

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4701.2019.01-02

浅析江西省天然流域设计暴雨量与径流系数的关系

陈 兴

(江西省九江市水利电力规划设计院,江西 九江 332001)

摘 要: 本文在2010年版《江西省暴雨洪水查算手册》水文成果数据的基础上,浅析江西省天然流域设计暴雨量与径流系数的关系。当暴雨量超过110mm,暴雨量与径流系数呈反比例函数关系。由全省各气象站实测最大24h点暴雨历史资料,可得到全省天然流域径流系数在0.72~0.97之间。同时本文根据两者的关系,列举在实际工程中的实例应用,可供工程设计人员参考。

关键词: 径流系数;设计暴雨量;函数关系;工程设计

中图分类号: P333.2

文献标识码: B

文章编号: 1004-4701(2019)01-0012-05

0 引 言

在降雨形成径流的过程中,径流系数是分析降雨产流的重要参数之一。一直以来,不少学者通过各种试验研究分析降雨量、坡度、下垫面条件等因素对雨水径流系数的影响^[1]。王永磊^[2]通过人工多场降雨试验表明,降雨历时、降雨量、降雨强度与径流系数呈现一定的函数关系。实际而言,一场降雨的径流系数并不是单一的因素所影响,而是一个综合影响的结果。

在工程设计中,城建部门与水利部门相应的规范对径流系数的定义各不一样。根据城建部门主编的《给水排水工程基本术语标准》(GB/T50125-2010)第2.0.43条,径流系数是一定汇水面积内地面径流量与降雨量的比值;而水利部门主编的《水文基本术语和符号标准》(GB/T50095-2014)第5.2.11.2条,径流系数是时段或次流域平均径流深与相应降雨量的比值。相比两者对径流系数的定义,给水排水专业中,径流量采用地面径流量,而水文专业中,一般为地表径流与地下径流之和。

对于径流系数的取值标准,根据《建筑给水排水设

计规范》(GB50015-2009)中第4.9.6条,径流系数可由屋面和地面种类取值0.15~1.00不等;而《室外排水设计规范》(GB50014-2006)中第3.2.2条,径流系数可由地面种类取值0.10~0.95不等。在水利工程设计中,以天然流域内实测降雨量和径流量确定具体的综合径流系数,并没有一定的取值标准。

水文手册作为区域水文资料及综合分析成果而汇编的工具书,其中的水文数据具有巨大的参考价值。本文在《江西省暴雨洪水查算手册》(2010版)^[3](以下简称《手册》)的基础上,浅析在工程设计中暴雨量与径流系数的关系。

1 设计暴雨量与径流系数关系

1.1 产流参数

江西省属于亚热带湿润季风气候区,降雨径流的主要方式为蓄满产流。蓄满产流模型有着两个重要的参数,即流域最大蓄水量(I_m)及前期土壤含水量(P_a)。为方便设计计算,暴雨手册将全省共划分为九个计算区,由表1产流参数表可知,全省 I_m 和 P_a 平均值分别约为109mm和73mm。

收稿日期:2017-12-14

作者简介:陈兴(1989-),男,硕士,助理工程师。

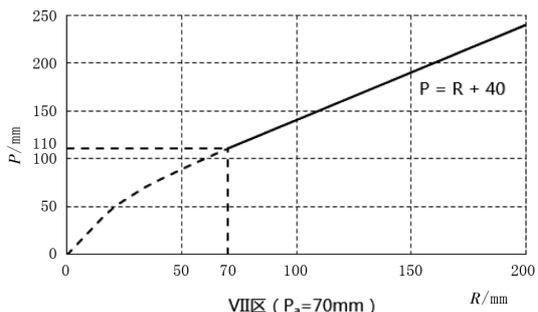
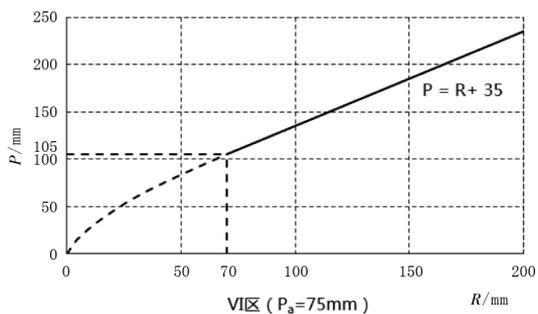
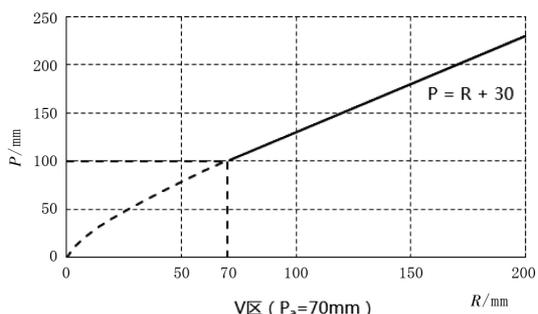
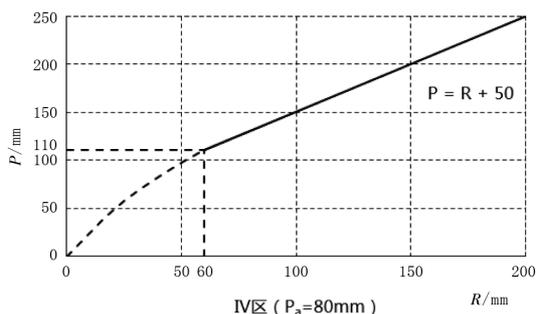
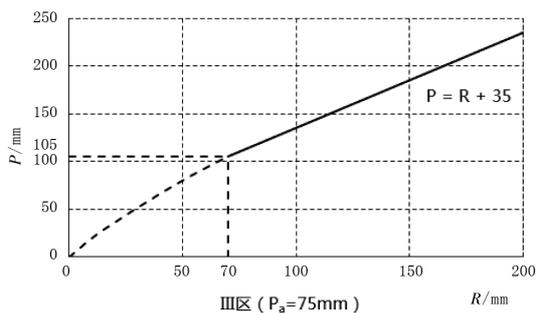
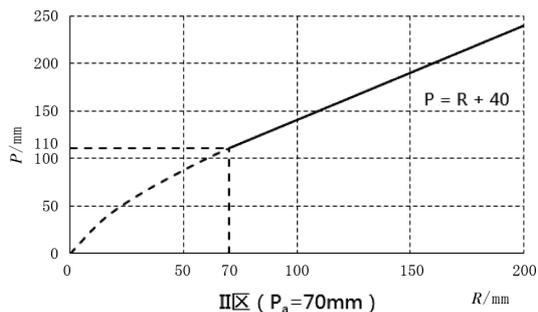
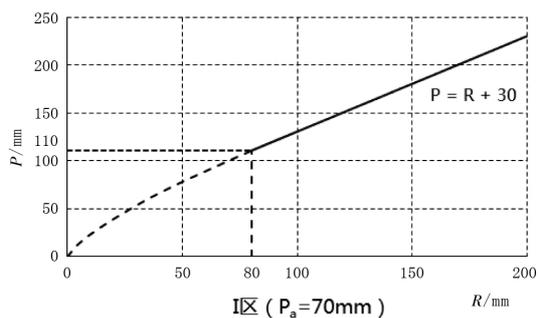
表 1 江西省各分区产流参数表

| 区号 | 地区 | 流域最大蓄水量 前期土壤含水量 | |
|------|------------------------------------|-----------------|----------|
| | | I_m/mm | P_a/mm |
| I | 赣江水系: 廉水、湘水、平江、桃江 | 100 | 70 |
| | 珠江水系: 江西辖区 | | |
| II | 赣江水系: 遂川江、章水 | 110 | 70 |
| III | 乌江、孤江、蜀水、禾水、泸水及相连的赣江部分 | 110 | 75 |
| IV | 赣江水系: 袁水、锦江 洞庭湖湘江水系: 江西辖区 | 130 | 80 |
| V | 抚河水系 | 100 | 70 |
| VI | 信江水系 | 110 | 75 |
| VII | 饶河水系: 乐安河、昌江 | 110 | 70 |
| VIII | 修水水系 | 110 | 80 |
| IX | 外洲、李家渡、梅港、石镇街、永修站以下至湖口区间和长江中下游江西辖区 | 100 | 70 |

通过计算最大损失量 $I_o(I_o=I_m-P_a)$ 可比较出各分区流域的降雨损失情况。总体趋势由赣南向赣北、赣西向赣东递减, 全省平均损失量约为 36mm。处于 IV 分区的赣西地区降雨损失量较大, 主要是因为袁水和锦江流域存在喀斯特和花岗岩断层破碎等地质状况。

1.2 设计暴雨量与径流系数关系

1.2.1 降雨径流图



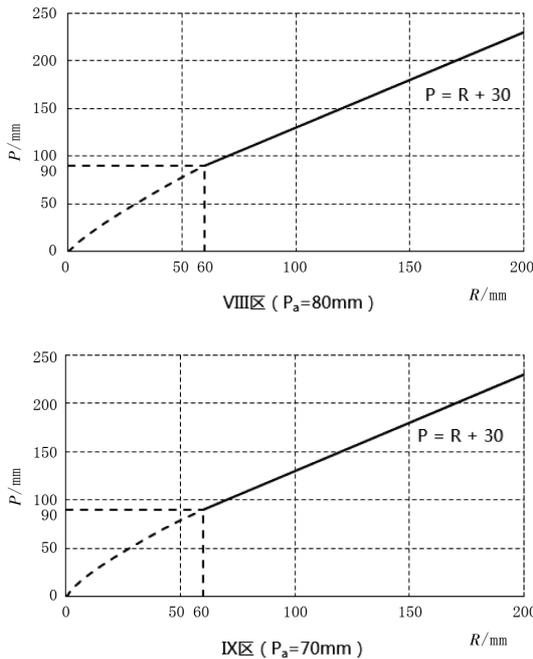


图1 各分区降雨径流图

根据暴雨手册附表可绘制出全省九个分区的降雨径流图(见图1),各分区确定设计前期土壤含水量 P_a ,则可建立 $P=f(R)$ 曲线。 $P=f(R)$ 曲线图中虚线表示一次降雨量使包气带土壤含水量未达到蓄满状态,此时降雨量 P 与径流量 R 为非线性关系;当降雨达到一定量时,一次降雨使包气带达到饱和,流域损失量稳定,其值等于流域最大损失量 I_0 ,此时径流量 R 与降雨量 P 形成稳定的线性关系,即图1中实线所示。

1.2.2 两者函数关系

表2 降雨量分级表

| | | | | | | |
|----------|--------|-------|-------|--------|---------|------|
| 24h雨量/mm | 0.1~10 | 10~25 | 25~50 | 50~100 | 100~200 | >200 |
| 等级 | 小雨 | 中雨 | 大雨 | 暴雨 | 大暴雨 | 特大暴雨 |

由图1降雨径流图可知,当降雨量达到90mm~110mm时,降雨量与径流量为线性关系。在工程设计中,一般选用一日(24h)暴雨进行产汇流计算。根据24h降水量等级划分(表2),90~110mm降雨量已到达暴雨级别。各分区一次降雨累积量超过110mm时,暴雨量与径流系数呈反比例函数关系(表3)。

根据两者的函数关系,随着降雨量的增大,所计算的径流系数趋近于1。以江西省实测资料为例,实测(1953年8月17日)庐山植物园最大24h暴雨量为900mm,按IX区函数关系计算,其径流系数高达0.97。

表3 设计暴雨量与径流系数关系表

| 区号 | 暴雨量与径流系数函数关系 | 一次降雨累积量/mm |
|------|-----------------|------------|
| I | $\alpha=1-30/P$ | ≥ 110 |
| II | $\alpha=1-40/P$ | ≥ 110 |
| III | $\alpha=1-35/P$ | ≥ 105 |
| IV | $\alpha=1-50/P$ | ≥ 110 |
| V | $\alpha=1-30/P$ | ≥ 100 |
| VI | $\alpha=1-35/P$ | ≥ 105 |
| VII | $\alpha=1-40/P$ | ≥ 110 |
| VIII | $\alpha=1-30/P$ | ≥ 100 |
| IX | $\alpha=1-30/P$ | ≥ 90 |

2 工程应用

2.1 排涝工程装机容量估算

赣北(属于IX区)某湖区边拟建一排涝泵站,其排涝标准按20年一遇24h暴雨一日排至最高运行内水位,排涝片区集雨面积约23km²,查算《手册》并进行计算湖区24h设计面暴雨量为229mm,由表3计算径流系数约0.87($R=P-30$)。排涝片区来水量如表4所示。

表4 排涝片区来水量计算表

| 参数 | 暴雨量/mm | 径流系数 | 径流量/mm | 集雨面积/km ² | 来水量/万m ³ |
|-----|--------|------|--------|----------------------|---------------------|
| 计算值 | 229.00 | 0.87 | 199.0 | 23.00 | 457.7 |

根据排涝流量计算公式:

$$Q=(W-V)/T \tag{1}$$

式中: Q 为泵站抽排流量,m³/s; W 为来水量,万m³; V 为调蓄容积,万m³,本次根据湖区可调蓄容积确定为238万m³; T 为排水历时,本次一日取22h。

水泵装机容量公式:

$$P=\frac{\rho gQH}{1000\eta_{\text{泵}}} \tag{2}$$

式中: P 为水泵装机容量,kW; ρ 为水的密度,kg/m³,取1000kg/m³; g 为重力加速度,m/s²,取9.8m/s²; Q 为水泵抽排流量,m³/s; H 为水泵的扬程,m,本次取7.8m; $\eta_{\text{泵}}$ 为水泵的工作效率,本次取值75%。

由以上两公式则可对本次排涝泵站的装机进行估算,经过计算,泵站的抽排流量27.7m³/s,估算的泵站装机容量为2827kW,根据《泵站设计规范》(GB50265-

2010), 确定泵站规模为中型泵站。

2.2 防洪工程洪峰流量估算

一般而言, 防洪工程需要对流域的设计洪峰流量进行计算。以堤防设计为例, 根据工程区域所在流域洪峰流量, 确定堤防设计水位, 加上一定的超高, 则为堤防设计高程。《手册》对集雨面积小于 50km² 的小流域推荐采用推理公式计算。用推理公式法经过产汇流计算, 其地表径流洪水过程线概化为五点折腰三角形, 而地下径流则概化为三角形, 流域出口断面洪水过程则为地表径流与地下径流洪水叠加过程 (图 2 实线所示)。

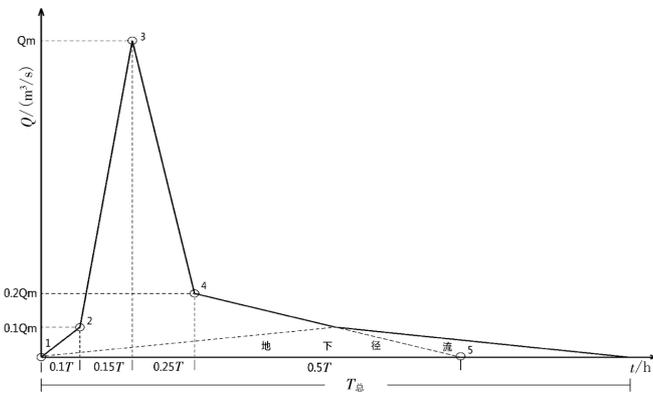


图 2 地表径流与地下径流叠加洪水过程线图

由于地表径流量占总洪水量的大部分, 使得两者叠加的总洪水过程线仍可概化成五点折腰三角形 (图 2), 根据五点坐标, 可计算各个点区间面积 (见表 5), 总和可近似等于本次降雨产生的径流总量 (径流总量为 1 000RF), 其中 R 为径流量, mm; F 为流域集雨面积, km²。

对于洪水历时 T_汇 的推求, 可根据小流域汇流历时^[4]:

$$T_{\text{汇}} = 0.278 \frac{L}{V}$$

式中: T_汇 为小流域汇流历时, h; L 为流域主河道长, km; V 为汇流平均流速, m/s。

对应汇流平均流速的取值, 一般取值范围为 0.8~1.4m/s, 可由河道比降确定, 本次确定为 1.2m/s;

T_总 为一次洪水总历时, 可取降雨历时 (产流历时) 与汇流历时之和, 以降雨历时 24h 为例, 可令 T_总 = T_汇 + 24, 同时由表 5, 使 1 035Q_mT = 1 000RF (实际 1 035Q_mT < 1 000RF) 且 T = T_总, 则可对洪峰流量进行估算:

$$Q_m = \frac{1\ 000RFV}{287.7L + 24\ 840V}$$

式中: R 为径流量, mm; F 为流域集雨面积, km²。

表 5 五点折腰三角形面积计算表

| 点序号 | 时间 t/h | 流量 Q/(m ³ /s) | 两点区间面积/m ³ |
|--|--------|--------------------------|-----------------------|
| 1 | 0 | 0 | |
| 2 | 0.1T | 0.1Q _m | 18Q _m T |
| 3 | 0.25T | Q _m | 297Q _m T |
| 4 | 0.5T | 0.2Q _m | 540Q _m T |
| 5 | T | 0 | 180Q _m T |
| $\sum_{i=2}^5 (Q_i + Q_{i-1}) (t_i - t_{i-1}) / 2$ | | | 1 035Q _m T |

为了对本次洪峰流量公式进行验证, 选用江西省内 15 个工程实例进行误差分析 (见表 6)。

由 15 个工程实例对估算公式进行误差分析, 相对误差 (|估算值 - 计算值| / 计算值) 最小值为 2.03%, 最大相对误差值为 58.89%, 相对误差平均值 20.38%。综合分析, 误差主要有 3 个影响因素: 首先本次假设的五点折腰三角形面积 1 035Q_mT 小于径流总量 1 000RF, 两者相差一部分地下径流量; 其次流域汇流平均流速应根据不同流域的地形进行取值, 并根据河道平均坡降进行相应调整; 最后, 估算公式中总洪水历时只是简单地由降雨历时 (产流历时) 与汇流历时相加, 若本次洪水地下径流历时过长, 则估算的洪水总历时与实际洪水历时存在较大偏差。

3 结 语

水文手册作为工程规划、设计、审查的重要水文资料依据, 蕴含了大量暴雨径流成果。在工程设计中, 径流系数一直未有较好的取值标准, 本文通过对《江西省暴雨洪水查算手册》(2010 版) 分析研究, 当暴雨量超过 110mm 时, 全省 9 个分区工程设计暴雨量与径流系数成一定的反比例函数的关系。将全省 9 个分区划分为赣江、抚河、信江、饶河、修水及鄱阳湖湖滨地区共 6 个水系区域, 由省内各气象站实测最大 24h 点暴雨量资料 (《手册》附图 2~13), 可得到全省天然流域径流系数取值范围 0.72~0.97 (见表 7)。其中径流系数最小值位于赣州地区西南位置 3 省交界处 (江西省、湖南省及广东省), 而径流系数最大值位于九江市庐山植物园处, 全省天然流域径流系数变化趋势由赣南至赣北逐

表6 15个工程实例误差分析

| 序号 | 集雨面积 /km ² | 主河道长 /km | 河道比降 | 分区 | 24h 面暴雨量 /mm | 径流量 /mm | 估算洪峰流量 /(m ³ /s) | 手册计算值 /(m ³ /s) | 相对误差 /% |
|----|--------------------------|-------------|---------|------|-----------------|------------|--------------------------------|-------------------------------|------------|
| 1 | 16.30 | 5.35 | 0.018 0 | VII | 329.4 | 289.4 | 180.6 | 177.0 | 2.03 |
| 2 | 24.00 | 6.68 | 0.017 5 | IX | 182.6 | 152.6 | 138.5 | 135.3 | 2.37 |
| 3 | 1.93 | 2.35 | 0.026 0 | VIII | 224.9 | 194.9 | 14.8 | 15.3 | 3.27 |
| 4 | 36.10 | 11.70 | 0.034 8 | IV | 257.0 | 207.0 | 270.3 | 280.0 | 3.46 |
| 5 | 2.79 | 2.28 | 0.011 0 | VIII | 223.0 | 193.0 | 21.2 | 19.0 | 11.58 |
| 6 | 13.78 | 6.56 | 0.031 0 | VIII | 223.0 | 193.0 | 100.7 | 90.0 | 11.89 |
| 7 | 4.30 | 4.14 | 0.060 0 | IX | 182.6 | 152.6 | 25.4 | 29.1 | 12.71 |
| 8 | 6.00 | 3.57 | 0.029 0 | IX | 304.0 | 274.0 | 64.0 | 75.4 | 15.12 |
| 9 | 5.23 | 3.30 | 0.018 0 | IV | 144.1 | 94.1 | 19.2 | 16.1 | 19.25 |
| 10 | 1.87 | 2.42 | 0.005 4 | IX | 229.3 | 199.3 | 14.7 | 12.3 | 19.51 |
| 11 | 2.38 | 2.23 | 0.034 0 | IX | 210.8 | 180.8 | 17.0 | 22.5 | 24.44 |
| 12 | 36.00 | 13.70 | 0.028 5 | VIII | 223.0 | 193.0 | 247.0 | 195.0 | 26.67 |
| 13 | 7.66 | 8.90 | 0.021 5 | VIII | 218.9 | 188.9 | 53.6 | 39.0 | 37.44 |
| 14 | 26.60 | 15.60 | 0.035 0 | VII | 267.8 | 227.8 | 212.0 | 135.0 | 57.04 |
| 15 | 2.10 | 3.13 | 0.003 0 | IX | 203.8 | 173.8 | 14.3 | 9.0 | 58.89 |

表7 江西省各个水系区域径流系数取值范围表

| 区号 | 水系区域 | 实测最大 24h 点暴雨量/mm | | 径流系数 取值范围 |
|------|---------|------------------|-------------|--------------|
| | | 最小值 | 最大值 | |
| I | | | | |
| II | | | | |
| III | 赣江水系 | 143.4(II区) | 452.9(III区) | 0.72~0.92 |
| IV | | | | |
| V | 抚河水系 | 245.1 | 498.9 | 0.88~0.94 |
| VI | 信江水系 | 263.9 | 339.1 | 0.87~0.90 |
| VII | 饶河水系 | 276.4 | 341.8 | 0.86~0.88 |
| VIII | 修水水系 | 252.2 | 500.0 | 0.88~0.94 |
| IX | 鄱阳湖湖滨地区 | 273.6 | 900.0 | 0.89~0.97 |

渐增大。

同时,本文利用两者之间的关系,列举径流系数在排涝工程和防洪工程实例的应用,可为工程设计人员提供参考。

参考文献:

- [1] 梁于婷. 降雨径流系数影响因素的试验研究[D]. 长沙:湖南大学土木工程学院,2014:2~3.
- [2] 王永磊,卜德龙,李振. 人工模拟降雨径流影响因素及其规律研究[J]. 山东建筑大学学报,2012. 27(1):11~15.
- [3] 江西省暴雨洪水查算手册[M]. 南昌:江西省水文局,2010.
- [4] 王曙光,王永东,周仕江. 腰堡水库洪水预报预警方法浅析[J]. 陕西水利,2013(1):52~71.

编辑:张绍付

Analysis on the relationship between design rainstorm and runoff coefficient in natural watershed in Jiangxi province

CHEN Xing

(Jiujiang Municipal Water Conservancy & Hydro-Electric Planning and Designing Institute of Jiangxi Province, Jiujiang 332001, China)

Abstract: The runoff coefficient is an important parameter in engineering design. Based on the hydrological data of the 2010 edition of the “Handbook of Rainstorm and Flood Calculation Manual in Jiangxi province”, this paper analyzes the relationship between the designed rainstorm amount and the runoff coefficient of natural watershed in Jiangxi province. When the amount of rainstorm over 110mm, the amount of rainstorm is inversely proportional to the runoff coefficient. By the historical data of the maximum 24-hour rainstorm measured by all weather stations in the province, the runoff coefficient of natural watershed in the province can be obtained between 0.72 and 0.97. At the same time according to their relationship, listed the actual application in the project instance, for engineering design reference.

Keywords: Runoff coefficient; Design rainstorm; Functional relationship; Engineering design

翻译: 陈兴

挥春雷执法利剑 保河湖生态健康

——江西省水利厅组织开展河湖卫士“春雷2019”打击非法采砂专项行动

为贯彻落实省委书记刘奇年初考察长江鄱阳湖时提出要加强流域生态环境保护,确保鄱阳湖一方平安稳定的重要指示精神,更好地维护长江鄱阳湖流域良好的水生态环境,深入推进河湖卫士监督执法工作,江西省水利厅决定从2019年1月28日至3月27日,组织开展全省河湖卫士“春雷2019”打击非法采砂专项行动,在全省形成强大的打击非法采砂攻势,确保春节和全国两会期间的水事安全稳定。

1月28日,省水利厅在省水政监察总队执法码头召开了专项行动动员部署会。会上,省水政监察总队负责人传达了厅领导的指示要求,对专项行动进行动员部署;与全省17位设区市、省直管试点县水政监察支(大)队负责人签订了扫黑除恶专项斗争线索摸排责任书和集中停放点现场监管责任承诺书。

会后,随着专项行动启动仪式一声令下,省水政监察总队、南昌市水政支队及相关县水政大队组成的执法队伍兵分四路,开展联合执法巡察。四路队伍浩浩荡荡,以雷霆万钧之势直扑各目标水域,同时丰城市、永修县拦截卡点执法人员也已各就其位,严防非法船舶(机具)闻风逃窜。根据统一部署,全省各级水利部门同步在当地也展开了声势浩大的专项行动。

据统计,此次联合巡查,省、市、县三级水利部门共出动执法人员900余名,出动执法船艇(车辆)196艘(台),对全省所有水域展开拉网式巡查,重点对长江、鄱阳湖及五河干流加大执法打击力度,共查获非法采砂船舶(机具)10艘(台),非法运砂船舶3艘、车辆1台,移交刑事立案1起,专项行动首次巡查执法成效初显。

(江西省水政监察总队 熊金)