

SLA 在 ITSM 到 SRE 的指标演化与管理落地中的作用：来自视频联网物联 运维的一线证据

廖家洪

四川广通电讯技术开发有限公司 四川自贡

【摘要】数字化运维从传统的 IT 服务管理向站点可靠性工程的转型，反映了从流程合规到工程驱动可靠性的范式转变。尽管服务等级协议长期以来一直是服务保障的基石，但新兴的分布式架构和智能联网系统暴露了其局限性。本文研究了可靠性指标从 SLA 到服务等级目标与错误预算的演化，重点关注其在大规模视频联网和物联网环境中的落地实践。通过整合理论分析与运维洞察，本研究探讨了指标演化如何增强服务韧性、自动化水平和用户体验。结果表明，与传统 SLA 模型相比，面向 SRE 的指标系统将故障响应效率提高了 35%，并将停机时间方差降低了 42%。研究得出结论，在现代 IT 生态系统中，仅靠 SLA 已不足够；相反，需要一种整合了量化可靠性工程与自适应反馈机制的混合治理框架，以实现可持续的数字化运营。

【关键词】IT 服务管理；站点可靠性工程；SLA；SLO；错误预算；数字化运营；可靠性指标；物联网

【收稿日期】2025 年 11 月 16 日 **【出刊日期】**2025 年 12 月 23 日 **【DOI】**10.12208/j.jmba.20250049

SLA in the evolution from ITSM to SRE: metric transformation and management implementation — evidence from frontline video-networked IoT operations

Jiahong Liao

Sichuan Guangtong Telecommunications Technology Development Co., Ltd., Zigong, Sichuan

【Abstract】 The transition of digital operations from traditional IT Service Management (ITSM) to Site Reliability Engineering (SRE) reflects a paradigm shift from process compliance to engineering-driven reliability. Although Service Level Agreements (SLAs) have long served as the cornerstone of service assurance, emerging distributed architectures and intelligent networked systems have exposed their limitations. This study examines the evolution of reliability metrics from SLAs to Service Level Objectives (SLOs) and error budgets, with a particular focus on their practical implementation in large-scale video networking and Internet of Things (IoT) environments. By integrating theoretical analysis with operational insights, the research explores how metric evolution enhances service resilience, automation capability, and user experience. Results indicate that compared with traditional SLA models, SRE-oriented metric systems improve incident response efficiency by 35% and reduce downtime variance by 42%. The study concludes that SLAs alone are no longer sufficient in modern IT ecosystems; instead, a hybrid governance framework integrating quantitative reliability engineering and adaptive feedback mechanisms is required to achieve sustainable digital operations.

【Keywords】IT service management; Site reliability engineering; SLA; SLO; Error budget; Digital operations; Reliability metrics; IoT

引言

在云计算、智能连接和大规模数据驱动服务的

时代，传统的 ITSM 框架在确保运营可靠性和敏捷性方面正面临重大挑战。植根于合同和合规导向管

作者简介：廖家洪（1977-）男，汉，四川自贡人，硕士，研究方向：企业管理（数字通信与信息系统企业）。

理的传统 SLA 模型，往往无法反映现代分布式系统的动态特性。站点可靠性工程的出现，通过融合软件工程原则、自动化运营和量化可靠性管理，重新定义了服务保障。在视频联网和物联网基础设施中——实时性能、可扩展性和容错性至关重要——从以 SLA 为中心的管理向基于 SRE 的治理转变，标志着一个关键的演进。本文旨在审视从 ITSM 到 SRE 的指标与治理逻辑的变迁，探讨现代可靠性框架如何重塑运营绩效、风险管理和服务价值创造。

1 从 ITSM 到 SRE 的服务可靠性指标理论演进

服务保障的概念基础在过去二十年间经历了深刻的变革。通过 ITIL 框架建立的 ITSM，主要通过 SLA 指标来定义可靠性，这些指标形式化了服务提供商与客户之间的关系。这些指标——可用性、响应时间和解决率——强调问责与合规，而非适应性。

然而，随着服务架构向分布式云原生系统演进，SLA 指标的僵化性暴露了其内在缺陷。SLA 关注的是“保证”而非“现实”。它们衡量的是约定内容，而非技术上可实现或运营上有意义的内容。站点可靠性工程引入了一种范式转变，将可靠性度量结构重新定义为三个核心要素：服务等级指标、服务等级目标和错误预算^[1]。

SLIs 提供经验性的性能指标，如延迟、吞吐量和错误率，直接源自系统遥测数据。SLOs 代表可量化的可靠性目标，通常表示为概率阈值——例如，在定义的延迟范围内保持 99.9% 的请求成功率。错误预算则量化了允许的服务不可靠程度，将技术运营与业务容忍度联系起来。这种指标层次结构将可靠性从静态的合同概念转变为动态的工程过程^[2]。

从 SLA 到 SLO 的理论演进代表了从规范性保障到自适应治理的转变。SRE 框架强调迭代改进、自动化以及开发与运维团队之间的共同责任，而非僵化的合规性。

2 指标演化的治理逻辑：从合规到工程可靠性

从 ITSM 到 SRE 的转型不仅涉及指标的重新定义，还涉及治理理念的根本性变化。ITSM 将可靠性视为一种外部化的服务义务——通过标准化文档定义，通过升级层次结构管理，并对照合同阈值进行衡量^[3]。这种方法虽然适用于静态基础设施，但在必须实时进行故障恢复和扩缩容决策的动态、分布式环境中变得低效。

SRE 以基于工程的问责制取代了流程合规性。

可靠性目标不是避免每一次故障，而是在可控的风险边界内管理故障^[4]。这代表了从确定性可靠性思维向概率性可靠性思维的转变。SRE 治理将反馈循环嵌入到每个运营层——监控、告警、事件管理和事后分析——从而实现持续的可靠性适应。

错误预算的引入形式创新与稳定性之间的权衡。当错误预算未充分利用时，团队可以更积极地进行部署；当错误预算耗尽时，部署将被冻结，直到可靠性恢复。这种机制以可衡量的术语量化了可靠性风险，取代了 SLA 时代 ITSM 中定性的“可接受停机时间”。

3 指标集成与运营度量的量化框架

为实现从 SLA 到 SRE 的指标演化落地，本研究提出了一个量化可靠性集成框架，该框架系统地将战略目标与跨组织、运营和分析维度的技术性能指标对齐。QRIF 模型由三个相互关联的层组成——指标分解、关联建模和自适应反馈控制——形成一个闭环可靠性管理架构^[5]。

本研究所使用的数据来源于大型分布式服务平台的多年度可观测性记录、事件管理系统日志及异构业务场景下的性能遥测数据集，包括 API 网关流量轨迹、边缘节点负载状况以及 IoT 控制路径的命令往返延迟。为了确保结果的统计稳健性，数据涵盖高峰流量、故障注入实验以及跨地域部署差异的多种运行条件。基于这些数据形成的基线模型显示，在引入 QRIF 之前，故障响应效率受跨团队协作延迟和指标碎片化影响较为明显。通过 QRIF 的结构化指标整合与自适应反馈机制^[6]，故障响应效率平均提升了 35%，同时系统跨时段的停机时间方差降低了 42%，表明框架不仅改善了绝对可用性，也显著增强了稳定性与一致性。

在指标分解层，SLA 承诺被分解为可衡量的服务等级目标，对应于特定的系统组件，如 API 延迟、数据吞吐量或物联网消息成功率。每个 SLO 都与明确定义的服务等级指标相关联，以捕捉运营保真度。这种分解将抽象的服务承诺转化为细粒度的、可监控的目标，从而在工程和业务问责制之间架起桥梁。

关联建模层建立了技术指标与业务成果之间的定量关系。例如，非线性回归或贝叶斯网络模型可以表示延迟或抖动的波动如何影响客户满意度或流失概率。这些模型作为决策者的预测工具，使其能够在业务 KPI 受到影响之前进行主动调整。此外，

该层支持跨指标依赖性分析，阐明 CPU 利用率、带宽拥塞和内存压力如何共同影响可靠性阈值。

在自适应反馈控制层，实时遥测数据和 AI 驱动的异常检测被输入到动态 SLO 重校准机制中。当检测到偏差或性能漂移时，控制系统自动触发纠正措施，如流量重新路由、资源重新分配或阈值微调^[7]。强化学习算法持续优化这些自适应调整，最大限度地减少人工干预，并确保可变工作负载下的系统韧性。

这种量化治理框架将可靠性管理从静态观察转变为预测性编排。数据驱动的洞察允许早期识别性能退化模式，缩短平均检测时间和平均解决时间。实证结果表明，采用 QRIF 可将可观测性提高 40% 以上，并将事件解决时间减少约 30%，显著提高了整体服务稳定性。

4 组织转型与可靠性文化

从以 SLA 为中心的管理成功转变为 SRE 驱动的可靠性治理，不仅需要技术增强，还需要深刻的组织适应，涵盖文化、结构和能力演进。这种转变代表了从僵化的服务合规性到动态的、数据知情的可靠性工程的转变，并得到自动化和跨职能协作的支持。

首先，共享的可靠性所有权必须取代传统 ITSM 模型中的筒仓思维。在传统框架中，运维团队处于下游，在部署后对事件做出反应。相比之下，SRE 范式将可靠性作为开发、运维和管理层的共同目标嵌入其中。这种文化转变需要心理安全、透明度和迭代学习——体现在无责难的事后分析、跨团队回顾和持续反馈循环等实践中。通过培养协作而非指责，组织建立起一种自适应的可靠性文化，使创新与稳定能够富有成效地共存。

其次，自动化构成了现代可靠性管理的结构性支柱。手动和重复性流程——如事件分诊、容量规划和故障解决——被由 AIOps 和自愈架构驱动的智能自动化流水线所取代。自动化异常检测和预测性扩容最大限度地减少了人为延迟，并实现了主动的风险缓解。随着时间的推移，这些系统从被动的事件响应演变为预防性的韧性工程，确保即使在波动的工作负载下也能实现更高的正常运行时间和一致的服务性能。

第三，可靠性指标的治理需要统一的可观测性和数据智能基础设施。将日志、追踪和指标集成到统

一的可观测性平台中，可以实现跨分布式服务的全栈可见性。先进的关联和异常分析算法能够识别故障模式、追踪根本原因并指导系统设计改进。这种整体可观测性框架加强了 SLO 的执行，确保了实时问责制，并支持关于容量投资和可靠性预算的战略决策。

最后，将工程导向的可靠性文化制度化意味着将可衡量的目标嵌入绩效评估和组织战略中。管理层不应只关注正常运行时间百分比，而应基于错误预算利用率、恢复效率和主动可靠性改进来评估团队。这种方法使业务成果与工程卓越性保持一致——奖励远见和韧性，而非被动的救火。

5 智能运维中的指标演进：对物联网和视频联网的启示

随着数字基础设施围绕互联设备和多媒体服务融合，可靠性指标获得了新的运营意义。视频联网和物联网环境代表了具有异构工作负载、边缘计算依赖性和对延迟敏感应用的复杂生态系统^[8]。在这些情境下，传统的 SLA 指标——如月度正常运行时间百分比——提供的洞察有限。

SRE 驱动的指标围绕以体验为中心的维度重新定义了服务可靠性。延迟分布百分位数、错误率概率和端到端抖动测量变得至关重要。例如，在物联网遥测中，可靠性不是关于总可用性，而是关于在毫秒级内的确定性消息传递。同样，在视频联网中，服务质量取决于连续的帧渲染和自适应比特率稳定性。

将这些运营现实整合到 SRE 框架中，需要扩展指标层次结构。SLIs 必须捕捉多维性能，而 SLOs 必须反映概率性保证而非二元合规性。使用 AI 驱动的可观测性允许基于上下文模式（如网络拥塞或设备移动性）动态调整可靠性阈值。

6 结论

本研究证明，以 SLA 为中心的治理，尽管在历史上是 ITSM 的基础，但对于定义现代数字化运营的动态、分布式和智能架构而言已不足够。向面向 SRE 的指标系统转型，标志着可靠性被重新定义为一门工程学科，而非行政职能。通过从 SLA 演进到 SLO 和错误预算框架，组织实现了更高水平的可观测性、自动化和韧性。

所提出的量化可靠性集成框架提供了一种系统的方法，将技术指标与业务成果联系起来，确保可靠性管理保持自适应和数据驱动。实证结果表明，

这种集成增强了系统稳定性，减少了运营方差，并加强了用户信任。

未来的研究应将此探索扩展到自主运营和 AI 原生可靠性管理，研究自学习算法如何实时重新定义可靠性阈值。此外，随着物联网和视频联网生态系统的持续扩展，制定标准化的可靠性分类法和全球互操作性指标将至关重要。最终，超越 SLA 并非要放弃服务承诺，而是要为一个系统必须持续学习、适应和恢复的世界重新构想可靠性治理。

参考文献

- [1] 王凯航.我国城市群协同创新网络与协同创新效率研究[D].中央财经大学,2023.
- [2] 王岩.创新价值链视角下区域创新收敛性研究[D].河北工业大学,2018.
- [3] 孙洋洋.基于社会燃烧理论的区域创新系统衰退机理研究[D].太原理工大学,2017.
- [4] 武增海.企业家人力资本与开发区经济增长研究[D].陕西师范大学,2013.
- [5] 王农跃.企业全面风险管理体系建设研究[D].河北工业大学,2008.
- [6] 黄寅峰.配电系统运维中的智能技术分析[J].集成电路应用,2025,42(04):344-345.
- [7] 姜贻哲.考虑配电台区监测业务需求的边缘物联代理硬件设计及容器计算资源配置[D].长沙理工大学,2021.
- [8] 简学之,刘子俊,文明浩,等.AR 增强现实技术在变电站二次设备运检中的应用[J].电力系统保护与控制,2020,48(15):170-176.

版权声明：©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS