

# 长江流域严重枯水的形成特征 及对长江河口的影响

陶晓东

(南通市水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 南通 226006)

**摘要:** 研究总结了历史上长江流域发生的干旱, 分析了干旱的形成特征和类型, 特别是2006年、2013年、2022年洪季严重干旱及对河口地区的影响, 重点分析了2022年咸潮入侵的基本情况和形成原因。结合历史资料, 探讨了新形势下长江口咸潮入侵的机理和途径, 分析了咸潮入侵的新特点, 并根据特点提出了相应对策措施。

**关键词:** 严重枯水; 咸潮入侵; 长江河口

中图分类号: TV121

文献标识码: A

文章编号: 1007-7839(2023)02-0022-0005

## Formation characteristics of the extremely dry water regime in the Yangtze River basin and its impact on the Yangtze River estuary

TAO Xiaodong

(Nantong Surveying and Design Institute of Water Resources Co., Ltd., Nantong 226006, China)

**Abstract:** This paper summarized the drought occurred in the Yangtze River basin in history, analyzed the formation characteristics and types of drought, especially the extremely dry drought in the flood season in 2006, 2013 and 2022 and its impact on the estuarine area, and focused on the basic situation and formation reasons of saltwater intrusion in 2022. Combined with the historical data, the mechanism and approach of saltwater intrusion in the Yangtze River estuary under the new situation are discussed, the new characteristics of saltwater intrusion are analyzed, and corresponding countermeasures are put forward according to the characteristics.

**Key words:** extremely dry water regime; saltwater intrusion; the Yangtze River estuary

近年来长江流域干旱事件频繁发生, 2022年长江流域发生流域性严重枯水, 中下游干流8月出现超100年一遇枯水, 月最低水位为有实测记录以来历史同期最低<sup>[1]</sup>。而严重枯水下河口咸潮入侵是河口最明显的特征。咸潮入侵造成长江口氯化物含量剧增, 使水质不符合饮用水和工农业用水的标准, 给人民生活和工农业生产带来严重影响。分析长江流域严重枯水的形成成因和特征, 避免或减轻咸潮入侵的危害是改善长江口淡水水质和充分利用水资源的一个重要课题。

### 1 长江流域干旱的形成特征和类型

长江流域由于地形地貌复杂多变, 各区域变化较大, 每当大气环流系统发生异常, 上游地区的春夏旱持续延长, 中下游地区的多雨期出现“枯梅”或“空梅”, 则使伏旱提前, 早期延长, 容易造成流域性干旱。

长江流域近年来大范围干旱事件频繁发生, 尤其是今年7月份以来, 长江流域降雨量较常年同期偏少严重, 导致长江流域大范围干旱。

收稿日期: 2022-12-22

作者简介: 陶晓东(1969—), 男, 研究员级高级工程师, 主要从事水利规划与研究。E-mail: nntaoxd@sina.com

### 1.1 2022年长江严重枯水的形成

(1)大气环流异常是干旱的主要成因。2022年干旱成因主要是受周期性的拉尼娜现象影响,由于大气环流异常,导致西太平洋副高强势西扩,长历时控制川、鄂、赣、皖等地区。

(2)梅雨和台风异常造成了流域降水严重偏少。梅雨期持续时间短,部分区域几乎是“空梅”,之后七八月份的台风又未能深入内陆,未能产生明显降水。整个长江流域降水量均小于50 mm,上游地区8月以来的累计降水量甚至小于1 mm,导致8月份流域旱情快速发展。

(3)持续的高温也是旱情快速发展的原因之一。7月以来,长江流域大部分地区高温日超过15 d,中下游部分地区超过25 d,安徽北部、湖北西北部等地超过30 d。8月上旬长江下游地区四川、重庆和湖北高温达到历史同期第一。8月以来,整个长江流域温度距平较7月上升一个等级,这也是今年8月份以来旱情快速发展的原因之一。受东亚夏季风系统影响,近年来长江流域的降水特征表现出相当的复杂性<sup>[1]</sup>。2020年6—7月发生超强梅雨,2021年8月出现超强二度梅,而2022年却出现严重夏旱。可见在全球变暖的背景下,对长江流域的影响因素也是复杂的。

### 1.2 2022年严重枯水特点分析

(1)受旱空间范围大。与长江流域发生过的历史典型夏伏旱过程对比看来,2006年主要发生在长江上游,2008年、2009年、2013年、2017年、2018年、2019年主要发生在长江中下游,2022年的旱情发生空间范围大,包括川、渝、鄂、湘、皖、赣等6省(市),覆盖了长江干流的上游、中游和下游,较为少见,甚至影响到太湖流域。

(2)夏伏旱开始时间早、持续时间长。长江流域历史典型的夏伏旱事件中,大部分年份旱情从7月中下旬开始发生发展,8月中旬前后达到高峰,8月下旬受台风降水影响逐渐缓解,旱情一般持续30~40 d。而2022年长江流域自6月中旬开始降水偏少,7月以来,旱情发展迅速,旱情发生时间大致提早了20 d左右,8月中旬以后没有大范围的有效降水,旱情持续显著加重。

(3)长江中下游水位、流量较同期大幅偏低。2022年6月25日以来,长江中下游水位持续消退,长江干流及洞庭湖、鄱阳湖水位较常年同期偏低4.7~5.7 m,均为历史同期最低。长江南京站,8月9日最低潮位3.92 m,列历史同期第二低水位,水阳

江、石臼湖、固城湖等水位偏低1.4~3.5 m,水阳江、石臼湖创历史同期最低水位。根据卫星资料监测,2022年9月27日鄱阳湖主体及附近水域面积为638 km<sup>2</sup>,较历史同期平均偏小约70%,4次创历史新低。长江大通站流量是上中游来水量的直接体现,长江大通站最小流量7 340 m<sup>3</sup>/s(9月30日),列1951年以来汛期最小(2011年,14 300 m<sup>3</sup>/s),8月、9月径流量较常年同期偏少53%、69%,列历史同期最低。至10月5日处于正常的洪季末期的大通流量降至7 400 m<sup>3</sup>/s,是三峡蓄水前的10月份月均流量的1/5(表1、图1)。同时9月宜昌站流量占大通站的67%,湖口站仅占大通流量的7%不到,表明鄱阳湖补给水源远较往年偏少。

表1 长江中下游四站2022年5—9月月均流量

单位:m<sup>3</sup>/s

站名	5月	6月	7月	8月	9月
宜昌	20 000	20 200	15 500	11 700	7 950
城陵矶	15 000	21 200	12 800	4 080	1 760
湖口	7 060	15 000	9 010	2 370	812
大通	39 000	53 200	43 600	21 100	11 800

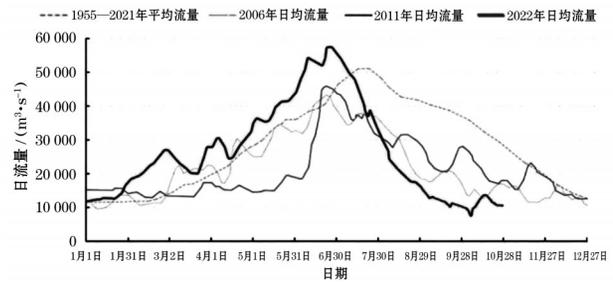


图1 长江大通站日均流量曲线

## 2 长江流域历史上的枯水和灾害

长江流域最早的干旱灾害见于公元前190年(汉惠帝五年):“夏,大旱,江河水少,溪谷绝”<sup>[2]</sup>。根据15世纪到20世纪的历史资料统计,近500年来,长江流域发生重旱以上事件平均7~8年一次,其中中下游地区发生极旱频率大于上游,大约23~27年一次,而上游大约65年一次。1637—1643年为长期持续大旱年份,长江流域除四川省外其余各省均遭遇旱灾,其中1640年称为“天下大旱年”。1928—1929年也是特大干旱年份,长江中上游旱情最严重。1977—1979年持续大旱对长江流域产生了严重的影响,1978年是1949年以后干旱最严重的一年,干

旱少雨和高蒸发量使得长江径流大幅度减少,长江中下游1—10月径流量为四五十年来的最低值。

从发生持续特征来看,最常见是夏秋连旱,其次是春夏连旱。长江流域出现夏秋连旱概率最大,严重干旱周期大约20年一次,最严重的能在较大范围发生持续数年的干旱。

2000年以来,长江流域发生过多夏、伏旱,比较典型的年份有2006年、2013年和2019年等,长江流域干旱灾害整体上呈现频发、重发的态势,2022年长江流域发生的严重的干旱灾害呈现进一步持续的态势。

### 3 长江严重枯水对河口的影响

#### 3.1 长江河口基本情况

##### 3.1.1 长江河口的水动力特征

一般意义上的长江口,上起徐六泾,下迄口外50号灯标,全长约181.8 km。长江口在徐六泾以下被崇明岛分为南、北二支,目前长江径流主要由南支下泄,北支处在萎缩阶段,北支河段分泄长江径流不足5%,以涨潮动力为主<sup>[3-4]</sup>。

河口是一个复杂的自然综合体,淡水径流入海,咸潮上溯入侵是河口特有的自然现象。长江是世界第三大河,长江口的径流量大,在丰水期冲淡水向海扩展很远,但长江河口的潮流也很强,受潮汐影响的范围可以至距河口口门640 km的安徽大通,约占长江全长的1/10。当长江流域出现干旱,径流减少,会出现咸潮入侵增强,一般可上溯到南北支分汉口以上的水域,这对上海、江苏的工农业用水、生活用水至关重要,也对长江河口的环流、最大混浊带和拦门沙等的形成与变化有深刻的影响。

##### 3.1.2 长江口的咸潮入侵

长江口咸潮入侵时口外高氯度海水分别从北支、北港、北槽、南槽四条汉道向口内上溯(图2)。

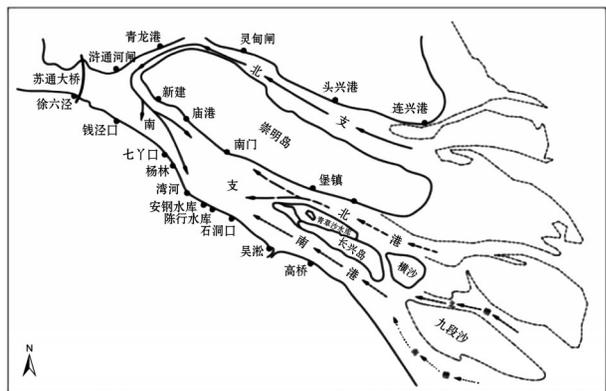


图2 长江口咸潮入侵路径示意

长江口北支曾一度作为长江口的主槽,1958年后通海沙与江心沙陆续围垦进口入流不畅,造成北支盐水倒灌南支,北支从此变成一条以涨潮流占优势的涨潮槽,并开始萎缩。1970年江心沙北汊封堵,徐六泾江面从13 km束窄至5.8 km,北支上口与长江干流几乎呈90°夹角,北支分流比锐减,因此20世纪70年代北支倒灌南支的现象进一步加重。

北支上段也是北支淤积最严重的区域,到20世纪80年代中后期,由于长江径流较丰,北支进口的堆积体受到冲刷,改善了径流进入北支的方向,北支倒灌南支程度曾一度得到缓解。但近年来由于淤积加速,青龙港潮差呈升高趋势,导致涌潮加剧,又为涨潮流倒灌南支提供了动力。

#### 3.2 近年来长江口咸潮入侵的特点

##### 3.2.1 长江口咸潮入侵主要特征

在地球科氏力的作用下,长江河口出现涨落潮流路分离,涨潮流偏北,落潮流偏南,故一般在长江口北岸的氯化物含量总比南岸高,如新桥水道为涨潮槽,其氯化物含量一般总比南支主槽高,北港堡镇的氯化物含量远大于长兴岛西头的青草沙水域,南港长兴岛南小泓的氯化物含量大于吴淞,甚至大于高桥。长江口氯化物含量的沿程纵向分布表现为下游高于上游,且北支的氯化物含量远高于南支。枯季大潮,南、北港的咸潮可上溯到浏河口附近,而经北支倒灌入南支的咸潮随落潮流下移时可影响整个南支河段。长江口咸潮入侵的主要特征表现如下:

(1)咸潮入侵影响因素很多,但咸潮入侵的程度取决于径流量和潮差。径流量越小,潮差越大,则入侵的影响越大。

(2)枯季大潮期咸潮入侵呈强混合型。随径流的大小及潮汐的涨落含氯度的变化比较明显。高含氯度主要发生在大、中潮期,小潮期含氯度则明显减小。

(3)枯季大潮期南北支交汇口处,北支的高潮位常高于南支、低潮位低于南支。因此北支潮位较高的咸潮往往在高潮位时进入相对低水位的南支,对长江口水质造成较大的影响。北支含沙量也远高于南支,北支含沙量较高的水流倒灌南支,同时导致白茆沙北水道发生淤积,也不利于南支河势的稳定<sup>[5]</sup>。

##### 3.2.2 近年来长江口咸潮入侵主要趋势分析

21世纪以来,长江口咸潮入侵有如下趋势:

(1)入侵时间提前。在20世纪末,咸潮入侵主

要发生在12月至次年3月,21世纪之后,咸潮入侵时间提前,有时提前两个多月。2006年严重枯水,陈行水库在9月11日就遭遇到有史以来最早的咸潮入侵<sup>[5]</sup>。

(2)入侵次数增多,特别是近年来咸潮入侵次数有明显增多的趋势。2006年从9月到次年5月期间,长江口共发生了14次咸潮入侵过程,大大超过年平均6次的咸潮入侵次数,累计影响1 928 h;2009年咸潮入侵也达13次<sup>[6]</sup>;2011年和2013年,也都发生了9次入侵过程<sup>[7]</sup>。

(3)咸潮入侵程度加重,单次咸潮入侵时间延长。2006年严重枯水前后,14次咸潮入侵中有7次超过了陈行水源地5 d的避咸蓄淡能力,其中受咸潮入侵影响长达8 d以上的有两次,这两次陈行水库取水口氯化物浓度分别高达1 476 mg/L和1 662 mg/L。2014年2月,长江口水源地遭遇历史上持续时间最长的咸潮入侵,青草沙水库氯化物浓度最高超过3 000 mg/L,咸潮入侵持续时间超过23 d,影响了近200万人的用水。

### 3.3 径流对盐水入侵的主要影响

长江口氯化物含量年际与年内变化与上游径流量关系十分密切。一是年际变化,上游径流量大,口外咸潮难以溯,上游径流量小,径流动力弱,口外咸水随潮上溯至口内,产生咸潮入侵。二是年内季节变化,枯季(11月至次年4月)径流量小,咸潮易入侵;洪季(5—10月),径流量大,受咸潮入侵相对影响小。一般最大氯化物含量出现在1月份的频率最高,最小氯化物含量出现在7月份的频率最高,氯化物含量与径流的年内分配明显对应。三是上游径流对口门氯化物含量变化的影响有一定的时间滞后,尤其当径流量较小时滞后更明显,原因是水体混合置换时间受径流量的影响较大。

1979年1月长江大通站出现了历史上的最小流量4 620 m<sup>3</sup>/s,导致南北港咸潮上溯强度大增。同时,北支咸潮又连续大量倒灌南支,咸潮一度上溯至常熟的望虞河口,而徐六泾以下遭受咸潮包围时间长达5个月。

已有的研究表明,徐六泾流量过程一般较大通流量滞后5 d左右,而徐六泾的流量当日就影响咸潮入侵,长江大通站流量小于10 000 m<sup>3</sup>/s时,长江口各代表站氯化物含量普遍升高,如1978—1979年、1984年、1987年、1993年;流量大于15 000 m<sup>3</sup>/s时,吴淞口、高桥受咸潮入侵影响较小,吴淞口以下各站氯化物含量也变小,如1990年、1991年、1995年。

统计浒通河闸口和5 d前大通流量的关系(图3)还发现,当大通流量介于10 000~20 000 m<sup>3</sup>/s之间,浒通河闸口氯化物含量值变化大,超过250 mg/L的现象频频发生;而当大通流量大于20 000 m<sup>3</sup>/s,浒通河闸口氯化物含量少有超过250 mg/L,说明北支咸潮倒灌受大通流量的影响区间在10 000~20 000 m<sup>3</sup>/s之间。

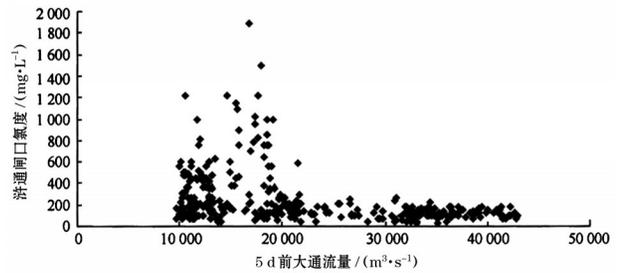


图3 浒通河闸口氯化物含量与5 d前大通流量关系散点图

值得指出的是,长江的高含沙和大流量一直是水体自净的重要方式,长江河口水体受枯水影响咸潮入侵,氯化物含量会加重,但这不是唯一应该关心的指标,河口水环境的其他指标也十分重要。径流量的减少将会导致有机质、营养盐含量相对增高,加上咸潮倒灌影响因素叠加,会使污染物长时间滞留长江口,进一步导致长江口环境容量大大降低,必须引起高度重视。

### 3.4 2022年洪季严重枯水对长江口盐水入侵的影响分析

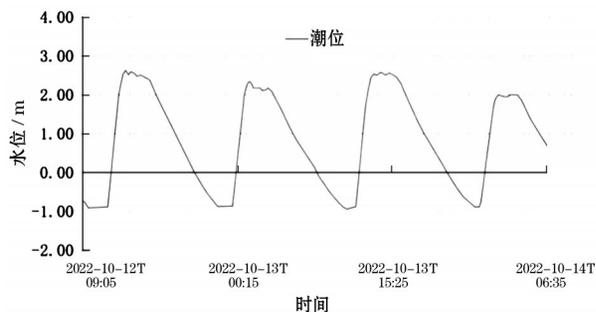
对比2022年5—9月长江大通月均流量和相关年同期流量(表2)可以看出,2022年5—6月大通站月均流量较丰,甚至超过往年,至7月开始减少,但仍高于1978年和2006年,至8月开始锐减至月均流量的1/2至1/3,甚至远少于汛期严重枯水年的1978年和2006年。

从大通站2022年10月8日9时至10月9日9时的流量过程来看,受10月2日以来三峡水库加大泄流影响,最小流量已从7 400 m<sup>3</sup>/s左右升至流量11 100 m<sup>3</sup>/s,日均流量约10 300 m<sup>3</sup>/s(2006年10月上旬,处于正常洪季末期的大通流量为12 400~12 500 m<sup>3</sup>/s)。从图4可以看出,5 d之后10月13日,长江口仍出现了较明显的北支倒灌咸潮现象,此时正值农历九月十八天文大潮,青龙港最高潮位2.63 m,最低潮位低于-0.96 m(实测最低潮位低于水文测站最低界限),潮差超过3.59 m(青龙港多年平均潮差为2.68 m),使得长江口再次出现了严重的咸潮入侵,当日崇明洲头日均氯化物含量2 308 mg/L,

表2 长江大通站相关年5—10月月均流量对比

单位:  $\text{m}^3/\text{s}$ 

年份	5月	6月	7月	8月	9月	10月
三峡蓄水前多年平均	33 670	40 380	51 000	44 340	40 620	33 910
三峡蓄水后多年平均	31 930	40 590	47 550	40 820	33 770	25 350
1978年	26 800	41 800	38 200	30 100	25 900	18 700
2006年	30 500	38 500	36 900	27 000	18 900	15 000
2022年	39 000	53 200	43 600	21 100	11 800	

图4 长江口北支青龙港站10月12—14日潮位过程线  
(废黄河基面)

而南支杨林站日均含量1 038 mg/L,六溇站日均含量为2 298 mg/L,可见北支咸潮倒灌明显。同时上游徐六泾站实测氯化物含量为108 mg/L,全潮24 h均小于250 mg/L,这也说明咸潮上溯并未超过徐六泾节点。

2022年长江全流域出现极端高温、中下游出现汛期严重枯水,旱情历史罕见,由此导致下游河口提前高强度发生咸潮入侵,这对长江口的供水和淡水资源安全带来严重影响。由于高温天气持续时间长,更加重了干旱的影响。长江口咸潮入侵的影响因素与潮汐呈正相关关系,同时与径流呈负相关关系,因此这次咸潮入侵具有受流域枯水影响大,外海咸水正面侵袭与北支咸潮倒灌相叠加的特点。

## 4 结 语

(1)长江流域降水时空分布不均,旱涝灾害发生频繁,流域性干旱尤其是流域性持续干旱对水资源分配带来的影响应引起足够重视。

(2)长江口的水资源能否有所保障,很大程度上受制于长江径流来水的变化,咸潮入侵是长江口水域上游来量不足时经常发生的自然现象。分析表明,北支咸潮倒灌受大通流量的影响区间在10 000~20 000  $\text{m}^3/\text{s}$ 之间。如遇长江严重枯水,长江径流来量小,盐水上溯,会对长江口水资源保障带来不利影响。近年来,由于受气候变化等因素的影响,长江咸潮入侵出现了入侵时间提前和持续时间

延长的新特点,这对长江口的可持续发展带来了新的挑战。

(3)北支口门入流不畅是北支淤积萎缩和咸潮入侵的另一个主要原因,要减少北支倒灌南支的影响,应尽实施长江口综合整治工程,尤其是要把徐六泾节点河段整治、白茆沙河段整治和北支进口、北支上段河道等作为一个整体,尽快实施北支进口疏浚的综合整治方案,以改善北支进口的进流条件,并尽可能扩大和稳定北支分流比和落潮分流量,减轻对南支倒灌的影响。

(4)长江口地区的供水保证率和水质与发达国家相比,还存在一定的差距,建议依托长三角一体化资源平台,开展长江口河网水动力逻辑关系调查研究,积极开展跨区域水资源配置研究工作,制定区域联合调度方案。同时建议对加强对长江口区的来水规律和影响因子的监测和研究,加强咸潮入侵模型的机制性计算和预报,提高河口地区的水资源保障能力。

## 参考文献:

- [1] 沈嘉聚,杨汉波,刘志武,等.长江上游径流对气象要素变化的敏感性分析[J].水资源保护,2023,39(1):119-126.
- [2] 官学文,曾明.2022年长江流域枯水特征分析与启示[J].人民长江,2022,53(12):1-5,36.
- [3] 水利部长江水利委员会.长江流域水旱灾害[M].北京:中国水利水电出版社,2002.
- [4] 沈焕庭,茅志昌,朱建荣.长江河口盐水入侵[M].北京:海洋出版社,2003.
- [5] 陶晓东.长江口北支综合整治问题分析和研究方向探讨[J].江苏水利,2016(5):1-5.
- [6] 陈吉余,何青.2006年长江特枯水情对上海淡水资源安全的影响[M].北京:海洋出版社,2009.
- [7] 毛兴华.2014年长江口咸潮入侵分析及对策[J].水文,2016,36(2):73-77.
- [8] 李文善,王慧,左常圣,等.长江口咸潮入侵变化特征及成因分析[J].海洋学报(中文版),2020,42(7):32-40.