

长江上游流域降水预报在三峡水库调度中的应用

徐卫立 阮燕云 张俊

准确的降水预报，有利于延长洪水流量预报预见期、提高洪峰流量预报精度，进而根据水雨情信息，制定三峡水库调度策略。

三峡工程位于长江三峡西陵峡河段，工程建成后形成的水库，正常蓄水位高程175 m，设计预留的防洪库容为221.5亿 m³，为季调节水库。三峡工程控制长江流域面积达100万 km²，大部属亚热带季风气候，降水丰沛，年降水量和暴雨时空分布不均匀，洪涝灾害频发。如2010年7月渠江暴雨、2014年9月华西秋雨、2016年6月30日三峡区间暴雨，均对三峡水库调度产生了重大影响。为应对长江上游流域降水对三峡水库调度的影响，充分发挥三峡工程防洪、发电、航运、供水等综合效益，长江流域气象中心、长江水利委员会水文局、三峡水利枢纽梯级调度通信中心等单位均开展了长江流域降水预报业务。作为水库调度工作的重要一环，准确的气象预报可以提高流量预报精度、延长洪水预见期，在三峡水库防洪、发电、生态调度试验以及水库调度关键期水位控制中都起到了重要的作用。

1 三峡水库洪水调度

长江属于雨洪型河流，流域内暴雨多发，洪涝灾害频繁，且部分河段受暴雨和地形影响，洪水过程具有汇流快、洪峰高、水量大的特点。准确的降水预报，有利于延长洪水流量预报预见期、提高洪峰流量预报精度，进而根据水雨情信息，制定三峡水库调度策略，开展防洪调度或中小洪水优化调度，充分发挥三峡工程的综合效益。

1.1 防洪调度

三峡水库防洪库容的设计（图1），支持水库调度的主要任务是在保证三峡水利枢纽大坝安全和葛洲坝水利枢纽度汛安全的前提下，对长江上游洪水进行调控，使荆江河段防洪标准达到100年一遇，遇100年一遇以上至1000年一遇洪水，包括1870年大洪水时，控制枝城站流量不大于80000 m³/s，配合蓄滞洪区运用，保证荆江河段行洪安全，避免两岸干堤溃决。当发生较大洪水时，三峡水库的防洪作用主要体现在两个方面，一是对荆江河段进行防洪补偿，二是兼顾对

城陵矶地区进行防洪补偿。



图1 三峡水库防洪库容划分示意图

1.1.1 荆江河段防洪补偿调度

三峡水库对荆江河段补偿调度方式是三峡水库设计防洪调度方式，防洪区域重点在荆江河段，使荆江地区防洪标准达到100年一遇，在遇到1000年一遇或类似1870年洪水时，控制枝城泄量不大于80000 m³/s，保证荆江河段行洪安全。

2010年7月中旬，受四川盆地持续强降水影响，三峡形成了建库以来的最大洪水，7月20日08时洪峰流量达到了70000 m³/s。在本次洪水调度过程中，三峡水库实施了对荆江河段的防洪调度，长江流域降水预报起到了较好的应用效果。早在7月11日长江上游流域中期气象预报中，发布了“预计未来一周四川盆地降水明显偏多”的预报结论，并进行逐日滚动跟踪预报。在滚动预报过程中，水情气象专业人员先后5次进行远程视频会商，实现了水文气象有机结合，提前4天预报出三峡水库将出现洪峰超过50000 m³/s的洪水过程，48 h洪峰预报精度为98.6%。在准确的水文气象预报基础上，三峡水库实施预报预泄调度，7月15日，三峡出库流量由25000 m³/s增加到32000 m³/s，拉低三峡水库水位；洪水到来时逐步增加至40000 m³/s，并按40000 m³/s控制下泄。受洪水影响，水库水位从7月18日16时146.30 m开始上涨，至23

日10时涨至本次最高蓄洪水位158.86 m；水库蓄洪总量76.1亿 m³，约占本次入库洪水总量的24.5%；削减洪峰流量30000 m³/s，约占洪峰流量的42.9%。通过本次防洪调度，降低沙市站水位2.5 m，保证了沙市站水位在警戒水位以下，降低城陵矶水位约1.0 m。

1.1.2 城陵矶地区防洪补偿调度

兼顾对城陵矶地区进行防洪补偿调度主要适用于长江上游洪水不大，三峡水库尚不需为荆江河段防洪大量蓄水，而城陵矶水位将超过长江干流堤防设计水位，需要三峡水库拦蓄洪水以减轻该地区分蓄洪压力的情况。当三峡水库水位高于155.0 m之后，按对荆江河段进行防洪补偿调度。

2016年6月下旬至7月上旬，长江中下游地区发生区域性大洪水，部分支流发生特大洪水，城陵矶（莲花塘）站7日23时出现洪峰水位34.29 m，接近保证水位34.40 m。在本次洪水调度过程中，三峡水库实施了城陵矶地区防洪补偿调度，有效控制了城陵矶水位，减轻了洪涝灾害损失。6月22日，气象预报“6月下旬至7月上旬，长江上游、洞庭湖流域将先后出现强降水过程，基本符合长江上游、洞庭湖遭遇洪水天气模型特征，需警惕上中游洪水遭遇”。为提前对上、中游洪水，降低中游防洪压力，6月26日00时三峡出库加大至31000 m³/s，之后日均按31000 m³/s控制，降低三峡水库水位。6月30日，三峡区间和乌江流域如期出现强降水，三峡入库流量从30日08时的29000 m³/s快速上涨至7月1日14时的50000 m³/s，形成2016年长江“1号洪峰”。期间，三峡水库出库流量按31000 m³/s控制，削减洪峰19000 m³/s，削峰率38%。长江“1号洪峰”过后，三峡入库洪水逐渐消退至20000 m³/s。7月上旬，长江中下游出现持续强降水，城陵矶地区防汛形势严峻，且长江上游流域降水预报显示后期长江上游流域无大范围暴雨过程，虽有中小洪水过程但三峡入库流量整体不大。7月7日起三峡水库出库流量降至20000 m³/s，避免了城陵矶站超保证水位。此次城陵矶地区防洪补偿调度，三峡库水位从7月7日11时148.86 m持续上涨，7月22日07时至最高库水位158.50 m，后库水位回落，拦蓄洪量达60.62亿 m³。

1.2 中小洪水调度

根据降雨预报和实况信息，在不影响工程和防洪调度安全的前提下，考虑地方和部门对防洪、航运等需求，适当进行水库滞洪的机动性调度，可以减小水库下游的防洪压力和提高水电站的航运、发电等综合效益。同时，汛期适时抬升库水位，改变水体环境，

也有利于抑制水库支流藻类水华的发生。

2013年7月长江上游流域降水总体较历年同期均值偏多，但时空分布较不均匀。受降雨影响，三峡入库出现5次明显的涨水过程，三峡水库开展中小洪水优化调度2次，取得了较好的防洪和发电效益。长江上游流域强降水过程预见期平均达到5~7 d：6月25日预报出6月29日—7月1日岷沱江、嘉陵江暴雨过程，6月29日起报7月4—5日强降水过程，7月6日预报8—10日岷沱江暴雨过程，7月10日开始预报16—20日持续强降水过程，7月16日开始预报21—22日四川盆地强降水过程。在准确的水文气象预报基础上，三峡开展中小洪水调度，重复利用库容2次：第一次为7月1—10日，三峡—葛洲坝梯级电站共增发3.0353亿 kW·h；第二次为7月12—31日，三峡—葛洲坝梯级电站共增发15.4150亿 kW·h，同时针对7月21日49000 m³/s洪水过程开展蓄洪调度，三峡水库按35000 m³/s控制下泄，避免荆江河段超警戒水位，也起到了较好的防洪效果。

2 三峡水库发电调度

三峡水库属于典型的河道型水库，在汛期未进行洪水调度时，需预留防洪库容，水库水位一般按照汛限水位控制，即水位控制在144.9~146.5 m，相应库容为7.92亿 m³。而长江上游流域尤其是三峡区间多突发性暴雨，对入库流量影响较大，因此准确的长江上游分区降水预报，可用于指导三峡入库流量预报，增长入库流量预报预见期、提高流量预报精度，进而影响水库运行策略、发电计划编制和电站调峰，以达到三峡水库在不超汛限水位的前提下，多次重复利用146.5 m以下库容增加发电量的目的。

2017年6月，针对2次涨水过程开展了重复利用库容调度。6月7日，根据长江上游中短期降水预报，预计后期将有一场峰值20000 m³/s的涨水过程，在制定后期计划时，从8日08时开始加大三峡电站发电出力，利用发电提前腾空部分库容，重复利用库容。实际运行中，三峡库水位从8日08时的146.46 m逐步下降，至10日17时降至145.20 m，调度腾空库容6.24亿 m³，折合发电量0.2537亿 kW·h。6月12日，预计后期金沙江、宜宾—重庆区间、乌江流域有中到大雨，三峡入库流量将再次涨到20000 m³/s，在制定后期计划时，从13日06时开始加大三峡电站发电出力，降低水库水位。实际运行中，三峡库水位从13日06时的146.18 m逐步下降，至14日23时降至145.17 m，腾空库容5.00亿 m³，折合发电量0.2127亿 kW·h。

同时，长江上游流域降水预报产品还包括长江

上游流域月、季、年降水趋势预测，为三峡月发电计划、年发电计划制作提供参考。

3 2017年三峡水库生态调度试验

生态调度试验是指通过人工水库调度，创造鱼类繁殖所需的水温、水力学条件，以达到促进鱼类繁殖的效果，实现对鱼类资源的有效保护。三峡水库生态调度试验时间集中在5月下旬至6月下旬，生态调度试验期间日均流量涨幅区间为590~3140 m³/s，均值为1600 m³/s；调度持续时间为3~8 d。同时考虑到三峡水库水位须在6月10日消落至汛限水位、汛前应尽量平稳消落等边界条件，一般选择宜昌站水温达到20℃以上，三峡上游来水不大且有小幅自然涨水过程时，择机实施生态调度试验。

2017年5月19—25日，三峡水库开展了一次生态调度试验。5月17日流域降水预报显示，“20—23日，长江上游流域大部有一次中到大雨过程”，相应流量预报后期三峡入库有一次小幅涨水过程。5月19和22日，长江防总先后发布5号、6号调度令，本年度生态调度试验正式开始。三峡日均下泄流量自20日的11000 m³/s逐步增加至25日的18000 m³/s（图2），22—23日宜都断面出现鱼类繁殖高峰，总鱼卵密度达到165颗/1000 m³，其中四大家鱼鱼卵密度达到48颗/1000 m³，初步估算此次调度期间三峡下游江段产漂流性卵鱼类繁殖总规模达到6亿颗，其中四大家鱼繁殖总规模约为1亿颗。



图2 2017年生态调度试验期间三峡水库入出库流量图

本次为三峡水库2011年以来连续7年实施的第9次生态调度试验，通过生态调度试验累计促进四大家鱼繁殖规模达到8.63亿颗，调度期间四大家鱼繁殖规模占繁殖总量的比例超过40%，同时也为多种鱼类自然繁殖创造了良好的水文条件，生态调度试验效果明显。

4 三峡水库调度关键期水位控制

按照《三峡（正常运行期）—葛洲坝水利枢纽

梯级调度规程》，三峡水库正常蓄水位175.0 m，防洪限制水位145.0 m，枯期消落低水位155.0 m。每年12月至次年4月，三峡水库为下游实施供水、抗旱、航运、生态等补水调度，库水位逐步降低，但水库仍维持在较高水位上运行；5月1日—6月10日为三峡水库集中消落期，6月10日消落至防洪限制水位。主汛期（6—8月）不进行防洪调度时，水库水位一般维持在汛限水位上下波动；汛后（9—11月）开展蓄水调度，一般情况下，9月底控制水位162.0 m，经国家防总同意后，9月底蓄水位视来水情况可调整至165.0 m，10月底可蓄至175.0 m。长江上游流域气候特征复杂，年内降水时空分布不均且年际之间降水差异也较大，对集中消落和蓄水期间的水位控制影响较大。

集中消落期，三峡出库流量主要受上游来水、葛洲坝机组满发流量、日消落水位变幅等条件影响较大。而这一时期长江上游流域降水过程逐渐增多，雨量逐渐增大，上游来水逐渐增多，部分时段会出现日均20000 m³/s以上的入库流量（超葛洲坝满发流量），因此准确的降水预报，有利于合理安排消落进程以及三峡—葛洲坝枢纽综合效益的充分发挥。每年3月下旬，长江流域气象中心组织长江流域各省及相关单位开展消落期、汛期长江流域降水趋势会商，可为消落期流量预报及消落方案的制定提供参考依据；每月末开展次月降水趋势预报，为月度消落计划及方案的制定提供技术支持；同时长江流域各预报单位开展延伸期降水趋势和降水过程预测、中短期降水过程预报和面雨量预报；基本可以做到长江流域长—中—短期降水预报有机结合，为水库合理安排消落进度提供较为可靠的气象预报技术支持。

蓄水期（9—11月），三峡水库蓄水同样受上游来水、葛洲坝机组满发流量以及电力外送等因素的影响。这一时期长江流域降水总体开始减少，但长江上游流域受华西秋雨影响大，且三峡水库入库基流相对较大，因此仍需开展长江流域蓄水期降水趋势预测，同时结合月、延伸期及中短期降水预报，制定合理蓄水方案。当预计当年秋雨较明显时，三峡水库一般在蓄水前期放慢蓄水进度，做好汛末防洪和汛后蓄水的衔接；当预计长江上游流域后期秋雨偏少时，三峡水库则将汛末蓄水与前期防洪运用相结合，抬高9月各阶段运行水位，增加9月蓄水量；同时减少10月蓄水量，增加10月下泄流量以减轻蓄水期对下游的影响。

5 展望

随着溪洛渡、向家坝等一大批库容大、调节能力好的综合利用水利水电枢纽工程建成运行，长江上游

控制性水库群初步形成。水库群对径流、洪水巨大的调节作用,势必对对长江中下游防洪、河势、水沙、水生态环境、水资源利用等产生影响,同时也对长江流域降水预报提出了新的要求。后期应根据长江上游流域水库群联合调度需求,开展流域降水预报方法研究,提高预报精度,延长预报预见期;开展无缝隙、格点化、精细化、量化的流域降水预报,实现流域预报从固定分区的流域面雨量跨度预报向任意分区的格点预报转变,为充分发挥长江上游流域水库群的防汛、发电、航运、灌溉、生态等综合效益提供气象技术支持。

致谢: 本文由水体污染控制与治理科技重大专项(2014ZX07104-005)资助。

深入阅读

高琦, 金琪, 王仁乔, 等, 2011. 基于面雨量预报的长江上游洪水分级预估及其应用. 暴雨灾害, 30(4): 370-374.
邹冰玉, 李玉荣, 冯宝飞, 等, 2011. 三峡水库运用对长江中下游干流水位影响分析. 人民长江, 42(6): 80-82.
周曼, 徐涛, 2014. 三峡水利枢纽多目标优化调度及其综合效益分析. 水利发电学报, 33(3): 55-60.

(作者单位: 三峡水利枢纽梯级调度通信中心)

新书架  “水文气象”主题
NEW BOOK 编辑: 张萌

 感兴趣的读者可以到中国气象局图书馆查阅



《淮河流域气候与可持续发展》

编著者: 李泽椿
出版者: 中国水利水电出版社
出版年: 2017



《陆地水文—区域气候相互作用》

编著者: 谢正辉等
出版者: 科学出版社
出版年: 2017



《未来水文气候情景预估及不确定性分析》

编著者: 段青云, 徐宗学等
出版者: 科学出版社
出版年: 2017



《河流生态学》

编著者: J. David Allan等;
黄钰铃等译
出版者: 中国水利水电出版社
出版年: 2017



《长江流域山洪致灾临界雨强拟定及预警技术研究》

编著者: 程海云, 熊明, 杨文发
出版者: 长江出版社



《气候变化对水文过程影响及不确定性分析》

编著者: 任政, 路明, 龚家国
出版者: 科学出版社
出版年: 2017



《澜沧江—湄公河流域气候与水资源变化及其未来预估》

编著者: 刘波, 肖子牛, 段玮
出版者: 气象出版社
出版年: 2017



《澜沧江中上游流域强降雨特征与天气成因》

编著者: 段玮, 林芸, 刘阳容
出版者: 气象出版社
出版年: 2017