

基于集中度的南水水库径流年内分配探讨

焦晓东

(广东粤电南水发电有限责任公司,广东 韶关 512700)

【摘要】 为了研究南水水库流域的径流年内变化的一般特征、径流在汛期的集中程度和汛期分期的变化,本文以该流域 1970—2016 年的径流量资料为基础,采用径流年内不均匀分配系数、年内完全调节系数等,并在汛期采用集中期和集中度的方法进行了初步探讨。并根据讨论结果提出应对建议。

【关键词】 南水水库;径流量;年内分配;不均匀性;集中度

中图分类号: TV211.1

文献标志码: B

文章编号: 2096-0131(2018)03-065-05

Discussion on Nanshui Reservoir runoff annual distribution based on concentration

JIAO Xiaodong

(Guangdong Yuedian Nanshui Power Generation Co., Ltd., Shaoguan 512700, China)

Abstract: In the paper, the runoff data of the river basin from 1970 to 2016 is regarded as the basis, uneven distribution coefficient in the runoff year, and annual complete adjustment coefficient, etc. are adopted in order to study the general characteristics of changes of Nanshui Reservoir in the runoff year. The concentration period and concentration ratio method are adopted in the flood period for preliminary discussion. Suggestions are put forward according to the results of the discussion.

Key words: Nanshui Reservoir; runoff amount; annual distribution; unevenness; concentration ratio

流域径流不仅是水资源领域的重要组成部分,也是自然界水文循环的重要组成部分。径流资源的时空分布,尤其是年内径流的分布,是水资源评价的重要组成部分。

年内径流量分布不均匀,不仅直接影响水资源开发利用和水利工程规模,而且增加水文预报,水库调度,洪涝灾害控制难度。目前,常用径流非均匀性分布的定量研究指标主要表现为月或季平均年径流量占年径流量的相对比例和汛期、枯水季的相对数来表示。此外,还有连续 4 个月的最大年径流量占全年径流量

的百分数来表示年度径流分布。

1 研究区概况

南水水库以上流域多年平均降水量 2211.8mm。流域内的降水量年内分布不均匀,降雨主要集中在 4—9 月份,尤其以 5 月上旬至 9 月下旬为暴雨爆发的集中期,占全年降雨量的 75% 左右^[1]。

南水水库库区,由于热带低压和南海季风云团趋于活跃,并将逐步加强北抬,对流域内冷空气的强度、途径,以及冷气环流的循环有很大的影响,进而使该流

域内产生的降水量级也具有很大的差异性。受到副热带高压的阻挡效应而生成静止切变,此时常常可能会在流域内形成大暴雨。台风也是影响南水水库流域水文气象特征的重要因素,但是由于该水库处于粤北地区,偏内陆,且四周有群山环绕,因此很少有台风中心直接经过水库库区,通常南水水库库区降水是受台风外围波及而造成的。

2 研究方法

年径流量的分布决定了水库运行的模式,径流的变化会导致水资源供需的变化,从而影响水资源的开发利用和管理。本文采用径流年内不均匀分配系数、年内完全调节系数等,并利用径流分布的集中度来衡量年内径流量分布的不均匀性;利用汛期的集中度和集中期来揭示汛期径流的集中程度^[2]。

2.1 不均匀系数

定义 C_v 为径流年内分配的不均匀系数, C_v 值越大,表明径流年内分配越不均匀。

其计算公式如下:

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{R}} = \bar{R} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{12} (R_i - \bar{R})^2}{12}} \quad (1)$$

式中 \bar{R} ——年内各月平均径流量, 10^8 m^3 ;

R_i ——第 i 月径流量, 10^8 m^3 ;

σ ——均方差。

2.2 完全调节系数

定义 C_r 为径流年内分配的完全调节系数, C_r 值越大,表明径流年内分配越集中。

其计算公式如下:

$$C_r = \frac{\sum_{i=1}^{12} \text{sgn}(R_i - \bar{R})}{\sum_{i=1}^{12} R_i} \quad (2)$$

$$\text{sgn} = \begin{cases} 0, & R_i < \bar{R} \\ 1, & R_i \geq \bar{R} \end{cases} \quad (3)$$

式中,符号含义同式(1)。

2.3 集中期和集中度

集中期和集中度是利用矢量原理来确定时间分布特征的参数,将该原理应用于南水水库汛期(4月1日至10月31日),可以定量描述汛期的集中度和集中期,对于洪水灾害的发生具有很好的判断作用。该原理是将汛期期间的各旬径流量作为一个向量,将流量的大小视为向量的长度,所处的旬为向量的方向。将汛期的214d作为一个圆周,1d等于 1.682° ,以每旬的中间日期5日、15日、25日作为这个旬的向量的方向^[2]。然后各矢量累加,其和占汛期径流量的百分数即集中度,用 RCD_x 表示,其意义反映在汛期中径流的集中度。如果某年汛期中,该月的径流量完全集中在该月中的某一旬内,则表示集中度达到最大值,即为1,越接近1,表明径流越集中;如果该月每个旬的径流量都相差不大,则表示集中度达到最小值,即为0,越接近0,表明各旬的径流量处于比较平均的水平。对于集中度的计算则是合成该旬代表的向量的方位角,从而确定在全部旬期内降水量在合成后的整体效应,进而确定最大旬径流量出现在汛期的哪个时段^[3-4]。

按以上方法合成后径流向量的方向可求得集中期 D ,即反映径流量最集中的部分。

计算公式如下:

$$RCD_x = \frac{\sqrt{\frac{R_x^2 + R_y^2}{R_x}}}{R_x} \quad (4)$$

$$D = \arctan\left(\frac{R_x}{R_y}\right) \quad (5)$$

$$\begin{cases} R_x = \sum_{i=1}^{21} r_i \sin\theta_i \\ R_y = \sum_{i=1}^{21} r_i \cos\theta_i \end{cases} \quad (6)$$

式中 R_x ——21个旬汛期径流量的分量之和所构成的水平分量;

R_y ——21个旬汛期径流量的分量之和所构成的垂直分量;

r_i ——第 i 旬的汛期径流量;

θ_i ——第 i 旬径流代表的向量角度(见表1);

i ——旬序号($i=1,2,3,\dots,21$)。

表1 汛期各旬包含的角度及各旬代表的角度值

旬序号	日期(月.日)	包含角度/(°)	代表角度/(°)
1	4.1—4.10	351.429~8.571	0.000
2	4.11—4.20	8.571~25.714	17.143
3	4.21—4.30	25.714~42.857	34.286
4	5.1—5.10	42.857~60.000	51.429
5	5.11—5.20	60.000~77.143	68.571
6	5.21—5.31	77.143~94.286	85.714
7	6.1—6.10	94.286~111.429	102.857
8	6.11—6.20	111.429~128.571	120.000
9	6.21—6.30	128.571~145.714	137.143
10	7.1—7.10	145.714~162.857	154.286
11	7.11—7.20	162.857~180.000	171.429
12	7.21—7.31	180.000~197.143	188.571
13	8.1—8.10	197.143~214.286	205.714
14	8.11—8.20	214.286~231.429	222.857
15	8.21—8.31	231.429~248.571	240.000
16	9.1—9.10	248.571~265.714	257.143
17	9.11—9.20	265.714~282.857	274.286
18	9.21—9.30	282.857~300.000	291.429
19	10.1—10.10	300.000~317.143	308.571
20	10.11—10.20	317.143~334.286	325.714
21	10.21—10.31	334.286~351.429	342.857

3 结果分析

3.1 南水水库径流逐月趋势变化特征

对于南水水库流域来说,短时间内大量的集中降雨是产生流域洪水的主要原因,也是其主要的库容来源,因此其年内径流量分配过程跟降雨量有一定的相似性,两者都随着季节变化,有着明显的降雨和径流集中现象。南水水库流域 1970—2016 年各月径流年内变化趋势如图 1 所示,各月径流在年内分配比例见表 2。

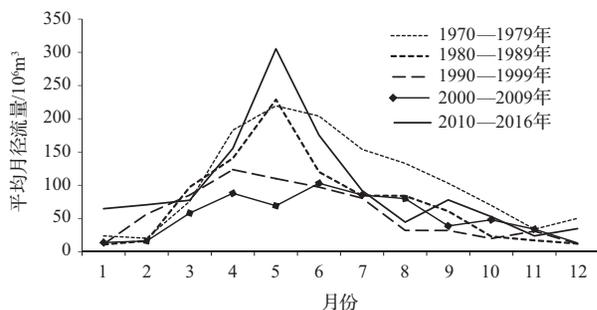


图1 南水水库流域内径流量的年内变化

从图 1 可以看出,各年代径流量的年内分配变化基本保持一致,均呈“单峰型”分布,1 月、2 月处于低值,3 月处于上升期,最大值出现在 5 月,6 月以后进入下降期,冬季(10—12 月)达到低值。1970—1999 年,径流呈现逐渐减少的趋势;2010 年以来,整体偏丰,月平均径流量高于前 40 年,月平均径流量明显偏大。

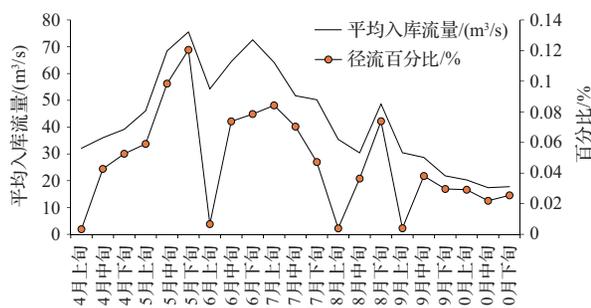


图2 南水水库汛期旬内平均入库流量与旬内径流均值量占全汛期总径流量的百分比

由图 2 可以看出,南水水库的降雨径流时空分布特征呈“三峰”状态:

a. 汛期旬平均入库流量由 4 月上旬开始逐步增大,到 5 月下旬出现旬平均入库流量最高峰,6 月为台风高发期,所以在 6 月下旬平均入库流量再创新高,7 月上旬到 10 月下旬,入库流量逐步减少,但在 8 月下旬受降水的影响,入库流量依然还存在一个小峰值。

b. 汛期径流中,5 月下旬至 8 月下旬径流比例最大,约占汛期径流总量的 60%,三峰结构在旬径流占总径流比例图中表现得很明显,这与当地的气候气象条件有关,尤其是台风降雨对径流的影响极大。

c. 汛期中的旬平均入库流量在 5—8 月比较大且波动也大,约为 $30\text{m}^3/\text{s}$ — $75.57\text{m}^3/\text{s}$,最大的旬平均入库流量出现在 5 月下旬,为 $75.57\text{m}^3/\text{s}$,6 月下旬次之,为 $72.61\text{m}^3/\text{s}$,此后平均入库流量呈下降趋势。

由表 2 可以看出南水水库流域径流量年内分配不均匀,径流主要集中在汛期(4—9 月),汛期径流量占到全年径流量的 70% 以上,径流量连续最大的 2 个月(5—6 月)就占到全年径流量的 1/3 以上,是连续最小 2 个月(12 月和次年 1 月)的 7 倍左右。

表2 南水水库流域内径流量的年内分配

月份	平均月径流量/ $10^6 m^3$	占年总径流量比例/%	月份	平均月径流量/ $10^6 m^3$	占年总径流量比例/%
1	25.64	2.69	8	93.88	9.87
2	35.57	3.74	9	56.55	5.94
3	77.95	8.19	10	39.8	4.18
4	116.92	12.29	11	27.45	2.88
5	167.84	17.64	12	23.86	2.51
6	165.61	17.40	合计	951.64	100
7	120.57	12.67			

由此可以看出影响径流年内分配的主要因素是气候变化。因为流域地处亚热带气候湿润区,当副热带高压位于流域北部且位置稳定时,在南方或东南方将有大量的暖湿气流会沿副热带高压东侧北上,此时常常可能会在流域内形成大暴雨,由此造成流域降水平年内分配极不均匀,这种气候特点决定了该流域夏秋径流量大而春冬径流量小的特性,即径流年内分配的不均匀性跟该流域气候有关,且气候特点占主要因素^[5]。

3.2 南水水库流域的径流分配不均匀性

表3 为南水水库流域的 C_v (径流年内分配不均匀

表3 南水水库流域 C_v (径流年内分配的不均匀度) 和 C_r (完全调节系数)

年份	C_v	C_r	年份	C_v	C_r	年份	C_v	C_r
1970	1.36	0.44	1986	1.44	0.59	2002	1.59	0.28
1971	1.63	0.26	1987	1.53	0.34	2003	0.92	0.75
1972	1.80	0.73	1988	0.82	0.35	2004	1.47	0.59
1973	0.72	0.21	1989	0.93	0.33	2005	1.71	0.23
1974	1.01	0.40	1990	0.72	0.55	2006	0.97	0.17
1975	0.97	0.76	1991	1.01	0.41	2007	1.77	0.63
1976	1.39	0.55	1992	1.74	0.31	2008	1.21	0.47
1977	0.71	0.66	1993	1.14	0.23	2009	1.43	0.26
1978	1.49	0.57	1994	1.66	0.61	2010	1.18	0.32
1979	1.27	0.54	1995	1.07	0.60	2011	1.69	0.62
1980	1.20	0.29	1996	1.40	0.32	2012	0.75	0.68
1981	1.08	0.64	1997	1.11	0.48	2013	1.64	0.61
1982	1.48	0.49	1998	1.66	0.16	2014	1.07	0.21
1983	1.69	0.58	1999	1.10	0.16	2015	0.92	0.21
1984	0.95	0.38	2000	0.88	0.15	2016	0.74	0.70
1985	0.99	0.54	2001	1.53	0.71	多年平均	1.25	0.45

系数)和 C_r (完全调节系数)的计算成果。由此可知,该流域的 C_v 极小值是 0.71,极大值是 1.80,均值是 1.25。 $C_v \in (0.2, 0.8)$,即径流年内分配完全调节系数一般都处于 0.2~0.8 之间,整体水平较高,说明汛期径流年内分配较不均匀,因为该流域的补蓄水以降雨为主,降雨量随季节存在周期性变化,这就导致径流量同样存在较为明显的季节性差异变化^[6]。

从图3可以看出,1970—2016年南水水库流域 C_v 总体上呈锯齿形波动,20世纪70、80年代的 C_v 比较低,主要是由于20世纪70、80年代径流偏枯;90年代以后, C_v 呈缓慢增加的态势;进入21世纪后, C_v 呈缓慢降低态势,且变幅增大,这表明南水水库流域年内径流量的波动程度在逐渐增大,其径流年内分配正在趋向不均匀,对水资源的充分利用处于负面影响状态。

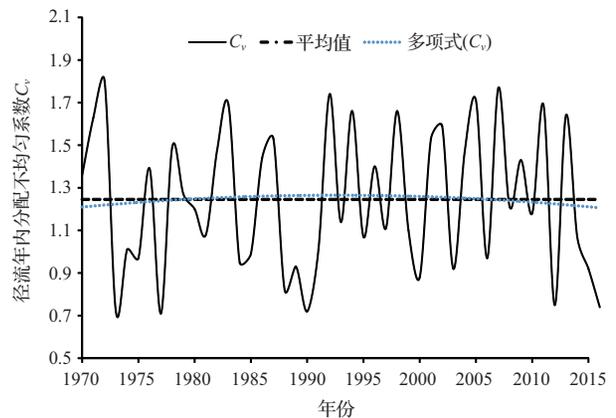


图3 南水水库流域 C_v 的变化趋势

3.3 径流的集中程度

从汛期径流分配的集中度(见表4)来看,1970—2016年集中度多在30%~80%之间,最低出现在1980年、1987年和2009年,都是17%;最高则为1974年、2002年和2013年,都为79%;多年平均集中度比较高,为49.5%。对集中度的变化趋势进行分析,发现集中度先趋于降低后趋于增大(见图4),这说明在这47年中,年内径流分配集中度由高到低再到高,年内分配经历了先从不均匀趋于较均匀后又趋于不均匀。

汛期的集中度 $\geq 70\%$ 的有5年,其中1974年、2002年和2013年属于偏丰年,1980年、1987年和2009年属于偏枯年,就集中期而言,汛期的径流量集中于

表4 南水水库流域汛期径流分配的集中度和集中期

年份	集中度/ %	集中期/ (°)	最大径流出现 的时间/(月-日)	旬序号	年份	集中度/ %	集中期/ (°)	最大径流出现 的时间/(月-日)	旬序号
1970	68	243.43	08-28	15	1994	28	92.57	05-30	6
1971	32	152.57	07-05	10	1995	30	152.57	07-05	10
1972	62	72.00	05-18	5	1996	47	229.71	08-20	14
1973	64	240.00	08-26	15	1997	61	132.00	06-23	9
1974	79	130.29	06-22	9	1998	66	113.14	06-12	8
1975	68	142.29	06-29	9	1999	70	84.00	05-25	6
1976	31	236.57	08-24	15	2000	44	214.29	08-11	14
1977	38	228.00	08-19	14	2001	60	133.71	06-24	15
1978	47	157.71	07-08	10	2002	79	132.00	06-23	15
1979	41	58.29	05-10	4	2003	53	60.00	05-11	5
1980	17	152.57	07-05	10	2004	39	234.86	08-23	15
1981	65	154.29	07-06	10	2005	46	154.29	07-06	10
1982	52	135.43	06-25	9	2006	55	243.43	08-28	15
1983	66	150.86	07-04	10	2007	52	144.00	06-30	9
1984	67	85.71	05-26	6	2008	31	130.29	06-22	9
1985	76	228.00	08-19	14	2009	17	73.71	05-19	5
1986	34	60.00	05-11	5	2010	61	216.00	08-12	14
1987	17	125.14	06-19	8	2011	43	85.71	05-26	6
1988	46	82.29	05-24	6	2012	27	207.43	08-07	13
1989	76	128.57	06-21	9	2013	79	137.14	06-26	9
1990	18	61.71	05-12	5	2014	34	248.57	08-31	15
1991	42	156.00	07-07	10	2015	78	72.00	05-18	5
1992	37	147.43	07-02	10	2016	43	226.29	08-18	14
1993	39	159.43	07-09	10	合计	49.5			

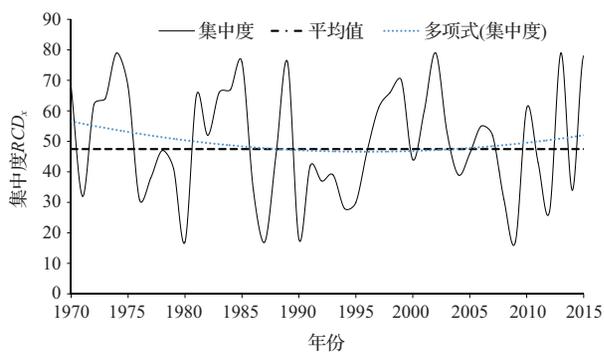


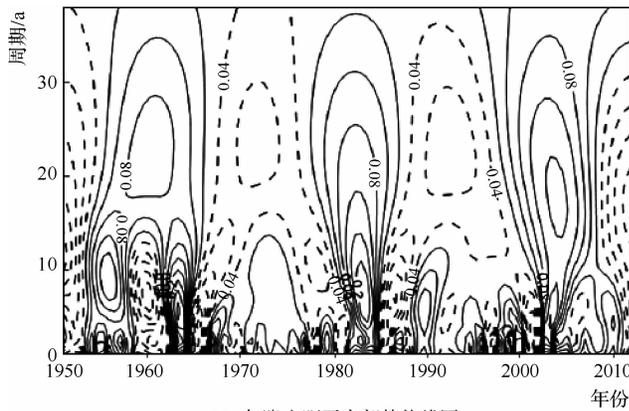
图4 南水水库汛期集中度变化趋势

旬序号为5、6、10、14、15,分别是5月1—21日、7月1—10日、8月11—31日;而目前的南水水库汛期为4月15日至9月15日,计算结果表明,汛期径流分配的集中期和集中度越大,表明该流域发生洪水的概率也就越高;汛期径流分配集中度呈增大趋势,表明汛期径流分配逐渐趋于不均匀。

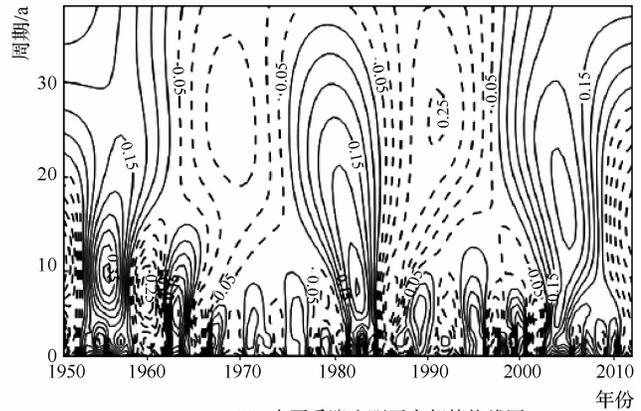
4 结论及建议

以珠江流域北江水系的南水水库的1970—2016年的径流量资料为基础,在多年开展汛期水情趋势预报的基础上,利用南水水库流域47年的水库径流量资料,分析了南水流域的月径流、旬径流变化特征和径流的年内分配不均匀性以及汛期径流集中性等,研究得出南水水库流域年内,年际的径流变化一般特性,对南水水库汛期降水量惊醒预测和分析,可得以下结论:

径流量年内分配的变化基本保持一致,分布形态均显示为“三峰型”,月径流一般会在5月达到极大值。径流主要集中在汛期,占到全年径流量的70%以上。径流年内分配很不均匀,径流年内分配不均匀系数处于逐渐增加的状态,且变幅也在逐渐加大,这表明南水水库流域年内径流量的波动程度在逐(下转第72页)



(a) 年降水距平实部等值线图



(b) 春夏季降水距平实部等值线图

流域全年和春夏季降水距平的小波方差图

里,2009—2019年为相对枯水期,2020—2029年为相对丰水期。春夏季降水量序列在9a时间尺度上大约经历了6个丰枯转换期,2010—2014年为相对枯水期,2015—2018年为丰水期;在22a时间尺度上存在2个周期的丰枯变化,2009—2020年为相对枯水期。

对乌鲁木齐河流域全年和春夏季降水量主周期进行滑动 t 检验,结果表明年降水量和春夏季降水量的主周期无显著性差异;对全年和夏季降水量的次周期进行 Fisher 小样非参数随机化检验,结果表明全年和夏季降水量无显著差异。由此可见,乌鲁木齐河流域年降水量的周期主要由春夏季降水量的周期决定。

3 结论

a. 1951—2014年,乌鲁木齐河流域年降水量呈明

(上接第69页)渐增大,汛期的集中度偏大,发生洪水的概率就大,因此需要高度重视未来汛期集中度较高的年份。

基于集中度的南水水库径流年内分配研究作用在于计算相对简单,精度较好,有利于判断汛期大小年,提前做好大汛大旱等极端年份的防汛抗旱工作,有利于领导者在发电效益的最优化分配过程中的决策判断,对水资源的充分利用和发电调度等提供数据性支持。建议在水库调度过程中抓住一个或两个大的降水提高水库储存量,以确保水库蓄水量可以满足向韶关供水等各方面的需要,实现水资源的合理利用。

显上升趋势。四季降水量均呈上升趋势,除冬季降水量显著增长外,其余季节增长趋势均不明显。

b. Morlet 小波分析结果表明:乌鲁木齐河流域未来几年降水量以偏枯为主,年降水量的周期主要由春夏季降水量的周期决定。

参考文献

- [1] 王春乙,娄秀荣,王建林. 中国农业气象灾害对作物产量的影响[J]. 自然灾害学报,2007,16(5):37-43.
- [2] 黄荣辉,杜振彩. 全球变暖背景下中国旱涝气候灾害的演变特征及趋势[J]. 自然杂志,2010,32(4):187-195.
- [3] 欧素英,陈子集. 小波变换在相对海平面变化研究中的应用[J]. 地理科学,2004,24(3):358-364.
- [4] 王文圣,丁晶,李跃清. 水文小波分析[M]. 北京:化学工业出版社,2005.

参考文献

- [1] 焦晓东,邵广哲. 南水水库年末消落水位的确定[J]. 广东水利水电,2017(1):26-29.
- [2] 刘贤赵,李嘉竹,宿庆,等. 基于集中度与集中期的径流年内分配研究[J]. 地理科学,2007,27(6):791-795.
- [3] 姜洋. 基于集中度大伙房水库汛期分期探讨[J]. 水利水电技术,2016,47(5):119-123.
- [4] 蒋丽娟,施能,周文志,等. 桂林市汛期降水集中度和集中期与旱涝关系研究[J]. 气象研究与应用,2007,28(3):23-26.
- [5] 吴新新. 基于改进集对分析的新疆黄水沟年径流预测[J]. 水资源开发与管理,2016(1):65-67.
- [6] 丁瑞,焦晓东. 基于模糊集合分析法的南水水库汛期气象水文特征分析[J]. 人民珠江,2017(5):5-8.