



开放流程自动化技术 前瞻展望

“开放自动化技术论坛”专栏访谈——工业自动化正在经历快速的技术变革，对于可扩展性、互操作性架构的更多关注，传统流程行业的企业开始尝试开放自动化技术。在云技术、工业物联网和人工智能 (AI) 等先进技术的加持下，基于标准的、开放的数字架构为传统的流程自动化技术带来创新活力。《流程工业》特策划了“开放自动化技术论坛”专栏，邀请开放自动化技术领域的专家探讨开放自动化技术进展及其如何推动行业进步，来自 The Open Group 开放流程自动化论坛的两位专家 Mohan Kalyanaraman 和张金福参与了本期技术论坛。

PROCESS-Tip

策划 / 本刊编辑部

* 更多信息请扫描二维码:



chem.vogel.com.cn

* 反馈编码: A211112

PROCESS: 什么是“开放流程自动化”? 目前这一概念如何被自动化行业市场参与者所看待?

张金福: 随着智能工厂数字化、网络化和智能化发展,传统工业控制系统的封闭性和专用性成为技术发展的最大瓶颈,在

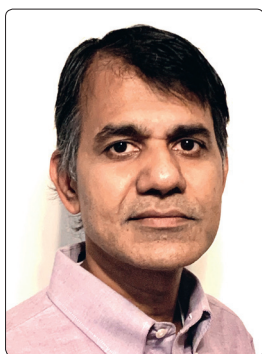
IT 技术飞跃发展的年代,这种封闭性和专用性,极大地阻碍了 DCS/PLC 的升级迁移,以及 OT 与 IT 深入高效的融合。在这种发展背景之下建设开放的、可互操作的、设计安全的流程自动化系统体系结构就显的尤为重要。The Open Group 旗下开放

流程自动化™论坛(The Open Process Automation™ Forum, 简称 OPAF)正是基于建设一个可以确保未来的自动化系统满足真正异构的标准,并提供内在的安全性、多供应商的互操作性以及系统迁移的简单途径,同时满足终端用户将从他们所控制的运营中

获得新的价值和利润。

The Open Group 是引领开发厂商中立的开放技术标准和认证的全球性联合机构。旗下开放流程自动化论坛旨在打造一个基于标准、安全并可互操作的流程控制架构。论坛会员单位超过 120 家，遍及石油与天然气、石油化工、专用化学品、制药业、造纸业、采矿业和金属冶炼等行业。论坛致力于设计并制定一套流程控制层组成的软硬件组件实现互操作性、模块化和可移植性所需的标准和业务实践；聚焦如何运用最新的分布式云计算技术和虚拟化技术，重新定义已经日趋陈旧、20 多年没有变动的架构，重新定义 DCS 和 PLC，以及与优化运营密切相关的先进控制和 MES。它打破了现有工业控制系统架构，形成扁平化的网络和交互模式，推行组件化和标准化。论坛确定了开放体系结构系统中最需要的重要质量属性（QA）。关键质量属性包括：互操作性、可移植性、模块性、互换性、安全性、标准一致性、可负担性、可用性和可发现性等。

OPA 的目标是对 ISA95 的 L1 和 L2 的功能标准化，包括现场设备和仪表的基本输入和输出，以及执行调节控制的功能块。目前这些功能都是由专用的 DCS 和 PLC 来完成的，规模约为 100 至 1000 个 PID 回路的功能块。而 OPAF 则认为，可以用更多、但更小的边缘设备作为流程控制器，这些小的硬件设备每台可以控制少到一两个回路，实际上执行的是流程自动化的微服务。当今工厂中所用的任意 DCS 和 PLC 系统的 HMI 功能、先进控制算法的运算功能以及 MES 的功能，都可以运用由服务器构成的虚拟系统，在一种开放型的软件



ExxonMobil Research & Engineering 技术收购顾问, The Open Group 开放流程自动化™论坛营销和外联联席主席。

——Mohan Kalyanaraman, 埃克森美孚研究与工程公司



SUPCON International Business Vice President, The Open Group 开放流程自动化本地化工作组联席主席。

——张金福, 浙江中控技术股份有限公司

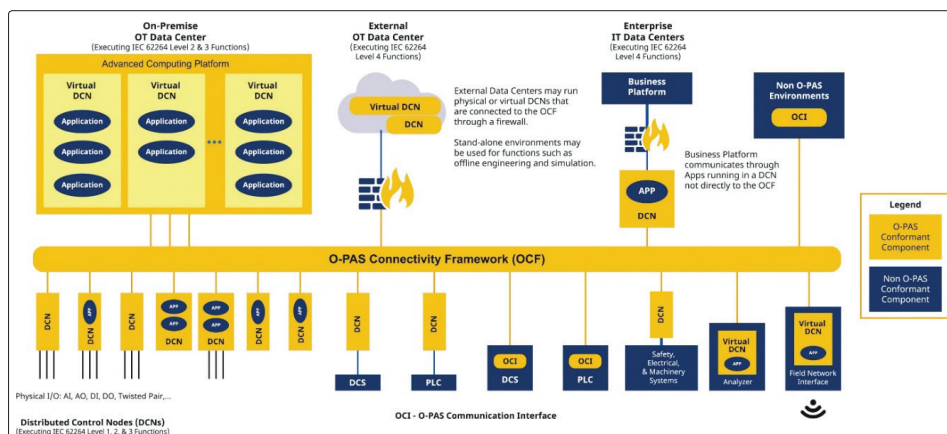
环境下实现。也就是说，下一代控制系统将被这些由虚拟服务器和许许多多计算资源和存贮资源要求足够小的自动化边缘设备组成的新系统所替代。

OPA 概念已经在行业内广为流传、影响深远，引起了工业控制领域各科研机构、供应商和最终用户的广泛关注和重视。OPA 概念适应技术的发展趋势，解决 OT/IT 融合的难题，并且为最终用户创造价值，确保流程控制自动化生态系统中所有利益攸关者

的可持续商业模式，实现所有人的“共赢”。大型自动化控制系统供应商、研发机构纷纷加入联盟，参与 OPA 架构的研究和推广。

PROCESS：当前环境下，OPA 标准在全球范围有哪些应用突破和前沿发展？

Mohan Kalyanaraman：目前，论坛已经发布 O-PAS™ 标准 1.0 版、2.0 版、2.1 版以及一系列配套应用指南和白皮书。O-PAS 标准 1.0 版描述了互操作性；2.0 版



O-PAS™标准参考架构

描述了配置可移植性和控制功能，3.0 版本将解决物理平台、编排和应用程序可移植性问题。论坛业务工作组和企业架构工作组正在讨论如何促进行业采用、创造市场条件以及最终用户部署产品。同时，论坛持续征集最终用户在生产过程中的痛点，以及对应用程序可移植性、物理标准和编排元素的需求。

PROCESS：目前 OPA 标准应用处于哪个阶段？

张金福：目前 OPA 标准应用处于迭代完善和试点应用阶段。

一、标准迭代升级

选择现有的、卓有成效的适用工业标准的基础上，综合开发新的系列标准 O-PAS，整体规划为 8 个部分。OPAF 论坛希望通过每年发布一个新版本的方式，促使开放流程自动化能在工业界到得认可和推进，促使自动化供应商启动开发新产品，并反馈技术意见，同时也反映最终用户的意见。

二、原型系统及测试床建设

埃克森美孚为 OPAF 提供了最初的动力，并继续投资于该技术。并在自己的实验室和测试床对开放自动化进行实验。OPAF 概念验证系统由埃克森美孚和系统集成商洛克希德马丁 (Lockheed Martin) 和 Wood 合作实施，包括一个实时先进计算平台 (Dell

EMC) 支持 IEC61499 运行时控制器、HMI、历史数据存储、和许多其它服务，用 OPC UA 实时以太网 (由加拿大 Matrikon 公司提供)，连接分布控制节点 (DCN)、智能 I/O、操作控制台、安全保护系统和企业信息系统等。该系统基本实现了可互操作性、可交换或可替代性、组态和应用的可移植性，以及应用开发的灵活性。由十几家供应商提供的硬件、软件产品构成的系统，产品之间的互操作性都按照标准实现，无需通过网关或通过软件转换；参与构成系统的同类型部件都可以个别地和自由地在供应商间替代，而无需修改底层的逻辑程序。

2019 年横河电机公司宣布被埃克森美孚公司选定为开放式流程自动化 (OPA) 系统集成商，负责建立开放流程自动化 (OPA) 测试平台协作中心。该中心位于埃克森美孚位于德克萨斯州伍德兰市，将容纳用于评估候选组件和标准的测试台。在测试平台上进行的开发和实验将支持埃克森美孚公司向建立基于标准、开放、安全、交互操作性强的流程控制体系结构迈进。埃克森美孚将使用试验平台评估候选部件和标准，为 OPA 技术初步进入工业现场测试提供依据。

此外，在美国还启动了一个定义下一代自动化系统的项目，其名称是《开放网络系统上的联合自动化逻辑控制》(FALCONS)。这一系统将实现从任意资源、任意设备和任意地点获得任意信息 (包括历史信息)，以优化情景感知和环境感知。系统的结构建立在分布式控制节点 (DCN) 和单通道 I/O 模块的基础上，支持实时的应用处理和与其它网络协议的实时

接口；系统由许多个有 I/O 的 DCN 和无 I/O 的 DCN，以及一个与云端连接、执行集中应用的 DCN 构成，DCN 的数量可达数千个。

PROCESS：在业务层面，企业实践开放自动化技术标准可以获得哪些价值？推进的流程中可能会遇到哪些问题和挑战？

张金福：当前许多在役的控制系统其构成的硬件和软件由于专用、封闭，维护和升级的成本昂贵，一旦需要部分升级，或者与第三方部件集成，存在很大技术风险和较高的费用。尤其在目前 IT 技术快速深入地渗透和融合到企业运营管理方方面面的形势下，这些控制系统通常不具备本征的信息安全特质，造成了巨大的风险和隐患。在业务层面，企业实践开放自动化技术标准可以获得如下价值：

- 1) 构建一套完全开放的、可互相操作、可移植的架构体系，新架构使各供应商的控制系统及数据无缝衔接，互联互通；
- 2) 统一最终用户、供应商和集成人员的需求，共同开发和巩固实现此远景所需的开放标准、最佳实践和模型；
- 3) 通过完善的一致性认证程序支持和维护开放体系结构和规范；
- 4) 轻松集成一流的组件，提供对领先性能的及时访问；
- 5) 使用自适应的、内在的安全模型，保证内建安全的开放互联；
- 6) 使采购和模块化集成认证的一致性组件到系统，以满足最终用户的需求；
- 7) 使用开放配置和信息模型加速应用程序的开发；

Table 1. The O-PAS Standard will be divided into eight parts.	
Part	Description
O-PAS Part 1	Technical Architecture
O-PAS Part 2	Security Aspects
O-PAS Part 3	Profiles
O-PAS Part 4	Connectivity Framework
O-PAS Part 5	System Management
O-PAS Part 6	Configuration
O-PAS Part 7	Application Portability
O-PAS Part 8	Physical Platform

O-PAS™标准整体规划分为 8 个部分

8) 显著降低了未来替换的
难度和系统的生命周期成本。

与此同时,在 OT/IT 融合推进的过程中,可能会遇到如下问题和挑战。

1) 传统自动化系统设计与运维习惯的挑战

OPA 架构将颠覆现有工业控制系统的架构和从业人员的传统思路,造成工业控制系统设计、运维服务以及最终用户的困惑和不理解,特别是 OT 和 IT 技术的融合,打破传统工厂内部的组织架构设计,信息中心和仪控部门将协同工作,甚至合二为一,这些因素都将导致 OPA 推广的困难和阻力。

2) 实时性和确定性的问题

OPA 开放架构的推进,将导致多网络和多业务融合,控制网络上运行实时、非实时各种业务流,导致通信实时性和确定性的问题。因此基于 TSN 的有线/无线一体化的控制网络技术将势在必行。

3) 系统安全的风险

近几年,网络安全事件层出不穷,震网病毒、勒索病毒、挖矿病毒等等,针对工业设施的网络攻击越来越多,网络安全问题不容忽视。而 OPA 的推进,将加速 IT 技术和 OT 技术的融合,工控系统开放互联,将加剧网络安全的威胁。

PROCESS : 在流程行业有哪些比较成功的应用案例?

Mohan Kalyanaraman : 最终用户带头推动 O-PAS 标准的制定。在标准被制定的同时,成员公司也在不断根据标准做测试、完善其原型。最终用户公司还宣布了基于 O-PAS 标准和可用组件的

现场试验计划。以下罗列了部分 OPA 的概念验证。

2018 年初,埃克森美孚利用洛克希德·马丁公司作为系统集成商,成功展示了概念验证 (PoC)。PoC 由 10 个不同供应商的组件组成,集成为一个操作系统。最终用户的关键质量属性值,如互操作性、互换性、配置可移植性和应用程序可移植性已得到证明。利用异构组件系统对燃烧炉进行了高保真动态模拟。使用了 37 个 4-20 mA 传感器和最终元件的模拟器,并将其连接到 IO 设备。

2018~2019 年,埃克森美孚建造了一个原型系统,用于控制其研究设施中的催化剂测试装置。中试装置用于在 8.2 MPa 和 316℃ 的温度下测试、运行和控制馏出物脱硫装置。系统集成商是洛克希德·马丁公司和伍德公司。该装置由泵、反应器、加热器、流量控制和分析仪组成。该系统于 2020 年 1 月成功上线,并一直运行到 3 月底,对泵和其他故障造成的干扰具有鲁棒性。目前,埃克森美孚公司已经与横河公司合作建立了一个测试平台,作为系统集成商。该系统用于根据 O-PAS 标准对组件进行测试,并准备在其制造工厂进行现场试验。

巴斯夫构建了一个便携式 O-PAS 系统,该系统于 2019 年在 NAMUR 大会上首次演示。它包括一个水箱、两个加热器、四个冷却器和 12 个阀门。巴斯夫报告说,该系统符合 O-PAS 标准和 NAMUR 开放式体系结构和模块化封装概念。

沙特阿美已宣布与系统集成商施耐德电气合作建立试验台,宣布将使用该试验台进行学习、测试,并正在制定实地试验计划。

乔治亚太平洋公司也宣布建立演示装置和试验台。陶氏曾与合作伙伴公司和密歇根大学合作,创建先进的制造能力的示范,利用开放式体系结构的 O-PAS 部署节约成本的自动化和数字孪生能力。

PROCESS : 在供应链升级、系统安全和工业互联网领域,OPA 标准可以解决哪些实际问题?

Mohan Kalyanaraman : 制造业务是工业流程的核心。在当前的制造体系结构中,现场仪表、传感器、基本控制和监督控制在可访问性方面位于层次结构的底部(称为 1 级和 2 级)。虽然 3 级的制造执行系统 (MES) 和业务流程系统 (4 级) 在商业 IT 硬件上运行,但 L1 和 L2 硬件和软件系统是封闭和专有的。由于控制系统的封闭性,很难将新技术插入该控制系统层或升级到最新的可用硬件和软件。OPA 标准旨在通过接口标准化来解决这一问题,以便以轻松的方式插入新的硬件或软件。这还允许数据的轻松移动,并允许控制制造操作与 MES 和业务系统同步运行的能力。由于 OPA 提供的灵活性,系统(业务、MES 和控制系统)可以以更协调的方式运行,从而直接根据业务需求调整运营,因此有可能计划提高生产率、优化供应链并应对异常外部事件(如自然灾害)。

人们非常重视工业物联网 (IIoT),并对广泛部署直接连接到云的有线和无线传感器感兴趣。各公司正在试验 IIoT 设备,以检测流程变量、监控旋转设备,并将它们结合起来,使用 AI/ML 的复杂算法开发预测模型。OPA 参考体系结构支持与各种现场设备(有线和无线)的通信。它还为公

司内部、更高级别的计算能力或公共或私有云平台提供数据通道。

安全对于现代工业系统至关重要。使用 O-PAS 组件构建的控制系统使用行业标准协议是安全的。O-PAS 需要校准（如适用），以满足 62443-4-2 SL2 要求。当调试新系统时，业主 - 运营商有责任指定生产设施所需的安全等级。最终用户和 SI 应根据用户规范和要求咨询安全专家和 62443 标准中适用于系统（特别是 62443-3-3）、配置和控制系统生命周期的其他章节。然后，系统集成商从可用的 O-PAS 一致性组件中进行选择以构建系统。

为清楚起见，O-PAS 并未试图指定系统级安全性。系统由多个组件组成，包括非 OPAS 组件以及到业务流程和其他系统的连接和网关。我们认为，有一个基于标准的安全性对于确定和设定市场的明确预期非常重要，这样供应商和买家就可以有一个共同的理解，从而创造一个繁荣的市场。

PROCESS：开放流程自动化标准对企业数字化转型和可持续发展有何意义？

Mohan Kalyanaraman：世界各地的公司都在努力通过数字化转型来降低成本，提高生产率。在收集、处理和分析跨越整个操作范围的数据方面，我们付出了巨大的努力。此外，他们正在寻找改善其业务可持续性的方法。为了实现这些目标，公司正试图找到提高制造效率、减少停机时间、部署自主操作以及创建灵活的操作以应对不断变化的市场条件的方法。人工智能和深度学习等复杂工具正被用于识别趋势、使用数字孪生技术评估场景、寻

找方法和预测失败。然而，所有这些计划都依赖于对数据和可互操作组件的无缝访问，以及在生产车间实施纠正措施。封闭的专有系统不提供对数据的即时访问，也不提供部署高级控制应用程序的简单方法。开放式流程自动化（O-PAS）标准化了接口和数据模型，使需要的应用程序能够轻松访问数据，O-PAS 中的高级计算平台将允许直接部署低延迟和高可用性的高级应用程序。它拥抱了开放和互操作网络的方向，越来越多的 OT 系统必须朝着这个方向前进，以真正实现全数字化转型，提高制造效率，从而提高可持续性。

PROCESS：OPA 技术标准对中国发展智能制造会产生哪些影响？

张金福：OPA 技术标准的推广有助于智能制造的真正落地，加速智能制造的推进进程，实现高质量发展。

首先，OPA 的推进将迫使工业控制系统告别封闭和专用，走向彻底开放，加快智能制造的发展步伐。OPA 技术标准将推动工业控制系统开放互联，实现更好的扩展性、开放性，具备与信息系统数据交换的开放接口，充分满足企业信息系统的各种信息需求，解决目前智能制造互联互通的瓶颈，有助于智能工厂实现工业数据的全面感知、数据分析和预测预警，形成科学决策与智能化生产。

其次，OPA 的推广有助于结束智能工厂互联和控制系统各自为政的混乱局面，统一智能制造底层标准，加快实现智能制造

目前，智能工厂工业协议种类繁多，各类工业系统各自独立，

很难形成网络协同和实时数据交互，OPA 的推广可以统一底层标准，实现通用的互联协议和标准规范，加速智能制造的落地。

再者，OPA 技术标准引入容器化等新技术，推进工业控制系统和工业软件的技术发展。OPAC 技术标准综合了容器化、云计算、OPC UA 等各种新技术，以及新的开放开发模式和流程，为工业软件和工业控制技术提升提供有利帮助，从而加速智能工厂整体技术的提升。

在过去几十年，如同全球成熟市场，中国在内的新兴地区基本都沿袭传统的制造模型（例如 Purdue 模型或 ISA 95）既体现在物理上，也体现在逻辑方面。多层模型（物理层和逻辑层）使得这些层级难以发生交叉。中国智能制造标准及战略中的一个重要举措是倡导建立一个更开放的，更容易搭建的、互操作性能达到高水平的自动化系统平台。

开放流程自动化 OPA 技术标准在中国的本地化落地，使得中国 IT 和 OT 领域的人员多了一个可靠的参考标准。基于 OPA 的参考架构，OT 领域的专家可以观察到和 IT 专家相同的信息物理系统，虽然他们的视角可能截然不同。通常 IT 专家认为制造系统是由服务器、网络、存储资源、虚拟机、软件容器、协调器、负载均衡器和服务组成。一旦实现生产系统（在 OT 视图中）映射到一组标准化 IT 资源上，IT 和 OT 专业将能够在更高水平上进行智能制造协作，IT 软件工具和技术能够在制造过程的所有环节有效发挥作用。从而真正实现 IT/OT 原生融合，加速中国智能制造新范式的进程。