

# 工业规模塔设备的虚拟拆装演示<sup>\*</sup>

## ——SolidWorks 软件在化工仿真中的应用(二)

曹睿,刘金龙,刘艳升,钟帆,刘梦溪

(中国石油大学(北京)重质油国家重点实验室,北京 102249)

[摘要]在塔设备的教学中,塔内件的拆装演示是一种高效的教学手段,能使学生直观地了解塔内结构,并深入认识机械构件之间的匹配关系和工程实施细节。利用 SolidWorks 软件建立仿真塔设备模型平台,可以实现 3D 视频教学。特别是内构件的动态拆装演示可使学生完全沉浸到情景学习状态之中,深度了解塔设备结构,建立“工艺装备一体化”的思想。此外,仿真教学可以进行多方案对比和错误案例分析,从根本上改变传统的塔设备教学理念。

[关键词]塔设备; SolidWorks 软件; 拆装演示; 动态仿真; 工艺装备一体化

## Virtual Assembling and Disassembling Demonstration of the Tower in Industrial Scale: II. The Application of SolidWorks in Chemical Engineering Simulation

Cao Rui, Liu Jinlong, Liu Yansheng, Zhong Fan, Liu Mengxi

(State Key laboratory of Heavy Oil Processing, China University of Petroleum, Beijing 102249)

**Abstract:** Demonstration is usually employed as the most effective method to display the assembling and disassembling process of internal components. It enables students to understand the structural of devices intuitively and obtain the specific matching relationships and details during the implementation processes. Based on SolidWorks software, the modeling tower platform has been established, which can perform 3D video teaching in a dynamic way. It is convenient for students to comprehend the structure of equipment while assembling and disassembling, and it provides a feasible way to indulge in case study and establish the idea of process-equipment integration. Additionally, simulation technology can be used in error-case analysis and multi-project comparison and change the traditional design patterns.

[作者简介] 曹睿(1973-),女,副教授,博士。

[通信作者] 曹睿, E-mail:ctray@cup.edu.cn。

<sup>\*</sup> 基金项目:中国石油大学(北京)校级重点教改项目“用 SolidWorks 软件构建‘化工传质设备的机械设计模拟平台’”和“化工原理课程建设”。

**Key words:** Tower; SolidWorks; Assembling and disassembling demonstration; Dynamic simulation; Process-equipment integration

塔器是重要的传质设备,在化工原理课堂教学、实验教学和实践教学等多个环节中都会涉及,塔设备的设计在前期工作中已详细介绍过<sup>[1]</sup>。教学中主要借助图纸、照片或实验模型等静态资源展示塔设备,无法演示其安装、拆卸过程<sup>[2]</sup>,因此学生普遍对塔内件的安装和匹配缺乏感性认识,教学内容也不易实现灵活调整(如将新型设备成果补充进来,针对不同的授课对象设置具有不同特色的教学内容等)。工艺专业的学生需重点掌握如何让设备满足工艺要求,从而达到理想的传质传热效果;机械专业的学生如何使结构、布局安装如何满足力学特征和机械标准;而仪表专业的学生注重如何使仪器仪表的设置和安装满足测量要求。不同专业的不同教学要求对设备的动态展示提出了更高的要求。

针对上述问题,国外提倡采用“虚实结合”的手段<sup>[3]</sup>,通过“三步走”实现对工业装置的快速认知:一是建立具有工业规模的实物塔段;二是配套建立塔段的标准示范图集;三是用 SolidWorks 软件建立仿真塔,实现多元化设计和 3D 视频教学。本文主要介绍仿真塔设备在动态拆装演示方面的作用和虚拟结构设计方面的强大功能,以期培养学生的“工艺装备一体化”思想。

### 一、SolidWorks 仿真塔设备的装配过程

精馏塔装配是指将塔内件按照一定的约束关系连接在一起。塔器存在中心对称和轴对称两种对称关系,且多数塔内件规格相同,在自底向上和自顶向下两种方法相结合的基础上,依据标准配合关系和高级配合关系,以及塔内件的移动、旋转和复制,就能实现精馏塔的高精度装配<sup>[4]</sup>。

塔段装配过程如下:将塔内件导入 SolidWorks 中,使用“移动零部件”和“旋转零部件”将各塔内件按顺序放置;选择“法兰—垫片—法兰”的外圆柱面,使用“同轴心”配合,使两段塔节同轴放置;选择螺栓的外圆柱面和“法兰孔眼—垫片孔眼—法兰孔眼—螺母”的内圆柱面,使用

“同轴心”配合,将螺栓与法兰、垫片、螺母同轴放置,再使螺栓断面和螺母断面与法兰、垫片孔眼的侧面“重合”配合,将法螺栓装配到法兰上,完成塔段的连接<sup>[4]</sup>。实际装配过程中可以按照塔内件功能的不同先进行零件装配、再进行整体装配。对于装配好的精馏塔,在装配环境中修改塔内件也是可行的。

利用 SolidWorks 软件自带的 SolidWorks Motion 插件,不仅能生成爆炸动画,展示零件装配关系,还能生成演示动画,将整个塔的装配过程生动地展现给学生<sup>[5-6]</sup>。该插件是基于时间线的界面,在选择动画和基本运动模拟类型的基础上,对不同塔内件插入“关键点”(塔内件在不同时刻的不同状态),再对不同“关键点”间的塔内件状态进行插值,便可以生成连续状态,达到动态装配的目的。

此外,动态装配还可以进行后处理<sup>[5]</sup>,如将塔内件外观渐隐以显示精馏塔的剖切视图,通过屏幕捕捉再现塔内件的设计过程,利用灯光控制及为塔内件着色和添加材质产生丰富的视觉效果。

## 二、工业规模塔设备的虚拟安装效果

### (一)溢流装置(固定件)的安装过程

如图 1 所示,降液管、受液盘和溢流堰等溢流装置在设备加工过程中满焊在塔段内,不能随便拆卸,所以 SolidWorks 软件中也将其与塔段设置为一体,形成刚性连接。支撑圈和支撑梁等构件采用焊后修平的处理方式,也与塔段形成一体,包括降液板底部和受液盘之间及受液盘下部的支撑筋板。动画演示可以呈现塔段与固定件和支撑件的组装过程。

### (二)浮阀在塔盘板上的安装过程

图 2 展示了浮阀在塔盘板上的安装过程。将浮阀随机放置在一个阀孔上,对浮阀和阀孔使用“同轴心”配合,即可将浮阀装入塔盘板。浮阀装入后,可动画演示浮阀在升程范围内上下浮动和旋转的效果。教学中可以先通过主视和俯视 3D

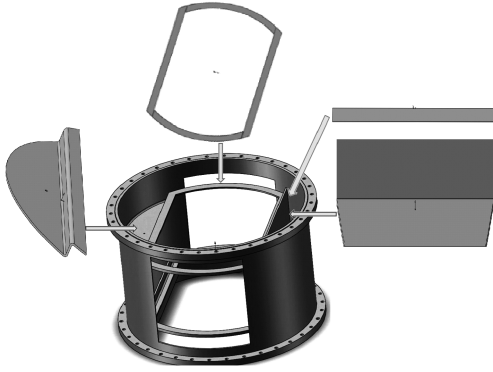


图1 溢流装置(固定件)在塔内的安装过程

效果图说明 F-I 型圆阀的结构,然后解释说明两点:1.塔板的真实鼓泡面积(实际气体流通截面)不是阀孔的总截面积,而是浮阀上升过程中形成的环隙截面积;2.圆形浮阀在操作中长期旋转,可能会因阀腿磨损而脱落,由此带来非均匀泄漏和效率低的问题。

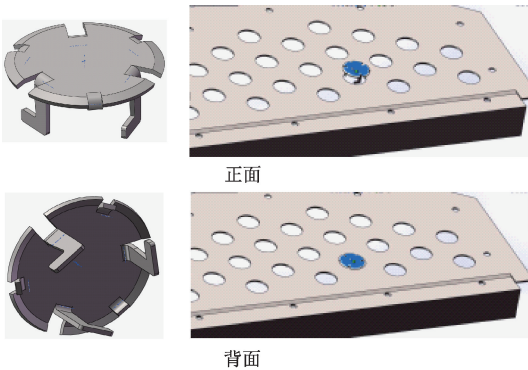


图2 浮阀在塔盘板上的安装过程

### (三)卡子连接件的安装过程

图3展示了单套卡子连接件的组装过程。卡子分为K型和SLB型两类,K型带有底座,SLB卡子没有底座,上下都用螺母固定。安装时对M10螺母、M10螺母垫片、卡子垫片、支撑梁卡片、底座(SLB型为螺母)和M10螺栓使用“同轴心”配合,使它们整体成为一套组合件。

图4展示了卡子组合件在塔盘板上的安装过程,图5为安装位置和效果。K型卡子用于塔板在支撑圈和支撑梁上的固定。卡子螺栓穿过塔盘板上的螺栓孔,进行“同轴心”配合,阀片和底座将塔盘板和支撑梁(或支撑圈)两层板夹紧。SLB型卡子用于两块相邻塔盘板的固定。为了增加机械强度,塔盘板通常在一边设置自身梁,卡子穿过

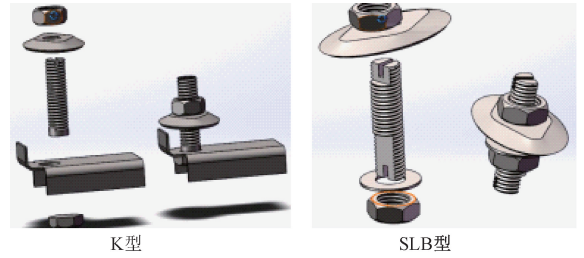


图3 单套卡子连接件的组装过程

梁上螺栓孔,阀片和下方螺母将两块板夹紧。

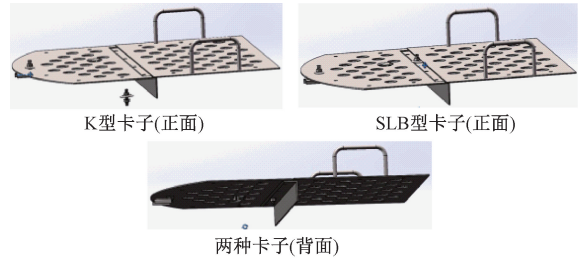


图4 K型和SLB型卡子组合件在塔盘板上的安装过程

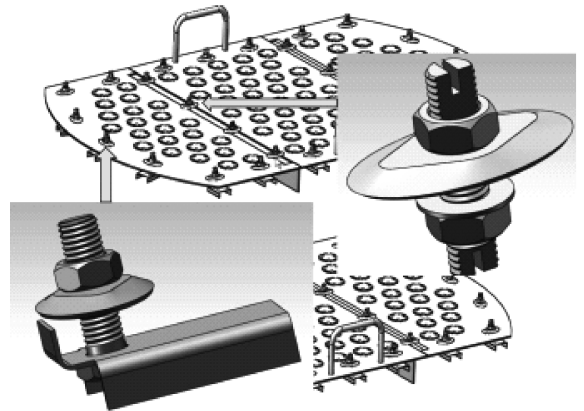


图5 K型和SLB型卡子组合件在塔盘板上的安装位置

### (四)塔盘板(可拆件)的安装和拆卸过程

图6展示了塔盘板的安装顺序:依次在支撑圈和支撑梁上安装两块弓形板、矩形板和通道板,作为工人和物料的通道。拆卸的顺序正好相反,依次为通道板、矩形板和弓形板。

### (五)浮阀塔板的整体组装效果

图7从正面和背面展示了浮阀和卡子组合件在塔盘板上全部组装后的整体效果。利用效果图可以很好地解释鼓泡元件和限位元件的设计要求:设计良好的浮阀塔板,从整体上感受不到塔板分块的影响。浮阀排布都很均匀(低开孔率下也不会出现浮阀集中在塔盘板中心的现象),不会受

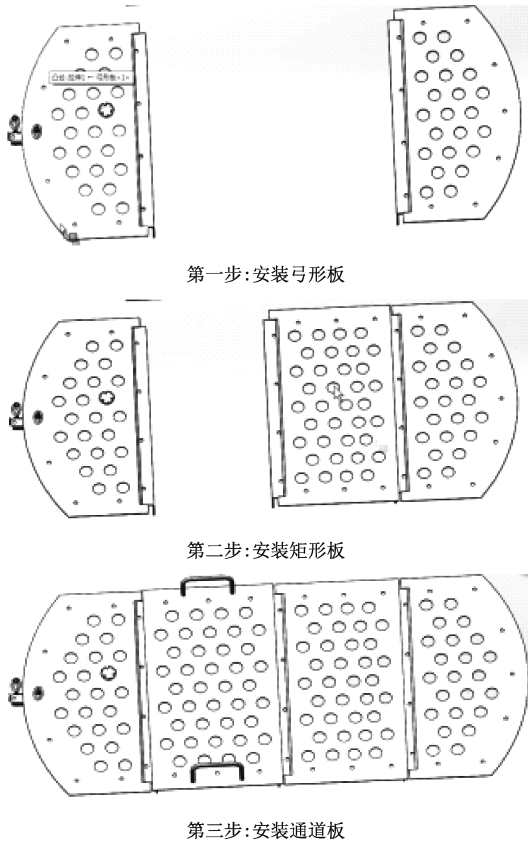


图6 塔盘板在鼓泡区的安装过程

到卡子、支撑结构边缘区的影响;而且用于固定的连接件也均匀排布,在板上以远端固定和近似正三角形排列为宜,不会因局部过密而增加设计成本,也不会因过疏而降低机械强度。

#### (六)塔段的整体组装效果

图8展示了将整体组装好的塔盘板用卡子固定在支撑件上的装配过程:移动和旋转零部件,将各塔内件按顺序放置;选择塔段法兰的外圆柱面,使用“同轴心”配合,使塔节与塔板同轴放置;再逐一选择螺栓的外圆柱面和“法兰孔眼—垫片孔眼—法兰孔眼—螺母”的内圆柱面,使用“同轴心”配合,使螺栓的断面和螺母的断面与法兰、垫片孔眼的侧面“重合”配合,实现塔段的连接。

### 三、仿真塔设备虚拟安装教学的优势

#### (一)进行多方案对比,评价设计效果

仿真塔段具有超强的对比演示和纠错功能。图9所示为正确设计方式与错误设计方式的对比,左图中浮阀全部采用叉排,而右图中通道板上

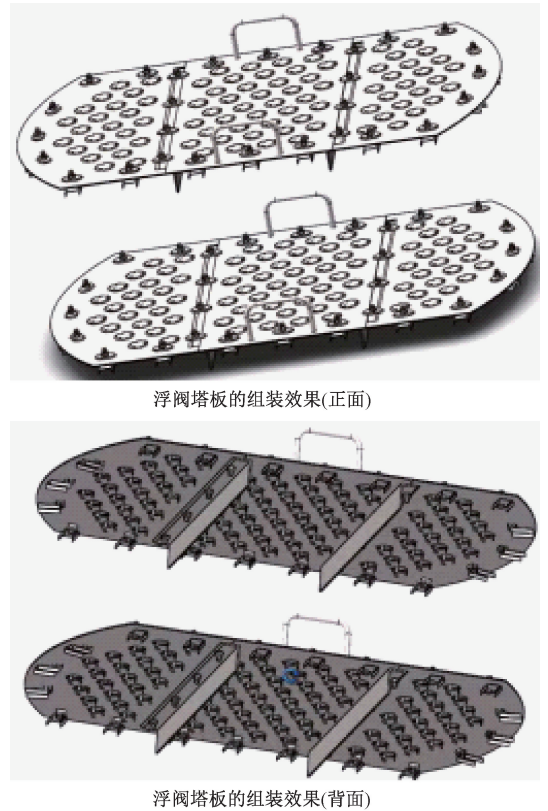


图7 浮阀塔板的整体组装效果图

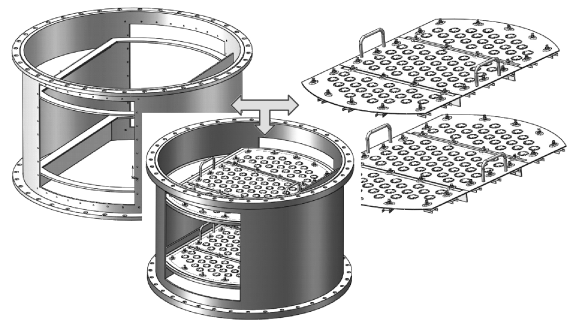
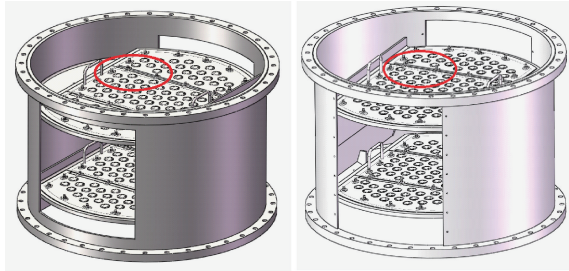


图8 塔段的整体安装过程

的第一排浮阀与相邻弓形板上的第一排浮阀出现了局部顺排。叉排为三角形排列,而顺排为矩形排列,会降低机械强度、扰乱气液鼓泡传质。与实物模型相比,仿真模型更容易实现对比,从而发现设计中的失误并及时进行修改。

#### (二)获得组合装置的平面效果图

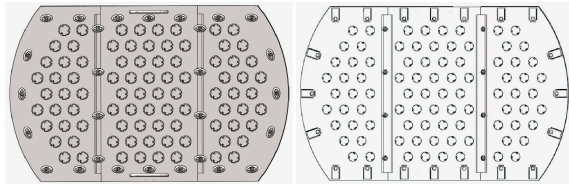
如图10和图11所示,将组装后带有溢流装置和塔盘板的塔段旋转到水平面,可以获得装置的俯视图或仰视图,以便学生将机械制图内容与之结合,实现与装置设计、加工单位和现场安装单位的对接。



叉排

局部顺排

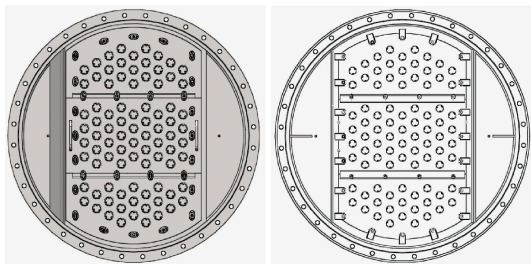
图9 塔设备的整体组装对比效果图



俯视图

仰视图

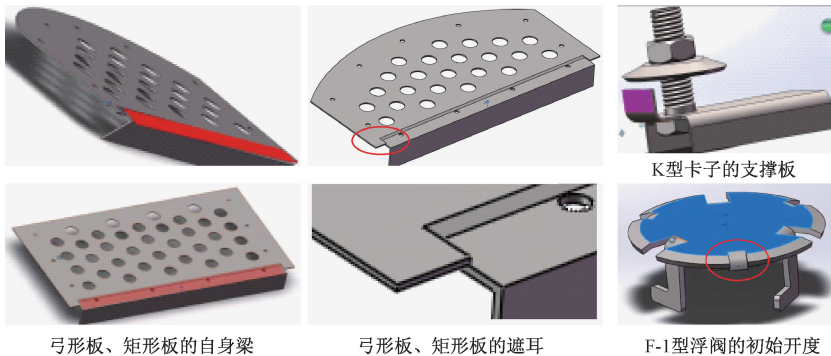
图10 塔盘板的整体组装平面效果图



俯视图

仰视图

图11 塔段的整体组装平面效果图



弓形板、矩形板的自身梁

弓形板、矩形板的遮耳

K型卡子的支撑板

图12 塔内件的细节动态展示

### (三) 进行设计细节的动态演示

一些设计细节很难用文字表述,但是非常适合通过动态演示来理解。图12列举了几种典型情况。展示弓形板和矩形板的自身梁可以发现,自身梁比塔盘板主体平面低一块板的高度,这是为了两块板在自身梁上搭接后保持水平;展示自身梁两边遮耳的结构及放大图可以发现,自身梁两侧为了不与支撑梁相碰,向内缩进,板面上会形成矩形缺口,所以通常延伸出两个遮耳,避免因缝隙造成液体泄漏;展示K型卡子的竖起支撑板可以发现,其与支撑梁(圈)等厚,通常用K6B或K10B分别表示与6mm或10mm厚的支撑圈(梁)连接;等等。类似的结构还有很多,教师在演示时可以自动涂色或加红圈予以强调。此外,还有一些结构虽然不是主要内构件,但对改善设备机械强度和安装的方便程度能起到关键作用。图13中受液盘底部的支撑筋板和降液管底部与受液盘顶部之间的支撑筋板也可以通过动态演示予以说明和强调。

### 四、结束语

三维仿真塔段模型的整体装配和利用相关插件实现的装配流程动态演示高度还原了塔设备的

3D原貌,通过着色渲染几乎达到与观看实物模型同样的效果。而且仿真模型方便携带,很适合在课堂教学中使用。同时,虚拟拆装不仅可以强化学生的感官认识,规范设计理念,还可以体现强大的科技对课堂教学内容的支撑,充分体现行业特色。

设计过程中可能会考虑多种方案,各种方案的设计和运行会有不同效果,设计人员可针对塔

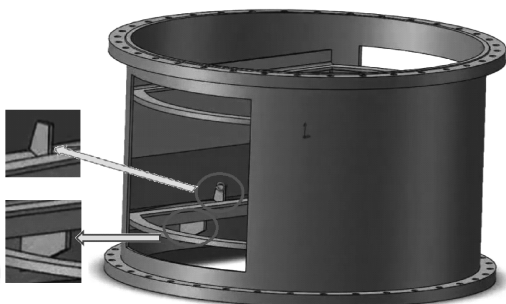


图13 支撑筋板的动态安装展示

设备的气液接触传质效果、设备的制造加工、安装施工成本及操作费用等进行技术经济性对比,为工程实施提供多种选择。虚拟拆装的独具特色之处是可以方便地与错误设计方案进行对比,从而使学生从方便工程实施的角度学习设备性能,注重设计细节。

当代教育提倡学生拓宽知识面,向合理的多元化方向发展。如全国大学生化工设计竞赛对大学生的要求是全方位的,学生要掌握项目的可行性分析、工艺计算、流程设计、工程设计及厂区选址、环评等一系列内容。因此,按照“重理论基础、强工程实践能力、高创新潜质”的培养思路,教学中引入仿真模拟技术有助于形成集创新意识与工程能力培养于一体的培养模式<sup>[7]</sup>。

(文字编辑:李丽妍)

#### 参考文献:

[1] 曹睿,刘金龙,刘艳升,等.工业规模塔设备的虚拟设

计——SolidWorks 软件在化工仿真中的应用(一). 化工高等教育[J]. 2020(2):112-118.

[2] 郗向儒,韩锐,阮静.基于 SolidWorks 的运动仿真研究[J]. 机械设计,2004,21(5):50-52.

[3] 朱红波.基于 Solidworks 的离心泵拆装虚拟教学资源的应用[J]. 新课程(中),2011(6):74-75.

[4] 付永忠.基于 Solidworks 的自顶向下装配体设计及运动仿真[J]. 机床与液压,2006(7):224-225.

[5] DS SolidWorks 公司.SolidWorks Simulation 基础教程[M]. 陈超祥,叶修梓,编.北京:机械工业出版社,2010.

[6] Yang Y. The parametric design and intelligent assembly system based on the secondary development of solidWorks[C]. 2010 2nd International Conference on Computer Engineering and Technology,2010:602-605.

[7] 李正波. Solidworks 教学如何培养学生的创新精神[J]. 科学咨询,2013(z3):56-57.