

中国科学院綜合考察委員会資料

編 号:

密 級:

长江枯季逕流对南水北调的影响

唐 青 蔚

中国科学院自然资源综合考察委员会

一九七九年十月

目 录

一、概 况	1
1. 长江、黄河和海滦河流域水、土资源的分布	1
2. 长江中、下游地区工、农业用水增长对调水 的影响	2
3. 南北干旱遭遇对调水的影响	4
二、长江枯季逕流分析	6
1. 枯 季 的 划 分	6
2. 长江年逕流变化的特点	6
3. 枯季各月平均流量的分析	8
4. 枯季流量极小值的分析	10
三、长江河口盐水入侵与逕流的关系	12
1. 盐水入侵对黄浦江水质的影响	12
2. 盐度变化与逕流的关系	14
四、简 要 结 论	16

长江枯季逕流对南水北调的影响

一、概 况

1. 长江、黄河和海滦河流域水、土资源的分布

我国水、土资源都很丰富，全国多年平均河川逕流量约 2 6 3 4 0 亿立米，在世界各国中仅次于巴西和苏联，占第三位。总土地面积 9 6 0 万平方公里，仅次于苏联，居第二位。但是我国幅员辽阔，地形复杂多样，气候差异较大，故水、土资源分布很不均匀。

长江是我国最大的河流，流域面积 1 8 1 万平方公里，多年平均逕流量为 9 7 9 4 亿立米（至河口），占全国河川逕流总量的 3 7 %。黄河是我国第二大河，流域面积 7 5 万平方公里，可是多年平均逕流量却只有 5 7 4 亿立米，占全国河川逕流总量的 2 . 1 8 %。海滦河流域是海河和滦河水系的总称，流域面积 3 2 万平方公里，多年平均逕流量为 2 8 3 亿立米，占全国河川逕流总量的 1 . 0 7 %。长江、黄河和海滦河流域的耕地面积分别为 4、3（包括引黄灌溉面积）、和 1 . 7 亿亩。这三个与调水有关的流域平均每亩耕地可得的逕流量分别为 2 4 5 0、1 9 0 和 1 7 0 立米，长江流域是黄河和海滦河流域的十三、四倍。由此可以明显地看出南方水多，北方水少，三个流域水、土资源的分布很不均匀。所以，早在五十年代，就有很多人提出过南水北调的宏伟设想，有关部门曾对此进行了大量的考察研究工作，并提出了东线、中线和西线三条不同的引水线路。一九七八年华主席在五届人大政府工作报告中宣布了“兴建把长江水引到黄河以北的南水北调工程”以后，引起了全国人民的关心和重视。各界

人士对此项有关国计民生的重大工程提出了各种各样的看法，有关部门还针对提出的各种问题正进行着深入的科学研究。本文就长江枯季逕流对南水北调的影响做粗略的分析。

2. 长江中、下游地区工、农业用水增长对调水的影响

统计流域内近百年来降雨和逕流的变化，可以看到大部分地区降雨量有所增加，少部分地区略有下降。总的来说长江流域的降雨量变化不大。可是年逕流却有明显减少的趋势。分析长江干流宜昌、汉口和大通三个较大的控制站各时段平均流量的变化，可以看到从1952年以后逕流减少的趋势，这种变化中，下游尤为明显。如长江下游大通站1932~1941年，年平均流量为32266秒立米，1942~1951年为30966秒立米，1952~1961年为29108秒立米，1962~1972年为27455秒立米，后十年的平均流量较前十年的平均流量减少15%，而且1951年以前的时段平均流量都大于多年平均值，1951年以后的时段平均流量都小于多年平均值。详见表1。

表 1 宜昌、汉口和大通站

逕流变化表 单位：秒立米

时段 站名 (年)	1932— 1941	1942— 1951	1952— 1961	1962— 1972	多 年 平均值
宜 昌	14200	14890	18850	13981	14300
汉 口	23350	24175	22640	22481	23500
大 通	32266	30966	29108	27445	29200

解放以后长江流域兴修了七万多座以灌溉为主的小型水库和五万多座大、中型综合利用的水利枢纽，总蓄水量达6000多亿立方米，中、下游的灌溉面积已由解放初期的6000多万亩扩大到1.5亿亩。农业用水的大幅度增长，使逕流有明显的减少。因此，从1951年以来长江逕流有明显减少的规律是符合我国解放后大搞水利建设而减少当地逕流的实际情况。

长江是我国水资源最丰富的河流，长江流域亦是我国工、农业最发达的地区之一，耕地面积约4亿亩，占全国总数的27%，是我国提供商品粮的重要地区。但是长江流域的水利化程度还不高，灌溉面积只占耕地面积的40%，其中旱涝保收面积仅占耕地面积的25%，因此今后随着农业的发展，灌溉面积必将大幅度增加。若将旱涝保收面积提高到耕地面积的60~70%，每亩灌溉用水量以500方计算，那么就要增加700~900亿立米的灌溉用水，看起来这是一个不小的数字。实际上，由于目前我国工程管理和灌溉技术水平都不高，此数字是偏低的。如江苏和安徽两省的已建和规划的抽、引江水工程的水量就很大，江苏规划的江水北调干线抽水600秒立米（已建成460秒立米），规划江水东调550秒立米，仅此两项就1150秒立米。东线南水北调在江苏省江水北调600秒立米的基础上增加到1000秒立米。安徽省已建成泗马山抽水站240秒立米，还规划引江济淮900秒立米，两省可数的几项大工程就抽、引江水2700秒立米（包括南水北调1000秒立米在内），若全部实现，再加上沿江自流引江水闸的引水能力和两省临时抽水站，干旱年两省共计抽、引江水至少3000秒立米。长江流域还有重庆、武汉、南京、上海、长沙和南昌等几十个大、中城市，是我国轻、重工业的重要基地。过去我

国工业和城市用水占的比重不大，今后随着工业的发展，工业和城市用水量会大幅度增加，目前比较发达的国家工业和城市用水约占总用水量的40~60%。解放三十年来，由于工、农业生产的发展，本流域的用水有了很大的增长，今后随着我国实现四个现代化的进程，长江流域工、农业和城市的用水量将会几倍、十几倍的增长。所以长江现在的水量已不是五十年代那样充余了。因此，我们考虑长江枯水期对调水的影响时，不能局限在1000秒立米，而应该考虑抽江2000甚至3000秒立米时对长江河口的影响。1978年，淮河和长江都偏枯，仅江苏和安徽两省就抽、引江水300多亿立米（江苏省约295亿立米，安徽省约30亿立米），致使下游河口盐水入侵严重，海水沿江上溯近200公里，崇明岛自11月份起就处在盐水包围之中，上海市黄浦江中、下游的自来水厂源水中氯化物含量大大超过了规定标准，影响十分严重。

3. 南北干旱遭遇对调水的影响

长江逕流主要受大气降水的控制，由于降水时空分布不均，形成逕流有明显的丰、枯季节和丰、枯年际变化。分析历史记载的南北干旱情况和解放后的实测降雨资料。解放前，江淮片（长江以北至灌溉总渠）、黄淮片（济宁、济南和徐州等地区）和北方片（天津、保定、德州和沧州等地区）出现干旱的重现期分别为12、5和5年，解放后出现重现期为14、7和4年，详见表2。

干旱遭遇，据历史资料，北方片和黄淮片遭遇较频繁，平均8年一次，黄淮片和江淮片的遭遇平均24年一次，南北三大片同时干旱的机会较少，平均69年遭遇一次。据解放后二十八年

表 2

东线南水北调地区干旱分析统计表

项 目 \ 地 区	江淮片	黄淮片	北方片
五百年中出现干旱次数	4 1	9 6	1 0 1
重 现 期	1 2	5	5
解放后二十八年出现干旱次数	2	4	7
重 现 期	1 4	7	4

资料，南北方同时发生干旱有二次，平均 1 4 年遭遇一次。由于采用的干旱标准不同，分析结果往往有所不同，但总的趋势是一致的。如有的同志分析：“近五百年内海河出现偏枯年份 1 9 6 次，其中淮河同时出现偏枯年份 1 1 7 次，占 6 0 %。而且淮、海同时发生连续枯水年组的机会亦多，在海河出现连续三年偏枯和枯水年的 5 5 次中，淮河同时出现偏枯和枯水年的有 3 2 次，占 5 8 %”。南水北调工程既是解决江淮和黄淮地区的缺水问题，而重点是北调，调水规划中的 1 5 0 亿立方米穿黄水量便是解决北方干旱的具体措施。因而不管江淮、黄淮和北方三片中哪片发生干旱（即使是其中的二者和三者未曾同时遭遇）都离不开求助于长江水量的补充，尽管它们对江水的需要程度与性质不同。尤其是江淮片发生干旱，将直接增加长江济淮的水量。由于长江逕流的丰、枯变化不能完全合拍于调水的要求，所以在遇到干旱年迫切需水时，特别是干旱互相遭遇时，会出现南北争水的现象。由此看来，不管是本流域用水或外流域从长江调水，矛盾的焦点往往集中在枯水年和非枯水年的枯水季节上。所以在规划调水时，必须很好重视枯水年和非枯水年的枯水

季节的水量与兼顾下游河口对长江逕流的要求。

二、长江枯季逕流分析

1. 枯季的划分

长江流域中、下游属亚热带湿润地区，气候温和，雨量充沛，而且降雨的多少与气温的变化有着密切的关系。通常每年十月以后，北方的强冷气团南下，并逐渐控制本流域，致使气温下降，雨量锐减，进入了一年中的少雨季节。长江不但源远流长，而且支流繁多，长江全长 6 300 公里横贯我国中部，自青藏高原流经十几个省(区)到吴淞口入海，流域内自然条件复杂，气候变化大，所以不同地区枯季的各月情况是不一样的。如长江上游，地处青藏高原，地势较高，冬季寒冷少雨，枯水期一般为 12~4 月。长江中游，属南方丘陵山地，支流和大小湖泊很多，情况比较复杂，如鄱阳湖和洞庭湖的湘、资两水系的枯季比其他地区来得早，而且时间长，一般从 10 月开始到翌年 2 月。长江下游以大通站为代表，从多年实测资料的年内分配看，枯季一般从 12 月份开始到翌年 3 月。

2. 长江年逕流变化的特点

长江水量丰富，而且年内丰、枯季节明显，变化较有规律。统计大通站 67 年实测流量资料，该站多年平均逕流量为 9363 亿立米，最大年逕流量达 13590 亿立米(1954 年)，最小年逕流量 6320 亿立米(1928 年)。年际丰、枯变差较小，Cv 值为 0.17。6~9 月是汛期，多年月平均流量在 40000 秒立米以上，12~3 月是枯季，多年月平均流量在 10700—15600 秒立米之间，其余四个月是丰、枯交替季节，多年月平均流量 22600—40000 秒立米之间。

通过对大通站 67 年实测逕流系列的频率分析计算, 来看长江年逕流变化的情况。 $C_v = 0.17$, 采用 $C_s = 2C_v$ 绘制大通站年逕流变化的理论频率曲线, 得出各种不同累积频率相应的逕流量, 选择了保证率为 10%、50% 和 90% 相应的逕流量为 11421、9268 和 7396 亿立米。并依此在 67 年系列中选择了与 $P = 10\%$, 50% 和 90% 的逕流量接近的 1931、1955 和 1971 年分别为多水、平水和少水的典型年, 这三年的实测年逕流量为 11416、9303 和 7316 亿立米, 见表 3。

表 3 不同保证率的典型年年逕流量

项 目	C_v	C_s	各种频率相应的逕流量 (亿立米)		
			10%	50%	90%
理论数据	0.17	0.34	11421	9268	7396
典型年逕流量			11416	9303	7316
相应年份			1931	1955	1971

逕流的年际变化一般无密切关系, 而具有很大的独立性, 通过典型年年内各月平均流量的分配情况, 我们可以看到多水年的枯季各月的平均流量不一定大, 而枯水年的枯季各月平均流量不一定就小。如 $P = 90\%$ 的 1 月平均流量为 11600 秒立米, 而 $P = 10\%$ 时为 9920 秒立米。但是整个枯季的月平均流量还是丰水年份比枯水年大。如平水年和一般少水年枯季平均流量分别为 12175 和 11421 秒立米, 低于多水年枯季的月平均流量 13930 秒立米。平水年和少水年 1、2 和 12 月的平均流量都在 12000 秒立米以下, 即使是多水年, 虽然枯季的平均流

量较平水年和少水年大些，但是 1 月和 2 月的平均流量也只有 9920 和 12700 秒立米，12 月份为 15100 秒立米，仅 3 月较大，为 22000 秒立米，见表 4。由此可见，长江下游，无论什么年型，除多水年个别月份的平均流量较大外，整个枯季月平均流量都比较小。

表 4 不同典型年的枯季流量 单位：秒立米

年 型	典型年	枯 季 各 月 平 均 流 量				枯季平 均流量
		1	2	3	12	
多水年	1931	9920	12700	22000	15100	13930
平水年	1955	11400	11600	13800	11900	12175
枯水年	1971	11600	11000	13900	9180	11421

3. 枯季各月平均流量的分析

大通站枯季 1、2、3 和 12 月份多年平均流量分别为 10700 11210、15570 和 15500 秒立米，对该站 67 年的枯季各月平均流量分别进行频率分析计算，从分析计算的结果看，保证率 $P=50\%$ 时，枯季 1 月和 2 月的平均流量在 11000 秒立米以下，3 月和 12 月在 14000—15000 秒立米左右；保证率 $P=75\%$ 时，1 月和 2 月的平均流量在 10000 秒立米以下，3 月和 12 月为 11000—12000 秒立米之间；保证率 $P=90\%$ 时，整个枯季的月平均流量都比较小，仅 3 月为 10120 秒立米外，其余月份均不足 10000 秒立米，1、2 月份只有 7000—8000 秒立米。总的来说，保证率为 50% 或更高时，枯季各月平均流量都在 15000 秒立米以下，而 1 月和 2 月更小，在

11000秒立米以下。见表—5。

表 5 枯季月平均流量频率计算成果表

月 份	项 目	多 年 平均值	Q _v	Q _s	不同累积频率相应的流量 (秒立米)		
					50%	75%	90%
1		10700	0.28	40v	10165	8450	7880
2		11210	0.25	40v	10760	9190	8070
3		15570	0.29	20v	15100	12800	10120
12		15500	0.36	40v	14260	11470	9760

此外，还分析了67年系列中，枯季各月平均流量不足10000秒立米和15000秒立米出现的机率。月平均流量不足10000秒立米，在1月和2月份出现的机率最多，分别为52%和39%，3月和12月出现的机率虽然没有1月和2月份多，但也有11%和9%。月平均流量不足15000秒立米的，在枯季各月出现的机率更多，1月和2月份都在90%以上，12月份58%，3月份51%，详见表6。从枯季月平均流量不足10000—15000秒立米出现的机率也能明显地看出长江下游枯季流量较小，而枯季各月平均流量变化的大致规律是1月和2月份最枯，12月份稍好，3月份因已近枯季尾声，月平均流量比前三个月大些。

表 6

枯季月平均流量小于 1 万和 1.5 万
秒立米出现的机率

项 目 \ 月 份	1	2	3	1 2	枯 季 12—3 月
系 列 年 数	6 7	6 7	6 7	6 7	6 7
月平均流量小于 1 万秒立米的年数	3 5	2 6	7	6	7 4
机 率 (%)	5 2	3 9	1 1	9	2 7. 6
月平均流量小于 1.5 万秒立米的年数	6 1	6 1	3 4	3 9	1 9 5
机 率 (%)	9 1	9 1	5 1	5 8	7 2

4. 枯季流量极小值的分析

年极小流量和月平均极小流量都是反映河川逕流最枯时段的特征值。影响极小流量的因素是相当复杂的，其变化还有一定的偶然性，但是通过对大通站年极小流量和月平均极小流量的分析，可以进一步看到长江下游枯季逕流以 1 月和 2 月为最枯，1 2 月和 3 月稍好的规律。该站 1923~1976 年断续 40 年实测资料中，选择每年中最小一日平均流量为样本统计，其最小值为 6020 秒立米（1923 年 1 月 30 日），最大值为 9850 秒立米（1954 年 3 月 31 日），平均值为 8019 秒立米，年极小流量的年际变差不大，变差系数 $C_v=0.14$ 。

据大通站 67 年实测流量资料统计，选择每年中最小一个月的平均流量为样本统计，平均值为 9646 秒立米，最小值为 6730 秒立米（1963 年 2 月），最大值为 15700 秒立米

(1954年3月)。变差系数 $C_v = 0.18$ ，采用 $C_s = 2C_v$ 绘制大通站枯季月平均极小流量频率曲线，推求不同累积频率的月平均极小流量值。当保证率为90%时，月平均极小流量为7600秒立米，保证率为50%时，月平均极小流量为9400秒立米，即使将保证率降低到10%，月平均极小流量也只有11600秒立米，见表7。

表7 枯季月平均极小流量频率计算表

多年平均值	C_v	C_s	各种累积频率相应的流			
			1%	5%	10%	25%
9646	0.18	0.36	16400	13800	11600	10600

量值 (秒立米)				
50%	75%	90%	99%	
9400	8400	7600	6600	

无论分析年极小流量或月平均极小流量，不仅有助于从不同的角度反映河流最枯时段的逕流情况，而更重要的是从多年实测的资料中摸清极小流量出现的时间规律。长江下游年极小流量和月平均极小流量都出现在枯季，1、2、3和12月，年极小流量出现的机会分别为40%、30%、2.5%和27.5%。月平均极小流量出现的机会分别为52%、28%、5%和15%。两种不同极小流量值都是1月和2月出现的最多，12月份少些，3月份最少，见表8。

综合以上的分析结果，长江中、下游的枯水期较为明显，一般从12月份开始到翌年3月。枯季四个月多年平均逕流量为1399

表 8 月、日平均极小流量在枯季各月出现的机会

项 目 \ 月 份	1	2	3	12	说 明
出现月平均极小流量的年数	35	19	3	10	67年系列(1904—1978)
机 会 (%)	52	28	5	15	100%都在枯季
出现日平均极小流量的年数	16	12	1	11	40年系列(1923—1976)
机 会 (%)	40	30	2.5	27.5	100%都在枯季

亿立米(大通站)。只占多年平均逕流量的 1.5%。枯水期 1、2、3 和 12 月份的平均流量分别为 10700、11210、15570 和 15500 秒立米。保证率为 50% 的平水年, 1 月和 2 月的平均流量在 11000 秒立米以下, 3 月和 12 月为 14000 ~ 15000 秒立米。保证率为 90% 的一般少水年, 1 月和 2 月的平均流量仅 7000—8000 秒立米, 3 月和 12 月份为 10000 秒立米左右。此外, 月平均流量不足 10000 秒立米, 1 月和 2 月份出现的机会为 40% 以上, 3 月和 12 月有 10%。月平均流量不足 15000 秒立米, 1 月和 2 月出现的机会占 90%, 3 月和 12 月也占 50% 以上。

三、长江河口盐水入侵与逕流的关系

1. 盐水入侵对黄浦江水质的影响

氯化物含量过高的水不仅对人体, 而且对工业产品和农作物的生长都是有害的。我国有关部门分别对饮用、工业以及农业用水中的含氯量规定了不同的指标。饮用水的氯化物含量一般不能

高出200~250毫克/升(PPM);工业用水因生产部门和产品不同,对供水的标准也各有所求,炼钢工业,电厂的锅炉用水,食品加工等部门对水质的要求较高,有的高于饮用水的标准;农业用水较前二者低些,不同的作物或同一种作物不同生长期对水源的要求也不一样,如水稻育秧期要求灌溉水含氯量不超过600PPM,而一般生长期只要求PPM值不大于1100即可。

目前,长江河口枯水期盐水入侵已较严重,盐水的入侵已直接影响了黄浦江中、下游的水质,黄浦江是上海市工、农业用水和居民生活用水的主要水源,从吴淞到闵行建有八个水厂,日产水量340万吨。据1973~1978年六年吴淞、杨树浦和闵行三个水厂枯季四个月(12~3月)进厂源水氯化物含量的测定数据统计,可以看到由于这三个水厂处在黄浦江的不同位置,所以受盐水入侵的污染程度也有所不同,距长江口最近的吴淞水厂,受盐水污染最为直接,反映在进厂源水的含氯量比另外二个水厂高得多,枯季各月平均含氯量为112~413PPM。杨树浦水厂位于黄浦江中游,受盐水污染轻些,枯季各月平均含氯量为41~65PPM。而闵行水厂位于黄浦江上游,距河口远些,水质基本未受盐水入侵的污染,含氯量较低,且枯季的含氯量变化较小,在31~40PPM左右,见表9。

此外,还可以从三个水厂六年的实测资料中看到:吴淞水厂除直接受到盐水入侵而源水的含氯量较高外,与长江逕流的关系也很密切,长江逕流1月和2月份最枯,吴淞水厂2月份含氯量最高,多年平均值为413PPM。还有在1973~1978年六年中,吴淞水厂源水含氯量月平均最高值为675PPM,出现在1974年的1月,最低值28PPM,出现在1975年12月,而这二

表 9 吴淞、杨树浦、闵行水厂枯季源水含氯量统计表

厂名 \ 月份	1	2	3	12	最高值	最低值
吴 淞	226	413.6	372.8	112.2	2200 (1974.1)	12 (1975.12)
杨树浦	65.8	56.5	61.8	47.8	520 (1974.1)	24 (1978.1)
阁 行	32.8	33.0	39.5	31.8	60 (1974.3)	20 (1976.2)

个月正是大通站该六年中出现最小月平均流量 8 8 2 0 秒立米和最大流量 2 0 0 0 0 秒立米的二个月。也就是说，大通站出现最小流量时，下游河口含氯量最高。可见黄浦江水质受到盐水污染的轻、重与长江逕流的大、小有着直接的关系，尤其是下游更为明显。但是河口盐水入侵除主要受长江逕流的控制外，还同时受到潮汐、海流、风浪以及黄浦江上游来水大、小等多种因素的影响，杨树浦水厂的源水受盐水入侵影响比吴淞水厂低以及阁行水厂基本不受盐水入侵的污染，说明了上述因素对黄浦江不同水域的影响不一样。

2. 盐度变化与逕流的关系

据实测资料分析，河口盐度的变化与长江逕流的丰、枯有着密切的关系，长江逕流季节变化明显，所以河口盐度也有着明显的季节变化。从试验资料“引水船月平均盐度与大通站月平均流量相关图”*可以清楚地看到长江下游河口盐度随着逕流的变化

*该资料引自水电部、交通部、南京水科所“南水北调对长江口盐水入侵的影响”一文。