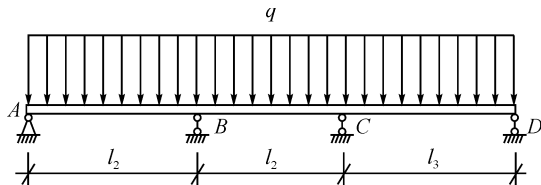


图2 连续梁法

Fig.2 Method of continuous beam

3 工程算例

3.1 工程概况

为了便于研究开发标准化通用支撑体系,需根据具体工程及地质情况进行计算分析,故选下列在杭州地区最具代表性的基坑作为算例。算例为杭州某大楼,结构抗震设防按丙类等级,设防烈度为6度,地质情况如图3所示,影响支护结构的土层有2种,一层为粉土,天然重度 $\gamma=19.0 \text{ kN/m}^3$,内摩擦角为 $\varphi=28^\circ$,黏聚力为 $c=10 \text{ kPa}$,层厚平均为4 m。二层为粉质黏土,天然重度 $\gamma=18.5 \text{ kN/m}^3$,内摩擦角为 $\varphi=15^\circ$,黏聚力为 $c=24 \text{ kPa}$,层厚平均为14 m。三层为砂质粉土,天然重度 $\gamma=19.4 \text{ kN/m}^3$,内摩擦角为 $\varphi=35^\circ$,黏聚力为 $c=16.3 \text{ kPa}$ 。基坑开挖深约10 m,地下水位埋深约5 m,对混凝土无侵蚀性作用,地面均布荷载为 5.0 kN/m^2 ,地下室平面尺寸为 $80 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ 。

本算例中的土压力根据土压力理论及其相关的公式计算维护结构外侧的土压力分布。

基坑支护方案的选型:根据基坑周边环境、开挖

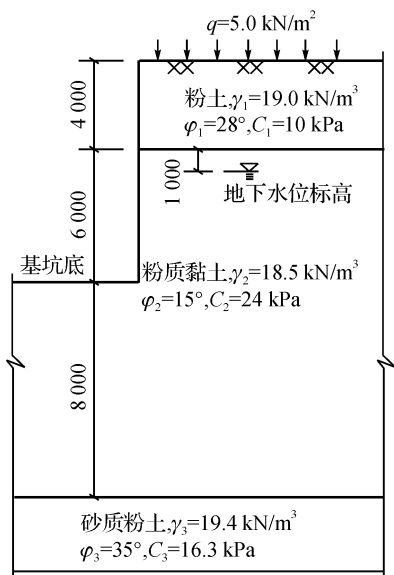


图 3 场地土层分布情况

Fig. 3 Location soil layer distributed situation

的深度、工程地质与水文地质、施工作业设备和施工季节等条件,本工程基坑开挖支护结构选择密排钻孔灌注桩作维护结构,钻孔灌注桩的外侧用水泥土搅拌桩作隔水帷幕。具体支护如下:

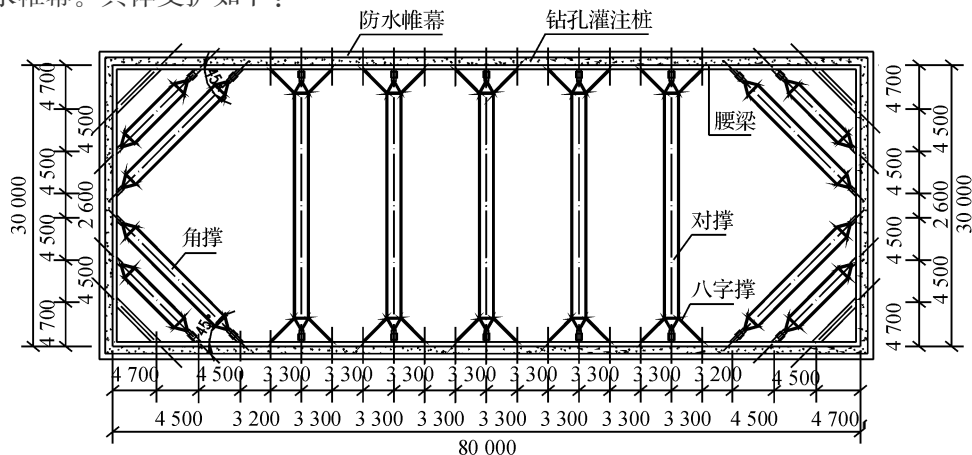


图 4 支撑平面布置图

Fig. 4 General arrangement of the supporting plane

3.3 支撑计算长度确定及立柱设计

随着跨度的增加,对撑极限承载力将减少,为提高对撑的极限承载力可采取中间设立柱和横向水平支撑的办法,立柱采用格构式构件。

受压对撑计算长度可按下列方法确定^[3]:

1) 当水平平面支撑交汇点设置竖向立柱时,在竖向平面内的受压计算长度取相邻两立柱的中心距,在水平面内受压计算长度取与该支撑相交的相邻横向水平支撑的中心距。

1) 钻孔灌注桩直径为 800 mm,桩间距 850 mm,入土深度计算如下:

黏聚力系数 $\delta = c_k / \gamma h = 24 / [18.5 \times (10 + 5 / 19)] = 0.126$

内摩擦角为 $\varphi = 15^\circ$

由以上两参数查相关表格得 $n_0 = 0.30$

桩嵌固深度的设计值 $h_d = 1.1 h_0 = 1.1 n_0 h = 1.1 \times 0.30 \times (10 + 5 / 19) = 3.39 \text{ m}$

桩的计算长度为 $10 + 5 / 19 + 3.39 = 13.65 \text{ m}$

实际取桩长 14 m

(根据建筑基坑支护技术规程(JGJ120—99)^[3])

附录 A.0.2)

2) 作隔水帷幕的深层搅拌桩,桩长也取为 14 m。

3) 排桩的顶部设钢筋混凝土冠梁,冠梁的宽度(水平方向)取 800 mm,冠梁的高度(竖直方向)取 400 mm。本基坑工程中的冠梁只作为联系梁的作用,因此配筋可按构造配。

3.2 基坑内支撑布置

支撑水平面布置见图 4。布置时考虑到整体对称性的要求,有关内支撑的布置要考虑的因素见本文“钢支撑体系的布置及组成原则”。

2) 当水平平面支撑交汇点未设置立柱时,在竖向平面内的受压计算长度取支撑的全长。

立柱计算应符合下列规定^[3-4]:

1) 立柱的内力宜根据支撑的条件按空间框架计算,也可按轴心受压构件计算,轴向力设计值可按下列经验公式确定:

$$N_z = N_{z1} + \sum_{i=1}^n 0.1 N_i$$

式中: N_{z1} 为水平支撑及柱自重产生的轴力设计值;

N_i 为第 i 层交汇于此立柱的最大支撑轴力设计值;
 n 为支撑的层数。

2) 各层水平支撑之间的立柱受压计算长度可按各层水平支撑间距计算;最下层水平支撑下的立柱受压计算长度可按底层高度加 5 倍立柱直径或边长计算。

3) 立柱基础应满足抗压和抗拔的要求,并应考虑基坑回弹的影响。

3.4 对撑设计

对撑内力计算举例如图 5 所示。

图 5 为主动土压力传给腰梁的计算简图(为方便研究假设基坑开挖面以下维护结构的墙后主动土压力与墙前被动土压力平衡,坑底以上主动土压力全部由两道腰梁承担)^[5-6]。

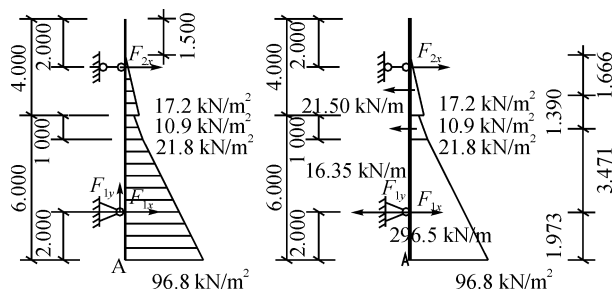


图 5 腰梁计算简图(长度单位 m)

Fig.5 Waist beam calculation diagram (Unit of length m)

对图 5 中的支座力计算如下,各变量见图 5 所示。

由静力平衡条件得

$$F_{1x} + F_{2x} = 296.5 + 16.35 + 21.50 = 334 \text{ kN/m}$$

$$F_{1y} = 0$$

$$\sum M_A = 0$$

$$296.5 \times 1.973 + 16.35 \times (1.973 + 3.471) +$$

$$21.50 \times (1.973 + 3.471 + 1.390) =$$

$$F_{1x} \times 2 + F_{2x} \times 8$$

得:

$$F_{1x} = 309 \text{ kN/m}$$

$$F_{2x} = 25 \text{ kN/m}$$

$$F_{1y} = 0$$

下面那道腰梁水平荷载设计值:

$$1.25 \gamma q = 1.25 \times 1.10 \times 309 = 425 \text{ kN/m}$$

其中 1.25 为荷载系数, γ 为基坑侧壁安全等级及重要性系数,见 JGJ120—99。

由图 6 得对撑 ED 轴力设计值: $425 \times 3.3 \times 3 = 4208 \text{ kN}$,对撑采用格构式构件。

以构件 ED 为例,说明内力计算和截面选择,如图 7 所示(钢材采用 Q345,强度设计值 $f = 310 \text{ N/mm}^2$)。

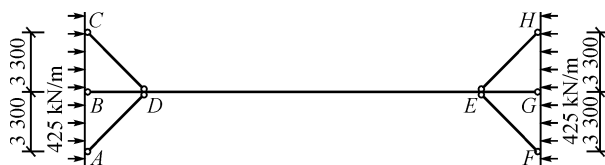


图 6 对撑、八字撑计算简图

Fig.6 The calculation diagram of the pair supports and eight characters supports

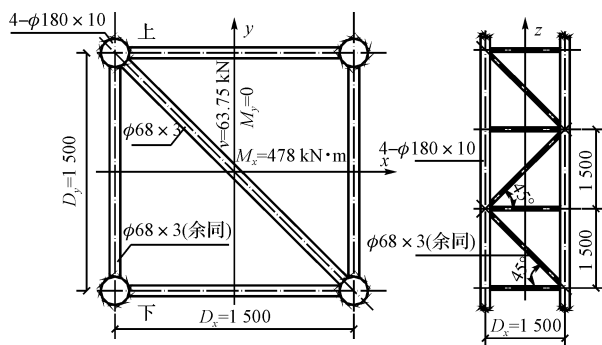


图 7 构件 ED 截面图

Fig.7 Component profile chart

图 7 的对撑弯矩与剪力设计值计算如下^[7-8]:

$\phi 80 \times 10$ 热轧无缝钢管单位长度自重:

$$41.92 \text{ kg/m (GB/T 8162—1999)}$$

每根(1.5 m) $\phi 80 \times 10$ 钢管的重量:

$$41.92 \times 1.5 = 62.88 \text{ kg}$$

$\phi 68 \times 3$ 热轧无缝钢管单位长度自重:

$$4.81 \text{ kg/m (GB/T 8162—1999)}$$

每根(1.5 m) $\phi 68 \times 3$ 热轧无缝钢管的重量:

$$4.811 \times 1.5 = 7.22 \text{ kg}$$

每根(2.12 m) $\phi 68 \times 3$ 热轧无缝钢管的重量:

$$4.81 \times 2.12 = 10.20 \text{ kg}$$

该格构式构件单位长度(m)的自重设计值:

$$[62.88 \times 4 + 7.22 \times 4 + 10.20 \times 5 + 50 \times 4] \times$$

$$10 \times 1.2 / 1.5 = 4250 \text{ N/m} = 4.25 \text{ kN/m}$$

(1.2 为恒载系数,每个实心螺栓球预估重量 50 kg)

对撑弯矩设计值:

$$M_x = \frac{1}{8} q l^2 = \frac{1}{8} \times 4.25 \times 30^2 = 478 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_y = 0$$

剪力设计值:

$$Q = \frac{1}{2} q l = \frac{1}{2} \times 4.25 \times 30 = 63.75 \text{ kN}$$

根据计算出的设计内力值,借助 STS 软件计算,得到合理的支撑截面如图 7。

(下转第 49 页)