

模块化过程自动化试验工厂

构建基块

模块化有助于克服过程工业中生产环境不断变化所带来的挑战。ABB 和其合作伙伴联合开发了多个试验应用，以验证模块化所需的过程自动化通信和控制中的新概念。那么，这些试验的结果如何呢？

—
Mario Hoernicke
Katharina Stark
ABB Corporate Research
Ladenburg, Germany

mario.hoernicke@
de.abb.com
katharina.stark@
de.abb.com

Daniel Schmitt
ABB 能源产业
过程自动化
德国曼海姆

daniel.schmitt@
de.abb.com

Christian Schmitz
B&R Industrie-Elektronik
GmbH
德国巴特霍姆堡

christian.schmitz@
br-automation.com

Polyana da Silva Santos
Evonik Industries AG
Marl, Germany

Lukas Bittorf
Norbert Kockmann
多特蒙德工业大学
德国多特蒙德

Manfred Eckert
Merck
德国达姆施塔特

经验证，模块化设计方法可以为种类繁多的产品和过程带来巨大优势，从不间断电源到软件工程等等。化工和制药过程尤其能够从模块化中获益，因为模块化可以帮助这些过程克服行业生产环境快速变化这一特征所带来的挑战 → 01。模块化工厂不仅能够适应生产能力和产品类型的变化，还可以加速产品上市，以及缩短工程设计和调试的时间（在这两种情况下可多达 50%）[1]。

要发挥过程模块化的优势，需要新的过程自动化通信和控制结构。ABB 是这方面的领导者，也是该领域公认的标准化推动者。此外，ABB 还开发了模块化工厂工程原型。为了确保这些原型能够在真实环境下顺利运行，必须在工业应用中对其进行测试。

因此，对于 ABB 来说，2017 年加入第三方投资企业“ENPRO-ORCA 项目”是明智

之举[2]。在该项目中，工厂所有者和自动化系统供应商共同开发试验应用。在这些试验中，可以测试工程原型。此外，这些试验应用使项目参与者可以对 VDI/VDE/

—
与传统工厂不同，模块化生产工厂由经预先定义和测试的过程模块组装而成。

NAMUR 2658 标准进行系统性验证，该标准是大部分模块化作业的依据。ABB 的项目合作伙伴包括多特蒙德工业大学、Evonik 和 Merck。

到目前为止，该项目的发现令人深受鼓舞，模块化过程自动化架构的基本描述有助于对其进行充分了解。

—
01 模块化可以适应快速变化的过程环境，这些环境需要高度灵活的生产方法。



所有者	规模	模块数量	自动化供应商	参考文献
Namur 案例研究	–	6	POL: ABB PEA: ABB, B&R	
多特蒙德工业大学 (蒸馏)	实验室	5	POL: ABB PEA: Wago, embedded, RasPi	[7]
Merck (蒸馏)	技术中心	1	POL: ABB, B&R PEA: B&R	
Evonik (薄膜测试 1)	实验室	1	POL: ABB PEA: Wago	[8,9]
Evonik (薄膜测试 2)	技术中心	3	POL: ABB PEA: Wago	[9]
Evonik (反应)	技术中心	6	POL: ABB PEA: Phoenix Contact	[9]

02

模块化过程自动化架构

与传统工厂不同，模块化生产工厂由经预先定义和测试的过程模块组成，这些模块称为过程设备组件（PEA）[3]，有时也称为成套装置或成套撬块。PEA 具有专门的过程功能（如调温），适合多种应用。PEA 使用模块类型封装（MTP）标准进行描述，这是一种独立于供应商的 PEA 描述。可使用 ABB Module Designer 的原型来实

MTP 允许将 PEA 集成到监督控制系统中: 过程编排版。

现 PEA 的自动化，该原型可容纳 ABB 和 B&R 的自动化 PEA。借助此原型，可执行模块的自动化工程设计，并自动生成最终的自动化系统，例如基于 ABB Freelance 的自动化系统。此外，Module Designer 还可自动生成相应的 MTP。

MTP 允许将 PEA 集成到监督控制系统中: 过程编排版（POL）[3]。ABB 扩展自动化系统 800xA 用作 POL。采用 ABB Orchestration Designer 原型进行试验设

计。从 Orchestration Designer 开始，运行时所需的所有部件均在系统 800xA 中自动生成，并可立即用于监督控制[4]。

每个 PEA 都有其自身的智能，通常是可编程逻辑控制器（PLC）或嵌入式/分布式控制系统控制器[3]。控制器使用 OPC UA 公开 PEA 的功能。从过程设备（例如阀门）中抽取多种功能，成为所谓的“服务”。服务通过 POL 控制，执行模块提供的过程功能。因此，调温模块可提供一种称为“调温”的服务，以接收启动命令和所需温度的设定值，这样 PEA 便可以在内部执行设备所需的功能。

基本概念（即使用 MTP 的集成和基于服务的过程设计）已经过测试；结果表明，过程功能模块化是可实现的。ABB 已为模块化自动化系统开发了初始概念、架构和原型。项目和先前计划[5]定义了模块化工厂的自动化系统，并提供了原型和演示器。本文中所述的试验基于先前开发的原型 [6,4]。

试验应用

ABB 与其客户 Merck 和 Evonik 合作创建了多个试验应用，而多特蒙德工业大学(德国)的设备设计实验室则开发了一项实验室试验 →02–03。本文仅详细讨论实验室试验。

多特蒙德工业大学（蒸馏）

多特蒙德工业大学的试验应用是在现有实验室环境中使用控制器通过自动化模块实现模块化，为每个模块提供 MTP，并将其集成到 POL 中。

基本结构

蒸馏厂由五个 PEA 组成：一个蒸馏 PEA、一个进料 PEA、两个恒温器 PEA 和一个分析 PEA。分析 PEA 是可选的，可用于连续测定馏出物或塔底产物流的浓度。蒸馏操作需要两个恒温器和一个进料 PEA，但也可以用其他具有相同功能（加热/冷却或计量）的 PEA 代替。蒸馏 PEA 和进料 PEA 均配备 PLC，并通过 PLC 实现自动化。



03

—
02 试验概览。

—
03 试验应用可为模块化过程自动化领域新技术的开发提供支持。

恒温器配备嵌入式控制系统。分析 PEA 由软件套件制造商独立配备所有必要的功能。对于其他 PEA，MTP 由 PLC 供应商提供。因此，所有 PEA 均可轻松集成到 ABB 的 POL 中。

服务

使用该项目中开发的各个 PEA 所提供的服务，可从 POL 操作系统。每个 PEA 提供不同的服务。例如，进料 PEA 通过“计量”服务提供计量功能。

分析 PEA 提供“分析”服务，在此过程中，会持续记录拉曼光谱图，然后根据组分浓度进行评估。该浓度值由分析 PEA 通过系统 800xA 传输到其他 PEA，从而实现模块间通信。

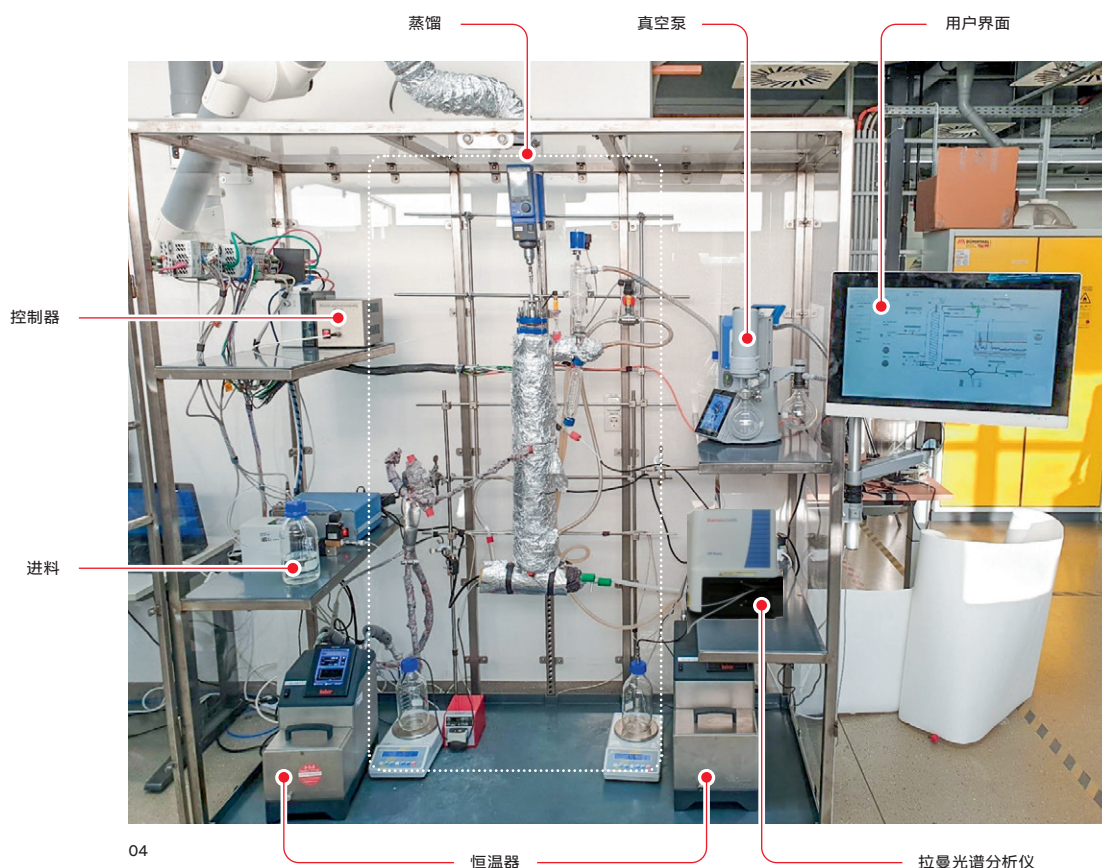
针对每种服务规定了程序步骤，详细说明该服务应如何执行。

实验工厂的使用

通过蒸馏 PEA，将物质混合物分离成高沸点和低沸点组分，组分纯度尽可能达到最高。为了实现此目的，可以使用一些操作

—
使用该项目中开发的各个 PEA 所提供的服务，可从 POL 操作系统。

规格，将这家工厂需要的基本操作，如加热、液位控制、旋转带速度控制和类似进一步操作，自动组合并封装到“蒸馏”服务。



其中包含了工厂启动和关闭的程序步骤，以确保工厂可以自动运行 →04。

蒸馏服务会根据用户希望的工厂运行方式（如人工运行或自动运行）提供不同的程序步骤。例如，在“distilling_automatic”程序步骤中，操作员只需指定热容和预期塔顶温度（无分析 PEA）或塔顶浓度（有分析 PEA）。然后，蒸馏 PEA 就会持续进行自动调整以满足此规格，无需操作员干预。

“OP_testing”自动服务可以对各种未知材料进行表征，与塔板法或填充柱法相比，这种方法的速度提高了 30% 到 70%，使用的材料减少了 40% 到 80%。

从其他试点 →02 吸取的教训丰富了团队在过程模块化方面的经验：

Namur 试验案例研究

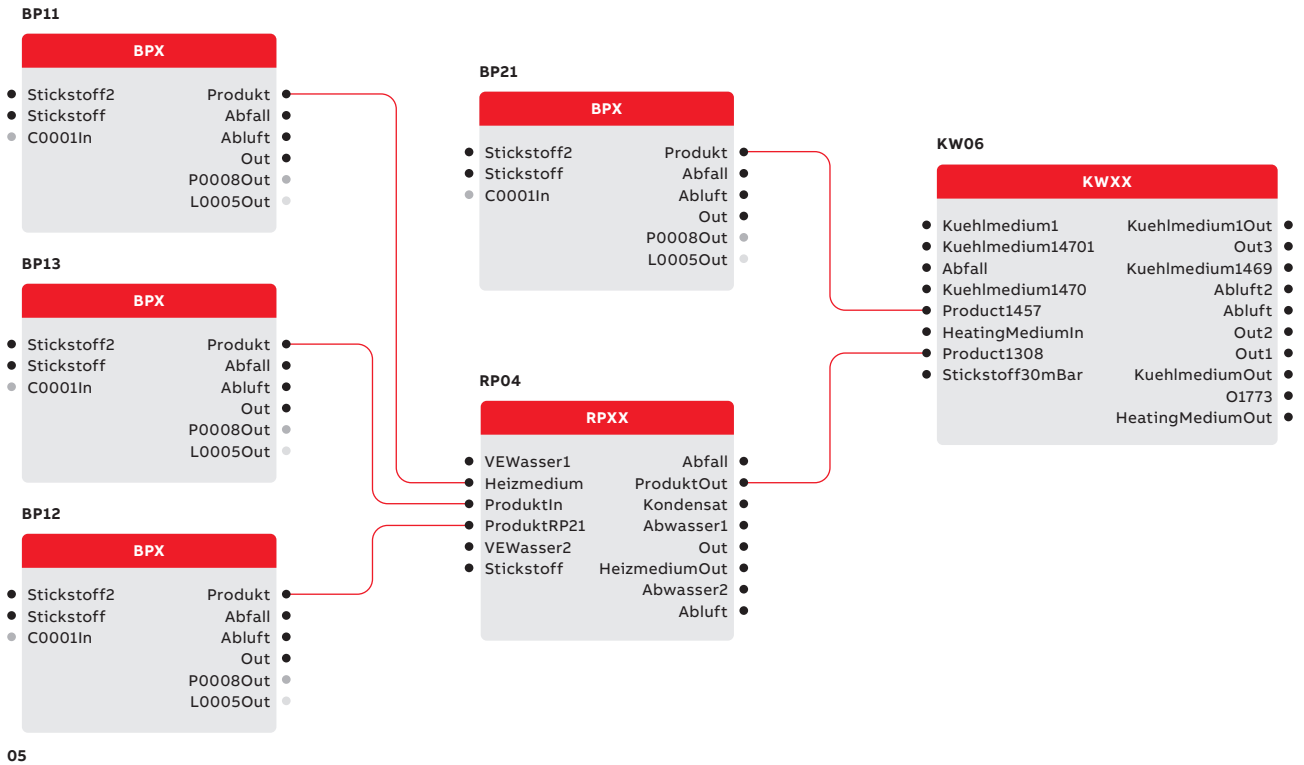
Namur 案例研究由 Namur（国际过程

工业自动化用户协会）工作组提供，作为 MTP 技术实施和建模的参考。在模块化自动化中，试验被用作概念和原型的参考示例；对于 ABB 来说，它是自动化工程和模块化生产领域新技术开发的内部

试验是自动化工程和模块化生产领域新技术开发的内部测试平台。

测试平台。此外，试验还是多种试验应用的测试平台，因此可以将各种 PEA 轻松添加到演示器中，然后对 PEA 的自动化、MTP 的导入和 PEA 间通信进行测试。

在使用 Module Designer 设计了 Namur 的 7 个 PEA 后，使用 Orchestration Designer 开发工厂拓扑 →05-06。

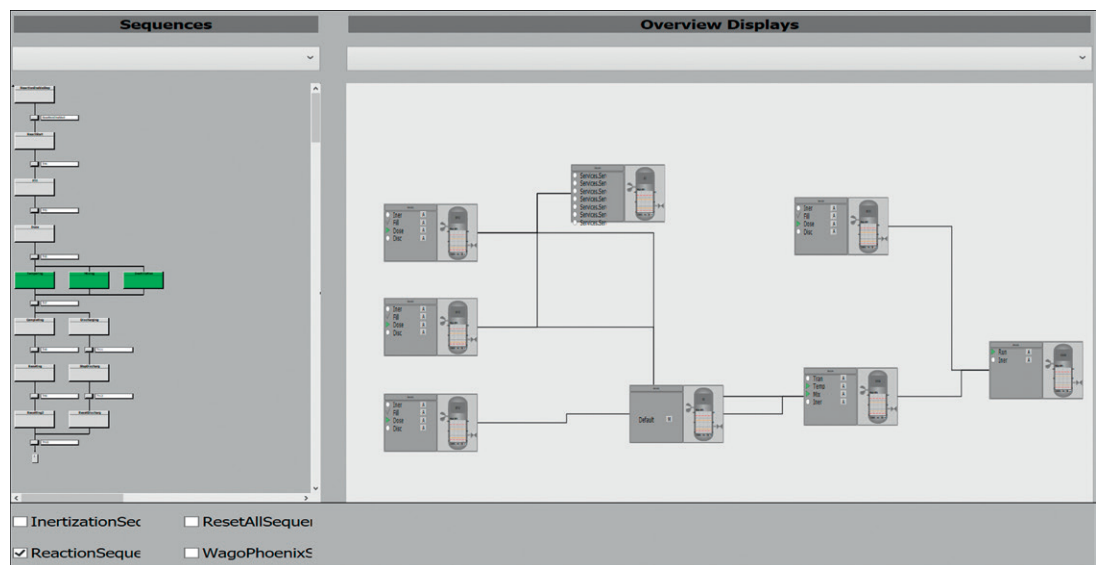


05

04 演示工厂蒸馏及其与外围/分析 PEA 的互连。

05 将工厂拓扑导入系统 800xA，自动建立与模块的通信。

06 操作过程中自动生成的操作员工作区。该序列使工厂实现了稳态运行，每个模块执行所配置的服务。



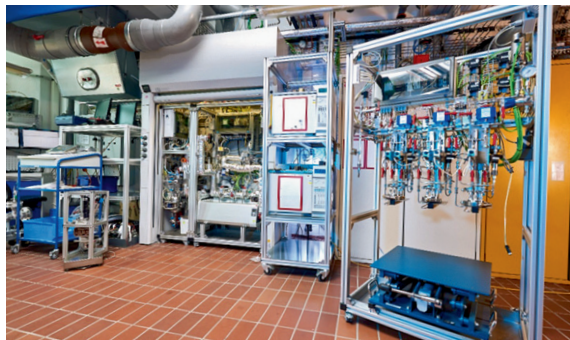
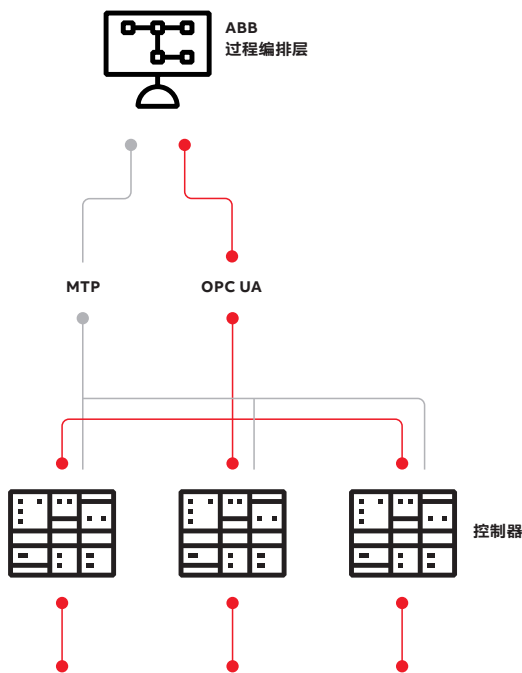
06

Merck

Merck 蒸馏试验工厂由一个复杂的 PEA 组成，可实现蒸馏操作所需的所有功能。在该 PEA 中，可以展示如何从该 PEA 内的其他服务以及从 POL 调用服务，从而证明可以在该 PEA 级别实现更大型的加工过程。该 PEA 具有“模块内安全性”，可以实现工厂的独立运行。人工控制和通过配方执行的自动控制均已进行验证。结果表明，这种技术适用于过程自动化，同时为未来模块化工厂的运营获得了重要的知识和经验。

Evonik

经过 Evonik、WAGO 和 ABB 的紧密合作，在此次试验中实施了 HMI 可视化、PEA 标记、多种服务和基于服务的配方控制，并进行了测试 → 07。可以通过 POL 以及配方控制（在 Orchestra-tion Designer 中设计）实现对这些服务的人工控制。在原型上实施了模拟和二进制信号的 PEA 间通信，并进行了测试。



07



08

使用 ABB POL 原型进行的测试表明，可以存储和加载不同的工厂拓扑，从而在几分钟内通过几个命令即可在模块化工厂内切

MTP 和模块化工厂概念是过程工业的未来标准，也是潜在的游戏规则改变者。

换 PEA。因此，在现有工厂中，针对基于系统 800xA 的 ABB POL，对规划新项目和更改功能等多个用例进行了验证。

第二个 Evonik 试验工厂由六个 PEA 组成，首次展示了适用于生产而不只是实验室环境的 PEA。在此试验中，针对服务、PEA 间通信和跨模块控制回路等用

例，对 ABB POL 进行了验证，旨在实现与现有工厂相同的功能。

模块化的未来

所有试验应用得出的结果都令人深受鼓舞，证明了使用 MTP 进行模块编排是可行的。试验要求得到了满足，MTP 和模块化自动化的可行性得到了证实。用于设备控制与监测、各种服务以及服务参数的所有标记接口均已成功通过测试。实施了自动操作序列，并成功通过了测试。此外，跨模块控制在 Evonik 试验工厂成功实施，并通过测试。

MTP 和模块化工厂概念是过程工业的未来标准，也是潜在的游戏规则改变者，可应对上市时间和灵活性方面的挑战 →08。ABB 正在引领 MTP 开发，实施最新标准，并根据不同供应商所提供模块的服务概念和过程编排展示配方引擎。



—
07 试验应用“薄膜测试 2”示意图。

—
08
MTP 和模块化工厂概念将改善整个行业的生产。

现在，既然完全模块化生产工厂的可行性已得到证实，下一步就是要发挥这项技术在传统工厂中的巨大潜力。•

鸣谢：作者从 ORCA 项目得到了部分支持，该项目由德国联邦政府经济事务和能源部（BMWi）资助（支持代码 03ET1517E、B、H、I），是 ENPRO 计划的一部分。

参考文献

[1] ZVEI, “ZVEI White-paper: Module-based production in the process industry – effects on automation in the ‘Industrie 4.0’ environment.” 来源: <https://www.zvei.org/en/press-media/publications/white-paper-module-based-production-in-the-process-industry-effects-on-automation-in-the-industrie-40-environment>. [访问日期: 2022 年 4 月 12 日]

[2] ENPRO, “Effiziente Orchestrierung modularer Anlagen.” 来源: http://enpro-initiative.de/ENPRO+2_0/ORCA.html. [访问日期: 2022 年 4 月 12 日]

[3] VDI, “VDI 2776 Process engineering plants – Modular plants – part 1: Fundamentals and planning modular plants.” 来源: <https://www.vdi.de/en/home/vdi-standards/details/vdi-2776-blatt-1-process-engineering-plants-modular-plants-fundamentals-and-planning-modular-plants>. [访问日期: 2022 年 4 月 12 日]

[4] M. Hoernicke et al., “Modular Process Plants: Part 2 – Plant Orchestration and Pilot Application,”

ABB Review 3/2019, pp. 30–35.

[5] Hoernicke, M. et al., “Automation architecture and engineering for modular process plants – approach and industrial pilot application,” 1st virtual IFAC World Congress 2020, Germany, 2020.

[6] K. Stark et al., “Modular Process Plants: Part 1 – Process module engineering,” *ABB Review* 2/2019, pp. 72–77.

[7] Bittorf, L. et al., “Modular process development in the laboratory – Plug & Research,” *ProcessNet Jahrestagung*, Aachen, 2020.

[8] Bernshausen, J. et al., “Plug and produce nears market readiness,” *atp magazin* 61 (1–2), pp. 56–69, 2019.

[9] “ORCA – Efficient Orchestration Of Modular Process Plants,” 来源: https://tu-dresden.de/ing/elektrotechnik/ifa/plf/forschung/forschungsprojekte/orca-effiziente-orchestrierung-modularer-anlagen?set_language=en. [访问日期: 2022 年 4 月 12 日]。