

# 南水北调中线工程不同调水规模 对汉江中下游影响分析\*

沈大军

(中国水利水电科学研究院, 北京 100044)

刘昌明

(中国科学院水问题联合研究中心, 北京 100101)

**提 要** 南水北调中线工程是解决我国北方地区水资源紧缺的重大战略措施。但调水将给汉江中下游的水文情势及用水带来一定的影响。文章分析了丹江口水库不同调水方案对汉江中下游水位、流量及灌溉和航运的影响, 并提出补偿工程措施。调水  $60 \times 10^8 \text{ m}^3$  对汉江中下游的影响较小, 可基本不予补偿; 调水  $150 \times 10^8 \text{ m}^3$  的影响稍重, 但对航运和灌溉用水的影响不大, 适当补偿可以解决; 调水  $230 \times 10^8 \text{ m}^3$  对汉江中下游水位流量及用水的影响十分严重, 必须全部渠化并修建江汉运河。

**关键词** 南水北调中线工程 调水影响 补偿

由于我国水资源的地区分布与耕地和用水状况十分不匹配, 我国北方大部分地区水资源短缺, 特别是黄淮海平原, 水资源已成为制约区域工农业生产和人民生活水平提高的主要制约因素之一。因此, 南水北调工程成为解决我国水资源矛盾的重大战略措施, 中线工程由于水质好、自流和供水覆盖范围广等优点而倍受关注。但中线工程从丹江口水库调水将使下泄水量过程改变, 对汉江中下游的水文情势和水资源利用带来影响<sup>[1]</sup>。

## 1 汉江中下游区域概况

汉江是长江中游最大的支流, 干流全长 1 577 km, 流域面积  $15.9 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 其中丹江口以上为上游, 长 925 km, 集水面积  $95\,200 \text{ km}^2$ ; 丹江口至钟祥为中游, 长 270 km, 流域面积  $46\,800 \text{ km}^2$ ; 钟祥至汉口为下游, 长 382 km, 增加集水面积  $17\,000 \text{ km}^2$ 。汉江天然径流量为  $591 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 其中丹江口以上  $411 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 丹江口以下  $180 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 占 30%<sup>[2]</sup>。

汉江中下游位于亚热带季风气候区, 水热条件好, 土壤肥沃, 多年平均降水量 900 mm ~ 1 200 mm, 无霜期约 240 天 ~ 260 天, 年均气温 16℃, 是全国重要的农业生产基地。江汉平原素有“鱼米之乡”的美称。农作物以水稻、小麦等粮食作物为主, 其次是棉花, 复种指数达 1.5 ~ 2.4。

汉江中下游是湖北省经济最发达的地区。1990 年统计耕地面积  $62.27 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , 占湖北省耕地总面积的 26.5%, 灌溉面积  $53.33 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , 总人口  $901 \times 10^4$  人, 其中城镇人口

\* 中国科学院“九·五”重大项目资助, 编号 KZ951-A1-203 (The Key Project of Chinese Academy of Sciences)。

作者感谢水利部长江水利委员会、湖北省水利勘测设计院和丹江口水利枢纽管理局提供资料。

来稿日期: 1996-09; 收到修改稿日期: 1996-12。

$208 \times 10^4$  人, 工业总产值(1980 年不变价)  $139 \times 10^8$  元, 农业产值  $44 \times 10^8$  元。汉江中下游是湖北省国土开发的三大重点建设区之一, 区内已经形成以机械、电力、建材为主的工业体系。襄樊的轻纺, 老河口的建材、化工、机械, 丹江口的能源、机械及荆门的石油化工, 应城的盐化工、石膏, 钟祥的磷矿都是湖北经济发展的支柱产业, 具有重要的战略地位<sup>[2]</sup>。

汉江是我国内河航运的重要干线, 是沟通陕西、河南和湖北三省的重要经济纽带, 其交通运输线是联结南北、贯通东西的重要通道。汉江中下游干流航道全长 649 km, 呈南北走向, 是规划中的京广大运河的一段, 也是我国北煤南运和南粮北运的重要中转和集散地。目前, 汉江丹江口至襄樊 117 km 段, 能通航 100 t ~ 300 t 级船队, 襄樊至利河口 138 km 河段经过整治, 能通航 300 t ~ 500 t 级船队, 利河口以下至汉口可通航 500 t 级船队。1990 年汉江干流水运量  $970 \times 10^4$  t, 其中大部分在丹江口以下。根据交通部门预测, 2000 年汉江水运量将达  $3\,900 \times 10^4$  t, 2020 年将达  $7\,000 \times 10^4$  t 以上。位于襄樊市南的余家湾煤港是我国北煤南运铁水分流的中转中心, 已投入运行能力  $500 \times 10^4$  t, 至 2000 年将达  $1\,000 \times 10^4$  t。

汉江中下游干流用水范围耕地面积的极大部分分布在沙洋以下。据统计<sup>[3]</sup>, 中游干流供水灌溉面积为  $8.87 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>, 灌溉面积  $5.67 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>, 仅占中下游干流用水范围耕地总面积和灌溉总面积的 14.24% 和 10.68%; 荆州地区(除钟祥外)干流供水范围内耕地面积达  $31.4 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>, 灌溉面积  $26.33 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>。该区为平原区, 有效库容较小, 灌溉用水主要从汉江干流引用, 区内现有罗汉寺、兴隆、谢湾、泽口四个大中型灌区, 规划修建王家营灌区和兴隆二灌区。四个已建自流水灌区的闸首, 由于丹江口水库的修建, 清水下泄, 引起河床冲刷, 水位下降, 引水条件逐步变差。另外, 孝感地区(含沉湖农场)干流供水范围内耕地面积  $15.6 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>, 灌溉面积  $15 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>, 武汉市干流供水范围内约有耕地  $1.73 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>, 灌溉面积  $1.33 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>。孝感地区和武汉市的水资源丰富, 当地径流量大, 仅在干旱季节和干旱年, 才从干流取水。

汉江中下游现有大型水库 7 座, 中型水库 32 座, 小型水库 563 座, 湖泊 7 个, 总兴利库容  $24 \times 10^8$  m<sup>3</sup>。干流两岸现有城镇水厂及工业自备水源约 150 个, 农业灌溉引提水闸、泵站约 310 座, 总引提水能力约为  $1\,630$  m<sup>3</sup>/s, 总装机  $12 \times 10^4$  kW。一般年份可供水量(含部分济航水量)约为  $56 \times 10^8$  m<sup>3</sup>, 中等干旱年约  $63 \times 10^8$  m<sup>3</sup>, 特干旱年约  $65 \times 10^8$  m<sup>3</sup>。1990 水平年农业灌溉需水量, 50% 年约为  $52 \times 10^8$  m<sup>3</sup>, 75% 年约为  $72 \times 10^8$  m<sup>3</sup>, 95% 年约为  $79 \times 10^8$  m<sup>3</sup>; 现状水平年工业需水量约  $13 \times 10^8$  m<sup>3</sup>, 城镇生活需水量约  $3 \times 10^8$  m<sup>3</sup> 以上, 农村人畜需饮水量约  $4 \times 10^8$  m<sup>3</sup>。按照农业灌溉发展规划, 汉江中下游干流用水范围及邻近地区到 2000 年及更远水平年的灌溉面积约  $75.33 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>, 农业灌溉需水量一般年份约  $63 \times 10^8$  m<sup>3</sup>, 中等干旱年约  $74 \times 10^8$  m<sup>3</sup>, 特干旱年约  $89 \times 10^8$  m<sup>3</sup>。根据工业发展预测, 2000 年工业需水量约  $20 \times 10^8$  m<sup>3</sup>, 2020 年约  $43 \times 10^8$  m<sup>3</sup>; 城镇生活用水 2000 年将达  $4 \times 10^8$  m<sup>3</sup>, 2020 年将达  $6 \times 10^8$  m<sup>3</sup>; 农村人畜饮水 2000 年将增至  $10 \times 10^8$  m<sup>3</sup>, 2020 年约达  $12 \times 10^8$  m<sup>3</sup>。

## 2 南水北调中线工程不同调水规模评述

南水北调中线工程不同调水规模是指丹江口水库不同规模和汉江中下游不同补偿工程而导致的丹江口水库的不同可调水量。丹江口水库是南水北调中线工程的水源地, 具有防洪、供水、发电、航运和养殖的综合效益, 1973 年完建初期规模, 正常蓄水位 162 m, 总

库容  $174.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。若完成后期规模，正常蓄水位将提高至 170 m，总库容达  $290.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，兴利库容为  $162.6 \times 10^8 \text{ m}^3 \sim 190.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，防洪库容为  $111 \times 10^8 \text{ m}^3$ <sup>①</sup>。目前，规划的中线工程有不同调水规模，其中较有代表性的是三个方案，即调水  $60 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、调水  $150 \times 10^8 \text{ m}^3$  和调水  $230 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，还有现状条件下的调水  $15 \times 10^8 \text{ m}^3$ （表 1）<sup>②</sup>

表 1 丹江口水库不同调水规模水量参数

Tab. 1 Characteristics of different water transfer scales from the Danjiangkou Reservoir				
调水规模	$15 \times 10^8 \text{ m}^3$	$60 \times 10^8 \text{ m}^3$	$150 \times 10^8 \text{ m}^3$	$230 \times 10^8 \text{ m}^3$
实际北调水量 ( $\times 10^8 \text{ m}^3$ )	9. 24	86. 43	149. 57	219. 95
中下游需水量 ( $\times 10^8 \text{ m}^3$ )	174. 57	174. 57	174. 57	174. 57
水库下泄水量 ( $\times 10^8 \text{ m}^3$ )	374. 80	300. 24	234. 74	163. 64
水库弃水量 ( $\times 10^8 \text{ m}^3$ )	106. 52	69. 44	38. 55	43. 41
发电量 ( $\times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ )	38. 859	32. 420	31. 587	20. 315

调水  $15 \times 10^8 \text{ m}^3$  是在丹江口水库初期规模下，向清泉沟灌区调水，不向黄淮海平原调水，即所谓的“现状”条件，实际不进行南水北调，我们假定此方案为各方案比较的基准方案。清泉沟渠首引水能力为  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ ，2020 水平年多年平均调水量约为  $15 \times 10^8 \text{ m}^3$ （实际调度调水  $9.24 \times 10^8 \text{ m}^3$ ）。

调水  $60 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，即是在丹江口水库初期规模下，2020 水平年，向清泉沟灌区和黄淮海平原多年平均合计供水  $60 \times 10^8 \text{ m}^3$ （实际调度供水  $86.43 \times 10^8 \text{ m}^3$ ），汉江中下游不修建任何补偿工程，下泄过程按需水下泄，丹江口水库降低死水位至 135 m ~ 140 m，此方案的最大优点是丹江口水库不加高，没有淹没损失，但可调水量较小，不能满足北方需求，也不提高汉江中下游的防洪标准。

调水  $150 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，是在加高丹江口水库大坝的前提下，对汉江中下游实施局部补偿，在 2020 水平年向清泉沟灌区及黄淮海平原多年平均调水  $150 \times 10^8 \text{ m}^3$ （实际调度调水  $149.57 \times 10^8 \text{ m}^3$ ）。此方案为各方推荐方案，丹江口水库按需求向中下游放水，最小下泄流量为  $490 \text{ m}^3/\text{s}$ 。此方案的优点是加高大坝，可调水量增加较多，汉江中下游的防洪标准可提高至百年一遇，但淹没损失较大，搬迁人口达  $22 \times 10^4$  人以上。

调水  $230 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，是在丹江口水库后期规模下，汉江中下游全部渠化和修建江汉运河补水工程，2020 水平年向清泉沟灌区和黄淮海平原多年平均调水  $230 \times 10^8 \text{ m}^3$ （实际调度调水  $219.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ ），丹江口水库的最小下泄流量为  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ 。此方案尽管可调水量大，但补偿工程投资巨大，近期恐难以实施。

3 南水北调中线工程不同调水规模对汉江中下游影响分析

不同调水规模对汉江中下游水位、流量、航运及灌溉用水的影响有很大差别。下面以调水  $15 \times 10^8 \text{ m}^3$  方案为比较基础，分析其它各方案在 2020 水平年对汉江中下游水文情势

① 水利部长江水利委员会. 汉江可调水量分析补充复核, 1993.

② 中国科学院自然资源综合考察委员会. 汉江中下游梯级渠化时序研究. 1995.

©1994-2024 China Academic Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

及用水的影响, 比较时段为 1956 年~1990 年 35 年系列, 共 1260 旬。计算采用的丹江口水库入库流量过程线是由长江规划委员会提供。

3.1 水位流量

水位、流量影响选用汉江中下游丹江口水库坝下、襄阳、皇庄和仙桃四个点说明(表 2)。

表 2 不同调水规模对汉江中下游水位流量影响(不补偿)\*

Tab. 2 Effects of different water transfer scales on water tables and stream down the Danjiangkou Reservoir

站名	方案 × 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	15		60		150			230		
	流 量 段	历时	历时	流量下降	水位下降	历时	流量下降	水位下降	历时	流量下降	水位下降
	(m <sup>3</sup> /s)	(旬)	(旬)	(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(旬)	(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(旬)	(m <sup>3</sup> /s)	(m)
坝下	3 000	107	68	551.53	0.22	33	1 204.58	0.47	37	1 281.65	0.50
	1 500~3 000	182	96	619.15	0.38	46	1 470.67	0.74	50	1 193.92	0.64
	800~1 500	142	122	441.39	0.35	79	721.24	0.52	51	1 183.24	0.85
	490~800	804	947	153.02	0.16	1 065	371.46	0.34	70	808.83	0.79
	< 490	25	27	87.19	0.16	37	124.41	0.23	1 052	588.20	0.85
襄阳	3 000	107	69	551.84	0.25	37	1 306.73	0.52	40	1 257.38	0.50
	1 500~3 000	170	91	700.37	0.59	42	1 433.98	1.05	44	1 275.52	0.99
	800~1 500	120	103	410.60	0.45	58	1 072.98	0.98	45	1 325.80	1.25
	490~800	197	189	331.53	0.44	219	740.68	0.85	48	940.44	1.14
	< 490	666	808	112.99	0.24	904	256.15	0.47	1 083	583.25	2.54
皇庄	3 000	135	99	641.21	0.24	60	1 469.07	0.51	67	1 323.18	0.48
	1 500~3 000	195	111	585.00	0.54	72	1 604.28	1.09	64	1 763.48	1.20
	800~1 500	142	144	476.41	0.54	149	933.54	0.97	78	1 297.60	1.35
	490~800	514	617	145.56	0.23	680	298.51	0.42	106	869.68	1.26
	< 490	274	289	38.83	0.08	299	63.01	0.14	945	474.04	1.31
仙桃	3 000	106	81	437.39	0.50	46	1 070.20	1.14	45	880.93	0.91
	1 500~3 000	158	95	538.90	0.91	65	1 282.71	1.96	62	1 345.01	1.99
	800~1 500	140	102	468.45	0.99	81	1 113.29	2.11	71	1 066.29	2.06
	490~800	169	181	256.47	0.62	203	433.98	0.99	51	1 151.79	2.49
	< 490	687	801	86.02	0.24	865	181.81	0.48	1 030	462.70	2.17

\* 文中水位流量下降均以 15 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 方案作为统计基数。

60 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 方案坝下流量时段表明, 大于 3 000 m<sup>3</sup>/s 流量历时比 15 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 方案减少了 39 旬; 1 500 m<sup>3</sup>/s ~ 3 000 m<sup>3</sup>/s 减少了 80 旬; 800 m<sup>3</sup>/s ~ 1 500 m<sup>3</sup>/s 流量减少了 20 旬, 而 490 m<sup>3</sup>/s ~ 800 m<sup>3</sup>/s 流量增加 143 旬。这说明下泄水量历时存在逐步由大流量段向小流量段移动的趋势, 移动幅度约 150 旬。流量减少量以 1 500 m<sup>3</sup>/s ~ 3 000 m<sup>3</sup>/s 段为最大, 旬平均达到 619 m<sup>3</sup>/s。水位下降幅度均小于 0.40 m, 最大仅 0.38 m, 最小仅 0.16 m。襄阳、皇庄和仙桃流量变化也较少, 由丰中水时段向中低水时段移动约 100 旬~150 旬, 各流量段平均水位变幅均在 1.0 m 以下, 以仙桃段最大, 各流量段流量减少量均小于时段平均流量的 1/3。

150 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 方案相对于 60 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 方案, 影响幅度明显加大。150 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 方案中丰水流量历时比 15 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 方案少约 200 旬, 坝下大于 3 000 m<sup>3</sup>/s 流量段历时仅 33 旬, 比 15

$\times 10^8 \text{ m}^3$  方案少 74 旬,  $1\,500 \text{ m}^3/\text{s} \sim 3\,000 \text{ m}^3/\text{s}$  流量段历时仅 46 旬, 比  $15 \times 10^8 \text{ m}^3$  方案少 136 旬,  $800 \text{ m}^3/\text{s} \sim 1\,500 \text{ m}^3/\text{s}$  流量段历时仅 79 旬, 比  $15 \times 10^8 \text{ m}^3$  方案少 43 旬, 而  $490 \text{ m}^3/\text{s} \sim 800 \text{ m}^3/\text{s}$  流量段历时从 804 旬增加到 1 065 旬, 小于  $490 \text{ m}^3/\text{s}$  流量段历时从 25 旬增到 37 旬。襄阳、皇庄、仙桃流量历时变化也呈以上规律, 大于  $800 \text{ m}^3/\text{s}$  流量历时减少, 小于  $800 \text{ m}^3/\text{s}$  流量历时增加。  $150 \times 10^8 \text{ m}^3$  方案的水位流量下降值也明显比  $60 \times 10^8 \text{ m}^3$  方案大。大于  $3\,000 \text{ m}^3/\text{s}$  流量段平均流量减少量均在  $1\,000 \text{ m}^3/\text{s}$  以上, 最大达  $1\,469 \text{ m}^3/\text{s}$ , 水位下降在  $0.47 \text{ m} \sim 1.14 \text{ m}$ ;  $1\,500 \text{ m}^3/\text{s} \sim 3\,000 \text{ m}^3/\text{s}$  流量段流量减少也在  $1\,000 \text{ m}^3/\text{s}$  以上, 最大达  $1\,604 \text{ m}^3/\text{s}$ ; 水位下降在  $0.74 \text{ m} \sim 1.96 \text{ m}$ ;  $800 \text{ m}^3/\text{s} \sim 1\,500 \text{ m}^3/\text{s}$  流量段流量下降也在  $700 \text{ m}^3/\text{s} \sim 1\,150 \text{ m}^3/\text{s}$  之间, 以仙桃最大, 水位下降在  $0.52 \text{ m} \sim 2.11 \text{ m}$ ;  $490 \text{ m}^3/\text{s} \sim 800 \text{ m}^3/\text{s}$  流量段流量下降在  $300 \text{ m}^3/\text{s} \sim 740 \text{ m}^3/\text{s}$ , 水位下降在  $0.34 \text{ m} \sim 0.99 \text{ m}$ ; 小于  $490 \text{ m}^3/\text{s}$  流量段水位下降  $0.14 \text{ m} \sim 0.23 \text{ m}$ , 流量下降  $60 \text{ m}^3/\text{s} \sim 250 \text{ m}^3/\text{s}$ 。因此,  $150 \times 10^8 \text{ m}^3$  方案对汉江中下游的影响以丰水时段为大, 中水时段次之, 枯水时段影响最小。

$230 \times 10^8 \text{ m}^3$  方案是在仅满足汉江中下游用水量而不保证用水水位的条件下实施的。在现有工程条件下, 对汉江中下游的水位、流量的影响十分严重。  $230 \times 10^8 \text{ m}^3$  方案坝下泄大于  $3\,000 \text{ m}^3/\text{s}$  流量历时仅 37 旬, 比  $15 \times 10^8 \text{ m}^3$  方案少 70 旬,  $1\,500 \text{ m}^3/\text{s} \sim 3\,000 \text{ m}^3/\text{s}$  流量段仅 50 旬,  $800 \text{ m}^3/\text{s} \sim 1\,500 \text{ m}^3/\text{s}$  流量段仅 51 旬, 减少 91 旬,  $490 \text{ m}^3/\text{s} \sim 800 \text{ m}^3/\text{s}$  流量段仅 70 旬, 减少 734 旬, 合计四个流量段减少 1 027 旬, 汉江中下游流量将有 83.5% 的时段处于枯水期。同样, 襄阳、仙桃和皇庄各点小于  $490 \text{ m}^3/\text{s}$  流量历时都在 950 旬  $\sim$  1 100 旬之间。

以上各调水方案的水位流量变化说明, 在  $60 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $150 \times 10^8 \text{ m}^3$  和  $230 \times 10^8 \text{ m}^3$  之间,  $60 \times 10^8 \text{ m}^3$  方案相对  $15 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 主要北调大于  $490 \text{ m}^3/\text{s}$  (以坝下为标准) 的流量段, 对枯水的影响较小, 对洪水的影响也较小;  $150 \times 10^8 \text{ m}^3$  方案北调大于  $490 \text{ m}^3/\text{s}$  流量段水量, 大于  $3\,000 \text{ m}^3/\text{s}$  流量段调水量明显增加, 而小于  $490 \text{ m}^3/\text{s}$  流量段增加较小;  $230 \times 10^8 \text{ m}^3$  方案主要北调小于  $3\,000 \text{ m}^3/\text{s}$  流量段水量, 特别是小于  $800 \text{ m}^3/\text{s}$  流量段, 由此对汉江中下游的枯水影响十分严重, 洪水流量历时同  $150 \times 10^8 \text{ m}^3$  方案相比反而增加。由此显示, 在三个不同量级的调水方案之间, 随可调水量增加, 丹江口水库首先北调中水时段, 然后调洪水时段, 当可调水量达到  $230 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 就开始调枯水时段水量, 对汉江中下游水位流量的影响也在这些时段之间过渡。对于防洪, 以中间方案最佳, 即调水  $150 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

3.2 灌溉

丹江口水库调水对灌溉的影响主要涉及下游罗汉寺、兴隆、谢湾、泽口四闸, 以及依赖于东荆河的灌区 (表 3)。

$60 \times 10^8 \text{ m}^3$  方案对汉江中下游灌溉的破坏状况比  $15 \times 10^8 \text{ m}^3$  方案略有加重。罗汉寺闸引水破坏率从 6.4% 增加到 8.9%, 年平均引水量从  $4.49 \times 10^8 \text{ m}^3$  下降到  $4.42 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 占年均需水量的 92.7%; 兴隆闸破坏程度由 11.7% 上升至 19.4%, 年均引水量由  $1.17 \times 10^8 \text{ m}^3$  下降到  $1.11 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 占年均需水量的 86.0%; 谢湾闸破坏程度由 21.4% 上升至 30.6%, 年均引水量由  $0.70 \times 10^8 \text{ m}^3$  下降至  $0.60 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 仅占年均需水量的 63.8%; 泽口闸破坏程度由 17.6% 上升至 24.4%, 年均引水量由  $6.60 \times 10^8 \text{ m}^3$  减少到  $6.18 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 占年均需水量的 79.5%。东荆河口年均分流量减少  $11.24 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 减少了 28.11%, 将给依赖东荆河用水的灌区带来影响。

表 3 不同调水方案对汉江中下游主要闸(河口)灌溉破坏状况(不补偿)

Tab. 3 Effects of different water transfer scales on irrigation

闸河口	总需水旬	年 均 需水量 (10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> )	15 × 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>		60 × 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>		150 × 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>		230 × 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	
			破坏旬	年均引水量 (10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> )	破坏旬	年均引水量 (10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> )	破坏旬	年均引水量 (10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> )	破坏旬	年均引水量 (10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> )
罗汉寺	719	4.77	46	4.49	64	4.42	76	4.35	255	3.41
兴隆	479	1.29	56	1.17	93	1.11	130	1.04	293	0.60
谢湾	687	0.94	147	0.70	210	0.60	268	0.51	520	0.32
泽口	721	7.77	127	6.60	176	6.18	218	5.18	490	3.57
东荆河				39.99		28.75		17.48		18.40

150 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 方案灌溉取水破坏状况有所恶化。相对于 15 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 方案, 罗汉寺闸破坏率增加到 10.6%, 年均灌溉引水量减少 0.14 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, 年均供水满足程度由 94.1% 下降至 91.2%; 兴隆闸破坏程度上升至 27.1%, 引水减少 0.13 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, 供水保证率下降至 80.6%; 谢湾闸影响较严重, 破坏旬数达 260 旬, 比 15 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 方案多 113 旬, 占总需水旬数的 37.8%, 引水量减少 0.19 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, 供水保证率由 74.5% 下降至 54.3%; 泽口闸破坏也较严重, 破坏程度上升至 30.2%, 引水减少 0.79 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, 供水保证率由 84.9% 下降至 74.8%。同时 150 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 对东荆河口的分流量影响很大, 年均引水减少 22.51 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, 仅为调水 15 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 方案的 43.7%。

230 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 方案对汉江中下游灌溉破坏十分严重。罗汉寺闸破坏 255 旬, 占总需水旬数的 35.47%, 多年平均引水量 3.41 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, 比 15 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 方案少引 1.08 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, 占需水量的 71.49%; 兴隆闸破坏程度上升至 61.17%, 引水比 15 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 方案少 0.57 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, 仅 0.60 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, 只占年均需水量的 46.51%; 泽口闸破坏 520 旬, 破坏率达 75.69%, 年均引水量仅 0.32 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, 仅占需水量的 3.2%, 引水将严重破坏; 谢湾闸破坏 490 旬, 占总需水旬数的 67.96%, 多年平均引水量仅占需水的 45.95%。同时, 东荆河口的分流量也将减少 20 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 以上。因此调水 230 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, 若不对中下游进行全面补偿, 汉江中下游的灌溉用水将严重破坏。

以上数据表明, 各调水方案对汉江中下游各闸灌溉用水的影响, 以罗汉寺最轻, 兴隆次之, 谢湾闸和泽口闸严重。对汉江中下游灌溉用水的影响随调水量增加而加重。

3.3 航运

根据汉江 1968 年 ~ 1985 年的实际航道状况, 在 90% ~ 95% 保证率下, 整治后, 汉江丹江口至襄樊通航 300 t 级的通航流量为 391 m<sup>3</sup>/s ~ 292 m<sup>3</sup>/s, 襄樊至利河口通航 500 t 级的流量为 470 m<sup>3</sup>/s ~ 344 m<sup>3</sup>/s, 利河口至泽口通航 500 t 级的流量为 337 m<sup>3</sup>/s ~ 238 m<sup>3</sup>/s, 泽口至汉口段通航 500 t 级的流量为 279 m<sup>3</sup>/s ~ 194 m<sup>3</sup>/s<sup>[4]</sup>, 下面分别以各河段流量的上限, 即各河段通航流量为 391 m<sup>3</sup>/s、470 m<sup>3</sup>/s、337 m<sup>3</sup>/s 为界, 分析调水对汉江中下游航运的影响 (表 4)。

60 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 方案和 15 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 方案比较, 丹江口至襄樊河段的通航破坏状况没有变化, 襄樊至汉口河段破坏状况变化也极小, 35 年破坏在 25 旬 ~ 26 旬之间, 仅增加 2 旬 ~ 3 旬, 说明 60 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 对汉江中下游确保保证率的航运几乎没有影响。但中水流量历时 (以丹江口水库下泄 800 m<sup>3</sup>/s ~ 3000 m<sup>3</sup>/s 为标准) 从 324 旬减少至 218 旬, 对航运效益略有影响。

150 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 方案的航运破坏状况, 并无严重恶化。丹江口至襄樊河段航运破坏状况与 15 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 方案相比, 维持原状, 其它河段增加 10 旬 ~ 15 旬, 并不严重, 但河道中水流量历时大幅度减少, 达 273 旬。

230 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 方案对汉江中下游航运的影响十分严重, 除丹江口至襄樊河段破坏仅 37 旬外, 其余河段均在 800 旬以上, 襄樊至利河口段最大, 达 888 旬, 因此, 可以认为, 若不对汉江中下游进行补偿, 调水 230 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 将使汉江中下游航运彻底萎缩。

4 补偿工程分析

调水 60 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 对汉江中下游灌溉及航运用水的影响较小, 可基本不予补偿。结合中长期汉江中下游灌溉发展需要, 只要修建兴隆枢纽可补偿调水对汉江中下游罗汉寺、王家营及兴隆闸的引水影响; 但不容忽视的是, 东荆河口分流量减少很多, 将使依赖东荆河灌溉的农田供水保证率下降很多, 需另建工程解决。

调水 150 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, 汉江中下游的补偿工程仍应以解决灌溉用水为主, 即修建兴隆枢纽, 满足其库区内三大闸的引水要求, 但谢湾、泽口两闸及东荆河灌区的补偿需修建泽口枢纽或江汉运河。

调水 230 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 对汉江中下游的影响十分严重。若对此进行补偿, 不仅需补偿由于调水引起的汉江中下游河道水位的不足, 而且要补偿流量的不足。为保证航运, 汉江中下游兴隆至丹江口河段必须全部渠化, 以改善汉江的航运状况和兴隆以上各大灌区的灌溉用水, 兴隆以下河段河道内外用水需从长江干流解决, 以改善兴隆至汉口的航运状况和谢湾及泽口两大闸的引水条件, 依赖东荆河用水的灌区也应从长江干流引水解决。

5 结论

南水北调中线工程的可调水量, 从影响及补偿工程的分析, 近期以调水 150 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 为宜, 否则调水对汉江中下游的影响过大, 补偿工程也过多, 投资很大。随着汉江中下游梯级的逐步修建, 可考虑适当扩大丹江口水库的可调水量至 200 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 或稍多, 以满足北方地区的用水要求。若考虑经济或淹没因素, 不加高丹江口水库大坝调水, 尽管其对汉江中下游发展条件下的用水影响不大, 但可调水量较小, 可能满足不了需求, 建议慎重考虑, 同时此方案对汉江中下游的防洪没有明显作用, 仅能维持现状水平。

参 考 文 献 (References)

1 Liu Changming · Tan Kok-Chiang · The South-to-North Water Transfer Project · Chinese Environment and Development · Summer, 1994.

2 Gao Ruike et al. Presence and Future of Economic Development of Hubei Province · Beijing Economic Management

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 4 不同调水规模汉江中下游航运破坏状况 (不补偿) (单位: 旬)

Tab. 4 Effects of different water transfer scales on navigation

河段方案	15 × 10 <sup>8</sup> (m <sup>3</sup> )	60 × 10 <sup>8</sup> (m <sup>3</sup> )	150 × 10 <sup>8</sup> (m <sup>3</sup> )	230 × 10 <sup>8</sup> (m <sup>3</sup> )
丹江口 ~ 襄阳	37	37	37	37
襄樊 ~ 利河口	25	26	37	888
利河口 ~ 泽口	22	25	34	802
泽口 ~ 汉口	23	26	37	866

- Press, 1994. (In Chinese) [ 高瑞科等. 湖北省经济开发——现在与未来. 北京 经济管理出版社, 1994. ]
- 3 Sen Dajun, Liu Changming, Chen Chuanyou. Effects of Water Transfer from the Danjiangkou Reservoir at the Middle and Lower Reaches of the Hanjiang River. *ACTA Geographica Sinica*, 1996, **51**(5) 426 ~ 433. (In Chinese) [ 沈大军, 刘昌明, 陈传友. 南水北调中线工程对汉江中下游的影响分析. 地理学报, 1996, **51**(5) 426 ~ 433. ]
- 4 Shen Dajun. Synchronism / Asynchronism Analysis of Regional Waters and Climatic Warming Influence on the Middle Route of South to North Water Transfer Project. Doctoral Dissertation. Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, 1996. (In Chinese) [ 沈大军. 南水北调中线工程地区水量丰枯遭遇分析及对气候变暖的响应. 博士学位论文. 中国科学院地理研究所, 1996. ]

# EFFECTS OF DIFFERENT SCALES OF MR-SNWTP ON THE DOWN STREAM OF THE DANJIANGKOU RESERVOIR

Shen Dajun

(China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044)

Liu Changming

(The United Research Center for Water Problems, CAS, Beijing 100101)

**Key words**      the Middle Route of China's South-to-North Water Transfer Project, water transfer effect, compensation engineering

## Abstract

The Middle Route of China's South to North Water Transfer Project (MR-SNWTP) is one of the key engineerings to alleviate water resources crisis in the North China Plain. But water transfer from the Hanjiang River would result in changes in hydrological regimes and water use in the basin. The paper deals with the effects of different water transfer scales on the down stream of the Danjiangkou Reservoir——water source of MR-SNWTP. The advantages and disadvantages of three water transfer scales: 6 billion m<sup>3</sup>, 15 billion m<sup>3</sup>, and 23 billion m<sup>3</sup> (in annual average water transfer quantity in 2020), were discussed. The effects of three scales on water tables, streamflows, navigation and irrigation were analyzed. The results demonstrated that, the scales of 1.5 billion m<sup>3</sup> and 6 billion m<sup>3</sup> would have small effects on the down stream of the reservoir and little change in navigation and irrigation water use, and do not need to build compensation engineerings; the scales of 15 billion m<sup>3</sup> would have moderate effects on water tables, streamflows, navigation and irrigation, and need to build compensation engineerings for irrigation at the lower stream of the river; while the scale of 23 billion m<sup>3</sup> would have great effects on water tables and streamflows and on irrigation and navigation, and need to compensate completely for water table decline and water quantity decrease for both irrigation and navigation.

## 作者简介

沈大军, 1969 年 11 月生, 中国水利水电科学研究院博士后, 从事水文水资源学研究, 已在国内外各类学术刊物上发表论文 10 余篇。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>