

绿色机器人的生态悖论及其破解路径

——基于马克思新陈代谢断裂理论的考察

闫晖洋,刘杨钺,刘霖炜

(国防科技大学 军政基础教育学院,湖南 长沙 410073)

摘要:在当今科技飞速发展的时代,绿色机器人凭借在环保、节能、可持续发展等维度的特性,不仅成为技术研发的焦点,更被寄予破解环境危机的技术乌托邦期待。然而,从生态系统的整体性和长远性角度审视绿色机器人技术,会发现其全生命周期中潜藏着设计、生产、应用、回收、废弃等环节的生态悖论。鉴于此,以马克思新陈代谢断裂理论为方法论基础,剖析绿色机器人的生态悖论,可以发现绿色机器人技术存在物质代谢的表里断裂、能量转换的熵值断裂、技术与自然的协同断裂三重“新陈代谢新断裂”。在生态文明顶层设计的指引下,通过构建闭环可控的循环体系、低熵全链的能源体系、有限共生的伦理体系三种破解模式,分维度达成绿色机器人技术设计可循环、运行低熵化、治理可共生的生态目标,以期为绿色机器人技术的可持续发展提供理论指引,为全球生态治理提供马克思主义解决方案。

关键词:马克思新陈代谢断裂理论;绿色机器人;生态悖论;技术异化;生态恢复

中图分类号:TP242;D64;X2

文献标识码:A

DOI:10.3969/j.issn.1003-8256.2026.04.008

在当今科技飞速发展的时代,机器人技术作为前沿领域之一,正以前所未有的速度改变着人类社会的生产生活方式。其中,绿色机器人凭借在环保、节能、可持续发展等维度的特性,不仅成为技术研发的焦点,更被寄予破解环境危机的技术乌托邦期待。当特斯拉超级工厂的机械臂以“零碳排放”自诩,当波士顿动力机器狗在核污染区执行“清洁任务”,技术乐观主义者宣称人类终于找到调和经济发展与生态保护的完美支点。然而,从生态系统的整体性和长远性角度深入审视绿色机器人技术,会发现其全生命周期中潜藏着设计、生产、应用、回收、废弃等环节的生态悖论。马克思早在1844年就警示我们:“技术的胜利,似乎是以道德的败坏为代价换来的。随着人类愈益控制自然,个人却似乎愈益成为别人的奴隶或自身的卑劣行为的奴隶。”^[1]这一论断在绿色机器人技术的发展中得到了新的验证。绿色机器人的生态悖论迫切需要马克思主义理论的深度解构。

马克思在《资本论》中揭示的新陈代谢断裂理论,为探究绿色机器人的生态悖论及其破解路径提供了方法论支撑。“机器本身是人对自然力的胜利,而资本主义应用机器却使人受自然力奴役。”^{[2]508}资本的逐利性使企业在追求经济效益最大化的过程中,往往忽视了绿色机器人全生命周期中的生态责任。在一定程度上,绿色机器人非但没有超越资本逻辑的窠臼,反而通过数字孪生、智能算法等新形态,将新陈代谢断裂从物理空间延

伸至符号空间,催生出更具迷惑性的“新陈代谢新断裂”。从学术史来看,西方生态马克思主义学者如詹姆斯·奥康纳(James O'Connor)、约翰·贝拉米·福斯特(John Bellamy Foster)等,基于马克思新陈代谢断裂理论对现代技术的生态悖论展开了系统批判,但尚未形成针对绿色机器人这一特定技术形态的专题研究。国内学界近年来虽对机器人伦理、生态技术创新等议题有所关注,但缺乏将马克思主义理论与新兴技术实践深度结合的理论自觉。鉴于此,本文以马克思新陈代谢断裂理论为方法论基础,剖析绿色机器人的生态悖论及其破解路径,以期为绿色机器人技术的可持续发展提供理论指引,为全球生态治理提供马克思主义解决方案。

1 问题提出:绿色机器人生态语境的双重性

绿色机器人在生态环境方面既带来了诸多利好,又暗藏诸多矛盾。深入剖析绿色机器人生态语境的双重性,既是揭示技术异化本质的关键,也是探寻生态可持续发展路径的理论前提。

1.1 绿色机器人的内涵界定

随着智能制造的蓬勃兴起,机器人技术作为现代科技的重要载体,在推动产业创新发展中扮演着关键角色。2024年工信部印发的《工业重点行业领域设备更新和技术改造指南》强调面向高端化、智能化、绿色化发

基金项目:2024年度教育部哲学社会科学研究重大专项项目(2024JZDZ075);军队高层次科技创新人才工程自主科研项目(22-TDRCJH-02-063)

作者简介:闫晖洋(1998—),女,湖南石门人,博士研究生,研究方向:科技管理与新型智库;(通信作者)刘霖炜(2000—),男,湖南长沙人,博士研究生,研究方向:马克思主义中国化。

展方向,增强工业机器人生产过程的数字化网络化智能化水平,目标到2027年,大幅提升工业机器人行业设备的节能环保水平等^[3]。在此进程中,绿色机器人应运而生,成为机器人领域发展的新方向。

绿色机器人是以低碳环保为核心理念,围绕环境治理、生态保护、资源高效利用等可持续发展目标设计研发的智能化设备,按应用场景可划分为环境监测机器人、工业绿色生产机器人、清洁能源服务机器人、城市绿色服务机器人等类型。这里的绿色二字本质上是对技术生态属性的价值界定,指向以生态可持续性为核心导向的技术范式。罗伊·施瓦兹(Roy Schwartz)等^[4]学者首次提出“绿色AI”概念,主张在开展人工智能研究时将计算成本纳入核心考量,以更低的资源消耗推动科研产出,进而引领该领域向可持续方向发展。虽然“绿色机器人”作为一个独立术语尚未被广泛定义,但许多学者和行业专家已从节能降耗、材料环保、智能优化等角度推动了相关研究。例如,袁丽静等^[5]认为多功能工业机器人能够通过产业链传导效应促进上下游企业污染物减排,减少能源消耗,改进全要素生产率;科西莫·马加齐诺(Cosimo Magazzino)等^[6]认为机器人可以规范企业能源使用不当所引起的过度排污行为,对产品生产环节的能源消耗和排污进行实时监测;2022年全国两会期间,全国政协委员、百度董事长李彦宏首次提出加快发展“绿色AI”,旨在通过引导算力和算法的低碳发展,助力“双碳”目标更好实现^[7]。综上,随着全球对可持续发展关注度的不断提升,机器人领域也逐渐向绿色化方向迈进。专家学者们关注到了机器人应用对绿色生产的积极影响,但鲜有研究关注到绿色机器人背后潜藏的生态悖论,更缺乏从马克思主义理论的视角对其进行系统剖析。

1.2 绿色机器人的生态利好现象

根据联合国环境规划署(2024)的数据,全球年度材料开采量已从1970年的309亿吨增长到2020年的951亿吨,预计2024年将达到1 066亿吨,年均增长率为2.3%^[8]。气候变暖、资源耗竭、生物多样性锐减形成的复合危机,正深刻动摇着人类文明的生存根基。在此背景下,以技术创新破解生态困局已成为全球共识。而绿色机器人作为人工智能与生态保护交叉融合的前沿技术形态,正以多元化技术路径深度介入生态治理场域。具体而言,在工业生产领域,工业机器人围绕节能降耗、环保生产、资源优化等核心目标,通过技术创新和场景适配实现制造业效能跃升;在环境监测领域,监测机器人以高精度传感器实时采集环境数据,为生态研究和环境管理提供科学依据;在生态修复领域,生态修复机器人针对生态系统的修复需求,在不同生态场景中承担关键修复任务;在资源回收利用领域,回收机器人能够实现废弃物分类回收,推动资源的循环利用。例如,广东海洋大学研发的红树林智能服务机器人集合SSD和

PRM算法,可以在红树林湿地中进行高效的植被修复工作,妥善地解决了红树林所面临的被破坏和退化的威胁、人工种植困难、红树林幼苗存活率低等问题^[9]。在一定意义上,绿色机器人突破了传统工业机器人的生产效率导向,集成了环境感知、智能决策、低碳执行等多元技术模块,是推动经济社会绿色转型的重要技术力量。

1.3 绿色机器人隐现的生态悖论

绿色机器人的生态悖论是指在绿色机器人的全生命周期中,即在设计、生产、应用、回收、废弃等环节中,既存在对环境保护和资源节约的积极贡献,也存在一些可能对环境造成负面影响或与可持续发展目标相悖的情况。

1.3.1 设计端悖论

多数绿色机器人的设计侧重于应用环节的生态友好性,却对设计阶段本身可能对生态环境产生的潜在干扰有所忽视,这直接导致后续环节生态问题频发。以海洋环境监测机器人为例,其设计重心在于如何精准获取海洋数据,却未能充分考量机器人在海洋中的运行会对海洋生物的生活习性造成干扰。

1.3.2 生产端悖论

机器人的生产过程涉及多个环节,从原材料采购、零部件制造到整机装配,每一步都可能通过资源开采、能源消耗、废弃物排放等方式对环境产生负面影响。尽管针对机器人生产环节的系统性环境影响评估仍显不足,但相关技术产品的生产实践已为这一问题提供了佐证。马萨诸塞大学阿默斯特分校的研究人员通过对几种常见大型AI模型训练过程的生命周期评估发现,该过程碳排放总量可超过626 000磅,约为美国普通汽车全生命周期(含汽车本身的制造)碳排放量的5倍^[10]。虽然该研究对象为AI模型训练过程,但其揭示的技术产品在生产及相关环节中存在的高环境负荷现象,可类比说明机器人生产过程中可能存在的隐性环境代价。

1.3.3 应用端悖论

在实际应用过程中,绿色机器人可能存在双重隐性生态风险。一方面,部分机器人在执行预定任务时,可能因运动轨迹、能源辐射或机械干预等非目标性作用,对周边生物群落和生态系统的自然平衡造成扰动。这种干扰往往具有隐蔽性,例如,水下探测机器人的声波频率可能超出设计阈值,导致特定鱼类的繁殖行为紊乱,而此类影响在短期应用评估中易被忽略;同样,将智能技术产品安装在森林的各个角落,也会对动物的正常活动产生潜在的威胁,一定程度上会影响动植物的成长^[11]。另一方面,虽然绿色机器人旨在提高生态保护效率,但如果应用不当,可能引发技术依赖效应,逐步弱化人类主动观察、人工巡查等传统保护能力的培养,进而导致生态保护主体能动性的退化,不利于生态保护工作的长期可持续发展。

1.3.4 回收端悖论

机器人包含多种复合材料,回收拆解难度极高。现有回收技术难以高效分离有价值物质,导致回收成本居高不下。这使得多数废弃机器人无法得到有效回收处理,许多废弃部件最终会被填埋或焚烧,对环境造成二次污染。《2024年全球电子垃圾监测》报告显示,2022年产生的6200万吨电子垃圾中,仅有不到1/4的材料被妥善收集并回收利用^[12]。电子垃圾中含有丰富的高价值金属资源,但也含有很多有害物质,如果处理不当,会对环境造成严重影响。

1.3.5 废弃端悖论

在废弃阶段,机器人可能成为电子垃圾的重要组成部分。这类废弃物因包含铅、镉、汞等重金属及多溴联苯醚等持久性有机污染物,其无序处置或不当填埋会通过土壤渗透、水体迁移等途径进入生态系统,对生物多样性维持及生态系统稳定性构成潜在威胁。鉴于此,废弃机器人作为新型科技产物,如何科学评估回收体系、合理规划处置场地、有效监管处置过程,成为当代社会面临的全新技术遗产难题。

综上所述,技术的飞速进步伴随着一系列复杂的伦理问题^[13]。虽然绿色机器人通过智能化手段在工业生产、环境监测、生态修复、资源循环等维度形成了系统性的生态干预能力,但从全生命周期视角审视,绿色机器人的设计、生产、应用、回收、废弃过程仍面临诸多生态挑战,亟须马克思主义理论体系提供科学的价值指引。

2 理论溯源:马克思的新陈代谢断裂理论

马克思的新陈代谢断裂理论,深刻揭示了资本主义生产方式下社会与自然物质交换机制的系统性断裂。系统阐明马克思新陈代谢断裂理论是理解绿色机器人生态悖论的理论前提。

2.1 马克思新陈代谢断裂理论的核心内涵

马克思所说的新陈代谢是指人类通过劳动将自然物转化为生产资料,实现人与自然之间的物质变换的过程。“劳动首先是人和自然之间的过程,是人以自身的活动来中介、调整和控制人和自然之间的物质变换的过程。”^{[2]207}约翰·贝拉米·福斯特(John Bellamy Foster)在分析马克思新陈代谢观点时,引述了马克思提出的“消费排泄物”和“生产排泄物”两大概念。其中,“消费排泄物”是“人的自然的新陈代谢所产生的排泄物”^[14],任何人都要摄取一定量的食物维系生命存在,同时排泄出身体无法吸收的成分;“生产排泄物”是“工业和农业的废料”^[14],资源在生产中的大量使用,不仅造成了生产成本的上升,同时也意味着废料的不断增加和环境破坏的加重。无论是发生生理变化的有机界,还是发生物理或化学变化的无机界,都存在有机物、无机物自身的新陈代谢或者自身与环境之间的物质交换。

“马克思的生态世界观,马克思对资本主义的全部生态批判都是建立在‘新陈代谢断裂’这一概念之上的。”^[15]马克思的新陈代谢断裂理论描述了资本主义对社会生活与自然环境两个领域的割裂^[16]。详言之,人类通过劳动从自然中获取物质资源,同时将生产过程中产生的废弃物返还给自然,这一过程构成了人与自然之间的物质交换循环。这种物质交换在自然经济条件下是相对平衡的,但在资本主义生产方式下,资本对利润的无止境追逐,导致这种平衡被打破,造成新陈代谢的断裂。这不仅体现在自然资源的过度消耗和生态环境的恶化上,更反映出资本主义生产方式的内在矛盾和不可持续性。并且,虽然资本总是试图通过技术修缮代谢断裂,但这种修缮往往只是表面的、暂时的,无法从根本上解决资本主义生产方式与自然之间的矛盾。因为在资本逻辑的主导下,技术的应用是为了追求利润最大化,而不是为了实现人与自然的和谐共生。

2.2 马克思新陈代谢断裂理论的现代启示

在现代科技背景下,资本主义利用科技手段加速对自然资源的开发和利用,进一步加剧了生态危机。生态危机的根源在于资本主义生产方式下人与自然关系的异化,即资本逻辑主导下的生产活动忽视了自然生态系统的承载能力和生态规律,导致对自然资源的过度开发和生态环境的破坏。可以说,任何技术发展若深陷资本逻辑泥沼,皆可能重蹈覆辙,引发新的生态危机。同时,跨国资本通过环境成本转移将高污染产业转移至发展中国家,表面上是资源回收,实则将污染风险转嫁至环保监管薄弱地区,这也正是马克思所指“断裂”在当代的典型表现。

生态治理必须超越技术层面的修补,正视资本逻辑对生态系统的侵蚀。显然,单纯依靠技术改良或市场调节难以从根本上解决资本主义生产方式下的生态危机,正如西方国家试图通过“碳交易”将生态责任市场化,却因资本逐利性导致碳价格波动失衡,反而加剧了“新陈代谢断裂”。也就是说,在解决生态问题时,不能仅仅从技术层面入手,而应该从价值观念、生产方式、社会制度等维度进行反思。只有改变资本逻辑主导下的生产方式,以中国特色社会主义的生态文明理念重构生产关系,将合理调节人与自然的物质变换从理论原则转化为制度设计,才能实现从资本主导的断裂到生态主导的循环的根本转变。

马克思新陈代谢断裂理论为剖析绿色机器人的生态悖论提供了深刻的理论视角。绿色机器人虽披绿色外衣,但在设计、生产、应用到回收、废弃的全生命周期中,一旦被资本逐利本性所左右,便极易陷入新陈代谢断裂的困境。这不仅会导致资源的过度开发和能源的低效利用,还会对生态系统造成破坏,从而背离可持续发展的理念。因此,绿色机器人的发展不能仅仅局限于技术层面的进步,而应将生态理念贯穿始终。只有在设

计、生产、应用、回收和废弃的每一个环节都严格遵循生态原则,才能真正修复人与自然之间的物质变换断裂,实现绿色机器人技术的生态价值,进而推动人类社会与自然生态的和谐共生。

3 绿色机器人生态悖论的本质:技术异化下的“新陈代谢新断裂”

伴随着现代技术的高速迭代,绿色机器人作为破解生态困境的创新载体,虽以修复人与自然关系为初衷,却在技术异化的隐性影响下陷入全新的生态悖论,在物质代谢、能量转换、技术与自然协同等维度衍生出更为复杂的“新陈代谢新断裂”。

3.1 物质代谢的表里断裂

表里断裂可理解为绿色机器人技术在物质代谢中,表面呈现循环、环保的特征(“表”),但实际全生命周期中存在未被覆盖的线性环节或环境隐患(“里”),导致实际效果与预期的循环性存在断裂,具体体现在以下三个方面。

3.1.1 技术表象与物质实相的断裂

物质实相是指事物在实际存在和运行中的真实状态。相应地,绿色机器人技术的物质实相特指机器人在设计和宣传中往往强调能带来市场溢价的可视环保特征,如使用可降解材料、节能设计等,但这些表面的环保特征可能掩盖了全生命周期中对环境和生态系统产生的实际影响。绿色机器人的材料选择困境,正是资本将生态修复异化为营销噱头的例证。以广泛应用于机器人手臂、关节等关键部位的碳纤维复合材料为例,其因轻量化、高强度的特性被视为“绿色材料”,成为绿色机器人宣传中的核心亮点。但鲜少被提及的是,碳纤维的生产过程实则是高能耗、高污染的典型代表。据行业数据统计,生产1公斤碳纤维所需的能源约为318.2MJ^[17],是我国生产1公斤普通钢材所需能源(约56.65MJ)^[18]的14倍。更值得警惕的是,多数绿色机器人企业在宣传中仅强调使用碳纤维减少运行能耗,却对其生产阶段的生态代价避而不谈,形成前端污染、后端环保的假象。

3.1.2 局部循环与全局线性的断裂

在线性物质流动模式的影响下,绿色机器人的物质代谢过程存在着部分循环、整体线性的伪循环状态。而这种伪循环本质上是资本将生态危机管理纳入积累策略的新型手段,这种循环结果不会消除而只是转移了环境压力。例如,部分机器人集成能量回收装置,表面实现能量循环利用,但实际运行中,回收的能量仅能满足机器人部分低功耗功能,主要动力仍依赖外部电网或一次性电池,整体能量流从开采到使用、损耗仍呈线性特征,与全循环的预期存在断裂。这种局部的环保改进无法撼动线性环保的根本结构,反而成为遮蔽系统性生态危机的“绿色面纱”。

3.1.3 时间维度上的代际断裂

马克思主义政治经济学提出的“资本时间偏好”揭示了当代绿色技术研发普遍存在的“时间近视症”,即企业为追求短期商业价值,将技术方案的生态风险进行跨代际外部化。某些电子企业为标榜“绿色环保”,研发低成本的电子垃圾拆解技术(如简单物理破碎回收金属),但回避对有毒物质(如铅、汞、溴化阻燃剂)的深度处理。这本质上是资本主义生产方式下“即时性盈利逻辑”对生态规律的遮蔽。当绿色机器人技术将短期环境改善作为唯一考核指标时,必然导致对生态系统长周期演化规律的忽视。这种“当代盈利-后代买单”的发展模式,违背了马克思主义“关于人与自然之间物质变换应是代际平等”的历史契约的基本观点,形成跨越代际的代谢断裂。

3.2 能量转换的熵值断裂

绿色机器人能量转换过程中的熵值断裂,是热力学第二定律与马克思主义政治经济学交叉视域下的特殊矛盾体现,深刻揭示了资本主义技术体系对能源利用的扭曲,即资本将自然能量异化为逐利工具,必然会打破能量流动的有机整体性,导致局部效率提升与全局熵增并存的悖论。

从热力学角度来看,熵增定律揭示了孤立系统内能量从有序向无序转化的必然趋势。而在资本主义技术体系下,绿色机器人的能量转换过程看似追求高效节能,实则陷入更深层的熵值困境。以太阳能清洁机器人为例,这类机器人在运行阶段,借助太阳能实现了“零碳”作业,但在多晶硅的生产过程中,从矿石开采到最终制成电池板,需历经一系列高能耗的工艺。比如,矿石的提炼需要高温熔炼,这一过程会消耗大量能源,并且产生的废热会排入大气,增加环境的无序度;后续的加工环节,如晶体生长、切割、镀膜等,同样需要消耗巨量的电能,同时还会产生废水、废气等污染物。相关文件如《光伏制造行业规范条件(2024年本)》,对多晶硅生产电耗有着严格规定,从侧面反映出该生产过程能耗之高^[19]。这种局部效率提升与全局能量耗散的熵值断裂根植于资本对能量价值的扭曲认知,在资本逻辑主导下,研发资源过度聚焦于具有市场显示度的“能效比”等短期指标,而对能量开采、转换、废弃全过程的熵增效应视而不见。资本积累的本质要求将连续的能量流动切割为离散的商品单元,这种“能量商品化”过程必然不可避免地造成系统熵增。可以说,熵值断裂绝非单纯的技术问题,而是资本主义生产关系内在矛盾的外在显现。美国生态马克思主义者詹姆斯·奥康纳(James O'Connor)的“第二重矛盾”理论^[20],即生产力、生产关系与资本主义生产条件之间的矛盾在此得到有力验证,资本主义生产既要依赖自然条件,又在持续破坏自然条件,形成无法调和的内在冲突。

3.3 技术与自然的协同断裂

绿色机器人技术与自然的协同断裂是资本主义生

产方式下技术异化的生态投射。马克思在《1844年经济学哲学手稿》中指出:“自然界,就它自身不是人的身体而言,是人的无机的身体”^[21],强调了人与自然的生命共同体属性。然而,在资本逻辑主导下,绿色机器人技术非但未能促进这种共生关系,反而在三个维度加剧了协同断裂。

3.3.1 时空维度的错位,即机器节律对自然周期的强制渗透

资本主义生产通过标准化时间管理实现剩余价值榨取,这种逻辑延伸至绿色机器人技术领域,形成了对自然时空秩序的系统性破坏。例如,农业监测机器人24小时高频数据采集模式,无视农作物生长的昼夜节律与物候周期。植物在夜间的暗反应、根系与微生物的共生活动,在机器人的持续监测干扰下,生理代谢节奏被打乱,导致作物抗逆性下降。这种“机器时间”对“自然时间”的强制规训,正如马克思批判的“资本由于无限度地盲目追逐剩余劳动,像狼一般地贪求剩余劳动,不仅突破了工作日的道德极限,而且突破了工作日的纯粹身体的极限”^{[2]306},只不过权力对象从劳动者转向了生态系统,造成物质代谢链条在时间维度的断裂。

3.3.2 认知维度的偏差,即技术工具理性对生态整体性的解构

马克思在《1844年经济学哲学手稿》中揭示,资本主义生产方式将自然异化为资本增殖的原料库,这种工具理性认知同样存在于绿色机器人技术体系中。以森林巡逻机器人为例,其配备的毫米波雷达虽能精准定位火灾隐患,但极弱电磁场或许会干扰鸟类方向辨别神经系统,导致鸟类导航误差率显著增加。这种技术干预的“蝴蝶效应”,正是源于资本将生态系统拆解为可量化的功能模块,而忽视了生物间的协同进化关系。马克思强调的“人是自然界的一部分”^{[22]161}的整体观,被异化为自然是满足资本增殖的工具,最终导致技术干预的生态后果必然有悖于可持续发展初衷。

3.3.3 技术维度的悖论,即机械范式对自然有机规律的背离

现有绿色机器人普遍采用的线性控制模型,根植于机械论自然观,与生态系统的有机运行规律形成根本性冲突。以水质监测机器人为例,它们依靠传感器感知水质中的各项指标,如酸碱度、溶解氧、污染物浓度等,当某项指标超过预设阈值时,决策系统会判定水质异常,然后发出警报或采取简单的干预措施。然而,生态系统中的水质是一个复杂的生态指标,各种物质和生物之间存在相互作用。水质监测机器人基于单一指标的线性监测方式,无法全面反映水质的真实状况,也难以考虑到水质变化对整个水生态系统的连锁影响,可能导致对水质问题的误判或过度干预。在一定程度上,机械论自然观主导的线性控制模型,将生态系统简化为可拆解、可量化、可强制干预的机械系统,无视生态要素间的关

联性、动态性和复杂性。这印证了马克思对资本主义技术异化的批判:“产业越进步,这一自然界就越退缩”^{[2]589},当技术发展脱离“人与自然辩证统一”的哲学根基,即便冠以绿色之名,也终将在干预中破坏生态系统的整体平衡。

4 破解绿色机器人生态悖论的路径:实现新陈代谢恢复的生态重建

在福斯特看来,马克思的“新陈代谢断裂”原则已经被广泛接受,但“很少被认识到的是,马克思已经从新陈代谢断裂这个概念推进到新陈代谢恢复”^[23]。事实上,马克思在抨击“新陈代谢断裂”种种表现的同时,就已经开始思考改变这种断裂,变“断裂”为“恢复”,即在人与自然之间建立可持续发展关系的可能性问题^[24]。中国特色社会主义生态文明理念作为新时代引领人与自然和谐共生的顶层设计,深刻契合马克思新陈代谢恢复理论的核心要义,既强调“绿水青山就是金山银山”的发展逻辑,又明确统筹高质量发展和高水平保护的实践导向,为破解绿色机器人生态悖论提供了根本遵循。那么,如何以中国特色社会主义生态文明理念为指引,循着马克思新陈代谢恢复理论的逻辑脉络,破解绿色机器人的生态悖论,实现新陈代谢的生态重建呢?这不仅关乎技术革新的方向,更是推进人与自然和谐共生的中国式现代化建设的关键抉择。

4.1 物质代谢层面:打造闭环可控的循环体系

在物质代谢层面打造闭环可控的循环体系,是破解绿色机器人生态悖论的关键路径。绿色机器人技术要实现真正的闭环可控,必须超越传统思维中的线性技术范式,在生态文明理念指导下将生态系统的自我调节机制嵌入绿色机器人技术全生命周期,通过研发、应用、评估、更新四大环节的有机联动,重塑物质代谢循环体系。

4.1.1 在技术研发环节建立物质代谢预评估机制

建立物质代谢预评估机制是实现物质代谢闭环可控的逻辑起点。“自然界的联系和相互作用因人的中介而进入到了人类历史。”^[25]而物质代谢预评估机制通过技术设计来调节人与自然之间的物质变换,正是这种中介作用的具体体现。这要求研究团队在技术设计之初运用生命周期评估方法,结合生态网络模型,分析机器人从原材料开采到最终废弃处理的全过程,识别出可能的环境热点,并采取相应措施减少潜在的环境风险。这种预评估机制响应了恩格斯所倡导的“我们越来越有可能学会认识并从而控制那些至少是由我们的最常见的生产行为所造成的较远的自然后果”^[26],将生态保护从末端治理前移至源头控制。

4.1.2 在技术应用环节实现物质循环的动态调控

技术应用环节的物质循环动态调控是实现物质代谢闭环可控的核心路径。这要求机器人在运行过程中能够精确感知自身与周围环境的物质交换情况,实时监

测和调整物质代谢过程,并根据相关数据自动调整运行模式,以适应环境变化和生态系统的需求。通过技术应用环节的动态调控,使机器人从“生态系统的干预者”转变为“生态循环的参与者”,使物质代谢的每一个环节都处于可控、可调、可优化的状态,在技术目标与生态目标之间建立动态平衡。

4.1.3 在技术评估环节设立物质代谢恢复度指标

设立物质代谢恢复度指标为物质循环闭环可控提供了量化依据。该指标体系涵盖生态系统物质循环效率、生物多样性恢复水平、废弃物资源化率等核心参数,按照生态文明建设考核评价体系要求,通过设定明确的物质代谢恢复度指标,量化机器人技术对生态系统的影响,以此为技术改进提供方向。正如马克思所指出的,“联合起来的生产者,将合理地调节他们和自然之间的物质变换,把它置于他们的共同控制之下,而不让它作为盲目的力量来统治自己。”^[23]物质代谢恢复度指标正是这种合理调节的具体体现,它通过技术评估来确保人与自然之间的物质变换处于尽量可控状态。

4.1.4 在技术更新环节构建高适配资源再生闭环

构建高适配资源再生闭环,将马克思关于“生产排泄物的再利用”^[27]¹¹⁷的思想发展为系统化的产业实践。这要求在技术更新过程中,不仅关注机器人的性能提升,还要考虑对资源的再生利用和生态系统的长期影响。通过构建高适配资源再生闭环,机器人可以在废弃后实现资源的高效回收和再利用,减少对自然资源的依赖和环境的负面影响。这种闭环设计不仅有助于实现资源的可持续利用,还能在技术更新中推动生态友好型的生产模式。

通过技术研发、应用、评估、更新四大环节的有机衔接,物质代谢闭环可控体系为破解绿色机器人生态悖论、实现生态系统的新陈代谢恢复提供可行路径。

4.2 能量转换层面:构建低熵全链的能源体系

构建低熵全链的能源体系要在能源革命战略指引下,突破资本对能量转换过程的单向度控制,重构绿色机器人技术中的能量流动逻辑,实现能源来源、传递、存储维度的全链条低熵化,以减少对自然环境的负面影响。

4.2.1 在能量来源维度实现光合作用式的熵减转换

光合作用式的熵减转换,旨在模仿植物将太阳能转化为化学能的高效低熵过程,将可再生能源转化为驱动机器人运行的动力源泉。对于绿色机器人而言,这意味着要探索新型的能源收集技术,利用太阳能、风能、水能等可再生能源,使之能够像植物一样直接从自然界获取能量,实现能源的自给自足。通过模拟自然界的能量转换过程,绿色机器人可以更好地融入生态系统,实现与自然的和谐共生。这种光合作用式的熵减转换,不仅减少了能量转换过程中的熵增,还通过利用可再生能源,为生态系统提供了更多的生态效益。

4.2.2 在能量传递维度建立生态金字塔式的级联利用

马克思在《资本论》中指出,生产排泄物会“再转化为同一个产业部门或另一个产业部门的新的生产要素”^[27]⁹⁴。这一循环经济思想在能量领域具有重要启示。在生态系统中,能量通过食物链从低营养级向高营养级传递,形成一个金字塔结构。在这个过程中,能量在每个营养级之间传递时都会有一定的损失,但这种级联利用方式确保了能量的最大化利用。绿色机器人技术可以借鉴这种机制,按照高效集约利用原则,通过多级能量转换智能控制系统,根据机器人的实际需求,动态调整能量的利用分配,确保能量在不同设备和模块之间的高效传递。这种生态金字塔式的级联利用机制,不仅能提高能量的利用效率,还会减少能量在传递过程中的损失,助力实现能量的全链条低熵化。

4.2.3 在能量存储维度发展生物代谢式的缓冲机制

生物体通过代谢过程,将能量以化学键的形式储存起来,在需要时释放出来。这种代谢过程不仅实现了能量的高效储存,还通过生物体的自我调节机制,确保能量的稳定供应。绿色机器人技术通过采用类似的策略,发展高效的储能技术和智能管理系统,动态调整能量的存储和释放,实现能量的稳定存储和供应。当能量存储模式遵循生物代谢规律而非商业周期节奏时,系统整体的能量可持续性便能获得质的飞跃,进而达成马克思所向往的“在最无愧于和最适合他们的人类本性的条件下进行这种物质变换”^[28]⁹²⁷的生态文明境界。

通过构建绿色机器人低熵全链的能源体系,实现能量转换过程中的熵增最小化,不仅有助于减少对自然环境的负面影响,还可以提高能源利用效率,实现能源的可持续供应。

4.3 技术与自然关系层面:重构有限共生的伦理体系

在技术与自然关系层面重构有限共生的伦理体系,需要以生态文明伦理观为指导,从认识论、价值论、实践论三个哲学维度系统性突破,分别确立技术的生态边界意识、重建技术的生态主体间性、发展技术的生态民主治理,将马克思主义生态思想转化为破解绿色机器人生态悖论的行动纲领,以此推动绿色机器人技术的可持续发展。

4.3.1 在认识论层面确立技术的生态边界意识

确立技术的生态边界意识是构建有限共生伦理体系的基础。马克思主义认识论揭示,人类对自然的认知边界决定了实践活动的合理范围。技术的发展和运用必须在生态系统的承载能力范围内进行,避免过度依赖技术而忽视自然的自主性。一是要树立生态红线意识,秉持认知有限性原则。恩格斯曾说过:“我们不要过分陶醉于我们人类对自然界的胜利。”^[29]人类不应以征服者姿态对待自然,技术研发应预留充分弹性空间,避免因认知不足导致生态灾难。二是要贯彻系统治理理念,搭建跨学科认知网络。将生态学、生物学、伦理学、物理

学等多学科知识深度融合,摒弃技术研发中单一学科思维的局限性,确保技术方案契合生态系统的整体运行规律,实现技术理性与生态理性的有机统一。三是要落实精准治污要求,构建精密的生态阈值认知模型。生态阈值认知模型是一种用于理解和预测生态系统在面对各种干扰和变化时行为特征的框架,它对于生态保护、资源管理以及可持续发展等领域具有重要意义。以研发极地科考机器人为例,需运用气候模拟、生物行为分析等技术,精准量化机器人运行时产生的热量排放、机械噪音等因素,对极地脆弱生态系统中的企鵝繁殖、海豹迁徙等关键环节的影响边界,将技术参数严格限定在生态可承受的区间内。

4.3.2 在价值论层面重建技术的生态主体间性

在价值论层面重建技术的生态主体间性,旨在打破传统以人类为中心的技术价值取向,构建一种人与自然和谐共生的技术价值体系。一方面,超越传统人类中心主义视角,将自然视为具有内在价值的平等主体。自然的内在价值是指自然本身所具有的、不依赖于人类评价和利用的价值。它强调自然事物并非仅仅作为满足人类需求的工具而存在,而是拥有自身独立的存在意义。技术的发展和运用应尊重自然的内在价值,避免对自然环境造成不可逆的破坏。另一方面,重构技术研发价值评价体系,将生态效益置于核心位置。建立科学的生态价值量化评估模型,运用生态系统服务价值核算、生物多样性指数评估等方法,精确衡量技术应用对生态系统碳汇能力、水土保持功能等方面的影响,引导企业从追求单一技术效率转向实现“生态-技术”价值平衡。

4.3.3 在实践论层面发展技术的生态民主治理

马克思“哲学家们只是用不同的方式解释世界,而问题在于改变世界”^[22]⁵⁰²的论断,深刻揭示了实践对理论的决定性作用。生态民主治理旨在打破资本主导技术决策的固有模式,构建多元主体广泛参与的协同治理机制,充分契合了共建共治共享的生态文明治理观。其一,组建权威且多元的技术伦理委员会。吸纳生态学家、社区代表、法律专家等不同背景的群体,深度参与绿色机器人研发决策的全过程。其二,全面推行生态技术公示制度。借助区块链技术不可篡改、公开透明的特性,实现技术研发数据的全流程公开,主动接受社会各界监督。一旦机器人的运行参数,如电磁辐射强度、化学物质排放等,可能威胁生态安全,公众便可依据法定程序迅速启动技术修正程序,及时消除潜在风险。其三,不断完善生态补偿与责任追溯机制。参照马克思在《哥达纲领批判》中强调的“各尽所能,按需分配”^[30]的公平理念,强制要求技术企业将一定比例的利润投入生态修复项目,并对造成生态损害的技术行为实施终身追责。通过一系列民主治理实践,将马克思关于“联合起来的生产者,将合理地调节他们和

自然之间的物质变换”^[28]⁹²⁶的思想,转化为切实可行的制度框架,确保技术发展始终沿着人与自然和谐共生的正确轨道前行。

5 结语

绿色机器人虽以环保、节能、可持续为核心理念,但从生态系统的整体性和长远性角度深入审视绿色机器人技术,会发现其“绿色”标签背后潜藏着深层次的生态悖论。本文在马克思新陈代谢断裂理论的指导下,揭示了绿色机器人在物质代谢、能量转换、技术与自然协同等方面存在的“新陈代谢新断裂”。而破解之道,不在于全盘否定绿色机器人的技术价值,而在于跳出资本逻辑对技术发展的单向度规训,以中国特色社会主义生态文明理念重构技术演进的价值坐标系。在生态文明顶层设计指引下,通过构建闭环可控的循环体系、低熵全链的能源体系、有限共生的伦理体系三种破解模式,分维度达成绿色机器人技术设计可循环、运行低熵化、治理可共生的生态目标,实现从“断裂”到“恢复”的生态转向,以期绿色机器人技术的可持续发展提供理论指引,也为全球生态治理贡献马克思主义的解决方案。未来,随着技术的不断进步和生态文明理念的深入人心,绿色机器人有望在推动经济社会绿色转型中发挥更大作用,助力构建人与自然生命共同体。

参考文献:

- [1] 中共中央马克思恩格斯列宁斯大林著作编译局.马克思恩格斯文集(第2卷)[M].北京:人民出版社,2009.
- [2] 中共中央马克思恩格斯列宁斯大林著作编译局.马克思恩格斯文集(第5卷)[M].北京:人民出版社,2009.
- [3] 工业和信息化部办公厅.工业和信息化部办公厅关于印发工业重点行业领域设备更新和技术改造指南的通知[EB/OL].(2024-05-23)[2025-6-16].https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202409/content_6975557.htm.
- [4] SCHWARTZ R, DODGE J, SMITH N A, et al. Green AI [J]. Communications of the ACM, 2020, 63(12): 54-63.
- [5] 袁丽静,王婉军,王国新.智能化改造与企业绿色转型:基于进口工业机器人微观数据的研究[J].经济学动态, 2024(3): 44-60.
- [6] MAGAZZINO C, MELE M, MORELLI G, et al. The nexus between information technology and environmental pollution: application of a new machine learning algorithm to OECD countries [J]. Utilities Policy, 2021, 72: 101256.
- [7] 全国政协委员、百度董事长李彦宏:加快发展“绿色AI”助力实现“双碳”目标[N].上海证券报, 2022-03-07(6).
- [8] 中国环球与发展国际合作委员会.国合会2023-2024项目前期研究:中国循环经济[EB/OL].(2025-03-26)[2025-11-12].<http://www.cciced.net/zcyj/yjbg/zcyjbg/2024/202503/P020250326324516006981.pdf>.
- [9] 广东海洋大学.广东海洋大学湿地卫士实践团:红树林智能服务机器人赋能绿色生态[EB/OL].(2023-09-14)[2025-10-15].<https://www.gdou.edu.cn/info/1092/51322.htm>.
- [10] STRUBELL E, GANESH A, MCCALLUM A. Energy and policy

- considerations for modern deep learning research [C]//Proceedings of the AAAI conference on artificial intelligence. 2020, 34 (9) : 13693-13696.
- [11] 陈首珠. 人工智能技术的环境伦理问题及其对策[J]. 科技传播, 2019, 11(11):138-140.
- [12] THE GLOBAL E-WASTE STATISTICS PARTNERSHIP (GESP). The Global E-waste Monitor 2024[EB/OL]. (2024-03-20)[2025-7-15]. https://www.itu.int/en/ITU-D/Environment/Documents/Publications/2025/d-gen-e_waste.01-2024-pdf-e.pdf.
- [13] 徐亚州. 当代 AI 技术的伦理现象透视与实践智慧探索[J]. 湖南大学学报(社会科学版), 2025, 39(2):104-113.
- [14] 中共中央马克思恩格斯列宁斯大林著作编译局. 马克思恩格斯文集(第 7 卷)[M]. 北京: 人民出版社, 2009.
- [15] 陈学明. 谁是罪魁祸首: 追寻生态危机的根源[M]. 北京: 人民出版社, 2012: 47.
- [16] 仪喜峰, 张峰. 马克思的新陈代谢断裂理论与新型城市化[J]. 当代经济管理, 2014, 36(5): 6-9.
- [17] 陈洪林, 节荣冉, 马佳乐, 等. 碳纤维应用对大型风力机叶片全生命周期碳排放的影响[J]. 科技创新与应用, 2025, 15(1): 49-51, 55.
- [18] 杨建新, 刘炳江. 中国钢材生命周期清单分析[J]. 环境科学学报, 2002(4): 519-522.
- [19] 工业和信息化部办公厅. 光伏制造行业规范条件(2024 年本)[EB/OL]. (2024-11-20)[2025-6-16]. <http://images.policy.mofcom.gov.cn/file/20241203/20941733214174901.pdf>.
- [20] 初丹. 詹姆斯·奥康纳的经济危机和生态危机理论及当代价值[J]. 哈尔滨工业大学学报(社会科学版), 2023, 25(5): 136-143.
- [21] 中共中央马克思恩格斯列宁斯大林著作编译局. 马克思恩格斯选集(第 1 卷)[M]. 北京: 人民出版社, 2012.
- [22] 中共中央马克思恩格斯列宁斯大林著作编译局. 马克思恩格斯文集(第 1 卷)[M]. 北京: 人民出版社, 2009.
- [23] FOSTER J B. The ecology of destruction[J]. Monthly Review, 2007, 58(9): 11.
- [24] 陈学明. 马克思“新陈代谢”理论的生态意蕴: J.B. 福斯特对马克思生态世界观的阐述[J]. 中国社会科学, 2010(2): 45-53.
- [25] 中共中央马克思恩格斯列宁斯大林著作编译局. 马克思恩格斯文集(第 10 卷)[M]. 北京: 人民出版社, 2009.
- [26] 中共中央马克思恩格斯列宁斯大林著作编译局. 马克思恩格斯文集(第 9 卷)[M]. 北京: 人民出版社, 2009.
- [27] 马克思. 资本论: 第 3 卷[M]. 北京: 人民出版社, 2004.
- [28] 中共中央马克思恩格斯列宁斯大林著作编译局. 马克思恩格斯全集(第 25 卷)[M]. 北京: 人民出版社, 1974.
- [29] 中共中央马克思恩格斯列宁斯大林著作编译局. 马克思恩格斯选集(第 4 卷)[M]. 北京: 人民出版社, 2012.
- [30] 中共中央马克思恩格斯列宁斯大林著作编译局. 马克思恩格斯文集(第 3 卷)[M]. 北京: 人民出版社, 2009.

The Ecological Paradox of Green Robots and its Solution Path: An Investigation Based on Marx's Theory of Metabolic Disruption

YAN Huiyang, LIU Yangyue, LIU Linwei

(Basic Education College, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: As the imagination of technological utopia continues to heat up, the academic community has been focusing on the obvious advantages of green robots such as environmental protection, energy conservation and sustainability. However, insufficient attention has been paid to the ecological paradoxes hidden in green robots, and the differentiated risks of breakage throughout their entire life cycle have been ignored, resulting in research conclusions lacking ecological overall consideration. Given this, based on Marx's theory of metabolic disruption as the methodological foundation, an in-depth analysis of the ecological paradoxes of green robots reveals that there are three "new metabolic disruptions" in green robot technology: the disruption of the internal and external aspects of material metabolism, the entropy value disruption of energy conversion, and the collaborative disruption between technology and nature. Under the guidance of the top-level design of ecological civilization, by building three solutions: a "closed-loop controllable" circular system, a "low-entropy full-chain" energy system, and a "limited symbiosis" ethical system, the ecological goals of green robot technology, namely "design recyclable", "operation low-entropy", and "governance symbiosis", are achieved in multiple dimensions. With the aim of providing theoretical guidance for the sustainable development of green robot technology and offering Marxist solutions for global ecological governance.

Keywords: Marx's theory of metabolic disruption; green robot; ecological paradox; technological alienation; ecological restoration