信息，演化的主线

陈胜耀

前五期已完成：第一期建立了演化的正循环，第二期论证了合作是秩序的构造力，第三期用“物变，幸存”给成功祛魅，第四期交代了之一论、概率思维、无尽切换视角三个方法，第五期展开了能量维度。本期展开信息维度。

在演化中，信息提供模式与方向。但在适应度的要素中，信息同样只是基础之一、必要条件之一。本期的核心命题是：信息是演化的主线。围绕这个命题，论证从两个方面展开。一是以“基因论”为参照，说明信息比基因更基础、更有解释力，基因是信息的载体，不是信息本身。二是信息贯穿生命演化的全过程，从生命起源到虚构信息，信息始终在场。

论证需要用到第一期已论证的相关概念。下面先集中引用，后面直接使用，不再重复论证。

1. 需要用到的第一期结论

信息的定义：信息，是宇宙万物的性质、状态、规律和法则。能量、物质、生命、组织、共同体、星球、宇宙，它们的性质、状态、规律和法则，就都是信息。是本体论信息。

生命利用信息做三件事：捕获能量、调用物质、建构秩序。

演化正循环：能量提供动力，生命发掘信息，信息指引能量。

信息涌现趋向无尽：物质品质、生命形式趋向无尽，万物信息的涌现随着趋向无尽。

万物有固有信息，还有活动信息。非生命物质的活动信息，属于纯物理现象。生物活动信息里，涌现虚假信息。人类活动信息里，涌现虚构信息。

本文为系列论文第6篇，该系列结论指向：全球共同体是生命史与人类史的阶段性演化必然。

信息三种性质：真实信息、虚假信息、虚构信息。真实信息是宇宙万物的真实性质、状态、规律。虚假信息，物理信号真实但传达内容虚假，只存在于生命世界。虚构信息不直接对应物理实在，但被足够多人共同相信并产生真实因果效力，只存在于人类社会。

信息的生灭机制：规律信息始终存在；物质信息随结构生灭；虚假信息，由信息不对称而生效，因识破而失效；虚构信息因共识瓦解而消亡。信息不守恒。

信息也不可累积：信息是模式，模式一旦被采纳，重复施加不产生新效果。

三种秩序与信息。造物秩序和生理秩序，由物理真实信息直接规定。互动秩序由演化沉淀，真实信息为基底，虚假信息参与塑造。共同体秩序，需要真实、虚假、虚构三种信息共同参与，靠虚构共识建构。

关于信息的选择与定义，为什么选用信息而非知识，为什么选择本体论信息而非认知论信息，本文的信息与香农信息的区别，与信息哲学里的区别，在第一期的补充说明已有展开，这里不再重复。

2. 基因论的局限

道金斯在其著作中提出，基因是进化的基本单位，生物个体只是基因的“生存机器”，这是“基因中心论”。另一个广泛传播的说法更简洁：生命的本质是基因的传承。基因是源头，生命体是载体；基因是主角，生命体是配角，这是“基因本质论”。这两种说法几乎成了默认的常识，这里把它们简称为“基因论”。

2.1 基因论的反例

基因论认为，生命体是基因的“生存机器”，用来复制和传播基因；生命的本质是基因的传承。然而，事实并非如此。生命体会主动抑制，甚至删除部分自

身基因。下面看广泛存在的生命体内的基因抑制甚至删除。

自私基因几乎遍布所有物种。它们活跃时，往往对生命体无益甚至有害。它们不干活、搞破坏，却在复制遗传中疯狂作弊，让自己的传递率超出正常的遗传定律，是基因组里的“寄生虫”。面对这种内部侵蚀，生命世界绝大部分物种都发展出了防御机制，通过沉默甚至直接从 DNA 中删除它们，来维持自身基因组的稳定。

转座子，是自私基因里数量最出名的一个家族。它们活跃时，绝大部分对生命体有害，但但演化中，它们大多数被宿主强行沉默，变成垃圾基因。果蝇的生殖细胞里有 piRNA 通路，像搜索引擎一样识别自私基因的 RNA，把它沉默掉。植物的体细胞用 siRNA 切割自私基因转录出的 mRNA，让它们无法表达。线虫更彻底，在胚胎发育早期直接删除基因组中约 0.7%到 2.3%的序列，删除之后再把染色体断端重新愈合。

生命体能够抑制甚至删除自身基因，这说明基因不是生命世界真正的统治者，生命体也不是基因的生存机器。

对此，基因论或许可以解释：抑制或删除自私基因的机制，是由其他基因的指令，因此这只是基因之间的竞争。如此一来，又成了基因之间竞争演化。如同生物之间竞争演化，依据优胜劣汰决出胜负，基因之间凭“是否对生命体有用”决出胜负。所以，“基因论”需要增加限定：对生命体有用，这是它们的筛选标准之一。于是，基因论可修正为“有用基因论”。

2.2 信息先于基因

基因是当今生命世界存储和传承生命核心信息的载体。当今所有已知生命，从细菌到人类，都依赖基因存储遗传生命核心信息。基因的精确复制和变异，是

生物演化的核心机制。

但生命不是天然就有的，它是从无生命的物理世界里涌现出来的，即生命起源。在生命起源的过程中，物质世界依据什么而演化？基因本身又是怎么诞生出来的？生命起源和早期演化，有一个从“没有基因”到“有基因但不完善”的过程。科学界主流观点认为，生命起源的早期经历过一个“RNA 时代”。RNA 既能把遗传信息串起来，又能像蛋白质一样催化反应。后期随着演化积累迭代，基因才换为 DNA 并逐步完善稳固下来。

生命起源过程中，物质在自身性质的约束下重组。脂质分子在水中自组装为囊泡，核酸分子在反复合成与断裂中偶然形成可复制的信息链，氨基酸聚合成原始蛋白质。这些都是由它们自身的性质，在所处的环境里，发生的分子化学演化。这些物质的性质，就是第一期界定的物理信息，在生命出现之前，它就已经在物理化学层面发挥作用。在没有完整 RNA 链的时候，是核酸分子遵循自身的物理信息，凑巧组成 RNA 链。

区室化、信息储存、催化代谢，三者在某个封闭空间内凑巧耦合。膜包裹住三者，核酸链承载三者的信息，蛋白质催化三者的代谢。它们的功能相互依赖，缺一不可，实现耦合，第一个原核生物诞生，生命起源成功。如果功能不能耦合，即便物理上拼装到一起，也无法实现生存和自我复制繁衍。

以生命起源成功那一刻为分界线：成功之前，它是一条核酸分子链，携带的是物质自身的物理信息；成功之后，它被视为一个原核生物的基因。但分子链还是那条分子链，物质结构没变，性质没变，信息也没变。变的只是它被置于一个生命系统之中，被赋予了“基因”这个名称。所以，信息先于基因存在。

基因出现之后，载体还在继续更替。RNA 换到 DNA，DNA 成为更稳定的载体。

载体换了，信息还在。当今生命世界，RNA 病毒用 RNA 存储遗传信息，其他生物用 DNA 存储遗传信息。信息载体不同，功能相同。这说明，信息不依赖于特定载体。

只要能完成信息存储和传递，信息载体具体是什么并非关键。真正的核心关键是生命信息。生命信息的载体可以换，RNA 换到 DNA，信息并不随之消失。基因是信息的载体，不是信息本身。核心是信息，载体服务于信息。

2.3 基因并非全部信息

在 2.1 节，基因论可以退一步主张“有用基因论”，然而，这仍然不成立。

发育过程中，基因中心向各细胞各组分发送施工图信息和管理指令，但这不是全部。胚胎发育早期，不同细胞黏附分子强弱不同，细胞混合后按黏附强度自发分层，这是细胞相互传递黏附信息后自发形成的，不是基因的逐条指令。自组织发育是受基因调控，但更多是依据各组分之间的沟通信息，这些信息不在基因信息范围之内。发育也不是基因单向下达指令，外围还会向基因反馈信息。细胞膜受体感知外界信号后经信号转导上报核内转录因子，机械牵拉力经细胞骨架传导至细胞核改变染色质状态，线粒体和叶绿体可向核基因组发送逆向信号。外围还可以向“基因中心”发送指令。环境因素还可直接导致 DNA 甲基化或组蛋白修饰，相分离可影响基因是否被激活。外围环境信息会约束基因表达的可能范围。

生存活动中，越低阶的物种越依赖基因预设的固定本能，越高阶的物种基因控制具体行为的比重越低。高阶生物所需的很多生存知识技能不在基因里，它们需要后天学习增量信息。大象依赖从年长个体学到的知识，失去年长个体生存几率明显更低。黑猩猩用石头敲坚果，个体生存差距关键在技术更优。鹦鹉有“方言”，掌握多种方言的个体能获得特权。这些知识技术技能信息，都是后天学习

得来的，不在基因范围内。没有这些后天习得的增量信息，动物的生存状态急剧变差，甚至无法生存。仅用基因论，不能完全解释这些物种的演化。

在生命的求偶繁殖活动中，同样有基因覆盖不了的信息。雌性斑胸草雀会观察其他雌性与雄性的互动，然后改变自己的选择，去偏好那只被“选中”的雄性所具有的表型。这种通过社会观察获得的偏好，可以覆盖基因层面的初始倾向。雄性园丁鸟建造和装饰求偶亭的能力并非天生，年轻雄鸟要花好几年时间参观成年雄鸟的亭子、反复练习搭建技巧，才能具备竞争力。装饰偏好还存在地方性的“传统”，年轻个体从成年个体那里习得特定风格。同一物种、相近基因的个体，求偶成功率取决于它花了多少时间观察和练习，而不是基因里写了多少。

经过以上三小节的分析，可以得出判断：生命体会抑制甚至删除部分自身基因，说明基因不是绝对核心；基因不是源头，RNA 先于 DNA，信息先于基因，载体换了信息还在；基因不是全部信息，发育、生存、求偶中大量关键信息不在基因序列里。基因论在它有效的范围内成立，但它只是演化层面有效的次级总结，不是终极解释。基因是生命核心信息的载体，但载体承载的信息，并不等于生命所需的全部信息。

3. 信息主线论

3.1 基因解释不了的，信息都能覆盖

第 2 节分析基因论覆盖不了的生命活动，起源过程、发育过程、生存活动、繁殖活动，这些生命活动，换用信息就都能解释。

生命起源，基因尚未出现。物质在物理信息的约束下重组，RNA 先于 DNA，信息先于基因。基因不是起点，信息才是贯穿始终的底层约束。

发育过程中，细胞黏附分层、信号转导反馈、相分离、细胞外基质硬度约束基因表达，这些信息不在基因序列里，但发育离不开它们。基因提供施工图，但还有大量协调信息来自细胞间互动和所处的物理化学环境。

生存活动中，大象从年长个体学到的知识、黑猩猩从长辈习得的技术、鹦鹉的方言、掠食动物从父母那里练成的捕猎技能，都是后天从环境中获取的增量信息。

求偶繁殖中，斑胸草雀通过社会观察改变择偶偏好，园丁鸟的求偶亭建造技能需要多年练习，同一物种、相近基因的个体，求偶成功率取决于获取和积累了多少信息，而不是基因里写了多少。

这些合起来指向同一个结论：基因只承载核心信息，不承载全部信息。基因覆盖不了的部分，信息都覆盖了。基因和信息的差异，不止在覆盖范围上。它们在利用信息的方式上，还有根本不同。

3.2 被动演化到主动适应：认知能力

基因层面的演化是被动的。自然选择筛选出恰好能更好利用信息、利用更优信息的基因，但生命本身不知道自己在利用信息。细菌趋向营养源，是化学受体恰好对浓度梯度做出了反应；植物向光生长，是光受体蛋白恰好对波长做出了反应。反应有效，基因被保留；反应无效，基因被淘汰。整个过程，生命自用而不自知。

认知能力出现之后，分界线划开了。生命能够感知、处理、利用信息，并依据信息主动调整行为，主动利用新资源、适应新环境，不必等待基因变异。前面举例的大象、黑猩猩属于高智动物，它们拥有了自我意识。下面看看信息能力相对低一点的动物。

乌鸫从森林进入城市，学会在城市里觅食、筑巢、躲避人类，用了大约两百年。暗眼灯草鹀殖民城市仅三十年后，鸣唱的最低频率就发生了显著变化。这种变化在共同花园实验中依然保持，说明它已经固化为种群层面的习性差异，不是个体临时的行为调整。白骨顶鸡在城市水域筑巢，三十年间的巢材记录显示，它们系统性地转向使用人类丢弃的塑料垃圾。这些变化都发生在基因频率来不及改变的尺度上。驱动力不是基因突变，而是动物凭自身信息能力感知城市环境后做出的适应性调整。

两条解释路径在这里分开。基因演化自用而不自知，能解释那些需要漫长世代才能固定的性状。认知信息驱动的主动适应，自知而自用，能在数十年内完成行为调整。基因论解释不了后者，因为它只盯着基因载体。反过来，认知论信息也解释不了前者。细菌趋化、植物向光、胚胎发育中的自组织分层，这些过程里没有“认知”，但信息照样在起作用。被动演化和主动适应，底层条件相同，都是信息在场，只是利用信息的方式不同。

3.3 互动秩序：真实信息是基底

互动秩序的基底是真实信息。生命互动方式多样，捕食防御、合作、竞争、寄生、共生，但参与方都需要依据对方的信息：捕食者判断猎物位置，猎物判断捕食者距离，合作双方判断对方意图和能力。清洁鱼为大鱼清理寄生虫，大鱼不攻击清洁鱼，靠双方识别对方的真实身份和行为信号。这些互动依据的绝大多数是真实信息。

蜜蜂的舞蹈语言就是例子。舞蹈蜂用摆尾的方向和时长，向跟随蜂传递食物源的方向和距离，这是真实信息。跟随蜂接收后，不机械照搬，而是把舞蹈信息与环境信息叠加，推算出食物源的真实位置。舞蹈信息与环境信息都真实，叠加

才能完成觅食协作。没有真实信息作基底，蜂群协作运转不起来。

灵长类的社会互动同样依赖真实信息。野生长尾黑颚猴能计算群体中其他雌性之间的等级关系。研究者播放模拟等级反转的叫声，即下属攻击上位者，雌猴的注视时间显著长于播放正常等级关系的叫声。这说明它们不仅知道谁强谁弱，还能在头脑中比较和推断第三方之间的关系。这种社会知识来自长期观察积累的真实信息：谁在什么时候对谁做了什么，结果如何。联盟、竞争、和解，都建立在这套真实信息之上。

狼群协作狩猎也依赖真实信息。狼群通过肢体语言、面部表情、气味标记和声音沟通。侦察时评估猎物种群的老弱病残和地形条件，佯攻小队吸引注意力，主力从侧后方迂回突袭。每一次分工和配合，都依据对猎物位置、地形、同伴动作的实时判断。这些判断所依据的信息，绝大多数是真实的。

虚假信息在互动中同样存在，保护色、拟态、假警报都是。但它们寄生于真实信息系统之上，频率必须远低于真实信息，否则整个信号系统失效，虚假信息也就失去了寄生的基底。互动秩序以真实信息为基底，虚假信息是寄生其上的次级现象。

3.4 共同体秩序：真实信息同样是基底

共同体秩序里，真实信息同样是基底。

分工的依据是真实信息。谁适合做什么，取决于体力、经验、技能、资源分布、环境条件。古代水利工程的调度，靠的是水文、地形、工程量这些真实信息。每年春季清淤，官府根据渠道长度和土方量确定用夫数量；灌溉季节，各县官吏依据各渠段的实际灌溉面积和作物需水情况监管分水比例。调度决策的输入，绝大部分是真实信息。

粮食储备和物价调控也是同样的逻辑。政府要准确掌握各地物价、仓储、产量的真实信息，才能判断何时收储、何时抛售、多大规模。真实信息不全或失真，调度就会失准。

虚构信息在这里起的是另一层作用：提供共识框架。货币作为价值尺度、法律作为契约保障、国家作为调度主体，这些被足够多人共同相信，大规模调度才可能。虚构信息建构的是“谁来调度、凭什么调度”的共识，真实信息提供的是“调度什么、调度多少、往哪里调”的依据。两者共同参与，但从信息数量和作用上看，真实信息是基底。

虚假信息寄生在共同体里，比如虚报产量、伪造账目、散布谣言，但它们必须被控制在有限范围内，一旦泛滥，调度依据失真，共同体秩序就会出问题。

3.5 信息始终都在

信息始终都在。这不是推导出来的结论，是第一期信息定义本身就定下的。第一期把信息界定为宇宙万物的性质、状态、规律和法则，明确包括那些超出当前认知的部分。按这个定义，信息从宇宙诞生起就在场。生命起源之前，物理信息在约束物质的行为。基因出现之后，基因成了信息的载体，但基因没有取代信息，也没有覆盖全部信息。发育中的细胞互动、生存中的学习、求偶中的社会传递，都是信息在基因之外继续起作用。认知能力出现之后，信息的作用从被动变为主动，但被动层面的信息活动从未消失。虚假信息参与塑造互动秩序，虚构信息参与建构共同体秩序，它们与真实信息共同构成生命世界的完整信息图景。

这里回应一个质疑：第一期的信息定义是不是过于宽泛了？涵盖范围确实极广。但收窄更麻烦。收窄到什么程度算合适？

生命演化有始无终，物质品种、生命形式趋向无尽，信息涌现没有上限。如

果把定义限定在当今已知范围内，过不了多久，就可能被突破，到时又得重新定义信息，重写演化叙事。这种突破不只可能发生在人类认知层面，也可能发生在基因层面。数十亿年来生物变异从未停下脚步，谁也不能保证明天不会出现。定义宽泛，是给还没涌现的信息留出空间。宽不是缺陷，是给未来留余地。

第一期定义信息时已包含“超出当前认知的部分”，这里把信息展开为三层：已知、未知、无知。已知的可具体讨论，未知的可以标注、可以探索，完全无知的，无法标注，但框架给它留出空间，不封死。定义划定的是范畴，不是内容清单。一个能分清“知道多少”的框架，不是空转。不能因为还没认知到，就说它不存在。物理学家研究暗物质，是先承认可能存在，才去设计实验找。生物学家研究生命起源，也是先承认有过这个过程，才去推演、找证据。如果坚持“没认知到就不存在”，这些研究都没法做。细菌趋化的时候人类还没诞生，但细菌和化学浓度梯度之间的信息关系已经在那儿了。如果因为人类没认知到就否认信息存在，这数十亿年的演化就没法解释。

基因是信息在特定演化阶段出现的极为成功的载体，但载体不等于信息本身。基因论把注意力锁在载体上，解释不了载体之外的信息现象，也解释不了载体出现之前的信息约束。信息主线论把信息放回它本来的位置：它先于基因，广于基因，贯穿生命演化的全过程。

3.6 生命造物同样以信息为主线

造物演化同样遵循信息主线。不论是生物造物还是人造物，它们都是具有某种功能的有序结构。燧石的断口特征决定它能打成刃口，遵循应力分布的桥梁能承重，遵循卡诺循环的蒸汽机能运转。这些物理信息一直存在，造物能够成立，前提是制造者掌握它们。人类创新，就是发掘出相关信息，利用信息建造造物秩

序。

造物的全寿命周期，每一步都依赖信息。研发创新阶段，是试错摸索发掘新信息，事前不知道哪个方案能成，类似于生物的随机变异。生产阶段，是依据已掌握的信息把图纸变成实物，类似于生物发育生长。使用和维护阶段，操作者需要掌握造物的运行信息，知道如何使用和基本维护，这些信息写在说明书里。经过运行实践和市场验证的造物，进入复制扩散阶段，大规模批量生产、改进升级、市场铺开，类似于携带有益变异的个体后代指数增长、有益基因在物种内扩展。

造物信息得有地方存。生物造物的信息存储在生物体内。有的是本能，小虫子天生就会挖洞；有的则类似于人类，通过后天学习存储在脑子里，黑猩猩制造简单工具，幼崽要看长辈怎么做，自己反复试才能学会。人造物的信息载体则更丰富和强大：头脑智慧、语言、书写系统、数字信息技术。载体一路扩展，造物信息就能跨越个体记忆、跨越时空传递和累积。

筛选机制也变了。生物造物靠自然选择筛选，功能差的被淘汰。人造物靠市场筛选，落后的被弃用，好用的被持续制造、研发改进升级、扩散。“好用”可以通过很多维度来对比，信息、能量是大维度。大维度下可以细分，芯片看单位功耗算力，电池看能量密度，都是把“好用”落到某个具体细分维度上。相同使用场景，各维度指标更优的造物，更容易幸存。

把造物演化纳入生命演化框架内观察，有两个原因。第一，生命演化和造物演化是连续的。造物演化是生命演化到一定阶段后出现的，是生命能力升级后的表现。在人类知识体系里它们被划入不同学科，但在演化现场和演化史叙事中，它们不分学科。造物史就是生命利用信息建构秩序的能力向外延伸的历史。第二，可以把造物视为生命体的外挂。人穿衣服，或许在其他生物眼里，衣服不是造物，

而是人体的一部分。假想在未来，人类驾驶航天器遇到外星人，外星人可能一时来不及区分哪些是机器、哪些是生命人类，可能会把整个航天器视为可以在太空中生存的生命体。造物是生命秩序的延伸，它的有序性、功能性、信息依赖性，与生命体本身遵循同一套逻辑。

4. 发掘信息是演化的方向之一

论证完信息是演化主线，接着的问题是：沿着这条主线，演化是否有方向？先说明方向是在什么意义上说的。生命随机变异，本身没有方向。在演化的出发点上，没有方向、没有预设路径。但事后回溯时，看起来有方向。那些没有跟上环境变化的，也没能成功跃升生态位的，被淘汰没留下后代。事后回溯的演化史，是幸存者留下的轨迹。所以，看起来的方向，是事后回溯时呈现出来的。

4.1 从定义推导出的方向

从定义出发，可以做两条逻辑推导。

第一条，在既有生态位上长期延续。环境持续演化，环境信息始终在变。生命要获得幸存，就必须持续发掘环境新信息，适应环境变化。否则，就被淘汰。这是跟上变化，目标是存量维持。

第二条，实现生态位跃升。信息是能量物质的性质。生命要跃升，就必须发掘更多或更精准的信息，以此突破自身能力，在捕获能量、调用物质上获得更高收益。这是突破能力，目标是增量开辟。

两条逻辑的终点相同：都需要发掘新信息。所以，发掘信息是演化方向之一。

这是从定义出发的概念推导，只是概念层面的判断。这个方向在演化史上有没有真实发生，需要证据来回答。下面引用已有学术成果提供证据。

4.2 生态智能假说

生态智能假说认为，生态位塑造认知能力。觅食过程中的信息处理需求，决定生物认知能力的高低。Rosati 2017 年的综述论证了：灵长类的觅食认知能力，包括空间记忆、决策、抑制控制，这些能力在不同物种之间的差异，与它们各自的生态位条件相对应。另一组证据是泛化者与特化者的对比。泛化者适应多种环境、什么都吃，特化者局限于少数环境、只吃少数几种东西。泛化者要处理的信息更杂、变化更多，在认知测试中表现更好。

这当中的逻辑是，生物的认知能力，需要满足相应生态位的认知能力要求。当今观察到的生物，成功占据到了相应生态位，它们都具备相应认知能力，不具备的在演化过程中被淘汰了。

4.3 可进化性

如果生命的本质只是精准复制基因，为什么会有变异率、有性生殖这类“不精准”的设计？可进化性研究能提供解答。Hogeweg 2012 年的工作给出了机制解释。多层次演化导致信息在基因组和调控网络中的长期整合，使得突变的发生方式和效果变得非随机，从而增强可进化性。有性生殖相对于无性生殖产生更多变异，提高可进化性，这一点在可进化性文献中已有系统论述。自然选择不只筛选当下的适应者，也筛选那些维持或增强自身产生未来变异能力的谱系。

当中的逻辑是，变异率和有性生殖不是演化的缺陷，是演化对自身信息产生能力的投资。保留产生新信息的能力，本身就是一种演化方向。不具备这种能力的谱系，在一次环境波动中就可能灭绝，因而不会被观察到。

4.4 累积文化

累积文化演化理论指出：种群积累不断改进的知识、技术和社会习俗，是人类社会性的独特特征，也是人类对地球生态主导地位的来源。2024 年 PNAS 的一项研究把累积文化的起源追溯到中更新世，指出人类通过世代累积的技术改进，扩张到了热带雨林和北极冻原等多样化的生态栖息地。

人类占据顶级生态位，靠的不是基因层面的突破，而是信息层面的累积。科学发现是多代信息积累的制度化形式，技术应用是信息资源被后代继承并改进的常规化形式。信息能否被有效发掘、传递和积累，本身就是演化筛选的一部分。不能有效积累信息的群体，在生态竞争中被淘汰。

从定义出发推导，既有生态位上的延续和生态位跃升，都需要发掘信息。三个已有学术成果提供支撑：生态智能假说，说明认知能力是对信息处理需求的适应；可进化性研究，说明保留产生新信息的能力本身被演化所塑造；累积文化演化，说明人类通过发掘积累信息，实现对生态的主导。

发掘信息这个方向是事后回望时呈现的，不是出发点的预设目标。不具备相应信息能力的被淘汰，具备的留下后代，演化史才呈现出这条轨迹。

5. 信息维度的筛选基准

信息是演化的主线，发掘信息是演化方向之一。在信息维度上，演化的筛选基准是什么？下面围绕这个问题展开。

5.1 正确性是前提

生命利用信息捕获能量、调用物质、建构秩序，前提是信息正确。若信息错误，收益为零，甚至为负。

科技史提供了直接的举证。有了正确的力学信息，桥梁才能按设计承重；有了正确的热力学信息，蒸汽机才能按预期运转；有了正确的电磁学信息，无线电

信号才能被接收。没有这些正确信息，相应的造物就造不出来，相应的功能就实现不了。错误的信息不是收益少一点的问题，是事情根本做不成。

正确性是所有收益的逻辑前提。信息错误，收益为零，甚至为负。在正确性成立的基础上，信息又如何影响收益，下一节围绕信息的收益成本比展开。

5.2 收益成本比是筛选基准之一

信息正确性是能否获取能量物质的前提。然而，环境信息海量且复杂。演化在绝大多数时候是平衡渐进的，优胜劣汰的压力始终都在。相对于每个当下面对的压力，生命的信息能力始终很有限。这意味着每个当下都要取舍：有限的信息能力和资源，究竟该投向哪里。取舍的标准，是信息的收益与成本。低阶生物不会计算收益与成本，但筛出来的结果，恰好是更划算的那些。

行为生态学有两个成熟理论支撑这个判断。

最佳觅食理论，由 MacArthur 和 Pianka 于 1966 年提出。自然选择塑造了动物的觅食行为，使净收益率最大化，收益率即收益除以成本。动物不需要计算收益率，行为倾向恰好更接近最优策略的个体，留下更多后代，策略在种群中扩散。

信息觅食理论，由 Pirolli 和 Card 于 1999 年提出。它把同一个逻辑从食物延伸到信息，分析获取信息的价值与执行活动的成本之间的权衡，核心是单位成本的信息收益最大化。个体依据“信息气味”判断哪里值得搜寻，气味不必完美，只要足够好到能避开高成本、指向高收益，就能在筛选中胜出。信息维度筛选保留的，是收益成本比更高的策略，而非信息最全或最准的策略。

虚假信息也由收益成本比衡量筛选。相应理论有，扎哈维（Amotz Zahavi）于 1975 年提出的累赘原理（Handicap Principle），后发展为代价信号理论（Costly Signalling Theory）。核心逻辑是，欺骗成本低于收益，虚假信息便

能存在；但它寄生于真实信号基底，无法独立演化。

5.3 信息的普适性

收益成本比筛选的是“哪些信息更值得获取和处理”。信息普适性是指普遍适用性、适应性：同样类型的信息，能被更多人读懂、接受，从而能协调更大规模的合作。

计算机二进制是一个直观例子。二进制、十进制、十六进制在数学原理和信息编码上等价。计算机采用二进制，不是因为更正确，而是技术实现上更容易、更稳定、成本更低、效率更高，这是适应性。人类向外太空发送信息时选用二进制编码，不是只有它的编码方案成立，而是它更容易被未知接收者接受和理解，这是适用性。二进制是人类掌握信息原理后的主动设计；历史演化则是事后优先筛选普适性更高的信息。

人类史上，虚构信息的普适性如何被事后筛选，文化演化和宗教演化研究提供了线索。

文化演化中有一个协调装置模型，2022 年发表于 Humanities and Social Sciences Communications。它论证了任意虚构叙事，甚至不含道德指令，可作为协调装置把自利个体转化为合作群体。协调效果不依赖叙事内容的正确或道德，而依赖它能否被群体成员共同持有。一份叙事能被多少人共同持有，直接限定了它能协调的群体规模。这是普适性在起筛选作用。

Norenzayan 于 2013 年提出的“Big Gods”理论，提供了历史尺度的例证。其核心论证是：对道德化、全知全能的“大神”的真诚信仰，在不断扩大的人群中释放了前所未有的合作。关键不是“一神教比多神教正确”，而是一份被想象为普遍有效的超越性秩序，其可接受范围超越了地方性神祇和血缘纽带，从而能

协调更大范围的陌生人合作。

由此提出一个猜想：虚构信息的普适性，影响甚至决定它能协调的合作规模。普适性高的信息，能被更多不同背景的人读懂和接受，能协调更大的群体规模。是普适性高的信息促进了更大规模合作，还是合作规模扩大后倒逼信息变得更具普适性，这里不判断因果方向。但至少可以判断：虚构信息的普适性，需要匹配它所要协调的合作规模。规模扩大了，信息如果仍然只能被小范围读懂，协调就会失败，压力会落到信息或规模上，直到两者重新对齐。

这个猜想需要后续的历史学、人类学和宗教学研究来检验。

6. 载体与传承

6.1 信息载体演化

信息不能凭空传承、传播，必须附着在某个载体上。从 RNA 到现代数字技术，载体一路演进，下面对五种代表性信息载体的功能进行对比。

表一：五种信息载体的功能对比

载体	人类可否理解其含义	可否破译	无人可否执行	传播方式	隔离条件
RNA	否	是	是	单向	地理、环境（生殖隔离）
基因 DNA	否	是	是	单向	地理、环境（生殖隔离）
自然语言	是/否（母语/外语）	-/翻译	否	辐射式	地理空间、社会距离
书写系统	是/否（母语/陌生）	-/翻译	否	辐射式	地理空间、识字壁垒
现代信息技术	是/否（需软件解析）	-/转码	是/否（局部自动）	辐射式	人为（协议、权限、设备）

表一逐项说明：

⑴人类可否理解其含义。人们理解自己的母语、熟悉的书写系统、解码的数字信息，而外语、陌生文字、机器语言则需要翻译。遗传物质方面，人类已破译编码规则，但对调控逻辑、表观修饰、基因网络的涌现行为，目前无法理解其整体机制。

⑵可否破译。人类能否通过技术手段将该载体的编码规则转译为可理解的符号系统。

⑶无人可否执行。无人参与下，语言、文字无法自行解码执行。现代信息技术可实现局部

自动运行，但操作系统等仍需人类维护。RNA 病毒借助宿主“译码系统”执行，DNA 则在生命体内构成全自动闭环：携带信息，译码器亦由自身编码，无需外部干预。

⑷传播方式。遗传信息单向传给后代，语言、文字和数字信息则辐射式横向传播。生物世界也存在少量横向传递（细菌质粒交换、病毒插入）。

表二：五种信息载体的演化定性比较

载体	每轮演化时长	复制保真度	长期存储耐久性	创新速度	能耗
RNA	短（病毒复制周期）	低（10^{-4}至10^{-6}/碱基）	低	较高	极低
基因 DNA	长（生物世代）	极高（10^{-9}/碱基）	极高（冻土中可存数万年）	极低	极低
自然语言	极短（每次交流）	极低（语义漂变显著）	低（依赖活人记忆）	高	高（人脑）
书写系统	短（每次抄写）	中→高（手抄→印刷）	中→极高（石刻可达千年）	较高	高（人脑）
现代信息技术	极短（每次传输）	极高（可低于 10^{-12}）	中（需持续维护）	极高	极高（>2%全球发电）

表二的逐项说明：

⑸每轮演化时长。RNA 和 DNA 以繁殖一次为一轮；语言、文字、数字技术以传播或复制一次为一轮。语言的横向交流频率远高于生物繁殖，让文化演化速度远超基因。

⑹复制保真度与长期存储耐久性，这是信息稳定性的两个维度。DNA 复制错误率约 10^{-9}。RNA 病毒缺乏校对机制，错误率达 10^{-4}至 10^{-6}。口头语言每次交流均伴随语义漂变。古代抄书出错率可达千分之几至万分之几，印刷大幅降低。现代信息技术误码率可以低于 DNA。

长期存储上，DNA 在合适条件下可存数万年且无需能源。石刻可达千年。硅基介质不通电数年即衰减，需持续维护。长期存储耐久性：DNA 和石刻居首，现代信息技术反而是短板。复制保真度与长期存储耐久性，共同构成信息载体的稳定性。

⑺创新速度。粗略理解为：变异率×有益变异概率÷每轮演化时长。基因变异是随机试错，有益概率极低。语言、文字、数字技术的创新有智慧加持，创新速度远超基因。创新速度排序，现代信息技术> 自然语言> 书写系统。

⑻能耗维度。DNA 是极低维护成本的“冷存储”，它在常温下即可稳定存在，存储能耗趋近于热力学极限。自然语言和书写系统，在“解析与生成”端有高昂的大脑能耗。现代信息技术，以全球超 2%发电量的巨大能耗，换取极致的计算、检索与传输速率。

从两张表格可看出，有几条大致趋势。**功能**越来越强：从无法直接理解，到可以理解；从单向传递，到辐射式横向传播；从受生殖隔离与地理空间硬约束，到可以人为设定协议和权限。**效率**越来越高：每轮演化时长从生物世代缩短到每

次传输，创新速度从极低升到极高，复制保真度从 10^{-4}量级提升到 10^{-12}量级。**成本**越来越低：单次复制和传播的成本持续下降，石刻高于手抄，手抄高于印刷，印刷高于数字复制；但维持载体系统的**能耗**在上升。单次成本下降，载体系统能耗上升，是一对并存的趋势。

这些趋势放在一起，可以得到一个启发：载体演化的方向，不是载体本身变得更“高级”，而是载体越来越能服务于信息的传承和传播，让信息对特定载体的依赖不断降低。功能增强与效率提升，同时伴随着载体维持能耗上升。人类发掘出新的信息，用这些信息改进载体，更好的载体让信息传得更快更远，更丰富的信息又反过来提升人类的能力。

6.2 信息传承与进步积累

信息有了载体，便能传承和传播。在第一篇有强调，信息传承是演化进步的前提。没有传承，取得进步也会随世代更替而失传，生命只能在低水平上反复试错。假若没有遗传物质这个信息载体，无论生命起源成功多少次，地球也仍然只有最简单低阶的生命。

信息传承中的差异。遗传物质只传承幸存者的信息，失败者、消亡者的信息得不到传承，遗传信息里缺乏失败教训。数十亿年生命史里，错误的基因变异一直有重复发生。错误变异导致失败个体，它们有的甚至没能成功出生，因此难以观察到。生命演化在错误道路上反复犯错，浪费大量资源。

人类发明书写系统后，情况有了改变。以近代自然科学的实验记录为例。实验成功时，完整记录可以复制、传播、传承，后人参照记录复现结果，不必从零摸索，全社会在同一件事上成功的概率极大提高。实验失败时，完整记录可以长期留下教训，帮助后人减少在相同问题上的犯错。缺乏记录的尝试，不论成功还

是失败，都是一次性的，成功的会失传，失败的还会重复，浪费资源。完整记录让成功可复制、失败可避免，进步的速度和确定性都大幅提升。

信息传承使进步累积。长期累积让生命演化呈现出两个并行趋势：幸存生命永远向前，跃升生命永远突破。

第一，环境永远在变。生命在既有生态位上跟随、适应环境变化，同时持续优化效率、提升能力。不跟随、不适应环境的被淘汰。跟随了但效率没提升的，被效率更高的淘汰。这是“红皇后效应”决定的。

第二，在跟随适应、优化提升的基础上，在获得生存繁衍的基础上，永远有可能突破能力上限、跃升生态位。生命从简单到复杂，从低阶到高阶，就是靠突破能力上限、跃升生态位实现的。

这两个趋势是事后回溯时呈现的轨迹，不是面向未来时预设的目标。面向未来，变异盲目，环境不可预测。第三篇《物变，幸存》的底层机制在事前依然成立。