育野：
技术多样性与机器中的“野” 培育的野性：
机器中的技术多样性与野性

张子豪
弗吉尼亚大学建筑学院建成环境博士候选人、景观系讲师

耿百利
弗吉尼亚大学建筑学院景观设计学系教授、系主任

ZHANG Zihao*
建成环境博士候选人、景观建筑讲师，弗吉尼亚大学建筑学院

Bradley CANTRELL
弗吉尼亚大学建筑学院景观建筑系教授兼系主任

*通讯作者地址：坎贝尔楼，建筑学院，贝利大道 110 号，美国弗吉尼亚州夏洛茨维尔，邮编 22903 邮箱：zz3ub@virginia.edu

编辑 | 田乐、王颖**翻译** | 张书瑞、张子豪、王颖编辑：丨田乐、王颖**翻译：**丨张书瑞、张子豪、王颖

摘要

本文基于景观设计与人工智能的交叉领域，探讨了“育野”这一理念。当代景观实践应克服对“荒野”概念可能存在的狭义理解，借鉴环境人文学、科学技术论、生态科学及景观设计学的理念，探索培育新型野地的景观策略。通过剖析环境工程、计算机科学及景观设计案例，本文构想了利用智能机器营造“野地”的理论框架。该框架将机器视为具有能动性、能够参与共同生产的智能体，而非用来扩大人类对环境影响力的“数字基础设施”。近年来，控制论技术发展迅速，传感网络、人工智能和网络物理系统等理念也可为构建“育野”框架提供支持。该框架的核心是与“生物多样性”同等重要的“技术多样性”。以性能优化、追求效率为目标的技术发展单一愿景束缚了人们的思想，剥夺了人们与环境建立联系的其他可能。因此，育野的关键也在于认识机器的“野”。

关键词

人工智能;野性;景观设计;机器生态;技术多样性

摘要

本文探讨景观设计与人工智能交汇处的培育的野性理念。本文认为，当代景观实践应克服对荒野的单一理解，转而借助当代环境人文学、科学技术研究、生态科学和景观建筑中的理念与关注点，探索培育新形式野地的景观策略。通过选取环境工程、计算机科学和景观建筑研究中的案例，本文探讨了一个利用智能机器构建野地的框架。在这一框架中，机器并不被理解为用于扩展地方人类智能与能动性的一层“数字基础设施”。相反，机器被概念化为能够参与共同生产智能的主动行动者。传感网络、人工智能和信息物理系统等控制论技术的近期发展，也有助于建立这一框架。该框架的核心是与生物多样性相平行的“技术多样性”，因为由优化和效率驱动的单一技术发展愿景强化了单一文化路径，排除了与环境建立其他可能关系的方式。因此，培育的野性也关乎承认机器中的“野性”。

关键词

人工智能；野性；景观设计；机器生态学；技术多样性

https://doi.org/10.15302/J-LAF-1-020040收稿时间 收稿日期丨2020-12-18

中图分类号丨TP18, TU98文献标识码丨B

1 引言:从自然的社会建构到多元的“野”

除针对荒野保护的科学探讨及其环境问题层面外，“荒野”（wilderness）这一概念始终颇具争议。在引发广泛讨论的评论文章《荒野的困境》中，环境史学家威廉·克罗农从历史角度批判了荒野概念，并梳理了20世纪中叶以来美国荒野保护工作中存在的问题。[1]收录了克罗农对现代环保主义进行尖锐批判的文集——《不同的立场：对自然的重构》——也已成为环境人文学及其他交叉学科的重要论著。[2]该文集还收录了其他学者的观点，包括景观理论家安妮·惠斯顿·斯本、景观地理学家肯尼斯·奥维格、女性主义理论家唐娜·哈拉维和文学评论家N·凯瑟琳·海尔斯；他们当中的许多人如今都已成为人文社会科学和设计学科（包括景观设计学）的翘楚。从该文集中可以窥见，学者们在社会文化和历史语境下对“自然”和“荒野”等概念提出了质疑；这些“反叙事”论述极大地挑战了当时的主流认知。

上述学术探讨是“自然的社会建构”运动的重要组成[2]~[6]，该运动反映了20世纪下半叶至21世纪初各个学科对科学事实和真理的广泛反思[7]~[12]。此次思潮的主要论点是：自然和荒野等概念的形成离不开社会建构，它们承载着某些特定的社会文化价值观，但忽视了主流叙事之外的人类和非人类物种。[2][5][6][13]~[16]受此影响，当下逐渐形成了一种批判自然和荒野等概念的主要框架——通过情景化和地方性知识观来挖掘反叙事策略，向与人类及环境相关的主流观念发起挑战。[16][17]若不具备这种批判性视野，特定的荒野意象就会成为傀儡，任由各种环境实践中道德律令般的价值观肆意主导。某些特定文化的价值观不仅固化了对荒野的狭义认知，也加剧了长久以来的社会和政治冲突。例如近来有关美国阿拉斯加地区石油开采权的争论，再如工人阶级利益与环保主义者保护“pristine nature”行动的冲突，又如原住民保卫家园和殖民者开拓“想象中的荒野”之间的长期纷争。[18]~[21]

当然，这些批判性思考绝不是要否定人们为环境保护所做的努力，而是要揭示那些可能削弱当代环境实践道德准则的价值观。不断发展的批判性观念正融入当代跨领域的环境正义运动，积极推动设计师、环境工程师和环保主义人士反思自身价值观，并拓展对自然和荒野的认知。例如，美国山峦协会和荒野保护协会等环保组织已经拓宽了对自然和荒野的定义，并致力于贯彻环境实践的包容性和公平性；近期

1 引言：从自然的社会建构到多元的“野”

在科学领域之外的环境保护与保存话语中，“荒野”始终是一个充满争议的概念，也是一个争夺不休的论域。在那篇声名（或恶名）卓著的文章《The Trouble with Wilderness》中，环境史学家 William Cronon 从历史视角批判了荒野这一概念，并揭示了美国自20世纪中叶以来荒野保护工作的种种问题。[1] Cronon 对现代环保主义提出的挑衅性批判，作为重要文集《Uncommon Ground: Toward Reinventing Nature》的开篇文章，在环境人文学领域内外都产生了重要影响。[2] 其他作者包括景观理论家 Anne Whiston Spirn、景观地理学家 Kenneth Olwig、女性主义理论家 Donna Haraway，以及文学评论家 N. Katherine Halyes。他们中的许多人后来成为人文学科、社会科学和设计学科（包括景观建筑）领域内颇具影响力且广受引用的学者。文集作者将自然及其相关概念（包括荒野）置于社会文化和历史语境中加以审视，质询这些概念，并揭示挑战主流观念的反向叙事。

这批学术研究可以置于一场名为“自然的社会建构”的运动之中，[2]~[6] 它映照了20世纪后半叶至21世纪初，各学科对科学事实与真理展开的广泛反思。[7]~[12] 由此形成的主要论点是，自然、荒野等概念至少部分是由社会建构的，并承载着特定的社会文化价值，却忽视了主流叙事之外的人群和非人类物种。[2][5][6][13]~[16] 如今，对自然及荒野等相关概念的批判，主要以此为分析框架：发掘立足于特定情境与地方的知识所构成的另类叙事，以挑战关于人类与环境的主流观念。[16][17] 如果缺乏批判性视角，某一特定野地的意象就可能沦为容器，供社会倾注各种价值，并将这些价值奉为环境实践的道德要求。这些具有特定文化背景的价值强化了对野地的单一想象，成为持续不断的社会与政治冲突的根基，例如近期围绕阿拉斯加石油开采权的政治辩论、工人阶级与环保人士保护“原始自然”的努力之间的争端，以及根植于原住民家园与殖民者“荒野想象”的长期纷争。[18]~[21]

当然，这些批判性反思绝非意在削弱环境保护工作，而是为了揭示当代环境实践中可能损害道德要求的深层价值观。这些批判性论述不断发展，并融入各领域当代的环境正义运动，促使设计师、环境工程师、自然保护主义者和遗产保护主义者反思自身的价值观，以及对自然与荒野的理解。例如，塞拉俱乐部和荒野协会等许多环保团体一直在努力推动其遗产保护和自然保护实践中的包容与公平；此外，近期的土地致谢

北美各地机构开展的土地权属确认运动，也肯定了原住民长期以来作为土地管理者的身份。

随着自然和荒野概念的拓展，不同领域的学者开始从多元化的视角理解和定义“野地”。在人类世背景下，生态学家和生物学家开始将研究重心转向“新型野地”（new wilds）和新型生态系统（novel ecosystems）。[22]~[25]近年来提出的环境策略也不再强调维持或恢复历史生态格局，而是鼓励通过促进生态系统过程、非人类物种和智能机器的自主性来实现“再野化”。[26]~[28]人文学科和科学技术论等领域的学者也不再批判自然和荒野，而是转而以“非人类能动性”（nonhuman agency）为概念框架，理解人类与非人类物种及机器之间的共同生产和共同进化过程，探究三者之间不同的关联方式。[29]~[34]与此同时，景观设计师和规划师也不断吸纳新型生态系统、多物种相互作用、机器智能和非人类能动性等新兴思想，以期构想更具开放性的设计项目。[35]~[39]

在承认荒野概念的核心在于自然自主性（无或较少人工干预）的前提下，我们也需要认识到，机器在与其他自然过程和非人类物种不断融合的过程中，能够甚至已经发展出新颖有趣的荒野概念，并产生了重要的社会和生态影响。本文提出“育野”（cultivated wildness）概念，期望通过传感网络、人工智能和网络物理系统等前沿数字技术，探究有助于培育新型野地的全新景观策略，为有关荒野的讨论提供新思路。

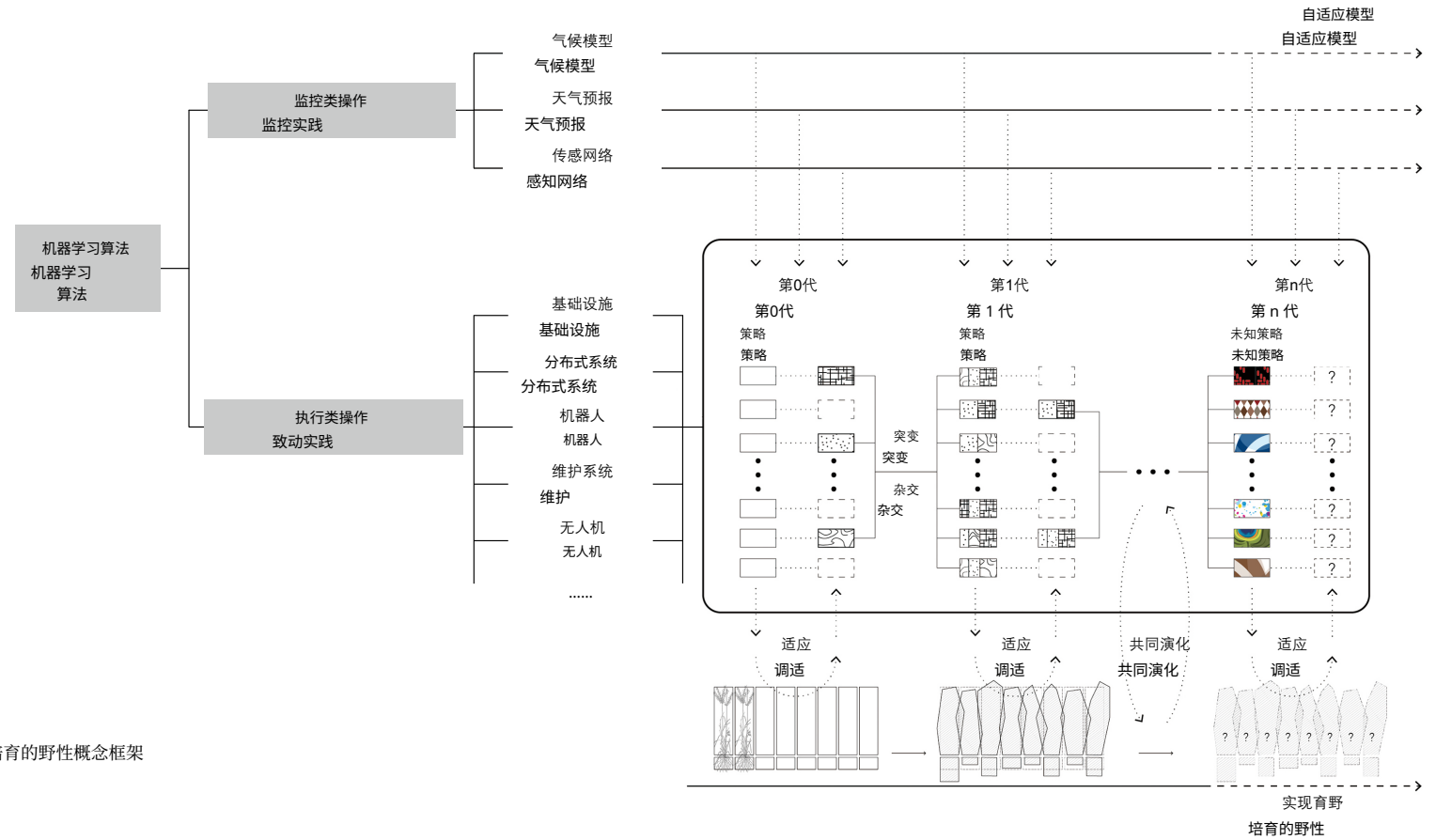
通过剖析环境工程、计算机科学以及景观设计与研究中的案例，本文认为，智能机器并非人类用以扩大自身（构想的）能动性或统治非人类物种的控制机制；它们作为多尺度的参与者，深深嵌入各种环境过程中，共同创造出超越人类认知范围的各种形式的“新型野地”。换言之，景观设计师如今需要考虑的“环境”已与过去大相径庭——它不再是供 designers 尽情畅想各种景观动态变化的背景板或白纸，而是一种遍布各种智能的“反馈环境”。因此，“再野化”不再仅仅意味着利用有限的人类智能来恢复历史生态格局，或依据特定社会群体的标准固化“wilderness”意象。我们可以通过提升生态系统、非人类动植物物种和智能机器的自主性，精心培育新型野地。当这些智能体发展出自己的路线、轨迹和变化过程后，便形成了真正开放、未知的 wilderness。

北美各机构的相关努力已承认，原住民是这片土地最悠久的守护者。

随着自然和荒野概念的日益丰富，各领域的学者开始以多元视角诠释和构想野地。面对人类世，一些生态学家和生物学家将关注点转向“新荒野”和新型生态系统。[22]~[25] 近期的环境策略已不再局限于维持或恢复历史生态模式，而是转而倡导生态系统过程、非人类物种和智能机器的自主性，将其作为“再野化”的策略。[26]~[28] 人文学科和科学、技术与社会（STS）领域的学者也不再一味批判“自然”和“荒野”，而是将“非人类能动性”用作概念框架，以理解人类与非人类物种及机器之间的共同生产和共同演化，并推想各种不同形式的关联关系。[29]~[34] 景观设计师和规划师也将关于新型生态系统、多物种互动、机器智能和非人类能动性的新兴理念融入其中，以在项目中构想更大的开放性。[35]~[39]

尽管荒野概念的本质是自然“自在自为”，几乎不受或完全不受人类引导，但我们也亟须理解，机器与自然过程及非人类物种的汇聚如何能够发展出——并且已经发展出——新颖而有趣的野性概念，并产生重要的社会生态影响。本文提出“培育的野性”这一理念，为有关荒野的广泛讨论作出贡献。本文聚焦于控制论技术的最新发展，例如传感网络、人工智能（AI）和信息物理系统，试图阐明此类技术如何为景观策略提供新机遇，以培育新型野地。

本文以环境工程、计算机科学、景观设计与研究中的案例为例，指出智能机器并非一种控制机制层，供人类借此延伸想象中的能动性、扩大虚幻的控制体制。相反，智能机器应被视为多尺度行动者，它们深深嵌入各种环境过程之中，并催生出种种超出人类理解的野性状态。换言之，如今的“环境”概念，与过去景观设计师所考量和构想的环境有着根本区别——环境不再只是被动的背景或一块白板，任由设计师构思景观动态。相反，景观设计师必须面对具有不同形式分布式智能的“控制论环境”。本文认为，“再野化”不再只是运用局部的人类智能，恢复历史生态模式，并按照某些社会群体的标准强化野地形象。相反，通过促进生态系统、非人类动物、植物物种和智能机器的自主性，可以审慎地培育“新野性”。如此一来，允许各类主体遵循自身的道路、轨迹和生成过程，野地便能真正保持开放且不确定。



1. “育野”概念框架1. 培育的野性概念框架

本文提出一种“育野”概念框架（图1）：机器学习算法分布于不同的信息物理系统中，涵盖环境监测系统（如气候模型、天气预报系统、传感网络等）以及各类执行系统（如信息物理基础设施、机械装置、分布式机器人和无人机等）。这些智能体的尺度各不相同：机械装置等小型执行器能够直接与植物互动，而安装了自动化装置的水闸和溢洪道等大型执行器，则可以通过改变土壤条件和水文格局来影响植物生境。机器学习智能体可以通过持续学习和遗传算法尝试各种不同的策略，并通过迁移学习相互交流经验。机器学习技术还可以帮助构建更多适应气候和天气变化的模型，而这些模型的预测结果又可用于训练分布式机器学习智能体。这些松散耦合的模型和智能体能够根据环境监测结果和以往经验调整自身策略，甚至随着时间推移，提出超越人类理解能力的策略——从而实现育野。通过开发能够与不同尺度的模型和系统进行交互的界面，景观设计师可以参与这一新环境的构建。[40]此时，机器与其他非人类主体之间应当形成“相互依存”的关系，而非“单向依赖”。在育野框架中，机器不仅是自动化工具，更是环境的共同创造者。正如

本文勾勒出一种探讨培育的野性的概念框架（图1）。机器学习（ML）算法分布于信息物理系统之中，涵盖气候模型、天气预报系统、传感网络等环境监测实践，也包括信息物理基础设施、机械臂支架、分布式机器人和无人机等各类执行系统。这些智能体具有多尺度特征，其中一些执行器（如机械臂支架）可以直接与植物互动，另一些（如加装自动装置的水闸和溢洪道）则可通过改变土壤条件和水文格局来影响植物生境。机器学习智能体依托持续学习、遗传算法和迁移学习构成的框架，测试各种策略。机器学习技术也有助于构建适应性更强的气候与天气模型，其预测结果可用于训练分布式机器学习智能体。这些松散耦合的模型与智能体能够调整自身策略，并随着时间推移开始发展出超越人类理解的意外策略——这便是培育的野性。景观设计师可以通过为这些多尺度模型和系统开发不同的界面，参与其中。[40] 机器与其他非人类主体之间的关系，应以相互依存而非单向依赖的概念来理解。在这一框架中，机器并非用于自动化的工具；它们始终参与其中，并将在环境的共同创造中发挥主导作用。归根结底，利用智能机器构建野地，关乎拓展景观设计师对环境本身的理解，正如

© Zhang Zhao Bradley Cantrell

正如“阿尔法狗”拓展了棋手对围棋的理解一样，利用智能机器创造荒野的最终目的是加深人们对环境本身的理解。机器可以揭示和构建人类以往无法识别和诠释的环境格局。唯有如此，“培育的野”才能孕育出人类当前无法想象的可能性和未来。

提出上述育野框架的目的并非提供制造强效机器的技术蓝图，而是促进景观设计师理解和认识环境的复杂性，意识到除人类智能外还存在其他形式的智能。该框架源于上述生态学、景观设计学、环境人文学和科学技术论等学科中的技术和理论探索，要求设计师在本体论和认识论上进行根本性转变，将所谓的“环境”理解为不同框架、意图和目标函数相互作用后的混合体。不同的智能体——不论是人类或非人类，不论存活与否，不论是技术上的或生态的，不论是生物或非生物——都能相互调整、增强、抑制、利用与抵消。由此产生的环境融合了不同的视角，超越了每个个体的原始意图，无数的智能体精心培育着环境中的“野”。当代景观设计要不断拓展人们的审美体验范畴。[41][42]相应的景观策略也不应局限于保护和恢复层面，而需在如今与非人类领域如此疏远的文化中，孕育意料之外的机遇。因此，育野也意味着为当代城市居民培育一种新的审美观念，鼓励人们拥抱城市中的“野”并与之共生。

2 机器智能与构建的“野”

基于近年来控制论技术的发展，我们可以从三个方向探索上述育野框架：1）深度强化学习和机器策略；2）响应式景观和分布式智能；3）植物-机器交互。需要注意的是，育野的具体实践不能仅仅建立在上述任一方向之上。诚然，这类育野实践的可行性仍有待商榷，但下文的示例将从多个视角剖析这一框架，共同描绘机器在景观策略中发挥重要作用的未来蓝图。

2.1 深度强化学习和机器策略

过去几年间，人工智能研究不断取得突破，尤其是深度强化学习（DRL）领域见证了诸多变革，推动了对智能更深层次的探索。对于深度强化学习而言，智能体可以观察环境状态并采取行动：如果某些行动被证明有效，智能体就会获得奖励。近年来，科学家已经训练出多个深度强化学习智能体，包括“阿尔法狗”系列，它们精通围棋，并击败了最高水平的人类棋手。[43]“阿尔法狗”的训练采用了自我对弈的方式——除基本规则外，人工智能系统并未学习任何人类棋手的对局方式；人工智能游戏选手AlphaStar的训练也采用了类似方法。[44]这些深度强化学习智能体超越了人类水平，探索出人类此前未曾发现的全新策略。在某种程度上，它们基于机器对游戏的理解，提出具有“机器风格”的策略，从而拓展了人们对游戏本身的理解。

景观设计师和生态学家也曾探究机器学习在环境管理中的应用潜力。例如，在一项思维实验中，研究人员构想了一种基于深度强化学习的人工智能系统——“荒野创造者”。该系统能够自行制定策略，并创建超越人类认知的野性空间。[29]这项实验挑战了人们对“荒野”的传统认知，为探索……

阿尔法狗拓展了棋手对围棋的理解。机器或许能够揭示并构建人类此前无法识别和转化的环境中的模式。唯有如此，培育的野性才能成为各种可能性的储备，以及一个我们当下尚无法想象的未来。

这一框架绝非建造强大机器的技术蓝图，而是一份路线图，景观设计师可以借此开始理解并欣赏环境的复杂性，认识到除人类之外还存在不同形式的智能。它深深植根于前文所述生态学、景观建筑、环境人文学以及科学、技术与社会领域的技术和理论探索。它促使设计师在理解环境时进行本体论和认识论转向，将环境视为不同框架、目标和目标函数的混合体。不同的智能体——无论是人类还是非人类、生物还是非生物、技术性的还是生物性的、有生命的还是无生命的——彼此改变、放大、抑制、利用并抵消对方。因此，最终形成的环境始终已是不同视角的混合体，超越了每个智能体最初的意图。智能体正在悉心培育环境中的野性意识。当代景观设计应拓展人们的审美范畴。[41][42] 景观策略不再局限于保存、保护和生态恢复，而是要在当代文化中促成意想不到的相遇，因为这种文化与非人类领域如此疏离。培育的野性意味着为现代城市居民培育一种新的审美意识，使他们能够拥抱城市中的野性，并学会与之共存。

2 机器智能与构建的野

近期控制论技术的发展为探索培育的野性框架提供了三个方向：1）深度强化学习与机器策略，2）响应性景观与分布式智能，以及 3）植物—机器交互。需要指出的是，这些例子都不能单独说明何种运作方式能够创造野地——事实上，这种实践是否存在都值得怀疑。然而，以下各节中的例子展现了构建的野性框架的不同方面；它们共同描绘出一种可能的未来：机器将在发展景观策略的过程中发挥重要作用。

2.1 深度强化学习与机器策略

过去几年，人工智能研究取得了突破，尤其是在深度强化学习（深度强化学习）领域，这为学者们提出关于智能的更深层次问题提供了变革性的案例。在深度强化学习中，智能体可以观察环境的状态并采取行动：如果行动有效，智能体就会获得奖励。过去几年，科学家训练了许多深度强化学习智能体，包括已掌握围棋并击败顶尖人类棋手的阿尔法狗系列。[43] 训练过程采用了自我对弈技术，也就是说，人工智能系统基于基本

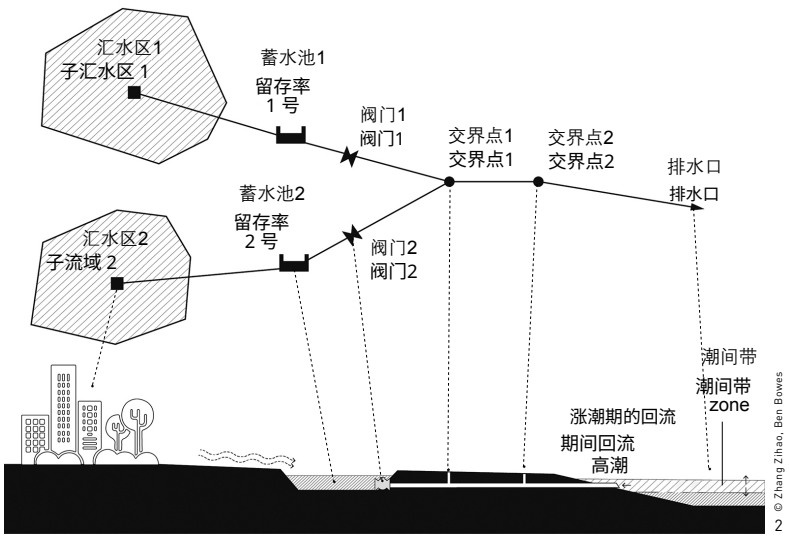
究机器在构建野性空间过程中的作用提供了新思路。在某种程度上，这些 wilderness 的“野”正在于人类无法用既有模型来理解人类世生态系统。

上述思维实验在当年看起来或许离经叛道,但如今相关研究已相 继展开。例如,美国弗吉尼亚大学Link实验室的科学家们即探索了训 练深度强化学习智能体来管理雨洪的方法。[45][46]实验根据弗吉尼亚州诺福克市 的雨洪系统构建了一处模拟环境,系统中的两片汇水区分别与独立的 蓄水池相连;蓄水池的出口处安装有可控阀门,可以灵活调节启闭程 度(图2)。智能体通过调节两个阀门来控制蓄水池的水位,一方面 可防止出现洪涝,另一方面可维持蓄水池的理想水位。

在每一个模拟周期中，深度强化学习智能体都能够获取系统的最新状态，包括不同节点的水深及洪涝风险、未来 24 小时的降水预测和潮汐预报。根据这些数据，深度强化学习智能体可通过相应策略调节阀门。模拟系统会依据不同的策略进行更新；如果策略有效，智能体就会获得奖励。该深度强化学习智能体的奖励机制取决于它能否有效防止潮汐和降雨引发的洪涝，并维持理想水位。在整个实验过程中，科学家们利用真实的潮汐和降雨数据，模拟出一系列雨洪事件来训练和测试深度强化学习智能体。

深度强化学习智能体不仅可以识别实时数据的细微变化，还能够实现实时控制，这是人类远远无法企及的。最重要的是，深度强化学习智能体能够提出一些意想不到的策略：雨后蓄水池水量充盈时，智能体会连续地打开或关闭阀门，缓慢排水以维持目标水位。此时下游或许会出现小型洪涝，但洪水总量仍在可控范围内。智能体的这一行为提醒着设计师，城市水系统管理往往只能优化个别变量，而智能体则能另辟蹊径，利用洪水发生的频率而非水量控制来管理雨洪，提出基于信息物理系统的全新策略。由于从未接触过任何人类已掌握的雨洪系统知识，深度强化学习智能体的学习

2. Link实验室的深度强化学习实验示意图（改绘自参考文献[46]）2. Link Lab 的深度强化学习实验示意图（改绘自参考文献 [46]）



无需从任何人类知识中学习规则。电子游戏中也有类似的应用，例如 AlphaStar。[44] 这些深度强化学习智能体不仅表现超越了人类，还提出了人类玩家从未想到过的新策略。某种程度上，它们发展出了对游戏的机器理解，并以“机器思维”提出策略，拓展了人类对游戏的理解。

景观设计师和生态学家也探讨了机器学习在环境管理中的影响。在一项思想实验中，研究人员设想了一种基于深度强化学习的人工智能系统，名为“荒野创造者”，它能够自行制定策略，创造出人类难以理解的野地。[29] 这项思想实验质疑了荒野的概念，并为理解机器在构建野地中的作用提供了一种不同的思路。机器构建的这些地方之所以是野地，是因为它们属于新型生态系统，人类没有相应的模型来理解它们。

这个思想实验听起来或许有些异想天开，但事实上，已经有相关研究在开展。弗吉尼亚大学 Link Lab 的科学家探索了训练深度强化学习智能体来控制雨洪系统。[45][46] 科学家构建了一个模拟雨洪系统，其设计灵感来自位于美国弗吉尼亚州诺福克的一个系统。该系统由两个子汇水区组成，分别连接到两个独立的滞留池。每个滞留池的出口处都设有一个可控阀门，可以完全关闭、完全打开，也可以调节至任意开度（图 2）。智能体可以控制这两个阀门，以调节滞留池中的水量。其目标一方面是防止系统整体发生洪涝，另一方面是让滞留池维持在期望的水位。

在每个步骤中，深度强化学习智能体都可以观察系统的当前状态，包括各节点的水深和洪水发生率，以及未来 24 小时的降雨和潮汐预报。根据这些数据，深度强化学习智能体可以制定控制策略来调节阀门。该策略会更新系统状态；如果采取的行动符合预期，智能体就会获得奖励。该深度强化学习智能体的奖励函数取决于它预防总体洪涝（包括潮汐和降雨造成的洪涝）以及维持池塘中一定水深的成效。科学家利用真实世界的降雨和潮汐数据，生成了一系列洪水事件，用于训练和测试深度强化学习智能体。

该智能体不仅能够响应实时数据的细微变化，还实现了超越人类能力的实时控制水平。最重要的是，该智能体设计出了一些出人意料的策略。当池塘在一次降雨事件后蓄满时，该智能体会反复小幅度地打开/关闭阀门并排出少量水，以维持目标水位。尽管这会在下游造成轻微洪水，但该智能体能够将总体积控制在阈值以下。这提醒设计师，城市水系统通常通过少数几个参数进行优化，而该智能体出人意料的行为——例如利用洪水频率维度——则为基于频率而非体积、利用信息物理系统管理城市雨洪提供了一系列新的潜在策略。由于没有向深度强化学习智能体提供任何关于雨洪系统的人类知识，该机器

完全从零开始，它形成了自身对雨洪系统的理解，并独立提出了一套管理策略。

在上述案例中，训练智能体的目的是防止雨洪。然而，雨洪对生态系统的重要性同样不容忽视，景观设计师完全可以构想某种智能体，使其在城市的特定区域策略性地制造小型洪涝，从而建立新的生态系统。此外，深度强化学习智能体控制蓄水池特定水深的优势，也可应用于湿地设计，以构建理想生境。

在最近的研究中，科学家们正在建立更复杂、能够解决冲突目标（如需同时考虑水质）的算法。初步结果表明，深度强化学习理论框架可以迅速训练出擅长达成不同目标（防洪或控制污染）的智能体；部分智能体兼具多种功能，能够提出复杂的管理策略。受此启发，景观设计师还可以设计由不同智能体管控、具有多个优先级的城市排水系统。不同智能体之间的相互反馈将带来前所未有的复杂局面：智能体提出的策略可促使雨洪系统形成新的水文格局；而在智能体的精心培育下，亦会出现新的生态类型。一种"培育"的城市荒野由此形成，不同的智能体对其施以严格维护，而智能体的某些行为甚至可能超越人类的认知范畴。

2.2 响应式景观和分布式智能

设计师们往往容易忽略这样一个事实——智能机器早已广泛分布于环境中，并大范围参与了各种环境过程。以佛罗里达州适应性管理[①]的最佳实践"大沼泽地生态修复项目"为例，南佛罗里达州水域管理区成立于1949年，是一个地区性政府机构，管理着佛罗里达州南半部的水资源，其中就包括这个滋养了无数野生动植物、约有6 000km^{2}的广袤大沼泽地。[47]在城市居民眼中，这里绝对称得上是"wilderness"；但看似野生的大沼泽地实际上却是高度维护的结果。南佛罗里达州的水体中随处可见监测站，实时生成的水文和水质数据被用于建立水文系统的模拟模型。其中，"南佛罗里达州水域管理模型"是分析水文系统运行变化及制定合理管理决策的重要模型之一。此外，数千英里长的人工运河和管道遍布佛罗里达州，运河中战略性地设置了水道、溢洪道、堰门、水泵、水坝和闸门等管控设施（执行器）。整个系统中的执行器可以直接影响南佛罗里达州的水文格局（图3）。在某种程度上，得益于实时水文数据、天气预报、气候模型数据支持下的模拟模型，南佛罗里达州的水量和水文格局每时每刻都受到精确计量与管控。

Everglades生态修复项目只是利用信息物理系统管理环境过程的众多尝试之一。最近关于智慧城市的讨论激发了社会各界对智能自动化的构想。正如上述案例中的诺福克市一样，许多城市都在使用由致力于开发实时环境监测和实时控制方案的新兴公司（如Opti雨洪管理公司和Xylem水科技公司）提供的可控智能执行器来改造雨洪系统。[48][49]在一定程度上，智能机器遍布于城市环境中，有待设计师去开发利用。以下两个探索性景观设计研究项目及一系列机器人和机器学习案例，或可为构建基于实时反馈和机器学习的适应性框架提供启示，促进人类与智能机器的相互沟通与协同设计。

在"走向感知"项目中，设计师雷夫·埃斯特拉达提议在洛杉矶河沿线分散布设智能机器和传感网络，以调节水文模式并塑造地形。

从零开始，逐步形成了对系统的理解，并独立提出了一套策略。

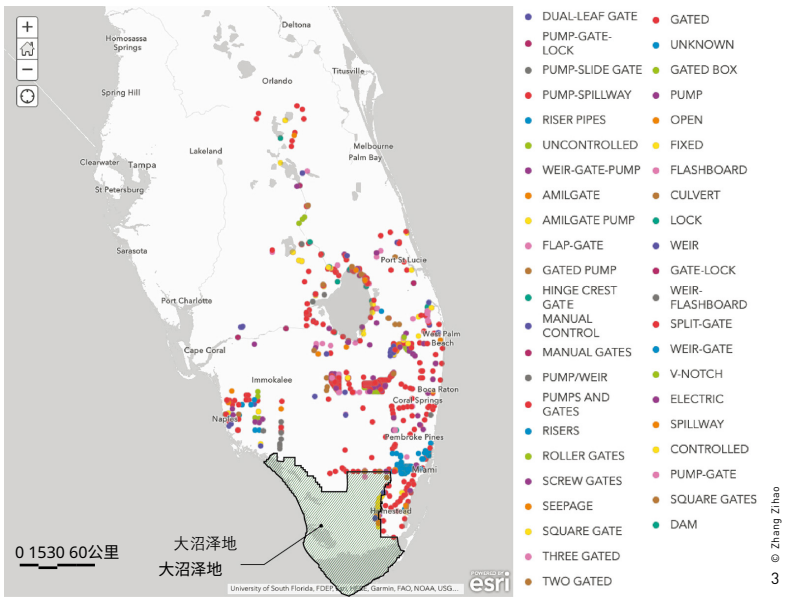
在这个例子中，智能体经过训练，旨在防止洪水。然而，理解洪水事件对生态系统的重要性后，景观设计师可以设想一个经过训练的深度强化学习智能体，在城市的特定区域策略性地促发洪水事件，从而创造新颖且涌现的生态系统。此外，深度强化学习智能体还能主动维持滞留池中的水深，为湿地物种提供理想的生长条件。

近来，科学家正致力于构建更复杂的目标函数，其中包含多个相互竞争的目标，例如水质。初步结果表明，深度强化学习框架能够迅速培育出多样化的智能体群体，分别服务于不同目标（例如控制洪涝、管理污染物），而群体中间还存在许多具有复杂行为的混合型智能体。由此可以设想，由不同智能体管理的多个城市排水系统，各自的优先事项略有不同。这些智能体之间的反馈将催生当下超乎人类想象的复杂现象。智能体的策略会在系统中形成新的水文格局；在深度强化学习智能体的精心培育下，新的生态类型也将涌现。最终形成的是一种经培育的城市野境，由智能体高度维护，而它们的行动有时超出人类的理解范围。

2.2 响应性景观与分布式智能

设计师往往忽视了智能机器早已深深遍布环境这一事实，也忽略了它们参与各种环境过程的规模。例如，佛罗里达州的大沼泽地生态恢复项目被视为适应性管理[①]框架的典范，也是环境工程领域的最佳实践。南佛罗里达水资源管理区成立于1949年，是一个区域性政府能动性机构，负责管理佛罗里达州南半部的水资源，其中包括大沼泽地——这片面积达150万英亩、维系着众多野生动物物种的湿地。[47]在城市居民眼中，这就是终极的"荒野"。然而，野生的大沼泽地实际上是一个受到高度维护的地方。在南佛罗里达州，众多传感站遍布各处水体，生成实时水文和水质数据，用于建立水系统仿真模型。南佛罗里达水资源管理模型是用于分析水系统运行变化并为管理决策提供信息的模型之一。此外，数千英里的工程运河和管道纵横交错地铺设在佛罗里达州的景观之中，而水盆、溢洪道、堰闸、泵、堤坝等水利控制基础设施，

1 适应性管理可以理解为一种边做边学 1 的决策方法，需通过严格的监控和执行来实现。自适应管理是一种通过边做边学来制定决策的方法，需要通过严格监测和执行过程来实现。



© Zhang Zhao

3

3. 南佛罗里达州水域管理系统（数据来源：Arc Hydro增强数据、在线ArcGIS数据）

3. 南佛罗里达水资源管理系统（数据来源：Arc Hydro Enhanced Database 和 ArcGIS Online）

他利用哈佛大学设计研究生院响应环境与人工制品实验室的水文地貌模拟沙床，测试了“感知-处理-制动”响应框架。沙床中沉积物和水流的输入由4个进料器和一台水泵控制，此外还配备了传感和监控设备，用于收集实时数据，包括安装在工作台上方的微软Kinect体感设备，以及位于下游的超声波传感器。随后，通过Grasshopper软件中的自定义插件，将实时数据输入三维建模软件Rhinoceros 3D中。在一次设计实验中，埃斯特拉达提出了一种名为“调制器”的执行系统，该系统由一组连接到伺服电机上的亚克力管组成。每根亚克力管均由伺服电机独立驱动，其底部插入沉积物中。伺服电机旋转，驱动亚克力管上下移动，从而影响水流形态，并在工作台下游形成不同的地形。随后，通过传感器实时追踪地形，并利用高程数据建立数字高程模型，便可在设计软件中识别出一系列高地和低地。这些信息可为后续操作提供依据，例如，若要在高地上堆积更多土地，就需要沉积更多沙子；若要侵蚀高地，则需要引入更多水。[50]埃斯特拉达表示，机器人系统展现出了超越人类水平的实时更新与反馈能力。[51]

埃斯特拉达的实验测试了基于“感应-处理-制动”反馈回路的响应式景观框架的可行性，旨在利用环境中的传感器和执行器提供实时景观策略。而遍布环境中的传感器和执行器也为机器学习算法的

闸门沿水道进行了战略性布局。系统中的这些执行器能够直接影响南佛罗里达州的水文格局（图3）。从某种意义上说，水量和水文格局是通过模拟模型进行精确计算和控制的，这些模型基于实时水文数据、天气预报和气候建模。

大沼泽地生态恢复项目只是众多利用信息物理系统管理环境过程的实践之一。近年来关于智慧城市的讨论，推动了各社会领域的控制论想象。正如上述例子中的诺福克，许多城市正在改造其雨洪系统，采用 Opti 和赛莱默等新兴公司提供的可控智能执行器；这些公司专门提供实时环境监测和实时控制解决方案。[48][49] 在某种程度上，环境中充满了可由设计师调动的智能机器。两个推测性景观设计研究项目，以及一系列机器人和机器学习案例，阐明了一种基于实时反馈和机器学习的适应性框架，为如何与智能机器沟通并开展设计提供了启示。

在第一个项目《Towards Sentience》中，设计师 Leif Estrada 提议将智能机器和传感网络分布于洛杉矶河中，以影响水文格局，并随着时间推移塑造地形。他在哈佛大学设计研究生院响应式环境与器物实验室的一张水文地貌实验台上，测试了感知—处理—执行的响应式框架。沉积物和水流输入由 4 个材料送料器和一台水泵控制。实验台还配备了用于收集实时数据的传感与监测设备，包括安装在实验台上方的微软 Kinect，以及位于下游的超声波传感器。随后，实时数据被输入带有 Grasshopper 插件和定制界面的 Rhinoceros 3D。在其中一项设计实验中，Estrada 提出了一种名为“调谐器”的执行系统，由一组连接伺服电机的亚克力圆杆组成。每根圆杆分别由一台伺服电机驱动，其下部插入沉积物中。伺服电机启动后，会驱动圆杆上下移动以改变水流格局，从而在实验台下游塑造出不同的地形。随后，传感器对地形进行实时追踪，并利用高程数据建立数字高程模型，从而识别出一系列高地和低地。这些信息可用于指导相关操作，例如通过沉积更多沙子在高地上堆积更多土地，或通过引导更多水流侵蚀高地。[50] Estrada 报告称，该赛博格系统展现出超越人类能力的实时更新与反馈水平。[51]

Estrada 的实验测试了感知–处理–执行反馈循环，验证其作为一种可行的响应式景观框架，能够利用环境中的传感器和执行器来部署实时景观策略。此外，布满传感器和执行器的环境为应用机器学习算法奠定了基础。设计师可以设想一个深度强化学习智能体，利用“调谐器”测试不同的策略，并根据实时反馈调整策略。

应用奠定了基础。例如，设计师可以构想一种深度强化学习智能体，利用“调制器”测试不同的景观策略，并根据实时反馈进行调整；或者将不同的深度强化学习智能体嵌入环境中，随着时间推移，与其他人类及非人类个体和系统共同演化。

要实现以上构想，需要解决两个问题。首先，只有在“持续学习”策略的支持下，智能机器才能与其他人类和非人类行为者在环境中共同演化。然而，大多数人工智能算法实际上都是“离线”的，这意味着训练完成后，上传至网络物理系统的是一个已经调试好的模型（例如深度学习中的神经网络）。训练过程实质上是将神经网络暴露于大量数据中，以调整单个神经元的权重。训练完成后，神经网络便会被校准至最佳状态，只根据输入信息生成输出，而不会在运行时学习任何新知识。一旦应用于气候变化等动态环境，这些智能体很快就会过时。因此，开发持续学习框架是将智能机器应用于环境治理的一大挑战。其次，机器学习分为训练和测试两个阶段。在实际应用智能体之前，科学家需要提供训练数据供其进行机器学习。在前文所述的深度强化学习案例中，智能体能够在模拟环境（如电子游戏）中寻找策略，而这种环境可以无限次重启。但真实环境没有“重启键”；如果某个智能体无故造成恶劣后果，就很难挽回。这也是利用人工智能管理环境所必须面对的伦理挑战。

另一个探索性研究项目以及人工智能研究的最新进展，或许能为这些困境提供新思路。来自麻省理工学院建筑学院的设计师里卡多·詹尼·冈萨雷斯在他的论文中提出了一种嵌入冰冻圈环境的系统。该系统由一个中央“大脑”（可以理解为超级计算机单元）和分布各处的“身体”（改变物理环境的执行器）组成。在具体操作中，“大脑”首先对“身体”施加不同的执行策略，然后根据预测结果与实际情况之间的差异来评估策略；再将更新后的新策略应用于“身体”。产生最佳结果的策略将作为成功经验嵌入下一轮干预中。在这种模式下，某个“身体”可以通过将知识转移给其他“身体”来相互影响。经过不断迭代，这个分布式系统可以逐渐适应冰冻圈环境，并与环境共同演化。[52]

该项目的理论框架反映了一些被广泛采用的机器学习算法和技术，例如持续学习、遗传算法和迁移学习。值得注意的是，持续学习始终是深度强化学习理论的基础（常与深度强化学习相类比的概念是人类的试错学习，而人类的学习过程需要终身持续努力）。实际上，人工智能领域的研究已经开始探索如何使智能体在学习过程中不断演化的策略，科学家们也在克服“灾难性遗忘”方面取得了令人欣喜的进展。“灾难性遗忘”是持续学习面临的主要障碍——智能体往往会在获取新知识后，突然完全“忘记”此前学过的信息。[53]在目前的人工智能应用中，理论层面的持

设计师还可以设想各种深度强化学习智能体，它们深深嵌入环境之中，并随着时间推移与其他人类与非人类智能体及系统共同演化。

这种推测引发了两个方面的担忧。首先，设计师需要持续学习策略，以预见一种能够与环境中的其他人类与非人类智能体共同进化的智能机器。大多数人工智能算法都被认为是“离线”的，这意味着经过训练后，上传到信息物理系统中的内容是一个微调模型——即深度学习语境下的神经网络。训练过程本质上是通过向神经网络输入大量数据，来调整各个神经元中的权重。训练完成后，神经网络便经过校准，在运行过程中只会生成输出，而不会学习任何新知识。就气候变化而言，智能体很快就会过时。因此，开发持续学习框架是将智能机器纳入环境管理所面临的下一项挑战。其次，机器学习由训练与测试阶段组成。在将智能体应用于现实情境之前，科学家需要提供训练数据，以便机器从中学习。在深度强化学习的情况下，智能体会在模拟环境（例如电子游戏）中制定自身的策略，而该环境可以无限次重新启动。然而，现实环境并不存在“重置按钮”，如果智能体以某种方式造成了不良后果，就无法回到过去。这也给人工智能智能体在环境管理中的应用带来了伦理挑战。

另一项推测性研究项目以及人工智能研究近期的一些进展，为这些困境提供了启示。在麻省理工学院的一项建筑学毕业论文研究中，设计师 Ricardo Jnani Gonzalez 提出了一种深度嵌入冰冻圈环境的系统。该系统由一个中央“思维核心”和分布式“身体”组成，前者可以理解为一个超级计算机单元，后者则是能够改变物理环境的执行器。在运行过程中，“思维核心”首先向“身体”投放大量各异的驱动策略。随后，“思维核心”根据预测情景与实际结果之间的差异评估这些策略。接着，“思维核心”更新策略，并再次将其投放给“身体”。如果某项策略带来了最佳结果，那么这一成功经验就会融入下一轮干预的迭代中。如此一来，一个“身体”便可通过知识交流影响其他“身体”，使这一分布式系统逐步调适冰冻圈环境，并与之共同演化。[52]

该项目的框架借鉴了持续学习、遗传算法和迁移学习等一些广泛使用的机器学习算法与技术。需要认识到，持续学习一直是深度强化学习的理论前提——人们常将深度强化学习与人类通过试错进行的学习相比较，而这种学习需要终身不断努力。事实上，人工智能领域已经在努力制定相关策略，使智能体能够学习并进化。科学家正在克服“灾难性遗忘”这一持续学习的主要障碍方面取得可喜进展——智能体在获取新知识后，往往会完全且突然地“忘记”此前学到的信息。[53] 在当前的人工智能应用中，这一理论

持续学习主要通过不断提高人工智能系统的更新频率来实现。可以预见，在不久的将来，更多的持续学习框架和自动更新机制将会得到广泛应用。这就要求设计师相应地提出足够灵活且适应性强的理论框架，以支持这些技术的实践应用。

遗传算法的灵感来源于自然选择过程——将上一代的优秀基因遗传给下一代。与此类似，在遗传算法的训练中，一系列随机策略中的最佳策略会被保留；在下一代的训练中，这些成功策略经过变异，更新为一套新的策略并加以应用。随着"选择—变异"过程循环往复，算法的性能也不断提高。同样，在环境管理方面，设计师不应追求模型的复杂性，以期生成一劳永逸的策略；相反，可以尝试利用可单独实施渐进式干预的分布式智能体，使其共享知识、共同演进。当前已有众多相关研究案例：一款名为"Romu"的机器人可将联锁板桩打入地下建造拦水坝，在防止水土流失的同时促进干旱地区的地下水补给[54]；另一款名为"RangerBot"的水下视觉机器人可用于保护大堡礁，它能够识别并杀死以珊瑚为食的海星，同时监测珊瑚礁的健康状况和水质[55]。这类机器人主要依靠机器学习和计算机视觉来识别水下环境中的有害海星。上述机器人都是基于机器学习不断进化并发展策略的分布式"身体"。

冈萨雷斯设想的系统能够将某个"身体"的成功策略迁移给其他"身体"，这与人工智能研究中的迁移学习异曲同工，即将从某一领域获得的知识应用于另一领域。相关案例[56]~[58]可为设计师提供借鉴：一方面，机器在分散投放到环境中之前，可以预先接受一般性知识训练，从而快速适应不同条件；另一方面，成功经验可以通过迁移学习推广到不同环境中。

2.3 植物-机器交互

景观设计师如何开发能够与植物直接互动的工具，以便在城市环境中实现育野？他们或许可以从当前的农业实践和艺术创作这两种模式中汲取经验。精准农业使用传感器监控植物，并利用机械臂在单株植物的尺度上施肥、浇水和收获农产品。许多现代农场已将这些机器纳入日常作业。随着传感技术和机器人技术的不断发展，诸如FarmBot等初创公司开始专注于构建小型自动化园艺系统。[59]精准农业的目标是通过控制植物生长来提高生产力。但这种单一变量系统仅优化了植物作为生命体的某一个方面。在某种程度上，精准农业通过消除植物的"野性"来提高生产率，强调"植物为人所用"。

持续学习过程被更频繁地更新人工智能模型所取代。预计更多持续学习架构和自动更新机制将在近期广泛应用。这要求设计师开发出同等的概念框架，使其具备足够的灵活性和适应性，以便在实践中融入这些技术。

遗传算法的灵感来自自然选择过程：亲代中最优秀的特质会在子代中得到保留。使用遗传算法进行训练时，亲代代表一组随机策略，其中最有效的策略会被保留。在下一代中，可以引入变异，使保留下来的策略更加多样化，并部署一组更新后的新策略。反复进行这一选择与突变过程，可以提升算法的性能。在环境管理中，不应寄望于某个复杂模型包办所有艰巨工作，一次性计算出策略。相反，可以设想许多分布式智能体分别实施渐进式干预，并共享知识、共同进化。相关研究中有许多实例。Romu 是一种机器人，通过将互锁钢板桩打入地下建造拦沙坝，从而防止侵蚀并促进干旱地区的地下水补给。[54]RangerBot 是一种基于视觉的水下机器人，能够识别并杀死以珊瑚为食的海星，同时监测珊瑚礁健康状况和水质，从而保护大堡礁。它依靠机器学习和计算机视觉，在水下识别有害海星。[55] 这些机器人可以作为机器学习智能体不断进化并发展策略的分布式"身体"。

Gonzalez 推测，一个身体可以将成功的策略传递给其他身体。这需要借助人工智能研究中的一种技术——迁移学习，即一种能够将从一个领域获取的知识迁移到另一个领域的机器学习框架。相关案例[56]~[58] 为设计师带来了启发：一方面，可以在将机器分布到环境中之前，先用有关系统的通用知识对其进行预训练。它们能够快速调适，以适应不同条件。另一方面，成功经验可以加以概括，并应用于其他情境。

2.3 植物—机器交互

景观设计师如何通过开发能够直接与城市环境中的植物互动的工具来培育野性？现有两种模式：一种来自农业，另一种来自艺术。精准农业利用传感器监测植物，并借助机械臂逐株施肥、浇水和收割。许多现代农场已开始将这些机器融入日常实践中。随着传感和机器人技术的发展，初创企业专注于小规模的机器人园艺系统，例如 FarmBot。[59] 精准农业的目标是操控植物，以提高生产力。它是一种单一变体系统，只优化植物生命的某一个方面。从某种意义上说，精准农业通过消除植物的"野性"来提高生产力；植物被用于满足人类需求。

在艺术创作方面，艺术家戴维·鲍温利用智能技术创作装置艺术，进而探索机器与植物之间的关系。他于2007年建造的“植物生长描绘装置”建立了机器与植物之间的反馈系统。鲍温将豌豆苗置于一瓶水培营养液中，并将瓶子挂在垂直扫描仪器上，其他工具还包括一卷纸、喷墨打印机针头和日光灯。该装置为植物提供养分和光照，并通过扫描数据绘制图纸，记录植物生长。装置每24小时完成一次绘图，随后纸卷滚动，开启下一个绘图周期。正如鲍温所述，该艺术装置的绘图结果无法预先确定，因为它可能记录植物的生长，也可能记录植物的死亡和凋零。[60]基于类似原理，鲍温于2009年创作了“生长建模装置”，分别从三个不同的角度扫描植物，再利用3D打印技术每24小时打印植物的形态。新装置不再使用纸卷，取而代之的是一条传送带，每次打印完成后传送带前进约45cm，开启下一个周期。[61]在2019年创作的另一个艺术装置“植物无人机”中，植物开始充当飞行员的角色：鲍温将一株植物安装在无人机中，叶片与电极相连，植物叶片发出的生物电控制无人机的飞行方向。由植物“驾驶”的无人机在夜空中飞行，长时间曝光摄影技术将飞行轨迹记录了下来。[62]

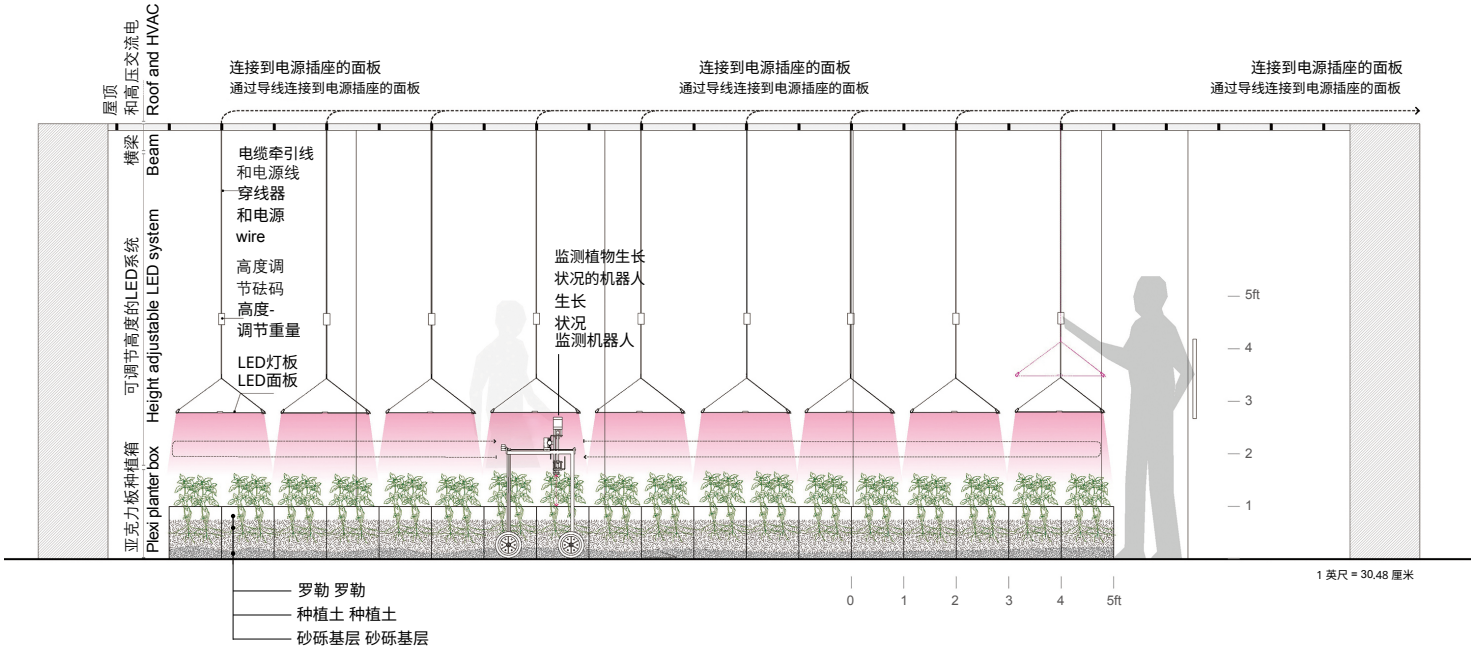
人们通常认为艺术创作仅限于人类。然而，在以上这些艺术装置中，最终生成的绘画、模型及照片并非完全由艺术家或机器决定，而是机器与植物共同创作的作品。鲍温通过破解机器原理，创造全新的系统，让植物发挥能动性，实现植物的自我表达和艺术创作。

上述案例表明，智能系统的开发可以绕开“控制”和“优化”这两个概念。来自弗吉尼亚大学的设计师开发了一个名为“算法种植平台”的原型设计项目②，平台由机械装置、照明系统和种植槽组成（图4）。机械装置可配备传感器和自定义执行器，直接与植物互动（如修剪和浇水）。该项目旨在构建机器与植物之间松散的耦合关系，而非利用机器促进植物生长。研究团队期望观察植物如何反馈机器的算法管理，以及植物的反馈又如何促使机器适应和调整其

另一个模式体现在艺术领域。艺术家 David Bowen 运用控制论技术创作艺术项目，探索机器与植物材料之间的关系。生长渲染装置（2007）就是这样一个反馈系统：一株豌豆植株被悬置在瓶中的水培液里，瓶子连接着垂直扫描仪、纸卷、喷墨打印头和一盏灯。系统为植物提供养分和光照，并通过绘图记录其生长情况。每隔24小时生成一幅图，然后系统滚动纸卷，开始下一轮绘图。正如 Bowen 所指出的，这件作品的结果并非预先确定，因为它记录的可能是植物的生长、衰败或死亡。[60]基于类似原理，生长建模装置（2009）从三个不同角度扫描植物，并每隔24小时将其3D打印出来。不同于滚动纸卷的方式，传送带会在每次打印后前进约17英寸。[61] 在艺术项目植物无人机（2019）中，Bowen 制作了一架由植物驾驶的无人机：无人机上装载着一株植物，植物的叶片连接着电极。植物叶片释放的生物电成为无人机运动的输入信号。植物在夜空下驾驶无人机，其运动过程则通过长曝光摄影记录下来。[62]

艺术创作通常被认为是人类的努力。然而，在这些项目中，绘画、模型或照片并非完全由艺术家或机器决定；相反，它们是机器与植物共同创作的结果。Bowen 改造了机器并构建了系统，使植物能够表达自我，行使其能动性来创作艺术。

这些案例表明，可以开发出绕过控制与优化的控制论系统。算法培育是弗吉尼亚大学的设计师开发的一个原型设计项目②，它是一个由机械臂支架、照明系统和花盆组成的平台（图 4）。机械臂支架可配备传感器和定制的执行器，以直接与



2 “算法种植平台”由耿百利、罗宾·德里普斯、露西亚·菲尼和张雯菁开发，该项目是弗吉尼亚大学人文学科信息实验室资助的智慧环境小组所开发的5个项目之一。

2 算法培育由 Bradley Cantrell、Robin Dripps、Lucia Phinney 和 Emma Mendel 共同开发。它是智慧环境小组开发的五个项目之一，该小组由弗吉尼亚大学人文信息实验室资助。

© Bradley Cantrell, Robin Dripps, Lucia Phinney, Emma Mendel

4-1

策略。机器和植物之间将形成正反馈回路，共同演生出离轨的行为。由此产生的结果可视为“高度培育的野”，因为其间的管理逻辑并非人类所熟知或易于理解的（图5）。

从概念上讲，算法种植平台介于工程手段（如精准农业）与艺术表达（如鲍文的艺术装置）之间。一方面，该项目并非可产品化的工业原型。目前市场上已有众多类似系统，尤其是在精准农业和机器人种植领域。另一方面，与概念化的艺术表达不同，算法种植平台是一个持续探索的过程，具有实际应用价值。该项目为师生提供了一个聚焦于机器与植物之间相互作用的景观策略测试平台，也值得 designers 进一步在艺术与科学之间展开探索。我们可以将这一项目所采用的方法理解为“后原型开发”：它通过一种全新的框架来解读人们熟知的主流实践，使其变得陌生，进而鼓励人们重新审视这些实践，并探索更多未知领域。

3 结语:迈向技术多样性与机器的“野”

本文认识到荒野概念的多元性，鼓励设计师通过构建“新形式的野”来拓展对 nature 和 wilderness 的认知。设计城市荒野并非要建造看起来“自然”和“野生”的风景，也不是要恢复历史生态格局。本文认为，应当探索不同于仅利用自然过程实施再野化的育野策略：通过促进各种非人类物种和智能机器的自主性，使它们也成为创造景观的积极协作者。基于这一理念，本文探讨了智能机器如何能够有力推动城市环境中野地的构建，并结合科学、工程和景观研究实例，构想了一个在景观和环境实践中探讨机器智能的理论框架。

该框架的核心——“技术多样性”和“机器生态”也是哲学家许煜的关键思想，可以帮助我们反观本文所述案例。许煜认为，物种的多样性是生物间生态关系的基础，因而生态取决于生物多样性[63]。相

4-1. 算法种植平台装备示意图
4-2. 算法种植平台装备实景图

4-1. 算法种植平台装备示意图 4-2. 算法种植平台装备实景图



© Bradley Cantrell, Robin Dripps, Lucia Phinney, Emma Mendel

4-2

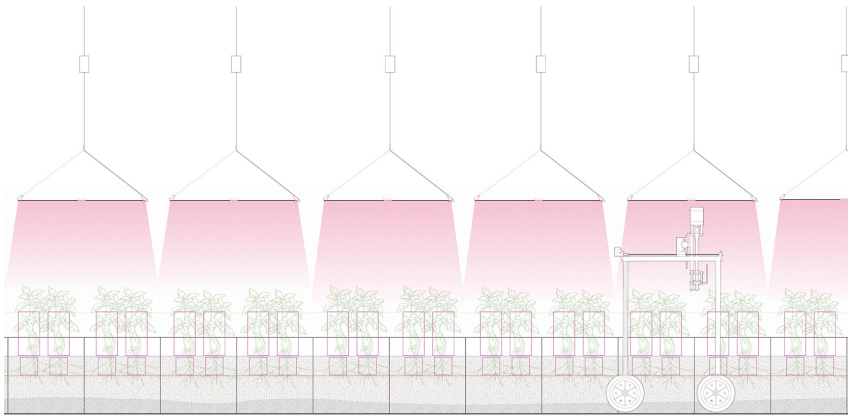
植物，例如修剪和浇水。该项目并非利用机器来优化植物生长，而是旨在建立机器与植物之间松散的耦合关系。团队希望观察植物如何回应算法管理，以及机器又如何开始适应并调适植物的生长。机器与植物将形成正反馈回路，共同产生衍生行为和涌现行为。其结果可谓是高度培育的野性，因为管理逻辑与人类观察者格格不入，且不易理解（图5）。

从概念上看，算法培育介于精准农业等工程方法与Bowen装置作品等艺术表达之间。一方面，该项目并非可作为产品变现的工业原型。市场上已经有许多类似的系统，尤其是在精准农业和机器人农业领域。另一方面，与在概念层面发挥作用的艺术表达不同，算法培育是一项持续进行的实践，带有务实精神。该项目为教师和学生搭建了一个平台，让他们测试侧重于机器与植物互动的景观策略。从这个角度来看，它值得在艺术与科学的交汇处开展进一步探索。该项目所采用的技术可被视为后原型实践，因为它将主流实践去自然化，并在不同的话语体系中重新诠释这些实践，以培育另类认知、揭示尚未探索的领域。

3 结论：迈向机器中的技术多样性与野性

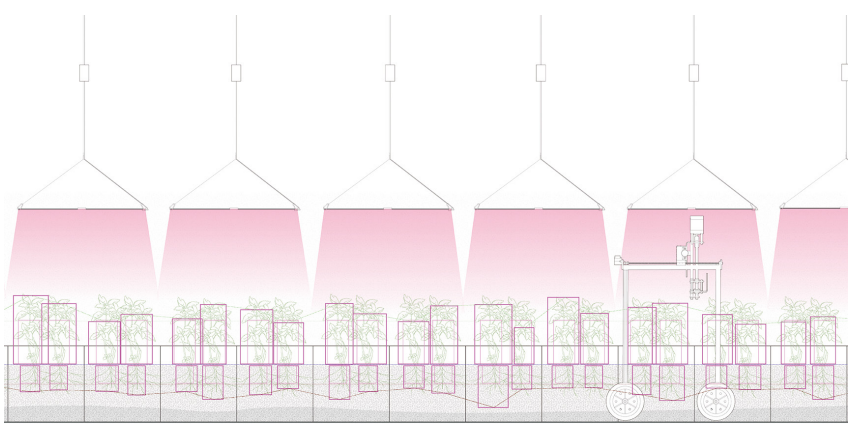
本文承认荒野概念的多元性，并通过构建“新荒野”，挑战设计师拓展对自然与荒野的认知。城市野性的设计并非旨在营造看起来“自然”和“野生”的景观，也不是为了恢复历史生态模式。相反，本文提出了一种不同于单纯依靠自然过程的再野化替代框架。培育的野性代表了一种独特的新型实践，其核心在于促进不同非人类物种以及机器主体的自主性，而它们都是塑造景观过程中积极参与的共同协作者。基于这一理念，本文探讨智能机器如何成为在城市环境中构建野性体验的重要参与者。通过借鉴科学、工程学和景观研究领域的案例，本文构建了一个框架，用于在景观与环境设计实践中对机器智能进行概念化。

这一框架的核心是“技术多样性”和“机器生态”的观念，这两个关键概念出自哲学家许煜的思想，有助于我们反思本文呈现的案例。许煜的生态学观念以生物多样性为基础，因为物种的多样性是生物之间形成生态关系的根基。[63] 因此，“机器生态”有赖于技术多样性。一种技术作为普遍解决方案而不断发展（例如，精准农业成为农业领域的首选方法），意味着其他文化技术遭到淘汰：在精准农业成为



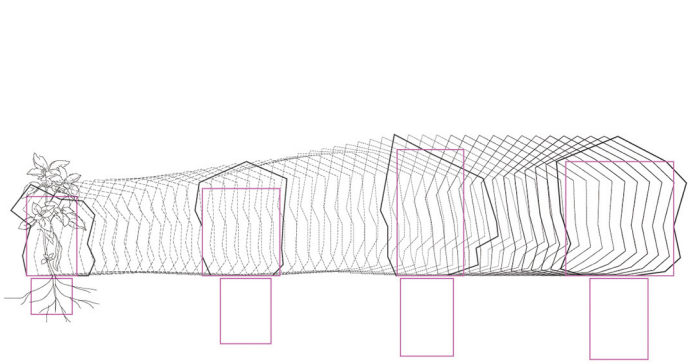
© Bradley Cantrell, Robin Dripps, Lucia Phinney, Emma Mendel

5-1



© Bradley Cantrell, Robin Dripps, Lucia Phinney, Emma Mendel

5-2



© Bradley Cantrell, Robin Dripps, Lucia Phinney, Emma Mendel

5-3

5. 概念图显示，随着时间的推移，不同植物个体对算法培育策略的反馈各不相同，植物形态和株型也呈现出“野性”（紫色方框表示植物的地上部分和地下部分）。

5. 概念图展示了单株植物如何随着时间推移，以不同方式响应算法培育策略，并在形态与结构上表现出野性（图中的紫色方框代表植物的茎梢和根系）。

应的，所谓“机器生态”则取决于“技术多样性”。若将某种技术视为普世方法（如将精准农业作为农业实践的首选手段），便会抹杀其他“文化技术”。这意味着，技术多样性仅存在于精准农业成为主流之前。在这里，技术多样性指通过不同的认知框架来理解同一台机器，而非同一台机器的不同使用方法。尽管当下机器种类繁多，但主流技术发展仍依赖单一的技术框架，即不断追求效率、扩大人类对环境的影响力；这也意味着当前尚未形成“机器生态”。因此，本文通过案例分析，期望在主流技术畅想（实现更好的人为控制）之下，唤起人们对技术多样性的思考。

在某种程度上，育野也意味着意识到机器的“野”（即不受控制）。技术是人类与其他物种和环境建立联系的媒介，但对技术发展的单一愿景禁锢了人们的思想，剥夺了物种之间原本可能形成的互动与联结途径。因此，本文认为，荒野的生物多样性保护离不开对技术多样性的探索，我们应当借助多元的技术与框架，超越狭隘的愿景。

LAF

致谢

感谢审稿人及《景观设计学》编辑部在同行评审过程中给予本文的大力支持。

主流解决方案。技术多样性并非指以不同方式使用机器，而是指运用不同的认知框架来探索机器。尽管存在不同的机器，当代主流技术发展仍然是一种单一文化，只有一种效率优化框架，旨在扩展人类对环境的影响；如今并不存在“机器生态”。本文所呈现的案例，旨在主流技术想象中培育技术多样性意识，而这种想象是围绕人类控制建立起来的。

在某种程度上，培育的野性这一概念也意味着承认机器中蕴含的野性。技术是人类与其他物种及环境建立联系的媒介。然而，对技术发展的单一愿景会助长单一文化路径，抹除物种之间相互联结和互动的其他可能性。因此，保护野地生物多样性的一个重要方面，就是保护技术多样性——保留超越单一愿景、运用工具的不同技术和框架。

LAF

致谢

作者感谢审稿人的积极参与，以及《景观设计学前沿》期刊编辑在同行评议过程中为思想交流提供的支持。

[1] Cronon, W.（1995）。《荒野的困境；或，回归错误的自然》。载于 W. Cronon（编），Uncommon Ground: Toward Reinventing Nature（第1版，第69–90页）。纽约：W.W. Norton & Company。[2] Cronon, W.（编）。（1995）。Uncommon Ground: Toward Reinventing Nature。纽约：W.W. Norton & Company。[3] Eder, K.（1996）。《自然的社会建构：生态启蒙社会学》。千橡市：SAGE Publications。[4] Demeritt, D.（2002）。什么是“自然的社会建构”？一种类型学及其审慎的批判。《人文地理学进展》，26(6)，767–790。https://doi.org/10.1191/0309132502ph402oa[5] Evernden, N.（1985）。自然的建构：环境运动较为阴暗的一面。《北美评论》，270(1)，15–19。[6] Smith, N.（2008）。《不平衡发展：自然、资本与空间生产》（第3版）。佐治亚州雅典：佐治亚大学出版社。[7] Kuhn, T. S.（2012）。《科学革命的结构》。伊利诺伊州芝加哥：芝加哥大学出版社。[8] Bijker, W. E.（2010）。技术是如何形成的？——这正是问题所在！《剑桥经济学杂志》，34(1)，63–76。https://doi.org/10.1093/cje/bep068[9] Bijker, W. E.、Hughes, T. P. 和 Pinch, T.（编）。（1987）。《技术系统的社会建构：技术社会学与技术史的新方向》。马萨诸塞州剑桥：麻省理工学院出版社。[10] Latour, B.（1987）。《行动中的科学：如何追随科学家和工程师穿行于社会之中》。马萨诸塞州剑桥：哈佛大学出版社。[11] Daston, L. 和 Galison, P.（2007）。《客观性》。纽约：Zone Books。[12] Pinch, T. J. 和 Bijker, W. E.（1984）。事实与人工制品的社会建构：或科学社会学与技术社会学如何相互促进。《科学的社会研究》，14(3)，399–441。https://doi.org/10.1177/030631284014003004[13] Loftus, A.（2017）。自然生产。载于 D. Richardson、N. Castree、M. F. Goodchild、A. Kobayashi、W. Liu 和 R. A. Marston（编），《国际地理百科全书》（第1–6页）。新泽西州霍博肯：约翰·威立父子公司。https://doi.org/10.1002/9781118786352.wbieg0289[14] Nye, D. E.（1994）。《美国技术崇高》。马萨诸塞州剑桥：麻省理工学院出版社。[15] Nye, D. E.（编）。（2000）。《景观技术：从收获到回收利用》。马萨诸塞州阿默斯特：马萨诸塞大学出版社。[16] Nye, D. E.（2003）。《作为第二次创造的美国：技术与新开端叙事》。马萨诸塞州剑桥：麻省理工学院出版社。[17] Reuss, M. 和 Cutcliffe, S. H.（编）。（2010）。《虚幻的边界：历史中的环境与技术》。弗吉尼亚州夏洛茨维尔：弗吉尼亚大学出版社。[18] Bell, K.（2020）。《工人阶级环保主义：实现可持续性公正公平转型的行动纲领》。英格兰伦敦：帕尔格雷夫·麦克米伦。[19] Hopson, M.（2011）。荒野神话：美国国家公园模式的失败如何威胁 Iyaelima部落和倭黑猩猩的生存。《环境与地球法学杂志》（EELJ），1(1)，61–102。检索自 https:// lawpublications.barry.edu/ejejj/vol1/iss1/4[20] Freedman, E.（2002）。当原住民权利与荒野发生冲突时：因在明尼苏达州边界水域独木舟荒野区使用机动车辆而遭到起诉的美洲原住民。《美国印第安人季刊》，26(3)，378–392。数字对象标识符：10.1353/aiq.2003.0037[21] Rechciński, M.、Tusznio, J. 和 Grodzińska-Jurczak, M.（2019）。保护区冲突：现状综述，以及一项旨在重新确立地理学作用的综合概念框架提案。《生物多样性与保护》，28(10)，2463–2498. https://doi.org/10.1007/s10531-019-01790-z[22] Ellis, E. C.（2015）。人类世生物圈中的生态学。《生态学专论》，85（3），287-331。https://doi. org/10.1890/14-2274.1[23] Hobbs, R. J.、Higgs, E. S. 与 Hall, C.（2013）。《新型生态系统：介入新生态世界秩序》。新泽西州霍博肯：Wiley-Blackwell。[24] Martin, L. J.、Quinn, J. E.、Ellis, E. C.、Shaw, M. R.、Dorning, M. A.、Hallett, L. M.，……Wiederholt, R.（2014）。世界人类生态群系中的保护机遇。《多样性与分布》，20（7），745-755。https://doi.org/10.1111/ddi.12220[25] Ellis, E. C.（2019）。要在人类世保护自然，仅有半个地球远远不够。《一个地球》，1（2），163-167。https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.009[26] Corlett, R. T.（2016）。变化世界中的生态恢复、重新引入与再野化。《生态学与进化趋势》，31（6），453-462。https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.02.017[27] Svenning, J. -C.、Pedersen, P. B. M.、Donlan, C. J.、Ejrnæs, R.、Faurby, S.、Galetti, M.，……Vera, F. W. M.（2016）。迈向更具野性的 Anthropocene 的科学：营养级再野化研究的综合与未来方向。《美国国家科学院院刊》，113（4），898-906。https://doi.org/10.1073/ pnas.1502556112[28] Cantrell, B.、Martin, L. J. 与 Ellis, E. C.（2017）。《自主性设计：人类世中新型野性的机遇》。《生态学与进化趋势》，32（3），156-166。https://doi. org/10.1016/j.tree.2016.12.004[29] Harman, G.（2018）。《面向对象本体论：万物新理论》。英国伦敦：企鹅英国。[30] Morton, T.（2007）。《没有自然的生态学：重新思考环境美学》。马萨诸塞州剑桥：哈佛大学出版社。[31] Morton, T.（2016）。《黑暗生态学：未来共存的逻辑》。纽约：哥伦比亚大学出版社。[32] Bryant, L. R.（2014）。《本体制图学：机器与媒介本体论》。英国爱丁堡：爱丁堡大学出版社。[33] Haraway, D.（2010）。物种相遇：与困境共处。《环境与规划D：社会与空间》，28（1），53-55。https://doi.org/10.1068/d2706wsh[34] Bennett, J.（2010）。《活力物质：事物政治生态学》。北卡罗来纳州达勒姆：杜克大学出版社。[35] Houston, D.、Hillier, J.、MacCallum, D.、Steele, W. 与 Byrne, J.（2018）。建立亲缘，而非城市！规划理论中的多物种纠缠与“成为世界”。《规划理论》，17（2），190-212。https://doi.org/10.1177/1473095216688042[36] Prominski, M.（2014）。《安景观：人类世中景观建筑的自然与文化概念》。《景观建筑学杂志》，9（1），6-19。https://doi.org/1 0.1080/18626033.2014.898819[37] Cantrell, B. 与 Holtzman, J.（2016）。《响应性景观：景观建筑中响应性技术的策略》。英国米尔顿：劳特利奇。[38] Reed, C. 与 Lister, N. -M.（编）（2014）。《投射性生态学》。纽约：Actar。[39] Klosterwill, K.（2019）。动物在景观理论中的位置变迁。《景观杂志》，38（1-2），129–146。https://doi.org/10.3368/lj.38.1-2.129[40] Robinson, A. 与 Davis, B.（2018）。从解空间到界面。载于 B. Cantrell 与 A. Mekies（编），《编码化：景观建筑中的参数化与计算设计》（第155-168页）。英国伦敦：劳特利奇。[41] Meyer, E. K.（2008）。维系美。表象的表现：三部分宣言。《景观建筑学杂志》，3（1），6-23。https://doi.org/10.1080/18626033.2008. 9723392[42] Meyer, E. K.（2017）。超越“维系美”：关于一份宣言的随想。载于 M. E. Deming（编），《景观中的价值》建筑与环境设计：在理论与实践中寻找中心（第30-53页）。美国路易斯安那州巴吞鲁日：路易斯安那州立大学出版社。[43] Silver, D., Schrittwieser, J., Simonyan, K., Antonoglou, I., Huang, A., Guez, A., ... Hassabis, D. (2017). 无需人类知识掌握围棋。Nature, 550(7676), 354-359. https:// doi.org/10.1038/nature24270[44] Vinyals, O., Babuschkin, I., Czarnecki, W. M., Mathieu, M., Dudzik, A., Chung, J., ... Silver, D. (2019). 运用多智能体强化学习达到《星际争霸II》宗师级水平。Nature, 575(7782), 350-354. https://doi.org/10.1038/s41586-019-1724-z[45] Saliba, S. M., Bowes, B. D., Adams, S., Beling, P. A., & Goodall, J. L. (2020). 利用不确定数据进行深度强化学习，实现实时雨洪系统控制与洪水缓解。Water, 12(11), 3222. https://doi.org/10.3390/w12113222[46] Bowes, B. D., Tavakoli, A., Wang, C., Heydarian, A., Behl, M., Beling, P. A., & Goodall, J. L. (2020). 运用实时雨洪基础设施控制与强化学习缓解沿海城市集水区洪水。Journal of Hydroinformatics, jh2020080. https://doi.org/10.2166/hydro.2020.080[47] 南佛罗里达水资源管理区。（无日期）。取自 https://www.sfwmd.gov/[48] OptiRTC公司。（无日期）。优化雨洪管理。取自 https://optirtc.com/[49] 赛莱默。（无日期）。取自 https://www.xylem.com/en-us/[50] Estrada, L. (2016). 原型设计。Towards SentienceTM：调适洛杉矶河的河流形态学。取自 https://towardssentience.com/prototyping[51] Estrada, L. (2018). 走向感知。在 B. Cantrell, & A. Mekies (编)，《编码化》：景观建筑中的参数化与计算设计（第279-288页）。英国伦敦：劳特利奇。[52] Ramirez Gonzalez, R. J. (2016). 为拥有众多身体的心智而设计：冰冻圈中的控制论微干预（硕士论文，麻省理工学院）。取自 https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/106370[53] Parisi, G. I., Kemker, R., Part, J. L., Kanan, C., & Wermter, S. (2019). 神经网络的持续终身学习：综述。Neural Networks, (113), 54-71. https://doi.org/10.1016/ j.neunet.2019.01.012[54] Melenbrink, N., Rinderspacher, K., Menges, A., & Werfel, J. (2020). 用于机器人建造的自主锚定。Automation in Construction, (120), 103391. https://doi. org/10.1016/j.autcon.2020.103391[55] 大堡礁基金会。（无日期）。RangerBot。取自 https://www.barrierreef.org/what-we-do/projects/rangerbot[56] Brown, T. B., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J., Dhariwal, P., ... Amodei, D. (2020). 语言模型是少样本学习者。ArXiv:2005.14165 [cs.CL]. 取自 http:// arxiv.org/abs/2005.14165[57] Chen, T., Murali, A., & Gupta, A. (2019). 用于多机器人迁移学习的硬件条件策略。ArXiv:1811.09864 [cs. RO]. 取自 http://arxiv.org/abs/1811.09864[58] Barekatain, M., Yonetani, R., & Hamaya, M. (2019). MULTIPOLAR：在不同环境动态之间进行迁移强化学习的多源策略聚合。ArXiv:1909.13111 [Cs.LG]. doi:10.24963/ijcai.2020/430. 取自 http://arxiv.org/abs/1909.13111[59] FarmBot | 开源数控农业。（无日期）。取自 https://farm.bot/[60] Bowen, D. (2007). 生长渲染装置。取自 https://www.dwbowen.com/growth-rendering-device[61] Bowen, D. (2009). 生长建模装置。取自 https://www.dwbowen.com/growth-modeling-device[62] Bowen, D. (2019). 植物无人机。取自 https://www.dwbowen.com/plantdrone[63] Hui, Y. (2020). 机器与生态。Angelaki, 25(4), 54-66. https://doi.org/10.1080/0969725X.2020.1790835.