

生态水利工程概念研究与典型工程案例分析

段红东^{1,2}

(1. 中国水利经济研究会, 北京 100053; 2. 水利部发展研究中心, 北京 100038)

摘要:我国正在加快生态文明建设,生态水利工程是生态文明建设的重要组成部分,也是水利工程补短板的举措。重点研究了生态水利工程的基本概念,全面探讨了规划设计中应遵循的基本原则,系统分析了都江堰“大型生态水利工程”典型案例,并提出了加快生态水利工程建设的相关建议,以期对生态水利工程规划设计、建设与管理提供参考与借鉴。

关键词:生态水利工程;概念内涵;规划设计原则;案例分析

中图分类号:F407.9

文献标识码:A

文章编号:1003-9511(2019)04-0001-04

生态文明建设是中国特色社会主义事业的重要内容,关系人民福祉,关乎民族未来,事关“两个一百年”奋斗目标和中华民族伟大复兴中国梦的实现。水资源是基础性自然资源和战略性经济资源,是生态环境的控制性要素。随着经济社会的快速发展,水资源短缺、水生态损害、水环境污染等问题愈加突出。党的十九大报告提出要“加强水利、铁路、公路、水运、航空、管道、电网、信息、物流等基础设施网络建设”^[1]。习近平总书记在 2018 年全国生态环境保护大会上指出,“始建于战国时期的都江堰,距今已有 2 000 多年历史,就是根据岷江的洪涝规律和成都平原悬江的地势特点,因势利导建设的大型生态水利工程,不仅造福当时,而且泽被后世。”^[2]生态水利工程建设是生态文明建设的重要组成部分,深入研究生态水利工程的内涵和要求,加强生态水利工程建设,有助于形成人与自然和谐发展的现代化建设新格局,让中华大地天更蓝、山更绿、水更清、环境更优美。

1 生态工程概念和生态水利工程学原理综述

生态工程(Ecological Engineering)是指应用生态系统中物质循环原理,结合系统工程的最优化方法设计的分层多级利用物质的生产工艺系统,其目的是将生物群落内不同物种共生、物质与能量多级利用、环境自净和物质循环再生等原理与系统工程的优化方法相结合,达到资源多层次和循环利用的

目的。生态工程起源于生态学的发展与应用,至今不过 50 多年历史。20 世纪 60 年代以来,全球面临的主要危机表现为人口激增、资源破坏、能源短缺、环境污染和食物供应不足,呈现出不同程度的生态与环境危机。1962 年美国的 Odum^[3]首先使用了生态工程概念,提出了生态学应用的新领域生态工程学,并把它定义为“为了控制生态系统,人类应用来自自然的能源作为辅助能对环境的控制”。20 世纪 80 年代后,生态工程在欧洲及美国逐渐发展起来,并相应提出了生态工程技术,即“在环境管理方面,根据对生态学的深入了解花最小代价的措施,对环境的损害又是最小的一些技术”^[4]。我国的生态工程概念是由已故生态学家、生态工程建设先驱马世骏先生首先倡导的,1984 年,他给生态工程下的定义为:“生态工程是应用生态系统中物种共生与物质循环再生原理,结构与功能协调原则,结合系统分析的最优化方法,设计的促进分层多级利用物质的生产工艺系统”^[5]。我国生态工程所研究与处理的对象,不仅是自然或人为构造的生态系统,更多的是社会-经济-自然复合生态系统,生态工程建设目标是使人工控制的生态系统具有强大的自然再生产和社会再生产的能力。

传统意义上的水利工程学在满足社会经济发展需求的同时,不同程度地忽视了河湖生态系统本身的需求。而河湖生态功能的退化,给人类的长远利益带来不可估量的生态损害。进入新时代,水利工程在权衡水资源开发利用与生态环境保护二者的关

系时,必须科学并理性地寻求水资源开发利用与生态环境保护之间的合理平衡点,从而从传统水利工程建设转向全新的生态水利工程建设。由此,产生了生态水利工程学,其关注的对象不仅是具有水文特性和水力学特性的河湖,而是还具备生命特性的河湖生态系统,研究范围从河湖及其岸边的物理边界扩大到河流走廊(River Corridor)生态系统的生态尺度边界。董哲仁^[6]提出,生态水利工程学(Ecohydraulic Engineering)作为水利工程学的一个新的分支,是研究水利工程在满足人类社会需求的同时,兼顾淡水生态系统健康与可持续性需求的原理和技术方法的工程学。具有以下内涵:①水利工程学是具有坚实数学力学学科基础和相对完整工程技术方法的传统工程学。生态水利工程学作为水利工程学的一个学科分支,补充和完善水利工程学的理论和技术方法。②生态水利工程学是一门交叉学科,吸收生态学的理论知识与技术方法,力图构建与生态友好的水利工程规划设计管理的技术体系。③在工程目标方面,力图体现不同经济社会发展水平下水资源合理开发与生态保护间的平衡关系,基本原则是坚持社会经济的可持续发展和水资源的可持续利用。④淡水生态系统保护和恢复的目标是其当前的健康和未来的可持续性,促进人与自然的和谐发展。

生态水利工程是一个全新的概念,是对传统水利工程的改造和提升,使它更加符合生态文明的理念,更加尊重自然和顺应自然,更加强调人与自然的和谐共生,更加注重工程的生态效益和生态功能,更加侧重减轻工程对生态环境的负面影响,更加关注环境保护和生态安全,引领水利工程建设的发展方向。

于修建^[7]认为,生态水利工程是把人和水体置于整个生态系统中,研究人和自然对水利的共同需求,从生态的角度出发进行水利工程建设,建立良性循环和可持续利用的水利体系,从而达到可持续发展以及人与自然和谐的目的。李雅萍等^[8]认为,生态水利工程是按照生态学原理,遵循生态平衡的法则和要求,从生态的角度出发进行水利工程建设,建立满足良性循环和可持续利用的水利体系,从而达到可持续发展 and 人与自然相处所采取的工程或非工程措施。水利部水利水电规划设计总院研究提出,生态水利工程是在维护河湖生态系统自我恢复和良性循环的前提下,充分考虑水资源承载能力的约束,为国家生态文明建设、经济社会可持续发展提供防洪、供水、发电、生态等方面服务功能,并注重水文化传承的水利工程^[9]。

通过对生态水利工程相关研究成果的系统梳

理,结合水利工程功能特点和生态文明建设的要求,笔者认为,生态水利工程是指遵循人与自然和谐共生的理念而规划设计建设的,以保护、修复或改善流域或区域自然生态与环境为主要目标,在保障人类对水资源开发利用必要需求的前提下,体现水资源合理开发与生态保护间的平衡关系,使河湖的生态系统具有强大的自然和社会再生产能力,注重生态健康和可持续发展,实现经济、社会、生态效益相统一的防洪、发电、灌溉、供水等为人类服务功能的水利工程。

2 生态水利工程规划设计原则

生态水利工程是水利学的概念创新。生态水利工程建设必须贯彻落实新时代“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的十六字治水方针,从最大限度保护流域与区域生态环境的角度出发,对水利工程的功能定位、建设规模、工程布局、设计方案、建材选用、保护因子与保护措施等方面系统考虑,严格遵循以下规划设计原则:

a. 始终坚持生态优先、绿色发展的理念。要从人与自然和谐共生、山水林田湖草是生命共同体的高度,遵循生态平衡法则和要求,符合河湖良性循环和可持续利用要求,在规划设计阶段突出体现生态优先、保护优先,重点协调好保护、恢复与发展、建设的关系,严格水资源消耗上线约束,严守水环境质量底线,严禁触碰生态保护红线。

b. 注重明确生态保护与修复目标。要在规划设计、建设管理的全过程中,加强对河湖生态因子、敏感期生态环境状况的调查与监测,注重重要生态因子识别与判别,最大限度地减轻水利工程对河湖生态系统的负面影响,防止生态安全风险发生,在满足人类生产生活需要的同时,最大可能性地维护河湖生物多样性的需求。

c. 重点加强河湖水系连通性恢复。良好的河湖连通性,保障了物质流、信息流和物种流的畅通^[10]。以往的水利工程建设中,一些水利工程,尤其是水电工程建设过多考虑水资源开发利用,较少注意生态保护与修复,一些河流出现了严重的脱流、断流,忽视了河流的连通性、生态系统健康与可持续性,致使河流的生态系统遭受到不同程度的损害,生态服务功能下降。而河湖的各种生态过程,都依赖于河流地貌的纵向连续性、横向连通性和竖向渗透性。因此,要运用河湖近自然修复的先进理念,把恢复河湖水系连通明确规定为规划设计的一项重要基本原则。

d. 严格遵守其他的基本原则。主要有工程安

全性和经济性、保持和恢复河流形态的空间异质性、生态系统自设计与自我恢复、流域尺度及整体性、反馈调整式设计等基本原则。

3 典型生态水利工程案例分析

都江堰工程历经 2 200 多年而不衰,是当今世界年代久远、唯一留存、以无坝引水为特征的宏大水利工程,它是中国古代历史上最成功的水利杰作,孕育了繁荣富饶的“天府之国”。

a. 规划设计理念上,“乘势利导、因时制宜”,充分利用地形地貌等自然条件,符合人与自然和谐共生理念。都江堰渠首设计遵循了“乘势利导、因时制宜”理念,对河流的地形、水流充分加以利用,各组成部分相互协调配合,原料就地取材,实现了防洪、引水和排沙等功能,与当地自然环境和谐统一,充分体现了“天人合一”、人与自然和谐共生的理念。

工程布局上,遵循自然生态法则,充分利用了地形地貌等自然条件。岷江挟带的大量砂砾石在都江堰迅速沉积,且水量愈大,淤积愈重。据测量,都江堰渠首段沉积的卵石平均粒径 176 mm,最大粒径达 510 ~ 1 000 mm。在河道水流的作用下,大量推移质在水流的作用下形成了河道中的江心洲、冲槽和深潭。都江堰渠首利用岷江河道和江心洲的地形设置了分水导流工程——鱼嘴、金刚堤,溢洪工程——平水槽(今已不存)、飞沙堰、人字堤和进水口——宝瓶口三大工程设施,从顺应自然、保护生态的角度出发,建立起符合工程与自然和谐、良性循环和可持续发展的水利工程体系。

工程结构上,遵循生态学原理平衡法则,符合河流水文学和水力学基本原理。都江堰渠首通过鱼嘴、飞沙堰(人字堤、平水槽)和宝瓶口以各自的位置、高程和形制,与河道组合成珠联璧合的枢纽工程体系,使都江堰获得了较好的引水、防洪和排沙功能。当内江水位低于飞沙堰时,飞沙堰壅水增加宝瓶口的进水量;当宝瓶口水位达到一定高度时,水位高于飞沙堰堰顶,飞沙堰开始泄洪;当宝瓶口水位超过一定高度时,人字堤也开始溢流;进入汛期,飞沙堰在洪水冲击下开始局部溃决,泄洪量可以迅速增加,使宝瓶口前水位迅速下降,这样就不会使进入宝瓶口的流量太大,从而保障下游灌区及成都平原的安全。

建筑材料上,遵循生态平衡法则,“因地制宜”选材,与当地环境融为一体。都江堰工程的建设与养护采用竹笼填石法,大量利用当地的卵石、竹子和木材资源,就地取材。就地取材的工程材料赋予了

都江堰水工和河工构件鲜明的地域特点。充填卵石的竹笼、杩槎、木桩以及用卵石砌筑的干砌卵石等水工和河工构件建造的各类工程设施,具有良好的消能防冲性能和生态功能,并与自然景色浑然一体,实现了工程系统与外部环境的和谐一致,最大程度减轻了工程对当地生态环境的影响。

b. 工程运行管理上,“分水排沙”,既满足了人类对水资源需求,又维护了河流健康生命,实现了人与自然和谐相处。都江堰四六分水、弯道环流、泄流飞沙的水沙自动调控功能,在保障内江各类用水的同时,防止了旱涝灾害的发生,而且为河流生态用水留足了空间。

水资源调控上,既满足了人的社会需求,也满足了河流生态环境对水的自然需求。“四六分水”是清代人对内外江分水比例的期望值,它反映出都江堰鱼嘴分水的控制标准。通过鱼嘴位置的选择,实现了岷江水量一定程度内的调配:枯水期,外江和内江分水分别占总水量的 40% 和 60%;丰水期,外江和内江分水分别占总水量的 60% 和 40%。内外江的分水比例对解决枯水时成都平原供水不足和汛期分减洪水十分有利。

排沙效果上,有效地解决了泥沙淤积问题,维护了河流健康。都江堰渠首排沙主要通过两级分水分沙来实现的。第一级分水分沙,岷江水流从都江堰上游挟沙而来,沙粒在洪水期以卵石推移质为主,枯水期以悬移质和较小沙砾为主。鱼嘴将岷江水流分成内江和外江两部分,经过都江堰河段上游自然弯道的淘刷和淤积,将大部分卵石沙砾分到外江宣泄,同时鱼嘴位置的选取决定了内外江分流比,此为第一级分水排沙。第二级分水分沙,经过鱼嘴一级分水排沙作用,流入内江水流以悬移质和较小沙砾为主,由于内江处于弯道凹岸,根据螺旋流原理,宝瓶口“正面取水”,飞沙堰“侧面排沙”,共同组成第二级分水排沙。一方面,宝瓶口是人工开凿而成的引水口,其进口底部高程高出内江河底高程,保证了引水质量,进口宽度控制了流量,因此可以第二次调节进入灌区的水沙;另一方面,飞沙堰利用螺旋流原理底部淘沙,合理设计堰高,可以起到第二次排沙和分流的作用。

c. 效益持久发挥上,尊重自然,实现了经济效益、社会效益和生态效益的持久统一。都江堰创建之初的主要功能是防洪和航运,灌溉属于次要功能。防洪功能 2 000 多年来一直发挥着极为重要的作用,保障了“天府之国”的繁荣富庶。自汉代文翁首次拓展都江堰灌区后,历朝历代都致力于都江堰灌区的发展,都江堰的灌溉功能一直在拓展和加强,并

上升成为和防洪并驾齐驱的主要功能。

①社会效益显著。都江堰建成前,成都平原饱受水旱灾害肆虐。修建都江堰后,妥善解决了引水与泄洪、排沙的问题,特别是宝瓶口以其千年不变的固定宽度,成为了扼制岷江洪水的千钧关键,此后成都平原极少发生全域性的大洪水。都江堰对成都平原起到的防洪屏障作用,确保了成都平原的社会繁荣稳定。

②经济效益巨大。都江堰建成后,稳定的水源、优越的自流灌溉模式与成都平原的优质土壤相结合,使成都平原的农业生产迅速发展,在极短时间内就成为了海内闻名的巨大粮仓。得天独厚的地理优势,使得都江堰灌区不断开辟新灌面。目前,都江堰灌区已发展到灌溉四川省7市38市(县、区)的71万 hm^2 农田,规模居全国之冠。都江堰灌区以占全省约5%的土地面积,却集中了全省1/5的有效灌面和1/4的人口,提供了近1/3的粮食总产量和农业总产值,同时贡献了全省近一半的国民生产总值,成为四川省最富饶、最发达的地区。

③生态效益突出。都江堰的修建从根本上改善了成都平原城乡生态环境。成都平原原来没有水量丰沛、流量稳定的河道,自李冰“开二江成都之中”后,贯穿成都平原的河道极大地改善了成都市水生态环境。自唐以后,先后修建的摩河池、金水河、御河、府河、磨底河、清水河等构成了成都市发达的城市水系。西蜀大地在都江堰的润泽下,林竹修茂、河流纵横、湖泊星罗、堰塘棋布,呈现出“水绿天青不起尘,风光和暖胜三秦”的美丽景象。

4 加强生态水利工程建设有关建议

a. 制定出台《关于加强生态水利工程建设指导意见》。生态水利工程建设是贯彻落实生态文明建设的客观要求,是践行“十六字”治水方针的具体体现,是维护河湖健康生命的重要保障,是完善绿色水利发展方式的关键手段。要提出加强生态水利建设的重大意义、总体部署、目标任务、技术要求、调度管理、保障措施等,全面推进我国生态水利工程建设步伐等的工作意见。

b. 研究提出完整性的生态水利工程技术要求。要在现行有效的水利技术标准体系下,对水利工程的勘测、规划、设计、建材、施工、调度、管理等方面,研究提出生态水利工程建设应遵循的最大限度不损害生态环境的各项指标,使各类水利工程建设全面符合保护、恢复生态环境的总体要求。

c. 努力加快生态水量(流量)泄放设施建设与调度。持续几十年的水利工程,尤其是水电工程建

设,因不注重生态保护,将河流、湖泊的水力联系或控制或切断,除与工程布局、调度管理有关外,与一些水利工程缺乏生态水量(流量)泄放设施的关系更大。因此,近期要加快建设水利水电工程的生态水量(流量)泄放设施,研究提出工程生态水量(流量)调度方案并实施。

d. 组织开展生态水利重大专题研究。生态水利工程是一个新生事物,要按照我国生态文明建设的总体要求,以问题为导向,针对当前生态水利建设的众多短板或薄弱环节,组织科研单位、高等院校,开展生态水利工程概念及其内涵研究,提出具有广泛共识、统一规范的定义;组织开展已建水利工程转为生态水利工程的评判方法和标准、水生态空间划分技术等重大专题研究。

总之,坚持以人民为中心,是生态水利工程建设根本出发点;促进人与自然和谐共生,是生态水利工程建设的基本要求;严守生态红线和水资源利用上线,是规范生态水利工程规划设计的基本遵循;实现生态效益持久发挥,是生态水利工程的重要特征;强化科技创新引领,是推动生态水利工程建设的重要驱动;充分运用系统思维,是加强生态水利工程建设根本方法。

参考文献:

- [1] 《十九大报告辅导读本》编写组. 党的十九大报告辅导读本[M]. 北京:人民出版社,2017.
- [2] 习近平. 推动我国生态文明建设迈上新台阶[J]. 求是, 2019(3):10.
- [3] ODUM E P. The strategy of ecosystem development[J]. Science, 1969, 164:262-270.
- [4] 卞坤. 社会主义新农村基础设施建设若干问题探讨[C]//规划50年——2006中国城市规划年会论文集. 北京:中国建筑工业出版社,2006,243-247.
- [5] 马世骏,李松华. 中国的农业生态工程. 北京:科学出版社. 1987:1-9.
- [6] 董哲仁. 生态水利工程原理与技术[M]. 北京:中国水利水电出版社,2007.
- [7] 于修建. 关于生态水利工程的研究[J]. 工程技术(文摘版), 2016(8):103.
- [8] 李雅萍,徐瑞兰. 谈生态水利工程设计的几点体会[J]. 山东水利, 2017(5):28-29.
- [9] 水利部水利水电规划设计总院. 生态水利工程建设研究成果汇报[R]. 北京:水利部水利水电规划设计总院, 2018.
- [10] 董哲仁. 河流生态修复[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2016.

(收稿日期:2019-02-02 编辑:陈玉国)