

算力立度：算力度的物理奠基——基于信息热力学的可信计量

作者：赵迪伟

摘要

跨域算力交易（如“东数西算”枢纽间结算）面临核心瓶颈：异构算力缺乏统一可信的计量标尺，FLOPS 峰值、GPU 利用率、裸 Token 吞吐等口径互不可通约，导致算力难以成为可定价、可对账的商品；按 Token 计费混淆计量与计价单位、政企审计缺乏可复核凭证、算力资产缺乏估值标尺。本文从信息处理的热力学标度出发，以兰道尔原理为物理锚点，提出“算力度”（Compute-Degree, CD）这一形式化计量框架：将算力产出建模为经质量、延迟与可用性修正的有效信息功

（Effective Information Work, EIW），给出其形式化定义、量纲体系、异构系统间的换算定理及误差传播界，并回应 Token 市场价格剧烈波动与转售市场失序的现实挑战。工程层面，设计“标准参考系统 × 标准工况 × 时间窗口”的锚定方法（对标电能“度”的计量范式），给出参考系统代际更替的双跑迁移协议，并进一步给出计量基础设施的三表架构（计量/检测/估值清算）、“装表—换算—核对”落地次序与日终三账核对机制，以及对抗性计量协议（神秘人抽检与触发式升级），使“可信”在策略性被测环境下依然成立；制度层面，给出六个强制披露项与清算分层路径，与金融清算体系衔接。在西部算力枢纽场景下的数值实验表明：该口径对异构系统的有效产出区分度显著优于利用率与裸吞吐口径，跨架构换算的合成标准不确定度可控制在工程可接受范围内。本框架为跨域结算、算力券核销、算力资产估值与国家算力计量标准建设提供了兼具理论严谨性与工程可行性的基础。

关键词：算力度量；信息热力学；兰道尔标度；跨域算力交易；有效信息功；不确定度评定

Abstract

Cross-domain computing power trading, as exemplified by settlement between national computing hubs in China, is bottlenecked by the absence of a unified and trustworthy metering standard. Peak FLOPS, GPU utilization, and raw token throughput are mutually incommensurable, and token-based pricing conflates the metering unit with the pricing unit—recent market turbulence, with token prices dropping sharply amid surging demand, has exposed this deficiency. This paper proposes Compute-Degree (CD), a formal metering framework anchored in the thermodynamic scaling of information processing

established by the Landauer principle. Computing output is modeled as Effective Information Work (EIW), weighted explicitly by task quality, latency compliance, and availability. A conversion theorem for heterogeneous systems is established with a proof of transitivity, accompanied by an error-propagation bound that attributes metering uncertainty term by term, and a physical upper bound on computing-degree yield derived from the second law of thermodynamics. An engineering anchoring protocol — comprising a standard reference system, standard operating conditions, and a fixed time window — is designed in analogy to the kilowatt-hour paradigm for electric energy, together with a dual-run migration protocol for reference-system generational transitions. Numerical experiments under a western computing hub scenario demonstrate that the proposed measure achieves significantly higher discrimination of effective output across heterogeneous systems than utilization- or throughput-based measures, with cross-architecture conversion deviation reduced to within engineering tolerance. The framework provides an extensible theoretical foundation for cross-domain settlement, computing-voucher redemption, and national computing metrology standards.

Key words: computing power metering; information thermodynamics; Landauer principle; cross-domain computing power trading; effective information work

一、引言

1.1 问题背景

（一）计价层的口径迷茫。

Token 市场价格剧烈波动而调用量持续攀升，恰恰暴露了以输出计数为计价单位的根本缺陷——价格脱离资源成本锚定，沦为供需博弈的符号，计量口径失去公信基础。第三方计量调查显示，Token 转售市场存在计量黑盒与额度折算无法核验等乱象，同等服务与官方价格相差可达一个数量级，计量口径缺位已造成事实上的市场失序。

东部客户以 FLOPS 询价，西部供应商以 GPU 小时报价，二者不可精确换算；不同架构（NVIDIA/昇腾/海光）、不同精度（FP16/BF16/INT8）的算力被混同计价；GPU 利用率可达 90%以上，但有效产出差异巨大；而当前主流的按 Token 计

费进一步将计量单位与计价单位混同——Token 是模型输出侧的计数单元，并非算力资源消耗的物理度量，同一 Token 在不同模型架构、数值精度与批次配置下的底层资源成本相差可达两个数量级。供需双方据此议价均缺乏公信依据：供应商无法据此核算成本，客户无法跨供应商比较报价，行业陷入"口径各自表述、价格无从比较"的迷茫。

（二）制度层的审计阻滞。

算力服务进入政企采购与国资审计流程时，缺乏第三方可复核的计量凭证与标准化计量单位，合同难以归入既有采购与审计科目，结算依赖个案认定。大客户可凭个案谈判消化对账成本，中小企业则因议价能力弱、对账成本占比高，被事实性排除在普惠算力供给之外。与此同时，智算中心、基础电信运营商与模型服务商各自沿用互不兼容的内部计量口径，跨主体结算与算力二次转售均需人工对账，交易摩擦沿产业链层级递增。

（三）资产化层的估值缺位。

算力设备正加速进入融资租赁、保理与资产证券化抵押池，而抵押物评估面临三问：量多少（产能是否真实）、真不真（产出是否注水）、还值多少（残值如何折现）。三问皆无公共标尺：利用率与峰值不可通约，Token 口径随市漂移，设备残值只能参照采购价拍脑袋。计量缺位直接转化为金融风险——授信不敢放、坏账难处置、资产无法流转。度量衡缺位处，即金融基础设施的空白处。

这与电力工业早期处境同构：在"度"（千瓦时）作为统一计量单位确立之前，电无法成为大规模交易的商品。算力商品化的前置条件，是建立自身的度量衡。

本文自始至终区分两个层面：计量（metering）回答"消耗了多少算力"，计价（pricing）回答"该付多少钱"。CD 只承担前者，是账本的公共语言；价格由供需、合约与市场形成，不由任何计量框架规定。混淆二者正是当前 Token 计费乱象的病根——Token 本是输出计数，却被迫充当价格锚；本文的贡献恰在于把锚交还给物理与产出，把价格交还给市场。