

多层建筑紧临深基坑条件下的基坑支护工程 设计与施工实践

姜晓平¹, 曹凤学², 金英姬²

(1. 山东正元资源勘查研究院, 山东 济南 255014; 2. 北京建材地质工程公司, 北京 100102)

摘要:通过北京某多层建筑紧临深基坑条件下基坑支护工程的设计与施工,介绍了此工程环境条件下基坑支护工程的设计与施工实践。

关键词:多层建筑;深基坑;支护工程;设计;施工

中图分类号:TU473.2 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2006)09-0026-04

随着城市建设用地条件的制约,越来越多的出现了深基坑与已有建筑距离较近的工程实例,基坑支护工程设计与施工的合理性决定了深基坑的安全使用状态和对已有建筑物的保护程度,是整个工程项目安全、有序进行的前提与根本保障。本文以某具体工程为例,介绍了多层建筑紧临深基坑条件下基坑支护工程的设计与施工实践。

1 工程概况及地质条件

1.1 工程概况

拟建工程位于北京市朝阳区黄杉木店路东侧、朝阳北路北侧,拟建工程主体结构分别为地上 11 层、高 42 m,地上 15 层、高 58.45 m,裙楼地上 3 层、高 15.6 m,地下均为 3 层,采用全现浇混凝土框架-抗震墙结构体系,基础形式采用梁筏基础,基底标高为 -15.18 m,相当于实际槽深 14.7 m。

本工程周边条件复杂,本文针对北侧紧临已有 6 层建筑物部位的设计与施工进行介绍。

已有 6 层建筑为独立基础,柱距 6 m,独立基础平面尺寸为 3.2 m × 3.2 m,埋深 2.6 m,新建筑外墙皮距已有建筑独立基础底边缘最小处仅 625 mm。根据以上实际条件,基坑必须采用有效的降水及支护措施。

1.2 场地工程地质与水文地质条件

1.2.1 场地工程地质条件

拟建场区地形平坦,场地地层见表 1。

表 1 场地地层情况表

地层类别	地层序号	亚层序号	岩性	压缩性	层顶标高 /m
人工堆积层	1	①	粉土填土层		32.91 ~ 34.01
		① ₁	杂填土		
第四系沉积层	2	②	粘质粉土		31.41 ~ 32.48
		② ₁	粉质粘土		
	3	② ₂	粘土		22.50 ~ 26.05
		③	粉质粘土		
		③ ₁	粘质粉土		
		③ ₂	粉质粘土		
4	③ ₃	粘土		20.42 ~ 23.27	
	④	粉质粘土	中低		
5	④ ₁	粉细砂	低	16.60 ~ 17.71	
	④ ₂	粘质粉土			
6	⑤	圆砾	低	10.11 ~ 12.26	
	⑤ ₁	砾砂	低		
7	⑤ ₂	粉细砂	低	6.90 ~ 7.46	
	⑥	粉质粘土	中		
	⑥ ₁	重粉质粘土	中		
	⑦	粉质粘土	中低		
	⑦ ₁	重粉质粘土	中低		

1.2.2 水文地质条件

拟建场区在地表下 35 m 内分布有 4 层地下水,各层地下水分布情况及静止水位深度如下。

第一层为上层滞水,分布不连续,地下水位标高为 28.57 ~ 28.61 m(埋深为 4.80 ~ 5.10 m),含水层为粘质粉土、砂质粉土②层,主要接受管道渗水、大气降水入渗补给。

第二层为滞水,分布不连续,地下水位标高为

收稿日期:2006-08-21

作者简介:姜晓平(1966-),男(汉族),山东海阳人,山东正元资源勘查研究院项目经理、工程师,工程地质与水文地质专业,从事资源地质、岩土工程施工经营管理工作,山东省济南市山东路 14 号,(0531)86992579;曹凤学(1968-),男(蒙古族),内蒙古赤峰人,北京建材地质工程公司第一项目经理部经理、工程师,水文地质工程地质专业,从事岩土工程设计与施工管理工作,北京市东直门外南湖渠,(010)84918298, cfengxue@163.com;金英姬(1969-),女(朝鲜族),吉林人,北京建材地质工程公司综合办公室经济师,从事岩土工程施工管理工作,(010)84919811。

22.84 ~ 24.84 m(埋深 8.50 ~ 10.80 m),含水层为粘质粉土、砂质粉土③层,补给来源为大气降水及侧向径流。

第三层为层间潜水,地下水位标高为 19.34 ~ 18.74 m(埋深为 12.60 ~ 14.00 m),含水层为粉细砂层,补给来源为侧向径流及越流。

第四层为承压水,地下水位标高为 16.84 ~ 18.74 m(埋深 14.90 ~ 16.50 m),含水层为粉细砂⑤₂层、砾砂⑤₁层和圆砾⑤层,补给来源为侧向径流及越流。

2 基坑降水、支护方案设计

2.1 本工程主要特点及控制目标

由于基坑紧临已有建筑,为防止基坑降水对该建筑物的影响,必须采用合理的技术手段确保已有

建筑的安全使用,同时现状建筑为独立基础,紧临基坑,应严格控制基坑支护位移、沉降及不均匀沉降,降低因其变形导致对现状建筑正常使用的影响,确保基坑边坡与已有建筑的安全。

2.2 降水、支护形式确定

根据槽深、场地周围环境条件、地层条件等因素,经过详细分析、比较及计算,为了确保边坡及周边建筑物的安全,降水形式确定为基坑北侧临近现状楼房部位(见图 1 中标识 ABCD 段)采用止水帷幕止水,支护形式确定为紧临已有建筑(图 1 中标识为 BC 段)上部 2.4 m 原有楼房基础中间部位采用 1:0.6 放坡土钉墙支护,下部采用 3 排锚杆桩锚支护,邻近已有建筑(图 1 中标识为 AB、CD 段)上部 2.4 m 采用 1:0.2 放坡土钉墙支护,下部采用 2 排锚杆桩锚支护。具体降水、支护形式详见图 1。

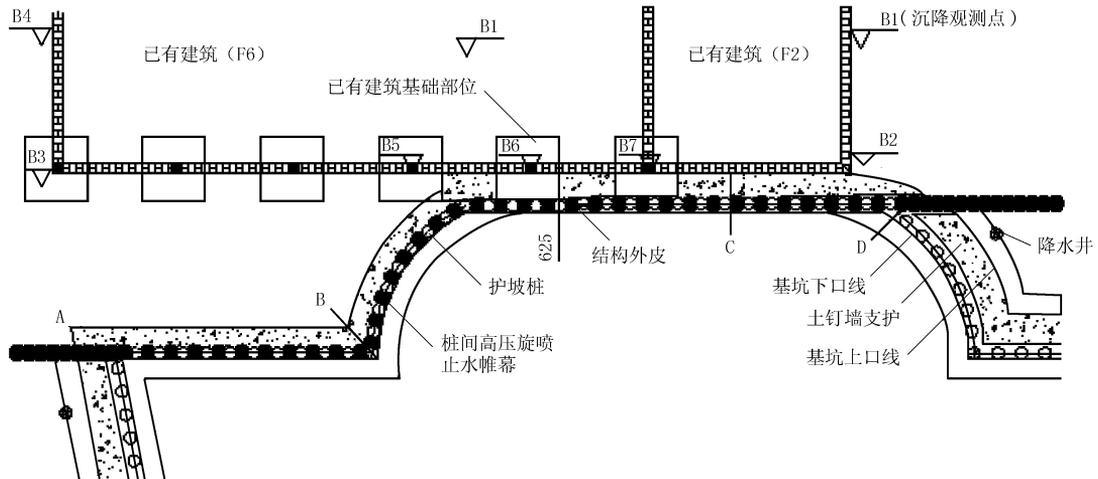


图 1 基坑降水、支护平面布置图

2.3 降水、支护设计

2.3.1 止水帷幕设计概况

止水帷幕采用双管旋喷水泥桩,桩径 800 mm。有护坡桩部位止水帷幕在相邻 2 根护坡桩之间实施 1 根,两侧外延部位桩距 550 mm,施工工作面及桩顶位于地表以下 2.6 m,桩长 13.9 m,嵌入基底土层 1.8 m。

由于本工程承压含水层水头在基底以下,上部一、二层滞水间断不连续,故渗流稳定验算针对于第三层潜水计算,经验算桩嵌入基坑底土层深度满足相关规范要求。

2.3.2 基坑支护设计计算

本工程设计计算采用理正深基坑支护设计软件,基坑侧壁重要性系数取 1.1,荷载模式按独立柱基-条形局部荷载考虑,为保障支护体系刚度,基坑弯矩调整系数取 0.80。紧临已有建筑部位(图 1 中

标识为 BC 段)设计计算如下,邻近已有建筑部位(图 1 中标识为 AB、CD 段)的设计计算在此不再赘述。

2.3.2.1 原始数据

支护类型为排桩,基坑侧壁重要性系数 1.10,混凝土强度等级 C25,桩顶面标高 -2.40 m,基坑深度 14.70 m,内侧水位 -15.00 m,外侧水位 -12.60 m,嵌固长度 4.40 m,桩直径 0.60 m,桩间距 1.20 m,土层性能参数取值见表 2,超载情况见表 3,支锚设计参数见表 4。

锚杆材料为钢绞线,锚杆强度设计值 1450.00 MPa,锚杆荷载分项系数为 1.25,土与锚固体粘结强度分项系数为 1.30,锚杆弹性模量为 2.00×10^5 MPa,注浆体弹性模量为 3.00×10^4 MPa,荷载分项系数为 1.25,基坑外侧弯矩调整系数为 0.80,基坑内侧弯矩调整系数为 0.80,剪力调整系数为 1.00,

表 2 土层性能参数取值表

土层号	厚度 /m	重度 /($kN \cdot m^{-3}$)	粘聚力 /kPa	内摩擦角/($^{\circ}$)	锚固体与土摩阻力 /kPa	水土分算	m /($MN \cdot m^{-4}$)
1	2.00	18.00	15.00	15.00	25.00	合算	4.50
2	0.60	19.70	33.00	19.00	55.00	合算	8.62
3	3.10	20.00	27.00	25.00	65.00	合算	12.70
4	3.50	19.60	33.00	16.00	45.00	合算	6.82
5	0.90	20.00	18.00	26.00	60.00	合算	12.72
6	0.90	21.00	43.00	21.00	60.00	合算	11.02
7	0.60	20.60	25.00	26.00	65.00	合算	13.42
8	3.00	20.00	0.00	30.00	65.00	分算	15.00
9	2.20	20.40	39.00	22.00	60.00	合算	11.38
10	0.70	20.00	0.00	30.00	65.00	分算	15.00
11	0.50	20.00	0.00	35.00	80.00	分算	21.00
12	20.00	21.00	0.00	40.00	120.00	分算	28.00

表 3 超载情况表

超载序号	超载类型	超载值 /kPa	距坑边距离 /m	作用宽度 /m	距地面深度 /m
1	2	200.00	0.00	3.20	2.80
2	2	200.00	6.00	3.20	2.80

表 4 支锚设计参数取值表

支锚道号	竖向间距 /m	水平间距 /m	预加力 /kN	支锚刚度 /($MN \cdot m^{-1}$)	相对开挖深度 /m	入射角度 /($^{\circ}$)	锚固体直径 /mm
1	2.70	1.20	300.00	15.00	0.50	15.00	200
2	4.50	1.20	350.00	15.00	0.50	15.00	200
3	3.70	1.20	300.00	15.00	0.50	15.00	200

桩配筋方式为均匀,纵向钢筋级别为 2 级,桩螺旋箍筋级别为 1 级,间距 200 mm。

冠梁宽 0.60 m,冠梁高 0.50 m,水平侧向刚度

0.50 MN/m,侧面纵筋 II - 4 Φ 16,上下纵筋 II - 0 Φ 16,箍筋 I - Φ 8@200。

2.3.2.2 计算结果(见表 5)

表 5 基坑支护设计计算结果表

计算方法	土压力模式	坑内侧弯矩/($kN \cdot m^{-1}$)	位置 /m	坑外侧弯矩/($kN \cdot m^{-1}$)	位置 /m	剪力 /kN	位置 /m
m 法	矩形模式	320.60	13.66	170.52	10.38	287.42	10.90
配筋实用内力		352.50		187.54		395.20	

配筋选筋	面积计算值/ mm^2	选筋计算	选筋实配	面积实配值/ mm^2
纵筋	5557	12 Φ 25	12 Φ 25	5890
箍筋	458	Φ 16@2000	Φ 8@200	50

支锚道号	锚杆面积 / mm^2	锚杆选筋	自由段长 /m	锚固段长 /m	验算刚度 /($MN \cdot m^{-1}$)	锚杆内力值 /kN(弹性法)
1	计算 295	6-7 Φ 3	7	18	6.66	300.00
	实用 414	3-7 Φ 5	7	18	6.66	412.50
2	计算 356	8-7 Φ 3	5	18	11.12	363.11
	实用 414	3-7 Φ 5	5	18	11.12	499.28
3	计算 394	8-7 Φ 3	5	19	12.15	401.39
	实用 414	3-7 Φ 5	5	19	12.15	551.91

整体稳定计算方法:瑞典条分法
整体稳定安全系数:1.370
滑移面圆心坐标/m: $x=4.875, y=-5.060$;半径/m: $R=14.863$

2.3.3 基坑支护设计结果

基坑支护设计简图如图 2,设计结果概述如下。

2.3.3.1 紧临已有建筑部位(图 1 中标识为 BC 段)设计结果

护坡桩:设计桩径 600 mm,桩距 1.20 m,桩顶位于 -2.9 m,桩长为 16.7 m,嵌固深度 4.40 m;桩

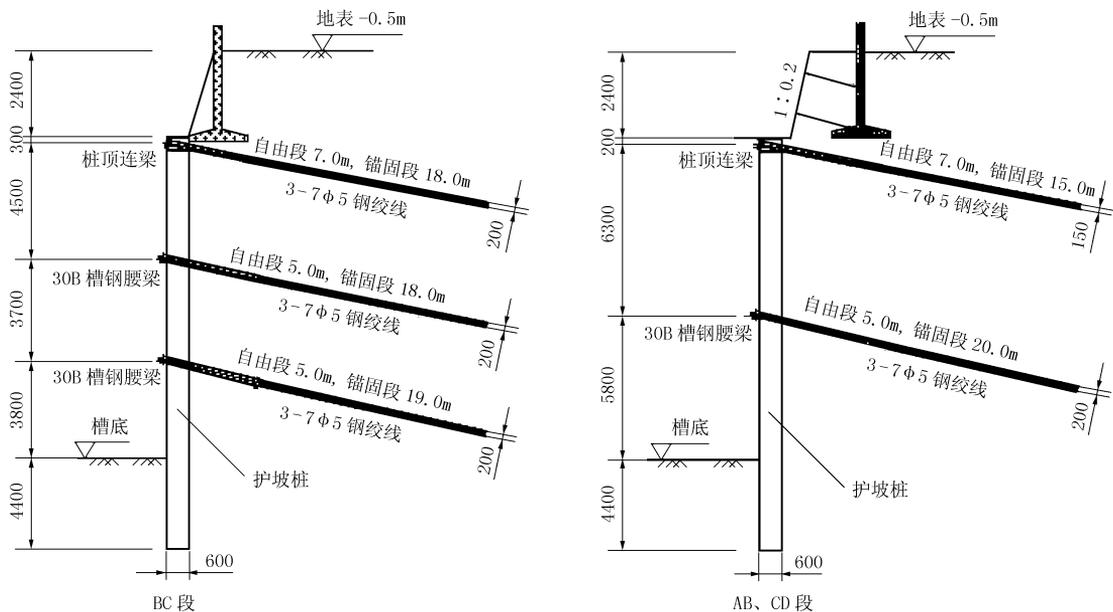


图 2 基坑桩锚支护剖面图

配筋为主筋 12Φ25 均布,加强筋为 Φ16@2000,箍筋为 Ø8@200;桩身混凝土标号为 C25。

桩顶连梁:桩顶设置一道截面尺寸为 500 mm × 600 mm 的连梁,连梁配筋主筋为 8Φ16,围筋为 Ø8@200,联梁混凝土标号为 C25。

锚杆:锚杆设 3 层,标高分别位于 -3.20 m、-7.70 m 和 -11.40 m。3 层锚杆均采用一桩一锚,第一道锚杆锁定于桩顶连梁上,锚杆长度 25.0 m(其中自由段长度 7.0 m),锚固体直径 200 mm,入射角度 15°,锚杆设计预加拉力为 300 kN,锚索均为 3 束 7Ø5(1860 级)预应力钢绞线。第二层锚杆锁定于 30B 槽钢上,锚杆长度 23.0 m(其中自由段长度 5.0 m),锚固体直径 200 mm,入射角度 15°,锚杆设计预加拉力为 350 kN,锚索均为 3 束 7Ø5(1860 级)预应力钢绞线。第三层锚杆锁定于 30B 槽钢上,锚杆长度 24.0 m(其中自由段长度 5.0 m),锚固体直径 200 mm,入射角度 15°,锚杆设计预加拉力为 300 kN,锚索均为 3 束 7Ø5(1860 级)预应力钢绞线。

2.3.3.2 邻近已有建筑部位(图 1 中标识为 AB、CD 段)设计结果

护坡桩:设计桩径 600 mm,桩距 1.20 m,桩顶位于 -2.9 m,桩长为 16.7 m,嵌固深度 4.40 m;桩配筋为主筋 11Φ25 均布,加强筋为 Φ16@2000,箍筋为 Ø8@200;桩身混凝土标号为 C25。护坡桩布置见图 1。

桩顶连梁:桩顶设置一道截面尺寸为 500 mm × 600 mm 的连梁,连梁配筋主筋为 8Φ16,围筋为 Ø8@200,联梁混凝土标号为 C25。

锚杆:锚杆设 2 层,标高分别位于 -3.10 m 和 -9.40 m。第一层锚杆采用两桩一锚,锁定于桩顶连梁上,锚杆长度 22.0 m(其中自由段长度 7.0 m),锚固体直径 150 mm,入射角度 15°,锚杆设计预加拉力为 200 kN,锚索均为 2 束 7Ø5(1860 级)预应力钢绞线。第二层锚杆采用一桩一锚,锚杆锁定于 30B 槽钢上,锚杆长度 25.0 m(其中自由段长度 5.0 m),锚固体直径 200 mm,入射角度 15°,锚杆设计预加拉力为 300 kN,锚索均为 3 束 7Ø5(1860 级)预应力钢绞线。

3 工程施工

3.1 主要施工工艺

3.1.1 护坡桩施工

采用长螺旋钻机成孔、压灌混凝土后反插钢筋笼成桩的施工工艺。与传统泥浆护壁的正、反循环

成孔法和冲击成孔法及旋挖成孔法比较,长螺旋成孔管内泵压混凝土后插钢筋笼成桩工艺施工工作连续,钻孔没有空置时间,很好地控制了施工过程中由于桩孔空置而引起紧邻桩位的已有基础的变形,通过施工过程的跟踪监测,施工期间已有建筑各沉降观测点最大沉降量 0.6 mm,影响甚微。

3.1.2 锚杆施工

锚杆成孔采用锚杆钻机螺旋钻进工艺,已有建筑基础底施工锚杆必须采取间隔施工、干法作业等方式控制不扰动基底土层,注浆采用泵送水泥浆微压注浆工艺。锚杆张拉用液压油泵和张拉千斤顶张拉至设计预应力后再锁定的施工工艺。

3.2 施工过程受工作面限制而引起的典型问题处理

新建外墙皮距已有建筑独立基础底边缘最小处仅 625 mm,由于紧临基坑,支护体系弯矩及剪力较大,造成该部位小桩径支护无法配筋。经计算,设计桩径采用 600 mm,桩配筋为主筋 12Φ25 均布。

由于支护体系为桩锚支护,去除 600 mm 桩径尺寸,所余 25 mm 净尺寸显然不够锚杆体系使用,施工采取了以下措施:

(1) 与独立基础相贴的 4 根桩剔凿独立基础保护层 50 mm,连梁临空面上部按 15° 倾斜,使桩顶部位满足锚杆体系使用;

(2) 桩施工过程按 1% 倾斜度向已有建筑独立基础下倾斜,同时钢腰梁采用 30B 槽钢内横纵向用 20 mm 厚钢板按 30 cm 间隔焊接,张拉锁定后采用 C25 喷射混凝土将槽钢内喷实,解决了腰梁部位尺寸不足的问题。

4 基坑支护效果

本工程自 2005 年 11 月基坑施工开始至 2006 年 7 月底完成地下部位土建施工,支护体系接受了冬季、冬春交替季与 2006 年 6、7 月份频繁暴雨的考验,圆满地完成了基坑支护任务,基坑进行了全程监测,上述部位支护体系位移最大 3 mm,已有建筑沉降最大 6.5 mm,最大沉降差 0.17‰。已有建筑沉降观测点布置见图 1,各观测点沉降总量列于表 6。

表 6 沉降观测结果统计表

观测点	总沉降量/mm	观测点	总沉降量/mm
B1	4.4	B5	5.1
B2	4.8	B6	5.5
B3	4.5	B7	6.5
B4	5.1		

底铁皮钻穿,并继续钻进 3 m 钻至预定深度后,利用注浆泵将配制好的水泥浆液注入孔底(泵压在 0.2 ~ 0.5 MPa 之间,水灰比为 3、2、1 不等,根据地层吸浆量随时调整),在选定的灌浆标准压力下,当吸浆量 $< 0.5 \text{ L/min}$,延续 30 min 即可结束。

4.3.4 地基固结法

1 号锅炉后区域部分钻孔及主厂房 A、B 列轴部分钻孔塌孔严重,甚至出现串孔现象,成孔困难;由于坍塌严重,对塌孔区已成桩的侧阻力也造成很大影响。经与设计协商,采用固结灌浆法对上述地段进行加固。加固深度:从坍塌处(20 m 左右)至孔底(36 m 左右)。灌浆孔平面孔距:按 $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ 布置,对塌孔严重的部位,根据固化效果适当增加孔数。注浆设备及参数控制与桩端压浆法相同,采用多段压浆,从下往上分段注浆,3 ~ 4 m 为一段,灌浆压力采用 0.2 ~ 0.4 MPa,原则上是下大上小。施工顺序:先施工因塌孔未成桩区域,后施工附近区域,施工时浆液内加入适量早强剂,灌浆完毕 3 日后即可对未成桩进行施工。

4.3.5 冲击、回转钻进法

对于孔内出现孤石无法钻进,或塌孔较严重,施工孔深与设计孔深相差较远,不宜进行静压注浆孔,也不宜进行人工挖孔桩施工的孔,采用冲击、回转钻进法进行处理。采用此种工艺,钻进前必须配制好优质的泥浆,钻进过程要轻压慢转,泥浆要及时补给并控制好泥浆的粘度,对于有溶洞或溶隙的孔,进入溶洞或裂隙前进尺要缓慢,冲击要减小,并不间断地向孔内投入粘土和片石同时向孔内投入预先制作好的粘泥球,以便和粘土、片石共同堵住溶洞,顺利成孔。

4.3.6 孔内爆破法

对于孔内遇坚硬岩石、孤石的孔,旋挖钻机根本无法钻进,采用冲击钻处理,施工速度又太慢,在采取了行之有效的安全保证措施后(全孔下钢护筒护

壁),借鉴人工挖孔桩的施工方法,可采用孔内爆破法(松动爆破),配合旋挖钻机施工。实践证明,采用该法取得了明显的效果,极大地提高了旋挖钻孔的施工速度。

通过采取以上几种措施,极大地改善了施工中的被动局面,施工速度有了明显的改观。从部分完工桩的检测结果看,成桩质量及承载力均能满足设计要求。

5 施工体会

(1) 旋挖成孔的主要优点是成孔速度快,施工现场可保持较好的环境,该工艺适合于填土、粘土、砂石层、强风化及较破碎的中风化地层。对于中 ~ 硬质基岩,可采用螺旋凿岩钻头或筒式截齿钻头进行处理,但使用螺旋钻头易产生孔斜,施工过程中对钻孔要勤检查,不要盲目加压;使用筒式截齿钻头,钻孔的垂直度易控制,缺点是进度比较慢。对于完整岩石,或坚硬孤石,旋挖工艺则不太适合,故在有硬岩存在或地层比较复杂的地区,旋挖工艺要慎重选用。鉴于旋挖工艺施工的局限性,后续工程施工及时调整工艺,以人工挖孔为主,是非常必要的。

(2) 该施工场地虽然经过强夯处理,但由于强夯影响深度有限,下部回填层或破碎带根本无法密实,泥浆漏失严重,且成孔后灌注砼时泥浆全部渗漏到地层中,回收困难,由于泥浆不能重复利用,施工成本大幅度提高;且孔内注入泥浆后如出现异常情况(如孔斜、孤石、局部坍塌等),不容易判断。故不宜采用泥浆护壁。

(3) 对有溶洞或溶隙存在的地层,进行施工勘测是必须的。

(4) 对于地质条件复杂的地层,结合施工的具体情况 & 施工过程中存在的问题,采用多种处理措施与旋挖工艺相配合,对工程的质量、进度保证是非常必要的。

(上接第 29 页)

5 结语

本工程多层建筑紧临深基坑条件下基坑支护工程的设计采取了谨慎的态度,合理确定了基坑侧壁重要性系数、荷载取值、支护体系刚度、基坑弯矩调整系数等重要参数,为基坑支护工程提供了先决的技术保障;同时合理选择了施工工艺,有序安排各施

工工序,及时有效地解决了基坑支护施工过程的实际问题,达到了预期的支护目的。

参考文献:

- [1] JGJ 120 - 99, 建筑基坑支护技术规程[S].
- [2] 黄强. 建筑基坑支护技术应用手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
- [3] 秦四清, 等. 深基坑工程优化设计[M]. 北京: 地震出版社, 1998.