平行夏尔希里：生态资源智能管护及其可持续发展新途径

皮佩定[1]，倪清桦[2,3,4]，杨静[3,5]，康孟珍[3,5]，李宣昊[6]，杜应昆[7]，王飞跃[2,3,5]

（1. 格拉斯哥大学社会与政治科学学院，英国 苏格兰 G12 8QQ；
2. 澳门科技大学创新工程学院工程科学系，澳门 999078；
3. 中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室，北京 100190；
4. 青岛智能产业技术研究院，山东 青岛 266109；
5. 中国科学院大学人工智能学院，北京 100049；
6. 不列颠哥伦比亚大学土地与食品系统学院，加拿大 温哥华 10027；
7. 新疆博尔塔拉蒙古自治州人民政府，新疆 博州 833412）

摘　要：新疆夏尔希里自然保护区是一处珍稀生物资源与无法估量的生态价值共融的自然瑰宝，被誉为“中国最后的净土”和“珍稀的天然基因库”。为确保这一自然宝库的可持续发展，提出了“平行夏尔希里”概念，以智能化手段全方位助力其生态资源的精细化管理。核心思想是利用描述智能建立高精度模型，通过预测智能分析生态系统变化，借助引导智能科学地制定保护策略。探索了通过智能科技建立自然保护区管理与应用的新模式，以期推动保护区及其珍贵生物资源的可持续发展。

关键词：生态系统；夏尔希里；平行系统；平行智能；CPSS；ACP；智能管理；可持续发展
中图分类号：TP39
文献标志码：A
doi: 10.11959/j.issn.2096−6652.202325

Parallel Sharhili: a new approach to sustainable development and intelligent management of ecological resources

PI Peiding[1], NI Qinghua[2,3,4], YANG Jing[3,5], KANG Mengzhen[3,5], LI Xuanhao[6], DU Yingkun[7], WANG Fei-Yue[2,3,5]

1. School of Social & Political Sciences, The University of Glasgow, Scotland G12 8QQ, the United Kingdom
2. Department of Engineering Science, Faculty of Innovation Engineering, Macau University of Science and Technology, Macau 999078, China
3. State Key Laboratory for Management and Control of Complex Systems, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China
4. Qingdao Academy of Intelligent Industries, Qingdao 266109, China
5. School of Artificial Intelligence, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China
6. Faculty of Land and Food Systems, University of British Columbia, Vancouver 10027, Canada
7. The People’s Government of Bortala Mongolian Autonomous Prefecture, Bortala Mongolian 833412, China

Abstract: Sharhili Nature Reserve is a natural treasure which enjoys both rare biological resources and incalculable ecological value, and it is known as “China’s last pure land” and “rare natural gene pool”. To ensure the sustainable development of this natural treasure, this study proposes the concept of “Parallel Sharhili”, which comprehensively assists in the precise management of ecological resources through intelligent means. The core idea involves utilizing “artificial systems” for description to build high-precision models, “computational experiments” for prediction to analyze ecosystem changes, and “parallel execution” for prescription or control and management to scientifically formulate conservation strategies. This study explores an intelligent management model for nature reserves, aiming at promoting the sustainable development of the reserve and its precious biological resources.

收稿日期：2023−08−07；**修回日期：**2023−08−19
通信作者：倪清桦，3230001810@student.must.edu.mo
基金项目：国家自然科学基金项目（No.61533019，No.62076239）
Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (No.61533019, No.62076239)

Key words: ecosystem, Sharhili, parallel system, parallel intelligence, CPSS, ACP, intelligent management, sustainability

0 引言

夏尔希里位于中华人民共和国新疆维吾尔自治区博尔塔拉蒙古自治州的北部，靠近中华人民共和国与哈萨克斯坦共和国的国界，是一个占地超过300平方公里的自然保护区。夏尔希里自然保护区长期以来很少受到人类活动的干扰，使得其原始的自然状态和丰富的生态资源得以保留，被誉为“中国最后的净土”和“珍稀的天然基因库”。

夏尔希里自然保护区集森林、草原、湿地等多种生态系统于一体。几十年来，科学家们对其进行了广泛的生态调查和研究，揭示了这片地区丰富的植物区系、珍稀的动植物物种以及复杂多样的生态系统[1-7]。但该保护区也存在着由气候无常、生物链失衡等造成的寒潮、干旱、雪灾等各种自然灾害，这不仅会对保护区的生态和经济价值造成损害，还会给区内人员的生命安全带来威胁。同时，夏尔希里周边地区主要以传统的牧业为主，生产力水平相对较低，经济发展滞后。随着周边居民人数的不断增加，保护区外自然环境承载力达到一定限度，保护区内的生态保护将面临巨大压力。2015年出台的《关于加快推进生态文明建设的意见》提出“坚持绿水青山就是金山银山”这一发展理念，将生态重要性以及环境保护与经济发展之间的紧密关系引入公众视野。国家西部大开发加大对生态环境建设的投入，也使得保护区的建设备受关注。这不仅将增加对劳动力的需求，解决当地人民的就业问题，还能提升人民的收入水平。因此，保护区的管理任务不仅涉及生态资源的保护，还应当带动周边地区的经济发展。

随着元宇宙、AlphaGo、ChatGPT等技术的快速发展，智能管理逐渐成为各个领域的追求与应用的焦点[8-17]。然而，保护区不仅具有生态脆弱性和多样性，其管理还涉及社会和工程复杂性。这要求社会、物理和信息这三维空间内的各种资源能够有机整合，科技与生态保护相结合，以实现夏尔希里自然保护区的高效管理和统筹规划[18-19]。中国科学院自动化研究所王飞跃研究员于2004年提出的平行系统理论，作为一种实现复杂系统管理与控制的统一框架[20-21]，为解决这一问题奠定了理论基础，其核心思想是包括人工系统（artificial systems，A）、计算实验（computational experiments，C）和平行执行（parallel execution，P）的ACP方法[9]。该理论以社会物理信息系统（cyber-physical-social systems，CPSS）[22]为基础设施，整合和建立描述智能、预测智能和引导智能，将物理系统的不确定性、多样性、复杂性（uncertainty，diversity，complexity，UDC）转换成智能系统的灵捷、聚焦、收敛（agility，focus，convergence，AFC），实现复杂系统中各种问题的求解。

本文以平行系统理论为指导，将多种智能技术融入夏尔希里的管理和保护中，建立平行夏尔希里的基本框架，以提高管理效率，保护人员安全，实现绿水青山和金山银山的双向转化。具体而言，描述智能能够全面感知和虚拟构建，为决策提供精准的数据支持；预测智能则对未来气候变化、植被演替、动植物数量变化等进行科学预测，帮助管理者制定科学合理的生态资源管理策略；引导智能的实时优化和持续迭代，使夏尔希里自然保护区的生态系统管理得以持续改进和优化，以应对日益复杂的挑战。

1 夏尔希里生态资源现状

夏尔希里自然保护区作为一个珍贵的生态宝库，拥有丰富的动植物资源和多样的生态系统。接下来，将从动植物资源、气候资源以及旅游开发和宣传教育3个方面，介绍保护区的资源现状和保护措施。

在动植物资源方面，夏尔希里自然保护区内栖息着多种珍稀动物，包括一级保护动物6种、二级保护动物30种，以及其他珍稀物种若干。然而近年来，随着人类活动的不断增加，动物的生境逐渐受到威胁，一些珍稀物种数量锐减，甚至濒临灭绝。在植物方面，保护区内涵盖了森林、草原、草甸、内陆湿地和荒漠等多样的生态系统，植被种类繁多，生态系统保持着原始的平衡状态，呈现出自然原生态的特征（如图1所示），具有重要的科研价值。然而，复杂多变的气候变化以及病虫害可能对植物种群造成严重的危害。针对动植物保护面临的问题，保护区采取了多种措施，包括设立多处保护站、配备工作人员和季节性管护员、加强巡护和

监测工作、增大义务救助力度、开设专门的野生动物迁徙通道等。



图1　夏尔希里自然保护区原生态山花群落

在气候资源方面，夏尔希里自然保护区地形种类繁多、地势高差悬殊，导致气候复杂多变。其中，降水、光照、风作为保护区内主要的气象影响因素，成为了保护区生存、发展的主要资源和条件。然而，当这些因素超过一定限度时，可能会形成气候灾害。寒潮就是保护区内经常发生的灾害性气候之一，这种现象主要是由北方强冷空气频繁侵袭引发的大规模冷气活动，往往会威胁到野生动物繁殖和采食，也对植物造成冻害，给保护区造成巨大损失。干旱几乎每年都会发生，主要归因于春季降水稀少，大气持续干燥，再加上河水汛期未到，致使土壤干旱现象加剧，进而影响植物生长发育，最终引发生态系统中的连锁反应，对野生动物的生存构成威胁。雪灾发生频率为三年一次小灾，十至十二年一次大灾，后者会致使保护区短期内难以恢复，大量积雪掩埋草场（如图2所示）、摧毁林木，使得野生动物觅食困难，对动物过冬构成了威胁。暴雨突发，表现为降雨强度大、持续时间短、覆盖范围有限，一旦发生，极易引发山洪现象，冲毁河床、道路和林木等，进而导致水土流失，甚至在局部地区形成泥石流。为防治气候灾害，保护区根据气象灾害实况进行记录，总结归纳了各类气象灾害发生的频率、多发时间、地点、特点等，并建设了多处区域性自动气象站，完成了气象预报监测管护设施投入。值得一提的是，虽然目前林火在保护区发生0起，但由于其高破坏性的特点，保护区依然对林火的防护高度重视，建设了防火监测管护设施，加强了对关键环节防火隐患排查，并对进出保护区的人员进行严格审查，严禁携带火源。



图2　夏尔希里自然保护区内积雪掩盖草场[23]

在旅游开发和宣传教育方面，专业团队经过实地考察与综合评估，认为保护区拥有丰富的优质资源，具备旅游发展潜力。基于此，保护区规划，通过合理的开发利用策略发展生态旅游（如图3所示）。重点就旅游对保护区植物、动物、水环境的影响程度进行了测定分析，明确生态可容忍的干扰程度和保护区旅游容量，以保证旅游区的生态平衡。同时，还强调提高公众环境意识，确保旅游业的可持续发展和资源的持续利用。目前，保护区环保宣传教育的受众集中在保护区周边的村户，主要通过派发宣传单、走村入户进行面对面宣传、树立标语牌等宣传方式达到教育目的。

保护区现已采取了一系列措施来保护夏尔希里



图3 夏尔希里自然保护区生态景色

的动植物资源、预防气候灾害以及推动旅游发展和宣传教育。然而，目前主要措施依赖人力，效率低下、工作效果难以评估，并且可能会对人员的生命安全造成威胁。这种状况限制了旅游和教育的发展，也难以推动周边地区的经济增长。因此，为提高保护区管理效率，降低人力投入和人员生命安全风险，保护区需充分应用智能技术。

2 平行夏尔希里的管理挑战

夏尔希里拥有丰富的野生动植物资源以及复杂多样的景观和气候资源，具有发展旅游、教育和科研的潜力，但同时也面临着雪灾、寒潮、干旱、洪水、泥石流、火灾、病虫害等自然灾害的威胁，这不仅损害保护区的生态价值和经济价值，也会危及保护区工作人员和游客的生命安全。因此，亟需实现夏尔希里的智能化管理，这里主要涉及两方面的内容。一是如何保护夏尔希里目前所拥有的各种生态资源。这涉及对保护区的具体方面进行感知、建模和预测，使用传感和监控技术实时收集自然保护区内的各项数据，以便进行预测性保护和灾后生态修复，提前消除各种潜在的威胁，提高保护区的灾后恢复能力。二是如何在不破坏保护区生态的同时，带动周边地区的经济发展，真正实现将绿水青山转化成“金山银山”。这必然要对保护区的各项承载力进行准确的评估，例如保护区每天适合接待的游客数量和设施建设是否会对保护区内植被和动物迁徙造成不良影响等。因此，对周围民众的环保教育和宣传也是必不可少的，这将会创造更多的岗位，从而解决周边民众的就业问题。但目前夏尔希里的开发程度低，人类很少涉足，生态保护基本依赖于守林人巡逻和基于图片视频的环保宣传，工作效率低、宣传范围小、效果透明度低。

随着通信、计算、控制等智能技术的迅猛发展，人工智能、区块链以及包含遥感（RS）、全球定位系统（GPS）和地理信息系统（GIS）的3S技术等已被逐渐应用于生态保护领域。这些技术不仅能够实现系统化、实时化、可视化的生态环境监测，还能够帮助制定数字化、智能化、透明化的生态保护和修复方案。目前，这些技术在其他保护区获得了相对有效的应用。钟静等人针对我国自然保护区的特点，设计并开发了基于WebGIS的全国自然保护区信息系统，其中，结合长短期记忆（long short-term memory，LSTM）网络和ResNet卷积神经网络模型，该系统可自动识别动物关键信息，预测动物迁徙轨迹[24]。王欢等人表明物理围栏对野生动物的生命造成威胁，为了防范盗采、偷猎、盗伐等违法行为，设置包括4G视频监控、IP广播音柱、无线信号探测器、电子界桩等设备的电子围栏系统是一种可行的方法[25]。Sun等人选取北亚热带典型的阔叶林作为研究对象，根据地面调查数据和高精度遥感影像，设计基于机器学习算法的阔叶林地上生物量预测模型，分析阔叶林生物量随时间的变化，定量揭示影响生物量的关键气候因素，为评估该生态系统的稳定性提供科学依据[26]。Wang等人将神经网络应用于湿地遥感图像分类，以便更好地对湿地及其周边土地利用类型进行动态监测[27]。邹珮雯等人以赛罕乌拉国家级自然保护区为例，基于最小累积阻力模型和PLUS模型，从点、线、面3个维度构建生态安全格局，预测景观生态风险变化并对各区提出风险管控措施[28]。然而，我们无法预先评估这些技术以及各种政策措施对生态环境产生的影响。特别是由于自然保护区中生态系统的脆弱性和复杂性，演化往往是不可重复和不可逆转的。贸然将这些手段应用于实际环境可能造成无法承担的生态后果和经济损失。因此，如何对自然保护区进行智能化、可信化和可靠化的管理与保护，是实现其生态平衡和可持续发展的重要挑战。

平行智能作为一种新型复杂系统管理与控制框架，为解决上述问题提供了可行方案。基于该框架，平行传感[29]、场景工程[30]、数字孪生和元宇宙[22]等技术将被用于建立一个数字夏尔希里，以便对未来气候、环境等的变化进行推演。此外，借助大模型、知识图谱等工具[31]可在数字夏尔希里中布置各种环保和开发措施，并通过计算实验来分

析各种方案的演化方向，以评估实施的可行性和有效性。数字夏尔希里和实际夏尔希里平行执行，使得实际夏尔希里朝着数字夏尔希里的方向趋近。值得强调的是，通过虚拟现实等技术[32]，人们可以身临其境地感受夏尔希里的美丽风光或乱砍乱伐导致的生态崩溃模拟场景。这种沉浸式体验将更为深刻地向人们展示环境破坏的后果，有助于实现生态保护方面的深刻教育，达到宣传的效果。通过这些前沿技术，保护区的管理与可持续发展有望实现协同增效，进一步促进生态保护与社会经济可持续发展的良性互动。

3　平行夏尔希里

平行系统以ACP为核心方法，连接人工系统与实际系统，对现实与虚拟世界中的行为进行比较和分析，并通过“借鉴”与“预估”[33]各自未来的状态，实现对实际系统的引导，使其持续朝着目标状态发展、演化，完成有效的管理[34-35]。基于平行系统和ACP方法的研究为复杂系统的控制和管理提供了新的视角和方法，有助于实现系统的持续优化和智能化发展。针对实际系统难以建模、难以预测的问题，ACP通过构建人工系统进行计算实验，得到优化的人工系统管理控制策略，为实际系统提供参考。人工系统和实际系统相互影响，不断地进行迭代优化和平行执行[36]。

目前，平行系统已经在交通控制[12]、应急疏散[8]、艺术创作[15-16]、网络安全[13]、医院管理[14]、生产制造[36-37]、农业管理[38]等领域成功应用，利用应用场景中的人工系统和实际系统进行虚实互动、迭代优化和平行执行，提高实际系统的应用效果。平行系统与ACP方法的应用，能够为夏尔希里自然保护区的管护提供强有力的工具，从而推动保护区发展、推进可持续发展目标的实现。为满足新时代下夏尔希里自然保护区的管理需求，本文以平行系统与ACP方法为指导框架，提出了发展智能夏尔希里的建设思路，即平行夏尔希里。平行夏尔希里的目标在于实现从传统系统到虚实结合系统的跨越，满足夏尔希里自然保护区管护的科学性发展需要。

平行夏尔希里由实际夏尔希里与数字夏尔希里组合而成，主要目标是升级夏尔希里自然保护区的生态保护，实现生态价值的全面评估与可综合量化。数字夏尔希里为保护区提供一个模拟平台，可快速测试各类管护策略，并在综合评估后提供最佳的生态保护方案，引领现实保护区的生态管护工作走上更准确、科学的道路。基于平行系统和ACP方法的平行夏尔希里的理论框架如图4所示。

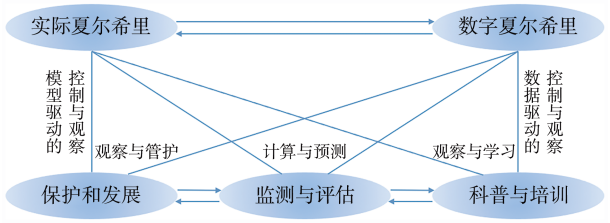


图4　平行夏尔希里的框架

3.1　描述智能

描述智能是实现平行夏尔希里构想的首个关键环节，主要任务是为保护区建立一个全面且高度精确的虚拟模型，即数字夏尔希里。在动植物资源保护、气候灾害防护、旅游开发与宣传教育等方面，描述智能通过广泛而深入的信息收集和融合处理，实现对夏尔希里的透彻感知，从而达成智能夏尔希里的全面互联。

在动植物资源保护和气候资源管理方面，描述智能对自然保护区的生态特征和生态过程进行全面感知和虚拟构建。借助遥感技术[39-40]、地理信息系统[41-42]、无人机[43]等手段，描述智能记录保护区内动植物的种类、数量和分布，水资源的分布和气象情况，实现高精度的三维扫描和建模。通过传感器网络和监测设备，描述智能实时监测区域内植物生命体征、气候、水资源和动物活动等要素，及时获取最新生态数据，以此保障数字夏尔希里的建模实时性。针对动物保护，描述智能利用野外调查数据采集、DNA测序等技术，快速获取大量的生物信息，对濒危物种、重点保护物种等实施监测和保护。

在旅游开发与教育宣传方面，描述智能根据已收集的包括动植物与气象资源在内的生态资源的数据和信息，利用大模型、知识图谱等技术[31]在数字夏尔希里中布置开发与环保措施，完成包含虚拟旅客的数字夏尔希里的构建，实现“人在回路”的闭环反馈。描述智能也将通过虚拟现实等技术[32]，打造身临其境的虚拟景观，引导旅客和周边村户居民亲身感受自然之美，同时宣传环境保护的重要性。

作为构建平行夏尔希里体系的基石，描述智能

凭借现代科技手段将真实世界的复杂信息转化为可处理的数据，构建一个以引导实际夏尔希里为目标的虚拟模型。模型实时接收和更新来自各方面的数据，为整个平行夏尔希里体系提供了数据支撑。平行夏尔希里的高度动态性和适应性，不仅为保护区管理提供了准确有效的信息支持，也为后续的预测智能和引导智能奠定基础。

3.2 预测智能

预测智能利用描述智能构建的虚拟模型和大量的环境数据（例如，水体分布、气候变量、植被覆盖度和生物种群数量等）对夏尔希里自然保护区生态系统未来的各项变化进行计算实验。这不仅为事件推演和趋势预测提供了可能性，也为保护区的科学管理和决策提供了精确和科学的参考。

生物多样性是夏尔希里自然保护区特别重要的保护内容之一。预测智能将重点关注保护区内的濒危物种、重点保护物种的数量变化趋势。结合采集的生物信息和历史时序数据，预测智能将利用机器学习等算法分析各种现象形成的原因，计算未来演化的可能。例如，分析某濒危物种在保护区中消失的原因，预测该物种未来的种群密度变化。基于这些预测结果，管理者制定相应的动植物保护及管理政策。预测智能将这些政策应用于数字夏尔希里，并基于潜在规律推断对动植物种群变化的影响，为最优策略的选择提供科学的参考。

预测智能还可以利用气候模型和历史气候数据，推演保护区中每个区域未来的气候变化，涉及温度、降水量、光照等各种气象指标。通过对气候模式的分析和预测，管理者可以更好地了解未来气候环境变化的趋势和原因，为可能发生的气候灾害制定最佳的应对策略，减少对保护区中生态资源的破坏，保障工作人员的生命安全。大模型可以提高气象预测的准确性。例如，华为云盘古气象大模型[24]可精准预测细粒度气象特征，包括位势、湿度、风速、温度、海平面气压等，计算速度相对于传统数值方法提升超过 10 000 倍。

另外，通过对动植物演化和气候变化的预测，预测智能可以计算出最合适的参观区域，还可根据生态可承载量来预测未来每天能够招待的旅客数量，为旅客提供最满意的服务。此外，预测智能可根据种群分布为科研人员推荐最适合当前课题的区域，供科研人员实地考察，还可通过监测手段在虚拟模型中显示科研人员所需的数值变化，辅助科研人员进行相关分析。预测智能能够在数字夏尔希里中模拟各种自然灾害，实现更生动的教学效果。

值得注意的是，预测智能不仅可以基于现实情况预测系统未来的变化方向，也可修改过去的某个节点，按照系统运行逻辑推断未来的演化方向。由此可见，数字夏尔希里不仅仅是实际夏尔希里的高保真映射，还将是现实的另一种选择。预测智能在各种可能的现实场景中挖掘各种因素的潜在联系，评估各种管控方案，以此获得丰富的保护与发展经验。

3.3 引导智能

平行夏尔希里的最终目标是通过数字夏尔希里的构建和模拟推演，引导实际夏尔希里的生态保护和资源开发，在可持续发展的前提下引领周边地区经济的发展和繁荣。引导智能借助预测智能提供的事件案例的推演结果，制定相应的保护与发展政策，以虚实交互的方式实现实际夏尔希里系统的闭环反馈与实时优化。图 5 展示了引导智能在平行夏尔希里中的作用。

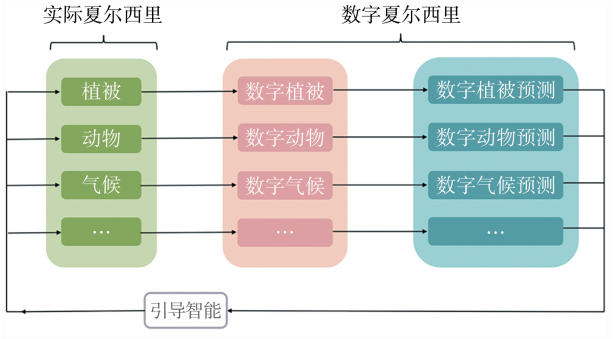


图5 引导智能在平行夏尔希里中的作用

在动植物资源保护方面，基于预测智能推演啮齿类动物、食虫动物、有蹄类动物等的密度变化，引导智能选取合适的手段控制害兽的种群密度，避免食物链失衡造成的鼠害、蝗灾等，实现森林、草地中各种植被的可持续生长。另外，引导智能根据动物迁徙路线建议工作人员灵活开设季节性野生动物迁徙通道，保证动物迁徙途中的安全。若描述智能检测到偷猎、偷伐等违法行为，引导智能将根据预测智能制定的最优抓捕路线，引导管理人员快速抓获违法人员，以保护珍稀动植物种群的安全。

在气候灾害防护方面，根据预测的气温、降水等因素的变化，引导智能会提前使用人工增雨、人工消云减雨、人工防雹等科技手段干扰天气变化，

以避免洪水、干旱等气候灾害。对于无法提前避免的气候灾害，引导智能不仅可以选取最佳方案设立野生动物防护点和给饲点，还能引导医护人员前往受伤或患病的动物所在处，并提供相应的救治。另外，对于气候、植被或者人类活动引发的火灾，引导智能可提前演练多种防火和补救措施，在火灾前做好防护工作，在火灾发生后能够快速扑灭火源。

在教育、旅游开发方面，引导智能通过虚拟现实等技术模拟夏尔希里的美丽风光或生态崩溃的场景，使人们在不进入保护区的情况下拥有身临其境的体验，从而增强周围居民的生态保护意识。另外，引导智能可根据预测智能计算的旅客承载量，控制每天进入保护区的游客数量，还可根据旅客的需求推荐游览路线，从而推动旅游的可持续发展和资源的永续利用。

引导智能借助虚拟系统收集的实时数据和对事件的推理计算，根据当前生态系统的实际状态，选择并应用最合适的管理策略。这种引导涵盖气候变化、植被演替、野生动物种群数量和分布变化、人类活动等方面。在管控中，引导智能将实际系统的各种状态及变化传送到虚拟系统，优化系统的建模。随着建模精确度的提高和外部环境的变化，引导智能能够及时优化和调整当前的实施方案，使系统在应对不可预料的外部扰动时具有良好的鲁棒性。在平行夏尔希里系统中，描述、预测、引导不断循环迭代，实现虚拟世界与现实世界之间的反馈和闭环，引领保护区的生态保护工作和管理决策走上更准确、更科学的道路。

4　总结与展望

本文以平行理论与ACP方法为指导框架，提出平行夏尔希里的概念，旨在通过虚拟模型的构建与智能引导，推动夏尔希里自然保护区的生态资源保护与可持续发展。在近一年的调研中，研究团队深入夏尔希里自然保护区实地考察（如图6所示），了解保护区的生态特征与管理需求，与多方专家、技术人员跨领域协作，确立了平行夏尔希里的基本框架，为夏尔希里自然保护区的生态资源管护、开发和宣传教育带来新的视角和方法，以期实现保护区的6S目标[44]，即保护区内生态资源的物理安全（safety）、网络世界中监测数据与虚拟模型的信息安全（security）、保护区生态及经济价值开发的可持续性（sustainability）、对气候变化及人类活动的快速响应（sensitivity）、面向人类和动植物的个性化服务（service）以及保护区的智能管理与开发（smartness）。



图6　调研团队在夏尔希里拍摄的地标碑铭

随着人工智能、元宇宙等技术的不断进步，更精细的数据收集方法和更广泛的适用场景是未来的研究方向。智能生态管理体系的不断完善和扩展，将推动平行夏尔希里构想达到更高水平，为实现生态保护与可持续发展目标做出更大贡献。通过跨学科交流与合作，平行夏尔希里构想有望成为生态保护与可持续发展的范例，为推动绿色、美丽、可持续发展的生态文明建设贡献力量。

致谢：感谢刘忠民院长和吕宜生研究员实地参与自2022年7月16日以来在夏尔希里自然保护区开展的调研工作，两位老师的深入调查为本研究提供了重要的信息支持。同时，也衷心感谢当地有关部门，特别是夏尔希里自然保护区管理站的大力支持，他们为团队的调研提供了必要的资源和保障。文中未注明资料来源的图片均为调研团队和作者团队拍摄、绘制。

参考文献：

[1] MA C L. The study on estimation of vegetation NPP of Xiaerxili nature protection area based on RS[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2011, 23(3): 323-327.

[2] 宿莉娜, 毋兆鹏. 夏尔西里自然保护区土壤重金属空间分布特征及其评价[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2018, 49(2): 278-281.
SU L N, WU Z P. Spatial distribution characteristic and evaluation of soil heavy metals in Xarxili Natural Reserve[J]. Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition), 2018, 49(2): 278-281.

[3] 许兴斌, 焦黎, 王勇辉. 夏尔西里自然保护区土壤重金属相关性分析及污染风险评价[J]. 水土保持研究, 2015, 22(5): 336-341.
XU X B, JIAO L, WANG Y H. Risk evaluation and correlation analysis of soil heavy metal contamination in Xiaerxili Nature Reserve[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2015, 22(5): 336-341.

[4] 赵阳, 陈蜀江, 马静, 等. 夏尔西里自然保护区野生近缘植物研究[J]. 科技创新导报, 2013, 10(13): 142-143.
ZHAO Y, CHEN S J, MA J, et al. Research on wild relative plants in Xia'erxili Nature Reserve[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2013, 10(13): 142-143.

[5] 陈添乐, 陈蜀江, 彭佳明. 新疆夏尔西里自然保护区地质调查[J]. 科技创新导报, 2010, 7(35): 136-137.
CHEN T L, CHEN S J, PENG J M. Xinjiang Sherpa geological and geomorphic Silesia nature reserve[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2010, 7(35): 136-137.

[6] 赵彩凤, 陈蜀江, 梁艳, 等. 新疆夏尔西里自然保护区生态系统评价[J]. 科技创新导报, 2013, 10(10): 146-149.
ZHAO C F, CHEN S J, LIANG Y, et al. Ecosystem assessment of Xarxili Natural Reserve in Xinjiang[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2013, 10(10): 146-149.

[7] 党洁, 陈蜀江, 黄铁成, 等. 新疆夏尔希里自然保护区经济评价[J]. 科技创新导报, 2013,10(10): 155-158.
DANG J, CHEN S J, HUANG T C, et al. Xinjiang Xiaerxili Nature Reserve economic evaluation[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2013(10): 155-158.

[8] 胡玉玲, 王飞跃, 刘希未. 基于ACP方法的高层建筑火灾中人员疏散策略研究[J]. 自动化学报, 2014, 40(2): 185-196.
HU Y L, WANG F Y, LIU X W. ACP-based research on evacuation strategies for high-rise building fire[J]. Acta Automatica Sinica, 2014, 40(2): 185-196

[9] GUO C, DOU Y, BAI T X, et al. ArtVerse: a paradigm for parallel human-machine collaborative painting creation in metaverses[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2023, 53(4): 2200-2208.

[10] 王春法, 王飞跃, 鲁越, 等. 平行博物馆:新时代博物馆运营的智能管理与控制[J]. 智能科学与技术学报, 2021, 3(2): 125-136.
WANG C F, WANG F Y, LU Y, et al. Parallel museums: intelligent management and control of museum operations in the new era[J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2021, 3(2): 125-136.

[11] 康孟珍, 邱文忠, 陈自富, 等. 平行圆明园:从数字孪生园林到元宇宙智慧遗址公园[J]. 智能科学与技术学报, 2022, 4(3): 301-307.
KANG M Z, QIU W Z, CHEN Z F, et al. Parallel Yuan-Ming Yuan Imperial Garden: from digital twin garden to metaverse smart heritage park[J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2022, 4 (3): 301-307.

[12] CHEN L, LIN S B, LU X K, et al. Deep neural network based vehicle and pedestrian detection for autonomous driving: a survey[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2021, 22(6): 3234-3246.

[13] 王飞跃. 平行世界的平行安全——基于CPSS的生成式对抗安全智慧系统[J]. 信息安全与通信保密, 2018, 16(10): 21-22.
WANG F Y. Parallel security in parallel worlds: generative adversarial security intelligence system based on CPSS[J]. Information Security and Communications Privacy, 2018, 16(10): 21-22.

[14] 王拥军, 王飞跃, 王戈, 等. 平行医院:从医院信息管理系统到智慧医院操作系统[J]. 自动化学报, 2021, 47(11): 2585-2599.
WANG Y J, WANG F Y, WANG G, et al. Parallel hospitals: from hospital information system (HIS) to hospital smart operating system (HSOS)[J]. Acta Automatica Sinica, 2021, 47(11): 2585−2599.

[15] 郭超, 鲁越, 林懿伦, 等. 平行艺术:人机协作的艺术创作[J]. 智能科学与技术学报, 2019,1(4): 335-341.
GUO C, LU Y, LIN Y L, et al. Parallel art: artistic creation under human-machine collaboration. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology[J], 2019, 1(4): 335-341.

[16] GUO C, BAI T X, LU Y, et al. Skywork-daVinci: a novel CPSS-based painting support system[C]//Proceedings of 2020 IEEE 16th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE). Piscataway: IEEE Press, 2020: 673-678.

[17] 王飞跃. 平行管理: 复杂性管理智能的生态科技与智慧管理之DAO[J]. 自动化学报, 2022, 48(11): 2655-2669.
WANG F Y. Parallel management: the DAO to smart ecological technology for complexity management intelligence[J]. Acta Automatica Sinica, 2022, 48(11): 2655-2669.

[18] WANG F Y, WANG Y F. Parallel ecology for intelligent and smart cyber-physical-social systems[J]. IEEE Transactions on Computational Social Systems, 2020, 7(6): 1318-1323.

[19] 王飞跃, 王艳芬, 陈薏竹, 等. 联邦生态:从联邦数据到联邦智能[J]. 智能科学与技术学报, 2020, 2(4): 305-311.
WANG F Y, WANG Y F, CHEN Y Z, et al. Federated ecology: from federated data to federated intelligence[J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2020, 2(4): 305-313.

[20] 王飞跃. 平行系统方法与复杂系统的管理和控制[J]. 控制与决策, 2004, 19(5): 485-489, 514.
WANG F Y. Parallel system methods for management and control of complex systems[J]. Control and Decision, 2004,19(5): 485-489, 514.

[21] 王飞跃. 人工社会、计算实验、平行系统－关于复杂社会经济系统计算研究的讨论[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2004, 1(4): 25-35.
WANG F Y. Artificial societies, computational experiments, and parallel systems: a discussion on computational theory of complex social-economic systems[J]. Complex Systems and Complexity Science,

2004, 1(4): 25-35.

[22] WANG X, YANG J, HAN J P, et al. Metaverses and DeMetaverses: from digital twins in CPS to parallel intelligence in CPSS[J]. IEEE Intelligent Systems, 2022, 37(4): 97-102.

[23] 陈蜀江. 新疆夏尔希里自然保护区综合科学考察[M]. 乌鲁木齐:新疆科学技术出版社, 2006.
CHEN S J. Comprehensive scientific investigation in Sharhili Nature Reserve, Xinjiang[M]. Urumqi: Xinjiang Science and Technology Publishing House, 2006.

[24] 钟静, 陈亨嘉, 焦红霞, 等. 基于WebGIS的全国自然保护区信息系统设计与实现[J]. 地理空间信息, 2023, 21(4): 107-110.
ZHONG J, CHEN H J, JIAO H X, et al. Design and implementation of national nature reserve information system based on WebGIS[J]. Geospatial Information, 2023, 21(4): 107-110.

[25] 王欢, 鲁宁, 徐伟恒, 等. 自然保护区电子围栏应用及对策研究[J]. 山东林业科技, 2022, 52(6): 72-76.
WANG H, LU N, XU W H, et al. Research on the application and countermeasures of electronic fence in nature reserve[J]. Journal of Shandong Forestry Science and Technology, 2022, 52(6): 72-76.

[26] SUN Z B, QIAN W Q, HUANG Q F, et al. Use remote sensing and machine learning to study the changes of broad-leaved forest biomass and their climate driving forces in nature reserves of northern subtropics[J]. Remote Sensing, 2022, 14(5): 1066.

[27] WANG Y G, LI H P. Remote sensing image classification based on artificial neural network: a case study of Honghe Wetlands National Nature Reserve[C]//Proceedings of 2010 International Conference on Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering. Piscataway: IEEE Press, 2010: 17-20.

[28] 邹珮雯, 徐昉. 耦合ERI-MCR-PLUS模型的生态安全格局构建及景观生态风险预测研究——以赛罕乌拉国家级自然保护区为例[J]. 生态学报, 2023, 43(23):1-13.
ZOU P W, XU F. Ecological security pattern construction and landscape ecological risk prediction by coupling ERI-MCR-PLUS model: a case study of Saihanwula National Nature Reserve[J]. Acta Ecologicla Sinica, 2023, 43(23): 1-13.

[29] LIU Y H, SHEN Y, GUO C, et al. MetaSensing in metaverses: see there, be there, and know there[J]. IEEE Intelligent Systems, 2022, 37 (6): 7-12.

[30] LI X, YE P J, LI J J, et al. From features engineering to scenarios engineering for trustworthy AI: I&I, C&C, and V&V[J]. IEEE Intelligent Systems, 2022, 37(4): 18-26.

[31] 王晓,杨林瑶,胡斌,等. 平行推理:一种基于ACP方法的虚实互动的知识协同框架[J]. 智能科学与技术学报, 2023, 5(1): 69-82.
WANG X, YANG L Y, HU B, et al. Parallel reasoning: a virtual-real interactive knowledge collaboration framework based on ACP approach [J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2023, 5(1): 69-82.

[32] KO S H, ROGERS J. Functional materials and devices for XR (VR/AR/MR) applications[J]. Advanced Functional Materials, 2021, 31 (39): 2106546.

[33] 杨林瑶, 陈思远, 王晓, 等. 数字孪生与平行系统:发展现状、对比及展望[J]. 自动化学报, 2019, 45(11): 2001-2031.
YANG L Y, CHEN S Y, WANG X, et al. Digital twins and parallel systems: state of the art, comparisons and prospect[J]. Acta Automatica Sinica, 2019, 45(11): 2001-2031.

[34] 田永林, 陈苑文, 杨静, 等. 元宇宙与平行系统:发展现状、对比及展望[J]. 智能科学与技术学报, 2023, 5(1): 121-132.
TIAN Y L, CHEN Y W, YANG J, et al. Metaverses and parallel systems: the state of the art, comparisons and prospects[J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2023, 5(1): 121-132.

[35] 杨静, 王晓, 王雨桐, 等. 平行智能与 CPSS: 三十年发展的回顾与展望[J]. 自动化学报, 2023, 49(3): 614-634.
YANG J, WANG X, WANG Y T, et al. Parallel intelligence and CPSS in 30 years: an ACP approach[J]. Acta Automatica Sinica, 2023, 49(3): 614-634.

[36] YANG J, WANG X X, ZHAO Y D. Parallel manufacturing for industrial metaverses: a new paradigm in smart manufacturing[J]. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 2022, 9(12): 2063-2070.

[37] YANG J, LI S M, WANG X X, et al. DeFACT in ManuVerse for parallel manufacturing: foundation models and parallel workers in smart factories[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2022, 53(4): 2188-2199.

[38] 康孟珍, 王秀娟, 华净, 等. 平行农业:迈向智慧农业的智能技术[J]. 智能科学与技术学报, 2019, 1(2): 25-26.
KANG M Z, WANG X J, HUA J, et al. Parallel agriculture: intelligent technology toward smart agriculture[J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2019, 1(2): 25-26.

[39] 何兴元, 任春颖, 陈琳, 等. 森林生态系统遥感监测技术研究进展[J]. 地理科学, 2018, 38(7): 997-1011.
HE X Y, REN C Y, CHEN L, et al. The progress of forest ecosystems monitoring with remote sensing techniques[J]. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(7): 997-1011.

[40] 孙永光, 赵冬至, 郭文永, 等. 红树林生态系统遥感监测研究进展[J]. 生态学报, 2013, 33(15): 4523-4538.
SUN Y G, ZHAO D Z, GUO W Y, et al. A review on the application of remote sensing in mangrove ecosystem monitoring[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(15): 4523-4538.

[41] 第宝锋, 杨忠, 艾南山, 等. 基于 RS 与 GIS 的金沙江干热河谷区退化生态系统评价——以云南省元谋县为例[J]. 地理科学, 2005, 25 (4): 484-489.
DI B F, YANG Z, AI N S, et al. Evaluation on degraded ecosystem in Jinshajiang xerothermic valley using RS and GIS: a case study of Yuanmou County in Yunnan[J]. Scientia Geographica Sinica, 2005, 25 (4): 484-489.

[42] 徐明德, 李静, 彭静, 等. 基于RS和GIS的生态系统健康评价[J]. 生态环境学报, 2010, 19(8): 1809-1814.
XU M D, LI J, PENG J, et al. Ecosystem health assessment based on RS and GIS[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2010, 19(8): 1809-1814.

[43] 宜树华, 陈建军, 秦彧. 无人机航拍在青藏高原高寒草地生态系统研究中的初步应用[J]. 西南民族大学学报(自然科学版), 2016, 42(1): 1-7.
YI S H, CHEN J J, QIN Y. Preliminary application of aerial photos using UAV on the ecological studies of alpine grassland on Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Journal of Southwest University for Nationalities (Natural Science Edition), 2016, 42(1): 1-7.

[44] 丁文文, 王帅, 李娟娟, 等. 去中心化自治组织: 发展现状、分析框架与未来趋势[J]. 智能科学与技术学报, 2019, 1(2): 202-213.
DING W, WANG S, LI J J, et al. Decentralized autonomous organizations: the state of the art, analysis framework and future trends[J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2019, 1(2): 202-213.

[作者简介]



皮佩定（1999– ），男，毕业于英国格拉斯哥大学，主要研究方向为国际金融。



倪清桦（1999– ），女，澳门科技大学博士生，主要研究方向为平行智能、区块链、数字孪生、智能系统等。



杨静（1998– ），女，中国科学院自动化研究所多模态人工智能系统全国重点实验室博士生，主要研究方向为平行制造、社会制造、人工智能和社会物理信息系统。



康孟珍（1975– ），女，博士，中国科学院自动化研究所副研究员，主要研究方向为平行农业和计算植物。



李宣昊（2004– ），男，不列颠哥伦比亚大学本科生，主要研究方向食物营养与健康。



杜应昆（1979– ），男，新疆博尔塔拉蒙古自治州人民政府副州长。



王飞跃（1961– ），男，博士，中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室主任，澳门科技大学特聘教授。主要研究方向为平行系统的方法与应用、社会计算、平行智能、知识自动化。