

跋山水库干旱预警水位研究与分析

庄才宝

(山东省沂水县跋山水库管理中心, 山东 临沂, 276400)

摘要:以跋山水库为例,结合其来水年际分布不均的实际情况,采用分级分期综合法计算两级干旱预警水位,并用重现期法、保证率法、调度图法进行了验算。经分析验证,两级干旱预警水位的计算方法合理可行,可为华北山丘区水库干旱预警水位研究及水库抗旱调度等提供借鉴。

关键词:水库水位;干旱预警;跋山水库

Title: Study and analysis of drought warning water levels at Bashan reservoir// by ZHUANG Caibao// Bashan Reservoir Management Center, Yishui County, Shandong Province

Abstract: Taking Bashan reservoir as a case study and considering the actual situation of uneven inter-annual distribution of inflow, this study employs a comprehensive multi-level and multi-phase approach to calculate two-level drought warning water levels. The results are verified using the return period method, the guarantee rate method, and the scheduling diagram method. Analysis and verification have confirmed that the calculation method for the two-level drought warning water levels is reasonable and feasible, providing reference for study of drought warning water levels of reservoirs in the hilly regions of North China, as well as for reservoir drought-mitigation operations.

Key words: reservoir water level; drought warning; Bashan reservoir

中图分类号:TV697

文献标志码:B

文章编号:1671-1092(2026)03-0021-05

0 引言

山东省淮河流域径流年际分布不均,且季节性较为明显,造成地区水旱灾害频发,水资源供需矛盾突出,严重制约经济社会的快速发展^[1]。科学合理地确定水库等蓄水工程的抗旱特征指标对抗旱减灾具有重要意义^[2],其中干旱预警水位可指导抗旱调度,减轻干旱灾害的不利影响^[3]。《旱限水位(流量)确定办法》^[4]明确了干旱预警水位的概念及重要性,旱限水位制度得到应用^[5]。通过干旱预警水文指标甄选^[6]、分期研究与确定^[7-8]、动态控制^[9-10]、优化模型等方式^[11],水库干旱预警水位的确定得以指标化、多元化,结合水库管理调度规程的不断创新^[12-15],能更好地保障水库供水。目前华北地区山丘区水库干旱预警水位研究工作开展较少,笔者以跋山水库为例,对干旱预警水位进行计算,并针对成果演算方法进行了探讨,对华北地区山丘区水库供水安全保障具有一定的指导意义。

1 水库概况

跋山水库位于淮河流域沂河中上游,控制流域面积1 782 km²,是一座以防洪、城市供水、灌溉为主,兼顾水力发电、水产养殖等综合利用的大(2)型水库。跋山水库天然径流量年际变化较大,最大年份为14.91亿m³,最小年份为0.22亿m³,丰枯比达66.29。水库总库容5.28亿m³,兴利库容2.67亿m³,死库容1 430万m³;校核洪水位184.34 m,设计洪水位179.95 m,正常蓄水位178.00 m。

2 干旱预警水位计算

根据不同频率下的设计来水,进行典型年供需平衡分析,合理确定预警水位。依据《国家防汛抗旱应急预案》和GB/T 32135—2015《区域旱情等级》选取一般枯水年($P=75\%$)和特枯水年($P=95\%$)进行水位计算。

2.1 设计来水计算

2.1.1 天然条件下入库径流

跋山水库天然径流量依托山东省第三次水资源调查评价,系列年为1961—2016年,蒸发量采用跋山水文站水蒸发资料计算,渗漏损失系数为月平均库容的0.5%。计算得跋山水库坝址处多年平均天然径流量为42 744万 m^3 ,计算结果见表1。

表1 跋山水库天然径流系列统计分析成果

Table 1 Statistical analysis results for the natural runoff series of Bashan reservoir

均值/万 m^3	适线 C_v	C_s/C_v	径流量 ($P=75\%$)/万 m^3	径流量 ($P=95\%$)/万 m^3
42 744	0.67	1.26	21 685	7 784

2.1.2 现状工程条件下入库径流

跋山水库现状工程条件下多年平均径流量为33 900万 m^3 ,75%频率为15 472万 m^3 ,95%频率为5 152万 m^3 。依据总量接近且年内分配较为不利的原则选取代表年,各代表年不同频率的年内分配见表2。

2.2 需水分析

跋山水库供水对象为城市生产生活、下游河道生态、农业灌溉,保证率分别为95%、90%、50%。

跋山水库现状年城市供水取水许可量为3 638.60万 m^3 。十四五期间规划向临沂市第四水厂(在建)新增年供水10 000万 m^3 ,本次城市供水需水量为13 638.60万 m^3 ,即37.37万 m^3/d 。

跋山水库灌区有效灌溉面积0.7万ha,灌溉水利用系数为0.60,主要作物复种指数为1.75,其中冬小麦0.85、夏玉米0.75、春玉米0.05、春花生0.10,多年平均灌溉净定额为2 620.05 m^3/ha ,综合计算农田灌溉需水量为3 056.73万 m^3 。

下游河道生态需水量取跋山水库天然多年平均来水量的10%,河道年需水量为4 274.00万 m^3 ,即11.71万 m^3/d 。

2.3 供需平衡分析

利用1961—2016年长系列来水量及需水情况进行兴利调节计算,对缺水情况进行分析。经分析计算,各行业多年平均缺水量1 347.81万 m^3 ,缺水率6.43%。其中灌溉用水缺水量最大,为1 211.60万 m^3 ,缺水率39.64%。一般枯水年各行业缺水量3 158.93万 m^3 ,缺水率16.88%。特枯年份各行业缺水量4 019.57万 m^3 ,缺水率22.13%。跋山水库各行业现状年缺水情况见表3。

2.4 干旱预警水位确定

考虑到水库来水规律和各用户需求特点,依据

表2 跋山水库不同设计频率径流量年内分配(单位:万 m^3)

Table 2 Inter-annual distribution of runoff at different design frequencies for Bashan reservoir (unit: 10 000 m^3)

频率	年份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	总计
75%	代表年	1 972	625	899	10	226	482	1 044	2 708	3 491	1 835	928	978	15 198
	设计年	2 008	636	915	10	230	491	1 063	2 757	3 554	1 868	945	996	15 472
95%	代表年	351	292	61	87	316	1 521	700	384	999	820	542	392	6 465
	设计年	280	233	49	69	252	1 212	558	306	796	653	432	312	5 152

表3 跋山水库各行业现状年缺水情况

Table 3 Annual water shortages by sector

用水类型	缺水量/万 m^3			缺水率			缺水月份/个		
	多年平均	一般枯水年	特枯水年	多年平均	一般枯水年	特枯水年	多年平均	一般枯水年	特枯水年
城市供水	59.82	0	0	0.44%	0	0	6	0	0
生态补水	76.39	0	521.49	1.79%	0	51.03%	44	0	8
灌溉用水	1 211.60	3 158.93	3 498.08	39.64%	100%	100%	135	6	6
合计	1 347.81	3 158.93	4 019.57	6.43%	16.88%	22.13%	—	—	—

分级分期综合法的基本原理,分期计算时段选用12个月,并将其划分为3个阶段:7—9月为汛期,10月至次年2月为枯水期,3—6月为农业灌溉关键期。

2.4.1 二级预警水位确定

二级预警水位按75%频率设计来水,根据各月灌溉、城镇生产生活、生态需水量分别计算,其中农田灌溉用水保证系数为0.75,城市供水和生态补水保证系数为1,生态补水按照沂河生态补水量计算。

以死水位162.80 m作为起调水位,根据一般枯水年来水量和各月用水需求,由次年6月底开始计算,逆序递推叠加各月缺水量,求得分时段二级预警水量与二级预警水位。二级预警水位计算过程见表4,7—9月汛期为171.43 m,10月至次年2月枯水期为171.85 m,3—6月灌溉关键期为169.74 m。

2.4.2 一级预警水位确定

一级预警水位按95%频率设计来水,依据最大程度保障各行业需水,限制城镇生活及工业用水量的原则进行计算。城镇生活及工业用水保障系数为0.9;生态补水保障系数为0.3,即采用基本生态需水量进行计算;停供农业灌溉用水。

以死水位162.80 m为起调水位,根据特枯年份

来水量和各月用水需求的保障系数变化,由次年6月底开始计算,逆序递推叠加各月缺水量,求得分时段一级预警水量与一级预警水位:7—9月汛期为171.01 m,10月至次年2月枯水期为169.61 m,3—6月灌溉关键期为166.57 m。跋山水库一级预警水位计算过程见表5。

3 合理性分析

利用重现期法、保证率法、调度图法3种方法进行水位合理性分析。

3.1 重现期法

根据跋山水库1961—2020年共60年的逐月水位资料统计和分析,共发生二级预警水位预警302次,发生频率41.9%,重现期约2.3~3年;一级预警水位预警193次,发生频率26.8%,重现期约3.7~4年。依据长期历史经验得出跋山水库的干旱重现期大于2年。利用重现期法对分级综合法计算得出的干旱预警水位进行验证,结果显示水位设定是合理的。1961—2020年跋山水库预警水位发生预警次数统计见表6。

表4 跋山水库二级预警水位计算过程

Table 4 Calculations for the level 2 warning water level at Bashan reservoir

月份	月初库容/万 m ³	入库水量(P=75%)/万 m ³	城市供水/万 m ³	生态用水/万 m ³	农田灌溉/万 m ³	蒸发渗漏/万 m ³	月末库容/万 m ³	二级预警水量/万 m ³	二级预警水位/m
1月	10 097	2 008	1 158	667	0	117	10 163	12 692.80	171.85
2月	10 163	636	1 046	667	0	124	8 963		
3月	8 963	915	1 158	667	183	139	7 730	8 962.50	169.74
4月	7 730	10	1 121	667	596	185	5 172		
5月	5 172	230	1 158	667	550	123	2 903		
6月	2 903	491	1 121	667	92	84	1 430		
7月	11 901	1 063	1 158	667	23	260	10 856	11 901.36	171.43
8月	10 856	2 757	1 158	667	206	239	11 342		
9月	11 342	3 554	1 121	667	138	278	12 693		
10月	12 693	1 868	1 158	667	92	210	12 434	12 692.80	171.85
11月	12 434	945	1 121	667	115	138	11 338		
12月	11 338	996	1 158	667	298	113	10 097		
总计	—	15 472	13 640	8 000	2 293	2 011	—	—	—

表5 跋山水库一级预警水位计算过程

Table 5 Calculations for the level 1 warning water level at Bashan reservoir

月份	月初库容 /万 m ³	入库水量(P=95%) /万 m ³	城市供水 /万 m ³	生态用水/万 m ³	农田灌溉 /万 m ³	蒸发渗 漏/万 m ³	月末库容 /万 m ³	二级预警水量 /万 m ³	二级预警水位 /m
1月	6 453	280	1 043	107	—	60	5 524	8 765.78	169.61
2月	5 524	233	942	107	—	63	4 645		
3月	4 645	49	1 043	107	—	77	3 466	4 644.56	166.57
4月	3 466	69	1 009	107	—	69	2 351		
5月	2 351	252	1 043	107	—	60	1 393		
6月	1 393	1 212	1 009	107	—	59	1 430		
7月	11 093	558	1 043	107	—	204	10 297	11 092.69	171.01
8月	10 297	306	1 043	107	—	215	9 239		
9月	9 239	796	1 009	107	—	153	8 766		
10月	8 766	653	1 043	107	—	109	8 160	8 765.78	169.61
11月	8 160	432	1 009	107	—	110	7 367		
12月	7 367	312	1 043	107	—	76	6 453		
总计	—	5 152	12 276	1 282	—	1 256	—	—	—

表6 1960—2020年跋山水库预警次数统计

Table 6 Statistics on the number of alerts triggered at Bashan reservoir between 1960 and 2020

月份	二级预警		一级预警	
	预警次数	重现期P	预警次数	重现期P
1月	24	39.3%	14	23.0%
2月	25	41.0%	14	23.0%
3月	14	23.0%	5	8.2%
4月	18	29.5%	7	11.5%
5月	24	39.3%	11	18.0%
6月	34	55.7%	17	27.9%
7月	40	65.6%	38	62.3%
8月	25	41.0%	21	34.4%
9月	21	34.4%	20	32.8%
10月	25	41.0%	16	26.2%
11月	26	42.6%	15	24.6%
12月	26	42.6%	15	24.6%
总计	302	—	193	—

3.2 保证率法

根据有、无干旱预警水位条件下跋山水库长系列调节计算结果可知,各行业除农田灌溉无变化外,其余行业多年平均缺水量减少,保证率提高。

根据有、无干旱预警水位条件下跋山水库1983—1984年调节计算结果可知,城市供水、农田灌

溉缺水量不变,生态用水缺水量减少,保证率提高。有、无预警水位缺水量及保证率对比分析见表7。

3.3 调度图法

结合《跋山水库调度规程》,采用调度图法对设定的干旱预警水位进行对比分析。当水库水位在Ⅱ区及以上时,保证各行业按照批复用水量供水;当库水位在Ⅲ区时,不再提供农田灌溉供水;当库水位低于Ⅲ区时,可视情况降低生态、工业供水量,重点保障生活用水。跋山水库兴利调度图见图1。

由预警水位设置原则可知,在二级预警水位启动时,限制农业灌溉供水量;当库水位低于一级预警水位时,农业灌溉供水量折减100%,城市供水依照《临沂市城乡集体供水管理办法》进行折减,优先保障生活用水,生态供水按基本生态需水量计算。由图1可知,保证供水线在176.00 m以上,降低供水线所对应的干旱预警水位在保证供水线和死水位之间,与调度规程相符合。因此,预警水位的设置是合理的。

4 结论与建议

4.1 结论

(1)利用1961—2016年长系列来水量及需水情况进行兴利调节计算,可得各行业多年平均缺水

表 7 有、无预警水位缺水量及保证率对比分析

Table 7 Comparison table of water shortage and guarantee rates with and without early warning

年份	计算条件	城市供水		生态补水		农田灌溉用水	
		缺水量/万 m ³	保证率	缺水量/万 m ³	保证率	缺水量/万 m ³	保证率
1961—2016 年	无干旱预警水位	59.82	99.56%	76.39	98.21%	1 211.60	60.36%
	有干旱预警水位	19.74	99.85%	74.16	98.26%	1 207.70	60.46%
1983—1984 典型年	无干旱预警水位	—	100%	521.49	48.97%	3 892.88	—
	有干旱预警水位	—	100%	468.18	54.19%	3 498.08	—

量 1 347.81 万 m³, 缺水率 6.43%。其中灌溉用水缺水量最大, 为 1 211.60 万 m³, 缺水率 39.64%。在一般枯水年, 各行业缺水总量 3 158.93 万 m³, 缺水率 16.88%。在特枯年份, 各行业缺水量 4 019.57 万 m³, 缺水率 22.13%。

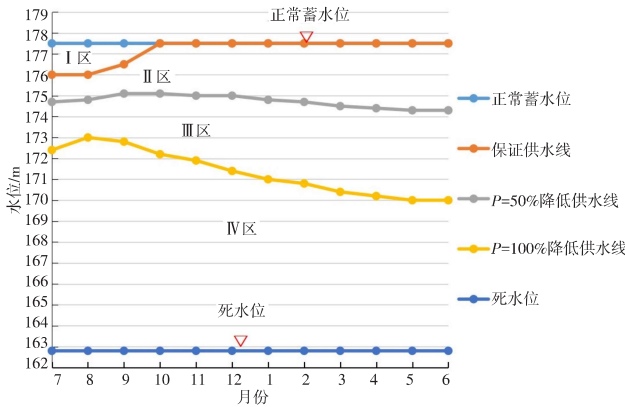


图 1 跋山水库兴利调度图

Fig. 1 Regulation of Bashan reservoir water level

(2) 跋山水库一级预警水位在 7—9 月汛期为 171.01 m, 10 月至次年 2 月枯水期为 169.61 m, 3—6 月灌溉关键期为 166.57 m; 二级预警水位在 7—9 月汛期为 171.43 m, 10 月至次年 2 月枯水期为 171.85 m, 3—6 月灌溉关键期为 169.74 m。

(3) 采用重现期法、保证率法、调度图法对两级干旱预警水位结果进行验算, 所得结果合理, 切实可行。

4.2 建议

(1) 干旱预警水位确定过程中, 需充分考虑月份分级分期问题, 合理选择典型干旱区间; 在进行水库干旱预警水位计算过程中, 要充分利用水库的调节作用, 目前根据水量的干旱期调节方法并未明确, 符合实际情况的干旱预警水位有待进一步考量。

(2) 可充分结合南北方水库差异性, 制定同时满足不同类型水库的计算方式。折减系数可根据不同区域、不同供水任务合理选择。

参考文献:

[1] 李周直,包晓斌,尹晓青.直面中国水资源短缺[J].国土资源通讯,2001(4):44-47.

[2] 罗成鑫,丁伟,张弛,等.水库分级分期旱限水位设计与控制研究[J].水利学报,2022(3):348-357.

[3] 刘永鹏.水库干旱分级预警水位确定方法[J].水电能源科学,2017,35(7):40-42.

[4] 国家防汛抗旱总指挥部办公室.旱限水位(流量)的确定办法[Z].2011.

[5] 张艳玲.陕西省主要江河水库旱警水位(流量)确定及思考[J].中国防汛抗旱,2017,27(5):100-103.

[6] 刘宁.中国干旱预警水文方法探析[J].水科学进展,2014,25(3):444-450.

[7] 宋树东,朱文才.水库旱限水位分期确定的研究[J].长春理工大学学报(自然科学版),2014(3):160-163.

[8] 张礼兵,武露露,金菊良.大型灌区骨干水库分期旱限水位研究[J].水利学报,2018,49(6):757-766.

[9] 曹润祥.面向水资源常态与应急综合管理的水库汛限旱限水位调整技术研究[D].天津:天津大学,2015.

[10] 刘攀,李立平,吴荣飞,等.论水库旱限水位分期控制的必要性与计算方法探讨[J].水资源研究,2012(1):51-55.

[11] 彭少明,王煜,张永永,等.多年调节水库旱限水位优化控制研究[J].水利学报,2016,47(4):552-559.

[12] 杨桂山,于秀波.国外流域综合管理的实践经验[J].中国水利,2005(10):59-61.

[13] Gastélum J, Valdés J, Stewart S. A decision support system to improve water resources management in the Conchos Basin [J]. Water Resources Management, 2009, 23(8): 1519-1548.

[14] Cheong TS, Kol, Labadie J. Development of multi-objective reservoir operation rules for integrated water resources management [J]. Journal of Hydroinformatics, 2010, 12(2): 185-200.

[15] 李昱.复杂水库群供水优化调度方法及应用研究[D].大连:大连理工大学,2016.

收稿日期:2026-01-06

作者简介:庄才宝(1972—),男,山东沂水人,高级工程师,从事水库管理工作。

作者邮箱:13805499039@126.com