# 浅谈岩溶地区高层建筑的基础设计

吴敏捷
(江西省环球建筑设计院,南昌,330046)

**提　要**　在岩溶地区，高层建筑的基础设计采用刚性小桩复合地基方案，可节约基础投资，缩短施工工期。

## 一　前　言

在岩溶地区进行高层建筑基础设计时，设计人员往往习惯于采用钻孔灌注桩或人工挖孔桩施工工艺，用一柱一桩来承受上部结构传下来的荷载。而这种基础方案在实施时效果不佳，甚至失败，特别是岩面起伏很大，有时两桩之间相差数尺，但高差可达数十余米，若采用泥浆护壁钻孔灌注桩，难以判断桩端情况，有时一根桩下有数个溶洞，施工难度很大，且基础投资规模无法控制。笔者认为在基础方案的选择中，溶洞内被密实的沉积物填满，没有足以影响整体安全的大空洞，则采用刚性小桩复合地基方案，是行之有效的。

## 二　原理分析

江西省宜春地区是岩溶发育区，地下灰岩内，溶洞较发育，该层埋深在 11～30m 左右，岩层起伏很大，若高层建筑地基基础方案采用一柱一桩，单桩承载力很大，按《建筑桩基规范》(JGJ94—94)[1]的要求，岩层埋深较浅时，宜采用嵌岩桩。参照广东省地基基础规范，要保证桩底在 3 倍的桩径且不小于 2m 的范围内，有稳定的岩层。要满足上述要求，只有将大直径桩穿过溶洞(有时需穿过数个溶洞)，置桩端于稳定的基岩上，但由于灰岩的强度高，其单轴饱和抗压强度 $f_r \geq 80MPa$，若采用人工挖孔桩，则需采用爆破手段，而钻孔灌注桩则可能出现钻头损失很大、难以钻进的困难，工期拖的长，施工质量难以保证。另外，对勘察工作的要求甚严，每一柱下均须进行钻孔勘察，探明溶洞的深度和个数，以便确定桩的入土深度。

若下部岩层整体是稳定的，溶洞内被密实的沉积物填满，没有足以影响整体安全的大空洞，则采用刚性小桩复合地基方案，能很好地解决由于采用大直径桩所带来的问题。把桩的插入视作对桩长范围内土体的加固，与基础下的土体一起形成复合地基，利用小桩与土的共同作用，共同来分担上部结构传下来的荷载，使土中应力扩散，每根桩承受的荷载减小，地基的应力就分散为由基岩上部的覆盖土层和基岩的整体来共同承担，考虑到桩土

和上部结构的共同作用，不必强求每一根桩的完整性，即使有部分桩失效也无损大局，因此，对地质勘察工作的要求是宏观控制即可。复合地基中的刚性小桩不仅用来承担上部结构的荷载，还可用来控制高层建筑的沉降变形。

针对岩层上部覆盖土层的物理力学性能，可采用以下两种方式进行地基基础设计：

**1. 采用刚性小桩复合地基**

若高层地下室底板以下土质尚可，但采用筏板基础却承载能力不足，或由于柱荷载差异较大、裙房和高层连接在一起，沉降不均，则可采用刚性小桩一筏基础。假如无地下室，可采用刚性小桩一条形基础。可参考《地基处理新技术》[2]中的复合地基极限承载力计算公式进行计算：

$$Pu=n(\lambda Psu+Ppu)+Rd\,F \tag{1}$$

式中 $n$—桩数(按建筑物容许沉降量确定的用桩数量)；

$\lambda$—修正系数，在软土中可近似取 1.0；

$Psu$、$Ppu$—分别为单桩桩侧极限摩擦力和桩端极限承载力，kN；

$Rd$—承台底埋深处地基极限承载力，kN/m²；

$F$—承台底面积，m²。

安全系数 $K$ 为

$$K=Pu/P \tag{2}$$

式中 $Pu$—极限承载力,kN；

$P$—荷载，kN。

工程设计方案的总安全系数 $K$ 应大于 2。

**2. 采用刚柔性桩复合地基**

若高层地下室底板以下土质为软弱土，可采用刚性小桩—碎石桩或搅拌桩—筏基础。刚柔相济，用刚性小桩来控制高层建筑的沉降变形，柔性或半刚性桩来提高地下室底板以下土层的强度。刚柔性桩复合地基极限承载力计算公式可参照下式进行：

$$Pu=n(\lambda Psu+Ppu)+Pcf\,F \tag{3}$$

式中 $Pcf$—碎石桩或搅拌桩复合地基极限承载力，单位 kN/m²。

其余符号含义同(1)式，安全系数 $K$ 同(2)式。

复合地基总的沉降量为加固区土体压缩量和加固区下卧层土体压缩量之和，具体计算可参照《高层建筑地基基础—共同作用理论与实践》[3]及《地基处理新技术》中，关于复合地基总的沉降量计算公式进行。

## 三 实例分析

我院于 1998 年承接了宜春电厂办公楼的设计任务，该办公楼主楼的层数为十六层，裙房的层数为三层，主楼和裙房连接在一起，总建筑面积为 10000 平方米，采用框架结构体系，地下未设地下室。拟建场地为岩溶发育地区，地质条件复杂，业主曾委托其他设计院设计该办公楼，设计完成后，由于基础采用钻孔灌注桩，最大桩长达 30m，桩基费用

需 140 万元，且施工难度很大，业主便委托我院进行重新设计。

1. 拟建场地地基岩土工程特征

(1)杂填土：主要成分为建筑垃圾、碎石、炉渣、散性粘性土，土质不均，结构松散，层厚 0.5~1.20m。

(2)粉质粘土：红褐—褐黄色、湿、可塑，蠕虫状构造，含 FeMn 质氧化斑点，底部渐变为灰绿色粉土薄层。该层埋深 0.5~1.2m，厚度 6.20~8.20m，承载力标准值 $f_k$=210kP$_a$。

(3)园砾混粘土：灰黄色、很湿—饱和、稍密，砾径大小不一，小者 2mm，大者达 150mm，次园状，主要成分为石英、长石、燧石等，级配良好，砾石含量 80~85%，粘土含量 8~12%，混杂于砾石中。该层埋深 7.20~9.20m，厚度 2.20~11.60m，承载力标准值 $f_k$=180kP$_a$。

(4)全风化灰岩：紫红色、含燧石，原岩结构不清，已全风化成泥状，湿、可塑。该层埋深 10.40~19.00m，厚度 0~16.75m，承载力标准值 $f_k$=100kPa。

(5)1 灰岩：浅灰色，厚层状构造，含燧石结核，裂隙发育，岩溶发育，溶蚀面附泥、砂质，呈蜂窝状，岩芯较破碎。溶洞最大厚度为 4.70m。均为泥、砂质充填，该层埋深 10.80~24.55m，厚度 0.80~12.50m。

(6)方解石脉：淡黄色、白色，棱形晶，质脆，溶蚀现象发育，溶洞及溶隙现象极发育，一般溶隙同方解石呈互层状，层厚 0.3~0.5m，但均为泥、砂质充填，无漏浆现象，最大溶洞达 9m。该层埋深 11.00~31.75m，厚度 1.10~26.90m。

(7)2 灰岩：浅灰白—浅灰色，厚层状构造，含燧石结构，隐晶质结构，裂隙较发育，均为方解石脉充填，局部见溶蚀现象，溶蚀面附泥质及铁锈质浸染，岩芯较完整，饱和单轴抗压强度 $f_r$=80MPa，该层埋深 9.80~42.00m。

(8)本场地勘探深度以浅地下水主要赋存园砾混粘土中，属弱承压孔隙水，水量一般，主要接受附近河水补给，地下水位埋深 7.30m 左右。

2. 基础选型

从地质的剖面图来看，粉质粘土层的强度较高、分布均匀，但其下面的土层分布非常不均匀，园砾混粘土、全风化灰岩的厚度变化很大，若采用筏板基础，粉质粘土层的强度能满足设计要求，但差异变形太大，难以满足规范的要求。经计算分析，决定采用刚性小桩复合地基，即钢筋砼沉管灌注桩加钢筋砼条形基础。充分利用粉质粘土层的强度，将上部结构的荷载扩散，用条形基础分担 50%的上部总荷载，以减小溶洞顶部灰岩的附加应力；用 $\Phi$420 的沉管灌注桩(单桩承载力极限值为 $p_u$=1000kN)分担剩下 50%的上部总荷载，并调整由于框架柱荷载的差异，以及主楼与裙房连接在一起，而使基础产生的差异沉降变形，最后的基础平面布置图详见附图 1。计算出复合地基基础的总沉降量为 30mm，利用式(2)计算出基础总的安全系数 $K$ 为 2.4。

沉管灌注桩基础施工完成后，桩基总费用为 25 万，比钻孔灌注桩基础共节约基础投资 115 万。只花了 20 天，便施工完了桩基，缩短了施工工期。

3. 沉降观测

该项目从 1998 年 10 月开工，1999 年 10 月大楼主体以及内外墙均砌筑完成。整个办公楼共设置了 6 个沉降观测点，测得最小的沉降量为 22mm，最大的沉降量为 25mm，沉降较为均匀。

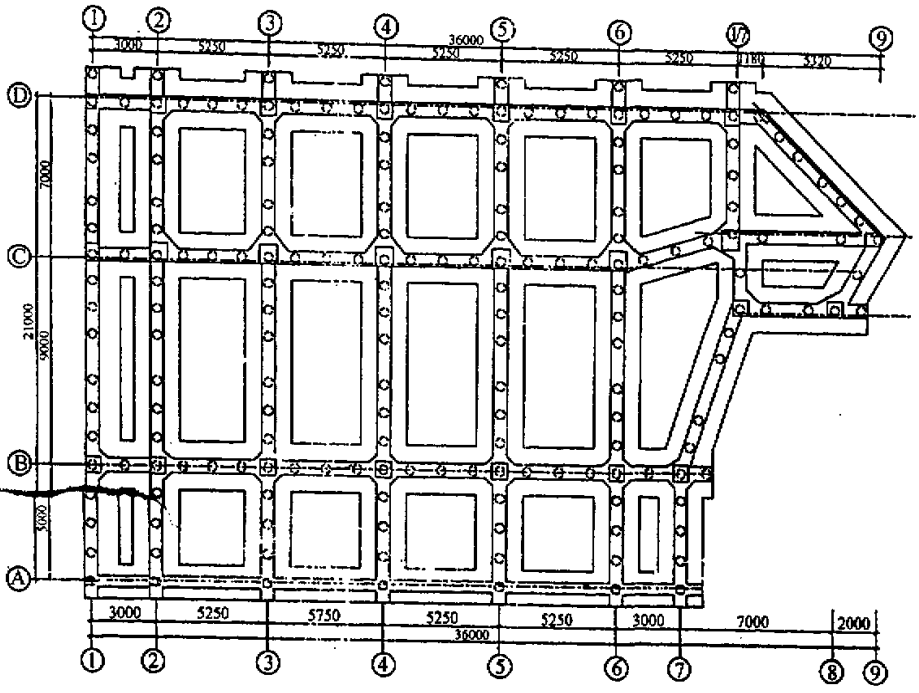



图 1　基础平面布置图

## 四　结　论

(1)在岩溶发育区，只要下部岩层整体是稳定的，则可用应力扩散理论，采用刚性小桩复合地基方案处理高层建筑的地基基础。

(2)采用刚性小桩复合地基方案，可解决由于采用大直径桩而带来的施工难度问题和成桩质量，缩短工期。

(3)能有效地控制地基基础的投资，节约工程造价。

### 参考文献

[1]《建筑桩基技术规范》(JGJ94—94)。

[2] 龚晓南：《地基处理新技术》，山西科学技术出版社，1997.6。

[3] 董建国、赵锡宏：《高层建筑地基基础—共同作用理论与实践》，同济大学出版社，1997.9。