

文章编号: 1000-0585(2000)03-0234-09

# 人为季节性河流的初步研究

许炯心

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘要:** 由于人类引水量的激增, 我国北方的一些天然常流河频繁断流, 已经成为季节性河流。文中提出了人为季节河的概念, 在分析天然常流河与天然季节河的形成条件的基础上, 查明了人为季节河形成的敏感带和在这种敏感带中, 常流河向季节河转化的条件。

**关键词:** 河流管理; 河流分类; 人为季节河; 人为季节河敏感带

**中图分类号:** p343.1 **文献标识码:** A

## 1 问题的提出

自20世纪90年代以来, 黄河下游河道断流频繁发生, 一年中断流天数最长达到226天(1997年), 断流河道的长度最长超过700 km, 引起了全国科学界和公众的广泛关注。除1960年三门峡水库大坝截流时曾有过短暂断流外, 黄河下游在历史上从未发生过断流。自1972年以来, 断流开始发生, 而且日益频繁, 断流河段不断上延, 正在向季节性河流转化。实际上, 华北平原和黄土高原的很多常流性河流, 自从50年代末、60年代初修建水库以来, 就频繁地发生断流, 如海河干流和海河水系的主要支流如永定河、滹沱河等, 一年中断流时间达到300天左右, 仅在汛期水库来水时河道才暂时恢复过流。这说明, 这些河流在60年代中期以来就已经演变为季节性河流。

在河流分类上, 可以将所有天然河流分为常流河与季节河。前者是指河道中具有永久性水流即常年维持一定流量的河流, 后者则是指一年中某一季节或一个较长的时间中干涸无水的河流。很显然, 前面所提到的黄河下游、永定河等, 在天然情况下应属于常流性河流, 只是在人类活动的强烈影响下, 正在或已经演变成成为季节性河流。为了与天然状况下的季节性河流相区分, 我们将这一类河流称为人为季节性河流, 它是近代以来在人类活动的作用下出现的一种新类型。对人为季节性河流的成因和演变特性进行研究, 不仅具有重要的理论意义, 而且也具有重要的工程意义。

## 2 常流河与季节河的形成条件

为了阐明人为季节河的成因, 有必要首先对天然条件下的常流河和季节河的形成条件

收稿日期: 1999-12-22; 修订日期: 2000-04-10

基金项目: 中国科学院资源与生态环境研究重点项目资助(KZ952-S1-207), 国家重点基础研究发展规划项目资助(G19990436)

作者简介: 许炯心(1948-), 男, 四川绵阳人, 研究员, 博士生导师。从事河流地貌研究工作, 共发表论文100余篇, 出版专著4部(含合著)。E-mail: xujxin@mx.cei.gov.cn

进行讨论。一般而言,天然常流河的形成必须满足两个基本条件:

第一,在给定的气候条件下,流域面积要大于某一临界值,使所接受的大气降水转化为径流之后能保证河道全年维持一定的水流;

第二,河道要有足够的切割深度,能够下切到地下水位以下,这样,在非降雨季节中才能得到地下水的补给,因而维持最低限度的流量。

实际上,上述两个条件是互相联系的。一般而言流域面积较大的河流,其切割深度也较大,因而得到地下水补给的可能性也越大。因此,较大的河流往往是常流河;即使在降雨极为丰沛的地区,小流域在非雨季也常常发生断流。因此,本文中对于常流河和季节河的讨论,只涉及流域面积足够大的河流,而不包括不足以形成天然常流河的小流域。

2.1 流域尺度的影响

一般而言,在湿润地区,形成常流河的流域面积临界值要大于半干旱区。目前还缺乏足够的资料来对此作充分的论证,但我们可以通过不同气候带典型流域水文特性的比较,来得到某些初步的概念。

以多年平均最小月流量作为指标,对于某一河流而言,若此值等于零或接近于零,则认为已属于季节性河流。设有水文站的河流,一般均为较大的河流,多为常流河,但我们可以通过外推的方法,来确定上述流域面积临界值。

我们以黄河支流无定河代表半干旱区的河流,以岷江的支流青衣江来代表中亚热带湿润区的河流,以珠江的支流东江来代表南亚热带湿润区的河流。对于每一条河流,我们都以该流域干支流 1970 年以前的资料为基础,点绘了多年平均最小月流量与流域面积的关系(图 1a, b, c)。之所以采用 1970 年以前的资料,是为了尽可能减小人类活动对上述关系的影响。

从图中可以看到,在半对数坐标中,3 条河流的关系都可以概化为两条斜率不同的直线,左侧直线的斜率小于右侧。左侧直线外延后,与横坐标轴有一交点,交点处的最小月流量值为零。与之对应的流域面积,即可以大致反映常流河与季节河之间的分界点。

从图 1 中可以大致估算出,对于无定河而言,上述分界点的流域面积为  $600\text{ km}^2$ ,对于青衣江和东江,则分别为  $180\text{ km}^2$  和  $150\text{ km}^2$ 。这表明,形成常流河所需要的流域面积临界值,在

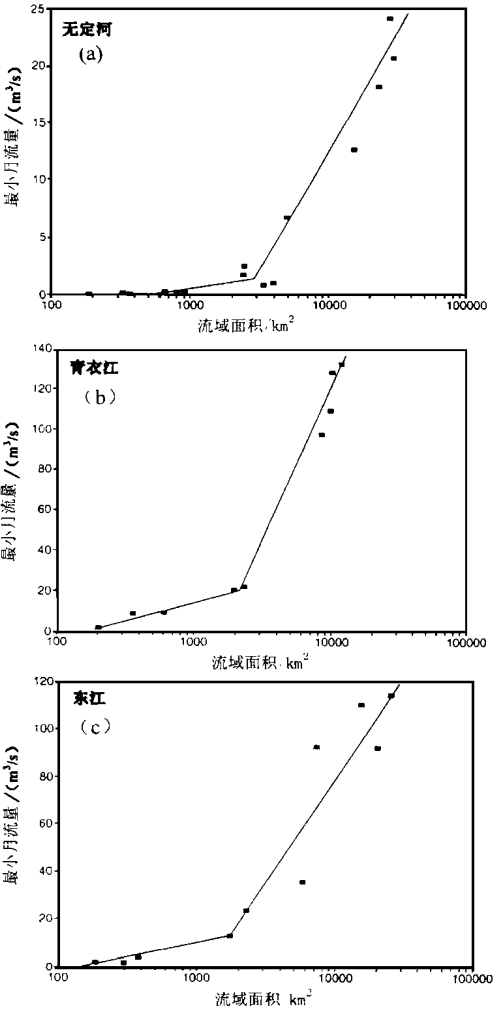


图 1 多年平均最小月流量与流域面积的关系  
Fig. 1 Relation between mean annual minimum monthly discharge and drainage area  
(a) 无定河 (b) 青衣江 (c) 东江  
(a) Wudinghe River (b) Qingyijiang River (c) Dongjiang River

半干旱区要比湿润区大得多。

2.2 地形的影响

流域地形可以用坡度、沟谷密度和切割深度来表示。切割深度越大，越容易到达地下水水位以下，从而在非雨季得到地下的补给，这对常流河的形成是十分有利的。坡度和沟谷密度的影响则是间接的。坡度越大，沟谷密度越大，则暴雨期间汇流越快，洪水径流在年径流中的比重越大。入渗并向地下水补给水量则相对较少，因而枯水径流所占比例较小，使得枯季发生断流的可能性增大。

这里需要特别指出的是地上河的影响。与山区的深切河道相比较，冲积宽谷或平原中的地上河则位于另一个极端。由于河床不断淤高，河床最深点逐渐脱离潜水面，二者间的距离随河床的淤高而不断加大，最终可以使河流在枯季中完全得不到当地地下水的补给。半干旱区的一些多泥沙河流，流出山区进入平原后，往往成为季节性河流，其原因就在于此。只有一些流域面积特别大的河流，枯季中来自山区深切河道的基流能够抵销平原沙质河床的沿程渗漏而有余，才能保持为常流河。

2.3 气候条件的影响

气候条件对常流河与季节河的形成，影响极大，有时候起到决定性的作用。一般而言，干旱区的河流均为时令河（季节性河流），半干旱区的较大河流可以为常流河，较小河流则为季节性河。半湿润区和湿润区的河流，除了某些特殊情况以外，只要流域面积足够大，皆为常流河。以我国不同自然带数百个流域的资料为基础，我们在图2中点绘了多年平均流量与流域面积之间的关系，并以不同的符号代表不同自然带的河流。图中表明，不同自然带河流的点据形成互相平行的若干条带，从上而下分别为湿润区、半湿润区、半干旱区和干旱区的河流。由于我国干旱区河流多为冰川融水补给，故其年均流量往往接近流域面积相同的半湿润区河流，故这两个地区的点子有一定程度的混杂。研究表明，在流域面积足够大时，位于湿润区的河流均为常流河；半干旱区既有季节河又有常流河；干旱区内均为

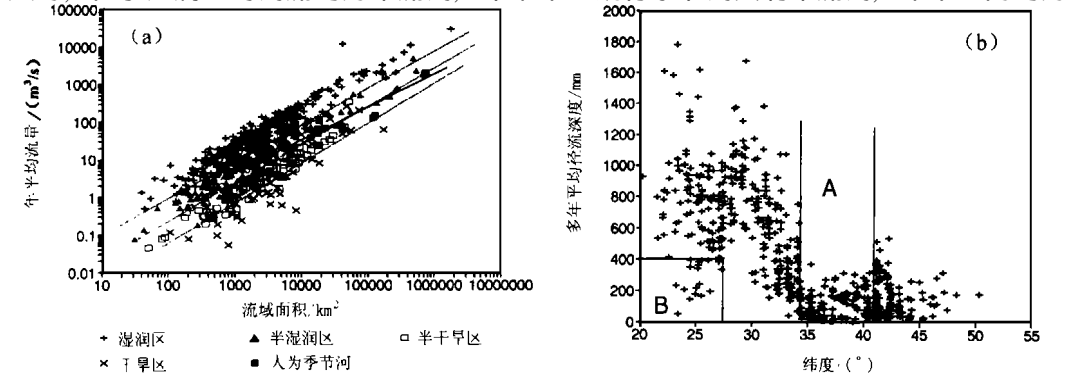


图2 我国河流的径流特征与不同自然带的关系

Fig. 2 Runoff characteristics of Chinese rivers in relation with different natural zones

(a) 我国不同自然带河流年均流量与流域面积之间的关系（虚线为不同自然带之间的界限，实线为人为季节河拟合直线） (b) 我国东部季风影响区不同自然带河流多年平均径流深随纬度的变化

(a) Relation between mean annual discharge and drainage area. Dotted lines are the boundary between natural zones; the solid line is the fitted line for man-induced seasonal rivers (b) Mean annual runoff varying with latitude, based rivers in the monsoon influenced eastern China

季节河。值得注意的是, 目前受到人们关注的人为季节性河流均出现在半湿润区和半干旱区中, 而不出现在湿润区中。在下文中还将对此作进一步的讨论。

2.4 植被的影响

茂密的森林植被, 往往与常流河相联系; 而季节性河流分布的地区, 往往呈现出植被稀疏甚至地表裸露的荒凉景观。然而, 这主要是由于森林植被和常流性河流都是湿润气候的产物, 故在宏观空间范围中, 二者之间并没有成因联系。

但是, 在次一级的空间尺度上, 即在同一气候带中, 植被对常流河与季节河的形成仍有一定的影响。较好的植被覆盖条件, 有利于降雨入渗并转化为地下水, 使得基流在年径流中的比重增大, 故枯水季节中河道不易断流, 有利于常流河的形成。如果森林遭到砍伐, 则洪水流量会显著增大而枯水流量减小, 天然常流河便会向人为季节河转化。因森林植被破坏而导致水源枯竭, 河道断流, 这方面的例子在国内外是屡见不鲜的。

2.5 岩性的影响

岩性是影响径流形成过程的重要因子。透水性岩石分布的地区, 有利于降雨入渗, 增大枯水径流, 故有利于常流河的发育。然而, 如果地表岩石破碎, 大尺度裂隙发育, 且沿裂隙发生溶蚀 (如石灰岩地区), 形成水流下泄的通道, 则地下水位往往很低。河道难以下切到地下水面以下, 故多发育为季节性河流。我们的研究表明, 我国季节性河流有两个集中出现的地区, 一是北方半干旱气候带, 一是西南喀斯特地区 (见后文), 后者便可以用上述成因来解释。

3 人为季节河的形成因素

人为季节河形成的因素可以分为两类, 一是特定的自然地理背景, 二是不合理的人类活动, 二者缺一不可。兹分别讨论如下。

3.1 人为季节河形成的敏感带

研究表明, 人为季节河并不是任何地理背景下都能形成, 其分布常常表现出一定的地带性或地域性。自然地理因子的特定组合, 常常使得某些地带最容易出现人为季节河; 这些地带便可以称之为人为季节河形成的敏感带。人为季节河流形成的敏感带常常位于天然常流河与天然季节河的过渡地带。根据上文中对于天然常流河与天然季节性形成条件的讨论, 我们可以进一步提出人为季节河敏感带的主要影响因素如下。

3.1.1 半干旱或由半干旱向半湿润过渡的气候带 我们在图 2a 中叠加了目前已经形成的主要的人为季节河的年均流量与流域面积的关系。可以看见, 所有这些人季节河都分布在半干旱和半干旱向半湿润过渡的气候带内。

以我国东部季风影响区不同自然带近 700 个中小流域的资料为基础, 图 2b 中点绘了多年平均径流深随纬度的变化。可以看到, 在北纬 34 至 42 之间, 表现为一个径流深的低值区 (A 区), 这里也是河道断流灾害频繁发生的地带, 可以认为是人为季节河形成的敏感带。这一地带即是华北平原和黄土高原, 目前的主要人为季节河都出现在这里。还可以看到, 在低纬度地区, 也出现了一个径流的低值区 (B 区), 这便是位于我国西南喀斯特地区的天然季节河高发区, 上文在讨论岩性因子的作用时已作过论述。

3.1.2 平原地上河发育带 在我国华北平原, 存在着一个地上河发育带。这一地带中的

大多数河流如黄河下游、永定河下游、滹沱河下游和漳河下游等，均为著名的地上河。如黄河下游河床高出大堤以外的地带 3 ~ 5 m，最高达 10 m，永定河河床也高出堤外地面 3 ~ 5 m。这主要是由于，这些河流的上中游流域位于黄土高原，是我国也是世界上最著名的侵蚀产沙高值带<sup>[1]</sup>，加以位于半干旱区，故径流深较小，形成沙多水少、含沙量很高的水文特性。同时，由于河道被大堤所束范，泥沙只能堆积在两道大堤之间，故下游河床迅速淤高而成为地上河。我们曾研究过黄河下游夹河滩站的月平均水位与该站附近测井的地下水位月平均值的关系<sup>[2]</sup>。结果表明，河水位在全年时间中都高于地下水位。永定河等其他河流的情况也是类似的。这说明，河床高悬在地下水面以上，在枯季中无法得到地下水的补给。不仅如此，由于河水面在全年中都高于地下水位，黄河下游河道通过渗漏对地下水的补给作用是十分强烈的。在更大的空间尺度上，地上河还决定了地下水面线的空间分布。我们还研究了黄河到卫河之间的地下水位随距黄河北大堤距离的变化<sup>[2]</sup>，结果显示，地下水面线从黄河大堤以下，以 0.475‰ 的比降向卫河倾斜，意味着地下水将从黄河河床以下流向卫河。为了查明由黄河通过侧向渗漏补给道海河水系中的水量，1959 年有关部门曾在山东位山豆腐窝进行过观测。结果表明，高水季节侧渗率为 1.29 m / ( m · day )，低水季节为 0.59 m / ( m · day )。由观测结果推算出，每年通过侧渗由黄河流入海河水系的水量达 8 300 万 m<sup>3</sup><sup>[2]</sup>。

很显然，如果枯水季节中来自上中游的水量小于河床的渗漏量和人类引水量，就会发生断流。如果断流频繁地或持续地发生，则原来的天然常流河可以转化为季节河。

3.1.3 水-土耦合失衡带 在一定的地域内，可获得的水资源量与耕地资源量之间的匹配关系，可以称为水土耦合关系。土地资源主要取决于地形条件和土壤发育特性，而水资源则主要取决于气候条件。我国的大平原多分布在北方，如华北平原和东北平原，故耕地集中在北方；而年降水量由南向北递减，故北方河流的年径流深大大低于南方河流。因此，无论是单位面积可获得的雨水量还是径流量，北方地区都少于南方地区，由此形成了北方水土耦合关系失衡带。我们在图 3 中点绘我国各省区单位面积耕地的雨水量和当地径流量随纬度的变化。图中显示，上述两个指标值在北纬 34 至 42 之间达到最小值，这一低值带主要位于华北平原。随着纬度的增大，进入东北以后，单位面积的可获得水量略有回升。很显然，与上述低值区对应的这一水土耦合失衡带便成为人为季节性河流形成的敏感带。

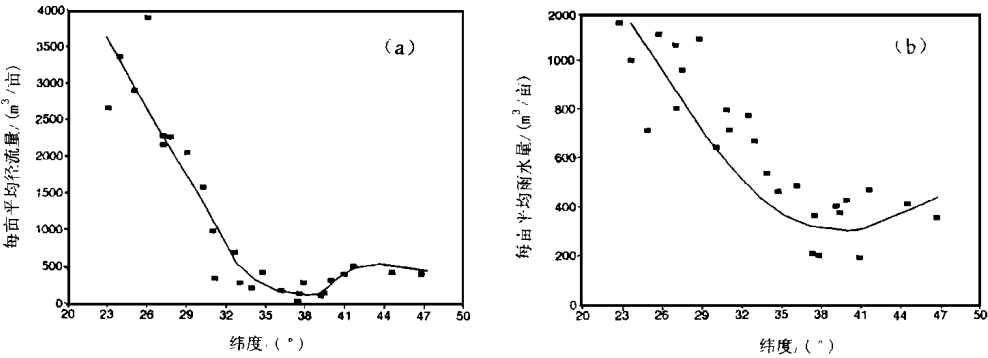


图 3 我国各省区单位面积耕地的雨水量 (a) 和当地径流量 (b) 随纬度的变化

Fig.3 Unit area rain water (a) and runoff (b) varying with latitude, based on the data of all provinces of China

3. 2 人类活动对人为季节河形成的影响

3. 2. 1 人类引水的影响 在某种意义上说, 人为季节河的形成, 是在上述敏感带中, 人类为了生产和生活的需要, 长期大量引用河流的枯水径流所导致的结果。在人类社会进入近代以前, 华北平原和黄土高原的主要河流均为常流河, 只是在连续的特大干旱年份中, 才偶然有断流现象发生。20 世纪 60 年代到 70 年代以来, 随着国民经济的发展, 这一地区的水资源供需矛盾日益尖锐。八十年代以后, 进入经济快速发展时期, 人类引用河川径流量占总径流量的比重急剧增大, 导致了这一地区河道断流现象的普遍发生。

以黄河下游资料为基础, 我们在图 4a 中点绘了断流天数、人类引用河川径流量占天然径流量百分比随时间的变化。可以看到, 两者都随着时间的推移而呈增大的趋势, 说明二者之间有着成因上的联系。图 4b 点绘的永定河断流天数与官厅水库下泄径流量随时间的变化表明, 随着官厅水库下泄水量的减少, 断流天数迅速增加。

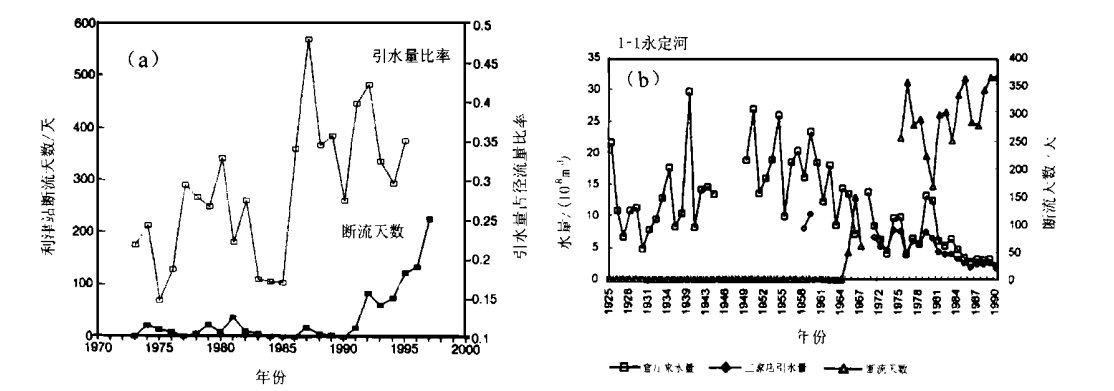


图 4 断流天数与人类引用河川径流量的关系 (永定河曲线据文献 [ 3])

Fig. 4 Temporal variation in days of dry-up and water diversion by man

(a) 黄河下游 (b) 永定河

(a) The lower Yellow River (b) The Yongdinghe River

还应该指出的是, 海河水系的若干支流已经转化为人为季节河, 而黄河下游正在向人为季节河转化, 其成因除了人类大量引水以外, 还与近年来处于气候偏旱周期, 天然来水量偏少有关。据统计, 1990~1995 年间, 花园口以上流域平均降水量为 388 mm, 为多年平均值的 89%; 其中主要产水渠兰州以上流域平均降水量位 358 mm, 为多年平均值的 86%。然而, 与人类活动的影响相比, 气候因子的作用是次一级的。资料的分析表明, 进入 90 年代以来, 黄河流域的天然径流量为 467 亿  $m^3$ , 比多年平均值偏少约 19.4%。但是, 在整个 80 年代中, 进入下游的天然径流量为 602 亿  $m^3$ , 比多年平均值偏大约 3.8%, 仍然发生了严重的断流<sup>[4]</sup>。在有水文观测资料以来, 1922~1932 年间, 曾发生过连续 11 年的枯水时期, 其平均年径流量比多年平均值偏少 30%<sup>[5]</sup>。由于当时生产发展程度不高, 没有大量引水, 黄河下游并没有发生过断流。由此可见, 人类大量引水是我国北方河流向季节性河流转化的根本原因。

3. 2. 2 人类破坏植被的影响 上文中对于植被的作用已进行过讨论。森林砍伐后对河流水文特性有很大的影响。一方面, 在洪峰流量增大的同时, 枯水流量将显著减少; 另一方面, 由于流域侵蚀加剧, 进入河道中的泥沙会增多, 这将导致下游宽谷或平原河道的强烈

淤高。在人为季节河形成的敏感带中, 这两方面的作用都可能导致由常流河向季节河的转化。

图 5 中以位于半湿润区的黄河上游支流湟水及其支流大通河和位于湿润区的长江上游支流岷江为例, 点绘了历年最小流量随时间的变化。可以看到, 从 50 年代末开始, 湟水和岷江的枯水流量都迅速减小。

50 年代后期是我国森林遭到破坏的时期, 1958 年的“大炼钢铁”运动, 使不少地区的森林遭到极大的破坏。从图 5 中可以看到, 1958 年以前, 岷江的枯水流量无趋势性的变化; 1958 年以后则持续减小。对于位于湿润区的大河(如岷江), 这种减小还不致于造成河道断流; 但对于半湿润向半干旱过渡区的中等河流而言, 森林砍伐后枯水流量可能大减, 再加上人类引水, 则可能减小到零, 因而导致断流的发生。湟水和大通河的上游地区位于祁连山地, 森林较为茂密。图 5b 和图 5c 表明, 50 年代末森林遭到破坏以后, 这两条河的枯水流量都迅速减小。湟水枯水流量的减小还与人类引水有关, 这一因素的叠加使得湟水在 70 年代中期以来即接近于断流。

在森林遭到严重破坏的地区, 河流含沙量显著增大, 河道发生淤积是十分普遍的现象。如果河道的淤积抬高, 使得原来河底位于地下水面以下的河床, 逐渐脱离地下水面, 在枯季上游无来水的情况下, 就可能发生断流。同时强烈淤积的河床, 河道底部常被厚层的砂砾层所填充, 透水性很强。在本河段得不到地下水补给、上游来水又很少的枯水季节, 涓涓细流可能会完全渗入砂砾层中, 成为潜流, 使河床干涸无水, 发生断流。这种情况如果继续发展便会使常流河转化为季节河。

4 结 论

在不合理的人类活动的影响下, 我国北方的一些天然常流河, 频繁断流, 已经成为季节性河流。这些河流不同于天然情况下的季节性河流, 可称之为人为季节河。目前对人为季节河尚无一定的标准, 我们建议, 主要由人类活动(如大量引水)所导致的、一年中连续断流时间超过一个季度(90 天)、断流长度占下游河长三分之一以上的河流, 可称为人为

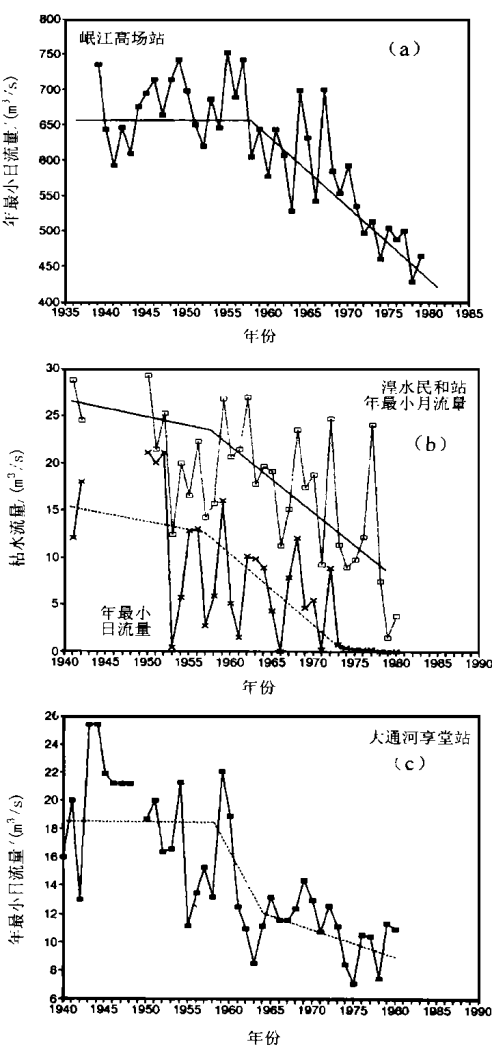


图 5 岷江 (a)、湟水 (b) 和大通河 (c) 的枯水流量随时间的变化

Fig. 5 The temporal variation of yearly minimum daily discharge in Minjiang River (a), Huangshui River (b) and Datonghe River (c)

季节河。

自然地理因子的特定组合, 常常使得某些地带最容易出现人为季节河; 这些地带便可以称之为人为季节河形成的敏感带。本研究中提出了 3 个人为季节河敏感带, 即半干旱或由半干旱向半湿润过渡的气候带、平原地上河发育带、水- 土耦合失衡带。在某种意义上说, 人为季节河的形成, 是在上述敏感带中, 人类为了生产和生活的需要, 长期大量引用河流的枯水径流所导致的结果。在人为季节河敏感带中, 人类对森林的破坏也可能导致由常流河向季节河的转化。我国目前形成的人为季节性河流, 如海河水系的干支流、黄河下游以及黄河的若干支流, 均位于上述敏感带中。

参考文献:

[ 1 ] 许炯心. 我国流域侵蚀产沙的地带性特征[ J ]. 科学通报, 1994, 39(11): 1019-1022

[ 2 ] Xu Jiongxin. A study of long term environmental effects of river regulation on the Yellow river of China in historical perspective[ J ]. *Geograf isica Annaler*, 1993, 75A (3): 61-72.

[ 3 ] 尤联元. 华北平原河流季节化趋势及原因[ A ]. 见: 中国地理学会地貌与第四纪专业委员会 编. 地貌 · 环境 · 发展( 1999 年崂山岩地貌会议论文集)[ C ]. 中国环境科学出版社, 1999.143-145.

[ 4 ] 王玲, 林银平, 王建中等. 黄河下游断流成因分析[ J ]. 人民黄河, 1997, 19( 10): 13-17.

[ 5 ] 黄河下游断流成因及对策研究组. 黄河下游断流成因及对策研究[ J ]. 人民黄河, 1997, 19( 10): 1-9.

# A preliminary study of man-induced seasonal rivers: examples from China

XU Jiong-xin

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract:** Natural rivers may be classified into two categories, natural permanent rivers and natural seasonal rivers. However, due to strong human activities, some permanent rivers in north China have been changed into seasonal rivers, and the most striking examples are the lower Yellow River and other major rivers in North China Plain. These rivers can be regarded as a new category of rivers, and are termed “man-induced seasonal river ” in the present study.

To elucidate the formation of man-induced seasonal rivers, this paper first discusses the conditions for the formation of natural permanent and seasonal rivers, including the influences of climate, topography, vegetation and lithology.

The factors responsible for the formation of man-induced seasonal rivers can be divided into two classes; the first are specific natural settings and the second are unreasonable human activities. In zones with some specific combinations of natural factors, the transformation from permanent to man-induced seasonal rivers is most likely to occur. These zones can be regarded as susceptible zones of man-induced seasonal rivers. In the present study, three susceptible zones of man-induced seasonal rivers have been



identified, i. e., the transitional zone from arid to semi-arid climates, the zone of “hanging river ” development, and the zone with unbalanced land-water coupling. To a great degree, the formation of man-induced seasonal rivers in these susceptible zones is the result of the excessive water diversion by man for irrigation and other water demands during low-water seasons. In these susceptible zones, deforestation may also lead to the transformation from permanent to seasonal rivers. This study shows that the major man-induced seasonal rivers in Chian such as the lower Yellow River and Haihe River and some of their tributaries are all located in these susceptible zones.

**Key words:** river management; classification of rivers; man-induced seasonal river; susceptible zone of man-induced seasonal rivers

## 地理科学与资源研究所参加三江源科学考察取得可喜成果

由国家林业局、青海省人民政府等单位主办的三江源科学考察于今年6月16日至7月17日圆满结束。地理科学与资源研究所陶宝祥、董锁成、周长进、王国四人参加了野外科学考察，另有三人在北京室内参与了三江源地区地理信息系统、遥感制图与三维动态显示的研究工作。考察队对三江源地区八个生态环境问题进行了野外考察。它们是：① 水资源与水环境；② 草场退化与畜牧业；③ 部分地区沙化与区域生态环境；④ 鼠害与草场再生产；⑤ 珍稀野生动物盗猎与生物多样性保护；⑥ 资源无序开发与生态环境破坏；⑦ 旅游资源开发与生态环境保护；⑧ 社会经济发展滞后与资源开发和生态环境保护等。

目前考察队正在鉴定标本、分析样品、整理资料、编写考察报告。研究人员提出的建立“三江源自然保护区的建议”得到了国家林业局和青海省人民政府的支持与肯定。

青海省人民政府已批准建立三江源自然保护区。江泽民总书记于7月24日亲笔为三江源自然保护区题词。青海省人民政府于8月19日在青海省玉树州，长江上游的通天河畔，举行了三江源自然保护区成立暨揭牌仪式。中央电视台对大会情况进行了直播报导。

(周立)