

# 树木年轮水文学研究与应用

李江风 等 编著

科学出版社

国家科学技术著作出版基金资助出版

# 树木年轮水文学研究与应用

李江风 袁玉江 由希尧 等 编著

科学出版社

2000

## 内 容 简 介

本书论述了树木年轮作为一种信息载体,运用于水文学研究的原理、方法和应用途径。主要内容包括:树木年轮水文学的发展与社会经济的关系;树木年轮水文学基础理论与分析方法;径流量、水资源的重建;多种水文要素的重建与分析;以新疆为例,介绍新疆不同地区径流序列的重建和应用;附录:乌鲁木齐河与伊犁河年表。

本书不仅提供了树木年轮水文学研究的理论基础,而且也提供了该项研究的步骤、方法与实例,是一部具有创新性的水文学研究著作。可供水文学、水文实验、水资源等方面的研究人员,以及环境、地理、气象生态学科的有关人员参考、使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

树木年轮水文学研究与应用/李江风等编著. - 北京:科学出版社,2000.1

ISBN 7-03-007792-X

I. 树… II. 李… III. 年轮-应用-水文分析 IV. P333

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 32121 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号  
邮政编码:100717

新蕾印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

2000年1月第一版 开本:787×1092 1/16  
2000年1月第一次印刷 印张:20 1/4  
印数:1—800 字数:462 000

定价:55.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

# 《树木年轮水文学研究与应用》编写者名单

(按姓氏笔画为序)

马慧民 由希尧 安鸿志 李江风  
张建岗 周文盛 胡莲莲 袁玉江  
龚 原 章曙明 蒙古力别克·俄布拉依汗

# 序 言

树木年轮,不仅是时间尺度的记录,更是科学信息的宝库,在每一轮迹中,都蕴藏着自然环境以至人为活动影响的信息链,浓缩在每一年轮生殖细胞排列组合中。对这种自然的奥秘,年轮学科工作者,通过现代的科学手段和睿智,经过艰巨的探索研究,明悟了它的内涵,作为重建环境的依据。《树木年轮水文学研究与应用》一书,就是新疆的年轮科学家李江风先生等,经过一个实践历程,得出了年轮与环境相关的系统的规律性认识,以提供社会和经济建设的应用。

现代水文观测记录和气象观测记录相似,具有时间较短,不足以揭示千百年来比较复杂的气象和水文变化的实际,它限制了水文资料统计分析的效果,同时也阻碍了统计学在使用于水文预测预报上产生的精度。水文序列短,其有限长度的随机抽样,必然受到概率分布的限制。

科技工作者,为弥补呈现在面前的这一难题,采用树木年轮的手段,将树轮中逐年储存的气候和水文信息量,进行了提取,用于恢复历史时期的连续过程,以形成数百年乃至数千年的长序列,使短期的抽样更加真实,同时还相应地反映出长期水文变化的特征,减少了序列中不稳定性因素所造成的误差。

树木年轮气候学、树木年轮水文学等,研究工作适于在干旱、半干旱地区,甚至半湿润地区进行,它反映气候、水文某些要素最为敏感,储存信息量最大,生物——树木生理的限制因子,受气候影响均一性较强。美国第一代年轮气候学研究者是天文学家道格拉斯(A. E. Douglass),最初对太阳黑子活动和降水关系产生兴趣,联想到树木生长与降水多少有关,于是,在本世纪初,他致力于美国西南部干旱区年轮研究,揭示了亚利桑那州地区年轮的生长与降水量有良好关系,并建立了采集样本和定年工作。经过几代人的研究,年轮科学有很大的发展,年轮研究者已从树木年轮中有效的提取径流量和其它水文要素信息,这给水文资料欠缺的地区的科学家和工程师以很大的帮助。

我国年轮研究工作开展较晚,其中新疆的年轮水文研究工作始于80年代初期。参加研究单位有:新疆气象科学研究所、新疆有关地州气象局、新疆水文水资源局、新疆有关地州水文水资源勘测大队、中国气象局气象研究院、中国科学院地理研究所、新疆林业厅所属林场等,新疆维吾尔自治区科委和有关地州科委给予大力支持。使年轮水文学不仅在山区恢复了径流量,同时还在流动的塔克拉玛干沙漠中的塔里木河流域恢复了径流量,成功地研究了“利用树木年轮重建额尔齐斯河年径流量”、“利用年轮年表重建塔里木河中游年径流量”。这些工作在我国还是首次。在年轮与湖泊水位研究中,作出“乌伦古湖水位下降与乌伦古河水量变化分析”,这是年轮在湖泊学中的一个开拓性的工作。在此期间,还进行了“伊犁河径流深度场的重建”,该项工作,在我国具有首创性,从西陲新疆开始将会在西北、西南、华北、东北广大地区推开。

本书章节内容,具有丰富的专业基础知识和应用实践经验,除部分基础理论借鉴了富

利茨(H. C. Frit)著的《年轮与气候》、斯托克顿(C. W. Stockten)著的《用树木年轮序列延长径流量记载年代》两本书外,其余均是作者多年在沙漠地区、高山地带所作的实际工作。在具体的实践工作中,形成了新的思想、观点、方法和结论,其中主要是径流深度场重建方法、历史时期水资源重建。这些工作,使年轮水文学向前发展了一步。

年轮研究工作,由于采样的艰巨性,还阻抑着年轮学的进展,不过这门科学在世界上能得到发展,主要在于它本身的实用价值,除气候、水文序列的重建与预测外,在其它学科中也逐渐得到应用。例如环境、污染、森林更新、灾害、冰川进退、考古断年、地震、雪崩、医疗、地方病、农牧业产量预测等,都有着广阔的发展前景。我深信,《树木年轮水文学研究与应用》一书的问世,将促进年轮学、年轮气候学、年轮水文学进一步发展。攀登未有尽期,在此世纪之交,年轮学理论水平的提高和应用上的广开门路,将为国家经济建设、社会生产力的发展,作出更大的贡献。

施雅风

1998年6月14日于南京

# 前 言

在我国,树木年轮气候学研究,早在本世纪 30 年代中期就已开展了工作,在气象学家、地理学家竺可桢教授的倡导下,由郑子政等人在北京地区做了一些工作。70 年代,在张家诚研究员的倡导下,我国气候变化研究工作有了较大的发展。而年轮水文学的研究却起步较晚。世界上第一个试图确定树木年轮与水文关系的是荷兰人卡普坦(Kapteyn),大量集中地把树木年轮应用于解决水文问题的是哈德曼(Hardman)和瑞尔(Reil)。在美国,费林(Fering)、马特拉斯(Matalas)、雅各布斯(Jacobs)、朱利安(Julian)和弗利茨(Fritts),提出用相关法延长水文气象序列。在 70 年代末期,美国亚利桑那大学年轮实验室斯托克顿(Stockton)在亚利桑那大学出版社出版了《用树木年轮系列延长径流量记载年代》一书。新疆年轮气候工作者在该书的基础上,于 80 年代初期,在我国率先进行了用树木年轮重建水文序列及估算降水与河水流量的关系等工作。工作中得到了国际年轮库主席弗利茨及斯托克顿、莉萨(Lisa)、张家诚、张丕远、郑斯中、吴祥定、林振耀、张先恭、徐瑞珍、周聿超、汤奇成、邵雪梅等国内外专家的指导、帮助,他们还提供了大量的有关研究资料,为我们的年轮水文学研究工作在国内处于领先地位作出了重要贡献。

新疆年轮水文学研究的开展,一方面是因为新疆地处干旱、半干旱地区,为进行该工作提供了得天独厚的条件,另一方面是该区水文资料短缺,迫切需要这方面的工作,以利于水文长期变化规律的研究及其未来变化趋势的预测。

80 年代初,我们的科研论文《利用树木年轮重建额尔齐斯河年径流量》发表后,不仅受到新疆水文总站的重视,还受到冰川、环境等相关学科专家的关注。中国科学院院士、冰川学家施雅风研究员亲自了解及收集该工作的有关信息,对我们鼓励很大。此外,我们还利用年轮进行了“乌伦古湖水位下降与乌伦古河水量变化分析”,在年轮与湖泊水位的研究上做了开拓性的工作。

此后到 1997 年,我们先后做了故乡河、塔里木河、伊犁河及乌鲁木齐河的年轮水文学研究。工作中,不仅借鉴国外年轮水文学研究的新成果,还结合新疆的实际情况进行创新,丰富了年轮气候学、年轮水文学的内容。例如,我们所做的流动沙漠区的年轮采样方法、流沙区年轮和水分的关系、在一个流域从事年轮水文研究的采样布局策略等,填补了我国这方面的空白,在国际上也没见到类似的报道。

在年轮水文学研究中,我们用年轮场重建一个流域的径流深度场,绘制了历史不同丰枯期的地表水资源分布等值线图,分析了历史不同丰枯阶段地表水资源空间分布特征,估算了历史不同丰枯阶段地表水资源的变动幅度等。在伊犁地区,我们曾进行过两次采样,布设 12 个采点,建立了 22 个树轮年表,年表的最大样本达 58 个序列。上述研究成果,从理论上成功地解决了在一个地形复杂、支流较多的谷地流域,用年轮重建地表水资源的方法问题。

另外,我们所做的分析年轮中的洪水信息、从年轮角度指示小冰期流量变化特征等工

作,在我国年轮水文学的发展上,都具有一定的开拓性。

新疆山区有季节性与永久性积雪,一般季节性积雪除山前和平原区外,多存在于森林地区,林区的稳定性积雪一般可持续6~9个月。山区积雪的融化和积累,就像一座天然的固体水库,对平原区的水量起着调节作用。我们曾分析过东天山及阿勒泰地区积雪对年轮生长的作用,说明了在天山东部及阿勒泰山区,雪对年轮生长具有重要的意义。

我们编写本书的目的在于:①我国干旱半干旱地区约占国土面积的2/3,其水文资料均较短,不仅影响水文预报的开展,还限制了干旱、半干旱区水资源的开发利用。②开发一个地区的水资源需要长年代的水文统计资料。在水文统计分析中,常假设所用的水文资料是从无限总体提取的一个随机抽样,每一水文事件出现的概率,受总体概率分布的控制。因此,用年轮重建几百年的水文流量长序列,可以更好地揭示水文资料总体分布特征,有利于更好地满足水文统计分析的需要。③为用年轮资料重建径流量,推估异常水文事件(如持续干旱、特大与特小流量年份等)的发生的年份及强度,分析湖泊水位变化、小冰期流量特征等,提供研究步骤与方法。④目前用于水资源开发利用的水文统计数据,所依据的资料年代较短,对总体的代表性有限,如用于长期规划,会具有一定的风险性,而利用年轮水文学方法,获取长年代的水文序列,有助于减少这种风险。我国正处在工农业大发展的时代,特别是在新疆国民经济发展中,一黑(石油)一白(棉花)具有重要的战略地位,而水资源又与其密切相关。“黑白经济”开发规划所需的水资源的保证程度有多大,欲准确回答,离不开年轮水文学的工作。

年轮水文学的应用范围远不止上述几个方面,如我们已经做过的用年轮研究森林更新布局、重建及预测天山北坡天然牧草产量,都与年轮中的降水信息有关。这些研究,即便是在国外也是鲜为人知的。当然,它的应用范围的扩大还需要在今后的研究工作中不断充实和发展。

本书反映了如下内容:(1)树木年轮水文学的发展与社会经济的关系;(2)树木年轮水文学基础理论和分析方法;(3)径流量、水资源的重建;(4)多种水文要素的重建与分析;(5)新疆不同地区径流序列的重建与应用;(6)附录。为便于读者在工作中应用,本书不仅阐述树木年轮水文学的发展及基础理论,而且还提供了研究的步骤、方法与实例,并对我们过去这方面工作之优缺点及应用价值进行了评述,供读者在工作中借鉴。

该项工作曾得到国内外有关专家的重视,单位领导、政府、科委在经费及工作环境等方面给予了大力支持。新疆自治区科委拨款为我们建立了一座820m<sup>2</sup>的年轮库,到目前为止,它仍是我国唯一的一座年轮库。我们完成的“新疆300~500年水文气候序列的重建与应用”科研成果,荣获1994年度新疆维吾尔自治区科技进步二等奖,1997年度国家科技进步三等奖。对我们的工作给予大力支持的单位有:中国科学院地理研究所,中国气象科学研究院,中国科学院兰州冰川冻土研究所,中国气候中心,陕西省气象局,宁夏自治区气象局,青海省气象局,黑龙江省气象局,云南省气象局,中国科学院沈阳应用生态研究所,新疆维吾尔自治区气象局,新疆维吾尔自治区水文水资源局,新疆维吾尔自治区林业厅,新疆维吾尔自治区国土局,以及新疆气象、水文、林业所属的有关地、州、局等。参加本书撰写的单位有:新疆气象研究所、新疆水文水资源局、新疆伊犁水文水资源勘测大队、新疆阿勒泰水文水资源勘测大队等。对本书给予资助(自筹资金)的有新疆水文水资源局、伊犁水文水资源勘测大队、阿勒泰水文水资源勘测大队三单位,特此致谢。



在本书中,我们总结了15年从事年轮水文研究的经验,供有志于年轮水文学研究的同志参考。书中的谬误,敬望读者批评指正。

李江风 袁玉江 由希尧 张建岗  
1998年11月21日于乌鲁木齐

# 目 录

序言 .....	( i )
前言 .....	(iii)
<b>第一章 绪论</b> .....	( 1 )
第一节 树木年轮水文学研究的意义与目的 .....	( 1 )
第二节 年轮水文学研究的内容与方法 .....	( 5 )
第三节 树木水文学发展简史 .....	(13)
第四节 年轮水文学与年轮气候学的关系 .....	(15)
第五节 年轮水文学与社会经济 .....	(18)
<b>第二章 生物学基础</b> .....	(20)
第一节 树木结构与生长 .....	(20)
第二节 树木的基本生理过程 .....	(40)
第三节 气候对树木生长的影响 .....	(47)
第四节 树木年轮学基本原理 .....	(55)
<b>第三章 年轮标本的采集与年表建立</b> .....	(61)
第一节 野外采样 .....	(61)
第二节 标本的预处理 .....	(73)
第三节 交叉定年 .....	(74)
第四节 年轮的宽度测量 .....	(77)
第五节 生长量订正和标准化 .....	(83)
第六节 年轮年表建立与延伸 .....	(90)
<b>第四章 树木年轮水文学分析</b> .....	(96)
第一节 树木年轮水文学研究的物理气候学基础 .....	(96)
第二节 常用数理统计方法 .....	(99)
第三节 气候对年轮生长的影响 .....	(118)
第四节 气候对径流的影响 .....	(122)
第五节 水文要素与年轮的关系 .....	(125)
第六节 树木年轮水文学分析的步骤 .....	(129)
<b>第五章 径流量的重建与检验</b> .....	(134)
第一节 径流资料的预处理 .....	(134)
第二节 径流特征分析 .....	(142)
第三节 径流量的重建与检验 .....	(150)
第四节 径流量场的重建 .....	(158)
第五节 树木年轮水文学分析实例 .....	(160)

<b>第六章 山区与沙漠树轮水文学研究</b> .....	(165)
第一节 山区树轮水文学研究 .....	(165)
第二节 沙漠区水文研究 .....	(174)
<b>第七章 径流量序列的重建与应用</b> .....	(186)
第一节 哈密故乡河年平均流量的重建与应用 .....	(186)
第二节 额尔齐斯河流域径流量的重建与运用 .....	(193)
第三节 塔里木河年径流量系列的重建与应用 .....	(206)
第四节 伊犁河流域径流场的重建与应用 .....	(219)
第五节 伊犁河流域径流深度与水资源重建 .....	(226)
第六节 乌鲁木齐河径流的重建与应用 .....	(236)
第七节 北疆地表水资源序列的重建 .....	(245)
<b>第八章 湖泊水位和洪水变化与年轮</b> .....	(253)
第一节 湖泊水位变化与年轮 .....	(253)
第二节 洪水与年轮 .....	(264)
第三节 湖泊水位与年轮生长环境 .....	(265)
<b>参考文献</b> .....	(278)
<b>附录 I : 乌鲁木齐河年表(9 个)</b> .....	(282)
<b>附录 II : 伊犁地区年表(22 个)</b> .....	(291)

# 第一章 绪 论\*

## 第一节 树木年轮水文学研究的意义与目的

### 一、树木年轮水文学研究的意义

#### 1. 人类为自己的生存寻找自然法则

在世界各大洲,都有着水旱变率较大的地区,灾害出现频数较高,水旱异常造成的损失非常严重。中国历史悠久,从历史浩瀚的文献中可找到不可胜数的水旱灾害事件,人们为了生存,在元古时代,就凝炼了“后羿射日”、“大禹治水”抗旱防涝的神话。

灾害,特别是水旱灾害,一直是束缚人们生存的枷锁,不仅影响到历史王朝的更迭、民族兴衰,而且还影响到城镇的消亡等等。例如,在中国历史上,明末连年大旱,使明王朝崩溃(盛承禹,1987)。在古希腊雅典西南 100km,掩埋了一个迈锡尼古城(Mycenae)遗址。该城约在公元前 1200 年之前,遭受持续强大的旱灾,致使迈锡尼文化衰落和瓦解,最终毁于一旦,埋于地下(布赖森、默里,1987)。

在美国科罗拉多州玛沙汶地及附近一带,遍布着许多崖洞,古印地安人曾居住在这些崖洞里,在 1271 至 1285 年间,发生了一连串的干旱,古印第安人被迫逃荒,一部分人饿死在这里。这从树木年轮中,可得到较详尽的材料。

本世纪近几十年来,出现了世界范围的气候异常,带来了严重的水旱灾害,给许多国家带来了水资源、能源、粮食生产的危机。例如 1988 年美国中西部严重干旱,造成粮食减产 37%,1997 年美国西南部受厄尔尼诺影响,在冬季受到暴雨危害,使农业损失三年难以恢复(叶笃正等,1987)。在非洲萨赫勒(Sahel)地区( $14^{\circ} \sim 18^{\circ}\text{N}$ ),从 1968 ~ 1973 年,在六年的持续干旱中,这一地区因饥饿致死的人数达 10 万,牲口损失达 2000 万头(盛承禹,1988)。1997 年夏,印度尼西亚以及南亚大旱,使印度尼西亚出现森林火灾,造成严重城市污染。1998 年印度的热浪天气,地面温度达  $60^{\circ}\text{C}$  以上,有 1000 余人死亡于高温天气。中国河南南部“758”暴雨,一日降水量达 1054.7mm(方城县郭林 8 月 7 日降水量),创我国大陆日降水量最高值(李江风等,1990)。新疆日最大降水量在哈拉依敏水文站,降水量达 122.1mm(1963 年 6 月 13 日)。

以上的旱涝灾害,若在树龄年限之内,则都可以反映在树木年轮中,从而可从树木年轮中找出它的印迹。

人们根据树木年轮最早记载气候信息量的是美国 A.E. 道格拉斯(A.E. Douglass)所从事树木年轮与太阳黑子关系的研究(Fritts, 1976)。

---

\* 作者:第 1~4 节,李江风,新疆气象科学研究所;第 5 节,由希尧、安鸿志,新疆水文水资源局,胡莲莲,新疆伊犁水文水资源勘测大队。

## 2. 树木年轮水文学是年轮学一支新兴的学科

树木年轮水文学是从年轮气候学的研究中诞生的。第一个提出树木年轮与水文有关系的是荷兰人卡普坦(Kapteyn)。后来,哈德曼(Hardman)、瑞尔(Reil)对年轮指数与地面径流进行了相关分析,5年滑动平均在0.54~0.89之间(Stockesm,1978)。

美国人费林(Fiering)、马特拉斯(Matalas)、雅各布斯(Jacobs)、朱利安(Julian)和弗里茨(Fritts)提出用相关方法延长水文气象系列,用一种记载序列延长另一种记载序列(Stockton,1978)。这将气象、水文推向重建历史序列,恢复历史时期的水文、气象要素的演变的连续序列值。

年轮水文学具有独特的年轮学的特点、独特的年轮水文学的法则和规律性。

年轮水文学依据的是生物学的基础理论,即:①树木生长与结构;②树木的基本生理过程;③树木年轮的基本原理三方面。而它又是从年轮气候学母体中分离出来的,具备了年轮气候学的基础理论。主要表现在:

(1) 气候对树生长有着直接作用。诸如:①环境因子的生态作用。②改变供给树木生长的能量平衡的地形因子。③影响年轮生长的气候要素。④气候因子的综合影响。

(2) 年轮标本的采集、交叉定年、年轮测重、生长量订正、年表建立与延伸等,都是年轮气候学法则的基本应用。

(3) 年轮序列的建立和检验所使用的生物学模式、数学模式等各种方法,是这些理论和法则的沿用。

以上都是依赖于年轮学、年轮气候的理论、方法为基础的,而年轮水文学与之最根本的差异是水文要素的重建,除气候要素相同外(如降雨量、降雪量、土壤水分等),主要表现在河川径流的重建,径流深度场、水资源重建、洪量重建、湖泊水位的变化等,这些是年轮学、年轮气候学所不能置换和代替的。

## 二、研究年轮水文学的目的

水是人类和生物赖以生存的基础,是人和生物的生命线。在干旱地区,尤其显得珍贵和重要。当前世界上最关注的是干旱化、沙漠化,由水引起的自然灾害和饥荒,特别是1997~1998年,由气候、水引起的南亚干旱、火灾、热浪,欧美由厄尔尼诺引发的暴雨、暴风雪,我国内蒙古东北部的森林火灾和1998年长江中下游水灾等,给居住在地球上的人类,提出了一个严峻问题——环境问题。已引起各国政府的重视。

干旱地区,是生态脆弱地区,水资源严重缺乏,气候的变化和异常,比其它地区更易遭受自然灾害或灾难。例如楼兰的消亡、罗布泊的干涸、丝路(南路)古国沦于沙漠、克里雅河下游断流、当代“绿色走廊”危机,一些湖泊水位不断下降,有的濒于消亡,使之受到流沙侵袭,沙漠吞噬了良田、土地。由此,引发出研究这些问题的重要性和迫切性。

年轮水文学的研究目的有以下几方面:

## 1. 重建历史时期有关水文序列变化

水文要素序列是水利建设、水利工程规划设计最基本的数值依据。因此,水文序列的演变,直接影响到农、牧、林、草业,以及影响到航运、灌溉工程的发展。但值得重视的是,世界各国水文资料序列很短,特别是我国干旱区域的水文资料记录更短,水文记载又残缺不全,迫使年轮学、年轮气候学、年轮水文学工作者,采用年轮气候学的方法,进行重建河川径流、区域径流深度、区域水资源、湖泊水位、洪旱周期的演变和序列值,恢复一定时期的历史序列。

历史时期水文序列的重建,不仅仅是反映历史时期水文的演变、丰、枯、平水年的周期和重现,同时,还能看出特丰、特枯期的年份和持续时间。这首先提供对水文、气候研究的史料;其次,还对农牧业在历史时期变化、农牧业丰歉年的出现,提供真实的数据;第三,它还还为农牧业、历史时期经济兴衰提供了洪旱灾害情况,以及水旱灾害对农、林、牧、交通、工业所产生的次生灾害,及其灾害的演化和影响程度。

## 2. 水文预测和水资源的开发利用

由于有了重建水文要素(主要是径流量、径流深度、洪量等)的序列,成为长序列值,有着水文逐年的演变,从而克服了水文研究中的局限性,使短序列记载得到了补救。这不仅给研究历史时期水文规律和特征的演变提供了资料,更主要是通过大量的重建的水文长序列资料和数百年的数据,用统计学方法,可以对未来十年或更长些时间的水文变化趋势进行预测,解决了资料年限较短等问题。

在新疆塔里木河重建流量研究中,用方差外推曲线预测了1990~1995年流量变化趋势,认为是属于偏枯年份(序列长1821~1980年)(张小炎、袁玉江等,1989)。在伊犁河流域重建了8个站180年(序列长1811~1990年)年径流总量,采用方差分析进行周期叠加外推,得出1991~2000年的两个5年平均流量比多年均值分别偏少5.8%和7.5%(李江风、袁玉江、马惠明等,1996)。

新疆是干旱和极端干旱区的典型代表,据研究,新疆水资源总量并不少,约为878亿 $m^3$ (其中地表水资源量793亿 $m^3$ ,地下水资源量85亿 $m^3$ ),其水资源比较丰富,水总量居全国各省市第12位,人均占有水资源量5110 $m^3$ ,居全国第4位,为全国人均水资源量2500 $m^3$ 的2.04倍(汤奇成、曲跃光、周韦超,1992;周韦超,1999)。但从境内单位面积产水量来讲,每平方公里仅有48万 $m^3$ ,居全国倒数第三位。因此,可以说新疆是水资源极其短缺的省份。

在新疆,对径流形成区水资源的合理利用,主要表现在对冰川水资源的合理利用。冰川和永久积雪区是天然的固态水库,它具有调节水资源的作用。当高空600hPa高度上温度达到0℃时,冰川开始融化,补给河流。根据中国科学院兰州冰川冻土研究所计算,冰川对河水补给量是随冰川物质状况而变化的(杨新元,1991;杨利普,1981),一般补给8%~60%。在新疆天山,北坡补给少,南坡补给多。就山区而言,昆仑山补给多,天山补给少。

冰川对水资源的调节作用,主要表现在干旱年冰川有大量的补给作用;在丰水年份,降水量多,则储存在山区冰川和永久积雪线上。因为这时山区温度较低,冰川不易消融

(见表 1.1)。

表 1.1 乌鲁木齐河山区流域上年 7 月至当年 3 月平均流量丰枯频率

项 目	出现年数	出现频率 (%)	项 目	出现年数	出现频率 (%)
特枯年	0	0	偏丰水年	63	17.4
偏枯年	84	23.2	特丰水年	6	1.7
平水年	209	57.7			

关于山区冰川水资源的适用化,或在冰川源地(因云雾较多)撒播催化物,实施人工降雪,在技术上是可能实施的,但是否经济合理,能否大面积进行,还须经过实验和严密计算,以取得验证,推求其经济价值和效益。

绿色森林——植物水库问题。水文学家和林学家认为,干旱山区水源林,在保水保土、维持生态平衡和农业稳产高产方面,远远超过提供木材的价值。此外,山区森林,在积储冬雪、延缓积雪融化、改变径流年分配、增加春水比重等方面,起着很大作用。同时,森林对降水有着截留作用,可以缓解洪水对山地的冲蚀作用。

### 3. 研究水文有关要素量的可能性与精度

从国际上的年轮水文学发展来看,除进行河川径流量重建外,估计降水与河川径流的发展趋势与变化,洪水、干旱和冰川消长发生时间等,也都是十分重要的内容。这些工作,有的正在进行,有的尚在研讨中。

洪量,是能够重建的水文要素值。其成功率和精度取决于:

- (1) 河流洪量的大小;
- (2) 山区海拔的坡度,若坡降很大,河床流速大,洪峰形成很大径流,一泄而下,其洪量对年轮生长影响甚小,则相关性能差;
- (3) 河床两岸的土壤厚度,因为土壤对降水产生下渗作用;
- (4) 决定于河流经过区域的森林郁闭度和树冠、地下枯枝、灌草截流量的大小。

湖泊水位变化所采用的人湖径流量,应取自水量控制站的测值,若站址有变迁,抑或前站代表性差,新建站代表性好,应将新老站进行还原,不宜直接引用,以防误差过大。

湖泊水位变化所采用径流量值,若测站有缺测,或测站向上、下游迁移,一般使流域面积减少或增加,将影响径流量的一致性;在河流入湖口上游,引水用于农田灌溉、工业用水损失等,在计算中,都应进行水量还原计算,以便保持资料的同步性和一致性。

美国在计算年径流量时,若降水量因各种原因缺测,则在原始资料缺失的月份用麦克唐纳法插补,并用附近长年代降水资料站作参证站,进行订正插补(Stocken, 1978)。

在进行年径流量序列的处理过程中,若遇到年际变化大的流量序列,为了使径流量与年轮指数相关稳定,需进行平滑处理(袁玉江、周文盛、张治家, 1989)。在“乌伦古湖水位下降与乌伦古河水量变化分析”一文中,就是将年际变化大的流量开四次方,其方法是有效的。

## 第二节 年轮水文学研究的内容与方法

年轮水文学研究内容较为广泛,而年轮水文学本身也对其它学科有所渗透。从另一方面讲,年轮水文学,毕竟是用年轮方法解决水文学的某些要素的序列变化和重建,它决不能代替水文学的研究内容。也就是说,有些水文要素值不能用年轮水文学的方法来解决,这也是为人们所理解的。

### 一、年轮水文学研究内容

#### 1. 重建历史时期径流量和趋势预测

树木年轮中含有降水信息量,从而也含有径流的信息量。对于延伸径流量序列,取得连续的逐年定量值,是当前水文要素的恢复最有效的方法,它有着成熟的理论和严密的研究方法,不为其它学科所取代。

当一个系列建成后,可使用数理统计方法,对今后逐年或一个短时段(几个月、季、年等)进行预测,预测未来的发展(从前水文学在短序列限制下,实现这一目标缺少足够的依据)。该预测值在国民经济建设中,将有着不可预估的价值和效益。

预测的精度和成功率,应取决于:①年表建立的序列长度;②年表建立的各种参数的精确度;③现有径流量测值序列长度和准确度;④降水站、径流站记录的完整性、站址变迁等;⑤预测模式的建立、选择和方法应用;⑥校准期拟合的精度;⑦预测近期值和水文径流量预报值进行订正。

#### 2. 重建历史时期径流深度场和区域水资源量值

重建径流深度场在山区较为困难,主要是站少网稀。形成径流深度,不能仅限于河流汇水口的测站。特别在高山区,因有最大降水带,在不同季节里,有沿海拔上下推移的规律。因此,必须建立临时性的辅助测站,其观测记录应在3年以上。在山区径流场内,处在最大降水带的区域内,需要有长期观测记录值,该站亦应在降水量最多时间(季节)之降水带的位置。

辅助站的数量,应根据山区降水、径流状况而决定;还应根据山体、坡向、坡度、森林分布等因素进行合理布局。辅助站位置有代表性,其关键在于:①与区域代表站的相关性;②测值的精确度。

关于校准时期径流深等值线图的绘制,详细方法见第七章第五节。

#### 3. 洪量旱枯量期的重建

对洪旱量重建,首先将洪量、旱枯量的标准列出,而后从旬月中求其均值,得出不同时段与年表年轮指数宽度,求其相关性,得出相关系数,进行信度检验。

对于乌鲁木齐河洪量的重建研究表明(袁玉江、张淳,1998),相关系数达0.36,  $\alpha = 0.05$ (详见第八章第二节)。

乌鲁木齐河山区流域洪量与年表相关系数较低,其原因:①乌鲁木齐河山区流域坡度



大,一般为0.31~0.57之间,跃进桥以上达0.55,如宰尔德沟0.57,喀拉尕依特沟0.57。致使洪量流速加大,下渗量较少(施雅风、康尔泗、张国威,1992),对年轮生长作用减小;②乌鲁木齐河流域森林上限多在2800~3000m之间,5月份为固态降水,并且形成较稳定积雪,6月份虽然为液态降水,形成稳定积雪的机遇较少,但仍有不稳定积雪存在,而积雪的消融,时间滞后,致使洪量减小。

干旱在年轮生长中最容易体现,特别是大旱、持续数年的干旱期,一般说,在年轮生长中可以明显地呈现出来。其原因有:①植物所需水分,不仅在生长期能够体现,比较敏感,而且在植物休眠期也能明显地呈现在年轮生长中;②干旱期,特别在生长季节,一般气温高,促使植物水分的蒸腾,地表径流、土壤水分的蒸发;③乌鲁木齐河虽有高山冰雪补给,但一般补给量很少,不如其它山区发源河流冰雪补给量多,冰川补给一般占12%,在偏枯水年份补给量较多(李江风、袁玉江、由希尧,1997)。

#### 4. 山区、平原沙漠区径流重建

(1) 山区径流量重建。现今径流量的重建,一般均指山区,其主要决定于干旱半干旱区域森林。首先,一般在山区、甚至高山区,森林生长没有环境污染和人类的破坏,或者很少有影响,故年轮采样的标本多取自这些地方。其次,河流一般发源于山区,这里的高山降水、冰雪融水通过山体 and 森林区,树木年轮生长和河川径流有很好的相关性。第三,山区径流站、水文站一般在山区里的河流汇口处,具有降雨、降雪、径流的观测记录,可以作为最理想的校准期。若没有径流站、水文站,而使用的是山下出山口水文站或平原的气象站资料,其反映的是降水,径流要素值和山区相比相差较大,虽作出两地相关订正,其代表性也有一定的误差。

山区径流量重建值,一般分为:①山区某一段径流场。例如乌鲁木齐河山区流域360年径流量的重建,它是利用大西沟气象站(海拔3600m)和英雄桥水文站(海拔1920m)为主体,参照跃进桥径流站(海拔2334m)和八条乌鲁木齐河支沟临时辅助降水站点资料进行恢复的(李江风等,1997)。②山区径流场和平原或平原谷地径流一体进行重建值,其重建序列,可在山区,也可在平原谷地,具体要视水文站对河流的代表性而定。例如,用树木年轮重建伊犁河流域的年径流量场(李江风、袁玉江、马惠明等,1996),是利用8个水文站建成8条支流的历史径流量序列,这8个水文站,一般在山区,或出山口区,但也有平原区域。

(2) 沙漠区域的径流重建。沙漠区域径流量重建和预测,主要是在河流经过流沙区域段的树木采样和该地段的河川径流相关。例如在用年轮年表重建塔里木河中游年径流量研究中,由于塔克拉玛干沙漠北、东部贯穿着塔里木河,河滩两岸生长着数百年树龄的胡杨(*Populus euphraticaoliv*),而胡杨的成长过程与河川径流涨落变化和沿河地下水位的变化息息相关,由此,年轮的生长,必然含有流量变化的信息(李江风,1988)。

塔里木河胡杨年轮生长有较强的持续性,这表明,生长影响因子的作用不仅表现在当年,还会延续到以后几年(李江风,1988)。可以年轮指数与年径流量复相关系数的平方,作为年轮中的径流量信息度量。弗里茨(Fritts)称其为还原方差百分比。由此作出塔里木河中游径流量与胡杨树种年轮生长重建序列。

有关研究成果表明(李江风、袁玉江、王承义,1988,1989),在塔里木河下游区域,早年