

# 流程工厂的协同设计与管理

唐卫清 李士才 李雄峰

北京中科辅龙计算机技术股份有限公司

关键词：流程工厂 协同设计 协同工作

## 引言

流程工厂一般是指通过有步骤的化学或物理手段生产产品的工厂，广泛存在于化工、石油、轻工、核工业、船舶和电力等行业。流程工厂的生命周期包括设计、施工建设、运营、改造四个阶段。目前流程工厂的设计与管理正在朝着协同化方向发展。

流程工厂设计管理软件对流程工厂建设起着举足轻重的作用，集中体现为：加快建设进度和降低建设成本、提高生产效率、降低生产成本、优化产品结构、节能环保、设计更加舒适的工作环境。

流程工厂设计涉及众多的专业领域，主要包括：工艺、管道、设备、建筑、结构、电气、自控、暖通和给排水。设计过程中涉及上百种专业设计工具和管理软件。流程工厂设计软件使传统的手工绘图发展成现代最先进的三维数字设计和管理，从而减少了设计图纸错误，提高了设计质量，降低了工程成本；加快了设计进度，提高了设计复用率和效率，有效地控制了管道安装的质量和进度；自动生成符合工程采购及材料施工组织需要的各类材料报表；自动生成各种工程设计文件，减轻工程技术人员的工作量。

现代流程工厂的工厂规模、知识含量、技术含量、复杂化程度都越来越高，涵盖流程工厂全生命周期的设计、施工到运营管理。可以说，在计算机技术已构成产业经济发展最基本的技术环境的今天，没有先进的软件工具，就不可能建设高品质的现代化流程工厂。

流程工厂协同设计和管理系统是现代化流程工厂从设计、施工到运营管理都不可缺少的基本技术工

具，发展具有中国自主知识产权的流程工厂协同设计和管理系统，对提高中国流程工厂的技术水平和现代化程度，提升中国流程工厂的国际竞争力，具有十分重要的战略意义。

## 国内外流程工厂设计软件概述

目前国内外有很多三维工厂设计软件，国外软件主要有：Intergraph公司的PDS和SmartPlant、Bentley公司的OpenPlant、AVEVA公司的PDMS等。国内软件主要有：北京中科辅龙计算机技术股份有限公司（简称中科辅龙）的PDSOFT 3DPiping、长沙优易软件开发有限公司的AutoPDMS、长沙思为软件有限公司的Pdmax、上海易用科技有限公司的WinPDA、上海尤里卡数据系统中心的PDES等。下面分别对典型的软件做具体的介绍。

Intergraph公司是最早开发三维工厂软件的公司之一，其早期的产品是PDS，最新的产品是SmartPlant。SmartPlant集成了工厂设计中的几个主要专业设计工具，同时提供了统一的工厂数据模型表达。

SmartPlant的主要特点有：（1）SmartPlant® Foundation是整个工厂生命周期中数据共享和数据重复使用的中心，通过该工程数据集成环境优化了工程过程，提高了生产效率及各个专业之间的通讯效率，从而缩短了项目的周期；（2）提供全球性的、并行的工程设计能力，允许多个专业在同一个关系数据库上同时进行工作，这时所有对模型所做修改在所有用户之间实时共享；（3）先进的变更管理的工具，动态的监视设计规则的遵守情况，碰撞

检查与设计过程同时进行；（4）先进的关系管理系统，智能管理对象间的相互关系，当模型被修改时，相应的部分会自己做出相应的变化。

AVEVA公司的PDMS为一体化多专业集成布置设计数据库平台，在解决工厂设计最难点——管道详细设计的同时，解决设备、结构土建、暖通、电缆桥架、支吊架各专业详细设计，各专业间充分关联联动。从三维模型可直接生成自动标注的分专业或多专业布置图、单管图、配管图、结构详图、支吊架安装图等，并抽取材料报表。

PDMS的主要特点有：（1）以数据库为核心，不会发生数据和图形不统一的设计故障；修改三维模型后，相应的图纸标注自动更新；（2）自动配管，可根据系统规则（无碰撞、路径最短）或用户自定义规则自动进行管道布置；（3）支持实时碰撞检

查；同一项目、同一空间的任何专业模型均参与碰撞分析；（4）支持全球异地协同设计的设计，可将不同地点的本地设计模型通过互联网进行同步，进行实时异地协同设计；（5）软件开放性：用户可对任何类型元件非常方便地定义及应用自定义属性。界面源代码完全开放，用户只需学习一种开发语言PML。PDMS本身的数据库完全开放，支持SQL，ODBC和OLE-DB；其他三维设计模型可通过DWG、DGN、STL导入PDMS作为设计参考，参与碰撞检查和整体漫游；（6）同先进第三方软件兼容<sup>[2]</sup>。

美国Bentley公司工厂设计软件有：PlantSpace（基于Microstation）和AutoPLANT（基于AutoCAD）以及最新发布的基于ISO 15926数据模型开发的OpenPlant。

OpenPlant产品主要包括<sup>[3]</sup>：（1）Bentley OpenPlant

## 2010年CCF青年科学家奖推荐工作启动

为激励和表彰中国计算机及相关领域里在科学研究、技术发明、系统开发及应用推广等方面有突出成就和重大贡献的青年科技工作者，促进青年人才成长，中国计算机学会从2010年起设立CCF青年科学家奖，每年评选1次。

2010年度CCF青年科学家奖推荐工作即日启动，有关内容如下：

### 评选对象

在科学研究、技术发明、系统开发及应用推广等方面有突出成就和重大贡献、1970年1月1日以后出生的CCF会员。

### 推荐方式

1. 采用（联名）推荐方式。由不少于3名CCF理事、监事或高级会员联名推荐（也可混合推荐），填写推荐表格。推荐者中须有1人非常熟悉被推荐人成就和贡献情况，该推荐者称为主推荐人。主推荐人须能对被推荐人情况进行书面或口头陈述，并回答评奖（分）委员会的问题。
2. 每一位推荐人本次推荐人数不超过2名。

### 评选流程

1. 受理推荐材料；
2. 评奖分委员会评选出不超过10名候选人，报送CCF奖励委员会；
3. 终评委员会评选出不超过5名获奖者，网上公示评奖结果；
4. 2011年1月22日，CCF青年科学家奖颁奖。

详情可登录[www.ccf.org.cn](http://www.ccf.org.cn)查阅

联系方式：[ccf-yx@ict.ac.cn](mailto:ccf-yx@ict.ac.cn) 010-6256 2503-22

PowerPID V8i: 这是唯一一款基于全面开放数据模型的商用管路及仪表布置图 (P&ID) 解决方案, 其基本数据模型模式为ISO 15926, 映射到ISO 15926模式的任何应用程序均可以与OpenPlant PowerPID 实现互操作; (2) Bentley OpenPlant PDx Manager: 用户通过它能够实现到PDS项目数据库的实时连接, 实时读取所有PDS数据, 而无需译码、转换或提取; (3) Bentley OpenPlant Modeler V8i: 该软件是使用ISO 15926数据模型的首款三维工厂建模软件。OpenPlant Modeler V8i包含正不断提升的MicroStation V8i的所有功能, 提供市场领先的工厂创建平台, 可以服务于全部基础设施领域。OpenPlant Modeler V8i是原生支持工作流 (结合了DGN、RealDWG、点云和PDF等常用软件标准) 的唯一工厂建模软件; (4) Bentley OpenPlant ModelServer V8i: 该软件是能够有效和高效管理文件和构件的首款工厂设计服务器软件, 也是需要松散“连接”的全球开源项目的理想之选。奔特力的ProjectWise协作服务所支持的文件管理对于可交付物和工作包的高效交换而言至关重要, 同时, 构件管理支持使工作的抽象、生产力和质量提高到一个更高的水平。使用Bentley OpenPlant ModelServer V8i的项目还可以首次受益于多种设计环境中可互操作的工作流, 包括Intergraph的工厂设计系统PDS, 以及Bentley的 AutoPLANT和PlantSpace; (5) Bentley OpenPlant Isometrics Manager V8i: 该软件是能够从三维工厂模型自动实时提取和整合全部信息的首款

单管图生成软件。尤其是, 这种“按需”的智能化等轴视图在整个工厂生命周期 (从采购、制造和施工到“竣工”和“安全运营”维护) 中对于所有者和运营商而言依然重要。

从上述三大国外工厂设计软件发展趋势看, 今后的流程工厂设计软件的特点有: 多种专业在统一的平台上协同工作; 多种专业的数据存储于公共的数据平台中, 便于数据共享; 数据模型采用通用的国际标准ISO 15926; 流程工厂设计软件从为设计服务向为工厂全生命周期服务转化; 软件的开发性更强, 能够和其他设计软件做数据交换。

## 理想的协同设计和管理系统

一个较为完整、系统和理想化的流程工厂协同设计与管理系统的管理主要有以下几个方面特点或要素: (1) 贯穿流程工厂的全生命周期, 包括设计、施工、运营、改扩建等几个方面, 要求相关的数据能够实现有效传递, 为此一般采用集成数据管理加各类专业软件的模式实现协同设计与管理; (2) 专业软件种类齐全, 满足设计需要。一般来讲, 流程工厂设计涉及工艺、设备、管道、建筑、结构、暖通、给排水、自控、电气和总图等20多个专业, 以及相关的设计校审、设计管理等工具, 涉及的软件种类在100种以上。如果要实现较为完整的协同, 那么原则上就要实现这些软件之间的功能或数据协同; (3) 根据实际需要支持不同协同层次。不同功能间

## CCF推出“会员成就”发布平台

为了更好地服务广大会员, 为会员展示、传播、分享个人成就提供平台, 促进同行交流, CCF网站推出了会员成就在线发布平台。会员可以在登录状态下, 实名发布个人或其他会员的成就信息。

会员获奖、发表论文、出版书籍、职位晋升等均为会员成就, 均可和其他会员分享。会员在填写相关信息后可以选择是否在前台页面展示, 还可在个人信息管理平台上进行修改。详情请点击: [www.ccf.org.cn](http://www.ccf.org.cn)的“会员成就”板块。

让全体会员分享会员成就!

(雨)

的协同需要不同层次的数据交换，从粗粒度的文件传递到细粒度的数据交换均需要支持。如图纸的批注一般只需要文件级传输就可以实现，而P&ID和Piping之间的协同则需要在数据模型语义级实现协同；  
 (4) 尽可能完整的设计、施工、运营管理功能。协同和管理是不能分离的，除了数据交换之外，协同还有另一项重要的内容是实现协同设计、施工和运营工作的管理。如设计相关的人员、项目、设计资源、标准规范、计划、合同、费用、会议、设计条件、设计资料、流程等均需要按照协同的理念进行有效的管理，这样才能真正提高设计效率和质量。

## 设计和管理并存的数据模型

为了适应上述流程工厂设计软件的发展趋势，实现理想的流程工厂协同设计与管理系统的，PDSOFT

协同设计管理将贯穿设计、施工、运营三个阶段以及运营阶段中的改扩建，所以协同设计管理系统可分为设计版、施工版、运营版，提供所有的管理功能。这就给PDSOFT协同设计与管理系统的数据库模型提出了更高要求，不仅要在该数据模型中支持设计数据，而且要提供对施工和运营数据的支持，同时在其上提供综合管理数据的功能，最终达到设计和管理的数据共享，实现设计和管理内容的一致和统一。

为了达到上述目标，我们提出了通过构建协同工作支撑平台，实现设计和管理并存的数据模型，采用多分类内容库（Multi-definition Content Repository）来描述数据模型，使用“内容”来描述业务逻辑对象。内容是为了方便计算机对信息进行处理而提出的概念，它是封装在数据中的信息，采用面向对象的描述方式，使得计算机可以理解并处理各种丰富的信息。

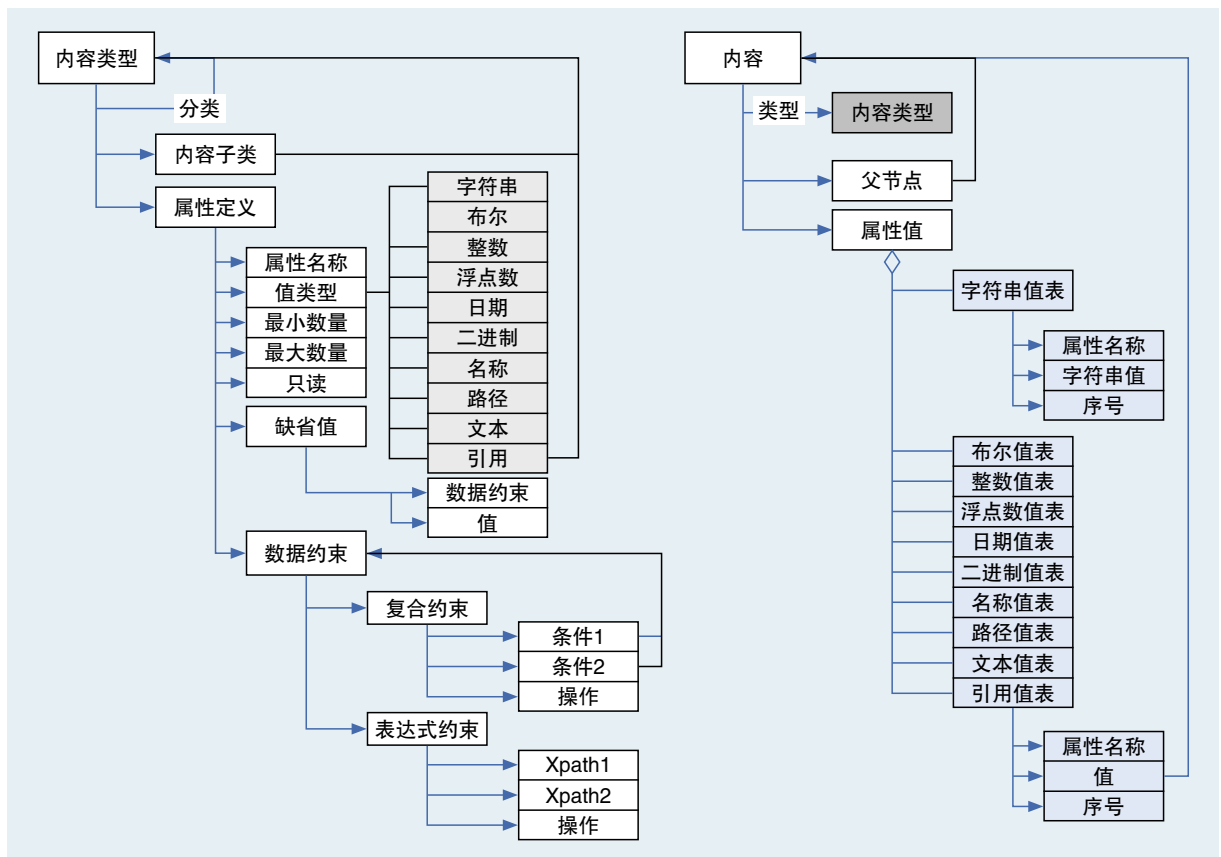


图1 PDSOFT协同设计与管理系统的数据库模型

内容使用<属性、值>二元关系的有序集合来描述业务对象。如图1所示，内容表示为节点，该节点具有一个或多个属性值，也可以包含子节点，子节点本身也是一个内容。节点的属性值的数据类型可以有字符串、整数、布尔、浮点数、日期、二进制、文本、名称、路径、引用等10种类型。与高级计算机语言类似，字符串、整数、布尔、浮点数、日期、二进制是基本的数据类型，而名称、路径、引用则是用来描述内容之间的关系。这样一个组织的内容库就通过父子关系形成一个树状结构，从根节点到当前节点的节点名称集合形成了该内容的“路径”，通过和命名空间的结合，可以在任何物理位置上惟一确定一个内容节点和属性。

一个内容可能包含不同领域和不同物理空间中的属性，即引用或使用远程内容作为属性。为了支持跨领域和跨内容库的数据描述，实现网络透明，在内容库中采用命名空间（Namespace）的概念。命名空间用来描述一个节点或者属性的位置。通过命名空间可以对内容库和内容、属性进行惟一确定，为应用开发提供网络透明的内容存取机制。

与面向对象的概念类似，内容库也采用引用和从属两种关系来描述内容之间的关系：

**1. 引用关系** 内容A引用内容B，指内容A有一个引用、路径或者名称的属性，值为B惟一标识符、在命名空间中的全路径或者名称。当内容A被删除、移动、锁定、版本标记时，B不受影响。引用关系用来建立内容之间的弱关联。

**2. 从属关系** 内容B从属于内容A，指当内容A被删除、移动、锁定、版本标记后，B也随之被赋予相同的操作。在模型上表示为B是A的子节点。从属关系用来建立内容之间的强关联。

内容的结构是由内容类型来定义（内容和内容类型的具体内容如图1所示），描述内容可以具有哪些类型的子内容和属性。对于属性，通过属性定义，确定内容的属性名称、值的类型以及数据约束。与面向对象中的“继承”概念类似，内容类型也是可继承的。一个内容类型可以继承多个父类型，即多继承。

一条内容可以同时拥有多个类型，所拥有的属

性是这些类型定义的属性的集合，这就是内容多分类的概念。

## 灵活的设计流程定义

在协同工作支撑平台中，不仅需要数据模型，在流程工厂的全生命周期的管理中还需要设计流程管理这一重要功能。由于各个设计院、施工单位、运营单位的管理流程是不同的，同时各个设计院之间的管理和设计流程也具有各自的特殊性，这就要求软件能够对设计流程进行灵活的定义，达到适应不同单位的目的。我们在协同工作支撑平台中定义了流程模型以支持此功能。

流程模型描述机构的各个组织单元将如何协作完成各项业务。协同工作支撑平台采用工作流来描述流程模型。工作流包括一组任务（Task）及其相互顺序关系、流程及任务的启动和终止条件以及对每个任务的描述。流程模型如图2所示。

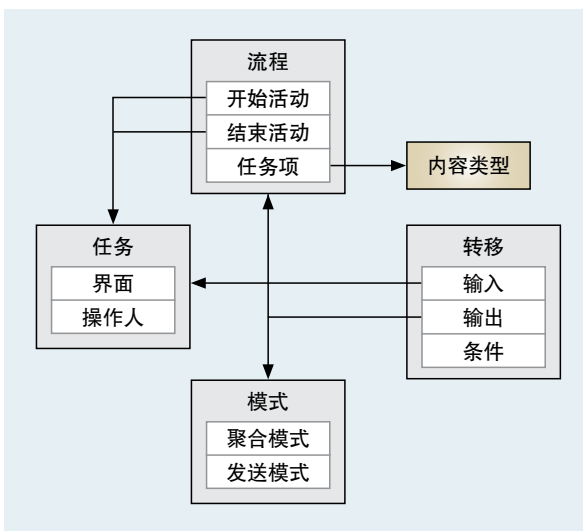


图2 流程模型

企业应用系统中包含多个工作流。流程是一个可重用的模板，已定义的流程可以在不同组织和应用间重用。每个流程都对应对一类内容的处理，即任务项。任务项一般指内容，在定义流程时，需要指定流程关联的内容类型。设计人员可以根据组织需要调整流程结构，甚至在运行时，参与人员可以

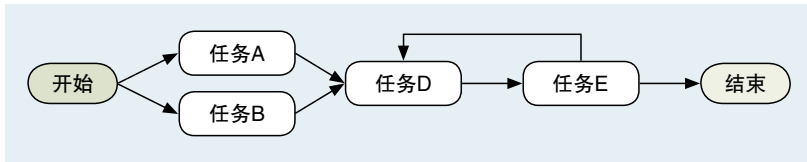


图3 单线程流程

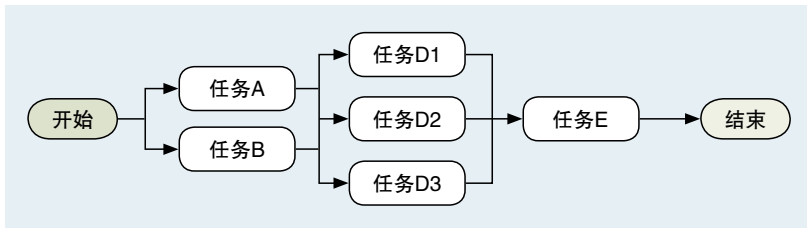


图4 串行流程

根据实际情况以及设定的权限来调整流程。

任务表示流程中用户需要完成的工作。一般来说，每个流程都有一个开始任务，一个或者多个结束任务。

转移标记任务的流向。转移包含输入和输出，一个任务可以被转移到另一个操作、模式或者子流程。转移可以定义条件，即进入该转移时工作项必

须满足的条件。条件中可以定义某个内容属性值应该满足的取值范围，类似数据约束。

模式是一种特殊的操作，它是自动执行的。模式包含聚合模式和发散模式。聚合模式对输入的转移进行判断，决定立即转发，或者根据某种条件转发。发散模式决定如何选择后续的转移。聚合模式分为：

**同步聚合** 所有转入转移都完成后才转发；

**异步聚合** 只要有一个转入

转移满足即可转发；

**多重聚合** 也称为异或聚合，部分转移满足即可转发。

发散模式分为：

**并行发散** 进入所有转移对应的操作；

**异或发散** 即进入任何一个转移，一般由用户选择待进入的分支；

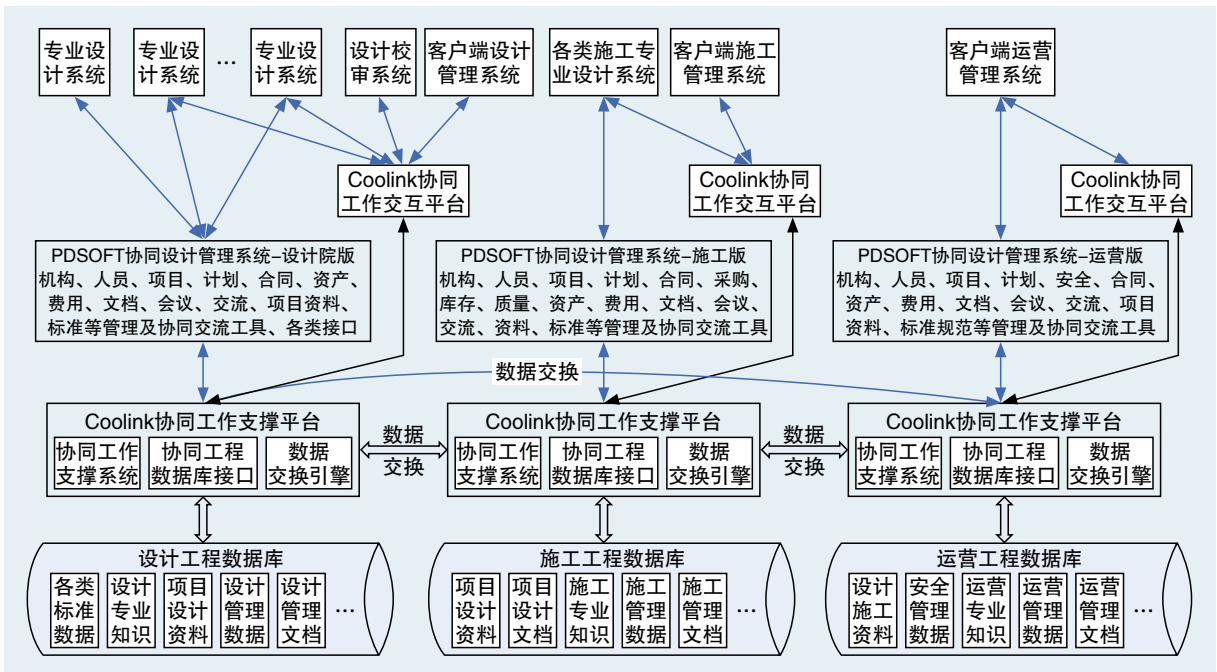


图5 PDSOFT协同设计管理系统产品架构

**鉴别发散** 根据转移的进入条件判断是否进入该转移对应的操作。

根据应用的需要，可以对流程模型进行简化。常用的流程模型有：单线程流程和串行流程。

单线程流程指任何时刻流程都处于而且仅处于某一个状态，这适合大部分的实际应用需求。在这个模型中，所有模式都是异步聚合和异或发散的，如图3所示。

串行流程指在流程中，任务是逐个向前推进的，如果某个任务需要转移到前序操作，则回溯的工作需要逐个前移，如图4所示。

## PDSOFT产品组合

PDSOFT协同设计管理系统贯穿设计、施工、运营三个阶段以及运营阶段中的改扩建，所以将其分为设计版、施工版、运营版，产品架构如图5所示。

协同的核心是项目，围绕设计、施工、到运营、改扩建等过程有以下相应的管理：关联单位、关联人员、计划、费用开支、业务流程、设计条件等。为了提升效率，除了要尽可能实现数据共享或交换之外，还要提供相应的工具来加快信息流动的速度，如文件传阅、邮件、短信、即时通讯、桌面信息推送、待办事项提醒等

首先选用的协同方案是：大多数采用文件级协同，在设计条件、校审等环节提供数据协同，同时还要在P&ID、3DPiping、结构、支吊架、暖通、电缆桥架、给排水等专业软件方面提供数据级协同。

最终，以现有的PDSOFT系列软件为基础，建立起可以集成流程工厂其他设计软件的协同平台，形成各种专业软件在协同平台基础上的集成，创造这样一种架构：与流程工厂设计和管理相关的各种专业软件公司提供各种专业软件，最终这些专业软件被集成到一个平台上进行工作。

因此，中科辅龙的协同设计管理系统定位是这样一个框架系统（或平台）：除了容纳辅龙现有的专业设计软件之外，它还可以根据需求不断吸纳其他优秀软件加入到系统之中，形成协同设计和管理

的联盟，共同应对市场，最终在整体上形成强大的竞争力。

## 总结

现有PDSOFT协同设计管理系统还仅仅是一个雏形，仅以协同设计支撑平台为基础构建了包括设计院使用的三维设计系统、施工企业使用的施工预制系统、改扩建单位使用的三维现状工厂重构系统等系统。今后努力的方向是以协同设计支撑平台为基础形成软件产品，服务于流程工厂的全生命周期，涵盖设计、施工、运营、改扩建等阶段；同时基于协同设计支撑平台中的数据交换机制，将流程工厂全生命周期中需要的设计和管理软件集成到该平台上，为流程工厂提供全方位的解决方案。■



**唐卫清**

CCF高级会员、常务理事、2007年CCF王选奖一等奖获得者。北京中科辅龙计算机技术股份有限公司董事长。主要研究方向为CAD、协同计算、信息管理等。tang@fulong.cn。



**李士才**

CCF会员。北京中科辅龙计算机技术股份有限公司高级工程师、技术总监。主要研究方向为CAD、协同设计、软件架构设计、软件数据模型。lishicai@fulong.com.cn



**李雄锋**

北京中科辅龙计算机技术股份有限公司工程师，研发中心副总经理。主要研究方向为协同设计管理。slixf@sina.com

## 参考文献

- [1] <http://www.intergraph.com/ppm/spe.aspx>
- [2] [http://www.aveva.com/products\\_services\\_aveva\\_plant\\_pdms.php](http://www.aveva.com/products_services_aveva_plant_pdms.php)
- [3] <http://www.bentley.com/zh-CN/Corporate/News/Quarter+3/Add+OpenPlant.htm>