

调研参阅

第三期

主办：宁波市水利学会

2021年8月22日

姚江流域“烟花”台风特大洪水调度 实践与思考

张松达 江伟安 马群

作者经历了“烟花”台风洪水调度的全过程，并在洪水过后走访调研了相关重点水利设施和单位，体会深刻。本文根据“烟花”台风的路径、暴雨、洪水、风潮及影响时间等要素，分析了“烟花”台风影响宁波的几个特点，以及对流域的影响，阐释了姚江流域2013年“菲特”特大洪水后流域治理面貌，总结了“烟花”台风洪水调度采取的前期预排、顶潮抢排、全力强排、闸泵联排、分流外排、拦洪削峰等调度策略和实时调度经验，分享了“烟花”台风防御成效，同时提出了今后工作的思考建议。

一、“烟花”台风特点

2021年第6号“烟花”台风对宁波的影响，主要体现在以下几个特点。

一是移动速度慢，影响时间长，路径复杂。7月18日02时生成，23日22时才进入东海，在太平洋上缓慢行进了6天，积蓄了大量水汽能量。而“烟花”在浙江停留时间长达28小时，“烟花”25日中午12点30分前后才登陆舟山普陀沿海，登陆后穿越舟山本岛用了5小时，后又在杭州湾滞留16小时，并于09时50分前后二次登陆嘉兴平湖沿海，在嘉兴市停留7小时，为1949年以来首个在我省两次登陆的台风，两次登陆时间间隔21小时，风雨影响时间长达8天之久，为登录浙江省台风影响宁波之最。

二是暴雨过程雨量大，强降水持续时间长，全流域暴雨分布面积广，暴雨量打破宁波台风记录和姚江流域历史极值。姚江流域面雨量达到452mm，流域内的余姚市面雨量达561.2mm。暴雨中心出现在余姚市大岚镇，丁家畈雨量站出现1048mm的极值，第二位的是夏家岭雨量站982mm。据统计，流域内超过800mm的有4个测站，超过500mm的有39个测站。三日和一日雨量均超过姚江流域历史极值，夏家岭站三日雨量849mm，一日雨量507mm，三日降雨超过该站历史三日暴雨748.3mm的100.7mm，创造了姚江流域三日暴雨最新记录。处于暴雨中心的四明湖水库面雨量达620.3mm。影响最多的区域暴雨时日4-5天。

三是风暴潮三碰头，宁波三江口站出现历史最高潮位，姚江干流平原河网出现历史最高水位。“烟花”台风造成内陆平原出现 10 至 12 级大风，沿海海面 13 至 15 级，沿海海面 12 级以上大风持续 20 小时，象山石浦最大风速 38.4m/s（13 级）。“烟花”台风影响期间正值天文大潮，台风挟持高潮位出现较大的台风增水，杭州湾沿岸持续出现特高潮位，7 月 25 日零点 30 分宁波三江口站潮位 3.79m，超保证 0.79m，比历年最高潮位 3.26m 增高 0.53m，为甬江宁波站历史最高潮位。特大高潮位严重影响甬江、姚江、奉化江的排洪，在上游洪水和下游高潮位的共同作用下，姚江干流持续高水位，7 月 26 日 09 时 10 分余姚站水位达到 3.53m，比 2013 年“菲特”台风历史最高洪水水位 3.40m 高出 0.13m，创余姚站历史最高水位记录，超保证水位历时达 95 小时。26 日 01 时 45 分姚江大闸站水位 3.38m，比 2013 年“菲特”台风最高水位 2.94m，高出 0.44m，为姚江大闸高水位历史极值，姚江干流全线出现历史最高水位。

四是奉化江与姚江出现同频洪水。同处甬江流域的奉化江流域也遭遇特大暴雨，处于奉化江流域暴雨中心的四明山梨洲站雨量达 1005mm，三天最大暴雨 780mm，周公宅水库流域面雨量达 764mm，皎口水库流域面雨量 705mm，甬江流域面雨量达 454mm。处于奉化江干流上的北渡潮位站最高潮位达到 4.21m（7 月 25 日 13 时 30 分），比该站历史最高潮位 3.67m 超过 0.54m。奉化江和姚江出现同频洪水，两江流域洪水互为影响，进一步加剧了甬江

的排水困难。

据气象部门评估，“烟花”台风两次登陆期间长时间在杭州湾稳定少动，一直维持台风强度，水汽不断地得到补充，致使宁波市持续出现暴雨、大暴雨、局部特大暴雨，在此期间，“烟花”雨带持续不断的扫过四明山区，致使姚江流域的余姚等地出现了“列车效应”，再叠加四明山区的地形抬升作用，总计雨量突破历史极值。影响期间恰逢天文大潮，风、潮、雨三碰头，流域致灾强度达到特重级。

二、“烟花”台风影响前的流域治理面貌

2013年“菲特”台风，姚江流域遭遇了特大暴雨洪水的袭击，余姚面雨量达到561mm，最大降雨点余姚黄土岭站742mm，宁波全市面雨量达403mm，对宁波市、尤其是余姚市造成特别严重的洪涝灾害，全市直接经济损失333.62亿元，其中余姚206.5亿元，损失巨大。洪水过后，宁波市全面推进6+1工程，开始姚江流域洪涝治理。至2021年6月底，流域治理工程中，绝大部分已经完成，并发挥效益。

1. 姚江西排工程。是姚江流域向曹娥江流域排洪的通道，为姚江分洪，提高上虞区四十里河沿岸防洪排涝能力，减轻姚江干流及余姚城区防洪压力。西排工程梁湖枢纽共有5台机组，单机流量 $33\text{m}^3/\text{s}$ ，总排涝流量 $165\text{m}^3/\text{s}$ 。同时，改造姚江上游的通明闸。2021年6月全部工程通过验收，并正式投入运行，总投资12.32亿元。

2. 姚江西分工程。主要有瑶街弄调控枢纽、姚江至北排排洪通道和排涝闸泵组成，目的为姚江向北排分流。总分流规模为 $150\text{m}^3/\text{s}$ 。总投资 19.3 亿元，2017 年 6 月开工，瑶街弄调控枢纽姚江挡洪闸已建成，姚江至北排排涝通道和闸泵工程正在施工之中，尚未发挥效益。为西分工程配套的余姚北排三期也正在实施之中。

3. 姚江干流堤防工程。姚江堤防自上而下，分四段整治提升。上陈至食禄桥江段堤顶高程 3.73-3.63m，设计防洪标准 20 年一遇。食禄桥江至蜀山大闸段，即余姚城区段，堤顶高程 4.13-3.63m，设计防洪标准 50 年一遇。蜀山大闸-绕城高速段，堤顶高程 3.63-3.87m，设计防洪标准 20 年一遇。该段余姚市堤防比较单薄，标准较低。绕城高速至姚江大闸段，即宁波城区段，堤顶高程 3.63m，设计防洪标准 100 年一遇。姚江整体防洪加固工程已于 2018 年底基本完成。

4. 姚江二通道（慈江）工程。主要有慈江闸站、化子闸站、澥浦闸站三级强排泵站和沿线堤防及河道整治工程组成，通过慈江二通道为姚江分洪。慈江闸站、化子闸站、澥浦闸站的排涝流量分别为 $100\text{m}^3/\text{s}$ 、 $150\text{m}^3/\text{s}$ 、 $250\text{m}^3/\text{s}$ 。加高堤防 30.8km，整治河道 3km。主体工程已于 2020 年底完成并发挥效益。但慈江洪塘铁路段还存有卡口，部分限制了设计效益的发挥。

5. 四明湖水库下游河道整治工程。通过对四明湖水库下游上虞段河道 3.75km、余姚段河道 0.8km 的整治，堤防加高，使四

明湖水库下游河道泄洪能力恢复到 $80\text{m}^3/\text{s}$ 流量，实现四明湖水库调度正常运行，并提高两岸平原防洪排涝能力。工程于 2018 年 7 月完工，目前已发挥效益。

6. 甬江清淤工程。2014 年开始，甬江全面实施常态清淤工程，三年一轮，每年投资 3000 万元。据统计，2014 年至 2019 年，共清淤 363.15 万 m^3 ，较好的改善了姚江闸下及甬江的排洪能力。

以上工程除了姚江西分工程尚在建设外，其余五大工程均已发挥效益，干流防洪排涝工程能力有了较大的提升。同时，流域内的四明湖水库、陆埠水库、梁辉水库、双溪口水库等一大三中水库工程，均已创建完成省级标准化验收，工程运行正常。一系列流域性工程，为抗御“烟花”台风暴雨洪水奠定了良好的基础。

三、“烟花”台风洪水调度

面对“烟花”台风特大暴雨洪水，宁波水利部门组织相关专家组成调度专班，调度组系统分析、突出重点、破解难点，以整体最优的思路开展调度工作。水利部、水利厅督导组现场指导，洪水调度工作科学有序推进。整个调度工作围绕前期预排、顶潮抢排、全力强排、闸泵联排、分流外排、拦洪削峰的调度策略展开，在实时调度上科学研判、协同推进、快速决策、智慧运行，为抗御“烟花”台风特大暴雨洪水提供了科学调度方案。

1. 前期预排。“烟花”台风直接影响前，果断采取应排尽排策略，努力使河网水位降至低水位。姚江大闸从 20 日 12 时开始

开启全部 36 孔，实行预排，余姚蜀山大闸同步开启，沿姚江干流水闸也同时开启预排。至 23 日 17 时，姚江大闸共预排水量 3731 万 m^3 ，姚江大闸水位降至 0.65m，余姚站水位降至 0.89m，干流水位平均降幅 0.7m，姚江干流及内河均处于低水位。流域内的大中型水库提前预泄，提高水库承洪能力。四明湖水库、梁辉水库、陆埠水库、双溪口水库等四座大中型水库分别按预报 500mm 暴雨量进行预泄，预泄水量达 1877 万 m^3 。四座水库在台风暴雨到来前降至汛限水位蓄量的 72%。

2. 顶潮强排。姚江大闸是姚江干流排涝的骨干水闸，由于闸下为潮汐河道，受潮位影响，高潮位时需要关闸运行。为了增加排水量，在大闸调度时，采用候潮排水、顶潮抢排的调度策略，即当出现闸下高潮位时，关闭 12 孔闸门，形成上下游水位差，使剩余 24 孔继续顶潮排水。通过这一调度措施，在 7 月 25 日至 7 月 28 日期间，姚江大闸连续排水 144 小时，有效的增加了排水时间和排水量。至 7 月 30 日预警结束，姚江大闸总排水 3.56 亿 m^3 ，最大排涝流量 1020 m^3/s （7 月 26 日 09:45），极大的发挥了姚江大闸排涝作用。

3. 全力强排。姚江两岸有 100 多座排涝站，排涝流量达 600 m^3/s 以上，众多的平原排涝站，将平原和集镇涝水迅速排入干流，从而快速排出甬江发挥了很大的作用。在泵站的调度上，分别采取正常和非常措施。当姚江干流余姚水位在 3.13m 以下，且姚江大闸开闸时，两岸排涝站全力强排，争取将平原涝水通过姚江大

闸快速排出。当姚江干流余姚水位达到 3.13m 以上时，采取非常调度措施，调度指令沿江排涝站全部关闭，为干流洪水错峰，以确保城市和重要堤防安全。“烟花”台风期间采取的关系措施及时而有力，效果较好。

4. 闸泵联排。宁波城市三江沿岸分布了 50 座水闸和排涝站，为宁波中心城区排涝发挥了十分重要的作用。闸泵联合调度确保了中低潮位水闸自排、高潮位、启泵强排、全程智慧管理，实现了闸泵联排无缝对接。“烟花”台风期间，宁波城区三江沿岸排涝闸站共排出涝水 5.4 亿 m^3 ，有效的保障了城区排涝安全。

5. 分流外排。姚江干流有三处分流外排口，“烟花”台风期间，三处分流外排水量达 7222 万 m^3 ，为降低姚江干流洪水位和高水位历时发挥了十分重要的作用。

一是姚江西排工程为姚江分流。7 月 21 日 14 时，位于上虞梁湖的西排工程开始预排，降低丰惠地区水位。7 月 25 日 9 时 25 分开始 3 台排涝泵排水，至 12 时 40 分开启全部 5 台排涝泵全力排水，排涝流量 $165m^3/s$ 。本次台风，姚江西排工程通过梁湖枢纽强排到曹娥江水量达 3530 万 m^3 ，其中前期预排水量 699 万 m^3 。

二是姚江二通道（慈江）工程排水。7 月 24 日处于姚江二通道进口的慈江水闸和泵站轮换开启为姚江分流。泵站排水流量 $50m^3/s$ 。据测算，至 7 月 30 日关闸，慈江闸站从姚江抽排水量达 1997 万 m^3/s 。姚江二通道通过化子闸站排水 5163 万 m^3 ，漈

浦闸站外排入海水量 10089 万 m^3 。为减轻姚江流域洪涝压力，也为江北、镇海区域排涝，发挥了重要作用。

三是姚江经马渚中河通过西横河闸北排。余姚的西分工程尚未发挥效益，但是调度分析河区水位后发现，现有马渚中河通过西横河闸，可以为姚江分流。7 月 23 日 14 时，马渚中河水位开始高于西上河区水位，进入西上河区北排为姚江分流调度时刻，即时，姚江干流洪水通过马渚中河进入西上河区，进而通过陶家路江北排入海，为姚江分流。至 29 日 00 时，西横河闸上下游水位持平，分流结束。经测算，共分流 1695 万 m^3 ，分流时间 130 小时，平均流量 36.2 m^3/s ，最大流量 60 m^3/s 。

6. 拦洪错峰。“烟花”台风暴雨，余姚四明湖、梁辉、陆埠、双溪口等四座大中型水库在前期预泄的基础上，充分利用水库承洪能力，全力拦蓄洪水。期间总拦蓄 9265 万 m^3 ，其中四明湖水库拦蓄 4512 万 m^3 ，梁辉水库拦蓄 1723 万 m^3 ，陆埠水库拦蓄 1190 万 m^3 ，双溪口水库拦蓄 1840 m^3 。除了陆埠水库错峰削峰外，其余水库实现了洪水全拦。

四、防御成效

从实际防御“烟花”台风的总体效果看，成效是十分显著的，防洪效益是巨大的。主要体现在以下四个方面：

1. 宁波城区和余姚城区未发生重大内涝。城区沿江堤防较好的挡住了长时间的超高水位和特高潮位，未发生 2013 年“菲特”台风期间洪水漫堤、余姚城区大面积受淹的情况。

2. 姚江干流堤防未出现决口漫堤情况，确保了重要堤防的安全，姚江平原农村未发生严重的内涝。干流和重要支流堤防与平原排涝泵站联合发挥作用，除了局部地区短时间受淹外，沿江平原未出现长时间的内涝。

3. 人员零伤亡。当地政府和防汛指挥部及时对危险区域和险工险段的人员进行转移，尤其是对下姚江河姆渡镇两江之间的所有人员采取果断措施，紧急转移，防止姚江堤防决口造成人员伤亡，确保了人员安全。

4. 水库山塘正常运行。多年来的水库山塘加固改造和标准化建设，安全性能得到了进一步提升。“烟花”台风高强度、长时间的暴雨洪水，发挥了很好的拦洪削峰作用，水库山塘无一出险。有效的保护了水库下游人民生命财产安全。

“烟花”台风防御成功，是姚江流域现代化水利基础设施建设成效的缩影，是全民防御的胜利，是上下游地区通力合作、一致防御的结果，也是水利部门科学调度的成果。

五、几点思考

“烟花”台风暴雨洪水的调度实践，取得了科学应对大洪水的调度经验，也发现了一些问题，这些问题的解决将有利于更好的应对今后流域的大洪水。

1. 流域治理重点工程要发挥整体效益，才能实现流域防洪目标。一是余姚西分工程连同北排陶家路江工程应尽快发挥效益。今年“烟花”台风偶遇西上河区较小的暴雨量，河区水位相对较

低，姚江高水位可以通过马渚中河经西横河闸向北排自然分流，如果西上河区与姚江河区遭遇同频洪水，则需要通过西分工程泵站强排为姚江分流。二是姚江二通道（慈江）工程加快打通慈江洪塘铁路卡口，也是实现设计分洪目标的一个节点。三是姚江蜀山大闸以下的余姚干流堤防应进一步帮宽加固堤身。

2. 闸泵联调机制及调度规则尚需进一步构建完善。沿江闸泵分属市、区、镇三级管理，指挥权限分散，管理力量差异，运行计量不清，监控手段缺乏。为此，建立统一高效的闸泵管理机构，明确管理范围，调度权限，调度规则，建立畅通、高效、一致的调度机制和监控量测的运行监管系统已是当务之急。“烟花”台风调度实践表明，姚江二通道调度规则所确定的闸泵开启与关闭条件在操作上存在许多矛盾，实际运行时往往在超越这些条件下运行的。因此，完善规则也很有必要。

3. 科学应对洪涝矛盾转移问题。2013年“菲特”台风以后，姚江两岸快速建设了许多排涝站，至目前已达 $600\text{m}^3/\text{s}$ 以上的排涝规模，排涝模数已超过 $2.0\text{m}^3/\text{s}/\text{k m}^2$ 。这些排涝站对提升两岸治涝标准起到了决定性作用，但客观上推高了姚江干流洪水位，增加了干流和城市防洪压力。“烟花”台风暴雨除了姚江大闸排洪外，分流外排了7000多万 m^3 的洪水，余姚站的最高洪水位仍比“菲特”高出 0.13m ；同时，又出现了一个反常的现象，7月25日凌晨有一段时间，下游姚江大闸闸前水位高于上游余姚站水位 0.1m 之多。上述现象说明，沿江排涝站对干流洪水位的抬

升作用十分明显。笔者建议，姚江干流应严格控制排涝泵站的规划建设，对现有排涝站制订关停运行的干流水位指标和控制条件，建立科学的关停机制，防止涝水集中转移而加剧城市洪水风险和干流堤防危险。

4. 完善姚江西排工程控制运行。通明闸关闭时机上建议适当提前，可以考虑在余姚站水位低于 3.13m 时提前关闭，减少干流入流；适当降低上虞梁湖枢纽泵站预泄目标水位，排涝启泵水位也可从通明闸水位 4.1m 适当下调 0.5m 左右，目的是充分发挥姚江西排工程作用，减轻余姚城市防洪压力。

5. 应用大系统观点分析流域洪涝问题。“烟花”台风姚江与奉化江出现同频大洪水，且又遭遇风暴潮三碰头，姚江在分流外排较多水量的情况下，仍然出现超历史洪水位，三江口潮位又创历史记录，上述问题并非偶然现象。除了暴雨与流域地形因素外，甬江风暴潮的影响至关重要。受高潮位影响，甬江排洪能力受到限制。如果通过人工措施，改善提升甬江排洪外边界条件，给甬江排洪赋能，笔者以为是可行方案。为此建议加快甬江大闸和甬江特大排涝站的研究进展，以应对甬江流域特大洪水对宁波城市的袭击。

调研人员：

张松达	宁波市河道管理中心
江伟安	宁波市河道管理中心
马 群	宁波市河道管理中心

抄送：宁波市水利局、宁波市科协

宁波市水利学会秘书处

2021年8月22日印发
