

# 小流域生态清洁评价分级标准研究

张磊<sup>1,2</sup>, 郑委<sup>3</sup>, 谢颂华<sup>1,2</sup>, 莫明浩<sup>1,2</sup>

(1. 江西省水土保持科学研究院, 江西 南昌 330029;  
2. 江西省土壤侵蚀与防治重点实验室, 江西 南昌 330029; 3. 江西省水利科学研究院, 江西 南昌 330029)

**摘要:** 为了建立一套科学易行的小流域生态清洁整体性评价标准, 给生态清洁小流域建设提供可靠的技术支撑, 本文综合考虑土壤状况、生态系统、水环境、人类社会与经济发展, 提出了小流域生态清洁的评价指标和分级标准, 并以江西省赣县柘田小流域为例进行应用。评价结果基本符合流域的实际情况, 提出的14个关键指标能够反映小流域生态清洁的整体状况, 评价方法科学可行, 柘田小流域生态清洁指数为7.82, 评价分级为“一般”, 接近“清洁”。

**关键词:** 小流域治理; 生态清洁评价; 层次分析法; 分级标准

**中图分类号:** S157      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1004-4701(2017)05-0342-06

## 0 引言

随着我国工业化、城镇化步伐的加快和社会主义新农村建设的深入推进, 生态环境恶化、水土流失加剧、水质污染、水土资源供需矛盾等问题日益突出, 传统小流域综合治理已不能满足社会经济和环境健康的需要。生态清洁小流域作为小流域综合治理的新目标, 是其深化与提升。因此, 流域生态清洁的研究受到国内外广泛的关注, 非常有必要建立一套小流域生态清洁整体性评价标准, 为探索小流域生态清洁治理技术体系和治理模式、更好地开展流域生态建设提供可靠的技术支撑。

## 1 小流域生态清洁概述

生态清洁小流域的内涵是指以小流域为单元, 统一规划、综合治理, 遵循自然规律和生态法则, 基本实现流域内资源的合理利用和优化配置、人与自然和谐相处、经济社会可持续发展及生态系统良性循环; 它以流域内的水源、土地、生物等资源承载力为基础, 以调整人为活动为重点, 抓住“生态”和“清洁”两个核心要素, 建立政府主导、公众参与的互动机制。

目前, 流域生态系统的评价方法较多, 多采用土壤

侵蚀、面源污染、植被覆盖、水环境监测、生物多样性等生态环境指标, 研究尺度差异大, 但针对小流域整体生态清洁状况, 特别是综合社会、经济发展的研究很少。因此, 本文综合考虑小流域内土壤状况、生态系统、水环境、人类社会与经济发展4方面因素, 对影响小流域清洁的各要素进行定量评估, 提出具有参考性的评价分级标准, 并在江西省赣县柘田小流域进行评价验证。

## 2 小流域生态清洁评价

### 2.1 评价体系

#### 2.1.1 指标选取原则

小流域生态清洁评价指标的选择主要遵循以下原则:

(1) 代表性。选取的指标应具有代表性, 每个指标应能反映某一方面的特征, 并且要有一定的普遍性和适应性。

(2) 系统性。充分反映小流域生态清洁的内涵, 按照评价基本框架, 系统地表征小流域生态系统中水域、土壤、生态环境、人类社会和经济现状, 通过其综合效应来全面刻画流域生态清洁状况。

(3) 差异性。指标体系应涵盖流域生态清洁的主要方面, 既要简明扼要, 指标数量又不宜过多, 指标间应

具有明显的差异性。

(4)可获取性。指标测度应简单易行,计算指标所需数据应易获得且比较可靠,便于计算、比较和分析。

2.1.2 评价体系结构

参考“生态修复、生态治理、生态保护”三道防线的

建设实践,将小流域生态清洁评价体系分为目标层、子目标层和指标层(图 1)。目标层反映小流域生态清洁状况,子目标层反映影响小流域生态清洁的主要因素。指标层由若干个主要评价指标组成,反映子目标层的具体情况。

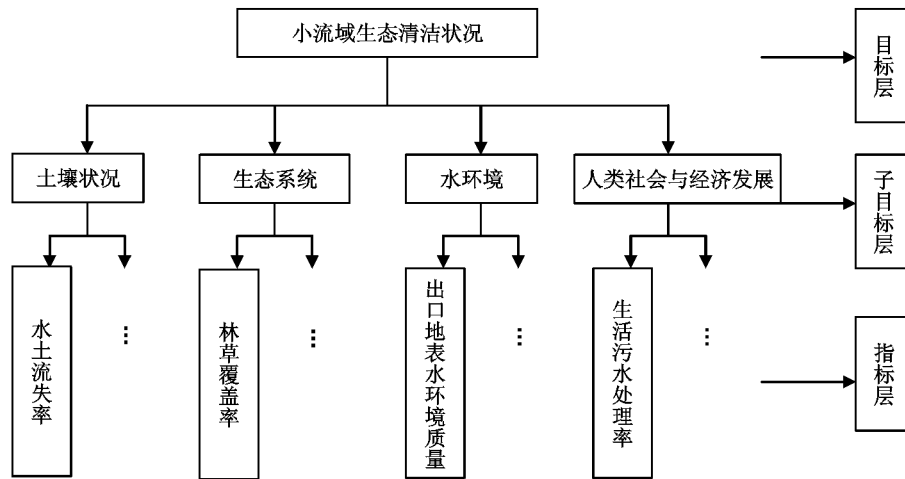


图 1 小流域生态清洁评价体系结构

2.2 评价方法

根据评价体系结构,参考盖永伟等<sup>[1]</sup>对流域健康指数的计算方法,选用能够较好解决复杂系统中多层次、多结构和单目标的层次分析法进行小流域生态清洁评价,提出小流域生态清洁指数(C)的计算方法:

$$C = \sum_{i=1}^m A_i \sum_{j=1}^n B_j P_{ij} \quad (1)$$

式中: $A_i$  为子目标层内第  $i$  个子目标的权重; $B_j$  为某子目标层下第  $j$  个指标在该子目标层所占权重; $P_{ij}$  为子目标层内第  $i$  个子目标层下选取的第  $j$  个指标无量纲化后的分值; $m$  为子目标层内子目标的个数; $n$  为指标层内指标的个数。

2.3 评价指标

2.3.1 关键指标

根据 2003 ~ 2017 年近 15 年 130 余篇研究成果和相关的法规标准,梳理出了小流域生态评价系统 43 个,共计参评指标 671 项。据参评指标侧重反映的流域特征,将其归类到评价体系子目标层中,计算各指标在 43 个评价系统中出现的次数,确定出现次数高、能综合体现该子目标层特征的指标,作为指标层的初选指标。根据指标选择原则,对初选指标进行相关性分析,对差异性不大的指标进行合并、归类,对代表性不强、不具有可获取性的指标予以剔除,最终形成小流域生态清洁评价

体系的指标层,以期能够反映影响小流域生态清洁的主要问题,分析结果见表 1。

2.3.2 关键指标的解释及分级依据

(1)水土流失率。水土流失率 = (一定时期水土流失面积/同期土地总面积) × 100%。

(2)化肥施用强度。指 1 年内单位耕地面积的化肥施用量,化肥施用量<sup>[2]</sup>按折纯量计算。折纯量是指将氮肥、磷肥、钾肥分别按氮、五氧化二磷、氧化钾的量进行折算后的数量。复合肥按其所含主要成分折算。《生态清洁小流域建设技术导则》(SL 534 - 2013)要求每年化肥使用量小于等于 250 kg/hm<sup>2</sup>,以此作为小流域生态清洁的下限,而国际公认的上限标准为 225 kg/hm<sup>2[3]</sup>,以此作为生态清洁小流域的高标准。

(3)农药施用情况。包括农地、果园等施用农药的种类、强度和方法等。蔡书凯等<sup>[4]</sup>研究表明,中国水稻生产大省安徽省 2008 年农药施用强度为 19.46 kg/hm<sup>2</sup>,比全国平均水平的 13.74 kg/hm<sup>2</sup>高 41.67%;近年南方地区农药使用量约为 40 kg/hm<sup>2</sup>,是发达国家对应限值的 5.75 倍。综上,以 10 ~ 25 kg/hm<sup>2</sup>作为本文的临界值是合适的。

(4)林草覆盖率。指以行政区域为单位,乔木林、灌木林与草地等林草植被面积之和占区域土地面积的百分比。据已有研究,谢磊等<sup>[5]</sup>将林草覆盖率 ≥ 50%

作为生态清洁的标准,以此作为小流域生态清洁的下限;王雄宾等<sup>[6]</sup>将林草覆盖率的理想值为达到80%,以

此作为小流域生态清洁的高标准,确定本文分级标准。  
(5)河岸带植被覆盖率。指河岸、河滨带乔灌草面

表1 小流域生态清洁评价的关键指标

| 层次   | 评价的关键指标                   |                   |   |   |
|------|---------------------------|-------------------|---|---|
| 目标层  | 小流域生态清洁                   |                   |   |   |
| 子目标层 | 土壤状况                      | 生态系统              | 水环境   | 人类社会与经济发展   |
| 指标层  | 水土流失率<br>化肥施用强度<br>农药施用强度 | 林草覆盖率<br>河岸带植被覆盖率 | 小流域出口地表水环境质量<br>沟道水文形态<br>径流量变化率<br>饮用水源水质达标率 | 人口密度<br>农民人均纯收入<br>生活污水处理率<br>规模养殖污水处理率<br>生活垃圾无害化处理率 |

积占河岸带总面积的比例,此指标是评价小流域河流生态状况的重要指标,徐志嫻等<sup>[7]</sup>将此指标分为五个等级,即 $\geq 70\%$ , $60\% \sim 70\%$ , $50\% \sim 60\%$ , $40\% \sim 50\%$ , $\leq 40\%$ ,本文采用健康 $\geq 70\%$ 和临界底限50%作为划分标准。

(6)小流域出口地表水环境质量。该指标是评价小流域出水水质的重要指标,按照《地面水环境质量标准》(GB3838-2002)进行监测。参考《生态清洁小流域建设技术导则》(SL 534-2013)<sup>[8]</sup>的分级指标表,确定本文的分级标准。

(7)沟道水文形态特征主要包括:①水流速度、水量、泥沙运输及河流纵向、横向和垂向的连续性等;②沟道的平面形态、断面形态、河床底质及河岸带状况(如是否受石墙圈围或束窄、横向工程的数量和高度、河底衬砌、植被受扰动的程度)。根据吴敬东等<sup>[9]</sup>对小流域主沟道水文地貌调查及分级,主沟道水文地貌划分为5个等级,本文参考该成果所表述的特征对沟道水文形态划分定性的等级和标准。

(8)径流量变化率。为最大程度消除降雨频率的影响,采用近5年平均天然径流量来表征一段时期内流域径流量的变化情况。径流量变化率= $(\text{多年平均天然径流量} - \text{近5年天然径流量}) / \text{多年平均天然径流量} \times 100\%$ 。当近5年天然径流量平均值大于基准年时,认为该指标为优;当近5年天然径流量平均值小于基准年时,按照不同变化情况进行等级划分。

(9)饮用水源水质达标率。饮用水源地达标率= $(\text{饮用水源地达标数量} / \text{饮用水源地总量}) \times 100\%$ ,该指标数据可参考水资源公报成果。2012年全国饮用水水质合格率在80%以上的水源地达标比例为72.1%,以此作为参考依据,按照不同变化情况进行等

级划分。

(10)人口密度。指单位面积土地上居住的人口数,是反映某一地区范围内人类活动密集程度的大小。本研究参考龙笛等<sup>[10]</sup>的研究结果确定本文标准。

(11)农民人均纯收入。指小流域内一定时期内的纯收益与该时期流域人口数的比值,表征村庄能够自发改善流域环境的能力。2015年中国贫困线标准:农民年人均纯收入为2800元,以此作为生态清洁的下限;中国科学院中国现代化研究中心发布的《中国现代化报告2013—城市现代化研究》全面小康社会的标准:农村家庭人均纯收入超过8000元,以此作为生态清洁的高标准。

(12)生活污水处理率。规范SL 534-2013要求生活污水处理率大于等于80%,以此作为底限,并参考北京市地方标准DB11/T 548-2008<sup>[11]</sup>和马丰丰等<sup>[12]</sup>的研究结果,确定分级标准。

(13)规模养殖污水处理率。规范SL 534-2013要求养殖污水处理率达到100%,以此作为底限确定分级标准。

(14)生活垃圾无害化处理率。规范SL 534-2013要求处理率大于等于80%,以此作为小流域生态清洁的底限,参考DB11/T 548-2008确定本文等级。

## 2.4 评价标准

借鉴相关研究成果,将小流域生态清洁评价标准划分为3个等级,分别为清洁、一般、不清洁,并赋予分值“10~8、7~5、4~0”代表3个等级的标准(见表2)。评价标准既有定性也有定量,等级划分主要来自2方面依据:(1)以国家有关行业、地方标准为依据,根据法定和通用标准对各指标进行量化分级,如规模养殖污水处理率、生活垃圾无害化处理率指标;(2)以前人已有的研

究成果或研究区的实际情况为依据,综合分析各等级限值和赋值情况来划分评价等级,如林草覆盖率、农民人

均纯收入等指标。各指标等级划分原则在前文关键指标的分级依据中已说明。

表 2 小流域生态清洁评价分级标准

| 目标层     | 子目标层 | 指标层                            | 划分等级及标准   |           |           |
|---------|------|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|
|         |      |                                | 清洁(10~8分) | 一般(7~5分)  | 不清洁(4~0分) |
| 小流域生态清洁 | 土壤   | 1 水土流失率/%                      | <30       | 30~50     | ≥50       |
|         |      | 2 化肥施用强度/(kg/hm <sup>2</sup> ) | ≤225      | 225~250   | >250      |
|         |      | 3 农药施用强度/(kg/hm <sup>2</sup> ) | <10       | 10~25     | ≥25       |
|         | 生态   | 4 林草覆盖率/%                      | ≥80       | 80~50     | <50       |
|         |      | 5 河岸带植被覆盖率/%                   | ≥70       | 70~50     | ≤50       |
|         |      | 6 径流量变化率/%                     | ≤10       | 10~20     | >20       |
|         | 水环境  | 7 沟道水文形态                       | 好         | 中等        | 差         |
|         |      | 8 小流域出口地表水环境质量(类)              | Ⅱ         | Ⅲ         | V         |
|         |      | 9 饮用水源水质达标率/%                  | ≥80       | 80~60     | <60       |
|         |      | 10 人口密度/(人/km <sup>2</sup> )   | ≤100      | 100~500   | >500      |
|         | 人与社会 | 11 农民人均纯收入/元                   | ≥8000     | 8000~2800 | ≤2800     |
|         |      | 12 生活污水处理率/%                   | ≥90       | 90~80     | <80       |
|         |      | 13 规模养殖污水处理率/%                 | 100       | 100       | <100      |
|         |      | 14 生活垃圾无害化处理率/%                | ≥90       | 90~80     | <80       |

注:沟道水文形态各标准的具体描述如下;(1)“清洁”代表沟道保持自然或接近自然,流水与泥沙输移畅通,无人干扰或河道一岸被束窄,河底与地下水连通,无横向水利工程;(2)“一般”代表流水与泥沙输移受中等程度的影响,河道两岸被束窄,河底连通,有一些小型跌水或横向拦挡物,但不阻碍河流连续性;(3)“不清洁”代表流水与泥沙输移受较大影响,河道两岸被束窄,有横向水利工程,在一定程度上阻碍河流连续性。

### 3 案例应用

柘田小流域(115°07'~115°11'E,26°00'~26°07'N)位于贡水一级支流平江下游,涉及江西省赣县北部的吉埠、南塘、田村3个镇,土地总面积45.47 km<sup>2</sup>,总人口14 210人。土壤主要由变质岩、花岗岩、砂砾岩、第四纪红土发育而成的地带性红壤。治理前小流域植被覆盖率46.8%,一些水土流失严重的山地植被覆盖率在10%以下。历年平均降雨量1 476.7 mm,且时空分布不均,常常出现暴雨、洪涝等灾害性天气。小流域治理前水土流失面积1 854.2 hm<sup>2</sup>,占土地总面积的40.7%,属赣南山地丘陵中度侵蚀区,在赣南地区具有一定的代表性。2014~2016年,柘田以生态清洁小流域标准实施综合治理工程,累计治理水土流失面积1 736.4 hm<sup>2</sup>,综合治理程度达93.6%,各项水保工程质量均达到国家一级标准,是典型的生态农业型小流域。

以调查数据和资料为基础计算各评价指标的现状值,并根据评价分级标准确定无量纲标准分值,在参考大量相关文献和经过多名有关专家学者打分评价的基础上,通过层次分析法(AHP法)计算出各指标的权重(见表3),开展柘田小流域生态清洁状况评价。

从评价结果看,柘田小流域生态清洁指数为7.82,在分级上属于“一般”,接近“清洁”,符合小流域治理成效显著的实际状况。经过3年的治理工作,小流域植被覆盖率由治理前的46.8%提高到治理后的75.8%,引进农作物、经济果木等优良品种20个,推广种植面积205 hm<sup>2</sup>,水土保持成效显著,社会经济效益明显提高。

从子系统层面来看,柘田小流域土壤子系统在清洁程度评价得分2.55,生态子系统评价得分1.79,水环境子系统评价得分1.78,人与社会子系统评价得分1.70,说明人与社会因子影响了小流域的生态清洁状况。未来应特别重视小流域的经济发展与村庄环境改善措施,开展水生态文明建设,保持小流域持久协调发展。

表3 柘田小流域生态清洁指数评价结果

| 目标层 C       | 子目标层 A              | 指标层 B             | B层指标相对于 A层权重 (一级权重) | B层指标相对于 C层权重 (二级权重) | 现状值    | 标准分值 P | 评价分值 |
|-------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------------|--------|--------|------|
| 小流域生态清洁 (C) | 土壤 (A1)<br>0.2951   | 水土流失率 (B1)        | 0.6000              | 0.1771              | 24.7   | 8.8    | 1.56 |
|             |                     | 化肥施用强度 (B2)       | 0.2000              | 0.0590              | 220.0  | 8.6    | 0.51 |
|             |                     | 农药施用强度 (B3)       | 0.2000              | 0.0590              | 9.0    | 8.2    | 0.48 |
|             | 生态 (A2)<br>0.2481   | 林草覆盖率 (B4)        | 0.6667              | 0.1654              | 75.8   | 6.6    | 1.09 |
|             |                     | 河岸带植被覆盖率 (B5)     | 0.3333              | 0.0827              | 75.0   | 8.5    | 0.70 |
|             |                     | 径流量变化率 (B6)       | 0.1025              | 0.0214              | 12.0   | 8.4    | 0.18 |
|             |                     | 沟道水文形态 (B7)       | 0.0500              | 0.0104              | 好      | 10.0   | 0.10 |
|             | 水环境 (A3)<br>0.2087  | 小流域出口地表水环境质量 (B8) | 0.4237              | 0.0884              | Ⅲ类     | 7.0    | 0.62 |
|             |                     | 饮用水源水质达标率 (B9)    | 0.4237              | 0.0884              | 100%   | 10.0   | 0.88 |
|             |                     | 人口密度 (B10)        | 0.0305              | 0.0076              | 312.0  | 5.9    | 0.05 |
|             | 人与社会 (A4)<br>0.2481 | 农民人均纯收入 (B11)     | 0.3501              | 0.0869              | 5356.0 | 6.0    | 0.52 |
|             |                     | 生活污水处理率 (B12)     | 0.2065              | 0.0512              | 85.0   | 6.0    | 0.31 |
|             |                     | 规模养殖污水处理率 (B13)   | 0.2065              | 0.0512              | 100.0  | 10.0   | 0.51 |
|             |                     | 生活垃圾无害化处理率 (B14)  | 0.2065              | 0.0512              | 85.0   | 6.0    | 0.31 |
| 评价指数        |                     |                   |                     |                     |        |        | 7.82 |

## 4 结论

(1) 本文综合考虑了小流域内土壤状况、生态系统、水环境、人类社会与经济发展 4 方面因素,提出了小流域生态清洁评价的 3 层评价结构 14 个关键指标的评价体系,对关键指标进行了定量分级,提出了小流域生态清洁评价标准。

(2) 通过对赣县柘田小流域的评价,证明层次分析法和评价标准具有科学性和可行性。柘田小流域生态清洁指数为 7.82,清洁状况“一般”,与小流域实际状况基本相符。

(3) 本研究对小流域生态清洁的评价标准进行了探讨,可以对同一小流域不同时期情况进行纵向评价,也可以对同一时期不同小流域情况进行横向评价,为生态清洁小流域建设的考核提供参考。但是,本研究对评价指标的权重具有一定的主观性,决策者可根据实际情况,按照小流域建设目标,对权重予以修正,以达到评价的目的。

### 参考文献:

[1] 盖永伟,曾桂菊. 流域健康评价指标体系研究[J]. 中国农村水利水电,2015(9):77~85.

- [2] 吴敬东,叶芝菡,梁延丽,等. 生态清洁小流域水生态环境监测指标体系初探[J]. 中国水土保持,2007(9):8~9.
- [3] 栾江,仇焕广,井月,等. 我国化肥施用量持续增长的原因分解及趋势预测[J]. 自然资源学报,2013,28(11):1869~1878.
- [4] 蔡书凯,李靖. 水稻农药施用强度及其影响因素研究——基于粮食主产区农户调研数据[J]. 中国农业科学,2011,44(11):2403~2410.
- [5] 谢磊,武晓峰,段淑怀. 北京市山区小流域生态清洁程度评价指标体系研究[J]. 中国水土保持,2012(10):1~2,35.
- [6] 王雄宾,江华,李学志. 太行山小流域综合治理效益评价[J]. 南水北调与水利科技,2014,12(5):202~206.
- [7] 徐志婧,刘维,张建丰,等. 基于流域不同特征的滦河流域生态系统健康评价[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2011,39(8):215~223.
- [8] 中华人民共和国水利部. SL 534-2013. 生态清洁小流域建设技术导则[S]. 北京:中国水利水电出版社,2013.
- [9] 吴敬东,段淑怀,叶芝菡. 北京市山区小流域主沟道水文地貌调查与分级[J]. 中国水土保持科学,2013,11(6):33~38.
- [10] 龙笛,张思聪. 滦河流域生态系统健康评价研究[J]. 中国水土保持,2006(3):14~16.
- [11] 北京市质量技术监督局. DB11/T 548-2008. 生态清洁小流域技术规范[S]. 北京:中国水利水电出版社,2008.
- [12] 马丰丰,田育新,罗佳,等. 生态清洁小流域评价指标体系的构建[J]. 湖南林业科技,2010,37(3):82~84.

编辑:张绍付

## Study on grading standards of ecological cleaning assessment in small watershed

ZHANG Lei<sup>1,2</sup>, ZHENG Wei<sup>3</sup>, XIE Songhua<sup>1,2</sup>, MO Minghao<sup>1,2</sup>

(1. Jiangxi Institute of Soil and Water Conservation, Nanchang 330029, China;

2. Jiangxi Provincial Key Laboratory of Soil Erosion and Prevention, Nanchang 330029, China;

3. Jiangxi Institute of Water Sciences, Nanchang 330029, China)

**Abstract:** In order to establish a scientific and feasible evaluation standard for ecological clean integrity of small watershed which can provide reliable technical support for the construction of ecological clean small watershed, soil condition, ecosystem, water environment, human society and economic development were taken into account in this paper, the evaluation index and grading standard of ecological sanitation in small watershed were put forward, small watershed in Jiangxi province Ganxian Jiantian was used as an example. The evaluation results were in line with the actual situation of the river basin, the 14 key indicators proposed could reveal the overall situation of ecological clean in small watershed, the evaluation method was scientific and feasible, the ecological cleanliness of Jiantian was 7.82 which rating was classified as “general” and near “clean”.

**Key words:** Small watershed management; Ecological cleaning assessment; Analytic hierarchy process; Classification standard

翻译:张磊

## 鄱阳湖水文水资源研究学术研讨会在南昌成功举办

9月2日至3日,鄱阳湖水文水资源研究学术讨论会在南昌成功举办。本次研讨会由长委水文局主办,江西省水文局承办,来自长委水文局、武汉大学、三峡大学、江西省水文局、江西省水利科学研究院、江西省水土保持科学研究院、省灌溉试验中心站、鄱阳湖水文局等单位有关专家学者近百人参加会议。湖北省副省长、武汉大学教授郭生练,长委水文局局长王俊,江西省水利厅副厅长、省鄱建办主任杨丕龙,副厅长吴义泉,研究员谭国良出席会议,会议由江西省水文局党委副书记、副局长方少文主持。

杨丕龙在致辞中指出,开展鄱阳湖枯水常态化和趋势化研究分析,加强变化环境下鄱阳湖区水文水资源研究与应用,意义重大,使命光荣,真诚希望在座各位专家和青年才俊能畅所欲言,为母亲河长江永葆生机活力,为保护鄱阳湖“一湖清水”建言献策,共同守护我们的绿色家园。

会议对变化环境下鄱阳湖水文水资源研究与应用成果进行了展示。郭生练作了“变化环境下鄱阳湖水文水资源问题研究”、“水库群洪水资源化与联合优化调度”学术报告,王俊作了“关于长江中下游‘大水出好河’的几点认识”学术报告,谭国良作了“变化环境下鄱阳湖区水文情势分析”学术报告。会议围绕洪水资源化与水库联合调度、鄱阳湖区枯水特征分析、鄱阳湖水利枢纽实施后对水文水资源影响分析等进行了热烈深入交流与探讨。

会后,相关与会专家还实地考察了鄱阳湖模型试验研究基地和江西水土保持科研基地,就开展鄱阳湖生态保护等工作进行调研。

(江西省水文局 熊能)