

Honeywell

盛虹石化
SHENGHONG PETROCHEMICAL

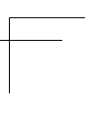
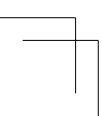
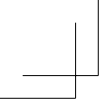
AI

操作导航

从经验驱动到自主运行



出品：霍尼韦尔(中国)有限公司智能制造研究院
江苏盛虹石化产业集团有限公司



协会致辞

当前，中国石油和化学工业正处在由规模扩张向高质量发展加速转型的关键阶段。在全球产业格局重塑、“双碳”目标持续推进以及安全与合规要求不断提升的背景下，行业对装置运行的安全性、稳定性与经济性提出了更高要求。以数字化、智能化为代表的新一轮技术浪潮，为行业提供了重要的发展机遇，也为推动运营模式升级带来了新的可能。

总体来看，我国石化行业数字化转型已经从以信息化建设和系统部署为主的初期阶段，逐步迈入更加注重实际价值创造的深化阶段。当前亟需解决的关键问题，不在于技术手段的丰富程度，而在于数字化能力能否真正融入装置运行过程，形成可持续优化的决策机制，并转化为可量化、可验证的运营成效。这一转变，标志着行业正由“重建设”向“重应用”、由“重上线”向“重实效”加快演进，也对转型路径和方法提出了更高要求。

在这一背景下，以“操作导航”为代表的新型实践路径，展现出积极的探索意义。其核心在于，将传统以经验为主导的装置操作方式，逐步转变为以工艺机理为基础、以数据模型为支撑、以实时决策为驱动的运行体系，从而推动装置运行向更加稳定、可控与高效的方向发展。这不仅是技术应用层面的深化，更体现了装置运行理念与管理模式的系统性变革。

盛虹石化与霍尼韦尔联合开展的PDH装置操作导航项目，对这一方向进行了有益探索。从实践结果来看，通过工艺机理、过程控制与智能分析能力的有机融合，实现了关键运行指标监测精度的显著提升，增强了装置优化控制与异常识别能力，并取得了良好的管理成效与经济效益。这一案例表明，只有将数字化深度嵌入生产运行过程，与工艺本质紧密结合，才能充分释放其在提质增效方面的潜力。

更为重要的是，该项目在体系设计、实施路径和价值评估等方面形成了具有参考意义的经验，对于行业当前推进数字化转型、探索可复制路径具有积极借鉴价值，有助于引导更多企业从单点应用走向系统化推进，从试点验证走向规模化推广。

展望未来，随着数字技术与工业体系的持续融合，石化行业的竞争将更加体现在装置运行水平与运营能力的综合提升上。推动装置由经验驱动向更加科学、精细与优化的运行方式转变，实现更高水平的安全保障和资源利用效率，将成为行业发展的重要趋势。

中国石油和化学工业联合会将持续关注并支持相关创新实践，促进先进经验的交流与推广，推动行业在数字化转型和高质量发展道路上不断取得新进展。期待本白皮书的发布，能够为行业提供有益参考，助力更多企业实现数字化转型从“可见”走向“可得”的价值跃升。



中国石油和化学工业联合会副秘书长
外资委主席兼秘书长

高管致辞

全球流程工业正迈入一个关键的重构期。地缘环境不确定性、能源结构转型与“双碳”目标，使石化行业对安全、效率与合规提出了更高要求；与此同时，人工智能、机理建模与数字孪生等技术快速发展，为行业提供了前所未有的技术储备。但一个核心问题始终存在：为什么技术持续进步，而装置运行方式却没有发生同等幅度的改变？

我们观察到，行业已经从“是否要做数字化”的阶段，进入到“数字化是否真正创造价值”的阶段。当前的关键挑战，不再是建设多少系统，而是这些投入能否真正深入装置运行本身，转化为可解释、可优化的决策机制，并最终持续、可量化的经营收益体现出来。

在这一背景下，霍尼韦尔与盛虹石化围绕一个核心命题展开合作：如何让数字化从“支撑系统”，进化为“驱动装置运行”的核心能力？

答案，是“操作导航”。我们将其定义为：一种以工艺机理为基础，融合先进控制、实时优化与人工智能等能力，将装置运行持续引导至最优状态的系统化方法。这并不是简单的软件部署，而是一次对装置运营逻辑的重构——把经验转化为模型，把操作转化为可导航的最优路径。

这一体系之所以能够真正落地并发挥价值，关键在于三类核心能力的深度融合：既包括霍尼韦尔UOP长期沉淀的工艺机理知识，也凝聚了公司在过程控制与优化领域长期积累的体系化经验，并结合以人工智能驱动预测与决策能力，三者协同作用，构建起贯穿装置运行全过程的智能决策闭环。

只有当工艺、控制与智能真正融合，数字化才能从“可视化工具”转变为“运行决定性因素”。盛虹石化操作导航项目验证了这一路径的可行性：

- 组分监测从“天级”进入“分钟级”
- 报警从“泛滥”转向“精准预警”
- 投资回报周期不到半年
- 反应器优化实现模型驱动的闭环控制
- 综合年经济效益超过千万元

这些成果所证明的，不仅是单一项目的成功，更重要的是：“机理 + 数智”深度耦合，是流程工业数字化进入深水区后的必然路径。

本白皮书总结了这一探索的完整实践，从技术体系到实施方法，提炼出一套具备规模化推广潜力的转型范式。我们相信，这将帮助行业从试点探索走向体系化复制。面向未来，石化行业的竞争正在转向“运营能力”的竞争。操作导航所代表的是一种新的工业范式：让装置不再依赖个体经验，而是持续运行在可计算、可验证的最优路径之上。

霍尼韦尔期待与更多产业伙伴携手，将这一模式拓展至更广泛的流程工业场景，加速产业从数字化走向“自主运行能力”的新阶段。

霍尼韦尔大中华区总裁
华东理工大学理事、商学院战略咨询委员会委员、商学院客座教授
2026年6月

高管致辞

石化行业正处在一个关键转折点。在过去十余年的数字化进程中，企业持续加大投入，系统不断叠加，数据持续积累，但一个越来越突出的现实是：大量数字化投入并未在装置的关键运营指标上形成对应的提升。技术架构与工艺机理脱节，系统能力与一线操作错位，“看得见的智能”与“摸得着的价值”之间，仍然存在明显断层。

这一问题的本质并不在于技术是否先进，而在于数字化是否真正介入并改变了装置的运行方式。我们逐渐形成一个清晰判断：如果数字化不能直接作用于装置操作，不能在安全、效率与效益等核心指标上产生可验证的提升，那么再先进的技术也难以创造持续价值。

基于这样的反思，盛虹石化提出并推动了一项更具根本性的探索——“操作导航”。

我们将其定义为：让装置从“依赖经验运行”，走向“按最优路径运行”的新型运营模式。

在这一模式下，分散的操作经验被沉淀为可复用的数字化知识，滞后的人工判断被前置为实时决策支持，被动的事后响应转变为主动的预测干预，从而为一线操作人员提供如同“驾驶导航仪”般的实时、精准指引。

丙烷脱氢（PDH）装置成为这一体系的首个落地场景。这一选择并非偶然。PDH装置具有流程复杂、参数高度耦合、安全要求严苛等典型特征，其运营挑战在行业中有着高度代表性。在这一高复杂度场景下验证的方法，才具备真正的可复制价值。

在与霍尼韦尔一年多的联合实践中，我们围绕装置运行的核心问题，完成了从“理念”到“结果”的完整闭环：

- 关键工艺指标监管实现从“天级”到“分钟级”的跃迁
- 反应器数字孪生与先进控制形成闭环
- 异常识别与根因定位实现前置化
- 综合年经济效益超过千万元
- 一线岗位从执行型角色向运营管理型角色转型

这些成果验证了一点：数字化只有深入工艺本质、融入操作决策，才能转化为可量化的经营成果。

本白皮书系统复盘了这一实践过程，从技术架构、实施路径到价值量化，提炼出一套可在流程工业推广复制的方法体系。我们希望，它不仅是一份项目总结，更是一条可验证、可落地的转型路径。

面向未来，石化行业的竞争将不再局限于规模与装置数量，而将更多体现在运行质量与运营能力上。操作导航所代表的不仅是一个系统，更是一种新的装置运行范式。

盛虹石化愿与产业伙伴共同探索这一方向，加速经验沉淀与模式复制，推动中国石化装置由“经验驱动”迈向“最优路径驱动”，实现运营能力的系统性跃升。



江苏盛虹石化产业集团有限公司总裁
2026年6月

目 录

协会致辞	1
高管致辞	2
第一章 为什么传统运营模式正在失效	5
1.1 石化行业面临的结构性挑战	5
1.2 现有生产运营模式的核心问题	6
1.3 传统数字化手段的局限性	7
1.4 核心结论	7
第二章 操作导航：新一代装置操作模式	8
2.1 操作导航的定义	8
2.2 操作导航的核心能力	8
2.3 技术架构与关键功能模块	10
2.4 从稳定到自主：四阶段演进路径	12
第三章 标杆验证：操作导航带来的实际改变	14
3.1 核心成果	14
3.2 关键应用场景	16
3.3 生产运营模式的改变	18
3.4 项目成功的关键因素	19
第四章 对企业管理层的核心价值	20
4.1 财务价值	20
4.2 运营价值	20
4.3 安全与风险价值	21
4.4 组织与人才价值	22
4.5 战略价值	22
第五章 复制路径与规模化落地	23
5.1 行业复制路径	23
5.2 不同类型企业实施策略	24
5.3 项目落地方法论	25
5.4 投资与收益逻辑	26
第六章 未来方向：迈向自主运行时代	27
6.1 自主运行的演进路径	27
6.2 三大关键技术突破方向	27
6.3 行业影响与范式变革	28
6.4 霍尼韦尔与盛虹石化的角色	29
结 语	29
附录	30



第一章 为什么传统运营模式正在失效

全球石化产业正处于发展范式重构的关键时期。地缘政治波动、能源结构转型、数字技术革命三大变量，正深刻改变着行业的竞争格局与发展逻辑。对于中国石化行业而言，在新型工业化与新质生产力发展的战略指引下，行业正从规模扩张向质量效益转型。然而，在转型推进过程中，一个不容回避的事实日益清晰：传统依赖人工经验、离线管控、事后处置的运营模式，已经难以适应当前市场化竞争加剧、低碳环保政策收紧、安全生产标准升级、柔性生产需求凸显的行业新格局。

1.1 石化行业面临的结构性挑战

市场波动与利润压缩

时至今日，我国已成为世界第一炼油大国和最大乙烯生产国，石化产业进入由大变强的关键阶段。然而，行业“大”的优势并未自动转化为“强”的竞争力。近年来，全球地缘政治格局持续动荡，原油及关键原材料价格波动频繁且幅度加大，产品利润空间被不断压缩。石化企业面临着“成本上升、售价下降”的双重挤压，装置的精细化运营能力直接决定了企业的盈利水平。过去依靠规模扩张和粗放经营获取利润的时代已经结束，每一吨原料的浪费、每一度能源的过度消耗、每一次非计划停车带来的产量损失，都在侵蚀企业本已微薄的利润空间。

低碳与安全监管压力

“双碳”目标对高耗能的石化行业提出了严峻的低碳转型要求。碳排放在线监测、碳排放权交易、能耗限额标准等政策工具持续收紧，企业不仅需要满足当前的合规要求，更需要为未来更严格的监管标准提前布局。与此同时，安全生产法规不断完善，重大危险源管控、过程安全管理、应急响应能力等要求持续升级，任何安全事故都可能带来巨大的经济损失和声誉损害。石化装置的运营韧性、精细化管控能力面临着前所未有的考验。

复合型人才培养

行业人才短缺问题日益凸显。一方面，经验丰富的资深操作人员陆续退休，大量隐性知识随之流失；另一方面，既懂化工工艺又懂数字技术的复合型人才供给严重不足。新入职人员培养周期长、成本高，难以快速胜任复杂装置的操作与优化工作。人才断层不仅加剧了运营风险，更制约了数字化转型的推进速度。当最了解装置的“人”逐渐离开，如何将宝贵的经验知识沉淀为可传承、可复用的数字化资产，成为行业必须面对的紧迫课题。

1.2 现有生产运营模式的核心问题

依赖经验的决策体系

在传统石化生产运营模式下，关键工艺指标的监测依赖离线化验，调控滞后性明显——例如 PDH 装置脱丙烷塔塔釜组分通常需要 24 小时才能得到化验结果，操作人员无法实时掌握装置运行状态，只能凭借经验进行粗放式调整。多变量强耦合的生产过程，难以通过人工经验找到全工况最优操作条件，不同工况下难以实现装置的全局优化。当装置运行进入非典型工况时，经验驱动的决策体系更是捉襟见肘，响应速度和决策质量都难以保障。

数据与实际运行脱节

尽管多数石化企业已经部署了 DCS、MES、LIMS 等信息化系统，积累了海量的生产数据，但这些数据之间并没有实现有机协同。更重要的是，现有系统主要解决的是“数据采集与展示”问题，而非“数据驱动决策”问题。数据可视化不等于决策能力，操作人员面对海量数据，依然需要依靠个人经验进行判断和决策，数据的价值远未被充分释放。

局部优化替代全局最优

在传统运营模式下，各单元、各岗位往往协同程度不高，追求局部最优而非全局最优。装置的全局优化需要统筹考虑原料成本、产品价格、能耗水平、设备状态等多维因素，这远远超出了人工经验的决策能力边界。局部优化的叠加，不仅无法等同于全局最优，甚至可能因目标冲突而导致整体效益的下降。



1.3 传统数字化手段的局限性

自动化 ≠ 优化

很多企业将自动化等同于数字化转型的核心目标，认为实现了自动控制就完成了转型。然而，自动化实现了安全和平稳控制，但各信息化系统之间的协同程度仍然不高。如针对PDH装置而言，APC系统与工艺机理融合不足，难以适配催化剂全生命周期的动态变化，长期运行后APC模型精度下降，效益流失明显。很多APC系统上线初期效果显著，但随着时间推移，控制效果逐渐变差，最终难以持续保障装置的最优运行。自动化是数字化的基础，但绝非数字化的终点。

数据可视化 ≠ 决策能力

数据看板、实时仪表盘等可视化工具，让企业管理层和操作人员能够“看见”更多数据，但“看见”并不等于“理解”，更不等于“能够做出最优决策”。无效报警易引发报警洪灾，操作人员被海量无效报警淹没，无法及时识别真正的安全风险；工艺与设备异常依赖事后处置，缺乏早期预警与根因分析能力。数据可视化的价值，只有在与决策能力结合时才能真正释放。

系统协同不足导致价值难释放

DCS、MES、LIMS、ERP等系统缺乏决策协同能力，优化建议无法自动形成，设备预警信息无法与工艺调整联动——系统之间的割裂，使得每一个单点能力都无法发挥出应有的价值，数字化投入与产出严重不成比例。

1.4 核心结论

传统运营体系已无法支撑石化装置高效、安全与稳定运行的需求。高度依赖人工经验、关键指标监测滞后、多变量耦合优化困难、系统割裂导致数据价值难以释放、安全管控以被动响应为主等问题，已不再是个别企业的管理短板，而是传统运营模式的系统性问题。在行业结构性挑战持续加剧的背景下，石化装置亟需一套全新的操作模式，从根本上破解“经验驱动”的局限性。

这一转变要求在运营模式上，从依赖个体经验转向数据与机理双轮驱动；在系统能力上，构建实时状态感知、多目标全局优化、异常预测诊断与自动闭环执行的核心能力，彻底打破系统割裂；最终在业务价值上，实现从“被动响应”到“主动预警”的管控升级、从“经验主义”到“数智驱动”的效率飞跃，以及从“局部优化”到“全局最优”的效益提升，全面保障装置的高效、安全与长周期运行。



第二章

操作导航： 新一代装置操作模式

2.1 操作导航的定义

操作导航（Operation Navigator，简称“OpNav”）指在确保装置安全前提下，为工艺操作和管理人员提供最优生产操作和异常响应模式，实现装置最优运行。操作导航结合工艺知识和数智化技术，为操作员提供优化操作指导，并实时有效应对异常情况，确保装置的最佳生产和安全运行，最终实现装置安全、高效和可持续运营的自主运行。

最优操作模式：通过结合装置工艺模型知识和数字化优化技术，提供装置对应工况下的最优生产操控轨迹，以实现装置整体生产利润最大化。同时辅以控制性能与报警管理等技术应用，实现装置自控稳定运行、消除无效报警、优化有效报警、降低人工操作频次，确保装置长周期连续稳定运行。

最佳异常响应：实时在线监测与安全、工艺和设备可靠性等相关过程参数，并基于APR/ML（高级模式识别与机器学习）与多重算法优化技术，结合大语言模型与知识工程，建立异常预测与响应模型。当反映装置工艺和设备性能的指标发生趋势性偏离，能及时预警和提醒装置操作和管理人员，并提供异常根源分析和推荐异常处置方案，保障装置安全平稳高效运行。

2.2 操作导航的核心能力

操作导航具有四大核心能力，这四大能力相互支撑、协同运作，共同实现装置运营的智能化升级。

实时运行状态感知能力

传统模式下，操作人员对装置运行状态的感知是碎片化的、滞后的。操作导航通过工艺数字孪生模型，将关键工艺指标从“天级”监测提升至“分钟级”监测，实现了装置运行状态的全景实时感知。操作人员不再需要等待离线化验结果，不再需要在多个系统之间拼凑信息，通过统一的操作界面即可一屏掌控装置全局运行状态。



多目标全局优化能力

传统模式下，装置优化往往是单目标、单变量的局部调整。操作导航通过集成霍尼韦尔 UOP 丙烷脱氢原厂工艺分析技术、霍尼韦尔通用工艺数字孪生、AI/ML 以及 APC/PWO 技术，能够根据市场行情、原料价格、装置运行状态、催化剂生命周期阶段等多维因素，自动计算装置的全局最优操作点，并在多个相互冲突的优化目标（如产量最大、单耗最低、周期最长）之间找到最佳平衡，实现多目标全局优化。

异常预测与根因分析能力

传统模式下，工艺与设备异常的发现依赖人工巡检和事后分析，响应滞后且根因定位效率低。操作导航通过 AI/ML 技术建立异常预测模型，能够在指标出现异常趋势但尚未恶化为事故之前，自动发出预警并定位导致异常的主要影响因素，给出根因分析结果和操作建议，实现了从“事后处置”到“事前预防”的根本性转变。

一体化的操作导航能力

传统模式下，虽然已经部署了诸多信息化软件系统（比如实时数据库、MES、设备管理、APC、RTO、报警管理等等），但是数据信息分散在各处，针对优化生产、生产异常并没有一个整体的综合感知和管控界面。操作导航为用户提供一个一体化的操作导航和决策支持界面，涵盖包括趋势监盘、异常预警、操作建议、效益预测、最优操作路径等诸多功能。在一个高度融合的人机界面中让用户全方位直观感知、决策和实现闭环。

2.3 技术架构与关键功能模块

工艺机理驱动的底层逻辑

操作导航不是孤立的数字化项目，而是服务石化企业经营战略的长期系统工程。其基本逻辑是坚持工艺机理知识（包括霍尼韦尔 UOP 原厂专有机理模型）与数字化技术双轮驱动，破解石化装置运营的突出矛盾，实现最优生产与最佳异常响应的协同推进。不同于行业内“为了数字化而数字化”的做法，操作导航始终将工艺知识作为系统的内在内核。所有的数字化技术应用，都围绕着工艺机理展开，确保技术真正服务于生产实际。同时，通过数字化技术将隐性的专家经验转化为显性的数字化知识，实现工艺知识的沉淀、传承与复用。这种“工艺为核、技术为翼”的基本逻辑，确保了操作导航能够真正扎根生产实际，为企业创造实实在在的价值。

四层架构：物联感知 / 控制执行 / 数智决策 / 操作应用

操作导航采用“物联感知层—控制执行层—数智决策层—操作应用层”全链条数据打通的四层架构设计，通过单向数据提取保障控制系统的可靠安全，实现装置运营全流程可视、可控、可优化、可追溯，最终推动装置向自主运营演进。

物联感知层：作为整个操作导航的基础，负责采集装置的实时运行数据，包括仪表、阀门、定位终端、视频、传感器等。通过标准化的数据接口，实现设备数据的统一采集与传输，为上层系统提供准确、实时的数据支撑。

控制执行层：作为操作导航的执行中枢，负责将优化指令转化为实际的生产操作，包括 APC（先进过程控制）、PWO（动态实时优化）、CPAU（控制系统性能监控与运维）、AM（智能报警管理）、APM（设备预测性运维）等。通过执行层，实现装置的自动控制与优化执行，减少人工操作干预。

数智决策层：作为操作导航的决策中枢，负责数据的处理、分析与优化决策，包括工艺数字孪生（包括霍尼韦尔 UOP 原厂机理模型及工艺分析技术）、知识图谱、实时优化与闭环控制模块、工艺异常监测与分析模块、设备健康与预测性维护模块、AI 大语言模型等主要功能模块。通过决策层，可实现装置运行状态的全面感知、异常的提前预警与生产的全局优化。

工艺数字孪生模块：基于霍尼韦尔数字孪生技术（PDT）搭建动态机理模型，实现工艺研究、操作验证、优化寻优三大主要功能。

实时优化与闭环控制模块：集成霍尼韦尔 UOP 工艺计算包、AI/ML 技术、APC+ 与 PWO 实时优化，实现全流程优化计算。

工艺异常监测与分析模块：建立反应器性能预测模型，实现关键指标实时计算、异常预警与智能根因定位。

设备健康与预测性维护模块：通过机理模型与机器学习相结合的方式，实现设备故障早期预警、根因分析与处置方案推荐。

智能报警与绩效管理模块：基于 AI 实现报警优化，过滤无效报警，减少报警“洪灾”；搭建全层级绩效看板，实现生产指标的闭环管理。

操作应用层：作为操作导航的交互与应用层，负责为操作人员和管理人员提供直观的决策支持界面，包括趋势监控、异常预警、操作建议、效益预测、最优操作路径等功能。通过操作应用层，实现人机协同的智能化操作与管理，提升决策效率与操作精度。

操作导航四层架构
从物联感知到操作应用的完整技术栈



数据安全与系统可靠性设计

石化行业的高安全属性，要求数字化系统必须确保控制系统的绝对可靠。操作导航通过单向数据提取的安全设计，确保优化系统只能从控制系统读取数据、向控制系统写入优化目标值，而不能直接操控底层控制逻辑，从根本上杜绝了数字化系统对生产安全的潜在威胁。同时，系统具备完善的故障自诊断与安全降级机制，当优化系统出现异常时，装置自动回退到常规控制模式，确保生产安全不受影响。

操作导航五大功能模块 以工艺机理为核心的实时决策与闭环控制功能体系



2.4 从稳定到自主：四阶段演进路径

操作导航并非一蹴而就的颠覆性改造，而是一套循序渐进、可分阶段落地、快速见成效的实施架构。根据装置的数字化基础、生产需求与投资回报规划，操作导航分为 L1 稳定运行、L2 优化运行、L3 辅助运行和 L4 自主运行四个递进式的实施层级。

L1 稳定运行阶段：聚焦自控提升、报警管理、性能监控，筑牢装置稳定运行基础。这一阶段的主要目标是解决装置的连续稳定运行问题，通过提升基础回路的控制性能、优化工艺报警、监控控制系统性能，实现装置“自控稳、报警少、波动小”。

L2 优化运行阶段：聚焦实时优化、数字孪生、预测性维护，实现装置运营效益最大化。在 L1 阶段实现装置平稳运行的基础上，通过搭建工艺数字孪生模型、实施先进控制与实时优化、部署设备预测性维护系统，实现装置的全局优化与效益提升。

L3 辅助运行阶段：聚焦专家知识库建设，打造装置级生产操作智能体。这一阶段的主要目标是通过知识图谱与大语言模型，固化专家经验，实现异常的自动识别、根因的自动分析、处置方案的自动生成与操作指令的辅助执行。

L4 自主运行阶段：聚焦 AI 等技术的深度应用，实现装置的全自主运行。在 AI 技术和语言大模型等技术的支持下，装置将实现“无人干预、自主响应、全局优化”，系统能够基于实时数据和相应模型，在多变工况与市场条件下进行自适应判断与优化决策；面对扰动与异常，系统可进行根因自诊断、自主评估风险并执行相应应对策略；同时整合多维度信息，在全局最优目标下自动协调与调度，实现“全局最优”的全流程闭环。

这种分阶段的实施路径，能够适配不同规模、不同数字化基础的石化企业，让企业能够根据自身情况，循序渐进地推进数字化转型，持续获得数字化收益。

操作导航分阶段实施路径



数据出处：盛虹操作导航项目报告，实际收益可能因客户现场环境条件而有所差异。



第三章

标杆验证： 操作导航带来的实际改变

霍尼韦尔与盛虹石化联合打造的 PDH 装置操作导航项目，是行业内首个操作导航全流程落地的标杆案例。该项目严格遵循操作导航的设计架构与实施路径，成功实现了从设计到工业化应用的完整闭环。以下从核心成果、关键应用、运营模式改变和成功因素四个维度，系统呈现操作导航带来的实际改变。

3.1 核心成果

操作导航系统上线投用后，在经济效益、装置稳定性、安全性和人员效率等多个维度取得了可量化、可验证的显著成效，真正实现了从理念到价值的闭环。

操作导航上线前后关键指标对比 PDH装置操作导航试点项目实测成效



数据出处：盛虹操作导航项目报告，实际收益可能因客户现场环境条件而有所差异。

利润与经济效益提升

在脱丙烷塔优化方面，基于工艺数字孪生模型的优化指导，脱丙烷塔的塔釜采出量从优化前的 5.49t/h 逐步降低至 3.69t/h，在满足塔顶碳四含量工艺要求的前提下，实现塔釜丙烷回收率提升 10% 以上。仅这一项优化便可实现年综合经济效益 700 万元以上。截至 2025 年 5 月，仅 4 月 14 日至 5 月 26 日这一个多月时间里，数字孪生模型就为装置实现提质增效 144 万元。

在反应单元优化方面，通过霍尼韦尔 UOP 原厂丙烷脱氢反应器性能优化技术 PTA 与反应器 APC 控制器的原生融合，装置的丙烯收率提升了 0.1% 以上，蒸汽消耗量降低 6.5 吨/时，仅蒸汽消耗降低一项，年节约成本就超千万元。综合测算，仅 L2 阶段的主要优化模块，就为 PDH 装置实现年经济效益超千万元，按照当前的投资与收益测算，项目投资回报周期不到半年，优于行业平均水平。

能耗与物耗下降

蒸汽消耗量降低 6.5 吨/时，折算年节约蒸汽超过 5.5 万吨，直接降低了装置的能源成本和碳排放。脱丙烷塔塔釜丙烷回收率提升 10% 以上，意味着更多的丙烷原料被回收利用而非作为燃料燃烧，既降低了原料损失，又减少了能源浪费。这些优化成果不仅带来了直接的经济效益，更契合了“双碳”目标下石化行业绿色低碳转型的发展方向。

装置稳定性与安全性提升

通过 L1 阶段与 L2 阶段的协同优化，PDH 装置的自控率接近 100%，实现了装置关键参数的全闭环平稳控制，有效消除了班组操作差异带来的运行波动。同时，通过报警管理与智能预警体系的优化，装置的无效报警大幅减少，在平稳工况下平均每班工艺报警数量低于 5 个，操作人员无需再被海量无效报警干扰，能够聚焦于真正的异常风险处置。

在安全管控方面，系统实现了工艺与设备异常的全流程提前预警，能够提前预判装置运行中的各类风险，给出根因分析与处置建议，实现了从“被动响应”到“主动预警”的转变。同时，系统将标准化的异常处置流程沉淀到数字化体系中，确保任何操作人员面对异常时，都能获得专业的处置指引，从根本上降低了人为操作失误导致的安全风险。

人员效率与劳动强度改善

操作导航系统替代操作人员完成了大量重复的、机械的参数监控、数据统计、常规调整等工作，先进控制投用后，实现人工操作频次降幅达 50% 以上，大大降低了人员劳动强度。系统投用后，PDH 装置操作岗位的定编人数减少了 30%，缩编之后，装置的控制效果反而比之前更好——机器可以 24 小时不间断运行，不会疲劳、不会出现判断失误，而人总会有精力不集中、判断失误的时候。

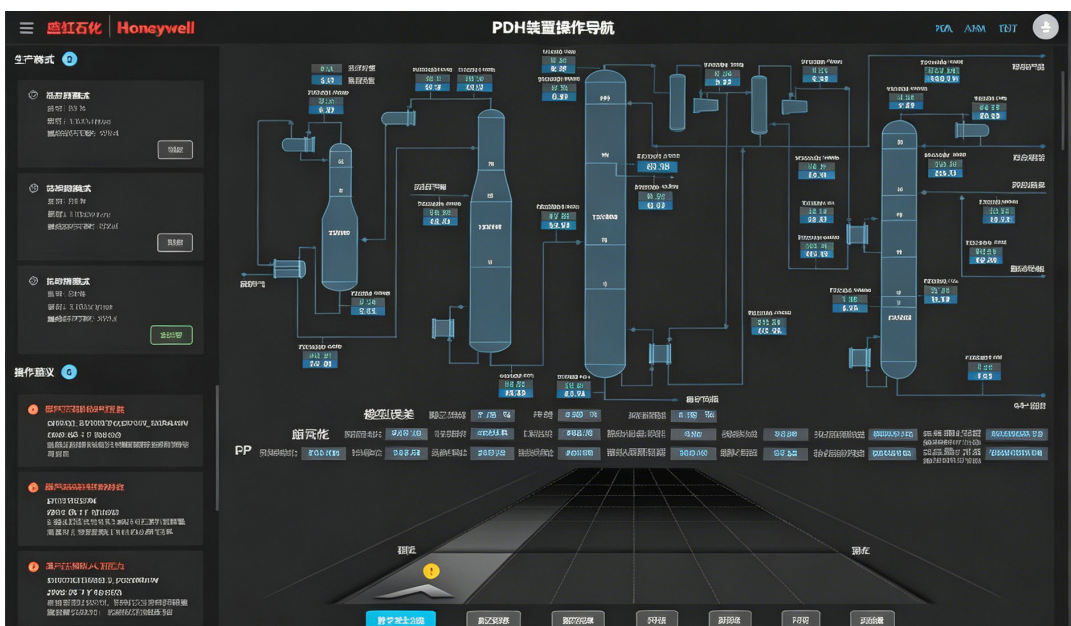
数据出处：盛虹操作导航项目报告，实际收益可能因客户现场环境条件而有所差异。

3.2 关键应用场景

脱丙烷塔数字孪生优化

脱丙烷塔是 PDH 装置反应器前的重要原料处理单元，其主要功能是脱除进料中的碳四及以上组分，保证进反应器的丙烷纯度。传统模式下，脱丙烷塔塔釜缺少在线分析仪，操作人员只能依赖 24 小时一次的离线化验数据调节塔釜参数，数据滞后性导致大量丙烷原料随塔釜采出作为燃料燃烧，造成原料损失，同时也难以实时找到塔的最佳操作条件。

数字孪生总图示意



针对这一痛点，项目搭建了基于霍尼韦尔数字孪生技术的脱丙烷塔高精度工艺数字孪生模型，该模型包含在线动态模型和离线稳态模型两部分。在线动态模型通过与现场实时数据库连接，同步采集装置运行数据，实时计算塔釜丙烷含量、碳四含量等关键组分数据，实现了关键指标从“天级”到“分钟级”的监测；离线稳态模型则基于实时运行数据，定时进行优化计算，在满足塔顶碳四含量工艺要求的约束下，以塔釜采出量最小化为目标，给出最优的塔釜采出量和操作参数建议。模型经过大量历史数据验证，与真实工况的匹配度达到 95% 以上，能够准确反映装置的实际运行状态。

反应器优化与闭环控制

PDH 装置的反应器是整个生产流程的关键单元，其运行状态直接决定了丙烯收率、丙烷单耗和装置的长周期运行能力。传统模式下，反应器的操作优化高度依赖人工经验，随着催化活性能随运行时间衰减、反应器筛网堵塞导致压差升高等动态变化，操作人员难以在丙烯产量、丙烷单耗和四反清网周期之间找到最优平衡点。同时，原有的 APC 系统缺乏反应器转化率、选择性和最大管壁温度等关键指标的监控和控制手段，难以实现基于工艺机理的深度优化。

数据出处：盛虹操作导航项目报告，实际收益可能因客户现场环境条件而有所差异。

项目通过集成霍尼韦尔针对 PDH 装置的原厂数字孪生技术（UOP PDH 反应器性能优化器 PTA，UOP PDH 反应器在线工艺计算包 UOP Process Toolkit）和 APC 先进控制系统，构建了“优化—计算—执行”一体化的反应器闭环优化体系。UOP Process Toolkit 基于霍尼韦尔 UOP 专有工艺机理，实时计算反应器单程转化率、选择性和四个加热炉炉管最高温度等关键软仪表参数；PTA 反应器性能优化器则结合装置实际工艺数据、化验数据和霍尼韦尔 UOP 反应器机理模型，根据不同运行阶段的优化目标（反应初期提高丙烯产量、反应中期延长清网周期、反应末期最大化产能），给出最优的反应器入口温度、氢烃比等操作参数建议；APC 先进控制系统则将 PTA 给出的优化建议值作为被控变量的控制目标，辅助执行优化操作，实现了从优化寻优到闭环执行的全流程贯通。

工艺性能分析与异常预警

传统模式下，PDH 装置反应转化率、选择性等关键工艺指标的监测依赖离线分析工具，只能得到每天的平均值，无法实时掌握指标的动态变化。当转化率下降、选择性偏移时，操作人员无法及时发现，导致工艺异常响应滞后。同时，对于工艺波动的根因定位，完全依赖工艺工程师的个人经验，排查效率低、耗时长。

针对这一痛点，项目部署了基于 APR/ML（高级模式识别与机器学习）技术的反应器工艺性能分析系统。该系统基于化工“三传一反”机理公式和装置历史运行数据，建立了转化率和选择性的实时计算模型，实现了关键指标的分钟级监测；同时，通过多元回归分析和主成分分析（PCA）技术，挖掘工艺参数与性能指标之间的非线性关系，构建了异常预测模型。当转化率、选择性指标超出阈值或呈现异常趋势时，系统会自动发出预警，并定位导致异常的前三个主要影响因素，给出根因分析结果和操作建议。

操作界面与人机协同

操作导航的操作界面窗口是整个系统的统一人机交互界面，为操作人员提供了全视角的装置运行导航。该界面整合了装置实时运行参数、工艺数字孪生计算结果、优化操作建议、异常预警信息、工艺 KPI 指标等核心内容，实现了所有关键信息的集中展示和一站式操作。

操作界面窗口主要包含五大功能区域：一是生产模式切换区域，支持高负荷、低单耗、长周期三种生产模式的一键切换，并展示当前模式下的优化目标和操作参数；二是工艺流程图区域，实时显示装置各单元的运行参数，同时同步展示工艺数字孪生模型的计算结果，方便操作人员对比分析；三是异常警示区域，当装置出现工艺或设备异常时，对应单元上方会出现黄色叹号标识，点击即可查看异常详情、根因分析和处置建议；四是工艺 KPI 指标区域，展示塔釜压力、丙烷含量、反应转化率、选择性等核心指标的实时数值和近 3 小时趋势；五是操作建议区域，实时推送系统生成的可执行操作建议，指导操作人员进行优化调整。

数据出处：盛虹操作导航项目报告，实际收益可能因客户现场环境条件而有所差异。

3.3 生产运营模式的转变

人工操作向系统驱动转变

操作导航系统的落地，改变了 PDH 装置的传统操作模式。系统替代操作人员完成了大量重复的、机械的参数监控、数据统计、常规调整等工作，让操作人员的操作频次、劳动强度明显降低。先进控制投用后，人工操作频次降幅达 50% 以上，操作人员从“被数据追着跑”的被动状态，转变为“由系统引导操作”的主动状态。操作人员不再需要时刻盯盘、频繁手动调整，而是按照系统给出的优化建议进行确认和执行，工作重心从“操控”转向“监控与决策”。

操作岗位与职责升级

操作导航系统推动了 PDH 装置所有岗位的角色升级，实现了“人”与“系统”的共同成长。一线操作人员从繁琐的、重复的基础操控工作中解放出来，主要职责转变为对装置整体运行性能的把控，以及异常工况的应急处置；工艺工程师从繁重的数据收集、人工分析工作中解放出来，聚焦于工艺优化与方案审核，实现了从“数据处理者”到“优化决策者”的转变；设备工程师从被动的事后维修，转变为主动的预测性维护与全生命周期管理；装置经理则从繁琐的事后应急处置，升级为全周期的风险预控与全局效益优化。

人机协同的新工作模式

操作导航系统创造了一种全新的人机协同工作模式。系统负责 24 小时不间断的数据监测、优化计算和常规控制执行，人则负责异常工况的判断与处置、优化方案的审核与确认、系统运行效果的评估与反馈。机器不会疲劳、不会出现判断失误，人则具备系统无法替代的经验直觉和创造性思维。人机各展所长、协同互补，实现了“1+1>2”的运营效果。同时，通过系统的落地与持续培训，盛虹石化培养了一批既懂 PDH 工艺又懂机理建模，还懂数字化应用的复合型人才，为装置的长期优化与集团内的项目复制，奠定了坚实的人才基础。



数据出处：盛虹操作导航项目报告，实际收益可能因客户现场环境条件而有所差异。

3.4 项目成功的关键因素

工艺机理与数字技术结合

本项目自始至终坚持“工艺为核、数据为翼”的技术路线。无论是脱丙烷塔的数字孪生模型，还是反应器的性能优化与 APC 闭环控制，其底层均依托霍尼韦尔工艺数字孪生（包括霍尼韦尔通用工艺数字孪生技术、霍尼韦尔 UOP PDH 专有机理模型、工艺分析技术与工艺计算包）所沉淀的机理知识。现场验证表明，只有将工艺机理作为模型的“安全边界”与“优化基准”，才能确保系统给出的每一组优化建议、每一次异常预警皆可解释、可追溯、可闭环执行。这是本项目区别于市面上纯数据驱动或仅停留在自动化层级的其他方案的核心差异。

以目标为导向联合创新

项目从概念提出（由盛虹石化总裁白玮先生亲自命名“操作导航”）到基本设计、现场调试、正式上线的全过程，始终坚持“从现场中来，到现场中去”的原则。霍尼韦尔与盛虹石化的技术团队、生产团队、管理团队以联合创新的方式深度协作，每一个功能模块的开发都经过了现场调研、需求确认、模型校正、用户测试的闭环流程。正是这种“技术与生产不脱节”的联合创新模式，才使得系统上线后迅速被操作人员从“被动用”转变为“离不开”的生产工具。

数据打通与系统集成能力

操作导航是一套高度集成的综合性系统，需要将工艺数字孪生、APC 先进控制、APM 设备管理、AI 大语言模型、操作界面等多个模块，以及 DCS、实时数据库、LIMS、MES 等多个外部系统进行深度集成与数据打通。项目团队搭建了统一的数据中台，制定了标准化的数据接口与通讯协议，实现了多系统的实时数据打通，确保了数据传输的实时性、准确性与稳定性，为系统的协同运行奠定了坚实的数据基础。

持续迭代与组织推动

项目落地过程中，全新的操作模式和操作理念让现场操作人员的接受度成为一个主要挑战。项目团队采取了三大措施：开展全流程、多频次的系统培训；建立常态化的沟通机制，持续收集一线反馈并优化系统；用实际效果说话，让操作人员直观感受到系统能够减少操作失误、降低劳动强度。最终，系统从上线初期的“被动用”，变成了操作人员日常工作中“离不开”的重要工具。同时，盛虹石化管理层的坚定支持和组织推动，为项目的顺利落地提供了有力的保障。

数据出处：盛虹操作导航项目报告，实际收益可能因客户现场环境条件而有所差异。



第四章

对企业管理层的核心价值

操作导航的价值，不仅体现在装置级的技术优化和运营改善上，更体现在对企业整体管理效能的系统性提升上。对于企业管理层而言，操作导航在财务、运营、安全、人才和战略五个维度，提供了可量化、可验证的核心价值。

4.1 财务价值

投资回报周期

盛虹石化 PDH 装置操作导航项目的投资回报周期不到半年，显著优于行业数字化项目的平均回报周期。这一优异的 ROI 表现，源于操作导航“分阶段实施、快速见效”的落地策略——L1 阶段即可实现装置稳定运行，L2 阶段即可实现可量化的经济效益提升，L3 阶段通过专家知识库建设实现智能辅助运行，L4 阶段实现全自主运行，企业无需等待全模块部署完成即可获得投资回报。

收益增长路径

操作导航为企业提供了清晰的收益增长路径：短期内，通过 L1 阶段的稳定运行优化，减少非计划停车和操作波动带来的产量损失；中期内，通过 L2 阶段的数字孪生和实时优化，实现原料回收率提升、产品收率提升、能耗物耗降低，直接增厚利润；中长期内，通过 L3 阶段的辅助运行，借助专家知识库和智能操作体，实现异常的自动识别、根因分析和处置方案的自动生成，持续提升人员效率和操作精度；长期内，通过 L4 阶段的自主运行，实现装置全生命周期的持续优化和人员效率的持续提升，构建长期竞争壁垒。

4.2 运营价值

稳定运行能力提升

操作导航将装置自控率提升至接近 100%，有效消除了班组操作差异带来的运行波动，实现了装置关键参数的全闭环平稳控制。对于管理层而言，这意味着装置运行的确定性大幅提升——不再因为操作人员的经验差异、精力波动而导致运行效果参差不齐，装置的运行质量不再依赖于“人”的状态，而是由系统保障。

数据出处：盛虹操作导航项目报告，实际收益可能因客户现场环境条件而有所差异。

生产效率优化

操作导航通过实时优化和闭环控制，实现了装置在不同工况、不同运行阶段的全局最优运行。过去，管理层只能凭借经验和基础数据做决策，面对“产量与单耗不可兼得”“稳定与优化相互矛盾”的运营难题；今天，数字孪生与相应模型可根据实际情况自动计算出最优参考路径，寻找最优平衡点，实现生产效率的持续优化。

4.3 安全与风险价值

提前预警能力

操作导航实现了工艺与设备异常的全流程提前预警，将安全管控模式从“被动响应”转变为“主动预警”。对于管理层而言，这意味着安全风险的可控性大幅提升——系统可以在异常恶化为事故之前发出预警并给出处置建议，为应急响应争取了宝贵的时间窗口。无效报警的大幅减少（平稳工况下平均每班工艺报警数量低于 5 个），确保了操作人员能够聚焦于真正的安全风险，避免了“狼来了”效应导致的安全麻痹。

非计划停车减少

非计划停车是石化装置最大的运营风险之一，不仅造成直接的经济损失（单次非计划停车损失可达数百万元），更带来安全隐患和设备损伤。操作导航通过设备预测性维护和工艺异常早期预警，有效降低了非计划停车的发生概率。同时，系统将标准化的异常处置流程沉淀到数字化体系中，确保任何操作人员面对异常时都能获得专业的处置指引，从根本上降低了人为操作失误导致非计划停车的风险。



数据出处：盛虹操作导航项目报告，实际收益可能因客户现场环境条件而有所差异。

4.4 组织与人才价值

人员效率提升

操作导航将操作岗位定编人数减少了 30%，人工操作频次降幅达 50% 以上，释放了大量人力资源。对于管理层而言，这不仅意味着直接的人力成本节约，更意味着可以将释放的人力资源重新配置到更高价值的工作岗位上——工艺优化、技术研发、安全管理等，实现人力资源的价值最大化。

专家经验数字化沉淀

操作导航将资深操作专家的隐性经验转化为显性的数字化知识，实现了专家经验的沉淀、传承与复用。对于管理层而言，这意味着企业不再面临“人走经验散”的知识流失风险，装置的运营水平不再依赖于个别专家的个人能力，而是由系统保障。即使经验丰富的操作人员退休或调岗，装置依然能够保持高水平的运行状态。

人才结构升级

操作导航推动了操作人员从“执行者”向“管理者”的角色升级，推动了工艺工程师从“数据处理者”向“优化决策者”的转变。对于管理层而言，这意味着企业的人才结构正在从“劳动密集型”向“知识密集型”升级，人才的价值创造能力显著提升。同时，通过系统的落地与持续培训，企业能够培养出一批既懂工艺又懂数字化应用的复合型人才，为企业的长期发展奠定坚实的人才基础。

4.5 战略价值

构建长期竞争壁垒

操作导航不仅是一个技术项目，更是企业构建长期竞争壁垒的战略投资。率先完成装置级数智化升级的企业，将在生产效率、运营成本、安全管控、人才效能等多个维度建立领先优势，这种优势随着系统的持续优化和数据资产的持续积累，将形成越来越高的竞争壁垒。对于管理层而言，操作导航的价值不仅在于当前的 ROI，更在于它为企业构建了一条持续优化、持续领先的数字化发展路径。

支撑高质量发展

操作导航与新质生产力的发展要求深度契合，通过技术革命性突破、生产要素创新性配置、产业深度转型升级，为石化企业培育新质生产力提供了重要的实践载体。在“双碳”目标、安全生产、高质量发展等政策导向下，操作导航为企业提供了兼顾经济效益与社会责任的系统性解决方案，支撑企业在合规前提下实现高质量发展。

数据出处：盛虹操作导航项目报告，实际收益可能因客户现场环境条件而有所差异。



第五章 复制路径与规模化落地

5.1 行业复制路径

操作导航并非为 PDH 装置定制的专用方案，而是一套适用于全流程工业的通用型数智化运营体系。基于操作导航的特性与流程工业的行业特征，这套体系的行业推广，可分为装置级、工厂级、产业链级三个阶段逐步推进，实现从单点突破到全局优化的跨越。

操作导航分阶段行业推广路径图
从装置级复制到产业链协同的战略扩展路径



装置级复制

这一阶段的重点，是将盛虹石化 PDH 装置的成功经验，快速复制到石化行业的各类主流装置中，包括常减压、乙烯、重整、芳烃、精细化工、煤化工等各类化工装置。针对不同的装置类

数据出处：盛虹操作导航项目报告，实际收益可能因客户现场环境条件而有所差异。

型，只需要将对应装置的工艺包、机理知识、专家经验，嵌入操作导航的标准化技术架构中，就能快速完成定制化开发与落地。

工厂级优化

在完成多个重要装置的操作导航落地后，可进一步实现工厂级的全局集成与优化。通过搭建工厂级的统一操作导航平台，将全厂的所有装置、公用工程、仓储物流、供应链等环节进行全面打通，基于全厂的原料成本、产品价格、装置负荷、公用工程消耗等数据，实现全厂级的全局优化与动态寻优，让整个工厂的运行效益实现最大化，打造智能化工厂。

产业链协同

在工厂级优化的基础上，可进一步将操作导航的理念与架构，延伸至上下游产业链中。通过产业链级的数据互通与协同优化，实现从原油采购、生产加工、物流运输到产品销售的全产业链协同，提升整个产业链的运行效率与抗风险能力，推动整个流程工业的高质量发展。

5.2 不同类型企业实施策略

不同企业在规模、数字化基础与资源投入能力方面存在差异，因此在落地路径上也需要采取差异化策略。

大型炼化企业路径

对于大型石化集团、炼化一体化企业，其数字化基础较好、装置齐全、资金实力雄厚，可采用“L1+L2 同步实施，逐步向 L3、L4 迈进”的策略，在重要装置快速落地操作导航的全模块功能，打造行业标杆，再逐步向全厂、全集团复制推广。在完成 L1 稳定运行和 L2 优化运行的基础上，同步开展 L3 阶段的专家知识库建设和智能辅助运行，并积极探索 L4 阶段的全自主运行技术研发与落地，走在行业转型的前列。

中小企业路径

对于中小型石化企业、精细化工企业，其数字化基础相对薄弱、资金投入相对有限，可采用“循序渐进、分步推进”的策略，先从 L1 阶段的 APC 先进控制、报警管理、控制性能优化入手，快速实现装置的平稳运行，看到立竿见影的转型效果；再逐步推进 L2 阶段的数字孪生、实时优化和预测性维护模块，实现装置效益提升；在 L1、L2 阶段取得成效后，根据企业发展需求和资源情况，适时推进 L3 阶段的专家知识库建设，实现智能辅助运行；待技术和条件成熟时，再探索 L4 阶段的全自主运行，形成“投入—见效—再投入”的良性循环，避免一次性大额投入带来的风险。

5.3 项目落地方法论

盛虹石化 PDH 项目的成功实践，已经沉淀出了一套标准化的项目实施方法论，覆盖从需求识别到持续优化的全流程。

需求识别

项目启动阶段，开展全流程的现场调研，与装置经理、工艺工程师、设备工程师、一线操作人员进行深度访谈，全面梳理装置生产过程中的痛点、难点与需求，基于这些实际需求，制定项目的实施方案与功能设计，而非脱离实际的功能堆砌。

模型构建

基于霍尼韦尔 UOP 专有工艺包和装置实际运行数据，搭建高精度的工艺数字孪生模型和优化模型。模型经过大量历史数据验证和现场校正，确保与真实工况的匹配度达到 95% 以上，能够准确反映装置的实际运行状态。

系统集成

搭建统一的数据中台，制定标准化的数据接口与通讯协议，实现 DCS、实时数据库、LIMS、MES 等多系统的实时数据打通。针对机理模型与现场实时数据的同步问题，通过大量的现场测试与模型校正，优化模型的计算逻辑与响应速度，确保模型能够根据现场实时数据实现毫秒级的同步计算与优化。

现场部署

在生产团队全程深度参与下，针对每一个模块、每一个功能、每一条操作建议，都进行现场验证与优化，确保系统给出的所有内容都符合现场的生产实际与工艺要求。同时，开展全流程、多频次的系统培训，确保操作人员能够熟练使用系统。

持续优化

系统上线后，建立持续的优化迭代机制，根据现场的工况变化、工艺调整、操作人员的反馈，持续优化模型参数与系统功能，确保系统能够始终适配装置的实际运行需求。同时，建立常态化的技术迭代机制，针对系统运行过程中出现的技术问题，快速响应、快速解决。

数据出处：盛虹操作导航项目报告，实际收益可能因客户现场环境条件而有所差异。

5.4 投资与收益逻辑

ROI 结构

操作导航的投资结构清晰、可量化。主要投资项目包括：工艺数字孪生模型开发、APC 先进控制系统部署、实时优化 RTO 系统实施、设备预测性维护模块部署、操作界面开发与集成、项目实施与培训等。这些投资项可根据企业需求分阶段投入：L1 阶段的投资门槛较低，L2 阶段在 L1 基础上增量投入，L3 阶段根据技术成熟度逐步追加，L4 阶段则根据 AI 技术成熟度进行前瞻性投入。

分阶段收益释放

操作导航的收益释放遵循“分阶段、递进式”的逻辑：L1 阶段，通过提升自控率和优化报警管理，减少非计划停车和操作波动带来的产量损失，投资回报主要体现在“止损”上；L2 阶段，通过数字孪生和实时优化，实现原料回收率提升、产品收率提升、能耗物耗降低，投资回报主要体现在“增效”上；L3 阶段，通过专家知识库和智能操作体，实现异常的自动识别与辅助处置，提升人员效率和操作精度，投资回报主要体现在“赋能”上；L4 阶段，通过 AI 大模型深度应用实现装置全自主运行，达到“无人干预、全局优化”，投资回报主要体现在“持续领先”上。盛虹石化 PDH 项目的实践表明，L2 阶段的年经济效益即可覆盖全部投资，投资回报周期不到半年。





第六章

未来方向： 迈向自主运行时代

操作导航的提出与落地，是石化装置数智化转型更加深刻的起点。随着工艺机理、数字技术与人工智能的持续融合，石化装置正在从“能够被优化”走向“能够持续自主优化”，从“依赖人来维持运行”走向“由系统主动引导运行”。这一变化意味着，未来石化装置的核心竞争力，将不再只体现在装置规模、产能水平或单点技术能力上，而将更多体现在装置是否具备持续感知、实时决策、自主执行和动态优化的能力。

从这个意义上看，自主运行并不是一个遥远的概念，而是石化行业下一阶段最具确定性的演进方向。操作导航所验证的，正是这一方向从理念走向现实的起点：装置运行不再只是“依靠经验维持稳定”，而是逐步进化为“依靠系统持续保持最优”。

6.1 自主运行的演进路径

从辅助决策到辅助执行

当前的操作导航，已经实现了装置运行的最优路径规划、精准操作指引、异常提前预警与处置建议。下一步的演进方向，是从“系统建议、人工确认”的辅助决策模式，并逐步过渡到“系统决策、辅助执行”的自主运行模式。这需要在确保安全可控的前提下，逐步扩大系统的辅助执行范围，从常规工况的自动优化，扩展到异常工况的自动处置，最终实现装置的全流程自主运行。

从局部优化到全局协同

当前的操作导航，已经实现了单个装置的全流程优化。下一步的演进方向，是从装置级优化扩展到工厂级、产业链级的全局协同优化。通过多装置的协同优化，实现全厂原料分配的最优化、公用工程消耗的最小化、产品结构的动态调整；通过产业链级的数据互通与协同优化，实现上下游企业之间的安全数据互通与产业链协同优化，提升整个产业链的运行效率与抗风险能力。

6.2 三大关键技术突破方向

模型能力与全场景覆盖

当前的操作导航，已经覆盖了装置关键生产路线上的重要节点，但要实现自主运行，必须实现装置全流程、全场景的全面覆盖，无论是主生产系统，还是附属的公用工程、辅助系统，都需

要完成全维度的机理建模与智能管控。未来，操作导航将持续深化机理模型的覆盖范围，从重要装置延伸到全厂全流程，从稳态优化延伸到全工况动态优化，实现装置全生命周期、全场景的高精度数字孪生。同时，持续优化“机理+AI”的混合模型技术，提升模型的自适应能力、自学习能力，让模型能够适配装置催化剂老化、设备性能劣化、工艺调整等全生命周期的工况变化。

AI 与多智能体协同

未来，操作导航将深度融合工业 AI Agent、认知智能等前沿技术，打造多 AI Agent 协同协作的智能运营体系。不同的 AI Agent 将分别负责工艺优化、设备管理、安全管控、能源优化、供应链协同等不同领域，通过多 Agent 的自主协同，实现装置全流程的自主决策、自主执行、自主优化。同时，基于生成式 AI 的装置专属知识库，将持续迭代升级，实现专家经验的持续沉淀与自主学习，让系统的智能决策能力持续提升，逐步接近甚至超越资深专家的水平。

系统级闭环能力

当前的操作导航中，APC 先进控制、数字孪生优化、设备预测性维护、AI 知识库等模块，已经实现了数据互通与功能协同，尚未实现全链路的深度串联。要实现自主运行，必须打破模块之间的壁垒，实现“异常预警—根因分析—处置方案生成—操作指令执行—效果验证—闭环优化”的全流程自动化串联，让各个模块形成一个能够自主协同、自主决策、自主执行的有机整体。

6.3 行业影响与范式变革

生产方式重构

操作导航的持续演进，将从根本上重构石化行业的生产方式。从“人控”到“智控”，从“经验驱动”到“数据+机理驱动”，从“事后处置”到“主动预警”——这些变革不仅是技术层面的升级，更是生产关系的深刻调整。操作人员的角色将从“执行者”转变为“管理者”和“决策者”，工艺工程师将从“数据分析师”转变为“优化架构师”，装置经理将从“应急指挥官”转变为“全局优化师”。这种生产方式的重构，将释放出巨大的生产力，推动石化行业从劳动密集型向知识密集型、技术密集型转型。

新一代智能工厂形态

操作导航的终极愿景，是打造“无人值守、自主优化、安全高效”运行的新一代智能工厂。在这样的工厂中，装置的日常运行由系统自主完成，操作人员从“守在装置旁”转变为“管理多套装置”，工艺优化从“定期分析”转变为“实时持续”，安全管理从“被动应急”转变为“主动预控”。这不仅是技术层面的飞跃，更是石化行业生产范式的根本性变革，将为流程工业新质生产力的发展注入强大动能。

6.4 霍尼韦尔与盛虹石化的角色

行业技术引领者

霍尼韦尔深耕全球石化工艺技术与工业数字化领域数十年，拥有全球领先的 UOP 专有石化工艺机理积淀与全链条智能运营技术能力。在操作导航的持续演进中，霍尼韦尔将继续发挥行业技术引领者的角色，持续投入工艺机理模型、工业 AI、数字孪生等核心技术的研发，推动操作导航从 L1 稳定运行、L2 优化运行向 L3 辅助运行迈进，并积极探索 L4 自主运行的技术突破，为行业提供最先进的技术解决方案。

应用创新践行者

盛虹石化作为操作导航的首个践行者，拥有丰富的装置运行管理经验和敢为人先的创新理念，不仅提供了 PDH 装置这一高复杂度的验证场景，并组织技术团队、生产团队和管理团队与霍尼韦尔紧密协作，确保系统真正扎根生产实际。项目的成功验证了操作导航的有效性，盛虹石化已成为行业数字化转型的标杆，为操作导航在石化行业的规模化推广提供了宝贵的实践经验与示范效应。

结 语

中国石化行业正处于从“石化大国”向“石化强国”跨越的关键历史节点。传统运营模式的系统性缺陷日益凸显——经验驱动的决策体系难以应对多变量耦合的复杂工况，离线管控的模式无法满足实时优化的需求，系统割裂的现状制约了数据价值的释放。这些不是个别企业的管理问题，而是整个行业面临的共同挑战。

操作导航，正是在这样的行业背景下诞生的。它跳出了“为了数字化而数字化”的行业误区，从石化装置的工艺本质出发，以“机理为核、数据为翼、AI 为引擎”的技术路线，构建了一套从平稳运行、优化运行到自主运行的全层级解决方案。盛虹石化 PDH 装置标杆项目的成功落地，以不到半年的投资回报周期、超千万元的年经济效益、接近 100% 的自控率，充分验证了操作导航的实战价值，更总结出了一套可复制、可推广的流程工业数智化转型方法论。

霍尼韦尔作为全球石化工艺技术与工业数字化领域的领导者，将持续深化“东方服务东方”战略，不断完善操作导航的技术架构与功能应用，持续沉淀行业实践经验。我们诚挚地邀请每一位关注石化行业数智化转型的同仁，从一套装置的试点开始，亲身体验操作导航带来的运营变革。道阻且长，行则将至；行而不辍，未来可期。让我们携手共进，共同推动中国流程工业从“经验驱动”迈向“自主运行”的新时代。

* 文中所指“最佳”、“最优”等，需根据客户真实情况来定义，盛虹操作导航项目仅供参考

附录一 术语对照表

缩写 / 术语	全称 / 解释
AI	Artificial Intelligence, 人工智能
APC	Advanced Process Control, 先进过程控制
APM	Asset Performance Management, 设备性能管理
APR/ML	Advanced Pattern Recognition / Machine Learning, 高级模式识别与机器学习
DCS	Distributed Control System, 集散控制系统
KPI	Key Performance Indicator, 关键绩效指标
LIMS	Laboratory Information Management System, 实验室信息管理系统
MES	Manufacturing Execution System, 制造执行系统
OpNav	Operation Navigator, 操作导航
PCA	Principal Component Analysis, 主成分分析
PDH	Propane Dehydrogenation, 丙烷脱氢
PDT	Honeywell Process Digital Twin, 工艺数字孪生
PI	Plant Information System, 工厂信息系统 (OSIsoft 公司实时数据库产品)
PTA	Process Technology Analysis, 工艺技术分析
PWO	Plant Wide Optimizer, 霍尼韦尔动态实时优化技术
ROI	Return on Investment, 投资回报率
RTO	Real-Time Optimization, 实时优化
UniSim	UniSim Design Suite, 霍尼韦尔流程模拟软件
UOP	Honeywell UOP, 现为霍尼韦尔旗下全球领先的石化工艺技术授权商, 原环球油品公司 (Universal Oil Products)

附录二 如何启动操作导航项目

操作导航的落地，遵循“评估—试点—扩展”三步走策略，确保企业能够低风险、高回报地推进数字化转型。

第一步：评估

在启动操作导航项目之前，企业需要完成两项评估工作。一是装置适配性评估：评估目标装置的工艺复杂度、数字化基础、痛点优先级，确定操作导航的适用范围和实施层级（L1/L2/L3/L4）。二是投资回报测算：基于装置的当前运行数据和行业基准，测算操作导航在不同实施层级下的预期投资回报，为项目决策提供量化依据。霍尼韦尔可提供专业的评估服务，通常在 2—4 周内完成评估并出具评估报告。

第二步：试点

建议企业选择一套痛点最突出、数字化基础较好的装置作为试点，率先落地操作导航。试点项目的实施周期通常为 6—12 个月，涵盖需求调研、模型构建、系统集成、现场部署、人员培训等全流程。试点项目的核心目标，是在最短时间内实现可量化、可验证的运营改善，为后续的规模化推广建立信心和样板。

第三步：扩展

在试点项目取得成功后，可将操作导航快速复制到企业内的其他装置，并逐步实现工厂级、产业链级的全局优化。扩展阶段的关键，是建立标准化的项目实施流程和人才培养体系，确保每一个新项目的落地质量和效率。同时，持续优化已上线系统的运行效果，形成“试点验证—快速复制—持续优化”的良性循环。

联系我们

如果您希望了解更多关于操作导航的信息，或希望启动操作导航项目评估，请扫描封底“霍尼韦尔过程自动化”官方微信公众号二维码，我们将为您提供专业的咨询服务和定制化的解决方案。

附录三 适用场景与装置类型

适用行业场景

操作导航适用于所有连续化生产的流程工业场景，其核心逻辑——基于工艺机理的实时决策与辅助执行闭环——具有广泛的行业适配性。主要适用行业场景包括：

- 炼油与石化
- 化工

适用装置类型

操作导航特别适合以下特征的装置：工艺流程复杂、参数耦合性强；关键指标监测依赖离线分析，调控滞后性明显；多变量强耦合，人工经验难以实现全局优化；安全合规标准严苛，异常响应要求高；催化剂或关键设备存在生命周期动态变化，需要持续优化调整。

典型适用装置类型包括但不限于：

- PDH（丙烷脱氢）装置
- 常减压装置
- 芳烃联合装置
- 催化裂化装置
- 加氢裂化装置
- 连续重整装置
- 甲醇装置
- 合成氨装置
- 所有 UOP 工艺装置

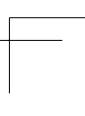
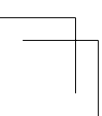
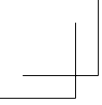
编辑委员会

感谢参与撰写《操作导航——从经验驱动到自主运行》的各位编者：

霍尼韦尔：余锋、吴东华、涂飞、张炳辉、张灿、王文、张雯

盛虹石化：白玮、吴昂山、周正祖、罗铮、刘海浪、刘瑞瑞、甘泉

感谢他们基于对行业发展和相关技术应用的洞察提出的独到见解和前瞻看法。





江苏盛虹石化产业集团有限公司

地址:江苏省连云港市徐圩新区港前大道399号 邮编:222000
电话:0518-81391000
网址:www.shenghongpec.com

霍尼韦尔(中国)有限公司

地址:上海环科路555弄1号楼 邮编:201203
电话:400-842-8487
网址:www.honeywell.com.cn

霍尼韦尔(中国)有限公司智能制造研究院

地址:北京市朝阳区酒仙桥路14号兆维工业园甲1号



扫码关注盛虹石化



扫码关注霍尼韦尔