

工作研究

# 雅砻江梯级水电可持续发展评价指标体系研究

缪益平, 陈飞翔, 战永胜, 魏鹏

(雅砻江流域水电开发有限公司, 四川成都 610051)

**摘要:**雅砻江梯级水电系统可持续发展评价指标体系构建以生态经济可持续发展系统分析为基础,内容丰富,模块清晰,涵盖了社会、经济、生态环境和资源四大方面,指标选择过程中充分考虑了系统性与层次性、全面性与简明性、科学性与稳定性、可操作性与主导性以及动态性与静态性相结合的原则,为梯级水电系统可持续发展全面评价和监督管理提供了统一的模板。

**关键词:**雅砻江;梯级水电;可持续发展;指标体系

**中图分类号:**TV7;U260.6+1

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2014)01-0118-06

## 1 引言

雅砻江是金沙江的第一大支流,干流全长1571公里,流域面积约13.6万平方公里,天然落差3830米,干流共规划了22级水电站,总装机容量约3000万千瓦,年发电量约1500亿千瓦时。雅砻江中下游河段被列为国家水电基地,其规模在全国十三大水电基地中居第3位。当前,雅砻江下游二滩、官地、锦屏二级、锦屏一级水电站已相继投产发电,到2015年雅砻江下游梯级水电站开发将全面完成,装机容量达到1470万千瓦。2020年,完成中游梯级水电站建设,发电能力提升至2300万千瓦以上;2025年,全流域项目开发填平补齐,雅砻江流域开发全面完成,总装机容量达到3000万千瓦左右。雅砻江梯级水电开发具有水能资源富集、调节性能好、淹没损失少、经济指标优越等突出特点。雅砻江水电不管从质或量的角度都可以很好的满足资源、环境、人口、经济与社会的可持续发展要求,然而梯级水电开发中兴建的水电枢纽工程在供给电力创造效益的同时,也必然会给社会、环境带来一定的影响。水电工程一般都是永久性工程,一旦建成其对社会、环境的影响是持续的、深远的、不可逆转的,甚至可能造成整个流域生态系统退化。我们必须深刻的考虑雅砻江水电开发中涉及到的可持续发展问

题<sup>[1]</sup>。为了减缓雅砻江流域水电开发对河流生态的不利影响,同时为了保持水电开发公司良好的环保形象、提高电力品质的市场竞争能力,迫切需要开展雅砻江梯级水电系统可持续发展评价指标体系研究。本文在运用生态经济学理论进行雅砻江水电系统可持续发展分析的基础上,构建了雅砻江梯级水电系统可持续发展评价指标体系。

## 2 雅砻江梯级水电系统可持续发展分析

生态经济学是一门关于可持续发展的科学<sup>[2]</sup>,可持续发展研究的问题大都归结于生态环境、资源和社会经济发展在时间和空间上的协调问题。雅砻江梯级水电站群作为相对独立的水电能源系统,是与社会经济系统、生态环境系统相耦合的生态经济系统。因此,运用生态经济学理论可以全面地介绍雅砻江梯级水电系统的可持续发展观。雅砻江梯级水电系统的生态经济可持续发展观可以从图1所示的生态经济协调观、生态经济平衡观及生态经济效益观三个方面来分析<sup>[3]</sup>。

### 2.1 生态经济协调观

雅砻江梯级水电系统生态经济协调是水电系统生态经济可持续发展的思想基础。协调是指经济增长与资源利用、生态环境治理、社会发展之间相互促进的程度,以及为谋求和保证这种协调性所制定的政策与管理措施的有效程度,是雅砻江流域生态环境系统和社会经济系统发展与演化的

收稿日期:2014-02-11

总趋势,是系统和谐高效的必要条件。雅砻江梯级水电系统中,社会经济子系统处于核心和支配地位,生态环境子系统为社会经济子系统发展提供物质基础和发展条件;生态环境子系统的治理与改善资金的投入依赖于经济子系统运行的效益,同时生态环境系统发展状况反过来制约经济的增长。雅砻江梯级水电系统中生态环境子系统

与社会经济子系统存在着密不可分的联系,只有将生态环境子系统与社会经济子系统协调起来才能达到系统可持续发展的目的。因此,雅砻江梯级水电系统生态经济协调观也就是要水电能源规划必须将保护水资源、防治水环境污染、改善生态环境和经济发展同步规划,以维持社会经济系统与生态环境系统的可持续发展。

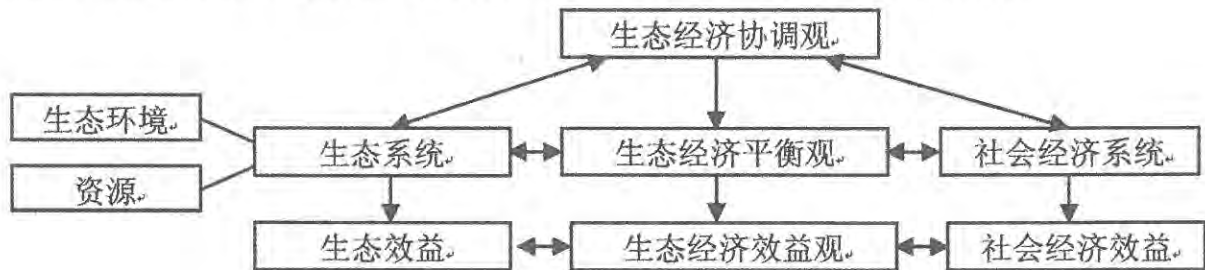


图1 雅砻江梯级水电系统生态经济可持续发展观示意图

### 2.2 生态经济平衡观

雅砻江梯级水电系统生态经济平衡是雅砻江梯级水电系统生态经济可持续发展的行为动力。正常运行的生态经济系统,它的组成、结构、物质和能量的输入与输出是基本趋于平衡的,去掉或改变一个因素的性质或强度,都有可能触发系统能流、物流等总体网络结构上的连锁反应,使整个生态经济系统发生动荡,生态平衡遭到破坏,发生资源枯竭,环境污染,水土流失,土壤退化等种种严重情况。雅砻江梯级水电系统生态经济平衡观分为生态平衡与经济平衡。雅砻江梯级水电系统生态平衡是指河流生态系统在承受人类影响的冲击下,从一种稳定状态过渡到另一种平衡状态的过程,可以理解为稳态——亚稳态——新稳态的一个不断发展的动态平衡,在这一过程中能量与物质的输入输出基本相当,或围绕某一阈值上下波动。其生态平衡失调主要体现在生态系统有序性的削弱、自组能力的降低甚至消失,其实质就是生态结构和功能被破坏,因此雅砻江梯级水电系统生态平衡要求保护生物种类、种群生物个体数量以及生物结构层次,同时维持河道水沙输移平衡、水质平衡,保护好以水为载体的物质和能量的流动防止环境恶化以实现生态系统的稳定发展。雅砻江梯级水电系统经济平衡不仅仅是纯经济学中所规定的国民经济综合平衡,而是建立在生态平衡基础上的平衡。雅砻江梯级水电系统经济平衡是与生态系统产出能力、电力生产能力、生态平

衡调节能力相适应的生态经济平衡,雅砻江梯级水电系统经济平衡要求水资源与能量的消耗必须在生态系统的承载能力范围之内。

### 2.3 生态经济效益观

雅砻江梯级水电系统生态经济效益是雅砻江梯级水电系统生态经济可持续发展的最终目的。雅砻江梯级水电系统生态经济效益是系统中自然生产力、社会生产力与科技生产力综合形成的效果,其关注的是生态效益与经济效益的同步性。生态效益是指生物种群的物质和能量转化效率及维持生态环境稳定的能力,经济效益是指在社会再生产过程中,劳动占用和劳动消耗同劳动成果的比率。在以往的水电能源系统中,生态效益往往与经济效益相背离,出现低生态效益高经济效益的现象,主要是因为水电能源系统中水资源等物质能量的高输出、低输入,使生物种群得不到充分的补给,虽然短期内可以获得较高的经济效益,但经过几个周期后,生态效益迅速下降,经济效益逐渐降低,或是因为环境污染及变化,生物难以发挥正常的物质转化功能,生物产品本身失去使用价值。因此,雅砻江梯级水电系统生态经济效益观是要求正确的处理生态效益与经济效益的关系,即要求在同样的劳动消耗条件下,技术手段合理,经济资源与自然资源组合得当,生态效益可得到最大限度发挥,并取得较高的经济效益。同时,雅砻江梯级水电系统生态经济效益观要求完善生态经济效益理论和计算方法,因为只有正确的量

化生态经济效益,才能合理地评价生态经济系统功能。

### 3 可持续发展指标体系构建原则

构建雅砻江梯级水电系统可持续发展指标体系的目的是在于寻求一组具有典型代表意义同时能全面反映可持续发展各方面要求的特征指标,这些指标及其组合形式能够恰当地表达人们对可持续发展目标的定量判断。雅砻江梯级水电系统可持续发展指标体系涉及多领域、多学科,因而种类繁多。用所有的指标来评价雅砻江梯级水电系统生态环境与社会经济的发展,将会造成人力、物力、财力的浪费。因此,为了使指标体系能够准确地反映出雅砻江梯级水电系统的可持续发展状态,具备描述功能、评价功能和预警功能,同时克服以往指标体系设置的弊端,指标体系的构建必须遵循一定的原则<sup>[4]</sup>,以实现指标体系能够完整准确地反映雅砻江流域生态环境和社会经济可持续发展状况,并使指标体系规模最小化。

#### 3.1 系统性与层次性相结合

雅砻江梯级水电系统是一个开放型的耗散结构系统,它是由不同层次、不同要素组成的。根据各层次、各要素之间的特点及相互关系,可以划分为若干个既相互关系又相互独立的子系统,各子系统间相互协同配合,同时系统内外进行着不间断的物质、能量、信息的交换。因此,雅砻江梯级水电系统可持续发展指标体系的构建需要对系统进行综合分析,既不以偏概全,又突出主导因素的影响,同时为了反映系统的每一个侧面,就必须具有层次性,从宏观到微观层层深入,形成一个完整的可持续发展评价指标体系。

#### 3.2 全面性与简明性相结合

雅砻江梯级水电系统是一个复合大系统,指标体系要能够全面地反映可持续发展的各个方面,就必须包括社会、经济、资源、生态环境等各系统发展的指标。因此,指标体系的构建必须对雅砻江梯级水电系统的运行过程及诸方面的相互关系做出准确、全面的分析和描述。但目前许多指标体系为了追求系统的全面描述,指标设置非常庞大,当然指标越全面,反映客观事物越准确,但随着指标量的增加,带来的数据收集和加工处理的工作量成倍增长,并且指标往往出现信息重叠,这不利于系统可持续发展评价。因此,指标体系

应该在全面概括系统发展状态的基础上,尽可能的简单明了、便于应用。

#### 3.3 科学性与稳定性相结合

指标的概念必须明确,并且有一定的科学内涵,能够度量 and 反映雅砻江梯级水电系统结构和功能的现状和发展趋势。指标数据的选取、计算与合成必须以公认的科学理论为依据,符合可持续发展的目标内涵。只有这样才能保证指标体系评价的科学性,评价结果的真实性和客观性。同时,评价指标体系结构需要有相对的稳定性,使其不会因为雅砻江梯级水电系统中某些因素的变化而发生改变,但因为系统进入新的发展阶段而产生新的变化,正是这种相对的稳定性,我们才能在某一发展阶段对系统发展状态进行可持续的衡量和评价,从而保证系统朝着可持续发展的方向演化。

#### 3.4 可操作性与主导性相结合

许多指标体系的设置中,往往定性指标较多,而可操作的定量指标较少,这样使得指标体系的可操作性不强,并且雅砻江梯级水电系统可持续发展指标体系评价过程中,在实际应用中一些定量指标也有可能受到资料来源和数据支持的制约,因此,指标的设置应尽可能的利用现有的统计资料易于量化。在保证可操作性的基础上,指标体系设置应该针对雅砻江梯级水电系统发展面临的主要问题,建立一批主导性指标,对于那些与系统主要行为状况不密切的方面,应该予以简化或忽略。

#### 3.5 动态性与静态性相结合

可持续发展水平的评价与衡量标准应该随着时空而变化调整。在一定时段内雅砻江梯级水电系统中社会经济与生态环境是在相互影响中不断变化,因此雅砻江梯级水电系统是不断变化的时间系统和多层次的空间系统的结合,是动态和静态的统一,所以建立雅砻江梯级水电系统可持续发展评价指标体系应动态和静态相结合,使指标体系既包括动态指标又包括静态指标,从而保证指标体系在反映系统当前状况的基础上,又能反映出系统的发展趋势。

### 4 可持续发展指标体系框架

根据雅砻江梯级水电系统生态经济可持续发展分析,结合雅砻江梯级水电系统生态经济系统

结构、功能及特点,本文提出了如图2所示的雅砻江梯级水电系统可持续发展评价指标体系框架。雅砻江梯级水电系统可持续发展评价指标体系可以划分为经济、社会、生态环境、资源四个子系统层。其中水库移民是水电工程建设的产物,因此,水库移民可持续发展应该纳入雅砻江梯级水电系统社会子系统发展框架之中,这对于发挥梯级水电系统的综合效益有着十分积极的意义。指标体系的设置是为了反映雅砻江梯级水电系统的可持续发展水平和趋势,因此各子系统的指标设置均遵照上述可持续发展指标体系构建原则。

#### 4.1 经济子系统

可持续发展的最终目的是谋求发展,因此经济子系统在雅砻江梯级水电系统中占主导地位。经济子系统指标体系的建立主要是为了能加强系统财务经营管理水平,注重科学技术水平,从而优化经济结构、提高经济效益,从而推动系统整体的可持续发展。经济子系统指标体系设置可分为经济支出、经济结构、经营效果、经济效益和经济开发能力五个准则层。经济支出准则层描述了水电系统中各项费用的支出情况,反映了雅砻江梯级水电系统运行过程中的财务压力;经济结构准则层中各指标集中反映了系统投资费用分摊现状以及资产的构成;经营效果准则层的设置主要是为了评价系统的经营管理水平,体现系统运行的可持续性;经济效益准则层的指标设置是为了在评价过程中与经济支出结合起来统一考虑,其效益好坏往往取决于经济结构和经营效果,各指标值衡量了系统的经济正效应;经济开发能力准则层指标反映了系统自身的开发空间和发展能力。如图3所示,该指标体系通过32个指标综合概括了雅砻江梯级水电系统经济方面的可持续发展因素。

#### 4.2 社会子系统

社会发展的总体要求是保持社会稳定,推动社会进步,积极促进社会公正、安全、文明、健康发展。雅砻江梯级水电系统本质上为社会提供电力和各种资源,对于社会的可持续发展起着巨大的推动作用,但水库移民引发的社会问题直接关系到雅砻江梯级水电系统稳定发展,因此系统中涉及的社会可持续发展因素主要是围绕水库移民,另外还包括防洪区的社会安全方面。这里社会子

系统指标体系共分为五个准则如图4所示共计42个指标,人口发展准则层概括了移民区人口规模、人口结构和人口素质三个方面的基本指标;社会投入准则层收集了移民区在科研教育、医疗保健、环保卫生、工农业等方面的投资比重,集中反映了移民区的物质生活基础设施全面规划的合理性;社会安全准则层共设置了12个指标,前8个指标描述了移民区人民生活的保障情况,后4个指标反映了系统运行过程中防洪区的洪灾破坏和保障情况;社会制度准则层反映了分别与移民区、防洪区相配套的一系列法规制度以及普及程度;社会福利准则层体现了移民的当前生活水平。

#### 4.3 生态环境子系统

生态环境是社会经济可持续发展的首要制约因素,雅砻江梯级水电系统运行规划方式对生态环境存在着巨大的影响,只有做好对生态环境的保护和评价才能正确的指导系统的运行,从而实现社会经济的可持续发展。生态环境子系统指标体系主要围绕雅砻江梯级水电系统的上游水库和下游河道区域的生态环境状况来设计,该指标体系分为生态状况、土地环境、库区环境、河道环境和气候地质状况五个准则如图5所示共计34个指标,生态状况主要描述了水电系统运行过程中对生物物种和栖息地的影响情况;土地环境准则层反映了水库蓄水后对库区、河道周边土地造成的破坏以及治理情况,同时也反映了对下游土地环境的保护程度;库区环境和河道环境两个准则层分别概括了各区域的水污染情况、水沙变异程度;气候地质状况准则指标设置主要是为监测库区气候变化和地质演变提供重要的依据。

#### 4.4 资源子系统

可持续发展是以资源的可持续利用为基础,没有资源的可持续利用,就没有经济的可持续发展。雅砻江梯级水电系统经是一个循环利用可再生水资源的系统,同时雅砻江梯级水电系统经规划也同时影响着其他资源的开发利用,为此,随着社会经济的高速发展必须提倡资源的节约与有效开发利用。因此资源子系统指标体系的建立将为人类合理利用资源,解决资源供需矛盾提供有效的支持平台。雅砻江梯级水电系统经资源子系统指标体系按照可再生资源 and 不可再生资源划分为五个资源类型如图6所示共计14个指标,水资源

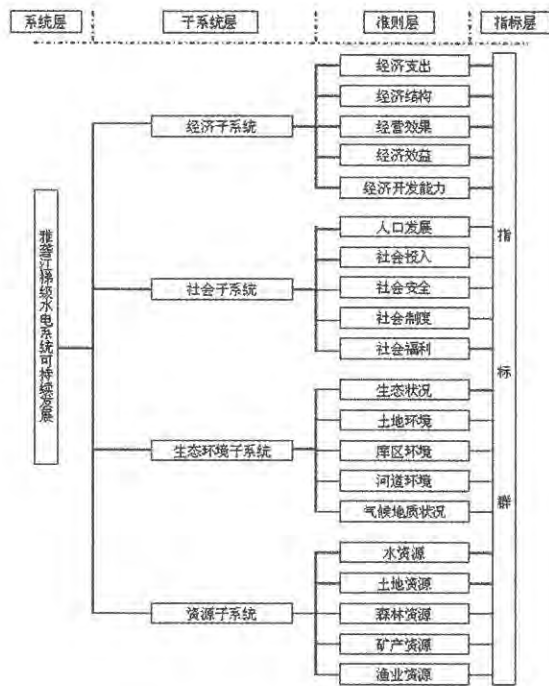


图 2 雅砻江梯级水电系统可持续发展评价指标体系

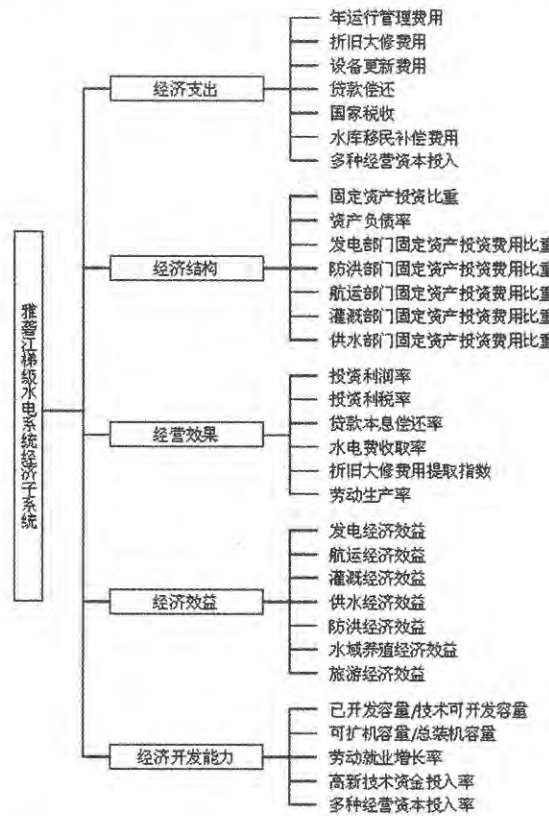


图 3 雅砻江梯级水电系统经济子系统发展指标体系  
准则层概括了水资源年径流总量变化指标、水电能源系统调节系数、蓄放水能力以及水资源在水

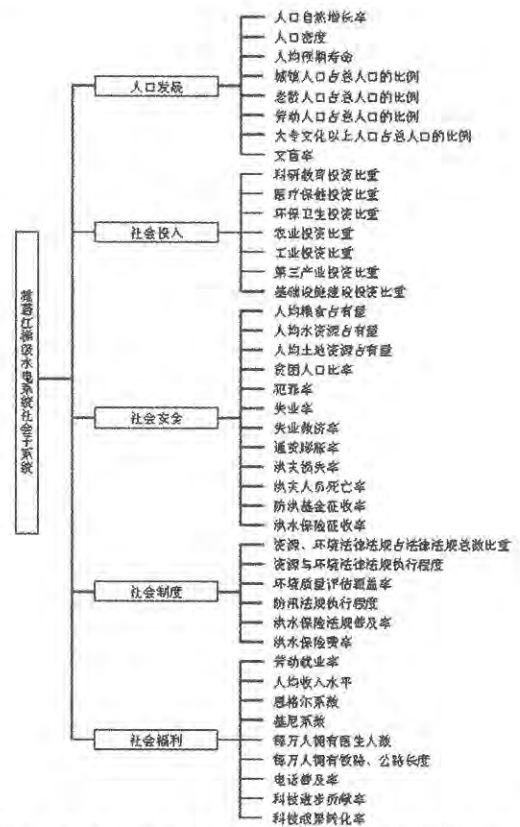


图 4 雅砻江梯级水电系统社会子系统发展指标体系



图 5 雅砻江梯级水电系统生态环境子系统发展指标体系

量和水能两个方面的利用程度指标;土地资源、森林资源、渔业资源、矿产资源四个准则层分别包含了其资源总储量的变化和开发利用程度指标。

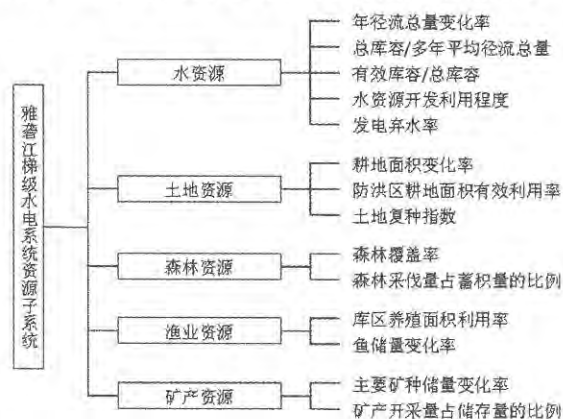


图6 雅砻江梯级水电系统资源子系统发展指标体系

### 5 结 语

雅砻江梯级水电系统可持续发展评价指标体系研究可以有效帮助决策者确定梯级水电开发可持续发展进程中优先考虑的问题,是决策者和公众了解和认识水电能源系统可持续发展进程的有效途径。本文指标体系的研究借鉴了以往指标体系的普遍性研究成果,提出了一些改进和创新,为雅砻江梯级水电系统可持续发展评价真正走向实际应用创造了基础。雅砻江梯级水电系统可持续发展评价指标体系构建以生态经济可持续发展系

(上接第 112 页)

好全年,谋划好工作。我们还给自己划定了一个对标定位,希望通过全年的努力,实现主要经济指标行业领先的目标,这也是对我们求质求效发展的一个检验。最后,我也希望通过贵刊向长期以

(上接第 117 页)

[4] Alison M. Conner, James E. Francfort, Ben N. Rinehart. U. S. Hydropower Resource Assessment Final Report[M]. 1998. 12.  
 [5] Boualem Hadjerioua, Yaxing Wei and Shih - Chieh Kao. An Assessment of Energy Potential at Non - Powered Dams in the United States[R]. 2012. 4

统分析为基础,内容丰富,模块清晰,涵盖了社会、经济、生态环境和资源四大方面,指标选择过程中充分考虑了系统性与层次性、全面性与简明性、科学性与稳定性、可操作性与主导性以及动态性与静态性相结合的原则,为梯级水电系统可持续发展全面评价和监督管理提供了统一的模板。

### 参考文献

[1] 缪益平,纪昌明,李崇浩等,基于可持续发展的水电能源系统规划[J],水力发电,2005,31(6),1-5  
 [2] 张志强,可持续发展下的生态经济学理论透视[J],中国人口-资源与环境,2003,13(6),1-4。  
 [3] 舒惠国,生态环境与生态经济[M],北京:科学出版社,2001。  
 [4] 缪益平,水电能源系统可持续发展规划理论与方法研究[D],武汉大学博士学位论文,2006。

### 作者简介:

缪益平(1978-),男,江苏江阴人,武汉大学水文学及水资源专业,高级工程师,博士,主要从事梯级水电站水库调度研究应用工作;  
 陈飞翔(1973-),男,湖南郴州人,武汉大学水利水电工程专业,教授级高工,硕士,主要研究梯级水电站运行方式管理;  
 战永胜(1979-),男,辽宁丹东人,哈尔滨工程大学检测技术及自动化装置专业,工程师,硕士,主要研究电力系统运行管理;  
 魏 鹏(1981-),男,四川简阳人,英国布鲁内尔大学设计与系统工程专业,高级工程师,博士,主要研究综合自动化系统及通信系统应用管理。  
 (责任编辑:卓政昌)

来关心支持大渡河水电开发的各级政府、各部门、各单位表示衷心的感谢,希望能得到大家一如既往的支持,为开发好大渡河水能资源,为社会奉献清洁能源做出我们应有的贡献。

(责任编辑:姚国寿)

### 作者简介:

吴世勇(1965-),男,四川仁寿人,副总经理,教授级高工,博士,长期从事水力电力经济管理和水电建设管理;  
 姚 雷(1978-),男,河南南阳人,工程师,从事水电工程设计管理工作。  
 (责任编辑:卓政昌)

## 大渡河公司水电装机达 629 万千瓦

1月21日,以单什扎吉牛水电站两台12万千瓦机组正式进入商业运营为标志,国电大渡河流域水电开发有限公司水电总装机达629.24万千瓦。大渡河公司秉持“流域、梯级、滚动、综合”的流域水电开发方针,以干流水电开发为重点,中小水电为辅助,取得了约629.24万千瓦装机建成投产,约536.8万千瓦装机开工建设,约650万千瓦装机开展前期工作的良好局面,形成了运营、在建、筹建可持续发展的格局。