

[文章编号] 1002-8528(2001)04-0044-06

# 南京太阳宫广场桩基设计

刘 皓, 钟益村, 孙仁范

(中国建筑技术开发总公司, 北京 100013)

[摘 要] 详细介绍了南京太阳宫广场的桩基设计。从基础选型、桩基选型、桩基计算、桩基检测等方面体现了设计者的新思想, 提出了一些新的设计概念。目前该工程已投入使用, 运营良好。

[关键词] 桩基设计; 抗压桩; 抗拔桩; 桩基竖向承载力; 桩周负摩阻力

[中图分类号] TU473.1<sup>+</sup>2 [文献标识码] B

## Design of Pile Foundation for Sun Palace Plaza in Nanjing

LIU Hao, ZHONG Yi-cun, SUN Ren-fan

(China Building Technique Development Corporation, Beijing 100013, China)

[Abstract] In the paper the design of pile foundation for Sun Palace plaza in Nanjing is introduced. The new design concept is explained by means of the selection, calculation and testing of the pile foundation. Recently the project has been put into use and operated well.

[Key words] design of pile foundation; compressive pile; uplift pile; bearing capacity of pile foundation; negative skin friction of pile

## 1 工程概况

### 1.1 工程简介

南京太阳宫广场是一组以室内戏水为主, 集文化、娱乐、健身和客房于一体的大型综合性公共建筑(详见本刊 2000 年第 4 期)。该工程主体建筑为现浇钢筋混凝土大柱网框架结构体系, 其中直径 80 m 的共享大厅的屋盖为钢网架; 高度 23.50 m 以上的装饰性拱肋为现浇高强钢筋轻骨料混凝土结构; 高架桥为钢筋混凝土梁板结构; 滑冰馆和保龄球馆为单层钢筋混凝土墙支承钢结构屋盖体系; 客房为三层框架结构; 基础采用桩基。建筑剖面见图 1。

### 1.2 工程场地特点

根据江苏省南京地质工程勘察院提供的“工程地质勘察报告”, 其工程地质条件揭示如下: 拟建场地原为山前坳沟, 后经人工改造为养鱼场。其土层

分布从地面向下, 依次为: 填土, 厚约 0~2.5 m; 有机质土—淤泥, 层厚 0.2~3.1 m; 粉质粘土, 层厚 0~2.9 m; 再往下则为粉质粘土夹粉土、淤泥质粉质粘土、粉质粘土、含砾粉质粘土、粉质粘土、碎石土、强风化闪长玢岩、中-微风化闪长玢岩、强风化泥岩、强风化薄层状泥灰岩-钙质泥岩、中风化薄层状泥灰岩-钙质泥岩(局部穿插分布强风化闪长玢岩)、中-微风化角砾岩、中-微风化泥灰岩-灰岩。

地下水常年水位为 10.20 m, 场地上部为潜水含水层, 下部为弱承压水层, 均为弱透水层。场区内大部分基岩的岩芯完整性较好。

根据江苏省地震局在拟建场地的地震勘探成果显示, 场区内未发现影响场地稳定性的断裂构造和破碎等不良工程地质现象。拟建场地属中软场地土, 类建筑场地, 卓越周期为 0.457 s, 覆盖层范围内平均剪切波速为 223.5 m/s。

归纳分析其场地工程地质条件, 有以下特点:

(1) 工程场地覆盖土层主要由软塑到可塑状态的填土、有机质土、淤泥质粉质粘土、粉质粘土等软

[收稿日期] 2001-02-08

[作者简介] 刘 皓(1965—), 男, 工程师

弱土层组成,厚度约 8~20 m;

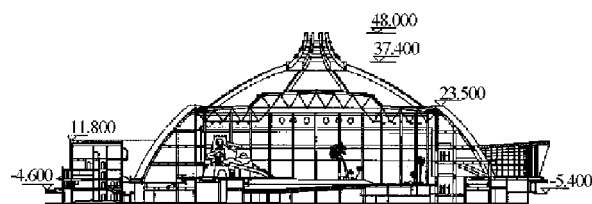


图1 主体建筑剖面图

(2) 拟建场地内桩端持力层由多种基岩组成,而且基岩面坡度变化较大,中-微风化基岩埋深约从 -8~-45 m 不等。

基于该广场工程地质特征及建筑物的特殊功能要求,我们在进行桩基设计时,提出了一些新的设计理念,本文主要在基础选型、桩基选型、桩基计算、桩基检测等方面作了简要介绍,以供类似工程参考。

## 2 基础选型

该工程主体——现浇钢筋混凝土大柱网框架结构体系——为一级建筑物。根据上部建筑使用功能的要求及圆形布局的特点,结构体系中的柱距较大。主体建筑五层框架的柱子沿三条半径分别为 40 m、46 m 及 57.3 m 的圆轴线布置,柱距多在 8~11 m。同时,其结构本身总荷载较大:一方面是结构板、梁截面都不小,自重较大;另一方面是建筑物内设有大大小小的各种水池,水及池子本身的重量,也是结构荷载较大的主要因素之一。此外,建筑物内戏水区构筑物造型复杂,许多地方必须通过填垫或架空等措施来实现,这也增加了楼板负荷。另外,长城景观、滑道等大型戏水娱乐设施,也都是直接搁置在楼板上,需由部分柱子来承担其荷载。因此,该建筑物虽只是局部五层的框架结构体系,但其柱子的轴力却比一般五层框架结构负荷大得许多。经过较为细致的分析计算,其单柱的轴力差异较大,多在 600~1000t。而地下 1 层基底处的土层又均为软弱土层,从强度和变形指标来看,若采用普通独立基础或筏基基础,该土层作为持力层,将不能满足要求;若采用地基处理方法,显然也不太现实。

其次,因该场地紧邻玄武湖,地下水位很高,由

“工程地质勘察报告”得知,上面软弱土层的含水率均高于 30%,且为软塑-可塑状。若采用传统的强夯等直接处理地基的方法,要达到上述的承载力,难度较大,且施工不易控制,易形成橡皮土,给继续处理造成麻烦;若采用换填法,由于软弱土层的厚度很大,挖填的工、料都很大,再加上基坑支护费用很高,且大厚度的回填土质量不易保证;若采用 CFG 桩等非钢筋混凝土桩的处理方法,土层的力学指标又不是很理想,桩的承载力相对不高,且这类桩无法抵抗水浮力产生的向上拔力,不能作为滑冰馆和保龄球馆及入口处的基础。因此,要达到满足整个建筑承载力及变形的要求,除了增加桩的数量和深度外,还需要靠底板来调节柱子的轴力和抵抗浮力,这将造成建筑基础形式不统一,不太经济。

最后,经过反复分析比较,确定该工程选用合理、经济、实用的钢筋混凝土桩-筏基础。

## 3 桩的选型与设计

### 3.1 桩的选型

该建筑轴力较大的柱网是半径为 40~57.5 m 的五层框架,其他部位的柱子轴力均不大,多在 300~400t。所以,采用一柱一桩,传力路线简单明了,承载力及变形也能够满足要求,同时较为经济。预制桩承载力相对较低,且因本工程土层分布不均,基岩起伏大,造成桩端持力层的选用及桩长的确定都较烦琐,不实用;人工挖孔桩同样因为土层特性较差,桩长较长,施工难度及风险均较大,无法实现。最后确定,该工程采用嵌岩钢筋混凝土钻孔灌注桩,桩径分别为 800mm、1000mm 及 1200mm。桩端持力层分别为中-微风化闪长玢岩、中-微风化角砾岩、中-微风化泥灰岩-灰岩。桩长从 20m 到 43m,各处不等,一柱一桩(部分地方因柱子截面较大,为 1000mm×3100mm,考虑不便产生过大偏心,采用一柱二桩)。为控制沉渣,提高承载力,施工中采用双控条件,即,桩长控制和入岩深度控制,从而基本保证了桩长这项重要指标。当然,施工中也有个别的桩未达到设计桩长就进入了岩层,为方便施工,我们及时调整计算,提出了该处如何缩短桩长的意见。桩位布置见图 2。

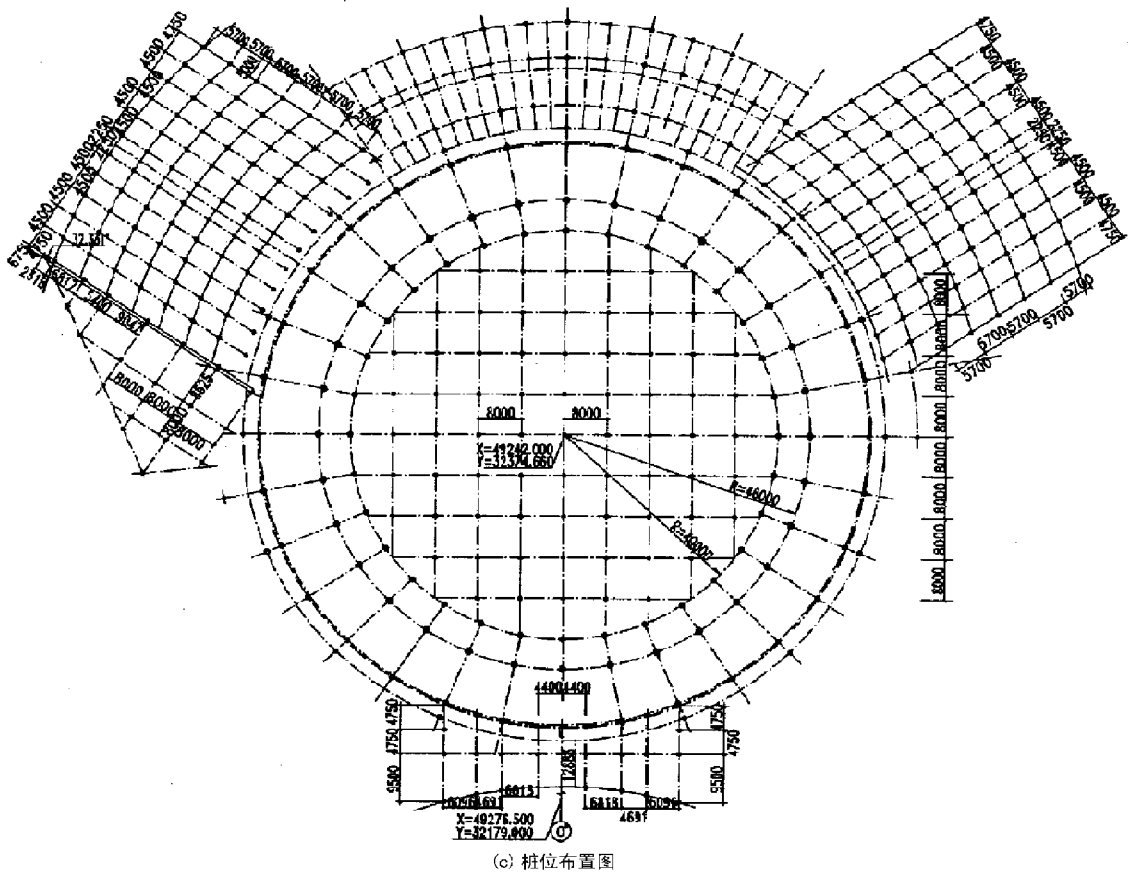
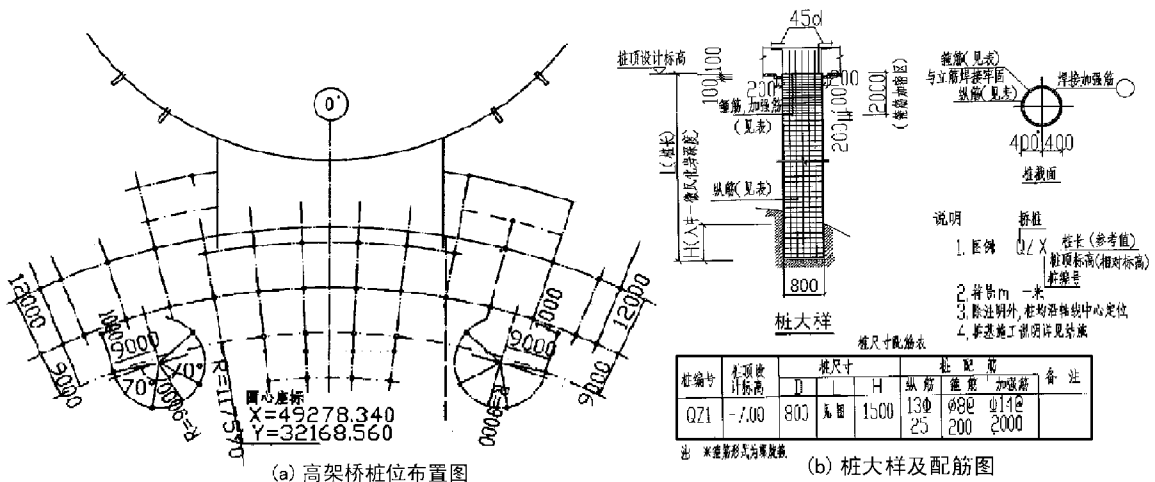


图 2 桩位布置示意图

### 3.2 桩的设计

根据 JGJ 94 - 94《建筑桩基技术规范》, 基桩的竖向承载力设计值为 (不考虑桩间土的作用):

$$R = (Q_{sk} + Q_{rk}) / \gamma_s + Q_{pk} / \gamma_p \quad (1)$$

$$Q_{sk} = u \sum_{i=1}^n \gamma_{si} q_{sik} l_i \quad (2)$$

$$Q_{rk} = u \sum_{i=1}^n f_{ri} h_i \quad (3)$$

$$Q_{pk} = \gamma_{pi} q_{pi} A_{pi} \quad (4)$$

式中  $\gamma_{si}$  ——第  $i$  层土侧阻力发挥系数。粘性土、粉土  $\gamma_{si} = 0.8$ ; 碎石土  $\gamma_{si} = 0.7$ ;  
 $\gamma_{pi}$  ——大直径灌注桩 ( $D \geq 800\text{mm}$ ) 侧阻力尺寸效应系数。粘性土、粉土 1.0; 碎石土  $(0.8/d)^{1/3}$ ;

$s$  ——嵌岩段侧阻力修正系数;

$p$  ——大直径灌注桩 ( $D \geq 800\text{mm}$ ) 端阻力尺寸效应系数。粘性土、粉土  $(0.8/D)^{1/4}$ ; 碎石土  $(0.8/D)^{1/3}$ ;

$p$  ——端阻力修正系数。

其它符号见 JGJ 94 - 94《建筑桩基技术规范》。

以该工程中桩较短,承载力较低,而其位置又很重要的桩为例:取设计基础荷载 6380 kN (G19 孔附近),桩长  $L = 26\text{m}$ ,桩径  $D = 1200\text{mm}$ ,入岩深度 2m。因基底筏板半径较大,圆形特点,基桩不考虑桩顶弯距的附加作用;考虑负摩阻力影响,中性轴距桩顶距离按 8m 考虑。则,

$$Q_{sk} = 3468\text{kN}; Q_{rk} = 5184\text{kN};$$

$$Q_{pk} = 4351\text{kN}; R = 7880\text{kN} (s = p = 1.65);$$

桩身自重为 440 kN;

$$N = 8184\text{kN} > R = 7880 \text{ (超出 } 3.86\% < 5\%)$$

负摩阻力:  $Q_g = 315\text{kN}$ ;

$$\text{或 } (N + 1.27 Q_g) = 8664\text{kN} < 1.6 \times 7880 \\ = 12608\text{kN}$$

桩身强度验算: (混凝土标号 C30)

$$1.0 f_c r^2 = 18651.6\text{kN} > 1.2 \times 6820 \\ = 8184\text{kN}$$

满足设计要求。

该处设计荷载原本较大,经与建筑协调,将荷载大的功能区移至别处,最后设计荷载为 6380kN,从而满足了一柱一桩的要求,不必增加桩的数量或扩大桩径,充分利用了桩的承载力,同时节约了造价。

### 3.3 桩的设计特点

(1) 该工程的桩穿越较厚覆盖土层,由于自重固结或地下水位下降,土的有效应力增加,均有可能引起土层下降,因此需考虑桩侧负摩擦力的影响;

(2) 基岩埋深较小处,因桩的入岩深度较大,根据嵌岩灌注桩的荷载传递特性,侧阻力及端阻力均应进行折减修正;

(3) 该工程的桩绝大多数为摩擦型桩,即桩侧阻力分担荷载的大部分,桩端阻力分担荷载的小部分,且桩侧阻力先于桩端阻力发挥作用;

(4) 考虑浮力的影响,设计抗拔桩及抗压抗拔复合桩;

(5) 不考虑桩间土的作用。该工程未考虑底板

下桩间土的作用,基底处为 3 - 淤泥质粘土,呈流塑状,水位降低后会出现固结沉陷的现象,现场观察为稀泥状,无法直接施工桩及底板,后采取铺石子的措施以便施工,造成原状土的扰动,不能作为持力层土考虑;

(6) 该工程桩长变化较大,从 20 ~ 43m;单桩承载力变化也较大。根据这个特点,与建筑专业配合,调整了上部结构的荷载分布,以充分利用桩的承载力。

## 4 桩的抗浮、抗弯及沉降问题

### 4.1 抗拔桩的设计

该工程场地地下水位比基础底板高出约 4.5m,抗浮验算成为非常重要的环节之一,经过综合比较,决定采用抗拔桩来抵抗浮力。该工程主要有二类抗拔桩:一类是正常使用阶段和施工中均承受上拔力的抗拔桩,主要分布在两个 40m × 50m 的单层耳房下(部分分布在入口处),以解决 40m × 50m 大底板的抗浮问题。桩中心间距为 4.5m × 5.7m,桩直径为 800mm,桩长为 18m 和 21m。施工中按设计桩长控制,遇岩时根据情况,相应缩短桩长,配筋量及配筋形式均按抗拔桩的要求设计。另一类是正常使用阶段为抗压桩,施工阶段若停止降水后为抗拔桩。设计考虑利用现有的抗压桩兼作抗拔桩,缩短降水时间,减少施工费用,该工程大部分桩属于此类桩。抗拔桩计算方法简要举例如下:

(1) 第 1 类抗拔桩 以滑冰馆抗拔桩为例:桩长 14.6m(提前遇岩),桩径 800mm,桩重 110 kN。桩的抗拔承载力:

$$U_k = u_{si} q_{sik} l_i = 1233\text{kN}$$

$$\text{计算浮力: } 24.5\text{kN/m}^2$$

$$\text{单桩浮力: } N = 24.5 \times 5.7 \times 4.5 = 628.4\text{kN}$$

$$U_k / s + G_p = 857\text{kN}$$

$$\text{或 } N = 1.2 \times 628.4\text{kN} < 857\text{kN}$$

满足要求。

(2) 第 2 类抗拔桩 以主体建筑地下车库中间部分 8m × 8m 柱网为例:最小桩长为 28.7m,桩径 800mm,桩重 216 kN;入岩深度为 1m,考虑施工完底板后就停止降水。单桩浮力:1568 kN

桩的抗拔承载力:  $U_k = u_{si} q_{sik} l_i = 4959 \text{ kN}$

$$U_k / \gamma_s + G_p = 3221 \text{ kN}$$

或  $N = 1.2 \times 1568 = 1882 \text{ kN} < 3221 \text{ kN}$

满足要求。

通过计算可知,施工完底板后就停止降水。材料承载力满足抗拔要求,只需在原有抗压桩的基础上,增加考虑抗拔桩的配筋量验算及构造要求等即可。由此,本工程的这类桩最后设计成了既能抗压又能抗拔的复合桩,充分利用了桩的受力性能,节约了造价。

#### 4.2 整体弯距对桩基的影响

该工程主体建筑物的高宽比约为 0.2,圆形底板直径达到 115m,板厚 500mm,桩与桩之间由地梁相连,共同组成桩-筏基础,惯性距很大,半地下室的状态,回填土及滑冰馆、保龄球馆、客房对主体建筑均不同程度地构成侧向约束;同时,地下室柱子较多,加上桩帽周围的地梁及底板可共同承担弯距(桩与桩帽采用固接的构造形式),因此每根桩在水平地震力作用下,桩顶产生的附加弯距或附加应力也就不大,经过计算,整体弯距对桩基的影响很小。

#### 4.3 沉降的考虑

该工程的桩端持力层均为中-微风化基岩,故沉降差不会太大,绝对沉降量也不会太大,施工中要求严格控制桩端的沉渣量,最终沉渣厚度不大于 50mm,因此未做沉降验算;桩基检测结果也证明了沉降量是很小的。

### 5 桩基检测

该工程桩基安全等级为一级,由于工期紧张,施工前未进行单桩承载力的实验,根据工程经验并结合“工程地质勘察报告”进行了桩基的设计。所以,在确定检测工作时,我们在按规范规定的检测数量的基础上,适当增加了检测的数量,并提出了对检测结果进行离散性分析的要求。检测方法采用了静载荷试验、高应变动力检测、抽芯检测、低应变动力检测等几种方法;抗拔桩进行了静载荷抗拔试验。同时,根据上部结构中荷载的分布情况及分析计算结果,结合工程地质条件的变化特点以及施工中每根桩的施工质量,提出了被检测桩的范围和试验极限荷载。最大限度的检验勘察设计的质量并消除工程

隐患。后经过检测,结果基本上与设计的考虑相吻合,承载力一项基本接近,极限荷载下桩顶沉降值很小,最大的约为 29mm;沉降差也很小,最大约为 1/1600。证明了设计的合理性。

### 6 设计体会

(1)大型室内戏水工程,使用功能要求很高,这类建筑荷载较一般大型商业建筑还要大一些,但层数不会太多,要求的空间较大,视觉效果一般要求通透,采用大柱网框架结构或框架剪力墙结构比较合适。特别是基础在应该采用桩基的前提下,采用一柱一桩的型式,传力简单明了,且经济效益较好,应该是首选的基础型式。至于桩型,采用大直径钢筋混凝土灌注桩是比较适宜的。

(2)大型室内戏水工程,平面布置较为复杂,荷载分布极不均匀,因此结构专业应尽早介入方案的讨论工作,并应争取尽早得到工程地质条件的情况,尽早确定基础型式与结构体系,在此基础上有针对性地与建筑专业讨论方案,避免给结构的深入设计造成一定的困难。该工程根据工程地质情况,在方案阶段就与建筑专业广泛交换意见,做到了桩长比较长,单桩竖向承载力较高的地方,荷载布置也较大;桩长比较短,单桩竖向承载力较低的地方,荷载布置也较小;尽可能充分利用了桩的承载能力,避免了土建造价无谓的增加。这样做可能造成结构的质量中心与刚度中心会有一定的偏差,但考虑是一柱一桩,传力直接,对结构不会产生很大的影响。从建成使用情况及工程结算来看,效果还是比较好的。

(3)桩基的设计相对来说比较复杂,同诸多因素有关,像负摩阻力的问题就越来越多地被工程遇到,应给予高度重视;单桩竖向允许承载力应采用多种方法进行计算复核,有时虽有工程前试桩数据,但还是有试桩地域的局限性,有时地勘报告虽列出了单桩承载力,但有许多假定的计算条件和未被计入而需设计时附加考虑的因素,因此应根据设计的实际情况,结合地勘报告,进行仔细分析计算复核,保证设计的准确性。

(4)随着市场经济体系的形成,建筑业也会有新的发展,而低投入、高产出、追求更大的经济效益是发展商越来越明确的目标。设计人员在设计过程中应

对经济性给予高度的重视。该工程的设计中就考虑到了这一点,首先在方案阶段,因为桩的长度受基岩深度的制约,难以与实际所需承载力准确吻合,根据这一特点,建筑的平面布局尽量与地质情况相适应,从而使每根桩都发挥最大的能力;另外在结构方案确定后,进一步挖掘桩的潜力,将其设计成承压兼作抗拔双重作用的桩,缩短了降水时间,降低了工程造价。

本工程在设计过程中得到中国建筑科学研究院

黄熙龄院士的帮助与指导,在此表示感谢!

### [参考文献]

- [1] GBJ 7 - 89,《建筑地基基础设计规范》[S].
- [2] JGJ 94 - 94,《建筑桩基技术规范》[S].
- [3] 南京地质工程勘察院. 南京太阳宫广场工程地质勘察报告[R]. 1997.
- [4] 南京大学科技实业(集团)公司 基础工程科技应用中心. 南京太阳宫广场“桩基高应变动力检测报告”[R]. 1998.

## PKPM 软件推出 2001 年 7 月版

在广大 PKPM 用户的支持和帮助下,我们推出了 2001 年 7 月版,新版包含了 PKPM 所有模块一年多时间的大量改进、调整和新增功能。这里简要介绍其中的一些主要改进,细节可见《2000 年—2001 年 PKPM 系列软件主要改进和新增功能》。

### 一、三维建筑设计软件 APM 和建筑装修设计软件 DEC

APM:建筑模型输入更加高效易用;提供了一个全新的渲染程序;新增了日照分析功能。

DEC:针对装修专业设计的三维建模,在墙体布置,地面拼花、铺砌,墙面装修,天花及屋面造型,任意门窗、任意楼梯、柱的智能造型、家具库管理和布置,材料统计等方面功能大量扩充;即时三维彩色漫游并自带高质量高速度的图形渲染功能;生成二维施工图。

### 二、结构 CAD

PM、PK:在建模及导荷方面新增了大量方便功能;改进了楼板配筋,异型钢筋混凝土柱画图,梁柱的平法画图,砖混底框计算,施工图编辑功能等。

TAT、SATWE:改进了柱的双偏压配筋、多层和高层钢结构分析,新增加了扭转振型的判断,计算振型数的合理取值,接 PM 的斜梁、错层梁计算,砖混底框结构空间分析,吊车荷载空间计算,变截面构件分析与设计计算等功能;板柱体系有限元计算。

STS:新增三维梁、柱、节点施工图;全焊节点设计和精确设计法;支撑节点图;钢吊车梁、檩条、墙梁的计算与施工图;轻钢结构屋面、墙面布置图;用钢量统计及连接节点大样图。

PREC:空间模型预应力结构计算分析及预应力筋自动选配;板柱体系预应力筋有限元计算。

PMSAP:是独立于 SATWE 程序开发的一个新的多高层程序,它采用通用程序技术,在关键的分析技术上(如剪力墙模型、厚板转换层及板柱体系模型、动力算法等)采用了新的研究成果。

EPDA:新推出的多、高层结构弹塑性动力、静力分析软件;提供三种力学模型(层模型、平面模型和空间模型)的弹塑性动力时程分析法,还提供静力推导分析方法。

### 三、给排水、电气、通风空调、采暖 CAD 系统

在建模和专业功能上有大量扩充。

### 四、概预算软件 STST 和建筑施工系列软件集成系统 CMIS

STAT:可利用设计数据,也可直接建模;按当地定额的计算规则自动套取定额和计算工程量;围绕模型智能完成钢筋算量;输出全套概预算书。

CMIS:施工管理模块包括:标书制作、施工项目管理、施工平面图设计、施工技术资料管理、建筑工程质量评定;施工技术模块包括:深基坑支护、模板设计、脚手架设计、冬季施工、混凝土及砂浆配合比等。

(PKPMCAD 工程部 供稿)