

精确逆向演算路径在标准量子理论框架内的不可行性：一个条件分析

萧雾若

独立研究者

2026年9月23日

摘要

本文论证一种试图通过精确逆向演算获取全量历史信息的复活路径不可行。该方案的核心思路是：从当前宇宙状态出发，利用逆向么正演化推演过去状态，从而复现已故主体的意识状态。本文只否定“精确逆向演算”这一路径，不否定其他复活路径。本文不论证功能组织足以构成复活，只论证精确逆向演算无法提供所需的微观信息。本文采用标准量子理论，在具体推演中依赖多世界/相对态解释。本文论证：虽然么正演化在数学上可逆，但“获取逆向演算所需的当前全量精确状态”这一操作在量子力学框架内遭遇结构性递归障碍，无法完成。本文明确界定论域：宏观功能重构可能可行，但涉及不同的物理范式与约束，不在本文讨论范围之内。

关键词

关键词：不可行性；逆向演算；获取的递归障碍；单副本问题；量子不可克隆；物理哲学

0. 研究缘起与路径说明

本文的推演起点并非“量子信息获取”或“波函数工程”，而是最朴素的机械决定论（即拉普拉斯妖）：若宇宙遵循确定的物理规则，且我们拥有当前时刻的完整状态，理论上便可沿时间箭头反向推演（逆向演算），还原全部历史，进而实现复活。

在这个最初的构想中，量子力学并非工具，而是约束。本文并非主动寻求“从外部获取波函数”，而是在将“机械逆推”应用于宇宙尺度时，物理逻辑不可避免地触及了量子力学的底层限制。本文的核心工作，是记录并严格论证这一物理约束导致的必然结果。

1. 引言

复活已故人类，作为文明目标，可以采取多种概念路径。已有多种路径被提出，包括 Tipler (1994) 的欧米伽点方案与 Bostrom (2003) 的模拟假说。本文不讨论这些路径，只评估“精确逆向演算获取过去信息”这一路径。

该路径的基本思路是：通过宇宙内部有限访问方获取宇宙当前的全量信息，利用逆向么正演化推演出过去任意时刻的状态，从中提取已故主体的功能组织，完成复现。本文论证：这条路径在标准量子理论框架内不可行。

在现有的技术复活路径分类中，Turchin 与 Chernyakov (2020) 将“从过去获取信息”归入可能需要新物理定律的思辨选项，未给出系统评估。本文论证：即使在标准量子理论框架内、无需任何新物理，精确逆向演算路径亦已被结构性封锁。

关于本文论域的严格界定：本文讨论的“逆向演算”，特指从当前状态逆推历史，以获取精确且全量的微观/量子信息的路径。放弃精确性、转而利用环境记录进行宏观功能重构，属于另一类方案，不在本文讨论范围内。

2. 方案的核心逻辑与假设

2.1 方案结构

第一步，宇宙内部有限访问方获取宇宙在某一时刻的全量状态（逆向演算的起点）。
第二步，利用宇宙的全局演化规则，在内部对当前状态进行逆向么正演化，推演出宇宙在任意过去时刻的全局波函数。
第三步，从该过去时刻的全局波函数中，提取目标已故主体的功能组织，完成功能等价复现。

2.2 假设声明

假设一（信息守恒与么正演化）：宇宙的演化规则在全局层面为么正演化，信息严格守恒。
假设二（量子力学解释）：采用多世界/相对态解释，全局波函数始终么正演化，测量坍缩是分支相对现象（Everett, 1957; Wallace, 2012）。
假设三（分支选择规则）：存在一个规则，能够从全局波函数的叠加态中选出目标主体所在的相对态。本文不主张该规则存在，方案的条件性依赖于此规则。
假设四（内部获取）：存在一个宇宙内部有限访问方，能够获取逆向演算所需的当前全量精确信息。
假设五（超越标准框架的获取）：存在一个系统，其获取操作不遵循量子力学的线性么正结构与测量公设。

关于假设五的澄清：假设五仅豁免“获取通道”的物理限制，不豁免“演化规则来源”、“计算资源上限”与“提取困难”。即便拥有神级获取通道，后三项剩余代价依然生效。

本文论证：假设一成立，假设二和假设三使目标可定义，但假设四在标准量子理论框架内不成立。

3. 可逆性成立，但获取不成立

3.1 可逆性在数学上成立

么正演化是严格可逆的。给定某一时刻的全局波函数与演化规则，可以精确反推过去状态。但可逆性只是说“如果有了波函数，就能反推”，它不保证“能拿到波函数”。

3.2 获取的递归论证：形式化命题

定义 1（获取协议）：设总宇宙为 U_{tot} ， E 是其中有限子系统， $R = U_{tot} \setminus E$ 是其余部分。联合态为 $|\Psi_{ER}\rangle$ 。一个“获取协议”是一个量子操作 $\mathcal{O}$ ，作用于 E 及 E 内部可访问的辅助系统 Z （ Z 不能是外部无限资源），输出一个能精确预测所有全局测量统计的经典描述或纯态估计，试图以此重构 $|\Psi_{ER}\rangle$ 的全局信息。

定义 2（物理等价类）： 由于全局纯态的整体相位不可观测，物理等价类应定义为密度矩阵或投影希尔伯特空间中的射线。所谓“精确提取完整全局纯态信息”，是指能够识别该全局态的物理等价类，而非复现某个特定相位。

命题 1a（精确获取不可能）： 在单副本且无完备先验信息的条件下，不存在任何 **E**-侧有限协议能够以概率 1 精确提取完整全局纯态信息。

证明：

1. 在本方案语境下，“无完备先验信息”特指：可能态集合中包含至少两个非正交纯态 $|\psi_1\rangle, |\psi_2\rangle$ ，且先验分布同时赋予二者非零概率。这里的“非正交”是必要条件——若可能态集合为已知正交族，则单次测量可以无错区分，不构成“无完备先验信息”的困难情形。
2. 精确提取完整全局纯态物理等价类，蕴含该协议能够以概率 1 无错区分这对非正交态。
3. 在 POVM 框架下，标准量子态分辨理论给出非正交态不可完美区分的 Helstrom 界（Helstrom, 1976；亦可参见 Holevo 界）。
4. 因此，无错识别不可能。故精确重构不可能。■

命题 1b（经典粗粒化获取路径的封锁）： 在无完备先验信息且只允许经典粗粒化输出的条件下，任何单副本协议能给出的经典估计存在非平凡误差上界。误差度量采用经典记录的统计距离。由单副本量子态分辨理论的下界，初始误差 $\delta_0 \geq \epsilon > 0$ 。由混沌放大效应，逆推至目标时刻的误差按 $\delta(t) \gtrsim \min(\Delta, \epsilon \cdot e^{\lambda t})$ 量级放大（基于线性化 Lyapunov 指数， Δ 为饱和尺度）。

必须严格限定命题 1b 的适用范围：它仅适用于 **E** 获取的是经典粗粒化记录或局部期望值的情形。若 **E** 获取的是完美的全局量子态，根据么正演化保内积的性质，逆推时保真度是守恒的，经典混沌放大效应不适用。此处需注意：保真度守恒针对的是两个全局纯态之间的内积，属于态空间层面的量；经典粗粒化误差属于经典记录层面的量，二者处于不同描述层级。在宇宙尺度下，若获取的是经典记录，所需的初始精度将远超物理可及精度。全局量子态逆推的绝对封锁依赖于命题 1a，经典路径的封锁依赖于命题 1b。■

附注（递归推论）： 命题 1a 的论证仅依赖“任何有限访问方对非正交全局纯态对的判别上界”，与访问方的具体身份无关。引入辅助系统 **Z** 读取 **ER** 后，同样的上界适用于 **ZER** 层级的任何有限访问方——递归封锁由此成为命题 1a 的直接推论。须注意：**E** 侧协议只能作用于 **E** 与内部辅助系统，不能对“全 **R**”实施全局操作；若作用于全 **R** 或获取全 **R** 的恢复信道，则已预设物理接入 **R**，即待证能力本身。

综合： 命题 1a 封死了“精确获取”路径；命题 1b 封死了“经典粗粒化够用”的退路。两条命题共同构成对逆向演算在标准量子理论框架内的结构性封锁。

关于“制备 vs. 获取”的区分： 若 **E** 自己制备了联合系统，**E** 对联合纯态可以有制备性知识。但本方案的处境是：获取一个非 **E** 所制备的、已演化若干亿年的态。制备知识的例外不适用。

与既有 no-go 定理的关系： Frauchiger & Renner (2018)、Brukner (2018) 与 Bong et al. (2020) 处理的是不同观察者推理的一致性矛盾。本文命题 1a 与 1b 并非在数学上超越这些定理，而是在操作层面补充了一个关于全局态获取的 no-go 论证，并将其与“逆向演算”任务进行绑定。

关于局域描述的说明： Deutsch & Hayden (2000) 论证每个系统携带自身“信息描述”，可能部分绕过全局态需求。但 D-H 的局域描述不提供全局相位与完整纠缠结构，不足以支撑方案的第三步

（提取功能组织）。Wallace & Timpson (2007) 已指出，D-H 描述在么正等价意义上不新增预言力。

关于恢复信道的说明：偏迹丢弃的信息只能由作用于含 R 全体的恢复信道找回（Fawzi & Renner, 2015 给出其存在条件）。但“对 R 实施恢复信道”预设了操作者已物理接入 R ——这正是待证的获取能力本身。恢复条件不构成获取路径，它只是重述了获取要求。

3.3 弱测量、层析协议与单副本快照不构成替代路径

一个自然的质疑是：弱测量与后选择协议可以在不引发强坍缩的情况下提取部分信息，是否可能绕过命题 1a/1b？答案是否定的，理由是单副本约束。

弱测量作为协议特例：弱测量与后选择协议若不作用于 R ，则构成定义 1 中获取协议类的真子集，故命题 1a/1b 对其直接适用；若作用于 R ，则触发命题 1a 的递归结构——对 R 实施中途测量即物理接入 R ，正是待证能力本身。信息-扰动权衡（Fuchs & Peres, 1996；另见 Breuer & Petruccione, 2002）只是量化了该特例的权衡曲线位置，并未突破命题约束本身。弱测量协议在标准操作下依赖系综统计（Aharonov, Popescu & Tollaksen, 2010；Bednorz & Belzig, 2010）。从单份副本可提取的关于全局态的信息存在非零上界（Barnum & Knill, 2002，辅助参考）；要积累出完整重构所需的信息量，必须对同一未知态的大量独立副本重复弱测量——这正是层析的系综需求。宇宙全局波函数是单副本且不可制备，弱测量路线在“副本供给”这一步即被封锁。

量子态层析的限制：标准量子态层析协议（如 Cramer et al., 2010; Haah et al., 2017）需要大量全同副本（ $N \rightarrow \infty$ ）来进行统计估计。而本方案的宇宙是单副本（ $N=1$ ）。单副本状态识别受制于量子信息论中的保真度上界，无法精确重构未知全局态。即使是最新的单副本层析研究（如 Cho & Kim, 2025 的浅层测量方案，为预印本），其最优采样界仍然受限于单副本的资源约束，无法绕过该上界。

关于单副本快照协议：近期有研究提出，在单副本条件下，可通过中线路测量与动态电路提取量子态的经典快照（如 Kundu et al., 2025a, 2025b，均为预印本，结论未经同行评审，且前提与本文不同）。此类协议针对小规模量子系统提取带保真度的近似经典描述，但并不构成对本文命题 1a/1b 的反例。理由有三层：

1. 前提差异：这些协议预设目标是可自由施加相干门与中途测量的实验室系统。对 R 实施中途测量即物理接入 R ，触发命题 1a 的递归结构。协议中的“单副本”是“可以随便操作的寄存器”，而本文的“单副本”是“不许碰，只能读”。
2. 产物差异：快照是近似经典描述，非完整全局纯态。由命题 1b，近似在经典混沌背景下不足以支撑长时逆向演算。
3. 标度差异：其保真度-资源权衡针对小规模寄存器设计；对 $\sim 10^8$ 自由度的对象，即便前提满足，所需控制精度与协议长度将超出 Lloyd (2002) 宇宙计算容量上界（此为上限总量级估计，用于定性比较）。因此，单副本快照协议不构成命题 1a/1b 的反例，反而在命题 1b 的标度约束下被自然排除。

3.4 障碍的分级结构

第一级（足以封锁整个方案）：

- 障碍一：递归论证（本稿命题 **1a/1b** 及其递归推论，结构性障碍）。内部访问方无法获得联合纯态，因为任何获取操作都产生新的联合系统。

第二级（分别封锁三条子路线）：

- 障碍二：量子不可克隆定理（**Wootters & Zurek, 1982; Dieks, 1982**）。封锁“克隆式获取”。
- 障碍三：测量扰动（框架内结果）。在多世界解释下，测量是么正的，信息不丢失，只是扩散到 E 无法访问的联合态关联中。障碍三之所以“化归为障碍一”，是因为在多世界解释下，测量并未引入额外的信息破坏机制——其物理后果（信息扩散至无法访问的关联中）与递归论证所描述的情形一致。在坍缩解释下，障碍三才具有独立地位。
- 障碍四：单副本问题。封锁“统计层析式获取”。

3.5 提取困难

即使获取环节全部成功，从全局波函数中“提取目标主体的功能组织”面临独立的困难：子系统分解的选择（quantum mereology，即全局态的子系统分解不唯一）、优选基问题、以及 Wallace (2012) 中讨论的涌现结构定位。全局态不含唯一的分解。后者即使在前者被假设五豁免时仍然生效。

3.6 先验信息与“占有 vs. 获取”的区分

本方案封锁的是“通过物理交互获取”这一条路径。若访问方以其他方式占有当前全量态的精确描述（如哈密顿量与初始条件均为已知数据），获取障碍不适用——但这只是把问题后移一步：该描述本身作为物理信息，其产生必然经历某次获取事件，递归并未消失，只是转移到了记录链上游。若退而假设“描述凭空给定”，则该假设是数学柏拉图式设定，不属于本文“物理上可实现的获取协议”的定义域（定义 1）。

此外，即便描述免费给定，需分情况讨论：

- 若给定的是完美全局量子态：计算资源与提取困难两项剩余代价依然生效，混沌放大不适用；
- 若给定的是经典粗粒化描述或局部期望值：计算资源、提取困难，加上混沌放大三项剩余代价均生效。因此，先验信息路径不构成对命题 1a/1b 的规避，其代价只是被转移而非消除。

4. 宏观退路不属于本文论域

若放弃量子层面的精确获取，改用宏观探针进行经典系统辨识，能否实现复活？这是一个极具价值的问题，但本文必须明确界定：该路径不属于本文“精确逆向演算”的论域。

量子达尔文主义（Zurek, 2003, 2009）表明，宏观历史被环境冗余记录。如果复现目标仅仅是“宏观功能等价体”，理论上无需逆推微观全量态。然而，这种“宏观功能重构”与“精确逆向演算”是两种完全不同的物理方案。

关于宏观功能重构的可行性，不属于本文讨论的范围。本文只聚焦于精确逆向演算，并论证其不可行性。至于宏观退路是否可行，属于另一项独立研究。

5. 假设五的定价与剩余代价

假设五（超越标准框架的获取）豁免的只是“获取”，不豁免以下三项：

1. 具体演化规则的知识：假设一已给出演化规则的数学形式（幺正演化），但方案的具体执行仍需知道宇宙的具体哈密顿量。假设五豁免了“读取全局态”，不豁免“掌握精确哈密顿量”。
2. 计算资源：逆向幺正演化的计算量受 Lloyd (2002) 宇宙计算容量上界约束。此处须再次强调第3.2节的边界声明：若获取的是完美全局量子态，幺正演化保内积，经典混沌放大不适用；只有在获取的是经典粗粒化记录或局部期望值时，逆推时间跨度才会受混沌放大率约束（典型混沌系统的 Lyapunov 时间估算见 Laskar, 1989; Zurek & Paz, 1995 讨论了量子混沌的退相干定义，为相关背景），此时所需控制精度与协议长度将超出 Lloyd 上界。
3. 提取困难：即使假设五成立，3.5 节的提取困难仍然生效。

6. 结论与适用范围

本文论证了基于精确逆向演算的复活路径在标准量子理论框架内不可行。

这不是工程上的困难，而是标准量子理论框架内的结构性障碍。其强度取决于对量子力学解释的采纳：在多世界/相对态解释下，递归论证是结构性的；在关系量子力学下（Rovelli, 1996），绝对外部视角本就不存在；在哥本哈根解释下，测量坍缩本身已阻止获取。

适用范围说明：本文结论限于标准量子理论框架。在量子引力框架下，“全局波函数”与“获取”的物理含义未定。本文不构成对量子引力框架下复活路径的否定。玻姆力学中普适波函数是本体成分，但物理交互获取仍受约化态限制（Bohm, 1952）。

论域外声明：本文只试图论证“通过精确逆向演算获取历史信息”这条路径的不可行性。放弃精确性、基于宏观环境记录的功能重构方案，不在本文讨论范围之内。

参考文献

- Aharonov, Y., Popescu, S., & Tollaksen, J. (2010). A time-symmetric formulation of quantum mechanics. *Physics Today*, 63(11), 27–32.
- Barnum, H., & Knill, E. (2002). Reversing quantum dynamics with near-optimal quantum and classical fidelity. *Journal of Mathematical Physics*, 43(5), 2097–2106.
- Bednorz, A., & Belzig, W. (2010). Quasiprobabilistic Interpretation of Weak Measurements in Mesoscopic Junctions. *Physical Review Letters*, 105(10), 106803.
- Bohm, D. (1952). A suggested interpretation of the quantum theory in terms of "hidden" variables. I. *Physical Review*, 85(2), 166–179.
- Bong, K.-W., Utreras-Alarcón, A., Ghafari, F., Liang, Y.-C., Tischler, N., Cavalcanti, E. G., Pryde, G. J., & Wiseman, H. M. (2020). A strong no-go theorem on the Wigner's friend paradox. *Nature Physics*, 16(12), 1199–1205.

- Bose, S., Mazumdar, A., Morley, G. W., Ulbricht, H., Toroš, M., Paternostro, M., Geraci, A. A., Barker, P. F., Kim, M. S., & Milburn, G. (2017). Spin Entanglement Witness for Quantum Gravity. *Physical Review Letters*, 119(24), 240401.
- Bostrom, N. (2003). Are you living in a computer simulation? *The Philosophical Quarterly*, 53(211), 243–255.
- Breuer, H. P., & Petruccione, F. (2002). *The Theory of Open Quantum Systems*. Oxford University Press.
- Brukner, Č. (2018). A no-go theorem for observer-independent facts. *Entropy*, 20(5), 350.
- Cho, G., & Kim, D. (2025). Sample-optimal single-copy quantum state tomography via shallow depth measurements. *arXiv:2509.12703*. [预印本]
- Cramer, M., Plenio, M. B., Flammia, S. T., Somma, R., Gross, D., Bartlett, S. D., Landon-Cardinal, O., Poulin, D., & Liu, Y.-K. (2010). Efficient quantum state tomography. *Nature Communications*, 1, 149.
- Deutsch, D., & Hayden, P. (2000). Information flow in entangled quantum systems. *Proceedings of the Royal Society A*, 456(1999), 1759–1774.
- Dieks, D. (1982). Communication by EPR devices. *Physics Letters A*, 92(6), 271–272.
- Everett, H. (1957). 'Relative state' formulation of quantum mechanics. *Reviews of Modern Physics*, 29(3), 454–462.
- Fawzi, O., & Renner, R. (2015). Quantum conditional mutual information and approximate Markov chains. *Communications in Mathematical Physics*, 340(2), 575–611.
- Frauchiger, D., & Renner, R. (2018). Quantum theory cannot consistently describe the use of itself. *Nature Communications*, 9, 3711.
- Fuchs, C. A., & Peres, A. (1996). Quantum-state disturbance versus information gain: Uncertainty relations for quantum information. *Physical Review A*, 53(4), 2038–2045.
- Haah, J., Harrow, A. W., Ji, Z., Wu, X., & Yu, N. (2017). Sample-optimal tomography of quantum states. *IEEE Transactions on Information Theory*, 63(9), 5628–5641.
- Helstrom, C. W. (1976). *Quantum Detection and Estimation Theory*. New York: Academic Press.
- Kundu, D., Chatterjee, A., & Ghosh, S. (2025a). Guess, SWAP, Repeat: Capturing Quantum Snapshots in Classical Memory. *arXiv:2504.14459*. [预印本]
- Kundu, D., Chatterjee, A., Ghosh, A., & Ghosh, S. (2025b). Capturing Quantum Snapshots from a Single Copy via Mid-Circuit Measurement and Dynamic Circuit. *arXiv:2504.21250*. [预印本]
- Laskar, J. (1989). A numerical experiment on the chaotic behaviour of the Solar System. *Nature*, 338, 237–238.
- Lloyd, S. (2002). Computational capacity of the universe. *Physical Review Letters*, 88(23), 237901.
- Marletto, C., & Vedral, V. (2017). Gravitationally Induced Entanglement between Two Massive Particles is Sufficient Evidence of Quantum Effects in Gravity. *Physical Review Letters*, 119(24), 240402.
- Rovelli, C. (1996). Relational quantum mechanics. *International Journal of Theoretical Physics*, 35(8), 1637–1678.

- Tipler, F. J. (1994). *The Physics of Immortality: Modern Cosmology, God and the Resurrection of the Dead*. New York: Doubleday.
- Turchin, A., & Chernyakov, M. (2020). Classification of approaches to technological resurrection (Version 3). PhilArchive. First archived 2018.
- Wallace, D. (2012). *The Emergent Multiverse: Quantum Theory according to the Everett Interpretation*. Oxford: Oxford University Press.
- Wallace, D., & Timpson, C. G. (2007). Non-locality and gauge freedom in Deutsch and Hayden's formulation of quantum mechanics. *Foundations of Physics*, 37(6), 951–955.
- Wootters, W. K., & Zurek, W. H. (1982). A single quantum cannot be cloned. *Nature*, 299, 802–803.
- Zurek, W. H. (2003). Decoherence, einselection, and the quantum origins of the classical. *Reviews of Modern Physics*, 75(3), 715–775.
- Zurek, W. H. (2009). Quantum Darwinism. *Nature Physics*, 5(3), 181–188.
- Zurek, W. H., & Paz, J. P. (1995). Quantum chaos: a decoherent definition. *Physica D*, 83(1–3), 300–308.

作者声明

本稿为哲学/物理概念分析预印本，未经同行评审。本文论证精确逆向演算路径的复活方案在标准量子理论框架内不可行。本文不讨论伦理问题，不讨论工程问题。本文的否定性结论不排除其他复活概念路径（如宏观功能重构）的可行性，但那些路径不在本文论域之内。结论的适用范围限定于标准量子理论框架，量子引力框架下的开放性在第 6 节标明，本文不构成对量子引力框架下复活路径的否定。