



长江大通-河口段枯季的径流量变化

作者: 张二凤 陈西庆

通过实地调查和收集长江下游1950-2000年水文、水利工程资料,建立了长江大通以下枯季径流量变化地理信息系统,分析了影响长江大通水文站以下径流量变化的水文过程,探索了这一区间枯季径流量变化的成因与过程。调查研究表明,截止2000年大通以下各类抽引水工程的总数已达64个,抽引水能力达到了4626 m³/s (潮周期内平均抽引水流量)。实际抽引水量呈现很大的年、季波动,这与本区气候干旱情况、农作物生长期、跨区域调水量等多种因素有关。研究表明:大通一河口段沿江两岸大量的抽引水已成为影响长江大通以下枯季入海流量变化的最重要的因素。本文在过去实际抽引江水资料的基础上,估算了过去不同水文、气候背景下长江大通以下枯季径流量的变化幅度及其对入海流量的影响,并利用实际数据进行了验证。在此基础上,探讨了未来长江大通以下枯季的径流量变化趋势。

长江大通-河口段枯季的径流量变化 张二凤, 陈西庆 (华东师范大学河口海岸国家重点实验室, 上海 200062) 长江1950~2000年的平均入海径流量8898.06亿m³, 年均流量近28700 m³/s, 但其年际间与年内变化极大, 月均流量变幅在84200 m³/s与6800 m³/s之间, 枯季 (11~4月) 的径流量只占全年总径流量的29.11 %。这是未来长江流域内部水资源面临的关键问题[1]。近20多年来的记录表明, 盐水入侵是长江口邻近地区季节性与水质型缺水的主要原因[2][3]。未来长江三角洲的水资源将面临两个方面的挑战: 其一是来自全球气候变化与上中游地区的影响, 如长江源区气候增暖对冰川、湖泊、湿地的影响; 岷江、嘉陵江等子流域森林破坏导致枯季流量出现明显的下降趋势等[4]。另外, 虽然大通枯季月平均流量目前还没有较大变化, 但长江中下游耗水量的急剧增长已能导致大通枯季最低流量发生阵发性和大幅度的下降[5](图1)。其二是长江湖区界以下的水文过程和河口段动力地貌的变化。作为河口区枯季最重要的水文过程, 大通一河口段 (徐六泾) 之间沿江两岸大量抽水、引水导致的入海流量变化, 是本文研究的重点。我国学术界常用大通水文站的流量来代表入海流量, 安徽大通是长江口外潮汐影响的上边界 (湖区界)。在大通以上, 长江水位与流量之间有良好的相关性, 而大通以下, 由于水文特征非常复杂, 传统水文站尚不能有效监测断面的流量。大通水文站距离河口段 (江苏徐六泾) 仍有近600 km, 由于此河段没有大的支流汇入, 两岸耗水量又迅速增长, 再加上跨区域调水, 造成河口段的淡水来量大幅度下降, 枯季的大通流量已经不能代表真正的入海流量[1]。表现在河口盐水入侵上, 相近强度的盐水入侵所对应的大通流量明显增大。研究大通以下枯季的径流量变化, 可用来估算旱季长江实际进入河口区的水量, 有利于科学解释与预测河口的重要现象与过程; 也可对未来南水北调与三峡水库的运用提供科学依据。

1 研究区概况长江大通以下区域属于长江下游的一部分, 横跨安徽、江苏两省, 流经安徽省的铜陵、芜湖、马鞍山、巢湖, 江苏省的南京、镇江、常州、无锡、苏州、扬州、泰州、南通和上海等13个地市。本文的研究范围从大通水文站到徐六泾 (长江近口段与河口段的交界处)。本区域内气候湿润、雨水充沛、河网密布、湖荡众多, 但没有大的支流汇入长江, 主要的支流有裕溪河、青弋江、水阳江、漳河、秦淮河、滁河和淮河入江水道。本区属于亚热带季风气候区, 冬夏季风明显交替, 四季分明。多年平均降水量在1000 mm左右, 但年内降水多集中在5~10月, 年际间降水量变幅也很大。

2 数据与资料本文所用的数据和资料主要可分为4类。(1) 长江大通水文站1950~2000年的流量数据;(2) 大通以下沿江两岸的抽引水工程、设计流量、实际抽引水量记录等。长江大通以下沿江两岸的抽引水工程可分为引水闸和抽水站两种, 引水闸是靠自流引水, 受潮汐涨落的影响; 抽水站根据其运行机制的不同又可分为两种: 一种是“单式”抽水站, 即只有抽水站, 没有引水闸, 这种抽水站在需水时即开机抽水; 另一种是“复式”抽水站, 即在河口处既有引水闸, 又有抽水站, 这种抽水站通常是在潮位较低, 引水闸引不到水时才开机抽水, 补充水源。大通以下沿江两岸的抽引水工程及其抽引水能力 (平均抽引水流量) 的统计截止到2000年。(3) 长江大通以下的水文气象资料, 如降水量、蒸发量、支流入江流量;(4) 1:1750000的基础地图。

3 长江大通一河口段枯季径流量变化的机制分析影响长江大通以下径流量变化的因素有两个方面, 一是自然过程, 如水面蒸发与降水、支流汇入、河流与地下水的交换等。二是人类活动, 近几十年来, 由于大通以下耗水量的迅速增长, 使得人为的引排水成为影响枯季径流量变化的主要因素。长江大通以下的水量平衡方程式为: $R_d + R_z + R_p + P + R_1 = R_r + R_y + E + R_2$ (1) 式中: R_d 为长江上游来水量 (大通水文站), R_z 为支流入江水量, R_p 为沿江排水量, P 为水面降水量, R_1 为地下水补给河流水量, R_r 为长江入海径流量, R_y 为沿江抽引水量, E 为水面蒸发量, R_2 为河流补给地下水水量。在上述影响因素中, 由于水面蒸发、水面降水、补给地下水与地下水补给又与其它许多因素有关, 非常复杂且没有证据显示有趋势性的变化, 本文暂不予考虑, 即只考虑支流的汇入和人为的引、排水。其关系式可简化为: $R_d + R_z + R_p = R_r + R_y$ (2) 长江大通以

下长近600 km的河段没有大的支流汇入，且大部分河流的入江口处都建有节制闸，人为控制，本文选用了相对较大的6条支流：裕溪河、青弋江、水阳江、秦淮河、滁河和淮河入江水道。研究表明：这些支流枯季的多年平均入江流量只有405.12 m³/s，在丰水年平均700多m³/s，而在特枯年的1978年枯水期平均入江流量只剩下65.14 m³/s，最枯月的1月份只有14.66 m³/s，只相当于一个小型抽水站或引水闸的取水能力。可见，大通以下支流在枯水期的入江流量非常有限，而且随着人类活动的加剧，有进一步下降的可能。大通以下长江水位随潮汐涨落的大幅度升降为沿江两岸的自流引水提供了便利条件。20世纪50年代以来，为了解决两岸地区和苏北地区的水源问题，沿江修建了许多的抽引水工程（引水闸和抽水站），其中包括江都水利枢纽、泰州引江等江水北调工程。这些抽引水工程都是人为控制，在缺水的时候开闸引水、开机抽水，在防洪、排涝的时候开闸、开机排水。但在枯季特别是枯水年长江水位很低时，大部分引水闸关闸，以防止闸上水体流入长江。根据部分抽引水工程资料的统计研究表明：在特枯年的最枯月1月份或2月份，引水闸的排水量只占引水量的0.01，平水年也只有0.17，可见，在枯季特别是枯水年引水闸的排水量很少，抽水站的排水量更少。由此可见，长江大通以下枯季的入江流量很少，特别是在枯水年，长江流量的变化主要取决于沿江两岸大量的抽引水。未来沿江两岸地区的需水量会有很大的增长，包括未来抽水能力800~1000 m³/s的南水北调东线工程，将对长江的入海流量产生十分显著的影响。

4 近20年长江大通一河口段枯季径流量变化的估算与分析

4.1 大通一河口段流量下降在河口的表现

近几十年来，随着经济的飞速发展，大通以下的枯季径流量受到人类活动的强烈影响，进而亦开始对长江的入海流量产生影响。在70年代以前，大通流量在10000 m³/s时，河口一般没有强烈的盐水入侵。然而，1979年3月大通月平均流量10400 m³/s时，长江口盐水入侵上海吴淞水厂氯度却高达1360 mg/l（相当于盐度2.46‰）（国家饮用水标准为氯度低于250 mg/l）[1]，盐水控制长江河口段水域并影响到太湖以东三角洲平原腹地，对江苏省和上海市的工农业与人民生活造成了极为严重的影响。至2001年3~4月，大通流量在15000 m³/s以上时仍发生了强烈的盐水入侵。除了近年来北支盐水倒灌南支的增强以外，大通至河口区间大规模的抽引水是导致这一过程的主要原因之一。

4.2 大通一河口段抽引水能力的调查

对大通以下沿江两岸水利工程的系统调查表明：1978年时大通以下水利工程的抽引水能力已达到3000 m³/s（平均流量），该年长江中下游与黄、淮、海流域气候普遍干旱，长江大通以下的抽引水量达331亿m³ [6]。为了深入研究的需要，我们对沿江各省市这一时期的抽引水量进行了系统调查统计，结果表明其总量在320~330亿m³之间，与上述估计值十分接近[4]。根据部分抽引水工程的实际抽引水资料，估算出大通以下1978~1979年冬半年（11月~4月份）的抽引水量约占1978年全年的30.98%。如采用这一比值，可得1978~1979年枯季（11~4月份）大通以下从长江抽引水量达102.54×10⁸ m³。截至到2000年为止，大通以下已有抽引水工程64个（图2），总抽引水能力达4626 m³/s（包括东线等主要工程）（图3）。假设1978~1979年的特大干旱在现今的情况下重现，则枯季的抽引水量将从1978年的102.54×10⁸ m³增至158.12×10⁸ m³。

4.3 不同气候与水文状况下枯季径流量变化的估算

前已述及，长江大通以下枯季的径流量变化主要取决于沿江两岸大量的抽引水。实际上，在许多情况下汛期的抽引水量更大，这时农作物正处于生长季节，需水量很大。但是由于汛期长江干流的径流量很大，使得沿江的抽引水对长江的径流量影响很小。所以本文只考虑枯季的抽引水，各相关参数也是在枯季引排水资料的基础上计算的。

4.3.1 典型水文年的确定

通过计算不同流量的出现频率和降水量、蒸发量的距平百分率，综合分析了大通以下枯季支流的入江流量、降水量（统计了32个水文站）和蒸发量（12个水文站），另外参考了部分抽引水工程的实际引排水资料。最终确定1978~1979年为典型特枯年，1976~1977年为典型枯水年，1977~1978年为典型平水年，1975~1976年为典型丰水年。

4.3.2 抽引水工程和入江支流的相关参数估算

由于各年的气候变化和不同季节农作物需水量的变化，抽引水量和入江流量的年、季差异很大。本文在分析部分抽引水工程的实际引排水资料及支流入江流量的基础上，估算了过去不同水文年引水闸和抽水站的开闸或开机率、抽引水时间、引排水闸的排水系数、支流入江流量等参数。实际上自大通至徐六泾，沿江两岸的抽引水工程受到潮汐涨落的影响，其抽引水的各相关参数应该是随时间与工程的位置而变化，本文只考虑每个潮周期内的平均状况。抽引水工程的开闸或开机率（P），本文计算分析了典型抽引水工程在1973~1985年之间不同水文年枯季的情况，结果显示，特枯的1978~1979年枯季达到了97.5%，枯水年的1976~1977年和1979~1980年分别达到了86%和92%，平水年的1977~1978年和1980~1981年分别达到了83.3%和76%，丰水年的1975~1976年达到了72%。在此基础上，本文假定在特枯年所有抽引水工程全部开闸或开机（100%），枯水年为90%，平水年80%，丰水年70%。抽引水时间（T）的估算分为引水闸和抽水站2种情况，其中抽水站又根据运行机制的不同，分为“单式”抽水站、“复式”抽水站和江都水利枢纽工程三种情况分别计算。在抽引水工程实际抽引水流量的基础上，计算其各典型年不同月份的抽引水量，然后除以该部分抽引水工程的实际抽引水能力（设计抽引水能力Q×开闸或开机率P）。江都水利枢纽工程即根据所统计的实测流量（V_{江都}）计算。在上述参数估算的基础上，即可建立不同抽引水工程抽引江水量的计算公式： $M_{引} = Q_{闸} \times P_{闸} \times T_{闸}$ ； $M_{单抽} = Q_{单抽} \times P_{单抽} \times T_{单抽}$ ； $M_{复抽} = Q_{复抽} \times P_{复抽} \times T_{复抽}$ ； $M_{江都} = V_{江都} \times 30 \times 24 \times 3600$ (3) 大通一河口段各抽引水工程的引江水量 $R_{引江} = M_{引} + M_{单抽} + M_{复抽} + M_{江都}$ (4) 抽引水流量本文计算的是月平均流量，根据抽引水量换算即可（ $V_y = R_{引江} / 30 / 24 / 3600$ ）。由于抽水站的排水量很小，所以本文忽略不计，只计算引水闸的排水量。由于排水量的计算很复杂且资料短缺，本文根据部分引水闸各典型年的月引排水量数据，计算出不同月份排水量和引水量的比值即作为排水系数K。排水量的计算： $R_{排入} = M_{引}$ (5) 排水流量 $V_p = R_{排入} / 30 / 24 / 3600$ (6) 本文选用的6条支流资料比较齐全，不同典型水文年各月份的支流入江流量即通过统计计算其月平均流量 V_z 。

4.3.3 参数的检验

根据上述方法计算的各参数以及信息系统中的抽引水工程数据库，建立了大通以下枯季径流量变化计算模型（ $C = V_y - V_p - V_z$ ），对4个典型水文年和枯水年的1994~1995年枯季3个典型月份11、1和3月份的抽引水量分别进行了计算，且根据实际资料对特枯年和枯水年的参数进行了检验。结果表明，1978~1979年枯季大通以下共抽引水99.4×10⁸ m³，根据部分抽引水工程的资料得1978~1979年枯季的抽引水量相当于1978年全年的30.98%，由此可得1978年大通以下共抽引水320.89×10⁸ m³。据王超俊估计，1978年大通以下从长江抽引水量达331×10⁸ m³[6]，与其相比误差为3.05%。用同样的方法估算出枯水年1995年全年江苏省共抽引水203.63×10⁸ m³，据文献记录，1995年江苏省全年引水200.9×10⁸ m³[7]，结果很接近，误差为1.36%。平水年和丰水年没有相关统计数据，不能进行比较。

4.4 大通以下枯季径流量变化分析

由计算结果（表1）可以看出，特枯年的1978~1979

年大通以下的抽引水流量很大,排水流量和支流入江流量很小,典型月份11月、1月和3月份的月平均净减少流量分别达到了674 m³/s、494 m³/s和539 m³/s,在大通月平均流量中的比重已分别达到了42.6%、6.85%和5.19%。其它水文年由于大通以下支流入江流量和排水流量较大,各月份长江的月平均净减少流量不大,平水年和丰水年还有所增加。90年代以后,随着对水资源需求的增加和大通以下抽引水能力的增大,大通以下的抽引水流量已有很大增长(图4),对入海流量的影响也明显增强,枯水年的1994~1995年枯季月平均净减少流量近等于1976~1977年的两倍。按此比例,目前如遇特枯年,大通以下枯季的月平均净减少流量将达到1000 m³/s以上。由计算结果也可以看出,在4个典型年中,均是11月份(或4月份)引水流量最大。1月份(或2月份)引水流量虽较小,但占入海流量的比重却最大,而11月份(或4月份)所占入海流量比重较小。这里应引起注意的是,特枯年大通水文站流量特别小,1月份只有7220 m³/s。

5 未来长江大通一河口段枯季的径流量变化趋势

长江大通以下地区是我国经济最发达的地区之一,随着沿江各抽引水工程的扩建和配套设施的完善,其抽引水能力将大幅度增加。据统计,长江大通以下地区目前规划实施中的各大工程,如引江济太工程、江水北调工程中的泰州引江工程以及南水北调东线工程等,待2030年前这些工程全部完工以后,大通以下抽引水工程的抽引水能力将达到5416 m³/s。如遇枯水年,两岸的抽引水量将会进一步上升。据统计[8],目前引江济太工程在进行的调水试验中,2001年10月和11月份的引江流量都到达了160 m³/s以上(设计流量180 m³/s)。南水北调东线工程目前的最大抽引水流量已达到500多m³/s,待二期工程完成后将达到800~1000 m³/s[9],这一工程的运作与调控将成为影响长江入海流量的重要因素之一。

5.1 未来大通一河口段枯季径流量变化估算

随着社会、经济的快速发展,未来20年我国的耗水量将有进一步增长的趋势。尽管有许多其它有利因素如产业结构调整、节水技术与水价政策等,可能会相对缓和与水资源供需矛盾。不过在近期,总的耗水量仍会进一步增长。本文假定大通一河口段目前规划中的各大工程在2020~2030年之间全部完工,那时大通以下的抽引水能力将达到5416 m³/s。在此基础上,根据2000年以前计算的各参数对未来大通以下枯季的径流量变化进行估算,只是原来的江都水利枢纽工程用南水北调东线工程替换,引水流量参照南水北调东线工程规划,二期工程完成后流量将达到800~1000 m³/s。

5.2 未来大通一河口段枯季径流量变化趋势及对长江入海流量的影响

由估算结果(表1)可以看出,在未来20年内,大通以下的枯季抽引水量仍将大幅度上升(图4),而排水流量增加不大,如遇特枯年份,大通以下长江的月平均净减少流量在3个典型月份(11、1和3月份)将分别达到1578~1778 m³/s、1279~1479 m³/s和1369~1569 m³/s,在大通月平均流量中的比重将分别达到9.99~11.25%、17.72~20.49%和13.16~15.09%。如遇枯水年,大通以下各月份的净减少流量也很大,各月份均将达到1000 m³/s以上,1、3月份的净减少流量在大通流量中的比重均将达到10%以上。平水年和丰水年,由于抽引水量相对较少,而支流量相对较大,大通以下的月平均净减少流量不是很大,但平水年也将达到800~1000 m³/s,在大通流量中的比重1、3月份也将达到7.16%~8.93%和8.81%~10.55%,丰水年影响较小,但1月份的比重也将达到6.22%~8.07%。由此可见,未来近20年内大通以下枯季的净减少流量仍将大幅度增加,对长江的入海流量将产生显著的影响,其中仍然是1月份的影响最大。到2020~2030年时,三峡水库的运作将对大通的枯季流量产生不同的影响:减少11月份的流量(特枯年和枯水年),增加1~4月份的流量。枯季三峡水库的实际运作不但要考虑调节中下游的流量,还要兼顾川江航运和三峡水力发电。在特别干旱的年份,还要调水到中线工程与“引江济汉”工程,这类宏观问题有待进一步研究。

6 结论与建议

(1) 20世纪80年代前,大通以下的沿江抽引水量相对较少,对长江枯季入海流量的影响不是很大,只是在特枯年的1978~1979年影响较大,尤其对特枯月1、2月份的影响最大,在其它年份基本上没有影响。进入90年代以后,随着耗水量的迅速增大,长江大通以下的流量损失也迅速增大,虽然90年代(长江的丰水期)大通枯季月平均流量相对较大,但大通以下沿江两岸的抽引水对入海流量的影响还是明显增大。(2) 进入21世纪,如遇较枯月份,大通以下两岸耗水量的剧增将使长江进入河口区的流量大幅度减少,对入海流量产生显著影响。尤其是遇特枯年和枯水年,12~3月份的影响最为严重;在平水年的12~3月份以及丰水年的1、2月份,也将产生较大影响。(3) 由于大通以下径流量变化非常复杂、资料短缺等许多原因,还有一些因素没有考虑全面,比如说,沿江的抽引水工程可能还没有统计完全,并且沿江抽引水工程的抽引水量与自然和社会经济活动的许多因素有关,其精确估算还有待进一步的研究,一些小的入江支流和沿江的一些单独排污口也有待今后细算时考虑。

Changes of Water Discharge between Datong and the Changjiang Estuary during the Dry Season ZHANG Erfeng, CHEN Xiqing (State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China) Abstract: Based on data from hydrometric stations and other documented sources about the hydro-engineering works downstream from Datong (the tidal limit from the East China Sea), this paper presents a preliminary study on water discharge changes between Datong and Xuliujing during the dry season. The natural hydrological processes and human factors that influence the changes of water discharge are analyzed with the help of the GIS technology. The investigations indicate that the water-extracting engineering projects downstream Datong had totaled to 64 in number by the end of 2000, with a water-extraction capacity up to 4626 m³/s averaged in a tidal cycle. The water abstractions from the Changjiang River downstream Datong have become the most important agent that may cause large and episodic drop in water discharge downstream Datong during dry season. The potential magnitude in water discharge changes under different climatic and hydrological conditions in dry season and its influence on the discharge into the sea are estimated based upon records of water extractions and parameters of engineering capacity. The results were calibrated with the actual data. The future trend of changes in water discharge to the sea during the dry season was discussed according to the historical data and the newly built engineering projects. The results show that the water extractions in dry season before 2000 downstream Datong had exerted remarkable impacts on discharges into the sea only during the extremely dry year like the period 1978-1979, when the monthly mean discharges all decreased over 490 m³/s. The decrease in January and February accounted for about 7% of the total discharge recorded at Datong. It is expected that the wat

er extractions will continually increase in the coming decades, especially during dry years, and will have a far-reaching effect on the changes of water discharge from the Changjiang into the sea. The decrease in monthly mean water discharge is estimated to be over 1,000 m³/s. Key words: the Changjiang Estuary; dry season; water discharge; water resources; south-to-north water transfer

关键词： 长江河口；枯季；入海流量；水资源；南水北调