

CiSDesignCenter

筑信达结构设计软件

全新发布

直播 2020年7月10日 14:00



- 钢筋混凝土正截面极限承载力设计的基本原理和快速计算方法
- 使用 CiSDesigner 进行截面配筋设计
- CiSDesigner 接力 SAP2000 在复杂工业建筑中的应用
- CiSDesigner 接力 ETABS 进行异形柱配筋设计
- 筑信达结构设计软件 CiSDesignCenter 简介



主 办：北京筑信达工程咨询有限公司

主 编：李 立

责任编辑：张志国、吴文博

美 编：张翠莲、王 蓉

北京筑信达工程咨询有限公司

地址：北京市石景山区古盛路 36 号泰然大厦 4 层 408 室

电话：010-68924600 技术热线：010-68924600-200

传真：010-68924600-8

网址：www.cisec.cn 在线支持：support.cisec.cn

邮箱：support@cisec.cn (技术支持)

sales@cisec.cn (产品销售)

地址：武汉市洪山区武珞路 717 号兆富国际 805 室

电话：027-8788 6890 / 8788 6891

区域代理

北方区

北京华思维泰克科技有限公司

联系人：王博

手 机：159 1060 8694

华东区

上海江图信息科技有限公司

联系人：薛平

手 机：137 0172 6345

华南区

广州倍益软件技术有限公司

联系人：田茂金

手 机：137 6071 9009

华中区

武汉百思通科技有限公司

联系人：叶亮

手 机：139 9561 6575

西南区

金橡果科技成都有限公司

联系人：刘宇

手 机：185 1282 0985

目 录 Content

筑信达

钢筋混凝土正截面极限承载力设计的
基本原理和快速计算方法 1

使用 CiSDesigner 进行截面配筋设计 8

CiSDesigner 接力 SAP2000
在复杂工业建筑中的应用 14

CiSDesigner 接力 ETABS 进行异形柱配筋设计 18

筑信达结构设计软件 CiSDesignCenter 简介 23

新版发布

CiSDesignCenter 全新发布 32

IDEA 20.0.0 新增及改进功能 32

SAP2000 22.1.0 新增及改进功能 33

CSiBridge 22.1.0 新增及改进功能 33

CiSModelCenter V1.8.0 新增及改进功能 34

CiSApps v22 新增及改进功能 34

活动报道

美标结构设计训练营圆满落幕 35

筑信达全力支持全国大学生结构设计竞赛 36

征稿启示

37



【编者按】钢筋混凝土柱的正截面设计是工程设计中极其普遍的设计环节，但是我国的工程设计人员通常对其设计原理、软件做法认识模糊，造成大家对不同软件的设计结果感到疑惑，对于一些组合柱、异型柱的设计方法也存在疑问，并缺乏相应的设计工具。近几年，筑信达公司深入研究钢筋混凝土设计理论，对比中外设计规范，结合软件算法研究，研发出一套钢筋混凝土正截面设计的通用算法，不仅从计算效率上打破传统方法难以适应工程需求的瓶颈，也为各种非常规柱设计提供了更便捷的设计工具。这套算法已内置于筑信达的 CiSDesigner 和 CiSDesignCenter 软件。本期《技术通讯》的文章涉及相关的计算原理、软件介绍、典型案例对比、软件应用方法等多个方面，希望为广大工程师们认识 CiSDesigner 和 CiSDesignCenter，进而用好这两款软件，提供较全面的参考。

钢筋混凝土正截面极限承载力设计的基本原理和快速计算方法

筑信达 李楚舒

[摘要] 本文从钢筋混凝土正截面极限承载力设计的基本原理出发，依据极限状态的截面应变分布，重新梳理了柱全过程破坏形态的定义，据此提出了一种快速计算 PMM 相关面的新方法。根据我国规范和欧美相关规范，着重对以下问题进行了对比分析与讨论：混凝土等效矩形应力图参数的应用、圆环形截面设计中的问题、中美欧规范主要对比。

[关键词] 极限承载力设计；钢筋混凝土基本原理；PMM 相关曲面

0 引言

1931 年，前苏联学者亚历山大·格沃兹捷夫提出钢筋混凝土的极限平衡法。1938 年，前苏联颁布了第一本采用极限强度理论的设计规范，改变了钢筋混凝土设计长期采用允许应力法的历史。

1956 年 1957 年美国 and 英国分别把极限强度设计作为可供选用的方法列入规范的附录；后来又把极限强度设计方法列入规范正文，而把允许应力法列入规范附录。

我国早在 1950 年代就采用了极限强度方法，并在 1960 年代制定了按极限强度理论的设计规范。

极限强度理论符合钢筋混凝土的实际，已被国际所公认。这个理论结合正常使用极限状态的验算，发展成为完整的极限状态设计理论。

1 基本原理

钢筋混凝土正截面极限承载力设计的实质就是：在混凝土或钢筋的破坏准则确定的截面极限应变状态下，通过材料的实际应力得到截面的内力，这就是钢筋混凝土正截面的极限承载能力 (M_u 和 N_u)。根据钢筋混凝土自身特性，混凝土的破坏准则是达到其极限压应变，钢筋的破坏准则是达到其极限拉应变。

钢筋混凝土正截面极限承载力的三个基本假定如下：

1) 平截面假定

平截面假定（即伯努利协调条件）是得到大量实验验证的，各国混凝土规范都普遍采用，符合工程实际。应该指出，对于混凝土构件来说，并非每一个截面都精确满足平截面假定，但对于一定区段长度范围内来讲，是基本符合平均平截面假定的。

2) 混凝土材料的设计本构

各国普遍采用的混凝土设计本构都忽略混凝土的抗拉强度。混凝土（单轴）受压设计本构模型主要有两种类型^[1-5]：

(1) 欧洲和我国都采用 Rüschi 模型，即：上升段为二次多项式，后接水平段。

(2) 美国采用 Hognstad 模型，即：上升段亦为二次多项式，下降段为直线。但 ACI 规范并未明确给出此本构模型。

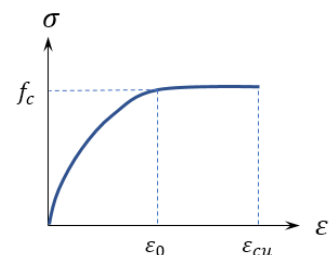


图 1 我国混凝土的设计本构



我国混凝土的设计本构见图 1。根据工程习惯，以下都统一采用受压为正。

混凝土受压破坏准则（设计）为混凝土的极限压应变 ϵ_{cu} 。

中美欧采用的设计本构中（对于 C50 之下，下同）：对混凝土极限压应变 ϵ_{cu} 的规定，中国为 0.0033，欧洲为 0.0035；美国为 0.003。

由于上述的不同，中美欧规范的混凝土等效矩形应力图参数 α_1 和 β_1 的数值也就不同（详见 3.2 节）。

对混凝土极限压应变 ϵ_{cu} 的规定不同，对承载力的影响较小，但对破坏状态的判别有较大影响^[6]。

3) 钢筋材料的设计本构

中美欧的钢筋设计本构均采用理想弹塑性模型。我国的钢筋设计本构见图 2。

对于钢筋破坏准则，美国 ACI 规范并未给出明确的规定^[5]；我国从 78 规范就规定了钢筋的极限拉应变 ϵ_{su} 为 0.01^[3]（此值合理性讨论本文从略）；而欧洲 EC2 规范给出了不同级别钢筋的极限拉应变 ϵ_{uk} 应分别大于 2.5%、5.0% 和 7.5%^[4]。

为了计算过程清晰，本文将混凝土和钢筋的破坏准则分别融入到它们各自的本构模型中。

上述三个基本假定就是钢筋混凝土正截面极限承载力设计的全部内容，适用于所有构件的正截面设计，包括：梁、柱、墙和板。

通过上述三个基本假定，加上平衡方程，理论上可以解决任意复杂正截面从初始加载到极限状态的全过程，通过加载过程来判定截面极限状态，从而实现得到截面最终的极限承载力。

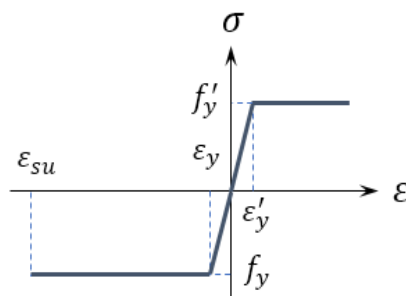


图 2 我国钢筋的设计本构

2 计算方法

根据钢筋混凝土正截面极限承载力设计的基本原理，可以构建出一套体系完备的计算方法。以柱为例，极限承载力轴力 N_u 和弯矩 M_u 存在相互作用问题，以下采用工程界的习惯术语“PM 相关线”或“PMM 相关面”来表达。

2.1 常规计算方法

首先需要对全截面进行单元划分，形成纤维单元（混凝土纤维和钢筋纤维）。

国内较权威的研究生教材^[1-2,6-7]中都提到了类似采用图 3 所示的计算方法。具体步骤如下：

1) 先给定一个初始 P_0 为定值；2) 从零开始，令 ϵ_c 为某一值；3) 设定一压区高度 x_{n0} 值，根据平截面假定得到各纤维单元的应变；4) 由材料的本构模型得到各纤维的应力；5) 验算截面的平衡方程（ P 是否等于 P_0 ），如不满足，需要迭代 x_{n0} 以得到 $P = P_0$ ；6) 根据截面的平衡方程，求出 M ，并可以得到曲率 φ ；7) 逐步增大 ϵ_c 值；8) 重复步骤 3~7，直到 $\epsilon_c = \epsilon_{cu}$ ，这样就得到了 $P = P_0$ 时的 M 和 φ ；9) 对所有 P 范围的 P_0 ，重复步骤 1~8，至此就能得到完整的一条 PM 曲线。

显然，上述算法没有考虑到钢筋的破坏准则，换句话说讲，就是忽略了钢筋的极限拉应变。目前美国 ACI 就是采用这种方法。

我国混凝土设计规范附录 E^[3]给出的算法就明确了要同时考虑钢筋的破坏准则，相当于在上述的第 8) 步中要同时考虑钢筋应变是否达到 $\epsilon_s = \epsilon_{su}$ 。因此规范的算法更全面更合理。（顺便指出，规范附录 E 中存在笔误，式(E.0.1-7)和(E.0.1-8)中对 M_x 和 M_y 的定义写颠倒了。）

无论是经典教材还是规范的计算方法，都涉及到：

1) 实质在做加载“模拟”，也就是做出了全过程的加载数据。但是，从极限承载力设计的角度来讲，我们只关心最终极限状态的极限承载力，即 PM 曲线，而不关注大量的中间过程加载数据。

2) 传统算法涉及到多次嵌套的循环和迭代，效率低。

采用上述方法的计算量大，比如一根常规柱子的 PMM 计算在普通电脑上大约需要几分钟时间，考虑工程设计实际问题，这将导致不可接受的计算时长。因此，软件通常都采用简化方法（如规范的相关简化公式或拟合公式）来进行配筋设计。

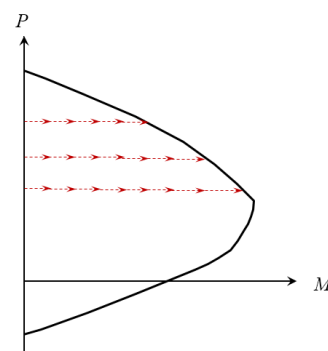


图 3 PM 常规计算方法

2.2 快速计算方法

鉴于工程设计的实际需求，我们开发了一套全新的快速计算方法^[8]：不关注加载过程，从截面的最终极限状态直接得到极限承载力，避免了循环与迭代，使得计算效率提升了四至五个数量级。给定配筋方案的柱 PMM 计算时间，从数分钟降到了数毫秒，可以满足实际工程设计的需要^[9]。

截面极限状态的控制（或关键）应变线分布如图 4 所示，生成的一条典型 PM 曲线如图 5 所示。

在图 4 中，1 号应变控制线为全截面受压应变为 ϵ_0 ，即处于轴心受压状态，对应图 5 中的 A 点。

2 号应变控制线是混凝土上表面为最大压应变 ϵ_{cu} ，混凝土下表面压应变为零，这是全截面受压的临界状态，对应图 5 的 B 点。

3 号线是底部钢筋达到受拉屈服 ϵ_y 的极限状态，对应于图 5 的 C 点。

4 号线是底部钢筋达到极限拉应变 ϵ_{su} 的极限状态，也就是混凝土和钢筋同时达到破坏状态的临界状态，对应图 5 的 D 点（注：D 点的轴力可能为压，也可能为拉。参见 3.2 节）。

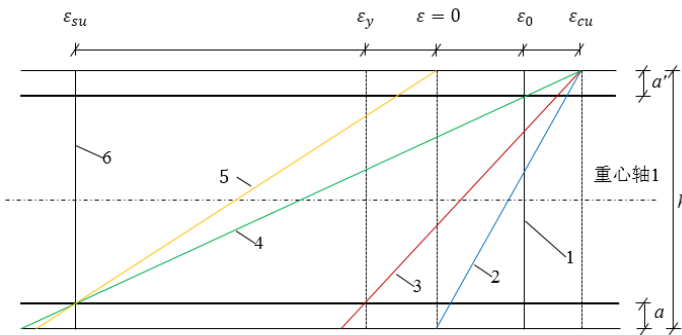


图 4 生成 PM 曲线的截面极限状态应变控制线

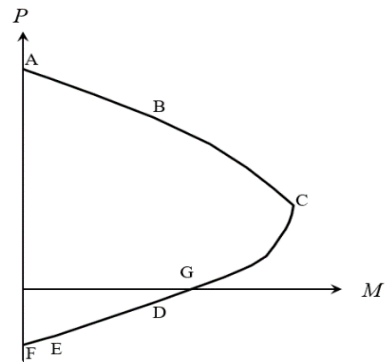


图 5 典型的 PM 曲线

越过 4 号线到 5 号线，混凝土上表面应变从 ϵ_{cu} 逐步减小为零，也就是说这期间只有底部钢筋达到破坏状态。5 号线为混凝土全部退出工作的临界状态，对应图 5 中的 E 点。

最后就是全截面处于轴拉破坏状态的 6 号线，全截面的拉应变为 ϵ_{su} ，对应图 5 的 F 点。

1~6 六条极限状态的控制线，通过混凝土和钢筋的材料本构模型，可知各纤维单元的应力，这样就可以直接得到截面极限承载力 (P_u, M_u) ，也得到图 5 中的各关键点 A~F；在每两条控制应变线之间适当增加几条应变分布线，就可以得到精度较高、较为平滑的如图 5 所示的 PM 曲线。

上述算法可以得到 PM 曲线，不涉及到任何的迭代和循环。

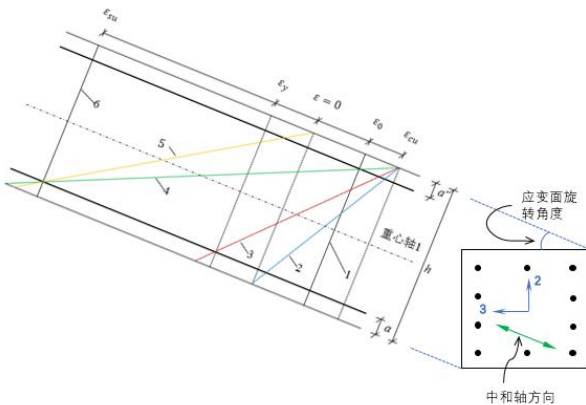


图 6 应变面沿截面旋转角度

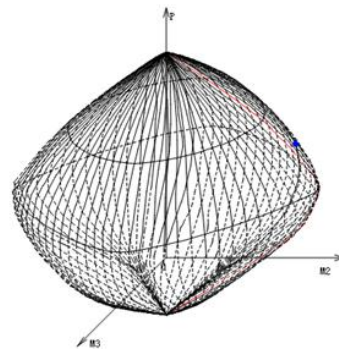


图 7 PMM 相关面

按照图 6 所示，应变面沿截面旋转一个角度，就能得到另一条 PM 曲线。360° 旋转，就能得到一个封闭完整的 PMM 包络面^[10]，如图 7 所示。

根据弹塑性力学相关理论，PMM 相关面应为外凸曲面。

需要说明的是，图 5 中轴力为零的 G 点，即纯弯点，在图 4 中并没有明确的应变线可以与之对应。

3 相关讨论

钢筋混凝土正截面极限承载力设计在理论上和实践中都是比较成熟的体系，但从 2.2 节中介绍的快速计算方法，对比中外的教科书^{[1]-[5]}和设计规范^{[3]-[5]}，仍可以发现其中存在概念不清晰、值得学术界和工程界继续深入探讨的地方。

3.1 柱全过程破坏形态

我国教科书一般都会描述柱从轴压、小偏压、大偏压、大偏拉、小偏拉到轴拉的全过程破坏形态，往往从力的作用大小与位置，或配筋量的多少来做定性描述，标准不统一。规范也会给出相关破坏形态的计算公式。

根据钢筋混凝土正截面极限承载力设计的基本原理和 2.2 节中的各阶段控制（关键）应变线（图 4），可以对各阶段破坏形态进行清晰的定量描述，见表 1。

表 1 PM 曲线各段破坏形态

截面	混凝土和钢筋的状态	
	破坏形式	底部钢筋
AB 段	极小偏压 应变为 ϵ_{cu} 受压破坏	受压
BC 段	小偏压 应变为 ϵ_{cu} 受压破坏	逐步转变为受拉，达到 ϵ_y
CD 段	大偏压 应变为 ϵ_{cu} 受压破坏	逐渐达到 ϵ_{su}
DE 段	大偏拉 应变小于 ϵ_{cu} ，逐渐减为零	应变为 ϵ_{cu} 受拉破坏
EF 段	小偏拉 —	应变为 ϵ_{cu} 受拉破坏

教科书一般将 ABC 段都称为小偏压。本文为了区别全截面受压，单独将 AB 段称为“极小偏压”。

极小偏压、小偏压和大偏压阶段，都是混凝土上表面达到其破坏准则，即其应变为 ϵ_{cu} ，所以是“受压破坏”。而一些教材却将大偏压受压归为受拉破坏，实质上是把钢筋进入屈服就认为钢筋破坏，这是不确切的。

从大偏拉到小偏拉，底部钢筋的应变为 ϵ_{su} ，达到钢筋的破坏准则，所以是“受拉破坏”。

ACI^[5]规范是这样进行划分的：底部钢筋的应变小于 ϵ_y 为“受压控制”，应变大于 0.005 为“受拉控制”，之间为“过渡区域”。三种不同形态的截面承载力折减系数不同，其依据就是截面的转角/曲率不同，即延性不同。

从极小偏压、小偏压到大偏压，截面的延性是逐步增加的；从大偏拉到大偏拉，截面的转角是逐步减小的。大偏压与大偏拉的分界点（即图 4 中的 4 号线、图 5 中的 D 点），截面的转角为最大。

根据 CiSDesigner 软件^[9]生成的柱 PM 曲线各点的转角（曲率）关系，如图 8（右）所示，可以看到从轴压开始至大偏压，截面转角（即延性）都是在不断增大，大偏压/拉临界点为最大，进入大偏拉后又逐步减小，到达小偏拉后会急剧减小至零。这与美国经典教材^[15]有所不同，Jack Moehle 教授只绘出了至大偏拉的一部分（图 8（左）），“暗示”从大偏拉至轴拉，截面转角还将不断增大——这种认识导致了 ACI 规范的相关规定也不完备。

需要指出的是，大小偏压的分界点，即图 4 中 3 号线、图 5 中的 C 点，称为“大小偏压的临界点”，或“平衡点”。此点是指混凝土上表面压应变达到 ϵ_{cu} ，同时底部钢筋拉应变达到 ϵ_y ，认为此时弯矩为最大。但从数学上不能够证明，对于不同截面形状、不同钢筋排布，此应变控制线得到的弯矩值最大。对于矩形对称配筋截面，临界点 C 的轴压比设计值为 0.5 左右，而非 0.9；临界轴压比设计值与标准值之比为 1.0 左右，而非 1.63^[16]。

通常的概念都认为：大偏压与大偏拉的分界点（D 点）位于 PM 的横轴 M 上，就是纯弯点 G 点；偏压与偏拉的区分是用轴力的正负号来定。

根据图 4，考虑不同截面形式、钢筋的不同排布，很显然得不到“D 点为纯弯”的一般性结论。因此，对于偏压与偏拉



的界定，不能用构件轴力的拉压来判定。

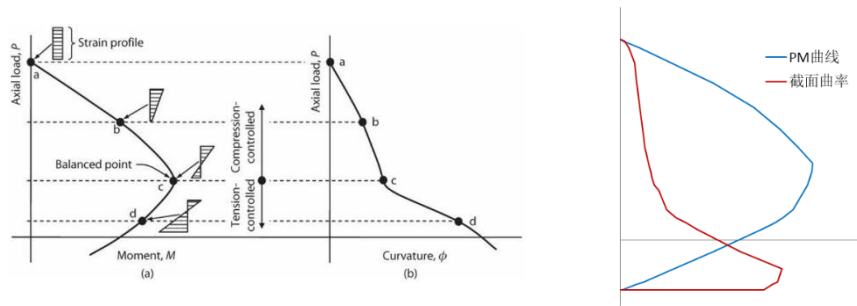


图 8 PM 各点的曲率（左图引自文献^[15]；右图为 CiSDesigner 的结果）

同样，对于大小偏拉的判定，也不应该用力的偏心距是否位于钢筋内外来进行判定。

之所以出现上述两种错误的概念，是因为对柱全过程破坏形态没有清晰的定量描述。在破坏形态的定义中，应当采用破坏准则，而破坏准则是应变，而非应力，也不是作用力。

需要说明的是，在本节描述的柱全过程破坏形态，是我国钢筋混凝土教学的基本内容，但欧美的教科书并没有如此详细的划分。对于欧美的工程师来说，并没有大小偏压的概念，也没有大小偏拉概念，但有很强的 PM 概念。ACI 和 EC2 在规范条文里，对正截面设计甚至没有一个计算公式^[4-5]。

严格意义上讲，即便对于单偏压，除了极特殊的情况（比如矩形截面，仅上下两排钢筋，应变面角度为零），可以手算配筋外，绝大多数情况是不能够写出易于计算的精确公式来的；更何况，双向地震作用下柱通常为双偏压控制^[17]。

另外，我国规范对于柱设计，给出的计算公式一般都写为“ $N \leq N_u$ （且） $M \leq M_u$ ”的形式，根据 PM 相关曲线，这种表达在数学上是不严谨的，应当是“当 $N = N_u$ 时， $M \leq M_u$ ”。没有显而易见的方法能判定各内力值(M_i, N_i)哪个更不利，只能通过考察所有内力值是否位于特定配筋截面的 PM 包络面内来进行判定。

3.2 等效矩形应力图参数

为了便于计算混凝土压区的作用，中美欧都采用了“等效矩形应力图”，即等效为应力为 $\alpha_1 f_c$ 、等效压区高度为 $\beta_1 x_n$ 。由于合力相同（大小和作用点都相同），通过分段积分（分段有两个含义，一是混凝土本构曲线的分段表达，二是积分范围内混凝土作用宽度有突变也要分段，比如 T 形截面翼缘与腹板的结合处），即可得到这两个参数值。对于我国规范 C50 以下的混凝土： $\alpha_1 = 0.969$ 、 $\beta_1 = 0.824$ ，规范取 $\alpha_1 = 1.0$ 、 $\beta_1 = 0.80$ 。

需要注意的是，采用规范的 α_1 和 β_1 来计算混凝土作用是有前提条件的：首先，混凝土上表面压应变为 ϵ_{cu} ，中和轴位于截面内；其次，应变分布从零到 ϵ_{cu} 的整个区间，混凝土截面的宽度不变。

比如，对于任意三角形截面，可以得出： $\alpha_1 = 0.920$ 、 $\beta_1 = 0.845$ （文献^[2]给出的分别是 0.922 和 0.845），这与矩形截面是不同的。

因此，对于极小偏压和大偏拉依然使用规范规定的 α_1 和 β_1 ，从概念上讲是不对的。参见图 4。

有的程序在进行双偏压计算，由于计算效率原因，依然采用等效矩形应力图来计算混凝土的作用，这也是不正确的。

中外教科书一般都将 T 形截面分为两种类型，严格来讲是有缺陷的。当 $x_n > h_f'$ 时，要根据应变 ϵ_0 是位于翼缘还是腹板来进行分段积分，不管是哪种情况，得出的等效参数都与规范值有差别。

对于圆形截面，显然其 α_1 、 β_1 是压区高度 x_n 的函数，即混凝土压区圆心角 $\pi\alpha$ 的函数；而矩形截面和三角形截面得到的是常数。

一些文章试图推导各种非矩形截面的等效矩形应力图参数 α_1 、 β_1 ，较为典型的是文献^[18]。作者在推导圆形截面的过程中，根据平截面假定，采用了“ $d/\kappa = \epsilon_{cu} + \epsilon_y$ ”，此关系就是图 4 中 3 号线，即平衡点的极限状态应变分布，因此得出的是圆形截面一个特殊位置的 α_1 、 β_1 ，而非一般表达式。

规范给出的 α_1 、 β_1 值是针对矩形截面的，且是对应变面转角为零的（参见图 6），因此，对于特殊截面，从严格意义上讲，不能直接用规范参数值。

3.3 环形、圆形截面

也有些文章提出对环形圆形截面计算方法进行改进的建议，比如圆形截面钢筋排列的问题^[19]。18 版桥梁规范 JTG 3362^[20]



也已经采用了 GB50010 的计算方法。

值得注意的是，EC2^[4]在 3.1.7 条（3）款给出等效矩形应力图参数取值后，专门给出了一个注释：“如果受压区沿截面最外皮方向上的宽度是减小的话，等效应力 ηf_{cd} 应当减小 10%”（ η 对应我国规范的 α_1 ）。

下面通过一本设计手册^[21]上的两道圆形截面的例题来进行对比分析。

[例题 4-23] 一圆形截面偏心受压构件，已知 $r = 200 \text{ mm}$ ，混凝土为 C25， $f_c = 11.9 \text{ MPa}$ ， $\alpha_1 = 1$ ；钢筋为 HRB335， $f_y = 300 \text{ MPa}$ ； $N=500 \text{ kN}$ ， $e_i = 200 \text{ mm}$ 。

[例题 4-24] 一圆形截面偏心受压构件，已知 $r = 200 \text{ mm}$ ，混凝土为 C25， $f_c = 11.9 \text{ MPa}$ ， $\alpha_1 = 1$ ；钢筋为 HRB335， $f_y = 300 \text{ MPa}$ ； $N=1600 \text{ kN}$ ， $e_i = 40 \text{ mm}$ 。

表 2 是这两个算例采用 CiSDesigner 进行设计与校核的结果对比。

	例题 4-23	例题 4-24
文献 ^[21] 按规范公式的设计结果	$A_s = 1454 \text{ mm}^2$	$A_s = 1878 \text{ mm}^2$
CiSDesigner ^[9] 的设计结果（取最低配筋率的方案）	d14×10 $A_s = 1539 \text{ mm}^2$ 承载比为 0.98	d14×14 $A_s = 2154.6 \text{ mm}^2$ 承载比为 0.99
对文献 ^[21] 设计结果进行选筋，用 CiSDesigner ^[9] 对其进行校核	选 d18×6 $A_s = 1527 \text{ mm}^2$ 校核结果： 承载比 1.02>1 大偏压破坏	选 d20×6 $A_s = 1884 \text{ mm}^2$ 校核结果： 承载比 1.14>1 小偏压破坏

在 CiSDesigner 中承载比的定义是：当采用空间矢量（P, M2, M3）法，为荷载三维矢量长度与对应 PMM 曲面上破坏矢量长度之比；当采用 MM 法（即等轴力法），为 M2M3 平面内二维矢量长度之比。

可以看出，圆形截面的规范公式趋于偏不安全，小偏压更严重，这可以从前面对等效应力矩形图参数讨论得到合理解释。规范规定圆形截面纵筋数量不宜少于 8 根^[3]，数量越多才越接近公式采用的等代钢筋环的假设，根数少时，钢筋排列对截面承载力影响较大。

3.4 中美欧规范对比

前面的讨论中涉及到了中美欧规范在正截面极限承载力设计中的一些区别，本节做一些总结性的对比。

对于材料，EC2 采用材料分项系数的概念，这与我国基本一致，但我国在抗震时采用了截面承载力抗震调整系数 γ_{RE} ：我国混凝土和钢筋的材料分项系数 $\gamma_c = 1.4$ 和 $\gamma_s = 1.1\sim 1.15$ ， $\gamma_{RE} = 0.75\sim 0.85$ ；EC2 持久和短暂作用时，材料分项系数是 $\gamma_c = 1.5$ 和 $\gamma_s = 1.15$ ，地震作用下的材料分项系数是 $\gamma_c = 1.2$ 和 $\gamma_s = 1.0$ 。ACI 采用的是“强度折减系数 ϕ ”的概念，不区分是否抗震，根据截面不同的延性，使用不同的强度折减系数：当钢筋拉应变小于 ϵ_y 时， $\phi = 0.65$ ，为“受压控制”；当钢筋拉应变大于 0.005 时， $\phi = 0.90$ ，为“受拉控制”；之间为“过渡区域”， ϕ 线性变化。

图 9 针对一个简单柱截面，假定中美欧的材料标准值相同，分别绘制了各个规范在非抗震和抗震时截面的 PM 承载力设计曲线。

可以看出：非抗震设计，我国与欧洲规范的方法一样，分别对混凝土和钢筋采用不同的材料分项系数；抗震设计，

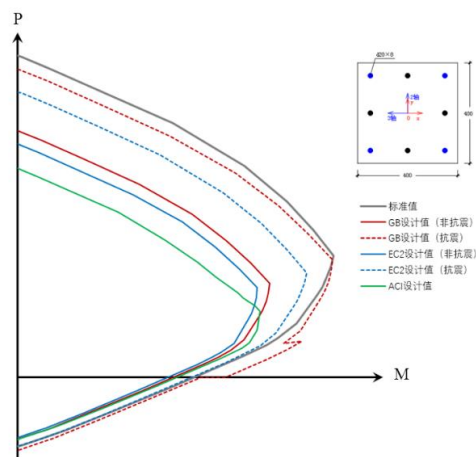


图 9 中美欧规范截面承载力设计值对比

我国与美国规范的思路接近，都是对截面承载力进行整体调整。单纯从截面承载力出发，不考虑作用效应的组合，从图9可以看出，美国规范最保守，欧洲规范其次，中国规范再次。

表3归纳了中美欧规范在正截面设计中的主要异同。

4 软件实现

上述钢筋混凝土正截面极限承载力设计已在筑信达的CiSDesigner和CiSDesignCenter软件中实现。根据基本原理和快速计算方法，考虑规范的具体要求（诸如最大最小配筋率要求，钢筋间距要求，配筋形式等等），实现了工程项目的正截面配筋设计；利用ETABS/SAP2000强大的分析计算功能，接力CiSDesigner或CiSDesignCenter可以方便高效地对梁柱墙进行配筋设计。

目前软件支持各种常规截面的梁、柱、墙设计与校核，也支持异形柱、型钢混凝土柱/梁的设计与校核。

CiSDesigner不仅是结构设计人员的设计工具，还可作为高校本科生/研究生学习理解钢筋混凝土基本原理的学习工具，软件除了给出PMM包络线之外，同时提供了截面实时加载过程动画，包括荷载矢量的空间加载过程、截面弯矩-曲率图，以及截面应变发展与截面应变面转动等实时图形显示及相关曲线与数据。

表3 中美欧规范正截面设计规定对比

	GB	EC2	ACI
平截面假定	有	有	有
混凝土本构模型	有	有	无
等效矩形应力图参数	有	有	有
钢筋本构模型	有	有	有
钢筋极限拉应变	有	有	无
各种设计公式	有	无	无

参考文献

- [1] 王传志, 滕智明. 钢筋混凝土结构理论[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1985.
- [2] 过镇海. 钢筋混凝土原理(第3版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2013.
- [3] 混凝土结构设计规范: GB 50010-2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [4] EC2, Eurocode 2: Design of Concrete Structures – Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings (EN 1992-1-1) [S]. European Committee for Standardization, 2004.
- [5] ACI, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary[S]. America Concrete Institute, 2014.
- [6] 赵国藩. 高等钢筋混凝土结构学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
- [7] 江见鲸, 李杰, 金伟良. 高等混凝土结构理论[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [8] 李楚舒. 结构分析与设计的两个优化算法[R]. 武汉: 第一届土木工程计算与仿真技术学术会议报告, 2019.5.
- [9] CiSDesigner v1.7.0 软件技术说明书[R]. 北京筑信达工程咨询有限公司, 2018.
- [10] 李楚舒. 钢筋混凝土构件正截面极限承载力计算的快速方法: CN 104699988 A [P]. 2017-07-21.
- [11] 滕智明. 钢筋混凝土基本构件(第二版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 1987.
- [12] 叶列平. 混凝土结构(上册)(第二版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- [13] 顾祥林. 混凝土结构基本原理(第三版)[M]. 上海: 同济大学出版社, 2015.
- [14] DAVID D. CHARLES W D, ARTHUR H N. Design of Concrete Structures[M]. McGraw-Hill Education, 2016.
- [15] JACK M. Seismic Design of Reinforced Concrete Buildings[M]. McGraw-Hill Education, 2015.
- [16] 李楚舒, 李立, 陈云波, 吴文博. 钢筋混凝土柱的临界轴压比与轴压比限值[J]. 建筑结构, (已接收)
- [17] 吴文博, 李立, 李楚舒. 双向地震作用下框架柱设计的探讨[C], 第24届全国高层建筑结构学术会议论文集, 2016: 778-784.
- [18] 王庆华, 熊志斌. 钢筋混凝土截面等效矩形应力图系数的计算[J]. 南昌工程学院学报, 2011, 3(6): 58-61.
- [19] 黄朝焯. 考虑纵筋排列影响下钢筋混凝土圆形构件正截面承载力简易图解法[J]. 建筑结构, 2019, 49(8): 91-97.
- [20] 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范: JTG 3362-2018. 人民交通出版社股份有限公司, 2018.7.
- [21] 国振喜. 简明钢筋混凝土结构计算手册(第2版)[M]. 机械工业出版社, 2012.

使用 CiSDesigner 进行截面配筋设计

筑信达 陈云波

1. 概述

筑信达截面设计软件（以下简称 CiSDesigner）是一个混凝土梁、柱、剪力墙正截面设计和校核的工具软件，主要功能及特点如下：

- 1) 采用符合钢筋混凝土正截面极限状态承载力基本理论的独创快速 P-M-M 算法，快速高效地计算各种截面类型和配筋形式的 P-M-M 相关包络面；
- 2) 对配筋参数进行优化设计，在满足规范规定和用户设置的前提下，给出多种配筋方案供用户选择，选筋满足规范对配筋率和钢筋间距的要求；
- 3) 可以进行正截面极限承载力设计和校核的截面类型包括：矩形、圆形、工字型等普通钢筋混凝土柱截面，L 形、T 形、十字形、Z 字形等异形柱截面，型钢混凝土柱截面，矩形、T 形梁截面，一字形剪力墙截面，任意形状截面类型；
- 4) 可以选择空间矢量（P, M, M）算法或 MM 图（等轴力）算法进行承载能力比（Capacity Ratio）验算；分别提供两种承载比定义的加载路径演示，包括加载过程的截面应变分布及弯矩曲率（M- ϕ ）图；
- 5) 详细的计算书生成，包括规范规定的附加偏心距计算和 P- δ 效应等相关参数；
- 6) SAP2000、ETABS 模型文件导入，包括所有柱截面和梁截面及其设计内力。

本文首先介绍 CiSDesigner 截面配筋设计的计算原理，然后使用几个实际算例介绍使用 CiSDesigner 进行截面配筋设计的结果。

2. 截面承载力计算

CiSDesigner 根据《混凝土结构设计规范（GB50010-2010）》^[1]（以下简称混凝土规范）附录 E 规定的方法把截面混凝土、钢筋、型钢都划分为小单元后再计算截面内力，不采用手动计算中常用的矩形等效应力图进行计算。

2.1 一般规定

截面承载力计算采用混凝土规范定义的相关规定，包括：

- 1) 平截面假定，即假定截面应变保持平面。
- 2) 不考虑混凝土抗拉强度。
- 3) 混凝土应力应变关系采用混凝土规范公式 6.2.1-1 到 6.2.1-5 进行计算。
- 4) 钢筋、型钢应力取钢筋应变与弹性模量的乘积，但其绝对值不大于其抗拉、抗压强度的设计值，即满足混凝土规范 6.2.1 中的公式 6.2.1-6。

2.2 截面重心计算

非型钢混凝土柱截面重心只计算混凝土的面积（不扣除钢筋所占面积）；型钢混凝土柱截面重心计算时考虑混凝土面积（不扣除钢筋所占面积，但扣除型钢所占面积）以及型钢面积并各自按其弹性模量加权。

2.3 截面内力计算

所有截面的内力计算方法都采用混凝土规范附录 E 中规定的方法进行。首先把截面的混凝土、钢筋、型钢划分为多个单元，然后根据截面的应变状态分别计算每个单元的应变与应力，截面内力为所有单元的内力之和。

截面内力计算时会根据用户全局参数设置来确定是否扣除钢筋处的混凝土面积（默认会扣除）。但型钢处的混凝土面积确



定会扣除。

截面内力弯矩值计算方法为对截面重心取距。

2.4 截面承载力计算

截面承载力计算采用极限状态计算方法，首先确定一系列的截面应变状态,见图 2-1，然后根据每个应变状态计算截面的内力，所有截面内力状态点连起来就形成一条原始 P-M 曲线，一条典型的 P-M 曲线（这个曲线上所有点的重心轴是相同的，但中和轴只是都平行于重心轴，并不一定位于相同位置）如图 2-2。

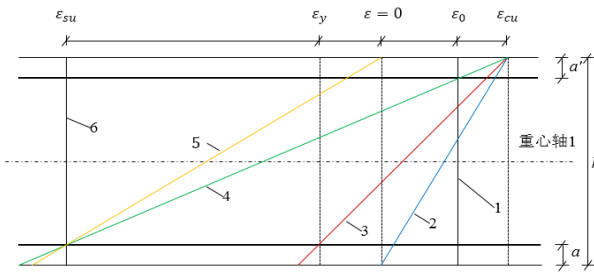


图 2-1 截面应变状态示意图

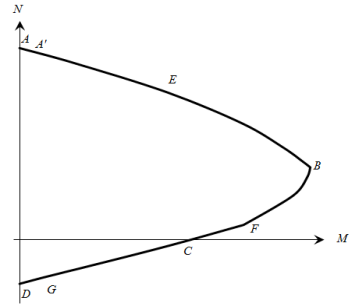


图 2-2 典型的 P-M 曲线示意图

最后我们旋转重心轴（经过截面重心而且平行于中和轴的直线）后重复上面的计算过程，就可以得到截面承载力的三维 P-M-M 包络图，如图 2-3。默认 CiSDesigner 会旋转重心轴 36 次，就是说每 10 度计算一条原始 P-M 曲线。

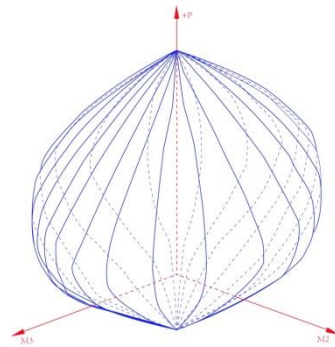


图 2-3 P-M-M 三维包络图示意图

2.5 截面承载比计算

在截面设计和校核时 CiSDesigner 会计算每一个内力的承载比，如果所有内力计算出来的承载比都小于用户预先设定的值（默认为 1.000），CiSDesigner 就认为截面是满足用户设计要求的。如果用户最大承载比设定为 1.000，从物理意义上来说，就是说每一个内力点都位于 P-M-M 三维包络图的球体内部。

计算承载比的步骤如下：

- 1) 首先根据用户输入的内力进行调整计算（比如二次效应、附加偏心距、根据荷载规范进行的结构重要性系数调整），调整计算后得到内力的最终值；
- 2) 根据内力最终值的内力矢量角度计算这个指定角度的 P-M 曲线，计算方法为插值，这条曲线上的每一个内力点都是通过这个内力点临近的两条原始 P-M 曲线上的内力点插值得到的。
- 3) 根据内力值和上面得到的指定角度的 P-M 曲线计算承载比。

3. 截面设计计算流程

截面设计及校核时用户输入截面参数及计算参数后 CiSDesigner 内部计算流程主要包括以下几步：

- 1) 把截面混凝土、钢筋、型钢划分为纤维单元；
- 2) 计算截面参数，包括混凝土属性、回转半径、附加偏心距、最大最小配筋率等；
- 3) 形成各种满足规范要求的配筋方案（如果是截面校核只有一个配筋方案）并按配筋面积从小到大排序；

- 4) 按顺序计算每个配筋方案，包括
 - a) 计算三维 P-M-M 包络图；
 - b) 调整 P-M 曲线及内力值；
 - c) 计算每一个内力的指定角度 P-M 曲线；
 - d) 计算每一个内力的承载比；
- 5) 如果满足用户要求的承载比的配筋方案数量达到预定数量则结束计算过程并显示计算结果。

4. 截面设计实例

下面我们使用几个取自《简明钢筋混凝土结构计算手册(第2版)》^[2](以下简称为简明手册)的实际算例来展示 CiSDesigner 设计结果,并与手动计算结果或其它设计软件设计结果进行对比。

CiSDesigner 设计时默认按配筋面积排序显示 10 个配筋方案,我们在比较的时候只需要看第一个配筋方案的面积和配筋信息就行(图 4.1.1 红框内红色下划线标示的两个数据:配筋面积 904.8 和实际选筋 d12x8,表示实际选筋为 8Φ12)。校核时只显示一个校核的配筋方案,显示数据和设计时相同。

4.1 矩形大偏心受压柱

简明手册第 201 页例 4-19:一钢筋混凝土柱,截面尺寸为 $b=300\text{mm}$, $h=400\text{mm}$,柱计算高度 $l_0=3.1\text{m}$,混凝土强度等级为 C40,钢筋采用 HRB400 级, $a_s=a_s'=40\text{mm}$ 。承受轴向力设计值 $N=330\text{kN}$,柱端弯矩设计值 $M_1=86\text{kN}\cdot\text{m}$, $M_2=88\text{kN}\cdot\text{m}$,采用对称配筋。求柱纵向受力钢筋截面面积 $A_s=A_s'$ 。

CiSDesigner 计算配筋如图 4-1。

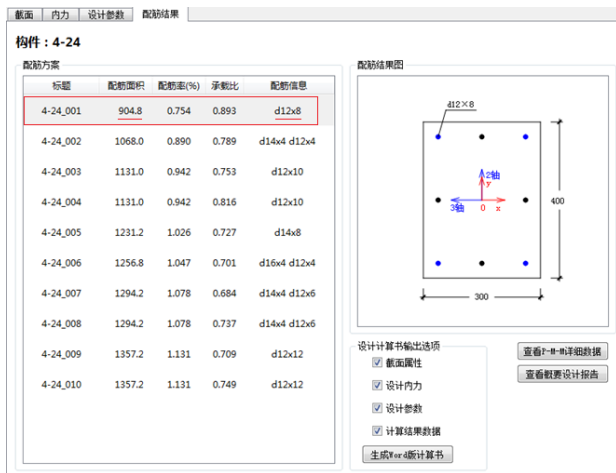


图 4-1 CiSDesigner 配筋结果

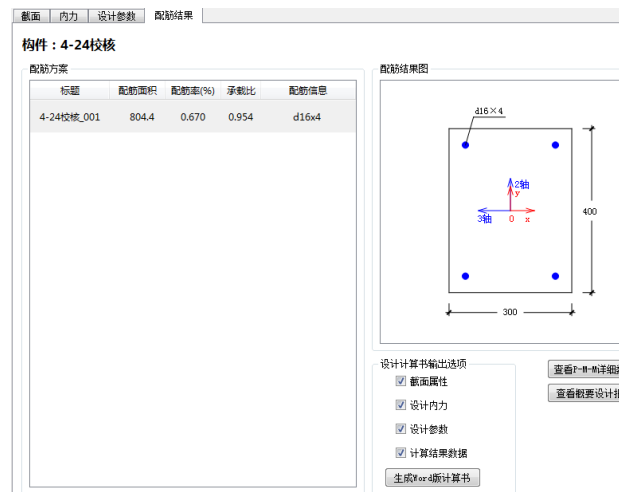


图 4-2 CiSDesigner 校核结果

手算配筋结果为上下每边 $2\Phi 16$,实配钢筋面积 804mm^2 。按此配筋方案用 CiSDesigner 校核结果如图 4-2,承载比为 0.954,配筋方案满足设计内力的要求。

PKPM 软件的配筋结果为 $8\Phi 14$,钢筋面积 1231.5mm^2 ,如图 4-3 所示。

这个例子中 CiSDesigner 的实际配筋面积比手动计算的配筋面积大,这是因为 CiSDesigner 根据规范要求,在截面中间配置了构造钢筋以满足柱截面纵向钢筋间距要求。此外,CiSDesigner 的优选配筋面积相比 PKPM 结果减少了约 30%。

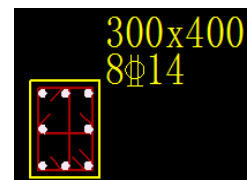


图 4-3 PKPM 配筋结果

4.2 矩形单向偏心受压柱

一钢筋混凝土柱,截面尺寸为 $b=400\text{mm}$, $h=450\text{mm}$,柱计算高度 $l_0=5\text{m}$,混凝土强度等级为 C30,钢筋采用 HRB400 级, $a_s=a_s'=40\text{mm}$ 。承受轴向力设计值 $N=500$,柱端较大弯矩设计值 $M_2=380\text{kN}\cdot\text{m}$, $M_1=380\text{kN}\cdot\text{m}$,采用对称配筋, $A_s=A_s'$ 。求柱纵向受力钢筋截面面积。

CiSDesigner 计算配筋如图 4-4,PKPM 软件的实配钢筋面积 6911.6mm^2 ,结果如图 4-5。CiSDesigner 的优选配筋面积相比

PKPM 结果减少了约 10%。

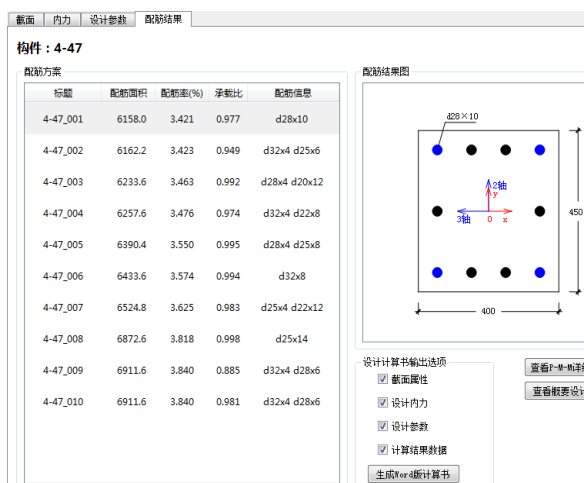


图 4-4 CiSDesigner 配筋结果

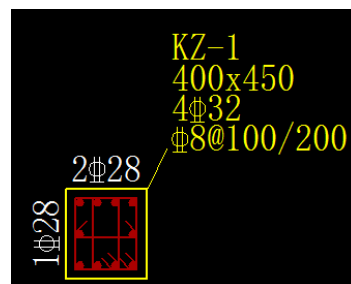


图 4-5 PKPM 配筋结果

4.3 工字型钢偏心受压柱

某工字型截面框架柱，截面宽 700mm，高 700mm，柱高 4m，采用 C30 混凝土，HRB400 钢筋，钢骨采用 Q345 型钢，型钢尺寸总高度 440mm，腹板厚度 20mm，翼缘宽度 300mm，翼缘高度 26mm，非地震的组合内力设计值 $N = 8000\text{kN}$ ， $M_x = 1250\text{kN} \cdot \text{m}$ ，试计算截面配筋。

CiSDesigner 计算配筋如图 4-6，PKPM 配筋结果如图 4-7。CiSDesigner 的优选配筋面积相比 PKPM 结果减少了约 35%。

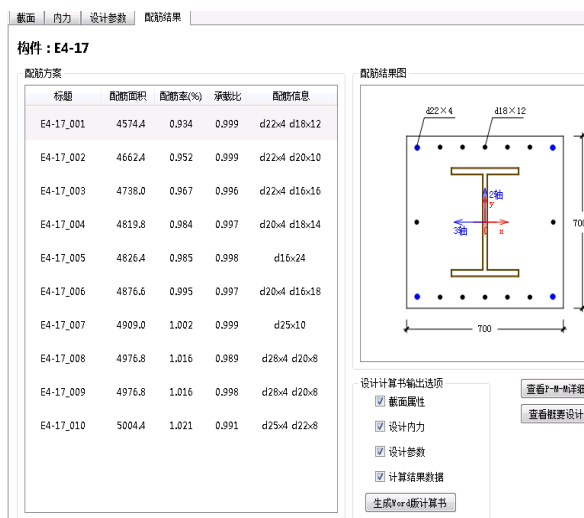


图 4-6 CiSDesigner 配筋结果

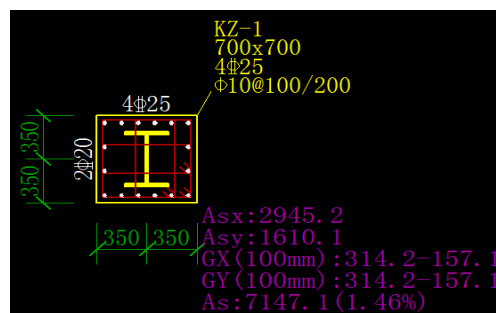


图 4-7 PKPM 配筋结果

综合前面三个案例，两个矩形柱和一个型钢柱算例，将配筋结果对比汇总于表 4-1。可以看到，因为 CiSDesigner 对所有可行的配筋方案排序后逐个验算，所以能快速找到满足用户和设计要求的最优配筋方案，大多数时候的配筋面积优于其它软件的配筋面积。

表 4-1 配筋结果对比

类型	尺寸	N(kN)	M3(kN.m)	M2(kN.m)	混凝土等级	钢筋等级	CiSDesigner 配筋面积(mm²)	PKPM 配筋面积(mm²)
矩形柱	300x400	330	86	88	C40	HRB400	904.8	1231.5
矩形柱	400x450	500	380	380	C40	HRB400	6158.0	6911.6
型钢柱	700x700	8000	1250	0	C30	HRB400	4574.4	7147.1





4.4 异形柱配筋

CiSDesigner 支持 L 形、T 形、十字形、Z 字形四种异形柱截面配筋设计和校核，下面我们选取文献 3 中的 7 个 L 形异形柱截面进行配筋设计，设计结果如表 4-2 所示（两肢长度相等，柱子长度均为 3m）。

表 4-2 异形柱配筋结果对比

类型	尺寸	N(kN)	M3(kN.m)	M2(kN.m)	混凝土等级	钢筋等级	CiSDesigner 配筋	文献 3 配筋
L 形柱 1	肢长 500, 肢厚 200	1000	50	-150	C25	HRB335	8Φ18	8Φ18
L 形柱 2	肢长 500, 肢厚 200	600	50	-150	C25	HRB335	8Φ18	8Φ20
L 形柱 3	肢长 500, 肢厚 200	800	150	-50	C25	HRB335	8Φ18	8Φ20
L 形柱 4	肢长 600, 肢厚 200	800	50	-150	C25	HRB335	12Φ16	8Φ14
L 形柱 5	肢长 600, 肢厚 200	1200	320	100	C25	HRB335	12Φ16	8Φ25
L 形柱 6	肢长 600, 肢厚 200	1200	320	100	C30	HRB335	12Φ16	8Φ22
L 形柱 7	肢长 600, 肢厚 200	1200	320	100	C20	HRB335	12Φ16	8Φ25

实际配筋时，除了满足承载比要求外，CiSDesigner 还会根据《混凝土异形柱结构技术规程》^[4]的相关构造规定配置构造钢筋，为了方便比较，上面表中 CiSDesigner 配筋去掉了构造配筋。从表中可以看到，除了 L 形柱 4 以外，其它几个例子 CiSDesigner 的配筋都优于文献 3 的配筋。L 形柱 4 的配筋大于文献 3 的配筋是因为《混凝土异形柱结构技术规程》^[4]规定每肢配筋率不能小于 0.2%，文献 3 的配筋没有考虑规范的这一要求。

5. 小结

CiSDesigner 使用了独创的极限截面应变状态 P-M-M 算法快速计算截面的 P-M-M 包络图，并使用 P-M-M 包络图进行截面承载力计算，基于承载力计算结果给用户多个满足规范配筋要求的配筋方案供用户选择，通过和手动计算结果以及其它设计软件的配筋结果对比，基于快速的 P-M-M 算法，在大多数情况下 CiSDesigner 能找到更优配筋面积的配筋方案。CiSDesigner 还支持从 SAP2000 和 ETABS 模型文件中导入构件以及设计内力进行配筋设计，方便使用人员对其它软件的设计结果进行独立的配筋设计和校核。

除了可作为截面配筋工具以外，CiSDesigner 还可以作为正截面极限承载力设计原理和方法的研究工具来使用。CiSDesigner 可以通过用户界面查看设计计算的各种数据，包括 P-M-M 包络图（图 5-1），P-M 曲线、M-M 曲线、M-φ 曲线、截面应变分布图（图 5-2），方便用户对各种设计方法和理论进行验证和计算。

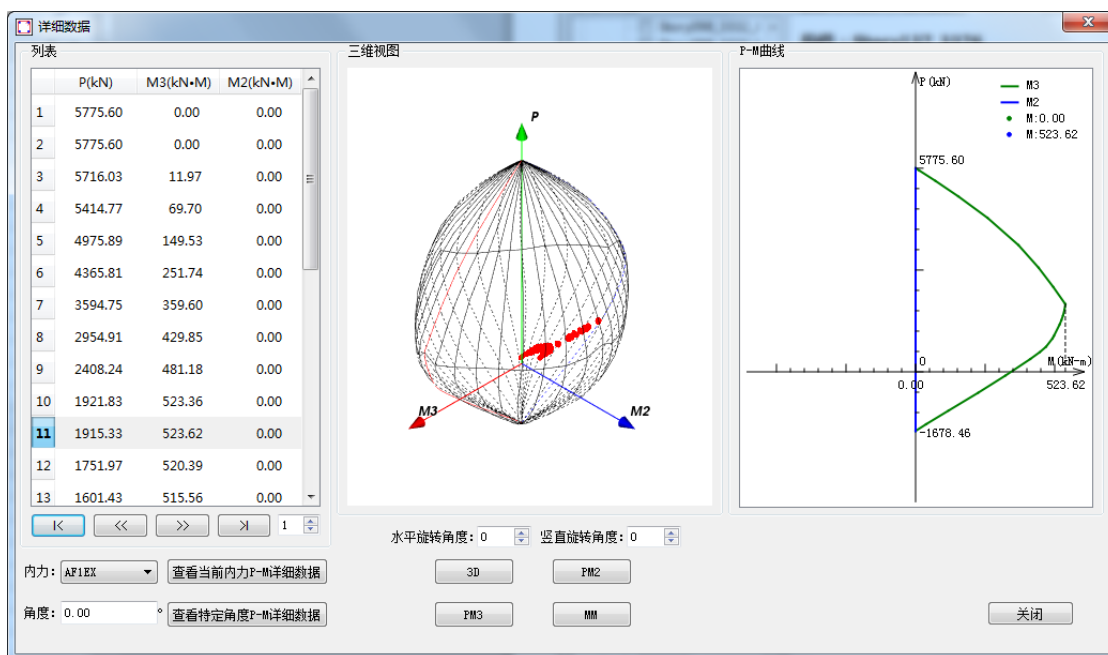


图 5-1 详细数据展示

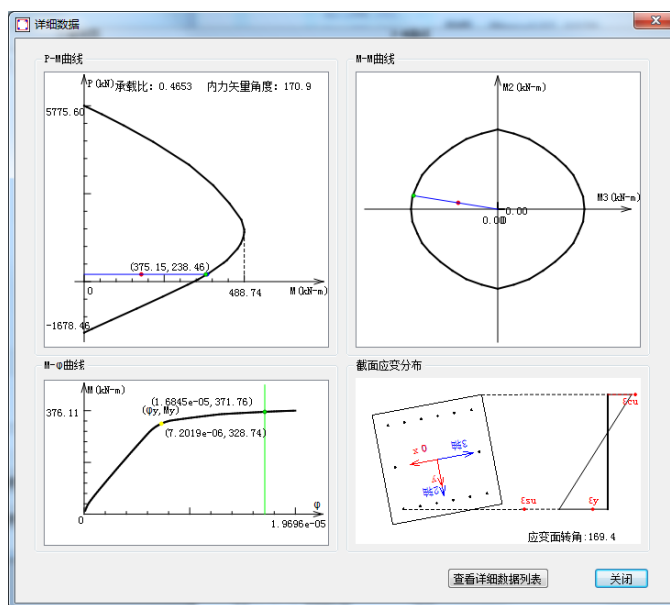


图 5-2 P-M 曲线、M-M 曲线、M-φ 曲线、截面应变分布图

参考资料

- [1] 混凝土结构设计规范: GB50010—2010 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015
- [2] 国振喜. 简形钢筋混凝土结构计算手册(第2版) [M]. 机械工业出版社, 2012
- [3] 焦柯, 陆可风, 陈圆然. 异形柱双向配筋的快速算法[J]. 建筑结构, 2000, 30(1): 32-34.
- [4] 混凝土异形柱结构技术规程: JGJ 149-2017 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017

CiSDesigner 接力 SAP2000 在复杂工业建筑中的应用

筑信达 杨硕

1. 概述

CiSDesigner 是用于钢筋混凝土构件正截面设计与校核的设计工具软件^[1]，软件实现了正截面极限状态承载力基本理论的独创快速算法，将截面纤维化，正确高效地计算各种截面类型与配筋形式的 PMM 相关包络面。本文以一个 SAP2000 的复杂工业建筑模型为例，筛选出部分按照构造配筋和非构造配筋的柱，方式一通过 SAP2000 输出的正截面配筋总面积给出手算的实配筋方案，方式二通过 CiSDesigner 读取 SAP2000 中柱的设计内力给出配筋方案。对比发现，使用 CiSDesigner 读取 SAP2000 中柱的设计内力得到的配筋方案不仅满足承载力要求，对应的钢筋总面积更小，并且给出配筋方案的种类多、效率更高。

1.1. 工程背景与概况

示例模型为一个复杂的工业建筑，如图 1 所示，结构为混凝土框架-剪力墙结构，模型中混凝土柱共 557 根，抗震等级为 I 级，混凝土强度等级为 C35，纵向受力钢筋为 HRB400，模型中考虑恒、活、风、车辆移动荷载以及地震作用等工况，设计的荷载组合共 84 个。

原模型采用 SAP2000 进行柱的正截面承载力校核分析，校核发现有部分柱子的 D/C 比（承载比）超过了限值要求。若采用 SAP2000 进行混凝土柱的正截面设计时，则程序只输出正截面配筋总面积，无法生成具体的截面配筋方案，并且 SAP2000 中定义柱截面的布筋方式时无法区分角筋与中部钢筋的直径。

为解决以上难题，联合 SAP2000 强大的分析能力与 CiSDesigner 的构件正截面设计功能，来高效完成柱正截面的配筋方案输出。

以下是 SAP2000 分析完成后，对模型中所有的柱进行正截面设计，分别筛选出部分构造配筋柱以及非构造配筋柱，根据 SAP2000 计算配筋面积进行手工实配钢筋，数据如表 1、2 所示。

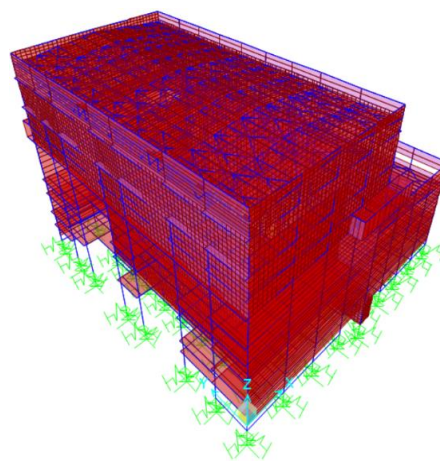


图 1. 复杂工业建筑模型

表 1. 非构造配筋的柱

柱截面	截面尺寸 B*H(mm2)	沿 2、3 轴纵 筋数量	位置	控制荷载组合	柱的 ID	计算配筋面积 (mm ²) 及配筋率 ρ	手工实配方案 (mm ²) 及 配筋率 ρ
Z50x50	500X500	5 和 5	中	AF1EX	3099	4829.16 (1.93%)	d20*16=5027.2 (2.01%)
Z60x160	1600X600	7 和 12	中	AF1EX	1395	11040 (1.15%)	d22*34=12923.4 (1.35%)
Z70x70	700X700	6 和 6	中	AF1EY	407	5532.44 (1.13%)	d20*20=6284 (1.28%)
Z70x100	1000X700	7 和 6	边	AF1EY	469	7400.75 (1.06%)	d22*22=8362.2 (1.20%)
Z160x80	800X1600	11 和 6	边	AF1EX	1238	20163.96 (1.57%)	d32*30=24126 (1.89%)

表 2. 构造配筋的柱

柱截面	截面尺寸 B*H(mm2)	沿 2、3 轴 纵筋数量	位置	控制荷载组合	柱的 ID	计算配筋面积 (mm ²) 及配筋率 ρ	手工实配方案 (mm ²) 及 配筋率 ρ
Z50x50	500X500	5 和 5	角	BF1EY	1570	2875 (1.15%)	d16*16=3217.6 (1.29%)
Z60x160	1600X600	7 和 12	中	BF1EY	651	10080 (1.05%)	d20*34=10682.8 (1.11%)
Z70x70	700X700	6 和 6	中	BF1EY	18	5145 (1.05%)	d20*20=6284 (1.28%)
Z100x70	700X1000	7 和 6	边	BF1EY	3263	7350 (1.05%)	d22*22=8362.2 (1.19%)
Z160x80	800X1600	11 和 6	边	BF1EY	1247	13440 (1.05%)	d25*30=14727 (1.15%)

2. SAP2000/CiSDesigner 的正截面设计

2.1 SAP2000 中的柱配筋设计流程

SAP2000 默认显示输出的高亮设计配筋结果，是取所有设计组合结果的包络值，这也是工程师最关心和需要的结果。对于柱，SAP2000 默认按照双向偏心受压来考虑其正截面承载力计算，轴心受压柱与单向偏心受压柱将由双向偏心受压算法退化后计算。

SAP2000 中，柱正截面承载力设计的步骤如下：

- 获取分析内力 N 、 M_1 、 M_2 ，然后自动调整为设计内力 N_F 、 M_{1F} 、 M_{2F} ，分析内力的调整包括强柱若梁、二道防线的调整以及其它地震作用放大的调整。
- 读取柱两端同一主轴的组合弯矩设计值，取绝对值较大端为 M_2 ，绝对值较小端为 M_1 ，依据（GB50010-2010）6.2.3 验算是否考虑 $P-\delta$ 效应，并根据（GB50010-2010）6.2.4 计算 C_m 和 η_{ns} 。
- 根据（GB50010-2010）6.2.5 确定设计弯矩 M_d 。
- SAP2000 根据截面应变分布，生成 PM 曲线，通过旋转截面中性轴进一步形成 PMM 曲面球^[2]。
- 按《混凝土结构设计规范》（GB50010-2010）6.2.15 条计算轴心受压承载力，并修正 PMM 曲面。
- 计算 D/C 比，获取计算配筋面积。
- 验算最大/最小配筋率，输出实配钢筋的计算面积，并验算轴压比限值。

PMM 曲面球的生成形状与柱截面上钢筋的摆放位置有关，SAP2000 中进行柱截面配筋设计的时候，需指定截面沿局部 2、3 轴方向的钢筋的具体布置方案，不同的布置方案影响生成 PMM 曲面球的形状以及总的截面设计配筋面积。

2.2 SAP2000 柱布筋方式的影响

需注意的是，定义柱截面布筋方式时，SAP2000 无法单独指定角筋与中部钢筋不同的直径。所以，根据截面总配筋面积，设计生成的柱截面上所有钢筋直径相同，程序将基于该布筋形式生成柱对应的 PMM 曲面球。

对于程序输出的总配筋面积，应按照柱截面 2、3 方向的钢筋根数来分配。即使采用相同的钢筋面积，也不能随意替换其它布筋方式。因为不同的布筋方式将改变 PMM 曲面球的形状，可能使设计内力点落在 PMM 曲面球的外部，给工程带来安全隐患。

以表 1 中的非构造配筋柱 Z50x50（ID=3099）为例，假如采用面积等效但布筋方式不同的方案来替代，如图 2 所示，再使用 CiSDesigner 软件进行校核，可以发现承载比已超过限值。

实际工程中，工程师依据有限的经验，无法提前预估柱截面 2、3 方向钢筋的布置形式。这给工程师使用 SAP2000 进行柱截面设计带来一定的困难。

2.3 CiSDesigner 中的柱配筋设计流程^[1]

P-M-M 曲面作为构件破坏状态的承载力包络图，是构件设计的基石。CiSDesigner 实现了一种快速生成钢筋混凝土构件截面 P-M-M 相关面的算法，直接对截面应变关系分析，其采用截面各个极限状态时的极限应变分布关系作为 P-M 曲线的控制点，并高效实现 P-M-M 的包络面，如图 3 所示。CiSDesigner 采用该算法，对每根柱子每个截面按照实际的应力-应变关系进行高效的设计配筋，并提供若干不同的布筋方案，具体的设计流程如下：

- 将混凝土截面、钢筋、型钢都纤维化。
- 计算截面参数、混凝土属性、回转半径、附加偏心距、最大最小配筋率等。
- 形成各种满足规范要求的配筋方案并按照配筋面积由小到大排序。
- 按照下列顺序计算每个配筋方案。

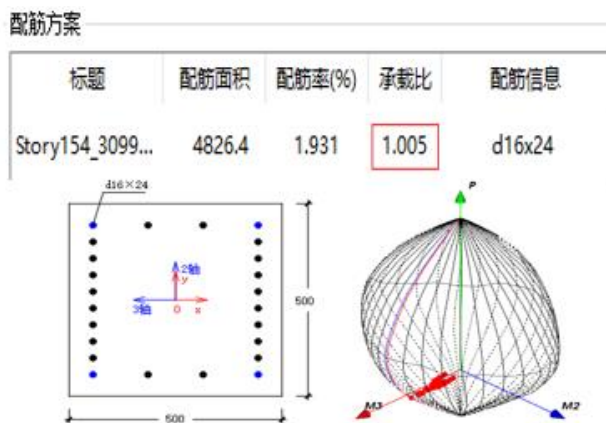


图 2. CiSDesigner 校核的结果

- a) 计算三维 P-M-M 包络图
 - b) 调整 P-M 曲线及内力值
 - c) 计算每个内力的指定角度的 P-M 曲线
 - d) 计算每一个设计内力的承载比
5. 承载比的配筋方案数量达到用户指定的数量，则结束计算过程。

在满足规范规定与用户设置的前提下，通过优化配筋参数，给出多种配筋方案供用户选择，且选筋满足规范的配筋率和钢筋间距的构造要求。

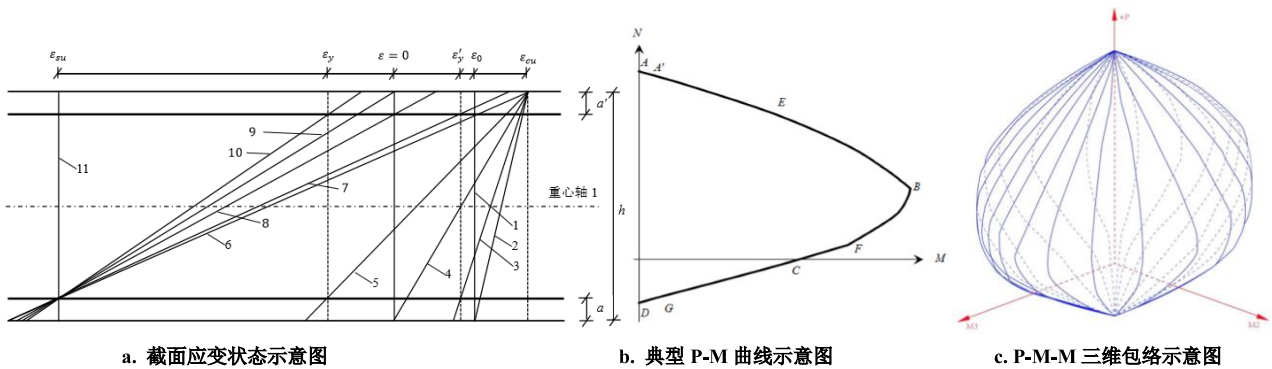


图 3. PMM 相关包络面

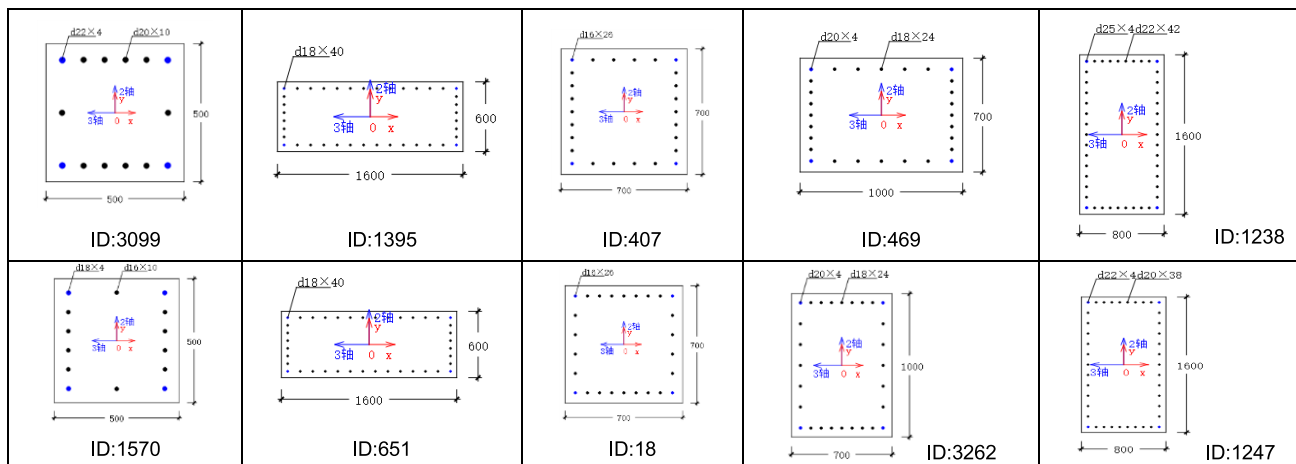
2.4 CiSDesigner 联合 SAP2000 进行柱设计配筋

通过以上介绍，我们可以借助 SAP2000 专业的分析能力配合 CiSDesigner 的强大设计功能，进行柱配筋方案的设计。CiSDesigner 支持 ETABS、SAP2000 工程模型的导入，可自动导入所有的截面类型和设计内力以及计算长度、抗震等级等相关信息，并为每个构件提供多种配筋方案。目前支持的截面类型有：矩形、圆形、工字型等普通钢筋混凝土柱截面；L 形、T 形、十字形、Z 形等异形钢筋混凝土柱截面；型钢混凝土柱截面；矩形、T 形梁截面；一字形剪力墙截面；任意形状的柱截面类型。

使用截面设计软件 CiSDesigner 读取 SAP2000 模型中柱子的设计内力并进行设计配筋，选择 MM 图算法进行承载能力比验算，部分柱子（与表 1 和表 2 中柱的 ID 相同）的配筋方案，如表 3 所示。

表 3. CiSDesigner 的柱截面设计配筋

柱的 ID	柱截面	优选配筋面积 (mm ²)	对应的配筋方案	承载比
3099	Z50x50	4662.4	4d22+10d20	0.994
1395	Z60x160	10180	40d18	0.317
407	Z70x70	5228.6	26d16	0.997
469	Z100x70	7364.8	4d20+24d18	0.955
1238	Z160x80	17927.8	4d25+42d22	0.999
1570	Z50x50	3029	4d18+10d16	0.322
651	Z60x160	10180	40d18	0.424
18	Z70x70	5228.6	26d16	0.675
3263	Z100x70	7364.8	4d20+24d18	0.226
1247	Z160x80	13460	4d22+38d20	0.565



3 CiSDesigner 与 SAP2000 的柱配筋结果对比

表 1 和表 2 根据 SAP2000 输出的截面配筋总面积，给出了实配筋布置方案，从 CiSDesigner 的众多配筋方案中优选出总面积最小的配筋方案，具体的配筋面积如表 3 所示，对比结果如表 4 所示。

表 4. 配筋面积对比

柱的 ID	柱的截面	a.CiSDesigner 的优选配筋方案 (mm ²)	b.SAP2000 对应的实配方案 (mm ²)	配筋面积误差 (b-a) / b(%)
3099	Z50x50	d22*4+d20*10=4662.4	d20*16=5027.2	7.3
1395	Z60x160	d18*40=10180	d22*34=12923.4	21.2
407	Z70x70	D16*26=5228	d20*20=6284	16.8
469	Z100x70	d20*4+d18*24=7364.8	d22*22=8362.2	11.9
1238	Z160x80	d25*4+d22*42=17927.8	d32*30=24126	25.7
1570	Z50x50	d18*4+d16*10=3029	d16*16=3217.6	5.9
651	Z60x160	d18*40=10180	d20*34=10682.8	4.7
18	Z70x70	d16*26=5228.6	d20*20=6284	16.8
3263	Z100x70	d20*4+d18*24=7364.8	d22*22=8362.2	11.9
1247	Z160x80	d22*4+d20*38=13460	d25*30=14727	8.6

依据上表中的数据，对比方案 b 和 a 的截面配筋面积，a 为 CiSDesigner 软件读取 SAP2000 中柱的设计内力，计算并给出满足承载力、符合规范构造要求的配筋方案，其配筋面积相对于手算实配方案 b 的面积可低 4.7%~25.7%。

无论是构造配筋还是非构造配筋的柱截面，通过 CiSDesigner 读取 SAP2000 中柱的设计内力得到的配筋方案，在满足承载力、规范要求的前提下，正截面配筋总面积可以更小，使用钢筋量更省。

4 小结

通过以上对 SAP2000、CiSDesigner 的配筋流程介绍，充分利用 SAP2000 强大的分析功能，使用筑信达开发的 CiSDesigner 接力 SAP2000 输出的构件设计内力，通过其独创的算法快速生成 PMM 曲面承载力包络图，并提供若干不同的布筋方案。上面的案例表明，联合两个软件进行框架截面的配筋方案输出，具备计算速度高效、截面配筋经济、配筋方案多样的特点。欢迎工程师们登录北京筑信达工程咨询有限公司的官网下载并试用。

参考资料

- [1] 北京筑信达工程咨询有限公司. 筑信达截面设计软件 CiSDesigner(V1.7.2)技术说明书. 2020, 3.
- [2] Computers & Structures Inc. SAP2000 v22.0.0, Concrete Frame Design-ACI318-14.

CiSDesigner 接力 ETABS 进行异形柱配筋设计

筑信达 刘慧璇

CiSDesigner 是由北京筑信达工程咨询有限公司自主研发，主要应用于钢筋混凝土构件设计和校核的工具软件^[1]。它可导入 ETABS 和 SAP2000 中的混凝土构件类型和设计内力；采用独创的符合钢筋混凝土正截面承载力极限状态基本理论快速算法，利用纤维截面正确高效得计算各截面类型和配筋形式的 PMM 相关包络面；对异形柱进行设计时，优化设计配筋参数，在满足用户设置、与 JGJ149-2017《混凝土异形柱结构技术规程》^[2]（以下简称为异形柱规程）构造要求的前提下（如钢筋最大直径 25mm、最小直径 14mm，纵筋一、二、三级抗震最大间距 200mm、四级抗震最大间距 250mm，非抗震最大配筋率 4%，抗震最大配筋率 3%，最小配筋率 0.8%等），根据异形柱规程给出的配筋形式分区域配筋（如图 1 所示，柱肢和柱中心分别形成配筋区域），灵活调整各区域并筋或双排的布筋形式，给出多种配筋方案，以提供最经济、安全的配筋方案。

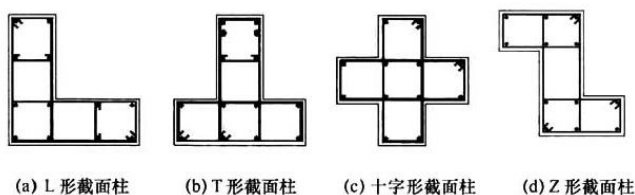


图 1 异形柱配筋形式

本文将展示其接力 ETABS 进行的异形柱设计功能。

1 工程概况

异形柱规程规定钢筋混凝土异形柱结构适用于抗震设防烈度为 8 度（0.2g）以下地区，结构平面形状宜简单、规则、对称。

为了满足异形柱规程且接近实际工程，本文基于文献[3]中的异形柱框架结构进行设计。文献[3]参照已建住宅工程的设计方案，形成如图 2 所示的结构平面布置图。由于文献[3]进行的是隔震设计，结构方案确定时先假设该结构采用基础隔震后能按降低一度设防。本文仅参考原文献中的结构形式，采用实际抗震设防烈度进行弹性设计，所施加荷载与原文献不完全一致，故配筋结果不与文献结果进行对比。

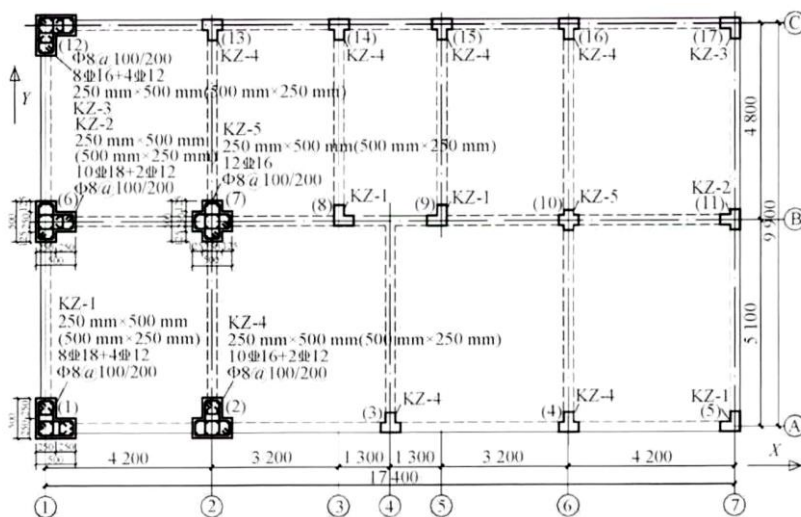
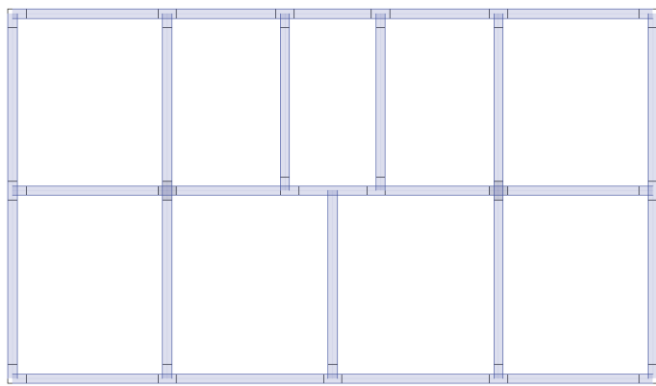
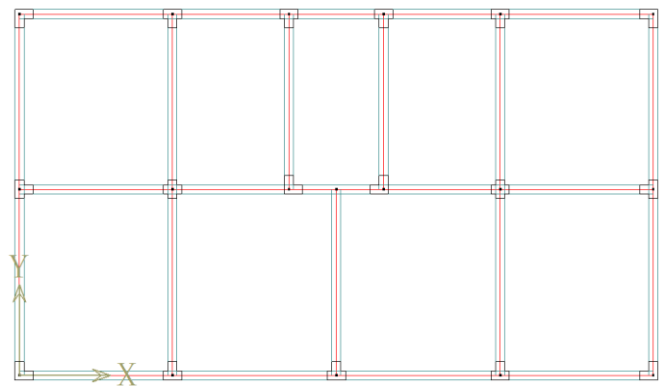


图 2 结构平面布置

为了对比 CiSDesigner 与其他软件的设计结果，分别采用 ETABS 和 PKPM 进行建模，平面布置图见图 3。该钢筋混凝土异形柱框架结构共 7 层，层高 3m，丙类建筑，抗震设防烈度为 8 度（0.2g），地震影响系数最大值 $\alpha=0.08$ 。边梁截面尺寸为 250×500mm，其余框架梁截面均为 250×400mm。楼板厚 100mm。包含了 L 形、T 形和十字形的异形柱，肢厚均为 250mm，肢高 500mm。混凝土柱强度等级 C45，梁板均为 C30，主筋采用 HRB400，箍筋用 HPB300。楼板上均布恒载 5kN/m²，均布活载 2kN/m²。分别考虑 X、Y 两个方向的地震作用，考虑偶然偏心 0.05。



ETABS 平面图



PKPM 平面图

图 3 平面布置图

2 分析结果对比

ETABS 与 PKPM 模型的整体指标较吻合，主要指标结果如下，差值按“(ETABS-PKPM)/ETABS”计算：

楼层	质量 (t)		差值	周期对比 (s)	ETABS	PKPM	差值
	ETABS	PKPM					
story7	189.9	198.2		1	0.916	0.901	1.64%
story6	191.28	189.7		2	0.85	0.865	-1.76%
story5	191.28	189.7		3	0.765	0.743	2.88%
story4	191.28	189.7	-	4	0.29	0.286	1.38%
story3	191.28	189.7		5	0.273	0.277	-1.47%
story2	191.28	189.7		6	0.246	0.238	3.25%
story1	191.28	189.7					
总	1337.58	1336.33	0.09%				

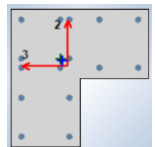
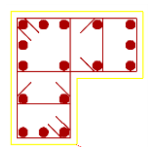
3 配筋结果与分析

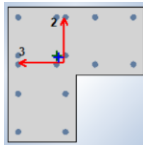
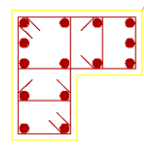
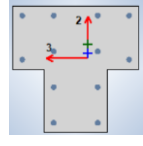
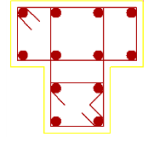
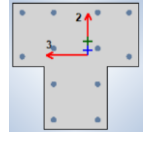
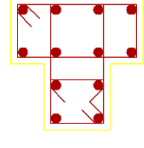
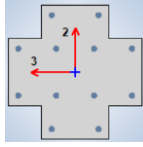
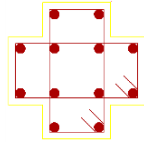
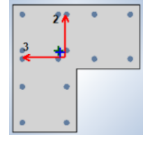
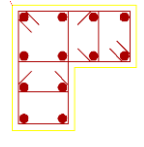
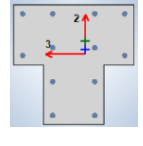
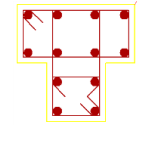
3.1 ETABS 与 PKPM 配筋结果对比与分析

采用 ETABS 进行异形柱设计时，首先需通过定义截面指定异形柱的布筋形式，对于一种类型的截面，如 L 形柱，仅需定义一种截面，建模时，通过旋转构件的局部轴，即可得到四种方向的角柱，程序将根据局部轴的内力进行配筋。由于程序限制，仅能沿着截面的 2、3 轴方向均匀布筋，无法形成异形柱规程要求的分区布筋形式，亦无法灵活调整各区域纵筋根数（如图 1），仅能基于固定的布筋形式形成构件的 PMM 相关面；设计时地震组合为八种^[4]，相比于 PKPM（常规软件）^[5]，考虑了大偏压起控制作用的情况，设计结果更为安全；设计后程序将根据 D/C 比，输出截面总配筋面积，用户需根据定义时的配筋形式，反算钢筋直径，得到实配钢筋面积。

ETABS、PKPM 部分配筋结果对比如表 1，差值按“(ETABS-PKPM)/PKPM”计算：

表 1 ETABS 与 PKPM 配筋结果对比

编号	柱截面	计算配筋对比			配筋方案对比		实配面积对比		
		ETABS	PKPM	差值	ETABS	PKPM	ETABS	PKPM	差值
1	STORY1-L 形-角柱 1	5434	5151.4	5.49%	d22×15 	d25×12+d12×4 	5699.1	6340	-10.11%

2	STORY1-L形-角柱 2	4723	4696.1	0.57%			5699.1	5358.4	6.36%
3	STORY1-T形-边柱 1	2629	2467.6	6.54%			3052	2769.5	10.20%
4	STORY1-T形-边柱 2	2789	2743.2	1.67%			3052	3366	-9.33%
5	STORY1-十字形-中柱	1594	1781.3	-10.51%			1846	2411.5	-23.45%
6	STORY6-L形-角柱 1	1781	1968.7	-9.53%			2308	2487	-7.20%
7	STORY4-T形-边柱 1	2311	2309.3	0.07%			3052	2769.5	10.20%

可以看见 ETABS 与 PKPM 的计算配筋结果吻合较好，约在 10% 以内。两款软件的有限元实现方式不同，导致各构件内力有所差异，但总体差异不大。

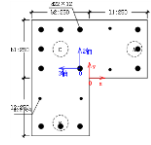
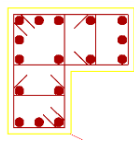
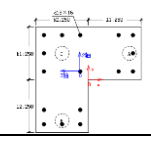
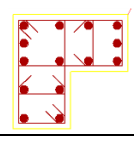
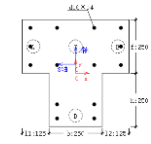
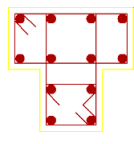
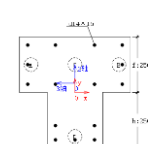
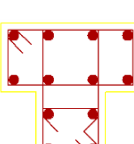
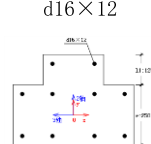
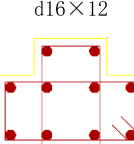
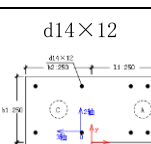
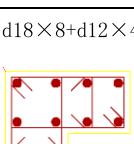
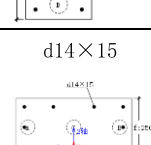
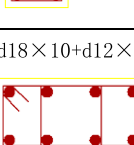
由于 ETABS 无法灵活布筋，也无法考虑分布钢筋的布置，得到的实配面积较大，可能会造成材料的浪费。此外，ETABS 中无法考虑异形柱规程中的关于纵筋直径、配筋率、纵筋间距等构造要求，导致其实配结果无法满足规范要求，故不对 ETABS 与 PKPM 的实配结果进行对比分析。采用 CiSDesigner 可以解决 ETABS 现存问题，接下来将 ETABS 模型导入 CiSDesigner 中，对异形柱进行设计，并与 PKPM 结果进行对比。

3.2 CiSDesigner 与 PKPM 配筋结果对比

通过 ETABS 将异形柱导入 CiSDesigner 后，可在 CiSDesigner 中调整截面各肢区域与中心区域的布筋形式（图 1）、钢筋直径。CiSDesigner 将根据各构件局部坐标轴的内力，按异形柱规程 5.1.2、5.1.4 计算构件承载力，遵循异形柱规程 6.2.3、6.2.4、6.2.5、6.2.6 相关构造规定（详参文献[2]和[6]），迭代寻找多种配筋方案，各构件的 PMM 曲面基于实际配筋方案快速形成，最终输出多个优选配筋方案。

本文将 CiSDesigner 中异形柱的最优方案和 PKPM 的实配结果进行对比，部分结果如表 2，差值按“(CiSDesigner-PKPM)/PKPM”计算：

表 2 CiSDesigner 与 PKPM 配筋结果对比

编号	柱截面	配筋方案对比		实配面积对比		
		CiSDesigner	PKPM	CiSDesigner	PKPM	差值
1	STORY1-L 形-角柱 1	d22×12+d12×4 	d25×12+d12×4 	5013.6	6343.2	-20.96%
2	STORY1-L 形-角柱 2	d18×16 	d25×10+d12×4 	4072	5358.4	-24.01%
3	STORY1-T 形-边柱 1	d16×14 	d18×10+d12×2 	2815.4	2771.2	1.59%
4	STORY1-T 形-边柱 2	d14×15 	d20×10+d12×2 	2308.5	3368.2	-31.46%
5	STORY1-十字形-中柱	d16×12 	d16×12 	2413.2	2413.2	0.00%
6	STORY6-L 形-角柱 1	d14×12 	d18×8+d12×4 	1846.8	2488.4	-25.78%
7	STORY4-T 形-边柱 1	d14×15 	d18×10+d12×2 	2308.5	2771.2	-16.70%

可以发现，CiSDesigner 的实配钢筋面积几乎均比 PKPM 小，最大节约配筋面积达 31%，普遍节约配筋面积超过 20%。差值约在 20%~30%之间。CiSDesigner 配筋结果更加节省的原因在于，在满足最大配筋率、最小配筋率及钢筋间距相关的构造要求的基础上，CiSDesigner 更加充分的利用钢筋的承载力。以柱 2 为例，分析发现，PKPM 采用的实配方案是“10Φ25（纵向受力筋）+4Φ12（构造钢筋，不参与承载力计算）”，而 CiSDesigner 采用的实配方案是“16Φ18（纵向受力筋）”，充分利用纵向受力钢筋的承载力，无需额外配置构造钢筋，已满足二级抗震等级下纵筋间距不宜大于 200mm 的构造需求，达到了钢筋面积最优化。

唯一存在 CiSDesigner 的配筋大于 PKPM 的构件是柱 3，这是 ETABS 的内力略大于 PKPM 导致的。ETABS 中该构件的控制内力（P，M_x，M_y）为（828.74，22.76，-293.41），PKPM 中控制内力为（815.66，10.25，-287.93），从表 1 中可以看出，ETABS 的计算配筋较 PKPM 的计算配筋增加了约 6%，而 CiSDesigner 的实配面积仅比 PKPM 增加约 1%，同比来看，CiSDesigner 仍然可以得到更优的配筋结果。



唯一存在 CiSDesigner 的配筋大于 PKPM 的构件是柱 3，这是 ETABS 的内力略大于 PKPM 导致的。ETABS 中该构件的控制内力 (P , M_x , M_y) 为 (828.74, 22.76, -293.41)，PKPM 中控制内力为 (815.66, 10.25, -287.93)，从表 1 中可以看出，ETABS 的计算配筋较 PKPM 的计算配筋增加了约 6%，而 CiSDesigner 的实配面积仅比 PKPM 增加约 1%，同比来看，CiSDesigner 仍然可以得到更优的配筋结果。

比较 CiSDesigner 与 ETABS 的配筋结果，也可以发现 CiSDesigner 的配筋结果远小于 ETABS，说明按异形柱规程对截面各肢分区配筋，可以得到更节约、合理的配筋方案。

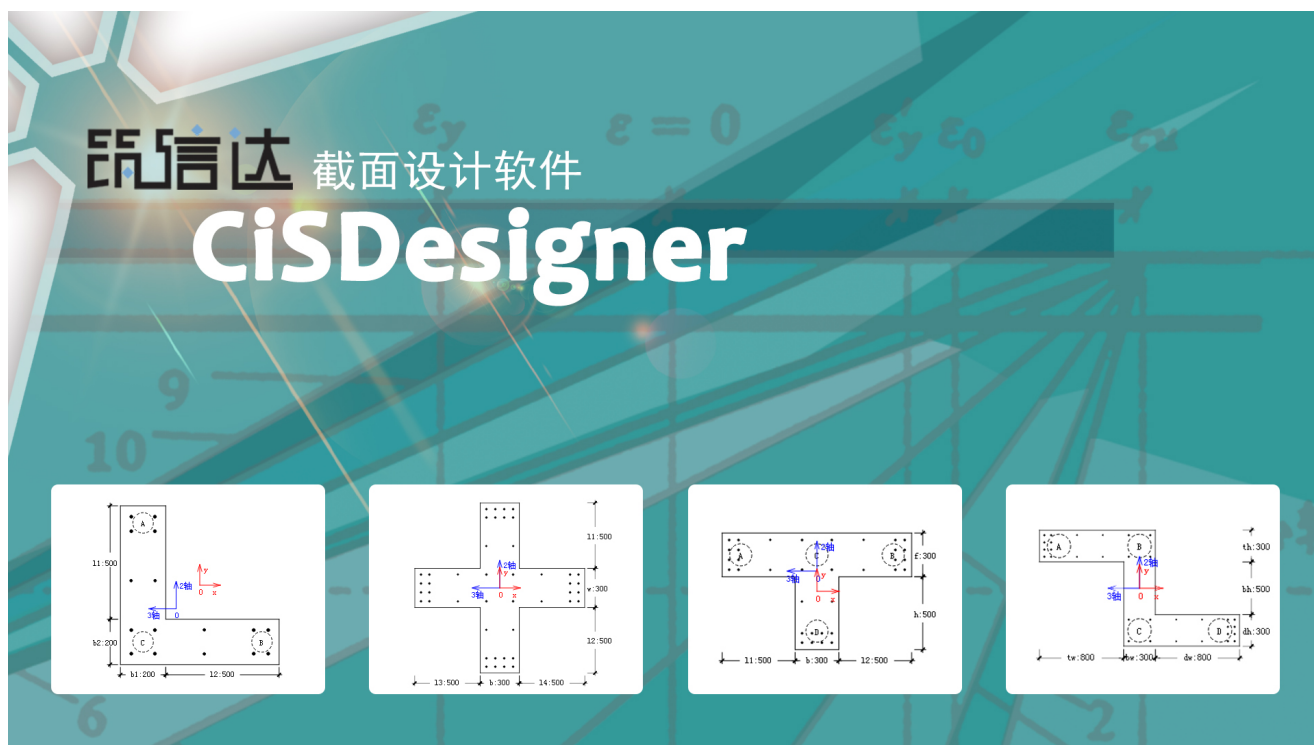
4 结论

通过上述案例可以发现，相比于 PKPM，ETABS 的设计内力更为安全，通过导入 ETABS 得到的 CiSDesigner 通过独创的符合钢筋混凝土正截面承载力极限状态基本理论快速算法，既满足了构件截面设计内力的“安全性”，又满足了截面设计的“高效性”，还兼具配筋方案的“经济性”与“多样性”。建议工程师采用 ETABS 进行异形柱工程的分析，并通过 CiSDesigner 完成异形柱构件的设计。

欢迎广大用户点击链接 <http://www.cisec.cn/TrialModule/AssessmentVersion.aspx> 免费试用 CiSDesigner。

参考资料

- [1] 北京筑信达工程咨询有限公司. CiSDesigner 概述. <http://www.cisec.cn/CiSDesigner/CiSDesigner.aspx>
- [2] JGJ149-2017 混凝土异形柱结构技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.
- [3] 苏何先, 潘文, 白羽, 等. 隔震异形柱框架结构振动台试验研究[J]. 建筑结构学报, 2016, 37(12): 65-73.
- [4] 北京筑信达工程咨询有限公司. 包含反应谱工况的设计内力. <http://www.cisec.cn/Support/knowledgeBase/knowledgeBaseMenu.aspx?menuid=589>
- [5] 北京构力科技有限公司. PKPM V5 软件说明书. 2019, 11.
- [6] 北京筑信达工程咨询有限公司. 筑信达截面设计软件 CiSDesigner(V1.7.2)技术说明书. 2020, 3.



筑信达结构设计软件 CiSDesignCenter 简介

筑信达 孙雪艳

筑信达结构设计软件 CiSDesignCenter（以下简称 CiSDC）是北京筑信达工程咨询有限公司开发的结构辅助设计软件。CiSDC 软件可读取多种结构设计软件的模型信息及分析、设计结果，进行模型显示、构件类型判断、模型编辑修改，按照构件类型分别进行各种构件配筋计算、复核截面的配筋设计、施工图绘制，对结构进行舒适度验算、计算结果整理输出计算书，并提供模型转换、弹塑性模型输出等功能，也支持同时导入两个不同分析模型，采用双窗口进行内力、配筋结果对比，并生成结构大指标的对比文档。CiSDC 软件为结构设计工程师提供了多项结构设计需要的功能，本文介绍 CiSDC 软件的主要功能。

1 软件整体架构

CiSDC 软件是集模型转换、模型对比、弹塑性模型输出、计算书输出、构件配筋计算、施工图设计等功能于一体的结构辅助设计软件。软件整体功能架构如图 1 所示。

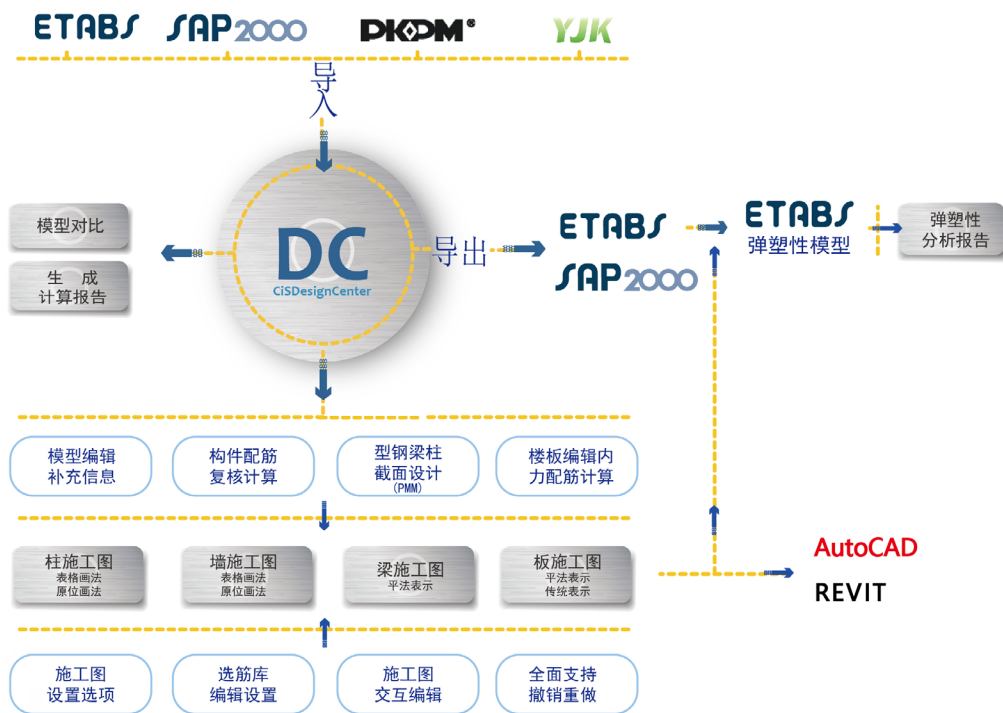


图 1 CiSDC 软件整体功能架构示意图

2 数据导入

启动 CiSDC 软件，软件主界面如图 2 所示。菜单栏包括文件、工程、编辑、柱/墙/梁板/施工图、计算书、模型对比、视图、模型导航栏、视图显示选项等。

CiSDC 软件通过读取常见的设计软件接口数据的方式建立模型进行后续设计。软件可导入的模型数据包括 ETABS、SAP2000、PKPM、YJK 等结构设计常用的计算软件模型数据。读取模型数据后，在视图区显示模型，模型按照楼层分层显示，并支持三维视图查看，如图 2 所示。

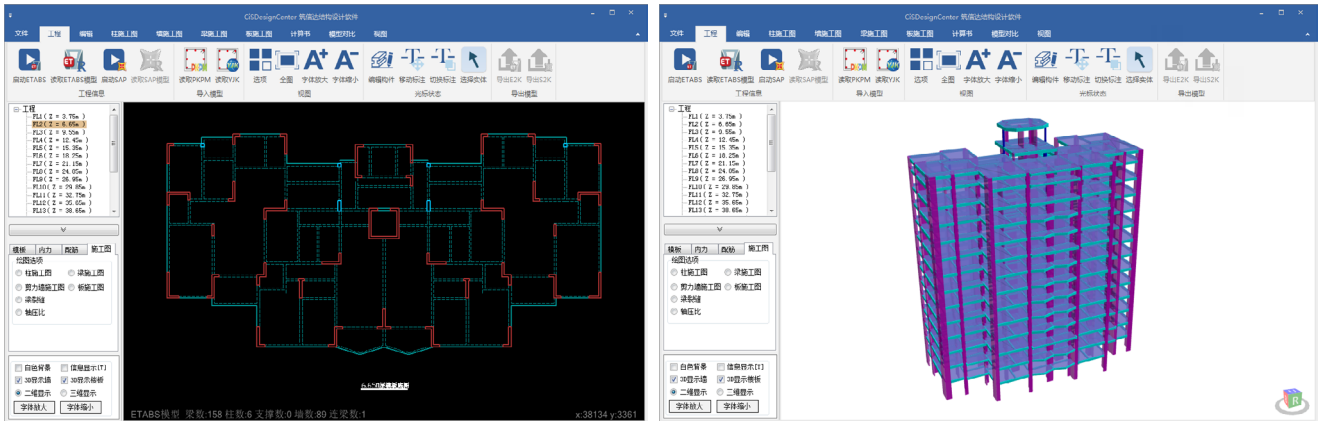


图 2 CiSDC 软件视图显示

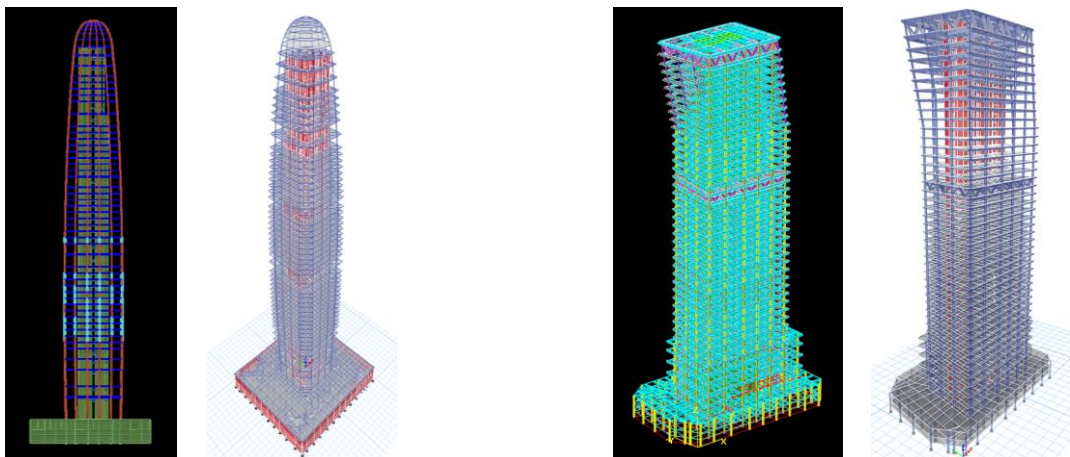
3 模型转换

CiSDC 导入的模型可导出为 ETABS 或 SAP2000 软件模型。通过模型的导入、导出功能实现 PKPM、YJK 模型转换为 ETABS、SAP2000 模型，以及 ETABS、SAP2000 软件的模型互转。

通过 CiSDC 软件转换的 ETABS、SAP2000 模型，除转换几何模型外，还包括荷载模式、工况、组合、风荷载信息、地震信息以及 ETABS 进行剪力墙设计的墙梁标签信息，导入导出模型的过程与信息如图 3 所示。通过 CiSDC 软件转换生成的 ETABS、SAP2000 模型分析设计后，可直接将分析设计结果导入 CiSDC 软件，与原始模型进行对比分析，无需人工对模型进行加工整理。图 4 是将 PKPM 模型和 YJK 模型通过 CiSDC 软件转换为 ETABS 模型的工程实例。



图 3 模型转换流程



1) PKPM 模型转为 ETABS 模型

2) YJK 模型转为 ETABS 模型

图 4 模型转换实例

4 模型对比

CiSDC 软件可对两个分析模型进行对比。软件采用双窗口的形式同时显示两个模型，原有模型和对比模型并列显示在视图中，如图 5 所示，左侧视图为 PKPM 模型，右侧视图为 ETABS 模型，可对比信息包括配筋信息、内力信息、设计指标。配筋信息、内力信息直接显示在视图中，如图 6、7 所示，两个视图同步显示同位置的同类型信息，便于数据的对比。结构指标的对比以文档方式显示，将两个模型的对比数据通过表格、图表的方式显示，如图 7 所示，在同一表格中将两个模型的数据对比显示，结果差异显示直观。

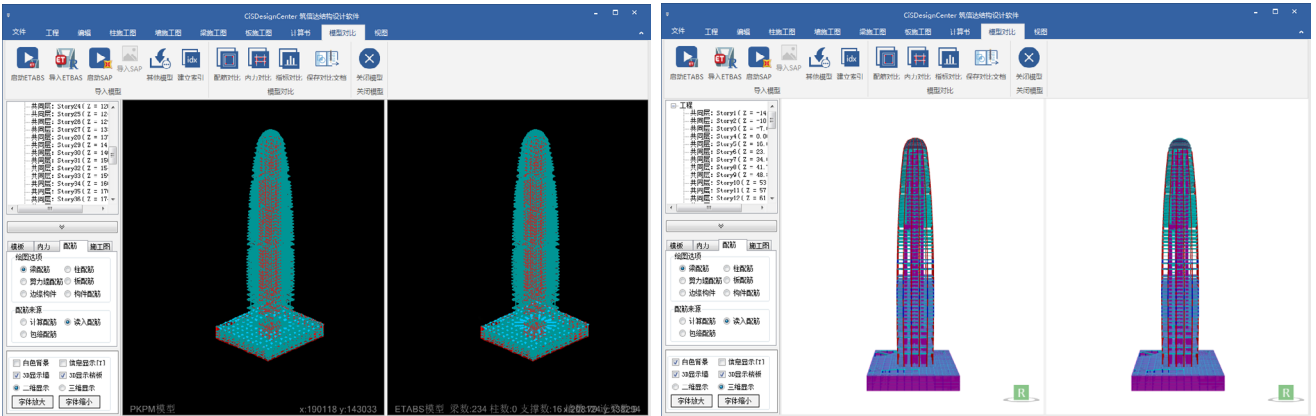


图 5 双窗口模型对比

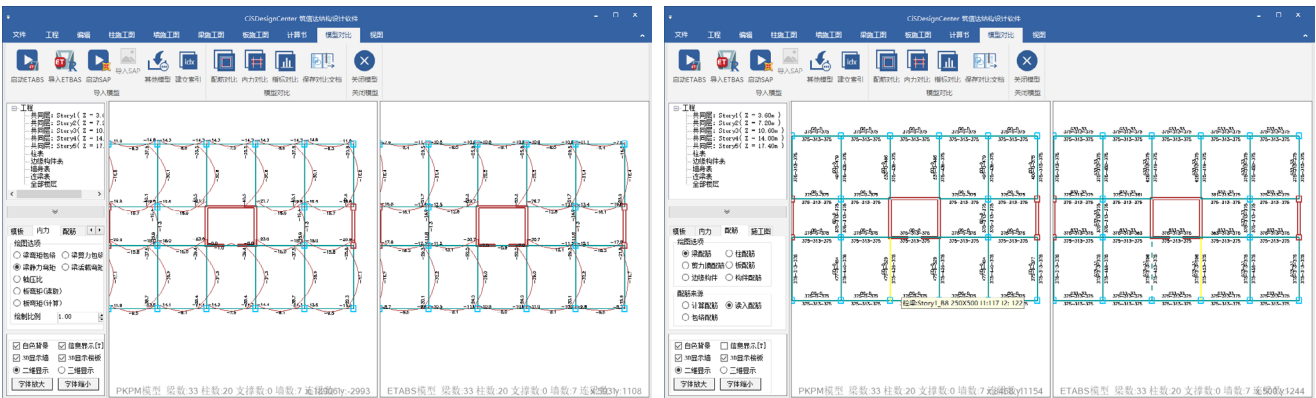


图 6 内力、配筋结果对比

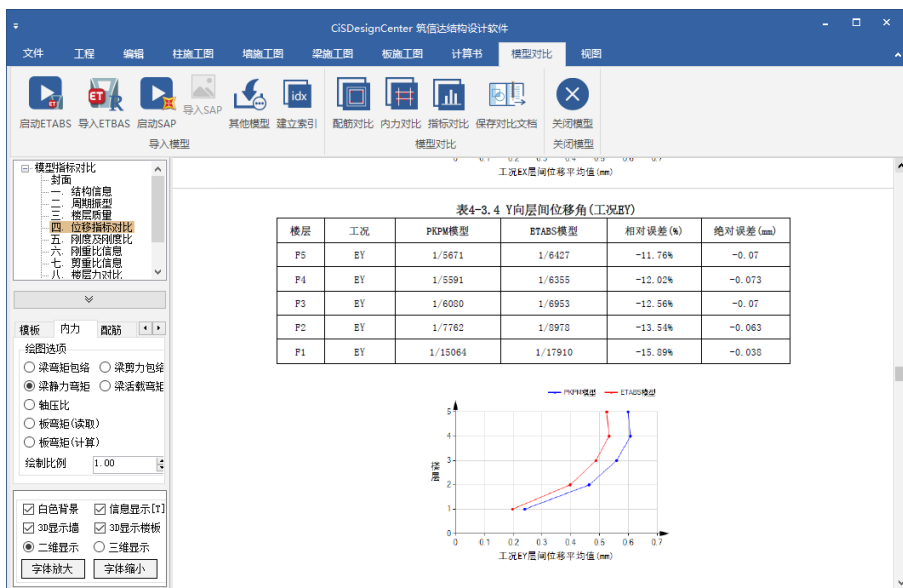


图 7 结构指标对比

在 CiSDC 软件中对模型进行多软件数据对比校核，通过模型转换得到两个模型，通过模型对比，得到两个计算软件结果的对比数据，具体流程如图 8 所示。

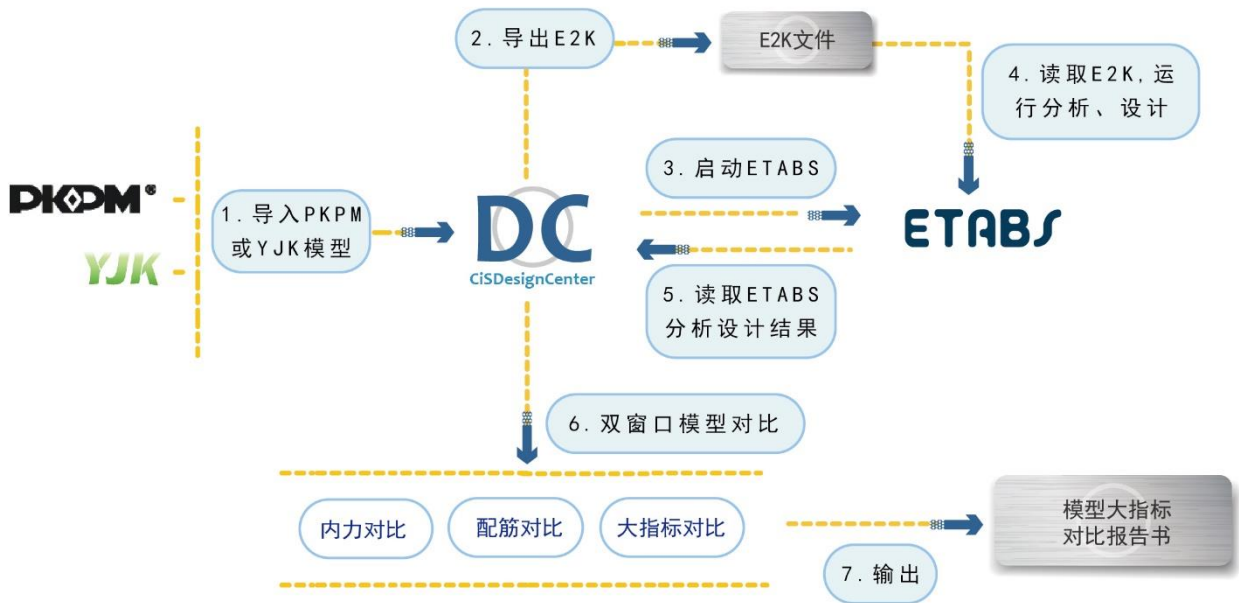


图 8 模型转换、模型对比典型流程

5 计算书

CiSDC 软件可读取 CSI 软件（ETABS 或 SAP2000）的分析设计结果，进行结果的加工处理、舒适度验算，整理生成计算书。计算书主要的内容包括结构基本信息、荷载信息、结构大指标、补充验算、超限信息、简图等。计算书以图、表等形式进行结果的表达。如图 9 所示的质量信息，在 ETABS 软件中按照节点进行输出，楼层质量比需要输出各楼层的质量，软件根据结构的整体信息和节点质量，整理结果输出楼层质量和质量比。

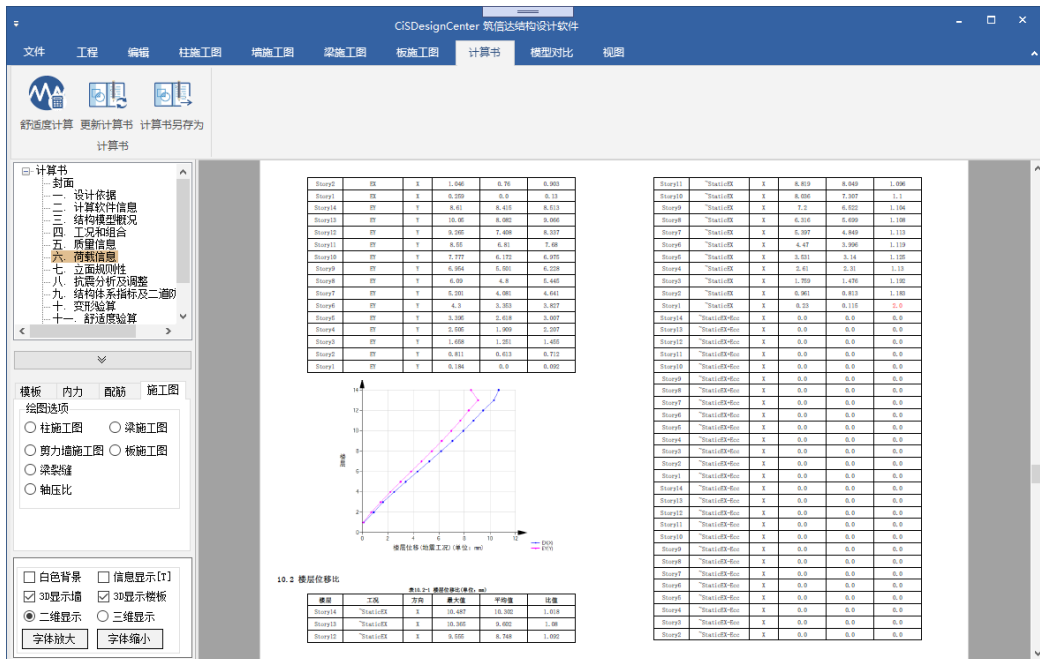


图 9 计算书输出图表

6 弹塑性模型信息导出

弹性模型转换成弹塑性模型需要进行多项处理，并将弹塑性分析需要的信息补充到模型。使用 CiSDC 软件可对当前的 ETABS 模型进行加工处理，直接生成结构的弹塑性模型，由 ETABS 软件进行弹塑性分析，简化了操作步骤，模型导出流程和如图 10 所示。进行弹塑性分析后的 ETABS 模型，可以导入 CiSDC 软件，生成结构的弹塑性分析报告。



图 10 生成弹塑性模型流程

7 模型编辑

软件导入分析模型后，提供模型编辑功能，将分析模型细化为施工图模型。软件提供了柱、梁、墙的快速偏心处理功能，轴网编辑功能，结构信息及层信息设置等编辑功能。图 11 为对墙、梁进行偏心处理，处理后，墙、梁、柱的外皮平齐。

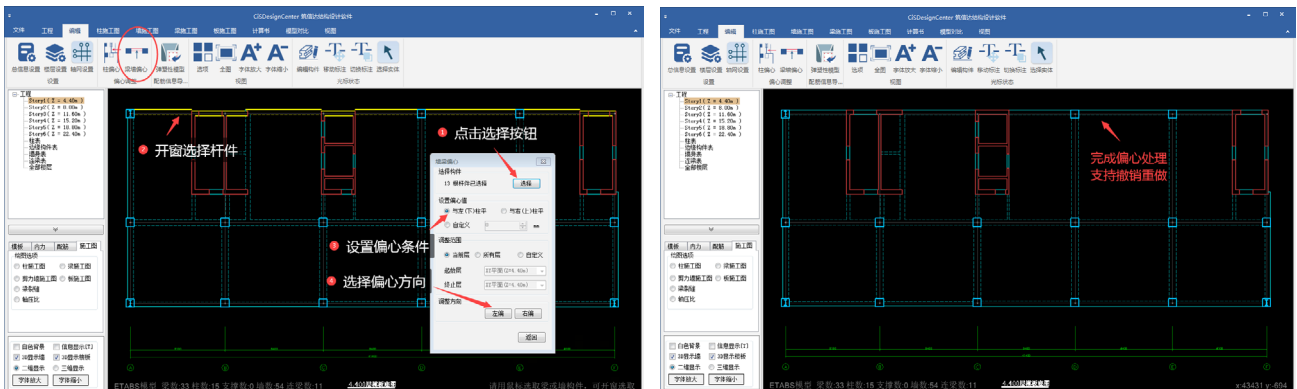


图 11 偏心处理示例

8 配筋计算与施工图设计

软件导入模型信息后，根据构件类型分别进行配筋计算和施工图设计。

8.1 构件配筋计算

柱构件配筋可直接读取结构设计软件的配筋结果，也可读取设计内力，通过 PMM 曲面进行双偏压设计配筋。PMM 曲面对话框显示构件设计详细信息，也是一个构件设计与校核工具，在此可设置构件截面、材料信息、实配钢筋、内力值，进行构件的校核和设计。设计工具中包含截面设计器，其截面设计器（如图 13）可自定义任意截面形状。

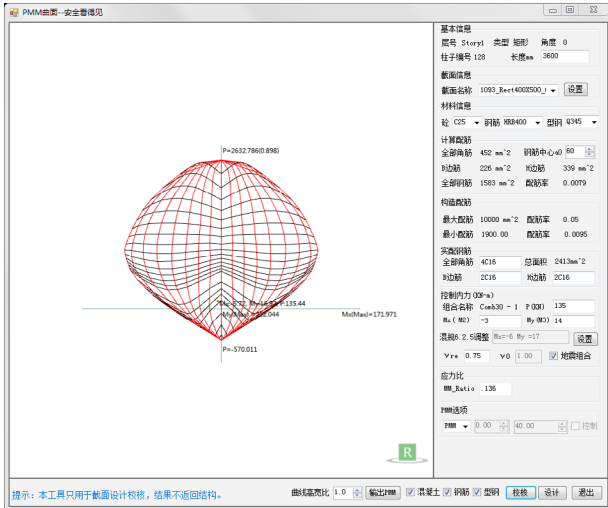


图 12 PMM 曲面对话框

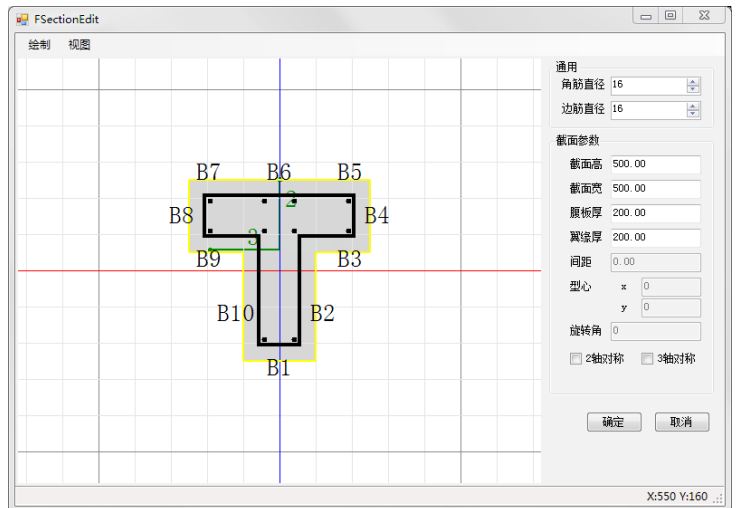


图 13 截面设计器

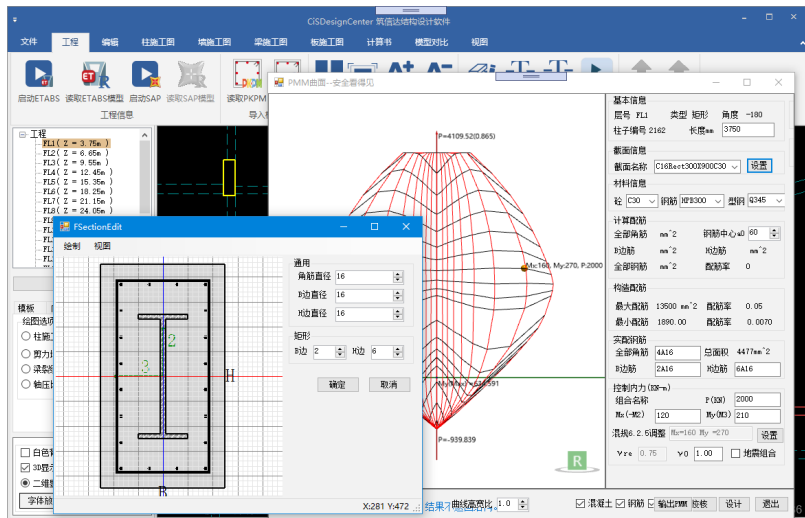


图 14 自定义任意截面

剪力墙的配筋计算包含墙肢和连梁两部分。对 ETABS 模型，可自动划分墙、梁标签，读取设计内力，根据混凝土规范进行墙肢暗柱纵筋及墙肢水平分布筋计算，自动划分边缘构件。计算完成后点击墙肢、边缘构件查看配筋面积计算的过程，如图 15 所示。

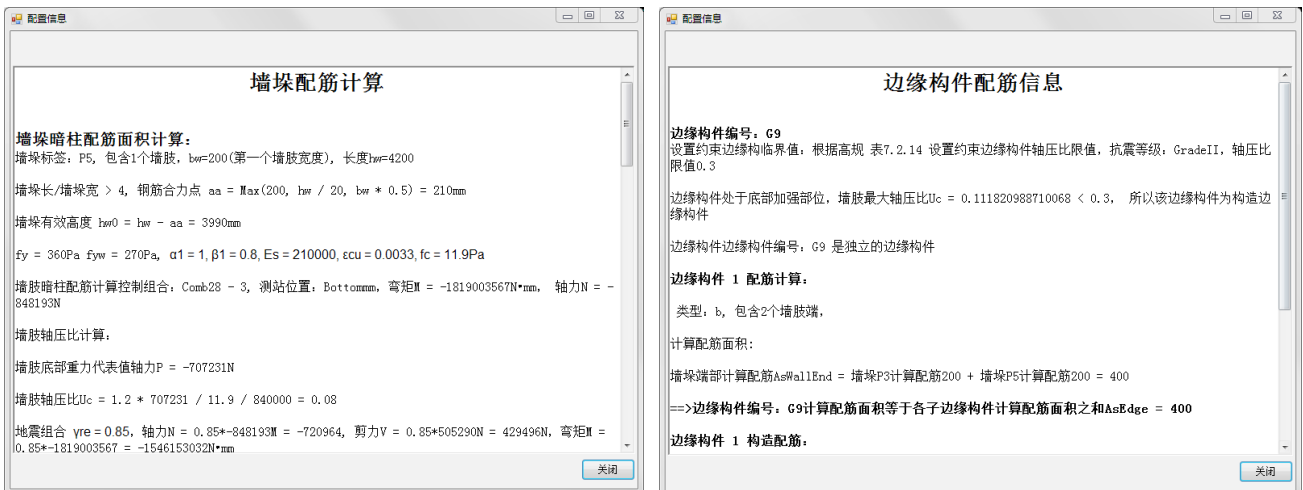


图 15 剪力墙配筋

梁构件配筋可读取设计软件的配筋结果，也可读取梁构件设计内力按照混凝土规范计算截面配筋，计算后点击构件查看配筋计算的详细过程。梁配筋设计可以采用规范设计方法，也可以采用 PM 曲线设计方法，如图 16 所示。对于型钢梁 CiSDC 软件默认采用 PM 曲线设计方法。

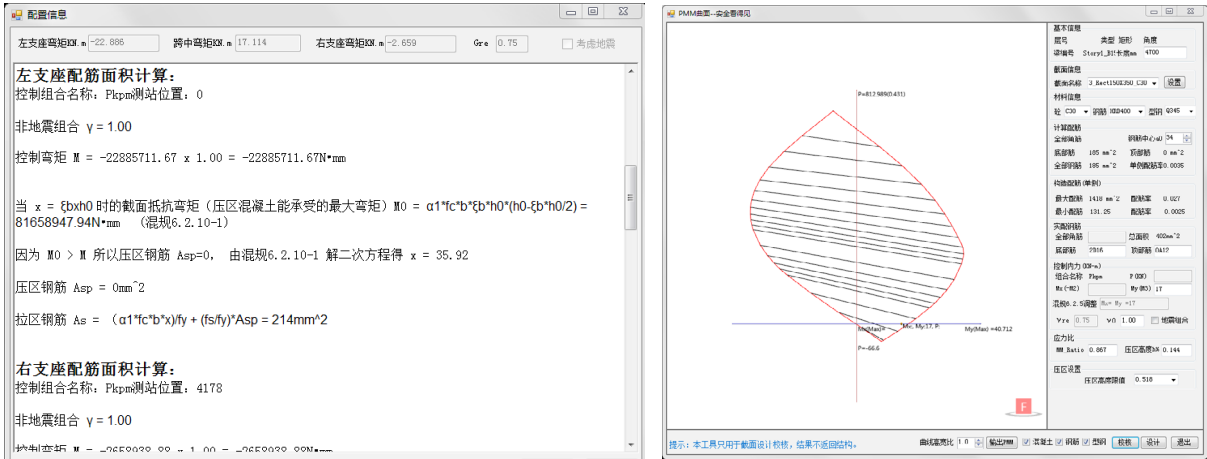


图 16 梁配筋计算方法

读取模型后，对楼板划分、板厚度、标高、荷载等信息在软件中可进行编辑，如图 17 所示。楼板调整后，根据调整后模型进行楼板配筋计算，计算的配筋结果包括板底钢筋面积、板顶钢筋面积。板按照设计手册提供的方法进行内力计算和配筋设计，可以按弹性楼板计算、塑性楼板计算。

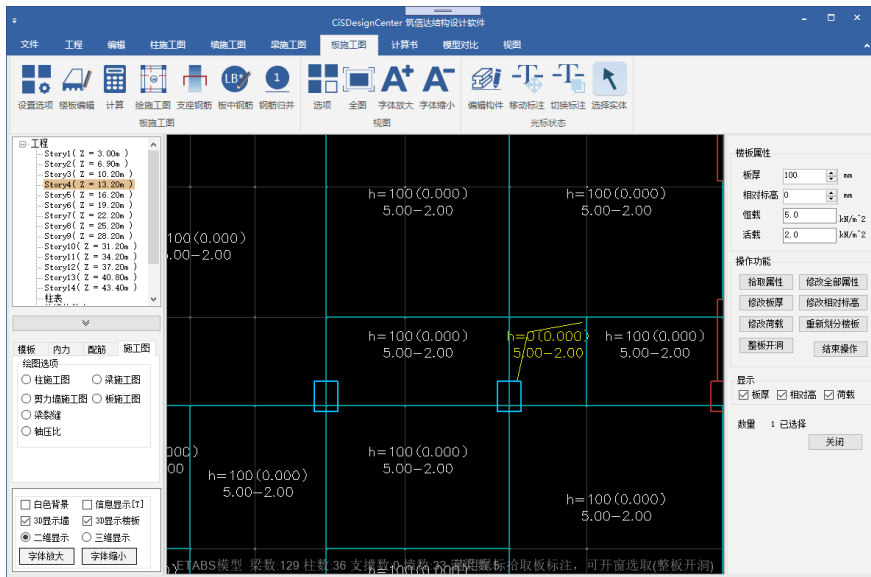


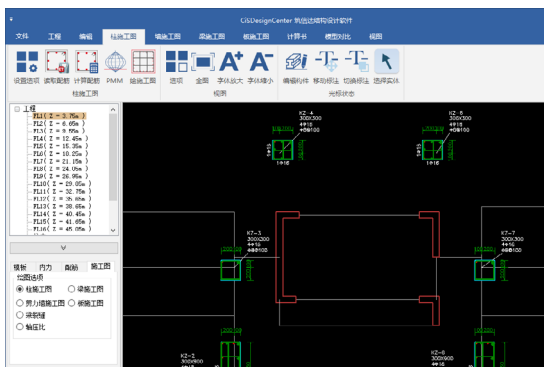
图 17 板信息显示与编辑

8.2 施工图设计

CiSDC 软件导入模型后，可根据导入的配筋信息生成柱施工图、墙及连梁施工图、梁施工图及板施工图，也可按照本程序计算配筋结果或者包络配筋结果生成施工图。

生成施工图时，CiSDC 软件采用整体经济性能评估方法进行构件归并。例如软件判断两串几何条件相同的梁是否能够进行归并时，不是根据各个对应的支座或跨中位置的配筋面积差是否符合归并条件，而是先按两根梁最大配筋面积进行实际配筋，再用整根梁实际配筋量与各自梁串实际配筋量进行对比。如果实际配筋差值在用户设定范围内则将两根梁进行归并，否则不能归并为一根梁。

柱、墙、梁生成平法施工图，柱、墙施工图可以选择原位画法和表格画法。梁施工图中进行支座的自动判断与调整，绘制平法施工图。板施工图采用平法与传统绘图方法相结合的方式绘制。

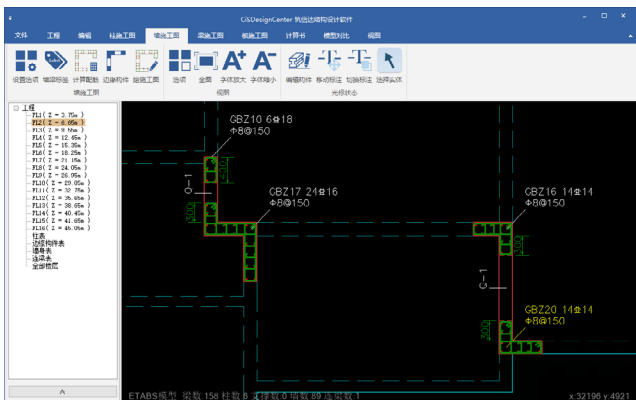


柱平法施工图-原位注写

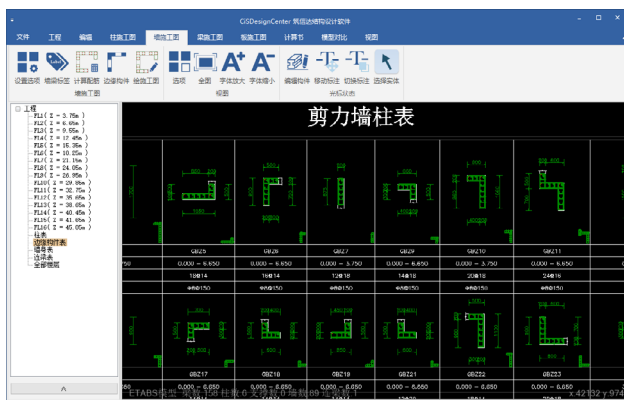


柱平法施工图-列表注写

图 18 柱平法施工图



剪力墙原位方式施工图



剪力墙施工图表格画法

图 19 剪力墙施工图

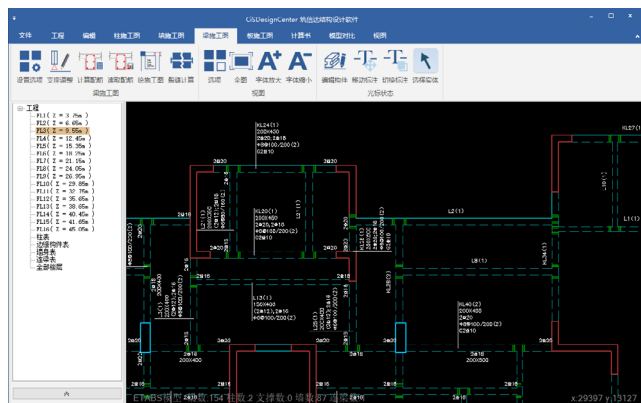


图 20 梁施工图局部

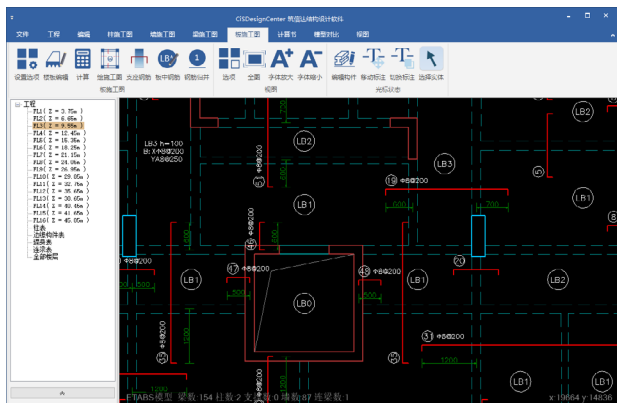


图 21 板施工图

8.3 施工图编辑

在施工图阶段，CiSDC 软件提供了丰富的人工干预功能，用户可以通过设置施工图选项、编辑选筋库、构件编辑、移动标注、添加、删除等功能完善施工图。图 22 为梁构件的配筋编辑对话框和板配筋编辑。

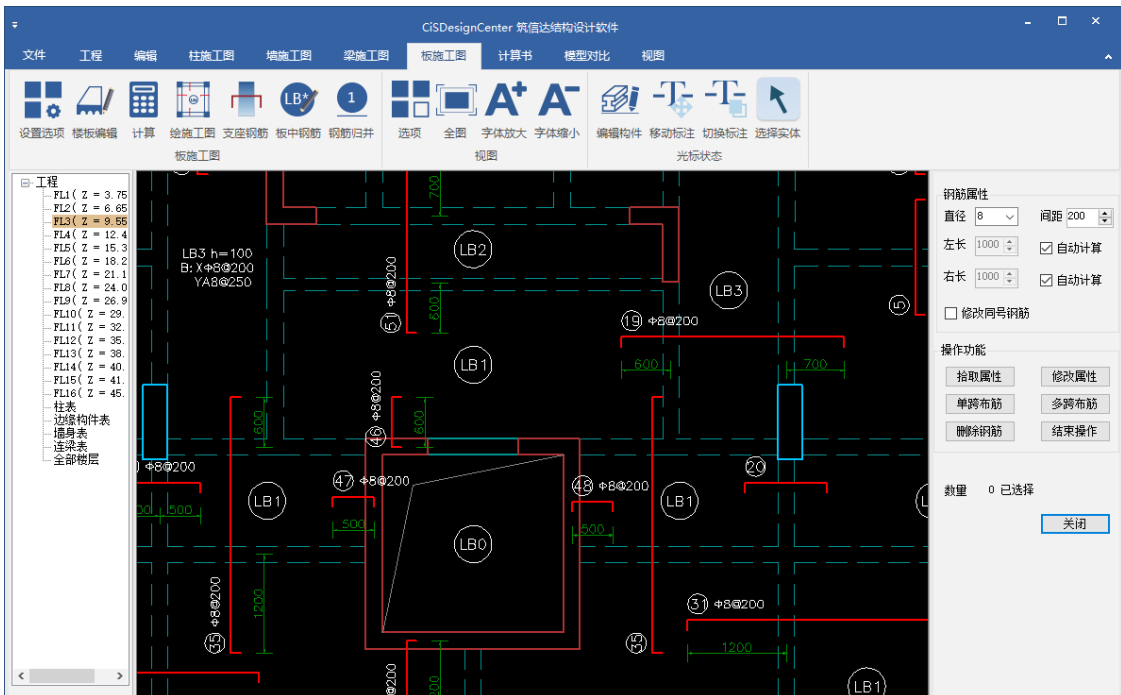
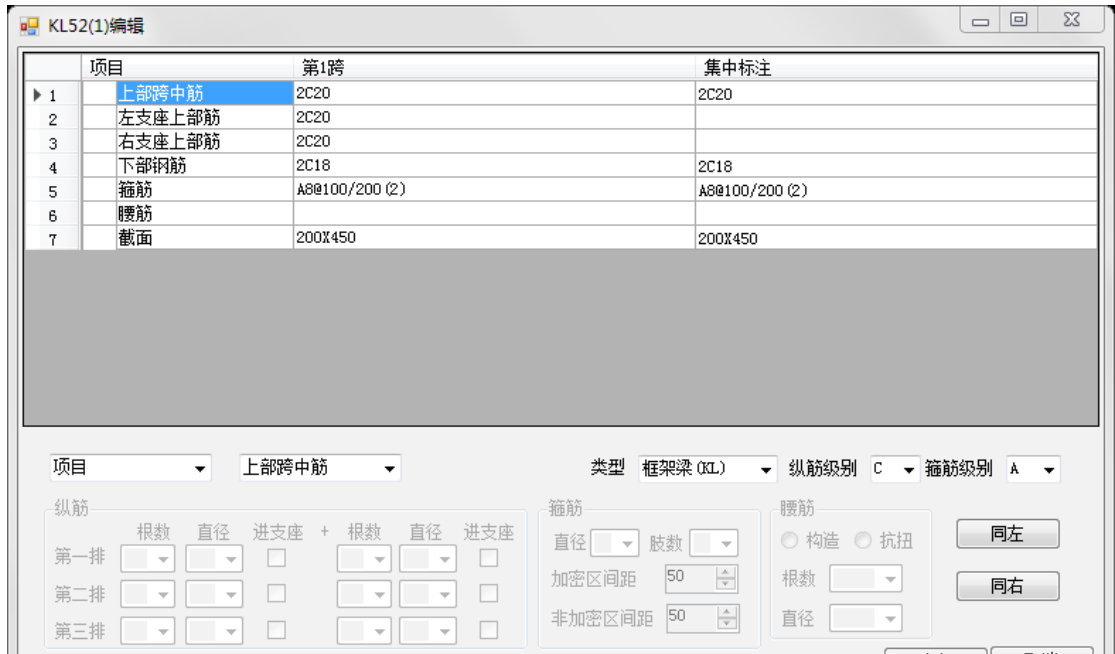


图 22 梁、板构件钢筋编辑

9 结束语

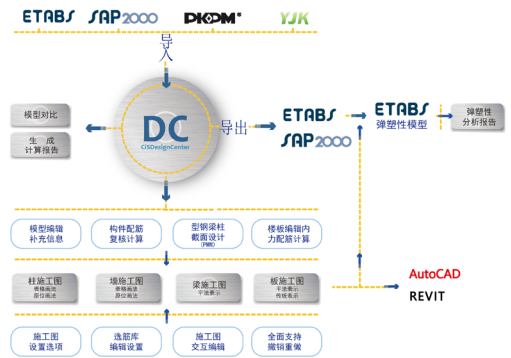
CiSDC 软件实现了多软件的模型转换、快速高效的多模型对比，是工程模型多套软件校核的好助手。同时，CiSDC 扩展了 ETABS、SAP2000 的应用场景，丰富了构件设计、施工图绘制、计算书等功能，也为生成 ETABS 的弹塑性分析模型提供了最便捷的途径，CiSDC 是使用 ETABS、SAP2000 的最佳拍档。希望 CiSDC 软件助力提升工程设计工作的效率，成为工程师们的好帮手。

全新发布

直播 2020年7月10日 14:00



筑信达结构设计软件 CiSDesignCenter（以下简称 CiSDC）是北京筑信达工程咨询有限公司开发的结构辅助设计软件。CiSDC 软件可读取多种结构设计软件模型信息及分析、设计结果，进行模型显示、构件类型判断、模型编辑修改，按照构件类型分别进行各种构件配筋计算、复合截面的配筋设计、施工图绘制，对结构进行舒适度验算、计算结果整理输出计算书，并提供模型转换、弹塑性模型输出等功能，也支持同时导入两个不同分析模型，采用双窗口进行内力、配筋结果对比，并生成结构大指标的对比文档。CiSDC 软件为结构设计工程师提供了多项结构设计需要的功能。



[点击了解更多功能特性](#)

新增及改进功能

1. 在线许可

- IDEA v20 采用全新的在线许可系统代替本地许可的激活方式，用户只需输入用户名和密码即可登录个人账户并激活 IDEA 软件，默认的用户名为个人邮箱地址。

2. 钢节点模型的剖面视图

- 用户可根据需要定义任意范围和大小剖面视图，形象直观地标识焊缝尺寸以及板件厚度。模型剖面视图既可直接打印出图，也可以插入计算报告或备份至图库。

3. 新的模板和加工操作

- 在几何建模向导中新增超过 110 种模板，进一步帮助用户高效便捷地创建复杂的钢结构节点模型。

4. 全新的 BIM 管理器

- 采用全新界面的 BIM 管理器支持有限元模型和 CAD 模型的同时导入，同时新增多个便捷工具帮助用户快速及准确地导入整合节点模型。

.....

[点击了解更多功能特性](#)

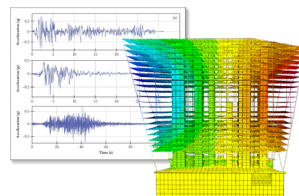
新增及改进功能

1. 结构模型

- 非线性分层壳单元支持金属材料采用基于 von Mises (J2) 屈服准则的塑性模型。

2. 加载功能

- 基于面对象施加的自动风荷载可根据需要以单向或双向导荷的方式传递至框架对象。
- 基于俄罗斯规范 SP 20.13330.2016 的自动风荷载支持动力加载 (Dynamic) 类型。

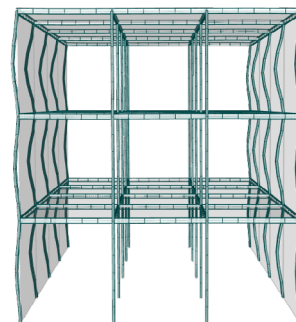


3. 设计功能

- 新增铝结构设计规范 AA-2015
- 俄罗斯钢结构设计规范自 2011 版本更新至 2017 版本 SP16.13330.2017

4. 图形用户界面

- DirectX 图形模式中的 2D 视图，具有更快的响应速度和最佳的渲染效果
- 优化计算结果的提取和输出，尤其针对非线性静力分析和非线性直接积分法的时程分析



5. API功能

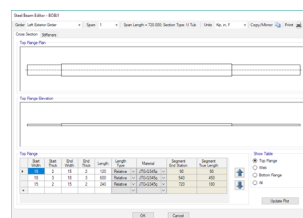
- API 函数支持远程计算机对 SAP2000 实例的启动和控制包括提取结果。该功能可应用于大型分析的并行处理如：性能化设计历程、广泛的参数化研究以及蒙特卡罗仿真。

[点击了解更多功能特性](#)

新增及改进功能

1. 桥梁建模

- 增加了模拟铁路与桥梁相互作用的功能，可考虑道砟和扣件对轨道的非线性支撑作用。支撑属性可随车辆荷载而变化
- 现在可以使用 U 形钢梁截面编辑器轻松地定义翼缘的尺寸和腹板的竖向加劲肋
- 非线性分层壳单元支持金属材料采用基于 von Mises (J2) 屈服准则的塑性模型



2. 加载功能

- 基于面对象施加的自动风荷载可根据需要以单向或双向导荷的方式传递至框架对象

3. 桥梁设计与评估

- 进行 I 型钢梁及 U 型钢梁组合梁桥的正常使用状态校核时可以为混凝土板指定非零的拉伸极限

[点击了解更多功能特性](#)

.....

新增及改进功能

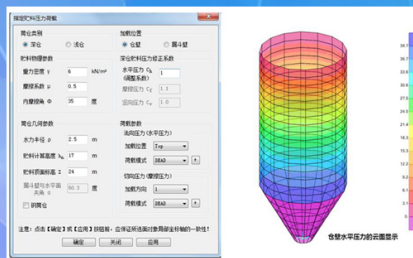
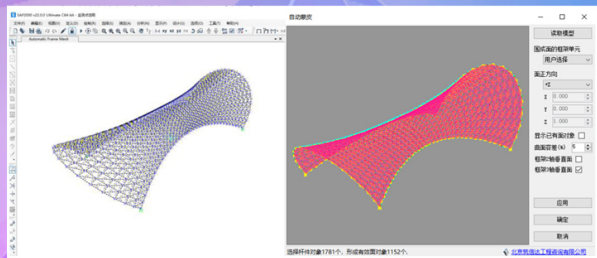
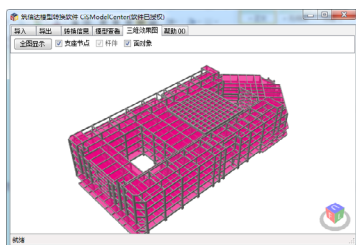
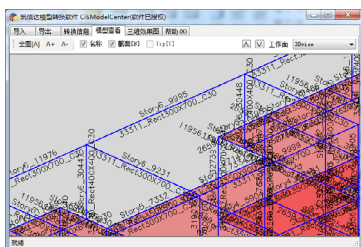
1. 支持模型按楼层查看和三维效果查看，方便用户对模型的检查
2. 支持 SAP2000 到 ETABS 的转换
3. 支持 PKPM、YJK 到 SAP2000、Midas-Gen 的转换
4. 升级对 PKPM 及 YJK 最新版本的数据格式支持
5. 补充导入 PKPM 及 YJK 数据时对总信息的转换
6. 补充导入 PKPM 及 YJK 数据时对荷载及工况组合的转换
7. 改进了用户反馈的一些转换错误

楼层及工作面编辑

名称	间隔 (m)	标高 (m)
Story6	1.6	20.9
Story7	1.6	19.3
Story6	0.6	17.7
Story5	4.2	17.1
Story4	4.2	12.9
Story3	4.2	8.7
Story2	4.5	4.5
Story1	1.4	0.0
Base	0.0	-1.4

重置 确定 取消

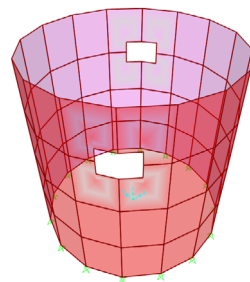
[点击了解更多功能特性](#)



新增及改进功能

筑信达 工具箱 CiSApps

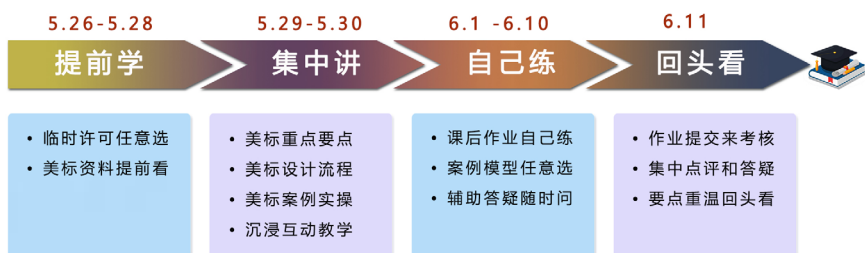
1. 升级 CiSApps 工具箱支持新版 SAP2000 v22
2. 软件安装目录下添加注册工具 (RegisterApps.exe)，当 SAP2000 工具中找不到插件时可以手工进行注册
3. 对所有模块进行测试和 bug 修改，完善使用说明文档
4. 新增“快速面开洞”模块
5. 修复自动蒙皮程序中面没有找全的问题
6. 修复模型导出 Dxf 程序出现程序未响应的问题
7. 补充钢管节点验算计算过程详细参数输出及修改计算过程中的错误
-



[点击了解更多功能特性](#)

美标结构设计培训营圆满落幕

2020 年前半年即将走过，疫情逐渐好转，熬夜加班赶项目又恢复如初。即便如此，也未能阻挡大家学习专业知识的热情。近几年走向海外的国内企业越来越多，让大家对 ETABS、SAP2000 等软件欧美规范应用的培训需求越来越强。在全民抗疫的特殊时期，筑信达摸索如何发挥线上平台优势，开展兼具专业性和互动性的培训活动。经过细致的策划与准备，美标结构设计培训营应运而生。5 月 26-6 月 11 日，国内外五十多家单位近百位工程师与筑信达工程师们一起完成了近 2 周的美标结构设计培训营活动。



在本次培训营中，详细讲解了美标设计的基本框架与流程、美标荷载定义、美标钢筋混凝土框架设计、美标钢结构设计、美标钢节点设计、美标楼板与基础设计等内容。为保证线上培训的效果，课程每章节都设置了随堂考环节，考察学员们对重要知识点的掌握情况，及时巩固相关内容。课堂答疑环节，学员们踊跃提问交流，讲师专业详细解答，赢得了学员的一致好评。培训结束后，大家利用下班和周末时间，积极完成培训后的大作业，最终收到了近四十份美标课程大作业，学习热情可见一斑。筑信达的工程师们仔细检查大家提交的作业模型和报告，认真总结所发现的问题。在大作业点评课上，集中针对常见错误、注意事项、设置流程等再次进行了指导、点评和答疑。最终，结合每位学员随堂考和大作业的综合成绩，评选出 10 位优秀学员。

在美标培训营开营之前，北京筑信达工程咨询有限公司联合北京萨蒂尼工程顾问公司举办“美标结构设计培训营开营特邀公益讲座”，北京萨蒂尼工程顾问公司合伙人左晴先生对两本重要的美国规范 IBC 2012 和 ASCE7-10 进行了详尽的解读，并结合一个钢结构设计案例阐释设计流程。本次公益讲座的反响强烈，在线观看人数突破 500 人。讲座视频现已上传至官网 (<http://www.cisec.cn/Support/OnlineClass.aspx>) 大家可点击回看。

至此，本次美标结构设计培训营活动圆满结束！此次为筑信达首次举办线上培训营活动，报名人数再创新高。在此，筑信达对关注美标培训营的工程师们表示感谢，感谢大家对筑信达产品的肯定和对我们技术团队专业能力的认可。特别地，感谢左晴先生的精彩讲座！感谢参加美标结构设计培训营的学员们！筑信达会继续努力，提供更优质的产品与技术服务，创造更多工程师们交流学习的机会！

优秀学员名单

一等奖：

中国石油工程建设有限公司北京设计分公司 隋 *
北京萨蒂尼工程顾问有限公司 余 *

二等奖：

北京中外建建筑设计有限公司深圳分公司 宋 *
江苏国电新能源装备有限公司 包 *
北京融智设计咨询有限公司 彭 * 丰

三等奖：

华东勘测设计研究院 管 * 林
中国建筑西南设计研究院有限公司 虞 *
中国建筑西南设计研究院有限公司 罗 * 龙
山东电力工程咨询院有限公司 王 * 学
核工业西南院 曹 *



35

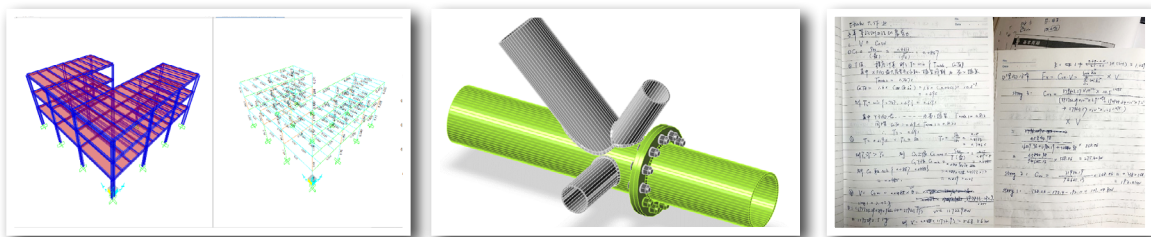
学员反馈

- 本次培训干货很多，对于没有接触过美标的工程师而言，让我对用美标进行设计有了一个初步的认识。让我感觉收益良多。
——东方电气陈工
- 线上培训方便明了，规范与实际操作的结合更容易使人理解。
——上海建筑设计研究院钱工
- 适合有一点基础的人听。建议以后可以分开每周一次。这样能稍微消化一下。第二周有疑问再解答。
——北京萨蒂尼余工

美标设计培训营



部分优秀课程作业



第十四届全国大学生结构设计竞赛计划将于 2020 年下半年在上海交通大学举办。北京筑信达工程咨询有限公司作为本届大赛的支持单位，将向参赛师生提供 SAP2000 相关的使用协助和培训，为提升参赛学生的理论分析和虚拟仿真能力贡献力量。

为了推动 SAP2000 在中国高校中的应用，面向本届结构大赛的参赛师生，筑信达公司将提供全面的软件支持。

有关软件下载、培训需求、入群申请等事宜请通过以下方式联系我们。

筑信达赛事支持联系人：王晋京

010-68924600-606

18519981130

wangjj@cisec.cn

征稿启事



如果你使用过我们的产品
如果你喜爱工程分析

或许你正困惑其中
或许你已成果丰硕

欢迎来这里发声!

这里
可以提问
也可以“炫技”

可以严肃
也可以顽皮

题材不限
风格不拘

只要与它们相关
SAP2000、ETABS、SAFE、
Perform3D、CSiBridge、PLAXIS
……
请速速

筑信达《技术通讯》是面向广大土木工程
师的技术刊物，内容覆盖筑信达全线产
品（CSI结构/桥梁产品、PLAXIS岩土产品
、筑信达自主开发产品）的最新动态、技
术知识。旨在帮助工程师们更好地将软件
产品应用于工程实践，同时也为工程师们
切磋数值分析技术、分享工程应用经验提供
平台!

欢迎广大工程师踊跃投稿!

稿件一经采纳，作者将有机会获赠:

- 技术专著
- 产品单机版免费限时使用权
- 高级培训免费名额

投稿请寄

support@cisec.cn

(请注明“技术通讯”投稿)

期待与你的相识!



你是我的菜



CsIBRIDGE

SAP2000

ETABS

SAFE

PERFORM3D

CiSDesigner

CiSGTCAD

CiSModelCenter

CiSOpenSteel

CiSDesignCenter

PLAXIS

IDEA

**DEEP
EX**



在线支持
support.cisec.cn



网络课堂
www.cisec.cn



知识库
wiki.cisec.cn



视频教程
i.youku.com/bjcisec