

数据中心智能化运维 发展研究报告

(2023 年)

中国信息通信研究院云计算与大数据研究所

开放数据中心委员会

2023年3月

版权声明

本报告版权属于中国信息通信研究院、开放数据中心委员会，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本报告文字或者观点的，应注明“来源：中国信息通信研究院、开放数据中心委员会”。违反上述声明者，编者将追究其相关法律责任。

前 言

新型数据中心是支撑 5G、云计算、人工智能等新一代信息技术发展的算力载体，是推动经济社会数字转型、智能升级、融合创新的关键基础设施。随着以高技术、高算力、高效能、高安全为代表的“四高”成为产业发展新目标，智能化作为新型数据中心高技术的重要体现，已经成为新型数据中心的重要发展趋势。

为切实引导新型数据中心加快向“高技术”发展，本报告聚焦新型数据中心智能化运维的基础性研究。分阶段回顾了我国数据中心运维发展历程，对智能化运维的基本概念、发展历程等进行分析，深化产业认识，激发发展共识；首次提出智能化运维发展的三大目标和理念，体现产业界发展理念与体系的创新升级；总结分析智能化运维的发展核心——即设施、平台、体系、服务的发展态势，明晰智能化运维对于产业界的价值。报告意在为行业实现高技术、高质量发展提供有益参考，希望能对从业者有所启示。

数据中心智能化运维相关产业、技术正处于高速发展阶段，新技术生态瞬息万变，我们的认识有待深化迭代。报告存在不足之处，烦请业界不吝指正，共同进步。如有意见或建议请联系 dceco@caict.ac.cn。

目 录

一、 数据中心智能化运维概念与内涵.....	1
(一) 基本概念.....	1
(二) 发展历程.....	2
(三) 目标与理念.....	4
二、 数据中心智能化运维发展核心.....	6
(一) 设施自动化运行.....	6
(二) 平台智能化管理.....	10
(三) 体系精细化落地.....	14
(四) 服务价值化输出.....	17
三、 数据中心智能化运维发展实践.....	20
(一) 以自动化设施提升运行效率.....	20
(二) 以 DCIM 平台促进智能管理.....	21
(三) 以技术手段赋能运维体系变革.....	23
(四) 以巡检机器人释放运维人力.....	25
四、 数据中心智能化运维发展建议.....	26

图目录

图 1 数据中心智能化运维框架结构 1.0.....	2
图 2 数据中心运维管理发展历程.....	3
图 3 自动化运行设施.....	7
图 4 数据中心设施自动化运行能力分级之间的差异与关系.....	8
图 5 DCIM 的管理范畴与服务能力.....	11
图 6 数据中心精细化运维成熟度模型.....	17

表目录

表 1 数据中心智能化运营管理平台建设原则.....	14
----------------------------	----

一、数据中心智能化运维概念与内涵

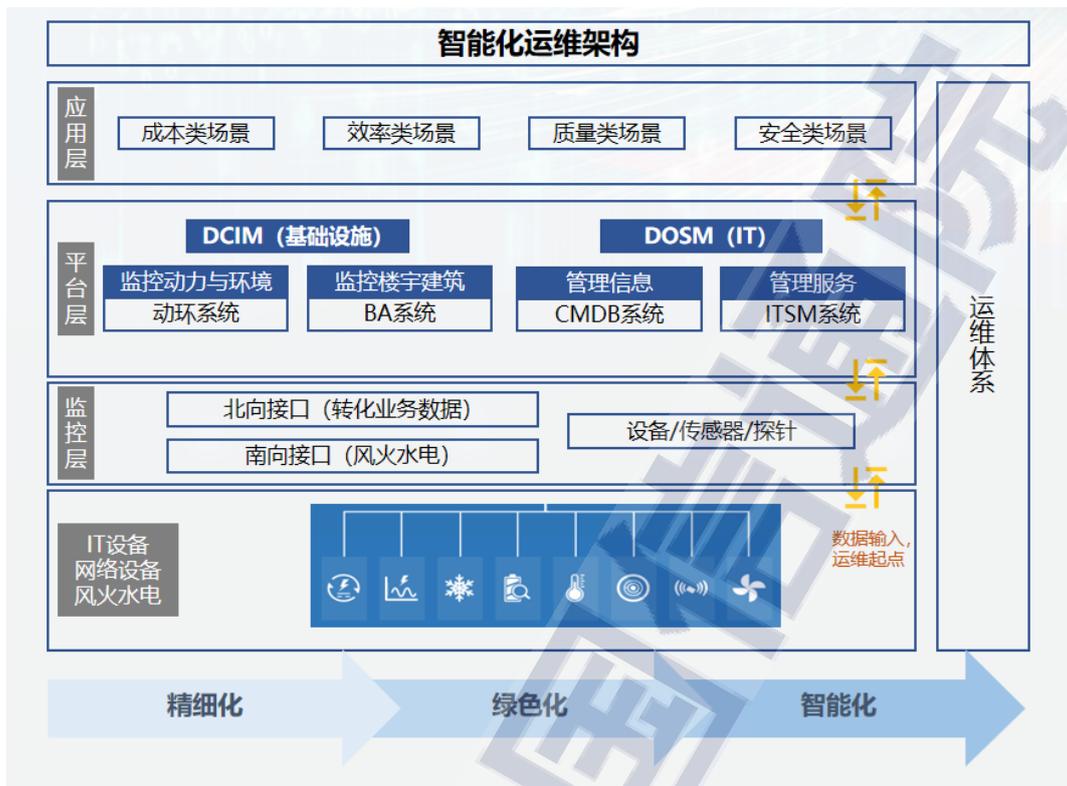
经济社会数字化转型进程加速，新一代信息技术不断升级，推动数据中心运维管理方式变革。为有效应对数据中心向绿色化、集约化、高密化、智能化建设发展演进过程中的新需求，数据中心运维需要由“人力密集型”向“技术密集型”演进，实现程度更深、水平更高的信息化变革，并在此基础上进一步向更高级别的数字化、网络化、智能化迈进。

（一）基本概念

数据中心智能化运维是集人工智能、大数据等新一代信息技术应用管理平台与数据中心自动化运行设施等深度融合的新型运维模式与综合解决方案（详见图 1）。通过对运维设施、平台、体系与服务的全建设，一方面充分利用 DCIM（Data Center Infrastructure management，数据中心基础设施管理）、DOSM（Digital Operation Service Management，数字化运维服务管理平台）等管理平台叠加自动化运行设施尽可能的实现系统自发现、自控制与自应急；另一方面搭建覆盖精细化运维工作全价值链的人、事、物、流程四维科学运维管理架构，重塑数据中心运维价值体系。

数据中心运行状态中，从数据要素的流转过程看，数据经过传感器的采集、DCIM 的监控管理，到转化为业务可识别的数据，最后以数据驱动管理，产生预测性维护价值。将数据的标准化收集视为运维管理生命周期的起点，智能化运维由此可以看作是一项系统性工程，有着丰富的内涵与外延。需要通过数据中心设备、监控、管理平台与

运维工作的有机结合，推动产业精细化、绿色化、智能化发展。



来源：中国信息通信研究院

图 1 数据中心智能化运维框架结构 1.0

（二）发展历程

我国数据中心运维的历史可以追溯到 2000 年左右，大体上可以划分为四个发展阶段（详见图 2）。



来源：中国信息通信研究院

图 2 数据中心运维管理发展历程

（1）手工运维阶段

信息化发展初期，由于缺少运维工具和操作指南，较为依赖个人的知识、技术及经验。运维完全围绕人员展开，所有运维工作都由人工完成，当运维人员出现问题时，全面影响数据中心企业运行。

（2）流程化、标准化运维阶段

当运维业务量增长超过人力增长，众多企业纷纷建立运维流程，通过初步的制度化、标准化运作，规范了因为不同人员操作带来的效果差异。在这一阶段，根据标准化流程和分析方法，不同操作人员完成的巡检报告质量水平可实现基本一致，降低了人员的变化对数据中心企业运维的影响。

（3）平台化、自动化运维阶段

到了我国数据中心产业的大发展时期，云边端一体化算力布局体系初成，不同形态的数据中心架构各异，运维方式也各不相同，数据中心现场生产和远程集中化管理的运维需求溢出。数据中心可以利用 DCIM 等平台或工具，把可复用以及标准化程度较高的相关工作进行梳理，使用算法整合的方式来达到自动化的运维，并对执行的过程进行监管，优化运维管理。当前，我国数据中心总体处于平台化、自动化运维阶段，呈现平台化、自动化、可视化等典型特征。

（4）智能运维阶段

随着 5G、人工智能、云计算、大数据等新一代信息技术研发与

应用风起云涌，赋能数据中心运维管理模式变迁。为有效应对数据中心产业不断提升人员效率、能源利用效率的发展需要，运维管理正在逐步迈入以设施、平台、体系、服务为核心要素的智能运维发展阶段。数据中心在全自动、互联、自运维的基础设施环境下，通过全方位的监控系统感知并准确定位故障，通知智能决策系统下发变更、维护等指令，实现运维从数据输入到预测性维护全过程的数字化，基于数据建模实现运维过程可视化，在“无人值守”的情况下安全高效地进行运维。随着数据中心业务日益繁杂，凭借海量数据的积累，人工智能、大数据等技术在数据中心运维领域还可以实现更多应用，智能化运维将从单点突破到全架构、全场景的优化落地，当前发展阶段距离实现真正的智能运维还有很长的路要走，未来将呈现出无人化、智能化、数字孪生等典型特征。

（三）目标与理念

（1）生产连续性

对于数据中心业务管理人员来说，用户的业务连续性取决于数据中心的连续性。特别是在疫情期间，用户企业尤其需要考虑数据中心在其业务连续性中发挥的关键作用。如今，业务连续性管理已经演变成了一门管理学科，在数据中心的得到了越来越多的应用。所谓业务连续性管理，即 Business Continuity Management，简称 BCM。这个概念最早脱胎于传统的 IT 备份与容灾恢复计划，可以看作是组织进行一体化管理的过程。通过业务连续性，可以对潜在风险进行识别，提供一个指导性框架来建立组织机构的恢复能力和有效应急响应能

力。生产连续性则指数据中心基础设施层面进行智能化运行的过程，设施根据既定的设计标准和架构冗余度，结合业务需求和管理要求，在不超过设计运行目标的异常情况下，可以按照预定义模式持续运行。即当产生外界故障变化时，设施可以根据实际需要进行一定程度的资源调度和应急操作来保障生产连续性。

（2）运维即服务

OaaS（Operation as a Service，运维即服务）是在借鉴了 SaaS（Software as a Service，软件即服务）和研究了业界数据中心服务转型的基础上提出的新理念。近年来，运维在数据中心全生命周期中的关注度逐渐提升，其作为数据中心企业的软性核心竞争力之一，管理模式逐步从“以技术管理为中心”向“以服务为中心”转变。现如今，运维管理已经成为企业产品价值链上的重要环节，业界普遍认为实现服务的过程就是创造价值的过程，如果达成了“运维即服务”的发展目标，数据中心运维部门也会从传统的成本中心逐渐向价值中心转化。

（3）数据驱动管理

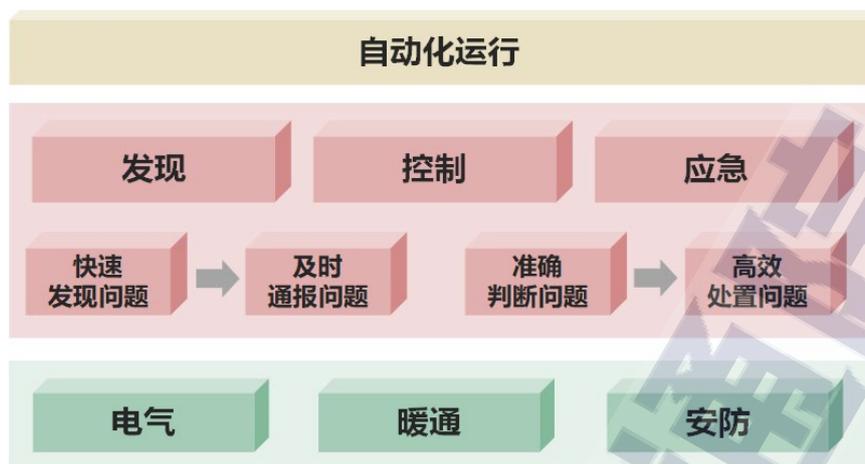
数据驱动管理指通过底层监控系统采集海量的数据，将数据进行组织形成信息，并对关键信息进行整合和提炼，实时、准确地为数据中心运营者提供管理决策依据，提高数据中心经营产出和效率。数据驱动管理模式是在数据的基础上经过训练和拟合形成自动化的决策模型，从而达成以数据和算法为驱动的预测性维护、智能化告警目标，全过程强调以数据“洞察力”驱动数据中心管理价值。

二、数据中心智能化运维发展核心

2021 年 7 月，工业和信息化部《新型数据中心发展三年行动计划（2021-2023 年）》明确提出“聚焦新型数据中心供配电、制冷、IT 和网络设备、智能化系统等关键环节，锻强补弱”。政策引导数据中心运维管理向智能化发展，产业界关于智能运维等长期主义的呼声也越来越高。数据中心智能化运维是新一代信息技术与数据中心设施、平台、服务三层架构和体系深度融合的解决方案。深入分析与理解各部分的发展背景、推进逻辑，才能够更好地推动数据中心智能化运维发展。

（一）设施自动化运行

产业高速发展下，“解放人力”需求推动设施自动化运行。当下数据中心行业面临着大规模、高增长、急交付的发展挑战，运维侧面临成熟人才短缺、人员流动性较大、知识技能储备不足等诸多困难。为应对产业智能化运维下一阶段对于“无人值守”及无人化下极致安全的发展需要，电气、暖通、安防等自动化运行设施（详见图 3）将结合软件能力，从快速地发现问题、及时地通报问题、准确地判断问题、高效地处置问题等方面，助力数据中心破除“人为主责”的局面，满足客户越来越高的 SLA（service Level agreement，服务等级协议）要求。



来源：中国信息通信研究院

图 3 自动化运行设施

数据中心设施自动化运行的发展与演进，与 SAE（Society of Automotive Engineers，美国汽车工程师学会）对自动驾驶的成熟度定级相似。早有研究表明自动驾驶汽车为社会安全和效率带来一定积极影响。对于数据中心“智能驾驶”来说，基础设施如能在故障时发挥其发现、控制、应急的能力，取代人作为主责方完成相同的运行操作，这其中终态目标也在于安全和效率。数据中心安全、高效运行，是每一个运营者的核心目标，传统数据中心想实现这些，需要大量优质人才。随着新基建、“双碳”等国家战略发展，一方面，有限的人才资源制约着数据中心的快速健康发展，另一方面，过度依赖人也会增加数据中心运行的风险。从安全角度来看，据调查了解，数据中心故障宕机场景中，人为操作的事故占比超过 60%。因数据中心面临的外部风险不确定性高，如突发的疫情、区域的限电、极端的天气、机电系统过于老化、能效控制等方面。想守住安全红线，靠人是远远不够的，需要建设自动化运行设施来助力数据中心实现更深层次的安全性。从

效率角度来看，和汽车的自动驾驶一样，数据中心设施的自动化运行可以降低对人员的依赖，提升效率。数据中心智能驾驶是一项系统性工程，需要通盘考虑，打通从建设到运营、硬件到软件各个环节，不仅要培养观念与习惯，还需要投入大量人力与时间成本。

类似于 SAE 将汽车自动驾驶级别的 L0~L5 级划分，清晰定义了人工驾驶（No automation）、系统辅助驾驶（Foot off）、部分自动驾驶（Hands off）、有条件自动驾驶（Eyes off）、高度自动驾驶（Mind off）、完全自动驾驶（Chauffeured）五个等级。团体标准《数据中心基础设施智能化运行管理评估方法》将数据中心的电气、暖通、安防等设施在多种故障场景下，取代人作为主责方达成相同的操作目标的程度进行了定义。数据中心自动化运行发展从全部人工运行的初级阶段到全自动运行的高级阶段分为五个等级（详见图 4）。未来数据中心或将达成第四级别，这一级别将实现自动预测性排障和分析、全自动应急处置及 AI 能效管理，在运行态几乎可以达到“无人化”。



来源：中国信息通信研究院

图 4 数据中心设施自动化运行能力分级之间的差异与关系

其中 **L1 级，人工为主，设施辅助**。实现数据的监控采集，具备设施及系统的故障报警、电气自动切换能力，目前行业内很多存量数据中心处于该级别。**L2 级，设施为人工辅助**。由人主责，设施辅助共同完成任务，无论设施的完成程度，始终以人作为完成任务的主责方。**L3 级，更进一步的设施主控、人工辅助**。实现半自动运行和远程控制，故障后的应急操作，可在设施半自动模式下完成，初步实现数据中心解放运维人员的脚、眼和手。**L4 级，设施全自动化运行**。可预测系统和设施劣化趋势和故障，能基于自动化的能效调控措施，实现极致能效，初步实现数据中心解放运维人员大脑，在较长时间内允许无人值守。**L5 级，无人运行**。设施全自动化运行、调度、预测，不期望人进行干预，特殊情况下，可由运维人员远程接管，做到现场无人值守。

未来，处于理想态的智能化数据中心，软件业务部署会垂直贯通数据中心部件到上层的运维，从原来的分层解耦变成垂直整合。理想状态下，智能运行的数据中心在运维效率、部署方式和最终实施环节上和传统的数据中心完全不同。

与机器人技术结合的数据中心智能化巡检、运维操作应用场景逐渐明朗，驱动智能机器人规模化商用。运维活动的稳定性与效率依赖于人员的排班、技能、现场表现等诸多方面。数据中心智能化巡检/运维机器人可以代替人工进行现场巡检、硬件插拔或维修操作，可以将人员带来的临场差异消弭，进一步提升效率。当前，如机器人技术、人工智能、IoT（Internet of Things，物联网）等多方面先进技术已取得了长足发展。在工业领域，机械自动控制系统已日趋成熟，诸多如

机器人、机械手臂、AGV（Automated Guided Vehicle，自动导引运输车）、自动导航控制系统等新应用层出不穷，这也使得各行各业对机器人的接受程度大幅提高，其中不乏许多数据中心的用户。未来数据中心内重复的标准操作可以逐步交由运维机器人进行，助力数据中心达成“用机器管理机器”的愿景。

（二）平台智能化管理

数字技术推动 DCIM 智能化发展，监控管理等通用能力建设与应用将更加全面与深入。数据中心逐渐走向大型化和集约化，管理模块划分越来越精细化，这也意味着成本的飙升，以及对基础设施关键技术依赖的加剧。与此同时，IoT、AI、数字化 3D、数字孪生等新技术已广泛应用，DCIM（详见图 5）中监控管理、运维管理、运营管理、安全管理等通用能力的高效建设、精准应用是未来发展的重点。建设方面，DCIM 将向基础设施和多个子系统集中化管理发展；应用方面，包括部件级、设备级、链路级、数据中心级的运行状态、关键参数、故障告警等信息将向全局可视化发展，以帮助管理者更直观地掌控数据中心运行状态。



来源：中国信息通信研究院

图 5 DCIM 的管理范畴与服务能力

以运营管理能力中的容量管理为例，一直以来，数据中心企业追求相同成本下最大程度缩短项目上线交付时间，企业用户持续投入建设 IT 系统与数据中心，也是为了能够抢占市场先机、支撑经营决策。根据中国信通院数据显示，当前我国数据中心规模超过 600 万架标准机架，但数据中心资源利用率有待提升，个别地区资源闲置率达到 50%，造成一定资源浪费。与此同时，数据中心管理团队还面临另一个挑战，即当前数据中心能不能敏捷调配算力资源，以支持新业务的快速上线。本质上，容量管理主要解决的是资源调度问题，其目标是为了应对非线性业务需求的增长，可以弹性使用算力资源，同时使得其成本可控，满足用户业务性能要求。

容量管理是当前数据中心产业规模大型化发展趋势下的迫切需求和必然要求。根据中国信通院发布的《数据中心白皮书(2022 年)》

显示，我国数据中心机架规模持续稳步增长，大型及以上数据中心机架规模占比达到 80%，成增长主力。一方面，受国家相关政策影响、企业业务需求增长等因素驱动，云计算数据中心的单体规模越来越大，成千甚至上万机架的数据中心屡见不鲜，超大型数据中心不断涌现。另一方面，大型云服务商、大型互联网企业动辄需要管理数百个机房、数万台机架，这些机房和机架位作为主要的不动产，需要高效地利用供电、制冷、网络、空间和承重容量，避免每个资源维度的闲置或者超容，实现整体效率最大化。

IT 层面，数据中心未来的发展趋势中，多元化 IT 资源将在截然不同的业务和需求间动态分配。若要实现智能敏捷地调配，我们所关注的容量指标不仅仅指机位空间、电量等动力指标，算力也成为容量管理的重要部分，需要有效利用平台或工具来实时监测计算、网络、存储等资源的使用情况，并根据运行状态实时调整配置，实现资源的有效利用。长远来看，DCIM 可以将基础设施管理水平提升至更高层次的业务智能调配，在下一阶段的新技术/新产品或将更好地实现机架功耗、服务器功耗、网络端口利用率的微观优化。如在机房功耗密度一定的情况下，通过调配部分机架的功耗峰值，达成机架内的最优解，为进一步实现集群化数据中心在基础设施、网络资源、计算资源方面的宏观优化提供基础。

基础设施层面，创新的 DCIM 容量管理，可以提供数据中心当前物理状态，并模拟未来添加、迁移和变更物理设备的效果，能够预测变更对空间、供电、制冷、网络、承重等容量管理方面的影响。一般

而言，容量和变更管理有模拟结果、规划容量、管理工作流程，以及避免局部热点等方面的作用，可让运营者对数据中心整体运营有更长远、更全面的认知与规划。数据中心在全生命周期运营中，每天都上演着诸多资源调配 NP-hard（非确定性）难题，管理者需要快速判断出服务器的安装位置，并综合考虑安装位置对现有分支电路的影响、新增服务器对冗余和安全性的影响等因素。在传统数据中心，运营人员通常根据有限的、零散的数据，依靠个人经验进行判断决策。如果判断错误，那么当机柜超过电源容量时，会导致服务器掉电等较为严重的问题发生。而 DCIM 能够在测量机柜中每个设备的用电量后，根据科学数据做出负载均衡决策。除此之外，还可以协助避免线路过载及断路器跳闸，使得运营者有机会在宕机前做出合理调整。如果某台机柜接近容量阈值，DCIM 还能够生成预测性模拟选项，并进行评估，以确定最佳的方法来降低该状况的发生。

基于基础设施与 IT 设施融合管理的目标，智能化管理对象应覆盖基础设施（电力、制冷、机柜、安防）、IT 设备（服务器、交换机、存储）及相关的环境，管理活动应贯穿数据中心基础设施全生命周期的运维运营行为，提供集中监控、资源规划、日常运维、成本优化等管理模块。有效的运营管理系统可切实帮助数据中心保障基础设施的高可用并提高基础设施资源利用率，降低能源消耗和人员综合成本，并通过流程化管理日常作业提升服务水平，提高数据中心经营产出和效率，实时、准确提供管理决策信息，最终实现以数据驱动管理价值。

在此背景下，数据中心智能化管理平台的建设宜遵循“以用户需

求为导向，以价值为目标”的总体原则（详见表 1），其核心价值应包
括：安全、效率、合规。

表 1 数据中心智能化运营管理平台建设原则

安全	设施安全	以数据中心设施设备安全为目标，依托多种物联技术进行在线数据采集，通过机理、数理分析手段，实现故障事前预防预测、事中敏捷感知、事后精确处置
	人员安全	以数据中心作业人身安全为目标，通过标准化作业指引、知识赋能，实现高危操作可控、风险规避
	环境安全	以数据中心场地环境安全为目标，对人员出入、场地活动、环境趋势进行规范审计和全面监控，防患于未然
	信息安全	以软硬件系统信息安全为目标，系统健壮、无漏洞，数据资产可控可信，产品技术不受外部制约
效率	设施效率	以节能低碳、降本为目标，通过监测供电系统、制冷系统质量、效率，应用数据分析手段发掘低效源头，主动调优运行参数，改善电能利用效率、制冷供冷效率
	人员效率	以提升人员运维工作效率为目标，提供电子化、标准化、流程化操作工具，打通线上线下作业壁垒，提升日常作业效率、服务响应能力，提高人均运维产出
	运营效率	以提升数据中心经营质量为目标，平台智能支撑运营管理者精细化资源投放，合理、充分发挥基础设施存量价值，提高运营收益
合规	管理合规	以可审计、可追溯为目标，确保过程有迹可循

来源：中国信息通信研究院

（三）体系精细化落地

面向业务应用，日趋严格的用户服务要求推动企业搭建低成本、高效率的精细化运维体系。随着新型数据中心、“东数西算”等政策的落地与实施，一大批数据中心项目纷纷上马，新建数据中心以大规模、超大规模为主，海量的设备和复杂的系统为高效管理带来了挑战。如

果缺乏与之相匹配的现代数据中心精细化运维手段，粗放的基础设施、IT、网络管理和维护方式势必会造成电力和网络成本的浪费，在对于网络体验、算力服务要求日益严苛的今日，难以保证用户方对于业务的高需求和高要求。

高效运维流程体系应随着业务发展战略迭代更新，助力数据中心规范管理流程，提升运维价值。并不是建设应用好智能化管理平台、自动化运行设施或其他更先进的“器”后就可以完全保障数据中心的有序运营，一套行之有效的运维管理方法论可以帮助企业确立数据中心全生命周期运行维护管理的关键环节，帮助运维团队提升运维管理效率，高效挖掘运维价值。管理方法论应随着企业发展变化而不断更新，避免因“重器轻道”而产生运维团队自身熵增。加之运维是数据中心全生命周期中历时最长的一个阶段，运维体系建设及流程实施的重要性不言而喻。数据中心的精细化运维是相对传统运维管理而言，一种实现运维分工更精细，运维质量更精益的管理体系，只有在运维体系建设、运维流程规范中不断突破与创新，才能实现数据中心“运维创效”的高阶目标。

通过积极运用技术手段并建立一套运维体系，可以全面覆盖数据中心运营的设备管理、流程管理、质量管理、资源管理、人员与组织管理各个关键环节所需要的框架及流程，形成数据中心运维全生命周期的服务能力。**设备管理环节**，包括设备监控、告警管理、设备状态管理、设备健康度管理等关键活动。以设备健康度管理为例，要依靠大数据、人工智能等技术，基于大量历史数据，对设备健康情况和所

处的状态进行评价，并制定相应运维的活动计划。比如当设备出现内部端口 DOWN（关闭）告警，通过健康度分析，预判将会影响到网络转发流量，就需要运维人员提前隔离设备，让网络流量不流经该设备。

流程管理环节，主要包括维修、维保、巡检、演练等关键活动。以巡检为例，当前日常巡检的很多工作可以被监控系统替代，因此应强化定期专项巡检来弥补监控系统的不足。比如对 UPS（Uninterrupted Power Supply，不间断电源）的专项巡检，可以全面检查 UPS 的外部、内部，专家团队可以采用红外热成像仪检测内部器件的温度，测量或查看 UPS 内部母线电容的电压、逆变器输出的波形和谐波、输入端的波形等，依此预判 UPS 是否有故障或隐患。

质量管理环节，包括风险管理、事件管理、问题管理、资料文档管理等关键活动。以问题管理为例，与事件管理强调速度不同，问题管理注重诊断事件的根源，确定问题的根本原因，从而制定恰当的解决方案，防止类似事件的再次发生，因此问题管理比事件管理会花费更长的时间。当前应用无监督学习算法对大型服务器集群内部的故障进行根因故障分析在业界已有诸多实践。基于人工智能的问题管理多以告警事件、业务日志、网络及业务拓扑等为管理对象，依托无监督方式的机器学习算法技术进行算法智能降噪、算法智能聚类，实现智能事件关系整合，在海量的故障事件中高速、精准定位问题，解析原因，并提高解决问题的速度。

资源管理环节，包括能效管理、容量管理、资产与配置管理等关键活动。以资产与配置管理为例，资产管理的控制目标偏重于公司财务视角，配置管理则聚焦 IT 管理视角，识别和确认系统的配置项记

录，报告配置项状态和变更请求，检验配置项的正确性和完整性等。目前已有大量数据中心企业利用 RFID（Radio Frequency Identification，射频识别）技术，对单位的固定资产进行标签式管理，可实现资产全面可视和信息实时更新，能够实时监控资产的使用和流动情况。人员与组织管理环节，包括供应商管理、交接班管理、培训与考核等关键活动。人员与组织管理更加强调管理者对自身所拥有的各种与人员相关的要素计划、组织、协调和控制的过程，在战术与操作层面都强调正确、合规。目前相关标准已提出数据中心精细化运维成熟度模型（详见图 6），详细定义了上述环节各个过程的目标与能力要求。

数据中心精细化运维成熟度模型					
能力域	流程管理	质量管理	设备管理	资源管理	人员与组织管理
过程域	维修	风险管理	设备监控	能效管理	供应商管理
	维保	事件管理	告警管理	容量管理	交接班管理
	巡检	问题管理	设备状态管理	资产与配置管理	培训与考核
	演练	资料文档管理	设备健康度管理		

来源：中国信息通信研究院

图 6 数据中心精细化运维成熟度模型

（四）服务价值化输出

广义的运维工作应包含管理与服务两个部分。向内归因，管理者应向自己提问“我需要管理什么？”，这里主要是对数据中心各项管理对象进行系统的计划、组织、协调与控制，是设备管理、流程管理、质量管理、资源管理、人员与组织管理的总称，对内应着眼效率提升。经济学中提到的著名理论“生产力决定生产关系”指出了运维工作的

外延部分，服务包含的内容本质上是管理者反思“我能提供什么？”的过程。相较于管理，服务是向外探索，指的是运维团队具备哪些能力，可以用何种方式对外输出，因此对外应强调敏捷升级。

据 ODCC（开放数据中心委员会）测算，2022 年我国数据中心基础设施运维市场营收超过 100 亿元，且近 5 年的市场增长率都在 20% 以上。数据中心运维服务将日趋细致与专业，专业人才短缺问题或将长期存在、分化也将日趋严重。面向成本类、效率类等场景，各数据中心运营商是否运用赋能提效工具，工具是否起到实际作用，影响运维增值服务能力输出。部分数据中心在价值化运营下，会取得良好效果，这也将推动产生规模越来越大的专业第三方运维服务市场。

(1) 成本类场景

数据中心借助 AI 软件等工具进行绿色运维，不仅仅是为了符合绿色经济与“双碳”战略的要求，对于数据中心自身的可持续发展来说，通过引入 AI 调优的方式降低用电量能耗，即便是节省几个百分点的耗电量，都意味着巨大的成本节约。切实提升能源利用效率，降低数据中心能耗，打造数据中心绿色运维服务模式，已成为新型数据中心发展的重要任务。一方面，在近几年数据中心“新基建”的建设热潮下，很多基础建设实际都已完成，运维人员接下来面临的问题是如何在运维和能效管理上进一步满足用户对于“最高能效、最低成本”的极致要求。另一方面，在互联网、金融行业等用户方的高标准 SLA 要求下，为与用户方的设备产品相匹配，提供更好的绿色运维服务，更加要求数据中心运维方在确保安全性、可靠性、灵活性等基础上，进行能效

管理。

当前，数据中心节能潜力已经充分挖掘，PLF（Power Load Factor，供电负载系数）下降值已接近天花板，冷却系统成 PUE 节能的主战场。数据中心大多需要复杂的制冷系统设备，在目标温度及机房内外环境温湿度等多种参数的制约下，数据中心的能耗优化问题成为一个非线性多输入的控制优化问题。目前业界趋于采用机器学习的方法，基于历史数据，用模型来逼近从输入到输出的各种复杂变化。通过在系统中整合预训练好的深度学习预测模型，技术专家的能效调优经验可以协助运维工程师调整设备参数组合。设备经调参操作之后，输出的结果将继续被采集和学习，模型不断迭代后可以确保精确性与安全性。专家系统中的实际调控经验会作为人工智能算法模型控制推荐的方案，最终实现降低整体智能化运维的风险，达成系统级的能效智能优化，助力数据中心产业进一步优化制冷系统成本。

(2) 效率类场景

电力系统的稳定运行和维持理想的物理环境温度是保证数据中心运营稳定的关键。许多数据中心通过监控系统和运维人员巡检，来检测机房内的电热异常行为，减少电热问题带来的故障。但如今的数据中心电力、制冷及 IT 设备的拓扑类型、工作状态、业务负载千差万别，难以快速发现及定位问题。基于复杂的应用场景，目前较为常见的提效工具是 CFD（Computational Fluid Dynamics，计算流体动力学）。利用 CFD 技术仿真可以找出气流短路和气流中热点所在位置，

快速找出产生局部热点的原因，有针对性地进行优化改进，同时还可以利用仿真结果对冷热气流隔离等改进方案进行评估和验证。

三、数据中心智能化运维发展实践

编写组通过全面总结案例实践成效与具体做法，希望能为推动数据中心运维向精细化、绿色化、智能化发展提供有益借鉴与参考。

（一）以自动化设施提升运行效率

我国互联网企业、第三方服务商积极开展自动化运行相关实践，但当前大部分数据中心还处于 Level 2 的水平。通过中国信通院调研发现，在电气、暖通系统自动化运行实践水平方面，90%以上的数据中心在市电故障等故障场景下，实现告警后高压变配电系统将电能按照设计要求进行分配的难度较大，在智能化运行先进理念和软件、硬件协同联动方面尚存优化空间。如何实现数据中心“智能驾驶”，自动化设施在发现、诊断、处置全流程场景的覆盖度成为关键，在数据中心向自动化运行演进过程中，企业需从逻辑侧、参数侧、设计与管理侧等方面重新考量运维问题，并进一步对弱电领域进行探索。

专栏 1：自动化运行设施应用案例-万国数据北京四号数据中心

万国数据服务有限公司（下称“GDS”）深耕数据中心行业多年，在《中国第三方数据中心运营商分报告（2022 年）》中规模及综合能力指数位列第一。如何在快速扩张的情况下保证数据中心的高效安全运行成为 GDS 的一大挑战。为此，GDS 从多年以前就开始探索和实践数据中心智能运营模式，历经三代更迭，形成 GOCC-ROCC-DCU（全球运营指挥中心-区域运营指挥中心-单座数据中心）三级数据中心运营架构的智能运营体系。在此期间，GDS 自主研发了智能运营系统，涵盖智慧园区、基础设施管理、智能监控、运营管理、运维服务、节能减排、资源规划等各个方面，推动数据中

心的安全、智能、绿色运行。截至目前，万国数据北京四号数据中心已经实现 L3 级智能驾驶，从发现、诊断、处置三个方面实现系统为主、人工为辅的智能运行模式，进一步保障了数据中心的安全稳定运行。此外，GDS 通过在基础设施建设方面大量应用融入专业经验的自动化装置代替人工操作，提高故障报警及响应速度，并结合自行开发的运营管理平台及应用软件，实现了从本地到区域，再到全国的高效、高质量运维。

（二）以 DCIM 平台促进智能管理

当前，数据中心可视化管理平台、AI 软件如雨后春笋般层出不穷，目前市场上常见的一些运维管理软件或用于向数据中心决策者汇报展示使用，或适用于运维人员日常工作。根据 ODCC 对我国数据中心动环建设应用水平的调研发现，许多业主表示动环/DCIM 等产品智能化发展脉络难把握，因此还存在大量中小型数据中心依靠人工与表格统计来进行管理。通过中国信通院测试并获得智能化管理 Level 4 的数据中心也屈指可数，在数据采集规范、质量方面，部分数据中心已经采用 ODCC 发布的《互联网数据中心基础设施监控指标规范》；采集器断开 5 分钟后，仅有 30% 的数据中心可以实现端数据断点续传。在故障场景告警速度方面，近一半的数据中心平台端收到告警的速度大于 30 秒，仅有不到 20% 的数据中心可以实现 20 秒内完成告警，有效降低了运行风险。

在推动 DCIM 高水平建设、智能化应用的过程中，也涌现出众多优秀实践案例。如腾讯怀来瑞北云数据中心基于腾讯自研的数据中心自动化管理平台—腾讯智维，构建了链接园区、区域、总部的三级闭环管理体系，并通过重构告警链路实现了秒级敏态感知，应用图计算、

物模型等技术实现了告警极速收敛，故障自动定位，准确率高达 99%。数据港张北 2A2 数据中心通过采用微服务架构、数据采集技术架构及分布式数据存储架构等数据分析平台架构，将纷繁复杂的各类运行数据转化为可直接分析的有效数据，并深度挖掘数据内涵，降低人为判断干扰，减少灾难性宕机、数据丢失等问题，提高了整体系统的安全性和稳定性，大幅提升了数据中心的运营管理能力和管理效率。中国·雅安大数据产业园 1 号楼采用 AI 技术进行精准运维，依据实时的运行数据提前为运维人员示警，并结合 BIM（Building Information Modeling，建筑信息模型）运维模型的机电逻辑拓扑图，梳理出故障发生的内在根因，辅助运维人员对数据中心进行科学化、智能化管理。

专栏 2：智能化管理平台应用案例-湖北中烟云网端安智慧管控中心

湖北中烟工业有限责任公司（下称“湖北中烟”）锚定“双一流”战略目标，大力推进数字化、网络化、智能化数据中心建设，赋能烟草业务高质量发展。在数字化转型过程中，为促进基础设施持续高质量运营，湖北中烟通过建设云网端安智慧管控中心，建立起以用户和应用为核心的智能运维体系，全面提升业务、资源、安全、服务相融合的运维运营管理能力。业务方面，可实现可视化、端到端、高质量的业务应用管理，满足业务高可用要求；资源方面，通过定义 IT 运维管理对象的基础信息标准并建立数据管理流程，为众多运维服务场景提供数据服务；安全方面，可实现安全运维双域融合，从监控、审计、风险、处置四个维度建立了一套可度量的“统一安全运维管理体系”；服务方面，可实现运维服务过程可视化、可量化、可追溯，提高运维服务质量及用户满意度。

通过建设云网端安智慧管控中心，湖北中烟成功构建“全领域、全方位、全覆盖”的智能运维体系，实现总部分支协同、安全运维融合、数据支撑决策，保证基础设施及业务系统稳定运行，推动生产、运营、物流等业务流程的数字化，保障信息化建设与管理的投入产出效益，持续巩固发展优势。

专栏 3: 智能化管理平台应用案例-深圳联通坪山数据中心

近年来，深圳联通响应国家“双碳”政策，联合北京市中保网盾科技有限公司积极探索，在坪山数据中心，一是基于 DCIM 采集的数据，开发了智能巡检系统，实现了数字化运维。运维数据分析后可指导运维策略优化，也可支撑运维体系向精细化发展，提高了运维的可靠性，降低了运维过程对人的依赖；二是引入“大数据、AI”等技术，对数据中心、人员等资产信息和巡检过程等各类信息进行全量采集和自动化管理，持续分析机房 IT 设备、配电和暖通系统与设备用电数据，并结合天气的变化，及时精准调整系统与设备的运行策略，降低耗电量；三是通过联动蓄电池智能管理系统和“主动能量管理”模块，增加系统的供电时长，提升电力保障能力，通过电压和容量一致性管理，以及充放电控制，延长电池使用寿命，提高备电经济性。

智能化管理系统的应用，使得坪山数据中心实现 2022 年全年维护、维修时效 100% 达标，事件处理零延迟，运行维护零事故。助力达成“运行数据可视化、历史数据可查询、远程运维可管理、应急处置有预案、故障情况可分析”的运维升级。

（三）以技术手段赋能运维体系变革

现阶段我国数据中心运维标准化、流程化程度较高，大多数据中心已基于 ITIL（Information Technology Infrastructure Library，信息技术基础构架库）等通用方法论将流程固化在系统上。存量时代下，随着数据中心由重建设转向重运维，如何在海量运维信息中发现价值，提升运维管理水平，成为价值运维管理的新引擎。在“东数西算”等国家政策引导下，数据中心的大型化、高密化、集群化发展趋势也让各种管理问题凸显，以往得心应手的管理经验似乎已经无法奏效。运维管理者单纯凭借基于人工经验的管理手段，面对复杂的环境和海量的

数据已显得无所适从。

多元化应用场景对数据中心运维实施提出新要求，近年来，数据中心相关设备厂商、大型数据中心企业开始探索将大数据、人工智能等技术深度用于运维管理体系落地中，如提高数据采集的实时性和准确性，研究训练节能、告警等数据模型，开展故障预测等，进一步提升运维管理实施过程的智能化水平。当前已有众多数据中心自动化管理运维的工具和软件，包括腾讯、百度、阿里等企业自研的智能运维管理平台、双碳管理平台等一系列工具和软件，也出现了多种以新技术新产品赋能多层运维体系的优秀解决方案。

专栏 4：精细化运维体系应用案例-中联绿色大数据产业基地 1 号楼

作为致力于成为“零碳”大数据中心标杆的中联绿色大数据产业基地，在日常运营、风险管理、应急能力等方面推动实现高水平运维和智能化管理。一是完善优化流程，助力数据中心有“智”可循。为保证数据中心稳定运行，运维团队采用 7*24 小时全天候驻场模式，依托智能化运维平台实现工单流程一体化管理和电子巡更。同时，定期组织专家巡检、实操演练等深度运维工作可以提升改善流程。二是坚持高质量运行，保障数据中心“智”在必得。通过对数据中心设施、环境进行全面评估，预测各类型潜在风险，使运维人员能够更加及时地识别并应对数据中心风险，保持“0”事故的运维记录。三是强化设备管理，支撑数据中心“智”算在握。应用 DCOM（Data Center Operation Management，数据中心运营管理系统），结合数据中心的运维特点，构建业务完整、流程规范的运维服务管理体系，实现数据中心设备管控的电子化、规范化、流程化、自动化。四是注重节能减排，推动数据中心以“智”赋治。通过 DCOM，对数据中心运行容量、能源利用进行实时监控、动态管理，不断优化配电系统的标准和节能运行方式配置，以确保设备处于最优配置下高效运行。五是持续组织优化，确保数据中心“智”理有方。通过对数据中心供应商进行规范管理，优化供应链，降低采购成

本，确保 SLA 水准。同时，制定完善的培训与考核制度，结合多种培训形式提升团队工作效率及运维能力。

（四）以巡检机器人释放运维人力

当前，业内众多数据中心对巡检、运维机器人的应用落地进行了积极实践和有效探索，但产业界对于智能化运维机器人仍存在不同的理解和认识，还需机器人研发厂家、数据中心用户方、设计建设单位等多方进一步协作，加快行业对于机器人的实践应用，推进数据中心逐渐走向真正的智能化运营。

专栏 5：智能化运维机器人应用案例-超维科技 智能轮式巡检机器人

SQR-W200

超维科技最新一代的数据中心智能巡检机器人产品—SQR-W200 智能轮式巡检机器人，其强大的算力和灵活精准的导航定位技术，支持多种 AI 算法，具备数据中心环境中多种设备及其元器件的识别和告警功能。作为数据中心数字化转型的工具，SQR-W200 于 2021 年 12 月被中国农业银行西藏自治区分行数据中心引入应用，通过稳定的性能、自定义的识别策略和灵活的巡检计划，支撑了该数据中心自动化巡检需求，保证了数据中心持续稳定地对外提供服务。

超维科技 SQR-W200 智能巡检机器人应用 AI 深度学习、机器视觉算法等新技术，通过对每个机柜的指示灯、设备温度等状态进行识别，精准判定各设备的运行情况；通过打通 CMDB（Configuration Management Database，配置管理数据库），实现设备资产的精准盘点和告警；通过打通工单系统实现第三方外来人员的随工监视；通过机器人内置的多媒体模块实现迎宾接待等。机器人功能目前均以用户实际需求为出发点，以技术创新为驱动，与用户共同推进了现代化数据中心自动运维的产业发展，有效提升了西藏农行、中国进出口银行、网联清算有限公司等金融行业数据中心用户的运营自动化水平。

四、数据中心智能化运维发展建议

当前，我国数据中心产业正处于蓬勃发展之中，在取得快速增长的同时也实现了质量提升，而从产业全生命周期中运维管理的发展水平来看，我国数据中心还有较大的提升空间，在满足合规性、可用性的前提下，距离经济性、服务性的要求还存在一定差距。大多数管理者不得不承认，数据中心的运维服务严重同质化，运维管理利润率趋向下降。产业已向每位从业者提出了关键性问题：如何才能提升数据中心运维核心竞争力？数据中心设备、监控、管理平台与运维工作怎样结合，才能促进数据中心的运维精细化、绿色化与智能化发展？

推进数据中心智能化运维发展，需要综合考虑全国数据中心由于数字化发展阶段不同带来的影响设备、监控、平台、应用多层架构标准化层面的差异。此外，在众多新技术发展方向热点频出的时期，还需要了解新技术在个性化应用场景的局限性、优劣势及经济、社会效益，根据实际应用需求开展技术研发创新，确保新技术真正为数据中心降本增效，形成稳固闭环。

当前，我国在推动数据中心产业智能化运维发展方面已有一些探索，但整体仍面临诸多障碍。如各家厂商研发重心不同，动环/DCIM等产品智能化发展脉络难把握，缺乏统一规范的基础共性标准和应用标准，导致部分数据中心企业对于平台产品应用水平不足制约智能化管理落地见效；如数据中心企业在设计之初会根据自身业务安全等级情况，综合考虑架构、设备、冗余度、应用场景等因素，按照高标准建设电气系统、暖通系统，但出于安全考虑，无论基础设施的自动化

设计程度如何，大部分数据中心仍然采取由人主责，设施辅助，共同完成任务，始终以人作为完成任务的主责方；如运维人员还存在主观能动性不高，特别是传统数据中心运维团队对手工运维方式的路径依赖，导致对平台等工具“不想用”，运维人员数字化基础薄弱，技术、技能等方面存在较大短板，导致“不会用”，机器人系统等新型运维解决方案使用成本较人力较高，有一定技术门槛，导致“不敢用”，长此以往，制约运维服务价值创造。

未来是数据中心运维的黄金十年，智能化与精细化趋势正加速到来。在推进产业向智能化发展的过程中，应重点从以下几个方面着手：

一是加强核心技术研发，以创新驱动智能化运维持续发展。面向运营管理阶段的数据中心，强化融合人工智能、大数据等关键技术的设备、平台/工具创新发展，探索数据中心 AI 智能化运营系统在容量管理、能耗管理等方面的算法优化。前瞻布局数据中心智能运维机器人系统，突破数据中心智能运维机器人系统在多层、多房间楼宇内的多模态环境感知、精准空间定位、柔顺安全操作、智能人机协同、多系统联合调度等方面的技术与算法优化。

二是健全标准测试体系，系统性推进智能化运维落地见效。建立推广适用于我国数据中心 DCIM、动环建设应用现阶段能力水平的方法论，形成标准化框架，开展相关测试，为用户选品、行业规范提供重要参考。推动数据中心管理成熟度和自动化程度的提升，形成多种自动化规则和解决方案，引导自动化运行设施取代人作为主责方达成相同的运行目标。建立数据中心精细化运维标准体系，开展数据中心

运维管理水平相关测试，帮助数据中心提升运维管理效率，高效挖掘运维价值，助力我国数据中心代理运维方完善自身方案的完备度，提升其咨询、实施的能力。

三是推动交流互动合作，共建共享产业协同发展优质生态。加强沟通合作，进一步发挥 ODCC 等行业组织和高水平平台专业作用，为数据中心智能运营相关从业者提供技术交流、产业创新、成果发布、资源对接的渠道，广集行业各方力量共建智能运营生态圈。加强对数据中心领域智能化运维的宣传，通过对概念与理念、典型案例的宣传和引导，增进社会及从业者对智能化运维的认识了解，为产业树立标杆典范，为数据中心智能化运维发展营造良好的环境。

编制说明

本报告由中国信息通信研究院云计算与大数据研究所联合开放数据中心委员会牵头撰写，在撰写过程中得到了多家单位的大力支持，在此特别感谢腾讯、百度、阿里巴巴、中国移动、万国、数据港、湖北中烟、中联数据、超维科技、中保网盾、雅安数字（排名不分先后）相关单位的各位专家。

中国信息通信研究院 云计算与大数据研究所

地址：北京市海淀区花园北路 52 号

邮编：100191

电话：010-62300095

传真：010-62300095

网址：www.caict.ac.cn

