

文章编号: 1000-7598 (2010) 09-2854-07

考虑空间协同效应的排桩斜撑支护 体系分段拆撑法研究

刘俊岩¹, 刘 燕¹, 王海平²

(1. 济南大学 土木建筑学院, 济南 250022; 2. 济南市市政工程设计研究院有限责任公司, 济南 250002)

摘 要:与水平内支撑比较,排桩斜撑支护体系用于深大基坑开挖时具有诸多优越性。但关于斜撑拆除的研究相对滞后,使该支撑形式的利用受到一定的限制。内支撑的拆除多采用“先撑后拆”方案,文中从排桩斜撑支护体系的协同变形理论出发,提出了分区分段“先拆后撑”的思路;利用最小势能解,推导了该类支护体系在分段拆撑过程中,拆撑区段长度的计算方法;并结合具体工程实例,对该计算理论和结果加以验证。通过研究,冠梁弯矩、排桩弯矩和位移是决定分段长度的主要因素,并提出了该类支护体系的全过程优化设计的概念,可为今后该类支护体系的拆撑设计和施工提供依据和借鉴。

关 键 词:基坑;斜撑;换撑;空间协同效应

中图分类号: TU 473

文献标识码: A

Design of removing diagonal brace in sub region considering coordinating role of space support systems

LIU Jun-yan¹, LIU Yan¹, WANG Hai-ping²

(1. School of Civil Engineering and Architecture of University of Jinan, Jinan 250022, China;

2. Jinan Municipal Engineering Design & Research Institute, Jinan 250002, China)

Abstract: Comparing with horizontal support, the bracing systems of pile and oblique bracing have obvious advantages in big and deep foundation pit. Because the study about the removal of diagonal bracing is rare, the use of this system is limited. The accustomed removal method of the internal supporting is supporting followed removing. Based on the coordinating role of space support systems, according to the minimum potential result, the removing design thinking of supporting followed removing in several sub region and sections is proposed; and the calculation method of the length of sub region is derived. Finally, the feasibility and rationality of the proposed method are verified by the practical engineering. According to the research, the top beam moment and the moment and displacement of the pile are the key factors which decide the length of the sub sections. The concept of the overall process design is came up. All of these can provide reference for this design and construction.

Key words: foundation pit; diagonal brace; exchanging of support; coordinating role of space

1 引 言

深基坑支护中的内支撑主要有两种形式,即水平支撑和斜撑。与水平支撑相比,斜撑具有工程量小、造价低、挖土方便、工期短等优点。但目前常规的斜撑拆除方法是等到先行施工地下结构并完成换撑后才可进行拆撑,这就不得不在地下结构的外墙、楼板上因斜撑而留洞,从而增加了施工难度,影响了地下结构的施工速度、施工质量和结构的整体性,也限制了斜撑支护体系的推广应用。

排桩斜撑支护体系分段拆撑法充分发挥排桩斜撑支护体系的空间整体协同作用,利用空间有限元分析拆撑过程,对应力进行安全有序的调整转移和再分配,确定分段拆撑长度;施工中则是先行分段拆除斜撑,然后分段施工地下结构,从而避免在地下结构上留洞,在发挥斜撑支护体系优势的同时,也克服了拆撑阶段对地下结构施工的不利影响。

目前深基坑排桩斜撑支护体系的研究还很少,拆撑的相关研究更是滞后,现行的规范也未将其列入,拆除设计无章可循,所以有必要对斜撑拆除等

收稿日期: 2010-04-19

基金项目: 国家安全生产监督管理总局科技发展计划项目 (No. 06-222)。

第一作者简介: 刘俊岩,男,1963 生,硕士,副教授,院聘教授岗,土木工程系主任,硕士生导师,主要从事基坑工程研究。E-mail: liujunyan@vip.sina.com

问题认真研究,为工程设计、施工和推广斜撑支护体系提供科学依据。

本文采用考虑空间协同变形的最小势能理论,寻求斜撑分段拆撑法的理论解,为分段拆撑法提供理论依据。

2 支护体系协同变形的最势能解

顶部带斜撑排桩支护体系如图1所示,斜撑长度为 B ,基坑深度为 h ,排桩总长为 H (设 $\lambda = h/H$),顶部支撑间距为 L ,排桩间距为 s ,相邻支撑间有 n 个支护桩。

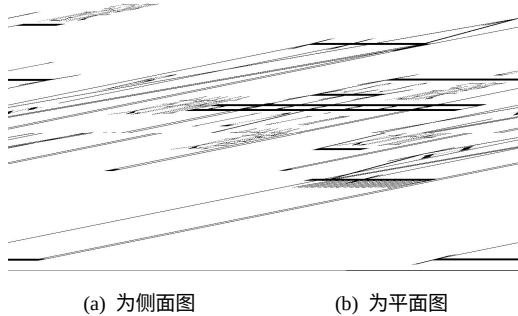


图1 带冠梁的排桩斜撑支护体系

Fig.1 The system of piles in row with top braces and beams

支护结构体系中支护桩、冠梁和支撑均为线弹性体,满足各种线弹性体的假定。计算时,对支护桩与冠梁只考虑弯曲变形,忽略其扭矩和压缩变形;对支撑只考虑压缩变形,而忽略其弯曲和扭矩变形。计算时假定:①假设排桩在拆撑过程中,底端不发生位移和转角,即排桩底端简化为固定支座。当不满足固定支座的要求时,可考虑先行浇注基础底板并通过传力带与排桩连系,即排桩底施加无限大刚度的底板水平支撑,以满足固定端的假定。②采用传统的朗肯土压力进行计算。③冠梁与支护桩的连接视为铰接。

2.1 结构变形

根据实测资料以及相关文献[1]可以得出支护体系各组成结构变形的最小势能解。

2.1.1 顶部支撑

由于顶部支撑与支护桩之间通常为铰接,所以支撑只受轴向压力,压缩量为 δ_1 。

2.1.2 冠梁

在单元支护结构中的冠梁与斜撑连接处,冠梁的位移为 δ_1 ,支护单元中部冠梁的位移最大,设为 δ_0 (图2),其余任意点处的位移设为 δ ,则冠梁变形曲线表达式可用弹性力学的方法和边界条件确

定为

$$\delta = \frac{\delta_0 - \delta_1}{2} \sin\left(\frac{2\lambda D}{L}y - \frac{\lambda D}{2}\right) + \frac{\delta_0 + \delta_1}{2} \quad (1)$$

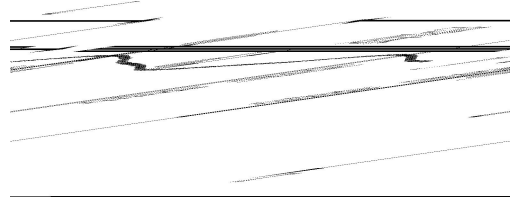


图2 冠梁变形曲线

Fig.2 Deformation curve of top beam

2.1.3 有斜撑的支护桩

如图3(a)所示,顶部带支撑的支护桩最大位移一般出现在坑底附近,位移为 μ_0 ;桩顶位移等于斜撑位移即 δ_1 ;假设桩底固定不发生位移^[2],则桩体任意深处的位移 $\mu_{hz}(z)$ 为

$$\mu_{hz}(z) = \left(\frac{\delta_1}{H^2\lambda} - \frac{\mu_0}{H^2\lambda(1-\lambda)} \right) z^2 + \left(\frac{\mu_0}{H\lambda(1-\lambda)} - \frac{(1+\lambda)\delta_1}{H\lambda} \right) z + \delta_1 \quad (2)$$

2.1.4 斜撑间的支护桩

顶部没有支撑的支护桩,最大位移一般在顶部,位移量为此处冠梁的位移 δ 。变形模式如图3(b)所示,则桩体任意深处的位移 $\mu_z(y, z)$ 为^[3-5]

$$\mu_z(y, z) = \frac{\delta}{2} \left(1 + \cos \frac{\lambda D}{H} z \right) \quad (3)$$

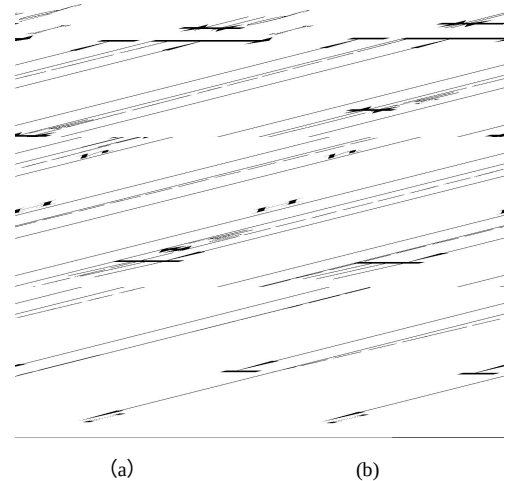


图3 支护桩变形曲线图

Fig.3 Deformation curve of soil piles

排桩的变形曲线表达式为

$$\mu_z(y, z) = \frac{1}{2} \left[\frac{\delta_0 - \delta_1}{2} \sin \left(\frac{2\sqrt[4]{D}}{L} y - \frac{\sqrt[4]{D}}{2} \right) + \frac{\delta_0 + \delta_1}{2} \right] \left(1 + \cos \frac{\sqrt[4]{D}}{H} z \right) \quad (4)$$

2.2 土压力分布

极限状态下作用在支护结构的土压力采用文献[6]中的土压力分布。

(1) 水平荷载取主动土压力

主动土压力采用朗肯土压力理论计算：

$$p_a = \begin{cases} 0, & (z \leq h_0) \\ (q + \gamma z)K_a - 2c\sqrt{K_a}, & (h_0 < z \leq h) \\ (q + \gamma h)K_a - 2c\sqrt{K_a}, & (h < z \leq H) \end{cases} \quad (5)$$

(2) 水平抗力取被动土压力

水平抗力为

$$p_p = \gamma(z - h)K_p + 2c\sqrt{K_p}$$

式中： γ 为土体的重度； c 为土体的黏聚力； φ 为土体的内摩擦角； q 为地面超载； K_a 、 K_p 分别为主动土压力系数和被动土压力系数。

$$\left. \begin{aligned} h_0 &= \frac{2c - q\sqrt{K_a}}{\gamma\sqrt{K_a}}; K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \\ K_p &= \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

单元支护结构体系总势能包括支撑压缩应变能、支护桩弯曲应变能和冠梁弯曲应变能、主动土压力外力势能、被动土压力外力势能。系统总势能 Π 为

$$\Pi = U_h + U_g + U_{hz} + U_z + U_{p_a} + U_{p_p} \quad (7)$$

式中： U_h 为支撑的压缩应变能； U_g 为冠梁弯曲应变能； U_{hz} 为有斜撑的支护桩的弯曲应变能； U_z 为斜撑间支护桩的弯曲应变能； U_{p_a} 为主动土压力外力势能； U_{p_p} 为被动土压力外力势能。

由最小势能原理可知，当 $\frac{\partial \Pi}{\partial \delta_0} = 0$ ， $\frac{\partial \Pi}{\partial \mu_0} = 0$ 时，

总势能取极小值，由此可得

$$\delta_0 = \frac{(64\sqrt[4]{D}E_g I_{gz} sH^3 - \sqrt[4]{D}E_z I_{zy} L^4 / 2)\delta_1 + 32sH^3 L^3 (A_1 - B_1)}{64\sqrt[4]{D}E_g I_{gz} sH^3 + \sqrt[4]{D}E_z I_{zy} (3L + 4s)L^3 / 2} \quad (8)$$

$$\mu_0 = \frac{(A_2 - B_2)H^3 \lambda^2 (1 - \lambda)^2}{4E_{hz} I_{hz}} + (1 - \lambda)\delta_1 \quad (9)$$

$$\left. \begin{aligned} \delta_1 &= FB / E_c A_c \\ F &= qHK_a L + 2cHL(\lambda\sqrt{K_p} - \sqrt{K_a} - \sqrt{K_p}) \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= \frac{4\lambda^2 - 3\lambda^3}{12(1 - \lambda)} \gamma K_a sH^2 + \frac{3\lambda - 2\lambda^2}{6(1 - \lambda)} s(qK_a - 2c\sqrt{K_a}) + \\ &\quad \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\lambda} + 1 - 2\lambda \right) (qK_a + \gamma\lambda HK_a - 2c\sqrt{K_a}) sH \\ A_2 &= \left(\frac{\lambda^2}{8} + \frac{\lambda \sin \lambda \sqrt[4]{D}}{4\sqrt[4]{D}} + \frac{\cos \lambda \sqrt[4]{D} - 1}{4\sqrt[4]{D}} \right) (L + s) \gamma K_a H^2 + \\ &\quad \frac{\sqrt[4]{D} + \sin \lambda \sqrt[4]{D}}{4\sqrt[4]{D}} (L + s) (qK_a - 2c\sqrt{K_a}) H + \\ &\quad \frac{1}{4} \left(1 - \lambda - \frac{\sin \lambda \sqrt[4]{D}}{\sqrt[4]{D}} \right) (L + s) (qK_a + \gamma\lambda HK_a - \\ &\quad 2c\sqrt{K_a}) H \\ B_1 &= \frac{L + s}{4} \left[\left(\frac{1 - \lambda^2}{2} - \frac{\lambda \sin \lambda \sqrt[4]{D}}{\sqrt[4]{D}} - \frac{1 + \cos \lambda \sqrt[4]{D}}{\sqrt[4]{D}} \right) \gamma K_p H^2 + \right. \\ &\quad \left. \left(1 - \lambda - \frac{\sin \lambda \sqrt[4]{D}}{\sqrt[4]{D}} \right) (2c\sqrt{K_p} - \gamma\lambda HK_p) H \right] \\ B_2 &= \frac{1 + \lambda + \lambda^2 - 3\lambda^3}{12\lambda} s \gamma K_p H^2 + \\ &\quad \frac{1 + \lambda - 2\lambda^2}{6\lambda} (2c\sqrt{K_p} - \gamma\lambda HK_p) sH \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

式中： E_g 为冠梁的弹性模量； I_{gz} 为冠梁截面对 z 轴的惯性矩； E_{hz} 为顶部有斜撑支护桩的弹性模量； I_{hzy} 为顶部有斜撑支护桩的截面对 y 轴的惯性矩； E_z 为顶部没有斜撑支护桩的弹性模量； I_{zy} 为顶部没有斜撑支护桩截面对 y 轴的惯性矩； E_c 为斜撑的弹性模量； A_c 为斜撑截面面积。

3 分段拆撑设计思路

在确定拆撑方案前，须保证支护结构各构件的稳定性和安全性，包括以下几个方面：(1) 拆换撑期间，支护桩的弯矩和剪力、位移要满足规范^[6-7]要求；(2) 拆换撑期间，冠梁的弯矩、剪力满足规范的要求；(3) 拆换撑期间，斜撑的压力满足规范的要求；

根据最小势能原理得出的变形公式可以推算各构件弯矩。

(1) 冠梁

冠梁弯矩为

$$M_g = -E_g I_{gz} \frac{\delta_0 - \delta_1}{2} \frac{4\mathcal{D}}{L^2} \sin\left(\frac{2\mathcal{D}}{L}y - \frac{\mathcal{D}}{2}\right) \leq [M_g] \quad (12)$$

当 $y=0$ 及 $y=L$ 时, 冠梁处为支座负弯矩, 当 $y=L/2$ 时, 取跨中正弯矩:

$$M_{g\max} = E_g I_{gz} \frac{\delta_0 - \delta_1}{2} \frac{4\mathcal{D}}{L^2} \leq [M_g] \quad (13)$$

剪力:

$$\left. \begin{aligned} V_g &= \frac{4\pi^2 E_g I_{gz} (\delta_0 - \delta_1)}{L^3} \cos\left(\frac{2\mathcal{D}}{L}y - \frac{\mathcal{D}}{2}\right) \leq [V_g] \\ V_{g\max} &= \frac{4\mathcal{D} E_g I_{gz} (\delta_0 - \delta_1)}{L^3} \leq [V_g] \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

式中: $[M_g]$ 为冠梁拆撑期间的设计承载力控制值; $[V_g]$ 为冠梁拆撑期间的设计抗剪承载力控制值。

(2) 连接斜撑的支护桩

弯矩由两部分组成^[8], 一部分为土压力作用下产生的弯矩, 该弯矩与冠梁长度无关, 其表达式如下:

$$\left. \begin{aligned} M_1(z) &= \begin{cases} az^3 + bz^2 + cz, & (0 \leq z \leq h) \\ a'z^3 + b'z^2 + c'z + d', & (h \leq z \leq H) \end{cases} \quad (15) \\ a &= -\frac{\gamma K_a}{6}; \quad b = \left(c\sqrt{K_a} - \frac{qK_a}{2}\right) \\ c &= F_c; \quad a' = \frac{\gamma(K_p - K_a)}{6} \\ b' &= \left[\frac{qK_p - qK_a}{2} + c(\sqrt{K_p} + \sqrt{K_a}) - \frac{\gamma h K_p}{2}\right] \\ c' &= \left(\frac{\gamma h^2 K_p}{2} - qK_p h - 2c\sqrt{K_p}h + F_c\right) = e + F_c \\ d' &= \left(\frac{qK_p}{2} + c\sqrt{K_p} - \frac{\gamma K_p}{6}h\right)h^2 \\ e &= \frac{\gamma h^2 K_p}{2} - qK_p h - 2c\sqrt{K_p}h \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

第二部分弯矩是在桩顶自由的情况下排桩由于桩顶发生位移而产生的弯矩, 由于假定了底端是固接的, 因此桩身各部分弯矩沿深度方向线性分布, 其表达式为

$$M_2(z) = -E_{hz} I_{hzy} \frac{3\delta_1}{H^3} z \quad (17)$$

$$\text{则有} \quad M_1(z) + M_2(z) \leq [M_{hz}] \quad (18)$$

剪力:

$$V(z) = \begin{cases} 3az^2 + 2bz + c - \frac{3E_{hz} I_{hzy} \delta_1}{H^3}, & (0 < z \leq h) \\ 3a'z^2 + 2b'z + c' - \frac{3E_{hz} I_{hzy} \delta_1}{H^3}, & (h \leq z \leq H) \end{cases} \quad (19)$$

$$\text{则须} \quad V(z) \leq [V_{hz}] \quad (20)$$

$$\text{且最大位移为} \quad \mu_0 \leq [\mu_{hz}] \quad (21)$$

式中: $[M_{hz}]$ 为连接斜撑的支护桩在拆撑期间的设计抗弯承载力控制值; $[V_{hz}]$ 为连接斜撑的支护桩在拆撑期间的设计抗剪承载力控制值; $[\mu_{hz}]$ 为拆撑期间连接斜撑的支护桩位移控制值。

(3) 斜撑间的支护桩

变形曲线:

$$\begin{aligned} \mu_{zi}(z) &= \frac{1}{2} \left[\frac{\delta_0 - \delta_1}{2} \sin\left(\frac{2\mathcal{D}}{L}y - \frac{\mathcal{D}}{2}\right) + \frac{\delta_0 + \delta_1}{2} \right] \\ &\quad \left(1 + \cos \frac{\mathcal{D}}{H}z\right) \leq [\mu] \end{aligned} \quad (22)$$

弯矩:

$$\begin{aligned} M_z &= -\frac{E_z I_{zy} \mathcal{D}}{4H^2} \left[(\delta_0 - \delta_1) \sin\left(\frac{2\mathcal{D}}{L}y - \frac{\mathcal{D}}{2}\right) + (\delta_0 + \delta_1) \right] \\ &\quad \cos \frac{\mathcal{D}}{H}z \leq [M_z] \end{aligned} \quad (23)$$

每根桩的最大弯矩分别位于桩顶和桩底, 即 $y=L/2, z=H$ 代入可得

$$\left. \begin{aligned} M_{z\max} &= -\frac{E_z I_{zy} \mathcal{D}}{2H^2} \delta_0 \leq [M_z] \\ M_{z\max} &= -\frac{E_z I_{zy} \mathcal{D}}{2H^2} \delta_1 \leq [M_z] \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

剪力:

$$\begin{aligned} V_z &= -\frac{E_z I_{zy} \mathcal{D}}{4H^3} \left[(\delta_0 - \delta_1) \sin\left(\frac{2\mathcal{D}}{L}y - \frac{\mathcal{D}}{2}\right) + (\delta_0 + \delta_1) \right] \\ &\quad \sin \frac{\mathcal{D}}{H}z \leq [V_z] \end{aligned} \quad (25)$$

每根桩的最大剪力位于桩顶, 即 $z=H/2, y=L/2$ 代入可得

$$\left. \begin{aligned} V_{z\max} &= -\frac{E_z I_{zy} \delta_0}{4H^3} \left[(\delta_0 - \delta_1) \sin \left(\frac{2\delta_0}{L} y - \frac{\delta_0}{2} \right) + \right. \\ &\quad \left. (\delta_0 + \delta_1) \right] \leq [V_z] \\ V_{z\max} &= \frac{E_z I_{zy} \delta_0}{2H^3} \leq [V_z] \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

位移方程：

$$\mu_{zi}(z) = \frac{1}{2} \left[\frac{\delta_0 - \delta_1}{2} \sin \left(\frac{2\delta_0}{L} y - \frac{\delta_0}{2} \right) + \frac{\delta_0 + \delta_1}{2} \right] \cdot \left(1 + \cos \frac{\delta_0}{H} z \right) \quad (27)$$

最大位移：当 $y = L/2$, $z = 0$ 时取最大值：

$$\mu_{z\max} = \delta_0 \leq [\mu_z] \quad (28)$$

式中： $[M_z]$ 为斜撑间的支护桩在拆撑期间的设计抗弯承载力控制值； $[V_z]$ 为斜撑间的支护桩在拆撑期间的设计抗剪承载力控制值； $[\mu_z]$ 为拆撑期间斜撑间的支护桩位移控制值。

(4) 斜撑轴力

斜撑轴力公式为

$$F = qHK_a L + 2cHL (\lambda \sqrt{K_p} - \sqrt{K_a} - \sqrt{K_p}) \leq [F_c] \quad (29)$$

式中： $[F_c]$ 为拆撑期间斜撑的轴力控制值。

各构件的 $[M]$ 、 $[V]$ 、 $[\mu]$ 及 $[F_c]$ 可根据规范^[6-7]的规定，考虑基坑的安全等级，取用冠梁设计承载力的70%（一、二级基坑）或80%（三级基坑）。

同时满足上述方程式的最小 L 既是分段的依据。根据以上计算理论，编制程序寻求最优的分段长度。

4 工程实例验证

4.1 工程概况

该基坑支护形式为排桩挡墙，内支撑形式为混凝土斜撑加角撑，坑内降水。支护桩直径为800 mm，桩中心间距为1 200 mm，支护桩长22.1 m。斜撑截面1 200 mm×800 mm，共有174根。基坑开挖形式总体呈近似矩形，平面尺寸东西长约353.0 m，南北宽约189.0 m。

4.2 构件内力及变形的控制值

根据规范^[6-7]的计算方法，对实际施工中的构件承载力进行复核，其实际承载力及各构件在拆换撑期间的承载力控制值见表1。

表1 各构件承载力及设计预警值

Table 1 The bearing capacity and the design early warning value of each member

序号	构件	项目	规范控制值	拆撑设计控制值
①		位移/mm	25~30	30
②	单桩	弯矩/(kN·m)	$\leq 70\%f_1$	$70\%f_1$
③		剪力/kN	$\leq 70\%f_2$	$70\%f_2$
④		跨中弯矩/(kN·m)	$\leq 70\%f_3$	$70\%f_3$
⑤	冠梁	支座负弯矩/(kN·m)	$\leq 70\%f_4$	$70\%f_4$
⑥		剪力/kN	$\leq 70\%f_5$	$70\%f_5$
⑦	斜撑	轴力/kN	$\leq 70\%f_6$	$70\%f_6$

注： f_1 为单桩抗弯承载力（kN·m）； f_2 为单桩抗剪承载力（kN）； f_3 为冠梁跨中抗弯承载力（kN·m）； f_4 为冠梁支座抗弯承载力（kN·m）； f_5 为冠梁抗剪承载力（kN）； f_6 为斜撑抗压承载力（kN）。

4.3 分区的影响因素

根据前述的计算理论编制计算程序，结合本工程的实际情况计算中发现， δ_0 、 L 呈抛物线关系增长， δ_1 随 L 呈线性关系增长，且增长的幅度较大，表明支撑间距对变形的影响很大，如图4(a)所示。

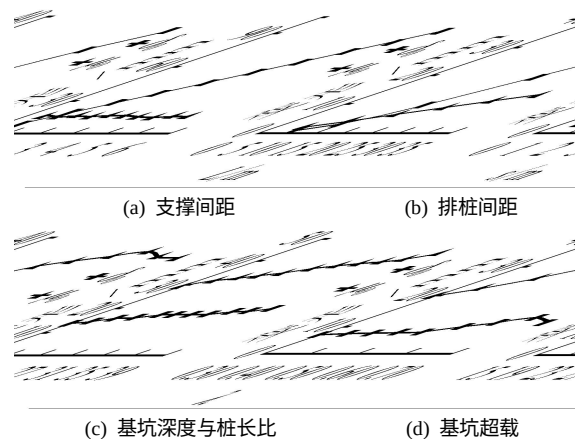


图4 支护结构变形与 L 、 s 、 λ 、 q 的关系

Fig.4 Relationship between deformation and L , s , λ and q

当支护桩的间距增大时， μ_0 影响不大，而 δ_0 会成线性增长，此时的 L 也应随之减小，如图4(b)所示。基坑深度与桩长之比 λ 与变形在0.40时，如图4(c)以内时变形有随基坑深度增大而增加的趋势，该段可以看作是变形相对基坑深度与桩长之比 λ 的敏感段；当 λ 超过0.60后，变形的增大不再明显，本基坑的 λ 为0.55恰好位于这一敏感区域，因此可以考虑采用底部回填的方法减小 λ 。

在 L 一定的前提下， μ_0 和 δ_0 会随 q 的增大而增加，尽管不是特别明显，但由图4(a)可知， L 越大， μ_0 和 δ_0 会有明显的增大，因此在拆撑过程中应注意排桩顶减小堆载，严禁超载。

根据前面的分析本工程在拆换撑方案设计中，针对目前基坑工程内支撑的换撑方法^[9]，提出了适

用于大面积基坑的排桩加斜撑的支护体系的换拆撑方法,即采用回填法和分段拆撑的思路,避免地下室楼板和外墙大量的补洞工作,同时也可增强地下室的整体性和防水性。以底板处的传力带作支撑,在地下室外墙与排桩间用素混凝土充填,此时的基坑深度比 λ 由之前的0.55减小为0.34,恰好利用了变形对 λ 的敏感区间,因此可以起到明显的效果。各工况见图5。

根据计算在采用了底部回填后,该基坑的分段长度须控制在45.4 m内时,各构件满足规范的要求,取 $L \leq 45$ m。具体分段情况见图6。考虑施工过程中的应力释放的均衡性,在施工过程中遵循对称的原则(以北侧为例):先施工北①→北②→北③、北④→北⑤、北⑥。

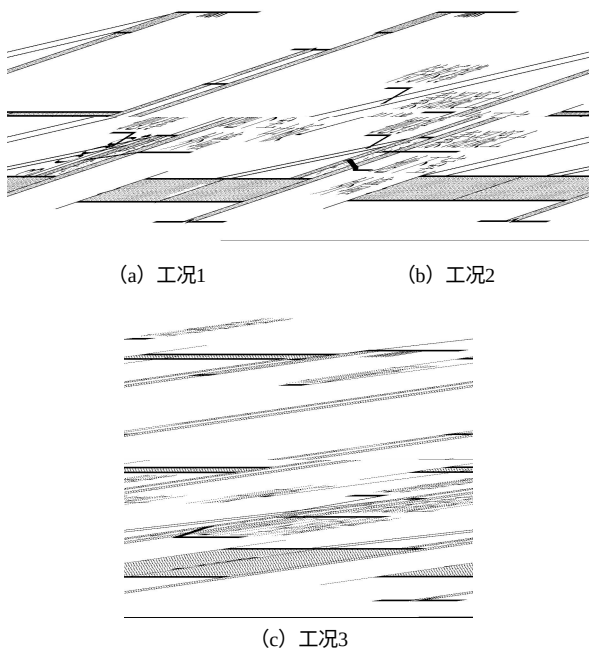


图5 换撑方案的各工况

Fig.5 Each situation of the support replacement design

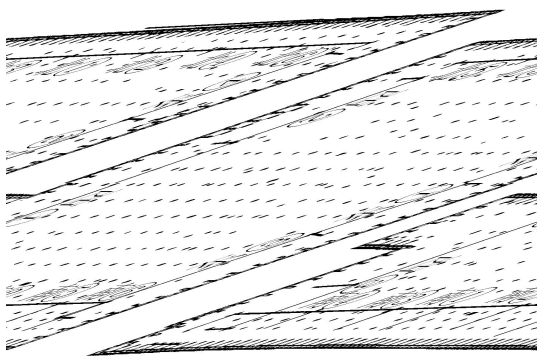


图6 换撑分区分段图

Fig.6 The subregion and section of displacement

4.4 现场监测

为进一步确认桩体、冠梁及斜撑的健康状态,在基坑北侧,先行对31[#]~35[#]斜撑进行了换撑,该区域长度约在36 m处。图7为该段在换撑期间区段内冠梁中部水平位移的增量,该增量与计算值(7 mm)基本吻合。该工程全部拆撑工作历时近30 d,目前已全部结束。拆撑期间进行了桩顶水平位移和竖向位移、深层水平位移以及周边地表竖向位移监测。现场实测结果,基坑最大水平位移发生在桩顶,各监测点最大累计变形值为16 mm,小于拆撑设计控制值。

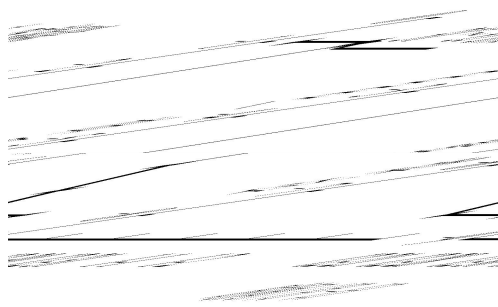


图7 区段内冠梁顶中部水平位移增量

Fig.7 The horizon displacement increment of the top beam

5 结 论

(1) 目前基坑支护体系通常采用平面设计方法,各构件承载力也是以满足开挖阶段支护要求为依据的,对于斜撑支护体系的基坑仅仅考虑开挖阶段的需求显然是不充分的,统筹斜撑体系的支护阶段和拆撑阶段的两阶段设计显得尤其重要,比如冠梁在支护阶段设计中往往仅考虑构造配筋,而冠梁在拆撑阶段的抗弯承载力却是决定拆撑分区长度的关键因素。因此建议采用斜撑支护体系的基坑应进行全过程优化设计。

(2) 根据空间协调计算,冠梁的跨中及支座处是内力和位移的敏感区域,因此在拆撑时须重点计算冠梁抗弯性能,不满足要求时可考虑采用局部加固的方法;连接斜撑的支护桩在坑底、斜撑间的支护桩在坑顶的位移及坑底的弯矩都是最大的,在设计拆撑分区长度时须重点计算这些位置的内力状况。

(3) 基坑变形随着支撑间距 L 和排桩间距 s 的增大而增大,在同样条件下桩间距较大时,拆撑的分段长度也要相应的减小。基坑深度与桩长比 λ 对基坑变形的影响存在有一个敏感区段,必要时可以采用提前施做垫层和底板传力带,或者充填地下结

构外墙间隙的方法减小 λ ，从而达到减小变形和内力、扩大拆撑区域的目的，以方便施工。基坑变形随基坑超载 q 呈线性增长关系，因此拆撑期间严禁在坑顶堆载。

(4) 工程实例验证了本文方法是可行的。

参 考 文 献

- [1] 秦立科, 王晓谋, 李云璋, 等. 长条形基坑带顶部支撑排桩支护体系空间变形研究[J]. 工程地质学报, 2009, 17(1): 105—110.
QIN Li-ke, WANG Xiao-mou, LI Yun-zhang, et al. Spatial deformation of top braced pile retaining system for stabilizing long strip foundation pit[J]. **Journal of Engineering Geology**, 2009, 17(1): 105—110.
- [2] 许锡昌, 葛修润. 基于最小势能原理的桩锚支护结构空间变形分析[J]. 岩土力学, 2006, 27(5): 705—710.
XU Xi-chang, GE Xiu-run. Application of principle of minimum potential energy to spatial deformation analysis for deep foundation pit with anchored pile supporting[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2006, 27(5): 705—710.
- [3] 舒文超. 水泥搅拌桩-压顶梁支护结构空间变形分析[J]. 岩土力学, 2003, 24(4): 557—560.
SHU Wen-chao. Analysis of spatial deformation for cement mixing pile-ring beam supporting structure[J]. **Rock and soil Mechanics**, 2003, 24(4): 557—560.
- [4] 许锡昌, 陈善雄, 徐海滨. 悬臂排桩支护结构空间变形分析[J]. 岩土力学, 2006, (2): 180—184.
XU Xi-chang, CHEN Shan-xiong, XU Hai-bin. Spatial deformation analysis of cantilever soldie pile retaining structure in deep foundation pit[J]. **Rock and soil Mechanics**, 2006, 27(2): 180—184.
- [5] 郭文爱, 钱德玲. 悬臂排桩支护结构桩顶最大水平位移计算分析[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2007, 30(6): 753—756.
GUO Wen-ai, QIAN De-ling. Calculation and analysis of the maximum horizontal displacement of the pile head in the cantilever soldier pile retaining structure[J]. **Journal of Hefei University of Technology (Natural Science Edition)**, 2007, 30(6): 753—756.
- [6] 中国建筑科学研究院. JGJ120—99 建筑基坑支护技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
- [7] 山东省建设厅. GB50497—2009 建筑基坑工程监测技术规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2009.
- [8] 黄凯, 应宏伟, 谢康和. 采用固定支撑法分析圈梁与支护桩的相互作用[J]. 工业建筑, 2002, 32(8): 35—38.
HUANG Kai, YING Hong-wei, XIE Kang-he. Interaction analysis of wale and retaining piles based on fixed support assumption[J]. **Industrial Construction**, 2002, 32(8): 35—38.
- [9] 成关锋. 深基坑工程中换撑技术的应用[J]. 建筑技术, 2005, 36(12): 905—905.
CHENG Guan-feng. Support replacement technique applied to deep foundation works[J]. **Architecture Technology**, 36(12): 905—905.

岩土工程师手册 (上、下册)

主 编 钱七虎 副主编 方鸿琪 张在明 龚晓南 曾宪明 (常务)

书号: 978-7-114-07893-4 定价: 258.00 元 (上、下册) 页码: 1606 页

本手册是我国岩土工程师必备的案头工具书, “十一五”国家规划重点图书。本手册依据最近发布的国家和行业技术标准、新近发表的经鉴定和审查的科研成果, 以及新材料、新方法、新产品和新技术进行编写, 同时保留和吸收国内外可靠的经验和做法。

本手册共 10 篇, 第 1 篇岩土工程勘察, 第 2 篇浅基础设计计算, 第 3 篇深基础, 第 4 篇地基基础与复合地基, 第 5 篇锚固类结构, 第 6 篇边坡与挡土结构, 第 7 篇深基坑工程, 第 8 篇地下工程, 第 9 篇地质灾害与防治, 第 10 篇地震工程。

本书既充分总结了数十年来特别是最近十余年来我国在岩土工程方面所取得的重要科研成果和宝贵实践经验, 有积极反映了诸多国外的成熟技术方法, 是一部在岩土工程方面的集现有技术大成之作。该书实用性强, 应用范围广泛, 技术先进, 成熟, 可靠。

本手册可供广大岩土工程师及岩土工程勘察、设计、施工监理、质检等专业技术人员和大专院校师生参考使用。

(信息来源: 水资讯网)