

DOI:10.20040/j.cnki.1000-7709.2022.20220053

## 泾惠渠灌区水资源供需预测及供水风险评价

赵晓涛

(陕西省泾惠渠灌溉管理中心, 陕西 咸阳 713800)

**摘要：**为分析泾惠渠灌区水资源供需平衡，依据泾惠渠灌区近 60 年（1960~2019 年）实测水文资料，分别以 2019、2025 年为现状水平年和规划水平年，在保证率分别为 50%、75% 时对水文年灌溉需用水量、灌区工业和生活需用水量进行平衡分析并进一步评估供水能力风险。结果表明，规划水平年 2025 年泾惠渠灌区灌溉需水量显著低于现状水平年 2019 年灌溉需水量，灌区总需水量减少 6.5%；50% 保证率下灌区供水量可满足用水需求，但在 75% 保证率下呈缺水状态。供水可靠性指标均值为 94.10%，灌区供水可靠性较高；协调性指标均值为 68.36%，协调性较高；弹性系数指标均值为 9.35%，脆弱性均值为 0.47%，供水弹性和脆弱性较低；日最大缺水率指标均值为 62.21%，日最大缺水率较高。总体来看，在 2025 年规划水平年条件下泾惠渠灌区的供水保证程度较高，供水风险较弱。

关键词：水资源；泾惠渠灌区；供需水预测；风险评价

中图分类号：TV211.1；S271

文献标志码：A

文章编号: 1000-7709(2022)08-0054-04

1 概况

泾惠渠灌区(图1)位于陕西省关中平原中部,古都西安北面。灌区北依仲山、黄土台塬,南临泾、渭河谷,东有石川河环绕,清河自西向东穿过,地面和地下径流排泄条件良好。灌区东西长70 km,南北宽20 km,总土地面积为 $13.45 \times 10^4$  ha,设计灌溉面积为 $9.03 \times 10^4$  ha,有效灌溉面积为 $8.79 \times 10^4$  ha,其中自流灌溉面积为 $7.35 \times 10^4$  ha,抽水灌溉面积为 $2.29 \times 10^4$  ha, $7.33 \times 10^4$  ha农田达到了渠井双灌条件。泾惠渠灌区多年平均降水量为503.77 mm,降水时空分布不均,每年7~9月降雨量占全年降雨量的50%~60%,平均大于5 mm的降雨天数为30 d,大于10



图 1 泾惠渠灌区行政区划图

收稿日期：2022-01-07，修回日期：2022-02-24

基金项目：兵团财政科技计划项目(2021AA003)

作者简介：赵晓涛(1966-)，男，高级工程师，研究方向为水资源，E-mail: 781520382@qq.com

mm 的降雨天数为 17 d, 平均降水天数为 77.5 d。灌区年蒸发量为 1 212 mm。“十四五”期间, 泾惠渠灌区工业用水量和工业用地面积增加, 因此需用水结构不断变化。分析泾惠渠灌区供需水平衡和供水风险, 可为灌区水资源高效利用提供指导。对此, 本文利用泾惠渠灌区 1960~2019 年的实测水文资料, 分别以 2019、2025 年为现状水平年和规划水平年, 在保证率分别为 50%、75% 时进行灌区需用水量、灌区工业和生活需用水量平衡分析, 进一步分析供水风险, 发现 2025 年规划水平年下泾惠渠灌区供水风险较弱。

## 2 数据与方法

## 2.1 数据来源

数据来源于《陕西省泾惠渠灌区取用水合理性分析报告》、《陕西省泾惠渠灌区及相关水源水质资料》、《渭北工业区湾子水厂供水工程可行性研究报告》等。

## 2.2 供需水预测方法

分析渠首张家山水文站 1960~2019 年 60 年实测水文系列频率。在充分考虑灌区“十四五”用水规划的基础上,选定 2019 年为现状水平年、

2025 年为规划水平年。

(1) 灌溉需水量( $W_{\text{灌溉}}$ )预测。基本公式<sup>[1]</sup>为:

$$W_{\text{灌溉}} = \sum_{i=1}^k \frac{A_i m_i}{\eta} \quad (1)$$

式中,  $i$  为农作物序号;  $A_i$  为农作物  $i$  的种植面积,  $\text{hm}^2$ ;  $m_i$  为农作物  $i$  的净灌溉定额,  $\text{m}^3/\text{hm}^2$ ;  $\eta$  为灌溉水利用系数。

(2) 工业、生活需水预测。需水量指标计算公式为:

$$W = PK \quad (2)$$

式中,  $W$  为灌区各水平年用水主体的需水量,  $\text{m}^3$ ;  $P$  为灌区各用水主体数量;  $K$  为灌区各用水主体的需水定额,  $\text{m}^3/(\text{人} \cdot \text{万元} \cdot \text{头})$ 。

### 2.3 供水风险评价指标

供水风险评价指标有可靠性、弹性、脆弱性、协调性和日最大缺水率五个方面。

(1) 可靠性。灌区用水主体需水量为  $X$ , 供水量为  $G$ , 供水系统在缺水状态时为  $S \in (X > G)$ , 供水系统在正常状态为  $Z \in (X \leq G)$ 。则供水系统中的风险  $r^{[1]}$  为:

$$r = P(X > G) = P\{N_t \in S\} \quad (3)$$

式中,  $N_t$  为供水系统状态变量。

相应的供水系统的可靠性  $r_{\text{rel}}$  为:

$$r_{\text{rel}} = P(X \leq G) = P\{N_t \in Z\} = 1 - r = N_z/N \quad (4)$$

式中,  $N_z$  为正常供水历时;  $N$  为整个供水期历时。

(2) 供水弹性  $r_{\text{res}}$ 。表示系统从缺水状态  $S$  向正常状态  $Z$  转化的可能性。用条件概率表示为:

$$r_{\text{res}} = P(N_t \in Z / N_{t-1} \in S) = N_{t \in S, t+1 \in Z} / N_{t \in S} \quad (5)$$

$r_{\text{res}}$  取值范围为  $0 \sim 1$ , 其值越大, 表明供水系统缺水时段越不连续, 由缺水带来的影响相对较小。

(3) 脆弱性  $v_{\text{vul}}$ 。反映缺水状态带来的不利影响程度, 用平均缺水量与用水主体年需水量的比值来表示:

$$v_{\text{vul}} = \sum_{t=1}^{N_t \in S} (D_{t \in S} P_t) / \sum_{t=1}^{N_t \in S} P_t = \frac{1}{X} \sum_{t=1}^{N_t \in S} \frac{D_{t \in S}}{N_{t \in S}} \quad (6)$$

式中,  $D_{t \in S}$  为缺水量,  $10^4 \text{t}$ 。

$v_{\text{vul}}$  的取值大于 0 小于 1, 其取值越接近 1, 则说明缺水情况越严重, 所引起的损失也越大。

(4) 协调性  $c_{\text{coo}_i}$ 。反映灌区水资源供需风险

协调程度, 其计算方法为:

$$c_{\text{coo}_i} = \frac{1}{n(\Delta_{\max} - \Delta_{\min})} \sum_{i=1}^n (\Delta_{\max} - \Delta_i) \quad (7)$$

其中

$$\Delta_i = |X'_i - G'_i| = \left| \frac{nX_i}{\sum_{i=1}^n X_i} - \frac{nG_i}{\sum_{i=1}^n G_i} \right| \quad (8)$$

式中,  $n$  为供水年份;  $\Delta_i$  为某年可供水量与需水量的差值;  $\Delta_{\max}, \Delta_{\min}$  分别为  $\Delta_i$  中的最大、最小值;  $X_i$  为需水量序列,  $G_i$  为可供水量序列。

(5) 日最大缺水率。表示灌区日最大缺水量与日需水量之比, 量化了灌区缺水程度最大的情况:

$$\max s_{\text{shr}} = \max D_{t \in S} / W_t \quad (9)$$

式中,  $s_{\text{shr}}$  为缺水率;  $W_t$  为日需水量,  $10^4 \text{t}$ 。

## 3 供需预测与风险评价

### 3.1 灌溉需水预测

灌区现状水平年(2019 年)农业总面积为  $9.89 \times 10^4 \text{ha}$ , 其中有效灌溉面积占总面积的 77.85%, 为  $7.70 \times 10^4 \text{ha}$ 。随着灌区农业种植结构的调整, 节水设施建设力度的逐步加大, 现状年渠系利用系数为 0.67。在灌区周边工业开发区的快速发展背景下, 新一轮用水周期内灌区农灌面积减少趋势明显, 并有继续减小的趋势。依据近几年减少规律, 按照每年减少  $0.20 \times 10^4 \text{ha}$  来推测该灌区内的有效灌溉面积在 2025 年将进一步减小至  $6.50 \times 10^4 \text{ha}$ 。

灌区不同作物的种植比例见表 1, 灌区现状条件下的粮食作物和经济作物(经济林果)的种植比例为 0.76 : 0.24, 复种指数约为 1.40。受当前国民饮食结构调整及灌区经济发展的调控影响, 灌区内的作物、林果种植结构也在不断变化, 具体呈经济作物和经济林果的种植比例不断增大的趋势, 预计在 2025 年粮食作物和经济作物(经济林果)的种植比例将变为 0.69 : 0.31, 复种指数增大至 1.54。

根据泾惠渠灌区的灌溉水利用现状分析及节水规划, 2019、2025 年的灌溉水利用系数分别为 0.61、0.67。采用式(1)计算得到 2019、2025 年的农业灌溉需水量(表 2), 可以看出随着林果经济作物种植比例的提升, 2025 年 4~9 月的灌溉蓄

表 1 作物种植比例

Tab. 1 Proportion of crops planted

水平年	粮食					经济作物					合计	%	
	玉米	小麦	秋杂	夏杂	小计	棉花	烤烟	油菜	蔬菜	果树	其他		
2019	50.10	51.38	2.12	2.68	106.28	0.49	0.68	1.83	6.12	23.14	1.69	33.95	140.23
2025	48.13	49.35	3.76	3.93	105.17	0.17	1.32	2.43	8.13	34.42	1.23	47.7	152.87

表 2 毛灌溉需水量

Tab. 2 Gross irrigation water requirement

年 频	不同月份毛灌溉需水量/ $10^4\text{m}^3$													
	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	合计	
2019	50%	0	221	4 120	3 058	107	257	3 013	2 513	4 013	1 928	3 109	0	22 339
	75%	0	221	5 139	4 219	107	257	5 172	4 219	6 251	2 519	4 272	0	32 376
2025	50%	0	213	5 853	2 865	117	254	2 598	2 091	2 043	1 529	2 575	0	20 138
	75%	0	236	8 132	3 012	132	259	2 770	3 026	4 528	2 068	3 912	0	28 075

水量均小于 2019 年。在 50% 保证率下,2025 年较 2019 年灌溉需水量降低了 9.85%;75% 保证率下,2025 年较 2019 年灌溉需水量降低了 13.28%。这说明随着灌区设施的不断完善和灌溉技术的改进,加之灌区灌溉面积的减小,灌溉水的利用系数不断提高,因此灌溉需水量随之降低。

### 3.2 工业、生活需水预测

泾惠渠灌区各水平年的生活和工业用水定额见表 3,不同水平年的生活和工业需水量用式(2)计算得到,其结果见表 4。结果表明,现状水平年(2019 年)的灌区生活和工业需水量分别为  $2 950.98 \times 10^4$ 、 $9 138.50 \times 10^4 \text{m}^3$ ;规划水平年(2025 年)的灌区生活和工业需水量分别为  $3 705.12$ 、 $12 420.10 \times 10^4 \text{m}^3$ ,分别比 2019 年增加了 25.56%、35.91%。随着灌区社会经济的发展,灌区生产水平也将不断提升,工业产业结构布局会随着灌区发展日渐合理,工业需水重复利用率及人民生活水平均会提高。因此,工业万元产值用水量降低,人均生活用水定额会增加。

表 3 生活和工业用水定额

Tab. 2 Domestic and industrial water quota

项目	用水定额	
	2019 年	2025 年
农村生活/(L·d <sup>-1</sup> ·人 <sup>-1</sup> )	55	70
城镇生活/(L·d <sup>-1</sup> ·人 <sup>-1</sup> )	85	100
大牲畜/(L·d <sup>-1</sup> ·头)	30	30
小牲畜/(L·d <sup>-1</sup> ·头)	20	20
工业/(m <sup>3</sup> ·万元 <sup>-1</sup> )	40	25

表 4 生活和工业需水量

Tab. 4 Water demand for domestic and industry

项目	2019 年		2025 年	
	数量	需水量/ $10^4\text{m}^3$	数量	需水量/ $10^4\text{m}^3$
农村人口	89.9 万人	1 804.70	83.90 万人	2 143.60
城镇人口	30.2 万人	938.20	36.30 万人	1 325.00
大牲畜	4.8 万头	52.60	5.40 万头	59.10
小牲畜	21.3 万头	155.50	24.30 万头	177.40
工业	228.5 亿元	9 138.50	496.80 亿元	12 420.10

### 3.3 总需水量预测

泾惠渠灌区总需水量预测结果见图 2,现状水平年(2019 年)灌区的总需水量在 50%、75% 保证率下分别为  $34 342.25 \times 10^4$ 、 $44 379.25 \times 10^4 \text{m}^3$ ,而在规划水平年(2025 年)分别为  $37 891.91 \times 10^4$ 、 $43 828.91 \times 10^4 \text{m}^3$ 。整体来看,

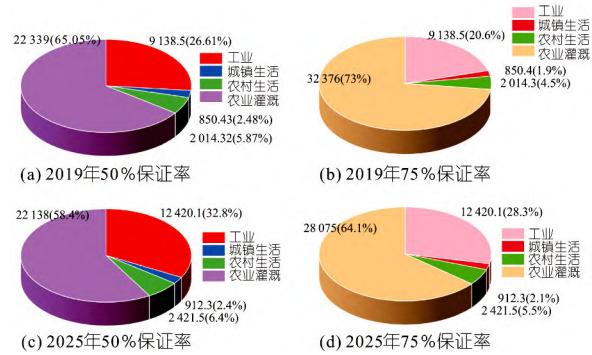


图 2 灌区总需水量

Fig. 2 The total water requirement

规划水平年总需水量较现状水平年呈减小趋势,且用水主体所占比例也随之发生了较大变化。工业需水量从 2019 年的  $9 138.30 \times 10^4 \text{m}^3$  增大至  $12 420.10 \times 10^4 \text{m}^3$ ,增加了 35.91%;城镇生活需水量从 2019 年的  $850.43 \times 10^4 \text{m}^3$  增大至  $912.30 \times 10^4 \text{m}^3$ ,增加了 7.27%;农村生活需水量从 2019 年的  $2 014.32 \times 10^4 \text{m}^3$  增大至  $2 421.50 \times 10^4 \text{m}^3$ ,增加了 20.21%。50% 保证率下,最大用水主体农业灌溉的需水量从 2019 年的  $22 339.00 \times 10^4 \text{m}^3$  减小至  $22 138.00 \times 10^4 \text{m}^3$ ,整体来看变化较小;相较 75% 保证率下,农业灌溉的需水量从 2019 年的  $32 376.00 \times 10^4 \text{m}^3$  减小至  $28 075.00 \times 10^4 \text{m}^3$ ,减小了 13.28%。

因此,随着西安市及周边城市的发展,工业区不断建设,工业用水量增长幅度较大;其次,灌区农业用地逐年减少,再加之经济作物种植比例提高,因此 75% 保证率下的农业灌溉需水量不断减小,这与张志强<sup>[1]</sup>对 2020 年预测的趋势有所不同,这也说明了灌区需水预测应结合当地发展规划的重要性。

### 3.4 可供水量预测

从地表水设计来水和地下水可开采量两个方面预测可供水量。地表水设计来水方面,结合张志强<sup>[1]</sup>的研究结果,分析了 1960~2019 年张家山文水站的水文资料。在 50% 来水保证率下(代表年 1992 年 10 月至 1993 年 9 月),2019 年的年径流量为  $14.58 \times 10^8 \text{m}^3$ ;在 75% 来水保证率下(代表年 2015 年 10 月至 2016 年 9 月),2019 年的年径流量为  $11.68 \times 10^8 \text{m}^3$ 。2025 年的年径流量维持现状不变。根据已有资料,拟定现状水平年(2019 年)的可用地下水量为  $1.30 \times 10^8 \text{m}^3$ ;由于地下水资源过度采用会引起一系列问题,因此预测 2025 年的可开采地下水量为  $1.25 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

### 3.5 供需平衡分析

根据灌区不同用水主体的用水量和灌区可供

水量进行供需水量平衡计算,结果见表 5。可以看出当保证率为 50% 时,2019、2025 年的灌区地表水和地下水所提供的可供水量均大于总需水量,供需水达到平衡状态,灌区各用水主体均能得到用水满足。当保证率为 75% 时,2019、2025 年的灌区地表水和地下水所提供的水量均小于总需水量,各用水主体的用水能力均未得到满足,这说明随着保证率的提高灌区的水资源供应与需求之间差异明显。进一步分析可知,2019 年总的缺水量为  $1\ 245.27 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 缺水率为 2.81%;2025 年总的缺水量为  $1\ 159.11 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 缺水率为 2.65%。整体来看,在保证率为 75% 时,均不同程度出现了缺水状况,虽然 2025 年的缺水量和缺水率均小于 2019 年的缺水量和缺水率,但随着社会的发展,工业用水量的增加,缺水状态会一直存在,因此灌区应进一步提高灌溉水的利用效率,提高灌区节水量,进一步降低灌溉需水量,从而缓解灌区缺水压力和供需矛盾。

表 5 水量平衡计算

Tab. 5 Water balance calculation  $10^4 \text{ m}^3$ 

水平年	保证率	需水量	地表水	地下水	合计	缺水量
2019 年	50%	34 340.72	27 650.83	12 234.65	39 885.48	0.00
	75%	44 377.72	30 132.45	13 000.00	43 132.45	1 245.27
2025 年	50%	35 850.57	25 432.87	11 437.87	36 870.74	0.00
	75%	43 787.57	30 128.43	12 500.00	42 628.43	1 159.14

### 3.6 供水风险分析

依据灌区 1960~2019 年的水文资料,分别在水文频率为 25.0%、30.0%、37.5%、40.0%、50.0%、55.0%、62.5%、75.0%、85.0%、95.0% 的 10 个不同频率下选取对应的年径流量作为 2025 年的灌区可供水量,并将不同来水频率年径流量列于表 6。结合对灌区农业需水的计算,分别用式(3)~(9)计算不同来水频率下的供水风险评价指标,结果见表 7。丰水年来水频率  $<37.5\%$ 、平水年来水频率为 37.5%~62.5%、枯水年来水频率  $>62.5\%$ 。

表 6 不同来水频率年径流量

Tab. 6 Annual runoff at different inflow frequencies

频率 /%	年径流量 / $10^8 \text{ m}^3$	典型年	典型年径流量 / $10^8 \text{ m}^3$				
			频率 /%	年径流量 / $10^8 \text{ m}^3$			
25.0	19.43	1985	18.51	55.0	14.02	2019	13.74
30.0	18.31	1977	17.58	62.5	12.91	1974	12.73
37.5	16.86	1996	17.12	75.0	11.06	2016	11.68
40.0	16.41	1978	16.97	85.0	9.42	1999	9.46
50.0	14.78	1993	14.58	95.0	7.18	2008	6.93

由表 7 可知,可靠性指标随来水频率的增大整体呈波动减小趋势,且当频率在 25.0%~75.0% 之间时波动减小又增大,当大于 75.0% 时急剧下降。可靠性指标均大于 80.00%,且平均值为 94.10%。这说明上游来水量较小时对农业

表 7 供水风险评价值

Tab. 7 Water supply risk assessment value

频率 /%	典型年	可靠性 /%	协调性 /%	弹性 /%	脆弱性 /%	日最大缺水率 /%
25.0	1985	97.11	85.08	8.59	0.75	71.52
30.0	1977	97.57	85.39	10.30	0.58	24.90
37.5	1996	97.84	84.28	11.41	0.57	25.01
40.0	1978	97.02	64.42	8.63	0.33	50.68
50.0	1993	96.20	68.15	6.89	0.52	70.81
55.0	2019	95.71	67.42	6.23	0.61	72.35
62.5	1974	93.68	47.24	16.89	0.21	66.69
75.0	2016	95.52	57.53	6.49	0.25	63.87
85.0	1999	89.68	64.43	13.52	0.33	89.70
95.0	2008	80.08	60.23	4.35	0.25	86.44
均值		94.10	68.36	9.35	0.47	62.21

灌溉用水的影响较大,且来水频率小于等于 75.0% 时,供水可靠性基本不受影响,可靠程度较高。协调性指标随来水频率的增大呈波动变化状态,在 25.0%~62.5% 之间为波动减小趋势,62.5%~95.0% 之间呈先增大后减小趋势。整体而言波动减小趋势要大于可靠性指标。协调性指标均大于 45.00%,且平均值为 68.36%。总体来看,农业灌溉来水的协调性较高。弹性指标随来水频率的增大呈较强波动性,最小值为 4.35%,均值为 9.35%。脆弱性指标总体呈减小趋势,取值在 0.25%~0.75% 之间,平均值为 0.47%。说明灌区来水保证能力较强脆弱性较低,可靠性的变化趋势也很好地说明了这一点。除 25.0% 频率外,日最大缺水率随来水频率的增大呈波动增大趋势,日最大缺水率最小值为 24.90%,日最大缺水率最大值为 89.70%,平均值为 62.21%;这说明灌区日缺水状况较为严重。整体而言,灌区的供水保证程度较高,供水风险较弱。

### 4 结论

a. 50% 保证率下,泾惠渠灌区来水量均可满足不同用水主体的用水需求;75% 保证率下,泾惠渠灌区在现状水平年(2019 年)下的缺水率为 2.81%,缺水总量为  $1\ 245.27 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,而在规划水平年(2025 年)下的缺水率为 2.65%,缺水总量为  $1\ 159.11 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,均呈缺水状态。

b. 供水可靠性指标均值为 94.10%,说明灌区供水可靠性较高;协调性指标均值为 68.36%,协调性较高;弹性系数指标均值为 9.35%,脆弱性均值为 0.47%,供水弹性和脆弱性较低;日最大缺水率指标均值为 62.21%,日最大缺水率较高。总体来看,在 2025 年规划水平年下泾惠渠灌区的供水保证程度较高,供水风险较弱,可以满足灌区农业生产需求。

(下转第 197 页)

表 3 各关闭规律对应的尾水管进口最小压力和出现时刻

Tab. 3 Minimum pressure of draft tube inlet and occurrence time of each closing law

关闭规律	尾水管进口最小压力/m	出现时刻/s	轨迹点是否极靠近下弯点并在其以上
30 s 一段直线	13.77	9.72	是
46 s~0.5~23.2 s 两段折线	15.11	13.78	是
40.5 s~0.5~25.5 s 两段折线	16.98	23.12	是

由图 5、表 3 可知,3 种关闭规律对应的尾水管进口最小压力所在点均出现在极靠近下弯点并在其以上的位罝,再次验证了利用式(10)定性分析和推测机组水头是准确的。进一步分析发现,尾水管进口最小压力所在点轨迹越靠近原点( $n'_1 = 0, Q'_1 = 0$ ),其数值越大,且出现的时刻点越晚。究其原因,随着导叶的关闭,当开度逐渐减小一定程度后,在机组特性曲线中单位流量  $Q'_1$  随单位转速  $n'_1$  的变化率开始变缓,机组流量变化梯度变小,故尾水管进口最小压力增大。

## 4 结论

- a. 基于所提理论解析公式分析和推测尾水管进口最小压力所在位置是准确的。
- b. 尾水管进口最小压力所在轨迹点极靠近机组特性曲线“反 S”下弯点,且在下弯点以上。
- c. 在采用不同关闭规律情况下,当尾水管进口最小压力所在点轨迹越靠近原点时,其数值越大,且出现时刻点越晚。
- d. 研究成果可为导叶关闭规律的选取和尾水管进口压力极值的计算提供参考。另外,尾水管进口最小压力出现时刻与机组特性曲线参数的内在联系和简明表达值得进一步研究。

### 参考文献:

- [1] 曹林宁,吴道科,邓正海. 调压室参数对水力干扰下机组调节品质的影响分析[J]. 中国农村水利水电, 2020(6):171~178,183.
- [2] 张健,卢伟华,范波芹,等. 输水系统布置对抽水蓄能电站相继甩负荷水力过渡过程影响[J]. 水力发电学报, 2008,27(5):158~162.

## Research on Inner Mechanism of Pressure Variation at Draft Tube Inlet for Pumped Storage Power Station

CHU Shan-peng<sup>1</sup>, HE Wei<sup>2</sup>

(1. Zhejiang Flood Protection Technology Center, Hangzhou 310000, China; 2. Zhejiang Design Institute of Water Conservancy and Hydro-electric Power Co., Ltd., Hangzhou 310002, China)

**Abstract:** The purpose of the paper is to explore the internal mechanism of pressure variation at draft tube inlet for pumped storage power station. The analytic formula that can express the pressure at draft tube inlet was derived by using theoretical formula. The minimum pressure at draft tube inlet was analyzed. Based on the transient flow theory and characteristics method, numerical simulation calculation of the transition process was carried out, which verifies the accuracy of analysis and speculation. The results show that the trajectory point of the minimum pressure at draft tube inlet is very close to and above the low bending point of inverse S-curve. The closer the trajectory point is to the origin, the larger the value and the later the occurrence point. The results can provide a concise formula for the analysis and prediction of the extreme value of pressure at the draft tube inlet for pumped storage power station, and also can provide reference for the selection of the closing law of the guide vane.

**Key words:** pumped storage power station; characteristic curve; inlet pressure at draft tube; formula; numerical simulation

(上接第 57 页)

[1] 张志强. 泾惠渠灌区供需水平衡及供水风险分析

[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2016.

### 参考文献:

## Water Resources Supply and Demand Prediction and Water Supply Risk Assessment in Jinghui Canal Irrigation Area

ZHAO Xiao-tao

(Shaanxi Jinghui Canal Irrigation Administration, Xianyang 713800, China)

**Abstract:** In order to analyze the water resources balance of supply and demand in Jinghui Canal Irrigation District, based on the 60-year observed hydrological data from 1960~2019, 2019 and 2025 were selected as the current level year and the planned level year respectively. The balance of the annual hydrological water demand for irrigation, industrial and domestic water demand in the irrigation district were analyzed under the guarantee rate of 50% and 75%, and the risk of water supply capacity was evaluated. The results show that the irrigation water consumption dropped by 6.5% in 2025 compared to 2019 in the irrigation district. Water supply in irrigation area can meet the water demand under the guarantee rate of 50%, but it was lack of water under the guarantee rate of 75%. Water supply reliability is high, and the average dependability index reaches 94.10%. The coordination is higher with the average coordination index of 68.36%. The elasticity and vulnerability of water supply are lower with average elasticity index of 9.35% and average vulnerability index of 0.47%. The daily maximum water shortage rate is higher with an average of 62.21%. In general, under the condition of the 2025 planning level year, the water supply guarantee degree of the Jinghui Canal irrigation area is high, and the water supply risk is weak.

**Key words:** water resources; Jinghui Canal irrigation area; water supply and demand forecasting; risk assessment