

基于拓扑的场景化报警

知情选择

报警对控制系统操作员来说至关重要，通常会以表格形式显示，并按严重性排序。但操作员必须自己弄清楚引起报警的场景。如今，ABB 可将工厂拓扑和报警时序联系起来，为报警解释提供丰富的场景信息，从而减少操作员的认知负荷。

01





—
01 大型工业综合体的报警形势可能会令操作员望而生畏。ABB 针对工业过程报警提供了一种基于拓扑的新型场景化方法，该方法可减少在发生报警时查找所需信息以快速做出正确决策方面的挑战。

工业工厂可能拥有大量用于接收或传输生产过程控制相关信号的设备。这些工厂的过程控制系统由互连传感器、执行器、控制器和计算机构成的网络组成。要监控一系列如此复杂的数据和设备，并对其产生的事件和报警做出适当反应，不是一项简单的挑战。现场和远程控制室中的人工操作员必须密切注意，以便快速发现不良状况并确定原因 → 01。如未能快速检测和了解报警，并纠正危急情况，可能会导致安全风险、不必要的成本以及环境破坏。

传统上，报警和事件会以表格形式显示在报警列表中，这使操作员在报警和事件发生时可以进行监视，并进行相应的操作 → 02。由于报警和相关参数的数量可能很多，因此这项任务会给操作员带来相当大的认知负荷。

虽然传统报警列表可提供一种全面的方式来访问报警相关信息，但它缺乏识别报警之间拓扑关系和时序关系所需的场景信息，这通常会使用户难以理解具体情况。

尤其在报警泛滥期间，即在报警发生率超过操作员处理能力的情况下，响应困难会加剧。报警泛滥通常不可避免，而且往往

—
监控报警会给操作员带来很大的认知负荷。

很严重。此类泛滥要求操作员人工分析潜在的复杂过程网络中警报的相关性（如在模拟工厂和过程拓扑的操作屏幕上），以获取有关报警之间可能关系的信息，包括

—
Jens Doppelhamer
Pablo Rodriguez
Benjamin Kloepper
ABB 集团研究中心
德国拉登堡

jens.doppelhamer@
de.abb.com
pablo.rodriguez@
de.abb.com
benjamin.kloepper@
de.abb.com

Dawid Ziobro
ABB 集团研究中心
瑞典韦斯特罗斯

dawid.ziobro@
se.abb.com

Hadil Abukwaik
ABB 前员工

Ack/Prd/Status	Actvetime	Objectname	ObjectDescription	Condition	Message
2	18 08-01:33:578	TL2029_C29	COMP_C29_Temp_State	Temp-HH	Greater than 80.00
3	18 08-01:20:578	TL2029_C29	COMP_C29_Temp_State	Temp-H	Greater than 75.00
2	18 08-00:52:078	TL2077_A1	ReactorTemp_State	Temp-HH	Greater than 80.00
1	18 08-00:50:578	PL2029_C29	COMP_C29_Pres_State	Pressure-LLL	Less than 5.00
1	18 08-00:48:077	PL2029_C29	COMP_C29_Pres_State	Pressure-L	Less than 10.00
3	18 08-00:42:578	PL2029_C29	COMP_C29_Pres_State	Pressure-L	Less than 20.00
3	18 08-00:36:078	TL2077_A1	ReactorTemp_State	Temp-H	Greater than 75.00
1	18 07:59:27:577	PL2077_A1	ReactorPressure_State	Pressure-LLL	Less than 5.00
2	18 07:59:24:577	PL2077_A1	ReactorPressure_State	Pressure-L	Less than 10.00
3	18 07:59:18:078	PL2077_A1	ReactorPressure_State	Pressure-L	Less than 20.00
1	18 07:58:53:078	TL2029_C29	COMP_C29_Temp_State	Temp-LLL	Less than 5.00
2	18 07:58:48:578	TL2029_C29	COMP_C29_Temp_State	Temp-LL	Less than 10.00
2	18 07:58:40:077	TL2029_C29	COMP_C29_Temp_State	Temp-L	Less than 20.00
1	18 07:55:58:578	TL2077_A1	ReactorTemp_State	Temp-LLL	Less than 5.00
1	18 07:55:49:078	TL2077_A1	ReactorTemp_State	Temp-LL	Less than 10.00
3	18 07:55:32:078	TL2077_A1	ReactorTemp_State	Temp-L	Less than 20.00
0	15 09:51:43:578	Compressor-Drive	Compressor-Drive	DischargeLow	Compressor-DriveTorque-Low
0	15 09:51:43:578	Reactor_ByPass	Reactor_ByPass	Red	Reactor_ByPassByPass_Blk
0	15 09:51:43:578	Compressor-Hydraulic	Compressor-Hydraulic	Cavitating	Compressor-HydraulicOil-Press-Low
0	15 09:51:43:578	IsolationSystem	IsolationSystem	Unstable	IsolationSystemHelium_Gas_Off

02

它们的时序。后者需要确定分析的起始点、构建表示拓扑相关报警的序列的心智模型以及识别启动级联的报警。在复杂的大型工厂中，这种突发的多事件情况会使操作员很快便不堪重负，从而削弱他们做出适当反应的能力。

为了提高操作员的报警处理能力，ABB 开发了一种方法，可利用来自过程拓扑模型的工程信息丰富事件和报警历史数据。

过程拓扑模型

过程工程师使用管道仪表流程图（P&ID）为工业过程创建蓝图。在这些流程图中，标明了所需的设备，并描述了元件之间的直接关系。某些 CAD 工具供应商正在推动 P&ID 文档的数字化，以便计算机算法能够处理这些文档。

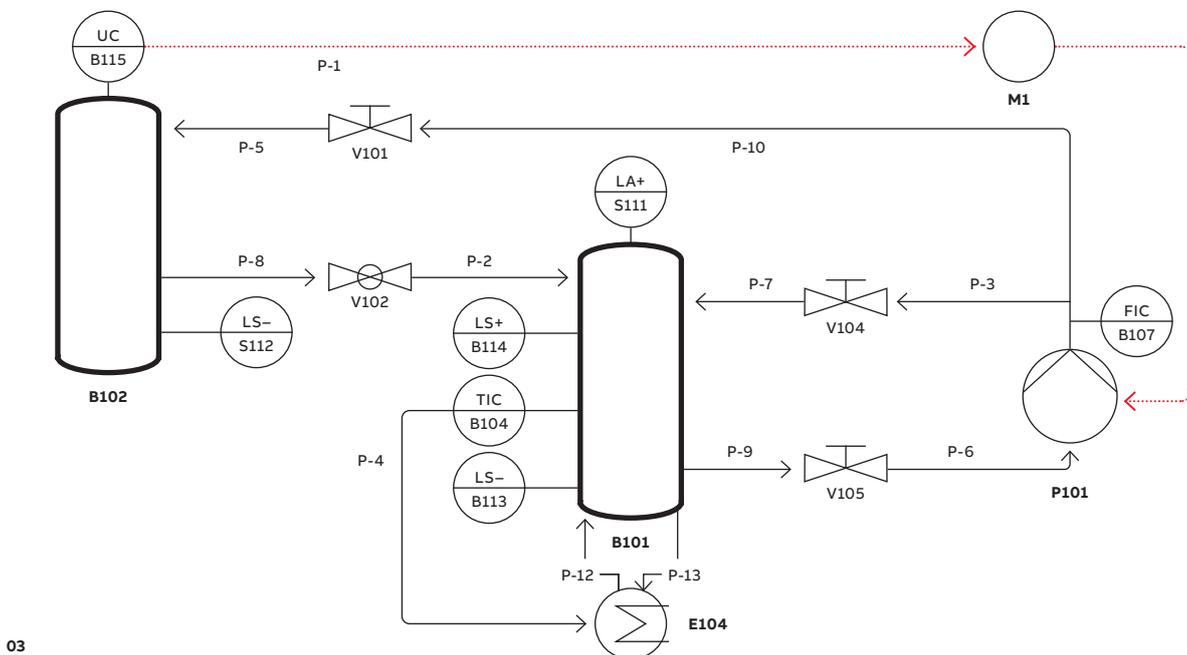
另一方面，过程或工厂拓扑模型是基于领域特定类库的一种形式模型，可捕获模型元素的类型、语义和层次结构。例如，化工厂的参考模型将包含特殊设备，例如作为“储罐”子类型的“化学反应器”。使用这些语义将 P&ID 创建为面向对象的模型，可为众多工程和操作任务的自动化实施打开方

—
ABB 的方法利用来自过程拓扑模型的工程信息丰富事件和报警历史数据。

便之门 →03。在获得 CAD 工具供应商支持以直接将 P&ID 导出到拓扑模型之前，研究小组自行构建了工具来实现这种具有实用意义的转换[2,3]。

基于拓扑的场景化智能报警列表

ABB 针对工业过程报警提供了一种基于拓扑的新型动态方法，该方法提供有效的报警列表摘要，其中包含丰富的场景信息，能够减少操作员在查找必要信息以做出决策方面的挑战。该方法利用工程信息（即上述过程拓扑模型）和操作信息（即事件和报警历史数据），导出的一组所触发报警的场景。由此导出的“智能报警列表”将通过以下方式在报警摘要视图上显示报警拓扑关系和时序信息的同步整合：



03

— 02 传统报警列表示例。

— 03 用作过程拓扑模型生成源的 P&ID 示例。信息流和物料流分别用虚线和实线表示 [1]。

— 04 基于拓扑的智能报警列表方法的抽象视图。

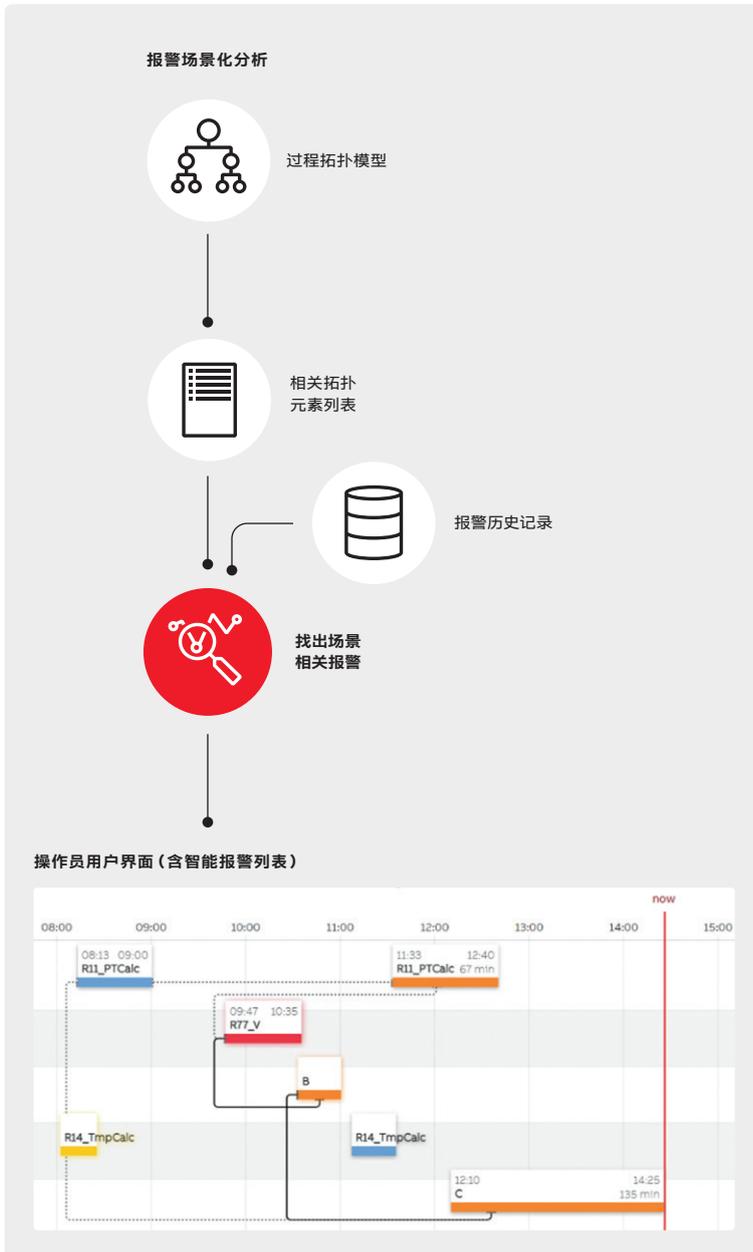
- 利用现有工程构件，包括有关受控过程（即 P&ID）的拓扑信息，推断与所触发报警相关的过程设备的物理联系。
- 使用操作信息（即事件和报警历史数据）推导拓扑关联报警的时间顺序。

此场景化分析的结果以智能报警列表的形式显示在用户界面上，其中关联了拓扑相关报警，并按时间线排序 → 04。图表中的纵向维度代表不同的对象，这些对象指向触发报警的工业组件。如果不同信号属于同一对象，它们会显示在同一行。报警属性，包括激活时间、持续时间、确认间、

对象名称和优先级，显示在长方形中，其宽度反映报警持续时间。该图表的其中一个主要功能是基于场景化报警分析，使用连线来显示报警关系（依存性）。这种可视化有助于用户区分哪些报警具有拓扑和时序关系，从而为根本原因分析提供重要信

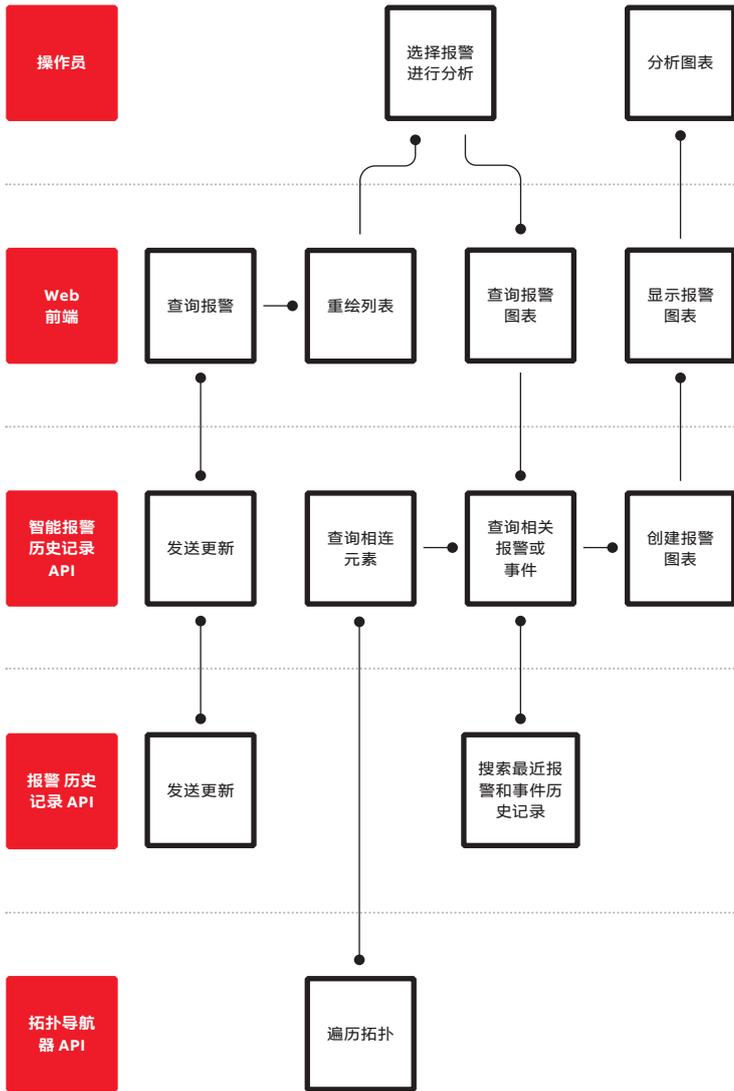
— 场景化分析以智能报警列表的形式显示，其中关联了拓扑相关报警，并按时间线排序。

息，并减少操作员的认知负荷。呈现格式大致基于因果，也称为鱼骨图或石川图。



用户场景

→ 05 借助智能报警列表显示了与特定报警分析相关的用户和系统活动。其起始点是传统报警列表。例如，操作员选择从石油钻井平台回注水系统中的压力变送器 P4 发出的报警 → 06。智能报警历史记录应用程序编程接口（API）会查询所谓的拓扑导航器 API，以查找相连元素。拓扑导航器 API 将在工厂拓扑模型中执行搜索，并在上游发现其他执行器和测量值。智能报警历史记录 API 将拓扑导航器 API 的搜索结果与最近报警历史记录相结合，发现有其他压力和流量变送器（P1、P2、P3 和 F3）显示报警。智能报警历史记录 API 构建报警图表，并将其返回到 Web 前端，在此绘制报警图表。操作员可以看到，由于吸入侧（P1）增压泵的压力问题，这一情况已蔓延到整个注入系统，影响油井（P4）处的压力。



验证

为了验证基于拓扑的智能报警列表，ABB 设计并实施了一个可与 ABB 扩展自动化系统 800xA 连接的原型工具，以及一个可使用机器可读 P&ID 创建拓扑模型的导入器。→07 以统一建模语言 (UML) 组件图的格式显示了该工具的高级软件架构。

其中，可通过拓扑导入器将拓扑信息（此处源自 Microsoft Visio 中创建的 P&ID）转换为标准 CAEX 工厂拓扑格式，这是一种独

基于拓扑的智能报警列表方法已在一家试验工厂的实际案例中成功通过验证。

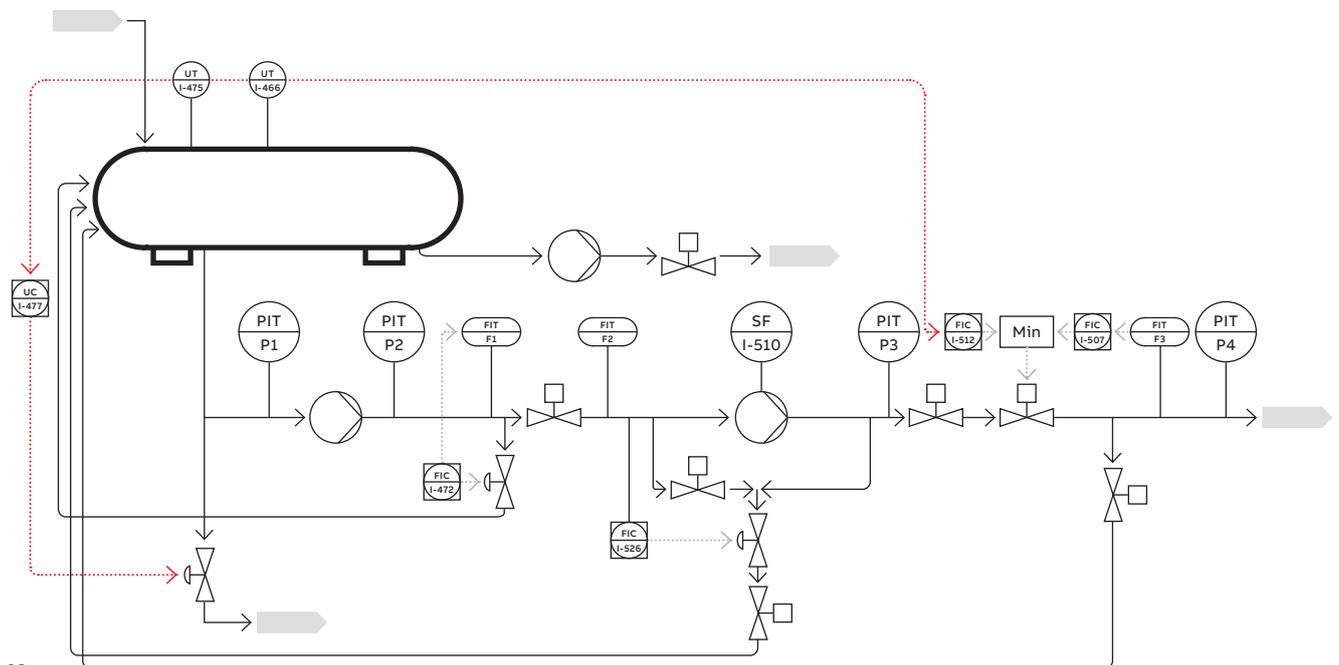
立于供应商的数据格式。还可使用其他拓扑信息源，例如其他格式的 P&ID，亦或从控制系统内过程表征和可视化中提取的信息[2]。

使用原型工具和导入器，ABB 基于拓扑的智能报警列表方法已在一家试验工厂的实际案例中成功通过验证。

适用于任何过程工业的场景化报警列表

场景化报警列表将所触发报警置于与其有拓扑相关性的其他报警的时序关系场景中，从而为过程操作员对所触发报警的推

05

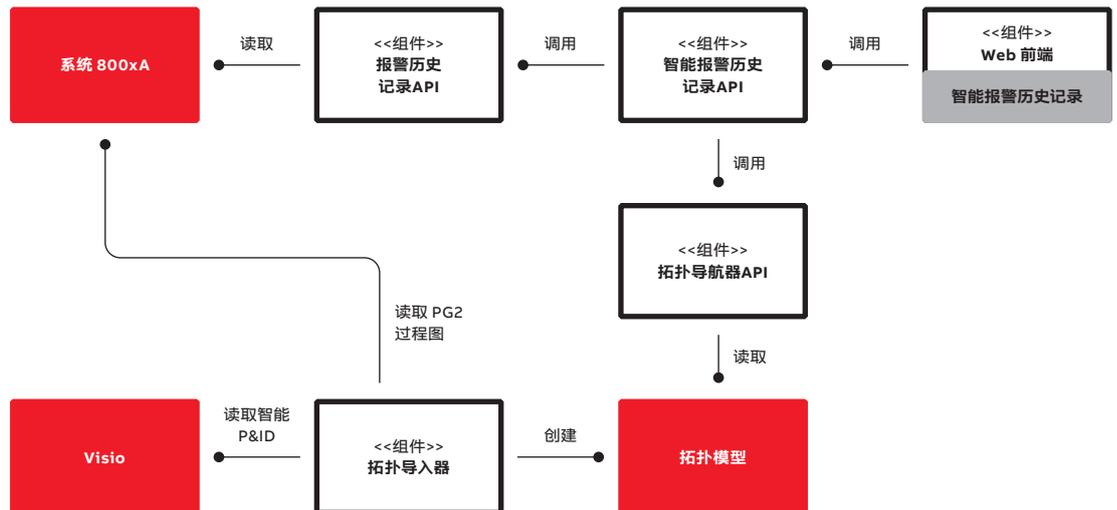


06

— 05 进行智能报警分析的活动。

— 06 简化的回注水系统过程拓扑。

— 07 智能报警列表组件。



07

理提供支持。与控制系统中的既有报警列表相比，这种可视化方法可以将由相同干扰（如阀门卡滞）引起的报警捆绑在一

— **智能报警列表概念可用于任何连续或间歇过程。**

起。该方法可为事后的报警根本原因分析提供信息，并且由于其具备通用性且不依赖于特定硬件，因此适用于过程工业的所有部门。

智能报警列表概念可用于任何连续或间歇过程。ABB 已将其应用于石油钻井平台回注水泵，在查找水泵跳闸报警的原因时，将向操作员显示的临界事件减少了 95.5%。这一改进可显著降低操作员的认知负荷，并提高报警管理的可用性。

例如，后续工作会侧重于将报警原理集成到未来人机界面（HMI）中，可能与传统报警列表并排显示。这种方法可以利用传统报警列表的过滤和搜索功能来检索特定报警或相关事件，然后在智能报警列表中探查报警关系。•

参考文献

[1] H. Koziol et al., "Industrial Plant Topology Models to Facilitate Automation Engineering," *International Conference on Systems Modelling and Management*, 2020.

[2] E. Arroyo et al., "Automatic derivation

of qualitative plant simulation models from legacy piping and instrumentation diagrams," *Computers & Chemical Engineering*, vol. 92, pp. 112–132, 2016.

[3] H. Koziol et al., "Rule-Based Code

Generation in Industrial Automation: Four Large-Scale Case Studies Applying the CAYENNE Method," *Proceedings of the ACM/IEEE 42nd International Conference on Software Engineering: Software Engineering in Practice*, 2020.