

美国森林植被对河川径流量影响的研究

何 固 心

前言 森林植被对河川年径流量的影响, 及其对流域次暴雨产生的洪量和洪峰流量的影响, 是我国水文水利方面当前和今后需要深入研究的重要课题。

1983年6月在“黄淮海平原农业发展的学术讨论会”期间, 农业、水利、林业、畜牧、水产等各学科的专家就一些问题展开了讨论。有些同志对解放以来水利建设方面所取得的成就表示了不同的看法。他们认为: 植树造林能够削减洪水, 能够解决河流泥沙问题, 还能改变地区小气候, 能涵养水源, 增加河川径流量, 特别是增加可利用水量; 大面积种草放牧, 可以减少水土流失, 有利于解决河流泥沙问题, 等等。要正确评价这些问题, 还有待我国水文水利工作者今后长期地进行大量的科学试验工作。

几十年来, 特别是近二十年来, 美国在这方面做了不少实验研究工作, 几乎在全国各流域或地区均获有研究成果。今将收集到的一些成果综述于后, 供进行这方面工作的同志参考。

一、伐木后径流量变化的实验研究

美国森林覆盖率远较我国为高, 其覆盖面积占全国总面积的33%, 有近一半的州森林覆盖面积占总面积50%以上。因此在各林区, 均选择一些小流域, 进行伐木实验, 以观测径流量的变化。并且利用实验成果预测出整个流域或地区, 森林经营管理可能增加的径流量。对森林实行经营管理是将森林作为商业林, 周期性地分期分批砍伐, 收获木材。

(一) 美国东部各州的研究

美国东部各州系指密西西比河以东各州, 面积有6亿英亩(合36.42亿亩), 一半为森林所覆盖。森林分布很不均匀, 覆盖面积小的伊利诺斯州, 只占全州面积的11%, 覆盖面积较大的缅因州, 占全州面积的90%。年降水量分布也很不均匀, 为760~1270毫米。

1. 影响伐木后第一年径流量增量的因素 希伯特(Hibbert)于1967年从科威塔实验区得出, 伐除硬木林后, 第一年获得的径流量增量不仅与森林面积减小的程度有关, 而且朝北集水区的增量可为朝南集水区的2.5倍。

道格拉斯(J.E. Douglass)和斯瓦恩克(Swank)于1975年, 从阿帕拉查因实验区得出, 伐木后第一年的径流量增量与集水区的日照强度有密切关系, 并据此绘出关系曲线, 进一步证明日照强度愈高, 径流量增量愈小。

2. 森林重新生长径流量增量的变化 科弗纳(Kovner)、勒尔(Lull)和雷恩哈特(Reinhart)等人, 相继对伐木后森林重新生长, 径流量增量如何变化进行过研究。得出随着森林重新生长, 径流量增量呈对数性地减少。如科威塔实验区伐木后第1年的径流量增量为360毫米; 第5年为210毫米; 第10年为150毫米; 第20年为85毫米。

对于不同类型的森林, 根据伐木实验及观测资料, 推导出公式, 用以预测森林经营管理后能够获得的径流量增量。例如

道格拉斯和斯瓦恩克得出的计算硬木林砍伐后逐年径流量增量的公式为

$$Y_H = 0.00224 \times \left(\frac{BA}{PI} \right)^{1.4462},$$

$$D_H = 1.57 Y_{Hi}, \quad (2)$$

$$Y_{Hi} = Y_H + b \log(i), \quad (3)$$

式中: Y_H ——表示伐木后第1年的径流量增量;

BA ——伐木面积占全面积的百分数;

PI ——年日照潜能, 以兰勒 $\times 10^{-8}$ 表示 (兰勒为太阳辐射的能通量单位, 克卡/厘米²);

D_H ——增量持续年数;

Y_{Hi} ——收获木材后第*i*年的径流量增量;

b ——系数, 根据式(3)以年数*i* = D_H , 并且 $Y_{Hi} = 0$ 时求解得出;

H ——脚标, 表示森林为硬木林。

3. 实际可能获得的径流量增量 道格拉斯等人根据实验资料预测, 如对东部各州的森林进行经营管理, 平均年径流量可能增加14% (比目前平均年径流量)。但这种预测只是理论性的, 实际上要获得这一增量是很困难的。因为美国东部各州的森林, 绝大部分为私人所有, 联邦政府拥有的林地只占很小的比例。森林所有者的经营目的各不相同, 统一进行经营管理不易办到, 并且目前对水的需求量也还没有达到由水来支配森林经营管理的程度。蓬斯(S. L. Ponce)等人也认为, 只有当私人土地所有者能够分享增加水量的效益, 他们的管理策略才有可能考虑水的增量; 并且当用水紧张时, 利用调整工农业用水的办法来满足用水的要求, 可能比利用植被管理增加径流量还现实一些。

(二) 华盛顿州西部和俄勒冈州西部的研究 华盛顿州和俄勒冈州在美国的西

部。华盛顿州西部总土地面积为64100平方公里, 其中森林覆盖面积占80%。俄勒冈州西部总土地面积为77600平方公里, 其中森林覆盖面积也占80%。这一区域为一富水区, 但降水量分布很不均匀, 平均年降水量在1000~4000毫米。秋天和冬天为雨季, 10月1日~3月31日降水量占水文年度降水量的80%, 夏季为相对干旱期。全区平均年径流深为1400毫米, 平均年径流量2000亿立方米。

1. 研究工作概况 这个区域从1946年起就开始建立实验区, 不仅了解天然的水文特征, 还了解它们如何受伐木活动的影响。1960年以后逐渐推广到不同气候和植被区域的研究。到目前为止, 先后进行过6个项目包括18个封闭集水区的研究。所有研究成果均已应用于整个区域气候条件相似的流域的径流量增量的预测。

2. 全部或部分伐木后第1年的径流量增量 从上述实验区获得的资料, 将树木伐光后第1年径流量增加360~540毫米, 部分砍伐树木后第1年径流量增加100~300毫米。这个增量和伐木前的径流量相比, 占较大的比例。这个增量来源于植被物截留损失和蒸发—蒸腾损失减少。随着树木重新生长, 这一增量逐渐减小。

3. 伐木后逐年径流量增量的变化趋势 例如HJA—I实验区, 1965年森林被伐光后, 第一年径流量增加了540毫米, 相当于蒸发—蒸腾损失的60%。自1965年以来, 径流量增量有逐渐减少的趋势。哈尔(R. D. Harr)根据实验资料得出的伐木后逐年径流量增量的公式为

$$Y = 513.2 - 19.1 X_1, \quad (4)$$

式中: Y ——预计的流域年径流量增量(毫米);

X_1 ——伐木后年数。

式(4)说明径流量增量与伐木后的

时间、植被总指数、植物截留和蒸发—蒸腾水量等有关,还说明伐木27年后流域径流量不会增加。

年降水量对流域径流量增量也有显著的影响,即丰水年增量大。如果考虑年降水量这一因素,式(4)的模型就变为

$$Y = 308.4 - 18.1X_1 + 0.87X_2 \quad (5),$$

式中 X_2 表示年降水量。

4. 大流域可能的径流量增量和年内分布 在大流域,径流量持续增量充其量只有3%~6%,因为在持续生产木材的森林经营管理过程中,全流域内有能力产生更多水量的伐木面积只占一小部分。

一年内径流量增量大部分发生在秋冬多雨季节,这个季节需水量小,因而这个增量的效用不大。在少雨的夏季,需水量多,但由于雾的植物截留和滴水随着森林被砍伐而减小,以及河边潜水植物的生长,河川流量可能反而减小。例如在俄勒冈州沿海,伊萨阿克(Isaac)和哈尔均曾观测出:雾的植物截留和滴水加入年降水量,其量可达520~880毫米,占年降水量的30%,足以弥补森林蒸发—蒸腾造成的损失。砍伐森林后这部分水量减少,将导致枯水期径流量减小。

(三) 落基山地区的研究

落基山地区在美国西半部,这里年径流量较小,且90%产生在夏季,主要是积雪融化产生的径流。落基山地区多年平均径流量(按深度计)仅大于30毫米,大部分产生于北部局部地区,该局部地区年径流量可达500~1000毫米。

1. 弗尔溪砍伐森林后4月~9月的径流量增量 特罗恩德尔(C.A. Troendle)和莱弗(Leaf)等人引用了弗尔溪的资料,该集水区1940年~1955年森林完好,1956年以后收获商品材,砍伐了森林。结果1956年以后径流量有显著增加(参见图1)。

他们认为,1956~1981年的22年中4月~9月的径流量平均每年增加了74毫米,占实测径流量的24.7%。

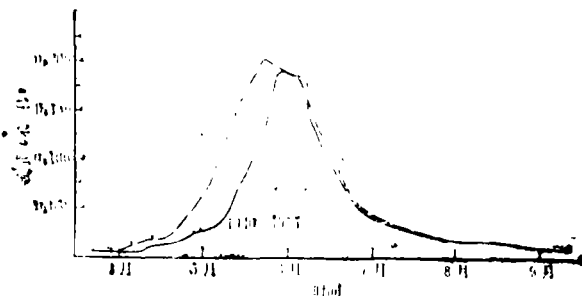


图1 弗尔溪平均流量过程

虚线表示森林完好的1940年~1955年

实线表示砍伐森林以后的1956年

2. 死马溪砍伐森林后4年内的径流量增量 弗罗恩德尔等还对死马溪进行了观测及分析,得出自1978年砍伐森林后至1981年止,平均每年径流量增加了46毫米,约占实测总径流量的24%。

3. 对整个地区径流量增量的估计 弗罗恩德尔经过对已有资料进行综合分析后也认为,在落基山地区通过森林经营管理,虽然能够获得较大的径流量增量,但如考虑森林交替期和树木再生的影响,在任一年内,也许仅能从进行经营管理的土地的1/4至1/3部分得到较大的增量。

二 森林衰落前后河川径流量变化

美国除了在全国范围内进行砍伐森林后河川流量的变化的实验研究外,还对林区河流森林衰落前后的资料进行分析对比,分析森林衰落前后河川径流量的变化。

夏威夷岛上希洛附近的韦勒克河,集水区原为俄希阿森林。从1954年森林略有衰落,逐步发展到1972年,75%以上的森林已处于中等以至严重的衰落状态。1977年~1979年,达泰(R.D. Doty)对该区域进行了详细的调查。以后又收集了1929

年~1980年的河川流量、水质和降水量等资料,以及表示森林衰落年段的航测资料。利用这些资料他进行了以下几个方面的分析和对比:俄希阿森林衰落前后河川流量与降水量关系的变化;俄希阿森林衰落前后暴雨洪水时流量的变化;俄希阿森林衰落前后河道含沙量及水质的变化。

(一) 森林衰落前后年径流量~年降水量关系变化

根据航测资料,选择1955年作为森林正常情况结束和衰落开始的年份。1929年~1955年的27年中平均年降水量约为5500毫米,1956~1978年的23年中平均年降水量亦约为5500毫米,将这两个时段的年径流量~年降水量关系对照如图2。

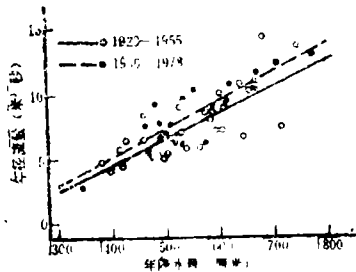


图2 森林衰落前后韦勒克河16—7040000站年流量与帕佩考·莫卡站年降水量关系对比

从图2看不出森林衰落年后年径流量有明显增加的趋势。这是因为,尽管森林衰落了,但还保持下层植物覆被,森林衰落后土壤水份蒸发—蒸腾损失的减少,可能已由雾滴的相应减少所抵消。

(二) 森林衰落前后一次暴雨的降水量~径流量关系变化

韦勒克河的暴雨径流模式是,河槽汇流迅速,洪峰流量在暴雨开始后几小时以内到来,并且此后不久迅速退落。因此一次暴雨径流过程可用三角形过程线表示,可以容易地用它进行分析,以获得暴雨径流总量和单位过程线数据。

应用三角形过程线方法对森林衰落前后各15次暴雨洪水进行了分析(参见表1)。森林衰落以前的15次暴雨洪水从1936年~1948年间的资料中挑选出,森林衰落以后的15次暴雨洪水则从1975年~1979年间的资料中挑选。这些次暴雨洪水代表了从小到记录到的最大暴雨的全部范围。从表1资料可以看出,森林衰落以前降雨~径流系数较森林衰落以后高,单位过程线洪峰流量则较森林衰落以后小。即在暴雨量相当的情况下,森林衰落以后洪量减小,但洪峰流量增大,并且是较快地出现较高的洪峰。

表1 韦勒克河16—7040000及邻近测站森林衰落前后各15次暴雨洪水的降水量~径流量关系对比

森林衰落	年 段	暴雨洪水	平均降水量	平均洪量	平均径流深度	径流系数	单位过程线洪
前 后		次 数	(厘米)	(万米 ³)	(厘米)	平均值	峰流量平均值
						(%)	(米 ³ /秒)
衰落以前	1936~1949	15	16.9	1780	5.5	32.5	43
衰落以后	1975~1979	15	20.9	1338	4.2	20	54.6

注:本表根据文献〔5〕表1、表2得出,原表中各有16次暴雨洪水资料,笔者各舍去1次不可靠的资料。

(三) 森林衰落后河流泥沙及水质变化

森林衰落后, 如果植被受到冲刷, 河流中悬浮泥沙有可能增加。但是俄希阿森林衰落以前的时期, 韦勒克河没有悬浮泥沙记录, 从而不能进行森林衰落前后的比较, 只能从森林衰落后河流中泥沙含量的大小进行评价。由于森林衰落后下层低矮植物和枯枝落叶层覆盖了这一地区95%的地面, 裸露的土地不到5%, 所以河流中的含沙量不大。一年中不超过2%时间的含沙量, 考梅拉站为0.047公斤/米³ (根据3年资料), 希洛站为0.08公斤/米³ (1978年资料)。

经测定水中任何污染物质的级别并不高, 水体略加处理即可供家庭饮用。

三、改变植被类型后径流量变化的实

验研究

希伯特 (A.R. Hibbert) 将消耗水量多的植被改为消耗水量少的植物, 因此更多的水量经过土壤渗透到河道或者成为地下水, 从而增加了径流量。

(一) 灌木林和树林改为草地后径流量的变化

1. 灌木等林地改为草地后径流量的增量 这项实验研究在美国西部山地进行。这里平均年降水量超过450毫米, 气候较寒冷, 降水量集中在冬季的几个月内, 能够储存的水量每年可达到400毫米。在这个地带, 将灌木林或树林改为草地, 将减少蒸发一蒸腾损失, 使得降水量的更多部分能够成为径流量。将灌木林改为草地后, 增加径流量的潜力见表2。

作改草处理的效应, 不同植被类型有

表2 灌木群落和相近的生态系统改为草地对径流量的影响

州名	集水区名称	面积 (公顷)	连续处理年数 (年)	平均年降水量 (毫米)	未改为草地时 河川流量 (毫米)	作处理后 产水量增量 (毫米)	资料来源
亚利桑那	N.D.A	5.4	17	485	34	5 ± 4	艾因盖博和 希伯特, 1974年
	C	4.9	17	485	43	13 ± 5	
	M.A	38.9	5	480	2	10 ± 5	希伯特等, 1982年
	C	26.7	5	480	7	5 ± 5	
	W.B	99.8	7	589	47	13 ± 7	艾因盖博1971年, 希伯特等, 1982年
	T.B.C	38.6	18	67.3	82	148 ± 84	希伯特, 1971年
	B	18.8	7	67.1	18	87 ± 54	
	F	27.7	10	777	53	79 ± 34	
加利福尼亚	H.I	86.2	10	920	—	100	皮特等, 1978年
	P.C.C	5.0	9	625	—	100	伯盖等, 1971年 莱威斯, 1968年

所不同,灌木群落为最大,而其它致密的灌木林地带和杨木地带较小。

2. 灌木、杨木林再生长对径流量增量的影响 如果周期性地采取措施以防止灌木再生长,从灌木群落改为草地得到的径流量增量,预计为平均每年60毫米(在全部更换植被面积上的水深)。这一增量随每年的降水量按指数规律变化,干旱年小,丰水年可为干旱年的30倍。

如果允许灌木林再生长,径流量增量将大为减小(参见图3)。在这种情况下

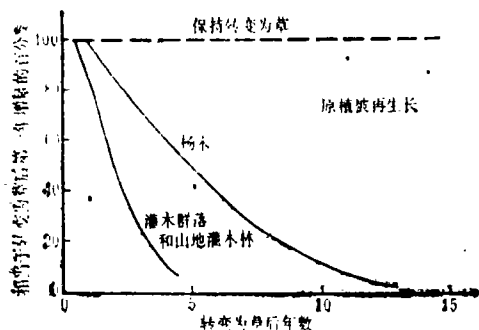


图3 植被对径流量增量的影响 (迪拜尔1976年)

下,杨木林改草比灌木林改草,反而能获得较大的径流量增量。根据蒿类植物估计仅能获得很小的径流量增量,其值不超过10毫米。从较干旱的生态系统预计得不到径流量增量。

(二) 灌木林或树林改为草地的不利影响

奥姆和贝莱于1970年,赖斯于1974年均进行过调查研究,他们认为,在这一地区当灌木根系的结合作用失去以后,大雨倾注在陡坡和不稳定的斜面上能引起大量的水土流失。

此外,将灌木林或树林改为草地,须付出高昂的代价,要使用化学制剂、火、机械设备、生物控制等各种措施才能完成。因此要受到物质的、社会的、经济的等方面的制约。

四、几点看法

1. 我国的情况和美国不同,森林覆盖率低,大面积的森林不多,直接借鉴他们的经验,或者进行类似他们所做的实验的意义不很大。但是从反方向应用他们的经验,来分析我们所遇到的问题,则有一定价值。

2. 根据美国的一些研究成果进行分析,如果我们在一些荒山秃岭进行植树造林,进而森林逐渐恢复以后,我们不能指望增加河川年径流量,但有可能少量地增加枯水季节的河川流量。在汛期,一次暴雨洪水在降水量相当条件下,洪水汇流时间将延长,洪峰流量将减小,输沙量也将减小,但洪量不会减小。

3. 封山育林有重要意义。这一措施有利于在森林恢复以前,迅速地使灌木成长起来,灌木林在某种程度上可以起到森林的作用,特别是其根系和土壤的结合作用,能有效地减少水土流失。

4. 在山区退耕为牧的作用不如培植灌木林和森林的作用大。在汛期,草类抗不住洪水的冲刷。但在山区的缓坡地和平原的非耕地,保护草类滋长,则对减少水土流失有一定的作用。

5. 我国水文资料比较完整,有较长系列,不少河流有条件进行森林植被破坏前后河川径流量的变化,特别是暴雨洪水时洪量和洪峰流量的变化的对比分析工作。(参考文献略)