

最新一代高级多功能过程控制实训系统

SMPT-1000 介绍

(西门子杯全国大学生控制仿真挑战赛指定比赛设备)

北京化工大学计算机模拟与系统安全工程研究中心
(教育部化工安全工程中心, 原仿真中心)
西门子(中国)A&D有限公司 联合推出

一、 产品背景与理念

过程工业包括石油、化工、电力、核能、水处理、食品、生物、制药、水泥、冶金等诸多行业,过程控制是自动化专业中一个重要的组成部分,过程控制技能也是控制工程师所应具备的重要技能之一。

近年来,教育部强调教育人才要与市场相结合,突出工程能力的培养,并对实验环节提出了设计型、综合型、创新型和探索型等更高的教学目标。这就要求我们过程控制专业的学生在校期间能够尽可能多地进行动手训练,从实践中获得工程技能。然而,由于过程工业具有流程复杂、规模庞大等特点,生产过程常常伴有高温、高压等环节,因此很难在实验室中构建与工业装置相近的实验对象。缺乏理想的过程控制实验装置是目前国内高校、职校等在过程控制工程型人才培养方面面临的最重要的问题之一。该问题直接导致了学生工程实践能力较弱,无法很好地满足行业对人才的需求。

过去,许多学校采用以水槽液位为主要被控对象的过程控制实验装置。这类实物仿真装置具有外形直观的优点,学生可以看到变送器、控制器、执行机构的实物,在入门阶段对于认识控制系统组成具有相当好的教学意义。但是,其表现的对象特性、系统复杂程度与工业真实装置相差太远,仅仅能够满足认知型实验的要求。这类实验装置的突出不足在于:

- **实验对象过于简单,与真实生产装置差别太大。**实验装置在相当小的尺寸范围内采用水作为介质进行模拟生产装置。实验系统过于简单,时间常数过小,动态特性与实际装置相比差异很大。非线性环节、大滞后、高阶等过程工业常见的被控对象特性都无法在实验装置中体现。除了流体流动与传热实验外,化学反应、物料混合、组分变化、气体压缩、复杂的传质过程等过程工业的精髓内容都无法实现。许多在这类实验装置上进行训练的学生都误以为过程控制就是流量与液位的控制。
- **教学内容单一。**被控环节类型简单,数量少,只有进行比较基础的数量有限的过程控制实验,无法进行复杂控制、先进控制和优化控制等内容。对目前国家急需的节能、减排和安全控制等新兴方向,无法展开相应的实验教学。

- **实验教学效果不佳。**由于对象过于简单，检测点与执行机构数量和种类的限制，导致学生仅按照厂商的规定路线进行简单的重复步骤。教学效果上看，学生往往去记忆步骤，而缺乏思考，达不到教育部提出的设计型、综合型和创新性实验。
- **安全性差，可靠性差。**实验装置普遍需要 220V 或 380V 交流电源，高温加热和泵等设备对实验学生都将构成一定的危险性。传感器与执行机构由于频繁启停，导致性能急剧恶化和损坏，维护成本大，系统可靠性不高，管道尺寸过小，安装过于紧凑，导致流体实验重复性差。

有鉴于此，北京化工大学于 2003 年开发成功 MPCE-1000 多功能过程与控制半实物仿真实验装置，并在三十多所院校的过程控制专业进行了教学应用。MPCE-1000 提供了化工行业常见的离心泵液位、列管式换热器、气体压缩、CSTR 连续反应器、间歇反应器等环节，首次将全数字仿真技术与半实物实验装置结合，集多种教学和实验功能于一身，具有真实感强的特点。在该实验装置上，既可以进行初级与中等复杂程度的过程与控制实验、也可以进行高级复杂的过程与控制实验，满足了节能、安全、环保等实验系统的要求，并克服了传统水槽实验系统以上提及的不足，是过程控制实验装置的一次重大飞跃，同时也成为今后过程控制实验装置的发展方向。

在 MPCE-1000 多年成功教学实践的基础上，我们广泛听取了高校、职校等一线任课教师的建议，尤其是采纳了来自西门子杯全国大学生控制与仿真挑战赛反馈的意见，经过多方总结归纳后，我们进一步凝炼了理想的过程控制实验装置应具备以下特点：

- **工程化背景要强，同时具备良好的通用性，行业覆盖面广**

实验对象的工艺流程要取材于实际生产装置，设备与工艺参数、稳态和动态特性，甚至包括异常工况下的动态响应等都应与实际装置的数据吻合。实验装置中所体现的设备、操作和工艺三方面都应满足过程控制工程化背景的要求。同时，由于过程控制涉及石油、化工、能源、生物、冶金、食品、制药等众多行业，过程控制人才培养不应局限于某一行业，所以要求实验装置应该具备良好的行业通用性，尽可能解决多过程控制中的共性问题，不宜引入冷门的对象。

- **被控对象要有一定的难度，但对象机理要易于理解**

被控对象的难度体现在：

- 流程要有一定的系统复杂度
- 被控对象特性要有一定的难度

流程和对象特性过于简单，则无法进行复杂控制、先进控制等高层次的实验。过程控制人才培养中，虽然要求学生要掌握一定的过程对象知识。但是，实验的主要目的仍以掌握过程控制技能为主。因此，对绝大部分院校在实际日常教学中，不宜引入机理过于复杂的被控对象。

- **被控对象灵活多变，教学内容丰富，能应对多种层次的教学或科研应用**

实验装置的灵活性体现在：被控对象特性种类要丰富、检测点的种类与数量多、执行机构种类和数量多、信号与网络的种类与数量多、设备尺寸与工艺参数可变、

流程可变。具备这些特征后，使得实验教学的内容大大丰富，才能在装置上进行设计型、综合型与创新型实验。

此外，实验装置应具备由浅入深的特点，以及灵活的用户自定义和二次开发的能力，允许根据教学需求进行内容、规模和复杂度上的选择，以能够适应各层次院校的教学需求。同时，除满足职校和高校本科的教学应用外，对研究生教育和科研也能够提供高质量的被控对象实验环境。

● 完整的配套教学解决方案

完整的教学解决方案包括培养目标、能力需求模型、专业知识与技能培养方案、实验教学大纲、配套教学资源（教材、视频等）等内容。

● 简单易用

被控对象实验装置使用应尽可能简单，不需要复杂培训即可上手使用。这样，才能将有限的实验时间用在过程控制技能的训练上。

● 安全可靠，免维护

实验装置应无安全隐患，允许无人值守情况下进行学生自主实验。由于实验过程应鼓励学生进行各类探索与尝试，装置操作频繁，因此对装置的可靠性提出了甚至比工业装置还要高的要求。

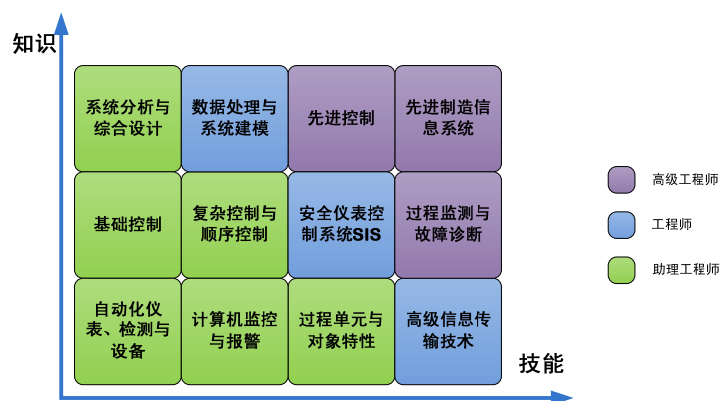
SMPT-1000 高级多功能过程控制实训系统遵循以上标准进行设计，充分吸收和结合了水槽过程实验装置与 MPCE-1000 双方的优点，首次运用真实的立体管路和空间分布的设备外观设计。突出的特点：

一、流程直观，传感器、变送器、调节阀、泵等部件可直接观察，演示作用明显。
二、易于理解。对象流程的复杂度适度，对象特性种类全面，知识点全面。同时，对象的机理更容易被学生所理解。

三、通用性强。被控对象工艺过程取材于过程工业通用装置，因此覆盖了更多过程行业对控制技能的培养需求。

四、灵活性得到质的飞跃。所有设备尺寸和特性、物性参数、工艺均可自定义，甚至可以多台设备组合形成厂级流程。

五、工程化教学理念。SMPT-1000 突出工程化教学理念，完全针对市场对过程工程师提出的能力模型基础上进行设计与开发，并辅以完整的教材等资源，因此在人才培养上，更加贴近工程化和市场化的需求。



二、 SMPT-1000 高级多功能过程控制实训系统构成

SMPT-1000 高级高级多功能过程控制实训系统由立体流程设备盘台、高精度工业仿真引擎及实验监测软件、IO 接口与辅助操作台及工业控制系统四部分组成。

1. 立体流程设备盘台

见下图所示，在钢制的盘台上安装着由不锈钢制的比例缩小的流程设备模型。

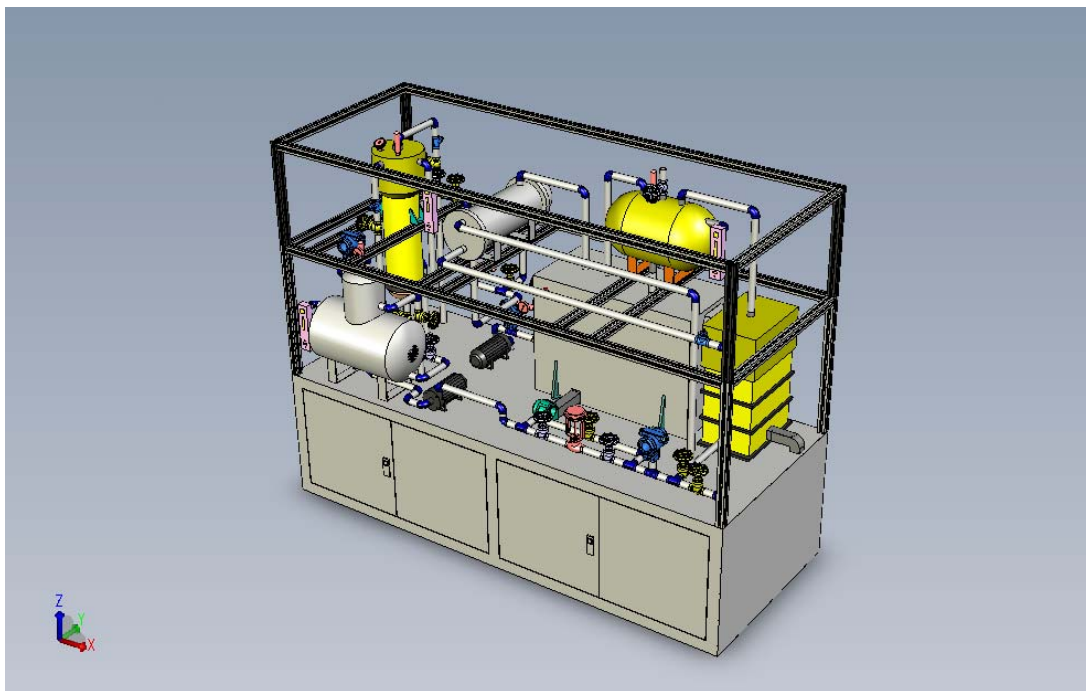
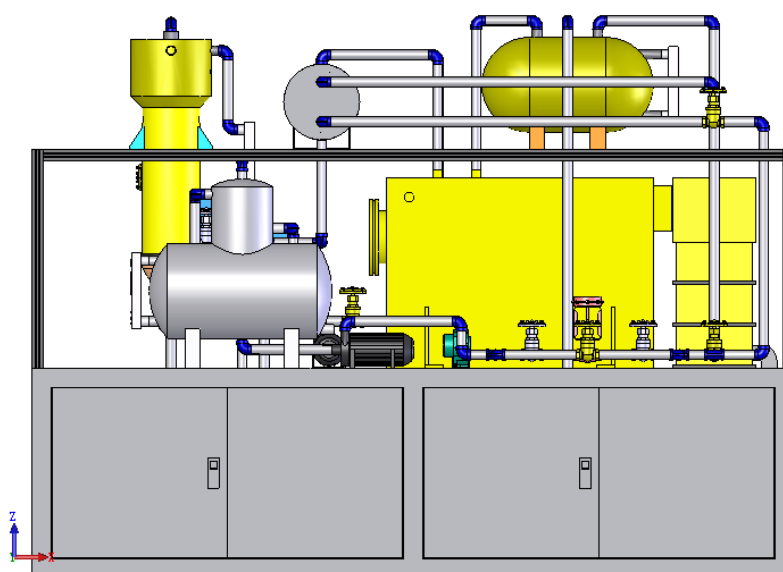
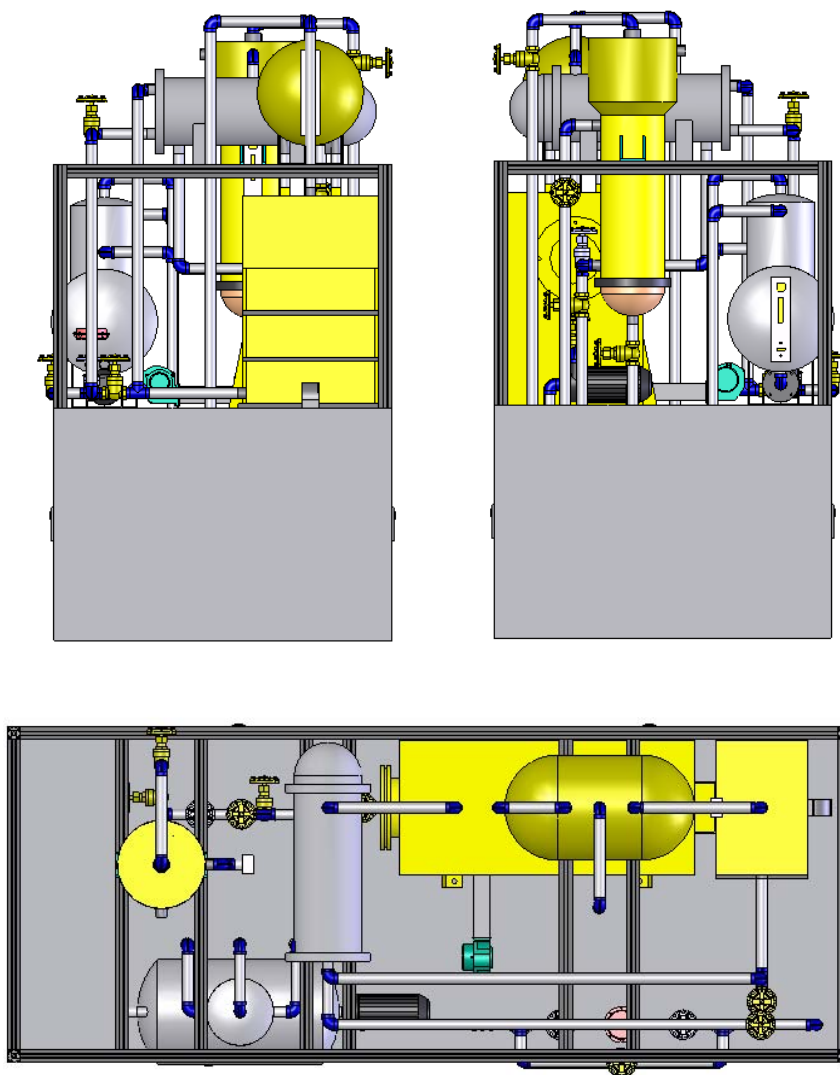
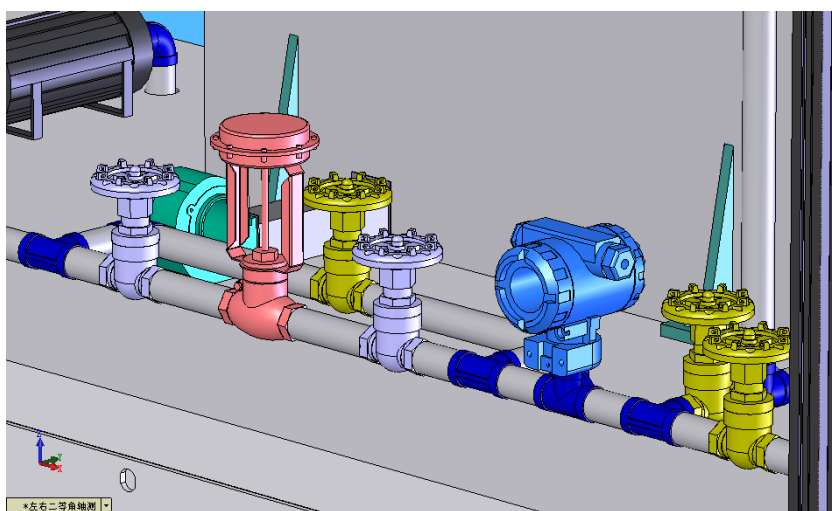


图 1 SMPT-1000 立体管道及三维设备空间分布示意图





SMPT-1000 外形视图



图：符合工业现场安装方式的气动调节阀、前后阀、旁路阀组

主设备包括：卧式除氧器、列管式换热器、盘管式省煤器、上汽包、加热炉本体、蒸发器。

执行机构包括两台离心泵、一台风机、十二个特性可变调节阀、五个开关阀。

检测部分包括：三台液位指示仪、九台数字变送器、若干传感器外形和若干管路系统。本盘台是学生直接操作和运行过程系统的环境。



本环境给学生以全真实的空间位置感觉、全真实的操作力度感觉和过程变化的时间特性感觉。关键的流量、温度、液位、压力与组份现场数字或光柱显示，检测点在设备和管路上均设有传感器外观。

2. 高精度工业仿真引擎及实验监测软件

运用工业级高精度定量动态数学模型，模拟全工况下真实工艺流程。具体分为以下流程的动态仿真模型：

- (1) 非线性离心泵液位系统
- (2) 蒸汽除氧压力系统
- (3) 高阶列管式换热系统
- (4) 蒸发器系统
- (5) 再沸器系统*
- (6) 加热炉系统
- (7) 工业锅炉系统
- (8) 水汽热能全流程系统
- (9) 制氢气体反应炉系统*

*内容为选配件

针对教学要求，模型的设计由浅入深，由局部设备到全流程。这样，学生在逐渐掌握了各类设备的控制方案后，再进行更大难度、更复杂的全流程控制训练。

同时，为方便实验教学，开发相应的实验监测软件，提供以下功能：

- 设备快速与完整自检
- 教学方案设计
- 实验数据纪录及评分
- 实验工程开始、暂停、恢复原有工况、切换和实施扰动
- 出题及考试功能
- 施加各类自定义干扰
- 实验装置内部组态等功能

此外，SMPT-1000 创新地采用分布式实时仿真技术，可以将多台 SMPT-1000 及后续型号的实验装置组合、拼装成更大的厂级流程。如下图所示：

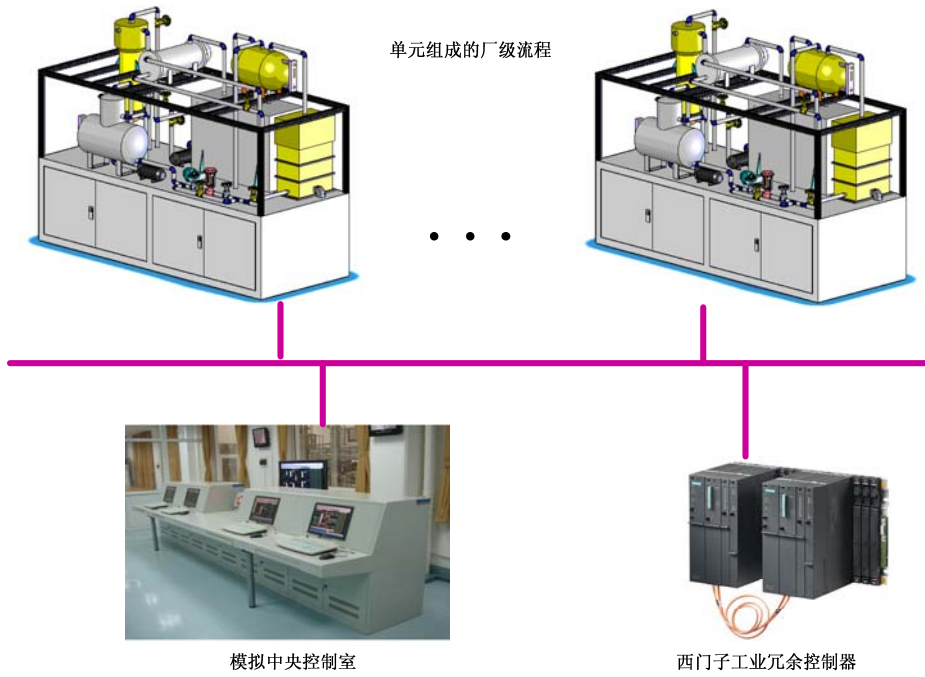


图 基于分布式实时仿真技术的（DRS）的厂级流程适合于生产实习

3. 信号 I/O 接口及辅助操作台

SMPT-1000 在对外接口功能上进行了进一步提升，除 MPCE-1000 提供的 4-20mA 模拟量信号外，还提供 DI/DO、Profibus DP、OPC 等接口。扩展包还将包括与 VB、MATLAB 的软件接口以及 Profinet 工业以太网等。

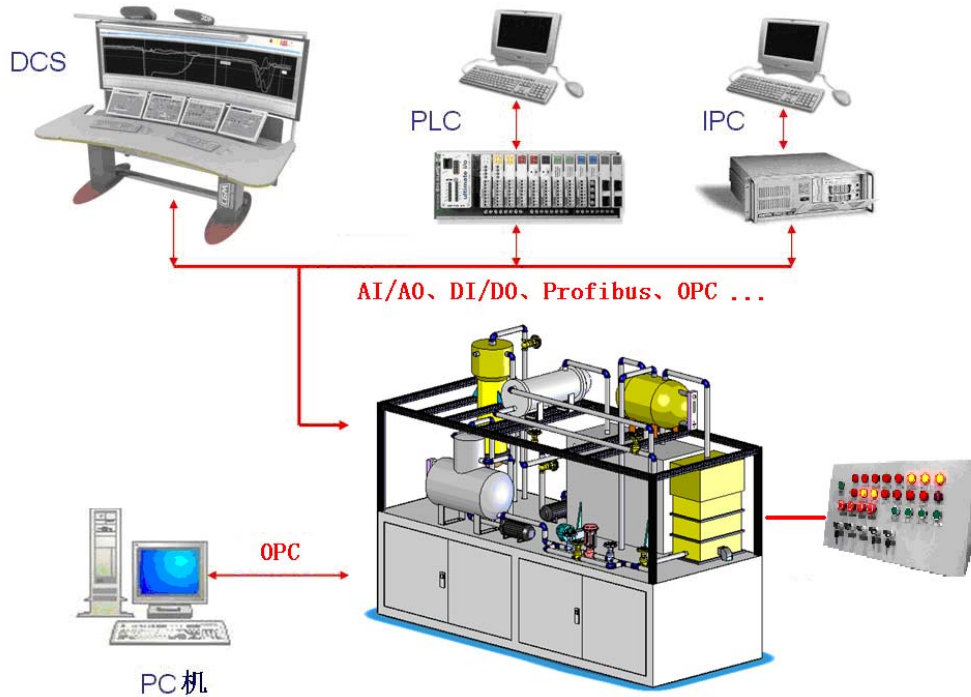


图 SMPT-1000 接口丰富，可与各种控制系统相连
 每一路信号的输入、输出均可由用户自定义，并可以设置信号故障，用于排错教学实验。
 此外，辅助操作台提供泵及点火等手动按钮、关键变量报警蜂鸣、联锁保护及紧急停车按钮。

4. 工业控制系统

SMPT-1000 采用西门子最新型 PLC 或 DCS 工业控制系统，包括：

- 控制器：300PLC/PCS7 BOX/PCS7
- STEP7 或 PCS7 软件：符合 IEC 61131-3 标准的控制器组态
- 远程 I/O：AI/AO、DI/DO、PROFIBUS DP 端口
- HMI：WINCC 组态软件
- 三层网络：基于 PROFIBUS 或 PROFINET 构建现场总线、工业网络系统逻辑图如下所示：

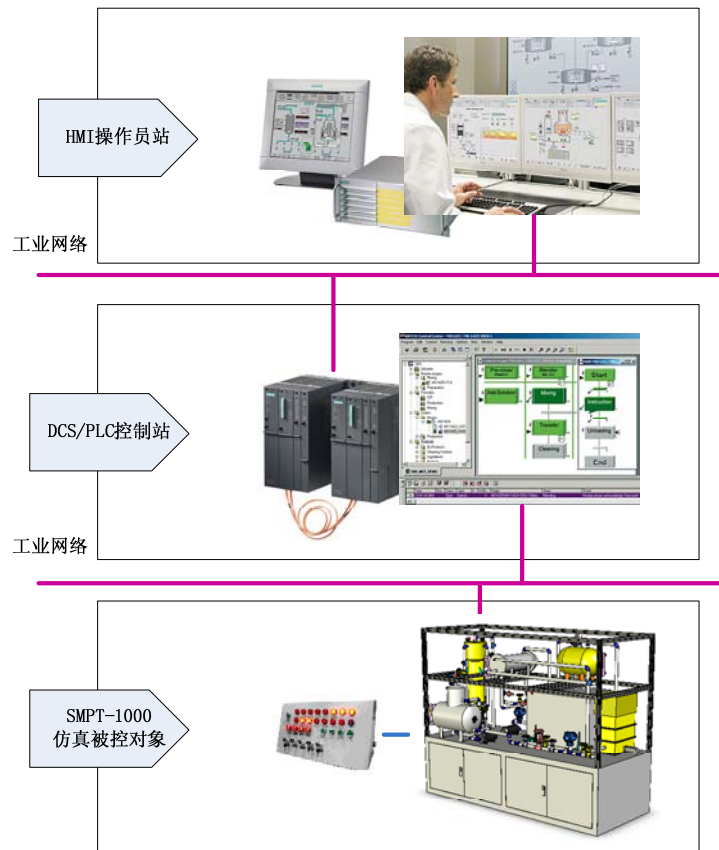


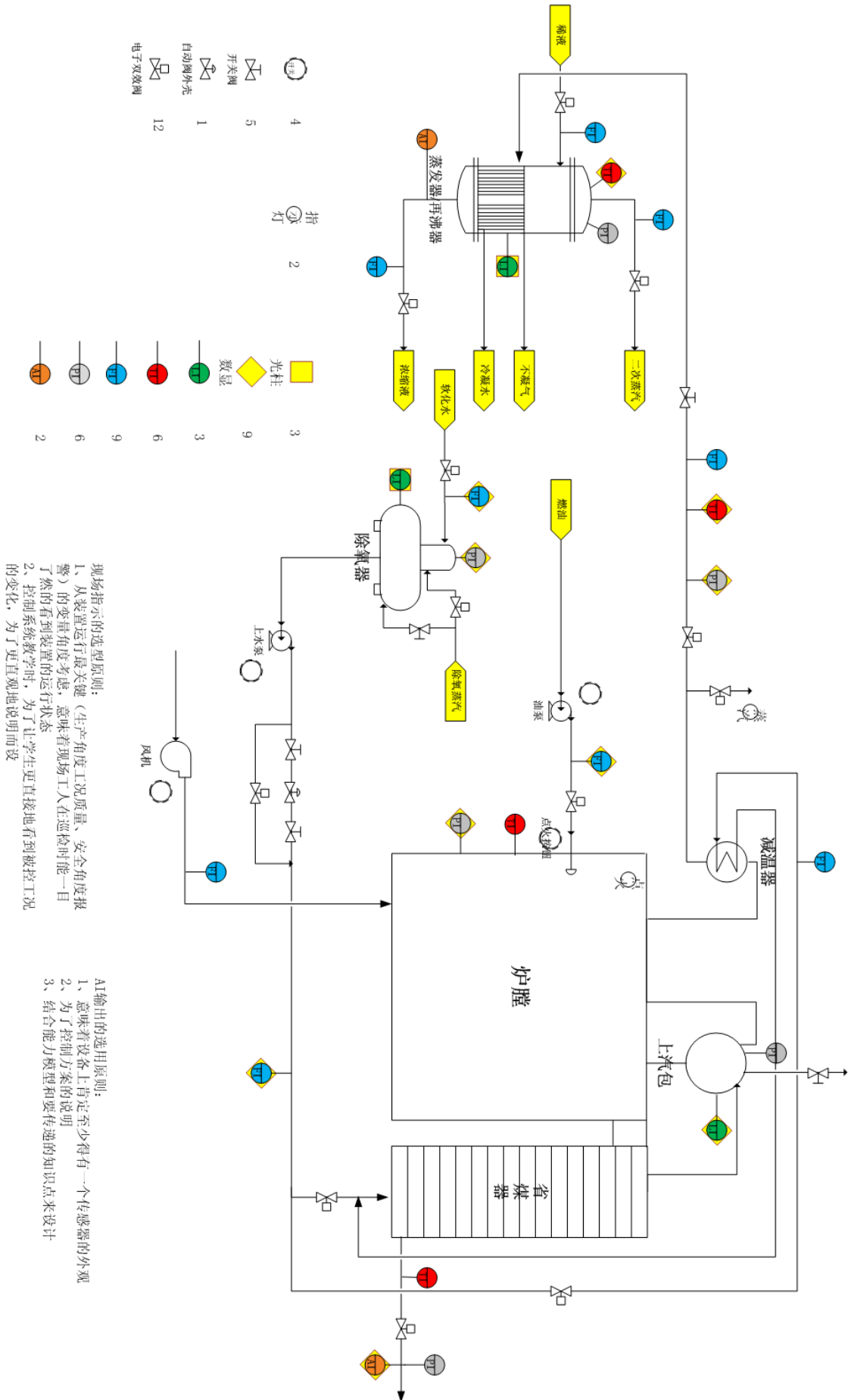
图 SMPT-1000 完全体现工业现场网络概念
 可以基于西门子工业控制系统实施各类信号、控制、网络及诊断等内容的实验教学。

三、工艺对象说明及教学内容设计

SMPT-1000 高级多功能过程与控制通用实验装置全系统的工艺流程图见下图所示。
 工艺过程可拆分或组合成设备级、单元级和流程级。突出了质量平衡、能量平衡与转换、

燃烧、蒸发、气相反应等，基本覆盖三传一反等常见过程。工艺机理易懂，流程结构相对复杂。

由于 SMPT-1000 提供了 9 个实验流程，允许和鼓励对每台设备参数、工艺参数、执行机构、检测点自定义，因此所能进行的实验数量相当多。下面只是就不同对象可进行的实验作了了简要描述，教师完全可以在该实验装置上进行二次开发，按照自己的教学要求设计全新的实验内容。



实验装置可拆分、组合成以下工艺对象（*为选配件）。

1. 离心泵液位

设备包括：卧式储罐、入口管线、出口管线、离心泵、调节阀组。

检测点：入口流量、出口流量、液位、泵吸入压力、泵出口压力、泵电机功率、离心泵效率、扬程等参数

执行机构：离心泵、入口调节阀、出口调节阀

教学设计：提供最简单的被控对象，解决过程控制系统从信号采集、控制器组态、简单控制回路整定、控制器实施投用等基本技能的掌握，为进一步学习更高层次的控制技能打下基础。

教学目标：掌握离心泵、调节阀等常见执行机构的特性及测试方法；掌握基本的接线与信号采集方法；掌握控制器硬件组态；掌握单回路控制器组态；掌握流量与液位控制方法；理解非线性概念及相应控制策略；理解质量平衡原理及应用；验证柏努利方程，理解动、静压头之间相互转换规律。

实验项目：进行流量控制实验、调节阀特性实验、非线性液位特性测试、单容液位控制实验、PID 单回路整定实验；离心泵特性测试；离心泵故障实验；离心泵相关的控制系统实验。

2. 热力除氧器

本系统设备包括卧式除氧器、入口软化水管线、出口管线、离心泵、调节阀、除氧蒸汽双管线。

检测点：入口流量、出口流量、液位、除氧器压力、泵吸入压力、泵出口压力、泵电机功率、离心泵效率、扬程等参数

执行机构：离心泵、入口调节阀、出口调节阀、蒸汽调节阀、蒸汽开关阀

教学设计：高温蒸汽在除氧器内与水进行充分混合换热，利用温度将溶解在水里的氧气除去。本实验装置在流量、液位基础上，进一步引入压力控制单元，提供更复杂的三个被控变量（流量、液位、压力）综合控制的对象。同时，提供一个简单的开车顺序控制的实验对象。

教学目的：掌握热力除氧工艺原理；掌握能量平衡原理及应用；掌握压力来源的本质和控制方法；理解过程变量之间的相互影响作用，掌握系统分析基本方法、位号设计、工程实施等规范；掌握简单步骤的顺序控制组态方法；掌握控制系统性能评价方法。

实验项目：工艺操作实验；压力控制实验；小规模综合控制实验；除氧器自动开车顺序控制实验。

3. 高阶列管式换热器

设备包括：过热蒸汽管线、列管式换热器、冷却水管线

检测点：过热蒸汽流量及出口温度、冷却水流量及出口温度、

执行机构：冷却水调节阀、过热蒸汽调节阀

教学设计：提供过程工业最常见的间隔式列管换热器作为温度控制的实验对象，掌握具有滞后、高阶特性的温度对象的控制方法。为更为复杂的上水管网的分程控制奠定基础。本换热器为气、液两相非接触换热，无相变。

教学目的：掌握列管式换热器原理；掌握不同控制通道特性测试方法；理解滞后、高阶环节及相应控制策略；设计和实施温度控制方案；理解对流传热原理和影响因素；理解换热器工作效率及节能控制措施

实验项目：温度对象动态特性测试；温度控制实验；PID 参数对调节作用影响实验；

换热器性能异常工况实验;换热器优化控制实验。

4. 再沸器单元*

设备包括:再沸器、塔釜连通管线、气相出口管线、加热蒸汽入口管线、冷凝液及未凝气出口管线

检测点:塔釜入口流量、再沸器温度、液位、出口气相流量、压力、加热蒸汽温度、压力与流量

执行机构:入口流量调节阀、蒸汽调节阀、出口气相流量调节阀

教学设计:再沸器在过程工业中广泛应用于精馏塔的加热环节,目的是将被蒸馏物质气化,获得较大的气相负荷。与蒸发器不同,再沸器关注气相的流量,以此为工作目的。

教学目的:理解再沸器工作原理,理解能量平衡和单组份气、液相平衡规律;理解各过程变量间的影响关系;掌握复杂温度控制方法;掌握解耦控制方法;

实验项目:再沸器气相压力、温度控制;气相流量温度补偿实验;串级等复杂控制实验项目。

5. 蒸发器单元

设备包括:蒸发器、稀液入口管线、二次蒸汽出口管线、浓液出口管线、加热蒸汽入口管线、冷凝液及未凝气出口管线

检测点:稀液入口流量、蒸发器液位、温度和压力、二次蒸汽流量、浓液浓度与流量、加热蒸汽温度、压力与流量等参数

执行机构:稀液入口流量调节阀、蒸汽调节阀、浓液出口气相流量调节阀

教学设计:提供有相变的换热和蒸发装置。这类蒸发器在过程工业中广泛应用于浓缩、提纯等环节,要求按一定浓度获得浓缩后的液位。与列管式换热器不同,蒸发器中的加热蒸汽根据相平衡原理,冷凝温度由蒸汽压力决定,并壳程中处处相等。由于蒸发器列管呈竖立状态,因此换热效率与蒸汽冷凝形成的液膜及未凝气膜厚度相关,呈现出复杂多变的对象特性。同时,蒸发器的产能与流量、液位、温度、蒸汽压力、流量都有复杂的相互影响关系,要达到按既定要求浓度最大可能地输出浓液,需要解决各个控制变量之间的矛盾和冲突。

教学目的:掌握蒸发的工艺原理;掌握汽、液相平衡原理;掌握多组份质量平衡原理;理解各过程变量间的影响关系;掌握复杂温度控制方法;掌握解耦控制方法;依据质量平衡进行软测量组份控制实验。

实验项目:蒸发器流量、液位、温度、浓度、压力控制;串级控制;解耦控制;优化控制等;简单软测量组份控制实验;气相流量温度补偿实验;

6. 加热炉装置

设备包括:入口管线、对流段换热器、辐射段炉膛、减温器、燃料管线、压缩空气管道、烟道。

检测点:入口流量和温度、对流段出口温度、对流段风烟温度、加热炉出口温度、炉膛温度与压力、燃料流量、空气流量、风烟含氧量、温度及流量。

执行机构:燃料泵、燃料调节阀、空气压缩机转速、风烟挡板、气相出口调节阀

教学设计:对一些需要高强度热能输入的地方,靠蒸汽加热的再沸器不能满足工艺要求,往往通过加热炉这类强化装置对物料进行加热和气化。比如在炼油的减压蒸馏装

置中，就用到加热炉为减压塔提供气相负荷。在这类装置中，主要让学生了解燃烧这类强放热反应环节，以及熟悉出口物料为入口物料换热以回收热量这类常见的节能措施。在了解相对复杂的工艺过程基础上，设计综合控制方案。

教学目的：掌握多级换热（三级）工艺对象原理；掌握多容关联系统特性；掌握加热炉操作顺序控制；掌握气体流量控制、含氧量组份控制等方法；掌握燃料比例控制、大滞后温度控制；炉温软测量控制；体会系统耦合特性及相应控制策略；掌握报警、联锁等基本的安全控制方法；掌握相对复杂的系统分析和综合控制设计方法。

实验项目：比值控制；分程控制；串级控制；内模控制；专家系统；模糊控制；神经网络控制等先进控制算法。

7. 工业锅炉装置

设备包括：除氧器、上水管网、上汽包、锅炉本体、省煤器、减温器、蒸汽管线等
检测点：22 个模拟量、6 个开关量

执行机构：9 个调节阀、5 个开关阀、两台泵、一台压缩机

教学设计：工业锅炉广泛应用于过程工业各个分支行业，是工厂重要的热力和动力来源。工业锅炉包括水汽、燃料和风烟三个子系统，相互之间存在着很强的关联影响关系。整个流程复杂程度适中，对象环节种类丰富，可以实施大量的复杂和先进控制实验。此外，工业锅炉是重要的能量转换装置，在当前国家节能减排的形势下，对锅炉进行优化控制是一个研究与教学的热点。同时，工业锅炉又是国家重点的安全监测对象，生产危险性高，因此可以进行安全控制系统的设计和实验。

教学目的：综合水汽、燃料和风烟三个系统，实施较为全面的温度、压力、流量、液位和组份综合控制方案；掌握双冲量、三冲量控制方案；掌握软测量及先进控制原理；掌握基本优化控制方法和常用先进控制算法；掌握复杂的工业锅炉开车顺序控制；了解工业锅炉常见异常工况及对应控制方案；掌握装置安全分析、SIL 防护层设计及紧急停车等高级 SIS 安全控制方法。

实验项目：超驰控制；解耦控制；大滞后系统控制；子系统之间的协调控制；软测量控制实验；先进控制实验；优化控制实验等。

8. 水汽热能全流程系统

设备包括：工业锅炉、蒸发器装置等所有设备

检测点：29 个模拟量 AI、6 个开关量 DI

执行机构：12 个调节阀、5 个开关阀、两台泵、一台压缩机

教学设计：构建复杂的流程级被控对象，理解装置之间联动的影响关系及相应控制策略。以锅炉作为公用工程中蒸汽发生装置，以蒸发器作为主要工艺设备，以蒸发器处理量为最终控制目标。要求学生在此流程上进行系统分析、综合设计，运用优化理论进行先进控制，起到节能、减排作用。综合运用工艺知识，分析系统安全隐患和薄弱环节，设计整体安全防护体系。同时，要求学生理解 MES 执行层如何根据生产调度要求，进行生产负荷的自适应控制。

教学目的：掌握复杂系统分析与控制系统设计方法；掌握混杂控制方法；掌握最优化理论的实践应用；掌握常用先进控制方法；掌握流程级安全控制设计及实施方法；掌握根据生产高度指令完成 MES 执行层控制。

实验项目：可以作为本科毕设、西门子大赛及研究生课题，进行综合协调控制、先进控制、安全控制、MES 执行层控制等项目。

9. 制氢气化炉反应装置*

设备包括：煤粉管线、纯氧管线、气化炉本体、出口换热器

检测点：13 个模拟量，3 个开关量

执行机构：泵、压缩机、调节阀、挡板

教学设计：以壳牌煤粉气化反应炉为原型，构建煤化工行业核心制氢装置被控对象。煤粉靠氮气以悬浮流体状态与纯氧混合后进入气化炉烧嘴，在欠氧条件下反应，生成一氧化碳和氢气（粗合成气），二氧化碳是副产物。热的粗合成气在出口处与盘管换热，回收热量并产生水蒸汽。在该气相反应中，存在生成一氧化碳的主反应和二氧化碳副反应，两者存在相互竞争。反应属于强烈放热过程，由于气相反应时间常数小，干扰波动剧烈，控制难度很大。

教学目的：理解气相反应器原理及特点；理解主、副反应竞争特点；理解组份、反应温度等强非线性、时变环节；理解反应余热回收原理，设计节能、减排控制方案；

实验项目：自适应控制；鲁棒控制等

四、过程控制教学实验

本系统包括从设备、单元、装置到流程四个层次的可控对象，由浅入深，从简单到复杂，因此可以进行多种类、多层次的控制系统实验与研究。同时，可以为过程控制工程师掌握一定的工艺背景知识，具备对各类对象特性的分析和相应控制方法的设计、实施能力。

在本实验系统上可以进行的过程控制实验是排列组合的概念，可以允许实验者自行定义和二次开发，使得可控对象的数量相当多。实验系统可自定义的内容包括：

- 工艺过程可切换
- 设备尺寸可自定义
- 物料特性可更改
- 工艺条件、负荷可变
- 调节阀类型、流通能力可修改
- 检测点与执行机构可自由选择
- 控制算法自由定义
- 借助分布式仿真技术（DRS），SMPT-1000 不同实验设备间可以相互联接，组成厂级流程

因此，在 SMPT-1000 上所进行的过程控制实验项目可以由用户自由定义。因此，可以在长期教学中得到各种层次的应用，满足综合型、设计型、创新型和探索型实验的要求。

实验项目分类

实验项目按种类，可分以下几大类，带*为 SMPT-1000 新增的实验项目：

- (1) 过程特性及测试实验
- (2) 过程开、停车实验
- (3) 故障及排除实验
- (4) 基础控制实验

- (5) 复杂控制实验
- (6) 全流程控制综合设计实验
- (7) 先进控制实验
- (8) 智能控制实验
- (9) 安全控制*
- (10) 故障诊断实验
- (11) 优化控制*
- (11) MES 执行层控制*

1. 过程特性及测试实验

- (1) 自衡系统
- (2) 非自衡系统
- (3) 单容系统
- (4) 隔离多容系统
- (5) 关联多容系统
- (6) 液位系统
- (7) 流量系统
- (8) 压力系统
- (9) 温度与传热系统
- (10) 成分系统
- (11) 过程非线性系统
- (12) 离心泵特性
- (13) 离心式鼓风机特性
- (14) 调节阀特性（线性、等百分比、抛物、快开）
- (15) 复杂管网流量、压力特性*
- (16) 气相反应动力学特性*
- (17) 主副反应竞争特性

2. 过程开停车实验

- (1) 离心泵及液位系统
- (2) 多级液位系统
- (3) 液位、压力实验系统
- (4) 多级热交换系统*
- (5) 加热炉开停车实验*
- (6) 工业锅炉开停车实验*
- (7) 蒸发器开停车实验*
- (8) 连续气相反应系统*
- (9) 全流程系统
- (10) 顺序控制*
- (11) 混杂控制*

3. 故障及排除实验

- (1) 信号接线错误*
- (2) 现场总线通讯错误*

- (3) 硬件组态错误*
- (4) 控制器组态错误*
- (5) 参数整定错误*
- (6) OPC 配置错误*

...

4. 基础控制实验

- (1) 流量 PID 单回路控制
- (2) 液位 PID 单回路控制
- (3) 压力 PID 单回路控制
- (4) 温度 PID 单回路控制
- (5) 成分 PID 单回路控制
- (6) PID 参数整定 (4-6 种方法)
- (7) 调节阀选用计算及测试 (液体、气体)
- (8) 工业控制器组态*
- (9) HMI 操作员站组态*
- (10) 现场总线配置*
- (11) 工业网络配置*

5. 复杂控制实验

- (1) 串级控制系统
- (2) 均匀控制系统
- (3) 比值控制系统
- (4) 超驰控制系统
- (5) 前馈控制系统
- (6) 分程控制系统
- (7) 非线性控制系统

6. 全流程控制综合设计实验

- (1) 初步设计 (控制方案)
- (2) 调节阀计算选型
- (3) 节流装置计算选型
- (4) 控制系统连线及检验
- (5) 控制系统组态
- (6) 系统试运行及 PID 参数整定
- (7) 控制质量检验

7. 先进控制实验

- (1) 纯滞后补偿控制: Smith 预估补偿器, 各种改进 Smith 预估补偿器, 观测补偿器, 采样控制, 内模控制, 达林控制等。
- (2) 多变量关联(解耦)系统
- (3) 自适应控制
- (4) 鲁棒控制
- (5) 多变量预测控制: 预测模型、反馈校正、滚动优化

- (6) 推理控制
- (7) 软测量
- (8) 数据校正, 动态预测, 在线校正

8. 智能控制实验

智能控制与传统控制方法相结合:

- (1) 模糊变结构控制(FVSC)
- (2) 自适应模糊控制(AFC)
- (3) 自适应神经网络控制(ANNC)
- (4) 神经网络变结构控制 (NNVAC)
- (5) 神经网络预测控制(ANNPC)
- (6) 模糊预测控制(FPC)
- (7) 专家模糊控制(EFC)
- (8) 模糊神经网络控制(FNNC)
- (9) 专家神经网络控制(ENNC)

9. 安全控制

- (1) HAZOP 安全隐患分析
- (2) SIL 系统完整性分析*
- (3) LOPA 防护层设计*
- (4) 报警、联锁保护控制系统设计*
- (5) 紧急停车系统设计*

10. 故障诊断实验

- (1) 数据采集
- (2) 建立实时数据库
- (3) 专家系统诊断模型建模
- (4) 在线故障诊断实验

11. 优化控制

- (1) 协调控制*
- (2) 系统辨识*
- (3) 换热网络优化*
- (4) 全局寻优*

12. MES 生产执行系统

- (1) 生产调度控制*
- (2) 生产负荷提升、降低*
- (3) 厂级控制*

五、优点

在 MPCE-1000 优点基础上, SMPT-1000 高级高级多功能过程控制实训系统具有以下特点:

- 实验内容及灵活性
 - 被控对象种类丰富
 - 设备包括：离心泵液位、蒸汽除氧器、省煤器、加热炉、汽包、换热器、蒸发器、再沸器、气化反应炉
 - 工艺过程丰富：温度、压力、流量、物位、组分对象；气体、液体、气固混合流体传输；复杂流体网络；无相变/有相变/间隔式/接触式传热过程；相变质量传递；气相主副竞争反应，除复杂传质外，基本囊括三传一反范围。适用行业面宽（包括炼油、化工、制药、热能、电力、冶金、生物、食品、环境科学、水泥等）
 - 对象特性类型丰富：单容、多容；线性、非线性；自衡、非自衡；高阶；大滞后；耦合等
 - 接口种类丰富
提供和支持 AI/AO、DIDO、PROFIBUS、OPC、COM、MATLAB、PROFINET
 - 灵活性
 - 设备、管道、工艺参数、执行机构、检测点均可自定义
 - 借助分布式仿真技术，允许多台实验设备可拼装成厂级流程
 - 教学内容模块化设计，可根据学校专业特色灵活选择

- 教学理念与教学效果

在 SMPT-1000 过程控制实验教学中，充分强调培养学生工艺对象分析能力、现场动手能力、控制方案综合设计能力、系统化思维能力及最新控制技术的应用能力。

- 完整的教学理念与体系
- 实验内容由浅入深
- 交互式反馈带来学习的趣味性，所有阀、开关、按钮均可操作，数字显示、光柱、电机等实时反馈控制效果。
- 立体管道、变送器外观、操作面板，重现工业现场，直观易懂
- 练习、演示、出题与考试四种运行模式，便于日常教学
- 智能评分系统，扰动自由定义
- 全新设计的教材
- 网站支持
- 可靠性更高
 - 采用总线结构，避免采用大量线缆，减少通讯故障
 - 采用工业级器件 10 万小时无故障间隔时间（约 11 年）
 - 嵌入式系统（硬件可恢复，对系统瘫痪和病毒具有免疫能力），硬件平台无风扇、旋转等薄弱电子器件
 - 携手专业设计与制造商，充分利用产业链的优势，产品质量有保证
 - 设备提供快速自检与智能维护功能
 - 采用正版软件授权，在可靠的同时保证无法律纠纷
 - 安全、节能、环保的“绿色实验”系统
- 突出工程化

与西门子流行的工业控制器结合，可以进行符合国际标准的控制器组态。符合工业现场总线及三层网络结构。提供操作面板、紧急停车及报警装置等现场控制室设备。

- 使用更简单

采用人机工程与交互式设计原理，依据使用者角色进行软件交互设计，不需要培训就可直接上手，大大提高了教学效率。

- 多层次需要

SMPT-1000 可以满足职业中专技校、高职高专、本科、硕士等多层次实验和训练要求，并且符合国家当前的行业热点问题：

- 节能、减排
- 安全工程
- 煤基化工