

厦门邮电大厦深基坑支护工程实录

郭齐钟¹, 俞华龙¹, 蔡日初², 王新星²

(1. 厦门地质工程勘察院, 福建 厦门 361004; 2. 福建地矿建设集团公司厦门分公司, 福建 厦门 361004)

摘 要: 厦门邮电大厦基坑平面近 15000 m², 深度 18.3 m, 地质条件复杂, 地下水具承压性且与海水连通。基坑支护方案采用冲、钻孔灌注排桩与桩间摆喷帷幕联合支护加锚杆背拉结构, 对设计和施工及监测进行了介绍。

关键词: 深大基坑; 冲、钻孔灌注排桩; 桩间摆喷帷幕; 预应力锚杆; 地下水; 潮水; 孔口封堵注浆

中图分类号: TU467.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-3746(2000)S1-0037-03

1 工程概况

厦门邮电大厦位于厦门市湖滨南路延伸线与规划 I 号路交汇口东侧。该工程塔楼为一栋地上 66 层(248.8 m 高)的超高层建筑, 裙楼 6 层, 总建筑面积 157600 m²。裙楼、塔楼均设有 3 层地下室, 基底埋深 18.3 m, 是目前厦门市最深的基坑。基坑开挖土方总量约 17 万 m³, 其中需爆破石方约 10 万 m³。场地周边没有需特殊保护的已有建(构)筑物。本工程设计单位为冶金部建筑研究总院厦门分院, 工程总承包单位为中建三局, 分包单位有: 福建地矿建设集团公司、厦门地质工程勘察院、京冶建设工程公司、西南建筑勘测研究院。

2 水文、工程地质条件

2.1 岩土体特征

场地地质条件较复杂, 自上而下有: (1) 杂填土, 厚度 3.8~10.4 m, 含较多填块石及生活建筑垃圾; (2) 淤泥, 厚度 0~4.8 m; (3) 中粗砂, 厚度 0~7.4 m; (4) 花岗岩残积土, 厚度 0~6.6 m; (5) 强风化花岗岩, 厚度 0~5 m, 埋深 7~18 m; (6) 中~微风化花岗岩, 埋深 8~25 m。

场地内各岩土层分布极不均匀, 起伏变化很大, 西、北侧土层较厚, 一般大于 20 m; 而东、南侧基岩埋藏较浅, 最浅处中风化岩面埋深仅 8 m。

2.2 地下水

主要有 3 种类型: (1) 上层滞水, 主要赋存于杂填土层的孔隙中, 主要接受大气降水和地下水侧向补给, 施工过程中发现该层水与海水有水力联系, 靠西侧、西南侧距海较近, 水量丰富; (2) 承压水, 赋存

在砂层之中, 具明显承压性, 水量较大, 与海水亦有一定水力联系; (3) 基岩裂隙水, 虽然基岩裂隙较发育, 但一般均呈闭合状, 未发现明显的构造带, 水量较小, 但因基坑内岩石分布范围大, 仍对基坑开挖产生较大影响。勘察期间测得地下水位 1.5~4.5 m, 海潮对地下水有明显影响。场地地下水对钢筋砼结构中的钢筋和金属具有中等腐蚀性。

3 设计简况

该基坑平面尺寸较大(111.7 m×133.7 m), 开挖深度达 18.3 m, 且临近海边, 地质条件复杂, 结构设计较复杂。经过厦门市基坑支护专家组及国内知名专家的评审, 最终确定采用冶金部建筑研究总院厦门分院方案, 即采用冲、钻孔灌注排桩与桩间摆喷止水帷幕联合支护加锚杆背拉结构方案。

3.1 计算说明

(1) 主、被动土压力按朗肯土压力理论计算, 设计者根据经验取水压力系数为 0.3; (2) 地面附加荷载 q 取值为 15 kPa; (3) 安全系数取 1.4; (4) 岩土层设计参数见表 1。

表 1 岩土层物理力学性质参数

地层	厚度 /m	重度 γ / (kN·m ⁻³)	内摩擦角 φ_k / (°)	粘聚力 c_k / kPa	渗透系数 K / (m·d ⁻¹)	孔隙比 e
杂填土	3.8~10.4	18.0	15	10	0.1	
淤泥	0~4.8	16.3	4	8	0.0044	1.6
中粗砂	0~7.4	18.0	30	5	15.2	0.47
残积土	0~6.6	19.8	26	17	0.06	0.74
强风化花岗岩	0.1~9.8	20.5	30	50	0.053	
中风化花岗岩		23.0	45	80	0.08	

收稿日期: 2000-06-15

作者简介: 郭齐钟(1965-), 男(汉族), 福建龙溪人, 厦门地质工程勘察院基础工程处主任, 高级工程师, 工程地质专业, 从事岩土工程、基础工程施工工作, 福建省厦门市莲前西路 192 号, (0592)5995772; 俞华龙(1967-), 男(汉族), 福建福清人, 厦门地质工程勘察院基础工程处主任工程师, 工程师, 探矿工程专业。

3.2 设计结果

(1)西、北两面支护桩选择桩径 $d=1.0\text{ m}$ 。桩间距 $D=1.6\text{ m}$ ，桩身配筋为 $16\Phi 25$ 和 $18\Phi 25$ 两种，桩长进入基坑底下 2 m ，桩端为强~中风化花岗岩，设 4 排预应力锚杆。基岩面埋深在基坑底以下；东、南侧支护桩设计桩径 $d=1.0\text{ m}$ 和 $d=0.8\text{ m}$ 两种，桩间距 $D=1.6\text{ m}$ ，配筋为 $18\Phi 25$ 、 $16\Phi 25$ 、 $13\Phi 25$ 三种，桩端嵌入中风化岩 1 m ；南侧设置 3 层预应力锚杆，东侧设 4 层预应力锚杆。未进入基坑底的支护桩桩长随岩面起伏变化。桩底以下的中~微风化岩石坑壁采用岩钉加喷射混凝土维护。

(2)该基坑采用一桩一锚的结构型式，锚杆间距与桩间距相同。锚杆安设角度 $15^\circ\sim 30^\circ$ ，总根数为 1098 根，锚杆 $k=1.4$ ，锚孔直径 $d=0.13\text{ m}$ ，长度 $18\sim 25\text{ m}$ ，锚杆体为 $4\Phi 5$ 钢绞线组成，设计承载力 $250\sim 560\text{ kN}$ ，大部分 360 kN 。锚杆采用二次注浆工艺，设计要求一、二次累计有效注浆水泥量不少于 50 kg （标号高于 425 号，水灰比 $0.5\sim 0.6$ ）。

(3)桩间止水帷幕设计参数：摆喷半径 $R=0.6\text{ m}$ （三重管），旋转角为 45° ；喷射压力（水压） $36\sim 40\text{ MPa}$ ，水灰比为 $1:1\sim 1:1.5$ ，旋喷隔水帷幕深度达到强风化花岗岩顶面。

4 支护结构工程施工

主要施工工序有：冲、钻孔灌注桩；摆喷止水帷幕；按各层锚杆标高分层开挖土石方；自上而下施工各排预应力锚杆。下面分述之。

4.1 冲、钻孔灌注桩（支护桩）

采用 GPS-15 型回转钻机 3 台和 CT-5、CZ-30 型冲孔机 10 台，主要包括以下几道工序：

(1)埋置护筒。护筒内径一般比桩直径大 $100\sim 200\text{ mm}$ ，基本采用挖孔埋设，开挖护筒时根据桩定位在四周引出 4 个桩位控制点，以保证护筒埋设时其中心点与桩位重合，同时也为桩开孔时钻头中心点对准桩位。埋设护筒是为了保证孔口成孔质量，防止孔口松散土体落入孔内。

(2)成孔。根据不同土层采取回转钻进和冲击钻进工艺。本工程施工时遇到较多困难，在杂填土层遇到厚层生活垃圾，含大量塑料、编织带、破布、大块填石、木桩等。在残积土层局部遇较大孤石，基岩面坡度变化较大。以上这些情况均给成孔带来较大困难，对施工工期造成较大影响。为保证工期，降低成本，在施工过程中采用冲、钻孔相结合的施工工艺，即用钻机钻穿土层，遇孤石或基岩即换用冲孔

机冲锤冲击硬层，进尺速度提高 $5\sim 8$ 倍，缩短了工期，取得了良好的效果。

对于表面成倾斜角的岩层或孤石，冲击钻进前，往孔内投入中~微风化块石填平，配备密度为 $1.25\sim 1.30\text{ g/cm}^3$ 的泥浆，冲击钻进，保证了桩孔的垂直度。实践证明这种方法是成功的。

(3)清孔。均采用二次清孔工艺，即终孔后一次清孔，一般为 2 h ，泥浆密度控制在 $1.1\sim 1.2\text{ g/cm}^3$ ，粘度 $20\sim 28\text{ s}$ ，含砂率 $< 10\%$ ，孔底沉渣 10 cm 。下钢筋笼及导管后进行二次清孔，其参数按设计及规范要求，停止清孔前均测定泥浆性能。

(4)钢筋笼制作安装。按设计规范要求制安，安装时采用特制钢筋笼定位器，从而保证安装质量。

(5)灌注水下砼。下导管时，严格检查其水密性，严禁使用已变形或有凹陷的导管，保证砼隔水栓能顺利通过。另外初灌前控制好停止清孔至剪球时的间隔时间，一般在 20 min 以内。计算好初灌量，保证初灌导管埋深 $\geq 1\text{ m}$ 。

4.2 止水帷幕施工

止水帷幕是在两桩之间采用三重管摆喷而成，其主要工艺为：测量定位→钻机钻孔至设计深度→清孔→高喷台车就位→制浆→摆喷提升注浆。

全面施工前，选择代表性地段进行试喷，以检验设计参数。试喷后，确定表 2 及如下参数：水灰比 1.0 ，空气压力 0.6 MPa ，水压力 38 MPa ，浆压力 0.8 MPa ，旋转速度 20 r/min ，风量 $6\text{ m}^3/\text{min}$ ，水量 75 L/min ，浆量 80 L/min 。

表 2 喷射注浆参数

位置	间距 /mm	提升速度 /(cm·min ⁻¹)	水泥设计用量 /(kg·m ⁻¹)	水泥实际平均 用量/(kg·m ⁻¹)
车道	1000	12	≥ 350	450
桩间	800	14	≥ 300	370
桩间	600	16	≥ 250	312

根据地质实际情况，摆喷止水采取如下措施：

(1)钻孔时遇块石、混凝土块，其厚度超过 30 cm ，则停止钻孔，在其外侧补做 2 个孔，以保证止水帷幕闭合，如图 1 所示。

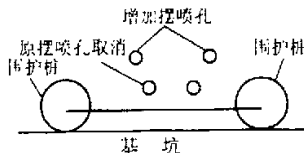


图 1 摆喷孔更改示意图

(2)为防止泥砂堵嘴,边射水边下三重管。

(3)摆喷角度从 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 调整为 45° 。

(4)遇砂层,垃圾等漏水地层复喷一次。

(5)发现断浆,在断浆处以下 100 mm 重新喷浆。

(6)车道及桩间均超喷 300 mm。

施工完毕后统计:间距为 1000 mm 的每延米水泥平均用量为 450 kg;间距为 800 mm 的每延米水泥用量为 370 kg;间距为 600 mm 的每延米水泥用量为 312 kg。通过采取一系列措施及加大水泥用量,基坑开挖后验证,止水是成功的。

4.3 预应力锚杆施工

本支护工程的最关键工序是预应力锚杆施工。因地层复杂,地下水与海水有水力联系,砂层中具有丰富的承压性水,施工难度很大,为确保施工质量,总包单位邀请知名专家组来厦门召开技术研讨会,共商施工方案及补救措施,提出一些宝贵意见,以便在施工过程中发现问题及时处理。

在第一排锚杆施工过程中发现,场地西侧及南、北侧,涨潮时锚杆钻孔有大量海水涌入基坑,无法进行正常施工;退潮时涌水较少,因此,施工安排在退潮后进行。为保证锚杆施工质量,采取以下措施:(1)在注浆液中掺入速凝剂,浆液凝固时间控制在 2 h 左右,使其在海水再次涨潮前固结并有一定强度;(2)加大注浆量,必要时二次高压注浆要采用重复注浆法,多次补注。该工程锚杆一、二次累计水泥用量超过 100 kg,远大于设计注浆量。试验表明,锚杆质量达到设计要求,效果良好。

在施工第二排锚杆时,钻孔遇砂层承压水,因孔口已经低于海平面,无法避开海水涌入。此时,我们采取孔口堵水注浆法,获得成功。简述如下:强制性成孔(投入粘土等造浆材料),使杆体能放入孔内,先将事先准备好的软管埋入孔口 1~2 m,用作引水,再用快硬水泥迅速封堵孔口,孔口封好后,按常规方法注一次浆(加速凝剂),待孔口引水软管流出纯水泥浆液后,封堵软管;二次高压注浆同样需要采取措施,加大注浆量,以弥补一次浆液可能被水稀释而留下的质量隐患。验收试验结果表明,虽然有几根锚杆质量达不到要求,加锚杆进行补强,大部分质量是良好的。第三、四排锚杆采取常规方法进行施工。

5 基坑支护结构监测与信息化施工

为确保基坑支护结构及周围设施的安全,对基坑支护结构进行监测,实现信息化施工是十分必要

的。本工程基坑监测由冶金部建筑总院厦门分院承担,下述监测资料引用该院提交的监测报告。监测内容包括桩顶水平位移,周围地面沉降及预应力锚杆拉力和围护桩钢筋应力等。

监测工作从 1998 年 7 月中旬开挖第一层土方开始。从监测结果看,受复杂地质条件影响,桩顶最大水平位移发生在西侧基坑中部,稳定值为 88 mm,北、东、南三侧基坑的最大位移分别为 53、57 和 43 mm,位移控制良好。

周围地面沉降最大值为 101 mm,观测点仅设在南面,影响因素较多。

锚杆拉力监测结果:总共 36 根锚杆监测,有 2 根锚杆达到或超过设计承载力,其他锚杆拉力都小于设计值,总体趋势是第一、二排锚杆实际拉力比较接近设计值,而第三、四排锚杆实际拉力值都在设计值的 75% 以下。

围护桩钢筋应力最大监测值为 166 MPa,远小于钢筋应力值 310 MPa。

以上监测资料表明,该基坑支护结构经受住了数次台风和大量石方爆破震动的考验,设计与施工是成功的。

6 几点体会

(1)厦门邮电大厦深基坑采用冲、钻孔灌注桩与桩间摆喷止水帷幕联合支护加锚杆背拉结构方案是成功的。它为类似复杂地质条件下深、大基坑的支护提供了有价值的经验。

(2)重大、复杂工程在设计、施工阶段广泛听取各方面专家意见,召开全国知名专家论证会是极其必要的,必须配备强大的管理班子,使得施工质量得到严格保证。

(3)预应力锚杆在穿透止水帷幕后无法避开潮水及承压水对施工的影响,采用孔口封堵注浆施工是成功的,可为类似工程提供借鉴,但应对其增加检测数量。

(4)深基坑采用多排锚杆支护时,锚杆受力与设计值比较,上部受力比下部为大。

(5)现场监测工作是基坑支护的主要内容之一。通过监测,随时掌握基坑的稳定状态、安全程度,为设计、施工提供信息,以便随时修改设计和施工方案,做到信息化,达到设计和施工最优化。

(6)应加强针对基坑支护的地质勘察工作,其准确与否对支护结构设计、施工以及稳定性、安全性影响重大,必须给予足够重视。