

黄河以北地区东线引江问题的探讨

左大康 刘昌明 许越先 杜伟

(中国科学院地理研究所)

南水北调东线一期工程1990年完成后,长江之水将被引至黄河南岸的东平湖,设计入东平湖的流量为50立方米/秒^[1]。第一期工程完成后,要不要扩大调水规模,把江水北送过黄河?江水调过黄河以后环境后效如何?引江穿黄与黄河水沙资源利用的关系如何?这些问题关系到南水北调东线第二期工程的规划与最终调水的规模,本文从黄河以北地区的现实情况出发,对几个有关的问题进行了分析。

一、黄河以北地区的缺水问题

南水北调东线方案黄河以北地区的可能供水范围,除天津市外还涉及鲁西北聊城、德州和惠民地区一部分,河北省沧州、衡水地区及邯郸、邢台、廊坊地区一部分。这个地区年雨量500—700毫米,衡水、南宫一带仅500毫米左右。小麦生育期降水量约为120毫米,夏玉米生育期降水量约为430毫米,棉花生育期降水量约为540毫米。根据我们的研究,和作物需水量相比,一年两熟制小麦缺水约230毫米,一年一熟制小麦缺水约160毫米,棉花生育期缺水约130毫米,夏玉米生育期正是多雨季节,基本不缺水或尚有余水。每年四、五月份正是小麦拔节至乳熟阶段,即需水的高峰期,同时又是春播作物和棉花播种、发苗的关键时期,农田水分供需矛盾最为突出,若没有补充灌溉,将严重影响产量的提高。

鲁西北地区 and 河北省黑龙港地区,每年小麦播种面积约3000万亩,棉花播种面积约1500万亩,按以上计算的总缺水量约60亿立方米,除去地下水源外,仅这两种作物要达到中高产水平,还缺水约40亿立方米。由于鲁西北地区可以引用一部分黄河水,相比之下河北省缺水更显突出。

天津、沧州、德州等城市用水逐年增加,水源危机日益严重。据天津市水利局估计,1990年全市需水50亿立方米,其中城市需水20亿立方米;2000年全市需水65亿立方米,其中城市需水32亿立方米。一般年份滦河可送水10亿立方米,近年内可维持城市用水的供需平衡。要实现工业产值翻两番的任务,今后的水源应尽早做好安排。

沧州地区在七十年代工业发展较快。1970年全区工业总产值仅2.63亿元,1978年猛增到25亿元,八年提高八倍¹⁾。但进入八十年代后,水源不足,主要靠深层地下水供水,工业发展处于停滞状态。要取得进一步发展,需提供7亿立方米的工业用水。

在地表水和浅层地下水不足地区,生活用水也主要靠深层地下水。而深层水中氟、碘等

1) 沧州地区行政公署水利局:从沧州地区缺水情况看南水北调的必要性,1983年10月

元素中含量过高，易引起氟中毒和高碘甲状腺肿等病症。考虑人民身体保健饮水来源问题也急需解决。

黄河以北供水区既是石油、天然气、原盐等资源丰富地区，工业发展急需水源保证；也是我国重要农业区，农业增产潜力很大，当地水源不足成为重要限制因素，江水若能早日送过黄河，将促进这个地区经济繁荣和社会进步。

二、关于水资源联合利用的合理性问题

(一) 水资源联合利用的合理性分析

南水北调沿线地区，地表天然来水是不同步的；在江、淮、黄、海四大流域内，随着流域面积 (A) 的增大，年径流量变差系数 (C_v) 值降低。由资料分析得出：

$$C_v = 10.04 (A + 10000)^{-0.34}$$

上式表明 C_v 与 A 成反变关系。从数学上分析，上式属于凸型函数，由理论上可以证明 C_v 与 A 具有以下关系：

$$C_{vR} (\beta_1 A_1 + \beta_2 A_2 + \dots + \beta_i A_i + \dots + \beta_n A_n) \leq \beta_1 C_{vR}(A_1) + \beta_2 C_{vR}(A_2) + \dots + \beta_i C_{vR}(A_i) + \dots + \beta_n C_{vR}(A_n)$$

式中：β_i 为任意实数，且 0 < β_i < 1，A_i 为第 i 个流域面积。上式说明区域水资源联合利用的 C_v 值小于分散利用的 C_v 值。众以周知，一定保证率的径流量的大小与 C_v 值有关。跨流域利用的径流量因 A 的增加，C_v 的降低而提高其保证率。因此，在南水北调地区水资源联合运用是合理的。

(二) 最优化系统分析及几点看法

南水北调工程通水后，黄河以北平原应当实行地表水，地下水和北调江水的联合利用。基于充分利用当地水资源及环境和经济效益最优化的考虑，我们建立了水资源联合利用最优化系统分析模型。该模型假定地表水，地下水与北调江水由一个跨流域水资源管理机构统一管理，该机构对每种水资源的使用拥有完全的控制权。模型是用地下水位作为环境控制变量，以地下水提水量 (D)、地表水包括引河量 (R)、水库供水 (W)、和调水量 (T) 联合利用费用 (F) 最低为目标函数：

$$F = \min \sum_{i=1}^N \rho^i [(C_1 + C_2)D_i + C_3R_i + (C_4 + C_5)W_i + (C_6 + C_7)T_i] \quad (i = 1, 2, \dots, N)$$

这里 ρ 为资金折算率 $\rho = \frac{1}{1+r}$ ，其中 r 为利息，，本文采用 0.07；C₁，C₂，C₃，C₄，C₅，

C₆，C₇ 分别代表地下水提水与送水，引河水，水库蓄水和送水，从长江调水和送水的单位水量运行成本费；N 为水资源利用的规划年数。该模型以水量平衡，供需平衡和各种水资源的利用能力组成限制方程组。当地下水埋深在土壤返盐的临界水深以下时，实行地表水，地下水和北调江水的联合利用最优化。当地下水埋深在土壤返盐临界水深之上时，则充分利用当

地机电井能力抽取地下水进行井灌,降低地下水位。同时实现满足一定环境要求的地表水,地下水和北调江水的联合利用最优化。通过对黄河以北山东省东德州地区禹城县1976年—1980年水资源利用情况进行分析。并参照南水北调东线一期工程调水至最北端(东平湖)的运行费用,用计算机进行了模拟计算,得到的主要看法如下:

1. 在上述假定的前提下,进行联合利用最优化计算,取当地地下水的临界水深为2.1米时,五年的计算地下水位埋深分别为:2.10米,2.22米,2.47米,2.67米,2.69米,它们都分别大于或等于地下水的临界埋深,能满足环境要求。这说明建立跨流域的水资源管理机构,进行多流域的水资源统一管理,能够达到主客水有效利用和控制地下水位,防止土壤返盐,保护农田生态环境。

2. 合理征收北调江水的水费有助于水资源的科学管理。利用经济杠杆作用,促使农民自觉地利用当地水资源。按东线引江一期工程规划的费用计算,过黄河前的调江水水费大致为0.0542元/立方米。利用上述模型推算,禹城县1976年和1977年各种水资源占农业用水总量的最优化比例(表1)。这种比例是根据环境要求,控制地下水埋深在2.1米以下,并考虑经济上最优等条件计算得出的。

表 1 最优化计算成果表

Tab. 1 Optimization results

年 份	井灌 (%)	河灌 (%)	调水 (%)	计算地下水埋深 (米)
1976年	42.0	36.7	21.9	2.10
1977年	29.7	36.7	33.6	2.22

根据以上比例用水可以纠正过去的用水浪费现象和用水的盲目性,并能同时兼顾国家、集体和个人利益。

3. 采用计算出的水资源利用最优方案,实际上是实现按照当地水资源的时间分配和天然来水量的多少,最优地选取引江水量。禹城县1976年—1978年的模拟计算结果如下表2

表 2 主客水最优利用计算成果表

Tab. 2 Optimization results of using local and transferred water resources

年 份	1976年	1977年	1978年	备 注
当地水所占比例 (%)	78.7	66.4	30.7	模拟计算
引江水所占比例 (%)	21.3	33.6	69.3	模拟计算
水 情	丰 水	丰 水	枯 水	
年降水量 (毫米)	747.7	655.8	433.6	实测值

由上表可见,当地为多水年时,以用当地水资源为主,1976年当地水资源利用占供水量的78.7%。当地为少水年时,则以引江水为主,1978年引江水量占总供水量的69.3%。

4. 多种水资源的联合利用最优化，不仅在水利经济上合理，而且在环境经济上也为合理。根据对山东禹城县的计算，若将地下水位 (h) 控制在不同的临界水深 (h_c) 之下，五年总的环境费用 (c) 变化情况如图 1。而各种水资源联合利用最优化费用变化情况如图 2。环境费用增值 212 万元，而水资源联合利用最优化运行费用增值不到 2 万元，后者仅是前者的 0.9%。

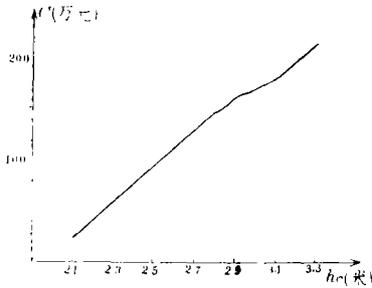


图 1 环境费用与地下水临界埋深关系

Fig.1 The relationship between environmental costs and critical groundwater table

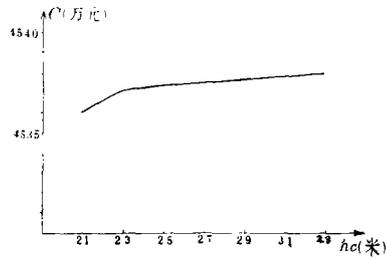


图 2 最优化联合运用费用与地下水临界埋深关系

Fig.2 The relationship between the optimum costs of conjunctive-using water resources and critical groundwater table

以上分析不仅说明了引江过黄河向北供水的合理性问题，而且证明当地与引江水资源合理利用是可以达到的。既能满足供水，又能兼顾环境和社会经济方面效益。

三、调水对自然环境影响问题

由于海河流域严重缺水，引起河流生态功能失调，地下水漏斗区逐渐扩大，局部地区地面下沉，以及其它一系列环境问题^[2]。南水北调输水后，有些问题将会得到缓和，总的看来会对自然环境产生较好影响。下面对几个重要问题做简要分析。

(一) 土壤次生盐渍化问题

这个地区因黄河和海河长期泛滥冲积，在成土母质中留下大量盐分。咸水分布面积大约占总面积 45%。大部分地区地下水埋藏 2—3 米。年蒸发力高达 900~1000 毫米，而年降水量只有 500—700 毫米。在当地土壤、气候、水文地质等因素综合作用下，该地区盐碱面积较大，六十年代初，采取大蓄大灌，只灌不排，加重了盐碱化程度，盐碱土面积一度达到 1500 万亩，占耕地面积 28%。

近二十年来，通过根治海河工程，各大水系都有新的入海尾闾，各支流也得到整治，排洪排涝能力提高五、六倍。与此同时，普遍重视机井建设，现已发展到 20 多万眼，地下水大量开采，降低了区域地下水位。这些水利措施和农林措施相结合，盐碱地得到有效改良，现在盐碱土面积尚有 750 万亩（占耕地面积 14%），比六十年代初减少一半。

引水灌溉面积扩大是不是一定会带来盐碱地面积的扩大？这主要决定于能否控制地下水

位。只要措施得当, 次生盐渍化的问题可以解决。如山东省聊城地区, 八十年代初和六十年代初每年引黄水量都在10亿立方米左右, 但盐碱地面积已由原来210万亩减少到72万亩, 其它地区也有类似趋势。

南水北调过黄河后, 预计输水渠两侧和蓄水体周边等局部地区发生盐碱化是可能的。但只要进一步提高排水标准, 采取渠灌和井灌相结合的方针, 注意培肥地力, 加强工程管理, 大面积土壤盐碱化是可以防止的。

(二) 地下水下降漏斗的控制

由于超量开采深层地下水, 现已形成许多地下水下降漏斗, 如河北省不同含水组共有37个漏斗区, 其中常年性漏斗有27个, 最大的漏斗是冀枣衡漏斗和沧州漏斗。

冀枣衡漏斗形成于1970年, 至1978年漏斗面积已扩大到3600平方公里, 沧州漏斗形成于1969年, 由于连年超采, 地下水位持续下降, 影响范围不断扩大, 现在漏斗中心最低埋深已达70米, 平均每年下降5米左右, 漏斗面积已近3000平方公里, 约占沧州地区总面积21%。沧州市漏斗中心地面下沉达144毫米, 德州、吴桥、东光、泊镇、南皮、盐山、青县、任邱、河间、大城等地都有程度不同的地下水下降漏斗。

深层地下水补给缓慢, 不宜做常备水源, 大量开采必然引起一系列问题。但为了维持工农业生产和人民生活需要, 在没有其他水源情况下, 还不得不靠深层水, 长此下去令人担忧。若能用上江水, 将大大减少或代替深层地下水开采, 从而缓和并控制地下水下降漏斗发展, 使其慢慢恢复原有水位。

(三) 河口及河道淤积问题

海河流域自五十年代末期起, 在上中游修建大中小型水库2000座, 总库容达260亿立方米, 控制山区流域面积80%。再加上平原河道节节建闸蓄水。致使各河下洩水量逐渐减少, 非汛期甚至几个月断流, 造成直接入海的13条骨干河道程度不同的都存在河口或河道淤积问题。如1971年开挖的永定新河, 经过10年, 回淤量达950万立方米, 淤积长度36公里。独流减河1976年防潮闸下淤积240万立方米, 最大淤积厚5米。南排河1091年回淤近800万立方米, 最大淤积厚4米, 淤积河段长30公里。鲁西北地区因在河道建闸拦蓄引黄退水及塌坡影响, 河道淤积十分严重, 1970年至1978年, 徒骇河、马颊河和德惠河三条干流总淤积量6800万立方米, 占开挖工程量9.4%

河口淤积量大小与入海流量多少有关, 若能引入江水, 少拦蓄当地径流, 使河流保持一定入海流量, 有利于减轻河口淤积, 部分恢复河流生态功能。

四、黄河水沙资源的利用问题

前面已经指出, 黄河以北地区缺水问题已成定局。如何利用黄河水沙资源^[3]以及引江与引黄的关系也是值得讨论的一个问题。

黄河花园口以下河段长768公里, 流域面积仅2万多平方公里, 还不到全流域的3%。从水量上看, 天然与实测年径流量分别为560和470亿立方米, 由黄河口(利津站)入海的年水量有200—300亿立方米。因此, 下游沿河两岸引黄灌溉相当发达。目前豫鲁两省有引黄涵闸

72座，虹吸55处，设计引水能力4700秒立方米，约有104个灌区，其中30万亩以上灌区占72%，总设计灌溉面积达到2800万亩左右，实灌面积为1800万亩，年平均引黄水量约为90亿立方米。引黄灌溉的事实，一方面说明地区缺水需要引黄，另一方面表明黄河有一定的供水能力。对于后者，其潜力有多大，需要从以下几方面分析。根据七十年代的水文资料分析，农业最缺水季节（11~6月）黄河正常水量大约有150亿立方米。若考虑下游河道保持200秒立方米的河道用水，需水42亿立方米，则可供两岸引黄的水量为100亿立方米，与现状引黄水量相比，多出来的水量有限。若遇枯水年，可引黄水量一定不足。将来黄河中上游工农业用水的增加（目前已达到178亿立方米）下游可引黄水量还会减少。因此，黄河下游可利用的水量是有限的，仅能维持现有引黄灌区的用水，解决黄河以北平原的缺水问题将来仍然要靠北调江水，引黄不能取代引江。

引黄的主要问题是泥沙处理。根据我们的统计引黄的水量与沙量存在以下经验关系：

$$S = 0.023R + 0.00557$$

式中S是沙量（亿立方米），R为引黄水量（亿立方米）。上式表明，每引1亿立方米的水，就要引进285.7万立方米的泥沙，据此推算目前每年引黄河90亿立方米水的泥沙量为2亿立方米以上。根据山东省水利勘测设计院估算，山东省年引黄水量46亿，需清淤费用8050万元¹⁾。加上其它投资，每引一立方米水的费用为0.025—0.0334元，平均为0.03元/立方米。与南水北调东线引江的费用相比是便宜的，但是，从引水距离上比较，则引黄费用高于引江。应当指出，更为重要的是引黄的若干经验将作为未来南水北调的前车之鉴，在实现北调江水过黄河之前，引黄仍是黄河以北平原可用的外来水源。

为了减少引黄的费用和提高经济效益，应当采取合理的措施处理和利用引黄的泥沙，达到兴利除害的目的。根据黄河下游的观测资料，黄河水中泥沙的肥分较高，每吨泥沙中氮、磷、钾的含量可分别达到1.0、1.5与20公斤，在条件适宜的地区进行引黄淤灌，有施肥的效果，增产明显。沙荒、盐碱与低洼地经过引黄淤灌可以变成良田。因此，引黄的泥沙问题应当采取积极利用的办法。

黄河的可能决堤泛滥也是一个与南水北调工程有关的问题。根据公元前602年至1949年的历史记载，差不多三年二决口，灾害频繁。近三十多年来，由于加强了堤防工程，黄河从未决堤泛滥。但是，黄河泥沙淤积问题并未解决，每年约有4亿吨的泥沙沉积在下游河道中，致使河床连年游高，排洪能力平均每年降低200—300秒立方米。黄河大堤随之加高，大致每十年加高一米。目前黄河下游由东河段的排洪能力仅1万余秒立方米。1982年汛期花园口洪峰流量为15300秒/立方米，已危及大堤，颇有决堤之险。但此1958年的洪峰还要小7千秒立方米，比历史上乾隆26年（公元1761年）与道光23年（公元1843年）发生过的洪峰甚至小一倍。这样的洪水在今后是有可能发生的，一旦出现，很可能决口泛滥。南水北调工程规划已考虑到黄河严重的泥沙问题。总干渠采取避开黄河的立交穿黄方案是有道理的。但是，尚需考虑黄河一旦发生特大洪水，决堤泛滥对交叉工程与渠道系统的巨大干扰。从黄河下游水沙

1) 林超然等：利用黄河水资源泥沙处理需要付出代价的探讨，黄淮海平原农业发展学术讨论会，论文选集，第7卷，中国农学会，中国水利学会，中国林学会，1982年。

资源利用和洪水问题方面看,南水北调与治黄应有统一规划。

南水北调向黄河以北供水是一个有待研究的问题。本文基于对海河平原地区缺水分析、主客水资源的合理利用、主要环境后效评价以及引江与引黄关系等问题的研究,初步得出以下几点认识:黄河以北地区缺水明显,北调江水向海河平原供水是必要的。但是,黄河以北地区必须充分利用当地的水资源,建立统一的管理机构,实行主客水的联合利用,保证环境 and 经济两方面兼优,在环境后效上,大面积土壤盐渍化可以通过合理用水予以避免;地下水下降漏斗与河口及河道的淤积问题则可望在实现引江以后得到改善。在未实现北调江水过黄河以前,引黄仍是解决缺水问题的可用水源,但要注意引黄河水量与泥沙问题的制约。

参 考 文 献

- (1) 刘昌明、许越先:南水北调东线“分期实施、先通后畅”简析,地理研究,2(3),1983年
- (2) 左大康、刘昌明、许越先:南水北调对自然环境影响的初步分析,地理研究,1(1),1982年。
- (3) 姚榜义、陈春槐:关于南水北调必要性和可行性的几个问题,远距离调水,中国南水北调和国际调水经验,科学出版社,1983年。

SOME PROBLEMS REGARDING WATER DIVERSION FROM THE CHANGJIANG TO THE HAI-RIVER-PLAIN

Zuo Dakang Liu Changming Xu Yuxian Du wei,

(Institute of Geography, Academia Sinica,)

Abstract

This paper mainly deals with the eastern route water transfer from the Changjiang to the Hai-River-Plain north of the Huang-He. The first-stage project of the east route water transfer was approved by the Chinese state Council in Mar., 1983. After the completion of this project, about 50m³/s of water discharge would be diverted to the Dongping Lake on the south bank of the Huang-He. In consideration of the second-stage project of the eastern route water transfer, the following problems are discussed in this paper:

1. Water shortage in the Hai-River-Plain north of the Huang-He;
2. Conjunctive use of local water in the Hai-River-Plain and imported water from the Changjiang River;
3. Impacts of water transfer upon the environment in the plain north of the Huang-He;
4. Rational utilization of the Huang-He's water resources. To sum up, the authors of the present paper would like to point out that the northward water transfer from the Changjiang to the plain north of the Huang-He is likely to be advisable.