

黄河流域旱涝与水资源分析^{*}

黄嘉佑 张 鐸

(北京大学地球物理系, 北京 100871)

摘 要 本文利用黄河流域 1951~1990 年期间逐月降水、径流量及地面气温资料, 作该地区蒸发和地下潜流量的估计, 提出关于该地区可利用水资源的估计, 并定义水资源指标。结果发现可用水资源与降水量有十分密切关系。但是它们也存在一定的差异, 该地区降水量存在唯一的 2.6 年主要周期, 而水资源则存在 2.3 和 9 年的主要和次要周期。用相关分析方法比较这两序列和前年夏季、秋季、冬季及当年春季的大气环流场之间的关系, 发现水资源与环流有着更为密切的关系。主要表现在与前年秋季和冬季高度场的相关上, 与大气环流中高纬西风带系统和副热带系统强弱也有十分密切关系。

关键词 可用水资源 谱分析 相关分析

1 前言

随着我国人口的增长和经济的发展, 对水的需求日益增长。我国水资源不算太少, 但按人口耕地平均, 其占有水平大大低于世界平均水平。人均占有量只有世界平均的 $1/4$ 。加上我国降水量和径流量地区分布极不均匀, 淮河及其以北地区耕地面积占全国 64%, 而水资源仅占全国的 19%, 其中黄、淮、海、辽河流域内耕地占全国 42%, 而水资源只占全国的 9%。黄河流域又是黄、淮、海、辽河流域的主要产粮区。随着全球气候变暖, 这些地区近 10 余年来降水量有减少趋势, 连年的干旱使水资源显得更为紧张, 对工农业及人类生活带来严重灾害。未来水资源前景如何是十分重要的研究对象。

另一方面, 水资源是地球水圈和大气圈的组成部分, 它的研究涉及气象学和水文学。过去的研究似乎是相互独立的, 表现在目前各独立学科的设置上。事实上陆地水份过程与大气水循环是地球几个大系统(水圈, 大气圈, 岩石圈和生物圈)内相互作用的重要环节之一。大气中的降水量是地表径流产生的重要来源。而陆地表面的湿润条件和水资源状态, 加上人类的生产生活活动对局地范围的气候也有重要的影响, 它们也存在相互作用。但目前陆地水份与大气水循环及其相互作用相对来说研究还很少。极端水文事件, 如洪涝以及农业的旱涝灾害由于其对社会、经济的影响而具有十分重要的意义。实际上, 在它们各自的学科中预报它们出现的量值及其影响已经作过大量的研究。但是, 由于干旱现象是一种水文、农业、气候及人类活动对水资源增长的需求的综合表现, 仅考虑单个学科的研究显然是不够的。因此, 从水资源的角度作不同学科的综合研究以及研究气候变化对局地水资源的影响是十分重要的方面, 但是从水文方面定义的水资源计算十分复杂, 本文提出的可用水资源估计将大大简化其计算且能与大气要素发生

1994-03-18 收到, 1994-12-10 收到修改稿

^{*} 本文得到国家基础性研究重大关键项目基金资助

密切相关。因此本文主要研究黄河流域可用水资源的度量、它的长期演变的规律性及分析它与气候变化的关系,为进一步研究水资源的长期演变规律以及预测奠定基础。

2 水资源指标

从某地区旱涝的定义中,不同的学科有不同的定义。在不同的学科(气象、农业和水文)中,考虑的出发点和定义不同对旱涝识别是不同的。在农业工作者中,把在生长季节中土壤湿度欠缺定义为干旱。而水文学者中则把低于正常径流定义为干旱。在气象学者中,常常把干旱定义为一个地区内低于平均降水量的现象称为干旱,例如常把一定时期内(季或年)降水量的多年平均值作为划分旱涝标准分界线。有时为识别旱涝严重程度,把降水量划分为5个级别,即特旱,偏旱,正常,偏涝和特涝。即使在某一学科中,干旱的识别也是不同的。例如,考虑到干旱的地区变化性,有人提出干旱期为连续6个旱日,有的则定义为两个连续旱年。对于农业的干旱,土壤湿度欠缺是和谷物的种类以及气象条件有关的。至于水文上,短时期明显低于正常水平的径流量(短期强干旱)在供水缺乏的地区是一种显著的现象,但在水源十分丰富的地区则不然,另外,长时期稍为低于平均的径流量(长期低强度)对常常使用水的地区来说也许是一显著的现象,但对不常用水的地区则不是。某地区的旱涝应是上述各学科定义的综合,因此研究一种水文、农业和气象学的综合的旱涝指标是十分必要的。

水资源是指陆地表面及表层短中期(一年或数年内)可由降水补给更新的淡水资源,它的丰欠与大气降水量和地表湿润状况有密切关系。根据水份平衡方程^[1]

$$R = Y + E + U \pm \Delta V, \quad (1)$$

式中 R 为流域范围内降水量, Y 为流量, E 为蒸发量, U 地下潜流量, ΔV 为地表、土壤和地下蓄水变量。我们认为对一局部流域地区,可使用的土地资源主要包含自然水的补充(天然降水)、地表水量(地表水的流入与流出的差额)及地下水量的补充,其中天然降水量是水资源的重要来源,它的丰欠对地区旱涝有直接关系,地表径流也是其中重要组成部分,它们的差额可以反映该地可使用的土地资源的主要部分。

我们取1951~1990年期间黄河下游利津年流量作为黄河流域上中游地区当年水量损失的部分,并根据该流域面积大小折算成水深(以 L 表示,单位为mm),由于该地域无其他流水流入,其主要来源为该地域的天然降水。因此取该地区19个测站(呼和浩特、包头、陕坝、德州、安阳、济南、郑州、西安、天水、岷县、郾县、榆林、延安、西峰镇、兰州、中宁、西宁、临夏和玛多)年降水量来计算该地域天然降水量。由于流域内测站降水分布极不均匀,用它们的平均值代表整个流域显然是不合适的。我们把19个测站同期降水量资料阵作经验正交函数分析^[2],提取该流域降水量的主要变化特征,把其中的第一时间分量作为该地区降水量主要变化特征的代表是合适的,因为它占有大部分方差。但是用第一时间分量来研究降水量也有问题,因为它是无单位量,不好与径流量比较。因此进一步研究19个测站与第一时间分量的相关,选其中最具有代表性的测站,即它们可代表流域主要变化特点的测站,由于呼和浩特、包头、天水、榆林、延安和临夏等6站的年降水量序列与第一时间序列的相关系数均大于0.70(它们

分别为 0.74、0.82、0.75、0.79、0.73 和 0.82), 我们把该 6 站年降水量的平均值作为该地区水量收入部分 (以 R 表示, 单位为 mm), 则该地区第 i 年水资源 (可用的水量) 表示为

$$S_i = R_i - L_i - Z_i \pm \Delta V_i, \quad (2)$$

其中, L 为径流流出量 (把观测的径流量按流域面积折算为与降水量相同的单位量, 即 mm), Z 为蒸发量 (单位为 mm), $\pm \Delta V$ 为地下潜流、高山融雪、地表、土壤和地下水蓄水量变化量 (简称潜水量)。蒸发量和潜水量的估计十分困难, 例如蒸发既包含地表水份蒸发, 也包含植物蒸发。潜水既包含地表水份上下交换, 也包含高山积雪融化和地下径流等。我们使用近似估计, 蒸发量的估计使用月蒸发量近似计算式^[3]

$$Z = b(T/S)^a, \quad (3)$$

其中 T 为月平均气温, S 为年累积温度量, 表示为

$$S = \sum_{i=1}^{12} (T_i / 5)^c,$$

式中 b 和 c 为参数, 经大量试验后确定为 $b = 16.0$, $c = 2.02$ 。 a 为经验系数, 表示为

$$a = 0.675 \times 10^{-6} \times S^3 - 0.771 \times 10^{-4} \times S^2 + 0.1792 \times 0.1 \times S + 0.49239.$$

利用该地区逐月平均气温资料按上式计算出 1951~1990 年间逐年蒸发量, 40 年平均为 409.6 mm, 这一量级与文献[1]有关该地区的蒸发量是一致的。

潜水量我们采取粗略近似估计, 认为在历史年代中最早的年份可用水资源为零, 即天然降水量全部被径流流出量 (L) 和蒸发量 (Z) 所消耗, 其他年份则根据降水量和径流量的差额按比例减少。第 i 年潜水量表示为

$$\pm \Delta V_i = \min[1.0 - (L_{\max} - L_{\min}) / (L_i - L_{\min})], \quad (4)$$

式中 $\min$ 为历年 ($R_i - L_i - Z_i$) 中最小值, $L_{\max}$ 和 $L_{\min}$ 分别为历年中流量最大值和最小值。潜水量历年的值为负值, 平均为 107.2 mm。

据 (2) 式利用该地区的流量和降水量资料计算出该地水资源 (单位为 mm) 逐年之值, 图 1 显示近 40 年该地区水资源指标逐年变化状况。

3 水资源与降水量、流量和蒸发的关系

从图 1 可见, 1958 与 1959 年为 40 年间可用水资源最多的两年, 但是这两年并不是该地区降水量最多的年份, 降水量最多的年份是 1967 年 (643.7 mm), 而 1958 年和 1959 年降水量分别为 637.7 mm 和 604.3 mm, 同时有较低的蒸发量和较少的潜流出量, 因而有最多的可用水资源。最少的水资源出现在 1965 年, 为 -45.4 mm, 即是严重缺水年, 它对应于降水最少的年份, 该年降水量仅为 274.2 mm。其次的缺水年份还有 1955、1982 和 1974 年, 它们也分别是该地区降水较少的年份。虽然水资源最多的年份并不对应于降水最多的年份, 但是它们也是降水量较多的年份, 而缺水年份则完全对应于干旱年份, 因此水资源与气象降水量还是有密切关系的。实际上, 该地区水资源序列

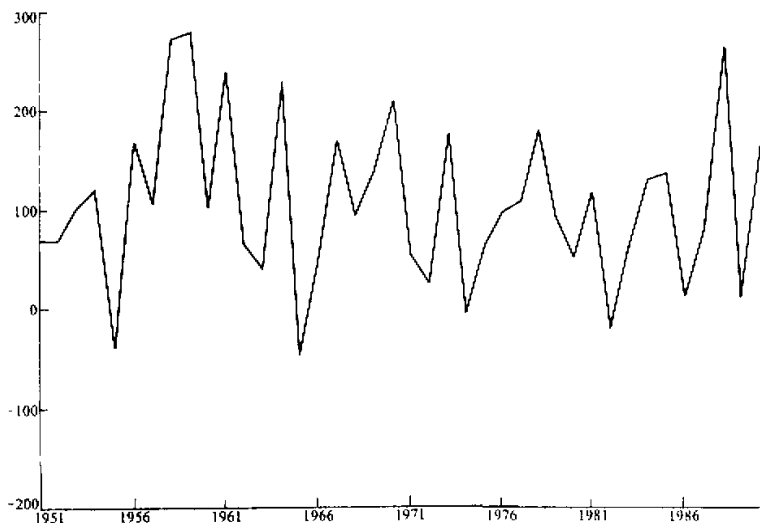


图1 水资源指标逐年变化曲线

与降水量序列的相关系数为 0.85, 说明它们有较强的正相关。

水资源与流量几乎没有关系 (相关系数仅为 -0.05)。水资源与蒸发的关系为负相关 (相关系数为 -0.21)，其相关系数虽然未通过显著性检验，但是也说明蒸发越大，可用水资源越少。

进一步对该地区水资源序列与降水量序列作谱分析^[4]发现在谱图上水资源的功率谱呈现两个谱峰，其主要周期为 2.3 年，次要周期为 9.0 年 (主要周期通过 5% 显著性检验)。而降水量谱图上仅出现一个谱峰，对应周期为 2.6 年。在它们交叉谱分析中发现周期为 2.3 年处有最高的凝聚值出现 (0.93)，这一数值大大地超过 5% 显著性检验。说明它们在短期变化上有着十分密切的关系，但是水资源不能等同于降水量，它自身受径流、地表蒸发和土壤状态的制约，有大约 9 年的长周期变化规律。事实上，径流量、蒸发的功率谱图上均发现存在 9 年的次要周期，在这个周期段上水资源与它们的凝聚谱均有约 0.30 左右的较高值存在。

值得指出的是，在蒸发变量中也存在 2.6 年主要周期，在 2~3 年周期段中它与水资源也有很高的凝聚。而降水量和气温均为大气变量，有理由相信它们均与大气环流有一定关系。

4 水资源、降水与大气环流

为了寻找黄河流域旱涝和水资源余缺的成因，它们又有十分密切关系，所以我们仅研究该地区降水量和水资源与前期大气环流的关系，我们用该地区降水量和水资源的逐年变化序列与前年夏季、秋季、冬季和当年春季北半球 500 hPa 静力和动力物理量场

(高度、纬向风、经向风和动能等物理量场)作相关分析。表 1 给出不同季节两序列与动力物理量相关场的显著相关区占的整个场的面积比例。因为显著相关区占整个场的面积越大表明两个场相关越密切^[5]。

表 1 降水量和水资源与物理量场的显著相关区比例 (%) 比较

物理量	降水量					水资源				
	高度	纬向风	经向风	动能	平均	高度	纬向风	经向风	动能	平均
夏季	9.9	12.5	9.8	9.2	10.4	11.9	8.8	7.3	8.1	9.0
秋季	12.7	13.0	14.3	10.3	12.6	13.9	10.6	14.7	15.1	13.6
冬季	16.3	6.9	11.8	5.4	10.1	22.6	5.1	8.2	5.4	10.3
春季	7.5	5.1	4.5	7.0	6.0	17.9	11.1	4.1	8.1	10.3
平均	11.6	9.4	10.1	8.0	9.8	16.6	8.9	8.6	9.2	10.8

从表 1 中可见,四个季度平均而言它们与大气环流物理量场的相关均是显著的(显著相关区比例超过 7%^[5])。比较物理量而言,水资源与高度和动能有较高的显著度,而降水量与高度和经向风有较高的显著度。就前期季节影响而言,前年秋季的大气环流对降水量和水资源均有较强的影响,而对水资源来说,冬季高度场有最强的影响。总体而言,水资源与环流的关系比降水量较为密切,这就意味就前期环流作预报意义来说,对水资源预报较降水量把握大些。

研究水资源与前年秋季和冬季高度场的相关场后发现,它们有大致相同的分布形势,主要的相关区在乌拉尔山至太平洋的高纬地带(60~140°E, 40~70°N),为负相关。表明当秋季和冬季该地带高度场为正距平时,黄河流域水资源欠缺,反之亦然。该相关区秋季表现尤其明显,中心在(110°E, 60°N)附近的相关系数为 0.39。正相关区主要分布在南亚到太平洋狭长的低纬地带(50~160°E, 10~20°N)。表明当秋季和冬季该地带高度场为负距平时,黄河流域水资源欠缺,反之亦然。该相关区秋季表现分布零散,一个中心在(70°E, 30°N)附近,其相关系数为 0.43,另一个中心在太平洋副热带高压内,在(150°E, 10°N)附近,其相关系数亦为 0.43。冬季显著正相关区在低纬地带连成一片,南亚的中心移至(130°E, 10°N)附近,其相关系数为 0.49,另一个中心仍在太平洋副热带高压内,在(160°E, 10°N)附近,其相关系数亦为 0.43,第三个中心在大西洋副热带高压内,在(50°W, 10°N)附近,其相关系数高达 0.52。这些相关区分布说明水资源与大气环流中高纬西风带系统和副热带系统有十分密切关系。

5 结论与讨论

本文利用黄河流域地区 1951~1990 年期间逐月降水、径流量及地面气温资料,综合产生该地区可利用水资源的指标。该指标可以反映陆地水份过程与大气水循环,即地球几个大系统(水圈,大气圈,岩石圈和生物圈)内相互作用。其中降水及地面气温是反映大气中的变化,而径流量则反映陆地表面对大气降水的再分布,加上人类的生产活动用水量,它们存在的相互作用及变化。因而该指标是一种水文、农业、气候及人类活动对水资源增长的需求的综合表现。

对水资源指标的研究结论如下:

(1) 水资源与气象降水量有密切正相关关系,但是它们也存在一定的差异,该地区降水量存在唯一的 2.6 年主要周期,而水资源则存在 2.3 和 9 年的主要和次要周期。

(2) 用相关分析方法比较水资源与气象降水量两序列和前年夏季、秋季、冬季及当年春季的大气环流场之间的关系,发现水资源与环流有着更为密切的关系。就前期季节影响而言,前年秋季的大气环流对降水量和水资源均有较强的影响,而对水资源来说,冬季高度场有最强的影响。

(3) 研究水资源与前年秋季和冬季高度场的相关场后发现,它们有大致相同的分布形势,主要负相关区在乌拉尔山至太平洋的高纬地带,正相关区主要分布在南亚到太平洋狭长的低纬地带,这些相关区分布说明水资源与大气环流中高纬西风带系统和副热带系统有十分密切关系。

参 考 文 献

- 1 水利电力部水文局, 1987, 中国水资源评价, 北京: 水利电力出版社.
- 2 黄嘉佑, 1990, 气象统计分析与预报方法, 北京: 气象出版社.
- 3 Kumar, K.K., K.R. Kumar and P.R. Rakhecha, 1987, Comparison of Penman and Thornthwaite methods of estimating potential evapotranspiration for India condition, *Theo. Appl. Climat.*, **38**, 140~146.
- 4 黄嘉佑、李黄, 1984, 气象中的谱分析, 北京: 气象出版社.
- 5 黄嘉佑, 1989, 气象要素场的显著性检验, *气象*, **15**, No.4, 3~8.

Analysis of Drought / Flood and Water Resources in Huanghe River Valley

Huang Jiayou and Zhang Tan

(Department of Geophysics, Peking University, Beijing 100871)

Abstract The estimation of the evaporation and underflow in the Huanghe River valley are made using monthly precipitations, temperatures and runoff data during the period of 1951~1980. Further the utilizable water resources are estimated from them and proposed in this paper. It is found that the relationship between the utilizable water resource and precipitation is very close. But there are some difference between them in power spectrum. The only period in the precipitation is 2.6 year, and there are two significant periods of 2.3 year and 9 year in the water resources. The study of the correlations between the two series and atmospheric circulation series in summer, autumn and winter in last year, and spring in current year shows that the correlations between the utilizable water resource and circulation is higher than the one between the precipitations and the circulation, especially in last autumn and winter. The close relation is also represented by the relationship between the utilizable water resource and the synoptic system of westerlies and subtropical belt.

Key words utilizable water resource spectrum analysis correlation analysis