

干旱气候对青海地表水资源影响的研究

李 林 张国胜 汪青春
时兴合 董立新 徐维新

(青海省气象局, 西宁 810001)

摘 要 通过分析近 38 年青海省主要河流径流量及其流域降水, 气温的变化趋势, 研究了干旱气候对青海地表水资源的影响。结果表明, 内陆河多为高山冰雪融水和雨水混合补给型河流, 外流河多为以雨水补给为主的河流; 青海地表水资源呈减少趋势, 其减少趋势进入 90 年代后尤为明显; 气温和降水是影响青海地表水资源的主要气候因子, 其中气温升高加剧了流域蒸发量的增大和干旱影响, 减少了地表径流量; 而 90 年代以来降水量的减少特别是汛期降水量的减少直接影响到径流量的减少。

关键词: 干旱; 水资源; 径流量

1 引言

青海省地处“世界屋脊”青藏高原的东北部, 总面积 72 万 km^2 , 境内山脉纵横, 河流密布。全省流域面积在 300 km^2 以上的河流达 435 条, 流量在 0.5 m^3/s 以上的河流共 217 条。中华民族的摇篮黄河、长江及国际河流澜沧江等著名河流均发源于此, 其中黄河在青海出境时的流量占整个黄河总流量的 49.2%, 且青海省为黄河最大水源涵养区, 因此, 黄河上游流量对整个黄河的流量大小起着举足轻重的作用。省内年总径流量 622 亿 m^3 , 水力理论蕴藏量共达 2165 余万 kW , 这些水资源和水力资源对青海省乃至全国的经济建设起着至关重要的影响。但是, 近年来由于青海省工农业的迅速发展, 人口的急剧增长, 加之干旱气候对水资源的影响, 使人均水量原本相对丰富的青海, 却出现了水资源供需矛盾, 导致了黄河断流、龙羊峡水库等大中型水库水位持续偏低, 流域生态环境恶化等问题, 严重影响了工农业生产。因此, 研究青海省水资源变化特征, 寻找并分析影响水资源的主要气候因子, 最终揭示水资源减少的气候原因, 对于合理开发和利用水资源, 制定水利水力规划和决策、扼止水资源短缺和改善生态环境等都有着十分重要的作用。

2 资料与计算方法

2.1 资料

本文选取了青海省地表水资源, 即黄河上游(唐乃亥水文站)、湟水(民和水文

站)、格尔木河(格尔木水文站)、诺木洪河(诺木洪水文站)隆务河(隆务河口水文站)等河流 1959~1996 年间 38 年的年平均径流量及黄河上游流域玛多、中心站、达日、大武、玛沁等气象站同一时期的年平均气温、年(月)降水量进行了统计分析。

2.2 计算方法

在分别求取主要河流径流量时间平均值和相应流域气象站气温、降水时空平均值的基础上,计算了各要素的以下统计特征量。

2.2.1 气候趋势和气候倾向率

设某要素序列资料为一个时间序列,可表示为 $X_1, X_2, \dots, X_n$, 它可以用一多项式来表示:

$$\hat{X}(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_p t^p, \quad (1)$$

其中, t 为时间, 单位为 a。

一般说来, 某一要素的气候趋势可用曲线方程、抛物线方程或直线方程来模拟, 其趋势变化率方程可表示为

$$\frac{d\hat{X}(t)}{dt} = a_1. \quad (2)$$

将 $a_1 \times 10$ 称作气候倾向率, 而 a_1 可用最小二乘法或正交多项式确定:

$$\sum_{i=1}^n [X(t) - \hat{X}(t)]^2 = \min \quad (3)$$

2.2.2 年径流量变差系数 C_v

目前, 计算 C_v 值大多是用矩法计算的, 其公式如下:

$$C_v = \sigma_Q / \bar{Q}, \quad (4)$$

$$\sigma_Q = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2 / (n-1)}, \quad (5)$$

(4)、(5)式中 Q_i 为径流量, $\bar{Q}$ 为多年平均径流量。

2.2.3 差积曲线

为了消除年径流量和降水量中 C_v 值的影响, 本文用差积曲线来表示径流量和降水量的多年变化情况, 其纵坐标可表示为 $\sum(K-1)/C_v$, 其中 K 由 $Q_i/\bar{Q}$ 或 $R_i/\bar{R}$ 求得。

2.2.4 径流量峰型度与年丰枯率

在研究青海省地表水资源年内分配时, 本文采用峰型度 α 值和丰枯率 β 值进行分析:

$$\alpha = W_{5-7} / W_{8-10}, \quad (6)$$

式中 W_{5-7} 为每年 5~7 月径流总量, W_{8-10} 为每年 8~10 月径流总量。 α 实质上反映了河流径流总量中季节积雪融水与高山冰雪融水加上雨水量的比值。

$$\beta = W_{5-10} / W_{11-4}, \quad (7)$$

式中 W_{5-10} 为每年 5~10 月径流总量, W_{11-4} 为每年 11~翌年 4 月径流总量。 β 值事

实上是汛期与非汛期径流总量的比值，也是地下水补给量占年径流量比重大小的一种指标。

3 结果分析

3.1 地表水资源变化特征

3.1.1 地表水资源的年际变化

青海省地表水资源即径流量的年际变化不仅与水资源的开发利用有密切的关系，直接影响着供水的保证率和水利、水力工程调蓄的规模，而且与径流量的补给来源密切相关。

3.1.1.1 年径流量变差系数 C_v

一般来说，以季节积雪融水或雨水补给为主的河流，由于径流量补给来源的季节性变化较大，使河流流量存在着较为显著的季节性差异，因此其 C_v 值较大；而高山冰雪融水与雨水混合补给的河流，由于径流量补给来源中高山冰雪融水与雨水在不同时期起到相互补充的作用，反映在径流量中就比较稳定，其 C_v 值便较小。文献[1]认为，高山冰雪融水和雨水混合补给型河流的 C_v 值为 0.12~0.20；以季节积雪融水或雨水补给型河流的 C_v 值为 0.25~0.45。表 1 给出了青海主要河流的 C_v 值。由此可见，格尔木河、诺木洪河等内陆河为高山冰雪融水和雨水混合补给型河流，昆仑山冰川融水和降水是其径流量的主要补给来源；而黄河上游、隆务河等外流河的 C_v 值分布在 0.25~0.45 之间，加之其径流量主要集中在汛期即 5~10 月，因此，两者均为以雨水补给为主的河流。

表 1 青海主要河流 C_v 值

河流	黄河上游	湟水	格尔木河	诺木洪河	隆务河
C_v	0.26	0.30	0.18	0.14	0.40

3.1.1.2 径流量年际变化趋势

为更具代表性，本文主要选取序列较长、资料较完整的黄河上游径流量进行分析。图 1 为黄河上游年径流量距平百分率时间变化曲线。从图 1 可以看出，黄河上游径流量丰枯交替比较频繁，1959~1996 年的 38 年间出现了 4 次丰枯水循环周期，其周期约为

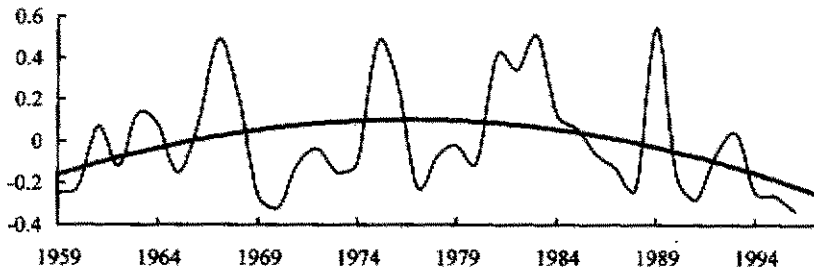


图 1 黄河上游年径流量距平百分率变化曲线及趋势线

10 年。若以径流量距平百分率的绝对值 $\leq 20\%$ 为正常年, 距平百分率 $> 20\%$ 和 $< -20\%$ 分别为丰水年和枯水年, 则 38 年中正常年份有 20 年, 丰水年和枯水年分别为 8 年和 10 年。尽管在 38 年中正常年份居多, 而枯水年份和丰水年份较为接近, 但丰水年份主要集中在 80 年代初期, 出现年份占整个丰水年份的近 40%, 而枯水年份则主要集中在 90 年代, 出现年份占枯水年份的 40%, 且 90 年代中的 7 年中有 6 年出现了负距平。由多项式模拟的径流量趋势线同样说明了这一变化特征, 即 60 年至 80 年代初期径流量呈增多趋势, 在 80 年代初期达到极值后, 开始呈现出减少的趋势, 进入 90 年代后减少趋势更为明显。另外, 通过计算黄河上游径流量的气候倾向率发现, 径流量以每 10 年 $9.8 \text{ m}^3/\text{s}$ 的速率减少。

3.1.2 地表水资源的年内变化

地表水资源即径流量的年内变化主要取决于径流的补给来源。通常情况下, 高山冰雪融水和雨水混合补给型河流的径流量年内变化相对稳定, 而以雨水补给为主的河流年内变化较为不稳定。

3.1.2.1 径流量的年变化特征

图 2 给出了黄河上游 1959~1996 年 38 年中径流量的年内变化曲线。由曲线变化情况可以看出, 黄河上游径流量 1 月份处于最低值, 2~4 月开始缓慢上升, 至 5 月份急剧增加, 7 月份达到极大值, 10 月份后开始明显减少, 直至 12 月份再次出现极小值。也就是说, 黄河上游流量主要集中在汛期, 即 5~10 月份, 其径流量占全年径流量的 76%, 为非汛期径流量的 2 倍多。这种年内变化特征进一步说明了黄河上游为雨水补给为主的河流。

3.1.2.2 径流量峰型度与年丰枯率

图 3 反映出了黄河上游径流量峰型度 α 及年丰枯率 β 的多年变化情况。峰型度除去年际间正常的波动外, 呈现出逐年上升的趋势, 这说明在黄河上游年径流总量中, 季节性融水和高山冰雪融水量的总和占雨水量的比重在逐年增加。而年丰枯率尽管表现为逐年缓慢增加的趋势, 但自 80 年代后期以来其波动幅度进一步加大, 且出现减少趋势, 也就是说汛期径流总量与非汛期径流总量的比值在下降, 汛期径流总量占年径流总量的比重也在下降。

3.2 干旱气候对地表水资源的影响分析

3.2.1 影响地表水资源变化的主要干旱气候因子分析

影响地表水资源及径流量的气候因子可由水量平衡模式来确定:

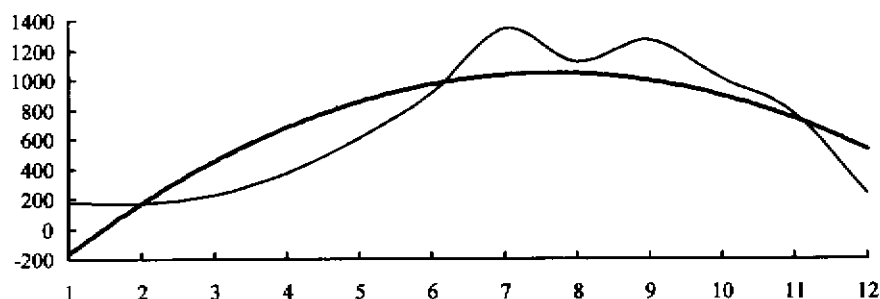


图 2 黄河上游月径流量 (单位: m^3/s) 年内变化曲线及其趋势

$$B = R - E - Q - W, \quad (8)$$

式中 B 为水量平衡, R 为流域平均降水量, E 为流域蒸发量, Q 为河流径流量, W 为土壤蓄水量, 单位均为 mm。根据物质总量收支平衡原理, 当流域处于稳定状态时, 多年水量平衡 $\sum B$ 应该为零, 则径流量可表示为

$$Q = R - E - W, \quad (9)$$

式中, E 、 W 均为气温和降水的函数, 由此可直观地反映出气温和降水是影响径流量的主要气候因子。以下是对气温和降水变化趋势的分析。

3.2.1.1 气温变化趋势分析

图 4 给出了黄河上游流域年平均气温距平年际变化曲线。可以看出, 尽管在长达 38 年的时间序列中, 气温正距平的年份为 18 年, 负距平的年份为 19 年, 距平为零的年份为 1 年, 正负波动基本相当, 但黄河上游流域气温仍呈逐年上升的趋势, 其气候倾向率为 $0.15^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 即以每 10 年 0.15°C 的速率递增。

3.2.1.2 降水变化趋势分析

黄河上游流域年降水量距平百分率的年际变化如图 5 所示。其降水量自 1959 年起开始逐年增多, 至 80 年代初期达到极大值, 而从 80 年代中后期起开始呈现出下降趋势, 进入 90 年代后其下降趋势更为明显。另外, 在 1959~1996 年的 38 年中, 降水距平百分率为负值的年份达 20 年, 为正值的年份为 16 年, 但在 90 年代的 7 年中, 有 5 年出现了负值, 这进一步说明了黄河上游年降水量进入 90 年后减少趋势是显著的。

3.2.2 气温对地表水资源的影响

气温作为热量指标对径流量的主要影响表现在以下几个方面: 一是影响冰川和积雪的消融, 二是影响流域总蒸散量, 三是改变流域高山区降水形态, 四是改变流域下垫面与近地面层空气之间的温差, 从而形成流域小气候。文献[2]通过气候数值模拟推算了

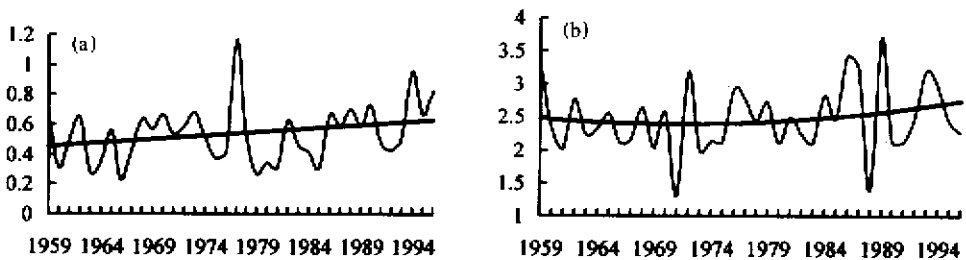


图 3 黄河上游径流量峰型度 (a) 和年丰枯率 (b) 多年变化曲线及其趋势

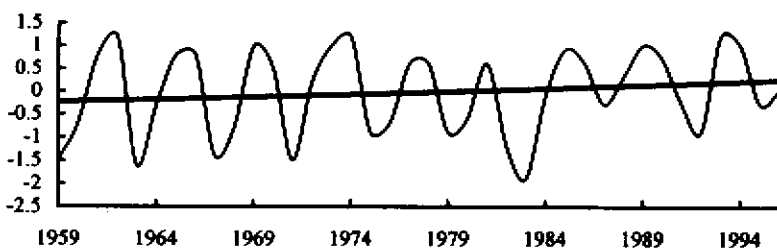


图 4 黄河上游流域年平均气温距平年际变化曲线及其趋势

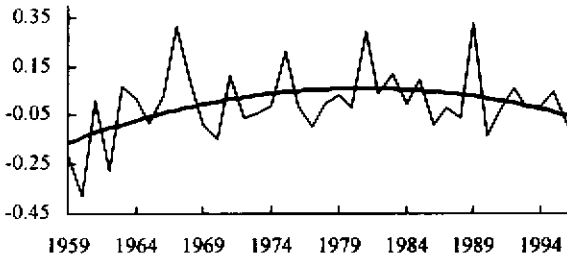


图5 黄河上游流域年降水量距平百分率年际变化曲线及其趋势

年径流量和年降水量的差积曲线。由图可见，径流量和降水量的变化规律非常接近，丰水阶段与降水量偏多的阶段是一致的，枯水阶段与降水量偏少的年份也是一致的。同时，径流量最大的年份也恰好是降水量最多的年份，如1989年径流量为1032 m^3/s ，降水量为677.0 mm，两者均为最大值，而在径流量偏枯的年份，也正是降水量稀少旱象

较为严重的年份，如1969~1970年。从图中还可看出，降水量对径流量的影响存在着一定的持续性，而径流量对降水量的响应有着一定的滞后性。具体地说，在连续几年少雨后出现多雨年，径流量虽有回升，但因受前期影响而回升速率较降水量缓慢；同样，在多雨年份后出现少雨年后，径流量的下降速度同样较降水量迟缓。

另外，通过相关分析发现，年径流量与年降水量、汛期降水量和非汛期降水量的相关系数分别为0.76、0.38、0.03。这说明降水量是影响径流量的直接气候因子，而在汛期降水量和非汛期降水量中前者是决定性因素。图7给出了1959~1996年黄河上游汛期降水量的差积曲线及其趋势。从中可以清楚地看出，自80年代开始汛期径流量呈减

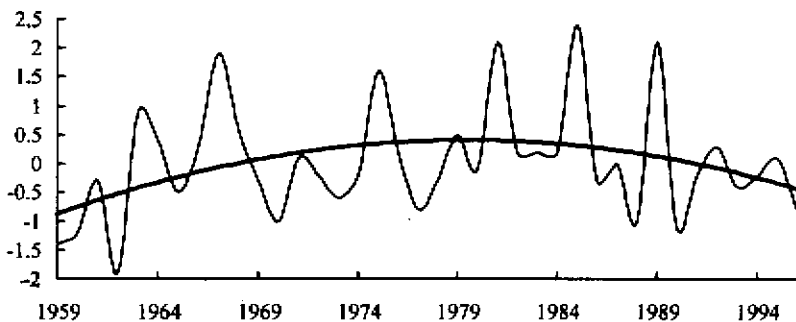


图7 1959~1996年黄河上游汛期降水量的差积曲线及其趋势

气温变化对径流量造成的可能影响：若降水不变，气温升高4℃时，流域径流量可减少15%左右。据此，黄河上游流域气温的逐年升高，对其径流量的减少起到了推波助澜的作用。但黄河上游毕竟是以雨水补给为主的河流，因而径流量的变化主要依赖于降水量的变化，而气温变化的影响相对较小。

3.2.3 降水对地表水资源的影响

图6是1959~1996年间黄河上游

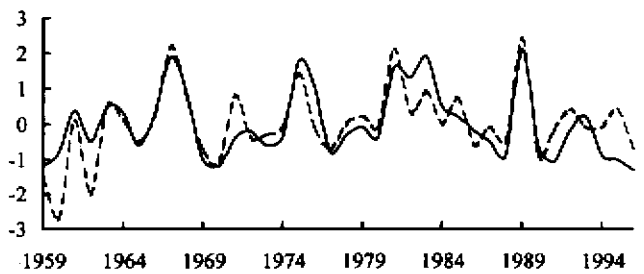


图6 1959~1996年黄河上游年径流量（实线）和年降水量（虚线）差积曲线

少趋势, 90 年代以来减少趋势更为明显, 这一变化趋势是与径流量变化趋势是吻合的。因此, 汛期降水量的减少是造成径流量减少的直接气候原因。

4 结论

(1) 格尔木等内陆河多为高山冰雪融水和雨水混合补给型河流; 黄河上游等外流河多为以雨水补给为主的河流。

(2) 青海地表水资源即径流量呈减少趋势, 气候倾向率为每 10 年 $9.8 \text{ m}^3/\text{s}$, 其减少趋势进入 90 年代后尤为明显。

(3) 青海地表水资源即径流量呈现出明显的年内变化, 年径流总量主要集中在汛期。

(4) 气温和降水是影响青海地表水资源的主要气候因子, 其中气温升高加剧了流域蒸发量的增大和干旱影响, 减少了地表径流量; 而 90 年代以来降水量的减少特别是汛期降水量的减少直接影响到径流量的减少。

参 考 文 献

- 1 汤奇成等, 中国干旱区水文及水资源利用, 北京: 科学出版社, 1992.
- 2 施雅风主编, 气候变化对西北华北水资源的影响, 济南: 山东科学技术出版社, 1992.

Study of Dry Climate Impact on Surface Water Resource in Qinghai

Li Lin, Zhang Guosheng, Wang Qingchun, Shi Xinghe, Dong Lixin and Xu Weixin

(Qinghai Meteorological Bureau, Xining 810001)

Abstract Variation tendency of rivers runoff, drainage area precipitation and temperature of principle rivers in Qinghai have been analyzed by using nearly 38 years data. Dry climate impact on Qinghai surface water resource was mainly discussed. The results show that inland rivers are mainly supplied by mountains snowmelt and precipitation, and outflow rivers are mainly supplied by precipitation. Qinghai surface water resource is tending to decrease and the tendency is more obvious after 1990s. Temperature and precipitation are primary factors to affect Qinghai surface water resource. Temperature rise aggravated evaporation and drought, reduced surface runoff. Precipitation decrease after 1990s, especially during flood areas, reduced surface runoff directly.

Key words: drought; water resource; runoff