

协同进化在水资源领域的应用前景

宋朝红¹, 罗 强², 纪昌明³, 雷声隆², 王 乘¹

(1. 华中科技大学水电与数字化工程学院, 湖北 武汉 430074; 2. 武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 湖北 武汉 430072; 3. 华北电力大学能源与动力工程学院, 北京 102206)

摘要 在简要介绍协同进化概念、原理及研究现状的基础上, 通过分析水资源开发利用的特点, 探讨了将协同进化引入水资源领域的可行性, 并从水资源合理配置与可持续发展两方面讨论在水资源领域中引入协同进化研究的必要性, 并初步给出了水资源领域中协同进化的理论与技术研究框架, 为水资源可持续发展由概念走向实际应用提供了新的思路 and 手段。

关键词 水资源; 协同进化; 可持续发展; 生态环境

中图分类号 TV213.9 **文献标识码** A **文章编号** 1006-7647(2005)04-0019-03

Prospect analysis of application of co-evolution to water resources field // SONG Chao-hong¹, LUO Qiang², JI Chang-ming³, LEI Sheng-long², WANG Cheng¹ (1. College of Hydropower and Information Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 2. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 3. School of Energy and Power Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract : Based on a brief introduction to the basic concept, principle, and research status of co-evolution and characteristics of water resources development and utilization, the feasibility and necessity of the introduction of co-evolution into water resources field were discussed from aspects of reasonable allocation and sustainable development of water resources. A basic research frame for co-evolution theory and technology in water resources field was given, providing a new idea and means to prompt the sustainable development of water resources.

Key words : water resources; co-evolution; sustainable development; eco-environment

1 协同进化简介

“协同进化”一词最早由利希和雷文^[1]1964 年提出, 用以讨论植物与植食性昆虫相互作用对进化的影响。1980 年杨岑^[2]首次给出了协同进化的概念, 即一个物种的某一特性由于回应另一物种的某一特性而进化, 而后的该特性也由于回应前者的特性而进化。

协同进化论是对达尔文进化论的进一步完善与发展, 并成为现代生态学的一个重要的理论基础。达尔文进化论的核心是生存斗争, 适者存, 不适者亡, 其实质是弱肉强食, 其结果是优胜劣汰。协同进化与达尔文进化论都认为生物种群是不断进化发展的。但协同进化同时认为一些生物种群的进化不是它们淘汰另一些劣等生物的结果, 而是与另一些生物种群的进化相关联的, 并且是相互受益的。在这个进化过程中, 优胜劣汰只有作为制约机制的一种并服从

协同进化的总趋势才具有一定的积极意义。

协同进化作为现代生态学的一个重要的发展观, 因其特别适合于复杂进化系统的动态描述, 已在不同层次上被应用。在宏观层次上, 协同进化的有关成果已被用来处理社会、能源、生态、人地关系等^[3~6]方面所存在的问题。在微观层次上, 借鉴协同进化机制, 将应用领域待求解的问题映射到生态系统, 通过对生态系统进化的模拟, 来获得问题的求解, 就产生了协同进化算法^[7~10], 它是对建立在达尔文优胜劣汰理论基础上的遗传算法的进一步完善与发展。

已有的研究表明, 协同进化对于解决系统内部各单元之间既冲突又相互依赖的问题具有很好的指导意义。在水资源系统中, 由于水资源的短缺, 不同用水部门对水资源的需求矛盾较大, 存在竞争的一面, 与此同时, 又存在相互依赖的一面, 因此协同进化对解决水资源领域的一些问题也应具有很好的指

基金项目 华中科技大学博士后专项基金资助项目(2005031) 武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室开发基金资助项目(2003S001)

作者简介 宋朝红(1970—), 女, 湖北蕲春人, 博士, 从事水资源系统工程研究。

导意义. 目前, 在水资源领域中尚未见到有关协同进化方面的研究, 本文对该问题作了一个初步的探索.

2 水资源领域中的协同进化分析

2.1 水资源领域引入协同进化的可行性

2.1.1 水资源开发利用的阶段特点

纵观并展望人类水资源开发利用的历史, 可以看出, 在水资源演替过程中, 各用水单元之间的相互关系发展的历程大致可分为以下 4 个阶段:

a. 各自独立. 在这一阶段中, 由于各用水单元内部的元素数量有限, 相对而言, 水资源是丰富的, 各用水单元的需水可得到充分满足, 竞争较少或不存在竞争.

b. 互相干扰. 随着用水单元及各用水单元内部元素数量的增加, 如人口的增长、经济产值的增加、灌溉面积的扩大等, 使得对水资源的需求急剧增长, 由此产生了掠夺式的开发. 由于可供水量的有限性, 最终会导致用水的矛盾加剧. 人类社会及经济发展对水资源需求量的增加, 使得环境用水减少, 环境用水的减少造成了生态恶化, 反过来又影响人类的生存.

c. 共摊阶段. 激烈的竞争导致各用水部门采取一定的方式对水资源进行分割, 在尽量避免竞争的前提下共同利用水资源. 这也是目前水资源利用的主要特点. 各用水单元在所分配的水资源总量一定的情况下, 通过技术革新等手段, 如采用节水灌溉技术和工业、生活等节水措施来满足对水资源的需求.

d. 协同进化. 这也是未来水资源系统发展的一种趋势. 各用水部门在尽量避免竞争的基础上进行一种互补性进化, 通过相互间的协同进化来更加有效地利用水资源, 实现人类、社会、经济、生态环境等之间的和谐共存与可持续发展.

将以上水资源开发利用的特点及阶段的划分与生物学的进化理论联系起来, 可以看出, 这 4 个阶段和生物种群发展的特点惊人的吻合. 水资源系统中的各用水单元和生物中的种群相对应, 而水资源则与生物进化中的生存资源相对应. 因此, 利用协同进化的思想和观点来指导水资源领域有关问题的研究, 从宏观思想上讲, 是可行的, 具有朴素的对应关系.

2.1.2 水资源系统协同进化模型的初步建立

根据生态学的研究, 种群间的竞争协同可用 Lotka-Volterra 方程来描述^[1]. 对于两个相互竞争协同的种群 1 和种群 2, 其种群增长的数学模型为

$$\frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \left(\frac{K_1 - N_1 - \alpha N_2}{K_1} \right) \quad (1)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = r_2 N_2 \left(\frac{K_2 - N_2 - \beta N_1}{K_2} \right) \quad (2)$$

式中: N_1, N_2 分别表示两种群的规模; K_1 和 K_2 分别为种群 1 和种群 2 的环境负荷量(在不发生竞争的情况下); r_1 和 r_2 分别表示每个种群、每个个体的最大瞬时增长率; α 为种群 2 的竞争系数, 表示在种群 1 的环境中每存在一个种群 2 的个体, 对种群 1 的效应(竞争抑制作用); β 为种群 1 的竞争系数, 表示在种群 2 的环境中每存在一个种群 1 的个体, 对种群 2 的效应; t 为时间.

上述模型, 可用于水资源系统可持续发展的理论研究. 对于区域水资源系统, 考虑居民生活、工业、农业、生态环境这 4 个用水单元, 视各用水单元为一种群, 可建立如下的协同进化模型:

$$\frac{dN_i}{dt} = r_i N_i \left(\frac{K_i - \sum_{j=1}^4 \alpha_{ij} N_j}{K_i} \right) \quad (i = 1, 2, 3, 4) \quad (3)$$

式中: N_i ($i = 1, 2, 3, 4$) 分别表示该区域工业、农业、居民生活、生态环境的用水量; K_i ($i = 1, 2, 3, 4$) 分别表示在不发生竞争的情况下, 各用水单元的水资源承载力; r_i ($i = 1, 2, 3, 4$) 分别表示工业、农业、居民生活、生态环境用水的增长率; α_{ij} 为竞争系数, 一般 $0 \leq \alpha_{ij} \leq 1$, 它表示第 j 个用水单元每一单位用水对第 i 个用水单元的竞争抑制作用, 当 $i = j$ 时, $\alpha_{ij} = 1$.

模型(3)也可改写为式(4)的形式:

$$\frac{dN_i}{dt} = r_i N_i - r_i N_i^2 - \sum_{j \neq i} r_i \alpha_{ij} N_i N_j \quad (i, j = 1, 2, 3, 4) \quad (4)$$

其中, 等号右边的第一项代表非密度制约率, 第二项和第三项分别代表各用水单元的自我抑制和各用水单元间的竞争抑制与协同.

通过对模型(3)或(4)的研究, 可以获得各用水单元在不同情况下的竞争协同关系. 因此, 从理论和技术层面上讲, 协同进化在水资源领域的应用是完全可行的.

2.2 水资源领域引入协同进化研究的必要性

2.2.1 协同进化是水资源合理利用的需要

我国是一个缺水国家. 水资源的短缺, 不仅严重制约着地区经济的发展和人民生活水平的提高, 而且造成严重的生态环境问题. 如何对有限的水资源进行合理利用, 实现人类、社会和生态环境的协调发展, 是人类面临的一项重大课题.

目前, 水资源合理配置的模型, 大多以经济量作为目标函数. 这些模型和方法, 在水资源的合理利用中, 起到了重要的作用, 但也日益暴露出一些缺陷. 一方面它是以边际效益最大为手段, 具有最大效益的种类往往会在竞争中获胜, 占有更多的资源. 如人类为了自身的生存, 以最大限度地开发利用水资源

为目标,实行“工程水利”。尽管有其合理的一面,但却使生态环境恶化,反过来严重影响了人类生存环境;另一方面某些用水,如环境用水和人类生活用水,其价值很难用价格等经济量来体现。因此,以经济量表达目标函数的模型,并不完全反映水资源利用的本质规律,其造成的直接后果,是人类为了追求更大的利润,不顾现实环境的承载力,最大限度地开发利用水资源,造成严重的生态环境问题,使得生态环境日益恶化。

事实上,各用水单元除了对水资源的竞争外,还有相互协调的一面。比如,人类对水资源开发一定程度的退让,可以保护生态环境;而好的生态环境,可以提高人类的生活质量,从而使得人类与环境和谐共存,持续发展。这种既竞争又相互依赖的关系,即是协同进化的内涵。要实现水资源系统的可持续发展,必须对原有的优化模型进行完善和发展,建立以生物协同进化机理为指导的模型与求解技术。

以生物协同进化思想为指导的模型,可避免单纯的以经济效益最大化为目标的模型的缺陷;而利用协同进化来指导模型的优化求解,可利用生物进化的内在规律,在不同目标之间进行协同,避免人为因素的影响,使得水资源的利用更符合客观规律,实现人类、社会、生态环境、资源的协同发展。

2.2.2 协同进化是水资源系统可持续发展的需要

水资源既是人类社会生存和发展不可替代的自然资源,又是可持续发展的必要物质保障^[12]。水资源区别于其他自然资源的显著特性在于水资源具有很强的区域性、时间性及有限性,同时又是不可替代的。水资源系统接受人类社会在生产与生活过程中排放的各种废物,并在系统内对其加以消化、吸收,以维持人类的生存环境,从而使水资源具有维持生态系统功能的功能性生态价值。所以,水资源作为生态系统的生物要素或环境要素,参加生态系统的物质循环和能量转换,并使生态系统能长期持续地存在和发展下去。但是,水资源系统对各种污染物的消化、吸收具有一定的承载能力以及时间性,一旦超过这种能力,就会破坏系统原有的平衡,引起一系列的生态环境问题,进而威胁到人类的生存与发展。

可见,人类若要维持自身的永续存在,就必须保持水资源与生态环境的协同进化。对水资源等自然资源的利用,不能违背生态系统中物质和能量的传递与转换规律,必须维持在生态系统承载能力的“阈值”之内。如果超出这种阈值,生态系统的平衡就会被打破,其正常运行就不能继续下去。反过来,人类经济社会的发展也会受到限制。

协同进化所强调的正是社会、经济、人类以及生

态环境等方面的协调发展,维持一个良性的循环。因此,协同进化的思想,正是水资源系统可持续发展的真实内涵,它为水资源系统可持续发展的研究提供了新的思路与实现途径。

3 水资源领域协同进化的研究框架

水资源领域协同进化理论与应用的研究大致可从以下两个层面上构建其研究框架。

a. 在理论层次上,建立水资源领域的理论框架,为实现水资源系统的可持续发展提供具体研究途径。该研究将为水资源系统的可持续发展提供具体的实现思路与理论基础,主要是根据水资源系统的特点,建立水资源领域的协同进化研究的理论框架体系,内容包括水资源系统协同的涵义、生态环境用水的概念和内涵及用水量的范围、人类在模型中的地位及其主观能动性的发挥、水资源承载力与风险的定义及分析、水资源系统协同进化机制的研究等问题。

b. 在应用层次上,建立适合于水资源系统的以协同进化为指导的模型与算法。优胜劣汰是局部性原理,而协同进化是普遍性原理。目前,以优胜劣汰为背景的遗传算法在水资源领域的广泛实践中,已被证明是一种实用、有效的方法,为水资源领域协同进化的研究打下了良好的基础。应用层面的主要研究内容包括:将生物种群间的协同进化理论、方法映射到水资源领域,建立反映人类与生态环境(包括水资源)之间既竞争又相互依赖关系的模型,而不是单纯以经济量来衡量水资源的利用价值;在水资源系统进化理论的指导下,给出具体的技术及方法,如协同进化遗传算法、协同进化意义下的生态用水量的计算方法、水资源承载力与风险的计算,以及这些方法与技术在水资源领域的应用等。

上述水资源领域协同进化理论与应用的研究内容可用图1来表示。

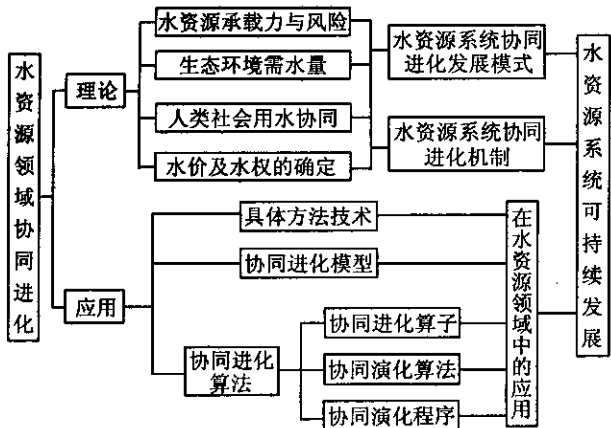


图1 水资源领域协同进化的研究框架

(下转第29页)

曲线①或②附近,同时考虑便于运输、施工等因素后最终确定 $L/a/b$ 的值。

4.2 实例分析

某巨型坝后式水电站^①,引水压力钢管采用下游坝面预留浅槽背管布置,最大输水流量 $966.4\text{ m}^3/\text{s}$,最大内压水头 113 m ,采用 600 MPa 级 16 MnR 钢板焊接管身。按输水流量及内压强度要求,采用钢管半径 6.2 m ;壁厚为:管轴长为 43 m 的上平、上弯段为 28 mm ,管轴长为 25 m 的斜直段为 32 mm ,管轴长为 72.16 m 的下弯、下平段为 60 mm 。本文中,工作外压 P 采用 0.30 MPa , K 取 2.0 ,由图2和图3中曲线分别求得上平与上弯段、斜直段、下弯与下平段钢管加劲环尺度参数 $L/r,a/b$ (见表1)。为便于比较,还给出了原设计($P=0.15\text{ MPa},K=2.0$)的 $L/r,a/b$ 及二者沿环向 1 m 长加劲环钢材体积。

表1 实例加劲巨型薄壁输水钢管外压稳定优化设计参数

设计方法	r/mm	P/MPa	L/r	b/a	a/mm	b/mm	各管段内环数	环截面积/ mm^2	分段管道沿环向 1 m 长体积/ m^3
本文	28	0.30	0.50	6.4	60	38	14	2280	31920
本文	32	0.30	0.80	7.2	60	45	5	2580	12900
本文	60	0.30	3.00	12.4	60	74	3	4440	13320
原设计	28	0.15	0.32	12.5	24	30	22	720	15840
原设计	32	0.15	0.32	12.5	24	30	13	720	9360
原设计	60	0.15	0.32	12.5	24	30	26	720	18720

注:为显现直观性(避开图2和图3中曲线稠密区)本文工作外压采用了原设计的2倍。

4.3 结果分析

与原设计相比,本文给出的加劲环尺寸及布置可保证结构各管段(上平、上弯段,斜直段,下弯、下平段)及每管段各部位(管身段与环管段)抗外压失稳性能的一致性。从经济性及外压承载而言,本文结果在材料增加 32% 时, P_{cr} 是前者的2倍,经济与安全效益也是可观的。

5 结论

随着水电站输水钢管的日益巨型薄壁化,输水钢管的抗外压失稳能力逐渐成为输水管道安全的控制因素。目前工程中主要采用加劲环来提高其抗外压失稳能力。本文通过分析加劲巨型薄壁钢管管身段和环管段的外压临界失稳特性,给出了适宜的加劲环形式、尺寸以及合理的加劲环布置间距,揭示了不同尺度与布置间距的加劲环管段外压临界失稳存在耦合特性,通过与具体设计实例分析比对,得出了在材料增加 32% 时, P_{cr} 是原设计的2倍,经济与安全效益可观的结论,为大型水电站中加劲巨型薄壁输水

钢管的外压稳定设计提供了切实可行的新思路。

参考文献:

[1] 潘家铮.压力钢管[M].北京:电力工业出版社,1982.
[2] 刘东常,刘宪亮.压力管道[M].郑州:黄河水利出版社,1998.

(收稿日期 2004-11-23 编辑 熊水斌)

(上接第21页)

4 结语

a. 本文根据现代生物学的研究进展,将协同进化的基本思想引入水资源领域的研究中,从水资源的合理配置与可持续利用的角度,探讨了在水资源领域引入协同进化的可行性及必要性,并初步给出了水资源领域中协同进化的理论与技术研究框架。

b. 协同进化在水资源领域中的具体方法与技术实现,尚需作进一步的深入研究。

参考文献:

[1] Ehrlich P R, Raven P H. Butterflies and plants: a study in co-evolution[J]. Evolution, 1964, 18: 586—608.
[2] Jazen D H. When is it co-evolution[J]. Evolution, 1980, 34: 611—612.
[3] 叶平.新世纪协同进化的社会生态学[J].济南大学学报(哲学社会科学版),2003,13(2):10—14.
[4] 易善锋,徐道一.从优胜劣汰到协同发展[J].科技论坛,2001(2):14—15.
[5] 李强,王立宏.企业内部冲突的协同进化分析方法[J].中国软科学,2003(10):71—73.
[6] 张铁男,曾庆武.企业再建与协同进化[J].管理科学,2003,16(1):21—24.
[7] 王鑫鑫,徐向东.分层协同进化模型在热力系统在线优化中的应用研究[J].热能动力工程,2002,17(4):339—342.
[8] Zheng Hao-ran, He Jin-song, Long Fei et al. Multi-pattern symbiotic evolutionary algorithms based on creature's multi-strategy[J]. Mini-Micro Systems, 2003, 24(6): 945—949.
[9] 郑浩然,曹先彬,刘克胜,等.基于食物链的生态进化算法[J].计算机工程,2000,26(8):5—8.
[10] Kim Y K, Kitae P, Jesuk K. A symbiotic evolutionary algorithm for the integration of process planning and job shop scheduling[J]. Computer and Operations Research, 2003, 30(8): 1151—1171.
[11] 李云.应用数学模型[M].武汉:华中理工大学出版社,1993.60—75.
[12] 陈家琦.可持续的水资源开发与利用[J].自然资源学报,1995,10(3):252—258.

(收稿日期 2004-11-19 编辑 熊水斌)