

文章编号:1673-9469(2013)01-0069-05

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2013.01.016

## 万浩俚城 S1 工程深基坑支护方案设计与分析

张立钊,关英斌,张巍,李利飞,许道军  
(河北工程大学 资源学院,河北 邯郸 056038)

**摘要:**万浩俚城 S1 工程东北边缘毗邻国家电网河东 110 kV 变电站,考虑到基坑周围环境的复杂性与支护工程的安全经济性,采取分段计算分析的方法,运用理正深基坑软件进行支护方案设计的计算。其中,Ⅰ段,基坑边缘距变电站 2.0 m,对土体变形敏感,空间狭窄无法放坡开挖,且土钉墙不能满足侧壁安全要求,选用桩锚支护结构;Ⅱ段周边为道路及开阔空地,采用放坡土钉墙支护结构。计算结果表明:桩锚支护段整体稳定性、抗倾覆、抗隆起等各项参数,放坡土钉墙支护段局部抗拉、内外部稳定性等参数,均满足规范要求,总体设计方案技术可行、合理经济。

**关键词:**基坑工程;毗邻建筑物;桩锚支护;理正深基坑软件

**中图分类号:**TU470+.3

**文献标识码:**A

## The scheme design and analysis about the deep foundation pit support of Wan Hao Li Cheng S1 engineering

ZHANG Li-zhao, GUAN Ying-bin, ZHANG Wei, Li Li-fei, XU Dao-jun  
(College of Resource, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

**Abstract:**The northeast edge of Wan Hao Li Cheng S1 Engineering is adjacent to Hedong 110 kV Substation of the State Grid, considering the complexity of surrounding environment and the safety and economic of the support engineering, the supporting scheme was computed by using the subsection method and li-zheng deep foundation pit software. The edge of I segment pit, which is 2.0 meters away from the substation, is sensitive to soil deformation, the narrow space can not step-slope excavate, and soil nailing wall can not meet the security requirements of the lateral wall, thus, the pile-anchor retaining structure is selected; the surroundings of II segment are roads and extensive spaces, the step-slope soil nailing wall supporting structure is adopted. The results show that, the global stability of the pile-anchor retaining segment and various parameters such as anti-overturning and resistant heave; and the parameters like local tensile and internal and external stability of the step-slope soil nailing wall supporting segment all meet the requirements of specifications, the whole design schemes is feasible, reasonable and economic.

**Key words:**foundation pit; adjacent to buildings; pile-anchor retaining; li-zheng deep foundation software

伴随城市建设空间不断缩小,临近既有建筑物的建筑基坑工程大量涌现。为保证支护工程的安全性和经济性,多年来科研人员进行了大量的研究和试验。郑刚等<sup>[1]</sup>采用三维模拟和实测数据对比分析,得出在间距大于1倍基坑开挖深度时,基坑开挖对临近桩基影响很小,达到2倍时施工

可不考虑;高攀<sup>[2]</sup>通过工程实例得出严格控制场地勘察、设计、开挖、监测等过程的质量,能够保证临近基坑建筑物的安全;王浩然等<sup>[3]</sup>采用三维有限元法分析了基坑开挖对邻近建筑物的影响,模拟、预估、实测值曲线趋势基本吻合;孔令荣等<sup>[4]</sup>得出了基坑开挖对邻近地铁变形的间距在4m以

收稿日期:2012-07-17

作者简介:张立钊(1987-),男,吉林榆树人,硕士研究生,从事工程地质、环境地质的研究。

内隧道产生的水平、沉降位移最大;王强<sup>[5]</sup>运用 ABAQUS 较好地还原了围护结构的变形形态,对邻近地铁隧道的变形预测值与现场实测值较为一致;王君等<sup>[6]</sup>采用解析法计算分析了既有铁路旁城际铁路桥墩基坑钢板桩围堰支护工程,实测结果满足施工要求。借鉴已有对临近既有建筑物基坑的研究成果,本文以万浩俚城 S1 基坑工程为例,借助理正软件对支护方案进行计算与分析,并经施工验证,采用桩锚支护+放坡土钉墙支护结构能够有效地保证与基坑间距 2 m 的变电站以及其他周围环境的安全,以期为邻近建筑物基坑设计提供有益参考。

## 1 工程概况和周边环境

### 1.1 工程概况

万浩俚城 S1 工程场地位于邯郸市滏河大街与果园路交叉口东北角(图 1)。设计标高  $\pm 0.00$  m, 1<sup>#</sup>~4<sup>#</sup>楼基础埋深 -10.50 m, 地下车库基础埋深 -8.00 m。基坑自然地坪标高为 53.00 m 左右。

### 1.2 周边环境

基坑边坡东侧为宽广平地,南侧距果园路为 15.0 m,西侧距滏河大街距离为 16.0 m,北侧距场

地内道路距离为 5.0 m,东北角为国家电网河东 110 kV 变电站(图 1),基坑边缘距变电站外墙距离为 2.0 m。地下管线方面,北侧距离基坑边坡 2.0 m 处有地下高压电线电缆,埋深约为 2.0 m,其它侧无地下管线影响。

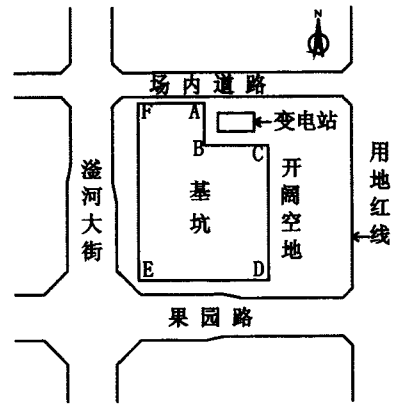


图1 基坑位置图

Fig.1 The position of foundation pit

## 2 地质条件

### 2.1 工程地质条件

根据岩土工程勘察报告,基坑开挖影响范围内主要由杂填土、粉土、粉质粘土、粉土等组成,勘探取样深度为 18.50 m,各土层的厚度及力学性质见表 1。

表 1 地基的土力学性质与土层特征

Tab.1 Soil mechanical property and features of site soil layers of foundation

层号	土层名称	厚度 /m	层底埋深 /m	$\gamma$ /( $\text{kN} \times \text{m}^{-3}$ )	$c$ /kPa	$\varphi$ /( $^{\circ}$ )	钉土摩阻力 /kPa	与锚固体摩阻力 /kPa
1	杂填土	0.50	0.50	18.0	8.00	8.00	18.0	18.0
2	粉土	6.00	6.50	18.1	10.90	8.30	50.0	50.0
3	粘性土	4.00	10.50	18.4	13.30	10.50	50.0	50.0
4	粉土	8.00	18.50	18.5	11.50	9.40	50.0	50.0

### 2.2 水文地质条件

场地地下水初见水位埋深为 2.60~4.60 m,稳定地下水水位埋深为 2.0~2.90 m,为上层滞水,主要含水层为第 2 层粉土、第 4 层粉土,以大气降水补给为主,水位波动幅度为 1.00~2.00 m,近期年最高水位可按 1.00 m 考虑。

## 3 基坑支护方案的选择

经大量工程的经验,适合邯郸市区域地质条件和工程形式的支护结构形式主要有:土钉墙支护、复合土钉墙支护以及桩锚支护三种形式<sup>[7]</sup>。

土钉墙支护形式,适用于周围条件简单,近距离无建筑物和重要管线埋设的深度不大于 12 m 基坑。复合土钉墙支护形式,可以在周围空间较密集的环境条件下选用,能够很好地控制基坑水平变形<sup>[8]</sup>,但要考虑其影响程度谨慎选择。而对于桩锚支护形式,在邻近环境放坡受限时可作为首选,一般能取得良好的围护效果。

考虑到基坑周围环境的复杂性及相临建筑物和管线,对基坑水平位移、地面沉降值的特殊要求,对基坑本工程采用分区分段设计的方法,即:A→B→C(I)段,基坑边缘距变电站 2 m,支护结构破坏、土体失稳或过大变形对基坑周边环境及地

下结构施工影响很严重; C→D→E→F→A ( II ) 段, 施工对附近道路及场地影响不严重。按照《建筑基坑支护技术规程》<sup>[9]</sup> 规定: I 段侧壁安全等级为一级, 重要性系数  $\gamma_0 = 1.10$ ; II 段安全等级三级, 重要性系数  $\gamma_0 = 0.90$ 。

基坑支护应保证岩土开挖、地下结构施工的安全, 并使周围环境不受损害<sup>[10]</sup>。根据基坑安全可靠、经济合理、技术可行以及施工便利的设计技术要求<sup>[11]</sup>, 本工程 I 段, 距变电站仅 2 m, 对变形敏感, 空间狭窄无法放坡开挖, 且土钉墙不能满足侧壁稳定要求, 选用桩锚支护结构; II 段周边为道路及开阔空地, 采用放坡土钉墙支护结构。

#### 4 支护方案的计算

本基坑工程支护设计选用理正深基坑计算软件对划分的两段进行计算。

##### 4.1 桩锚支护计算

本次基坑开挖工程分为 5 个工况(表 2), 计算简图如图 2, 采用常规排桩的增量法对每个工况的开挖进行结构计算。

###### (1) 内力及位移计算

作用在支护结构的土压力、桩水平位移、弯矩、剪力以及地表沉降量等计算结果见图 3、表 3。

###### (2) 整体稳定性计算

整体稳定性计算简图如图 4 所示, 计算方法采用 Bishop 法, 条分法中的土条宽度 0.50 m, 圆弧半径  $R = 23.780$  m, 圆心坐标  $x = 0.807$  m, 圆心坐标  $y = 14.779$  m。应力状态: 总应力法。整体稳定安全系数  $K_s = 1.372 > 1.2$ , 满足规范要求<sup>[12]</sup>。

表 2 基坑开挖情况表

Tab. 2 The conditions of excavation

工况号	工况类型	深度/m	支锚道号
1	开挖	2.500	-
2	加撑	-	1. 锚索
3	开挖	5.000	-
4	加撑	-	2. 锚索
5	开挖	8.000	-

表 3 地表沉降量计算结果表

Tab. 3 The calculation of ground settlement

计算方法	三角形法	指数法	抛物线法
最大沉降量/mm	4	6	2

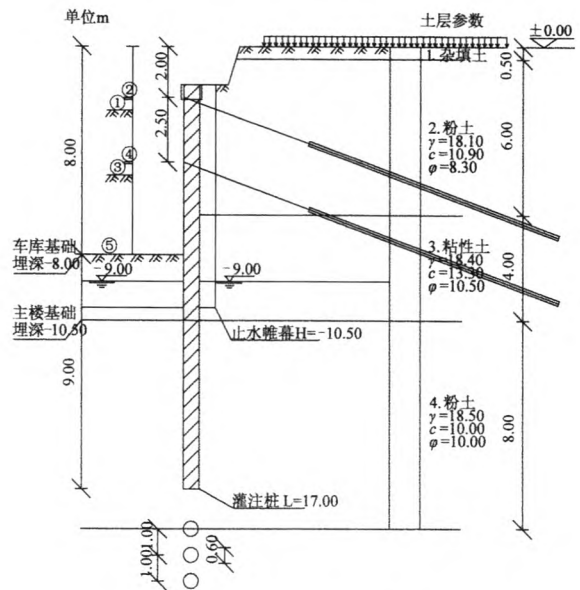


图 2 桩锚支护计算简图

Fig. 2 The calculating diagram of pile-anchor retaining

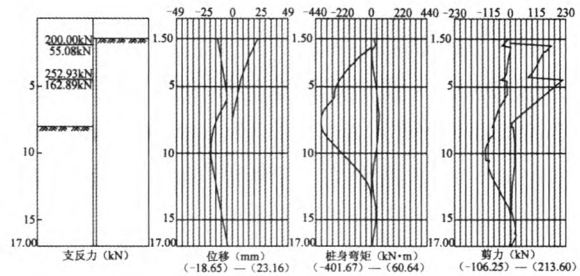


图 3 内力包络图

Fig. 3 The force envelope diagram

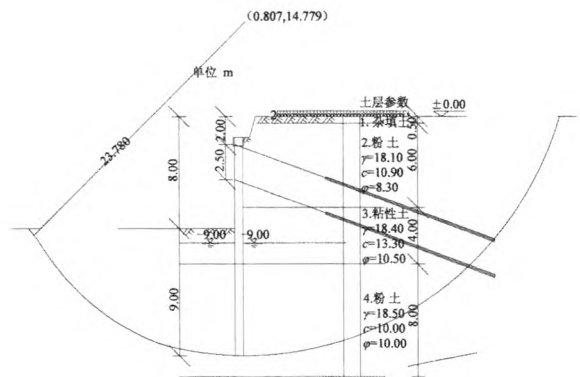


图 4 整体稳定性计算简图

Fig. 4 The calculating diagram of stability

###### (3) 抗倾覆安全系数

$$K_q = \frac{M_p}{M_\alpha} \tag{1}$$

式中:  $K_q$  - 抗倾覆安全系数;  $M_p$  - 被动土压力及支点力对桩底的抗倾覆弯矩, 对于内支撑支

点力由内支撑抗压力决定,对于锚杆或锚索,支点力为锚杆或锚索的锚固力和抗拉力的较小值; $Ma$  - 主动土压力对桩底的倾覆弯矩。

$$\text{工况 1: } K_{q1} = \frac{15\,951.935 + 0.000}{1918.840} = 8.313$$

$$\text{工况 2: } K_{q2} = \frac{15\,951.935 + 4\,814.985}{1918.840} = 10.822$$

$$\text{工况 3: } K_{q3} = \frac{9\,542.910 + 4\,814.985}{4\,769.773} = 3.010$$

$$\text{工况 4: } K_{q4} = \frac{9\,542.910 + 8\,827.473}{4\,769.773} = 3.851$$

$$\text{工况 5: } K_{q5} = \frac{4\,315.575 + 8\,827.473}{6\,896.029} = 1.905$$

由计算可知,抗倾覆安全系数最小的为工况 5,  $K_{q5} = 1.905 > 1.4$ , 满足规范要求<sup>[12]</sup>。

#### (4) 抗隆起计算

基于 Prandtl 和 Terzaghi 公式计算,以支护结构底面所在的平面作为极限承载力的基准面,按下式计算,

$$K_{uz} = \frac{\gamma_2 DN_q + cN_c}{\gamma_1 (H + D) + q} \quad (2)$$

式中: $K_{uz}$  - 抗隆起稳定性安全系, $K_{uz1} \geq 1.1 \sim 1.2$  (Prandtl 公式),  $K_{uz2} \geq 1.15 \sim 1.25$  (Terzaghi 公式);  $c, \varphi$  - 土体黏聚力、内摩擦角;  $\gamma_1$  - 坑外地表

至围护墙底,各土层天然重度的加权平均值,  $\text{kN/m}^3$ ;  $\gamma_2$  - 坑内开挖面以下至围护墙底,各土层天然重度的加权平均值,  $\text{kN/m}^3$ ;  $H$  - 基坑开挖深度;  $D$  - 支护墙体在基坑开挖面以下入土深度;  $q$  - 坑外地面荷载,  $\text{kPa}$ ;  $N_q, N_c$  - 地基承载力系数。

当采用 Prandtl 公式时,式中  $N_q = \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) e^{\pi \tan \varphi}$ ,  $N_c = (N_q - 1) \frac{1}{\tan \varphi}$ ;

当采用 Terzaghi 公式时,式中  $N_q = \frac{1}{2} \{ \exp [(\frac{3}{4}\pi - \frac{\varphi}{2}) \tan \varphi] / \cos(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) \}^2$ ,  $N_c = (N_q - 1) \frac{1}{\tan \varphi}$

经计算,抗隆起安全系数  $K_{uz1} = 1.525 > 1.1 \sim 1.2$ ,  $K_{uz2} = 1.678 \geq 1.15 \sim 1.25$ , 均满足规范要求<sup>[12]</sup>。

(5) 锚杆自由段长度计算结果见表 4。

## 4.2 放坡土钉墙支护计算

基坑深度 8.0 m, 坡线段数 3, 土钉荷载分项系数 1.25。内部稳定验算条件: 考虑地下水作用, 采用总应力法, 土钉拉力在滑面上产生的阻力的折减系数 0.50, 局部抗拉及内部稳定性计算结果见表 5、表 6。

表 4 锚杆自由段长度计算结果表

Tab. 4 The length calculation of anchor free segment

支锚道号	支锚类型	自由段长度实用值/m	锚固段长度实用值/m	计算面积/ $\text{mm}^2$	实配面积/ $\text{mm}^2$
1	锚索	7.0	13.0	218.1	280.0
2	锚索	6.0	14.0	275.8	280.0

表 5 局部抗拉计算结果表

Tab. 5 The calculation of local resist tensile

工况	开挖深度 /m	破裂角 /( $^\circ$ )	土钉号	土钉长度 /m	受拉荷载 标准值/kN	抗拔承载力 设计值/kN	抗拉承载力 设计值/kN	满足系数	
								抗拉	抗拔
1	2.50	35.80	0						
2	4.50	35.90	1	6.00	28.7	108.7	176.7	3.031	4.925
3	6.00	35.90	1	6.00	16.7	108.3	176.7	5.192	8.474
			2	10.00	12.1	157.1	176.7	10.389	11.690
4	7.50	36.00	1	6.00	16.6	90.7	176.7	4.367	8.511
			2	10.00	12.0	139.2	176.7	9.306	11.814
			3	10.00	11.9	157.2	176.7	10.593	11.907
5	8.00	36.10	1	6.00	16.6	84.9	176.7	4.096	8.526
			2	10.00	11.9	133.3	176.7	8.930	11.835
			3	10.00	11.9	151.3	176.7	10.213	11.928
			4	6.00	40.7	96.8	176.7	1.900	3.469

表6 内部稳定计算结果表

Tab.6 The calculation of internal stability

工况号	安全系数	圆心坐标		半径 /m
		x/m	y/m	
1	1.439	6.067	12.117	6.619
2	1.534	5.956	9.527	5.031
3	1.214	2.975	13.050	11.225
4	1.313	-0.640	15.274	14.801
5	1.318	-1.886	17.727	17.727

外部稳定计算结果:重力 940.9 kN,重心坐标 ( $x=6.158, y=3.044$ ),超载 0.0 kN,超载作用点  $x=0.000$  m,土压力 251.6 kN,土压力作用点  $y=2.720$  m,基底平均压力设计值 97.2 kPa < 100.0 kPa。基底边缘最大压力设计值 131.0 kPa > 120.0 kPa,抗倾覆安全系数  $K_q=8.982 > 1.2$ ,抗滑安全系数  $K_H=1.362 > 1.2$ ,满足规范要求<sup>[12]</sup>。

## 5 支护方案的分析

基坑支护方案的选择,必须综合考虑工程本身以及周围环境的特点<sup>[13]</sup>。首先应该满足支护形式施工所需的空间要求,其次在保证施工方便、周围环境安全的基础上,最大程度做到经济合理。根据邯郸地区的工程实践以及本基坑特点,可选用放坡土钉墙、复合土钉墙、桩锚支护、排桩支护等形式。在条件允许的情况下,放坡土钉墙支护是最经济的,但本工程 I 段,距变电站仅 2 m,无空间放坡,且放坡土钉墙不能满足变电站对侧壁的安全要求,可选用桩锚支护结构,经计算地表沉降量最大值  $6.0 \text{ mm} < 0.2\% H (H=8.0 \text{ m}, \text{基坑开挖深度})$ ,整体稳定性系数  $K_s=1.372 > 1.2$ ,最小抗倾覆安全系数  $K_{q5}=1.905 > 1.4$ ,抗隆起安全系数  $K_{uz1}=1.525 > 1.2, K_{uz2}=1.678 > 1.25$ ; II 段为道路及开阔空地,首选放坡土钉墙支护结构,内部稳定系数最小值  $K_{s5}=1.214 > 1.2$ ,外部稳定抗倾覆安全系数  $K_q=8.982 > 1.2$ ,抗滑安全系数  $K_H=1.362 > 1.2$ ,以上各参数计算结果均满足规范要求。因此,桩锚支护+放坡土钉墙支护设计方案能够保证变电站及其他周边环境安全,具有可行性,并且能够有效地节约成本。

## 6 结论

桩锚支护结构能够有效地控制基坑开挖对临近建筑物的影响,对于周边环境对岩土体变形要求比较严格的支护工程,是一种首选的安全、合理经济的支护方式。桩锚支护+放坡土钉墙支护在万浩俚城 S1 支护工程中成功运用,对以后毗邻既有工程的基坑支护设计与施工有借鉴意义。

### 参考文献:

- [1] 郑刚,颜志雄,雷华阳,等. 基坑开挖对临近桩基影响的实测及有限元数值模拟分析[J]. 岩土工程学报, 2007, 29(5): 638 - 643.
- [2] 高攀. 毗邻高层建筑的深基坑开挖和支护[J]. 施工技术, 2008, 37(9): 8 - 11.
- [3] 王浩然,王卫东,徐中华. 基坑开挖对邻近建筑物影响的三维有限元分析[J]. 地下空间与工程学报, 2009, 5(增2): 1512 - 1517.
- [4] 孔令荣,崔永高,隋海波. 基坑开挖对邻近地铁变形的影响分析[J]. 工程勘察, 2010(6): 15 - 20.
- [5] 王强. 敏感环境下深大基坑开挖实测分析及数值模拟[J]. 土木工程学报, 2011, 44(增): 98 - 101.
- [6] 王君,杨振伟,王高彦. 既有铁路旁城际铁路桥墩基坑支护设计与施工方案研究[J]. 施工技术, 2012, 41(增): 213 - 216.
- [7] 沙元恒. 苏州地区深基坑锚杆支护的应用实例[J]. 中国煤炭地质, 2009, 21(6): 56 - 58.
- [8] 李晶晶,程祖锋,耿立立,等. 基于 FLAC3D 的复合土钉支护数值模拟分析[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2011, 28(3): 5 - 8.
- [9] JGJ 120-99, 建筑基坑支护技术规程[S].
- [10] GB 50007-2002, 建筑地基基础设计规范[S].
- [11] 张玉坡,霍伟,陈东英. 花管复合土钉墙支护在基坑中的应用[J]. 中国煤炭地质, 2012, 24(3): 44 - 47.
- [12] YB9258-97, 建筑基坑工程技术规范[S].
- [13] 刘春晓,贾志刚. 桩锚支护中锚杆内力分布的现场试验[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2008, 25(3): 61 - 63.

(责任编辑 马立)