

# 基于动态规划的塔里木河下游水量配置研究

田盛<sup>1</sup>, 曲炜<sup>2</sup>

(1 河海大学水资源环境学院, 江苏南京 210098; 2 水利部综合事业局 新华咨询公司, 北京 100053)

**摘要:**以塔里木河5次输水观测资料为基础,以动态规划理论为指导,以大系统优化理论为手段,研究了塔里木河下游5次输水后河道两岸地下水位上升值与单位河长耗水量、不同地下水位埋深对应的高程与生态改善面积等之间的关系,建立了塔里木河下游输水量在各研究区合理配置的数学模型,并求解出各研究区合理配置的水量。

**关键词:**塔里木河; 水量配置; 动态规划

中图分类号:TV213.4

文献标识码:A

文章编号:1001-411X(2006)04-0094-04

## Dynamic Programming in Water Allocation at the Lower Reaches of the Talimu River

TIAN Sheng<sup>1</sup>, QU Wei<sup>2</sup>

(1 College of Water Resource and Environment, Hehai Univ., Nanjing 210098, China;

2 Bureau of Comprehensive Development of the Ministry of Water Resources, Beijing 100053, China)

**Abstract:** The relationships between the ground water rise and the water consumption per bank length, the ground water depth and the improved ecological area, were studied by using observed data of 5 time input water to Talimu River, dynamic planning theory and great system optimization theory. The mathematics mode of input water on Talimu River was constructed and water allocation in different research area was computed.

**Key words:** Talimu River; water allocation; dynamic layout

2000年5月—2003年7月期间,塔里木河流域管理局共向塔里木河下游(以下简称塔河下游)实施了5次输水工作,累计从大西海子水库下泄水量13.8亿m<sup>3</sup>,塔河下游两岸植被得到了初步恢复,并形成了一定的湖面面积,结束了塔河断流近30年的历史。对塔河下游生态输水研究前人已做了大量的工作,在专题研究方面,新疆科学院的宋郁东、陈亚宁、徐海亮等<sup>[1-3]</sup>就塔河输水的影响范围和输水对水化学成分的影响等方面做了大量的工作;新疆大学的周跃志、塔里木河流域管理局的王福勇等<sup>[4]</sup>对塔河下游用水调控定额进行了初步探索;河海大学的唐德善、陆海曙<sup>[5-6]</sup>等就塔河下游生态输水与地下水位变化关系进行了研究。本文结合地表水、地下水和土壤水监测断面的布置,将研究范围划分为5个研究区,即I区(大西

海子水库~英苏,河长143.1 km)、II区(英苏~阿拉干,河长61.4 km)、III区(老塔里木河,河长143.8 km)、IV区(阿拉干~依干不及麻,河长96.0 km)、V区(依干不及麻~台特玛湖,河长57.1 km)(图1)。为了减小计算误差并提高计算精度,将5个研究区再划分为10个计算子区(其中以靠近河道700 m处为子区1,以700 m至影响范围边界为子区2)。

### 1 基础观测数据分析

塔河下游水量配置模型是在明确5次输水单位河长耗水量与地下水位上升值以及各研究区高程与面积关系的前提条件下建立的。因此,在建立模型之前,首先对上述关系进行分析,为模型建立做好基础准备。

收稿日期:2006-01-24

作者简介:田盛(1968—),男,博士研究生, E-mail:quwei-cj@163.com

基金项目:水利部科技创新项目(SCX2001-02)

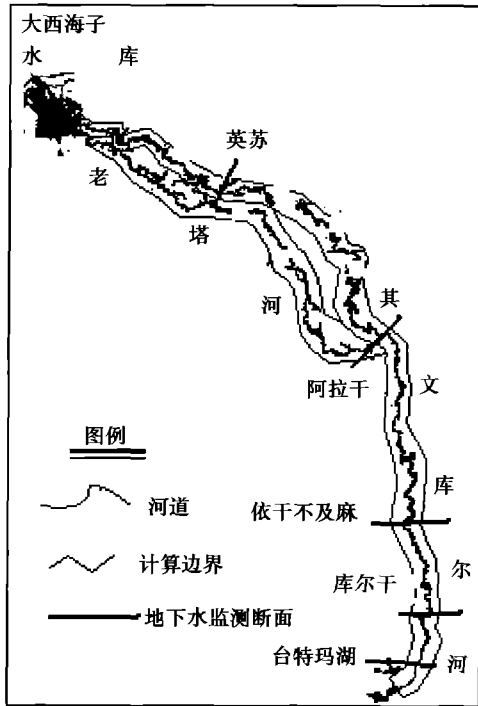


图1 塔里木河下游输水方案与水量配置研究分区示意图  
Fig. 1 Project of input water and water allocation of Talimu River

1.1 单位河长耗水量与地下水位上升值之间的关系

1.1.1 子区1 单位河长耗水量与地下水位上升值之间的关系 首先,对各节点断面地下水观测井观测资料利用回归分析的方法对其进行相关分析,然后找寻其变化规律,确定子区1 的单位河长耗水量与地下水位上升值之间的拟合关系. 以具有代表性的英苏断面为例,其地下水位监测井资料见表1.

把表1 中的观测数据在图上绘出散点并进行拟合分析,可得到英苏断面不同测井的地下水位上升值(Y)与单位河长耗水量(X)的拟合函数:

$C_3$  测井:  $Y = 5\ln X - 21.4$ ;  $C_4$  测井:  $Y = 1.05\ln X - 2.62$ ;  $C_5$  测井:  $Y = 0.55\ln X - 0.96$ ;  $C_6$  测井:  $Y = 0.95\ln X - 3.66$ .

通过上述拟合可以看出,单位河长耗水量与地下水位上升值关系较好,随着单位河长耗水量的增加,地下水位上升值也不断随之增加,但增加的幅度逐渐减小;随着离河距离的增加,地下水位上升值逐渐减小,具体情况如图2 所示.

表1 英苏断面历次输水后地下水位变化表

Tab. 1 Water change after all transportante water in Yinsu ground

输水阶段 input water stage	耗水量 water consumptim/ ( $m^3 \cdot km^{-1}$ )	地下水位上升值 <sup>1)</sup> water change/m				
		$C_3$ (150 m)	$C_4$ (250 m)	$C_5$ (350 m)	$C_6$ (450 m)	$C_7$ (700 m)
第1次 first input water	$1.254 \times 10^6$	2.40				
第2次 second input water	$1.973 \times 10^6$	5.47	3.31	2.24	1.34	
第3次 third input water	$2.231 \times 10^6$	4.66	2.62	1.70	1.09	
第4次 forth input water	$1.175 \times 10^6$	2.47	2.34	1.63	1.15	0.35
第5次 fifth input water	$0.349 \times 10^6$	0.20	0.27	0.03	0.13	0.20

1) 括号内为据河距离

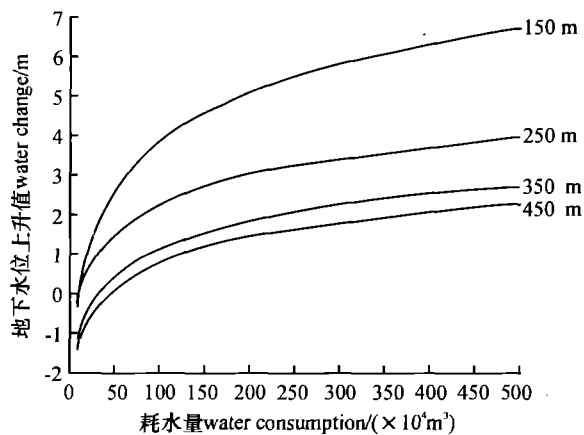


图2 耗水量与地下水位上升值的关系  
Fig. 2 Relationship of water consumption and ground water rise

同样,可以求出阿拉干、依干不及麻、库尔干和台特玛湖断面子区的单位河长耗水量与地下水位上升值之间的关系(表2).

表2 各子区单位河长耗水量与地下水位上升值的关系

Tab. 2 Relationships between the water consumption per bank length and the ground water rise in different subarea

研究区 research area	子区 subarea	拟合方程 fitting equation
I	1	$Y_1 = 1.05\ln X_1 - 2.62$
	2	$Y_2 = 0.75\ln X_2 - 4.30$
II	3	$Y_3 = 1.19\ln X_3 - 4.10$
	4	$Y_4 = 0.70\ln X_4 - 2.60$
III	5	$Y_5 = 1.05\ln X_5 - 2.62$
	6	$Y_6 = 0.75\ln X_6 - 4.30$
IV	7	$Y_7 = 5.34\ln X_7 - 19.48$
	8	$Y_8 = 2.30\ln X_8 - 8.88$
V	9	$Y_9 = 0.55\ln X_9 - 2.16$
	10	$Y_{10} = 2.00\ln X_{10} - 8.42$

1.1.2 子区2单位河长耗水量与地下水位上升值之间的关系 子区2单位河长耗水量与地下水位上升值之间的关系同样以英苏断面为例. 在英苏典型断面取距河道700 m处作为典型点(根据5次输水植被响应情况分析,输水对植被影响的最远距离在离河1 km左右,各监测断面平均为700 m,因此子区2以距河700 m作为典型点),由于在英苏断面距河道700 m处没有测井数据可供模拟,故利用英苏断面在单位河长耗水量一定的前提条件下,距河道不同距离的测井与地下水位上升值之间建立关系,这样可以得到一组方程组,再令离河距离为常量,找寻特定离河距离下单位河长耗水量与地下水位上升值之间的关系,建立方程,绘制曲线并采用插值补缺的方法推求子区2的地下水位上升值与区间耗水量关系. 在距河道700 m处英苏断面子区2地下水位上升值(Y)与单位河长耗水量(X)的关系为:  $Y = 0.75\ln X - 4.30$ .

根据上述的求解思路,同样可以求出阿拉干、依干不及麻、库尔干和台特玛湖断面子区的单位河长耗水量与地下水位上升值之间的关系(表2).

1.2 高程与面积的关系

由于塔河下游河道纵坡较小,地势平缓,各区上、下段高程相差不大. 因此,为了简化计算可以近似地认为地下水位线与地形线是2条平行直线,由此根据前人对塔河天然植被生长的胁迫地下水位研究成果,以此定出各研究区的相应高程(连续曲线),再在1:10 000的地形图上量出该高程对应的地形面积(认为是可以得到改善的植被面积),并把各小块面积累加,即得到该区高程所对应的该区植被可能改善的面积. 根据回归分析确定各区高程与面积关系式(表3).

表3 各区高程(Y)与面积(X)关系汇总表

Tab. 3 Relationships between the ground water depth and the improved ecological area in different subarea

研究区 research area	子区 subarea	方程 equation
I	1	$Y_1 = 27\ 941\ln X_1 - 188\ 049$
	2	$Y_2 = 2\ 5991\ln X_2 - 174\ 788$
II	3	$Y_3 = 21\ 849\ln X_3 - 1\ 465$
	4	$Y_4 = 21\ 849\ln X_4 - 146\ 508$
III	5	$Y_5 = 18\ 630\ln X_5 - 125\ 217$
	6	$Y_6 = 34\ 787\ln X_6 - 233\ 812$
IV	7	$Y_7 = 8\ 825\ln X_7 - 59\ 027$
	8	$Y_8 = 46\ 466\ln X_8 - 310\ 790$
V	9	$Y_9 = 14\ 747\ln X_9 - 98\ 765$
	10	$Y_{10} = 34\ 124\ln X_{10} - 228\ 516$

2 水量配置模型的建立及求解

2.1 子区优化配水模型建立

子区优化配水模型的目标函数是:在研究区给水量一定的情况下,子区的生态改善量最大.

根据上述模型建立的基础观测资料分析,考虑10个子区的植被、高程与面积、地下水位与生态改善面积等因素,建立10个子区耗水量  $W_i$  与生态改善量  $B_i(W_i)$  之间的关系:

$$\text{目标函数: } B_i(W_i) = f_i(a_i \ln b_i W_i + c_i), \quad (1)$$

$$\text{约束条件: } \underline{W}_i \leq W_i \leq \overline{W}_i. \quad (2)$$

式中:  $a_i, b_i, c_i$  为待定参数;  $W_i$  为子区  $i$  的耗水量;  $B_i(W_i)$  为子区所获得的生态改善量;  $\underline{W}_i, \overline{W}_i$  为子区  $i$  耗水量的上、下限; ( $i = 1, 2, 3 \dots 10$ ).

2.2 系统优化配水模型建立

在10个子区优化配水的基础上,将其再在5个大区内进行优化. 综合5个大区10个子区优化模型的结果,可得到系统优化配水模型:

$$\text{目标函数: } B(W) = \max \left\{ \sum_{i=1}^{10} B_i(W_i) \right\}, \quad (3)$$

$$\text{约束条件: } W = \sum_{i=1}^{10} W_i = 3.4, \quad (4)$$

$$\underline{W}_i \leq W_i \leq \overline{W}_i. \quad (5)$$

式中,  $B(W)$  为水量  $W$  在系统内优化分配所得的生态改善量.

2.3 水量配置模型求解

系统优化配水问题,可用动态规划方法由小到大逐级递推求解. 求解的关键是选择合适的阶段变量,状态变量,将原优化问题转变为可用动态规划法求解的数学问题(即动态规划数学模型).

根据上述研究结果,把各子区平均高程、河道长度、地下水位上升值与单位河长耗水量以及高程与面积的关系代入上式即得各子区耗水量与生态改善面积之间的关系式:

$$B_1(W_1) = 27\ 941\ln[1.05\ln(W_1/61.4) + 834.1] - 187\ 809,$$

$$B_2(W_2) = 25\ 991\ln[1.05\ln(W_2/61.4) + 834.1] - 174\ 788,$$

$$B_3(W_3) = 21\ 849\ln[1.1943\ln(W_3/143.1) + 813.8] - 146\ 508,$$

$$B_4(W_4) = 32\ 770\ln[0.70\ln(W_4/143.1) + 815.3] - 219\ 734,$$

$$B_5(W_5) = 18\ 630\ln[1.05\ln(W_5/143.8) + 824.5] - 125\ 217,$$

$$B_6(W_6) = 34\ 787\ln[0.75\ln(W_6/143.8) + 822.8] - 233\ 812,$$

$$B_7(W_7) = 14\ 747\ln[5.34\ln(W_7/96.0) + 791.6] - 98\ 765,$$

$$B_8(W_8) = 34\ 124\ln[2.3\ln(W_8/96.0) + 802.2] - 228\ 516,$$

$$B_9(W_9) = 8\ 825\ln[0.05\ln(W_9/57.1) + 802.7] - 59\ 027,$$

$$B_{10}(W_{10}) = 46\ 466\ln[2\ln(W_{10}/57.1) + 796.4] - 310\ 790.$$

对上述方程组求解,其结果见表4.从表4中不难看出,水量主要分配在Ⅱ区、Ⅲ区和Ⅳ区,植被面积得到改善的区域也主要集中在这3个区间.分析其原因主要是由于Ⅰ区紧靠大西海子水库,并且该区域上游开发了大量的人工绿洲,水库库区和上游

表4 各研究区耗水量(W)、高程(O)、改善生态面积[B(W)]  
Tab.4 Water consumptionw(W), ground water depth(O) and imprevied ecological area[B(W)] in different subarea

分区 area	子区 subarea	W/(万 m <sup>3</sup> )	O/m	B(W)/km <sup>2</sup>
Ⅰ	1	1 326	839.2	52
	2	4 491	839.3	178
	小计 subtotal	5 817		230
Ⅱ	3	3 246	822.0	126
	4	5 456	823.0	212
	小计 subtotal	8 702		338
Ⅲ	5	3 283	836.2	128
	6	5 213	836.1	201
	小计 subtotal	8 496		329
Ⅳ	7	2 164	815.4	85
	8	4 082	815.1	156
	小计 subtotal	6 246		241
Ⅴ	9	825	806.6	33
	10	3 914	805.6	152
	小计 subtotal	4 739		185
合计 total		34 000		1 323

农田对研究区地下水的侧向补给量,使得输水在该区间消耗的水量十分有限.若人为增加该区间的消耗水量必然加剧区域内沼泽化程度,这样不仅不利于改善区域内的植被状况而且还可能引发土壤次生盐碱化.同时,由于Ⅴ区常年断流,植被覆盖度较低,但该区域河叉发育,地势平缓,只要人为疏通天然河叉,在河叉周围和下游便可形成大面积的草甸植被.因此,在该区域也需消耗4 739万 m<sup>3</sup>水量,用于改善该区域内的植被格局,并可起到防风固沙,保护G218国道畅通的作用.

### 3 结论

通过上述模型求解可以看出,在水量一定的条件下,塔河下游为保证生态恢复面积最大,在今后的输水实践中,可采用双河道输水并结合“漫溢”的输水方案,则可使该区间内生态改善面积达到1 323 km<sup>2</sup>.最终实现塔河综合治理预期目标,保护G218国道通行安全,确保边疆稳定.

#### 参考文献:

[1] 宋郁东,樊自立,雷志栋,等.中国塔里木河水资源与生态问题研究[M].乌鲁木齐:新疆人民出版社,2000:385-410.

[2] 徐海亮,宋郁东,陈亚宁.塔里木河生态输水影响范围探讨[J].干旱区资源与环境,2004(1):54-58.

[3] 陈亚宁,李卫红,徐海亮,等.塔里木河下游地下水位对植被的影响[J].地理学报,2003(7):542-549.

[4] 周跃志,王福勇.塔里木河生态用水调控定额初探[J].新疆大学学报:自然科学版,2003(5):195-198.

[5] TAN De-shan. Optimal allocation of water resources in large river basins:I. Theory[J]. Water Resour Manag, 1995,9:39-51.

[6] 陆海曙,张继惠.局部凸空间中的不动点定理与固定值[J].南京师范大学学报:自然科学版,2002,25(2):100-104.

【责任编辑 周志红】