

文章编号: 1001-6791 (2000) 01-0043-06

# 太原市供水风险和外区调水水价预测

李蝶娟<sup>1</sup>, 张世法<sup>1</sup>, 竺士林<sup>2</sup>, 武桂梅<sup>2</sup>, 雷太荣<sup>3</sup>

(1. 水利部南京水文水资源研究, 江苏 南京 210024; 2. 太原市水利局, 山西 太原 030002;

3. 太原科技综合服务中心 山西 太原 030083)

**摘要:** 提出了太原市 2000~ 2030 年期间高、中、低三种需水量预测方案, 进行了未来规划期降水径流和地下水资源的人工系列生成并定量分析了上述规划期内的供水风险及其变化过程。对引黄济并工程, 计算了不同调水量的使用概率, 结合工程水价的经济分析, 对规划期内外调水的期望水价进行了定量评价。

**关键词:** 太原市; 供水风险; 调水; 水价

**中图分类号:** TU 991.31      **文献标识码:** A

太原市(简称‘并’)是一个水资源十分紧缺的城市, 随着社会经济的发展, 水资源紧缺形势将愈趋严重。因此在供水规划中, 除充分利用本区水资源外, 还规划了从黄河万家寨水库引水到太原市的外区调水工程(图 1), 以补充本区水资源供水之不足。关于外区调水的水价, 现在一般是按工程设计供水流量条件来计算的, 但在实际运行过程中, 外调水量的多寡, 取决于本地区水资源的丰枯情势。在偏枯年份, 本区水资源供水缺口较大, 需要外区调入的水量较多, 反之, 在偏丰年份, 则需调入的水量较少。在一定的工程投资和管理运行费用下, 调入水量较多的年份, 单方水价较低, 反之, 则较高。因此, 外区调水水价, 应以规划期水文系列的随机性和需水量随时间增长为前提, 以及以本区供水风险、外区调水概率和经济评价为基础的期望水价来进行分析和评价。

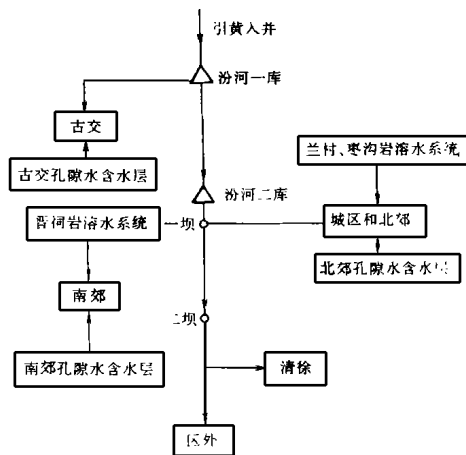


图 1 太原市供水系统示意图

Fig. 1. Sketch of Taiyuan Water Supply system

## 1 需水预测

1980 年以来, 不同部门结合水资源评价和水资源开发利用规划, 先后进行过多次太原市需

收稿日期: 1998-12-15; 修订日期: 1999-04-27

作者简介: 李蝶娟 (1939-), 女, 浙江杭州人, 水利部南京水文水资源研究所高级工程师, 主要从事水文水资源方面研究。

水预测工作。由于影响预测的诸多指标和因素所存在的不确定性,以及预测者由于考虑问题角度差异所产生的偏好不同,使得城市生活、工业和农业需水的预测结果往往相差很大。

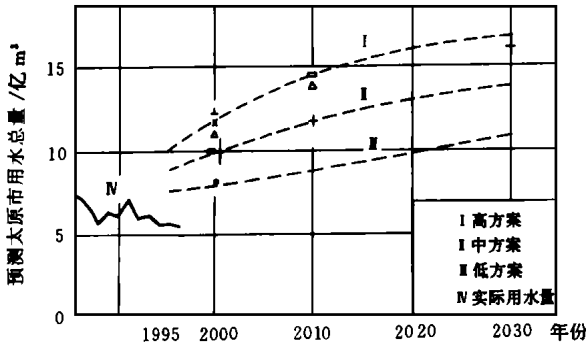


图2 太原市1997~2030年生活和工农业总需水量预测

Fig. 2. Predictive gross water demand during the 1997-2030 in Taiyuan City

从各次预测的1990年以后情况和1990年前后实际的用水对比来看,生活用水预测,有的偏大,有的偏小;工业和农业需水预测,则均有不同程度的偏高。

再从2000年、2010年需水预测成果来看,城建部门的预测值一般较小,水利部门一般较大。从各次预测结果来看,城市生活和农业用水变幅也相对较小,工业用水变幅较大(图略)。基于这一情况,为避免需水组合方案过多,采取以预测的总用水量作控制,城市生活和农村用水取各次预测的平均结果,工业用水考虑相应的变幅,由此归纳提出了1997~2030年高、中、低三种可能的需水预测方案(图2),以此作为供水风险分析和外调水水价

评价的基础。

## 2 供水风险分析

### 2.1 降水、径流和地下水补给量系列生成

太原市统计的实测降水、径流系列为1954~1995年共42年。径流系列包括汾河水库、汾河水库至汾河二库区间和二库至二坝区间。研究区可利用的地下水补给量,一为泉水流量,包括兰村泉、晋祠泉和东山泉,另一为盆地地下水补给量,包括山前侧渗量、降水入渗补给量、渠系和田间入渗补给地下水量。

太原市水资源供需分析的规划期拟定为1997~2030年,在此期间可以发生多种可能的降水、径流和地下水补给量时序系列。显然,不同系列所产生的供需分析结果是不同的,只有在分析和全面综合这些可能的结果的基础上,才能对规划期的供需情势作出合理的评价。关于水文系列生成方法,这里采用实测系列(1954~1995年共42年)滚动置换方法,共生成了21组降水、径流和地下水补给量人工系列。该法生成的系列比较直观,且降水、径流和地下水补给量相互关系及其时序结构可以基本保持原系列特征。

### 2.2 供水调度

本次未采用以水平年为截口的长系列计算方法,而采用从1997~2030年按年序逐年、逐时段供水调节计算途径。

计算时段:汛期6~9月,以旬为计算时段;在非汛期10月~次年5月,以月为计算时段。

水库水位、面积、库容特征:由于受水沙资料的限制,故不同年份的水库淤积量采用简化方法,即由水库多年平均输沙量和相应的水库排沙比来推求。根据调节计算的需要,分别推求了1997~2030年分年的水库水位、面积和库容特征。

供水调度库容分区:水库按城市生活、工业和农业用水顺序优先供水。为提高生活、工业

供水的可靠性, 将水库的有效库容划分为城市生活供水区、工业供水区、农业供水区和弃水区。

模型(块)的连接: 在 1997~ 2030 年规划期间, 对 21 组水文系列所相应进行的供需分析, 都是在整体模型模拟的基础上进行的。模型由三部分组成: 输入部分、模型(块)系列的连接部分和输出部分。在模型运行时, 首先以生成的第 1 组水文系列和高、中、低需水方案之一作为输入, 然后, 从 1997 年 6 月上旬开始, 逐年逐时段进行模型的运行, 在运行时, 依次调用污水处理回用模块、泉水供水模块、区间水供水模块、汾河二库供水模块、汾河一库供水模块、晋阳湖供水模块和盆地地下水供水模块等子程序, 进行生活、工业和农业供水计算。当第 1 组生成的水文系列计算完成后, 再进行第 2 组计算, 直至第 21 组计算完成后结束。

### 2.3 供水风险分析

在未来(1997~ 2030 年)规划期间, 由于径流的随机性, 可能会出现前述生成的 21 组系列中的任何一组径流系列。为此, 将某一组径流系列和某一种需水方案有关数据输入模型, 经逐年模拟运算, 即可求得研究区生活、工业、农业及其总缺水过程。仿此进行, 便可对每种需水方案求得 21 组系列相应的生活、工业、农业及其总缺水量的逐年变化过程(图 3)。由图可看出, 通过多组水文系列的模拟运行, 在未来规划期内的每个具体年份, 便会得到一组可能的缺水量系列。对每年缺水量系列进行排序, 可求得总缺水量排序的变化过程(图略)。同样, 可求得规划期高、中、低需水方案的生活、工业和农业期望缺水量和期望总缺水量的变化过程, 以及高、中、低需水方案保证率为  $p = 95\%$  和  $p = 75\%$  的总缺水量逐年变化过程等。

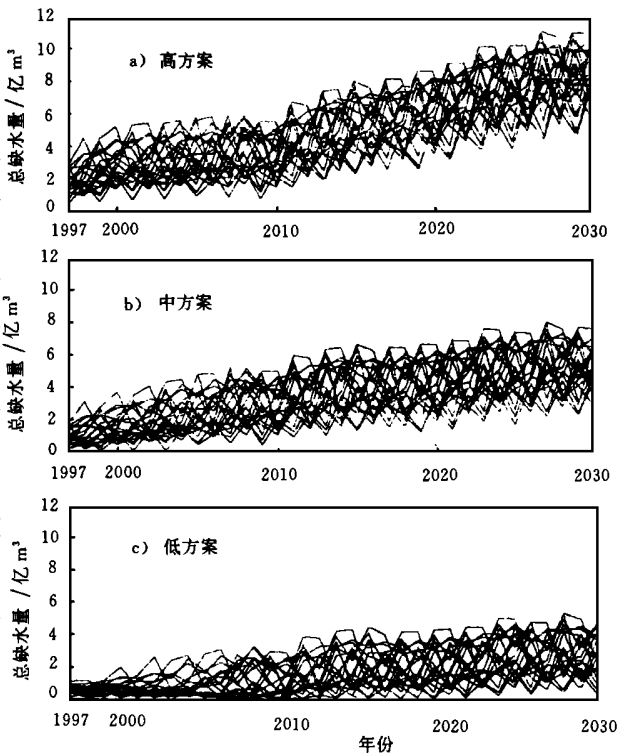


图 3 规划期不同水文系列相应总缺水量变化过程

Fig. 3. Variability of gross water deficient for various hydrological series during planning period

## 3 外区调水的水价分析与评价

### 3.1 不同外调水量使用概率分析

在进行外区调水工程设计时, 其输水能力是按在本地区遇特枯水年 ( $P = 95\%$ ) 时, 通过从外区调水仍能满足设计水平年生活和工业用水要求的条件下确定的。在外区调水工程实际运行时, 某年从外区实际调入的水量, 并不取决于工程的设计输水能力, 而取决于该年当地径流供水后的总缺水量。对某一计算年段, 外调水净供水量的使用概率可用下式计算

$$P(w) = \frac{1}{T - T_0 = T_0} P_t(w) \quad (1)$$

式中  $P_t(w)$  为第  $t$  年生活、工业总缺水量, 即外调水净供水量为  $w$  时的概率;  $T_0$ 、 $T$  分别为

计算年段的起始和终止年份。

在计算中,  $T_0$  取为 2001 年,  $T$  可取不同年份, 如 2005 年、2010 年、2015 年、2020 年、2030 年等。经计算, 对高、中、低需水方案, 各年段不同外调水供水量的使用概率情况见表 1。

表 1 各种引黄济并输水量使用概率

Table 1. Operational probabilities of various water quantity diverting from Yellow River

外调水 输水量 /亿 $m^3$	需水高方案					需水中方案					需水低方案				
	2001 2005	2001 2010	2001 2015	2001 2020	2001 2030	2001 2005	2001 2010	2001 2015	2001 2020	2001 2030	2001 2005	2001 2010	2001 2015	2001 2020	2001 2030
6.0	0.0	0.0	0.09	0.17	0.37	0.0	0.0	0.03	0.05	0.15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.0	0.10	0.14	0.23	0.33	0.52	0.0	0.02	0.10	0.16	0.28	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01
4.0	0.26	0.32	0.41	0.50	0.66	0.07	0.16	0.24	0.31	0.44	0.0	0.0	0.02	0.03	0.09
3.0	0.44	0.48	0.59	0.68	0.79	0.23	0.32	0.42	0.49	0.62	0.12	0.15	0.20	0.22	0.28
2.0	0.76	0.78	0.84	0.88	0.92	0.43	0.53	0.64	0.70	0.79	0.14	0.17	0.24	0.29	0.40
1.0	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.81	0.88	0.91	0.94	0.96	0.27	0.35	0.45	0.52	0.64
0.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.52	0.54	0.64	0.71	0.79

注: 表中概率数据为 0~1.0。

由表 1 可以看出, 在同一年段内, 外调水的使用概率, 随着外调水输水量的增加而减小; 在同一外调水的输水量下, 使用概率随年段时期的加长而增大。在外调水工程运行初期, 城市需水量达不到规划的需水水平, 工程设计的年引水能力 6 亿 $m^3$  的使用概率往往很低, 随着年期加长和需水量的增加, 使用概率虽有所提高, 其值仍然较低。这除了关系到如何合理确定外调水工程的规模和投入时间外\*, 还关系到调水工程水价的合理拟定, 而这又关系到工程建设资本的回收和还贷, 以及外调水工程的正常运行和管理。

### 3.2 外调水量与水价关系

太原市引黄济并工程供水水价由三部分组成: 总干渠和南干渠工程水价、联接段工程水价和城市管网水价, 三部分水价之和即为引黄济并供水水价。需指出, 现估计的引黄济并供水水价是设计水价, 即按工程设计输水能力供水条件下求得的水价。但实际上, 年水文要素的随机性带来工农业缺水量的随机性, 使得作为补充供水的引黄济并水量也是随机的。为此, 在上述设计水价的基础上, 又补充计算了几组不同量级输水量所相应的水价。在计算中, 除与外调水量有关的经费须根据水量多少按比例推算外, 其它费用均与设计水价所采用的数据相同。

不同外调水量与总干渠、南干渠和联接段工程水价, 以及不同外调水量与城市管网水价之间的关系见图 4。由图 4 可以看出外调水量的水价与水量大小之间的关系。

山西省物价局根据世界银行的贷款条件和还款计划求得引黄供水水价为 4.806 元/ $m^3$ , 其中南干及分摊总干部分为 2.340 元/ $m^3$ , 连接段部分为 0.705 元/ $m^3$ , 太原管网部分为 1.46 元/

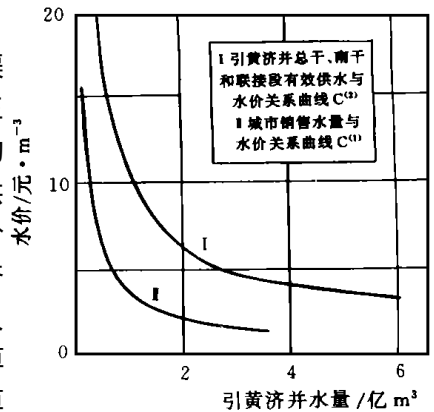


图 4 外调水供水量与水价关系

Fig. 4. Relationship between the water price and the water supply diverting from Yellow river

\* 不同需水预测方案对外调水工程的规模和投入时间均有相当的影响, 如按需水低方案, 则工程规模可以适当缩小, 工程投入时间可以适当推迟。由于该工程是一项既定规模正在实施的工程, 文中未对其展开论述。

m<sup>3</sup>。供水价格系由下式计算:

$$\text{水价} = (2.340 + 0.705 + 1.460)(1 + 6.68\%) = 4.806 \text{ 元/m}^3$$

上述水价是按引黄干渠入井水量约 6.0 亿 m<sup>3</sup> 和城市按城市一期工程引入水量 3.65 亿 m<sup>3</sup> 计算的, 两者并不协调。

### 3.3 引黄济并工程供水期望水价计算

引黄济并工程供水量的期望水价为供水量与其使用概率相乘后的加权平均水价。由于引黄济并工程相应不同供水量的水价和使用概率不同, 所以应以期望水价作为引黄济并工程供水水价的基础。在引黄济并工程仅供城市生活和工业用水的情况下, 其期望水价可按下式计算:

$$\bar{C}_I = \bar{C}_I^{(1)} + \bar{C}_I^{(2)} \tag{2}$$

式中  $C_I^{(1)}$  为引黄济并工程供水水价中城市管网部分的期望销售水价;  $C_I^{(2)}$  为引黄济并工程供水水价中总干渠、南干渠和联接段工程部分的期望水价; 右端分项量可用下式计算:

$$\bar{C}_I^{(1)} = \int_0^1 C_I(W D_I) dP(W D_I) \tag{3}$$

$$\text{或 } \bar{C}_I^{(1)} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [C_I^{(1)}(W D_I(i)) + C_I^{(1)}(W D_I(i+1))] * [P(W D_I(i)) - P(W D_I(i+1))] \tag{4}$$

$$\bar{C}_I^{(2)} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [C_I^{(2)}(W D_I(i)/\eta) + C_I^{(2)}(W D_I(i+1)/\eta)] * [P(W D_I(i)) - P(W D_I(i+1))] \tag{5}$$

式中  $W D_I(i)$  为由小到大排列的第  $i$  项引黄济并水量;  $\eta$  为扣除城市管网漏水和水厂用量的城市供水有效利用系数;  $\bar{C}_I^{(1)}(W D_I(i))$  为与供城市生活和工业用水量有关的水价函数 (图 4 中曲线 I);  $\bar{C}_I^{(2)}(W D_I(i)/\eta)$  为城市入口处与引黄济并工程供水量有关的水价函数 (图 4 中曲线 II);  $P(W D_I(i))$  为城市销售引黄济并水量的使用概率。

引黄济并工程仅供城市生活和工业的水价计算结果见表 2。需要指出, 表 2 列出水价数据是在城市管网一期工程规模, 即引黄济并最大引入管网水量为 3.65 亿 m<sup>3</sup> 和相应的销售水量 3.05 亿 m<sup>3</sup> 的条件下求得的, 当二期管网工程规模和投入运行的时间确定后, 则运行水价与表列数据还将有所不同。

表 2 引黄济并供城市用水水价

元/m<sup>2</sup>

Table 2. Water price of municipal water supply diverting from Yellow River

项 目	预 测 期 年 段											
	2001 2005	2006 2010	2011 2015	2016 2020	2021 2025	2026 2030	2001 2005	2001 2010	2001 2015	2001 2020	2001 2025	2001 2030
需水高方案	9.3	8.0	7.1	6.8	6.7	6.7	9.3	8.6	8.1	7.8	7.6	7.4
需水中方方案	15.3	9.2	7.8	7.4	7.0	6.8	15.3	12.2	10.8	9.9	9.3	8.9
需水低方案	56.1	25.4	15.4	12.8	10.6	9.6	56.1	40.7	32.3	27.4	24.0	21.6

从表 2 可以看出, 随着未来时间的推移和相应需水量的增长, 按不变价和静态指标计算, 外调水的水价呈递减趋势; 不同需水方案相比, 同样一个引黄济并供水量, 需水高方案比需水低方案使用概率高, 因而需水高方案供水水价相对较低。

从表 2 还可以看出, 即使是需水高方案, 其城市销售水价比山西省物价局 1996 年 4 月估计的水价 4.806 元/m<sup>3</sup> 要高得多, 在 2001~ 2005 年单方水水价为 11.0 元, 是上述估计水价 4.806

元的 2.3 倍, 即使到 2021 年以后, 水价高出的幅度也较大; 对需水中、低方案, 水价增幅比需水高方案要大得多。这是一个需要严重注意的问题。

此外, 还对引黄济并工程同时承担生活、工业和农业供水时的相应期望水价进行过研究, 结果表明, 其高水价是农业难以承受的。

## 4 结 语

引黄济并工程的设计输水能力是在满足规划水平年设计保证率供水要求的条件下确定的。引黄济并工程实际调入的水量, 在输水能力约束下, 由本地区供水不足量所决定的。在上述两个量中, 前者是工程规模设计的依据, 后者是工程管理运行和合理拟定工程水价的基础。研究成果表明, 在工程投入运行后的一个相当时期内, 需调入的水量较少, 设计输水能力得不到充分利用, 大马拉小车, 单方水的期望水价将比现按设计条件估计的水价大幅度提高。

在规划期内, 不同的需水预测方案对水价影响很大。2000 年以后, 在引黄济并工程投入运行的现实情况下, 怎样合理拟定太原市城市生活和工业的需水规模, 做到既能比较充分地发挥引黄济并工程的作用, 实现建设资金回收和还贷, 又能继续坚持节约用水的原则, 开展需水管理, 把太原市建成节水型的城市, 这是一个需要进一步研究的问题。

引黄济并工程投入运行后, 太原市供城市生活和工业用水的水价, 由当地的岩溶泉水和盆地地下水的水价, 汾河水库和汾河二库供给的地表水水价, 以及引黄济并工程的水价三部分所组成。在对三部分水价进行综合分析的基础上, 才可能对太原市供水水价作出全面正确的评价。

### 参考文献:

[1] 竺士林主编 城市发展与水资源[M] 山西: 山西科学技术出版社, 1993

## Water Supply Risk in Taiyuan City and Water Price of Diverting Water from External Region

L I D i e - j u a n<sup>1</sup>, Z H A N G S h i - f a<sup>1</sup>, Z H U S h i - l i n<sup>2</sup>, W U G u i - m e i<sup>2</sup>, L E I T a i - r o n g<sup>3</sup>

(1. *N a n j i n g I n s t i t u t e o f H y d r o l o g y a n d W a t e r R e s o u r c e s, N a n j i n g 210024, C h i n a;*

*(2. B u r e a u o f C o n s e r v e n c y, T a i y u a n 030002, C h i n a; 3. T e c h r o l o g i c a l S e r v i c e C e n t e r, T a i y u a n 030083, C h i n a)*

**Abstract:** Predictive water demand for high, middle, and low leveler during the planning period 2000- 2030 in Taiyuan city are presented. On this basis of the observed hydrological records the sequential generation of precipitation, runoff and groundwater recharge are conducted. By using the developed integral simulation model of water supply system the water supply risk during the planning period is analyzed quantitatively year by year. The operational probability and the expect water price of diverting water from Wuanjiazhe reservoir on Yellow river are estimated.

**Key words:** Taiyuan city; water supply risk; diverting water from external region; water priver