基坑采用预应力钢撑支护的工程实例

戴红忠　　华锦耀
(龙元建设集团公司，200434)　(宁波华丰建设集体公司，315040)

提　要　本文叙述在一级基坑中，采用予应力钢管支撑的围护实例，由于综合措施到位，成功地保证了坑边国家级文物建筑。

一　工程概况

福源商厦位于上海市南市区城皇庙地区，北临福佑路，西靠候家路，南侧为沉香阁。东靠候家路，南侧为沉香阁路，东临国家一级文物保护寺庙——沉香阁。与沉香阁相邻接的长度为 75m，其中最近相隔间距为 7.30m。福佑路和候家路地下均有煤气管等重要管线。福源商厦建筑面积 1650m²，地下一层，地上六层，钢筋砼框架结构，基坑实际挖深为 4.65m，开挖面积 3600m²。建筑物地基采用水搅拌桩加固。工程地质概况如下表。

地基土物理力学性质指标表

层序	土层名称、状态	含水量 (%)	重度 (kN/m³)	层厚 (平均) (m)	固结快剪 内聚力 C (kPa)	固结快剪 摩擦角 φ (度)	渗透系数 (cm/s)
①-1	杂填土			1.20			
①-2	暗滨填土			1.50			
②	粉土 褐黄色 软—流塑	36.4	18.4	1.00	10	13.5	
③	淤泥质粉质粘土 灰色　流塑	45.7	17.7	1.00	10	12.8	3.55×10^{-6}
③-a	砂质粉土 灰色 稍密	31.5	19.0	1.00	2	25.5	1.94×10^{-5}
③	淤泥质粉质粘土 灰色　流塑	45.7	17.7	1.70	10	12.8	3.55×10^{-6}
④	淤泥质粘土 灰色流塑	51.6	17.2	8.00	9	8.2	
⑤-1	粘土 灰色 软—流塑	39.4	18.2	3.60	11	11.2	
⑤-2	粉质粘土 软—流塑	34.1	18.3	15.0	11	16.3	

注：地下水位深—0.80m，属潜水。

由于东侧相邻的沉香阁属国家重点保护的文物单位，古式木结构，已有约四百年历史，虽有轻度修复加固，但在墙体、木柱与梁节点、楼面等处均有明显裂缝，加之工程地处闹市区，周边道路地下管线多，故基坑围护必须重点考虑环境保护。

二　基坑支护方案设计

1. 基坑支护方案选择

合理的基坑支护方案，应针对具体情况，综合考虑周围环境、开挖深度、围护形式、降排水措施、土方开挖及支护费用、工期影响等多方面的因素，进行多方案比较。本基坑工程实际挖深按 4.65m 计，基坑东侧有国家重点文物需要保护，故可供选择的基坑支护方案。经全面、综合比较后，采用钻孔灌注桩内支撑式围护方案。钻孔灌注桩外侧打两排水泥搅拌桩作止水帷幕，坑内为格栅式满堂水泥搅拌桩加固地基。开挖土方前坑内采用轻型井点降水，以利机械挖土作业。内支撑力作用，以减少土方开挖后围护桩墙的位移，确保重点文物单位——沉香阁及周边道路下管线安全。

2. 基坑支护方案设计

基坑外地面施工荷载按 15kPa 计算，但实际施工时沉香阁一侧不得有任何施工堆载。水泥搅拌采用双排 Φ700@500，搭接 200，水泥掺入量为 13%，在暗滨或回填土区域掺入量为 15%，搅拌桩打入坑底 3m。电梯井坑四周用格栅式水泥搅拌桩围护。根据土层的物理力学性能和开挖深度，并应用等值梁法和弹性地基梁“m”法计算得钻孔围护桩为 Φ600@800，桩尖深入坑底 9.35m。基坑内采用 Φ700 格栅式水泥搅拌桩满堂加固地基，搅拌桩打入第⑤－1 层：粘土层，使之既作为复合地基承受建筑物荷载用，又能加固被动区土层。基坑支护剖面图如图 1。

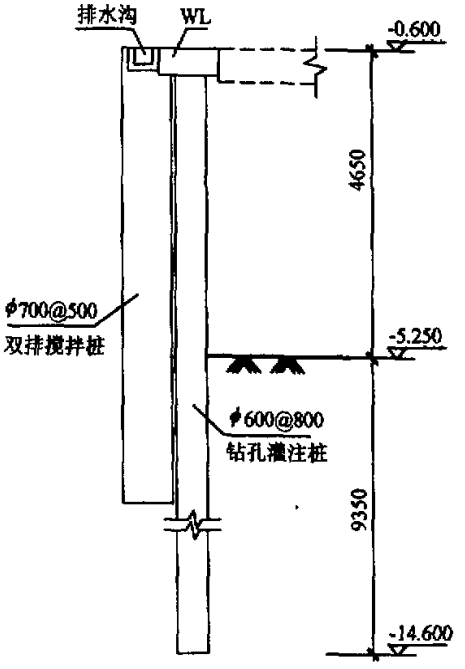


图 1　基坑支护剖面图

支撑系统以 Φ609 钢管双拼式对撑为主，四周加 Φ609 钢管角撑，角撑为桁架式，次要杆件用 Φ377 钢管。南端为二年前已施工的钢筋砼支撑，新老对撑之间用 Φ377 钢管桁架式结合。基抗围护平面布置如图。在各对撑和大角撑杆件下设置钢构式桩柱，桩柱下部为 Φ800 钻孔灌注桩。

围护桩、压顶梁和支撑的内力及围护桩位移计算值如下，各项安全系数计算结果如下。

工况 1：挖土至设计标高。

桩墙最大水平位移 35mm，桩墙最大弯矩 235kN·m/m，支撑力 130kN/m。整体稳定安全系数为 1.28，抗隆起稳定安全系数为 1.97，抗渗流稳定安全系数为 2.45，均满足要求。压顶梁最大弯矩为 1000kN·m，支撑承受最大轴力为 2137kN。

工况 2：底板、承台、地梁砼浇筑后拆除支撑。

桩墙最大水平位移和最大弯矩均小于工况 1，故围护桩断面配筋和压顶梁断面配筋均按工况 1 设计，对撑和大角撑杆件采用 Φ609 钢管，小支撑杆件采用 Φ377 钢管，均满足要求。

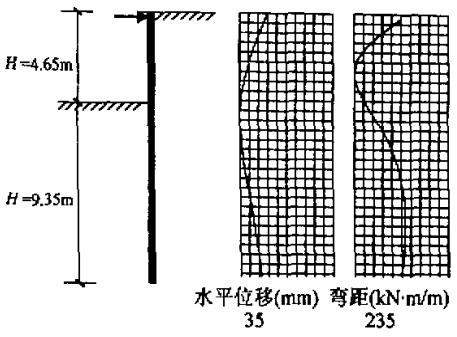


图 2　工况二 开挖后围护结构位移及内图

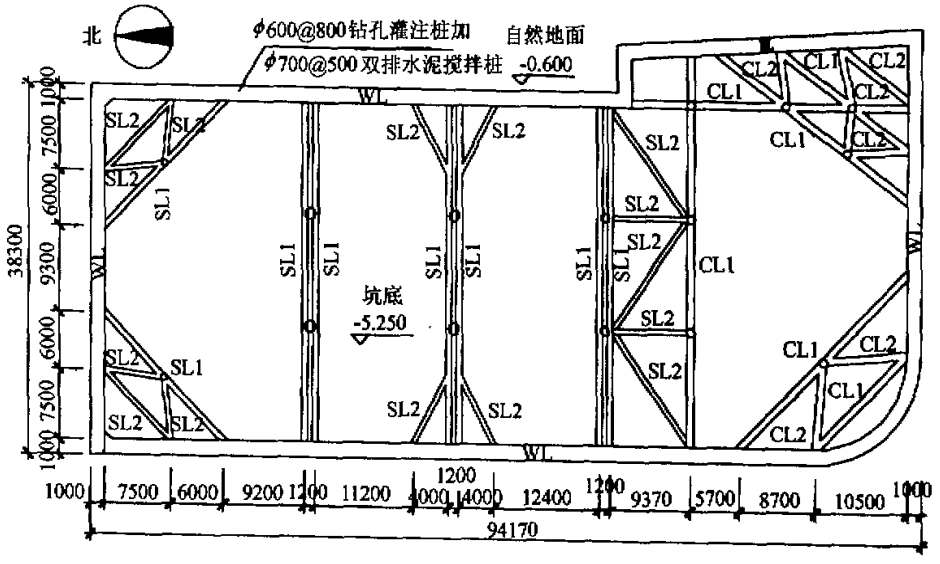


图3　基坑支护平面布置图

三　基坑支护结构施工

基坑支护结构施工顺序：测量放线→水泥搅拌桩(止水)→钻孔灌注桩→水泥搅拌桩(坑内)→轻型井点降水→挖土做压顶梁和对撑→施加予应力→做角撑、辅撑→围护监测→分层分区挖

土→浇地下室底板→拆除支撑。

1．钻孔灌注桩、水泥搅拌桩施工

Φ600@800 钻孔灌注桩的砼强度等级为 C25，配筋为 10。18，箍为 Φ8@200。止水帷幕和坑内地基加固用的水泥搅拌桩按常规方法施工，唯地下障碍物较多，如木桩、块石

等，须在打桩前用钢钎探孔，发现后挖除。在深部地层发现障碍物，则用冲抓机和弯钩等专用设备清除。

2．压顶梁和支撑施工

钢筋砼压顶梁和钢管支撑施工按常规方法进行，压顶梁支承钢管支撑处予埋钢板。支撑体系的钢构件采用工具式支撑，按现场精确尺寸加工后，由 50t 履带吊机吊装就位，钢管对撑的连接采用螺栓法兰，钢管和压顶梁、主撑杆与辅撑杆的连接采用电焊。

3．轻型井点降水

坑内挖土前沿纵向布置三排环形轻型井点降水，降水立管间距 1。2m，埋设深度 7m，有效降水至标高－5.80m，每套布设降水立管 40 根，共计 6 套，每套配备真空泵一台。降水立管采用高压水冲孔法成孔，沉放加长式立管 7.8m 长，其中底部 0.8m 长为滤管，采用粗砂为滤料，立管上部 0.8m 用粘土封孔。

4. 钢支撑预应力施工

(1)钢支撑安装钢支撑安装顺序：测量放线→对撑→角撑→对撑预应力→八字撑→辅助撑。钢支撑中对撑和大角撑杆件为 Φ609 钢管，其它辅撑及八字撑为 Φ377 钢管。支撑钢管均为规格化工具式支撑，其连接采用螺栓法兰，支撑钢管与压顶环梁埋件、钢构立柱用电焊连接。

(2)对撑预应施工

支撑体系拼装完成后根据设计要求对钢管支撑施加预应力，减少钢管支撑在工作状态下的弹性压缩，施加预应力采用液压 100t 千斤顶。千斤顶放于对撑主管两端的 995 活络头工作。预应力的施工是钢支撑施工的重要组成部分，也是钢支撑成败的关键之一。预应力分二次施加，第一次每根钢管施加压力 30t，第二次再施加到设计规定 50t 压力值。南侧和砼对撑相邻的钢对撑不施加预应力。

①为了最低限度减小气温对钢支撑的影响，施加预应力的时间，选择在凌晨 2~5 点(即：迟昼夜气温最低的时间)。

②4 根钢支撑主管同步施加应力，确保整体支撑两端对称受力，并做到分级加荷，持荷 5 分钟。③支撑两端各用一只油泵，4 根钢对撑共用 8 只千顶，根据设计要求，并且有专人统一指挥保证了施工预应力达到同步协调，并用双控即应力值与围护桩墙的外移位小于 10mm 控制。

④信息化施工是基坑施工的必要手段，为确保周边道路及地下管线、沉香阁等重要设施的保护，根据每天各类观察数据及时分析、整理，用来指导整个基坑的开挖，及时根据有关变形数据进行复加预应力，在钢对撑端部 995 活络头中，设置了复加预应力装置。

⑤各类支撑、接头更多地应用电焊连接，保证了安装间隙达到最小程度，保证轴力在连接点的充分传递。

四 结 语

1．地下室底板、承台、地梁的砼浇捣后并达到 80%设计强度，即可拆除钢支撑。为了防止拆撑中坑壁桩墙和土层应力突然析放，位于基坑纵向当中的二根带八字撑的对撑最后拆除。

2．基坑在钢支撑安装完毕并在轻型井点降水 10 天后开挖土方，挖土原则为："先撑后挖，先西后东，先南后北，分区分层。"挖土顺序先西后东的目的在于造成东侧围护桩墙在挖土后(通过对撑)对西侧桩墙的一种推力，以确保沉香阁安全。电梯井坑开挖深度大，在其四周外围的底板层砼施工后再开挖井坑。

3．基坑分层分段按"五边"法开挖至设计标高后，立即铺设块石垫层和砼垫层，合计垫层厚 300，以使坑底尽早形成传力带，有利于基坑围护的稳定。

4．本工程根据现场监测结果，以基坑开挖至坑底设计标高时的桩墙位移最大，最大位移值为 2.1cm，位置在西侧。沉香阁一侧的土体位移值 1.1cm，均未超过上海市基坑工程设计规程(DBJ08－61－97)中一级基坑的允许值，这和围护结构施加预应力和土方开挖正确的程序密切相关。

5.该工程目前正在精装饰，现场实践表明，由于多方面的精密而科学地组织施工，确保了国家一级文物保护单位——沉香阁的安全。