

江苏国际图书中心深基坑支护施工技术

柳孝荣, 黄新强, 贺广斌

(江苏省岩土工程公司, 江苏 南京 210018)

摘 要:江苏国际图书中心基坑开挖面积及支护深度都较大,通过深基坑支护结构方案设计与施工,从基坑开挖到地下室施工到 ± 0.00 m 结束,基坑支护结构安全可靠。详细介绍了基坑支护方案、施工技术以及沉降位移监测和安全技术措施。

关键词:江苏国际图书中心;深基坑支护;钻孔灌注桩;深层搅拌桩;高压旋喷桩;树根桩

中图分类号:TU473.2 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2005)04-0007-05

Construction Tech. of Deep Foundation Pit Support in Jiangsu International Library Center/LIU Xiao-rong, HUANG Xin-qiang, HE Guang-bin (Rock and Soil Engineering Company of Jiangsu Province, Nanjing Jiangsu 210018, China)

Abstract: Extensive excavating area and deep support were employed in the foundation pit of Jiangsu International Library Center. The paper introduces the project, construction technique, settlement displacement survey and safety methods in detail.

Key words: Jiangsu International Library Center; deep foundation pit; bored pile; deep mixed pile; high pressure rotary injection pile; tree root pile

1 工程概况

江苏国际图书中心地处南京市湖南路商圈中心,位于湖南路与中央路交汇口西南侧,是一集大型书店、娱乐及办公为一体的双塔楼式高层建筑,也是江苏文化大省的一个标志性建筑。该工程地上 26 层,地下 3 层,总建筑面积约 136000 m²。

本工程基坑平面形状呈“Z”型,东西长 154 m,南北宽 114 m,基坑开挖面积约 13000 m²,最小开挖深度-15.75 m,最大开挖深度达-20.85 m。西侧基坑开挖后支护情况见图 1。

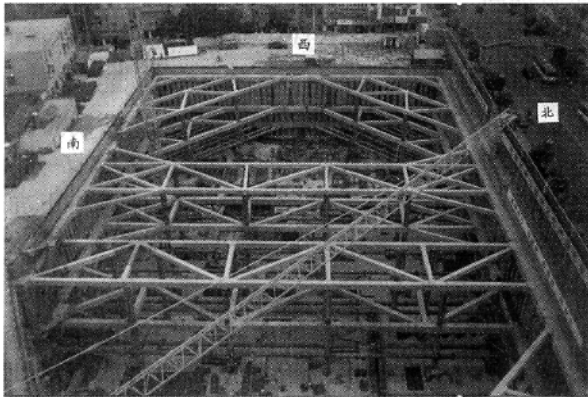


图 1 西侧基坑开挖后的支护情况

2 工程地质条件与周边环境

2.1 工程地质条件

本工程场地位于古河道漫滩上,地层松软,边坡稳定性差,场地内地层自上而下分布如下:

①杂填土,厚 0.2~5.7 m;②素填土,厚 0.4~5.4 m;③粉砂、粉土,厚 0.2~3.8 m;④淤泥质粘土,厚 2.9~10.2 m;⑤粉质粘土,厚 0.8~10.6 m;⑥强风化凝灰岩,厚 0.9~9.2 m;⑦中风化凝灰岩,厚 0.7~9.0 m。

场地地下水丰富,属浅层潜水类型,水位埋深 0.6~1.4 m,受大气降水补给,呈季节性变化。

2.2 场地周边环境

本工程周边环境复杂,基坑东邻中央路交通主干道;北靠湖南路繁华商业街,沿街煤气管道和通信电缆等各种管线密布;西侧和南侧东段分布有数幢 6 层居民楼;紧邻基坑的东北角是江苏省出版总社的 13 层办公大楼,该大楼基础结构较差,是支护重点,必须采取严密支护措施。

3 基坑支护方案

3.1 基坑支护特点

该基坑开挖深度和面积目前在江苏省算得上是

收稿日期:2004-10-13

作者简介:柳孝荣(1962-),男(汉族),江苏句容人,江苏省岩土工程公司高级工程师,钻探工程专业,从事钻探工程、岩土工程、安全工程管理工作,江苏省南京市珠江路 700 号,(025)84807420。

最深、最大的基坑之一,从开始开挖到地下室施工要经历雨季的考验,该基坑地处商业街与交通主干道边,东北角省出版总社的大楼离基坑仅 2~5 m,基坑支护难度很大。

3.2 基坑支护方案

为了确保周边建筑物、道路、地下市政管线的安全和正常使用,我公司根据本工程的地质条件、周边环境 and 拟建建筑物地下室结构尺寸(参数)制定了该深基坑支护方案:钻孔灌注桩挡土,深层水泥土搅拌桩和三重管高压旋喷桩止水,坑中坑以树根桩加固,降水井降水,两层钢筋混凝土支撑和一层钢支撑。基坑支护体系剖面见图 2。

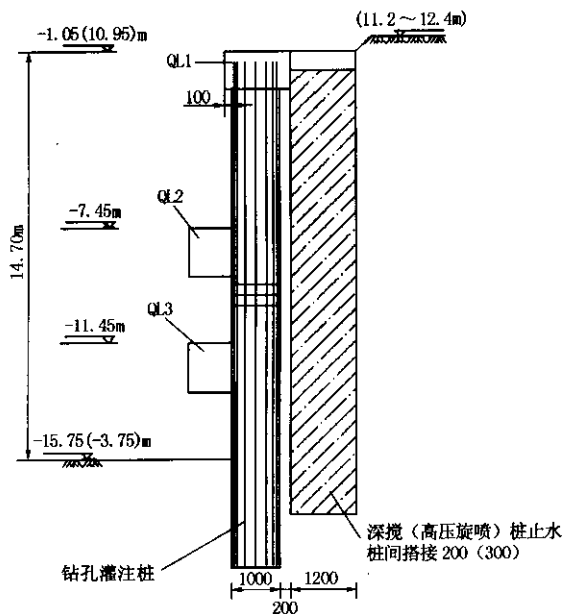


图2 基坑支护体系剖面示意图

3.3 基坑支护设计要求

(1)钻孔灌注桩设计为 52 根 $\Phi 1100$ mm、间距 1.3 m, 473 根 $\Phi 1000$ mm、间距 1.2 m, 桩长 20.5~22.0 m, 桩身砼强度 C30, 泥浆护壁, 水下砼灌注成桩, 钢筋笼设计为全笼结构, 其配筋为 16 $\Phi 25$ (12 $\Phi 25$), 加强筋为 $\Phi 16@2000$, 箍筋为 $\Phi 8@200$ 。

本工程设计 $\Phi 1000$ mm ($\Phi 900$ mm) 立柱桩 99 根, 桩长以嵌岩 0.5~1.5 m 和不少于进入基坑底面以下 6 m 控制。全笼结构, 格构柱采用 4 根 $\angle 140 \times 140 \times 14$ 与 $\angle 90 \times 90 \times 8$ 角钢焊制埋入砼中。

(2)深层搅拌桩设计为 $\Phi 700$ mm 双排双轴 844 根, 桩长 9.0~14.0 m。深度以进入⑤层 1.0 m 为准, 选用 PO 32.5 普通硅酸盐水泥, 掺入量 15%, 水灰比 0.5。

(3)三重管高压旋喷桩设计为 $\Phi 800$ mm 桩 475 根, 桩长 10.0~15.0 m, 深度以进入⑤层 1.0 m 为

准, 桩中心距 0.5 m, 注浆选用 PO 32.5 普通硅酸盐水泥, 水灰比 1, 压力 ≥ 25 MPa, 水泥用量 500 kg/m。

(4)树根桩设计为 $\Phi 150$ mm 桩 342 根, 在基坑开挖到 -12.0 m 时开始施工, 孔距 0.5 m, 孔深一般控制为 9.0 m 左右, 要求进入中风化岩大于 0.3 m, 岩土层厚度 > 9.0 m 时, 孔深加深 1 m。内置三角形钢筋笼, 主筋 3 $\Phi 14$, 箍筋为 $\Phi 6.5@400$, 内外排桩分别放置 2 根或 1 根注浆管, 采用水灰比 0.5 的 PO 32.5 普通硅酸盐水泥进行二次注浆。

(5)降水井设计 $\Phi 800$ mm, 井深 16.0 m, 均布 30 眼。

(6)冠梁设计根据不同位置和受力状况分为 2500 mm $\times$ 850 mm、2100 mm $\times$ 850 mm、2000 mm $\times$ 850 mm; 二层围梁为 1150 mm $\times$ 1000 mm 和 1500 mm $\times$ 900 mm; 三层围梁为 1200 mm $\times$ 900 mm 和 900 mm $\times$ 900 mm。支撑在标高 -1.4、-7.9 m 处设计 2 道钢筋砼支撑, 在 -12.0 m 处设计 1 道 $\Phi 610$ mm $\times$ 12 mm 钢管支撑, 钢筋砼支撑根据不同轴力情况分别采用 850 mm $\times$ 750 mm、750 mm $\times$ 600 mm、650 mm $\times$ 550 mm、550 mm $\times$ 450 mm, 冠梁与支撑梁砼标号设计为 C30。

4 施工技术

4.1 施工顺序

由于本工程工程量大, 施工方法多, 合理安排施工顺序(有时需交叉施工)是保证工期的关键。施工顺序如下: 围护钻孔桩 $\rightarrow$ 深层搅拌桩 $\rightarrow$ 高压旋喷桩 $\rightarrow$ 立柱桩 $\rightarrow$ 降水桩 $\rightarrow$ 一次开挖 $\rightarrow$ 圈梁与第一道砼支撑 $\rightarrow$ 二次土方开挖到 -8.4 m $\rightarrow$ 第二道砼支撑 $\rightarrow$ 树根桩加固 $\rightarrow$ 三次土方开挖 $\rightarrow$ 第三道钢支撑 $\rightarrow$ 四次土方开挖 $\rightarrow$ 基底砼垫层封底。

4.2 钻孔灌注桩施工

4.2.1 施工工艺

测放桩位 $\rightarrow$ 埋设护筒 $\rightarrow$ 桩机就位调试验收 $\rightarrow$ 钻进成孔 $\rightarrow$ 一次清孔 $\rightarrow$ 安放钢筋笼(格构柱) $\rightarrow$ 下导管 $\rightarrow$ 二次清孔 $\rightarrow$ 水下砼灌注 $\rightarrow$ 成桩移机。

4.2.2 施工前准备

根据建设方提供的基准点, 建立牢固且不受影响的经三方验收合格的围护桩轴线控制点和水准点, 测量放样开挖宽约 1.3 m、深约 1.0 m 的沟槽, 埋设护筒, 验收定位。

4.2.3 桩机就位验收调试

选用 GPS-20(15)型桩机施工, 要求设备安装平稳牢固, 机架垂直、安全。性能经检测合格良好,

天车中心、转盘中心与孔位中心在一条直线上,经验收孔位偏差 ≥ 20 mm。

4.2.4 钻进成孔

使用密度为 $1.1 \sim 1.15$ kg/L、粘度 $18 \sim 22$ s、含砂率 $\leq 6\%$ 、胶体率 $\geq 95\%$ 的泥浆开孔钻进,开始轻压慢转,随着孔深增加逐步调整到正常的压力和转速,如开孔后遇到障碍物,立即停钻,经安全防护后人工清除。合理选择钻进参数,控制钻进速度,钻进过程中随时测量主动钻杆或转盘的垂直或水平情况,发现孔斜立即停机检查,采取处理措施,确保成孔的孔径误差在 ± 50 mm、垂直度误差在 0.5% 之内,终孔孔深以设计钻进深度控制。

4.2.5 一次、二次清孔

一次清孔在终孔时进行,将钻具提离孔底 200 mm,慢速转动少量换浆,捞出沉淀物,一般情况清孔 30 min。二次清孔在安放钢筋笼与下完导管后,灌注前进行,导管底口离孔底 300 mm 左右,采用换浆清孔,并及时清理循环槽与泥浆池,清孔后测孔底沉渣厚度 ≤ 150 mm,泥浆性能达到密度 $1.15 \sim 1.20$ kg/L、粘度 $20 \sim 25$ s、含砂率 $\leq 8\%$,报请监理验收合格签字,在 45 min 内灌注。

4.2.6 钢筋笼(格构柱)制安与下导管

钢筋笼与格构柱严格按设计要求与规范制作,每 2 m 布设一组(3 块)砼保护块,并保持钢筋笼安放的周正,格构柱安放到位后,再进行一次检查复测,确保方向与柱位准确无误后固定,导管连接要求做到垂直密封不漏水,距离孔底 $300 \sim 500$ mm。

4.2.7 砼灌注

首灌采用砼隔水栓灌注法,要求首灌量 ≥ 1.6 m³,确保首灌后导管埋深 ≥ 0.8 m,连续灌注作业,控制导管埋深在 $2 \sim 6$ m 之间,严禁导管提出砼面,桩顶浮浆高度控制在 1 m 左右,并缓慢反复拔插导管,确保桩头砼的强度达到设计要求。

4.3 深层搅拌桩施工

4.3.1 施工工艺

测量定位开挖沟槽 $\rightarrow$ 桩机就位对中 $\rightarrow$ 预搅下沉(制浆) $\rightarrow$ 注浆搅拌提升 $\rightarrow$ 复搅下沉 $\rightarrow$ 喷浆提升 $\rightarrow$ 成桩移机。

4.3.2 施工准备

根据控制点和水准点坐标测量定位,为了确保场地整洁和施工方便,首先开挖宽 1.5 m、深 1.0 m 的沟槽,再进行测放桩位,并用竹签作桩位中心标记,选用 SJB-Ⅱ型深搅桩机施工,桩机安装就位垂直对中调试验收合格,确保桩位误差 ≤ 20 mm。

4.3.3 预搅下沉(制浆)

预搅下沉开始速度缓慢,正常后下沉速度 ≤ 0.7 m/min,如遇障碍物立即停机经人工清除后,方可继续施工。预搅下沉过程中随时注意机架垂直情况,确保成桩的垂直度误差 $\leq 0.5\%$ 。后场同时按设计要求配制浆液,放入集料坑内。

4.3.4 注浆搅拌提升

预搅下沉达到设计深度后,前场通知后场开动压浆泵送浆,边喷浆边提升,提升速度控制在 $0.4 \sim 0.5$ m/min,前后场密切配合,若出现供浆中断时,钻具必须再下沉 0.5 m 后重复搅拌喷浆。

4.3.5 重复搅拌喷浆成桩

为了使土层与浆液搅拌均匀,再次搅拌下沉到设计深度,然后喷浆提升到桩顶标高,成桩移机。

4.4 高压旋喷桩施工

4.4.1 施工工艺

测量定位 $\rightarrow$ 钻机就位 $\rightarrow$ 钻进引孔移位 $\rightarrow$ 旋喷桩机就位下管 $\rightarrow$ 旋喷水、气、浆提升 $\rightarrow$ 成桩清洗移位 $\rightarrow$ 回灌。

4.4.2 施工准备

测量放线确定桩位,选用 XY-4 型钻机引孔,钻机安装就位,调整垂直对中,确保孔位误差 ≤ 20 mm,垂直度误差 $\leq 1\%$ 。

4.4.3 钻进引孔

开孔轻压慢转,合理选择钻进参数,如遇障碍物停钻采取有效处理措施,引孔深度以大于成桩深度 0.5 m 为控制标准。

4.4.4 旋喷成桩作业

选用 CYP 型高压旋喷桩机施工,桩机就位下管同时制浆,下管到位后按先送水、再送气、后送浆顺序旋喷作业,边喷浆、边旋转、边提升,其参数控制为:水压 $28 \sim 31$ MPa,气压 0.6 MPa,浆压 1.5 MPa,旋转速度 12 r/min,提升速度 10 cm/min,水泥浆液密度 1.60 kg/L 左右。若喷浆管因堵塞中断,旋喷管必须下沉 0.2 m,重新喷浆作业。

4.4.5 成桩清洗

旋喷成桩后立即清洗管路,并利用返出的浆液进行回灌,确保桩顶强度达到设计要求。

4.5 树根桩施工

4.5.1 施工工艺

测放桩位 $\rightarrow$ 钻机就位 $\rightarrow$ 钻进成孔 $\rightarrow$ 下钢筋笼注浆管 $\rightarrow$ 投放骨料 $\rightarrow$ 清孔 $\rightarrow$ 制浆 $\rightarrow$ 一次注浆 $\rightarrow$ 二次注浆 $\rightarrow$ 成桩移机。

4.5.2 施工准备

测量放线确定孔位,选用XY-4型钻机安装就位对中,调试验收。

4.5.3 钻进成孔

合理选择钻进参数成孔,成孔深度以进入中风化岩大于0.3 m控制,孔深一般为7~10 m。

4.5.4 下钢筋笼和注浆管,投放骨料,清孔

根据桩位在中间位置下入钢筋笼和注浆管(内排2根、外排1根),注浆管直径为1 in ($\varnothing 25.4$ mm)水管(下部3 m为花管),投放瓜子片充填,到位后用清水清孔。

4.5.5 一次注浆、二次注浆

一次注浆压力控制在0.3 MPa左右,到位后稳压2 min。3天后进行二次注浆,注浆压力控制在1.0~3.0 MPa,到位后稳压3 min。当土方开挖到设计标高后,每排用单层双向 $\varnothing 10@200$ 钢筋网片和板厚250 mm的C25砼形成锁口板。

4.6 冠梁与支撑施工

4.6.1 施工工艺

挖土放线定位→破桩头→绑扎钢筋→立模(钢支撑凿桩身内侧)→围檩安装→浇注砼(钢支撑充填素砼)→振捣密实养护→钢支撑吊装施加预应力→安装联系杆。

4.6.2 施工准备

开挖土方到-1.4 m标高,测放冠梁、围檩与支撑位置,凿除支护桩与搅拌桩桩顶浮浆砼。

4.6.3 绑扎钢筋立模

按设计要求绑扎钢筋,砼保护层厚度为30 mm。要求立模平整边直,几何尺寸准确无误,无缝隙,不漏浆。

4.6.4 浇注砼振捣养护

采用C30(一、二道)或C35(三道)商品砼连续浇注,边浇注边振捣密实,成形后用草包裹盖保湿养护7天后拆模,养护到28天方可进行土方开挖。

4.6.5 钢支撑施工

清除支护桩内侧渣土,制作并安装围檩及钢支撑杆件,采用 $\varnothing 610$ mm $\times$ 12 mm法兰连接钢管支撑,在下层土方开挖前根据具体情况施加预应力后安装联系杆,联系杆采用 $\angle 22$ 的槽钢,钢管与格构柱相交处采用 $\angle 140 \times 140 \times 14$ 的角钢焊接在格构柱上作为横担,横担下方用 $\angle 90 \times 90 \times 6$ 的角钢焊制斜撑。

4.7 基坑开挖

基坑土方采用反铲式挖掘机分4层分区分块对称开挖,必须先撑后挖。第一层大面积开挖至冠梁

和第一道砼支撑底标高-1.40 m;第二层分层开挖至第二道砼支撑底标高-8.4 m,此时局部进行坑中坑树根桩加固施工;第三层分层开挖至第三道钢支撑底标高-12.0 m;第四层分层开挖留0.3 m用人工清除到设计底标高-15.75 m(局部达-20.85 m)。随后立即浇筑15 cm厚C15砼垫层,并在坑底的支护桩边地下室板墙外侧砌筑砖挡墙,内浇筑高度为0.6 m的砼,防止桩间土坍塌及水流入垫层面。

4.8 基坑降排水施工

4.8.1 降水井施工

为了充分疏干基坑内地下水,本基坑内均布设计了 $\varnothing 800$ mm、井深为16.0 m的30口降水井。

降水井施工工艺流程:测放井位→钻机就位验收→钻进成孔→清孔→安放滤水管→填滤料→洗井→抽水成井。

降水井成孔施工采用优质泥浆护壁,终孔后换浆清孔,井管采用 $\varnothing 300$ mm商品预制砼井管,上段4 m为实管,下段12 m为滤管,下管与填滤料严格按照要求进行,地表以下1.0 m用粘土填实,而后立即进行洗井、抽水作业,至抽水正常后成井,并加盖封闭井口。

4.8.2 基坑内外排水

土方开挖前在基坑顶部四周砖砌宽0.4 m、深1.0 m排水沟,防止地表雨水流入坑内;基坑开挖到设计桩标高后,在基坑底四周及中间每隔10 m交叉设置盲沟和集水井,坑内集水与雨水均由水泵排出坑外。

5 沉降位移监测

5.1 沉降位移观测点布置

根据本工程基坑侧壁安全等级为一级与有关规定的规定,结合本工程基坑平面形状和周边环境,本工程分别在支护桩(深搅桩)顶冠梁,立柱桩顶支撑梁(一、二、三道)、省出版总社大楼、地下管线与主干道路等处共设水平位移观测点51个,沉降观测点47个,桩身应力和土压力观测点16个,一、二、三道支撑轴力观测点共71个,水位观测点16个。

5.2 警戒值控制指标

本工程支护结构的有效安全时间从基坑开挖开始到地下室施工到 ± 0.00 m为止,其主要警戒值控制指标如下:支护桩位移累计 ≤ 80 mm、且 ≤ 10 mm/天;沉降量累计 $\leq \pm 20$ mm、且 $\leq \pm 2$ mm/天;弯矩及轴力 $\leq$ 设计值的80%(设计值200 MPa);弯距位移水平与沉降累计 ≤ 50 mm、且 ≤ 5 mm/天;坑

外水位最大下降 ≤ 1000 mm、且 ≤ 500 mm/天。

5.3 各次观(监)测的时间间隔与次数控制

本工程各项观(监)测的时间间隔与次数控制如下:第一、二次开挖到第二道支撑时,每 2 天一次;第三次开挖到第三道支撑时,每天一次;第四次开挖到底标高时,每 12 h $\sim$ 1 天一次;开挖完成以后 15 天内,每 12 h $\sim$ 1 天一次;16 $\sim$ 30 天时,每 1 $\sim$ 2 天一次;30 天后,每 3 天一次;如遇雷雨季节或超警戒值时,及时加密观(监)测时间间隔,并及时反馈跟踪信息。

5.4 本支护结构沉降位移情况

本支护结构监测从基坑土方开挖到地下室施工到 ± 0.00 m 的 556 天里,共计观测 466 次,桩顶最大累计位移在南侧为 58.6 mm,且最大为 7 mm/天;周边道路建筑物最大累计沉降量为 16.8 mm,且最大为 0.3 mm/天;最大支撑轴力为 122 MPa;最大弯距水平位移为 42 mm;坑外最大水位下降为 100 mm。均未超出安全控制指标,支护结构安全可靠。

6 安全技术措施

(1)该基坑支护由我公司设计,在开工前通过南京市高评委有关专家进行安全性评审。

(2)对施工人员要精心组织,项目部组成人员要懂技术、有经验、善管理,施工人员和操作人员要有相应资格证书,各类施工人员在施工前必须进行安全技术交底与安全生产教育。

(3)各类进场施工设备机具必须达到性能良好,并经过有关部门的安全技术性能检测合格。

(4)要科学组织施工,合理安排各方法交叉作业,尽可能缩短地下工程的施工工期,尽量避免雨季开挖施工,地下室施工完成后及时回填土方。

(5)施工过程中严格遵守安全操作规程,严禁违章指挥、违章作业。

(6)土方开挖过程中严禁挖斗碰撞立柱桩、降水

井和支撑体系,严禁重型车辆在冠梁、支撑梁、深层搅拌桩上反复碾压,以防破坏支撑体系与止水结构。

(7)在土方开挖过程中及时对基坑沉降位移及周边建筑物进行监测,随时掌握和控制支护的变形情况,以便采取相应的应急措施。

(8)在土方开挖前要制定完善的基坑开挖过程中可能出现问题的应急措施,人员、材料和设备要准备充分并放置现场。

(9)现场安排负责人员 24 h 值班,特别在雨季开挖,要提前掌握天气情况,备足抽排水设备,以防暴雨或大雨对基坑安全的影响。

7 结语

江苏国际图书中心深基坑支护工程累计使用商品砼 18600 m^3 ,搅拌加固约 4800 m^3 ,钢材 1730 t,水泥约 11500 t,旋喷 13100 m,开挖土方 21.5 万 m^3 ,总造价 3200 多万元。该基坑开挖到设计底标高时正值 6、7 月雨季,经历了暴雨的考验。

我公司通过优质设计、精心组织、合理安排、科学施工、强化管理和项目部全体人员共同努力,克服了地层松软、含水丰富、边坡稳定性差、周边环境复杂、管线密布、基坑边离大楼近、基坑开挖面积大与深度深等困难,安全顺利地完成了施工任务,其施工质量与安全性能经基坑开挖后的检验优良,除少数几个桩缝有微量渗水外,未出现任何漏水现象。监测数据和周边巡查也表明,基坑及周边道路与建筑物虽有很少量沉降和水平位移,但均无明显变形和危及其使用安全的现象发生,该基坑支护设计方案与施工经实践证明是可行的、安全的,为同类型基坑支护的设计与施工提供了参考。

参考文献:

- [1] JGJ 94—94,建筑桩基技术规范[S].
- [2] JGJ 120—99,建筑基坑支护技术规程[S].

全国地下水资源与环境调查评价结果显示我国地下水可开采利用潜力巨大

全国地下水资源与环境调查评价结果显示,尽管我国对地下水资源的开发利用呈现快速增长趋势,但可开采利用的潜力仍很大。

中国地质调查局 2005 年 4 月 21 日公布的全国地下水资源与环境调查评价显示,新中国成立后,我国地下水资源开发利用迅速增加。目前约有 400 个城市开采利用地下水,年开采量超过 1000 亿 m^3 。

从供给看,我国地下水可开采利用潜力仍很大。全国地下水淡水天然补给资源约为每年 8840 亿 m^3 ,可开采资源为每

年 3530 亿 m^3 ;此外,每年还有近 2600 亿 m^3 浅层地下淡水和 140 亿 m^3 矿化度 1 $\sim$ 5 g 的地下水资源可供开发利用。

与南方地区相比,北方地区地下水供需矛盾突出。调查显示,北方地下淡水天然资源量约占全国地下淡水总量的 30%,而开采量已占全国开采总量的 76%。特别是华北平原地区,浅层地下水超量开采 6%,深层地下水超量开采 39%。

由于人们对地下水资源的不合理开采,目前许多地区已出现地面沉降与地裂缝、地下水降落漏斗、地面塌陷、海水入侵、土地荒漠化等环境问题。