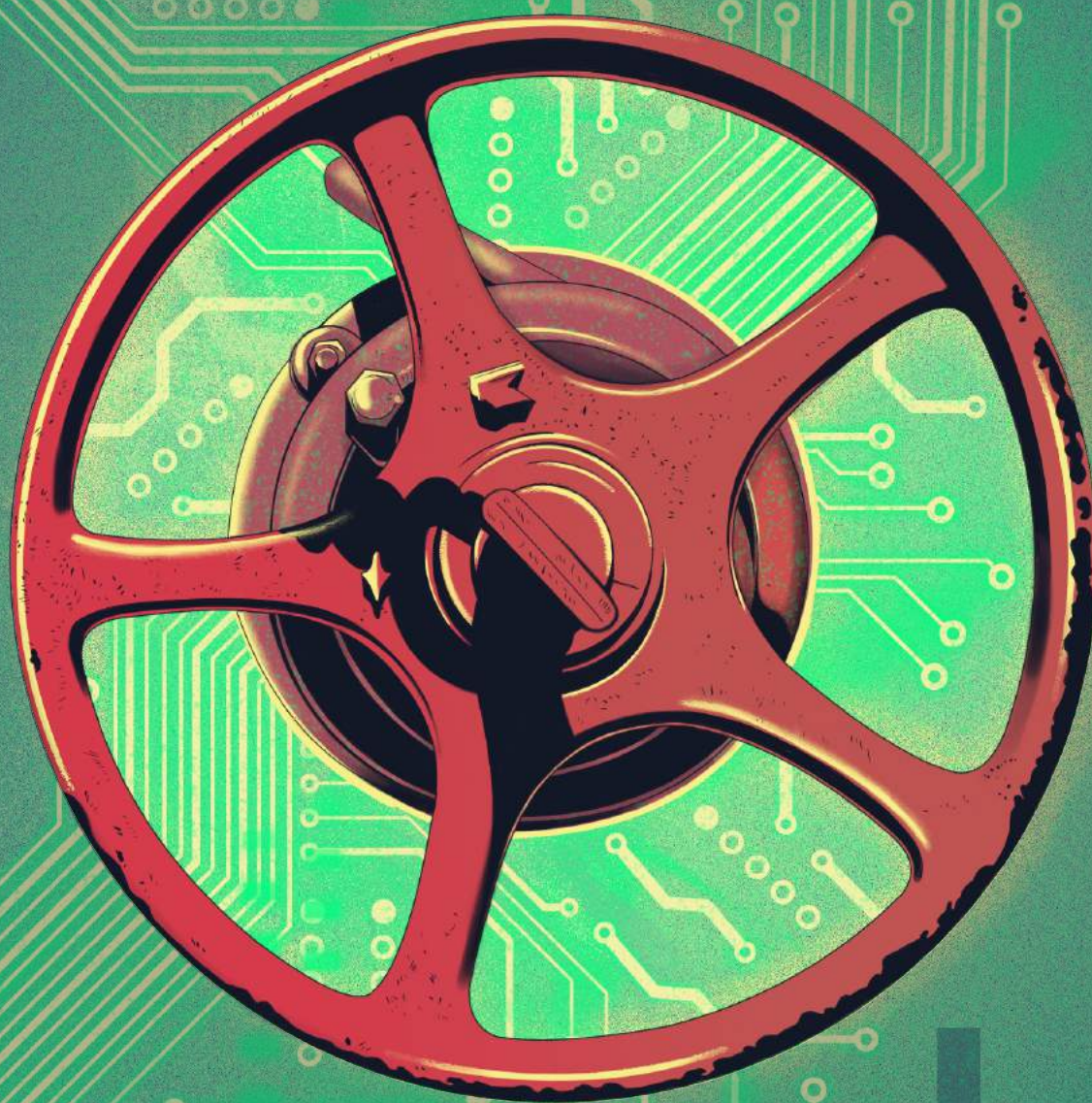


Deloitte
Insights



勇拓新前沿

中游油气行业
数字化变革

德勤的数字化转型实践致力于帮助企业评估数字化现状，识别有望实现业务目标的领域，通过连贯的路线图设定长期数字化目标。我们深厚的行业经验和专业技能将进一步助力企业构建内部能力，评估相关技术，开发兼顾结果与规模的解决方案原型。如欲进一步了解德勤关于石油、天然气及化学品行业数字化转型的见解，敬请联系本报告所列联络人中任何一位石油、天然气及化学品行业专家。

目录

内容概要		2
借力数字技术，化挑战为机遇		3
砥砺前行，开辟数字化道路		4
中游企业数字化转型路线图		6
立足长远，引航数字化征程		10
运筹帷幄，展望数字化未来		11
附录		12
尾注		13

内容概要

鉴于数字技术目前备受关注，不难想象这些技术将大大助力企业应对日新月异的商业挑战。例如，工业互联网作为广泛数字化机遇的一部分，有望在2030年为全球经济增值15万亿美元。¹然而，随着页岩推动油气行业发生根本性转变，美国的中游企业如何在运用数字化思维的基础上，从传统和新型资产的数字化进程中获得实际价值呢？

中 游行业数字化程度很可能取决于企业对变化的接受程度——尽管有些企业已经认识到，连管道和阀门都可实现“智能化”，但事实上仅有50%的企业将当前的数据管理视为重要优先事项。²随着中游企业开始数字化转型，理解数字化的价值尤为重要——数字化是一种数据驱动的方法，可将每年的停工时间削减70%，并将非计划成本从总成本的50%降低至22%³。更为关键的是，长远而言，数字化科技能降低油气行业的资本密集程度。

本报告是德勤油气行业数字化转型系列报告的第二期，旨在描述行业中游各主要领域的数字化现状，识别企业为实现长短期目标可采取的数字化举措，并为企业范围数字化转型绘制全面路线图（请见补充栏“德勤数字化运营转型模型”，或参阅报告 [From bytes to barrels: The digital transformation in upstream oil and gas](#)）。



借力数字技术，化挑战为机遇

美国中游油气行业的商业前景预示着广阔的增长机遇，而且对于各类型的燃料均如此。一方面，利于削减成本的技术创新不断加速，这将促进美国轻质致密油（LTO）生产的强劲增长；另一方面，将天然气作为替代燃料的长期趋势也促进着页岩油生产。此外，美国本土石油和液化天然气（LNG）出口机遇增加——由于价格竞争力和建设国内基础设施的政策推动——让行业前景更具吸引力。⁴最后，随着近来盆地价格差异骤升，中游行业得到了重新定位——如今其基础设施规划能力对上游企业增强市场吸引力并争取增长机遇至关重要。例如，2018年6月，由于受到基础设施的掣肘，开发二叠纪盆地的单一业务公司的价值在短短两周内暴跌了156亿美元。⁵

尽管如此，这一趋势也揭示了，企业在制定发展策略时，应克服一些战略和战术层面的挑战。由于油气产量增长将主要来自于较多产的重要盆地，大型中游乃至上游企业将对这些机遇展开激烈角逐——未来五年，美国油气产量增长量的60%很可能将来自二叠纪盆地和阿帕拉契亚地区。⁶竞争效应还将有力吸引资本，特别是近来对采集及加工（G&P）资产表示感兴趣的私募股权投资者。

⁷此外，页岩油的短周期特性将考验中游企业的灵活性，基础设施投资的错配可能导致资产搁浅或企业错失重大机遇。现存老化基础设施的管理挑战更令这一局面雪上加霜，与其它行业不同，油气行业的基础设施在地理上较为分散。另外，技术老旧和系统自动化的特点让基础设施易遭盗窃和网络攻击，这可能会引发断电事故，危害操作人员的健康和安全，并造成环境破坏。⁸以实际数据来看，美国的油气管道全长达270万英里，资产平均使用年数已达20年，2/3的居民居住在距管道600英尺的区域内。⁹

因此，企业管理者在规划成长路径时应考虑三大问题：如何确保可持续发展，同时在纷繁多变、竞争激烈的商业环境中创造商业价值？如何在一个保有大量遗留资产的行业中优化运营和商业模式？面对潜在风险，如何保障以上价值和增长？技术完善、业务卓越的运营虽然能帮助中游企业，但中游资产的多元化和复杂性意味着，所需的技术解决方案应当能够挖掘迄今尚未发现的隐藏价值。我们认为，在一个动态商业环境中取得成功的关键在于拥抱数字化科技。

砥砺前行，开辟数字化道路

除了涉及的商业问题范围越来越广，实施数字化科技的成本也不断下降，这意味着小中型中游企业也能在获取这些技术上拥有竞争力。然而，大规模实体资产和刻板的营运文化对企业大规模部署高端技术造成了限制。中游企业劳动力技能矩阵的演变似乎进一步印证了一个事实，即数字化“概念”尚未引发行业基层的改变——过去八年中，90%的中游行业新增岗位属于施工、维修和物料运送等范畴，而数字化和运营专家领域仅出现了约两百个新增就业机会。¹⁰

艾默生（Emerson）的一位高管在近期的讲话中也强调了这一观点：“数字化转型对中游企业极其重要——必须反思过时的商业模式，战略性地运用科技来改变这些旧模式，而不是将目光囿于简单的降低成本。”¹¹

从投资角度来看，油气行业中较为普遍的业主有限合伙（MLP）模式向来重视增长甚于维护，这制约了数字化升级——中游油气行业属于资产密集型行业，维护资本支出普遍在10%以下。¹²此外，有限的数字化投资应流向何处，以及哪种技术最有望满足特定业务需求等问题仍待明确解答。

要开启数字化进程，企业首先要借助一种全面的模型，对运营层面进行详尽的数字化评估。

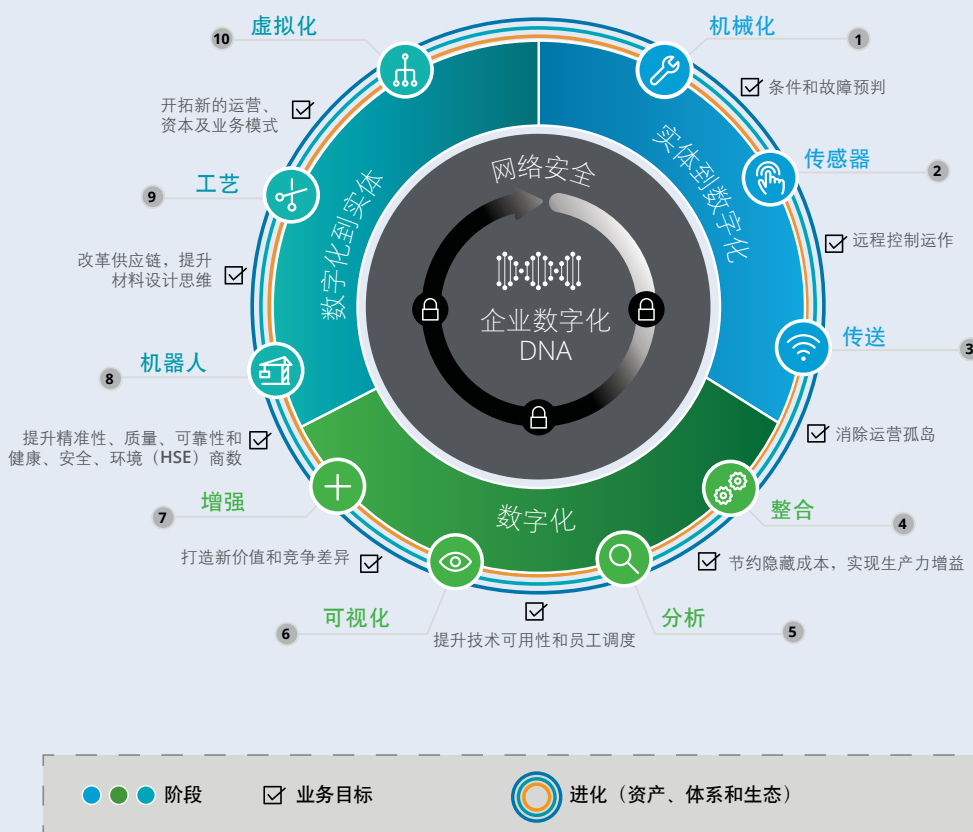
要开启数字化进程，企业首先要借助一种全面的模型，对运营层面进行详尽的数字化评估。德勤数字化运营转型（DOT）模型可以帮助这一评估——该模型是一种以网络安全和数字化文化为核心，跨越10个进化阶段，描述数字化进程的框架（请参见补充栏“德勤数字化运营转型模型”）。

德勤数字化运营转型（DOT）模型

德勤数字化运营转型（DOT）模型是一份路线图——这条数字化旅程中有10个里程碑，每一个都标志着企业完成了特定的业务目标，而网络安全和数字化在路线图中占据核心位置。尽管一个资产或任务的数字化旅程需历经10个阶段才能宣告成功，但转型之路必须拓宽、重启，才能将更多资产、业务板块、整个企业，乃至包括供应链和外部利益攸关方在内的生态系统纳入转型。安全、警觉、复原性强（请参阅报告 [Protecting the connected barrels](#)）的全面网络风险管理程序以及企业DNA促进转型的能力在这一模型中仍具核心地位。欲了解关于这一模型的更多详细信息，请参阅报告 [From bytes to barrels: The digital transformation in upstream oil and gas](#)。

图1

德勤数字化运营转型（DOT）模型



数据来源：Anshu Mittal, Andrew Slaughter, 和 Vivek Bansal, *From bytes to barrels: The digital transformation in upstream oil and gas*, 德勤洞察，2017年9月15日。

中游企业数字化转型路线图

要 制定一个能吸引中游行业策略专家的数字化战略，需要体现对资产或价值链的关注，令数字化科技满足运营目标。同时，还应认可业务部门间，以及各企业数字化转型的执行时间框架之间的差异，因此本报告在整体价值链层面描绘数字化转型路径，即以采集和加工为起点，以储存为终点。虽然每个运作环节都至关重要，且需要以数字化为焦点，但本报告仅重点阐述价值链各方面的关键运作环节，从而详述其方法论和意义。纵览全局，储存环节数字化似乎领先于行业中游其他环节。对安全和效率的注重很有可能推动了储存环节运营的进步，而遗留资产基础和上游行业波动普遍阻碍了其他环节受益于数字化技术。而这些环节中，一些在数字化上较为领先，另一些则略显落后——例如，单是储存这一领域，终端就比油罐管理体系的运作更为成熟。

集油管线系统

集油管线系统是最先接收烃类化合物的一环，其后才是加工和运输，这个环节在DOT模型中属于传感器网络的萌发阶段。运营者通常仅记录井区自动转输站（LACT）的压力和体积数据，因为管线网络规模庞大，会导致运营者不愿进行更全面的探测感知；即使通行权限制也可能成为安装传感器的障碍。集油网络感知能力上的限制还体现在许多关键任务

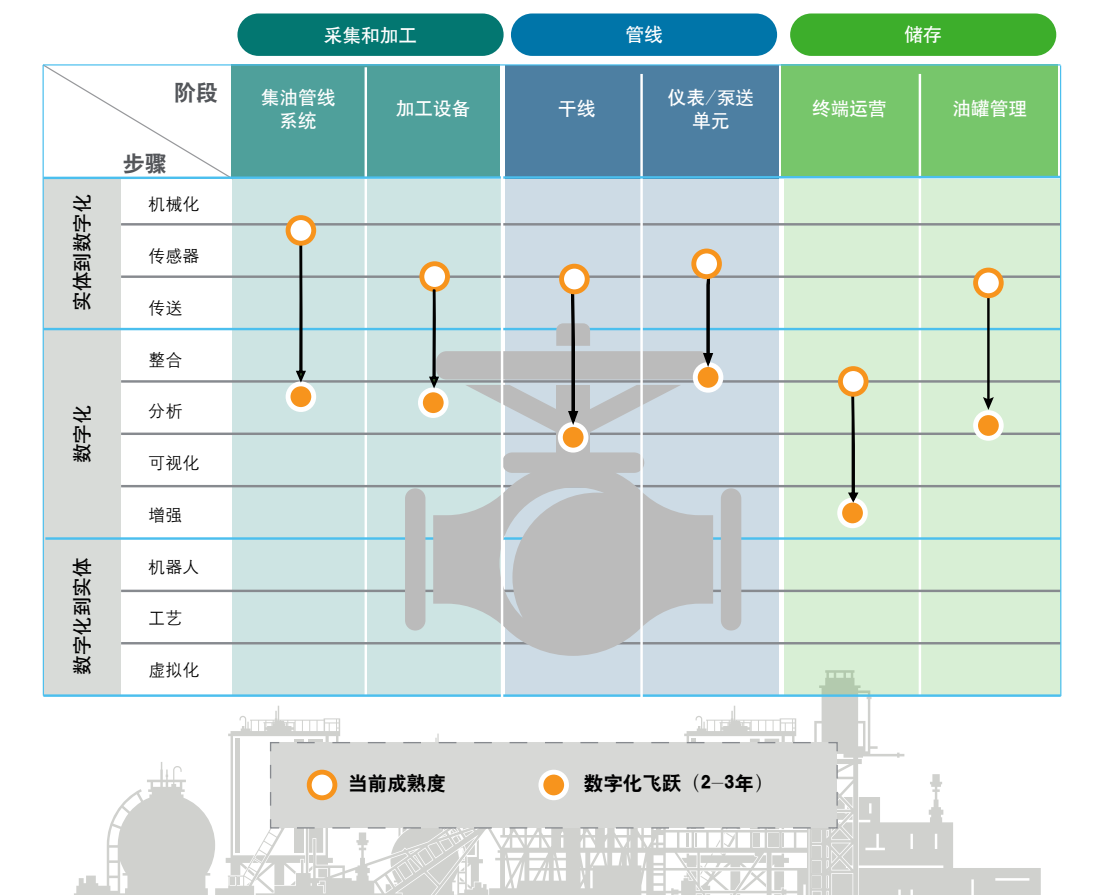
中，例如泄露事故检测是通过负压力波、实时瞬态模型和校正体积平衡等线性平衡等式完成的。¹³

有限的数字能力在页岩油早期增长期尚可以接受，因为运作和基础设施规划更为线性、可预测。但是，随着页岩油开发变得更加多样、动态化，更大的不确定性也随之而生，业内关注重点也从增长转向了对产品差异显著的复杂运营加以管理，以及如何从现存基础设施中为所有利益攸关方提取最大价值。这一点或将成为关键，因为不同油井的产品组成不同，而且数据采集与监控系统（SCADA）通常无法获得各油井的密度数据。¹⁴此外，受经济因素和市场条件引起的页岩盆地产量波动正导致着资产搁浅或产能不足——在石油产量下降的低谷期，巴肯（Bakken）油田产量较之前的高点下降了25%，而二叠纪盆地仍持续创下高产记录。¹⁵

通过突破数据生成和整合瓶颈，完成迈向数据分析的数字化飞跃或许将帮助企业应对这些挑战。干线传感器领域技术创新必定将指导集油管线运营人员应对数据生成方面的挑战——其关键或许在于厘清数据关系并提取有意义的洞察。一家美国本土服务提供商就在推动这一转变，其方法是首先在虚拟服务器上同化各类数据组，再允许用户基于实体资产确定数据关系或计算方法，最终运行自动调谐算法，用非实体概念改进数据。除了泄露事故检测和批量优化等基本功能以外，这一模型还能预测最优运作参数，模拟产品特性，描述具有潜在问题区域的特征。¹⁶

图 2

当前行业中游运营的数字成熟度和短期数字化目标



数据来源：德勤分析。

除了卓越运营，通过数据分析实现网络优化还能强化产能利用率，通过为勘探生产（E&P）企业获取最大化净回值，为管线运营者提供竞争优势。除了卓越运营，通过数据分析实现网络优化还能强化产能利用率，通过为勘探与生产企业获取最大净回值，为管线运营商提供竞争优势。为实现这一目的，有四家北美运营商正在使用一种基于通用电气公司 Predix 平台的解决方案，该平台能将生产、运输、储存、合约的运营和经济因素结合，用户可以在虚拟协同环境中进行情景演练。这样，管线网络规划

者就可以在现有图纸上添加/编辑网络管线或枢纽，然后预测对盆地油气产量和集油管线的最终经济影响。¹⁷此外，借助更多数据和行为分析，我们还可以增强以上功能，寻找以下问题的答案：

- 物流枢纽选址是否合理？
- 新增生产管线应当布局在哪里？
- 应采用何种多模式解决方案？
- 在承担额外运营成本和投资基础设施之间如何最优抉择

干线

传感器和通讯网络的部署是干线管道必不可少的，干线运营中，经常需要通过PVT（压力、体积和温度）进行计算机监控、通过数据采集与监控系统进行控制器监控以及定期测算管线平衡。¹⁸最近，这一领域快速发展，达到了DOT模型中传感器网络应用的高级阶段，其背后是企业对强化事故反应策略的求索。例如，一些企业正部署无人机，利用热力、远红外、光线、测距和多谱传感器读取管线上敏感区域的参数。¹⁹尽管新设管线通常配有此类科技，仍有许多遗留基础设施亟待升级，甚至可以将传感器部署从关键接合点扩大至整个管线网络。

企业在监测管线方面所做的努力已经显现出成效：尽管2017年管线事故总数基本未变化，但对人和环境造成重大伤害的事故减少了20%。²⁰毋庸置疑，这些进步振奋人心，但油气行业需要的仅限于此吗？大量的遗留基础设施要求企业采取积极主动的策略，不仅要强化资产完整性，还要优化核心运营。在当前的市场情形下，这点尤其重要，因为企业既要确保有足够资本支撑增长，又要维持资产负债的平衡。据近期估计，有效的泄露预测或可每年为美国管线公司挽回约300亿美元的成本；到2030年，这笔节余将为中游企业弥补近50%的资本性支出。²¹

此外，老旧的数据采集与监控系统、整合能力有限的遗留工具和技术，以及从管线管理工具向线上平台转移的态势正将整个油气行业暴露于网络攻击风险之下。²²2018年，许多美国中游企业用于加密、解密、翻译和跟踪关键能源交易的电子数据交换系

统（EDI）遭受了一次网络袭击。²³此类事件曾多次被低调定性为黑客所为，但网络袭击的严峻性不容小觑——美国国土安全部上报的一次该类事件中，黑客所掌握的运营数据足以同时摧毁23条管线的压缩机组。²⁴

要解决这些问题，企业可以考虑借助数字化飞跃实现高级数据分析和可视化，这样工程师就可以更好地识别管线网络中的潜在危机。例如，恩桥天然气公司（Enbridge）与一家领先的科技公司和Finger Food Studios联手，首次整合了132组相互独立的管线数据（来自管线检测工具、压力传感器和激光雷达远程传感器等），并融入地形信息，通过实时处理大量数据创造3D管线网络效果图。这令他们能够预见存在潜在危险的区段，并将其可视化，这包括凹痕、破裂、腐蚀和压力等危险因素，还能追踪可能危及管线完整性的各类（地质和运营）参数。²⁵

这类创新看上去必不可少，但由于企业往往面临多项要务对资金的争夺，不妨对那些利用高级算法从已有数据中创造价值的解决方案进行投资。例如，一家服务提供商正在帮助企业实施警觉性高、复原力强的网络战略，其方法是从现有数据采集与监控系统中拷贝数据，运用连续算法处理，设定基准线并实时监测异常情况。²⁶类似地，某管线公司联盟正与一家供应商合作开发一类新平台，帮助各企业共享全部历史管线数据，并利用专有算法预测管线各区段出现故障的时间及故障类型。²⁷这类解决方案不会增加延迟，所需资本性支出较少，而且更重要的是，易于扩展。

终端运营

终端运营是一种持续的流程控制和运营程序系统，用于辅助产品的储存和交付，在DOT模型中位于数据整合的中层阶段。在满足大量订单的同时不断追求质量、安全和效率，这一直促使企业详尽地记录所有数据点并传输至控制中心——一种典型的中型终端，每天处理1,500多项运作以及无数个亚运作。²⁸在企业资源规划(ERP)工具的辅助下，企业可以整合相关数据组，有效地将租赁合同、库存和货物管理、维护等诸多方面自动化。然而，孤立的实施策略造成了自动化孤岛，因此也需要经过更艰巨的整合才能消除零散的解决方案所导致的风险。²⁹

随着终端愈加复杂，加之产品供给和需求速度不相匹配，运营挑战重重叠加，因此多种系统的整合或将对运营商有至关重要的意义。³⁰如今，终端企业需要为自身创造新的商业价值并构建竞争优势。在这种大环境下，数字化尤为重要。美国的石油出口选择增加，国内和全球价差波动，液化天然气现货采购增多——在这些趋势下，种种机遇应时而生，而终端与市场的结合将帮助企业更好地抓住这些机遇。我们从一则案例就可以看出这种做法的财务收益：一家美国服务提供商通过对终端核心数据的初级分析将运营支出削减了4%，同时产能提升了3%。³¹

为实现此商业价值，企业首先应当通过有效整合，实现连贯的内部运营，之后迅速晋级至DOT模型的“增强”阶段。一家全球航空燃油供应商与美国领先科技和制造公司联手，通过整合批量控制器、访问控制单元和SAP/ERP等所有关键系统，应对产品流量管理、体积测量模糊和非计划的日程变更等挑战。此外，该企业还通过增加需求波动、交易信息对账、产品转移及交换合约等方面增强了该系统，从而提升灵活应对市场波动的能力并扩大运营规模。³²

这类解决方案可以帮助企业从特定情境中获取最大价值，但如果运用自主学习算法处理大规模数据组，创造出增强该行为的数字方案，则能更进一步。一些液化天然气公司以及一家欧洲供应商正力图用现货价格、货船、计划送抵码头、潮汐、天气、契约责任、运营和维护成本、开放购买/销售合约等相关数据同化终端运营，然后用专有供应链优化算法寻找在任何潜在情形下盈利最大化的措施，从而挖掘新的商业价值。³³此类认知数据分析能帮助终端和船队运营者将资产闲置的时间转化为机遇，管理由市场制约带来的日程变化，争取现货机遇，以及理解日常业务决策对财务的最终影响。

立足长远，引航数字化征程

凭借数据驱动的洞察用于强化中游运营，中游企业将显著获益，而在管线规划和建设阶段采用数字化解决方案实际上将减少油气行业的资本密集度。截至2018年年中，处于规划/建设阶段的管线总共达到约48,310英里，价值3,100亿美元。据估计，有效的项目执行能将这些项目的建造成本降低逾20%。³⁴事实上，企业的获益或许不止于此，因为数字化技术将减少推高成本的诸多因素，包括劳动力、监测、工程、日常营运等。³⁵

为实现这些增益，企业可以考虑探索DOT模型中的“数字化到实体”环线，从而在实体资产方面有所作为。该部分数字化路线图将需要企业利用增强机器人技术，高效地铺设管线；在管线零件上采用先进工艺技巧，优化物流成本；并将资产虚拟化，以此提高规划和执行的有效性。油气行业的数字化成熟度仍处于早期阶段，从数字化到实体的跨越似乎有些野心勃勃。但是，近年来一些小型案例说明，油气行业正向这一方向迈进。

例如，一款名为Ryonic Armadillo的机器人具有先进的感应和成像能力，能够帮助监测任何起伏不平的地形或探测地下地形。³⁶类似地，一家中国添加剂制造商

为中国石油集团探索用于大型管线及其零部件的电子束的商业化制造。除了具备3D打印已受认可的优势之外，该项目还力求确保制作出的零件不受残余应力的影响。³⁷此外，一些欧洲企业和研究机构已结合3D打印和机器人技术，开发一款名为BADGER的原始模型，该模型可以开挖/凿通路径，同时用3D打印制造并铺设管线。³⁸目前，这一举措主要用于天然气和水管线，但商业化之后可以复制到油气采集管线。

除了高效地建设资产以外，标准化的规划和设计以及运营决策制定还能显著增创资本。为此，企业可以首先开发数字线（digital thread），然后利用图纸、材料、工程分析、维度分析、制造数据和运营记录等信息开发整个系统的数字孪生（digital twin）。孪生模型能确保供应商依照设定好的基线进行设计；在项目完成后提供高端建议性分析；提出资产寿命延长方案以优化现有资产；并强化翻新升级策略。虽然大多数中游企业仍徘徊于资产虚拟化的表层，但Enbridge和Plains Canada等公司已经在探索将其与现行数字化措施结合的方案。³⁹

运筹帷幄，展望数字化未来

企业一旦在资产或部门层面完成了DOT模型中的这一阶段，就应当考虑扩展至整个企业，然后普及至整个生态系统层面。对于中游企业，逐步推进数字化举措是较为明智的选择，因为这类企业通常仅拥有有限的投资资本。每完成一个阶段，数字化路线就会变得更加明晰，企业也能发现新的运营和商业模式。制定长期数字化路线图时，企业应当意识到，数字化转型如果满足于科技解决方案带来的种种利好，则很容易失败。数字化转型通常需要延续数年，历经持续不断的校准和多层面沟通，而非一劳永逸的投资。为达成这一目标，中游企业应当和供应商、投资者一起，考虑融入以下数字化特性，令整个生态系统从中获益。

企业

- **构建多样化新晋人才储备：**以一种从根本上推动数字化成果的方式将人才作为催化剂，促进创新与合作，从而加快转型进程。
- **从董事会层面推动数字化部署：**意识到要真正获得数字化变革的裨益需要董事会层面的承诺，并赋予首席信息官员数据管理者的角色。

- **联手应对共同挑战：**避免忽视遗留资产基础导致的数字化投资优化不足，形成行业合力，通过协作性而非竞争性的学习解决资产完整性问题。

投资者

- **奖励数字化举措：**意识到数字化投资低风险的特点和积极前景，在关注销量或吞吐量增长同时，推动数字化。
- **注入专业智慧：**投资者范围的扩大，特别是深谙科技的私募股权公司和机构性投资者的加入，将帮助管理层设想、规划并执行远期的科技驱动转型。

供应商

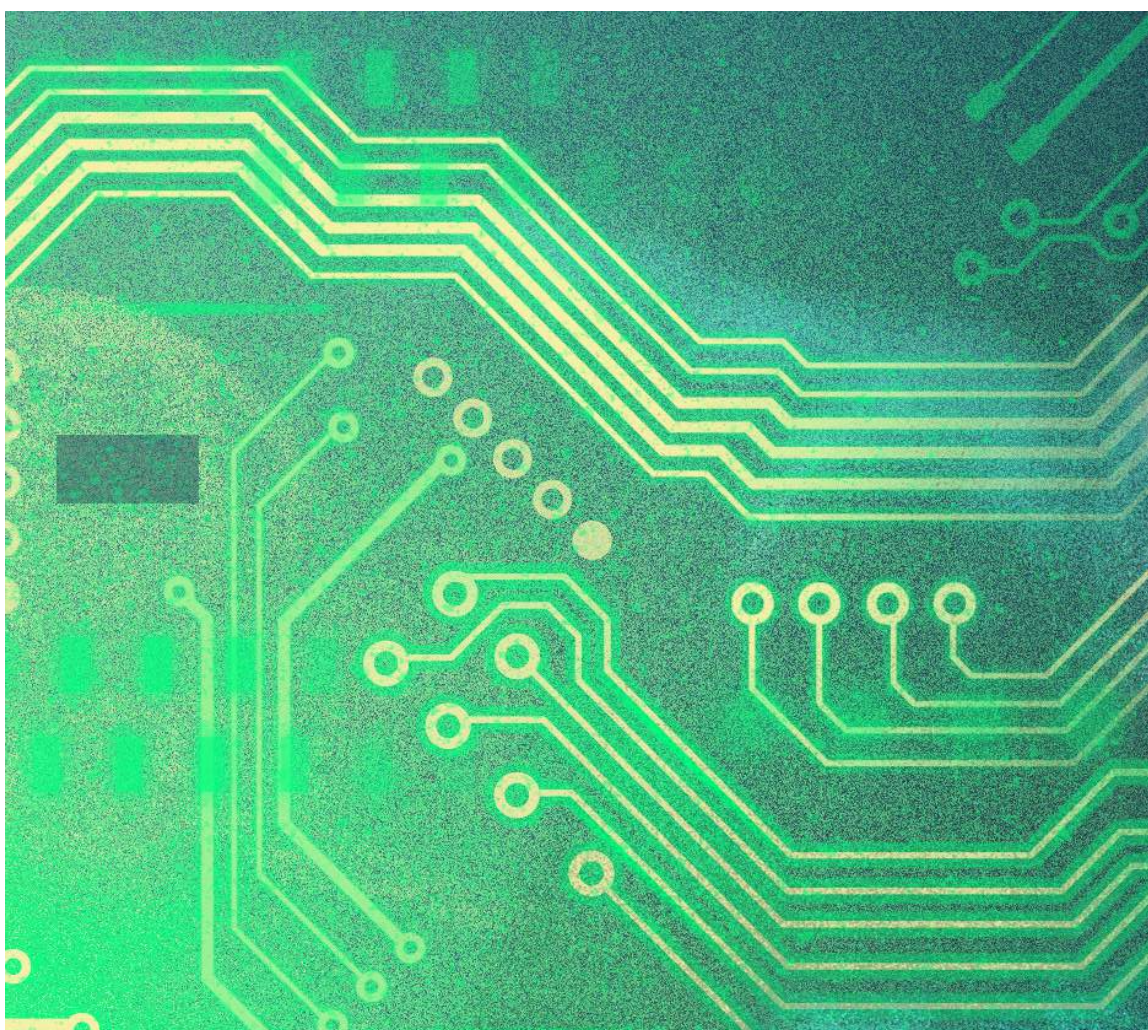
- **以现有工作流为基础：**最优化利用已经标准化的流程（或数据），并关注数据分析的整合和视觉要素，让行业中游战略者直观地领略科技感（例如通过协作会议室）。
- **平衡理想与需求：**多种创新均能推动差异化价值和非侵入式、低成本的解决方案，不仅能快速实现投资回报率，还能树立大范围接受数字化的信心，供应商需要在诸多创新中维持平衡。

附录

德勤数字化运营转型（DOT）对每一类行业中游运营的定位均基于深入的次级研究，其研究基础是自动化及软件厂商对最新解决方案和技术的探讨。

此外，报告对近期数字化飞跃的定义以大多数企业在自身运营中力图实现的目标为基础。我们在仔细研究各类美国和全球企业近期发布的商务陈述后，设定了这些目标。在此基础上，我们对各类中游运

营实施或规划的新型数字化解决方案的调查研究进行拓展和分析，将这些目标与德勤数字化运营转型模型中的各阶段相对应。



尾注

1. GE, "Imagine a connected Malaysia: The industrial Internet of Things," December 27, 2016.
2. GE, *Increasing productivity efficiency and speed for midstream applications*, annual meeting, 2017.
3. Ibid.
4. Stephen Cunningham, "U.S. to review gas pipeline policy for first time since 1999," Bloomberg, April 20, 2018.
5. David Wethe, Alex Nussbaum, and Ryan Collins, "Oil boom bottleneck costs Permian investors \$1 billion a day," June 7, 2018.
6. Rystad Energy, "UCube database," accessed July 2018; Chris Ross, "Back to the basics: Evolution of the midstream sector," *Forbes*, January 22, 2018.
7. Tom DiChristopher, "Three trends could trip up oil and gas pipeline companies. Here's how to trade them," CNBC, August 23, 2017.
8. GE, "Oil & gas pipeline management," accessed October 9, 2018.
9. Tim Edward with Rob Salkowitz, "How machine learning contributes to smarter pipeline maintenance," *Control Engineering*, April 10, 2018.
10. Bureau of Labor Statistics, "Databases, tables, and calculators by subject," accessed September 1, 2018.
11. Jim Cahill, "Midstream oil and gas operator digital transformation," Emerson Automation Experts, June 14, 2018.
12. Company filings, IBIS World, "Grease the wheels: The need to repair, replace and expand existing infrastructure will bolster demand", June 14, 2018 and Deloitte analysis.
13. Tim Olivero, "Drastically reducing pipeline oil spills," The OGM, May 16, 2018.
14. Ibid.
15. US Energy Information Administration, *Drilling productivity report*, September 17, 2018.
16. OptiRamp, "Digital oil field solutions," accessed October 10, 2018.
17. GE, "How Stream Systems is speeding up pipeline innovation," September 28, 2016.
18. Enbridge, "How do you monitor your crude oil pipeline system?," accessed October 10, 2018.
19. Steve Elmore, "Applying AI to UAV data for oil & gas pipeline inspections," Digital Nebula, October 5, 2018.
20. American Petroleum Institute and Association of Oil Pipe Lines, *Pipeline safety excellence performance report*, 2018.
21. Kevin Gold, "IoT use case for gas pipeline monitoring," March 5, 2018; Kevin Petak et al., North American mid-stream infrastructure through 2035: Leaning into the headwinds, The INGAA Foundation, April 12, 2016.
22. OneBridge, "OneBridge teams up with Phillips 66 to develop advanced pipeline integrity management SaaS solution," January 12, 2018; GE, "Oil & gas pipeline management."
23. ICS, "Multiple U.S. gas pipeline firms affected by cyberattack," April 4, 2018.
24. *Pipeline and Gas Journal*, "Improving pipeline cybersecurity with public-private partnerships," vol. 244, no. 11 (2017).
25. Enbridge, "Virtual reality project goes underground for pipeline safety," March 6, 2018.

26. Thomas Nuth, "Improving ICS cyber security for pipeline systems," Nozomi Networks, August 8, 2017.
27. DNVGL.com, "Pipeline management tools move online," accessed October 9, 2018.
28. Yokogawa, "Off-site & terminal management," accessed October 9, 2018.
29. Emerson, *Enhance your terminal operations and performance*, accessed October 9, 2018.
30. Emerson, "Terminal and tank management," accessed October 9, 2018.
31. Frank Brooks, *Terminal and tank storage*, Honeywell, June 20, 2016.
32. Ibid; Honeywell, *Integrated terminal management solution meets critical inventory control and safety requirements*, June 2018 and "Terminal Manager," accessed October 9, 2018.
33. Quintiq, "Planning for uncertainties in oil and gas," accessed October 9, 2018; Quintiq, "Six key capabilities are already transforming LNG shipping," accessed October 9, 2018.
34. Christopher E. Smith, "Near-term pipeline plans nearly double, future slows," *Oil and Gas Journal*, February 5, 2018.
35. Ibid; Christopher E. Smith, "Crude oil pipeline growth, revenues surge; construction costs mount," *Oil and Gas Journal*, September 1, 2014.
36. Ryonics Robotics, "Rugged EVA Rover," accessed October 9, 2018.
37. Beau Jackson, "Nanfeng additive manufacturing confirms contract for 3d printed oil and gas pipelines," 3D Printing Industry, May 21, 2018.
38. Beau Jackson, "€3.7M badger robot to 3D print pipes as it travels underground," 3D Printing Industry, August 1, 2017.
39. Leila Hawkins, "How Plains Midstream Canada is driving towards digital transformation," Energy Digital, July 13, 2018.

关于作者

ANDREW SLAUGHTER 是Deloitte Services LP能源、资源及工业行业研究与洞察力中心董事总经理。他与德勤能源、资源及工业领导人密切合作，界定、实施并管理部门战略；设计并推动能源研究项目；以及通过前沿理念提升部门影响力。他已担任25年油气行业领导人，在大型油气公司和咨询服务/咨询顾问机构均曾担任资深岗位。

ANSHU MITTAL 是Deloitte Services LP能源、资源及工业行业研究与洞察力中心副总裁。Mittal在战略咨询和财务及监管咨询拥有近14年经验，涉及上游、中游、油田服务和下游行业。Mittal加入德勤以来，撰写了多份出版物，包括Connected barrels: Transforming oil and gas strategies with the IoT、Protecting the connected barrels: Cybersecurity for upstream oil and gas，以及Following the capital trail in oil and gas: Navigating the new environment。

VIVEK BANSAL 是Deloitte Services LP能源、资源及工业行业研究与洞察力中心高级分析师。他在油气行业上游及下游领域拥有近六年战略研究及咨询经验。就职于德勤以来，Bansal为聚焦物联网、数字化转型、网络安全、资本迁移及组合管理的多篇油气行业白皮书撰稿。他拥有应用石油工程学位及油气管理硕士学位。

致谢

作者谨向德勤有限公司美国石油、天然气及化学品领导人**Duane Dickson**和Deloitte Consulting LP经理**Betsy Kruse**表示感谢，他们为本报告提供了全程审阅和指导。

特别感谢**Rithu Mariam Thomas** (Deloitte Support Services India Pvt. Ltd.经理助理)、**Joanie Pearson** (Deloitte Services LP经理)、**Laurel McConn** (Deloitte Services LP经理)和**Sonya Vasilieff** (Deloitte Services LP艺术总监)为本报告编辑、设计和发布所做的贡献。

联系人

郭晓波

能源、资源及工业行业领导合伙人
电话: +86 10 8520 7379
电子邮件: kguo@deloitte.com.cn

吕岩

石油、天然气及化学品子行业管理咨询主管合伙人
电话: +86 10 8520 7816
电子邮件: sanlv@deloitte.com.cn

况成功

石油、天然气及化学品子行业风险咨询主管合伙人
电话: +86 10 8520 7401
电子邮件: rkuang@deloitte.com.cn

王文杰

石油、天然气及化学品子行业财务咨询主管合伙人
电话: +852 2852 1219
电子邮件: ivawong@deloitte.com.hk

Roberge, Christopher

石油、天然气及化学品子行业领导合伙人
石油、天然气及化学品子行业税务与法律主管合伙人
电话: +852 2852 5627
电子邮件: chrisroberge@deloitte.com

张黎明

石油、天然气及化学品子行业管理咨询主管合伙人
电话: +86 10 8520 7899
电子邮件: andyzhang@deloitte.com.cn

詹伟祥

石油、天然气及化学品子行业审计主管合伙人
电话: +86 10 8520 7003
电子邮件: rychieng@deloitte.com.cn

Deloitte. Insights

敬请登陆www.deloitte.com/insights 订阅德勤洞察最新资讯。



敬请关注 @DeloitteInsight

德勤洞察

编辑: Rithu Thomas, Rupesh Bhat, Abrar Khan, 和 Preetha Devan

创意: Sonya Vasilieff

推广: Nikita Garia

封面: Livia Cives

关于德勤洞察

德勤洞察发布原创文章、报告和期刊，为企业、公共领域和非政府机构提供专业洞察。我们的目标是通过调查研究，利用整个德勤专业服务机构的专业经验，以及来自学界和商业作者的合作，就企业高管与政府领导人所关注的广泛议题进行更深入的探讨。

德勤洞察是 Deloitte Development LLC 旗下出版商。

关于本刊物

本刊物中所含内容仅为一般性信息，任何德勤有限公司、其成员所或它们的关联机构（统称为“德勤网络”）并不因此构成提供任何会计、商业、财务、投资、法律、税务或其他专业建议或服务。本刊物不能代替此等专业建议或服务，读者亦不应依赖本文件中的信息作为可能影响自身财务或业务决策的基础。在作出任何可能影响您的财务或业务的决策或采取任何相关行动前，您应咨询合格的专业顾问。

任何德勤网络内的机构均不对任何方因使用本刊物而导致的任何损失承担责任。

关于德勤

Deloitte（“德勤”）泛指一家或多家德勤有限公司（即根据英国法律组成的私人担保有限公司，以下称“德勤有限公司”），以及其成员所网络和它们的关联机构。德勤有限公司与其每一家成员所均为具有独立法律地位的法律实体。德勤有限公司（又称“德勤全球”）并不向客户提供服务。请参阅www.deloitte.com/about 以了解更多有关德勤有限公司及其成员所的详情。

© 2019 Deloitte Development LLC 版权所有 保留一切权利

德勤有限公司成员

RITM0247024 CoRe Creative Services