

智能运维的实践: 现状与标准化*

包航宇¹, 殷康麟², 曹立³, 李世宁¹, 孙永敬¹, 尹汇锋⁴, 汤汝鸣³, 侯岳¹, 王士强¹,
裴丹², 杨晓勤¹, 王立新¹



¹(中国建设银行运营数据中心, 北京 100068)

²(清华大学计算机科学与技术系, 北京 100084)

³(北京必示科技有限公司, 北京 100083)

⁴(清华大学精密仪器系, 北京 100084)

通信作者: 殷康麟, E-mail: yinkanglin@tsinghua.edu.cn

摘要: IT 系统运维目前正面临着 IT 规模快速膨胀、系统架构日趋复杂、自主可控要求日益突出等众多挑战。智能运维技术作为一种利用大数据和机器学习对海量运维数据分析的手段, 能够辅助运维人员更为高效地运行和维护 IT 系统。然而, 在企业进行智能运维工程化实践的过程中, 往往会遇到各种困难, 需要智能运维技术的标准规范以指导企业开展智能运维的能力建设工作。为推动智能运维的标准化工作, 对多个行业的智能运维实施单位开展了问卷调查, 分析总结国内智能运维的实践现状; 对国内外现行的运维标准、人工智能标准和智能运维标准进行梳理, 研究智能运维的标准化工作当前进展; 根据对实践现状和现有标准的调研分析结果, 提出智能运维的能力建设标准框架 AIOps-OSA。该框架从企业建设智能运维能力的角度列举出在组织、场景和能力上的关键点。在实际标准的编制过程中通过对 AIOps-OSA 内各项要点提出具体的规范要求, 可形成对企业具有指导作用的智能运维标准规范。

关键词: 人工智能; IT 运维; 智能运维; 标准化

中图法分类号: TP311

中文引用格式: 包航宇, 殷康麟, 曹立, 李世宁, 孙永敬, 尹汇锋, 汤汝鸣, 侯岳, 王士强, 裴丹, 杨晓勤, 王立新. 智能运维的实践: 现状与标准化. 软件学报, 2023, 34(9): 4069–4095. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/6876.htm>

英文引用格式: Bao HY, Yin KL, Cao L, Li SN, Sun YJ, Yin HF, Tang RM, Hou Y, Wang SQ, Pei D, Yang XQ, Wang LX. AIOps in Practice: Status Quo and Standardization. Ruan Jian Xue Bao/Journal of Software, 2023, 34(9): 4069–4095 (in Chinese). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/6876.htm>

AIOps in Practice: Status Quo and Standardization

BAO Hang-Yu¹, YIN Kang-Lin², CAO Li³, LI Shi-Ning¹, SUN Yong-Jing¹, YIN Hui-Feng⁴, TANG Ru-Ming³,
HOU Yue¹, WANG Shi-Qiang¹, PEI Dan², YANG Xiao-Qin¹, WANG Li-Xin¹

¹(Operation Data Center of China Construction Bank, Beijing 100068, China)

²(Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

³(Bizseer Co. Ltd., Beijing 100083, China)

⁴(Department of Precision Instrument, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The operation of IT systems faces many challenges of rapid IT scale expansion, increasingly complex system architecture, and growing demand for autonomy. By employing big data and machine learning technologies to analyze massive operation data, artificial intelligence for IT operations (AIOps) can assist IT operators in operating and maintaining IT systems more efficiently. However,

* 基金项目: 国家重点研发计划 (2019YFB1802504, 2019YFE0105500); 国家自然科学基金面上项目 (62072264)

本文由“AI 软件系统工程化技术与规范”专题特约编辑张贺教授、夏鑫博士、蒋振鸣副教授、祝立明教授和李宣东教授推荐。

收稿时间: 2022-09-05; 修改时间: 2022-10-13, 2022-12-14; 采用时间: 2022-12-28; jos 在线出版时间: 2023-01-13

CNKI 网络首发时间: 2023-07-07

enterprises often encounter various difficulties when practicing AIOps. Thus standards of AIOps are required to guide enterprises in building AIOps capability. To promote the standardization of AIOps, this study surveys the AIOps-in-practice enterprises in various industries to analyze the practice status of AIOps. Existing standards on operation, artificial intelligence, and AIOps are studied to figure out the current progress of AIOps standardization. According to the conclusions above, the study proposes an AIOps capability standard framework AIOps-OSA. The framework lists the critical points of organization, scenarios, and abilities from the perspective of building AIOps capabilities of enterprises. During actual standard preparation, a guiding AIOps standard for enterprises can be formed by applying detailed requirements to AIOps-OSA.

Key words: artificial intelligence (AI); IT operation; AIOps; standardization

IT 运维分析 (IT operations analytics, ITOA) 是企业信息技术工作的重要内容, 是企业数据、业务、服务正常使用和运转的基础。随着云计算、边缘计算等新兴技术的普及, IT 系统的软硬件设备种类与数量都会随着业务发展高速增长, 且其内部网络中各个软硬件之间的关联关系也会更加复杂。对于如金融行业等一些对数据的时间敏感性很强的行业而言, 短时间内的故障就可能会造成巨大的经济损失^[1], 这对企业的运维能力提出了巨大的挑战。传统的人工运维涉及多个部门团队之间的沟通协作, 人工成本高、处理周期长, 依靠人力堆积的传统方式运维已经无法满足数字化时代对 IT 运维的要求。

为了能够帮助运维人员快速处理海量、多源、异构的运维数据, 全球权威 IT 咨询公司 Gartner 于 2016 年率先提出“基于算法的运维 (algorithmic IT operations)”这一概念^[2], 之后随着人工智能技术的发展, “智能运维 (artificial intelligence for IT operation)”被正式提出^[3]。智能运维基于人工智能技术, 通过大数据、现代机器学习及更多高级分析技术, 提供具备主动性、个性化及动态可视化的运维数据分析能力, 增强实现运维目标所需的分析和决策能力。而我国在“十四五规划”和 2035 年远景目标纲要中提出, 支持有条件的大型企业打造一体化数字平台, 强化全流程数据贯通, 形成数据驱动的智能决策能力, 提升企业整体运行效率。规划中在达成以上目标所需深化推广应用的关键技术中明确提到了智能运维, 可见智能运维已成为必然的行业趋势。

近年来, 国内用户、厂商、高校和研究机构已经广泛开展智能运维的理论研究, 并已积累了不少在异常检测、根因分析等方面的研究成果。然而, 智能运维技术在应用于实际的生产系统时仍面临着大量挑战: 与以往不包含人工智能技术的软件系统不同, 人工智能系统在工程化应用的过程中存在着业务需求模糊、算法性能不易控制、难以规划开发计划等问题^[4]。企业将人工智能技术使用于运维过程时, 运维数据质量不足、运维人员没有人工智能相关知识、如何与现有运维系统集成等问题对智能运维系统的落地实施带来了更多的困难^[5-7]。此外, 不同企业的运维基础不同, 一些运维基础较差的企业即使见到其他企业优秀的智能运维实践, 也不知道从何处着手开始智能运维场景的落地。以上这些问题也最终导致企业难以将人工智能技术适配于不同的运维环境和运维场景中, 形成高质量智能运维服务。

标准化 (standardization) 是基于对于某一特定技术的共识, 形成和实现技术标准的过程^[8]。其具有保障服务/产品质量、形成统一认知、提高技术的普适性和互操作性、减少不必要的多样性等作用^[9]。目前已有研究尝试通过标准化解决人工智能的统一术语定义和技术规格规范化^[10], 以及人工智能技术在具体使用场景适配困难的问题^[11]。因此, 建立智能运维标准是一种解决智能运维当前实践过程中各类问题的可行方案。从事智能运维行业的人员能够从标准中了解到智能运维的背景知识, 把握智能运维实践的关键要点, 发现各自单位在现有实践上的不足, 并开展对应的优化工作, 最终提升智能运维的实践效果。标准化所能形成的是普适于不同背景下的智能运维实践的必要条件, 其对于提高行业整体智能运维实践能力也是不可缺的。然而如果要形成一份能够达成以上目标的智能运维标准, 面临着以下问题。

RQ1. 智能运维行业在近几年落地工作中形成了哪些在实践上的共识?

RQ2. 现有的标准能够解决智能运维落地过程中的哪些問題?

RQ3. 智能运维实践过程中还有哪些问题需要通过标准化来解决? 标准应涵盖哪些内容?

作为国家智能运维编制组的核心成员, 为推动智能运维在国内的标准化工作, 本文作者针对以上研究问题对人工智能技术在 IT 运维领域的工程化实践现状以及相关规范标准进行了调研。对国内智能运维行业所处的阶段、各单位开展智能运维能力建设时的关注点等方面进行初步研判, 并依据调研结果提出用于智能运维能力建设的标

准框架. 为智能运维领域的研究和落地工作者提供寻找研究方向和实践落地的参考, 同时也为其他领域人工智能的实践落地和标准化工作产生借鉴意义. 本文的主要工作包括以下内容.

(1) 调研国内多家企业的智能运维工程化实践情况. 本文分别从多个行业的智能运维实施单位和提供智能运维工具方案的厂商单位调研了各单位智能运维工作的实施状况、遇到的难点、未来提升的方向和计划, 以及对于智能运维标准的诉求. 对当前各行业智能运维实践的整体现状做出阶段性的总结, 为智能运维标准化工作以及智能运维领域的后续研究方向给予相关的价值参考.

(2) 梳理国内外与智能运维相关的现有标准. 通过调研国内外各主流标准组织目前已发布的相关标准, 梳理了现有与智能运维相关的标准体系和具体标准内容, 明确现有标准对目前智能运维实践能起到的作用, 作为智能运维国家标准的设计依据.

(3) 基于对智能运维实践和标准化现状的调研结果, 本文提出了一种针对智能运维能力建设的标准框架 AIOps-OSA, 标准框架给出了标准内容的主要构成但不涉及标准中的具体要求, 不同的标准组织可以标准框架为基础根据组织需要制定具体要求形成标准. AIOps-OSA 从企业建设智能运维能力的角度出发列出了在组织治理、场景实现和能力构建上的关键点. 标准编制组织能以此标准框架为基础, 对框架内各项要点提出具体的规范要求, 形成具有指导作用的智能运维标准规范.

本文第 1 节介绍智能运维领域的整体趋势以及学术研究进展. 第 2 节介绍对国内多家企业智能运维实践现状的调研总结. 第 3 节介绍目前已公开的智能运维相关标准. 第 4 节介绍标准框架 AIOps-OSA. 第 5 节总结本文的工作, 并对后续标准化的工作提出展望.

1 智能运维的行业趋势与学术研究进展

1.1 智能运维的行业趋势

图 1(a) 与图 1(b) 分别为 Gartner 在 2021 年发布的全球 I&O 自动化成熟度曲线^[12]以及中国 ICT 技术成熟度曲线^[13], 其中智能运维技术在两图中以方框标出. 从曲线上来看, 智能运维技术在全世界整体上仍处于通胀预期阶段的顶峰之前, 随后可能会在 5 到 10 年内达到生产力高原的阶段. 与全球智能运维技术成熟度整体趋势不同, Gartner 在 2021 年发布的中国 I&O 自动化成熟度曲线中, 智能运维已经跨过了通胀预期阶段的顶峰并处于下滑阶段. 由此可见国内智能运维技术成熟度相较全球处于前沿水平, 但这也表明国内智能运维行业在前期过高的期望之后将进入低谷期. 从整体趋势来看, 智能运维平台可能会在 2 到 5 年内达到最终成熟的实质生产阶段, 而国内智能运维技术成熟度相较于全球处于靠前位置, 会更快地到达实质生产阶段.

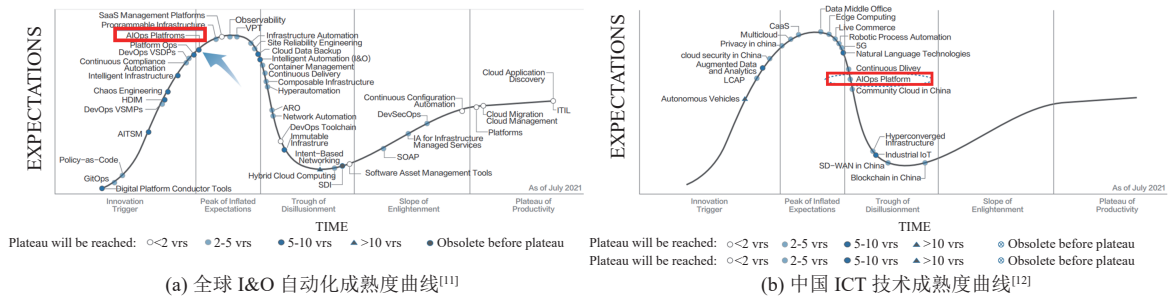


图 1 2021 年 Gartner 技术成熟度曲线

多数企业内部已经投入成本组建专职团队, 负责企业内的智能运维能力建设. 中国信通院 (CAICT) 的行业调研报告^[14]显示, 智能运维已成为大部分企业优先关注和投资的对象. 近 3 年中, 将近 4 成受访企业在运维方面年平均投资规模超 5000 万元. 国际数据公司 (International Data Corporation, IDC) 在 2021 年 10 月发布的国际 IT 运维分析的相关预测报告^[15]中预测在 2021 至 2025 年间, IT 运维分析相关软件领域的市场复合年增长率 (CAGR) 为 9.8%, 其中传统预置型运维产品的增长几乎停滞, 其复合年增长率仅为 2.1%, 而公有云相关的运维产品则保持

着较高增速,其复合年增长率为 20.4%。IDC 在报告中指出,随着公有云的发展,未来基于公有云基础的智能运维产品占比会不断上升。国内公有云市场相比于全球也保持着较高的增速,在 2020 年,国内公有云整体市场规模达到 193.8 亿美元,同比增长率为 49.7%,远高于全球的 24.1%。可以推断,未来国内智能运维平台在公有云领域将会有较高的发展。

综上所述,智能运维技术目前处于实际部署阶段,行业回归理性并且需要输出实质的生产效果;而同时,各企业开始进一步投入成本开展智能运维能力的建设,在创造价值的同时也迎合了国家数智化转型方针。未来两年是智能运维关键的两年,需要攻克智能运维技术在落地过程中遇到的各种挑战,使其达到最终成熟的实质生产阶段。

1.2 智能运维的学术研究进展

根据文献 [16,17] 对智能运维相关论文的数量统计,学术界对于智能运维这一领域的关注度近年来呈现逐渐上升的趋势。在 2016 年智能运维的概念由 Gartner 提出后^[2],故障检测、故障预测这两方面的论文显著性地增多。文献 [16] 将现有论文中智能运维的使用场景分为了以下两个领域:故障管理和资源配置,如图 2 所示。其中故障管理指用于最小化故障带来的现象或影响的相关技术,其可被进一步划分为主动式的故障管理(包括故障预防和故障预测)和被动式的故障管理(故障检测、根因分析和故障补救)^[18];资源配置指研究如何分配功耗、计算、存储和时间资源以优化 IT 服务的资源配置^[19],其包括了资源整合、资源调度、功耗管理、服务组合、负载预测等使用场景。根据文献 [16] 对以上场景的统计,超过 60% 的论文与故障管理有关,而绝大部分论文集中在故障检测场景(33.7%),根因分析场景(26.7%)和故障预测场景(26.4%)中。

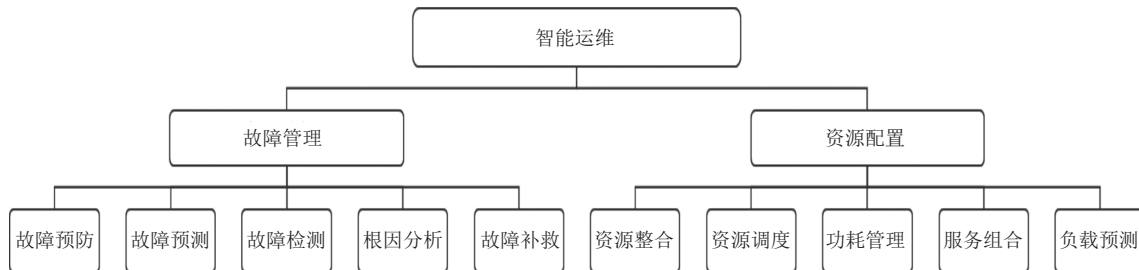


图 2 智能运维现有论文的使用场景分类^[16]

文献 [17] 将现有论文中智能运维的落地实施过程归纳为 4 个阶段:对各种类型数据(指标、日志、调用链、配置文件、工作流和多媒体数据)的数据获取;对收集数据的数据预处理;定义可用于统计或机器学习的数据特征;使用人工智能算法实现故障处理模型,并对分析结果进行可视化展示。此外,文献 [17] 中也提到实施过程中相关运维工具(如 BigPanda、Dynatrace)也能够提高智能运维落地实施的效率。

在多篇综述性研究论文的总结^[7,17,19,20]中,学术研究侧所认知到的智能运维面临的挑战包括以下几个方面:(1) 首先,几乎所有文献都提到了数据质量问题,包括噪声、样本不均匀、数据不规则等多个问题导致难以训练有效的模型;(2) 实施层面上的技术问题,包括如何将离线的程序工程化封装为在线实时的服务、如何将针对一个系统的智能运维算法模型迁移应用至其他系统上、算法模型的可控性等;(3) 场景构建层面的问题,如传统运维人员与人工智能专业人员之间存在知识差异、算法模型的有效性随系统变更逐渐失效、系统结构复杂难以建模等。

与上述挑战对应,在提到未来趋势的综述性论文中,智能运维的未来研究方向包括:(1) 针对运维本身的特殊性,建立智能运维领域的基准数据集^[19,21];(2) 利用多种运维数据类型,使用多模态方法(multimodal approaches)对运维数据进行分析^[7,18,21];(3) 将智能运维技术适配于虚拟化技术的运维对象(如虚拟机监视器、虚拟机、容器等)等一些更为复杂的运维场景^[18,21];(4) 进一步实现故障的根因分析和自动修复,实现真正的自动化智能运维^[7,17,21]。

2 智能运维实践现状调研

为了解答本文提出的研究问题“RQ1. 智能运维行业在近几年落地实践工作中形成了哪些在实践上的共识”,我们与多名智能运维领域专家对国内各个行业实施智能运维的单位开展了问卷调研,以期对人工智能技术在智能

运维领域的工程化实践现状进行阶段性的总结.通过对问卷调查结果的统计分析,提炼各行业在智能运维落地实践方式、成功实施经验、实施难点和对智能运维标准的诉求等方面的共识,为智能运维标准设计提供参考.同时,智能运维领域的同业人员能够通过本文的调研结果了解自身在行业中所处的位置,而相关研究人员也可以将这些调研结果作为背景依据,寻找当前智能运维实践中急需解决的研究问题.

2.1 调研方法

2.1.1 调研对象

我们在调研过程总共收集了 60 家单位的智能运维实践现状,调研单位主要分布北京、上海、广东、安徽、四川、浙江、吉林、西藏、河北、广西、贵州、河南、湖北、江苏、青海、山东、山西、云南、福建、重庆等地区.涉及的单位主要来自银行、证券、保险、能源、运营商、交通运输、制造商、互联网、研究院、政府机构等,图 3 和表 1 展示了本文调研单位在地区以及行业上的分布.

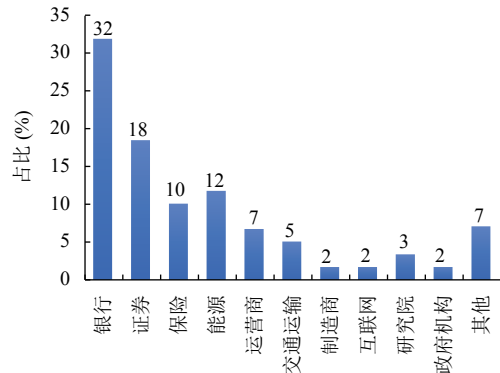


图 3 调研单位行业上的分布

表 1 调研单位分布情况

数量	分布情况
>10	北京、上海
6-10	广东
<6	安徽、四川、浙江、吉林、西藏、河北、广西、贵州、河南、湖北、江苏、青海、山东、山西、云南、福建、重庆

除实施智能运维的单位以外,本次调研也收集了 12 家从事智能运维相关领域的专业化公司的调研反馈,这些公司为智能运维的实施单位提供解决方案和工具平台.而从这些公司收集反馈能够让我们从厂商的视角了解智能运维的发展情况,以及在他们视角下用户方的诉求和用户方选择厂商开展智能运维系统建设时的关注点.

2.1.2 问卷设计

为达到“把握各行业智能运维实践落地的总现状”和“为智能运维标准化提供有用的信息”这两个目标,我们对“RQ1. 智能运维行业在近几年落地实践工作中形成了哪些在实践上的共识”进行问题分解,并提出以下子研究问题,针对这些子问题设计调研问卷中的具体问题.通过让各单位根据自身实际情况填写问卷,全面地了解各单位智能运维实践的现状、对智能运维的认知和对智能运维标准的诉求.

● RQ1.1. 各单位智能运维能力是怎样形成的?

此问题目标在于了解各单位是如何建立各自的智能运维能力.我们设计了以下具体问题要求被调研单位填写:单位对于智能运维能力建设的出发点;智能运维团队现状,包括智能运维团队的规模(总人数和运维平台研发人员人数)、团队的组织形式(专职团队、虚拟团队或是分散建设)、团队的管理(是否有组织方针、激励机制等);智能运维平台现状,包括智能运维平台的开发方式(商购、自研或共研)、采购智能运维平台的依据(对于厂商方,此问题为愿意售卖平台给实施方的依据).对于一些可能存在多个要素的问题(如智能运维能力建设的出发点),我们在问卷中要求将要素按照重要程度从上往下逐项列出,以明确问题中各个要素的优先级.此外,我们在问卷中额外设计了“智能运维目前处于一个什么样的阶段?”这个问题,希望通过收集各方对于这个问题的认知,形成一个统一答案.

● RQ1.2. 各单位智能运维场景实现的现状如何?

智能运维的落地实践围绕智能运维场景展开,为了能够了解各单位智能运维场景实现的整体情况,我们在正式问卷调研前开展了一次预调研,收集各单位列出的已实现场景,最终统计得到 28 个智能运维场景.随后在正式的问卷中我们将这些场景以表格的形式列出,要求各单位勾选各个场景目前的实施状态(已实现/正在实现/计划实现).

智能运维场景实现的经验总结是智能运维标准设计的重要依据. 因此我们也在问卷中分别设计了对应的问题, 要求各单位逐项列出在场景落地过程中遇到的难点、解决方案(包括单个场景的落地难点和推广智能运维场景的难点)和场景成功实施的原因(厂商方问卷中该问题为相同智能运维场景下实施方成功的主要特征).

● RQ1.3. 各单位未来在智能运维上提升的方向和计划有哪些?

除了规范现有的智能运维实践落地工作, 智能运维标准也应能够指导各单位后续工作的展开. 因此在调研问卷中我们设计了两个问题要求各单位分别列出各自在智能运维落地上目前迫切需要提升的方面、目前已计划在未来两到三年内在智能运维领域开展的工作和希望达到的效果.

● RQ1.4. 各单位对于智能运维标准的期望和诉求是什么?

为了解各单位对于智能运维标准的诉求, 我们要求各单位列出期望智能运维标准能够为企业的运维带来的帮助. 此外我们也在问卷中设计了一道开放题尝试去收集各单位对于智能运维标准研制、应用和推广的建议.

2.1.3 数据收集与分析

问卷调研以线上调研的形式组织进行. 考量到问卷答案的机密性, 我们没有采用在线的问卷表格, 而是分别联系到各单位运维团队的负责人, 将问卷文件以邮件的形式发送. 发送问卷文件时我们要求各运维团队组织整个团队经过讨论提供符合团队现状的结果.

对于收集到的文件结果, 除了本文作者外, 我们额外邀请了 10 余位智能运维的领域专家参与了对问卷数据的分析. 这些领域专家来自各个被调研单位(由各单位推荐参与问卷数据的分析), 多为各单位智能运维项目的项目或技术负责人. 在数据分析过程中, 我们尽可能地避免让领域专家评审其所属单位的问卷答案, 并且不透露其评审的问卷答案属于哪家单位. 我们对问卷数据的分析主要采用了描述性统计分析方法, 问卷数据的具体分析工作包括以下内容.

(1) 问卷有效性的评审: 对于每一份提交的问卷答案, 我们让至少 2 名专家对答案进行评审, 判断文件中各个问题的答案已填写且有效. 如果发现问卷答案中存在漏填题目、答案的文字描述不明确等情况, 我们会联系对应的被调研单位对问卷答案内容进行补充.

(2) 简答题答案分析: 在问卷的数据分析过程中, 每一道简答题都会有 3 名专家分别对所有单位的答案进行文字梳理, 将这一题的答案划分为几个类别. 3 名专家将各自的划分结果交叉检验, 并讨论形成最终分类结果. 最后在问卷数据分析结果的评审会议中, 每一道题的负责专家将论述以上分析整合过程, 争议性较大的问题会经过全体人员的进一步讨论得到最终结果.

(3) 选择题的“其他”选项处理: 在我们设计的选择题中, 若存在问题提供的几个选项不符合被调研单位的情况, 我们保留了“其他”选项以方便被调研单位填写符合他们的情况. 与对简答题的答案分析一样, 每一道包括“其他”分类选项的选择题将由 2 名专家人员进行选项的归纳总结, 答案的归纳过程也会在分析结果的评审会议中进行审核.

(4) 问题结果统计: 经过以上的数据预处理, 最后我们将问卷中每道题的答案进行分布统计, 得到各个选项/答案分类的占比. 对于可能包含多项答案的问题, 在除了统计每一项答案的出现次数之外, 对于有要求进行优先度排序的问题, 我们也统计了各选项在答案中排序第 1 的次数.

本次调研的调研对象同时包括了智能运维的实施方和提供智能运维平台的厂商方, 对于一些针对智能运维场景实现的问题(如实现了哪些智能运维场景和实现过程中的难点), 我们对实施方和厂商方的数据进行分开统计, 以了解不同角度下对智能运维实践的认知.

2.2 智能运维的能力建设现状

2.2.1 智能运维当前处于什么阶段?

在调研中所有的调研单位都认为, 智能运维已不是“初生的婴儿”, 而是陆续进入场景尝试、应用落地甚至向复杂场景拓展的成熟性阶段. 其中, 30% 的单位认为智能运维已经到了向更复杂、难度更大的场景进行拓展的成熟推广阶段; 50% 的单位认为智能运维目前处于在将运维场景落地到运维工作中的应用落地阶段; 20% 的调研单位认为智能运维处于单场景尝试的探索阶段. 这说明, 智能运维已逐渐被各行业用户接受且普遍进入了应用实践的阶段, 但实践程度各有不同.

2.2.2 智能运维能力建设的出发点

在调研中我们让调研单位列出智能运维能力建设的出发点,统计结果如图4所示。企业进行智能运维能力建设的出发点主要聚焦在以下3方面:(1)贯彻执行组织的数智化战略;(2)解决传统运维短板,满足运维创新;(3)持续提升运维活动质效,解决复杂环境下的运维保障问题。除此之外,问题定位和质量评估、应对未知问题及严格监管要求等也是开展智能运维体系建设的实际诉求。

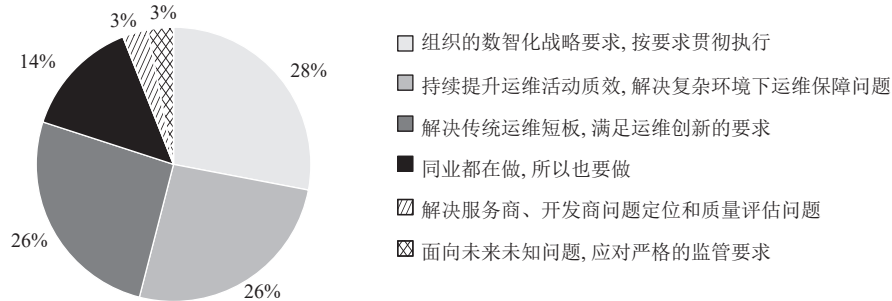


图4 智能运维体系建设的出发点诉求占比

而根据各单位对各个出发点的优先级排序统计结果,以上出发点中“持续提升运维活动质效,解决复杂环境下运维保障问题”属于最高优先级,其次为“解决传统运维短板,满足运维创新的要求”。而数量占比最高的“贯彻执行组织的数智化战略”和“同业都在做,所以也要做”的原因优先度都比较低。说明解决现有生产运维实际痛点问题仍然是智能运维能力建设的主要出发点。

2.2.3 智能运维的组织治理和平台建设现状

在组织治理方面,被调研的实施方单位中70%已制定了智能运维相关的组织战略与管理方针。94%的实施方单位都设置了运维研发人员(运维平台和工具的研发人员),其中所有的金融企业都配备了运维研发人员。有关运维研发的团队模式,配备专职运维研发团队的单位占有所有单位的39%,配备虚拟团队的占37%,剩下的18%采用分散建设的方式。运维研发人员在团队的占比总体偏低,在提供占比数据的单位中,86%的单位运维研发人员占比低于25%,56%的单位运维研发人员占比在10%以下。60%的单位为组织建立了配套激励机制,以开展培训和交流活动为主。

运维平台的建设方面,实施方智能运维平台采用自研、商购和共研占比分别是40%、36%和24%,其中41%的企业通过多个平台支撑智能运维场景落地,37%的企业建设了统一的智能运维平台。通过对厂商方的调研,我们发现用户方选择厂商的因素主要包括4个方面:(1)具有清晰可落地的智能运维体系建设咨询规划能力(23%);(2)具有智能运维领域丰富的项目实施经验(23%);(3)配备专业背景强、技术能力精深且供给充足的实施人员(18%);(4)具有运维数据治理和运维数据管理能力(15%)。根据调研问卷中对以上因素的优先度排序结果,我们发现67%的厂商认为实施方会更加看重厂商是否具有“清晰可落地的智能运维体系建设咨询规划能力”,并没有将“具有智能运维领域丰富的项目实施经验”作为优先要素。由此也反映出目前市场上缺乏具有丰富智能运维体系建设经验的厂商,项目经验难以构成竞争优势。另一方面说明现阶段智能运维体系建设仍处于探索与应用阶段,多数用户对智能运维体系的建设方向和应用需求较为模糊,需要厂商来协助“开个好头”,得到清晰可描述的落地需求并携手构建长久发展框架。

2.3 智能运维的场景实现

2.3.1 已实现的智能运维场景

实施方在各自单位目前已实现的智能运维场景的统计结果如图5所示。从图5中可以看出目前已经实现最多的5个运维场景(生产系统异常检测、运维行为审计、IP访问黑白名单、漏洞检测、威胁IP检测)大多是可以利用规则匹配方式实现的低难度运维场景,调研的60家单位中超过30家单位覆盖了这些场景。这些智能运维场景表现出来的特点为:安全类场景、通过规则可实现、多数属于数据异常检测。而实现最少的前5个运维场景(故

障自愈、异常根因分析、投产变更智能授权、故障预测、故障影响分析) 都是高难度场景, 目前只有 5-7 家单位覆盖了这些场景。

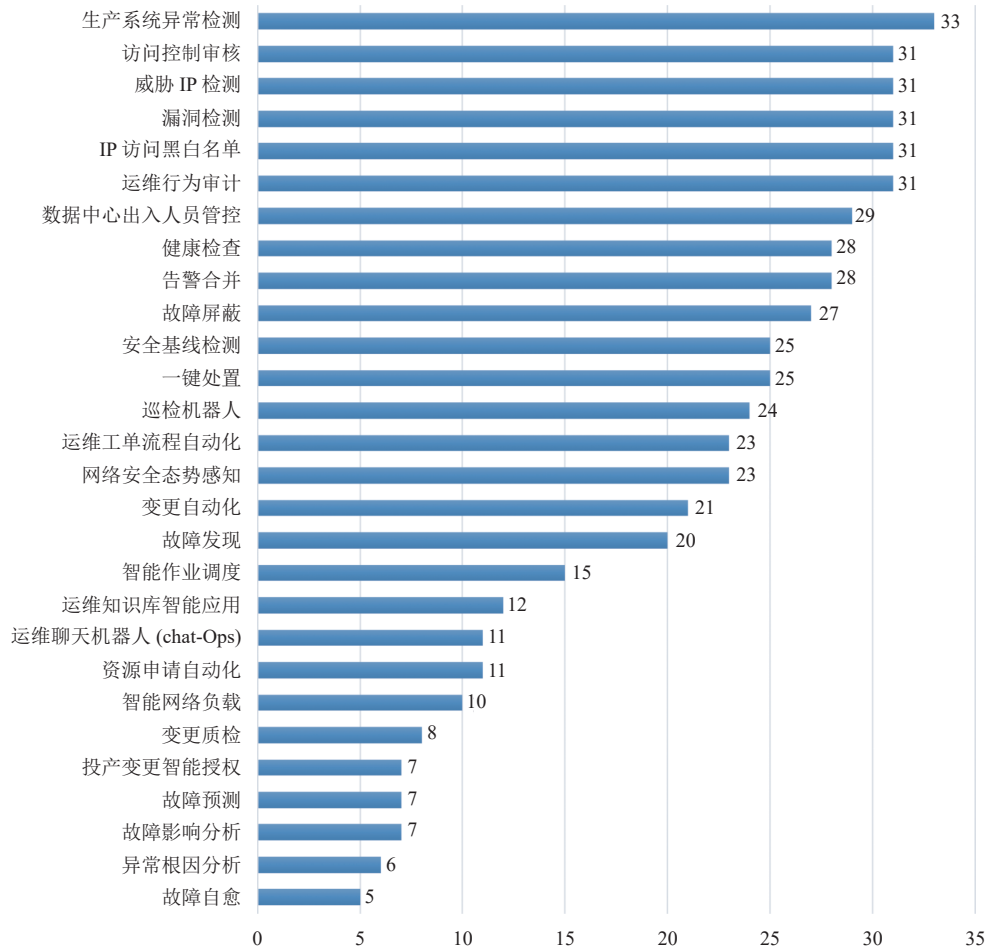


图 5 实施方已实现的智能运维场景统计

图 6 展示了统计结果中各个行业在上述 28 个运维场景中实现的场景数量占比, 互联网行业已实现的智能运维场景最多, 达到 93%, 其次是银行和保险行业, 达到 61%; 政府机构和制造商已实现的智能运维场景最少。不同行业实现场景数量的差异也体现出了智能运维场景与实际系统运维需求的强关联性: 互联网、银行、保险行业均具备处理业务应用系统数量多、实时性要求高、系统容错性要求强等特征, 因此需要更多自动化智能化运维工具保障应用系统稳定性和可靠性; 而政府机构和制造商中的信息化系统主要是业务辅助系统, 实时性要求低, 对自动化智能化运维工具的需要不是特别迫切。

图 7 为厂商方已实现并已在客户完成场景落地的智能运维场景数量统计。其中, 异常检测场景实践占比最高, 达到 19%; 其次是多层级根因定位场景, 占比达 18%; 问题预警排名第三, 占比达 11%。三者合计占比达到 48%, 接近总实践场景数量的一半。

图 8 为厂商方对于以上智能运维场景落地的行业分布。可以看到在整体占比分布中, 银行、证券、保险、能源、运营商、政府机构等行业领域的合计占比达到 83%, 远高于制造商、交通运输等行业领域。另外, 互联网行业更多的是以自研为主, 因此与外部厂商开展智能运维场景落地的合作不多, 在合作的场景分布占比方面仅占 3%。从行业分布数据来看, 分布占比较高的大都集中在日常运维投入大、业务稳定性要求高、监管要求严、故障容忍

度低、面向广泛的外部客户的行业, 这些行业的运维体系建设相对比较成熟, 有较多的数据积累, 并且对安全性、稳定性、时效性的需求迫切。

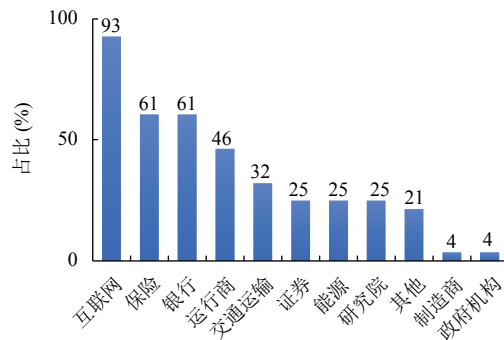


图6 28个已实现场景各行业平均已实现场景占比

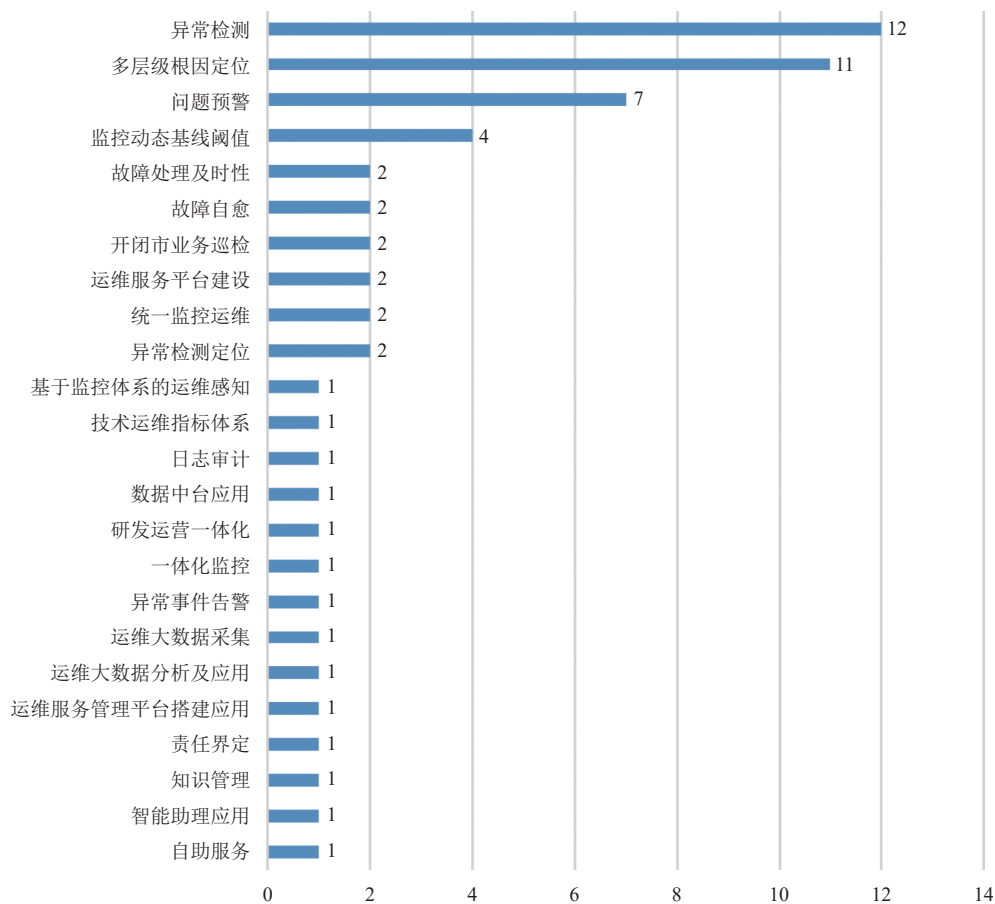


图7 厂商方已实现的智能运维场景统计

虽然各行各业的运维工作特征差异较为明显, 但其本质与根本工作目标仍然是保障系统的稳定性, 因此在实践具体智能运维场景时不可避免地趋向聚焦在跟稳定性强相关的异常检测、根因定位、问题告警预警等运维活动领域。这也说明在日趋复杂的运维背景下, 如何从海量的告警信息中快速定位故障及找到问题的根源, 并迅速协调运维团队实施故障协同处置是当前智能运维场景应用关注的重点, 也是目前各行业面临的痛点。而将实施方与

厂商方已实现智能运维场景的统计结果与第 1.2 节所述的学术研究进展比较后可以发现, 目前能够落地实现的学术研究仍然是以异常检测这一类问题明确、场景简单的研究为主, 对于较为复杂的智能运维场景, 即便已有相关研究目前也较难应用于生产环境中。

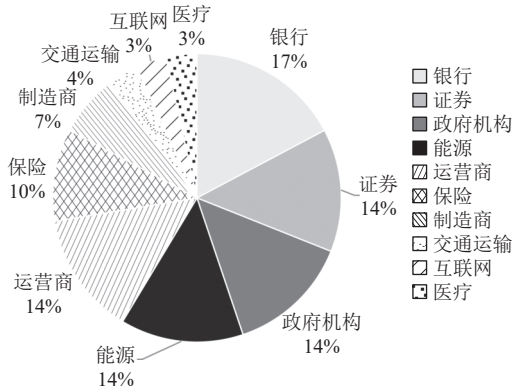


图 8 厂商方智能运维场景落地行业分布

2.3.2 成功实施的主要特征

我们让厂商方列举了在智能运维场景落地方面取得成功用户的主要特征, 目前已成功实施智能运维场景的实施方案大都具备以下 3 方面特征: (1) 成熟的运维管理基础, 如成熟且使用良好的配置管理数据库 (configuration management database, CMDB)、监控、自动化、流程体系等 (34%); (2) 丰富且高质量的运维数据积累, 如数据覆盖面较全, 已开展运维数据治理等 (33%); (3) 广泛的场景性驱动需求, 如明确的消费需求, 清晰的场景描述等 (25%)。其他还有技术平台完备性与人员配备充足性等方面, 但相对来说并不是其主要特征。

2.4 智能运维的实施难点

2.4.1 实施方认为的实施难点

通过收集整理实施方所反馈的智能运维实施过程中的难点, 我们发现在建设智能运维体系的过程中遇到的最主要的难点包括以下几个方面: 首先, 几乎所有的单位都提出运维数据质量是难点之首, 包括数据采集、数据质量的保障、异构数据的统一化标准化、完备的指标体系等多方面的问题, 需要通过体系化的方式内建运维数据质量管理能力; 其次, 智能运维技术人员缺乏, 智能运维对技术人员的综合要求高, 传统运维人员能力与智能运维建设要求匹配度不高, 缺乏专业的工具研发和数据分析人员, 或是既懂算法模型又懂运维场景的复合型人才; 第三, 智能运维的场景落地难, 智能运维的建设仍处于探索过程, 没有可以充分参考的成功案例, 并且需要在庞大、需求各异的业务系统中挖掘合适的智能运维场景。此外, 还有资源投入限制、算法工程化落地和适用性, 缺乏有效评估手段等问题。

2.4.2 厂商方认为的实施难点

由于厂商方会参与多家用户的智能运维实施过程, 我们从厂商方收集到的在智能运维场景落地与应用推广过程中常遇到的问题类型较多, 如图 9(a) 所示。其中运维数据方面的问题较为突出, 占比达到 25%; 其他的问题包括智能运维的显性价值低、各行业开展智能运维建设的体系不完整、对智能运维认知上的不统一等方面。我们将上述问题集中归结为: 运维管理基础差、预期不一致、认知不统一、需求不准确这 4 个方面, 最终得到图 9(b) 的汇总结果。其中运维管理基础差占比达到半数, 是整个智能运维场景落地与应用推广过程中所碰到的主要问题; 而预期不一致、认知不统一、需求不准确等方面的问题也或多或少地是由于运维管理基础差所造成的, 导致整个落地与推广过程中实施方与厂商方难形成合力。

上述实施方和厂商方面临的难点中, 运维数据质量是当前最首要的问题。我们对这一部分进行了进一步归纳, 对目前智能运维实施过程中存在的运维数据管理问题总结如下: (1) IT 基础数据不全、数据质量不高, 导致智能运维分析结果不准确; (2) 数据来源广泛、标准差异大, 导致数据分析与数据应用的全面覆盖度不够; (3) 缺乏完备的数据指标体系和指标定义, 导致数据利用率和数据价值贡献不高; (4) 数据积累不足, 导致智能运维场景拓展有局限。

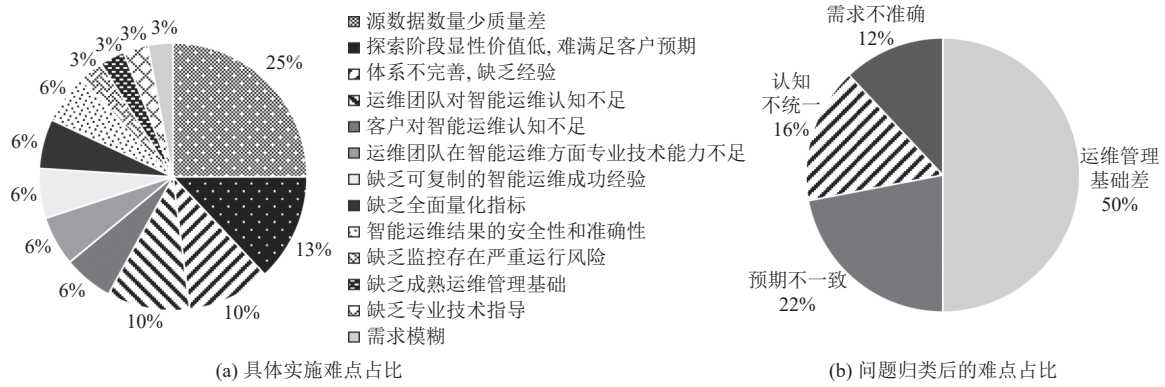


图9 厂商方遇到的智能运维实施难点

由于人工智能算法是智能运维的核心技术,我们也整理了实施难点中与算法相关的描述并进行分类,其中包括(1)运维知识沉淀不足、运维场景总结不够,导致算法决策能力较弱,无法真正做到赋能业务、赋能运维;(2)智能运维算法的精准度和稳定性直接决定了智能运维的效果,现有算法的决策需要大量的人工辅助;(3)系统架构复杂、运维场景多变,各类疑难杂症都需要借助智能运维的辅助分析与决策能力提升运维精准度。这些难点也与实施方和厂商方提到的“运维场景没有参考依据,落地困难”“智能运维场景求提出不准确,导致智能运维场景建设与实际应用有偏差”的情况相吻合。而结合前述成功建成智能运维体系的用户特征中,用户方提供“准确的需求”占比仅为25%,且占比排名并不领先。这种对比矛盾,实际上更多地指向了实施方运维组织管理的成熟程度。一方面,提出准确的需求要建立在成熟的运维管理基础之上;另一方面,没有成熟的运维管理基础,自然就难以建立起标准化的运维活动机制并进行运维数据沉淀,也导致了没有高质量的运维数据积累。

2.5 智能运维的未来提升的方向和计划

在实施方反馈的后续智能运维工作中,不同客户受能力建设的约束,对未来的希望有所不同,但都倾向于保持目前智能运维建设的延续性和持续深化。目前随着智能运维工作开展的越深入,运维数据在运维中的重要性越来越凸显,对数据治理的需求更加强烈。不少单位表示已经开展新一轮的CMDB重塑工作,在实施数字化转型的同时也满足智能运维对运维数据的消费需要。夯实基础的被调查用户已经开始着手建设运维洞察能力,并期望在未来2-3年中产出效果。除数据治理外,未来的智能运维体系建设也将聚焦在巩固运维管理的基础上,包括构建全面量化的指标体系、快速发现和解决场景化方面的问题、实现人数交互方面的自动化等。

厂商方则关注于协助实施方加强运维管理基础、AI算法优化、运维模式创新等方面,如智能运维场景多模态分析、智能运维的知识应用、智能分析结果下的自动化联动、持续性运维数据治理等。厂商方也期望能够与实施方持续合作,共同发展,在理念意识、基础构建、协同沟通、目标期望等方面达成一致。

2.6 对于智能运维标准的诉求

在调查文件中我们收集了实施方和厂商方对于智能运维标准的诉求。调研结果发现,实施方期待智能运维标准对企业运维能带来的帮助主要包括以下3个方面:(1)增强单位在智能运维领域的规范性及其运维服务能力,占36%;(2)为单位的运维数字化转型起到积极作用,占31%;(3)在标准的应用和推广过程中,促进单位之间在落地场景或实践案例的分享和交流,占30%。厂商方对于智能标准的期待则集中在以下3点:(1)实现运维层面的业务价值;(2)提升运维管理能效并解决实际问题;(3)实现自动化决策分析。以上3点在调研中占比基本持平。

从调研结果可以看出,以业务价值为导向,构建统一规范的智能运维服务能力是目前对智能运维标准的首要诉求。智能运维标准需要能够协助企业运用算法进行准确的分析,解决实际的运维场景问题,实现自动化,提升运维管理能力和管理效率。

2.7 智能运维的整体实践现状

结合本文第1节中对智能运维当前研究进展的概述和上文对目前各行业的实践现状调研结果,我们对智能运

维实践的整体现状总结如下:随着数字化转型的深入,数据中心正在面临着 IT 规模快速膨胀、系统架构日趋复杂、自主可控要求日益突出等众多挑战,智能运维已经成为“刚需”。基于先前在人工运维和自动化运维的运维管理基础,以及对运维数据一定程度上的积累,一些企业已经能够实现部分简单的运维场景。然而由于在早期的运维数据治理方面没有给予足够的重视,随着运维数字化程度越来越高,当企业要落地智能运维场景时,没有高质量数据的问题便逐渐显现。除数据问题以外,对智能运维场景的理解不透彻、人才储备不充足等问题也对企业进一步开展更为复杂的智能运维场景的落地工作带来困难。从整体能力建设的角度来看,以上问题体现出企业在建设智能运维能力时系统性、预见性和创造性不足,以及在实施策略、人才储备、配套机制等方面尚有欠缺。当前,各企业已经普遍认识到这个问题并开始着手解决,同时也期待智能运维标准能够帮助他们形成统一规范的智能运维服务能力。

3 智能运维的标准化现状

为了解答本文提出的研究问题“RQ2. 现有的标准能够解决智能运维落地过程中的哪些问题”,我们依据国内外主流标准组织(如国际标准组织 ISO,国际电信联盟 ITU、中国电子工业标准化技术协会 CESA 等)目前已公开发表的运维和人工智能的现有相关标准,梳理了目前现有运维领域、人工智能领域以及智能运维领域标准化现状,分析现有标准对于智能运维研究工作落地、智能运维场景实现和智能运维体系建设中起到的作用。

3.1 运维相关的现有标准

国内信息技术相关的国家标准与行业标准的研制工作由信息技术服务标准体系 ITSS (IT service standard) 主导推动。在运维方面,ITSS 4.0+框架中服务管控运行维护部分的国家标准 GB/T 28827.1《信息技术服务 运行维护通用要求》^[22]仍然占据市场主流。该标准围绕人员、过程、技术、资源这 4 项能力要素提出了具体要求以及评价指标,建设“策划-实施-检查-改进”的能力管理体系,指导主流的运维企业构建运行维护服务能力体系。基于 GB/T 28827.1 通用要求,国标 GB/T 28827.2~6^[23-26]分别对交付、应急响应、数据中心服务和应用系统服务中涉及的具体运行维护工作提出要求,ITSS 内部标准^[27]则基于以上标准给出运维能力服务成熟度的评估标准。此外,国标 GB/T 33136^[28]借鉴 CMMI (capability maturity model integration) 和 COBIT (control objectives for information and related technology) 等模型提出了数据中心运维服务能力成熟的标准,针对 33 个数据中心管理能力项的关键活动提出要求,并最终给出 5 个等级的服务能力成熟度评级;国标 GB/T 38633^[29]提出大数据系统的运维和管理要求,列出了安装部署、监控告警、服务管理等多个方面涉及的具体运维活动。

国际标准方面,国际标准组织发布的 ISO 20000 是目前普遍公认的 IT 服务运维管理标准系列。ISO 20000 目前共有 7 个标准:ISO 20000-1^[30]是 ISO 20000 系列的认证标准,其定义了 IT 服务的运维管理系统所需要具备的具体功能需求,并对规划、设计、使用、改进整个运维管理系统提出了具体的要求规范;ISO 20000-2^[31]为 ISO 20000-1 的各项功能要求给出具体解释说明;ISO 20000-3^[32]和 ISO 20000-5^[33]对 ISO 20000-1 所规约系统的实现和使用过程给出建议;ISO 20000-6 对 ISO 20000-1 补充了认证和审计部分的需求;ISO 20000-11^[34]与 ISO 20000-12^[35]将 ISO 20000-1 中定义的具体要求分别与目前主流的运维实践模型 ITIL (information technology infrastructure library) 和 CMMI-SVC (capability maturity model integration for services) 中的过程和能力描述进行对齐;ISO 20000-10^[36]对整个标准系列的构成和术语定义进行了整理。除 ISO 20000 系列以外,ISO 33054^[37]列出了 IT 服务运维系统 33 个使用场景的过程模型,明确使用过程的步骤和输入输出,并列出了过程模型中所涉及的 ISO 20000-1 中的功能点;ISO 33074^[38]按照过程评估标准 ISO 33004^[39]对 ISO 33054 的各个过程模型建立评估标准。

与 ISO 20000-1 类似,欧洲电信标准化协会 (ETSI) 提出了 ETSI GS NFV-MAN 001^[40]和 ETSI TS 128 530^[41]两项标准,分别针对网络功能虚拟化 (NFV) 部分和 5G 网络中诸如网元管理、基础设施管理、网络切片管理等细分使用场景提出了具体的功能性需求。在以上两项标准的基础上,ETSI 以自动化网络运维为目标建立了新标准组 ETSI ZSM, ETSI GS ZSM-001^[42]与 ETSI GS ZSM-002^[43]分别列出了自动化网络运维的功能要求和参考架构;ETSI GS ZSM-007^[44]整理了自动化网络运维过程中的术语和定义。

国际电联 ITU 的运维标准围绕通信网络中的通信管理网络 (telecommunication management network, TMN) 展

开, ITU-T M.3010^[45]就 TMN 的目标、功能模块、功能结构提出了总体要求; ITU-T M.3400^[46]在性能、故障、配置、审计、安全 5 个方面提出具体的功能要求; ITU-T M.3070^[47]针对云架构系统的产品、服务、资源管理提出功能要求; ITU-T M.3040^[48]以 TMN 的自动化运维为目标, 针对线上巡检、服务激活等常见场景提出功能模块要求和自动化过程规约, 并以 M.3040 为基础在标准 ITU-T M.3041^[49]进一步提出运维框架 SOMM (smart operation, management and maintenance), 将其将 TMN 的自动化运维功能分为场景应用、管理服务、数据管理和基础设施管理 4 层。

以上的运维标准面向传统的人工 IT 运维提出功能性和流程性上的要求, 其中一些标准提出了对自动化运维能力的要求。目前绝大多数有能力实施智能运维的企业通常都能够满足以上标准中的要求甚至已经通过了一些标准的评估。而对于不能满足以上标准的企业, 其运维数据治理能力基本也难以支持人工智能技术, 这些企业应遵从“传统运维→自动化运维→智能运维”的实施路线^[50], 先以满足上述 IT 运维标准为首要目标, 而后再进行智能运维能力的建设。

3.2 人工智能的现有标准

目前国内外已形成了几十项与人工智能直接相关的现行标准。虽然目前已有组织尝试形成人工智能的标准体系, 如 ISO/IEC JTC1 SC42 人工智能标准组将人工智能标准体系划分 5 个子标准组, 《国家新一代人工智能标准体系建设指南》提出了人工智能标准体系框架等, 现有的标准仍较为零散, 难以直接通过这些框架进行整理。根据国内外现有的人工智能标准内容, 本文将分别从术语定义和系统、技术要求、质量控制和评估、场景应用这几个方面介绍目前的标准化现状。

3.2.1 人工智能术语定义和人工智能系统

目前我国 5 个现行人工智能国家标准中 4 个标准为人工智能的术语定义, 分别对人工智能的基本概念和专家系统^[51]、机器学习^[52]、神经网络^[53]和语音识别合成^[54]的相关术语给出定义。以上的标准均直接使用了 ISO 的信息技术术语标准 2382 中对应第 28、29、31、34 部分的术语定义。ISO 2382^[55]这几个部分的子标准发表年份在 1991–1997 年之间, 因此其主要整理的为人工智能领域起步阶段的相关术语的定义。

ISO 于 2021 年推行了新的人工智能概念与术语定义标准 22989^[56], 该标准将人工智能的术语和定义划分为人工智能、机器学习、神经网络、可信性和自然语言处理 5 个部分分别进行定义。相比旧版标准, 22989 涵盖了近年来主流的人工智能算法模型如卷积神经网络 (CNN)、长短期记忆网络 (LSTM)、迁移学习 (transfer learning) 等。此外定义外, 22989 也对强弱 AI、符号与非符号方法、AI 系统生命周期和生态等人工智能常见概念进行了解释。

有关人工智能系统的标准, CESA 提出了针对人工智能系统框架的团体标准^[57], 将人工智能系统划分为 8 个部分。该标准为其定义的每一个部分提出了具体的基础功能要求 (如支持对数据进行标注, 支持算法的统一注册和管理等)。与以上标准不同, ISO 提出的人工智能系统标准 23053^[58]中则把人工智能系统分为了 3 个部分: 模型的开发和使用、软件工具和技术以及输入数据。在此基础上 23053 定义了机器学习流水线 (ML pipeline), 描述了在人工智能系统上开发、部署和运营机器学习模型的过程。

除了对机器学习系统本身的考量, ISO 也将原先的大数据处理标准纳入人工智能标准体系内 (标准体系内的 WG2 大数据工作组), 包括了 20546 大数据的概述和词汇^[59]以及 25047 大数据处理的参考架构^[60]。以现有大数据标准为基础, ISO 也正在编制 5259 统计分析和机器学习的数据质量、24668 大数据分析过程管理框架和 8183 数据生命周期框架作为人工智能数据处理系统的要求^[61]。

3.2.2 人工智能算法的技术要求

ISO 标准体系的 WG5 工作组围绕人工智能系统的计算特征和计算要求开展标准相关工作。WG5 中目前已公开的标准 24372^[62]对已有的人工智能算法进行了划分, 如图 10 所示。该标准描述了人工智能系统和人工智能计算方法的计算特征, 并将人工智能计算方法分为知识驱动 (knowledge-driven) 的方法和数据驱动 (data-driven) 的方法两大类。知识驱动的方法主要由一系列基于规则的方法组成, 以专家系统为例, 其推理和决策由概念化的对象和 if-then 的规则组成, 一个存储领域专家的巨大知识库用于支撑专家系统运行。数据驱动的方法使用大量数据作

为基础,通过算法模拟人类的思考和决策过程,其包含了监督式学习、非监督式学习、半监督式学习在内的各类机器学习算法.对于上述分类中涉及的具体计算方法(如知识图谱、决策树、生成对抗网络等),标准逐一列举了各种方法的技术要点、主要计算特征和应用场景.

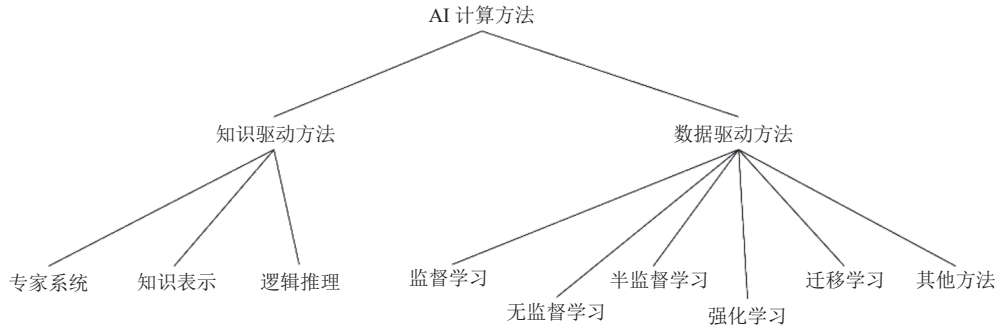


图 10 ISO 24372^[62]中对人工智能算法的划分

目前国内也已存在一部分针对人工智能系统中部分系统或者特定算法技术要求的团体标准.在 CESA 已发布的标准中,1040^[63]对机器学习的数据标准过程中数据标注流程、数据标注方式和各种类型数据的数据标注输出形式提出了要求;CESA 标准 1034^[64]对各种场景(图像分类、语音识别等)下的小样本机器学习算法的训练数据类型和数据量提出了具体要求;标准 1197^[65]、1198^[66]、1199^[67]分别对图像合成、视频图像审核、字符识别算法提出了功能和性能要求;标准 1035 给出了音视频和图像分析算法接口的格式规定^[68].国标 GB/T 40691-2021^[69]提出了情感数据计算中情感表示、识别、决策、表达的功能性要求.

3.2.3 人工智能的质量控制与评估

ISO 的 WG3 工作组围绕着人工智能系统的可信性(trustworthiness)开展人工智能系统在质量控制与评估的标准化工作.在标准 24028 人工智能可信性总览^[70]中,罗列了可能影响人工智能系统可信性的工程缺陷和典型风险,如数据污染、样本对抗性攻击、算法模型的不可预测性等.该标准以人工智能算法的透明性、可解释性、可控性、可靠性等特征作为度量标准,概述用于减轻上述威胁提高人工智能可信性的技术手段要求和测试验证方法.除 24028 外, WG3 中的现行标准 24027^[71]给出了机器学习中数据偏见的可能来源、评价方法以及处理方法;24029-1^[72]给出了神经网络算法的评估过程和评估指标.ETSI 针对人工智能的安全性建立了工作组 ETSI ISG SAI,目前该工作组仅发表了一些对于人工智能潜在威胁和缓解手段的报告文档,尚未发布过标准.

CESA 提出了多项有关人工智能质量控制和评估的团体标准:标准 1026^[73]提出了深度学习算法的评估规范,包括对深度学习算法可靠性的评估指标体系、评估流程以及在流程中各个步骤的具体活动;标准 1036^[74]参考非机器学习的软件系统,对机器学习模型的质量要素划分为功能性、可靠性、效率和维护性,并给出以上 4 个质量要素的度量指标和具体测试方法;标准 1041^[75]将人工智能服务的成熟度划分为 5 个等级,并列出了人工智能基础服务能力和人工智能业务服务能力的能力项,用于评估人工智能系统的成熟度等级;标准 1069^[76]对人工智能服务器进行性能测试时的测试方法、测试指标以及测试场景(使用的模型和数据集、实验数据等)提出要求.除 CESA 外,国家金融行业标准 JR/T 0221^[77]对人工智能算法在金融领域的应用提出了在 AI 算法精准性和性能、AI 算法可解释性以及 AI 算法安全性上的要求,并针对以上 3 点列出具体细节上的要求和对应的判定准则.

3.2.4 人工智能的场景应用

ISO 的 WG4 工作组围绕人工智能的场景应用展开.标准 24030^[78]中列出了包括农业,教育,医疗等 22 个领域共 132 个人工智能的使用场景,以展示人工智能技术可应用于多个领域内.对于每一个列出的使用场景,24030 列出了使用场景的范围、目标、用例描述、挑战、社会伦理问题等内容.其中与运维相关的使用场景仅包括了网络自动化、故障预测以及软件配置优化 3 项.通过对上述用例的分析, WG4 后续将在具体场景的具体技术要求上进一步开展标准化工作,目前已有标准 38057^[79]对使用 AI 技术进行组织管理时对数据、决策执行和风险管理等方面提出相关要求.

国内标准方面, CESA 目前已发布了多项针对特定使用场景的人工智能标准, 包括了智能助理^[80]、机器翻译^[81]、驾驶状态视频采集^[82]和养老平台语音交互^[83], 这些标准根据需要包含了用例、技术要求、服务要求、能力等级划分与评估、测试要求等内容。除 CESA 以外, 目前也有一些其他机构根据一些行业在人工智能上的需求, 发布了对特定人工智能使用场景技术要求的团体或地方标准^[84,85]。

此外, 在一些人工智能系统的使用场景中, 可能会涉及隐私、伦理问题, IEEE 的机器学习标准组 SAI 目前发布的 P7000 标准中对这类问题提出了规范要求, 包括在构建模型时考虑伦理因素 (P7000)、孩童与学生的数据管理 (P7004)、员工数据透明性 (P7003)、个人数据隐私 (P7002, P7006) 等^[86]。

3.3 智能运维现有标准

国际电联针对 5G 网络架构 (IMT-2020) 建立 SG13 标准组, 其中 Y.3170 系列标准围绕如何将人工智能技术应用于未来网络运维提出相关要求: Y.3172^[87]提出了在未来网络运维过程中使用的机器学习总体框架, 该框架描述了类似于 ISO 23053 的机器学习流水线处理过程; Y.3174^[88]、Y.3176^[89]和 Y.3179^[90]分别对 Y.3172 中描述机器学习过程中涉及的数据处理系统、机器学习应用市场、机器学习服务化提出具体的功能要求; Y.3170^[91]、Y.3175^[92]、Y.3177^[93]、Y.3178^[94]、Y.3180^[95]则对网络运维服务的特定场景 (如网络服务质量保障) 提出了功能性需求和技术要求; Y.3173^[96]根据识别业务需求、数据收集、分析、决策、机器行为映射 5 个阶段中人与系统的参与程度, 给出了从人工运维到完全无人运维的 5 个网络管理智能程度等级。此外, 在 ITU 的通信维护标准中 M.3080 提出了网络运维框架 AITOM (artificial intelligence enhanced telecom operation and management)^[97], 该框架描述了在原有运维框架 SOMM (smart operations, management and maintenance) 的技术上添加 Y.3172 的机器学习框架形成的总体技术架构。

与 ITU 类似, ETSI 同样针对网络运维场景, 建立了智能网络工作组 GS ISG ENI, 并提出智能运维的相关标准。ETSI GS ENI 005^[98]对整体运维系统框架给出了功能性规约, 在给出总体架构的同时也对数据获取、知识管理、模型构建等模块给出了具体功能性要求; ETSI GR ENI 001^[99]列举了包括故障识别、流量控制在内的 20 余个网络智能运维场景, 并对每一个场景进行用例分析, 识别场景中的参与角色和执行流程。此外, 在第 3.1 节中提到的 ETSI GS ZSM-001 标准中提及了使用人工智能辅助运维, 该部分主要列出了如何收集、处理输入给人工智能算法模型的系统运维数据的要求。

目前已经有国内的标准机构尝试推出智能运维的团体标准: 中国电子节能技术协会提出针对数据中心的智能运维技术标准^[100], 对数据中心的各个运维场景 (主要为自动化运维场景) 提出具体的功能性要求; CAICT 推出团体标准 T/CCSA 382.1-2022^[101], 标准中枚举了常见的智能运维场景, 以 5 个成熟度等级提出每一个智能运维场景的具体功能要求, 正在研制的后续标准 T/CCSA 382.2 将针对这些运维场景对具体运维工具提出技术要求。在国家标准层面, 虽然目前 ITSS 标准体系中尚未形成明确的智能运维国家标准, 但智能运维国家标准的编制已在计划之中。在《信息技术服务标准体系建设报告 5.0》^[102]已提及“十四五”期间国家重点关注人工智能、大数据等新技术在信息技术服务中创新应用, 重构 IT 服务模式的服务标准, 并在 ITSS 5.0 框架的技术创新服务标准部分明确列出对智能运维的标准要求。

3.4 现有标准对智能运维建设起到的作用

通过以上对现有相关标准的梳理, 可以发现当前已有的运维标准和人工智能标准对智能运维的实践落地都能够起到一定程度的作用。

如第 3.1 节末尾所述, 现有的运维标准主要围绕传统人工运维对运维系统功能和系统流程进行规约, 大多数实施智能运维的单位都满足这些标准要求。规范的运维系统和运维流程为人工智能算法提供了大量有效的运维数据, 使智能运维的实施变得可行, 而智能运维的场景应用也都围绕着标准的运维流程展开。可见, 满足现有的运维标准是实施智能运维的先决条件, 这一点也在调研问卷中对智能运维成功实施特征的统计结果中体现。而相比传统的人工运维, 数据+算法驱动的智能运维对运维流程的运作逻辑和运作形式都会产生影响。因此智能运维标准应在保留现有运维标准中必要内容的前提下, 针对新的运维方式对现有的运维标准进行调整改进。

人工智能技术是智能运维的核心,从总体上看当前人工智能标准仍处于正在形成体系的阶段,但已经有一些标准对于技术规格、质量规范形成了通用性的要求.智能运维行业的从业人员能够从这些标准中直接了解到人工智能的背景知识,也可以在智能运维实践过程中直接使用这些标准初步形成具有一定规范性的人工智能算法模型或服务.当前智能运维标准化工作的主要目标是如何将人工智能技术运用于运维流程中,人工智能技术的现有标准可以直接作为智能运维标准的技术规格补充.但是这些人工智能标准主要面向通用的人工智能能力,并未考虑智能运维场景中对数据、场景需求等一些目前实践中的痛点.而对于进一步的标准化工作而言,为满足人工智能技术在运维场景的应用要求,同样需要以这些现有的人工智能标准为基础进行定制和扩展.

现有的一些智能运维标准针对特定的运维场景对智能运维系统提出了在功能上和技术上的规格要求,可以对已有的智能运维系统做出有效的评估.然而这些标准并没有解答本文开头提出的智能运维技术的适配性问题,运维基础不同的单位使用相同智能运维系统的效果仍然能产生巨大的差异.此外,现有的智能运维场景对于 IT 运维的已有场景而言仅是一小部分,如何有效地运用智能运维技术推广至其他的运维场景并没有在现有的标准中提及.

4 智能运维能力建设标准框架 AIOps-OSA

从本文第 2 节的调研结果中可以看出,各行业期望使用智能运维技术解决各自关键运维场景中的困难,然而目前虽然已有各种不同运维场景的学术研究,当前能够普遍落地实现的智能运维场景仍然仅限于一些较为简单的场景.从各单位遇到的困难以及对于成功实施的总结来看,运维场景的成功实施需要以下 3 个方面的考量:(1) 数据、算法等基础能力;(2) 对于运维场景的理解;(3) 能够驱动智能运维实践的运维团队.

虽然现有运维标准形成的运维体系为智能运维的实施打下了基础,但即便是通过了这些标准的单位在智能运维的实施过程中仍然会遇到数据质量不高基础问题.此外,现有运维标准也完全没有对算法能力建设的相关描述.通过遵循已有的人工智能标准的技术规约,或是依赖于提供智能运维平台服务的厂商,单位可以得到符合规范的人工智能服务,然而如果没有对智能运维场景的深刻理解,人工智能技术的有效应用仍然存在困难,不少企业现在都已认识到了以上问题并计划作出改进.目前已经推出的智能运维标准虽然能够描述出某几个智能运维场景应具备的技术性要求,但是这些标准更倾向于验证现有智能运维工具的合规性,并不能指导企业如何去实现这些智能运维场景,更不能帮助企业完成新的智能运维场景的探索.

综上所述,现有的相关标准尚不能解决在智能运维场景中如何有效应用人工智能技术的问题,而从各行业现有的实践中可以看出,这个问题依赖于企业对智能运维技术、场景、组织等要素的统一规划,需要标准化形成普适于不同运维背景和不同智能运维场景的智能运维能力建设体系,帮助企业厘清思路、明确方向、掌握方法.而这也解答了本文研究问题“RQ3. 智能运维实践过程中还有哪些问题需要通过标准化来解决? 标准应涵盖哪些内容?”

基于以上结论,本文提出智能运维能力建设标准框架 AIOps-OSA. 本标准框架梳理了构建智能运维能力时在组织 (organization)、场景 (scenario) 和能力 (ability) 上的关键要点,但不会涉及标准内容中的具体要求.除了指导智能运维国家标准的制定以外,本标准框架也具有一定的可复用性:不同的组织机构能够在本框架的基础上,结合自身需要在关键要点设立具体的要求细节或评估手段,最终形成各自的智能运维能力建设标准.以 AIOps-OSA 框架为基础的智能运维标准能够起到以下 3 个方面的作用.

- (1) 帮助正在或计划实施智能运维的组织评价自身当前的条件和能力,识别需要进行的智能运维活动.
- (2) 帮助组织进行智能运维场景和能力的建设、管理和评估.
- (3) 帮助第三方对组织当前的智能运维实施情况进行测量和评估.

4.1 整体框架

图 11 展示了 AIOps-OSA 的整体框架,框架由组织治理、场景实现、能力构建 3 个部分组成.其中场景实现是智能运维能力构建的核心,既是智能运维需求的起点,也是智能运维建设效果的体现所在.智能运维场景的实现需要通过构建数据、算法和自动化能力来支撑,而这些能力也需要经历场景实现的 4 个关键过程迭代提升.组织治理是智能运维能力构建的驱动力,保证企业持续性地去实现、提升智能运维场景,而不是零星场景的昙花一现或技术平台的简单堆砌.

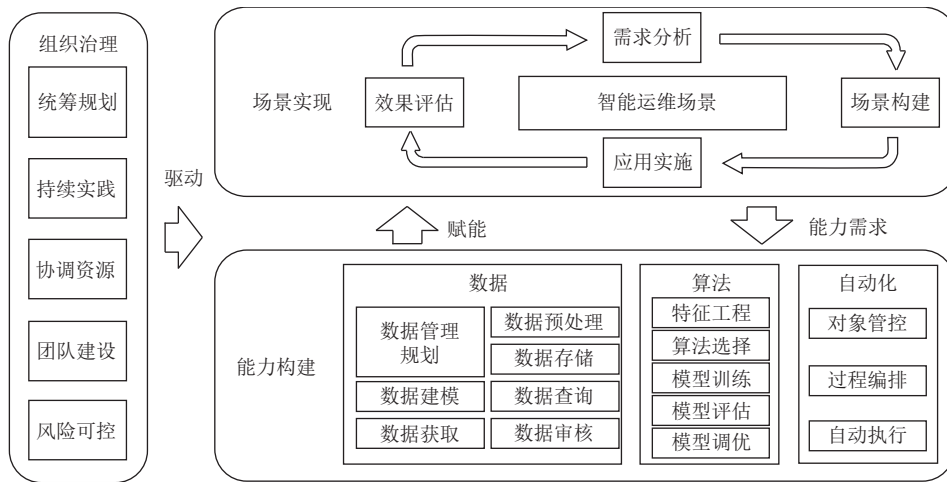


图 11 AIops-OSA 整体框架

4.2 组织治理

在智能运维的建设过程中,场景和需求会从各个方面涌现出来,如果还是依赖各自为政的开发模式,没有将不同运维场景共同用到的数据、技术进行整合和沉淀并实现能力的共享,就必然会出现大量重复建设并增加后续迭代的复杂度,造成前台“烟囱林立”而后台“支撑乏力”的困局。因此企业在进行智能运维能力构建的过程中,应首先从组织层面进行统筹规划,协调资源,统一建设。

标准应指导组织在智能运维能力构建过程中起到以下作用。

- (1) 统筹规划: 确认本组织智能运维的目标,并做好近期、中期、远期的统筹规划。在此基础上,明确各阶段的工作任务,确保每项任务可执行、可追踪、可验收。
- (2) 持续实践: 持续性地驱动组织进行新智能运维场景的落地以及已有智能运维场景的迭代优化。
- (3) 协调资源: 对不同运维场景共同用到的数据、技术等资源进行统一整合。
- (4) 团队建设: 对组织内部人员进行智能运维相关技术的培训,建立协作机制和激励措施。
- (5) 风险可控: 对技术便利带来的风险和挑战早识别、早预警、早处置,同时充分考虑在智能运维手段失效情况下的补偿策略和应对方法。

4.3 场景实现

由于运维场景划分粒度存在差异,智能运维的场景数量不胜枚举。比如多个场景可以组合成混合场景,混合场景也可以拆分成多个单一场景分阶段实现。因此,本标准框架更侧重于通用的智能运维场景实现,而不是针对某一类或几类场景。智能运维的场景实现本身是一个需要持续调优的过程,围绕质量可靠、安全可控、效率提升、成本降低的运维目标,不断迭代提高运维智能化程度。类似于 GB/T 28827.1 中提出的“策划-实施-检查-改进”的服务能力管理模式。本框架以智能运维场景作为切入点,设立了以下智能运维场景实现与迭代优化过程中的关键流程。

- (1) 需求分析: 通过前期调研和评估,识别出场景建设的运维角色、运维活动、运维对象、智能特征等内容,确定场景构建方案。
- (2) 场景构建: 按既定方案开展场景能力建设的过程,包括研发相关数据和算法能力、验证数据质量和算法模型效果等。
- (3) 应用实施: 在智能运维场景构建完成后进行交付实施并在实际运维过程中运用。
- (4) 效果评估: 设立可评估或量化的指标,如故障发现准确率、平均故障修复时间等,检查智能运维场景是否达到预期效果。

4.4 能力建设

构建一个有效的智能运维场景,离不开底层能力的建设和支撑。底层能力的构建既是场景实现过程中的经验

沉淀,也可通过合理规划为未来更多场景实现做好储备.通过智能运维当前的学术研究以及行业实践中可以看出,在数据+算法驱动的运维过程中,运维数据的质量高低直接决定了运维智能化程度的下限,而运维人员也期望通过自动化进一步提高运维的效能.因此,AIOps-OSA 将智能运维能力的建设分为 3 个方面:数据能力、算法能力和自动化能力.一个完整的智能运维场景构建分析过程中,应该对数据、算法、自动化能力进行充分评估并实施改进,最终能够在实际的智能运维场景中基于高质量的运维数据,结合算法能力做出合理判断或结论,并根据需要自动化地执行运维操作.

4.4.1 数据能力

数据能力是对运维数据进行全生命周期管理和应用的能力组合,在智能运维场景中提供高质量、全覆盖、互联互通且满足时效性要求的运维数据.标准框架中对数据能力的规约能够规范对数据的统一理解,促进数据共享,增强跨团队协作中对数据定义与使用的一致性,降低沟通成本.AIOps-OSA 将智能运维的数据能力按 ISO 正在研制的人工智能数据要求标准 5259^[103]中定义的数据生命周期进行阶段划分,包括以下内容.

(1) 数据管理规划:根据智能运维场景确定需要用数据解决什么问题、使用哪些数据和人工智能算法模型消费的数据格式等信息.

(2) 数据建模:定义在数据管理各个阶段中数据模型,并保证数据模型一致性和可复用性.

(3) 数据获取:通过技术手段获取指定运维对象(如服务、容器等)的原始运维数据.

(4) 数据处理:对运维数据进行清洗、转换、聚合、降噪、标注等数据加工工作.

(5) 数据存储:将海量离线和实时运维数据按照数据存储标准存储在指定装置或设备中.

(6) 数据评审:能够以量化的标准评估获取的运维数据,并依此对运维数据进行度量、监控、预警和处置.

(7) 数据查询:提供运维数据消费接口供算法进行数据查询.

4.4.2 算法能力

算法能力相当于智能运维场景的“大脑”,针对特定的业务目标,基于经过筛选、整合、架构的运维数据,让算法模型自主对运维场景作出合理的判断、预测、推荐等行为.参考 ISO 22989^[56]对算法生命周期的建模过程,AIOps-OSA 将算法能力按阶段分为以下几个部分,以保证在智能运维场景使用算法模型的过程中起到细颗粒分解动作级的指导作用.

(1) 特征工程:提取、评估和优化在算法模型中使用到的运维数据的数据特征.

(2) 算法选择:在多个可用的算法模型中选择与智能运维场景最为适配的算法.

(3) 模型训练:将训练数据集(由数据能力提供)在算法中不断迭代训练,得到算法的模型参数.

(4) 效果评估:使用验证数据集或实际的案例数据以量化的方式验证算法的执行结果.

(5) 模型调优:根据模型评估结果调整算法超参数或算法模型,使算法效果达到最优.

(6) 知识沉淀:总结提炼上述各个流程中的经验和模板知识,使算法能力能够复用于多个智能运维场景中.

4.4.3 自动化能力

自动化能力是大幅提升运维工作效率的关键,不仅可以替代人工,与各个工具、平台、流程有效联动来执行大量重复性的日常运维工作,还能促进运维操作的标准化,提高运维流程的可控性.借助数据+算法形成的决策能力,自动化能够进一步往无人化运维的方向不断延展.AIOps-OSA 中自动化能力的要点包括以下 3 点.

(1) 对象管控:将指定运维对象(应用系统、服务器、网络、存储、云资源和基础环境等 IT 资源)纳入管控并提供自动化的操控接口.

(2) 过程编排:通过编排实现一系列对象管控操作的串联与管控.

(3) 自动执行:根据预设的条件或输入的信息自动触发指定对象或过程的操控行为,并对自动执行是否成功进行检验.

4.5 标准框架的应用实践

智能运维国家标准编制组是由国信标委信息技术服务分技术委员会指导下,在 ITSS 的数据中心运营管理组(DCMG)组织成立的智能运维系列的国家标准编制工作组.本文的作者作为国家智能运维标准编制组的核心成

员, 将本文提出的 AIOps-OSA 标准框架应用于国家智能运维的标准编制工作中。

作为国家标准 GB/T 28827.1 的后续延伸, 我们将 AIOps-OSA 与 GB/T 28827.1 相结合, 提出后续标准《信息技术服务 智能运维 通用标准》(下文中缩写为通用标准)。截至论文投稿前, 该标准已作为中国电子技术标准化研究院的团体标准发布, 同时也作为已立项的国家标准处于征求意见阶段。图 12 为通用标准的总体框架, 可以看出标准使用了 AIOps-OSA 中组织治理、场景实现、能力构建的组织结构。

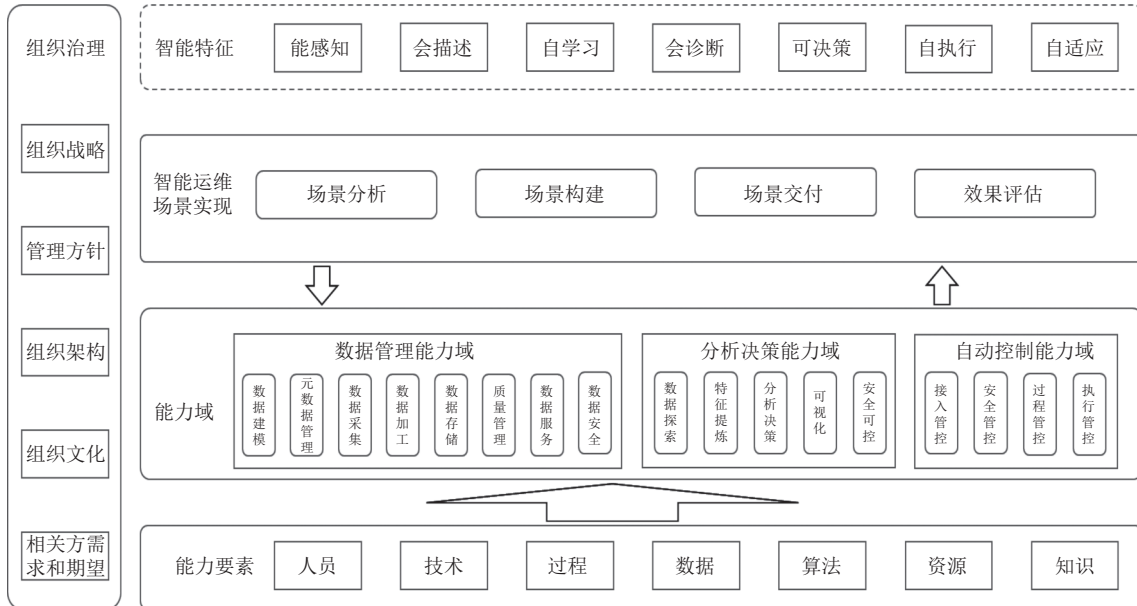


图 12 《信息技术服务 智能运维 通用标准》框架

通用标准中的组织治理和场景实现部分的构成与 AIOps-OSA 框架大体相同, 在标准中组织治理的每一个部分和场景治理中的各个步骤均会有一系列的详细要求, 用以指导或评估智能运维能力的建设。为了兼顾 GB/T 28827.1 中对运维能力要素的描述, 通用标准将 AIOps-OSA 的能力构建部分以能力域+能力要素的方式呈现。我们在 GB/T 28827.1 中已有的人员、技术、过程、资源 4 个运维能力要素的基础上添加了数据、算法、知识 3 个新的要素, 例 1 展示了一个具体运维场景中的能力项按照具体能力要素进行解析的示例。能力域为一系列智能运维能力的组合, 其根据 AIOps-OSA 中对数据、算法、自动化的能力划分被分解为数据管控、分析决策、自动控制 3 个子能力域。能力域中具体能力项大体使用了 AIOps-OSA 的能力划分并根据实际评估条件略作调整。3 个子能力域中每一项具体的能力项将围绕 7 个能力要素提出一系列的要求, 运维人员能够以标准作为参考, 按步骤实施智能运维场景, 或是依据标准内容改进目前已经实施的智能运维场景。

例 1: 能力项解析。

● 场景: 智能日志异常诊断: 自动收集各类型日志, 自动提取各日志模板, 建立所有日志模板运行基线, 自动发现基线异常并进行告警, 在提高故障发现率的同时, 也无需大量人工干预。

- 目标: 效率提升, 成本降低。
- 活动: 分析。
- 智能特征: 自学习、会诊断。
- 能力域: 分析决策能力域。
- 能力项: 特征提炼。
- 能力要素: 包括人员、技术、过程、数据、算法、资源及知识。

(1) 人员: ① 运维场景研发团队安排具备特征工程等相关背景知识和研发能力的成员制定日志模板提取方案,

至少应包含日志解析、特征颗粒度定义和特征抽取方案. ② 运维场景研发团队协调日志产生方对日志模板识别结果进行评估.

(2) 技术: ① 针对不同类型的日志数据, 采用不同的特征提取方式为了便于特征提取自由格式的非结构化日志需先进行规则解析, 而 JSON 等结构化日志则可直接进行特征提取. ② 针对日志模板提取场景, 利用 NLP 等技术将无结构化日志转化成结构化数据.

(3) 过程: ① 实时解析已收集的日志明细数据, 根据解析后不同的日志类型自动选择不同算法, 产生多个日志模板. ② 系统持续跟踪日志的变化情况, 自动增加或删除日志模板, 并按需协调日志产生者, 该运维场景使用者等关联方对日志模板分析结果进行识别、判断和反馈, 实现日志模板的生命周期管理.

(4) 数据: ① 快速获取各种日志模板的原始数据, 如日志类别、模板关键词、模板生成速度、模板数量等; ② 记录已生成的各明细日志模板, 包括模板特征, 日志内参数的变量分布等.

(5) 算法: ① 针对日志类型的运维数据, 使用日志模板提取 FT-Tree、DBScan、符号分隔、关键字匹配等算法进行结构化转换; ② 针对日志中参数的指标类型运维数据, 使用小波分析、AutoCorrelation 算法进行周期特征提取、使用 ARIMA、线性回归等算法进行趋势特征提取, 包括统计特征、拟合特征和分类特征等.

(6) 资源: 根据日志的规模和分析日志的实时性要求, 配置适当的 Flink、Spark 等大数据计算集群.

(7) 知识: ① 结合专家经验和自动提取的日志模板现状对重要或者高频使用的日志建立日志标准规范, 包括格式要求、变量分布取值范围要求等; ② 具备特征提炼中的规则, 形成可对特征提炼有效性进行识别、判断、优化和补偿的方法.

5 总结与展望

为推动国家智能运维技术的标准化工作, 本文对智能运维在各行业的实践现状和现有标准开展了调研分析工作. 根据智能运维实施方和提供智能运维方案的厂商方对各自现状的反馈结果, 我们发现目前大部分企业已经完成了一些简单智能运维场景的落地实践, 且正在探索更加复杂的场景. 然而, 在智能运维的落地实施过程中, 企业也普遍面临数据质量不高、运维场景理解不充分等挑战. 无论是实施方和厂商方均提出需要可参考的标准作为智能运维的实施依据.

相关标准方面, 现有的运维标准为智能运维的实施打下了基础; 国内外已有的一些智能运维和人工智能的标准主要针对系统的总体架构或某些特定的使用场景, 对相关工具平台或算法流程给出功能性或技术性的要求. 企业能够根据这些标准去设计优化运维平台或人工智能算法, 但这些标准对企业整体智能运维能力构建没有给出直接的指导意见.

因此, 本文提出了智能运维能力建设标准框架 AIOps-OSA, 该框架从组织、场景、能力 3 个方面罗列了在智能运维建设过程中的关键点, 使得运维标准能够为企业智能运维的能力建设起到指导性作用. 目前, 该框架已应用于实际的智能运维标准编制工作中.

本文的后续研究工作包括以下方面.

(1) 对行业内实践现状的进一步调研. 智能运维的实践现状会随着行业发展不断产生变化, 因此需要标准组持续性地保持对行业的整体现状调研. 与此同时, 基于对本次调研结果的理解, 进一步优化调研问卷问题, 开展更广泛范围的现状调研, 以更为精准地把握智能运维行业的实践现状.

(2) 能力建设框架的持续优化. 本文提出的 AIOps-OSA 框架根据目前智能运维实践中遇到的问题与挑战, 尝试从组织、场景、能力上尽可能地覆盖智能运维的能力建设要点. 然而, 使用该框架进行标准实施的企业仍会在智能运维的实践过程中遇到新的问题与挑战. 因此, 智能运维国家标准编制组也会持续跟踪标准的实施情况并对标准作出持续改进, 更好地帮助企业完成智能运维的能力构建工作.

(3) 衍生标准的设计. AIOps-OSA 侧重于企业整体智能运维能力框架的构建, 为了给企业智能运维能力构建给出更为详细的指导, 需要参考 GB/T 28827、ISO SC42、ETSI Y.3170 等运维和人工智能的标准体系制定在运维数据、智能运维算法、智能运维场景等方面的细节标准, 形成一套完整的智能运维国家标准体系. 目前, 智能运维

国家标准编制组也正在围绕运维数据治理、运维算法治理和运维技术等主题,开展后续智能运维标准的研制工作。

致谢 本文作者均为“智能运维国家标准编制组和编制指导组”成员。感谢所有受访单位参与本文智能运维实践现状的问卷调研工作,特别感谢以下领域专家对问卷调研中的数据收集、审核与分析工作提供支持:吴勇、冯震、黎杰松、徐晟、叶璞玉、夏立民、付谦、耿鹏、栾勇、沈大斌、张宁军、彭华盛、汤梅华、李富、陆兴海、王书航、张健、杨斌、贾晓雷、陈宏峰、孙翊威、张晓慧。

References:

- [1] The 20. The Cost of IT Downtime. 2021. <https://www.the20.com/blog/the-cost-of-it-downtime/>
- [2] Fletcher C. Innovation insight for algorithmic IT operations platforms. Gartner. 2016. <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2017-04-11-gartner-says-algorithmic-it-operations-drives-digital-business#:~:text=What%20is%20algorithmic%20IT%20operations%20%28AIOps%29%3F%20A.%20AIOps,%28APIs%29%20allowing%20for%20a%20vendor-agnostic%20data%20ingestion%20capability>
- [3] Prasad P, Rich C. Market guide for AIOps platforms. Gartner. 2016. <https://www.gartner.com/en/documents/4000217>
- [4] Wan ZY, Xia X, Lo D, Murphy GC. How does machine learning change software development practices? IEEE Trans. on Software Engineering, 2021, 47(9): 1857–1871. [doi: 10.1109/TSE.2019.2937083]
- [5] Sabharwal N, Bhardwaj G. AIOps challenges. In: Hands-on AIOps. Berkeley: Apress, 2022. 61–72. [doi: 10.1007/978-1-4842-8267-0_3]
- [6] Navin Singh, AIOps Challenges, Expectations vs. Reality. 2021. <https://www.lntinfotech.com/wp-content/uploads/2021/06/AIOps-Challenges-Expectations-Vs-Reality.pdf>
- [7] Dang YN, Lin QW, Huang P. AIOps: Real-world challenges and research innovations. In: Proc. of the 41st IEEE/ACM Int'l Conf. on Software Engineering: Companion Proceedings (ICSE-Companion). Montreal: IEEE, 2019. 4–5. [doi: 10.1109/ICSE-Companion.2019.00023]
- [8] Xie ZJ, Hall J, McCarthy IP, Skitmore M, Shen LY. Standardization efforts: The relationship between knowledge dimensions, search processes and innovation outcomes. Technovation, 2016, 48–49: 69–78. [doi: 10.1016/j.technovation.2015.12.002]
- [9] Tassef G. Standardization in technology-based markets. Research Policy, 2000, 29(4–5): 587–602. [doi: 10.1016/S0048-7333(99)00091-8]
- [10] Zielke T. Is artificial intelligence ready for standardization?. In: Proc. of the 27th European Conf. on Systems, Software and Services Process Improvement. Düsseldorf: Springer, 2000. 259–274. [doi: 10.1007/978-3-030-56441-4_19]
- [11] Golenkov V, Guliakina N, Golovko V, Krasnoprosin V. Artificial intelligence standardization is a key challenge for the technologies of the future. In: Proc. of the 10th Int'l Conf. on Open Semantic Technologies for Intelligent System. Minsk: Springer, 2020. 1–21. [doi: 10.1007/978-3-030-60447-9_1]
- [12] Saunderson C. Hype cycle for I&O automation. Gartner. 2021. <https://www.gartner.com/en/documents/4006837>
- [13] Ji K, Xiang M, Chen O. Hype cycle for ICT in China (2021). Gartner. 2021. <https://www.gartner.com/en/documents/4003537>
- [14] OSCAR. Investigation Report on Current Situation of AIOps in China (2022). China Academy of Information and Communications Technology, 2022 (in Chinese). <http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/ztbg/202301/P020230109534000377704.pdf>
- [15] Grieser T. Worldwide IT operations analytics software forecast, 2021–2025: Data volumes and AIOps capabilities drive growth. Int'l Data Corporation. 2021. <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=US48927721&pageType=PRINTFRIENDLY>
- [16] Notaro P, Cardoso J, Gerndt M. A systematic mapping study in AIOps. In: Proc. of the 2020 Int'l Conf. on Service-oriented Computing. Springer, 2020. 110–123. [doi: 10.1007/978-3-030-76352-7_15]
- [17] Reiter L, Wedel FH. AIOps—A systematic literature review. 2021. https://www.fh-wedel.de/fileadmin/Mitarbeiter/Records/Reiter_2021_-_AIOps_-_A_Systematic_Literature_Review.pdf
- [18] Notaro P, Cardoso J, Gerndt M. A survey of AIOps methods for failure management. ACM Trans. on Intelligent Systems and Technology, 2021, 12(6): 81. [doi: 10.1145/3483424]
- [19] Rijal L, Colomo-Palacios R, Sánchez-Gordón M. AIOps: A multivocal literature review. In: Misra S, Tyagi AK, Piuri V, Garg L, eds. Artificial Intelligence for Cloud and Edge Computing. Springer, 2022. 31–50. [doi: 10.1007/978-3-030-80821-1_2]
- [20] Jiang ZX, Li T, Zhang ZG, Ge JG, You JL, Li LX. A survey on log research of AIOps: Methods and trends. Mobile Networks and Applications, 2021, 26(6): 2353–2364. [doi: 10.1007/s11036-021-01832-3]

- [21] Bogatinovski J, Nedelkoski S, Acker A, Schmidt F, Wittkopp T, Becker S, Cardoso J, Kao O. Artificial intelligence for IT operations (AIOPS) workshop white paper. arXiv:2101.06054, 2021.
- [22] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 28827.1-2012 Information technology service—Operations and maintenance—Part 1: General requirements. Beijing: Standards Press of China, 2013 (in Chinese).
- [23] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 28827.2-2012 Information technology service—Operations and maintenance—Part 2: Delivery specification. Beijing: Standards Press of China, 2013 (in Chinese).
- [24] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 28827.3-2012 Information technology service—Operations and maintenance—Part 3: Emergency response specification. Beijing: Standards Press of China, 2013 (in Chinese).
- [25] State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 28827.4-2019 Information technology service—Operations and maintenance—Part 4: Service requirements for data center. Beijing: Standards Press of China, 2019 (in Chinese).
- [26] State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 28827.6-2019 Information technology service—Operations and maintenance—Part 6: Application system service requirements. Beijing: Standards Press of China, 2019 (in Chinese).
- [27] CESA. ITSS. 1-2015 Information technology service—Maintenance service capability maturity model. 2015 (in Chinese). <https://www.itss.cn/file/cms/article/2021-03/1615517038723/%E4%BF%A1%E6%81%AF%E6%8A%80%E6%9C%AF%E6%9C%8D%E5%8A%A1%20%E8%BF%90%E8%A1%8C%E7%BB%B4%E6%8A%A4%E6%9C%8D%E5%8A%A1%E8%83%BD%E5%8A%9B%E6%88%90%E7%86%9F%E5%BA%A6%E6%A8%A1%E5%9E%8B.pdf>
- [28] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 33136-2016 Information technology service—Service capability maturity model of data center. Beijing: Standards Press of China, 2017 (in Chinese). <https://std.samr.gov.cn/gb/search/gbDetailed?id=71F772D815CDB3A7E05397BE0A0AB82A>
- [29] State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 38633-2020 Information technology—Big data—Functional requirements for system operation and management. Beijing: Standards Press of China, 2020 (in Chinese). <https://std.samr.gov.cn/gb/search/gbDetailed?id=A47A713B763314ABE05397BE0A0ABB25>
- [30] ISO. ISO/IEC 20000-1:2018 Information technology—Service management—Part 1: Service management system requirements. 2018. <https://www.iso.org/standard/70636.html>
- [31] ISO. ISO/IEC 20000-2:2019 Information technology—Service management—Part 2: Guidance on the application of service management systems. 2019. <https://www.iso.org/standard/72120.html>
- [32] ISO. ISO/IEC 20000-3:2019 Information technology — Service management — Part 3: Guidance on scope definition and applicability of ISO/IEC 20000-1. 2019. <https://www.iso.org/standard/72121.html>
- [33] ISO. ISO/IEC TS 20000-5:2022 Information technology—Service management—Part 5: Implementation guidance for ISO/IEC 20000-1. 2022. <https://www.iso.org/standard/81164.html>
- [34] ISO. ISO/IEC TS 20000-11:2021 Information technology—Service management—Part 11: Guidance on the relationship between ISO/IEC 20000-1 and service management frameworks: ITIL®. 2021. <https://www.iso.org/standard/81165.html>
- [35] ISO. ISO/IEC TR 20000-12:2016 Information technology—Service management—Part 12: Guidance on the relationship between ISO/IEC 20000-1: 2011 and service management frameworks: CMMI-SVC. 2016. <https://www.iso.org/standard/69203.html>
- [36] ISO. ISO/IEC 20000-10:2018 Information technology—Service management—Part 10: Concepts and vocabulary. 2018. <https://www.iso.org/standard/74316.html>
- [37] ISO. ISO/IEC TS 33054:2020 Information technology—Process assessment—Process reference model for service management. 2020. <https://www.iso.org/standard/55145.html>
- [38] ISO. ISO/IEC TS 33074:2020 Information technology—Process assessment—Process capability assessment model for service management. 2020. <https://www.iso.org/standard/55165.html>
- [39] ISO. ISO/IEC 33004:2015 Information technology—Process assessment—Requirements for process reference, process assessment and maturity models. 2015. <https://www.iso.org/standard/54178.html>
- [40] ETSI. Network Functions Virtualisation (NFV); Management and Orchestration, ETSI GS NFV-MAN 001, 2014. https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV-MAN/001_099/001/01.01.01_60/gs_NFV-MAN001v010101p.pdf

- [41] ETSI. ETSI TS 128 530 V16.3.0 (2020-10)—5G; Management and orchestration; Concepts, use cases and requirements. 2019. https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/128500_128599/128530/15.03.00_60/ts_128530v150300p.pdf
- [42] ETSI. ETSI GS ZSM 001 V1.1.1 (2019-10)—Zero-touch network and Service Management (ZSM); Requirements based on documented scenarios. 2019. https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/ZSM/001_099/001/01.01.01_60/gs_ZSM001v010101p.pdf
- [43] ETSI. ETSI GS ZSM 002 V1.1.1 (2019-08)—Zero-touch network and Service Management (ZSM); Reference Architecture. 2019. https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/ZSM/001_099/002/01.01.01_60/gs_ZSM002v010101p.pdf
- [44] ETSI. ETSI GS ZSM 007 V1.1.1 (2019-08)—Zero-touch network and Service Management (ZSM); Terminology for concepts in ZSM. 2019. https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/ZSM/001_099/007/01.01.01_60/gs_ZSM007v010101p.pdf
- [45] ITU-T.M.3010 Principles for a telecommunications management network. 2000. <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=4869&lang=en>
- [46] ITU-T.M.3400 TMN management functions. 2001. <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=4876&lang=en>
- [47] ITU-T.M.3070 Overview of end-to-end cloud computing management. 2016. <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=12714>
- [48] ITU-T.M.3040 Principles for on-site telecommunication smart maintenance. 2019. <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=13877&lang=en>
- [49] ITU-T.M.3041 Framework of smart operation, management and maintenance. 2020. <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=14181&lang=en>
- [50] Pei D, Zhang SL, Pei CH. Intelligent operation based on machine learning. Communications of CCF, 2017, 13(12): 68–72 (in Chinese with English abstract).
- [51] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB/T 5271.28-2001 Information technology—Vocabulary—Part 28: Artificial intelligence—Basic concepts and expert system. Beijing: Standards Press of China, 2004 (in Chinese).
- [52] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 5271.31-2006 Information technology—Vocabulary—Part 31: Artificial intelligence—Machine learning. Beijing: Standards Press of China, 2006 (in Chinese).
- [53] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 5271.29-2006 Information technology—Vocabulary—Part 34: Artificial intelligence—Neural networks. Beijing: Standards Press of China, 2006 (in Chinese).
- [54] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 5271.29-2006 Information technology—Vocabulary—Part 29: Artificial intelligence—Speech recognition and synthesis. Beijing: Standards Press of China, 2006 (in Chinese).
- [55] ISO. ISO/IEC 2382:2015 Information technology—Vocabulary. 2015. <https://www.iso.org/standard/63598.html>
- [56] ISO. ISO/IEC DIS 22989:2021 Information technology—Artificial intelligence—Artificial intelligence concepts and terminology. 2021. <https://www.iso.org/standard/74296.html>
- [57] CESA. T/CESA 1037-2019 Information technology—Artificial intelligence—Framework and functional requirements of system for machine learning. 2019 (in Chinese). <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/28146/>
- [58] ISO. ISO/IEC DIS 23053:2022 Framework for Artificial Intelligence (AI) Systems Using Machine Learning (ML). 2022. <https://www.iso.org/standard/74438.html>
- [59] ISO. ISO/IEC 20546:2019 Information technology—Big data—Overview and vocabulary. 2019. <https://www.iso.org/standard/68305.html>
- [60] ISO. ISO/IEC TR 20547:2020 Information technology—Big data reference architecture. 2020. <https://www.iso.org/standard/71275.html>
- [61] ISO. Standards by ISO/IEC JTC 1/SC 42. 2022. <https://www.iso.org/committee/6794475/x/catalogue/p/0/u/1/w/0/d/0>
- [62] ISO. ISO/IEC TR 24732:2021 Information technology—Artificial intelligence (AI)—Overview of computational approaches for AI systems. 2021. <https://www.iso.org/standard/78508.html>
- [63] CESA. T/CESA 1040-2019 Information technology—Artificial intelligence-code of practice for data annotation of machine learning. 2019 (in Chinese). <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/28148/>
- [64] CESA. T/CESA 1034-2019 Information technology—Artificial intelligence—Sample size and algorithm requirements for few-shot learning. 2019 (in Chinese). <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/28143/>
- [65] CESA. T/CESA 1197-2022 Artificial intelligence—Technical specification for deep synthetic image system. 2022 (in Chinese). <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/64686/>

- [66] CESA. T/CESA 1198-2022 Artificial intelligence—Technical specifications for video and image auditing system. 2022 (in Chinese). <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/64687/>
- [67] CESA. T/CESA 1199-2022 Artificial intelligence—Technical specification for intelligent character recognition. 2022 (in Chinese). <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/64689/>
- [68] CESA. T/CESA 1035-2019 Information technology—Artificial intelligence—Audio, video and image analysis algorithm interface. 2019 (in Chinese). <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/28164/>
- [69] ASQIQ. GB/T 40691-2021 Artificial intelligence—Affective computing user interface—Model. 2021 (in Chinese). <https://std.samr.gov.cn/gb/search/gbDetailed?id=CE1E6A1DD4AF58F6E05397BE0A0A68DF>
- [70] ISO. ISO/IEC TR 24028:2020 Information Technology—Artificial Intelligence—Overview of trustworthiness in artificial intelligence. 2020. <https://www.iso.org/standard/77608.html>
- [71] ISO. ISO/IEC TR 24027:2021 Information Technology—Artificial Intelligence (AI)—bias in AI systems and AI aided decision making. 2021. <https://www.iso.org/standard/77607.html>
- [72] ISO. ISO/IEC TR 24029-1:2021 Artificial Intelligence (AI)—assessment of the robustness of neural networks—Part 1: Overview. 2021. <https://www.iso.org/standard/77609.html>
- [73] CESA. T/CESA 1026-2018 Artificial intelligence—Assessment specification for deep learning algorithms. 2018 (in Chinese). <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/24193/>
- [74] CESA. T/CESA 1036-2019 Information technology – Artificial intelligence – Quality elements and testing methods of machine learning model and system. 2019 (in Chinese). <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/28145/>
- [75] CESA. T/CESA 1041-2019 Information technology—Artificial intelligence—Reference model of service capability maturity evaluation. 2019 (in Chinese). <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/28166/>
- [76] CESA. T/CESA 1069-2021 Information technology—Artificial intelligence—Specification for performance benchmarking for server systems. 2021 (in Chinese). <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/49918/>
- [77] PBC People's Bank of China. JR/T 0221-2021 Evaluation specification of artificial intelligence algorithm in financial application. 2021 (in Chinese). <https://www.qybz.org.cn/user/detail/ae6ba173412c0dd171a112d4448fb91cd9a3aca23f18f50c0713c4807cf1f7831667e8270e92630f8ddee1ee4fdb693>
- [78] ISO. ISO/IEC TR 24030:2021 Information technology—Artificial Intelligence (AI)—Use cases. 2021. <https://www.iso.org/standard/77610.html>
- [79] ISO. ISO/IEC TR 38507:2022 Information Technology —Governance of AI —Governance implications of the use of artificial intelligence by organizations. 2022. <https://www.iso.org/standard/56641.html>
- [80] CESA. T/CESA 1038-2019 Artificial intelligence—Artificial Intelligence—Classified assessment on intelligent assistant's capabilities. 2019 (in Chinese). <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/28147/>
- [81] CESA. T/CESA 1039-2019 Information technology—Artificial intelligence—Classified assessment for machine translation capabilities. 2019 (in Chinese). <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/28153/>
- [82] CESA. T/CESA 1044-2019 Information technology—Artificial intelligence—Specification of driving status video capture system for vehicle drivers. 2019 (in Chinese). <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/28152/>
- [83] CESA. T/CESA 1127-2020 Requirements of elderly care service platform based on artificial intelligence speech interaction. 2020 (in Chinese). <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/41495/>
- [84] GZBC. T/GZBC 8-2019 Technical requirements of the artificial intelligence diagnostic system for pulmonary nodules. 2019 (in Chinese). <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/26124>
- [85] JPMA. T/JPMA 011-2021 Specification for screening of diabetic retinopathy by artificial intelligence technology. 2021 (in Chinese). <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/56098/>
- [86] IEEE. IEEE 7000™ projects. 2022. <https://ethicsinaction.ieee.org/p7000/>
- [87] ITU-T.Y.3172 Architectural framework for machine learning in future networks including IMT-2020. 2019. <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=13894>
- [88] ITU-T.Y.3174 Framework for data handling to enable machine learning in future networks including IMT-2020. 2020. <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=14134>
- [89] ITU-T.Y.3176 Machine learning marketplace integration in future networks including IMT-2020. 2020. <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=14402>
- [90] ITU-T.Y.3179 Architectural framework for machine learning model serving in future networks including IMT-2020. 2021. <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=14614>

- [91] ITU-T.Y.3170 Requirements for machine learning-based quality of service assurance for the IMT-2020 network. 2018. <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=13691>
- [92] ITU-T.Y.3175 Functional architecture of machine learning-based quality of service assurance for the IMT-2020 network. 2021. <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=14255>
- [93] ITU-T.Y.3177 Architectural framework for artificial intelligence-based network automation for resource and fault management in future networks including IMT-2020. 2021. <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=14598>
- [94] ITU-T.Y.3178 Functional framework of artificial intelligence-based network service provisioning in future networks including IMT-2020. 2021. <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=14613>
- [95] ITU-T.Y.3180 Mechanism of traffic awareness for application-descriptor-agnostic traffic based on machine learning. 2022. <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=14856>
- [96] ITU-T.Y.3173 Framework for evaluating intelligence levels of future networks including IMT-2020. 2020. <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=14133>
- [97] ITU-T.M.3080 Framework of artificial intelligence enhanced telecom operation and management (AITOM). 2021. <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=14590>
- [98] ETSI. Experiential Networked Intelligence (ENI); System Architecture, ETSI GS ENI 005, 2021. https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/ENI/001_099/005/02.01.01_60/gs_ENI005v020101p.pdf
- [99] ETSI. Experiential Networked Intelligence (ENI); ENI use cases, ETSI GR ENI 001, 2020. https://www.etsi.org/deliver/etsi_gr/ENI/001_099/001/01.01.01_60/gr_ENI001v010101p.pdf
- [100] CEESTA. T/DZJN 24-2020 General technical principles for Artificial Intelligence Operations of Data Center infrastructure. 2020 (in Chinese). <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/42109>
- [101] CCSA. T/CCSA 382.1-2022 The capability maturity model of cloud artificial intelligence for IT operations Part1: General competency requirement (in Chinese). 2022. <https://www.ccsa.org.cn/standardDetail/?standardNum=T%2FCCSA%20382.1-2022>
- [102] CESA. Construction Report on Information Technology Service Standard 5.0, China National Information Technology Standardization Technical Committee, 2021 (in Chinese). <https://www.itss.cn/file/cms/article/2021-11/%E4%BF%A1%E6%81%AF%E6%8A%80%E6%9C%AF%E6%9C%8D%E5%8A%A1%E6%A0%87%E5%87%86%E4%BD%93%E7%B3%BB%E5%BB%BA%E8%AE%BE%E6%8A%A5%E5%91%8A5.0.pdf>
- [103] Chang W. ISO/IEC JTC 1/SC 42(AI)/WG 2(Data) data quality for analytics and machine learning (ML). 2022. https://jtc1info.org/wp-content/uploads/2022/06/01_06_Wo_2022_05_24_ISO-IEC-JTC1-SC42-WG2-Data-Quality-for-Analytics-and-Machine-Learning-Wo-Chang-NIST-final.pdf

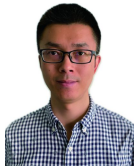
附中文参考文献:

- [14] 云计算开源产业联盟. 中国AIOps现状调查报告(2022). 中国信息通信研究院, 2022. <http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/zbtg/202301/P020230109534000377704.pdf>
- [22] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 28827.1-2012 信息技术服务 运行维护 第1部分: 通用要求. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [23] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 28827.2-2012 信息技术服务 运行维护 第2部分: 交付规范. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [24] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 28827.3-2012 信息技术服务 运行维护 第3部分: 应急响应规范. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [25] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 28827.4-2019. 信息技术服务 运行维护 第4部分: 数据中心服务要求. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- [26] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 28827.6-2019 信息技术服务 运行维护 第6部分: 应用系统服务要求. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- [27] 中国电子工业标准化技术协会. ITSS. 1-2015 信息技术服务 运行维护服务能力成熟度模型. 2015. <https://www.itss.cn/file/cms/article/2021-03/1615517038723/%E4%BF%A1%E6%81%AF%E6%8A%80%E6%9C%AF%E6%9C%8D%E5%8A%A1%20%E8%BF%90%E8%A1%8C%E7%BB%B4%E6%8A%A4%E6%9C%8D%E5%8A%A1%E8%83%BD%E5%8A%9B%E6%88%90%E7%86%9F%E5%BA%A6%E6%A8%A1%E5%9E%8B.pdf>
- [28] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 33136-2016 信息技术服务 数据中心服务能力成熟度模型. 北京: 中国标准出版社, 2017. <https://std.sam.gov.cn/gb/search/gbDetailed?id=71F772D815CBD3A7E05397BE0A0>

AB82A

- [29] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 38633-2020. 信息技术服务 大数据 系统运维和管理功能要求. 北京: 中国标准出版社, 2020. <https://std.samr.gov.cn/gb/search/gbDetailed?id=A47A713B763314ABE05397BE0A0ABB25>
- [50] 裴丹, 张圣林, 裴昶华. 基于机器学习的智能运维. 中国计算机学会通讯, 2017, 13(12): 68-72.
- [51] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 5271.28-2001 信息技术 词汇 第28部分: 人工智能 基本概念与专家系统. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [52] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 5271.31-2006 信息技术 词汇 第31部分: 人工智能 机器学习. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [53] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 5271.34-2006 信息技术 词汇 第34部分: 人工智能 神经网络. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [54] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 5271.29-2006 信息技术 词汇 第29部分: 人工智能 语音识别与合成. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [57] 中国电子工业标准化技术协会. T/CESA 1037-2019 信息技术 人工智能 面向机器学习的系统框架和功能要求. 2019. <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/28146/>
- [63] 中国电子工业标准化技术协会. T/CESA 1040-2019 信息技术 人工智能 面向机器学习的标注规程. 2019. <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/28148/>
- [64] 中国电子工业标准化技术协会. T/CESA 1034-2019 信息技术 人工智能 小样本机器学习样本量和算法要求. 2019. <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/28143/>
- [65] 中国电子工业标准化技术协会. T/CESA 1197-2022 人工智能 深度合成图像系统技术规范. 2022. <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/64686/>
- [66] 中国电子工业标准化技术协会. T/CESA 1198-2022 人工智能 视频图像审核系统技术规范. 2022. <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/64687/>
- [67] 中国电子工业标准化技术协会. T/CESA 1199-2022 人工智能 智能字符识别技术规范. 2022. <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/64689/>
- [68] 中国电子工业标准化技术协会. T/CESA 1035-2019 信息技术 人工智能 音视频及图像分析算法接口. 2019. <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/28164/>
- [69] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 40691-2021 人工智能 情感计算用户界面 模型. 2021. <https://std.samr.gov.cn/gb/search/gbDetailed?id=CE1E6A1DD4AF58F6E05397BE0A0A68DF>
- [73] 中国电子工业标准化技术协会. T/CESA 1026-2018 人工智能 深度学习算法评估规范. 2018. <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/24193/>
- [74] 中国电子工业标准化技术协会. T/CESA 1036-2019 信息技术 人工智能 机器学习模型及系统的质量要素和测试方法. 2019. <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/28145/>
- [75] 中国电子工业标准化技术协会. T/CESA 1041-2019 信息技术 人工智能 服务能力成熟度评价参考模型. 2019. <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/28166/>
- [76] 中国电子工业标准化技术协会. T/CESA 1069-2021 信息技术 人工智能 服务器系统性能测试规范. 2021. <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/49918/>
- [77] 中国人民银行. JR/T 0221-2021 人工智能算法金融应用评价规范. 2021. <https://www.qybz.org.cn/user/detail/ae6ba173412c0dd171a112d4448fb91cd9a3aca23f18f50c0713c4807cflf7831667e8270e92630f8ddee1ee4fdb693>
- [80] 中国电子工业标准化技术协会. T/CESA 1038-2019 信息技术 人工智能 智能助理能力等级评估. 2019. <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/28147/>
- [81] 中国电子工业标准化技术协会. T/CESA 1039-2019 信息技术 人工智能 机器翻译能力等级评估. 2019. <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/28153/>
- [82] 中国电子工业标准化技术协会. T/CESA 1044-2019 信息技术 人工智能 机动车驾驶员驾驶状态视频采集系统规范. 2019. <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/28152/>
- [83] 中国电子工业标准化技术协会. T/CESA 1127-2020 基于人工智能语音交互的养老服务平台要求. 2020. <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/41495/>
- [84] 广东省质量技术监督信息协会. T/GZBC 8-2019 肺结节人工智能辅助诊断系统技术要求. 2019. <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/26124>
- [85] 贵州省市场监督管理局. T/JPMA 011-2021 基于人工智能的糖尿病视网膜病变筛查的技术规范. 2021. <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/56098/>

- [100] 中国电子节能技术协会. T/DZJN 24-2020 数据中心基础设施智能运维技术通则. 2020. <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/42109>
- [101] 中国通信标准化协会. T/CCSA 382.1-2022 云计算智能化运维(AIOps)能力成熟度模型 第1部分: 通用能力要求. 2022. <https://www.ccsa.org.cn/standardDetail/?standardNum=T%2FCCSA%20382.1-2022>
- [102] 中国电子工业标准化技术协会. 信息技术服务标准体系建设报告5.0版. 全国信息技术标准化技术委员会, 2021. <https://www.itss.cn/file/cms/article/2021-11/%E4%BF%A1%E6%81%AF%E6%8A%80%E6%9C%AF%E6%9C%8D%E5%8A%A1%E6%A0%87%E5%87%86%E4%BD%93%E7%B3%BB%E5%BB%BA%E8%AE%BE%E6%8A%A5%E5%91%8A5.0.pdf>



包航宇(1981—), 男, 工程师, 主要研究领域为运维管理.



汤汝鸣(1991—), 男, 博士, 主要研究领域为基于机器学习的智能运维.



殷康璘(1992—), 男, 博士, 助理研究员, CCF 学生会员, 主要研究领域为基于机器学习的智能运维, 软件工程, 软件系统韧性.



侯岳(1982—), 女, 高级工程师, 主要研究领域为运维管理.



曹立(1981—), 女, 硕士, 主要研究领域为智能运维, 风险管理, 混沌工程.



王士强(1982—), 男, 高级工程师, 主要研究领域为运维管理.



李世宁(1977—), 男, 硕士, 主要研究领域为运维管理.



裴丹(1973—), 男, 博士, 副教授, 博士生导师, CCF 专业会员, 主要研究领域为基于机器学习的智能运维.



孙永敬(1978—), 男, 工程师, 主要研究领域为运维管理.



杨晓勤(1970—), 女, 高级经济师, 主要研究领域为运维管理.



尹汇锋(1998—), 男, 硕士生, 主要研究领域为智能运维.



王立新(1968—), 男, 高级工程师, 主要研究领域为运维管理.