混沌工程
实验室

中国混沌工程调查报告

(2021 年)

混沌工程实验室

2021 年 11 月

版权声明

本报告版权归混沌工程实验室所有，受法律保护。如需转载、摘抄或通过其他方式使用本报告内容，须注明“来源：混沌工程实验室”，违者必究。

前言

随着分布式架构的普及以及云计算技术的成熟，国内企业应用云原生化推进业务系统的迭代速度越来越快，后端系统架构日趋复杂，服务间的依赖越来越多，调用的链路越来越长。宕机引发巨额损失、严重影响用户体验的新闻层出不穷，为了让云基础设施更好地适应复杂多变的运行环境，持续提供超大规模、超高稳定性的运行效能，一种新的软件思潮——“混沌工程学（Chaos Engineering）”应运而生。混沌工程提供了一种端到端的稳定性测试理念与工具框架，通过主动引入故障来充分验证系统和应用的脆弱性，提前发现并解决问题，力求防患于未然，从而从根本上提高系统和应用的鲁棒性。

2020 年初，中国信通院开始组织专家进行混沌工程技术研究，提出应用混沌工程方法来验证企业软件系统的韧性架构。2021 年 4 月 2 日，混沌工程项目研讨会议在京召开并发布《混沌工程平台能力要求》标准纲要，并在 2021 年 7 月于可信云大会上牵头成立国内首个混沌工程实验室，旨在探索混沌工程在国内各领域典型应用场景中的实践落地，联动云计算上下游企业来共同推进混沌工程概念快速普及。

为了了解我国混沌工程发展全貌，混沌工程实验室于 2021 年 9 月启动《中国混沌工程调查报告》问卷征集活动，此举有助于更深入探索我国云上软件系统稳定性现状、混沌工程使用情况、行业采纳度、技术成熟度及未来发展趋势，以期推动混沌工程在我国的概念普及，提升云上软件系统稳定性，促进软件质量发展。

本报告采用在线调查加线下访谈的方式，共回收有效问卷 1016 份、访谈企业 17 家。报告的第一部分介绍调查背景，第二部分介绍我国混沌工程当前使用情况，第三部分是混沌工程致力于提高的系统稳定性现状，第四部分聚焦混沌工程的发展建议。本报告以调查结果为基础，力争详实客观地反映混沌工程领域应用现状与痛点需求，为广大从业人员、专家学者和研究机构提供真实可信的数据参考。

本次报告的问卷发放、数据采集及文稿审核工作得到混沌工程实验室所有成员单位（见文末附录）及 InfoQ、中国云原生社区等单位或组织的大力支持，在此谨表示最衷心的感谢！同时也对接受混沌工程调查访问的用户朋友表示最诚挚的谢意！

目录

前言.....3
目录.....4
观点摘要.....5
一、调查背景.....6
（一）调查方法及样本.....6
1、调查方法.....6
2、样本描述.....6
（二）报告术语界定.....8
二、混沌工程应用现状.....9
三、软件系统稳定性现状.....16
四、发展建议.....22
编后语.....23
附录.....24

观点摘要

✧ **国内软件系统稳定性有较大可提升空间。**调查数据显示，近 20%的受访用户所负责的产品可用性低于 2 个 9（意味着用户每个月要忍受超过 7.3 小时的服务故障），超过 4 成产品的可用性低于 3 个 9（意味着用户每个月要忍受超过 44 分钟的服务故障）。故障发生之后的解决情况也差强人意：仅不到一半的故障平均发现时长（MTTD）小于 1 小时；故障平均修复时长普遍超过 1 小时，超过 6 成故障修复时间（MTTR）高于 1 小时，甚至有约 20%的服务故障修复时间超过 12 小时。日益复杂的 IT 系统与快速迭代的软件交付为系统稳定性的保障带来诸多挑战和不确定性，国内软件系统稳定性仍有较大提升空间。

✧ **混沌工程是提升产品可用性的有效手段，是建立稳定性优先战略的技术核心。**调查数据显示，随着混沌工程使用频率提升，低可用性（可用性低于 99%）的产品占比急剧萎缩，高可用性（可用性高于 99.99%）的产品占比迅速增长。混沌工程通过在生产环境中执行探索性测试以发现系统中的隐藏问题，在软件系统稳定性维护上展现出巨大价值。其中，提升服务可用性及降低故障修复时间是两大主要收益。65%的受访者认为采用混沌工程提升了服务可用性，49.85%的受访者认为混沌工程帮助降低了 MTTR（数据详见图 14）。企业需要建立**稳定性优先（Stability First）**的战略，构建系统稳定性保障体系，稳步推进数字化转型进程。

✧ **混沌工程应用当前成熟度偏低，市场需要成熟、完善的混沌工程商业产品及咨询服务。**超过 3 成企业仅在小范围使用混沌工程，仅 8.68%的企业较大规模地应用混沌工程，混沌工程在企业内部渗透率有待进一步提高（数据详见图 6）；同时，近半数企业在研发、测试环境中使用混沌工程，仅不到 20%的企业在生产环境中开展混沌工程演练，混沌工程在内部使用的技术复杂度不够高。而阻碍用户大规模、深度使用混沌工程的主要障碍是：缺乏相关经验，担心故障注入为生产环境带来风险。未来，需面向市场推出成熟、可信的混沌工程产品或咨询服务，以提升混沌工程的技术认可度、降低用户使用门槛、消除使用顾虑，推动行业步入发展快车道。

✧ **企业期待构建完整、可度量的系统稳定性保障体系。**线下访谈数据显示，业务系统开发人员面对日益复杂的技术架构，急需应用适配新型 IT 架构的稳定性保障工具、建设路径指引以及稳定性度量体系。受访用户普遍表示，合理借力合作伙伴或技术研究机构的技术支持和实践经验，可以很大程度规避新技术采纳过程中可能遇到的障碍，缩短技术成熟周期。

一、调查背景

（一）调查方法及样本

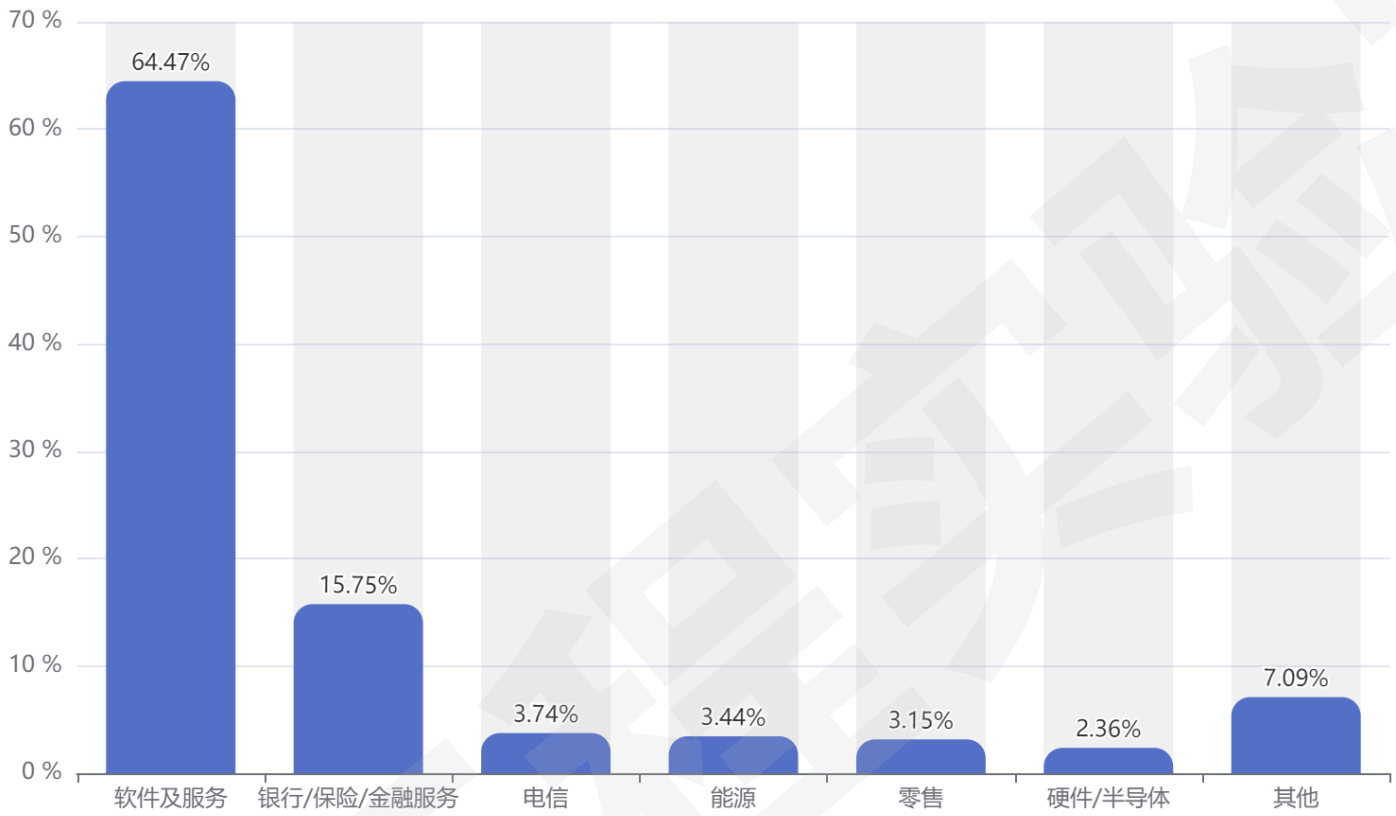
1、调查方法

本次调查采用在线调查加线下访谈的方式，共收集到有效问卷 1016 份，访谈企业 17 家。

2、样本描述

参与调查用户所在行业：包括软件及服务、银行/保险/金融服务、电信、能源、硬件/半导体及零售业。

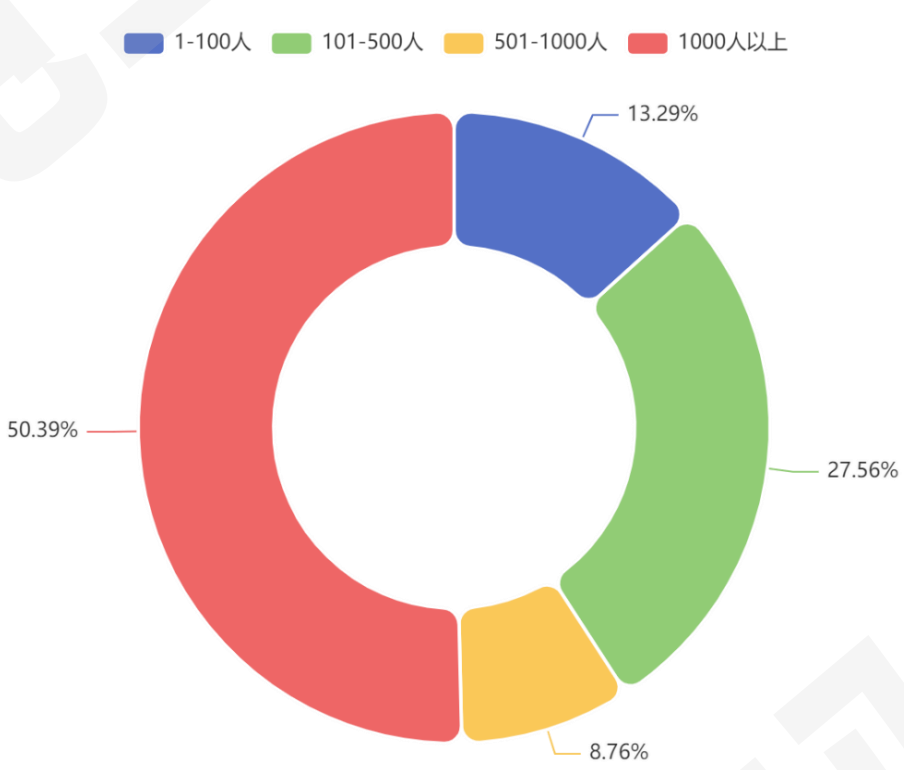
图 1. 行业分布



数据来源：混沌工程实验室

参与调查用户所在企业的规模：共分为 1-100 人、101-500 人、501-1000 人以及 1000 人以上四档。

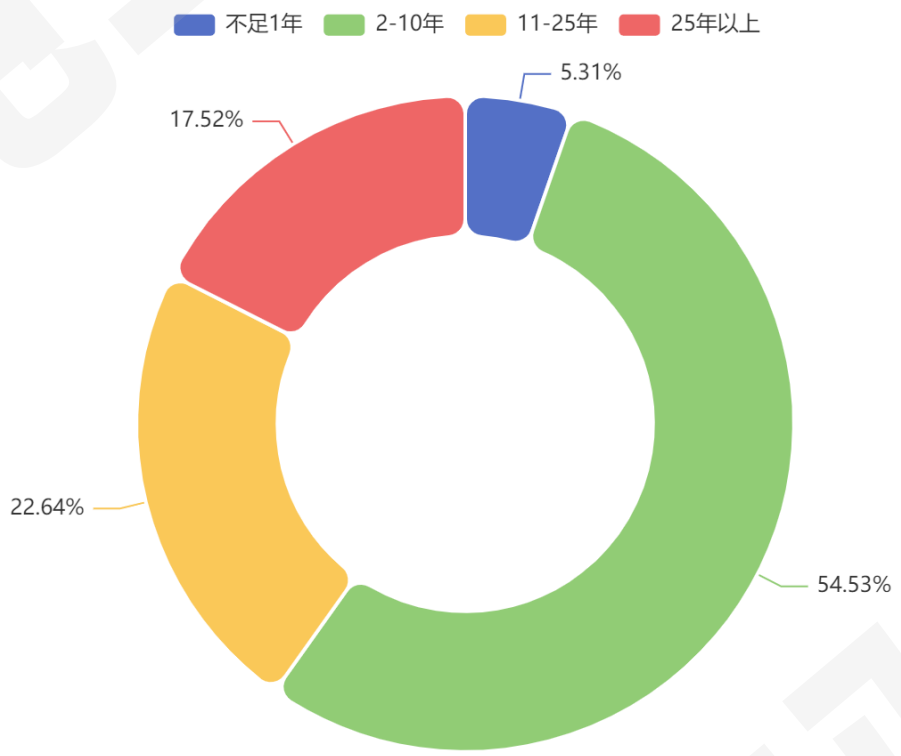
图 2. 企业规模



数据来源：混沌工程实验室

参与调查用户所在企业成立年限：共分为不足 1 年、2-10 年、11-25 年以及 25 年以上四档。

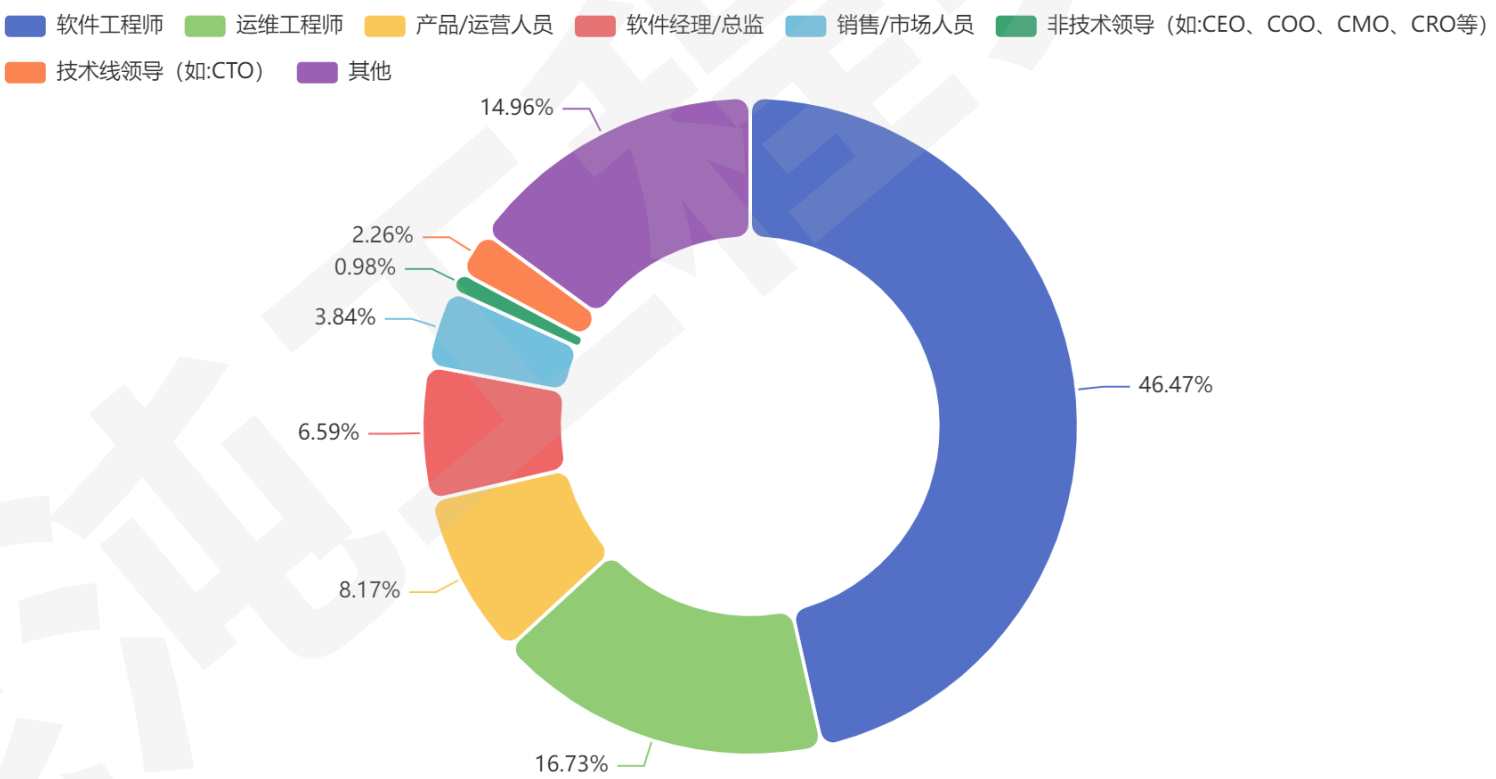
图 3. 企业成立年限



数据来源：混沌工程实验室

参与调查用户工作岗位分布如下：软件工程师及运维工程师占到半数以上。

图 4. 被调查用户工作岗位分布



数据来源：混沌工程实验室

（二）报告术语界定

混沌工程：在分布式系统上进行的有经验指导的受控实验，目的是观察系统行为、响应并发现系统缺陷，以建立对系统承受生产环境中湍流条件的能力和信心[注 1]。

产品可用性：产品可用性计算方法：（1-产品不可用时间/年度总时间) x100%。

MTTR：平均修复时间（Mean time to repair，MTTR），是描述产品由故障状态转为工作状态时修理时间的平均值。

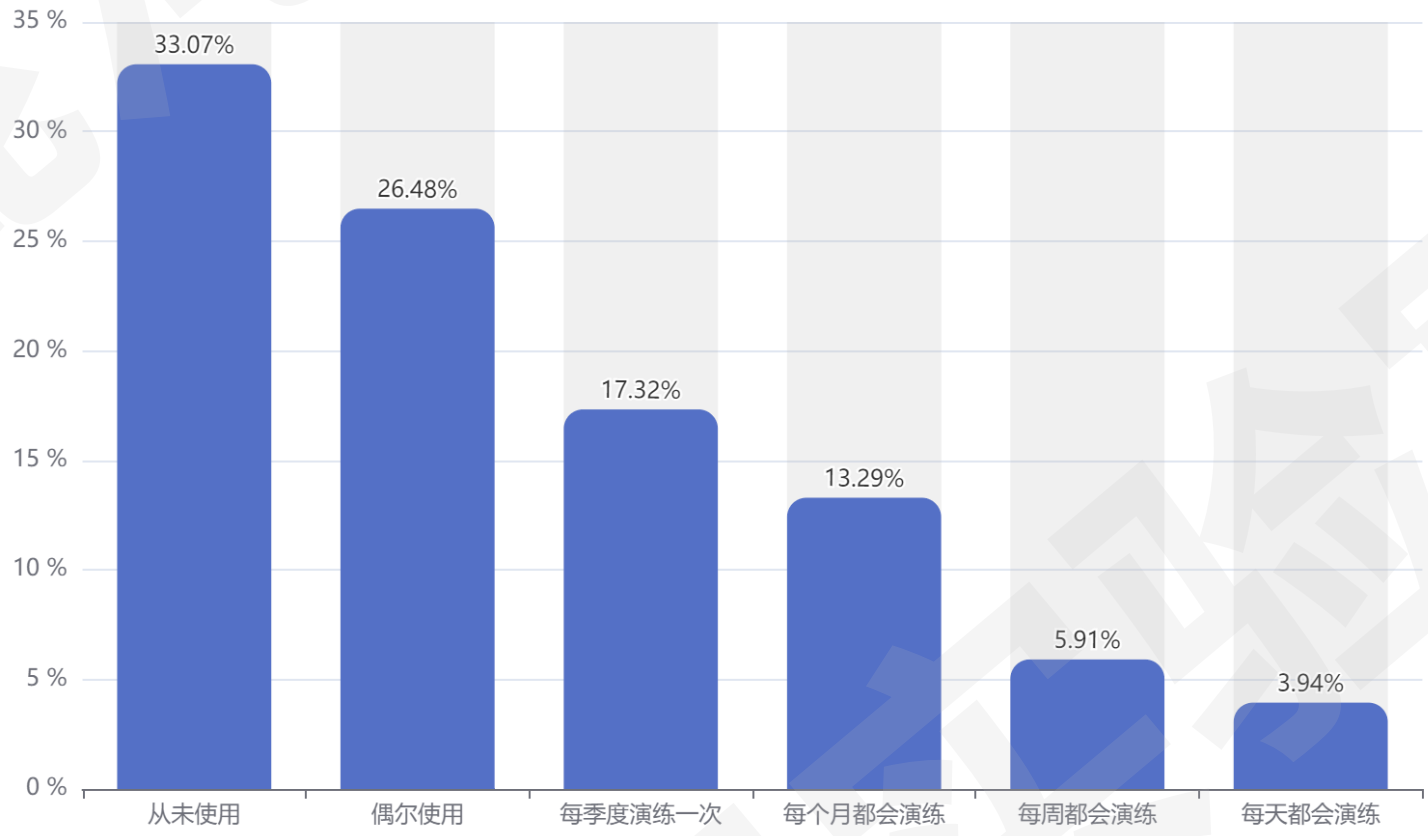
MTTD：平均检测时间(Mean time to detect，MTTD)，用于描述故障平均发现时长。

注 1： 参见 Casey Rosenthal 及其团队于 2019 年 3 月在技术博客发表的文章“PRINCIPLES OF CHAOS ENGINEERING”（*https://principlesofchaos.org/*）。

二、混沌工程应用现状

混沌工程使用普及率较低，未来有广阔增长空间。受访用户中有超过 3 成从未使用过混沌工程，仅 3.94%左右的能频繁地（每天演练）使用混沌工程，混沌工程的使用普及率较低，未来应用前景广阔。

图 5. 混沌工程使用频率



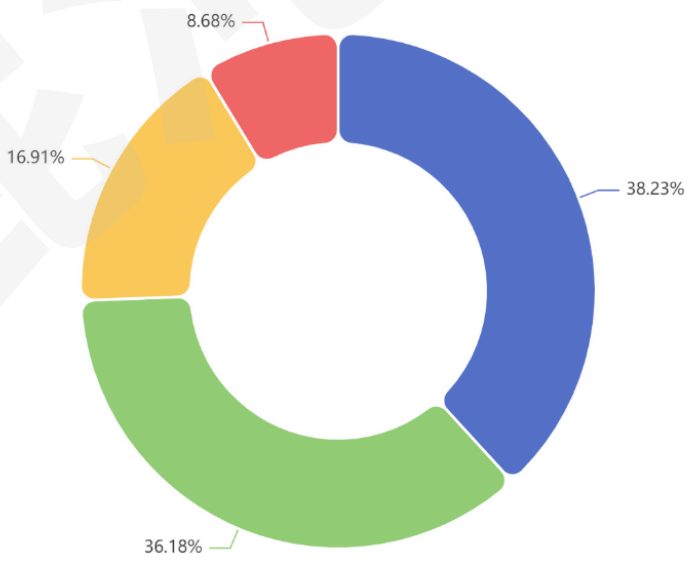
数据来源：混沌工程实验室

混沌工程在企业内部的渗透率偏低，使用阶段也比较初级。

混沌工程在企业内部的渗透率偏低：超过 3 成企业使用混沌工程的产品比例低于 25%，仅 8.68%的企业内部应用混沌工程的占比超过 75%。混沌工程对企业内部的很多使用场景、产品都有较大可渗透空间。

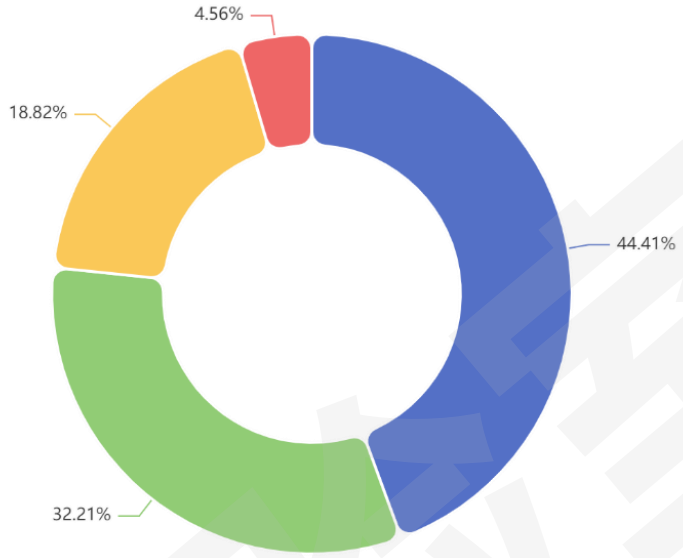
混沌工程使用阶段较为初级：调查数据显示，仅不到 20%的用户在生产环境中开展混沌工程演练，44.41%的用户在研发/测试环境中开展演练，在预生产环境中开展混沌工程演练的占比也达到了 32.21%。较低的生产环境使用率**体现了用户缺乏混沌工程直接作用于生产环境的信心。**

图 6. 公司中使用混沌工程的业务占比



数据来源：混沌工程实验室

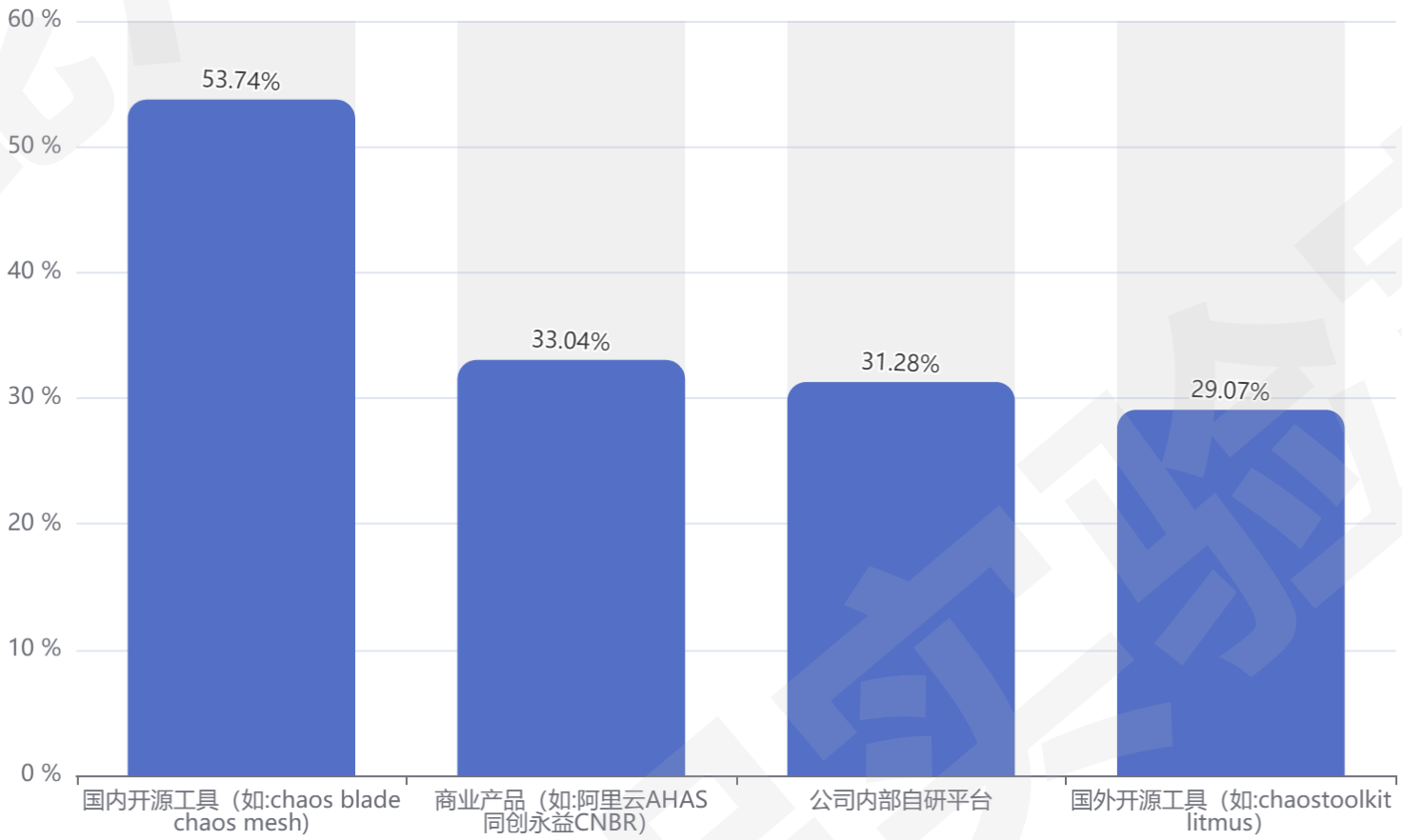
图 7. 开展混沌工程演练的环境



数据来源：混沌工程实验室

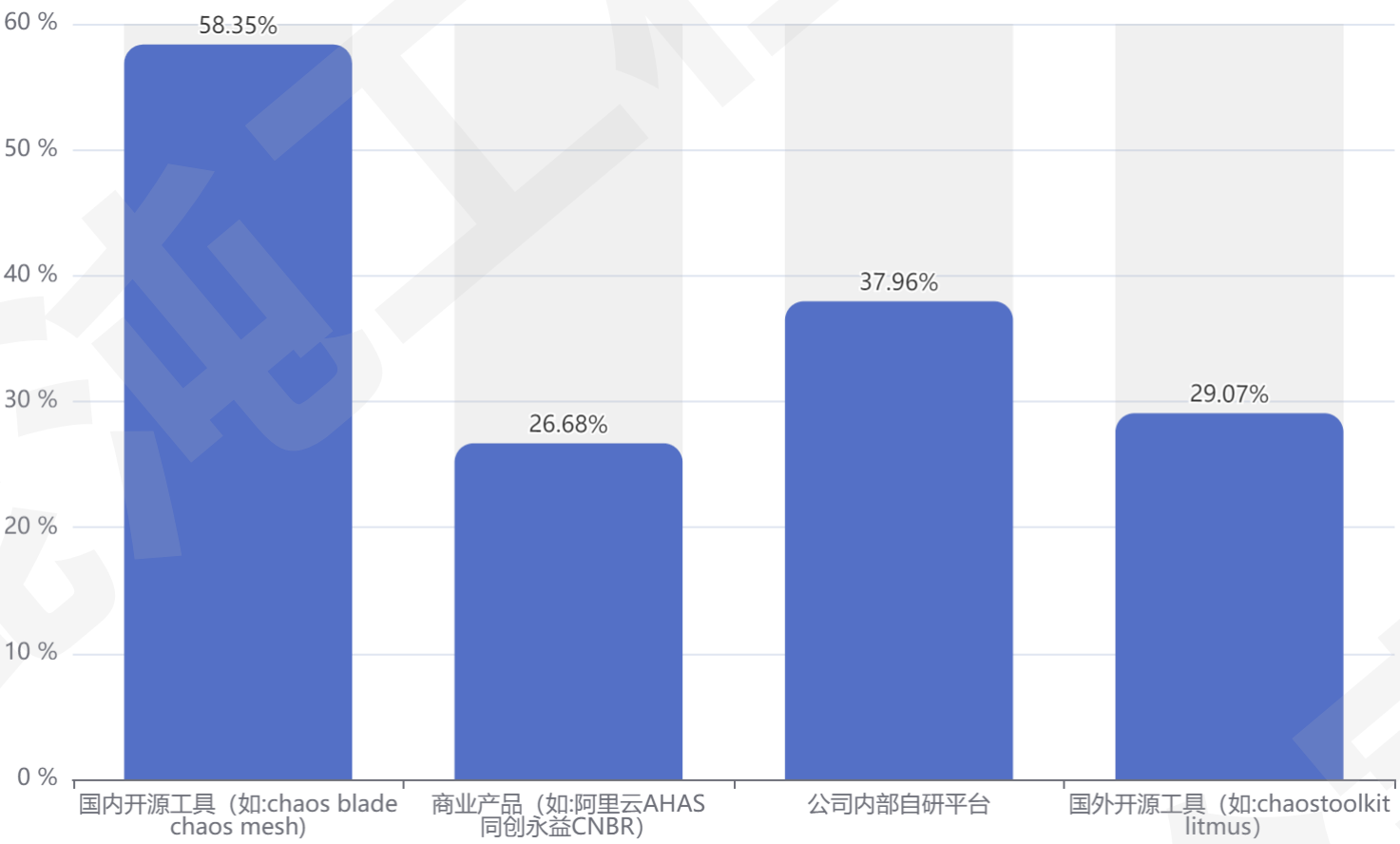
混沌工程实践以国内开源工具为主。国内开源工具（如 ChaosBlade、ChaosMesh）是市场首选，但服务**需求侧（甲方）更倾向于采用商业产品为辅**，而**服务侧给方（乙方）倾向于内部自研为辅。**调查数据显示，33.04%的服务需求侧倾向于采用成熟的商业产品作为辅助，以实现混沌工程快速落地、避开实施陷阱；而对于服务供给侧来讲，商业产品的吸引力（26.68%）小于自研平台（37.96%）及国外开源工具（29.07%）。

图 8. 混沌工程使用工具分布-需求侧



数据来源：混沌工程实验室

图 9. 混沌工程使用工具分布-供给侧

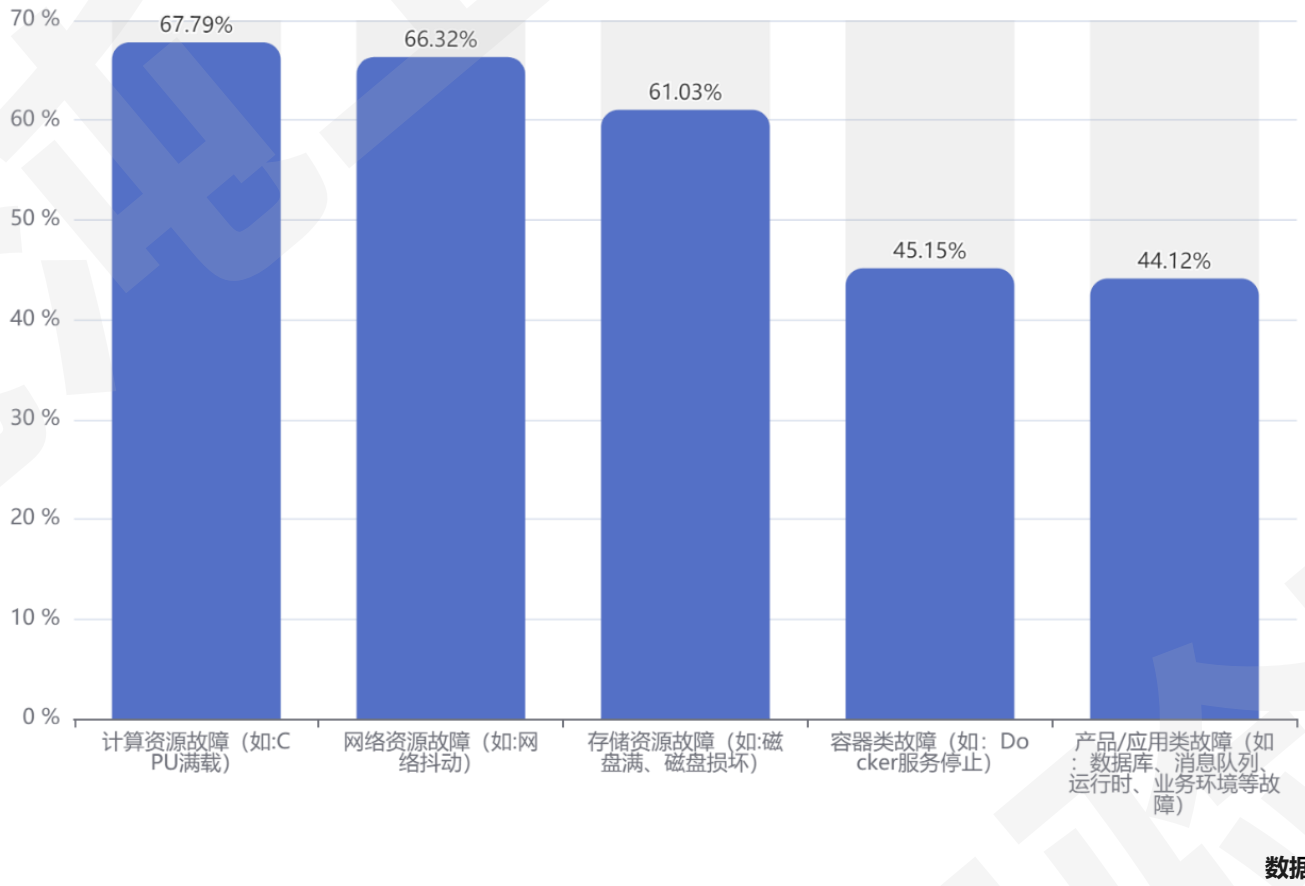


数据来源：混沌工程实验室

故障注入类型聚焦于基础资源层面，应用层及容器关注度偏低。网络资源故障和计算资源故障是最通常采用的故障注入类型，而应用类和容器类故障注入的关注度相对较低。

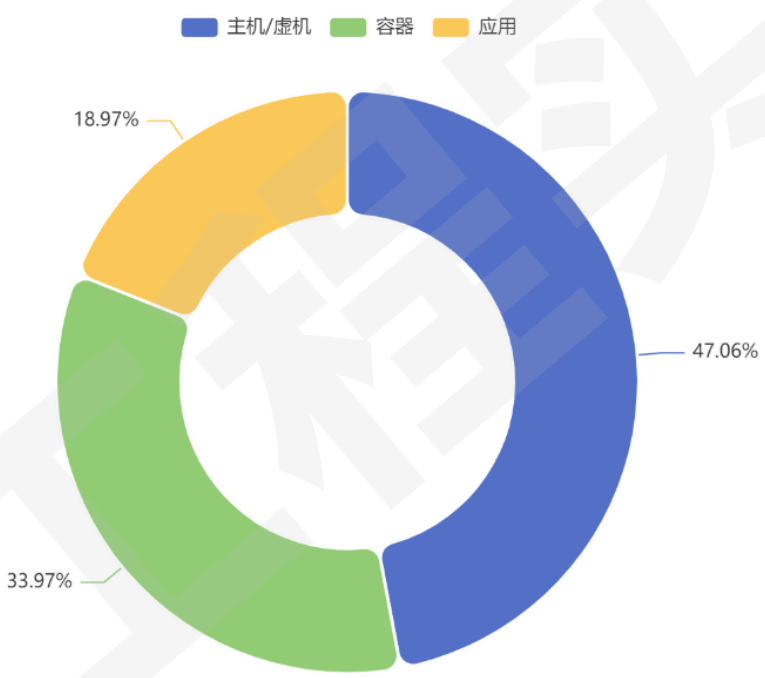
与故障注入类型一致，**用户最常采用的故障演练实施靶点为主机/虚机**，较少将故障直接实施在应用上，这可能与部分应用故障有一定的技术实现门槛，需要与开发框配合实现有关。

图 10. 故障注入类型分布



数据来源：混沌工程实验室

图 11. 混沌工程演练的实施对象/靶点

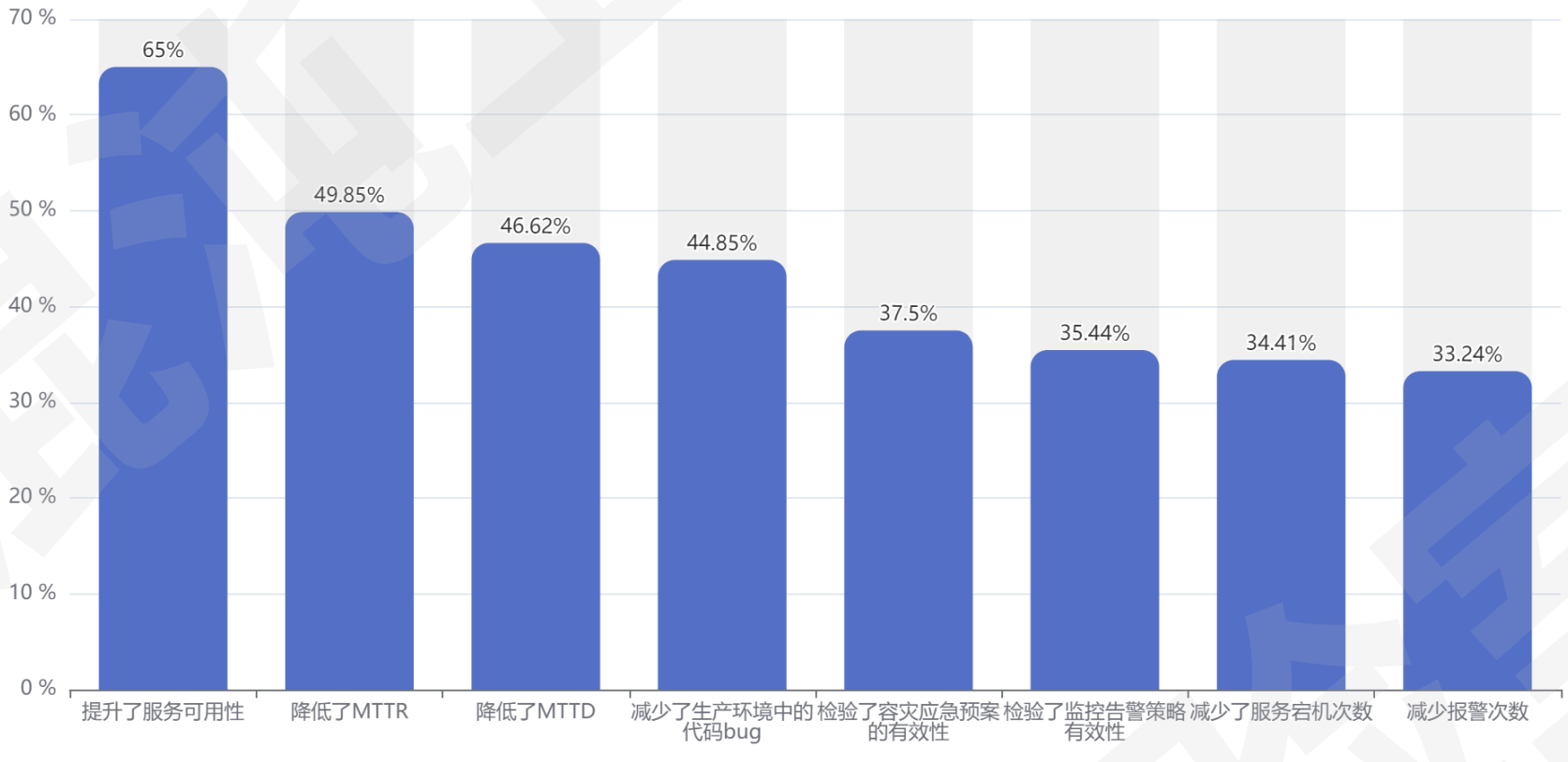


数据来源：混沌工程实验室

提升可用性是实施混沌工程的最大收益。与前述分析结果保持一致，可见混沌工程有助于提升用户最关注的服务可用性。

数据显示，近 70%使用过混沌工程的受访用户表示混沌工程可以“提升服务可用性”，显著高于其他收益项，如图 12。

图 12. 实施混沌工程的收益

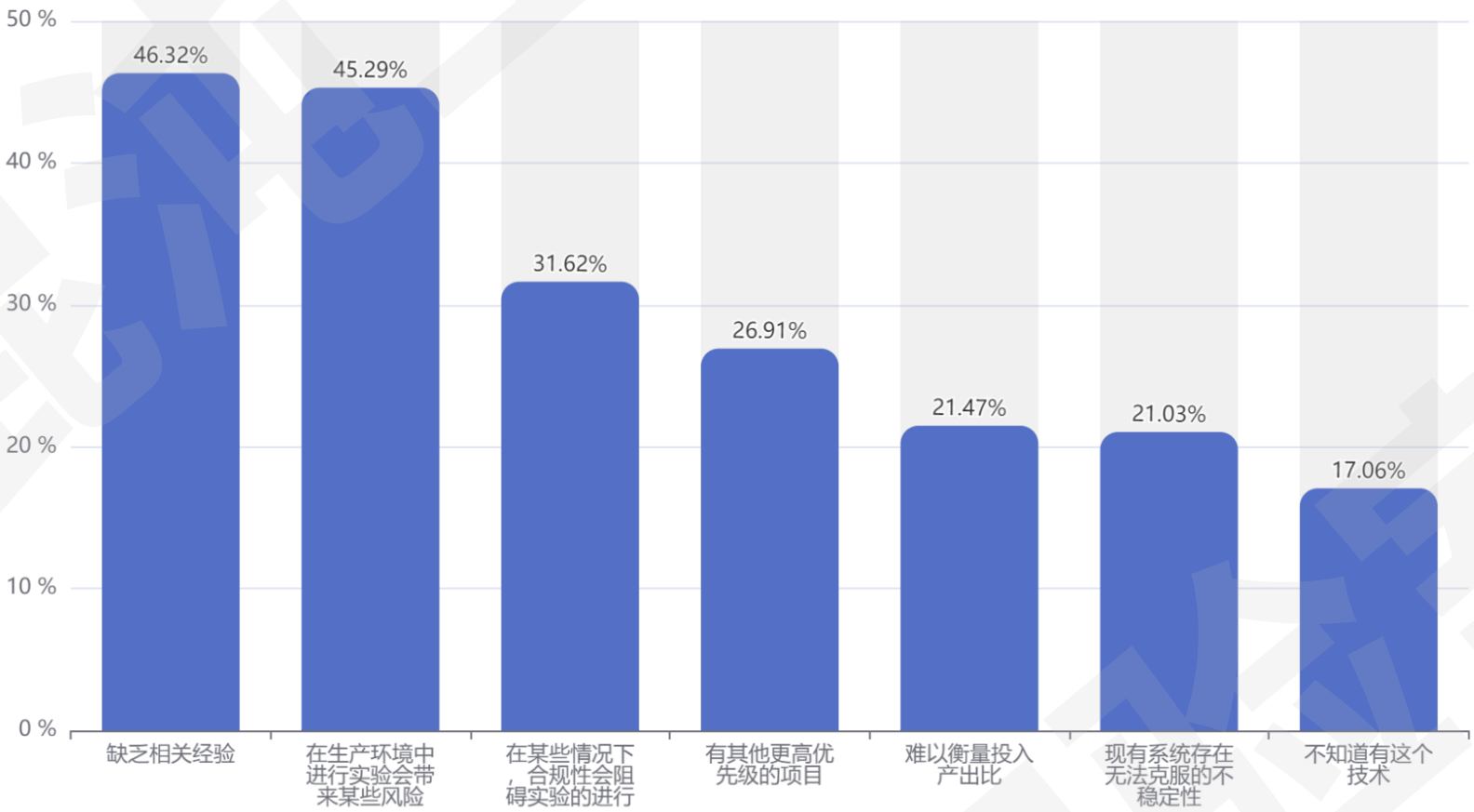


数据来源：混沌工程实验室

用户实施混沌工程的主要障碍为经验的缺乏、对风险的担忧，国内市场需要成熟、完善的混沌工程商业产品或咨询服务降低技术实施难度。46.32%的用户缺乏使用混沌工程的相关经验，45.29%的用户表示担心“混沌工程可能会对生产环境带来某些风险”。而对于刚接触混沌工程的用户（偶尔使用混沌工程的用户）来讲，“缺乏相关经验”是其深度采纳混沌工程最大的障碍（见图 14）；对于频繁使用混沌工程的用户来讲，对风险的担忧占上风（图 14 红色线）；同时，随着混沌工程使用频率的提升，用户对**衡量混沌工程效益**的需求显著增长（图 14 橙色线）。

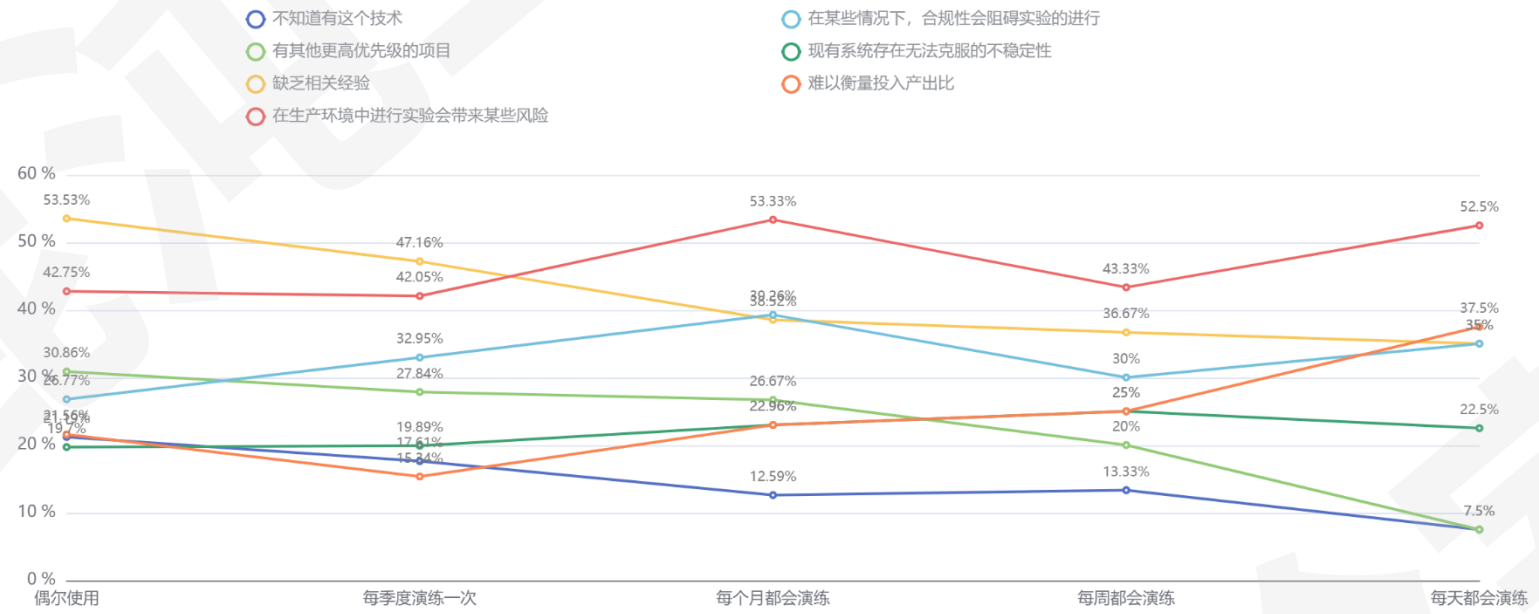
消除用户采纳混沌工程的顾虑，向市场推出成熟的混沌工程产品或咨询服务，降低用户的使用门槛是尽快**推广普及**混沌工程的有效手段；同时完备的**系统稳定性度量体系**、**混沌实验故障分级机制**可以量化混沌工程的实施效果，推动混沌工程**精益化发展**，提升混沌工程实施的投入产出比。

图 13. 实施混沌工程的最大障碍



数据来源：混沌工程实验室

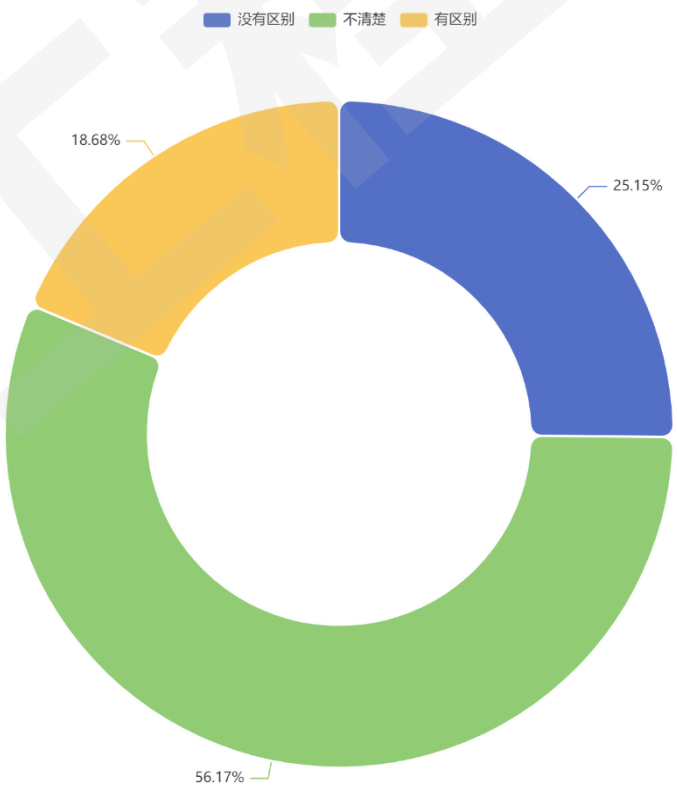
图 14. 混沌工程的使用频率与采用混沌工程的障碍交叉分析



数据来源：混沌工程实验室

混沌工程概念不清晰，知识普及任重道远。超过半数被访用户对混沌工程和演习的概念分辨不清，约 1/4 的用户认为两者没有区别，仅有约 1/5 的用户能明确表述出两者的区别。对被访用户的反馈信息加工分析后（图 16 和图 17），可以发现混沌工程更偏向于在生产环境中执行**探索性测试，具有随机性**，以发现系统中的隐藏问题；演习更偏向于**有计划性**地**验证某一具体猜想。**

图 15. 混沌工程与演习是否有区别



数据来源：混沌工程实验室

图 16. 用户对混沌工程的认识

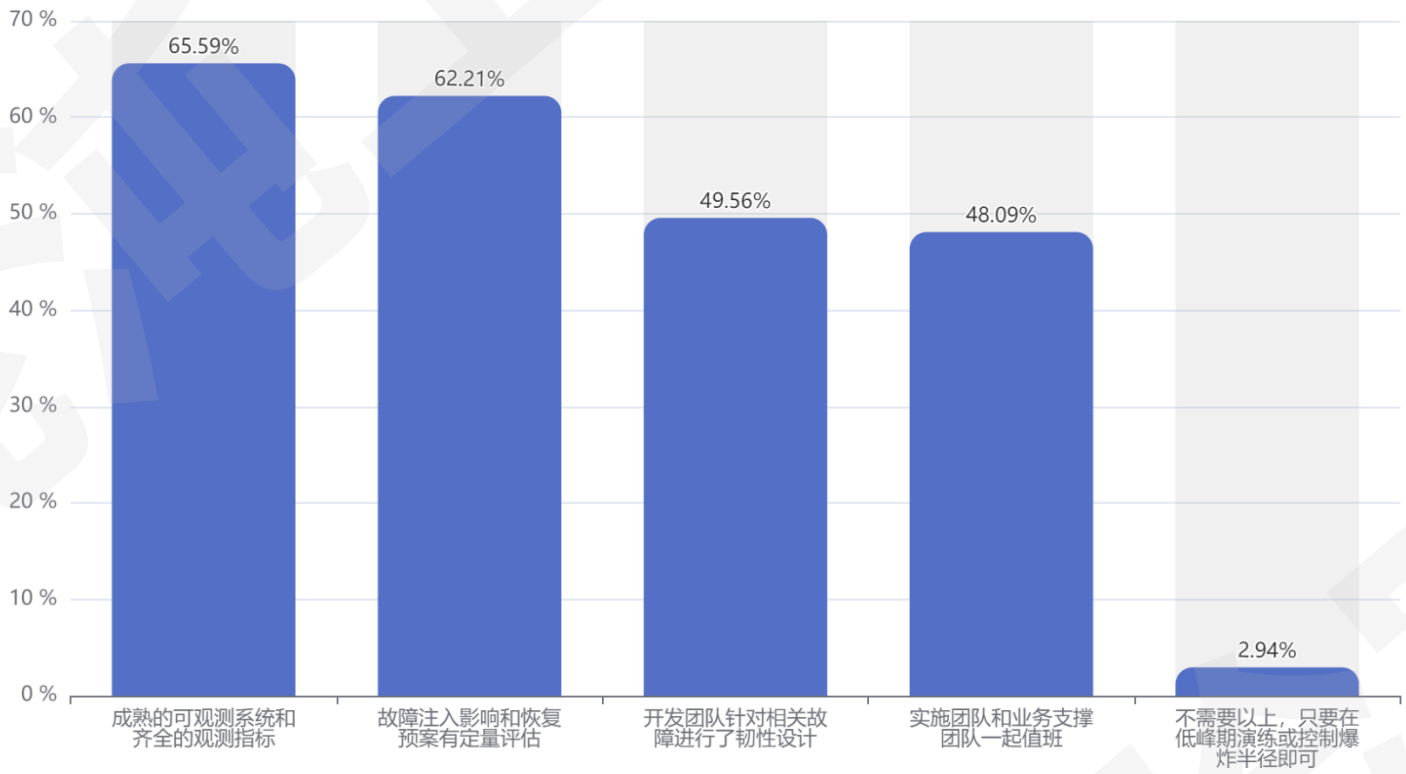
数据来源：混沌工程实验室

图 17. 用户对演习的认识

数据来源：混沌工程实验室

技术就绪是实施混沌工程的前置条件，产品技术层面的就绪包括：完善的监控体系、可量化的系统稳定性评估体系及系统已具备韧性基础。调查数据显示（图 18），65.59%的用户认为具备完善的监控体系是混沌工程实施的首要前置条件，超 60%的用户需要对混沌实验时故障注入后的影响有可量化的评估模型，而团队协作在用户的认知中重要性相对较低，48.09%用户选择此项。

图 18. 实施混沌工程的前置条件

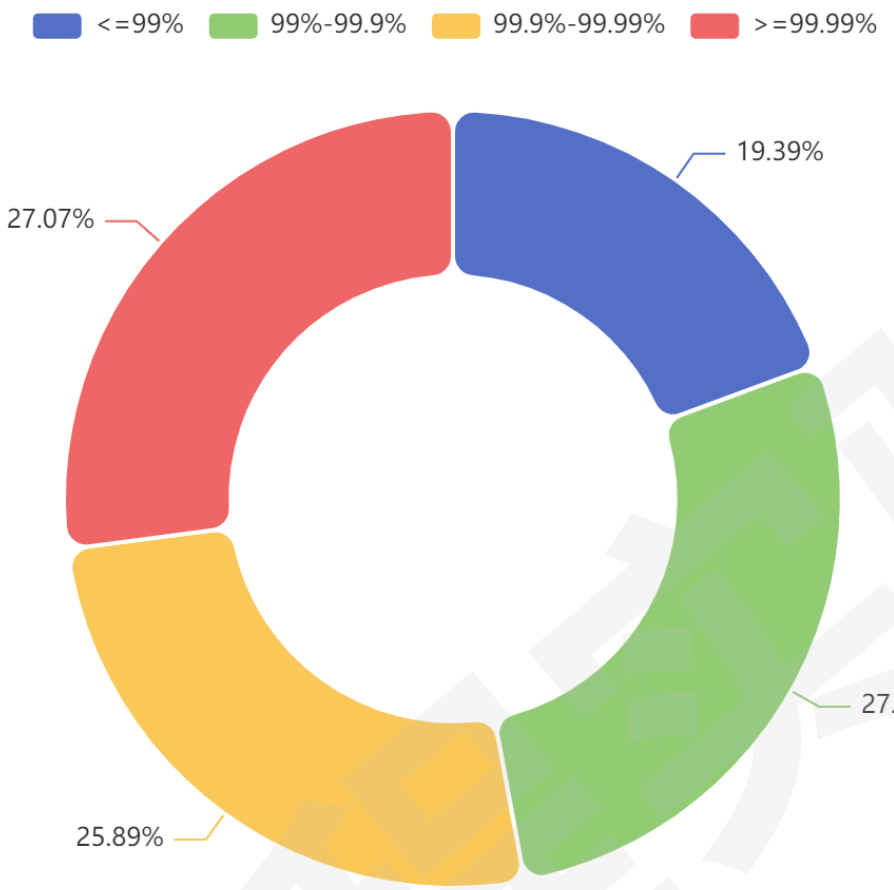


数据来源：混沌工程实验室

三、软件系统稳定性现状

企业产品可用性仍有提升空间。调查数据显示（图 19），近 20%的受访用户所负责的产品可用性低于 2 个 9，近半数产品的可用性能低于 3 个 9。这意味着 47.04%的用户每个月要忍受高于 44 分钟（可用性 99.9%），甚至超过 7.3 小时（可用性 99%）的服务故障。

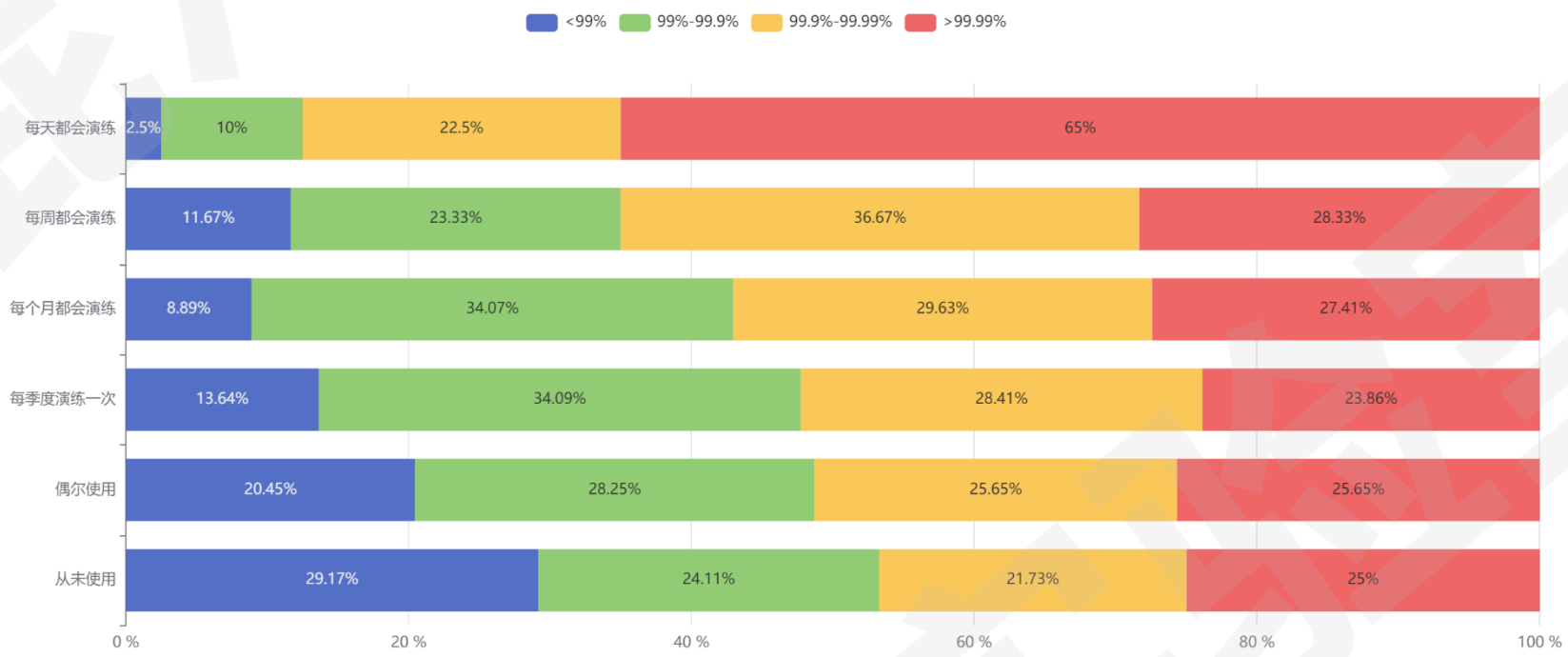
图 19. 调查用户公司产品可用性



数据来源：混沌工程实验室

混沌工程使用频率与产品可用性提升显著相关。从未使用过混沌工程的受访者中，有近三成受访者产品可用性低于 99%，而随着混沌工程使用频率提升，在每天都会演练的受访者中，这一比例急剧缩减到 2.5%（见图 20 中蓝色模块），即**随着混沌工程使用频率提升，低可用性的产品占比急剧萎缩**；与此相对应的是，从未使用过混沌工程的受访者中，仅 25%的产品可用性高于 99.99%，而随着混沌工程使用频率提升，在每天都会演练的受访者中，这一比例迅速增长至 65%（见图 20 中红色模块），即**随着混沌工程使用频率提升，高可用性的产品占比迅速增长。**

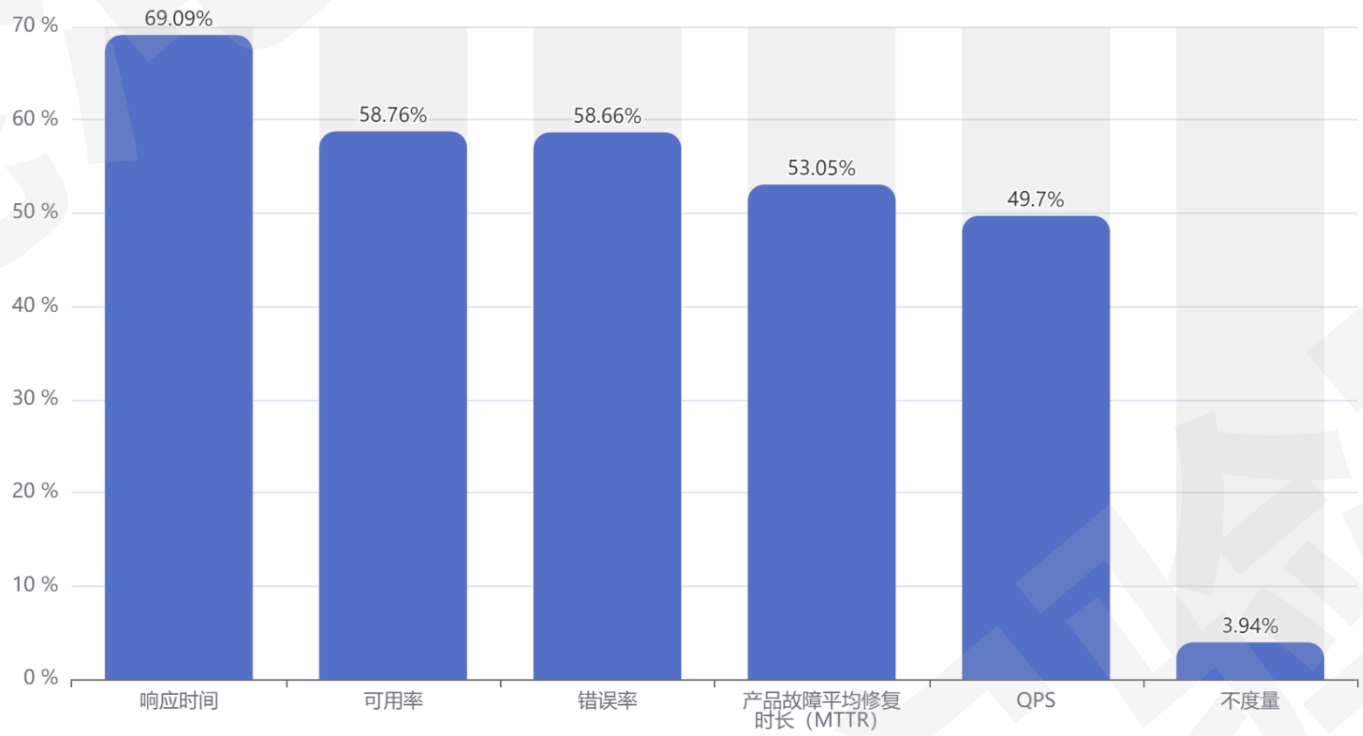
图 20．产品可用性在不同混沌工程使用频率上的分布



数据来源：混沌工程实验室

产品可用性度量维度多样，响应时间、可用率和错误率的选择人数明显较高，是度量产品可用性时最常使用的指标。调查数据显示（图 21），有近 70%的用户采用响应时间作为产品可用性度量标准之一，除此之外，可用率和错误率的选择人数也接近 60%。

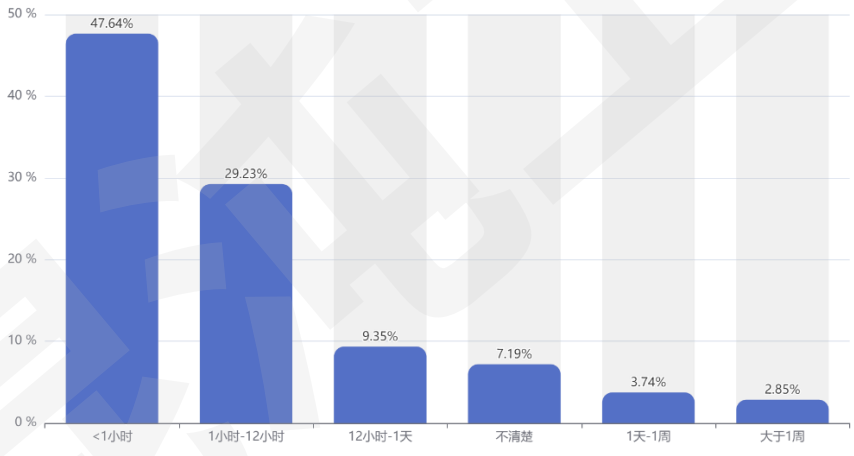
图 21. 产品可用性度量维度



数据来源：混沌工程实验室

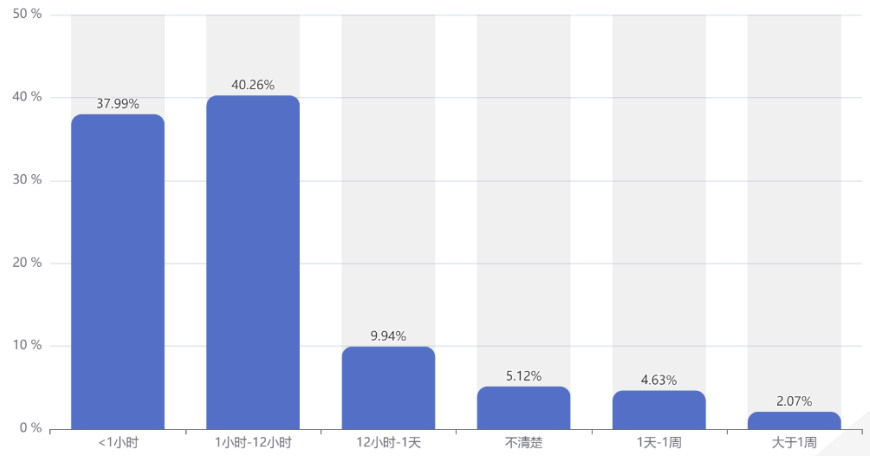
MTTD 及 MTTR 时长有较大提升空间。调查数据显示，仅不到一半的用户故障平均发现时长（MTTD）小于 1 小时，而超过 50%的产品故障需要 1 小时以上才能被探测到；与此同时，故障平均修复时长（MTTR）普遍超过 1 小时，超过 6 成故障修复时间高于 1 小时，甚至有约 20%的服务故障修复时间超过 12 小时。漫长的故障探测及修复时间是良好用户体验的巨大阻碍。但故障修复后，半数以上的公司会进行事故复盘且及时向公司内外利益相关方分享脱敏后的复盘报告（图 24），**透明度较高。**

图 22. 故障平均发现时长（MTTD）



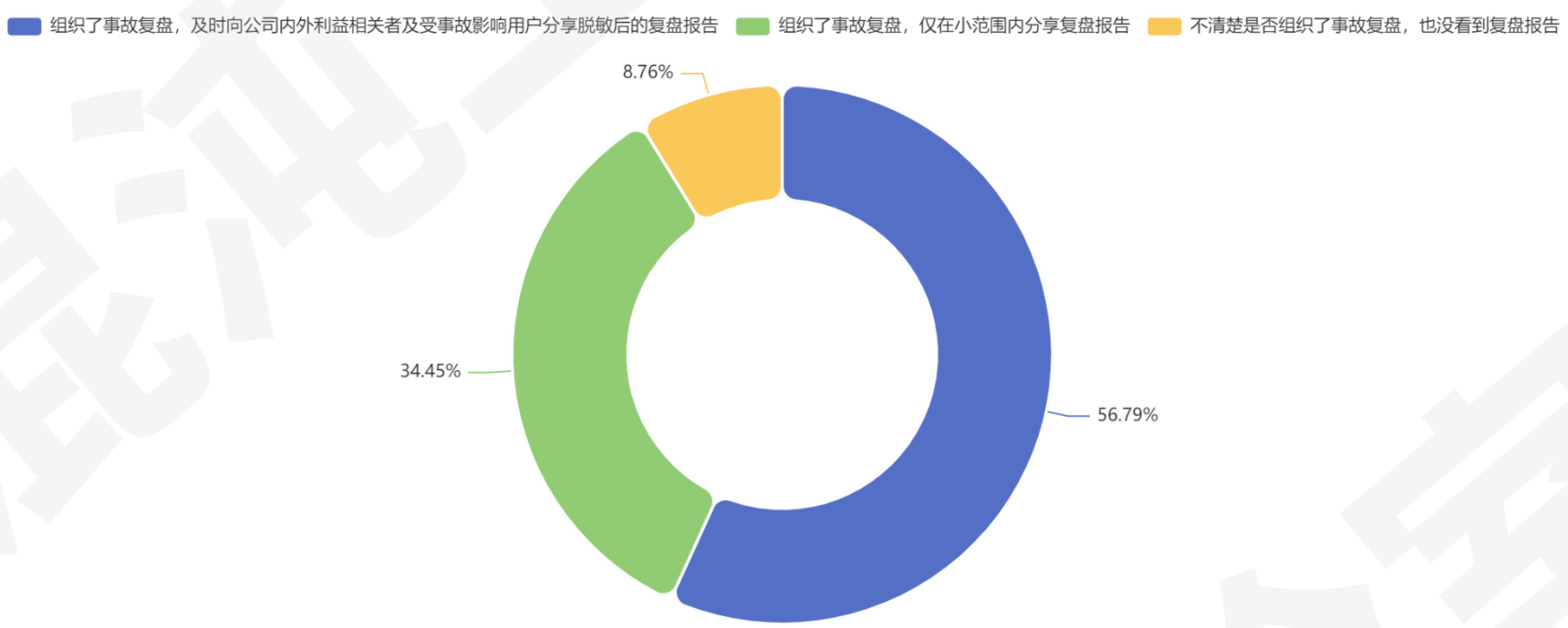
数据来源：混沌工程实验室

图 23. 故障平均修复时长（MTTR）



数据来源：混沌工程实验室

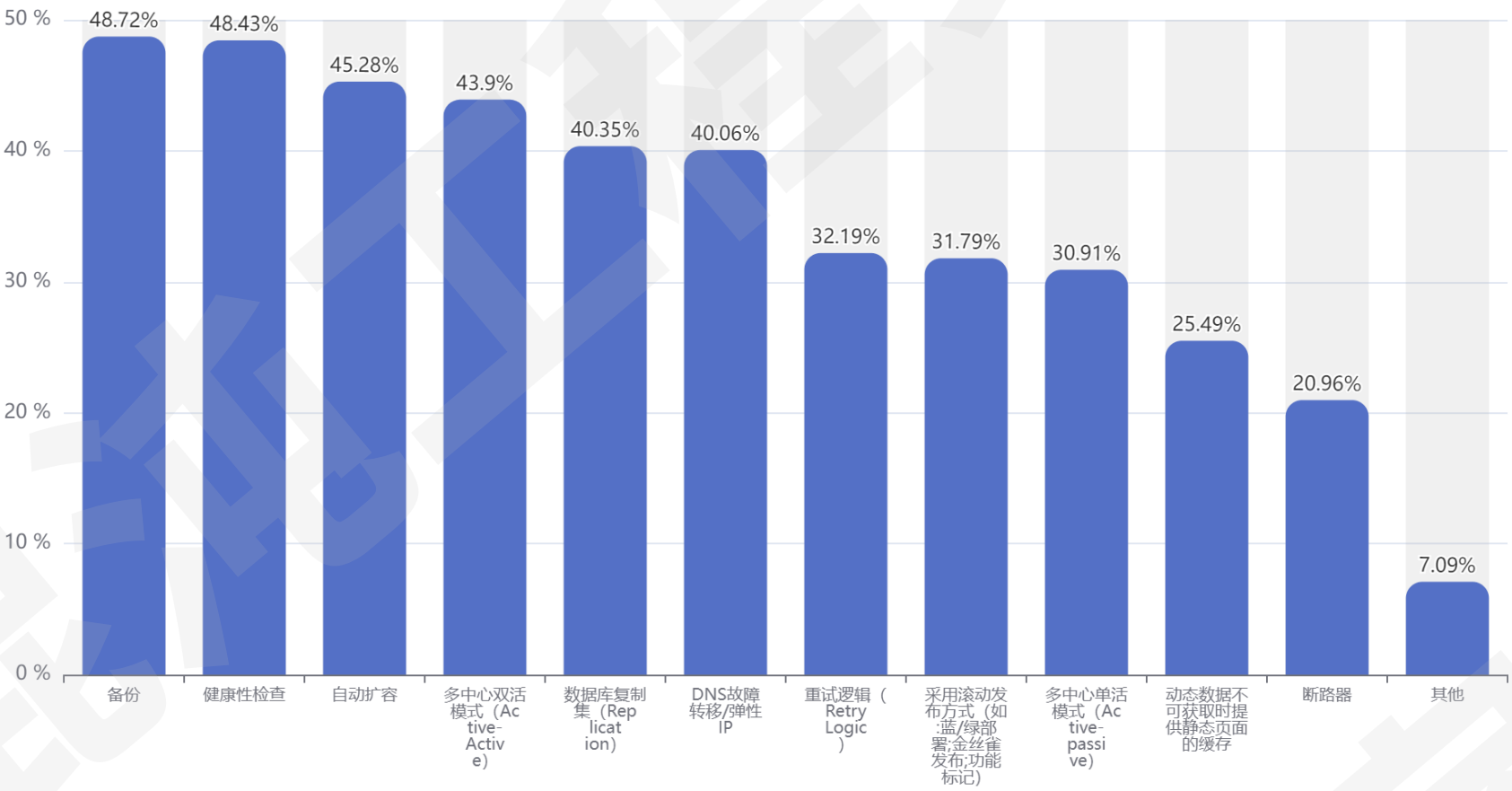
图 24. 事故复盘及报告分享情况



数据来源：混沌工程实验室

备份、健康性检查、自动扩容、多中心双活模式、数据库复制集是最常使用的提升产品可用性的方法。调查数据显示（图 25），48.72%的用户会选择使用“备份”作为提升产品可用性的方法，48.43%的用户会选择使用“健康性检查”，而自动扩容以 45.28%的比例跻身产品可用性提升方法的第三位，多中心双活和数据库复制集分别以 43.9%和 40.06%的占比分列四、五位。这 5 项的响应率和普及率明显较其他选项高。相关人员可参考此数据以指导产品可用性提升建设规划。

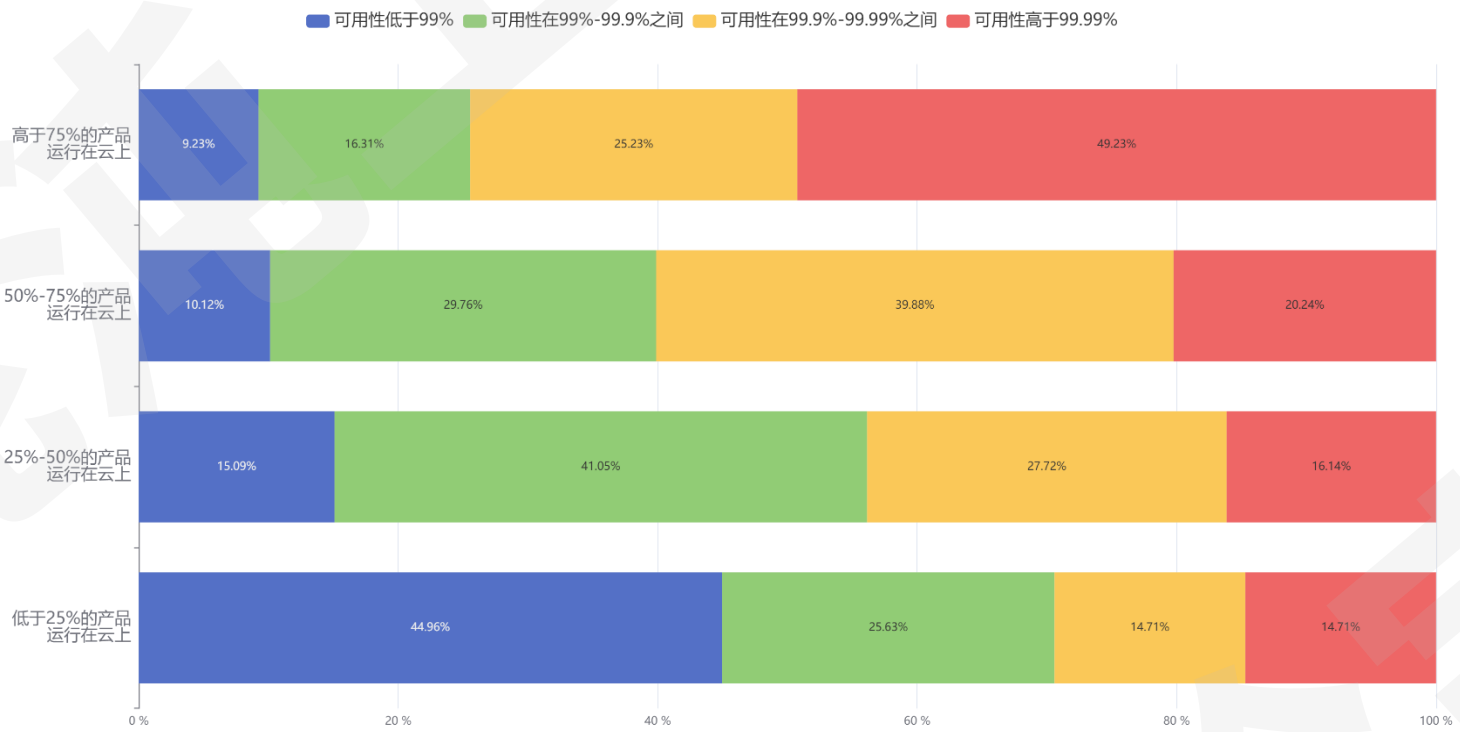
图 25. 提高产品可用性的策略



数据来源：混沌工程实验室

从公司的云化程度来看，不同的云化程度对产品可用性的影响具有显著差异，**云化程度越高的公司，产品可用性越高。**调查数据显示（图 26），上云比例低于 25%的公司中，44.96%的产品可用性低于 99%，仅 14.71%的产品可用性高于 99.99%；而随着上云产品比例的提升至 75%以上后，可用性高于 99.99%的产品占比急速飙升至 49.23%，翻了两番之多。应用上云也是提升可用性的有效手段。

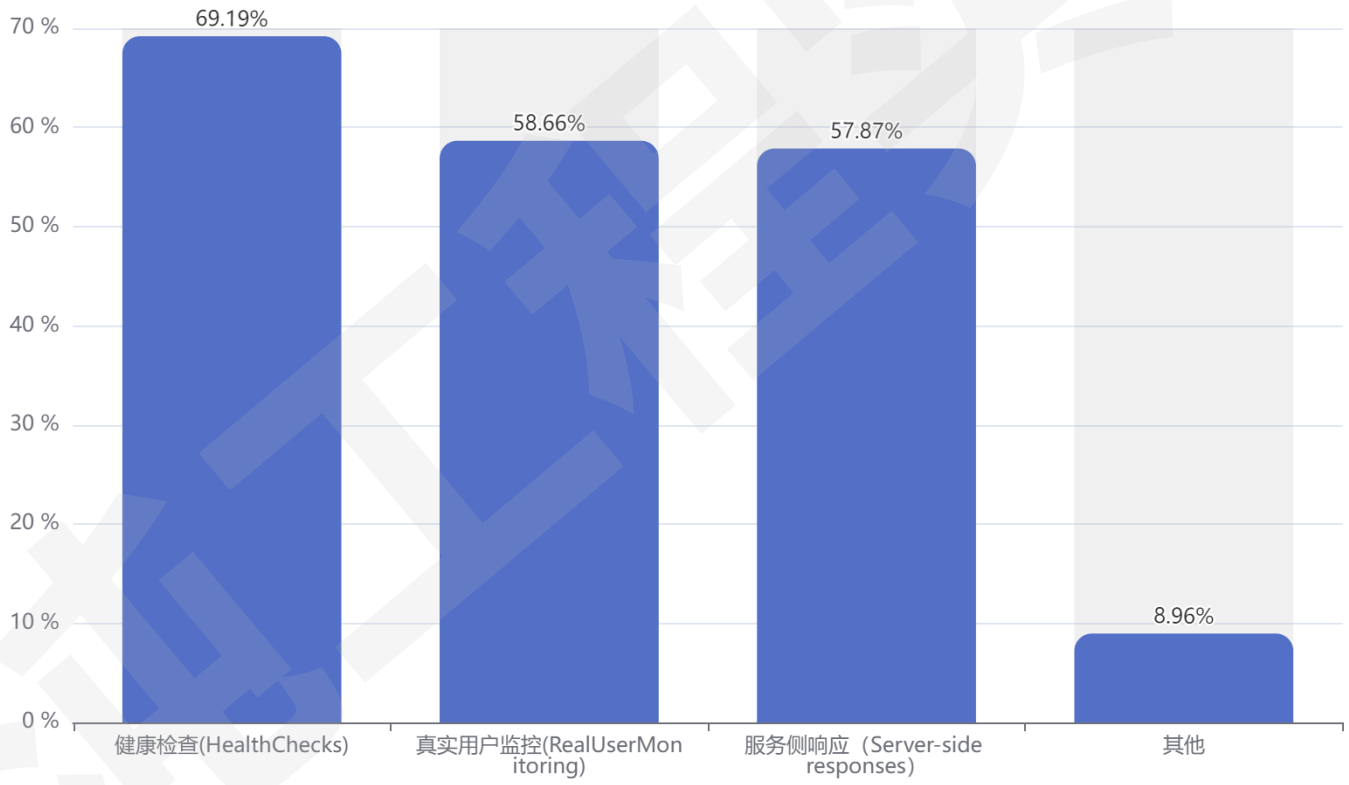
图 26. 云化程度与服务可用性情况的交叉分析



数据来源：混沌工程实验室

健康性检查是监控产品可用性最主要的技术手段。调查数据显示（图 27），69.19%的用户使用健康性检查作为监控产品可用性最主要的技术手段，而真实用户监控和服务侧响应两种技术也分别贡献了近 60%的普及率。

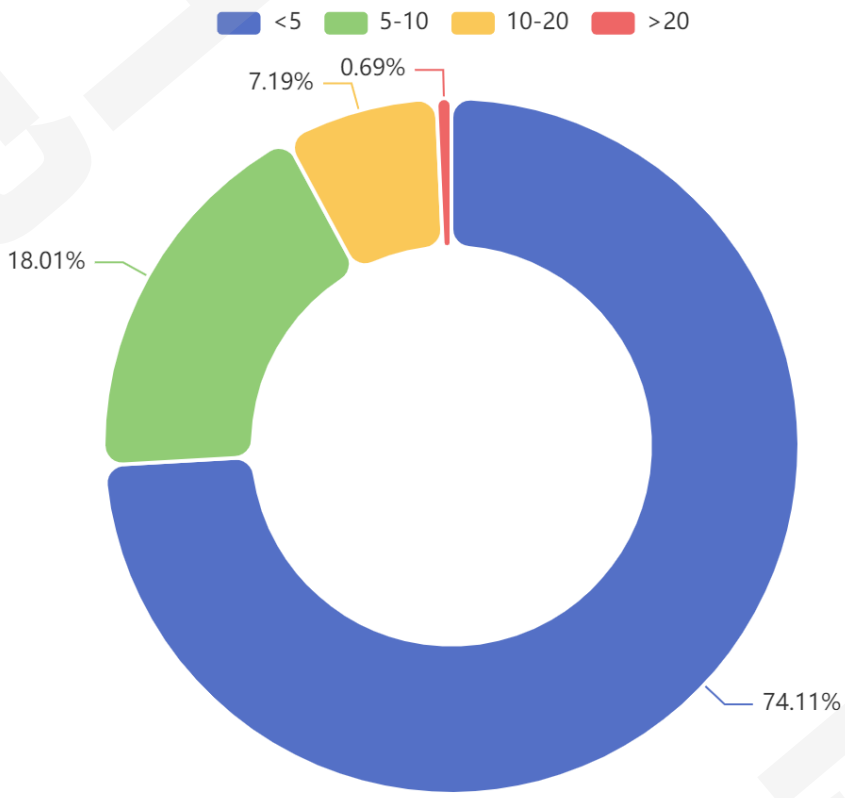
图 27. 监控服务可用性的工具分布



数据来源：混沌工程实验室

当前产品的稳定性相对较差，月事故率差强人意，仍有 25.89%的服务每个月发生超过 5 个严重性事故。调查数据显示（图 28），74.11%的产品每月发生的重大事故少于 5 个，但每个月重大事故发生数量超过 5 个的产品占比达到 25.89%，这意味着约 1/4 的产品每年会发生至少 60 次严重性事故，用户体验面临巨大威胁。

图 28. 每个月重大事故（根据公司内部标准）的平均数量

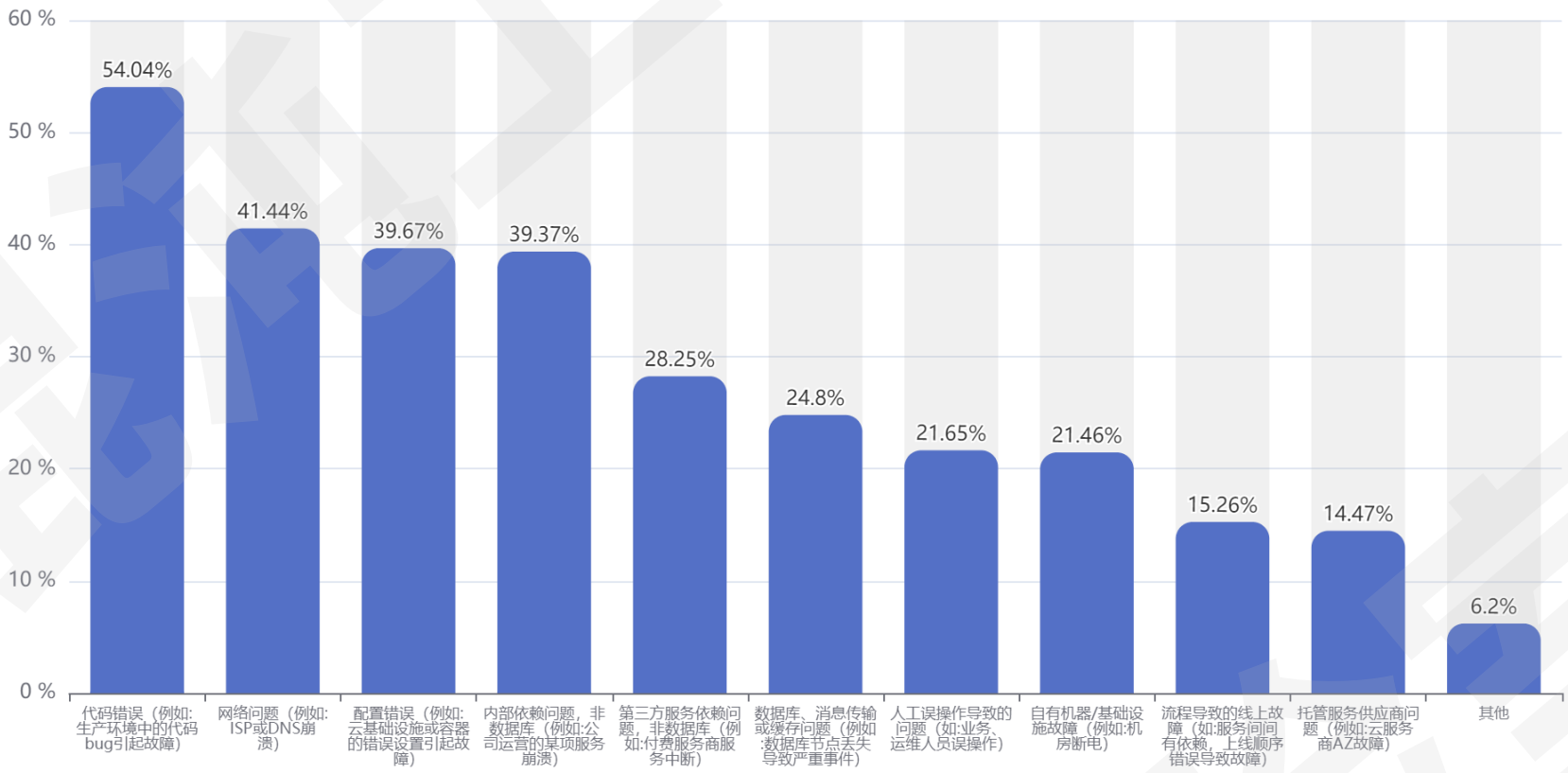


数据来源：混沌工程实验室

代码错误、网络问题、配置错误、内部依赖是引发重大事故的主要原因，合理运用混沌工程能很好的规避或弱化以上问题。对于每个月重大事故数量小于 5 的公司来说（图 30），代码错误和网络问题是造成重大事故的主要原因；对于每个月发生 5~10 个重大事故的企业来说，非数据库引起的内部依赖问题引发了 **51.37%**的故障，配置错误引发了 43.72%的重大事故；对于每个月发生10~20个重大事故的企业来说，非数据库引起的内部依赖问题同样以**47.95%**的比例显著高于其他故障类型，配置错误以 41.1%的比例位居第二。

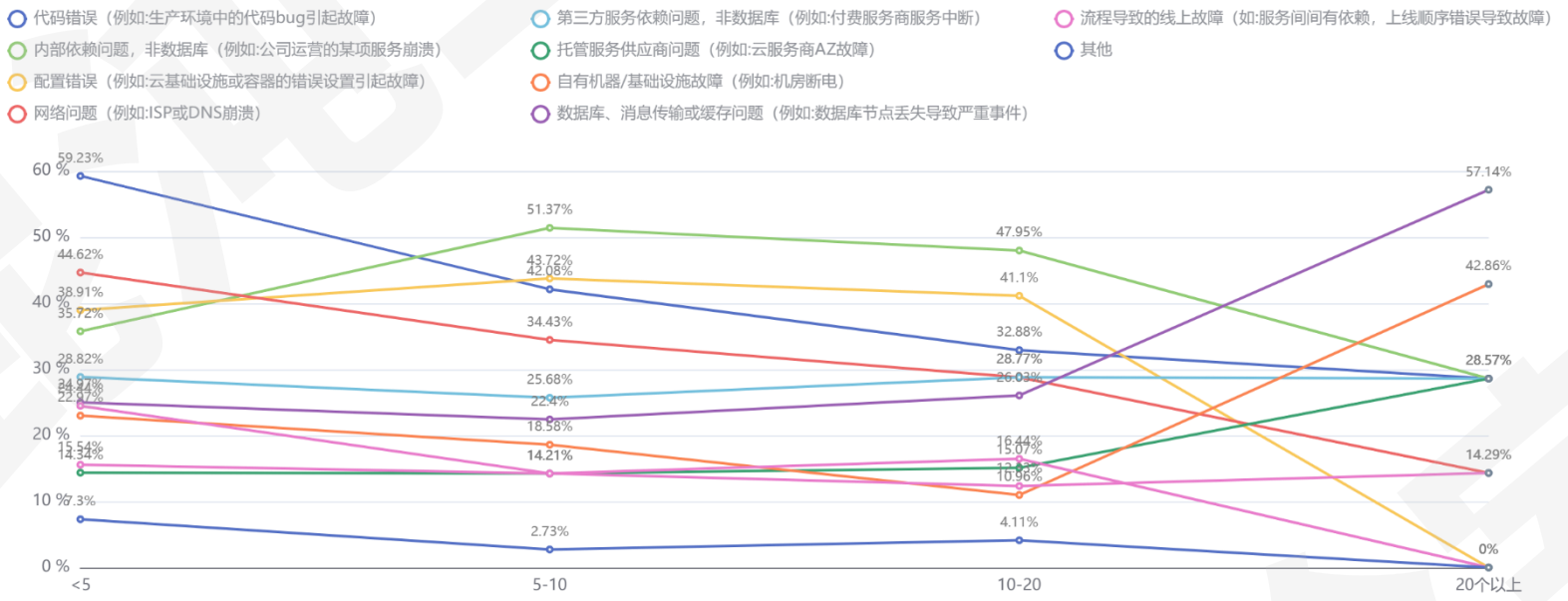
线下调研结果提示：**合理运用混沌工程**能很好的规避或弱化以上问题。

图 29. 重大事故来源分布



数据来源：混沌工程实验室

图 30. 重大事故与故障来源交叉分析

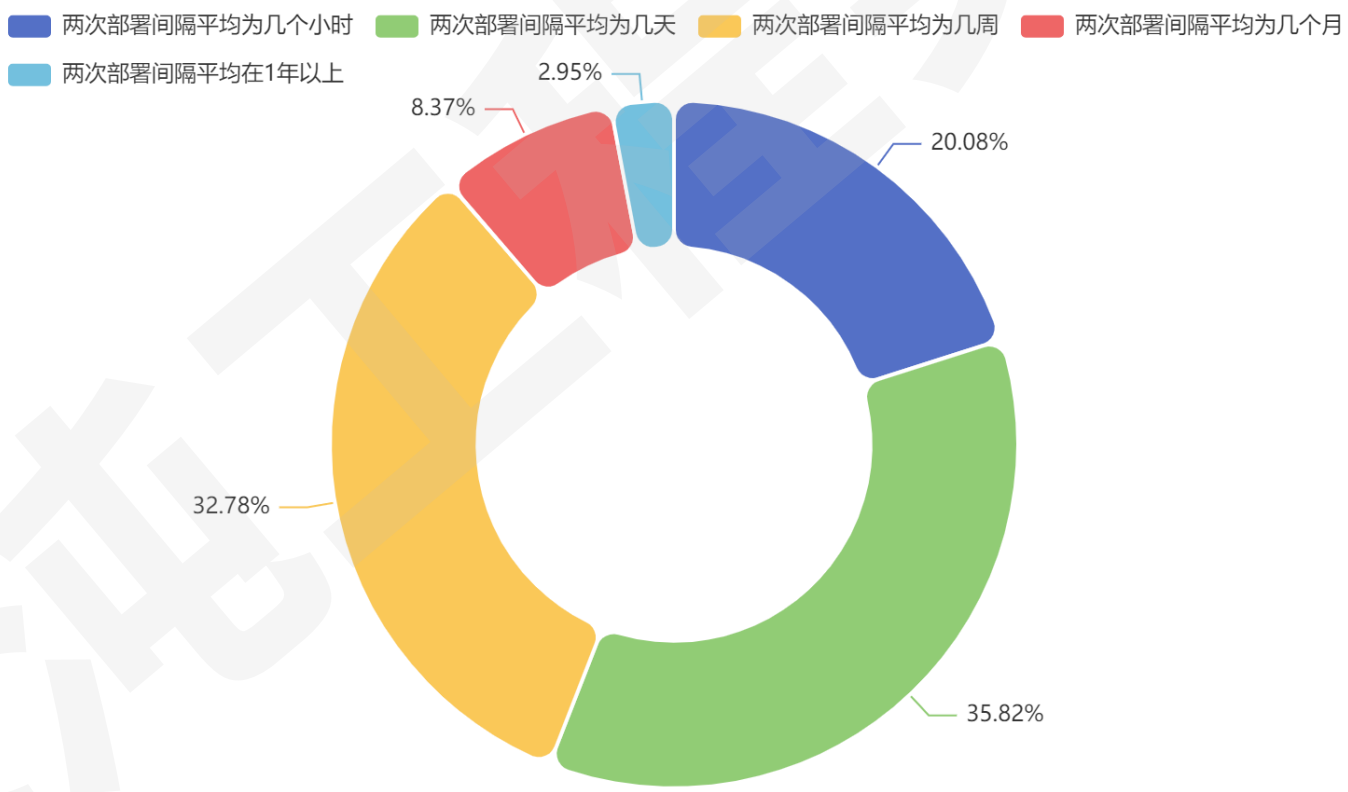


注：每个月发生 20 个故障以上的样本量较小(7 个)，不具备统计价值

数据来源：混沌工程实验室

超过半数系统每周都会发布新功能，产品功能迭代较频繁。调查数据显示（图 31），有 20.08%的产品两次部署间隔为几小时，新功能发布时间间隔在几天的比例为 35.82%，而新功能发布间隔为几个月及以上的占比仅为 10%左右。

图 31. 产品在生产环境的部署频率分布



数据来源：混沌工程实验室

四、发展建议

越来越多的企业与机构在数字化转型过程中拥抱云计算、大数据、人工智能等新兴技术，但其在带来战略业务价值的同时，也引入了更多的不确定性与技术挑战，如企业 IT 架构复杂度迅速拉升、系统之间调用链增长、依赖关系错综复杂等问题。混沌工程作为维持、提升系统稳定性的新思想，成为解决系统稳定性问题的一方良药。然而，当下系统管理人员对其建设方法、实施路径存在很多盲区，尤其对主动向生产系统注入故障有诸多顾虑。

因此，混沌工程实验室指出，正在调研或已经开始尝试使用云计算、大数据等技术进行数字化转型的企业与组织机构，首先需要建立**稳定性优先（Stability First）**的战略，通过渐进和务实的整体规划，以体系化的方式有效构建企业系统稳定性保障能力；其次要借助合作伙伴的技术深度、生态系统广度以及相关行业实践的专业度，保障信息系统的持续迭代和创新，不畏惧不确定性挑战，真正将新技术的巨大潜能稳定地释放给系统用户。具体建议：

一、**关注企业 IT 架构现状，构建围绕业务的稳定性保障体系。**面对日益复杂的 IT 系统架构以及逐步提升的用户期望，企业需要关注核心业务体系，并依据科学、有效的混沌工程理念规划自身的稳定性保障体系，在积极采纳云原生、人工智能、大数据等技术的同时，优先考虑配套的稳定性系统搭建，在保障系统稳定的前提下，逐步实现业务向新架构的迁移。

二、**重视技术迭代，打造以混沌工程为中心的系统稳定性保障体系。**随着 IT 技术的更新，稳定性保障技术也随之迭代更新以解决新架构下面临的新问题。混沌工程通过引入随机和不可预知行为的受控实验来识别系统的弱点，有效提升软件系统稳定性。在此基础之上，配合使用可观测性平台、容量管理、全链路压测等工具或技术，组合搭建系统稳定性保障体系，全方位保障软件系统可用性。

三、**构建稳定性优先的企业文化，借助合作伙伴生态加速混沌工程成熟周期。**首先，企业和组织必须对新理念和技术持包容的心态，积极拥抱混沌工程理念及管理框架；其次，选择能够对混沌工程实验进行全生命周期支持的可信平台或工具，精细化管理混沌实验，逐步将混沌工程从测试环境推向生产环境；最后，企业应重点关注混沌工程实践效果度量，从而正确评估当前系统稳定性状态，缩短混沌工程成熟周期。

编后语

《中国混沌工程调查报告（2021）》是混沌工程实验室发布的国内首个混沌工程领域调查报告。随着云计算及分布式技术的不断成熟和系统稳定性要求的不断提高，实验室将持续调研跟踪国内混沌工程及系统稳定性发展情况。欢迎系统稳定性领域广大用户、专家学者和从业人员与报告编写组联系（发邮件至王海清 wanghaiqing@caict.ac.cn），提出您感兴趣的问题、反馈您的宝贵意见和建议，帮助我们持续提升报告的针对性和实用价值。

感谢您对软件系统稳定性领域的积极贡献！

混沌工程实验室

2021 年 11 月

附录

混沌工程实验室成员名单

企业名称	类型
中国信息通信研究院	理事长单位
阿里云计算有限公司	副理事长单位
华泰证券股份有限公司	副理事长单位
深圳市腾讯计算机系统有限公司	副理事长单位
中国工商银行软件开发中心	副理事长单位
华为云计算技术有限公司	副理事长单位
天翼云科技有限公司	副理事长单位
中兴通讯股份有限公司	副理事长单位
中国移动通信集团有限公司信息技术中心	副理事长单位
平凯星辰（北京）科技有限公司	副理事长单位
北银金融科技有限责任公司	成员单位
北京银行股份有限公司	成员单位
上海浦东发展银行股份有限公司	成员单位
中原银行股份有限公司	成员单位
北京火山引擎科技有限公司	成员单位
京东科技信息技术有限公司	成员单位
北京蚂蚁云金融信息服务有限公司	成员单位
百度在线网络技术(北京)有限公司	成员单位
思特沃克软件技术（北京）有限公司	成员单位
中移（苏州）软件技术有限公司	成员单位
中移（杭州）信息技术有限公司	成员单位
中国电子系统技术有限公司	成员单位
杭州笨马网络技术有限公司	成员单位
南京争锋信息科技有限公司	成员单位
上海富麦信息科技有限公司	成员单位
北京同创永益科技发展有限公司	成员单位
亚信科技(中国）有限公司	成员单位
北京必示科技有限公司	成员单位
浩鲸云计算科技股份有限公司	成员单位
中关村智联联盟	成员单位

中国信息通信研究院

地址：北京市海淀区花园北路 52 号

邮政编码：100191

联系电话：010-62300072

传真：010-62304980

网址：www.caict.ac.cn