

PKPM

多高层结构计算软件

应用指南

中国建筑科学研究院 建筑工程软件研究所 著



中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

PKPM 多高层结构计算软件应用指南/中国建筑科学研究院 建筑工程软件研究所著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2010

ISBN 978-7-112-12063-5

I. ①P… II. 中… III. ①多层建筑-建筑结构-计算机辅助设计-应用软件, PKPM-指南 ②高层建筑-建筑结构-计算机辅助设计-应用软件, PKPM-指南 IV. ①TU973-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 076928 号

本书由 PKPM CAD 工程部核心开发人员编写, 结合用户多年的应用反馈, 全面、系统地介绍 SATWE 等三维结构计算软件的原理和应用。从结构计算的基本概念和规范规程的要求出发, 详细介绍软件的操作流程和步骤; 针对多种荷载形式、多种结构类型、多种结构体系、多种特殊或复杂结构形式讲解软件的计算方法和解决方案; 书中结合大量工程实际应用作出对比分析, 并针对多年来用户的常见问题给出解答。

本书对从事建筑结构设计的一线设计人员、审核人员、研究人员均有很好的参考价值。

* * *

责任编辑: 王 梅

责任设计: 张 虹

责任校对: 赵 颖

PKPM 多高层结构计算软件应用指南

中国建筑科学研究院 建筑工程软件研究所 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 36½ 字数: 911 千字

2010 年 6 月第一版 2010 年 6 月第一次印刷

定价: 79.00 元

ISBN 978-7-112-12063-5

(19317)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

目 录

综述	1
第一章 PM 模型转换为计算模型	18
第一节 结构模型与计算模型	18
第二节 模型转化基本内容	19
第三节 模型几何信息转化的若干处理	28
第四节 模型荷载信息的转化处理	46
第五节 建立优质计算模型	51
第六节 剪力墙单元划分	64
第二章 荷载和作用	78
第一节 恒荷载	78
第二节 活荷载	90
第三节 地震作用	97
第四节 风荷载	103
第五节 人防荷载	124
第六节 吊车荷载	134
第七节 温差效应	151
第八节 指定位移和刚度	154
第三章 结构内力计算和内力调整	157
第一节 有限元的求解方式	157
第二节 求解器的选择及影响	169
第三节 位移计算	171
第四节 杆元内力计算	173
第五节 墙柱和墙梁的内力计算	175
第六节 层刚度的计算	179
第七节 剪重比调整	180
第八节 薄弱层放大调整	182
第九节 框架-剪力墙结构的 $0.2Q_0$ 调整	184
第十节 框支剪力墙结构中框支柱的调整	190
第四章 结构分析中的特殊处理	193
第一节 刚性梁	193
第二节 梁弹性挠度	194
第三节 罚单元	195
第四节 墙梁内力处理方式	196

第五节	边框柱与墙的协调以及内力统计原则	198
第六节	斜柱的自动判断和处理	199
第七节	弧梁的刚度与设计	200
第八节	框架剪力和弯矩的统计方式	201
第九节	上海规程和广东规程处理	202
第五章	楼板	207
第一节	SATWE 考虑楼板计算的要点	207
第二节	刚性楼板	208
第三节	全楼强制刚性楼板假定	210
第四节	弹性楼板	213
第五节	坡屋面和斜板	218
第六节	楼板和梁、柱的刚度计算	221
第六章	结构整体性能控制	226
第一节	剪重比	226
第二节	位移和位移比	228
第三节	周期比	231
第四节	刚度比	233
第五节	楼层受剪承载力	236
第六节	结构薄弱层的验算	240
第七节	结构整体抗倾覆验算	244
第八节	结构稳定和重力二阶效应计算	245
第九节	柱、墙倾覆弯矩的计算及应用	248
第七章	杆件截面设计与验算	251
第一节	荷载效应组合	251
第二节	梁的设计内力	255
第三节	梁截面配筋	261
第四节	柱的设计内力	271
第五节	柱的计算长度系数	276
第六节	柱截面配筋	285
第七节	剪力墙截面配筋	296
第八节	剪力墙连梁截面配筋	304
第九节	钢构件的验算	308
第八章	错层、斜梁、层间梁、坡屋面结构	313
第一节	层间梁、斜梁、错层梁和局部错层结构	313
第二节	坡屋面结构	338
第九章	剪力墙结构	346
第一节	剪力墙构件与结构刚度	346
第二节	剪力墙底部加强区的确定	350
第三节	剪力墙的设计与计算	352

第四节	剪力墙边缘构件设计	361
第五节	组合墙的设计	368
第六节	短肢剪力墙结构设计	371
第七节	特殊墙的设计	376
第八节	常见问题	381
第十章	斜柱和支撑	383
第一节	斜柱支撑的应用	383
第二节	斜杆的基本性能	387
第三节	斜杆常见建模形式	389
第四节	斜杆计算要点	394
第十一章	多塔结构	398
第一节	概念与设计的要求	398
第二节	多塔结构建模	401
第三节	多塔结构的计算	408
第四节	常见问题	427
第十二章	带转换层结构	430
第一节	带转换层结构的计算参数设置	430
第二节	部分框支剪力墙转换	434
第三节	梁托柱转换	443
第四节	桁架转换	446
第五节	斜撑转换	448
第六节	厚板转换	450
第七节	箱形转换和超大梁转换	453
第八节	加强层	457
第九节	连体结构	460
第十节	使用 FEQ 作转换梁的有限元精细计算分析	464
第十三章	地下室结构	468
第一节	地下室的荷载	468
第二节	地下室计算模型	469
第三节	地下室设计	477
第十四章	钢结构	489
第一节	结构建模	489
第二节	钢结构的分析	502
第三节	钢结构构件的验算	516
第四节	楼顶有钢塔架房屋	520
第十五章	底框抗震墙结构与砌体结构	521
第一节	底框抗震墙结构设计计算	521
第二节	砌体和混凝土构件三维计算	533
第三节	配筋砌块砌体结构设计计算	535

第十六章 中震设计与复核算 ·····	539
第一节 中震弹性和中震不屈服计算的目的和意义·····	539
第二节 中震弹性计算方法与软件实现·····	543
第三节 中震不屈服计算方法与软件实现·····	544
第四节 中震弹性和中震不屈服工程应用·····	546
第十七章 建筑结构的鉴定和加固设计计算 ·····	550
第一节 功能及特点·····	550
第二节 鉴定加固标准的选用·····	551
第三节 三维结构计算软件的鉴定加固应用·····	553
第四节 钢筋混凝土结构的鉴定·····	557
第五节 钢筋混凝土结构的加固·····	565
第十八章 与基础设计软件的接口 ·····	571
第一节 传基础的刚度·····	571
第二节 传基础的荷载·····	573

综 述

三维计算早已在绝大部分应用中取代二维计算成为建筑结构计算的主要方法。PKPM 面对多、高层建筑的应用推出了三个三维结构计算软件，分别是多层及高层建筑结构空间有限元分析与设计软件 SATWE，多、高层建筑结构三维分析程序（薄壁柱模型）TAT，特殊多、高层建筑结构分析与设计软件 PMSAP，简称 SATWE、TAT 和 PMSAP。早在 1998 年，PKPM 系列软件在其最为普及应用的包含 PK、PMCAD 的 S1 模块中伴随加入了 SATWE 和 TAT 的 8 层版本，从而使大量原来使用二维计算 PK 为主的用户迅速接受了更加先进的三维结构计算方法。

如今，多、高层建筑结构三维空间有限元计算软件 SATWE 等是广大结构设计人员使用最多的功能，由于 PKPM 系列结构设计软件广泛、全面地普及，几乎每一栋新建建筑的设计、审核或既有建筑的鉴定加固都要应用 SATWE 等软件完成。使用 PMCAD 的逐层建模方式、接力 SATWE 等完成结构计算分析、阅读 SATWE 等计算结果的各种图形及文本文件等几乎是每一位结构设计人员需全面掌握的技能。同时，在广大 PKPM 用户的咨询服务中，在各地广泛举办的 PKPM 培训班、讲座中，在网上论坛关于结构计算的各种问题探讨中，关于 SATWE 等结构计算的问题是最多、最为热烈、最引人关注的。

本书将结合用户多年的应用实践，全面、系统地介绍 SATWE 等三维结构计算软件的原理和应用。从结构计算的基本概念和规范规程的要求出发，详细介绍软件的操作流程和步骤；针对多种荷载形式、多种结构类型、多种结构体系、多种特殊或复杂结构形式讲解软件的计算方法和解决方案；书中结合大量工程实际应用进行对比分析，并针对多年来用户的常见问题给出解答。

本书以多层及高层建筑结构空间有限元分析与设计软件 SATWE 的讲解为主，对一些特殊功能的实现提到 PMSAP 或 TAT 等其他模块。

2009 年，我们对 SATWE 使用了十几年的剪力墙墙元作了全面的改造，对剪力墙单元的自动划分采用了全新的方法，这样使单元的质量和协调性大大提高。新的剪力墙墙元隐含推荐墙的有限单元长度为 1m，并使相连的墙之间、墙与楼板之间增加了中间协调节点（出口节点）；单元划分方法采用通用软件常用的网格算法——铺砌法，多使用矩形单元，减少三角形单元，且大小分布更加均匀；取消了对洞口尺寸、位置的限制；对墙梁网格自动加密等。新的 SATWE 计算结果更加稳定、合理，和通用有限元的计算更加吻合。本书中将对新的 SATWE 墙元原理和划分效果作全面的讲解。

一、功能综述

SATWE 等计算软件的主要功能特点概括说明如下。

1. 接力 PMCAD 模型自动转换为 SATWE 数据

PMCAD 结构建模软件是 PKPM 系列软件的核心建模程序，后续的结构计算、设计、

施工图甚至基础设计软件都需要使用 PMCAD 模型数据。其建模方式完全按照设计习惯,特点是:按照平面轴线网格布置构件,允许构件对节点、轴线的偏心,允许构件有错层属性,允许斜撑、斜梁跃层连接等。转换成 SATWE 数据后,要实现各层构件之间在空间上连接和打断,要保持构件的偏心位置,要容错模型误差自动归并,对荷载自动导入和调整。

转换过程中程序进行一系列自动属性识别,并据此作相关计算参数自动赋值。如把各层楼板自动转换成刚性楼板或弹性板,识别框架或非框架连续梁属性,根据属性给梁的刚度放大系数、扭矩折减系数、抗震等级赋值和确定弯矩调幅梁。识别地下室外墙,识别错层柱、层间梁计算柱的计算长度系数等。

2. 08 版改造了原有的剪力墙单元自动划分功能

对剪力墙的墙有限元单元自动划分是 SATWE 的传统技术优势之一。在 SATWE 软件的发展过程中,复杂剪力墙模型的网格划分一直是个瓶颈,这在很大程度上制约了我们结构软件的发展。在新版 SATWE 软件中,我们采用通用软件(比如 ANSYS)常用的网格算法—铺砌法,极大地提高了网格划分的质量以及对复杂模型的适应性,较好地解决了剪力墙结构的网格划分问题。

剪力墙与剪力墙之间的上下边界节点和侧向边界结点均作为出口节点,从而实现边界全部协调,保证了结构的连续性和计算结果的合理性。对墙元上端和下端出口节点的个数不作限制,适应长墙模型。取消了对洞口最小尺寸的限制;允许洞口靠近墙端节点,不再像老版 SATWE 那样增加 300mm 宽墙段,而是直接划分单元,与真实结构一致。不限制墙元形状,方便处理坡屋顶、错层情况。推荐墙的单元控制长度为 1m,并改进了剪力墙单元划分方法,使单元的形状更加合理,多使用矩形单元,减少三角形单元,且单元大小分布更加均匀。对墙梁自动加密,能更精确地计算墙梁的内力。

3. 多种荷载类型处理

SATWE 等计算软件可以计算的荷载类型比较全面,除了恒载、活载、风荷载、地震作用等基本的荷载类型外,还有人防荷载、吊车荷载、温差效应、指定位移和刚度等,从而使软件可以适应多种结构类型、满足多种建筑功能的设计需要。

(1) 恒荷载

SATWE 等软件中,考虑恒载作用包括两大类:一类是读入 PM 传入的构件荷载,包括梁、柱、墙、支撑、节点上的各类荷载,并进行一定的修正处理;另一类是 SATWE 中自动计算的构件自重,以一定的方式作用在结构上。在结果输出时,统一包含在恒载工况输出。

PMCAD 建模程序传入的恒载(活载类似)又可分为两类:一类为楼面恒载导算到周边构件上的荷载,另一类为人工输入的各类荷载,包括节点、柱间、梁间、墙间荷载等。

恒载的模拟施工计算是一个特点。对高层建筑,恒载直接的有限元计算结果与实际相比将有较大的误差,这是因为,恒载所占比例较高,在竖向恒荷载作用下,结构的变形基本上是在施工过程中逐层形成的,而不是在结构全部建立完成后一次性加载上的。

SATWE 等软件对恒载提供了 3 种模拟施工计算方式,即一次性加载和模拟施工 1、模拟施工 2 和模拟施工 3,并对模拟施工 3 引入了施工次序参数。用户可根据实际情况灵活选用。

(2) 活荷载

对于活荷载主要是考虑柱、墙及基础的活荷作用折减和考虑活荷载的不利布置。

考虑活荷载的折减是根据规范给出的相关规定进行的。软件对梁和柱、墙、基础的活荷载折减功能，可在软件使用的不同环节分别实现。设计楼面梁时的活荷载折减在 PMCAD 建模中设置，在 PMCAD 的楼面导荷过程中实现，此处进行了折减后，后续的竖向荷载导算以及结构内力计算时取用的活荷载均为经过折减的数值。

对柱、墙、基础设计时的活荷载折减，则在 SATWE、TAT、PMSAP 和 JCCAD 里分别设置并实现，如果楼面导荷时已经进行了折减，则此处将在已有基础上再次折减。

但是在以前版本中，无论何种结构，此处所取用的计算截面上方的楼层数均按照 PMCAD 的楼层组装表中相应楼层上方的楼层数，即模型中最大的楼层数确定。这对于楼层平面上下不规则的结构如底盘、裙房部分的柱、墙截面可能造成对活荷载的折减过多。

PKPM08 版本针对此功能进行了改进，增加了判断出每个柱、墙计算截面上方的楼层数的分析计算，从而可以取得正确的活荷载折减系数。

对于活荷载不利布置分析，SATWE 等软件可按照分层模型，计算出梁的活荷载不利布置的弯矩包络。

(3) 风荷载

SATWE 等软件可以根据用户输入的风荷载体型系数、修正后的基本风压等参数自动生成作用于各楼层的风荷载。

软件可以提供一般风荷载和特殊风荷载两种算法。

SATWE 等计算一般风荷载的算法是一种相对简化的算法。它假定迎风面、背风面的受风面积相同，让用户输入迎风面与背风面体型系数之和。同时它也假定了每层风荷载作用于各刚性块质心和所有弹性节点上，楼层所有节点平均分配风荷载。它忽略了侧向风的影响，也不能计算屋顶的风吸力和风压力。程序在计算风荷载作用效应时，仅做正向风（如 +X 向）的内力计算，对于负向风（如 -X 向）不再做内力计算，直接取正向风的内力计算结果，再取反号后作为负向风的计算结果。这种简化算法适用于比较规则的工程。

08 版本改进特殊风荷载为精细计算风荷载方式。特殊风荷载将结构的体型系数细分为迎风面体型系数、背风面体型系数、侧风面体型系数，同时还增加了挡风系数。自动生成的特殊风荷载作用在程序自动找出的每层周边的杆件节点上。用户还可输入屋面风荷载参数，可自动生成屋面的风荷载并加载到屋面梁上。特殊风荷载其实是程序按照更加精细的方式自动生成风荷载。

(4) 地震作用

由地震作用产生的内力往往在内力组合中占主导地位。SATWE 等程序按照振型分解法计算地震作用。程序可通过参数选项，考虑影响地震作用的多种因素，如“偶然偏心”，“双向地震作用”，“计算振型个数”，“周期折减系数”，“结构的阻尼比”，“特征周期”，“多遇地震影响系数”，“罕遇地震影响系数”，“斜交抗侧力构件附加地震力方向数”，“地震影响系数曲线”等。

(5) 人防荷载

程序按照等效静荷载计算人防荷载，在 PMCAD 的“建筑模型与荷载输入”菜单里以房间为单位输入作用于楼面的人防荷载，同时输入地下室外墙的等效静荷载。布置有人

防荷载楼层中的梁、柱、墙、临空墙的内力和配筋计算可以在 SATWE 等软件中进行。程序按照《人防规范》的规定进行考虑人防荷载的效应组合，对有人防组合的截面配筋时作材料强度综合调整系数的调整、混凝土强度的修正、钢筋混凝土构件纵向钢筋的最小配筋率的调整等。

布置了多层人防荷载的结构，程序在计算各人防楼层梁内力时，选用该楼层人防荷载作用计算各水平构件内力。在计算各人防楼层的柱、墙内力时，如果该竖向构件承受多于一层传来的人防荷载时，其人防荷载作用下的效应并不是其上各人防楼层效应的累加，而是仅选取其中最大的一层人防荷载的效应来作自身构件的设计。同时传给基础的人防荷载作用下的效应，与计算柱墙人防荷载效应的方法相同，也是仅选取上边各层中最大的一层人防荷载的效应来作为基础的人防荷载。

对于局部人防地下室的结构设计，可以通过在需要计算人防工程的地方施加人防荷载，不需要计算人防工程的地方（即不需要计算人防的房间）修改人防荷载为零来实现。

(6) 吊车荷载

程序对吊车荷载处理有两个特点，一是吊车荷载的自动生成，二是吊车荷载的预组合和考虑吊车荷载的组合计算。

08 版本改在 PMCAD 或 STS 的建模菜单中输入吊车荷载。由于吊车荷载的计算比较复杂，软件提供了吊车平面布置，自动生成吊车荷载的功能。软件提供了吊车资料库，用户选用后可得到该种吊车的最大、最小轮压和水平刹车力等数据。程序考虑吊车工作的最不利情况，根据吊车的轮压，轮距，吊车梁的支座反力影响线自动计算出吊车荷载计算参数 D_{\max} 、 D_{\min} 、 T_{\max} 。对于端跨、抽柱跨、柱距不等等情况，程序根据实际情况求出不同影响线形状下支座处的 D_{\max} 、 D_{\min} 和 T_{\max} 。因此，在这些不同情况下程序给出的吊车荷载是不同的。

吊车荷载是移动荷载，吊车荷载下计算的荷载工况数量是非常多的，在多跨布置吊车荷载时的组合更多更复杂。如果用每一个吊车荷载工况去和其他荷载效应组合，如和恒载、活载、风载、地震作用荷载等去组合，则组合的过程将非常复杂，计算效率也很低。

PKPM 的二维和三维分析软件采用了对吊车荷载预组合的计算方式，吊车荷载预组合以后，再和其他荷载如恒载、活载、风载、地震作用荷载等进行组合。

吊车荷载的预组合的基本原理就是在计算每跨吊车荷载作用的过程中即对每一个构件的吊车内力按照某一目标进行预组合。

对于柱，其预组合目标是轴力最大、轴力最小、弯矩最大、弯矩最小、剪力最大。对于梁，其预组合目标是各个截面弯矩最大、弯矩最小。

4. 地震作用效应调整

按照规范要求，对于地震作用应作一系列的效应调整。主要如下：

(1) 剪重比调整，程序按照规范要求作结构的剪重比验算。目前 SATWE 用于剪重比调整的地震剪力，是通过地震作用 CQC 得到的，而不是地震内力效应 CQC 的结果。由此得到的调整系数，直接用于相应的层和塔内的构件地震作用下的内力调整，且用于所有构件，即柱、梁、支撑、墙柱及墙梁，工况包括水平地震作用内力，偶然偏心下的内力，以及斜交抗侧力方向的地震作用下内力。

(2) 薄弱层放大调整，程序计算层刚度比后作薄弱层的判断，程序对薄弱层的所有构

件内力按照 1.15 的系数进行放大, 工况包括水平地震作用, 偶然偏心及斜交抗侧力方向的地震作用内力。

(3) 框-剪结构 $0.2Q_0$ 调整。

(4) 框支剪力墙结构中框支柱的调整。

(5) 根据楼层受剪承载力结果的人工调整, 软件在完成构件的配筋计算后自动计算楼层的受剪承载力和承载力之比并输出, 由设计人员查看结果后自行判定是否存在承载力突变引起的薄弱层, 如果有薄弱层则需要在参数设置时人工指定薄弱层号重新计算。

5. 结构整体性能控制

结构整体性能控制是结构设计的重要环节。规范对于结构整体性能控制给出了一系列明确的规定。SATWE 等软件对这一系列整体性能控制的内容给出了完整的、全面的解决方案。

周期比: 周期比控制是结构整体扭转刚度的控制。程序计算出每个振型的侧振成分和扭振成分, 通过平动系数和扭转系数可以明确地区分振型的特征。进行周期比验算应选择刚性楼板假定。对于多塔楼结构, 不能直接进行验算, 对于各塔要分塔分别计算周期比, 分别验算。

剪重比: 程序计算各楼层剪重比, 当计算出的剪重比不满足规范要求时, 除地下室不受最小剪重比控制以外, 其他楼层程序将自动调整地震作用, 以达到设计目标的要求。

位移和位移比: 位移比控制是层扭转刚度控制, 位移角控制是整体平动刚度控制。程序中对每一层都计算并输出最大水平位移、最大层间位移角、平均水平位移、平均层间位移角及相应的比值, 用户可以一目了然地判断是否满足规范。

刚度比: 计算刚度比的作用是用来确定结构中的薄弱层, 或用于判断地下室结构刚度是否满足嵌固要求。程序通过楼层刚度比的计算, 依据规范要求自动判断是否为薄弱层, 并对判断为薄弱层的该层地震作用标准值乘以 1.15 的放大系数。程序提供剪切刚度、剪弯刚度和层剪力与层间位移的比值这三种层刚度计算方法。

结构稳定和重力二阶效应计算: 程序按照规范要求计算结构的刚度和重力荷载之比(刚重比), 以此进行结构的稳定性验算并在总信息文本中输出。

用户还应根据刚重比的计算结果判断结构是否还应作考虑重力二阶效应的计算。在 SATWE 等软件中提供了计算 $P-\Delta$ 效应的开关, 用户可以根据需要选择考虑或者不考虑 $P-\Delta$ 效应。

结构整体抗倾覆验算: 《高规》对高宽比不同数值的高层建筑, 给出基础底面零应力区不同比例的要求。程序计算出了水平力作用下的抗倾覆弯矩 M_R , 倾覆力矩 M_{ov} , 抗倾覆安全度及零应力区比例等指标。

柱、墙倾覆弯矩的百分比计算: 规范对剪力墙承担的地震倾覆力矩比例有要求, 这个比例还关系到框架-剪力墙结构中的框架抗震等级, 还是判断结构是否为短肢剪力墙结构的依据。程序计算并输出各层框架柱、剪力墙、短肢剪力墙构件分别承担的地震作用倾覆弯矩。

楼层受剪承载力: 楼层的抗侧力结构的层间受剪承载力是判断薄弱层的依据之一。软件在完成构件的配筋计算后自动计算楼层的受剪承载力和承载力之比并输出, 由设计人员

查看结果后自行判定是否存在承载力突变引起的薄弱层，如果有薄弱层则需要参数设置时人工指定薄弱层号重新计算。

程序设置了“对所有楼层采用强制刚性楼板假定”开关，并建议用户在计算周期比、位移比、采用层剪力与层间位移的比值的刚度比等计算时选用“强制刚性楼板假定”。当然在作其他计算时应取消这一选项。

6. 考虑楼板的作用

在工程实践中，楼板本身的设计和上部结构的三维计算是分开进行的。PKPM 结构软件按照这种模式给出了全面的解决方案。

楼板本身的设计采用专用的楼板计算配筋程序实现。对于普通楼板可在 PMCAD 第三项菜单“结构平面图和楼板配筋设计”中进行楼板的计算、配筋和施工图绘制；对于复杂楼板可由 PKPM 系列软件中专门的模块《复杂楼板有限元分析 SLABCAD》进行专门的分析和设计。

SATWE 等程序的三维计算主要以梁、柱、斜杆等杆件及剪力墙的内力和配筋为设计计算对象，SATWE 对于楼板考虑了它对于整体计算的刚度贡献，但是并不直接对楼板作内力分析。SATWE 等程序在进行三维计算前，PMCAD 已经把作用在楼板上的恒、活荷载导算到了房间周围的梁、墙构件上，SATWE 计算时直接读取导算后的梁、墙荷载。这种设计模式符合绝大多数的设计传统。

SATWE 计算楼板的刚度时，提供了以下几种计算方案：

一般较规则结构的楼板，在自身平面内刚度很大，变形很小；在平面外，楼板抗弯刚度相对较小。因此在结构的整体分析计算中可以假定楼板在平面内刚度无限大，在平面外刚度为零，即刚性楼板假定。目前按照楼层搭建的工程中 90% 以上的楼层都属于楼板形状比较规则的结构，都可以采用刚性楼板假定来分析。

刚性楼板假定，既符合结构特点又极大地减少了结构整体的自由度，使结构整体分析大大简化，提高了分析效率。

当本层楼板较少、其平面内刚度不够大，如楼板狭长、楼板板块之间有薄弱的连接部位、或楼板开了大的洞口、或坡屋面板等其他楼板情况时，楼板会产生较明显的面内变形，可按照弹性楼板进行整体计算。因为这种变形会使某些结构构件的内力和位移加大，按照刚性楼板计算可能得不到正确的结果，甚至偏于不安全。

SATWE 等软件提供了弹性膜、弹性板 6 和弹性板 3 共三种弹性楼板计算模型。

08 版本自动将坡屋面板和斜板设置为弹性膜。

梁一般作为矩形截面作内力分析和截面设计。而实际上楼板可以作为楼面梁的翼缘起到增强梁的刚度的作用，程序中近似地以“中梁刚度放大系数”来间接地考虑楼板面外刚度的作用。对于用户在“调整信息”中输入的大于 1 的中梁刚度放大系数，程序自动根据中梁和边梁的情况，根据“全房间洞”或“板厚为 0”等情况给出每根梁不同的放大系数，用户在此基础上还可以进一步修改。

对于用户输入的梁扭矩折减系数，程序可以根据楼板的布置情况，自动搜索两边都无楼板的独立梁，将其扭矩折减系数设置为 1.0，其余梁的扭矩折减系数设置为用户输入的值。

程序在自动生成柱的计算长度系数时也将考虑楼板的约束影响。

7. 杆件截面设计与验算

程序对梁、柱、斜柱支撑、剪力墙的杆件截面设计一般需要以下步骤：

(1) 内力调整

除了前面提到的地震效应的各类调整、考虑活荷载的调整之外，对于梁还有梁的弯矩调幅。

(2) 荷载效应组合

程序对于每个荷载工况与其他荷载工况组合时一般都有固定的荷载效应组合号。比如对于柱的有恒、活、风、地震组合的荷载效应组合共有 35 组。

对于活荷载、吊车荷载、地震效应，这些荷载类型可以再次细分，如考虑活荷载不利布置时活荷载可以分为“活 1”、“活 2”和“活 3”，考虑吊车荷载时吊车荷载有多种预组合结果，考虑地震作用时地震效应有正负偶然偏心和多方向地震等情况。程序在荷载组合时会对上述每种荷载细分后结果循环进行荷载组合，这些细分的组合是程序内部执行的，没有详细输出，因此用户在核对设计内力时要考虑到这些情况。

(3) 考虑抗震要求的设计内力调整

根据规范系列的强柱弱梁、强剪弱弯的要求作的调整。同时对于有地震作用组合的配筋计算，在其正截面承载力计算公式的右边，应除以相应的剪力墙承载力抗震调整系数 γ_{RE} 。

(4) 截面配筋

对每根杆件分别作正截面和斜截面承载力配筋计算；考虑最小配筋率、最大配筋率的要求；对斜截面验算最小截面要求；对超出最大配筋率或不满足最小截面要求时给出超筋信息；对梁纵筋计算可考虑受压钢筋；自动计算柱的计算长度；对柱可作单向配筋和双向配筋计算和验算；柱的轴压比计算等。

可计算型钢混凝土梁、变截面梁、型钢混凝土组合梁。可计算异形截面混凝土柱、各种类型的型钢混凝土、钢管混凝土截面柱。

(5) 钢结构截面

程序对钢结构梁、柱、斜柱支撑的内力调整、荷载效应组合和抗震调整系数与钢筋混凝土构件基本一致。不同之处在于内力调整时，弯矩调幅对于钢梁不起作用，但是对于钢与混凝土组合梁起作用，考虑了中心支撑和偏心支撑的内力增大系数。构件截面强度计算时，通过净截面系数考虑了构件净截面的截面特性。

钢构件截面设计内容主要有：柱构件的截面强度计算，X 方向、Y 方向稳定性计算，板件局部稳定计算，长细比计算；梁构件的截面抗弯强度、抗剪强度计算，整体稳定性计算，板件局部稳定计算。对于轴力较大的梁，补充了按照压弯构件的计算；斜杆支撑的计算与柱构件相同。

可计算包括轧制型钢及其组合截面，冷弯薄壁型钢及其组合截面，焊接组合截面，实腹式、格构式组合截面，组合梁截面。

8. 剪力墙设计

程序根据建筑总高度、转换层所在层号、裙房层数等自动求出剪力墙底部加强区的层数。程序可根据用户要求对框支转换层底部加强区的抗震等级自动提高一级。程序对底部加强区及上一层的特一、一、二级剪力墙设置约束边缘构件，其余剪力墙设置构造边缘

构件。

墙肢承载力计算前需根据规范要求,对于含有地震作用工况的内力组合,进行一系列内力放大调整。底部加强区的剪力墙内力放大系数比非加强区大。

剪力墙构件配筋计算内容主要包括在剪力墙墙肢平面内的正截面、斜截面承载力计算及连梁的正截面、斜截面承载力计算等内容。墙肢正截面承载力计算采用矩形截面沿截面腹部均匀配置纵向钢筋的偏心受力构件及轴心受力构件承载力计算原则进行配筋计算,并将墙体水平钢筋用于斜截面承载力计算,竖向分布钢筋用于正截面承载力计算。

软件新增单独指定某个墙肢水平及竖向分布筋最小配筋率的功能,满足结构优化设计需要,如合理定义竖向分布筋率可以改善长墙肢的暗柱计算配筋超限问题。

考虑到采用单肢墙的剪力墙配筋模式有时造成边缘构件配筋过大,软件同时提供剪力墙组合墙体的配筋模式供用户对配筋较大部位的剪力墙进行重算调整。用户可以手工选择需重算的L形、T形、带边框柱或多肢剪力墙,程序采用多肢组合受力、平截面假定的双偏压配筋模式。这种方法考虑了相邻剪力墙或端柱对剪力墙配筋的贡献,将相连的剪力墙进行整体校核和计算,将钢筋在全截面中有效的布置,常可减少按照单肢计算得出的剪力墙边缘构件配筋结果,使设计更加合理。

程序在进行墙体稳定性验算时对所有墙肢依据《高规》附录D的计算方法全部作了验算,对于不满足稳定要求的墙肢,在超限信息文本文件中予以输出。当剪力墙墙肢的抗震等级为一级或特一级时,软件按规范相关要求要求进行施工缝抗滑移计算。

SATWE软件可自动形成五种类型的约束边缘构件和边缘构件。

型钢混凝土剪力墙,主要指剪力墙的端柱为型钢混凝土柱、在剪力墙内布置型钢柱(暗柱)。08版SATWE软件可以在剪力墙截面配筋计算时按照《型钢混凝土组合结构技术规程》(JGJ 138—2001)的公式考虑型钢的影响来计算端部钢骨周围所需配筋面积及剪力墙腹板内抗剪水平分布筋面积。

对于短肢剪力墙结构,程序可以计算各楼层的短肢剪力墙倾覆弯矩的百分比,用来帮助用户作是否为短肢剪力墙结构类型的判断。当用户选择“短肢剪力墙结构”体系以后,软件按规范要求实现了短肢剪力墙的自动识别,并对短肢剪力墙作抗震等级提高一级、剪力设计值调整系数的相应放大、轴压比限值的提高及构造控制等处理。

连梁的配筋计算与普通梁类似,主要包括连梁截面尺寸判断、对梁分别进行正截面、斜截面配筋计算,求得连梁纵筋和箍筋计算面积,再与规范构造要求对比取大值。

9. 错层、斜梁、层间梁、坡屋面结构

PMCAD通过调整上节点高及梁顶标高参数,即可在各楼层上简单、准确地完成层间梁、斜梁、错层梁和局部错层结构的几何建模工作。坡屋面、体育场看台、坡道以及08版自动生成的楼梯模型,都是用这种方式建模的。

SATWE的前处理可将这种模型正确地转化为计算模型,主要工作是:错层梁、斜梁可将相连的柱或墙打断并在断点处连接;斜梁梁端可以与下层或其他层的梁、柱、墙、支撑自动连接;对于大量的建模缺陷问题的容错处理:对同一节点上的不同标高粱或上翻梁自动按连接处理,对斜梁端的上层没有杆件时自动拉动本层杆件或抬高本身与之相接,本层调整上节点高后上相连层柱没有相应调整的容错处理等。

坡屋面楼层外沿的封口梁和其下层楼面的封口梁常处于重合的同一位置,它们同时连

接下层楼板和坡屋面层的斜板，并同时承担两层楼板传来的荷载。SATWE 等专门设计了对于这种上下层同一位置重合梁的荷载合并和删除机制。即把上下两层梁的荷载合并，将它们作用到下层梁上。然后将上层的梁在计算时删除。

错层的平板可以相连形成又一块错层的刚性板，斜梁围成的坡屋面板或斜板形成弹性膜。

程序对这种类型结构的质量中心、刚度中心、位移比、周期比、刚度比等提供了一系列的建议的计算方案。

10. 斜柱和支撑

这里所说的斜柱支撑指的是在 PMCAD 中按斜杆输入的杆件，简称斜杆，用于斜柱、柱间支撑、屋面支撑、桁架、转换层或加强层的斜撑、拉杆等。

斜杆通过两端节点与其他构件连接；可以不仅在本层，而且可以跨越层地连接；斜杆可以在楼层的上下节点上实现连接，可以连接本层或其他层的梁端点，斜杆端点还可以把与之相交的柱、墙杆件打断并在断点处实现连接。但是当斜杆的中间部位与其他杆件相交时，程序没有处理斜杆与其他杆件的连接关系。

程序对于钢斜杆计算时默认为两端铰接，对混凝土斜杆按照固接。对斜杆的柱计算长度系数取为 1。

程序把斜杆按照其竖向倾斜角度分成两类，其竖向倾斜角度小于 20° 时按照柱杆件对待，对这样的斜杆像柱一样作 $0.2Q_0$ 调整、统计倾覆弯矩、作楼层受剪承载力计算等。

11. 多塔楼结构

多塔结构的建模方式，按各塔楼是在同一标准层中建成还是分在若干个标准层中建成，分为共用标准层与广义层两种。其中，广义层建模方式为 08 版新增功能。对于按照标准层建模的多塔结构在整体计算时，必须首先要进行多塔定义的操作。

08 版本增加了对于多塔划分的“自动计算”，软件根据各层梁墙的布置状况，可以自动搜索出由梁墙组成的各个塔单元的最外围轮廓并适当外扩，这个轮廓线就是各个塔划分的边界线。自动划分多塔功能省去大量人工定义的工作，效率高，计算准确。

多塔定义后，程序才能对多塔结构各个塔的风荷载分别统计计算，才能作伸缩缝结构处风荷载的遮挡计算，对于各个分塔地震力考虑偏心的计算、对于 $0.2Q_0$ 调整等计算是分塔分别进行的。另外，对于多塔结构，各种计算统计指标是按照分塔输出的。

对于多塔结构，程序给出一系列有针对性的解决方案。如考虑地震计算振型个数；考虑裙房层数或转换层；多塔结构的周期比、位移比计算方法；多塔结构的 $0.2Q_0$ 调整；多塔结构的风荷载导算或多塔之间风荷载的遮挡计算等。

对于多塔结构，通常采用的计算方法有两种，第一种是将各塔楼离散开，分别计算，可以称之为“离散模型”或“分塔模型”。第二种是把各个塔楼连同底盘建模在一起，作为一个整体模型计算，可以称之为“整体模型”。一般来说，这两种计算方式都要采用，缺一不可。因为离散模型与整体模型有着不同的计算目标或内容，且它们之间互相补充。

为此，程序给出对多塔结构剖分方法的建议。

由于多塔结构的设计计算中，对大底盘、各个单塔分别计算，然后拼装成整体计算，这一过程经常需要反复操作，这是设计人员对结构方案反复调整的过程。为了方便设计人员反复进行结构方案调整，08 版本程序提供了对每一步工程拼装的记录功能，这是楼层

组装的“拼装方案”记录功能。整体模型计算后，用户可以继续在大底盘和多个单塔的子目录中反复修改调整各个子结构离散模型，修改了子结构离散模型后，再回到全楼模型子目录使用‘自动拼装’菜单，按照软件所记录的工程拼装方案快速更新整体模型。这种方式保证了离散模型和整体模型的一致性，大大简化了用户的操作。

当工程规模较大时，可以将多塔结构的大底盘部分和上部各个塔体部分分别建模、分别计算。先计算上部各个塔体，计算大底盘时，将上部塔体的底部计算结果的内力作为大底盘部分的外荷载导入，然后作大底盘部分的计算。

为此，在 08 新版 SATWE 前处理部分，在生成 SATWE 数据以后，增加了菜单：“导入其他工程的 SATWE 荷载”。用这种方法实现多塔结构的接力设计。

12. 带转换层结构

程序可对各种类型的带转换层的结构、带加强层的结构和连体结构给出计算解决方案。转换层结构构件可采用转换梁、桁架、空腹桁架、箱形结构、斜撑，厚板、搭接柱转换、宽扁梁转换等。

转换层结构涉及的主要参数有：

“转换层所在层号”及“转换层自动指定为薄弱层”；软件可据此确定结构底部加强区位置，进一步确定剪力墙边缘构件的配筋，还可自动将转换层所在层设置为薄弱层。

“墙竖向分布筋配筋率”、“墙水平分布筋配筋率”，“结构底部需单独指定竖向分布筋配筋率及层数”、“结构底部需单独指定水平分布筋配筋率及层数”。

“框支剪力墙结构底部加强区剪力墙抗震等级自动提高一级”，这是自动实现《高规》要求的功能。

用户应对框支剪力墙结构的转换梁、框支柱人工指定，指定后程序可根据规范相关条文自动对其作调整计算。

新版 SATWE 中可将转换梁与上托墙的单元节点都设为协调节点，从而保证传力合理和转换梁的合理设计。

SATWE 等菜单下的“框支剪力墙有限元分析”模块（简称 FEQ）可以接力 SATWE 等计算结果，对抽换出的转换梁作高精度有限元分析，并根据应力计算结果给出配筋，从而对转换梁这种受力复杂部位作合理的补充分析。

08 版 FEQ 在功能和操作方面作了大量改进，可以处理多种形式的复杂转换梁的精细计算，包括转换梁上托多道轴线墙模型、次梁转换梁等的精细计算分析。

13. 地下室结构

一般应将地下室和上部结构各层共同建立完整的计算模型进行计算分析，SATWE 等软件可以进行上部结构和地下室的协同的、联合的计算分析。

将地下室建入整体模型后，可以在 PMCAD 设计参数中、或在 SATWE 或 PMSAP 中定义地下室层数，同时输入地下室的相关参数。

对于风荷载的计算，程序自动考虑地下室部分的基本风压为零，在地上部分的风荷载计算中自动扣除地下室部分的高度，地下室顶板作为风压高度变化系数的起算点。

程序可作回填土对地下室侧向约束的计算。在旧版 SATWE 中输入“回填土对地下室约束相对刚度比”，这是放大地下室侧移刚度倍数的方法。由于带剪力墙的地下室刚度常常很大，将这种刚度再放大作为土层约束以后，其约束效果常常很大，远大于土的实际

约束能力,甚至大到接近于地下室顶端被嵌固。这种过大的约束造成地下室的几层剪力突变,造成地下室的杆件经常超筋。这常常是不正常的计算结果。

新版 SATWE、PMSAP 和 TAT 改为考虑土层侧向约束随埋深增加而变大的方法,即输入“土层的水平抗力系数的比例系数”,按《建筑桩基技术规范》(JGJ 94-2008)表 5.7.5 中灌注桩类型的 m 取值。而新的 m 法只与回填土的性质有关,模拟较为合理。

程序可对地下室外墙作考虑水土压力和人防荷载的计算。程序自动搜索地下室外墙,用户也可指定地下室外墙或取消地下室外墙定义。

14. 钢结构

除了多高层民用建筑外,钢结构在工业厂房上应用更多。钢结构常采用大跨结构、门式刚架等形式,支撑用得更多,次梁一般与主梁铰接连接。

结构分析时,需要用户根据实际情况指定特殊构件,如端部铰接、角柱、组合梁、门式刚架梁、门式刚架柱、中心支撑与偏心支撑等。

设计参数中阻尼比、考虑风振影响、重力二阶效应、考虑特殊风荷载、柱、梁、支撑计算长度系数的修改是钢结构应该特别注意的参数。

对于中心支撑和偏心支撑、框架-支撑结构,托柱梁、转换层下的钢框架柱,程序按照相关规范要求进行了内力调整。

整体分析完成后,软件输出了依据相关规范应控制的指标。

对于钢结构构件的验算,采用现行相关规范,验算了构件的强度、稳定性、长细比,板件局部稳定,梁构件一般按照受弯构件计算,但是对于轴压力较大的钢梁,自动按照压弯构件补充计算。

进行了强柱弱梁的计算,根据规范要求,对于轴压比不超过 0.4 的柱构件,当强柱弱梁计算超限时,在配筋文件中仍然输出了强柱弱梁的计算结果,但不提示超限。

15. 底框抗震墙结构和砌体结构

(1) 底框抗震墙结构计算

底部框架-抗震墙房屋由上部砌体结构和底部框架-抗震墙结构两部分组成,在 PKPM 系统中,地震作用和上部结构计算由砌体结构 QITI 主菜单“砌体信息及计算”完成,QITI 主菜单的“底框-抗震墙结构三维分析”中,SATWE 可完成底部框架-抗震墙结构计算,包括梁、柱、墙的内力分析与配筋计算。上部砌体结构的计算,与一般的砌体房屋相同。底部框架-抗震墙结构计算,把房屋在底框顶层楼板处水平切开,将上部砌体的外荷载和结构自重作用在底框顶部,不考虑上部砌体的刚度贡献,把底框结构作为独立结构分析。

对于地震作用,在“砌体信息及计算”中,通过底部剪力法得到各层水平地震作用,将其中上部各层水平地震作用,按照规范对底框结构要求的调整放大,将它们转化为底框顶部的水平集中力与倾覆弯矩,再加上底框各层受到的水平地震作用,共同作为外加荷载作用在底框结构上,上部各层累计的水平地震集中力假定作用于底框顶层的质心,底框其他各层受到的水平地震力假定作用于本层的质心。进行内力分析时,同样不考虑上部砌体的刚度影响。

风荷载的计算与地震作用类似,程序将上部砌体各层的风荷载转化为底框顶部的水平集中力与倾覆弯矩,再加上底框各层自身受到的水平风荷载,共同作为外加荷载作用在底