

雅砻江桐子林水电站引水防沙试验研究

田震¹, 张绪进², 周勤²

(1.重庆交通大学河海学院,重庆 400074;2.重庆交通大学西南水运工程科学研究所,重庆 400016)

摘要: 本文通过水工模型试验研究了雅砻江桐子林水电站在不同拦沙坎高程、不同运行方式和敞泄拉沙下的引水防沙问题,并提出满足水电站取水防沙要求的有效建议。试验表明,采取合理有效的水电站运行方式亦或敞泄拉沙可以达到良好的引水防沙效果,满足工程规划设计要求。

关键词: 模型试验;引水防沙;敞泄拉沙;雅砻江桐子林水电站

中图分类号: TV149 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-4701(2015)02-0093-06

0 引言

雅砻江桐子林水电站位于四川省攀枝花市盐边县境内,是雅砻江下游最末一个梯级电站。该水电站位于二滩水电站下游18 km,在坝址上游有支流安宁河入汇。由于二滩水电站将拦截雅砻江干流大部分悬移质泥沙及几乎全部推移质泥沙,进入桐子林水库的泥沙主要来自安宁河。而安宁河输沙量较大、库沙比小,且河口距坝址较近,淤积洲头将很快抵达坝前,推移质粗沙就可能进入电站。本文通过水工模型试验对雅砻江桐子林水电站引水防沙进行了系统深入的研究,从而较好解决了电站的引水防沙问题。

1 概况

桐子林水电站工程属Ⅱ等大(2)型工程,枢纽从左至右由左岸重力式挡水坝段、河床式电站厂房坝段、河床4孔泄洪闸坝段、右岸导流明渠内3孔冲沙闸坝段、右岸重力式挡水坝段等建筑物组成。闸门按从左至右依次排序为1#~7#,其中1#~4#为泄洪闸,5#~7#为冲沙闸(工程枢纽布置图见图1)。水库正常蓄水位1015.00 m(黄海高程,下同),死水位1012.00 m,总库容0.912亿m³,水库具有日调节性能。每年汛期(6~9月)以排沙运用水位1012.00 m做日调节电站运行,其他时间参加电力系

统调峰运行,日内运行水位在正常蓄水位1015.00 m至死水位1012.00 m之间变化。

桐子林水电站多年平均流量为1920 m³/s,多年平均径流模数为15.0 L/(s·km²)。受二滩水库的调蓄影响,各年1~3月流量均较天然流量有所增加,汛期流量则有所减少。支流安宁河多年平均流量为248 m³/s,径流模数22.3 L/(s·km²)。二滩水库蓄水后,桐子林水库的入库泥沙主要由二滩水库下泄的悬移质以及支流安宁河来沙组成。多年平均悬移质输沙量2000万t,多年平均含沙量342 g/m³,汛期(6~9月)平均含沙量488 g/m³,汛期输沙量1830万t,占全年的91.7%^[1]。

2 模型设计

根据模型几何相似,阻力相似和水流运动相似^[2],选用1:100的正态模型, $\lambda_p=10$, $\lambda_v=2.15$, $\lambda_H=10$, $\lambda_Q=100\ 000$ 。

模型试验采用全沙模型,并选用荣昌精煤作模型沙,其容重为1.33t/m³,西南水运科学研究所三峡泥沙研究中多次使用,积累了较多的经验,加工后其粒径范围可满足模型沙级配要求。模型沙与原型沙有关特性见表1。悬移质泥沙应满足泥沙沉降相似、挟沙能力相似、泥沙扬动相似和河床冲淤变形相似,推移质泥沙应满足起动相似、输沙率相似和冲淤时间比尺相似^[3]。模型采用小卵石梅花型加糙方式满足河床阻力相似要求,以达到水面线相似性验证的要求^[4]。库区悬移质泥

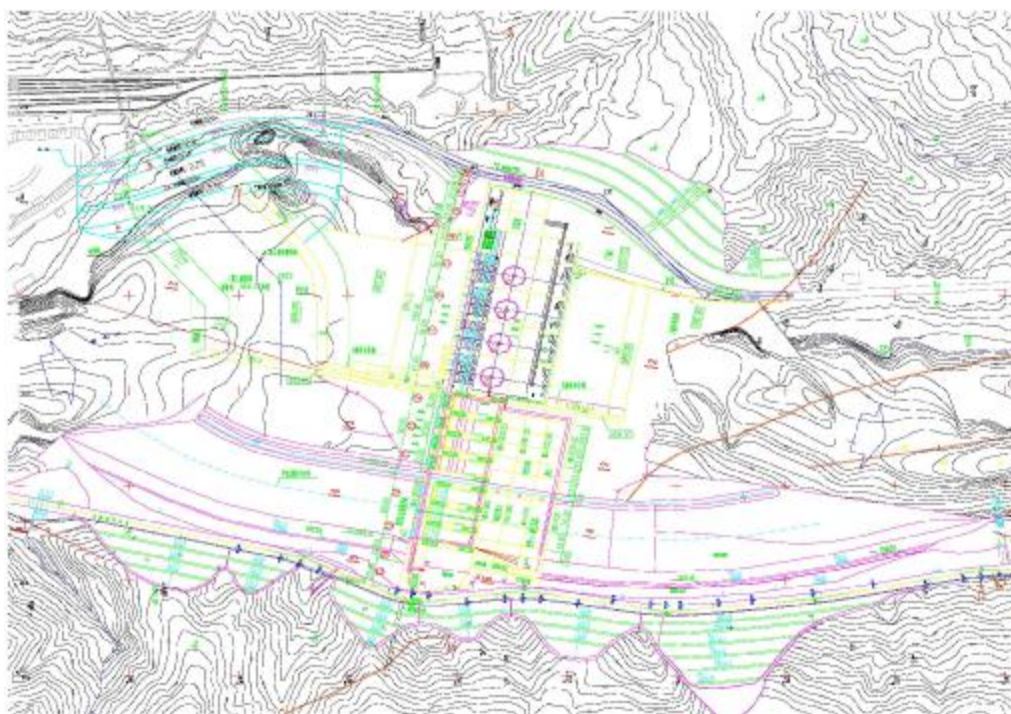


图 1 枢纽布置图

表 1 原型沙与模型沙(煤粉)特性

泥沙类型	悬移质		推移质		t/m ³
	γ_s	γ_θ	γ_s	γ_θ	
原型沙	2.65	1.45	2.65	1.80	
模型沙	1.33	0.5	1.33	0.59	

表 2 桐子林水库雅砻江库区悬移质颗粒级配表

粒 径/mm	0.007	0.010	0.025	0.05	最大粒径	中数粒径
小于某粒径沙重百分数/%	71.7	84.3	99.5	100	0.05	0.004

表 3 安宁河悬移质颗粒级配表

粒 径/mm	0.007	0.01	0.025	0.05	0.1	0.25	0.5	1.0	3.0	最大粒径/mm	中数粒径/mm
小于某粒径沙重百分数/%	6.1	10.3	27.1	51.7	71.3	87.4	97.0	99.9	100	1.34	0.049

表 4 安宁河床沙颗粒级配表

粒 径/mm	0.1	0.5	1	2	3	5	7	10	20	40	100	200
小于某粒径沙重百分数/%	0.5	7.7	17.9	20.5	21.0	23.3	23.8	28.2	36.6	50.3	75.8	100

沙颗粒级配、床沙级配见表 2~4 及图 2~3。各模型比尺关系见表 5。

3 试验成果与分析

试验首先采用洪、中、枯水代表年的水沙系列进行

系列年输沙试验。水库运行方式为汛期(6~9 月)以排沙运用水位 1 012 m 做日调节运行,其余流量由泄洪闸下泄。泄洪时优先开启靠近电站的 1#~4# 泄洪闸,流量较大时再开启 5#~7#;汛末时优先关闭 1#~4# 泄洪闸,由 5#~7# 冲沙闸排泄多余流量。试验观测表明,水库运行 20 年末已基本达到冲淤平衡,1#~3# 机组前淤积泥沙仍主要为

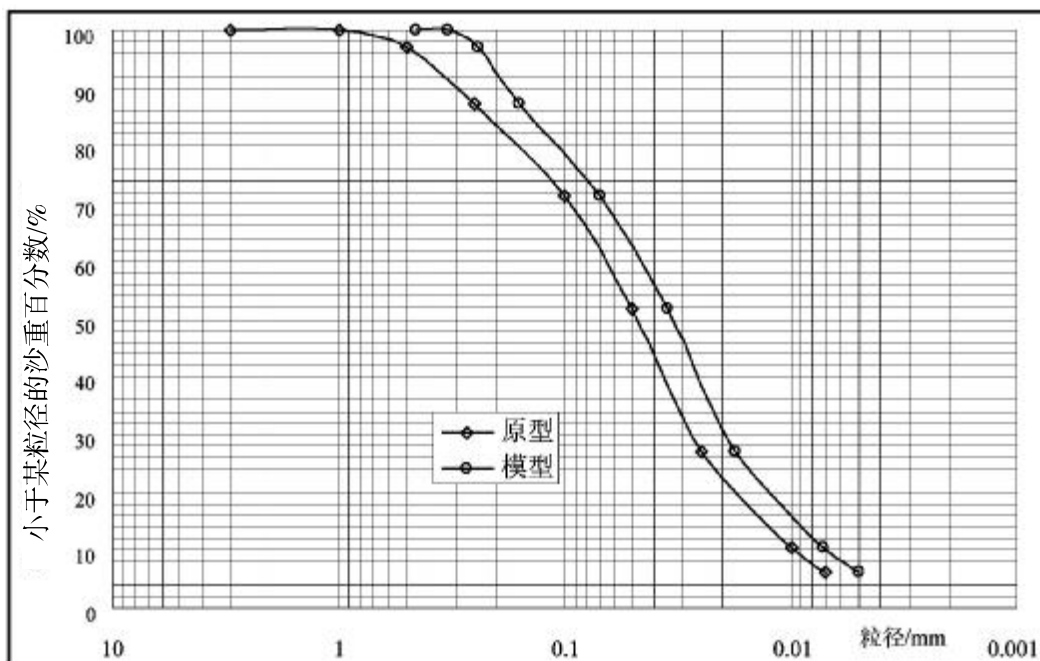


图 2 安宁河悬移质颗粒级配曲线

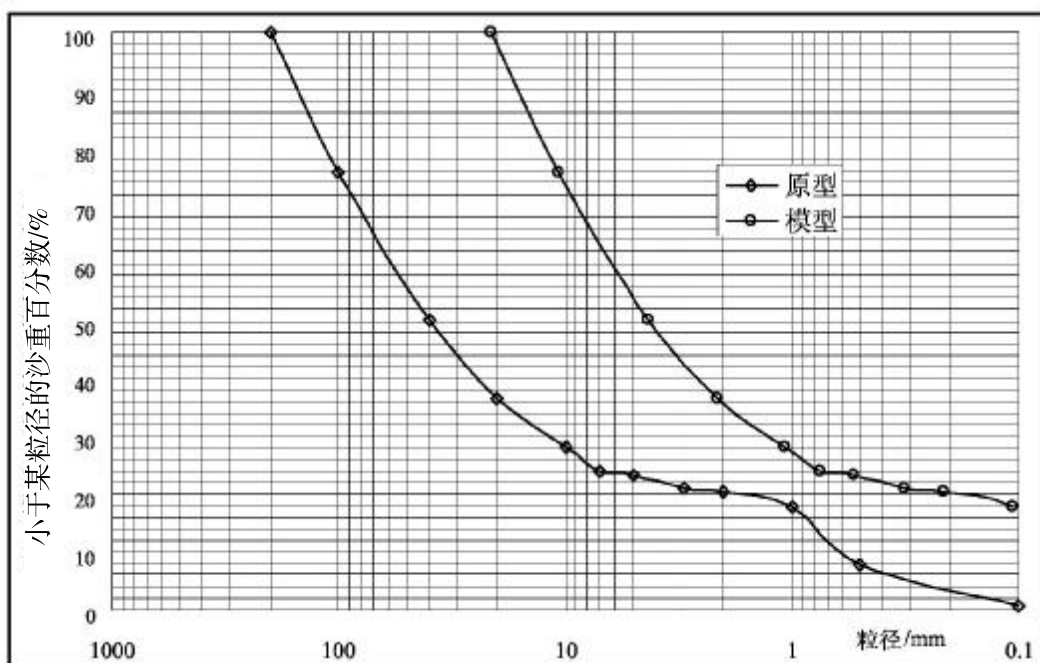


图 3 安宁河床沙颗粒级配曲线

悬移质,4[#]机组前有推移质泥沙淤积;水库运行 25 年末,4[#]机组前有明显推移质泥沙淤积,将对机组发电产生不利影响。

主要原因有:①电站前的拦沙坎(998 m)为施工期横向围堰改建而成,其线型布置为折线型,当粗砂运行至拦沙坎前时不能完全被下泄,部分粗砂在大流量时由于拦沙坎及泄洪闸附近水流的紊动作用跃入电站前池内。②明渠上游导墙堤头附近布置为弧线伸入河中,大

流量时堤头附近形成的绕流流态加重了坝前水流的紊动,加大了粗砂进入电站前池的可能性。③电站运行方式为汛期首先开启靠近电站的 4 孔泄洪闸,而后再开启靠近右岸的 3 孔冲沙闸下泄多余流量,造成上游来流和来沙均集中在左岸的电站一侧,对电站的防沙条件较为不利。为了满足电站正常取水防沙条件的要求,拟从优化拦沙坎高程、优化电站运行方式及敞泄拉沙等方面进行研究^[5-6]。

表 5 各模型比尺汇总

序号	项目	名称	关系式	比尺值	备注
1	悬移质	沉速比尺 λ_w	$\lambda_w=\lambda_v\frac{\lambda_h}{\lambda_L}$	10	
		粒径比尺 $\lambda_{d(悬)}$	武汉大学公式	1.41~6.68	
		扬动流速比尺 λ_{vf}	水槽试验确定	8.73~10.54	
		含沙量比尺 λ_s	$\lambda_s=\frac{\lambda_{rs}\lambda_v}{\lambda\frac{r_s}{r}\frac{r}{r}}$	0.398	经验确定 $\lambda_s=0.363$
		冲淤时间比尺 λ_{tt}	$\lambda_{tt}=\frac{\lambda_{rs}\lambda_L}{\lambda_s\lambda_v}$	73	经验确定 $\lambda_{t2}=80$
2	推移质	粒径比尺 $\lambda_{d(推)}$	$\lambda_{d(推)}=\frac{\lambda_h}{\frac{\lambda_{rs}^{5/3}}{r}\frac{r}{r}}$	9.4	
		起动流速比尺 λ_{v0}	$\lambda_{v0}=\lambda_v$	10	
		输沙率比尺 λ_{ϕ}	$\lambda_{\phi}=\left[\frac{\lambda_{rs}}{\lambda\frac{r_s}{r}\frac{r}{r}}\right]^{3/2}\lambda_h$	348	经验确定 $\lambda_{\phi}=361$
		冲淤时间比尺 λ_{t3}	$\lambda_{t3}=\frac{\lambda_{rs}\lambda_h\lambda_L}{\lambda_{\phi}}$	83	经验确定 $\lambda_{t3}=80$

3.1 拦沙坎高程的优化

试验工况为拦沙坎高程 999 m、999.5 m 和 1 000 m 三种方案，试验流量包括 Q=3 473.2 m³/s（电站满发流量）、5 590 m³/s 和 8 060 m³/s(P=50 %)三级。观测发现，随着电站拦沙坎的加高，电站取水口前取水条件有所恶化，当拦沙坎高程加高 2 m 及以上(≥1 000 m)时，拦沙坎附近出现一定的跌水；遇较大流量的洪水时，拦沙坎附近流速较大，粗颗粒泥沙随水流跃过拦沙坎进入前池内，电站前池内粗砂淤积的范围仍主要集中在靠近泄洪闸的 4# 机组进口前沿区域，对电站发电不利。因此单纯采取加高拦沙坎高程的方式不能起到解决粗沙过机的问题，必须进行进一步优化和完善。

3.2 不同运行方式下引水排沙

试验是在水库冲淤平衡床面上施放 Q=5 590 m³/s（常年洪水）、Q=8 060 m³/s(P=50 %）、Q=14 410 m³/s(P=5 %)三级流量模拟正常引水发电过程。试验观测表明，当 Q=5 590 m³/s 时，水流流速较小，挟沙力也较小，自安宁河入库的粗颗粒泥沙不能达到近坝河段，因此近坝河段表层基本无粗砂淤积；当 Q=8 060 m³/s、Q=14 410 m³/s 时，坝前水流流速大，水流挟沙力和紊动作用增强，自安宁河入库的粗颗粒泥沙被水流挟带至坝前。推移质在近坝河段的运动轨迹随闸门开启方式的不同而不同：当仅开启泄洪闸时，前池内有较多的粗颗粒泥沙淤

积；当同时开启 1#~4# 泄洪闸和 5#~7# 冲沙闸时，前池内也有一定的粗颗粒泥沙淤积。而仅开启冲沙闸时，粗颗粒泥沙沿主槽偏右下输移，电站前池无粗颗粒泥沙堆积。典型地形断面图见图 2。因此，原运行方式显然不能满足电站引水防沙的要求。

3.3 敞泄拉沙试验

敞泄拉沙试验也是在桐子林水库库区泥沙淤积基本达到平衡状态的基础上进行的，坝前水位为 1 012 m。选择的流量工况为 Q=3 520 m³/s(汛期平均流量)、Q=5 590 m³/s、Q=8 060 m³/s 和 Q=14 410 m³/s。

从试验观测来看，各级敞泄冲沙流量情况下，库区泥沙冲刷形态基本相似，冲刷部位、冲刷长度等均大致相同。闸前淤积河道呈现“泥石流效应”，大量泥沙随水流向下游崩塌、输移(见图 3 和照片 1)。冲刷主要集中在雅砻江淤积形成的边滩根部，以及雅砻江主槽、安宁河主槽流速较大的区域。拦沙坎最右侧前淤积洲面高程拉沙后较拦沙坎顶高程低 10 m 左右，且 4# 机组拦沙坎前的粗颗粒泥沙被拉走，此外，敞泄拉沙时无粗沙跃过拦沙坎进入前池，这对电站引水防沙有利。据统计，四级流量下雅砻江和安宁河库区段冲刷总量分别为 175.78 万 m³、194.75 万 m³、199.25 万 m³ 和 217.36 万 m³，分别占 20 年末泥沙淤积总量的 19.55 %、21.66 %、22.16 %和 24.18 %。因此，敞泄拉沙能有效恢复库容，

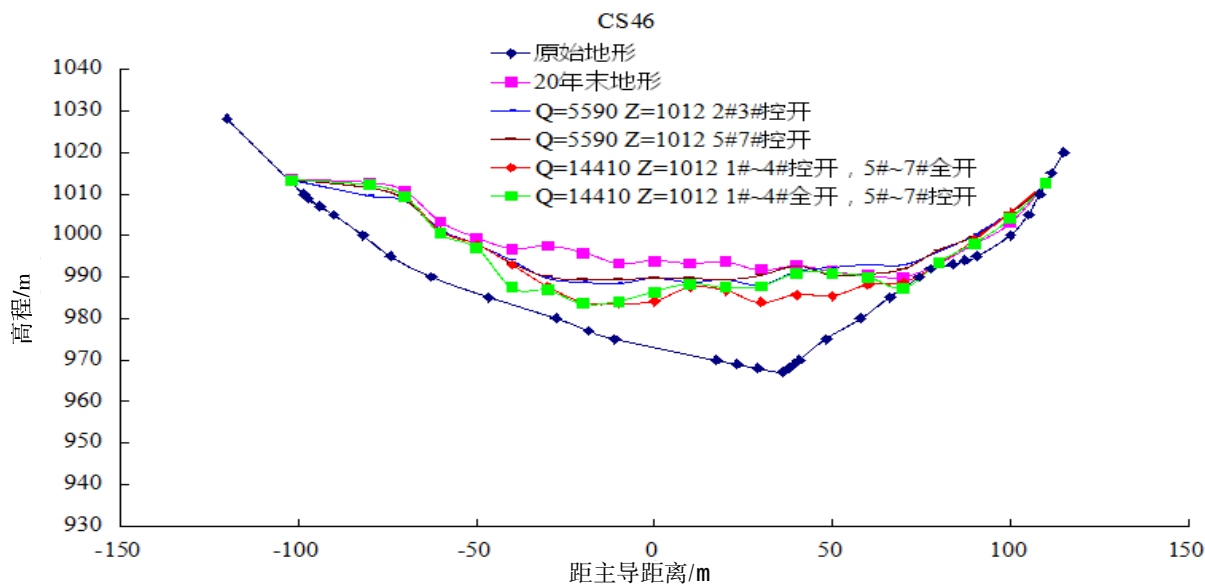


图 2 距坝上游 0.5km 断面冲淤变化图

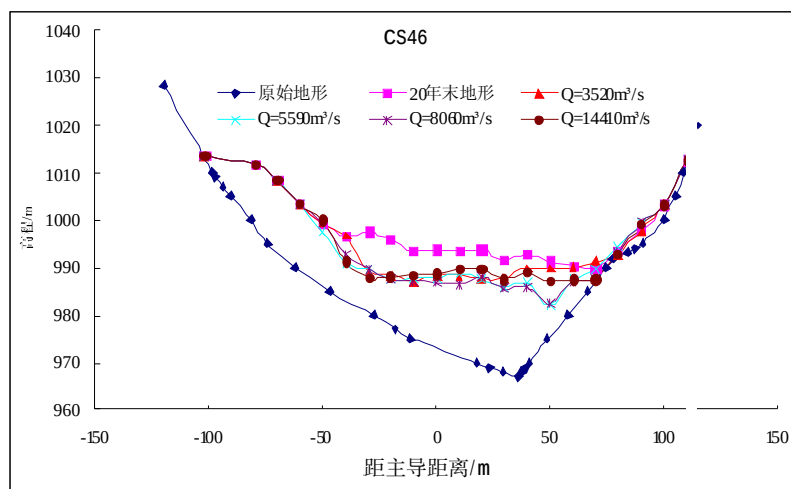


图 3 距坝上游 0.5km 断面冲淤变化图



照片 1 敞泄拉沙后库区地形(Q=8 060m³/s)

满足电站引水防沙要求。

4 结论与建议

(1) 增加拦沙坎高程遇较大流量时,受水流紊动的影响,粗颗粒泥沙随水流跃过拦沙坎进入前池内,影响电站发电。因此,单纯增加拦沙坎高程不能很好地起到引水防沙效果。

(2) 与原运行方式相比,开启 5#~7# 冲沙闸下泄多余流量比单纯开启 1#~4# 泄洪闸排沙效果好。敞泄拉沙能够更好的将 4# 机组前的粗沙下泄到下游,对电站引水防沙有利。

(3) 建议电站运行时下泄多余流量时优先开启 5#~7# 闸孔,关闭闸孔时优先关闭 1#~4# 闸孔。同时建议水库运

行中远期若遇大洪水(20 年一遇洪水及以上)和明显沙峰时应加强水库的泥沙监测,采用临时关停 4# 机组甚至敞泄拉沙等措施,确保电站的取水防沙要求。

参考文献:

- [1] 周勤.雅砻江桐子林水电站引水防沙模型试验研究报告[R].重庆西南水运工程科学研究所,2013.
- [2] 吴持恭.水力学[M].北京:高等教育出版社,1998.
- [3] 钱宁,万兆惠.泥沙运动力学[M].北京:科学出版社,1983.
- [4] 谢鉴衡.河流模拟[M].北京:中国水利水电出版社,1993.
- [5] 彭睿,聂锐华,张洋.锦屏二级水电站进水口引水防沙模型试验研究[J].水力发电,2013,39(4):90-94.
- [6] 郭红浩,张根广.白龙江锁儿头水电站凸岸引水防沙试验研究[J].人民长江,2008,39(14):67-69.

Experimental study on water diversion and sediment prevention of Tongzilin Hydropower Station in Yalong River

TIAN Zhen¹, ZHANG Xu-jin², ZHOU Qin²

((1. School of River and Ocean Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

2. The Southwest Waterway Engineering Institute, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400016, China)

Abstract: Based on hydraulic model test, the properties of water diversion and sediment control of Tongzilin hydropower station in Yalong River under different top elevations of sand trap, various operation and opening gate for sediment release are studied and the effective suggestions for the requirement of water diversion and sediment control is proposed. The experiments show that, to take reasonable and effective operations plans or open gate for sediment release can achieve a good flow guiding and sediment control effect and meet the requirements of the design.

Key words: Model test; Water diversion and sediment control; Opening gate for sediment release; Tongzilin hydropower station of Yalong River

编辑: 刘 颖

(上接第 80 页)

4 以体制机制创新保障水生态文明建设有效推进

以体制机制创新推进水生态文明建设, 关键要从“宽松管理”转变为“最严格水资源管理制度”, 从“粗放用水”转变为“节水优先”, 要从“多龙管水”转变为“水资源统一管理”。

4.1 构建四级联动的水生态文明建设格局

为探索符合江西实际的水生态文明建设模式, 实现“防洪有力、河湖畅通、水清岸洁、生态良好、乡愁永续”的建设目标, 全省以南昌、新余和萍乡三个全国水生态文明城市建设试点为引领, 在全国率先开展水生态文明县、乡、村试点建设和自主创建, 着力构建 4 级联动的水生态文明建设格局。加强顶层设计和制度建设, 制定了水生态文明建设工作方案、管理办法和评价办法, 确定了第一批 3 个县、22 个乡镇、125 个村为省级试点, 即将授牌第一批省级水生态文明单位。启动了《江西省水生态文明建设规划》编制工作。此外, 依托水利工程加强水利风景区建设, 发展水利旅游; 着力打造鄱阳湖棠荫国际水生态体验岛, 推动鄱阳湖生态旅游开发, 实现生态与经济双赢。

4.2 深化水管理体制改革的

落实最严格水资源管理制度, 建立水资源水环境承载能力监测预警机制, 探索建立水资源督察制度和水资源水环境损害责任终身追究制。合理划分涉水事权, 简政放权, 加强行业指导和事中事后监管。强化江

河流域和城乡水资源统一管理, 健全涉水事务部门协作机制。实行“河湖蓝线”管理制度, 推行河道管理“河长制”, 探索水生态补偿机制。

4.3 加强科技创新支撑

近年来, 江西省不断加强水利科研力度, 建立了鄱阳湖模型试验研究基地、鄱阳湖水文生态监测研究基地和江西水土保持科研创新基地, 搭建三大科研平台。依托这些平台, 加强项目支持和高层次人才引进、科研合作与交流, 加强水生态文明建设关键技术研究。健全人才队伍, 重点引进水资源水生态环境方面的人才, 提升水生态文明建设科技创新能力。

4.4 完善法治体系保障

贯彻“依法治国”方针, 推进依法治水。重点是完善地方水法规制度体系, 修订《江西省水资源条例》, 制定《江西省湖泊管理条例》, 完善最严格水资源管理制度配套政策; 加强水政执法, 严厉打击破坏河湖水域岸线等各种水事违法行为; 严格考核问责, 将水生态文明建设和水生态环境保护纳入领导干部年度述职、地方和部门绩效考核内容。

5 结语

建设生态文明先行示范区是江西发展的全新起点。水利人将勇于担当, 积极探索, 大胆实践, 做好水文章, 以水生态文明建设的巨大成效, 有力促进江西生态文明先行示范区的顺利建设。

编辑: 刘 颖