

研究报告 / 2026

全球 FDE 发展研究报告

GLOBAL FORWARD DEPLOYED ENGINEERING
DEVELOPMENT RESEARCH REPORT

FDE研究课题组

二〇二六年八月

课题团队

课题策划与统筹

卢星龙 FDE Frontier 创始人，前沿部署工程师
史皓天 FDE Frontier 创始人，复旦大学博士生
王晗 FDE 时代主编，北京大学硕士
陈志豪 FDE Frontier 创始人，博士

课题组核心成员

杨正源 FDE Frontier 特约研究员，复旦大学博士生
孙启正 FDE Frontier 技术专家，前沿部署工程师
黄逸祺 FDE Frontier 特约研究员，复旦大学博士生
郑旋旋 天洞万象 CTO
霍利 北京文化创意促进会理事
王凯 全球 OPC 共创节执行负责人
孔圣博 上海天洞万相科技有限公司副总裁

主要发布单位

FDE Frontier × FDE 时代

联合发布单位

AI 不神秘 OPC×City OPC 超联体
赛托邦 Cytopia 北京 AI 工坊

摘要

进入 2026 年下半年，人工智能的竞争焦点正由能力展示转向工业价值。企业关心的已不再只是能否获得人工智能，而是如何让通用模型进入真实业务，连接行业知识、企业数据、既有系统与组织责任，形成稳定、可验收、可持续改进的生产结果。前沿部署工程师（Forward Deployed Engineer, FDE）正是在这一变化中受到关注。本报告将 FDE 定义为：**直接接触客户真实业务环境，基于现场信息形成需求规格与验收指标，将系统交付至客户生产环境，并在运行中持续迭代、对实际结果负责的职业角色。**

但受到关注，并不等于真正可行。FDE 有没有可能也只是人工智能落地热潮中又一个昙花一现的新概念？一个概念能否沉淀为稳定的职业形态，最终取决于支撑它的生产条件是否已经成立。事实上，支撑 FDE 的生产条件已经发生实质变化：大语言模型在代码生成、项目修改、测试辅助和版本迭代等方面，已经相对达到稳定的生产与交付标准。过去需要多人协作完成的大量实现劳动，开始能够由 FDE 借助智能体快速推进。单个 FDE 可以调动的工程执行能力由此显著扩大，企业定制化系统的启动成本和迭代成本也随之下降。

然而，人工智能越能编程，越需要回答一个更现实的问题：企业为什么不直接让现有员工使用人工智能？企业员工掌握业务流程、行业经验和现实问题，却通常缺少把这些知识转化为完整软件系统所需要的软件架构思维、工程技能和生产级系统责任。人工智能可以帮助员工生成代码、搭建原型和修改局部功能，却不能自动补足系统边界、技术取舍、验收标准、安全要求和持续运行能力。**FDE 的核心价值，正是在行业知识与软件系统之间建立稳定的转换关系：理解现场、定义问题、规划架构、组织实现，并根据运行结果不断校正系统。**

FDE 需要成为明确责任主体，不是因为所有工作都必须由一人完成，而是因为需求、验收、生产发布和运行反馈必须由同一责任链维护。若多个岗位各自只完成局部任务，又没有共享的需求版本、验收记录和运行指标，接口处就会产生可观察的返工、等待与责任空档。FDE 可以调动咨询、架构、开发、测试和运维等专业角色，但要维护统一的问题定义、变更依据与完成条件，使每次分工都能回到可追踪的生产结果。既有岗位可以转型承担这一职责，判断标准是能否维护完整闭环，而不是原有头衔。

由此，企业定制化的经济条件也发生了改变。人工智能降低首次实现成本，FDE 减少认知断裂与交接损耗，行业资产复用则降低后续项目的边际成本。三者相互结合，使过去因预算太小、需求太细或变化太快而无法获得定制软件的企业，开始进入可以被服务的范围。FDE 不是对传统外包、咨询或软件即服务的简单替

代，而是深化并拓展了企业定制化赛道。因而，借由人工智能能力的跃升，**FDE 实际上开辟出了过去因定制化成本过高而无法成立的企业数智化市场。**

全球实践已经为这一判断提供了现实验证。岗位与雇主的持续扩展表明，FDE 正在由少数企业内部的特殊称谓发展为可以识别的职业领域；不同企业的实际项目表明，FDE 能够把现场问题、生产交付和运行反馈连接起来；围绕 FDE 形成的多种较成熟商业模式则进一步证明，FDE 交付可以与产品收入、客户续约和资产积累相结合。在持续完成项目的过程中，FDE 组织能够把现场形成的业务认知、数据接口、评估方法和工程组件沉淀为可复用资产，使后续项目建立在前期积累之上，并逐渐形成专业壁垒与长期复利。**由此，FDE 交付不再是一次性项目劳动，而能够转化为不断积累、复制和扩展的组织能力。**不过，现有全球实践仍较多面向大型客户，依赖较高客单价、长期驻场和较重的工程投入，不能直接成为中国答案。

改革开放四十余年来，中国形成了门类齐全、配套完整的产业体系，积累了复杂多样的行业场景、密集的产业集群、大量中小企业和丰富的行业人才。这些条件既为 FDE 提供了广泛的现实问题，也为行业知识的提取、验证和跨企业复用提供了独特基础。中国的 FDE 发展不必简单复制海外主要面向大型客户、依赖长期驻场和较高客单价的模式，而可以形成企业内部 FDE 与外部行业型 FDE 组织相互配合的发展结构。**基于此，本报告认为，中国将走出一条不同于海外重驻场模式、具有中国特色的 FDE 发展道路。**

本报告将行业类别与业务功能、项目场景分开。依据现行国民经济行业分类，并按生产对象、生产过程和治理约束的相近性聚合，形成农林牧渔，资源、能源与公共设施，制造，建筑与不动产，交通运输、仓储和邮政，商贸、住宿餐饮与居民服务，信息传输、软件和信息技术服务，金融，专业、科研与商务服务，公共与社会服务十类通用行业或行业群。分类用于比较行业结构、AI 落地约束与 FDE 作用机制，不代表市场份额；经营问题、数据与系统、隐性知识、生产工程、组织采用和持续验证仍构成跨行业共同责任链。

未来，中国将发展出更多深耕垂直行业、面向中小企业的 FDE 组织。这些组织不依靠压低服务单价获得市场，而是以其为企业创造的降本增效价值作为收益基础；也不把每个项目视为彼此孤立的一次性交付，而是在产业集群中持续积累行业认知和技术资产，使后续交付建立在已有成果之上。由此，FDE 的效率提升可以进一步转化为企业利润、劳动者发展和产业活力，推动中国产业走向全面智能化，并为发展新质生产力、促进中国经济高质量发展提供新的现实路径。

关键词：前沿部署工程师；FDE；企业智能化；生产级交付；行业知识；高质量发展

目 录

摘 要.....	3
前 言.....	7
第一章 FDE 的兴起、定义与职业内核	8
一、为什么 FDE 突然受到关注：四类主体共同面对 AI 落地难题	8
二、FDE 从何而来：从 Palantir 现场工程到 AI 时代的职业扩散	11
三、FDE 究竟是什么：四项端到端职责及其职业边界	12
四、为什么企业需要 FDE：AI 重组劳动分工后，端到端负责成为更优选择 ..	15
第二章 FDE 成立的理论基础：AI 时代为什么需要 FDE.....	17
一、AI 如何改变企业数智化：软件从记录业务走向参与业务	17
二、为什么企业智能化天然要求定制：通用能力必须进入具体流程.....	19
三、为什么过去的供给模式难以满足：外部转型太重、软件订阅服务太标准、 传统定制太贵.....	20
四、如何观察 AI 辅助软件工程的能力边界与生产条件	21
五、FDE 为什么成为 AI 时代的快速反应部队：行业判断、AI 执行与专业生产 工程重新分工.....	24
六、FDE 开拓了什么新市场：智能化需求增长与定制成本下降共同释放增量	31
第三章 全球 FDE 的发展格局与实践验证	36
一、全球 FDE 形成了怎样的职业图谱：岗位分布、职责与能力	36
二、五类全球主流实践如何组织、交付并形成收入.....	36
三、组织成熟度如何判断：基本单元、资产回流与结果责任.....	42
四、全球实践证明了什么：FDE 的有效边界与长期问题.....	45
第四章 中国特色 FDE 道路	48

一、中国为什么需要 FDE：复杂产业生态与长期软件服务需求	48
二、中国为什么现在能够发展 FDE：AI 补上低成本构建与高频迭代条件	50
三、中国特色 FDE 道路是什么：行业专家、编程智能体与专业生产工程协作	51
四、中国 FDE 从哪里来：企业内部培养与外部行业型服务并行	53
五、中国 FDE 如何进入中小企业与产业集群：从政策试点到可复用服务	54
六、中国 FDE 将如何分化：十类通用行业或行业群与跨行业场景共同塑造职业分野	55
七、中国如何形成 FDE 生态：人才培养、采购机制、效果评价与公共服务	61
第五章 FDE 的未来、国家意义与行动	68
一、FDE 市场将如何扩展：从少数大型客户走向广大企业	68
二、FDE 岗位将如何演进：职业名称按行业分化，核心职责持续沉淀	69
三、FDE 产业将形成什么格局：通用平台集中，行业服务分散	70
四、FDE 将如何改变软件产业：形成新的企业智能化定制市场	72
五、FDE 将如何改变劳动：从执行任务转向判断、组织系统与承担结果责任	73
六、FDE 何以为推动高质量发展提供微观支撑	74
七、政府、企业、资本、行业组织和劳动者应当如何行动	76
结 语	81
附录一 企业 FDE 项目就绪度自评	82
附录二 访谈与材料来源说明	83
附录五 指标与验证说明	84
免责声明	85

前言

人类历史上的工业革命，从来不只是生产工具速度的提高，而是生产资料构成、劳动组织方式与社会分配关系的结构性重组。第一次工业革命以蒸汽动力和机器生产替代分散的手工作业，使生产集中到工厂，并扩大了资本所有者与雇佣劳动者之间的分工；第二次工业革命以电气化、流水线和标准化生产扩大企业规模，使现代大企业成为组织社会生产的主要形式；第三次工业革命以计算机、通信网络和互联网降低信息处理与跨地域协作成本，使供应链、平台企业和网络化组织成为新的生产结构。三次工业革命的技术对象不同，但共同之处在于：新的生产力会重新规定生产资料由谁掌握、劳动怎样被组织、企业边界如何形成以及新增价值如何分配。

人工智能革命正在进一步撼动企业存在的生产资料基础。过去三次工业革命主要提高机械性生产资料的效率，劳动者掌握的知识、判断和经验仍然是企业无法脱离的知性生产资料。企业主提供资本、机器、软件和基础设施，劳动者提供相对不可替代的知性劳动，两者结合构成企业组织生产并取得剩余价值的基本条件。生成式人工智能开始规模化执行文字、代码、分析、决策辅助和流程操作等知识任务以后，劳动者对知性生产资料的相对不可替代性第一次受到系统性挑战。由此发生的变化远不只是企业内部重新划分岗位责任，而是企业为何需要雇佣知识劳动者、哪些任务必须留在组织内部、劳动收入如何形成以及企业主与劳动者如何重新建立生产关系。

进入 2026 年下半年，大语言模型、多模态模型及其支撑的智能体系统已能执行更多知识任务，模型调用成本持续下降。国家发展改革委在解读“人工智能+”行动时指出，人工智能正从试验探索迈向价值创造，同时仍存在供需对接不畅和应用落地“最后一公里”等问题。技术供给增加以后，企业还要完成经营场景选择、行业知识提取、企业数据与既有信息系统接入、生产部署和业务验收。本报告由此把目光投向 FDE：他们进入客户真实业务环境取得行业知识，将其转译为需求规格、企业数据结构和验收标准，再把 AI 应用部署到生产环境并持续迭代，成为连接人工智能技术与产业生产的关键角色。

第一章 FDE 的兴起、定义与职业内核

本章依次回答 FDE 为什么受到关注、它从何而来、应怎样定义和识别，以及 AI 改变劳动分工后为什么仍需要端到端负责的职业角色。分析从岗位市场与企业组织两类不同信号出发，再回到职业历史、名称分化与四项连续责任。

一、为什么 FDE 突然受到关注：四类主体共同面对 AI 落地难题

FDE 在 AI 能力快速跃升后突然受到关注，不是因为企业第一次接触软件，而是因为政府、企业、资本与劳动者同时面对通用 AI 难以进入真实生产的落地难题。基础模型可以生成文本、代码和分析，却不会自动选出值得解决的经营问题，也不会自动取得行业知识、接入企业数据和历史系统、处理权限与安全、形成验收标准并维护上线后的运行结果。FDE 试图把这条缺少连续责任的链条重新接起来。

FDE 并非 2026 年才出现。Palantir 早在 2003 年便以工程师直接进入客户真实业务环境的方式，解决复杂软件系统交付问题。真正的市场变化发生在 2024 年以后：生成式 AI 显著降低代码编写、系统配置和原型构建成本，企业却发现，经营问题识别、企业数据接入、业务流程改造、生产部署和持续验收仍无法由模型自动完成。AI 产业化的主要瓶颈，正在从模型能力不足，转向 AI 技术与行业知识、企业数据和真实业务流程无法稳定衔接。

国际岗位市场首先显现出产业重心的变化。本报告从近两万条公开招聘信息中识别并核对出 5,856 个 FDE 及高度相关岗位观察样本。Salesforce、Databricks、Accenture 和 Palantir 等企业的招聘较为活跃，说明平台、模型、云和专业服务企业正把更多人员配置到客户现场、需求与验收共同形成、系统集成和持续改进等环节。该口径是用于观察职业扩散的研究样本，不等同于企业收入、员工总数或全球岗位存量。

企业组织调整和资本投入构成另一类重要信号。OpenAI Deployment Company、AWS 专项部门和 Microsoft Frontier Company 分别采取独立公司、内部部门和大规

模现场组织路径^[1-3]。这些不同选择共同表明，领先企业正把模型、云和软件能力主动延伸到客户生产环境，并为持续部署、系统运行和客户结果设置专门组织。

中国市场同样出现了以 FDE 为职名或承担同构责任的岗位。截至 2026 年 8 月 9 日，本报告正式调研确认相关企业覆盖 45 家公司。不同企业使用前沿部署、前线部署、行业部署或客户工程等名称，判断其是否构成 FDE，仍须回到进入真实现场、共同形成验收、参与生产交付和上线后持续改进四项责任，而不能只看头衔。

因此，FDE 职位增长不能只理解为招聘市场对新头衔的追逐。更广泛的组织开始关注 FDE，是 AI 产业价值链重心移动的外在表现：模型能力仍在继续进步，但企业价值只有在 AI 系统进入真实业务流程、承担真实生产任务并形成可验证结果后才能实现；通用软件和模型调用越来越便宜，行业知识提取、组织协调、生产系统集成和结果责任反而成为更加稀缺的生产要素。

企业数智化落地涉及的四类主体

2026 年世界人工智能大会上，习近平主席提出全面促进人工智能科技创新、产业发展和场景应用，协同推进传统产业改造升级，让人工智能赋能千行百业^[4]。这项要求不仅指向人工智能模型性能提升，更指向人工智能技术进入真实产业流程并形成生产力。中国的“人工智能+”行动把产业全要素智能化、人工智能应用服务商培育、人机协同和就业风险治理同时纳入政策框架；美国的人工智能行动计划则把技术创新、基础设施与全栈人工智能输出置于国家竞争力框架内^{[5][6]}。中美两国采取的政策路径不同，但都已把人工智能竞争从单一技术竞赛推进到国家产业能力竞争。

政府面临的困难，是国家层面的人工智能产业目标缺少进入具体企业和生产流程的微观传导机制。政府希望通过人工智能提高全要素生产率、推动传统产业升级并形成新的就业结构，但公共场景开放、企业数据规范、政府采购制度、项目效果评价和安全责任分别由不同部门管理。若缺少能够进入行业现场并把政策目标转化为生产系统的交付主体，算力、人工智能基础模型、产业资金和企业场景仍然会彼此分离。

企业内部存在两类不同的落地难题。对于不以人工智能产品为主营业务的各行业企业，管理层希望使用人工智能，并不等于组织已经具备智能化转型能力：生产部署仍要处理业务流程、访问权限、数据质量、历史信息系统、岗位利益和验收口径，决定系统能否工作的关键知识也往往存在于一线人员经验、行业规范与组织惯例中。它们需要 FDE 从经营问题出发，持续完成需求澄清、系统接入、生产上线、业务验收和运行改进。人工智能技术供应商面对的是后一层问题：它们掌握模型和软件，却通常不掌握每个客户现场的隐性知识，必须通过 FDE 把技术接入客户业务、完成项目验收并形成持续收入。两类企业分处供需两端，FDE 连接的是客户现场知识与技术供给。

金融资本面临的困难，是人工智能企业的技术估值最终必须回到客户收入、续约和现金流。人工智能基础模型训练与算力基础设施投入持续扩大以后，资本市场更加关心人工智能模型能否进入企业预算、形成长期使用，并把不同客户项目中反复出现的需求写入标准化产品。FDE 一方面推动人工智能产品进入客户生产系统，另一方面把客户现场问题反馈给产品研发团队，因此连接人工智能技术投入与商业回报。

劳动者的困境是工作被重组，而转型路径尚未成形。国际劳工组织估计，全球约四分之一劳动者所在职业对生成式人工智能具有一定暴露度，但更可能发生的是任务重组而非职业整体消失^[7]。对劳动者而言，风险不仅是岗位数量变化，也包括原有经验无法被人工智能系统识别、技能价值快速重估，以及缺乏参与新流程设计的机会。

OPC 暴露出的不足在于：个人执行边界扩大，并不自动带来企业需求发现、数据与系统接入、生产部署、组织协调和结果验收能力。问题由此从“一个人能有多少”转向“谁把人工智能系统做进企业生产并对结果持续负责”，FDE 由此进入讨论。

政府、企业、金融资本和劳动者面对的困难，最终指向同一种尚未被传统分工完整承接的生产责任：有人必须进入真实业务环境取得行业知识，把行业知识转译

为人工智能系统，并在生产环境中对业务效果持续负责。FDE 的四项核心责任与这组生产责任高度一致。

二、FDE 从何而来：从 Palantir 现场工程到 AI 时代的职业扩散

FDE 岗位的演变可分为四个阶段：先在客户现场形成工程雏形，再成为兼顾需求、开发和落地的岗位；AI 随后拓宽模型评估、业务理解、系统集成和持续运行等职责，并推动 FDE 从软件领域走向更多行业。



图 1-1 FDE 岗位的演变（2003—2026）

在 5,856 条 FDE 及高度相关岗位公开招聘样本中，职位名称会呈现人工智能、模型、智能体、软件、行业、云、数据、解决方案等不同侧重。FDSE（Forward Deployed Software Engineer）是更强调软件工程职责的 FDE 变体。图 1-2 按七类互斥口径呈现岗位类型；具体岗位是否属于 FDE，仍由四项连续责任判断。

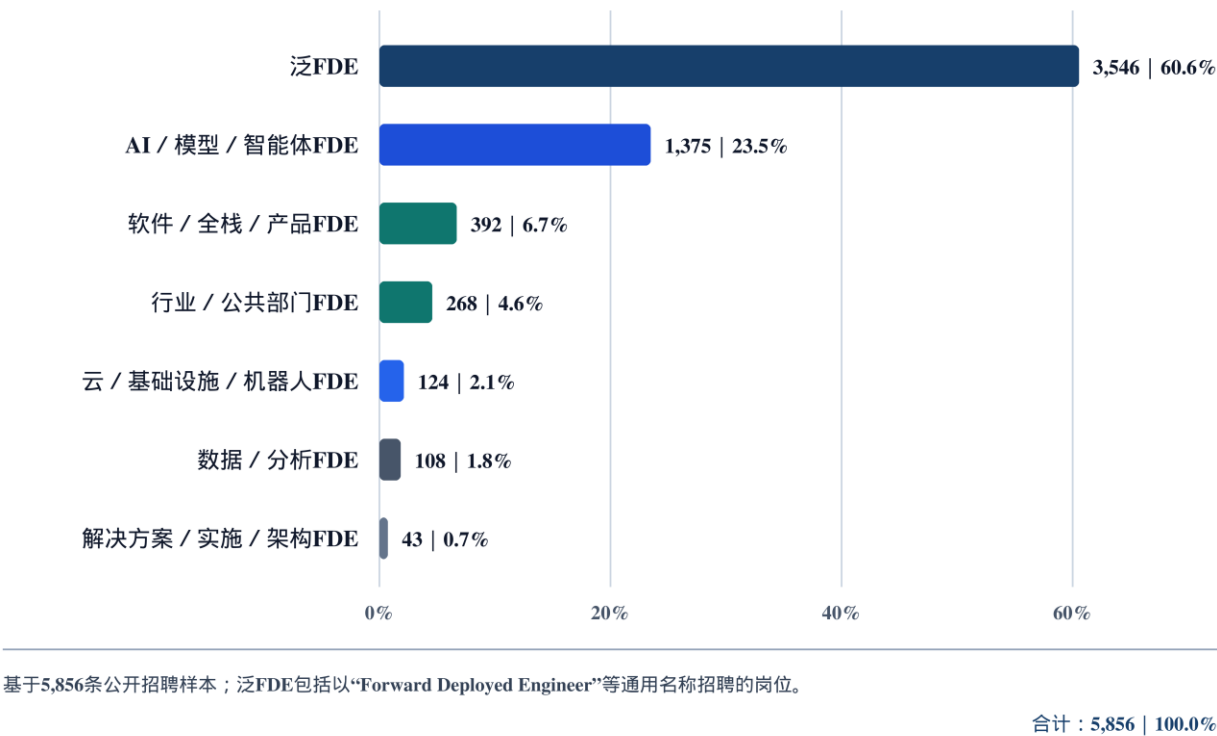


图 1-2 FDE 岗位类型分布

职业演进与职位名称共同说明：FDE 首先从解决复杂软件进入客户环境的实践中形成，随后随平台化和生成式人工智能向更多行业扩散。名称可以随技术和行业变化，进入现场、共同验收、生产交付和持续改进的责任内核则保持稳定。

三、FDE 究竟是什么：四项端到端职责及其职业边界

本报告把 FDE 定义为：直接接触客户真实业务环境，基于现场信息形成需求规格与验收指标，将系统交付至客户生产环境，并在运行中持续迭代、对实际结果负责的职业角色。FDE 未必以统一职名称呼，也可以嵌入软件、模型、云、咨询或独立服务组织；名称和组织位置可以分化，但组织中必须存在承担四项端到端责任的明确主体，责任链不可缺位。

售前和技术销售通常在交易前解释产品；咨询顾问可能以诊断与方案为主要交付物；实施工程师往往执行已经形成的范围；传统软件工程师未必直接参与客户需

求与验收的共同形成；客户成功关注采用与续约，却不一定建设生产系统。相邻职业可能承担 FDE 责任的一部分，关键在于四项职责能否形成连续责任链。

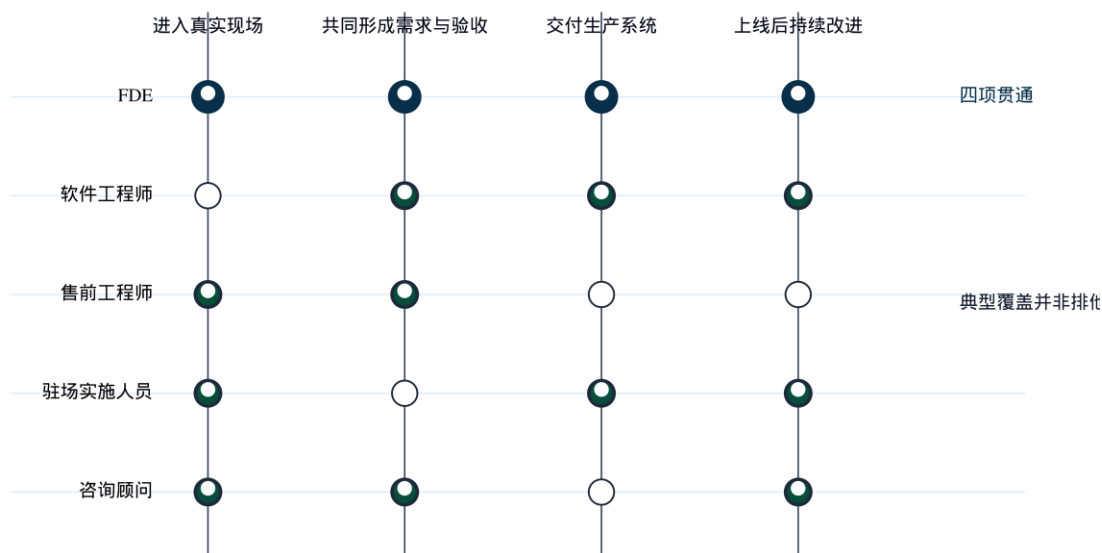
本报告以下列四项连续责任作为一次实质判定：四项责任在同一交付链中共同出现时，相关工作才构成本报告所称的 FDE；只承担其中一项或数项时，应按实际责任归入相邻职业。

条件一，直接接触真实业务环境。工作输入来自真实数据、真实系统和真实业务人员。远程工作并不等于不在场，只要从业者直接进入客户生产系统并与业务人员持续互动；坐在客户办公室却只接收项目经理转述，也不构成真正的在场。

条件二，参与生产需求与验收标准。FDE 不是被动执行一份预先完整的需求文档，而是把现场观察转化为需求规格，并与客户共同确定“做到什么程度算成功”。

条件三，交付生产系统。演示、原型和报告可以是中间产物，最终交付物必须进入客户生产环境、承担真实负载，并被真实业务人员使用。

条件四，上线后持续迭代。系统运行产生的新问题、新数据和新业务变化必须进入下一轮改进。交付方至少要承担续约结果，责任不能在里程碑验收当天终止。



资料来源：本报告职业定义与相邻岗位比较；圆点表示典型责任覆盖，非岗位能力上限
 阅读结论：FDE 的边界不在头衔，而在四项责任能否由明确主体连续贯通

图 1-3 四项责任链与相邻岗位覆盖

图 1-3 把 FDE 与相邻岗位放在同一责任链中比较。软件工程师、售前工程师、驻场实施人员和咨询顾问都可能承担其中若干环节；只有四项责任贯通并由明确主体持续承担时，才构成本报告所称的 FDE。

从称谓回到责任：访谈材料中的职业边界

焦佳敏的书面回答把 FDE 描述为“站在问题旁边工作”的角色，强调从现场把模糊问题推进为可使用结果；简江在聊天卡片中的书面材料则用排除法区分售前、外包、咨询与 FDE，并提出中央能力平台与嵌入式小队协作。两项材料共同支持：FDE 不能只交付方案或人时，而要贯通生产与持续反馈。

赵洋的访谈材料则提供了边界参照：短时间问诊、方案架构和流程诊断本身可以创造价值，但若后续生产交付、运行反馈和结果责任另行转交，它更接近咨询或实施前诊断。报告因此仍以四项责任共同成立作为职业判定标准，而不以岗位名称或自我称谓替代判断。

四、为什么企业需要 FDE：AI 重组劳动分工后，端到端负责成为更优选择

企业需要 FDE，是因为 AI 提高实现与迭代速度以后，分散责任比以往更容易成为系统瓶颈。咨询、架构、开发、交付和运维之间的反复交接，会同时产生语言输入输出损耗、尚未表达的设计意图损耗、上下文重建和沟通等待；各部门掌握的局部认知即使分别正确，也难以支持高频版本对同一经营问题持续校正。

因此，必须由同一责任主体持续整合问题定义、架构取舍、需求与验收、生产运行反馈和下一轮修改。这个主体可以是一名 FDE，也可以是由首席 FDE 统领的责任单元；关键不在头衔，而在问题、设计、验收与结果责任不能在交接中被切断。

本章结论

FDE 是一种以真实现场、需求与验收、生产交付和持续迭代为内核的职业角色。名称、雇主和专业分工可以变化，端到端结果责任提供稳定识别标准。AI 改变劳动分工以后，这条连续责任没有消失，反而成为组织通用技术进入具体生产的关键。

FDE 的名称会随企业和行业继续分化，但职业内核相对稳定：进入真实业务环境，与客户共同形成需求和验收标准，参与生产级交付，并依据运行结果持续改进。下一章将解释人工智能为什么使这项深度定制工作同时变得更轻、更快。

本章参考文献

- [1] OpenAI. OpenAI Launches the Deployment Company[EB/OL]. 2026-05-11. <https://openai.com/index/openai-launches-the-deployment-company/>.
- [2] AWS. AWS Commits \$1 Billion to Forward Deployed AI Engineers[EB/OL]. 2026-06-30. <https://www.aboutamazon.com/news/aws/aws-1-billion-forward-deployed-ai-engineers>.
- [3] ALTHOFF J. Microsoft Frontier Company: AI Engineering that Amplifies and Protects Your Intelligence[EB/OL]. Microsoft, 2026-07-02. <https://blogs.microsoft.com/blog/2026/07/02/microsoft-frontier-company-ai-engineering-that-amplifies-and-protects-your-intelligence/>.
- [4] 习近平. 携手构建公正合理的全球人工智能治理体系——在 2026 世界人工智能大会暨人工智能全球治理高级别会议开幕式上的主旨讲话 [N/OL]. 新华每日电讯, 2026-07-18(002). https://www.beijing.gov.cn/ywdt/dzyjs/202607/t20260718_4769687.html (2026-08-01 访问)。
- [5] 国务院. 关于深入实施“人工智能+”行动的意见 [Z/OL]. 国发〔2025〕11 号, 2025-08-21. https://www.cac.gov.cn/2025-08/27/c_1758018277755538.htm.
- [6] The White House. Winning the AI Race: America's AI Action Plan[R/OL]. 2025-07. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2025/07/Americas-AI-Action-Plan.pdf>.
- [7] ILO, NASK. Generative AI and Jobs: A 2025 Update[R/OL]. 2025-05-20. <https://www.ilo.org/publications/generative-ai-and-jobs-2025-update>.
- [8] CUI Z, DEMIRER M, JAFFE S, et al. The Effects of Generative AI on High-Skilled Work: Evidence from Three Field Experiments with Software Developers[R/OL]. Microsoft Research, 2025-06. <https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/the-effects-of-generative-ai-on-high-skilled-work-evidence-from-three-field-experiments-with-software-developers/>.
- [9] BRYNJOLFSSON E, LI D, RAYMOND L R. Generative AI at Work[R/OL]. NBER Working Paper 31161, 2023. <https://www.nber.org/papers/w31161>.
- [10] World Economic Forum. The Future of Jobs Report 2025[R/OL]. 2025-01. <https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2025/>.
- [11] Artificial Analysis. Artificial Analysis Coding Agent Index v1.3; Codex vs Kimi Code CLI[EB/OL]. 2026. <https://artificialanalysis.ai/agents/coding-agents;> <https://artificialanalysis.ai/agents/coding-agents/comparisons/codex-vs-kimi-code-cli> (2026-08-10 访问)。
- [12] Mercor. The AI Productivity Index for Software Engineers: APEX-SWE Leaderboard[R/OL]. 2026. [https://www.mercor.com/apex/apex-swe-leaderboard/;](https://www.mercor.com/apex/apex-swe-leaderboard/) <https://arxiv.org/abs/2601.08806> (2026-08-10 访问)。

第二章 FDE 成立的理论基础：AI 时代为什么需要 FDE

本章建立 FDE 成立的理论基础：企业智能化怎样扩大定制需求，AI 怎样降低部分执行成本，行业判断、连续责任、AI 执行和专业生产工程又怎样被组织成兼顾轻、快、深的供给，并使新的增量市场成为可能。

本章回答 FDE 为什么在今天成立，而不重复第一章的职业定义。核心机制是：人工智能既产生更多深入企业流程的智能化需求，又降低资料、原型、编码、测试和迭代的执行成本；需求增长与成本下降相互强化，使深度定制开始进入更广泛的企业市场。

一、AI 如何改变企业数智化：软件从记录业务走向参与业务

企业数字化把客户、产品、流程和经营数据转化为软件可以记录、连接和管理的对象；AI 智能化使软件进一步理解信息、作出判断、调用工具并参与执行。前者建设可计算的业务基础，后者改变软件在生产中的角色，两者既有先后关系，也可能在基础较弱的场景中同步推进。

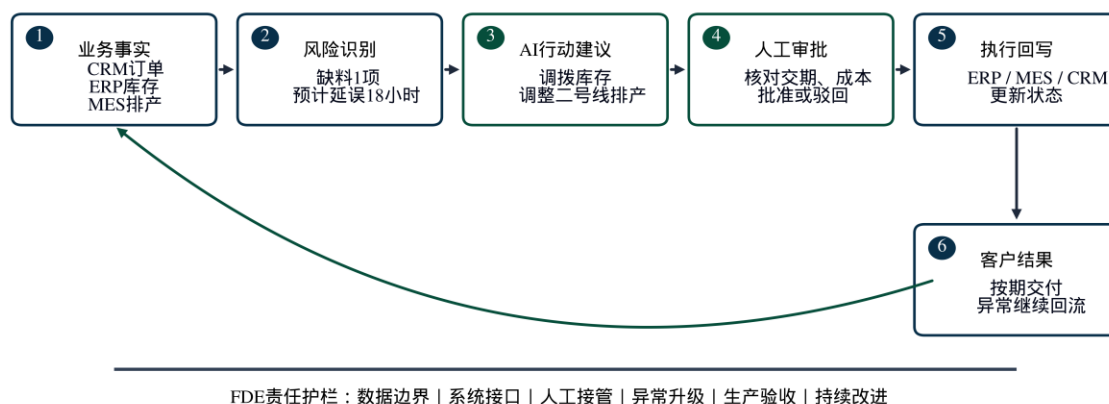
当软件只负责记录和传递时，企业主要要求字段、流程与权限准确；当软件参与判断和执行时，它还要理解现场语义、处理例外、接受安全约束并在真实结果中被检验。企业智能化不是把模型接入所有岗位，而是重新组织数据、流程、人员和软件之间的关系。

这一变化解释了 FDE 为何成立：人工智能越深入工作过程，业务问题与系统行为越不能被割裂，现场判断、需求验收、生产工程与持续反馈需要被放入同一条责任链。

企业资源计划（ERP）、客户关系管理（CRM）和制造执行系统（MES）分别保存订单、客户、库存、设备、排产和质量等经营事实。基础较好的企业可以在这些系统之上增加预测、判断与自动执行；基础较弱的企业也可以围绕一个具体经

营问题，同步补齐必要的接口、流程记录和人工智能应用。数字化提供可计算的业务事实，智能化则让软件在明确权限和责任边界内参与经营。

图 2-1 以一笔制造企业的加急订单为例：客户关系管理系统记录客户与承诺，企业资源计划系统统筹库存、采购和成本，制造执行系统调整排产与质量控制；人工智能识别缺料和延期风险、比较行动方案并给出建议，业务负责人审批关键事项，执行结果再回写各系统。FDE 的工作不是替企业作出所有决定，而是打通数据和接口、设计人工接管点、处理异常并组织验收，使一次跨系统动作形成可持续改进的经营闭环。



资料来源：本报告基于制造企业加急订单的典型业务闭环重绘；不对应单一厂商界面

阅读结论：AI可以提出并执行建议，关键决策、边界与结果验收仍由人和FDE责任链承担

图 2-1 企业智能运营闭环：业务事实、人工智能建议、人工审批与执行反馈（本报告分析图）

人工智能进入企业的判断与执行过程，也意味着一部分过去只能依附于劳动者经验的知性生产资料开始被写入模型、规则、数据结构和智能体工作流。企业由此能够重新组合岗位、部门与外部服务，但流程之外的例外、隐性行业知识、价值判断和

责任边界仍需由人处理；这既打开生产率提升空间，也要求培训转岗、收益分配和社会保障与技术扩散同步。

FDE 是这一过渡中的生产组织者：它把行业经验转化为需求、规则、数据结构和评估标准，又保留人对经营问题、系统整体取舍、异常情况和结果责任的控制。随着工具成熟，职位名称和编码工作比重可以变化，但行业经验如何进入系统、系统如何进入真实生产、生产结果由谁验收和负责，仍是人工智能产业化必须承接的组织问题。

二、为什么企业智能化天然要求定制：通用能力必须进入具体流程

基础模型提供通用语言、推理和编码能力，却不了解每家企业的客户结构、产品定义、业务流程、历史系统、数据质量、权限边界、行业规范和例外情况。智能化越深入生产，这些差异越决定系统能否使用。

定制不只是修改界面或增加字段，而是把现场经验转化为业务问题、需求规格、规则、数据结构、评估样本、接口与运行流程，并在上线后根据真实反馈调整。模型能力提高使更多细分流程具备智能化可能，也扩大了需要现场适配的需求总量。

因此，通用能力与企业定制不是此消彼长。通用模型降低基础能力门槛，企业差异决定最终系统形态；二者之间需要有人持续完成翻译、选择、组织与验收。

企业差异具体存在于客户分层、报价规则、库存与产能、审批权限、历史数据质量、行业监管和大量无法写入标准产品的例外中。模型可以提供通用推理和生成能力，却不能在缺乏现场信息的情况下替企业决定哪些差异应被保留、哪些流程应当改变。

定制因此贯穿问题选择、知识整理、数据接入、评估集构建、系统接口、运行规则和上线后的版本变化。模型能力越强，可进入的细分流程越多；可进入的流程越多，需要被识别和组织的企业差异也越多。

这也决定了定制不能在签约和上线之间一次完成。企业流程、人员使用方式和模型行为都会在运行中变化，需求与验收必须根据真实结果继续修正；持续迭代不是项目附加服务，而是企业智能化定制的组成部分。

三、为什么过去的供给模式难以满足：外部转型太重、软件订阅服务太标准、传统定制太贵

软件订阅服务（SaaS）以统一产品和持续更新服务大量客户，启动较快、单位成本较低，也便于集中维护；其局限是必须围绕共性设计，难以深入企业独有流程、隐性知识和复杂例外。当差异只能通过大量配置或二次开发解决时，标准产品的规模优势也会被削弱。

传统咨询、系统集成和定制开发能够深入客户现场，把特定流程和历史系统写入方案，适合复杂、重要且边界相对清楚的项目；它的优势是专业分工完整，局限是业务与技术之间往往多次转述，建设周期和固定成本较高，上线后的持续责任还可能分散在不同供应商之间。

企业自建最了解自身业务，数据权限、组织协调和长期知识留存也更可控，适合敏感、核心和需要长期运营的场景；但企业必须持续承担人才、平台、安全、部署和运维成本，对多数中小企业或阶段性需求并不经济。

大量中小企业与细分流程恰好处在三者之间：标准产品不够合身，重型定制负担过大，自建团队又缺乏规模基础。它们需要的是较低门槛进入、较短周期验证、能够深入特定流程并在上线后继续负责的供给。

FDE 由此获得明确位置：它以较小前线单元直接取得业务信息，减少需求转述，再借助智能体完成高频技术执行，并按风险调用专业生产工程能力。这样既保留标准平台和公共工具的复用，也让企业差异能够进入系统。

这种补位并不意味着取消软件订阅、传统定制或企业自建。若 FDE 只减少人员，却把测试、稳定性和运维留给客户，轻量化只是转移成本；若项目仍需多层转

述和长期驻场，也没有改变传统供给的结构。适用边界取决于业务独特性、数据敏感度、系统风险、持续服务需求和客户自主运营目标。

企业人工智能落地的四个断点

转化环节	需要回答的问题
有模型 → 有试点	是否选中了值得解决、能够验收的经营问题
有试点 → 有生产	是否完成数据、系统、权限、稳定性和人工接管建设
有生产 → 有结果	系统是否被持续使用，并改善了约定的经营指标
有结果 → 可复制	流程、评测、组件、文档和人才是否留在组织中

四、如何观察 AI 辅助软件工程的能力边界与生产条件

编程智能体已经进入资料处理、原型、基础编码、测试辅助与版本修改等环节，但局部任务表现不能直接外推到完整软件项目。企业生产系统还需要数据治理、系统集成、权限控制、安全评估、部署、监控、回滚和长期运维；这些责任是否得到履行，必须由项目运行证据判断。

软件工程基准为观察模型能够处理哪些任务提供了可追溯材料。不同基准的任务定义、样本来源、智能体框架、时间窗口和运行设置并不相同，因此只能分别解释其测量对象和边界，不能将结果拼接成统一尺度，也不能据此换算项目人月、费用、周期或业务效果。

本报告选取三类公开软件工程基准作为对标材料，依次观察边界清楚的仓库级任务、接近日常开发的复杂修改，以及更接近企业生产工程的任务。选择依据是任务对象可以辨认、方法说明可以追溯，并且能够呈现从局部实现到复杂工程的不同约束。这些材料只用于启发结构化观察，不构成受控实验、统一计量或因果识别。

1. Artificial Analysis Coding Agent Index v1.3。测量对象是边界清楚的仓库级开发、终端工作流与代码理解任务。选择它，是因为其任务定义和方法说明公开，结果可以在给定评测设置下核对。它可以说明编程智能体能否完成部分可验证实现，不能说明完整项目的人月、费用、周期、质量或生产责任[12-13]。

2. CursorBench 3.2、SWE-rebench 与 DeepSWE。三项材料分别把观察推进真实编辑器会话中的模糊多文件任务、训练截止日后的新代码库任务和较长时程的原创工程任务。选择这一类材料，是为了观察复杂代码修改以及样本时效、任务设计对结果的影响。它们可以说明模型在各自任务与运行设置下的表现，不能拼接成题库的统一能力尺度，也不能代表跨组织的生产效率[14-16]。

3. APEX-SWE。测量对象是企业集成与日志可观测性相关的软件工程任务。选择它，是因为任务更接近企业工程，可以观察模型在生产边界附近能够处理什么、仍受哪些约束。它可以说明特定任务集和规则下的处理范围，不能替代对真实系统稳定性、安全、权限、运维责任和业务结果的运行验证。公开评测审计也表明，题目、提示与测试设计会影响结论，因此不能把单次评测结果外推为生产能力[17-18]。

三类软件工程基准的定性对标框架			
用途：形成结构化观察，不建立统一尺度，不推导项目成本或因果关系			
对标对象	选择理由	观察重点	解释边界
1. Artificial Analysis Coding Agent Index v1.3 仓库级开发与终端任务	任务边界清楚 方法说明可追溯 结果便于核对	给定任务和设置下 能否完成可验证的 代码实现	不能外推完整项目的 成本、周期、质量 与生产责任
2. CursorBench 3.2 SWE-rebench / DeepSWE 复杂修改与新代码库	接近日常编辑器会话 覆盖模糊、多文件和 较新样本	观察复杂代码修改 以及样本时效、任务设计 对结果的影响	不建立题库尺度 不代表跨组织的 生产效率
3. APEX-SWE 企业集成与可观测性 相关工程任务	任务更接近企业工程 用于观察生产边界 附近的处理能力	特定任务集与规则下 能够处理什么 仍受哪些约束	不能替代稳定性、安全 运维责任和业务结果的 真实运行证据
阅读原则：三类材料分别解释，只比较任务对象与适用边界；不作跨基准折算。 资料来源：Artificial Analysis、Cursor、Nebius AI、Datacurve、Mercor与公开评测审计材料			

图 2-2 三类软件工程基准的选择理由与观察边界

如图 2-2 所示，三类材料形成从边界清楚的实现任务、真实开发工作流到企业工程任务的观察序列。这个序列只表示任务环境逐步复杂，不意味着三个类别共享统一尺度，也不表示模型能力能够按图中次序换算为项目成本、交付周期或业务结

果。其用途是分别识别模型在什么约束下完成了什么、结论受哪些评测设置限制，以及进入生产环境还缺少哪些运行证据。

软件工程基准不能决定项目定价。实际合同仍可区分诊断与原型、生产版本、持续运维和可核对的结果安排；价格应由交付范围、业务价值、风险责任、知识产权和持续服务共同形成。是否出现成本下降、周期缩短或质量改善，只能依据同一项目口径的实际投入、运行记录和业务结果分别判断，不能由基准任务表现推导。

行业知识如何进入系统：何元汉的制造业实践

何元汉介绍，他在服装制造项目中并不是先从通用功能清单出发，而是从 ERP、Excel、历史订单和现场记录反推业务对象、字段、规则与例外，再围绕生产管理、移动报工、质量追踪和销售分析推进系统建设。数据可用、负责人授权以及中层业务人员持续解释工序，是行业知识能够进入系统的前提。

高木生对制造企业旧系统叠加、数据孤岛和重复报表的观察说明，很多项目首先要处理既有系统与组织认知；陈国润则指出，大型组织的业务知识分散在人脑、代码和数据表中，只有业务、现场交付与平台角色共同工作，项目知识才可能回流为后续可用的业务对象和平台资产。三项材料共同支持一个结论：模型降低实现成本，但不能替代行业知识的取得、结构化和验证。

从演示进入生产：黄俊海与蔡黎明的项目复盘

黄俊海介绍，项目进入客户环境后，团队发现缓存之外还有串行流程、索引、检索、并发等更前置的问题；小试点可以说明方向可行，却不能替代生产级工程。蔡黎明的五金报价案例同样表明，少量使用者认为“能用”的演示进入更大范围后，仍要面对权限、数据隔离、安全、并发和长期维护。

白天朗补充，模型能力、调用成本和业务目标需要共同决定技术选择，但模型选择只解决执行手段，不能代替生产责任。由此，原型回答“能否做”，生产系统回答“能否稳定使用并持续产生价值”；FDE 的作用是把两者之间的数据、工程、组织和验收责任连续起来。

五、FDE 为什么成为 AI 时代的快速反应部队：行业判断、AI 执行与专业生产工程重新分工

布鲁克斯的原论产生于生成式人工智能出现之前，并未讨论当代大模型或 FDE。

《没有银弹》区分软件的本质性困难与偶然性困难：前者属于软件自身相互关联的概念结构，难点主要在规格形成、概念结构设计测试；后者来自表达工具、机器约束和重复实现等实现环节[27]。《人月神话》进一步指出，大型项目因劳动分工产生不同于小项目的沟通与管理成本，概念完整性是系统保持统一、便于学习、使用、维护和扩展的重要条件，而非抽象的审美要求[25][28]。“外科手术式团队”强调由小而精锐、职责分明的核心保持设计主线，同时正视个体能力可达数量级差异，以及小团队扩展到大型系统时的张力[26]。结合布鲁克斯此后的访谈，其实践含义可以概括为：关键设计责任必须清楚，需求往往在迭代中被发现，早期原型应尽快接受真实用户反馈[28]。

本报告据此作出人工智能时代的推论。该推论为本报告的分析，不是对布鲁克斯原文结论的直接转述：传统软件工程在概念完整性与大型系统所需执行规模之间存在两难，少数精干人员更容易保持统一设计，却难以及时完成大型系统；简单扩大团队又会增加培训、沟通和集成成本。生成式人工智能压缩代码生成、资料处理、终端操作和测试辅助等实现成本，扩大少数人员可调动的执行能力，却不能替代现实抽象、架构判断、业务验收和生产结果责任[25-28]。

稳定的责任单元应形成“首席 FDE—副手 FDE—智能体—专业生产工程”的分工。首席 FDE 承担最终认知、系统主线、重大取舍和结果裁决；副手 FDE 掌握完整上下文，负责质疑、评估、补位和备份；智能体承担资料处理、原型、编码、测试辅助和其他可编排执行；专业生产工程人员按风险负责复杂集成、安全、部署、可观测性、回滚与运维。

这三条必要责任线并不等于三个固定全职岗位。低风险小项目可以由首席 FDE 兼顾部分职责、由副手或同行承担复核，并按需调用生产工程能力；复杂生

产交付则应配置专门的生产工程负责人。无论人员如何组合，最终裁决、独立复核和生产边界都必须明确。

大型系统不靠无限扩大一个团队，也不能依赖一个“超级 FDE”。更可扩展的做法，是复制边界清晰、能够独立承担结果的 FDE 责任单元，再由更高层 FDE 或系统架构负责人协调接口、标准、公共资产和重大取舍；这样既保留局部概念完整性，也获得跨单元的执行规模。

FDE 组织的初始形态可以是一名主要 FDE 统领的单核责任单元，但这不等于一个人包办全部劳动。智能体从首个项目起就应进入可编排执行，需求、设计、运行记录与验收证据进入统一事实源；复杂集成、安全、可靠性、部署和运维按风险调用专业能力，并以外部复核、备份和恢复机制控制个人依赖。

FDE 交付组织的成长由四类可观察制约推动：客户需求超过单个交付单元的容量，项目知识随人员流动而丢失，多人交付产生质量差异，大规模客户部署又要求周期稳定。四类制约分别推动小队扩容、公共资产建设、专业分工和工业化交付。

第一项制约是单个交付单元的容量。个人可以保持完整责任和快速响应，但并行客户增加后，调研、构建和运行工作会相互挤压；组织需要复制能够独立承担结果的小队，而不是把所有事项继续压在同一人身上。

第二项制约是项目知识的组织留存。小队扩大了服务容量，但接口、测试和行业解法若仍留在成员个人手中，不同项目就会重复劳动；组织必须把共性写入组件、接口、测试框架和行业模板，形成面向多项目的内部中台。

第三项制约是交付质量差异。客户增多后，项目成败不能继续取决于具体派出哪名通才；构建、部署策略、安全可靠性和行业判断因而逐步分流为专业职责，同时必须保留贯穿现场、验收、生产和持续改进的结果负责人。

第四项制约是规模化部署的节奏。当 FDE 承担的是扩大核心产品采用，而不是逐个出售独立项目时，客户数量要求交付周期、工具、质量关口和能力移交都可预测，组织由此进入工业化。

四类压力依次形成个体、小队、中台、分工分流和工业化五个阶段。这不是所有公司必须走完的时间表，而是一条组织发育路径：客户结构、产品形态和资产复用程度不同，企业可以长期停留在其中某一阶段。判断阶段的意义，在于看清当前组织以什么方式创造价值、受什么约束，以及继续扩大时需要补足什么能力。



资料来源：本报告组织阶段分析；离散责任单元演进模型，不是时间表或人数评分

阅读结论：组织扩展依靠复制边界清晰的责任单元，并让五条不变量持续贯穿

图 2-3 FDE 组织五阶段发育路径（机制示意）

专业服务中的短反馈链与专业责任

李泽辰的访谈显示，法律服务组织中的案件材料、会议经过和专业判断容易分散在不同人员与工具之间，内部法律科技小组因业务人员能够直接反馈，形成了比多层转述更短的修改链。苏珊珊的材料从需求侧说明，经办律师、上级律师和合伙人之间的层层转述会筛减客户表达与判断依据，技术建设必须让专业人员持续在场。

孙宇桐提出的影子运行提供了跨行业的操作方式：让系统先在人工流程旁边运行，记录采用、驳回及其原因，再逐步扩大责任范围。它既保留专业人员的判断和人工控制，也把真实反馈转化为评测与修改依据。

从个体协作到稳定生产的组织演进

阶段一，个体。这里的“个体”是一名主要 FDE 统领的单核责任单元，而不是一个人包办全部劳动。从第一个项目起，单元就应调用智能体、保存统一事实源，并按风险调用外部复核或生产工程能力；若以单人形态经营，还必须建立备份、复核与恢复机制。容量和个人依赖仍是主导约束，进入下一阶段的关键是复制完整责任，而不是简单增加助手。

阶段二，小队。组织形成首席 FDE 与副手 FDE 构成的稳定双人认知核心，两人共同掌握整体设计和运行状态，副手能够质疑、补位并在必要时接替，但最终裁决权和结果责任必须清楚。小队不由固定人数定义，而由能否复制一套完整责任单元来定义；其主导约束从容量转向知识能否在单元内部完整共享、在单元之间可靠复制。

阶段三，中台。中台不是脱离现场的中央部门，而是面向多个 FDE 单元的共享资产与生产能力层。前线问题、系统接口、评估集、异常记录和方法经过验证、版本化和维护后再供多项目复用；行业知识与验收标准仍由靠近现场的 FDE 主导。中台的价值是减少重复建设，边界是不能用统一模板覆盖真实差异，也不能与前线争夺问题定义权。

阶段四，分工分流。安全、可靠性、数据、平台和复杂集成等专业能力围绕 FDE 责任单元形成风险分层的可调用网络，而不是让项目重新在职能部门之间逐级移交。FDE 对业务目标、设计主线和验收负责，专业人员对安全、可靠性和生产边界负责，全部证据回到同一项目事实源；分工的价值是稳定质量，风险则是专业化再次切断责任。

阶段五，工业化。工业化是在问题类型、平台底座、质量关口和能力移交已经反复验证后，把可重复部分组织成稳定交付线，并与探索性 FDE 小队形成双轨体系。它之所以成立，是因为大规模并行需要周期、质量和成本可预测；其优势是缩短首次价值实现时间、降低人员差异并提高客户自主运营能力。可以工业化的是智能体 workflows、工程工具、质量关口、资产调用和反馈证据，而不是企业问题本身，

也不是 FDE 的判断责任。AWS 的 45 天交付、Palantir 的集中式应用构建营和 Microsoft 的大规模现场组织，分别展示了这种标准节奏^{[3][6]}。

第一项风险是固定周期可能反过来缩小真实问题。若组织只接受能够在既定周期内完成的任务，深层流程改造就会被排除在外。解决办法不是放弃工业化，而是把标准交付与探索性小队并存：前者承接可复用部分，后者处理高不确定问题，并把成熟成果再送回标准流程。

第二项风险是四项核心责任被模板稀释。周期固定后，持续负责可能退化为“周期内负责”；用例菜单化后，共同形成需求可能退化为“从选项中挑选”。工业化组织必须保留客户共同验收、异常升级、上线后反馈和能力移交，才能区别于只追求吞吐量的实施外包。

五个阶段始终贯穿五条不变量：认知与结果责任、智能体执行杠杆、生产工程保障、资产回流和客户自主运营。阶段跃迁由容量、知识、质量与节奏等主导约束变化触发，不以单纯人数增长定义；大型系统则通过复制责任单元、协调接口和公共标准扩展，而不是把所有责任继续压在一个人或一个无限膨胀的团队上。

连续责任与企业主体责任的分工

FDE 的连接责任	不能被替代的主体责任
进入现场并澄清问题	企业领导者决定战略方向、资源投入与风险边界
组织业务与技术形成验收	业务负责人决定业务规则、采用计划与最终验收
推动模型、数据和系统进入生产	数据、安全、测试、平台与运维团队承担专业责任
把反馈转成评测和修改	行业专家承担专业判断，法定责任仍由法定主体承担
推动规则、组件和方法沉淀	企业负责数据、伦理、劳动权益、供应商与退出治理

合同与结果责任

FDE 面对的问题往往要在项目中逐步澄清，收费方式因而不仅决定价格，也决定谁先投入、以什么验收，以及结果不理想时由谁承担损失。现有实践从工时制、订阅加部署费、按结果收费到合资与持股，形成买方承担风险逐步减少、双方共同治理逐步加深的连续谱。

工时制按照顾问或工程人员实际投入的日数、月数结算，适合需求尚不明确、客户需要保留调整空间的探索项目。它的优点是启动灵活、投入透明，双方可以随问题变化重新安排工作；缺点是卖方收入与业务成果联系较弱，项目如果长期依赖增加人天，容易退化为高价驻场。使用工时制时，应同时约定阶段目标、工作证据和停止条件，避免以忙碌替代成果。

订阅加部署费由一次性的配置、集成和上线费用，加上持续的软件或运营订阅构成。部署费覆盖接口、数据、权限、测试和初始交付，订阅费覆盖软件使用、运行支持和持续迭代；客户能否续约，使服务方必须持续面对实际使用压力。它兼顾启动现金流与长期改进，适合以平台能力为底座、仍需客户适配的项目；风险在于定制边界不清时，追加费用可能失控，订阅也可能掩盖长期依赖，因此合同要写清基础功能、客户专属改造、服务等级、数据权利和退出安排。

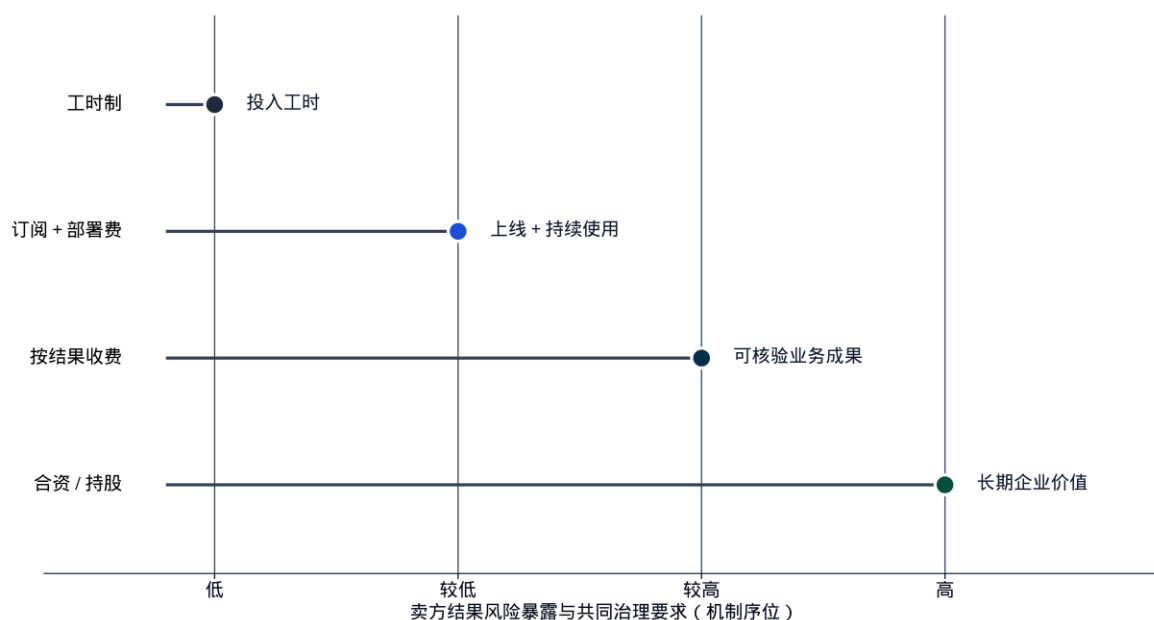
按结果收费把付款与合同预先定义、可以核验的业务成果相连，例如已解决服务请求、已阻止取消或已完成追加销售。它能把服务方激励与客户价值直接对齐，适合结果边界清楚、基线稳定、数据可核对且外部影响可以隔离的流程；缺点是归因和核验复杂，服务方还要承受较大现金流与外部环境风险。**Sierra** 向企业提供跨语音、聊天和电子邮件工作的客户服务智能体，并以可验证结果而不是抽象使用量计价，展示了这一机制怎样进入合同[19][20]。

结果合同并不意味着只在项目结束时看一个数字。**Sierra** 的客户侧工程团队会与企业共同定义结果、接入知识和业务系统、设置人工转接与安全边界，并依据运行数据持续优化；其公开案例包括消费电子故障排查和极端天气下的物流服务快速部署[21]。这种方式的优点是客户更容易按获得的价值采购，边界是企业披露的改善幅度仍需结合具体基线、人工投入和长期运行验证。

合资与持股模式通过共同设立公司或持有权益，把服务方回报与客户获取、长期运营和企业价值绑定。它适合需要多年投入、单个项目合同难以覆盖产品建设和组织改造的市场；优点是资本、技术、客户网络和行业能力可以长期组合，缺点是治理权、利益冲突、资产归属、回报周期和退出机制都更复杂。

OpenAI 控股的部署公司由 OpenAI 提供模型、产品方向和部署能力，投资与咨询伙伴提供资本、客户网络、行业改造和系统集成能力；公司再以收购和自建团队扩大面向大型企业的交付。各方收益来自企业客户持续采用和部署业务增长，因而共同承担前期投入与市场风险^[9]。

Anthropic 参与组建的企业人工智能服务公司则面向中型企业，由 Anthropic 工程师与合资团队共同选择场景、定制解决方案并支持长期运行，资产管理机构提供资金和被投资企业入口。两种结构都把模型企业从单纯提供技术推向共同经营，但必须明确客户数据、模型改进成果、项目责任和退出后的持续服务安排。



资料来源：本报告根据公开合同机制与企业实践归纳；序位表示责任方向，不是量化评分

阅读结论：结果负责不等于必须按结果计价，但合同越向右，服务方越难把运行结果留给客户

图 2-4 四种合同机制的风险转移与责任谱系（机制示意）

里程碑合同与结果合同可以用三点区分。第一，验收是锚定交付物状态，还是锚定业务指标：系统上线并通过测试属于里程碑，客户处理效率达到约定改善属于结果。第二，系统上线但指标未达成时，服务方是否承担退款、少收费用或无法续约等后果。第三，结果是否能够在签约前定义基线、核验方法、外部因素和异常处理。对结果负责也不等于必须按结果收费；即使采用版本费或订阅，只要客户可以依据实际效果停止续约，服务方就面对真实的结果压力。

AI 正在从三个方向改写此类业务的单位经济。第一，原型和基础编码成本快速下降，使过去预算不足以支持定制开发的细分流程可以先被验证。第二，同等质量的软件可以用更短时间交付；若维持原有周期，节省出的能力可以转投用户访谈、反馈闭环、自动化测试、安全和生产加固，使同等周期的交付质量上升。第三，行业专家借助编程智能体承担更多端到端责任，专业生产工程人员则以按项目需要处理复杂集成、测试、部署和运维。

工具辅助提供了观察效率变化的经验锚点。微软对 4867 名软件开发者的开展的三项随机现场试验显示，AI 编码助手使完成任务数量提高 26.08%[11]。在完整项目中，角色压缩、端到端责任减少交接、编程智能体承担执行任务、专业生产工程人员按需介入以及同行业技术资产复用，还会共同影响最终的人月、周期与质量。

生产级交付需要同时覆盖需求与验收、测试、安全、部署和运维。行业专家借助 AI 生成代码可以显著加快原型；当上述责任也由 FDE 与专业生产工程人员完整承接时，项目才具备比较生产软件人月、周期和质量共同口径。

这些变化首先降低最小经济可行项目的门槛，并扩大每个项目能够承载的迭代密度。原型和诊断可以用更低价格启动验证；进入生产交付后，价格覆盖系统集成、测试、安全、运维、失败风险与结果责任。成本下降形成的空间可以转化为更短周期、更高毛利，也可以重新投入更细颗粒度的定制和质量提升，具体选择由合同明确。

六、FDE 开拓了什么新市场：智能化需求增长与定制成本下降共同释放增量

企业智能化使更多生产流程成为软件可以参与的对象，需求总量随之增长；AI 降低部分执行成本，FDE 减少问题错判、需求传递与长期无人负责造成的损失，专业生产工程控制生产风险。需求增长与成本下降同时作用，降低了最小经济可行项目的门槛。

新增市场主要来自中小企业和细分流程中价值真实，却因项目规模过小、变化过快、行业过细而无法形成传统采购的需求。低成本诊断、短周期版本、持续服务和同行业资产复用，使其中一部分第一次具备交易条件。这不是简单分割现有 SaaS、咨询或系统集成市场，也会反过来重组部分存量支出。

人工智能降低部分技术执行成本，FDE 提高问题界定、现场适配和生产验收的成功率，项目经验的复用又继续减少后续工作量。三种力量共同作用，使过去因预算不足、流程过细或差异过大而无法形成采购的需求开始越过经济可行线。

判断一套 AI 定制系统是否健康，不能只看项目是否上线，也不能把参与人员数量多寡当作单一答案。更可靠的做法是分开观察四类证据：业务结果是否达到约定目标，系统在真实环境中是否稳定，客户能否在常规场景下自主运营，以及项目形成的需求规格、测试、接口和组件能否被后续同类项目复用。

建设期需要密集调研、数据治理、流程梳理和工程建设，人工投入较高并不异常。系统进入稳定运行期后，若需求知识、测试、组件和异常处理已经写入系统与团队规范，相同业务规模下的重复人工介入、故障救火和返工应当减少，同时准确率、稳定性、业务收益和变更速度保持稳定或改善。

运行期应分别记录业务产出、人工接管、故障、返工、发布频率和客户自主运营情况。不同业务的产出单位并不相同：客服可以观察问题解决率，销售可以观察有效转化，制造可以观察良率与停机，专业服务可以观察完成周期与差错。各项证据应在同一系统、同一业务口径下连续比较，不应合并成一个跨行业通用数字。

跨项目复用是另一组关键证据。新客户或新场景到来时，团队应能够复用既有的需求模板、系统接口、测试集、权限方案和异常处理方法。若每个项目仍需从头访谈、手工拆解和重复开发，说明知识仍留在个人，组织没有形成可以扩张的交付能力；若复用增加但故障、返工或业务损失同步上升，则只是把成本转移给客户。

Resolve AI 于 2024 年在美国旧金山成立，是面向生产系统运行与故障处理的人工智能软件公司[22][24]。它主要服务技术、金融和消费应用企业的平台工程、运维与站点可靠性团队，通过生产工程智能体连接代码、日志、指标、追踪、云基

基础设施和运行工具，调查事故、定位原因并执行受控修复。FDE 深入客户环境，理解告警、权限和故障流程，再把反复出现的问题回流为产品能力；这种“现场诊断—产品改进—减少重复支持”的循环，是其区别于通用编码助手的核心特点。

Resolve AI 公开的客户案例显示，其产品用于缩短事故调查并减少处理同一事故所需的人力[23]。这些案例说明可观测数据可以被组织为持续改进的工程能力，但生产事故涉及权限、安全和业务连续性，人工审批、回滚和责任升级仍不可缺少；企业案例也不足以单独证明所有客户都能以同样幅度降低成本。

因此，交付管理、产品建设和财务评价应分别保留可核对的运行证据。交付管理检查行业经验是否写入需求规格和测试用例，产品团队检查客户问题是否转化为公共组件，财务管理检查客户增加后收入、毛利和交付人力是否同步改善。把这些证据并列观察，可以防止企业把长期重复驻场误认为持续创造新价值。

本章结论

FDE 在 AI 时代成立，源于企业智能化需求扩张、部分技术执行成本下降，以及行业判断、连续责任、AI 执行和专业生产工程能力被重新组织。这一机制降低部分需求越过经济可行线的门槛，但完整软件的质量、价格和责任仍须分别检验。

FDE 在 AI 时代成立，不是因为一个人可以包办全部工作，而是因为行业判断、连续结果责任、智能体执行和专业工程责任可以在更短周期内被组织起来。下一章将检验全球企业是否已经围绕这一机制形成真实经营。

本章参考文献

- [1] Ramp Engineering Blog. Forward Deployed Engineering Principles[EB/OL]. 2025-08-06. <https://builders.ramp.com/post/forward-deployed-engineering>.
- [2] OROSZ G. What Are Forward Deployed Engineers, and Why Are They So in Demand?[EB/OL]. The Pragmatic Engineer Newsletter, 2025-08-12. <https://newsletter.pragmaticengineer.com/p/forward-deployed-engineers>.
- [3] AWS. AWS Commits \$1 Billion to Forward Deployed AI Engineers[EB/OL]. 2026-06-30. <https://www.aboutamazon.com/news/aws/aws-1-billion-forward-deployed-ai-engineers>.
- [4] 投中网. 百万年薪抢人, FDE 到底是什么? [N/OL]. 2026-07-02. <https://www.chinaventure.com.cn/news/78-20260702-392107.html>.
- [5] Palantir Technologies. Form 10-K FY2025[R/OL]. SEC, 2026-02-17. <https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1321655/000132165526000011/pltr-20251231.htm>.
- [6] ALTHOFF J. Microsoft Frontier Company: AI Engineering that Amplifies and Protects Your Intelligence[EB/OL]. Microsoft, 2026-07-02. <https://blogs.microsoft.com/blog/2026/07/02/microsoft-frontier-company-ai-engineering-that-amplifies-and-protects-your-intelligence/>.
- [7] Sierra. Outcome-Based Pricing for AI Agents[EB/OL]. <https://sierra.ai/uk/blog/outcome-based-pricing-for-ai-agents> (2026-08-01 访问)。
- [8] 53AI. 硅谷今年最火的岗位 FDE, 我们闷头干了三年 [EB/OL]. 2026-06-10. <https://www.53ai.com/news/Palantir/2026061023150.html> (服务商一手自述)。
- [9] Anthropic. Enterprise AI Services Company[EB/OL]. 2026-05-04. <https://www.anthropic.com/news/enterprise-ai-services-company>; OpenAI. OpenAI Launches the Deployment Company[EB/OL]. 2026-05-11. <https://openai.com/index/openai-launches-the-deployment-company/>.
- [10] Resolve AI. Why Enterprise AI Needs Forward Deployed Engineers[EB/OL]. 2025-09-08. <https://resolve.ai/blog/why-enterprise-ai-needs-forward-deployed-engineers>.
- [11] CUI Z, DEMIRER M, JAFFE S, et al. The Effects of Generative AI on High-Skilled Work: Evidence from Three Field Experiments with Software Developers[R/OL]. Microsoft Research, 2025-06. <https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/the-effects-of-generative-ai-on-high-skilled-work-evidence-from-three-field-experiments-with-software-developers/>.
- [12] Artificial Analysis. Artificial Analysis Coding Agent Index v1.3; Coding Agent Benchmarking Methodology[EB/OL]. 2026. <https://artificialanalysis.ai/agents/coding-agents>; <https://artificialanalysis.ai/methodology/coding-agents-benchmarking> (2026-08-10 访问)。
- [13] Artificial Analysis. Artificial Analysis Coding Agent Index v1.3; Codex vs Kimi Code CLI; Coding Agent Index Methodology[EB/OL]. 2026. <https://artificialanalysis.ai/agents/coding-agents>; <https://artificialanalysis.ai/agents/coding-agents/comparisons/codex-vs-kimi-code-cli>; <https://artificialanalysis.ai/methodology/coding-agents-benchmarking> (2026-08-10 访问)。
- [14] Cursor. CursorBench 3.2 Leaderboard; How We Compare Model Quality in Cursor[EB/OL]. 2026-07-08. <https://cursor.com/evals>; <https://cursor.com/blog/cursorbench> (2026-08-10 访问)。
- [15] Nebius AI. SWE-rebench Leaderboard; Methodology; Harbor Dataset[EB/OL]. 2026. <https://swe-rebench.com/>; <https://swe-rebench.com/about>; <https://hub.harborframework.com/datasets/swe-rebench/swe-rebench-leaderboard/latest> (2026-08-10 访问)。

- [16] Datacurve. DeepSWE v1.1: Measuring Frontier Coding Agents on Original, Long-Horizon Engineering Tasks[DB/OL]. 2026-08-07. <https://deepswe.datacurve.ai/> (2026-08-10 访问)。
- [17] Mercor. The AI Productivity Index for Software Engineers: APEX-SWE Leaderboard[R/OL]. 2026. <https://www.mercor.com/apex/apex-swe-leaderboard/>; <https://arxiv.org/abs/2601.08806> (2026-08-10 访问)。
- [18] OpenAI. Separating Signal from Noise in Coding Evaluations[R/OL]. 2026-07-08. <https://openai.com/index/separating-signal-from-noise-coding-evaluations/> (2026-08-10 访问)。
- [19] Sierra. About Sierra; Sierra Product[EB/OL]. 2026. <https://sierra.ai/about>; <https://sierra.ai/product>.
- [20] Sierra. Outcome-Based Pricing for AI Agents[EB/OL]. <https://sierra.ai/uk/blog/outcome-based-pricing-for-ai-agents>.
- [21] Sierra. Meet the AI Agent Engineer; Agent Strategist[EB/OL]. 2026. <https://sierra.ai/blog/meet-the-ai-agent-engineer>; <https://sierra.ai/jp/blog/agent-strategist-your-phd-in-applied-ai>.
- [22] Resolve AI. Introducing Resolve AI[EB/OL]. <https://resolve.ai/blog/introducing-resolve-ai>.
- [23] Resolve AI. Series A Funding[EB/OL]. 2026-07-17. <https://resolve.ai/blog/series-a-funding>.
- [24] Resolve AI. About Us; Terms of Service; The Failures That Led to 2x Agent Accuracy Improvement[EB/OL]. 2026. <https://resolve.ai/about-us>; <https://resolve.ai/terms-of-service-product>; <https://resolve.ai/blog/Failures-That-Led-to-2x-Agent-Accuracy-Improvement>.
- [25] BROOKS F P. The Mythical Man-Month: Essays on Software Engineering, Anniversary Edition[M]. 2nd ed. Addison-Wesley Professional, 1995. <https://www.informit.com/store/mythical-man-month-essays-on-software-engineering-anniversary-9780201835953>.
- [26] BROOKS F P. The Surgical Team[A/OL]//The Mythical Man-Month. Addison-Wesley, 1995. <https://www.oreilly.com/library/view/mythical-man-month-the/0201835959/ch03.xhtml> (2026-08-10 访问)。
- [27] BROOKS F P. No Silver Bullet: Essence and Accidents of Software Engineering[R/OL]. Chapel Hill: University of North Carolina, 1986, TR86-020. <https://www.cs.unc.edu/techreports/86-020.pdf>.
- [28] BROOKS F P. The Design of Design: A Conversation with Fred Brooks[EB/OL]. InformIT, 2010. <https://www.informit.com/articles/article.aspx?p=1600886>.

第三章 全球 FDE 的发展格局与实践验证

本章用岗位、企业、客户和组织实践检验第二章的机制是否已经出现。平台、模型、云、咨询实施和独立服务只是比较企业价值实现方式的章内维度；本章主线始终是全球发展格局、现实验证与未解决边界。

一、全球 FDE 形成了怎样的职业图谱：岗位分布、职责与能力

本报告持续探测主要公开招聘渠道，并对近两万条公开招聘信息中的雇主、职位名称、发布链接和职责内容进行跨平台核对。在此基础上，本报告识别出 5,856 个 FDE 及高度相关岗位观察样本，用于分析主要雇主和职位名称；职责与技能分析另取 685 份由雇主正式发布、职名明确且职位说明完整的严格样本。两个口径回答不同问题，均为研究观察样本，不等同于全球岗位存量。

公开招聘显示，FDE 岗位主要活跃于北美和欧洲，也已进入亚太技术市场，并从数据平台、基础模型和云计算企业扩展到制造、金融、医疗与专业服务。企业会使用前沿部署、客户工程、行业人工智能、解决方案工程或产品工程等不同名称；名称反映技术栈与服务对象，四项连续责任则提供跨名称的职业识别标准。

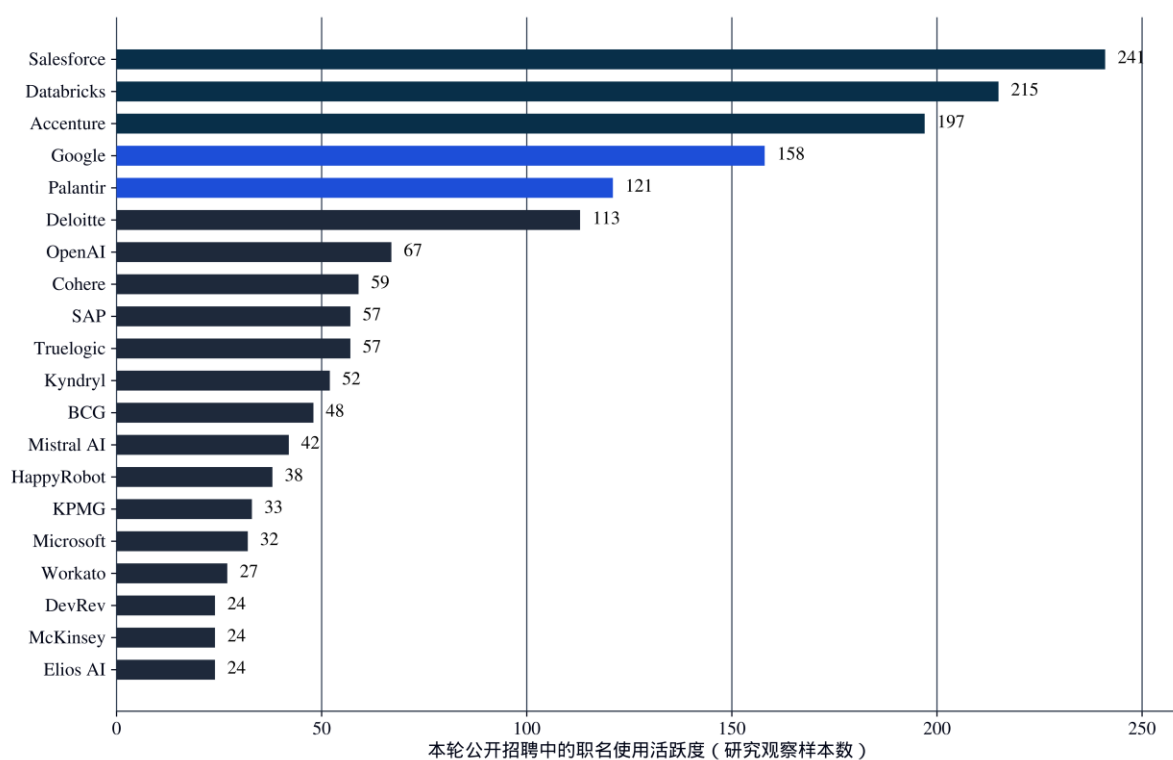
685 份正式职位说明呈现出稳定的复合能力结构：客户沟通与协作居于首位，系统接口、Python、人工智能体、大语言模型、云平台和数据工程共同构成技术底座。这些要求表明，FDE 已不是少数个人的偶然做法，而是被不同雇主写入招聘、团队和生产交付的一种职业角色；职业规模与企业经营价值，则继续由组织投入、客户使用和财务资料判断。

二、五类全球主流实践如何组织、交付并形成收入

平台企业原来依靠许可、订阅或使用收入，FDE 加深核心产品采用，现场成果沉淀为业务对象、连接器、工作流能力与续约基础。模型企业依靠调用、许可和企业产品，FDE 把客户问题转化为用例、评估集、智能体工作流与生产部署，收入表现为模型和产品使用，失败线索则返回评估与产品改进。

云与基础设施企业依靠计算、存储、平台与托管服务，FDE 推动工作负载迁移和持续运行，沉淀参考架构、权限模板与运维方法。咨询实施机构依靠客户关系、行业知识与项目服务，FDE 把诊断推进到生产和持续改进，收入仍来自咨询、实施或长期服务，资产沉淀为行业方法与工程组件。独立服务组织直接出售问题诊断、版本建设、上线和持续改进，能否持续取决于行业知识、接口、评测和组件能否跨项目复用。

以下五类实践统一回答六个问题：企业何时何地成立、服务哪些行业、主营业务是什么、FDE 怎样进入交付、收入与责任如何连接，以及其代表性和适用边界何在。分类针对客户实际购买的产品或服务，不以创始人名单和企业沿革替代机制分析；同一家企业可以同时采用多种模式。



资料来源：本报告从近两万条公开招聘信息中识别并核对出的5,856个FDE及高度相关岗位观察样本

阅读结论：平台、模型、咨询和云企业共同推动FDE职名扩散；样本不代表企业员工总数或全球岗位存量

图 3-1 全球 FDE 及高度相关岗位观察样本的主要雇主（前 20 位，n=5,856）

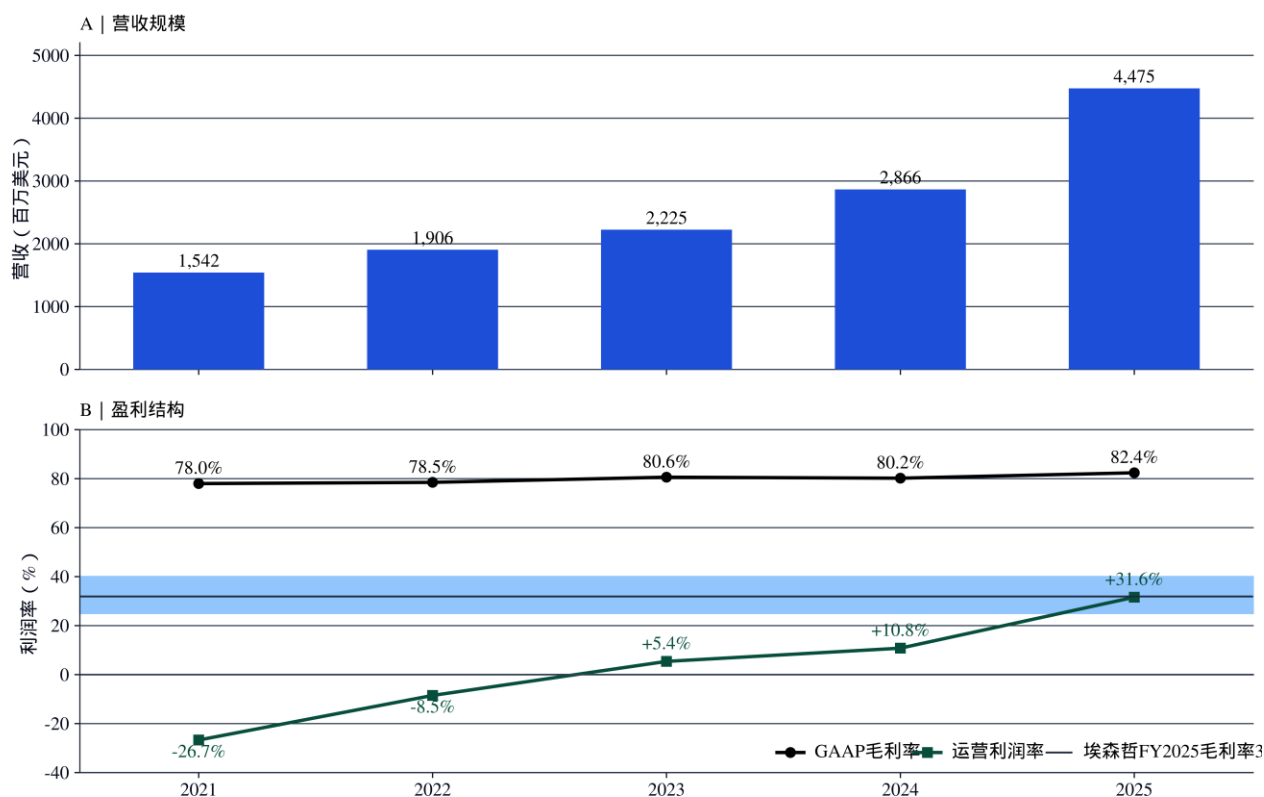
图 3-1 显示，FDE 职名已被软件平台、基础模型、云计算、咨询与独立服务等多类雇主采用。排名反映截至 2026 年 8 月 9 日全球公开招聘观察样本中的职名使用活跃度，帮助读者看见职业扩散由哪些企业推动；下文进一步回到主营业务、客户对象和交付机制，解释这些岗位为何存在。

本报告依据客户购买对象、企业原有收入基础、FDE 在收入形成中的作用以及现场成果的沉淀位置进行分类。同一家公司可以同时采用多种模式；判断具体项目时，应回到客户买什么、FDE 解决什么、企业如何取得收入以及留下什么资产。

（一）平台产品型：用现场交付加深订阅并把共性写入平台

平台产品型企业以软件授权、订阅和使用收入为主。Palantir 主要服务政府、国防、制造、能源、医疗和大型商业组织，用 Foundry、Gotham 与 AIP 把分散数据、权限、业务对象和工作流组织成可运行系统。客户购买的不只是软件许可，还包括把复杂业务接入平台并持续使用的能力；FDE 由此进入现场，帮助选择问题、接入数据、构建应用并训练用户，同时把多个客户反复出现的对象和流程写回平台。

该形态的财务表现具备较强说服力。过去五个财年，Palantir 营收从 2021 年的 15.42 亿美元增至 2025 年的 44.75 亿美元。GAAP 毛利率始终在 78% 至 83% 区间，2025 年达 82.4%，未曾跌入咨询公司的典型区间^[1]。2021、2022 年的运营亏损反映 FDE 重人力投入阶段的成本，2023 年首次实现 GAAP 运营盈利，2025 年运营利润率升至 31.6%。“接近客户时像咨询，扩张时像软件”的完整轨迹，在财报数据中得到完整呈现。



资料来源：Palantir SEC 10-K/8-K；埃森哲FY2025 10-K

阅读结论：营收增长、高毛利稳定与运营利润率转正，显示平台复用正在改变现场服务的单位经济

图 3-2 Palantir 2021 至 2025 财年营收与利润率 (来源：SEC 10-K/8-K)

Palantir 交付周期的缩短，来自长期现场经验不断进入软件平台。早期项目往往需要 FDE 持续数月乃至数年深度驻场；AIP 发布后，公司以集中式应用构建营组织客户业务人员与工程团队，从真实问题和真实数据直接形成可运行应用，再依据使用反馈继续扩展^[2]。这种高强度共创的优势是迅速让客户看到真实系统，边界是复杂流程改造、安全审批和长期运营无法都在短期内完成。客户增长快于员工增长，说明平台开始承担更多重复工作，但仍不能据此取消现场判断与持续服务。

(二) 模型服务型：用例、评估与调用共同形成价值

模型服务型企业通过模型调用和企业产品取得收入，主要服务希望把生成式人工智能接入客服、知识工作、研发与运营流程的组织。FDE 把客户问题转化为用例、工具调用、评估方法和运行边界，建立从数据接入、效果测试到上线监控的交

付流程；部署中发现的失败类型和共性需求再返回模型与产品团队，形成企业智能体平台、内部编排框架和开发工具。模型使用由此增长，产品也从真实生产问题中获得改进线索^[3]。

OpenAI 于 2026 年设立控股部署公司，面向大型企业提供从场景选择、系统构建到生产推广的完整服务，并通过收购英国企业人工智能咨询与工程公司 Tomoro 补充约 150 名部署与行业专家^[4]。OpenAI 提供模型、产品方向和工程能力，投资与咨询伙伴提供资本、客户网络、行业改造和系统集成；这种结构能把客户问题更快送回产品，也要处理服务业务与平台中立性、客户资产归属和长期退出安排。

Anthropic 参与组建的企业人工智能服务公司主要面向中型企业。Anthropic 工程师与合资团队共同筛选业务场景、定制解决方案并支持长期运行，资产管理机构提供资金与被投资企业入口^[5]。它降低了中型企业寻找技术和实施团队的成本，也把模型提供者更深地带入客户经营；相应风险是多方治理复杂、项目责任容易模糊，必须预先明确数据、安全、知识产权和退出机制。

（三）云与基础设施型：以稳定运行工作负载形成持续用量

云与基础设施企业的主营收入来自计算、存储、网络、人工智能基础设施和托管服务。FDE 服务需要迁移或新建生产工作负载的客户，把模型、数据、权限和运行工具接入本企业云环境，并将现场做法沉淀为参考架构、自动化工具、运维手册和客户培训。工业化交付的优势，是让大量客户获得可预测的周期和质量；其成立条件，是标准流程之外仍有异常升级、专业工程支持和客户能力移交。

AWS 以数千人专项团队和五至六人的客户小组推进工业化交付，从快速提出想法、短时验证到 45 天形成业务成果^[6]。客户不仅获得运行系统，还要经历观察、共同建设和自主运营三个阶段，并接收运维手册、架构文档和内部骨干培训。这个机制把交付速度、云资源使用和客户能力移交连接起来；对超出标准周期的深层流程改造，则需要另行组织探索。

Microsoft 以 Frontier Company 组织约 6,000 名行业与工程专家进入客户现场，同时保留与咨询机构合作的联盟网络^[7]。自有团队让产品、行业知识和客户反馈之

间的距离缩短，合作伙伴则补充地区、行业和系统集成能力。双层结构适合覆盖大型客户，但必须用统一验收、运行证据和客户责任避免多方协作再次造成责任分散。

Google Cloud 通过内部 FDE 团队与合作伙伴生态共同服务客户：内部人员负责把人工智能能力和云产品带入关键场景，系统集成商承担更广泛的行业实施与持续服务^[8]。这种方式借助生态扩大覆盖，也要求平台清楚区分产品责任、实施责任和事故处理责任，并把成熟方法交给客户与伙伴长期使用。

（四）咨询实施型：将客户信任和行业方法推进到生产结果

咨询机构能够进入生产环境，依靠的是长期客户关系、行业方法、合规资质和数据访问能力。安永在英国和爱尔兰设置 FDE 职能，服务金融、公共部门和大型企业，把原本止于诊断和方案的工作继续推进到系统构建、生产上线和持续改进^[9]；其他全球咨询机构也开始使用 FDE 职名。客户购买的是从问题判断到落地的连续专业服务，而不是一个孤立的软件功能。

咨询实施型企业按项目、长期服务或托管运营取得收入。它的优势是能在复杂行业中协调业务、技术与合规，并较快取得高层支持；局限是服务若只依靠增加顾问人数，就难以形成规模经济。把行业方法、系统接口、测试和工程组件沉淀到内部平台，既能减少后续重复投入，也让咨询机构的生产责任不在方案交付时终止。

（五）独立服务型：以交付收入起步，以跨项目复用突破人力线性

独立 FDE 服务型企业把诊断、版本建设、订阅和结果奖励作为直接收入来源，FDE 交付本身就是主营业务。团队完成客户问题诊断、系统构建、上线和持续迭代，并在反复交付中积累接口、组件库、测试工具和行业模板。随着这些成果在多个客户中复用，新增收入所需的重复工时逐步下降，直接服务业务才获得持续扩张的空间。

Tomoro 是一家 2023 年在英国成立的企业人工智能咨询与工程公司，主要服务零售、航空、物流、游戏和金融等行业。它从人工智能战略和场景选择入手，为客户建设定制系统与企业人工智能基础设施，并通过培训、推广和运行支持让新系统进入日常工作。其特点是把战略、工程建设和组织采用放在同一条交付链中，而不

是只出售咨询报告。2026 年被 OpenAI 收购并入部署公司，说明大型模型企业需要的不只是销售渠道，还需要能够理解行业、完成系统并推动使用的成熟交付组织^{[10][13]}。

Sierra 于 2024 年在美国旧金山正式推出，是面向企业客户体验的人工智能软件公司^{[11][14]}。它服务金融、医疗、通信、零售和消费服务等行业，为企业建设跨语音、聊天和电子邮件工作的客户服务智能体。客户购买的是问题解决、客户挽留或追加销售等可核验成果；客户侧工程团队共同定义结果、接入知识与业务系统、设置人工转接和安全边界，并依据运行数据持续优化。它的特点是把平台能力、现场工程和结果收费结合起来；公开效果主要来自企业案例，长期毛利、归因公允和客户自主运营仍需继续检验。

Distyl AI 面向大型企业提供人工智能系统建设与产品能力，使用前沿部署人工智能工程师职名。它以项目服务进入复杂客户，再把反复出现的工程与行业问题沉淀为自有产品，代表了独立服务组织向平台化发展的另一条路径^[12]。其能否突破人力线性，取决于产品收入、跨项目复用和生产质量能否同步增长。

中国独立 FDE 服务商与海外独立服务企业面对相似的资产约束：它们缺少现成的软件平台、基础模型、云资源和长期客户关系，必须从单个项目开始积累接口、行业模板、测试方法和交付流程。中国市场的特殊之处在于客户主体更分散、中小企业更多，行业专家和专业生产工程人员的分工因而更加重要，具体见第四章。

三、组织成熟度如何判断：基本单元、资产回流与结果责任

全球市场已经越过只有单一企业使用 FDE 的阶段。平台企业形成了较长的现场工程实践，模型与云企业近年迅速建立客户工程和部署组织，咨询机构开始把诊断推进到生产，独立服务公司则直接以系统交付和持续改进作为主营业务。

组织成熟不能只看是否设置头衔。较成熟实践需要明确客户选择、前线与核心研发协作、生产工程保障、上线后责任、资产回流和质量评价，并能把单个项目经验变成后续产品、方法或组件。团队扩张、融资与招聘增长只是投入信号，不等同于客户结果或项目利润。

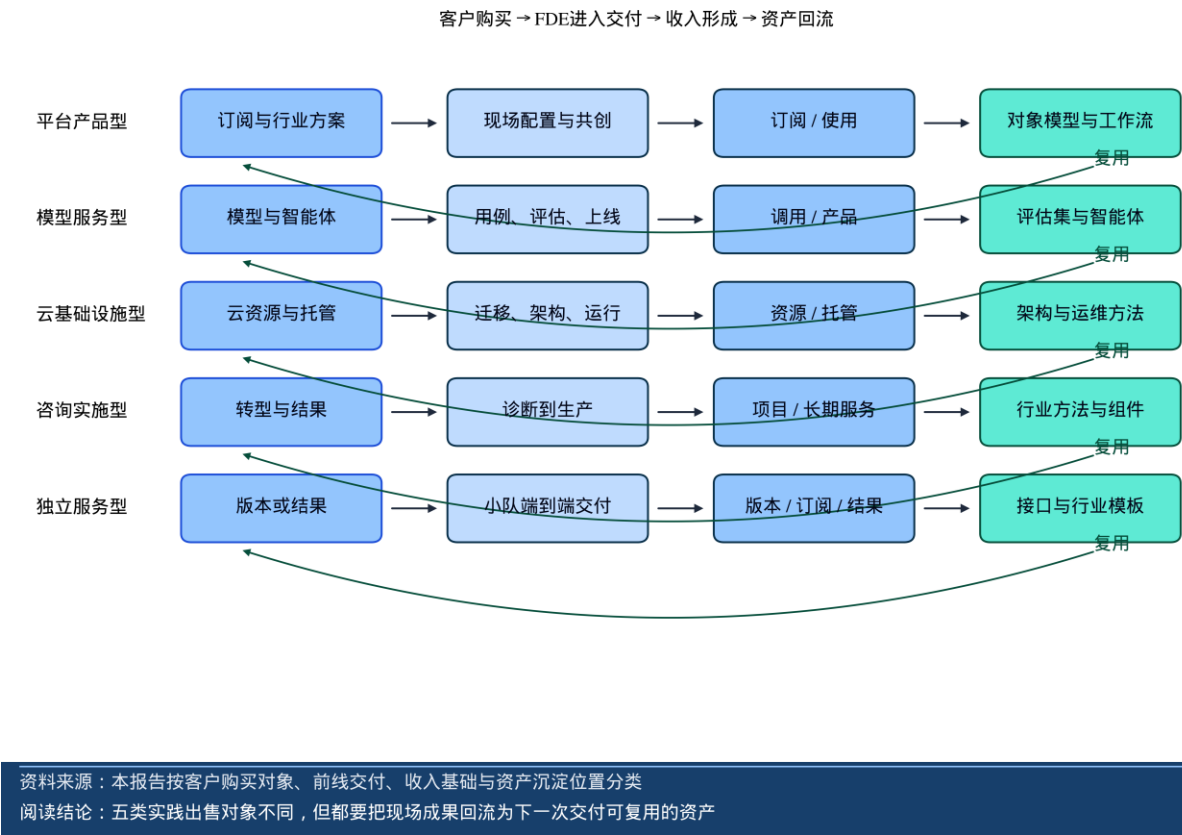
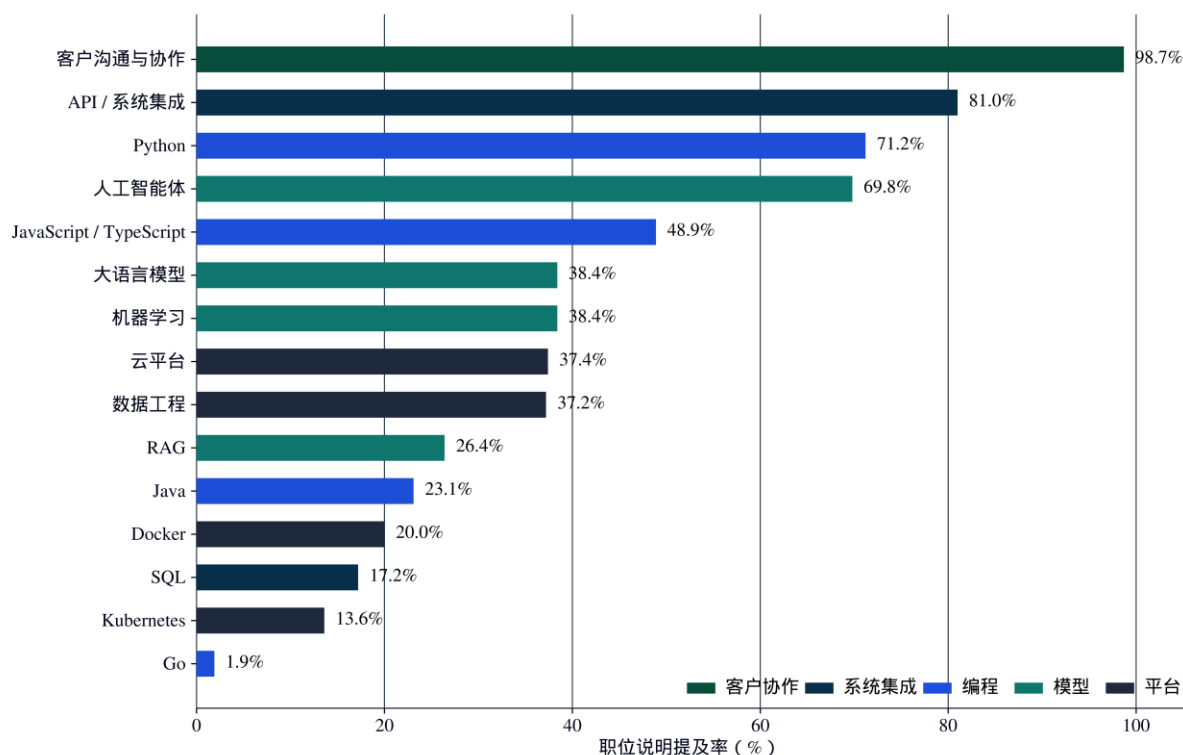


图 3-3 五类 FDE 价值实现飞轮

图 3-3 从客户购买对象出发，呈现五类实践怎样经过前线交付形成收入，再把现场成果沉淀为下一次可以复用的资产。同一家企业可以同时经营平台、云服务和咨询实施；分析具体项目时，回到客户购买什么、FDE 怎样工作、各方怎样取得收入和承担责任，就能看清其价值机制。



资料来源：685份由雇主正式发布、内容完整的一手职位说明；同项能力每份只计一次

阅读结论：客户协作与系统集成居前，编程、模型和平台能力共同构成生产交付底座

图 3-4 685 份雇主一手完整职位说明显示的核心能力结构

685 份由雇主正式发布、内容完整的职位说明显示，客户协作与系统集成处于能力结构前列，Python、人工智能体、大语言模型、云平台和数据工程共同构成生产交付底座。这样的组合说明，企业需要的不是单一编程工具使用者，而是能够把业务问题、工程实现和运行结果连续接起来的人。

具体而言，本章形成以下三点结论：

其一，平台产品、模型服务和云服务三类企业都以既有技术产品为经营基础，收入分别来自平台订阅、模型服务和云资源使用。FDE 降低客户采用门槛，并把现场反复出现的问题送回产品或基础设施团队。领先企业持续投入相关组织，正是因为这项工作既能扩大核心产品的使用深度，也能提供来自真实业务环境的改进线索。

其二，咨询实施型和独立服务型都直接从交付活动中取得收入，但起点不同。咨询机构依靠既有客户信任、行业知识和合规能力承接项目，再把服务延伸到系统实施与长期运营；独立服务企业主要依靠交付能力赢得客户，并通过跨项目复用逐步减少重复劳动。两类业务能否扩张，取决于收入增长是否必须等比例增加人工投入。

其三，五类价值机制可以在同一家企业或同一个项目中协同。技术企业可以建设自有团队，同时通过咨询和系统集成伙伴覆盖更多行业；咨询机构既能建立自身 FDE 职能，也能实施云和模型企业的方法。分析具体项目时，回到客户实际购买的技术产品、实施服务和持续运营责任，就能看清各方怎样取得收入、承担成本和分配风险。

四、全球实践证明了什么：FDE 的有效边界与长期问题

全球材料已经证明：FDE 不只是概念命名，而是可进入真实客户现场、生产系统和企业的责任角色；平台、模型、云、咨询实施与独立服务等企业都能围绕这项责任形成产品采用、持续服务或直接交付价值；岗位名称虽分化，四项职业内核仍可识别。

尚未充分覆盖的，是不同国家与非英语市场的真实分布、广泛中小企业是否能够承担服务成本、长期单位经济是否成立、项目资产能否跨客户复用，以及质量、安全、责任分配、供应商锁定和客户自主运营是否得到治理。公开岗位和个别案例不能替代这些长期证据。

这些边界正是中国篇的入口。中国不能把海外大客户驻场编制直接缩小复制，而要从本国产业生态、软件服务史、中小企业结构、行业人才与工程能力出发，形成自己的 FDE 道路。

全球实践已经证明的，是企业愿意为深入现场、共同形成需求、生产交付和持续改进配置专门岗位，相关工作能够进入订阅、调用、云消耗、咨询服务和直接交付等真实经营过程。若现场经验能够返回产品、评估、部署工具和行业方法，FDE 还可以超越一次性驻场。

尚未解决的问题同样重要。现有成熟实践主要服务大型客户，交付成本、项目选择和客户自主运营能力仍不透明；咨询和独立服务组织能否避免收入与人数线性增长，平台与模型企业能否在扩大部署时维持质量，也需要长期数据。

这些边界把问题自然推向中国。全球实践验证了职业责任，却没有替中国回答数量庞大的中小企业如何承担定制成本、行业专家怎样进入系统建设、专业生产工程责任如何按需配置，以及产业集群中的经验怎样复用。

本章结论

全球 FDE 已经从少数平台企业扩散到不同国家、行业和组织，并进入真实经营。五类企业价值实现机制只是解释全球格局的内部维度；现实验证仍未自动解决工程质量、中小企业覆盖、长期单位经济和客户自主能力问题。

全球市场已经形成五类企业价值实现机制。它们出售不同对象、依靠不同收入基础，却都需要把现场问题转化为生产系统，并把交付成果沉淀为产品、工程或行业资产。下一章转向中国的产业条件、供给路径与行业生态。

本章参考文献

- [1] Palantir Technologies. Q4 2025 8-K 、 2025 Form 10-K[R]. SEC EDGAR, 2026-02. <https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1321655/000132165526000011/pltr-20251231.htm>. 逐年数据另见 stockanalysis.com (2026-07-02 查核)。
- [2] Palantir. Palantir AIP Bootcamp[EB/OL]. 2026. <https://www.palantir.com/platforms/aip/bootcamp>.
- [3] JARVIS C. Forward Deployed Engineering: Bringing Enterprise LLM Applications to Production[EB/OL]. ZenML LLMops Database. <https://www.zenml.io/llmops-database/forward-deployed-engineering-bringing-enterprise-llm-applications-to-production>.
- [4] OpenAI. OpenAI Launches the Deployment Company[EB/OL]. 2026-05-11. <https://openai.com/index/openai-launches-the-deployment-company/>.
- [5] Blackstone. Anthropic 企业 AI 服务合资公司新闻稿 [EB/OL]. 2026-05-04. <https://www.anthropic.com/news/enterprise-ai-services-company>.
- [6] AWS. AWS Commits \$1 Billion to Forward Deployed AI Engineers[EB/OL]. 2026-06-30. <https://www.aboutamazon.com/news/aws/aws-1-billion-forward-deployed-ai-engineers>.
- [7] ALTHOFF J. Microsoft Frontier Company: AI Engineering that Amplifies and Protects Your Intelligence[EB/OL]. Microsoft, 2026-07-02. <https://blogs.microsoft.com/blog/2026/07/02/microsoft-frontier-company-ai-engineering-that-amplifies-and-protects-your-intelligence/>.

-
- [8] Google Cloud. How Google Cloud Partner Ecosystem Is Building the Agentic Enterprise[EB/OL]. 2026-04-22. <https://cloud.google.com/blog/topics/partners/how-google-cloud-partner-ecosystem-is-building-the-agentic-enterprise>.
- [9] EY. EY Launches FDE Roles[EB/OL]. 2026-04. https://www.ey.com/en_uk/newsroom/2026/04/ey-launches-fde-roles.
- [10] AI Enablement Insider. How Much Did OpenAI Pay for Tomoro?[EB/OL]. 2026-06-05. <https://www.aienablementinsider.com/p/how-much-did-openai-pay-for-tomoro>.
- [11] Latent Space. Forward Deployed Engineers and the Future of Software Engineering[EB/OL]. 2026-07-01. <https://www.latent.space/p/forward-deployed-engineers-aiewf>.
- [12] Distyl AI. Distyl AI Raises \$175 Million at \$1.8 Billion Valuation[EB/OL]. 2025-09-23. <https://www.prnewswire.com/news-releases/distyl-ai-raises-175-million-at-1-8-billion-valuation-to-help-global-enterprises-become-ai-native-302564270.html>; Distyl AI 职位页. <https://jobs.ashbyhq.com/Distyl>.
- [13] Companies House. TOMORO AI LTD (No. 15208678) 备案 [Z/OL]. 2026-07. <https://find-and-update.company-information.service.gov.uk/company/15208678>.
- [14] Sierra. About Sierra; Careers; Year Two in Review[EB/OL]. 2026. <https://sierra.ai/about>; <https://sierra.ai/careers>; <https://sierra.ai/blog/year-two-in-review>.

第四章 中国特色 FDE 道路

本章回答中国为什么需要 FDE、为什么具备发展条件、将形成怎样的核心模式，以及这种道路如何面向中小企业、沿行业分化并形成生态。中国道路的关键不是复制单一海外组织模式，而是把行业判断、端到端责任、智能体能力与生产工程责任组织起来，并使其适应本土产业结构和企业条件。

全球实践已经证明 FDE 可以进入多类企业经营与交付实践，中国篇不再重复讨论能否成立，而是回答中国为什么需要、为什么能够、由谁承担、怎样覆盖中小企业并形成行业生态。中国道路的核心不是复制一种人员配置，而是把行业判断、端到端责任、智能体能力和生产工程责任组织起来。

中国市场已经出现 FDE 职名与同构责任的双重信号。本报告对公开企业信息和招聘资料进行正式调研，确认相关实践覆盖 45 家公司。前沿部署、前线部署、行业部署和客户工程等名称仍在并行，中国道路的起点不是先统一头衔或推算岗位总量，而是先明确进入现场、共同验收、生产交付和持续改进四项责任。

一、中国为什么需要 FDE：复杂产业生态与长期软件服务需求

中国需要 FDE，是因为复杂产业生态中同时存在大量企业差异、隐性行业知识、历史系统和长期软件服务需求，通用 AI 无法自行完成这些现场适配。改革开放四十余年形成的完整产业体系、超大规模市场、多种所有制企业和密集产业集群，积累了模型无法自行发现的生产流程、行业标准、客户关系与例外处理；近二十年的企业软件、咨询、系统集成、测试、部署和运维实践，又形成了数字化基础与覆盖多地多行业的交付网络。

中国企业的人工智能转型难题，并不是简单缺少人工智能基础模型。国家发展改革委指出，人工智能正从试验探索迈向价值创造，但仍存在认识不一致、供需对接不畅和应用落地“最后一公里”等问题[20]。工业和信息化部对制造业数字化转型的判断更加直接：企业“不愿转”问题初步缓解，“不会转”已经成为关键堵点，具体

表现为经营需求不明确、转型路径不清晰和解决方案不成熟[21]。这些政策判断说明，人工智能基础模型供给增加以后，企业能否选定真实经营问题、组织行业专家与工程人员、完成生产环境部署并验证业务结果，正在成为更加突出的限制。

中国企业的困难并不只是技术不足，而是技术、组织和经营判断同时缺位。采购制度往往要求在立项时写清功能与价格，人工智能项目却需要在现场逐步发现问题；行业经验掌握在业务人员手中，工程团队难以仅凭需求文档复原；系统上线后，效果又受到流程执行、岗位调整和持续运营影响。

中国 FDE 的发展主要受到三方面制约。第一，采购制度仍以年度预算、既定品目和里程碑验收为主，难以为问题重构与结果责任计价；第二，行业知识与工程能力分布在不同人才群体，复合型人才仍然稀缺；第三，企业对人工智能的认知、信任和经营思维仍处于转型阶段。

对不少中小企业来说，人工智能转型的第一道门槛并不是能否买到工具，而是经营者是否愿意改变原有的认识和工作方式。上海晴幂科技有限公司 CMO 高木生在访谈中谈到，不少中小企业对人工智能等新技术仍较为陌生，同时又缺少既理解业务、又能够使用技术的高学历复合型人才。人才短缺固然会拖慢项目，但经营者能否理解人工智能的作用，并推动组织改变原来的工作方式，往往更直接地影响项目能否启动和继续推进（高木生访谈资料，20260713）。

因此，中国企业需要 FDE 把经营者对 AI 的认识、行业专家经验、企业数据和工程系统纳入同一个生产交付项目。FDE 并非只负责开发 AI 功能，而要帮助企业选择经营目标、重构业务流程、完成系统上线和持续运行改进，从而把单点解决方案演示转化为能够长期参与企业经营的生产系统。

完整产业体系、企业场景与行业知识积累

中国发展 FDE 的比较优势，来自中国特色社会主义市场经济四十余年发展形成的超大规模市场、完整产业链、多种所有制并存的企业结构，以及数量庞大、行业极细、数字化成熟度高度不均衡的经营现场。国务院“人工智能+”行动把完整产

业体系、丰富数据资源和广阔应用场景列为中国优势[19]。这些条件共同提供了大量需要现场理解、持续交付和行业复用的真实问题。

这项优势也建立在软件服务业的长期积累之上。2010 年，中国软件业收入为 1.3364 万亿元，其中信息系统集成服务收入 2910 亿元；到 2025 年，软件业务收入达到 15.4831 万亿元，信息技术服务收入 10.6366 万亿元，占全行业 68.7%[23-24]。咨询、实施、集成、运维和本地适配伴随行业规模扩大，留下了可以转为 FDE 供给的行业人才、客户关系、系统接口和交付经验。

这一产业结构也塑造了中国企业软件的交付方式。中国信通院指出，2017 年以后 SaaS 企业持续面对标准产品与个性需求难以平衡、标准化和规模化不足、客户定制推高成本等问题；与此同时，2023 年中国企业级 SaaS 市场规模达到 581 亿元[25]。中国企业市场因而同时存在标准化产品需求和深度服务需求，复杂且差异化的现场为两者之间的持续适配留下了广阔空间。

中国 FDE 市场由两类既有需求汇合而成：一类是传统软件行业尚未完成的数字化需求，另一类是 AI 服务企业新增的智能化需求。软件服务商熟悉实施、集成和运维，AI 服务企业掌握模型与智能体；FDE 把行业知识、客户流程、旧系统接口和新技术能力接入同一条交付链。

二、中国为什么现在能够发展 FDE：AI 补上低成本构建与高频迭代条件

过去，行业人员即使能准确描述问题，也往往难以独立形成可运行版本；专业开发团队又要经过较长的需求转述和排期。大模型与编程智能体降低资料整理、流程表达、原型、基础编码、测试辅助和版本修改门槛，使行业判断可以更快转化为可验证系统。

更重要的变化不是一次性提速，而是高频迭代。FDE 可以在真实流程中观察使用，迅速修改规则、交互与自动化边界，让验收由项目末端的一次判断，转为贯穿建设与运行的连续过程。

AI 进一步改变了定制软件的成本函数。2025 年软件行业基准数据表明，同一行业相似项目背景可使调整因子降至 0.8，缺少相似背景则升至 1.2；行业经验和可复用技术资产由此形成约 50% 的相对工作量差异[26]。编程智能体继续压低原型、编码和重复集成成本，使现场定制能够从大型客户扩展到更多细分行业和中小企业，同时把集成、安全、测试、部署和运维纳入可按需调用的专业生产工程能力。

上述条件形成中国特色 FDE 协作路径：行业专家在补齐基本 AI 认知后担任 FDE，依靠大模型和编程智能体迅速定位可智能化环节、形成原型并持续迭代；专业生产工程人员按项目需要承担复杂集成、安全、测试、部署和运维；同行业项目再把业务规则、数据接口、知识库、评估集和组件沉淀为可复用资产。行业判断与生产工程在同一项目中分工协作。

这一协作路径与中小企业市场的需求结构相适应。大型企业继续由平台、云厂商和咨询公司以大规模团队服务；产业集群、本地服务网络、行业协会、软件服务商和小型专业团队则能够以更短服务半径覆盖中小企业。短周期、可验证的版本降低初次投入门槛，版本建设、运维订阅和效果奖励支持长期经营。

因此，中国的比较优势同时包含需求侧和供给侧：复杂完整的产业体系提供了海量非标准问题，四十年软件服务业提供了交付基础，AI 降低了把行业知识变成软件的边际成本，数量庞大的行业专家则成为潜在 FDE。四者合在一起，使 FDE 有可能帮助中国企业补完数字化最后一公里，并继续走完智能化最后一步。

三、中国特色 FDE 道路是什么：行业专家、编程智能体与专业生产工程协作

熟悉行业的人掌握流程、例外、客户关系和验收标准。补足必要的 AI 能力后，他们可以作为 FDE 直接进入现场，判断哪些问题值得智能化，把隐性经验转化为需求与验收，并使用大模型和编程智能体快速形成版本。技术、产品、咨询和实施背景人员同样可能在获得足够行业理解后承担这一职责，不能把人才来源写成唯一通道。

专业生产工程人员承担复杂系统集成、数据与权限、安全、测试、可靠性、部署、监控、回滚和运维。FDE 在工程协作中保持业务目标与验收连续，系统上线后继续观察实际结果、推动改进，并对客户是否真正获得生产能力负责。

这一模式的关键不是个人全栈，也不是固定编制，而是行业判断、AI 执行和生产工程三类能力围绕同一结果形成快速反应单元。FDE 持续负责，使项目不会退化为行业人员写需求、技术团队做外包后各自离场。

同时，行业对这一概念的理解尚未收敛。前线部署、前沿部署、前向部署、前端部署工程师四种中文译法并存，甚至有雇主把 FDE 错误展开为“前端开发工程师”。后者通常对应 Front-end Developer，与 Forward Deployed Engineer（FDE）在职责、工作场景和责任边界上均属不同岗位。按第一章四项核心判定条件检验国内在招职位，真正具有区分力的仍是条件二和条件四。

中国 FDE 市场最初主要出现两类供给主体。**第一类**是依托软件平台、云计算服务或人工智能模型产品的大型科技企业 FDE 团队，通常以“销售人员加技术人员”的组合服务中大型企业；**第二类**是由单人工作室或小团队构成的独立 FDE 服务商，进入大型科技企业组织和合同规模难以覆盖的中小企业市场^[10]。

大型科技企业 FDE 团队与独立 FDE 服务商解决的问题不同。大型科技企业 FDE 团队主要完成标准化产品与客户信息技术环境之间的系统集成，独立 FDE 服务商则往往还要帮助中小企业经营者理解人工智能、识别经营问题、提取行业经验并完成工程交付。由于中国中小企业市场尚未形成稳定的业务诊断与工程交付分工，独立 FDE 团队通常需要同时配置行业业务能力与人工智能工程能力^[11]。

第三类供给主体是企业自建 FDE 团队，主要出现在软件产品公司、咨询公司以及制造、金融、法律等行业企业中。这类团队不以对外独立销售 FDE 服务为前提，而是把 FDE 能力嵌入自有产品交付、咨询项目或内部智能化改造。由此，中国市场形成大型科技企业 FDE 团队、独立 FDE 服务商和企业自建 FDE 团队三类供给主体。

三类主体的核心资产与服务对象各不相同。大型科技企业 FDE 团队依托模型、云服务或平台产品，主要服务中大型客户，并把现场需求交给产品团队；独立 FDE 服务商保持技术中立，面向多家中小企业提供诊断、开发与持续迭代；企业自建 FDE 团队则服务本企业或本公司产品线，把行业知识与工程工具留在组织内部。三类主体都从模糊业务诉求出发，最终要交付上线运行的系统，差异在于资产归属和服务边界。

独立 FDE 不只意味着个人承接项目，还要形成一套能反复使用的轻量工具。若从业者只是按照客户要求交付单个项目，其工作仍然没有超越传统软件外包。只有在现场反复识别相似问题，并把解法写成诊断清单、提示词、数据模板、插件、行业知识库或交付流程，才能减少后续项目的重复工作。为降低核心系统切换风险，独立 FDE 更适合从轻量插件、局部自动化和“数字员工”切入，依托客户原有的内部通信工具、办公系统和数据流程，以较低改造成本嵌入既有工作流，再逐步积累数据、模板和接口[16]。

四、中国 FDE 从哪里来：企业内部培养与外部行业型服务并行

企业内部路径的相对优势来自控制权与持续性：当数据不能离域、流程变动频繁、知识高度隐性或系统需要长期值守时，内部人员更容易获得权限并承接运行责任；前提是业务授权、技术职责和培训时间被正式配置，不能把新增责任无边界地叠加给个体。

外部行业服务的相对优势来自跨企业复用与稀缺能力共享：当单个企业无法长期配置完整工程团队时，服务者可以用同行业流程、接口、评测与组件降低重复投入；但客户内部仍需保留业务责任人、数据授权、验收和日常运行能力。

内部与外部路径可以组合。选择依据是数据和专业责任能否外移、任务持续时间、系统关键性、内部承接能力与跨企业复用收益；这些条件可以在立项时核对，不预设任何一种组织形态必然占优。

第一条路径是在企业内部培养熟悉流程、数据和责任边界的人承担 FDE 职责；

第二条路径是由外部行业型 FDE 服务多家同类企业，并按实际需要调用专业工程人员完成复杂集成、安全、测试、部署和运维。两条路径可以组合，不预设单一固定组织形态。

传统产业和中小企业的经营问题通常由现场对象、规则与例外共同构成。掌握这些事实的人可以承担问题定义和验收责任，但是否能够承担 FDE 职责，取决于能否补齐 AI 系统设计与工程协作；技术人员同样可以承担 FDE，只要补齐行业判断。这里讨论的是能力组合，不是对任何职业出身作优先排序。

行业型 FDE 从业务一线生长出来，将业务目标、专业知识、工作流程、数据条件与验收标准转译为 AI 系统，并对生产环境中的实际结果负责。他们持续缩短“发现问题—形成版本—用户反馈—测试修正”的循环，使软件开发从一次性需求交接转向连续迭代。

规模化交付需要把三类责任写清：业务与行业责任负责问题、规则、例外和结果验收；智能体承担可验证的高频执行；生产工程责任覆盖权限、安全、可靠性、复杂集成、部署和运维。具体人员可以一人多责或多人协作，但每项责任都要有明确主体、证据和退出安排。

五、中国 FDE 如何进入中小企业与产业集群：从政策试点到可复用服务

大型企业可以自建团队或购买重型服务，中小企业则常处在标准产品不完全适配、传统定制成本较高、自建能力不足的区间。AI 降低原型、基础编码和反复修改成本，行业型 FDE 减少需求转述和重复学习，专业生产工程能力按风险与复杂度介入，三者共同降低小项目的起步门槛。

目前能够确认的是公共服务通道和交付条件正在形成，而不是中小企业已经占据 FDE 实际收入的最大份额。财政部与工业和信息化部 2025 年中小企业数字化转型城市试点，要求围绕重点行业筛选场景，培育“既懂行业又懂数字化”的服务商，

开发“小快轻准”方案并用真实场景验证效果[22]。这是 FDE 进入中小企业的可观察制度基础。

产业集群把同行企业、供应链、设备、规范和人才集中在较短服务半径内。行业型 FDE 可以先用低成本诊断确定问题，再以短周期版本验证，进入生产后转为运维订阅或与业务指标挂钩的奖励。每一个项目产生的需求模板、系统接口、测试集和异常处理方法，又可在同行业下一家企业复用。

判断行业型 FDE 市场是否成立，应同时观察四组指标：客户复购与业务结果检验交易是否成立，人工接管、故障与返工检验运行质量，新客户中的复用率检验服务是否突破人力线性，客户能否日常运营系统检验是否形成真实生产能力。这些指标用于检验市场形成与组织成熟度，不能据此预设当前市场份额。

六、中国 FDE 将如何分化：十类通用行业或行业群与跨行业场景共同塑造职业分野

本节把行业、业务功能与项目场景分开。行业归属以组织的主要经济活动为准；现行《国民经济行业分类》的二十个门类依据生产对象、生产过程与治理约束的相近性聚合为十类，以便在同一分析框架下比较作用机制。业务功能、企业规模、技术形态和转型阶段属于跨行业解释维度，不作为行业名称[31][32]。

十类通用行业或行业群：以主要经济活动确定归属

表 4-1 十类通用行业或行业群的 AI 落地约束与 FDE 作用机制

通用行业或行业群	行业结构特征与 AI 落地约束	FDE 作用机制
农林牧渔业（A）	生产受季节、地域和生物过程影响，经营单元分散，现场记录、传感器覆盖与网络条件不齐；标签形成慢，模型容易受天气、品种和作业方式变化影响。	围绕地块、批次、品种和作业建立最小数据链，兼容弱网与离线流程；按生产周期设置评测、异常反馈和人工接管，使模型随环境变化持续校正。
资源、能源与公共设施业群（B、D、N）	资产密集且连续运行，生产控制、安全环保和稳定供给相互耦合；现场设备协议多、停机窗口少，错误动作可能放大为人身、环境或供应风险。	先建立设备—工艺—责任映射，以只读接入和影子运行验证；把权限、阈值、故障模式、回退和操作员接管写入验收，并用运行事件持续更新规则。

通用行业或行业群	行业结构特征与 AI 落地约束	FDE 作用机制
制造业 (C)	物料、工艺、设备、质量和供应链多层联动，离散制造与流程制造差异明显；存量系统口径不一，现场经验隐性化，批次与版本追溯要求高。	从一条产线或一个工序建立对象、字段、规则和例外，连接 ERP、MES 与设备数据；用历史记录形成评测集，经影子运行、分段上线和回退后再复制。
建筑与不动产业群 (E、K)	以项目和资产全生命周期为主线，设计、施工、交易、运营由多主体分段承担；图纸、合同、进度、成本和现场记录版本繁多，责任随阶段切换。	以统一项目或资产标识贯通文档和工单，保留来源与版本；把专业审批、现场复核、交接条件和问题闭环嵌入流程，避免自动化越过合同与安全责任。
交通运输、仓储和邮政业 (G)	订单、运力、路线、节点和时效构成实时网络，移动资产多、需求波动大，调度异常会直接影响安全与服务连续；业务系统和现场终端异构。	统一订单—资产—路线—节点状态，先仿真并与人工调度并行；以时延、可用性、漏单、异常恢复为指标，保留调度员覆盖权并把扰动事件回灌评测。
商贸、住宿餐饮与居民服务业群 (F、H、O)	多门店、多渠道和高频交易并存，需求、库存、排班与服务体验快速变化；中小经营者数据基础薄弱，平台规则、个人信息和一线采用共同约束落地。	从需求—供给—履约的可度量闭环切入，先统一最小商品、订单、客户与班次数据；与一线共创界面，分批发布并跟踪例外、投诉和放弃原因。
信息传输、软件和信息技术服务业 (I)	产品迭代快，接口、依赖和版本变化频繁，高并发、网络安全与软件供应链风险集中；模型或代码输出可以快速进入生产，错误也会快速扩散。	把需求转为可执行验收与评测，接入持续集成、观测、安全测试、灰度和回滚；用服务目标、事故和用户反馈约束迭代，并把通用组件回流平台。
金融业 (J)	数据密集且交易连续，审计、模型风险、消费者权益和反歧视要求高；核心系统复杂、访问控制严格，自动判断需要可追溯并承担极端情形。	建立流程、规则、模型与数据血缘，在隔离环境中验证权限和阈值；采用并行运行、分级审批、全程留痕，持续监测漂移、韧性和事件处置。
专业、科研与商务服务业群 (L、M)	以知识和定制交付为核心，客户材料保密、证据来源和专业责任重要；产出高度依赖情境，错误成本不对称，隐性判断难以由通用模型直接替代。	把来源、模板、复核标准和例外结构化，实施分权检索、引用追踪和客户隔离；由专业人员作最终判断，以返工、采纳和质量而非生成量验收。
公共与社会服务业群 (P、Q、R、S、T)	公共管理、教育、卫生健康和文化社会服务直接影响权利、公平与公共利益，服务对象差异大；采购、互操作、可及性、申诉和公共问责要求突出。	先做利益相关方与权利影响映射，限定自动化权限；在小范围试点中测试安全、公平和可及性，保留人工复核、审计、申诉、开放接口与退出安排。

十类聚合完整覆盖 A—T 二十个国民经济门类：A 单列；B、D、N 组成资源、能源与公共设施业群；C 单列；E 与 K 组成建筑与不动产业群；G 单列；F、H、O 组成商贸、住宿餐饮与居民服务业群；I、J 分别单列；L 与 M 组成专业、科研与商务服务业群；P、Q、R、S、T 组成公共与社会服务业群。聚合只服务于机制比较，不改变基层统计分类，也不用于推断各行业 FDE 市场规模。

“交通运输、仓储和邮政业”是按主要经济活动界定的行业；“车队运营”则是运输、采矿、建筑、商贸等多个行业都可能采用的业务功能。把前者与后者拼成同一类别，会把行业与功能混在同一层级，既不互斥也不穷尽。企业规模、转型阶段和技术供给形态属于跨行业分析维度，应分别用于解释行业结构特征、AI 落地约束或 FDE 作用机制，而不应作为行业类别。

表 4-1 对每一类采用同一分析模板：先识别价值生产对象与流程，再识别数据和系统基础、实时性与工程负载、专业责任与权利影响，最后给出 FDE 应承担的现场映射、评测验证、分段上线、人工接管和持续运营机制。经合组织明确区分行业部门、业务功能、关键性与部署规模[33]；NIST 的 AI 风险管理框架要求持续完成治理、情境映射、测量与管理[34]。二者共同支持“行业定边界、场景定任务、风险定控制”的分析框架。

公开调查为制造业的系统基础差异提供参照。中国信息通信研究院对 9400 余家专精特新中小企业的调查显示，ERP 采用明显高于 MES 和数字化运维工具；该图只说明不同数字化工具的采用差异，不把一种工具的存在等同于数据、生产执行和持续运营能力[12]。

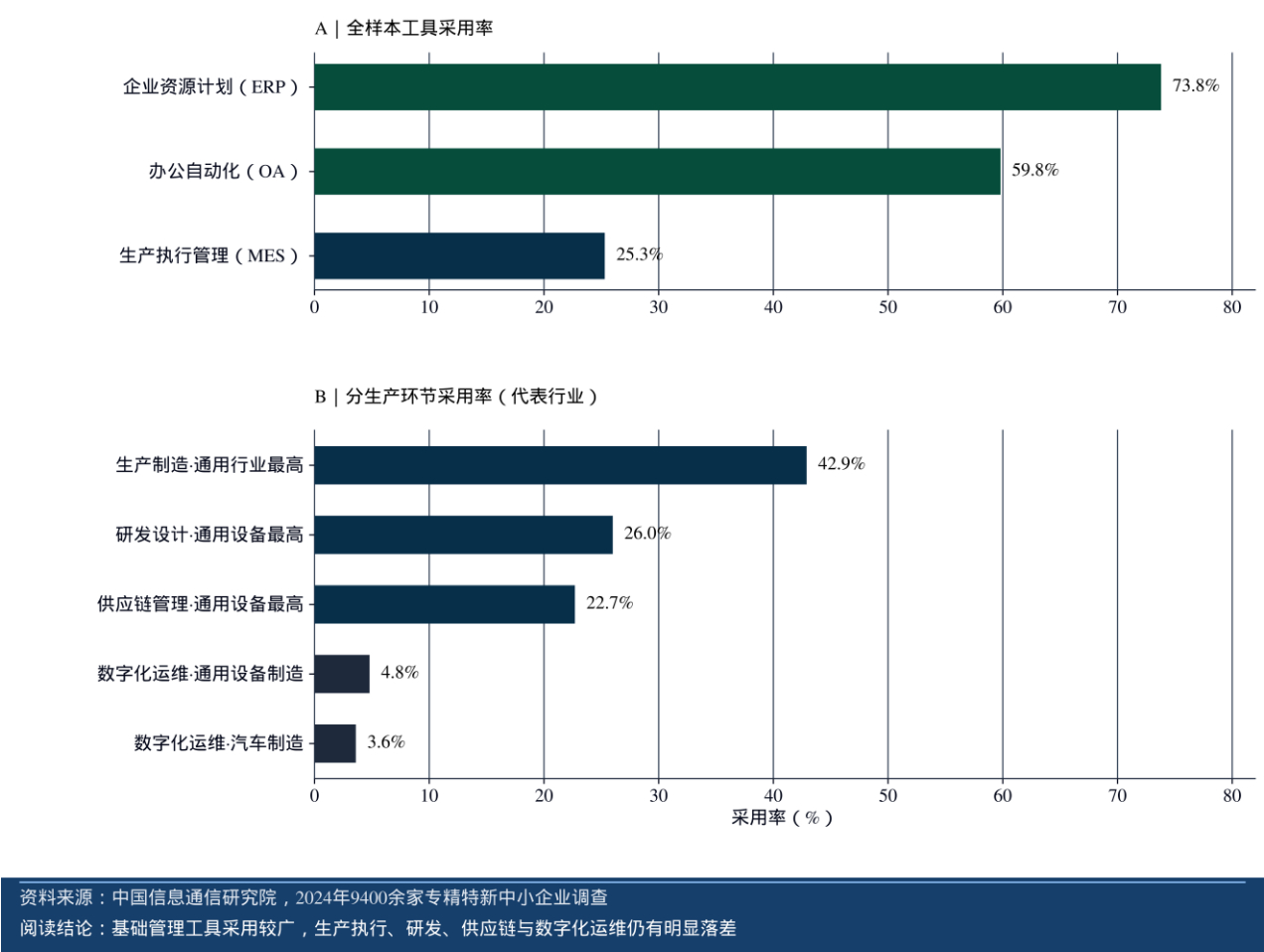


图 4-1 中小制造企业数字化工具采用率 (来源：中国信通院，2024 年调查)

图 4-1 提示，制造企业即使已有 ERP，也未必具备可供人工智能稳定调用的生产事实：设备状态、工艺版本、批次、质量和异常可能仍分散在不同系统或现场记录中。因此，FDE 应先核对对象、字段、接口和责任人，再以影子运行、生产评测和回退验证系统，而不能从“已有软件”直接推导“可以自动化”。

四类跨行业场景：从组织断点识别交付方式

表 4-2 访谈证据支持的四类跨行业场景

跨行业场景	主要材料	所支撑的论点	使用边界
企业转型诊断与首场场景	赵洋	先区分信息化—数字化—智能化基础，并明确获客、交易或内部效率等经营目的	材料用于说明转型准备度与经营目标，不支持已完成生产交付的判断
内部能力建设与联合组队	孙宇桐；申悦；简江；焦佳敏	业务负责人＋FDE＋IT / 平台小组；外部 0 到 1、内部 1 到 N；真实项目带教与退出检验	书面观点材料仅支持组织机制，不支持项目效果判断
人力资源与劳务信息流程	黄俊海	从劳务信息采集到公众号发布的需求诊断，反例说明不应为保留旧网站而自动化无效中间环节	咨询情景，未证明系统已经部署
教育、知识服务与人才培养	蔡黎明；焦佳敏；申悦	轻量工具、真实项目训练和方法资产沉淀	公司定位与方法观点为主，未形成可量化教育部署案例

跨行业场景解释了为什么同一行业也可能采用不同组织方式。转型诊断材料支持“先明确基础与经营目的”，但不支持已经完成 FDE 生产交付的判断；内部能力建设材料则把授权、联合组队、影子运行、内部接管和实战培养接成一条组织路径。前者决定是否具备启动条件，后者决定项目怎样留下能力，两类证据不能互相替代。

跨行业共性与分类边界

跨行业共性可以归纳为六个必须连续回答的问题：经营问题是否清楚；数据和既有系统是否可用；隐性知识能否转为字段、规则、例外与评测；原型能否经过权限、安全、并发、测试、部署和回退进入生产；领导授权、业务采用和员工反馈是否成立；运行证据能否推动下一轮修改并沉淀为客户可接管、组织可复用的资产。十类行业的差异主要在六项约束的先后顺序和责任强度，而不是有没有这些责任。

行业分类与机制判断应建立在来源可追溯、主体可确认、语境可还原的材料之上。无法确认来源、署名或说话人的材料，不承担事实判断；仅表达观点、需求或反例的材料，也不与已完成部署和可验证结果混用。材料的可支持范围应与结论强度一致，使分类判断不依赖无法确认的个别陈述。

把经验、流程和数据变成可验收的生产系统

中国 FDE 首先解决行业经验无法进入人工智能系统的问题。行业专家知道哪些业务信号重要、哪些例外情况危险、什么业务结果可以接受，但这些知识通常散落在口头交流、聊天记录、电子表格和个人工作习惯中。FDE 需要采集这些行业知识，把行业知识结构化为需求规格、业务规则、企业数据字段和人工智能系统评估集。

其次解决开发与业务彼此等待的问题。传统项目常以“业务先写完需求、技术再开始开发”为前提，模糊业务却无法一次写清。FDE 让调研与开发同步进行：访谈形成的新信息立即进入原型、测试和系统，运行结果再决定下一轮访谈问什么，从而减少等待和返工。

最后解决结果不可验收的问题。人工智能系统不能只以“功能已经上线”作为完成标准，还要明确准确率、处理时长、人工接管率、业务收益、故障与合规等指标，并记录相应证据。只有需求、开发、部署和验收处于同一责任链，定制系统才可能持续演进。

FDE 从经营问题诊断到人工智能系统持续运营的完整交付过程，还必须适应中国企业现行的采购和财务制度。企业通常无法在经营问题尚未明确时一次签订结果合同，FDE 服务商也难以在缺少现金流的情况下承担全部试错成本。中国市场因而逐步形成业务诊断、版本建设、运维订阅和效果奖励四个合同阶段，把同一个人工智能项目拆分为能够分别采购、验收和入账的部分。

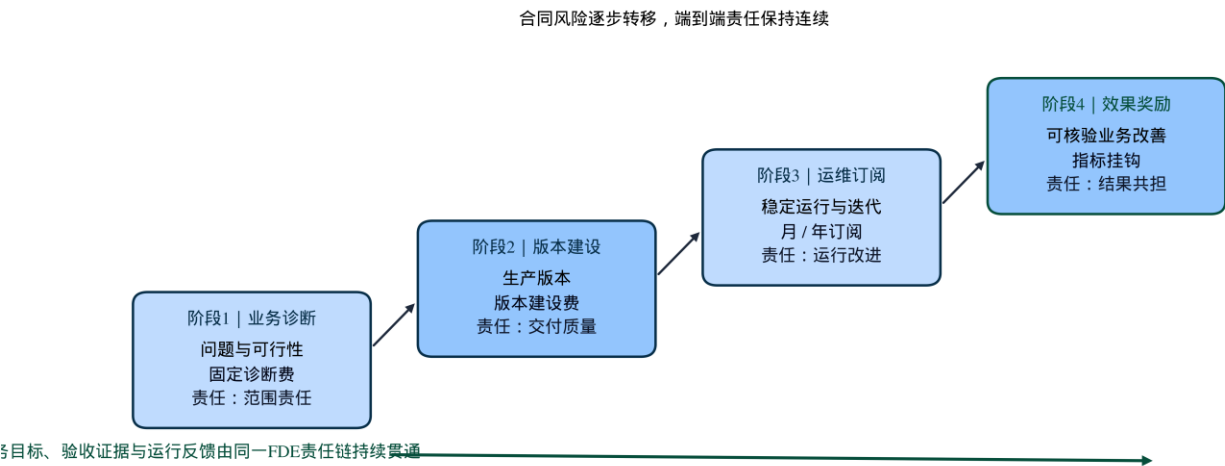
第一阶段，业务诊断。客户以低门槛咨询采购进入，服务方梳理经营问题、数据条件、流程约束和预期收益，交付问题清单、可行性判断和试点建议；只有问题值得解决、责任人和数据基本具备时，才进入版本建设。

第二阶段，版本建设。双方把选定问题拆成可独立验收的版本，以信息技术服务采购，明确功能、接口、数据、安全、测试和上线条件；每个版本通过生产验证后再决定下一版本，避免在问题尚未清楚时一次性冻结全部范围。

第三阶段，运维订阅。系统上线后按月或按年支付持续服务费用，覆盖监控、故障处理、模型和规则调整、用户反馈与小步迭代；进入这一阶段的条件，是生产系统已经稳定运行，并且客户明确日常运营、服务等级和退出安排。

第四阶段，效果奖励。在能够建立业务基线、数据可核对且外部因素可以说明的场景中，合同增加与效率、收入、质量或成本改善挂钩的奖励。它不替代基础建设与运维费用，而是在结果达标时分配增量价值；指标未达成、归因有争议或发生异常时，应按预先约定处理。

四阶段混合收费结构的价值，在于它不要求企业立即改变现行采购制度，却能在既有财务框架内逐步增加 FDE 对业务结果的责任。业务诊断、版本建设、运维订阅和效果奖励分别对应不同采购品目，第三章用于区分里程碑合同与结果合同的卖方责任，也被拆分到四个能够独立入账的合同阶段。



资料来源：本报告基于中国企业现行采购与财务制度分析；合同结构为机制示意
阅读结论：项目可逐步进入版本、运行和结果责任，但责任主线不随收费阶段切断

图 4-2 四阶段混合收费结构

七、中国如何形成 FDE 生态：人才培养、采购机制、效果评价与公共服务

试点应从真实问题开始，以短周期版本和清楚验收验证价值；培训应以真实项目为中心，让行业、技术、产品和咨询背景人员分别补足 AI、流程建模、工程协作与结果验收能力；采购应容纳问题诊断、版本建设、持续运维和分阶段决策，避免在问题尚未形成时冻结全部功能。

评价要同时记录业务结果、系统稳定、安全合规、客户自主运营、劳动者参与和跨项目复用。专业工程平台与人员为复杂集成、测试、部署、监控和事故处理提供保障。资本应识别能够沉淀行业与技术资产的团队，而不是把扩大驻场人数当作唯一增长。

政府与产业组织可以开放合规公共场景、明确数据与安全边界、改进采购评价规则，并在产业集群中组织供需对接和人才证据。生态的目的不是创造新头衔数量，而是让更多企业获得安全、可验收、可持续改进的智能化生产能力。

政策已经开始为这种分布式、行业化交付提供制度条件。2025 年中小企业数字化转型城市试点要求培育“既懂行业又懂数字化”的服务商，开发行业属性强、赋能效果优的“小快轻准”解决方案，并使用真实场景验证技术[22]。这项要求与行业型 FDE 的工作高度一致：先识别经营问题，再形成可验收的小步版本，并把同业共性沉淀下来。

与本报告主题关系最直接的公共实践来自上海创智学院。学院于 2024 年成立、9 月正式入驻，由市委、市政府推动，联合北京大学、清华大学等高校及人工智能企业共建，定位为培养人工智能领军人才^[7]。

2025 年 11 月 29 日，上海首期 FDE 前沿部署工程师专题培训班在上海创智学院正式开班。上海创智学院承担课程组织与实施，培训围绕 AI 模型与企业场景结合、定制部署及现场迭代展开^[8]。

在 FDE 概念进入中国市场的同一时期，上海市委、市政府围绕人工智能落地与人才培养开展了一系列系统性工作。这些工作起步早于市场对 FDE 概念的集中关注，为这一岗位在中国的发展提供了较为完整的制度支撑，因此在本章中予以专门梳理。

上海市的相关布局主要覆盖发展条例、长远规划和人才队伍建设三个方面。

立法方面，2022 年 9 月，上海通过全国首部省级人工智能产业立法《上海市促进人工智能产业发展条例》^[1]。

规划方面，2025 年 2 月，上海市政府办公厅印发《人工智能“模塑申城”实施方案》。方案提出建设世界级人工智能产业生态，聚焦金融、制造、教育、医疗、文旅、城市治理六大行业推进模型落地，明确了“模型加实践加语料”的落地架构^[2]。方案的取向与本报告的核心判断一致，即瓶颈不在模型，而在落地。

人才方面，上海已将人工智能训练师等新职业纳入急需紧缺高技能人才目录，全市人工智能人才规模接近 30 万，约占全国三分之一，14 所高校成立人工智能创新学院^[3]。2025 年 4 月 29 日，习近平总书记考察上海期间来到徐汇区“模速空间”大模型创新生态社区，强调加快建成具有全球影响力的科技创新高地^[4]。

徐汇区承担了产业载体的角色。2023 年 9 月挂牌的“模速空间”为全国首个大模型创新生态社区，截至 2025 年初已入驻企业百余家，配套算力超过 5 万张加速卡，联动基金规模超千亿元^[5]。2025 年 7 月，模速空间五期启动，徐汇区同步提出“十百千万”计划，即新增十万平方米零租金即插即用空间，集聚百余个备案大模型，带动千家企业落地，辐射千亿级产业规模^[6]。大模型企业、算力、资本与场景在一个城区内的物理集聚，客观上为 FDE 型工作提供了最密集的需求现场。

2026 年 5 月 30 日，“3E”讲坛暨上海（长三角）中青年工程师创新创业大赛进一步启动 FDE 高级研修班。大赛首次设立 FDE 赛道，采取“以赛代育、以赛促评”的方式，优胜者可获工程师职称认定。长三角层面提出培育 100 支团队、400 名尖端工程师、5,000 名高水平数字技术工程师的目标^[9]。

从大而全替换回到可验收场景

Lawted 复盘的早期物流项目试图用新系统替换核心 ERP，方案虽然已经形成，却因双系统切换、稳定运行和繁忙期漏单风险没有落地。此后，他转向从既有手册、明确角色和边界清楚的小任务切入，让业务人员在真实使用中修正流程与输入输出。这个反例说明，中小企业的的第一步不是追求覆盖全部流程，而是选择能够独立验收、失败可回退并能形成高频反馈的场景。

转型诊断首先要区分获客、交易或内部效率等经营目的；信息化、数字化和智能化基础不同，首个场景的起点也不同。流程和数据尚未形成时，应先补足企业基础。经营目的明确、数据基础可用、责任边界清楚，构成首场景选择的共同原则。

行业知识、智能体与生产工程怎样协作

何元汉的实践显示，行业专家能够把订单、工序、字段和例外转化为系统对象；人工智能工具扩大其原型、编码和修改能力；当项目进入接口、安全、并发、部署和长期运维时，仍需要专业生产工程能力。黄俊海所在团队采用前线咨询与现场协调、后方工程实施相配合的方式，正是这种分工在生产项目中的体现。

这条道路的主体不是某一种固定职业出身，而是让掌握行业判断的人承担问题定义和结果责任，让智能体放大执行能力，让工程团队守住生产边界。行业专家、软件工程师、咨询顾问和项目负责人都可以从各自一侧补足缺失能力，但不能把连续责任重新拆回互不相认的岗位交接。

连续责任如何由不同组织承接

何奕推动的云梦引擎把连接器、知识组织、任务编排和信息分发组织为共享能力层，具体客户流程仍按现场要求配置和调整。它说明跨项目复用不是把所有企业做成同一套流程，而是把可复用连接、知识结构和编排能力留下，再由 FDE 处理客户特有的规则与例外。

陈国润介绍的 Echo、Delta 与 Foundry 分别连接业务问题、现场持续交付和统一平台，项目中的规则与组件回流平台，后续项目由此不必从零开始。简江的聊天卡片书面材料则从小单元角度提出“中央能力平台+嵌入式小队”、阶段验收与能力移交。两项材料处在不同组织规模，却共同说明连续责任既可由小队承担，也可由业务、现场交付与平台协同承担。

自建、外引与联合组队

李先生（化名）的高保密场景材料表明，企业应先划清数据、模型、人员、设备与运维边界，再决定哪些环节可以外部协作；申悦、简江和焦佳敏分别提出业务负责人、FDE 与信息技术平台联合组队，以及外部带项目、内部同步培养种子人员的路径。文玺涵的探访材料进一步说明，大型平台往往把售前、方案和实施分开，创业小队则更可能贯通多项职责，组织选择应与问题范围相匹配。

孙宇桐把这种分工概括为外部帮助企业完成从零到一，内部团队承担从一到多和长期运营。外部服务不能替代企业对问题、数据、验收和运维的主体责任；合作是否完成，要看外部人员退出后系统能否继续运行、内部人员能否独立处理下一场景。

本章结论

中国特色 FDE 道路建立在完整产业体系、复杂场景、行业人才与软件服务积累之上。熟悉行业的人员可以在补齐 AI 能力后承担 FDE 职责，大模型与编程智能体提高执行效率，专业生产工程人员保障生产级责任，FDE 持续对实际结果负责。

中国特色 FDE 模式不是一个固定团队名称，而是在清楚责任下形成的多种协作组合。完整产业体系提供问题，行业知识提供判断，FDE 贯通现场与结果，智能体扩大执行，专业工程人员承担复杂生产责任。

本章参考文献

- [1] 上海市人民代表大会常务委员会. 上海市促进人工智能产业发展条例[Z]. 2022-09-22 通过, 2022-10-01 施行. <https://www.shanghai.gov.cn/rgznsj/20250610/a8b55b62dc07441c874a256d11e725a7.html>.
- [2] 上海市人民政府办公厅. 人工智能“模塑申城”实施方案[Z]. 2025-02. <https://www.shanghai.gov.cn/202502bgtwj/20250220/77b163177e954e8c929f90ec43fc92b7.html>.
- [3] 新华社《瞭望》. 上海人工智能人才发展报道[N/OL]. 2026-04-25. <https://www.news.cn/politics/leaders/20260425/df6dde0d465d4de4b4895fcb414d1ab3/c.html>.
- [4] 中央网信办转发新华社报道. 习近平总书记考察上海“模速空间”[N/OL]. 2025-04-30. https://www.cac.gov.cn/2025-04/30/c_1747718889717567.htm.
- [5] 上海市人民政府. 模速空间大模型创新生态社区进展[EB/OL]. 2025-05-01. <https://www.shanghai.gov.cn/nw4411/20250501/2117df16ee3e43f79b64db3b4a49e981.html>.
- [6] 上海市人民政府. 模速空间五期启动与“十百千万”计划[EB/OL]. 2025-07-24. <https://www.shanghai.gov.cn/nw4411/20250724/5cc2c8bd78f74a5ab92b38383ed37f3d.html>.
- [7] 上海创智学院. 学院概况[EB/OL]. <https://www.sii.edu.cn/xygk/list.htm>; 人民网. 上海人工智能学院成立一周年[EB/OL]. 2025-09-22. <https://sh.people.com.cn/n2/2025/0922/c134768-41359679.html>.
- [8] 上海创智学院. 打通 AI 落地“最后一公里”! 上海首期 FDE 专题培训创智开讲[EB/OL]. 2025-12-09. <https://www.sii.edu.cn/2025/1208/c54a620/page.htm>.
- [9] 澎湃新闻. 2026“3E”讲坛暨上海（长三角）中青年工程师创新创业大赛启动，首设 FDE 赛道[N/OL]. 2026-05-30. https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_33271383.
- [10] 投中网. 百万年薪抢人，FDE 到底是什么？[N/OL]. 2026-07-02. <https://www.chinaventure.com.cn/news/78-20260702-392107.html>.
- [11] 53AI. 【万字】大家都在吹的 FDE，又是什么万能解药？[EB/OL]. 2026-06-22. <https://www.53ai.com/news/Palantir/2026062295237.html>（服务商实践观察）。
- [12] 中国信息通信研究院. 专精特新中小企业数字化转型研究报告（2024 年）[R/OL]. 2025-01. <https://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bps/202501/P020250124516764358220.pdf>.
- [13] 中国电子信息产业发展研究院. 2026 年我国制造业数字化转型发展形势展望[J/OL]. 中国信息界, 2026-04-16. <https://www.zgxxjzz.com/m/tbch/412.html>.
- [14] 腾讯金融研究院, 腾讯研究院, 毕马威. 2025 金融业大模型应用报告：体系落地，价值共生[R/OL]. 2025-08. <https://www.tisi.org/32468/>.
- [15] 动脉网. 2026 医疗大模型场景落地研究报告[R/OL]. 2026-05. <https://36kr.com/p/3815459102433026>（转载页）。
- [16] AITNT News. 一个哈佛硕士转身去做“土 FDE”：AI 真正的机会，在工厂、货代和老板说不清的地方[N/OL]. 2026. <https://www.aitntnews.com/newDetail.html?newId=27026>.
- [17] HA7CH. HA7CH: AI-native Builder Lab & FDE Accelerator[EB/OL]. <https://www.ha7ch.com/>（2026-08-01 访问，组织自述）。
- [18] 21 财经. 大厂正在花百万年薪抢人，FDE 到底是什么？[N/OL]. 2026-07-08. <https://m.21jingji.com/article/20260708/herald/bca2e7af9fb643b452a00127391de72c.html>.

- [19] 国务院. 关于深入实施“人工智能+”行动的意见[Z/OL]. 国发〔2025〕11号, 2025-08-21. https://www.cac.gov.cn/2025-08/27/c_1758018277755538.htm.
- [20] 国家发展和改革委员会. 有关负责同志就《关于深入实施“人工智能+”行动的意见》答记者问[EB/OL]. 2025-08-26. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/jd/jd/202508/t20250826_1400058.html.
- [21] 工业和信息化部. 制造业数字化转型向规模化演进[EB/OL]. 2025-01-09. https://www.miit.gov.cn/xwfb/mtbd/twbd/art/2025/art_521a1d14d70c4d64b7188155d18596b6.html.
- [22] 财政部办公厅, 工业和信息化部办公厅. 关于做好2025年中小企业数字化转型城市试点工作的通知[Z/OL]. 财办建〔2025〕20号, 2025-05-07. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202505/content_7023527.htm.
- [23] 工业和信息化部. 2010年我国软件产业发展情况[EB/OL]. 2011. https://wap.miit.gov.cn/gxsj/tjfx/rjy/art/2020/art_867fab663b7b4120b588d4cd84d95052.html.
- [24] 工业和信息化部. 2025年软件业经济运行情况[EB/OL]. 2026. https://www.miit.gov.cn/gxsj/tjfx/rjy/art/2026/art_65a12a560865432bb1548fdddc74f19c.html.
- [25] 中国信息通信研究院. 中国企业级SaaS产业发展研究报告(2024年)[R/OL]. 2024-08. <https://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/ztbg/202408/P020240815374016912879.pdf>.
- [26] 北京软件造价评估技术创新联盟. 2025年中国软件行业基准数据[R/OL]. 2025. <https://www.bscea.org/uploads/soft/251029/%E3%80%8A2025%E5%B9%B4%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E8%BD%AF%E4%BB%B6%E8%A1%8C%E4%B8%9A%E5%9F%BA%E5%87%86%E6%95%B0%E6%8D%AE%E3%80%8B.pdf>.
- [27] 司法部. 2025年全国办理各类法律服务事项超过4000万件[EB/OL]. 2026-01-20. https://www.moj.gov.cn/pub/sfbgw/zwgkztzl/2026nianshuanti/jjqgsftjzhy20260115/mtgz20260115/202601/t20260120_530825.html.
- [28] 中国银行. 2025年业绩与数字化转型资料[EB/OL]. 2026-03. https://www.bankofchina.com/aboutboc/bil/202603/t20260330_25657386.html; https://www.bankofchina.com/aboutboc/bil/202603/t20260331_25657771.html.
- [29] 国家卫生健康委等. 卫生健康行业人工智能应用场景参考指引[Z/OL]. 2024-11. <https://www.nhc.gov.cn/wjw/c100175/202411/5bcb3c4edd064e31ac5d279caf5830f4.shtml>.
- [30] 国家卫生健康委. 关于医疗卫生AI场景案例与临床应用的公开资料[EB/OL]. 2025-08; 2026-04. <https://www.nhc.gov.cn/wjw/jianyan/202508/f27a955149814a09822f612a54d260d4.shtml>; <https://www.nhc.gov.cn/xcs/c100122/202604/d884eb59527d4144bc6959dc399160fe.shtml>.
- [31] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 国民经济行业分类: GB/T 4754—2017(现行, 附第1号修改单)[S/OL]. <https://openstd.samr.gov.cn/bzgk/std/newGbInfo?hcno=A703F0E23DD165A5A1318679F312D158>.
- [32] 国家统计局. 《2017国民经济行业分类注释》(按第1号修改单修订)[Z/OL]. 2019-05-22. https://www.stats.gov.cn/sj/tjbz/gmjjhyfl/202302/t20230213_1902780.html.
- [33] OECD. OECD Framework for the Classification of AI Systems[R/OL]. OECD Digital Economy Papers, No. 323, 2022. <https://doi.org/10.1787/cb6d9eca-en>.
- [34] TABASSI E. Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0)[R/OL]. NIST AI 100-1, 2023. <https://doi.org/10.6028/NIST.AI.100-1>.

第五章 FDE 的未来、国家意义与行动

本章讨论 FDE 走向成熟后市场、职业、组织、软件产业和劳动将怎样变化，并进一步说明：FDE 的现场性、端到端责任、行业知识转译、快速迭代和生产级交付能力，为什么能够把人工智能转化为企业的现实生产能力，并由企业现场向产业升级、劳动者发展和高质量发展传导。

FDE 走向成熟以后，变化会同时发生在市场范围、职业名称、企业组织、软件供给和劳动者任务上。下列判断需要由后续岗位、合同、运行质量和企业能力数据持续检验，而不能写成必然预言。

一、FDE 市场将如何扩展：从少数大型客户走向广大企业

全球大型客户首先验证 FDE 能够进入复杂生产。向中小企业扩展，需要 AI 降低部分执行成本、推动行业知识与工程资产复用、按需配置专业生产工程能力，并以低成本诊断、短周期版本和分阶段验收降低启动风险。

这种扩展不是把大客户长期驻场模式简单缩小。中小企业需要更短服务半径、更强行业聚合、较低固定成本和清楚的客户责任；产业集群、行业服务组织与小型团队可能因此成为重要载体。

市场扩展仍要由合同、复购、业务结果、系统稳定、单位交付成本和客户自主能力验证。只有这些指标持续成立，FDE 才从少数高价值项目走向更广泛市场。

大型客户的早期验证依赖高价值场景、完整数据和能够承担长周期交付的预算。中小企业市场则必须把启动成本、服务半径和失败风险进一步降低，并通过行业聚集和资产复用维持质量。两类市场不是同一种驻场模式的大小版本。

扩展路径通常从边界清楚的局部流程开始，以诊断或短周期版本验证价值，再根据运行结果进入更深的系统连接和持续服务。合同复购、业务指标、系统稳定、重复人工投入和客户自主运营能力共同决定扩展是否真实。

行业服务网络在其中承担需求聚合和信任连接。产业园区、行业协会、本地软件服务商和小型专业组织可以帮助识别共性场景、形成基础数据和评价条件，使单个中小企业无需独自承担全部搜寻与试错成本。

判断一：中国 FDE 的主要增量将来自中小企业和分布式行业服务网络。

Microsoft 以 6000 名行业与工程专家嵌入客户现场，代表大型科技企业服务大客户的规模化路径^[1]；数量庞大的中小企业则需要更短服务半径、更低启动门槛和更深行业理解。产业集群、本地软件服务商、行业协会、独立专业团队与生产工程平台将共同构成供给网络。

二、FDE 岗位将如何演进：职业名称按行业分化，核心职责持续沉淀

FDE 进入模型、数据、云、制造、金融、医疗和专业服务以后，企业会加入 AI、数据、部署、行业、架构或产品前缀。名称反映技术栈、客户对象和组织位置，也可能被本地语言重新表达。

长期稳定的是四项端到端责任：直接进入真实业务环境、共同形成需求与验收、参与生产级交付、上线后依据结果持续迭代。某些环节可以专业分工，但必须有明确主体保持问题、验收与结果连续。

因此，职业研究不应把一个固定英文头衔当作唯一对象，也不应因名称分化宣布 FDE 消失。职责标准比名称目录更能识别职业的行业深化。

判断二：岗位名称将高度分化，核心责任逐渐收敛。制造、金融、医疗、法律等行业前缀，以及解决方案工程、部署策略、应用人工智能等本地化名称将继续增加；无论名称怎样变化，直接进入真实业务环境、共同形成需求与验收、参与生产交付和上线后持续改进四项责任，仍为研究和用人提供稳定的识别标准。

判断三：行业知识和可复用技术资产将成为 FDE 职业分化的两端壁垒。上端是行业知识资产，包括业务对象、流程、规则、例外、合规与验收标准；下端是行

业技术资产，包括数据结构、系统接口、知识库、评估集、智能体 workflow、权限模板和部署组件。中间地发现、构建、集成、验收、迭代流程具有通用性，但两端资产一旦进入具体行业就大相径庭。

判断四：FDE 工作重心将从编码执行转向问题界定、版本取舍、用户反馈、验收设计和智能体编排。通用编码能力会快速普及，能够把行业经验变成可测试规格、把用户反馈变成下一版本的人将更稀缺。通用流程界定 FDE 的核心责任，两端资产决定其所属行业以及价值上限。

三、FDE 产业将形成什么格局：通用平台集中，行业服务分散

基础模型、云、开发工具、安全与监控平台需要大量算力、研发和跨客户复用，因而具有集中趋势。它们提供通用能力、生产工程底座与标准接口，使更小的前线单元不必重复建设所有基础设施。

行业知识、企业流程、现场关系、例外与持续结果责任难以完全中心化。行业 FDE 和小型组织可以靠近客户与产业集群，快速判断问题、形成验收并组织迭代，再按需要调用平台与专业工程能力。

集中与分散不是简单对立。健康结构要求平台保留开放接口、可迁移性与安全能力，行业组织沉淀可复用资产，客户掌握必要数据、验收和退出权，避免效率提升转化为不可治理的锁定。

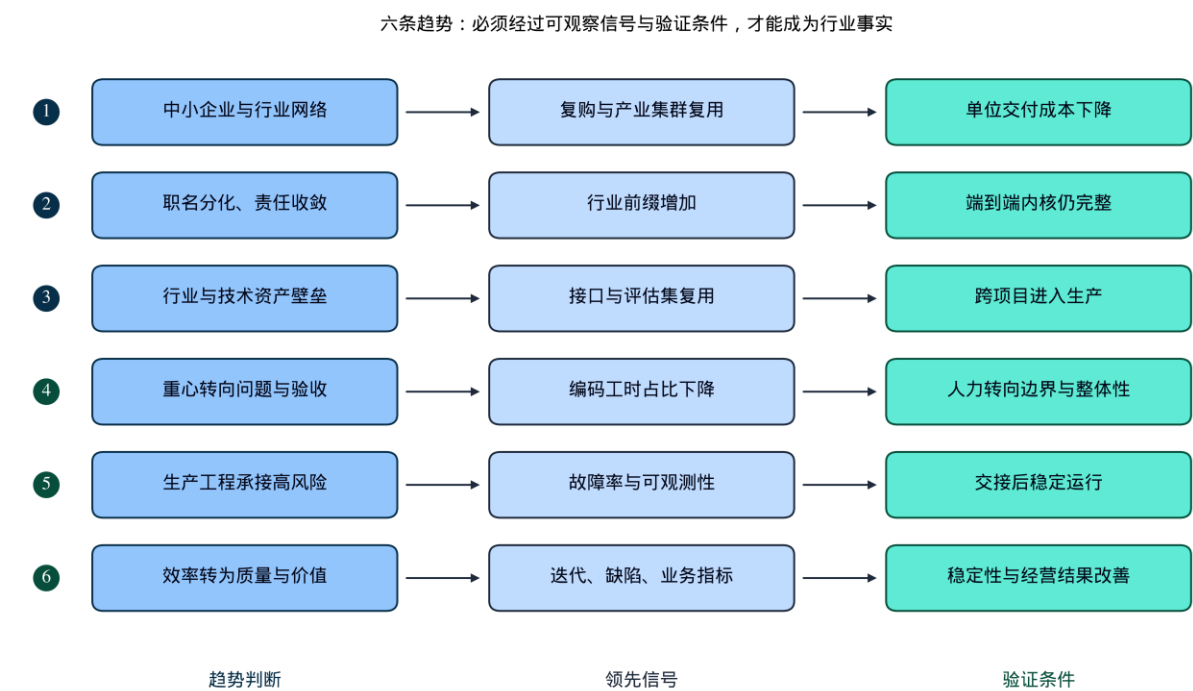
这种结构来自两类资产不同的经济属性。基础模型、云、开发工具、安全与监控需要持续研发和大规模复用，集中建设更有效率；行业流程、例外、客户信任和验收标准依赖具体现场，必须由靠近企业和产业集群的人员长期积累。

平台集中不能取消行业组织，行业分散也不应重复建设全部底层能力。两者通过开放接口、明确数据与资产权属、可迁移部署和按需专业工程支持形成协作，才能同时获得规模经济和现场适应性。

判断五：专业生产工程人员和工程平台将与行业专家型 FDE 形成稳定分工。

FDE 借助编程智能体完成高频技术执行，专业生产工程人员集中承担复杂集成、安全、可靠性和运维责任，并按需服务多个 FDE。工具与资产逐步成熟后，单个客户所需的重复人工支持随之下降^[5]，形成中国特色 FDE 覆盖中小企业的成本基础。

判断六：交付效率将转化为更高迭代密度、质量与业务价值。原型价格会显著下降，生产软件继续承担数据、集成、安全、测试、部署、运维和失败风险。成熟服务商将效率收益用于缩短反馈周期、增加测试和深化定制，并通过版本费、订阅与效果奖励回收责任成本。



资料来源：本报告未来趋势判断；不使用缺少逐条依据的精确年份预测
阅读结论：每条趋势都以信号和验证条件约束，避免把方向判断写成必然预言

图 5-1 六条趋势与验证窗口

四、FDE 将如何改变软件产业：形成新的企业智能化定制市场

第二章已经说明 FDE 市场为何因定制需求增长、实现成本下降与端到端责任而成立；本节进一步讨论这一市场对软件产业结构的后果。AI 提高迭代频率以后，标准软件、定制交付和持续服务的边界开始重组：标准产品嵌入更多可配置智能能力，定制交付转为围绕验收的短周期版本，持续服务把运行反馈送回系统。

新市场既包括对原有软件、咨询和系统集成支出的重组，也包括过去因规模太小、变化太快或行业太细而没有形成采购的需求。FDE 用连续责任把这些需求连接到模型、平台、云、行业知识和生产工程。

只有客户获得可验证价值、工程质量受控、项目经验形成可复用的行业与技术资产、供应商锁定得到治理，这个市场才是可持续的企业智能化定制市场，而不是更快交付的一次性外包。

新的市场结构可能同时包含三种供给：通用产品提供稳定底座，短周期定制把行业和企业差异写入系统，持续服务依据运行反馈调整版本。FDE 贯通三者，使产品不必为每个客户从零重写，也使定制不再止于一次性交付。

市场成立还需要清楚的资产与责任边界。客户应掌握自身数据、验收标准、运行记录和退出安排，服务方应说明哪些组件可以跨项目复用、哪些知识属于客户、事故和持续运维由谁负责。否则，执行速度提高可能转化为更深的供应商锁定。

收入方式也会随供给重组而变化。诊断与试点降低启动门槛，版本建设覆盖生产工程，持续服务承担运行改进，效果奖励可以在指标可核实时分配增量价值；任何收费方式都不能替代清楚的验收和责任。

软件由记录和管理进一步进入判断与执行以后，企业独有流程会产生更多定制需求。AI 降低部分技术执行成本，行业规则、接口、评估集、组件和部署方法的复用继续减少后续工作量，标准产品、持续服务与定制交付的边界将重新组合。

五、FDE 将如何改变劳动：从执行任务转向判断、组织系统与承担结果责任

AI 更容易承接输入输出清楚、质量标准稳定的标准化技术执行任务，资料整理、基础编码、内容生成和常规分析中的一部分会被自动化。职业整体如何变化仍取决于需求扩张、企业组织、监管和收益分配，不能由单项自动化能力直接推出就业结论。

行业人员的任务更多转向问题界定、隐性知识表达、例外处理和验收；工程人员更多处理架构、安全、可靠性、复杂集成与运行责任；FDE 承担跨角色的系统组织，围绕具体结果配置这些能力，并在系统上线后继续接收反馈。

劳动者需要通过真实项目获得 AI 协作、流程建模、数据与安全意识、生产工程协作和结果验收能力。职业发展不能只考察工具熟练度，还应记录行业判断、跨角色组织与端到端项目责任。

任务变化会在行业人员、FDE 和生产工程人员之间形成新的分工。行业人员更集中于问题选择、隐性知识表达和业务验收；FDE 负责把这些判断组织成系统并维持结果连续；工程人员把精力转向架构、安全、复杂集成、可靠性和运行治理。

职业政策和企业培训因此不能只教授提示词或单一工具。劳动者需要在真实项目中学习流程建模、数据边界、评估、人工接管、跨专业协作和结果责任，并使技术效率形成更广泛的能力提升和发展机会。

企业还应记录任务怎样变化以及效率收益如何使用。若 AI 只减少基础岗位而没有扩大培训、决策参与和收益分享，技术进步不会自动转化为劳动者发展；岗位重组必须与能力建设和合理分配同步。

模型和智能体可以承担更多标准化任务，劳动者的相对价值会转向问题判断、例外处理、流程建模、系统组织、验收设计和结果责任。行业专家与工程人员的分工会重新配置，但不能据此推导整类岗位必然被替代。

企业内部培养熟悉流程和例外的行业人员成为 FDE，可以减少重复解释和低价值执行，保留组织知识，并在岗位重组过程中为劳动者提供转型通道；它不能消除全部调整成本，却比激进替代更有利于缓解劳资冲突和知识流失。外部 FDE 则补充跨企业复用、专门工具与专业生产工程能力，两类供给共同降低转型门槛。

当 FDE 与智能体使企业以更低成本获得同等或更高质量的业务结果，企业才形成支付外部 FDE、激励内部 FDE 和继续投入质量建设的经济空间。劳动者能否分享生产率收益，则取决于技能提升、收入激励、岗位发展或劳动时间优化是否进入企业制度；效率收益若只表现为裁员和工作强度上升，就不能自然推出更好的劳动结果。

劳动者如何进入新的分工

孙宇桐的书面回答指出，员工可能担心交出经验后被替代，也可能担心采用人工智能后因错误担责；因此可以先让系统在人工流程旁影子运行，记录采用、驳回及其理由，再逐步放开低风险动作。员工由此不是被动的数据来源，而是规则形成、例外识别和验收的共同建设者。

申悦、焦佳敏和简江的书面材料都把真实项目而非课堂训练放在能力形成的中心：外部人员可带着内部种子人员跑通首个闭环，方法、评测、文档和运行责任随后留在企业。它们支持的是培养与能力移交机制，并不证明任何单一培训项目已经产生可量化经营结果。

六、FDE 何以为推动高质量发展提供微观支撑

党的二十大报告明确指出，高质量发展是全面建设社会主义现代化国家的首要任务。这里的高质量发展，不是单个项目或产品的质量提升，而是以新发展理念为引领，推动发展质量、效率和动力变革，实现质的有效提升和量的合理增长^[6]。

FDE 与这一国家发展命题的联系，来自其职业本身所具有的现场性、端到端责任、行业知识转译、快速迭代和生产级交付能力：这些特质使它能够在企业这一微观主体中，把通用人工智能转化为可运行、可验收并持续改进的现实生产能力。

首先，FDE 直接进入真实业务环境，并持续承担从问题发现到运行结果的责任。这使科技能力不再停留在实验室、模型接口或单点演示，而是沿着企业的业务流程、数据环境和既有系统进入设计、中试、生产、服务和运营。国务院《关于深入实施“人工智能+”行动的意见》强调人工智能与经济社会各行业各领域广泛深度融合，并推动人工智能在工业全环节落地应用^[8]。这一过程需要一条连接技术供给与产业现场的责任链，FDE 的现场性和连续责任正好构成这条链的微观载体。

其次，FDE 把行业人员的经验、企业数据、基础模型、软件系统和专业生产工程能力，围绕同一业务结果重新组织。习近平总书记关于新质生产力的重要论述，将劳动者、劳动资料、劳动对象及其优化组合的跃升作为基本内涵，并以全要素生产率大幅提升为核心标志^[7]。FDE 的工作不是简单增加一种技术岗位，而是减少行业、业务与工程之间的多层交接，使知识、数据和工具在更短的反馈链中共同作用，由此改善生产过程的质量、效率和响应速度。

再次，FDE 以行业判断确定改造对象，又借助大模型和编程智能体降低原型、基础编码和高频迭代成本，使企业智能化定制从少数高预算项目向更多细分流程扩展。其直接结果是，一部分过去因规模过小、变化过快或行业过细而无法成立的软件需求开始形成市场；传统产业和中小企业也更有可能是以可承受的成本，获得与自身流程相匹配的智能系统。技术扩散范围的扩大，进一步形成传统产业改造升级、新产业新模式成长和产业发展新动能。

FDE 还具有鲜明的行业分化和资产沉淀特征。制造、金融、医疗、法律等行业的流程、规则、例外和验收标准并不相同，FDE 因而不会以一套通用方案覆盖所有企业，而会沿行业积累知识资产和可复用技术资产。这种以行业现场为基础的分化，使人工智能能够依据不同地区、产业和企业的实际条件进入生产，形成与产业集群和现代化产业体系相衔接的技术供给。

最后，FDE 把劳动者的作用由标准执行更多推向问题判断、隐性知识表达、系统组织和结果验收，并与承担安全、可靠性和复杂集成责任的专业生产工程人员形成新的分工。由此产生的，不只是软件交付效率提高，也包括劳动者能力结构、企业组织方式和人机协作关系的变化。国务院“人工智能+”行动关于创造新岗位、

赋能传统岗位、加强技能培训以及推动安全可控应用的部署^[8]，与这一职业演进方向具有一致性。

因此，FDE 为推动高质量发展提供微观支撑，并不是因为这个岗位承担了高质量发展的全部任务，而是因为它把人工智能进入实体经济所需的几项关键变化集中在同一条责任链中：技术成果进入具体产业，生产要素围绕业务结果重新组合，企业生产率和供给质量得到改善，智能化定制市场向中小企业扩展，行业资产持续积累，劳动者能力与生产安全同步演进。FDE 不是新质生产力本身，却能够成为新质生产力在企业现场形成和扩散的一种职业载体。

这些微观机制只有在项目价值真实、生产安全受控、劳动者获得培训与合理分享、行业资产能够扩散的条件下，才可能进一步改善就业质量、居民预期与消费意愿，并为中国经济社会高质量发展提供支撑。FDE 不是新质生产力本身，也不能单独决定宏观结果；它的意义在于把通用人工智能转化为企业现场可验证、可持续的生产能力。

FDE 项目的三维评价

评价维度	核心问题	主要检查依据
经营价值	是否改善真实业务并值得持续投入	基线、观察期、采用情况、质量、成本、收入、风险与客户体验
组织能力	企业能否持续运行并复制到下一场景	业务负责人、反馈周期、内部接管、资产复用、退出可行与复现测试
人的发展	员工是否参与并获得新的能力与发展空间	知识贡献、实战训练、岗位拓展、人工控制、申诉与员工反馈

七、政府、企业、资本、行业组织和劳动者应当如何行动

政府与产业组织应开放合规真实场景，明确数据、安全、采购和评价边界，在产业集群中组织供需对接，并以业务结果、系统稳定、企业自主、劳动者发展与公共价值建立证据基础。

企业应从真实经营问题出发，指定内部业务责任人，明确需求、验收、权限、运行、事故与退出安排，依据数据敏感度和风险选择内部培养、外部行业服务、平台工具与专业工程能力的组合。

AI 与软件企业应把模型、平台和云建设成可评估、可集成、可监控、可回滚的生产工具，让现场反复出现的问题进入产品，又保留行业适配与客户可迁移空间。资本应区分扩大驻场人数与沉淀行业、产品和工程资产，用复购、质量、毛利、复用和客户自主能力检验长期价值。

劳动者应在真实项目中积累行业经验、AI 能力、流程建模、数据与安全意识、工程协作与结果验收能力。五类主体的行动最终都要回到同一尺度：能否使更多企业形成安全、可持续的生产能力，使人工智能真正进入实体经济，并转化为推动高质量发展的现实成效。

企业行动

第一，从一个边界清楚、收益能用数字核对的流程起步。优先选择高频、规则相对明确、能拿到所需数据、企业负责人有权限推动的场景。不要用“建设企业大模型”替代业务目标。

第二，用业务指标和运行证据定义合同。合同应明确需求如何共同形成、系统必须进入何种生产环境、效果如何验证、上线后谁负责迭代，以及未达成结果时卖方承担什么后果。

第三，把行业专家放进项目核心。企业内部应指定真正掌握流程和例外的业务责任人，使其与外部 FDE 共同生产需求和验收标准，而不是只在项目结尾参与评审。

第四，建立生产运行证据记录。同时记录业务产出、人工接管、返工、故障、发布频率、同类能力复用和客户自主运营情况。重复人工减少必须与效果稳定同时成立，才能证明系统和交付组织正在成熟。

第五，把退出路径写进项目。英国议会科技创新委员会 2026 年关于 Palantir 公共部门供应商锁定风险的报告表明，退出和替代能力不是附属要求^[2]。供应商应交付运行手册、知识资产、测试、权限与内部人才培养方案。一个成熟 FDE 项目的目标不是永久依赖外部驻场，而是让必要的人类投入逐步从救火转向新场景探索。

政府与产业组织行动

第一，开放真实场景并列需求清单。财政部、工业和信息化部 2025 年中小企业数字化转型城市试点已经要求围绕重点行业筛选典型场景、形成“小快轻准”解决方案^[4]。政府、国有企业和产业园区还应共同列明共性场景、数据边界与验收指标，降低服务商逐户获客和重复诊断的成本。

第二，培育行业型 FDE。上海创智学院已经举办首期 FDE 专题培训，说明地方层面开始把 FDE 作为专门能力建设对象^[3]。培训重点应从通用工具教学转向行业问题界定、经验外化、人工智能编排、生产部署与结果责任。优先支持已有行业经验的人员完成技术转型，同时为工程人员提供真实行业现场。

第三，建设生产级公共底座。提供合规数据空间、系统接口、评估工具、权限与安全模板、测试环境和审计记录，让中小服务商直接使用这些公共工具交付。

第四，为结果导向合同提供制度空间。在诊断费、版本建设费和运维订阅基础上，允许设置与业务指标挂钩的奖励或续约机制，并明确效果核验、风险分担和退出规则。

第五，用业务结果与复用能力评价公共项目。补贴不应只看上线数量，还应观察系统进入稳定期后是否减少重复人工、提高客户自主运营能力，以及项目经验能否在同一细分行业复用。

劳动者行动

第一，选择一个真实行业，而不是只学习一个工具。FDE 的壁垒来自对业务对象、流程、数据、异常和结果的持续理解。工具会快速变化，行业问题与责任结构更稳定。

第二，训练把经验变成系统的能力。访谈后应能形成业务对象、流程图、规则、异常、数据需求、验收集和待验证假设，并让人工智能直接读取语音转写、文档和运行反馈进入开发。

第三，用生产证据约束人工智能。代码生成不是完成。构建、测试、部署、监控、权限、回滚和剩余问题都要有证据；人工智能声明与工程事实必须分开。

第四，学会在双核团队中工作。行业专家不回避技术约束，工程人员不替代业务判断。双方围绕同一需求规格、验收标准、运行证据和复用目标协作，减少交接损耗。

第五，对结果负责，也对边界负责。在高风险行业中，应明确哪些判断必须由人作出，哪些数据不能进入模型，哪些结果只能作为辅助。FDE 的价值不仅在把系统做成，也在知道系统何时不应自主运行。

本章结论

FDE 将扩大企业智能化定制市场，推动职业和组织分化，并重新组织软件产业与劳动任务。它的国家发展价值不在概念传播本身，而在于能否把人工智能转化为实体经济中的现实生产力，以生产率改善和产业升级形成发展新动能，同时让中小企业和劳动者更充分地分享技术进步。

FDE 成熟的标志不是出现多少头衔，而是更多企业获得稳定、可验收、可持续改进并能够自主掌握的数智化能力。市场扩展、行业分化和专业协作都必须服从这一结果尺度。

本章参考文献

- [1] ALTHOFF J. Microsoft Frontier Company: AI Engineering that Amplifies and Protects Your Intelligence[EB/OL]. Microsoft, 2026-07-02. <https://blogs.microsoft.com/blog/2026/07/02/microsoft-frontier-company-ai-engineering-that-amplifies-and-protects-your-intelligence/>.
- [2] UK Parliament Science, Innovation and Technology Committee. MPs Warn that Palantir's Increasing Presence in the UK Public Sector Is an 'Unacceptable Point of Weakness'[EB/OL]. 2026-06-03. <https://committees.parliament.uk/committee/135/science-innovation-and-technology-committee/news/214048/mps-warn-that-palantirs-increasing-presence-in-the-uk-public-sector-is-an-unacceptable-point-of-weakness/>.
- [3] 上海创智学院. 打通 AI 落地“最后一公里”！上海首期 FDE 专题培训创智开讲[EB/OL]. 2025-12-09. <https://www.sii.edu.cn/2025/1208/c54a620/page.htm>.
- [4] 财政部办公厅, 工业和信息化部办公厅. 关于做好 2025 年中小企业数字化转型城市试点工作的通知[Z/OL]. 财办建（2025）20 号, 2025-05-07. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202505/content_7023527.htm.
- [5] Resolve AI. Why Enterprise AI Needs Forward Deployed Engineers[EB/OL]. 2025-09-08. <https://resolve.ai/blog/why-enterprise-ai-needs-forward-deployed-engineers>.
- [6] 何立峰. 高质量发展是全面建设社会主义现代化国家的首要任务[EB/OL]. 国家发展和改革委员会, 2022-11-14. https://www.ndrc.gov.cn/fzggw/wld/hlf/lddt/202211/t20221114_1341229.html.
- [7] 习近平. 发展新质生产力是推动高质量发展的内在要求和重要着力点[EB/OL]. 国家新闻出版署, 2024-06-03. https://www.nppa.gov.cn/xxfb/tt/202406/t20240603_850572.html.
- [8] 国务院. 关于深入实施“人工智能+”行动的意见[Z/OL]. 国发（2025）11 号, 2025-08-26. https://www.gov.cn/zhengce/content/202508/content_7037861.htm.

结 语

人工智能正在改变知识任务的执行方式，也在重新划分企业内部的责任。模型能够承担更多标准化工作，行业经验、例外判断、组织协调和结果责任仍需进入具体生产过程。FDE 把这些因素连接起来，使人工智能从通用技术转化为企业能够运行和持续改进的系统。

全文依次完成一条连续推理：第一章回答 FDE 是什么、为何出现；第二章解释 AI 时代为什么使它在技术、质量和经济上可行；第三章以全球发展格局提供现实验证；第四章以十类通用行业或行业群及四类跨行业场景形成面向中小企业、沿行业分化的中国特色道路；第五章推演市场、职业、产业与劳动变化，并说明 FDE 如何在企业现场把人工智能转化为现实生产力。

中国道路不应被压缩为单一人才来源或固定团队名称。行业专家可以在补足人工智能与工程认知后承担 FDE 职责，FDE 也可以来自软件、咨询与独立服务组织；复杂集成、安全、测试、部署和运维由具备相应能力的专业工程人员承担。

最终评价标准不是概念传播或岗位数量，而是人工智能能否更深进入实体经济，企业生产率和现代化产业能力能否提升，中小企业与劳动者能否分享技术进步，系统安全与企业自主能力能否得到保障，技术收益能否得到合理分配。当这些变化在真实生产中持续发生，FDE 才会成为人工智能赋能高质量发展的可靠支点。

附录一 企业 FDE 项目就绪度自评

本表用于在立项前判断企业是否具备把人工智能项目推进到生产并持续运营的基本条件。

表 A1-1 企业 FDE 项目就绪度自评

维度	自评问题	自评状态
经营问题	是否明确要改善的结果、基线和业务负责人？	☐ 已具备 ☐ 部分具备 ☐ 尚未具备
场景价值	问题是否高频或高价值，值得持续投入？	☐ 已具备 ☐ 部分具备 ☐ 尚未具备
现场知识	关键规则、例外和经验由谁掌握，能否持续参与？	☐ 已具备 ☐ 部分具备 ☐ 尚未具备
数据基础	数据是否合法可用、质量可查、含义可解释？	☐ 已具备 ☐ 部分具备 ☐ 尚未具备
系统基础	是否具备接口、权限、测试、运维和回退能力？	☐ 已具备 ☐ 部分具备 ☐ 尚未具备
组织授权	是否允许跨部门调整流程和配置资源？	☐ 已具备 ☐ 部分具备 ☐ 尚未具备
内部承接	是否有业务与技术共同建设者全程参与？	☐ 已具备 ☐ 部分具备 ☐ 尚未具备
评价机制	是否同时设置经营、过程、组织和治理指标？	☐ 已具备 ☐ 部分具备 ☐ 尚未具备
风险治理	是否完成数据、安全、伦理、专业责任和劳动影响评估？	☐ 已具备 ☐ 部分具备 ☐ 尚未具备
资产沉淀	是否约定规则、评测、组件、文档和人才如何留下？	☐ 已具备 ☐ 部分具备 ☐ 尚未具备
合同退出	是否明确知识产权、数据处理、责任和退出安排？	☐ 已具备 ☐ 部分具备 ☐ 尚未具备

附录二 访谈与材料来源说明

本附录披露访谈与书面材料的来源形态、可确认程度和可支持范围。材料仅在来源、主体与语境足以支撑相应判断时使用；观点、需求、反例与项目结果分别标注，避免不同证据强度相互替代。

表 A2-1 访谈与材料来源及使用范围

对象条目	材料形态	来源与可确认程度	可支持范围
1 Lawted	访谈逐字稿	受访者与文本对应关系明确	物流失败复盘与首场景选择；不支持规模化效果判断
2 何元汉	访谈逐字稿	受访者与文本对应关系明确	纺织制造数据与行业知识；项目数字为受访者自述
3 陈国润	访谈逐字稿	受访者与文本对应关系明确，并同意姓名和职位引用	大型组织分工与资产回流；试点状态为受访者自述
4 李泽辰	访谈逐字稿	受访者与文本对应关系明确，在授权范围内使用	法律短反馈链、本地化和责任边界
5 苏珊珊	两份访谈逐字稿	共同内容可确认，差异部分不使用	法律多层转述需求；不支持已完成部署的判断
6 黄俊海	访谈逐字稿	受访者与文本对应关系明确	生产工程与金融相关央企项目；不支持精确性能判断
7 蔡黎明	访谈逐字稿	受访者与文本对应关系明确	五金报价与扩容边界；人员节省未获独立验证
8 李先生（化名）	两份访谈逐字稿	化名使用，共同内容可确认	高保密隔离与内外分工；不作真实身份推断
9 孙字桐	书面访谈回答	回答人与文本对应关系明确	影子运行、0 到 1/1 到 N 和员工参与
10 申悦	书面访谈回答	来源形态和回答主体可确认	场景、联合小组与复制；仅支持观点层判断
11 焦佳敏	书面访谈回答	回答人与文本对应关系明确	问题定义、现场与实战培养；不支持项目结果判断
12 赵洋	访谈记录	受访者与文本对应关系明确	转型准备度和职业边界
13 文玺涵	多人探访记录	记录未作个人层归因	仅支持组织形态与电商边界的整体描述
14 简江	书面访谈回答	来源形态和回答主体可确认	角色边界、嵌入小队与能力移交
15 白天朗	访谈记录	受访者与文本对应关系明确，仅使用授权内容	模型成本、业务理解与行业迁移边界
16 高木生	访谈逐字稿	受访者与文本对应关系明确，项目处于签约前阶段	制造系统债和准备条件；不支持项目效果判断
17 何奕	项目材料	主体身份与材料来源可确认	云梦引擎的连接、知识与编排能力

附录五 指标与验证说明

FDE 项目应在立项时约定基线、观察期和数据来源，并用同一口径持续记录。

表 A5-1 FDE 项目指标与验证说明

指标	要回答的问题	建议证据
基线	没有项目时业务处于什么水平？	历史记录、抽样复核、同口径时间窗
观察期	结果在多长时间持续成立？	上线前后连续记录、季节性说明
采用	系统是否被目标人员持续使用？	活跃使用、流程覆盖、放弃与驳回原因
稳定	系统能否在真实负载下持续运行？	故障、回退、响应、权限和人工接管记录
业务结果	周期、质量、成本、收入或风险是否改善？	经营台账、质量记录、客户反馈
客户自主	外部人员退出后企业能否继续运营？	内部接管、演练、下一场景复现
资产复用	项目成果是否降低后续交付成本？	复用组件、评测、接口、模板和文档
人的发展	员工是否获得能力与发展空间？	知识贡献、训练、岗位变化、申诉和反馈

免责声明

本报告由 FDE Frontier 与 FDE 时代共同发起并组织编制，具体研究工作由全球 FDE 发展研究课题组承担。所载数据、分析与结论基于公开信息、行业数据、课题组访谈及独立研究，仅供行业研究参考，不构成投资建议、商业决策建议或法律意见。

对于引用的企业披露、招聘平台数据、行业媒体报道和学术文献，课题组已尽合理努力核验来源，但不对其准确性、完整性和时效性作出保证。报告中的企业案例仅用于说明行业现象和发展机制，不构成对相关企业的背书或推荐。

引用本报告内容时应注明出处。涉及企业内部数据或可识别个体的信息，未经相关权利人许可不得另作使用。本报告版权由课题组及主要发布单位依法享有。

联系人：卢星龙（微信：Steel_Volition）