

森林植被变化对洪水的影响分析

——以长江上游典型小流域和洪水事件为例

钟祥浩, 程根伟

(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

摘 要: 通过长江上游地区典型小流域和重大洪水事件有关森林植被变化与洪水方面资料的分析, 揭示小流域森林面积的增加, 可减少洪峰流量模数, 而在森林—土壤系统被前期降雨充分润湿的情况下, 紧接着的暴雨可引起洪峰流量的快速增加; 指出开展长江上游地区森林—土壤系统截留蓄水容量本底调查及其分类与分区, 对指导当前森林植被恢复重建与保护工作的健康发展及搞好防洪工作有重要的意义。

关键词: 森林; 洪水; 长江上游

中图分类号: S715

文献标识码: A

1998 年长江流域发生特大洪水后, 社会上和学术界发表了许多的言论和文章讨论长江上游森林植被的破坏对洪水的影响, 中央也因此加大了对长江上游以森林植被恢复重建为主要内容的生态环境建设力度, 率先在四川省和长江上游地区实施“天然林保护工程”和“退耕还林工程”。目前长江上游地区生态环境建设工作出现了前所未有的大好形势。可以说, 森林植被恢复重建与保护工作的重要性, 已被广大干部和群众所接受。

森林生态系统具有强大的服务功能, 具体表现为保持水土、涵养水源、减轻洪涝灾害、维护生物多样性、净化空气、提供木材和其它林副产品等。如何正确理解和评价这些功能, 并科学有效地发挥其作用, 是保证长江上游地区森林植被恢复重建工程健康有序发展的一项重大课题。本文对长江上游地区森林植被变化在调洪方面的功能及其作用进行讨论。

1 森林植被调洪作用的一般机理

森林植被的调洪作用是通过森林—土壤系统对降雨的截留和拦蓄作用实现的。森林—土壤系统对降雨的截留和拦蓄取决于组成该系统的森林生态子系统和土壤生态子系统的结构及其物种和物质

组成性质。良好的森林生态系统一般具有乔木层、灌木层和草本层以及地表枯枝落叶层, 乔、灌、草各层又由 1~2 个亚层组成, 各层次都具有不同程度的降雨截留作用, 其中各层中的叶面积与降雨截留关系最大, 其次为枝干数量。前人对不同地区的森林类型林冠截留做过很多的观测, 并建立了各种类型的截留模型。观测资料表明, 不同地区不同林型林冠的截留量有较大的差异, 不同树种的树冠截留量不仅与该树种的树冠特点有关, 而且与降雨量和降雨强度有密切关系, 小雨截留量大, 大雨截留量小。在自然状态下的长江上游地区亚热带常绿阔叶林群落(具有乔、灌、草多层结构)的最大截留量可达到总降雨量的 20%~25%。分布于四川盆地大面积的人工林群落, 降雨截留量不大, 如 20 年生柏木林林冠在 50 mm 雨量下的截留率为 14%。

森林生态系统对降雨的截留量, 实际上是湿润系统内全部枝叶和树干所需要的雨量。因此, 组成森林生态系统的群落结构越复杂, 湿润全部枝叶和树干所需的雨量就越大, 落入地表形成径流的雨量就越小。在降雨时雨水对植物群落湿润过程中有少量的蒸发, 但在降雨期间蒸发量不大。一次降雨以后有几天晴天, 再次降雨的截留量不会有明显的减少。不同地区不同结构的森林生态系统有其截留量

收稿日期: 2001-07-04.

基金项目: 国家自然科学基金与长江水利委员会联合资助(编号: 50099620)。

作者简介: 钟祥浩(1942-), 男, 研究员, 广东五华人, 主要从事山地环境生态研究。

的最大容量值,亦即减少降雨落入地表的最大量,减少量越大的森林生态系统对减少洪水流量的贡献就越大。

当森林生态系统全部被雨水湿润后,接着的降雨将进入地表枯枝落叶层,良好森林生态系统的林下枯枝落叶层一般可达 8 cm ~ 10 cm,这一层的雨水截留率一般可达 5 % ~ 10 % 左右,最大蓄水能力可达 20 mm ~ 30 mm。

通过枯枝落叶层后的雨水进入土壤。不同地区不同森林生态系统类型下的土壤蓄水能力差别很大。蓄水能力与土壤层厚度、有机质、质地、孔隙度等性质有关。在良好森林生态系统下的自然土壤具有很高的储水能力,如四川盆地西北中山暗针叶林区,其土壤厚度一般达 1.0 m ~ 1.5 m,非毛管孔隙达 10 % ~ 25 %,土壤最大蓄水能力可达 2 500 t / km²,相当于 250 mm 的水量。在暴雨条件下的土壤雨水入渗量取决于土壤的结构和坡度。在土壤表层较致密和暴雨历时又短的情况下,一般容易形成暴雨超渗产流。

上述表明,降雨在森林生态系统和土壤生态系统的作用下,使降雨径流量大为减少,在短时小暴雨情况下,一般不出现径流,但是在暴雨和历时长久的情况下,可能产生暴雨径流或暴雨洪流。不同地区不同森林—土壤系统的截留蓄水能力是不同的,它们各自拥有相应的截留蓄水最大容量值,而这个值是随季节而变化的,在雨季期间的雨期和间雨期也不一样。在某种意义上说来,森林植被对洪水的影响关系实际上是森林—土壤系统截留蓄水容量对暴雨接纳程度之间的关系。

2 森林调洪作用分析

2.1 小流域调洪作用实验资料分析

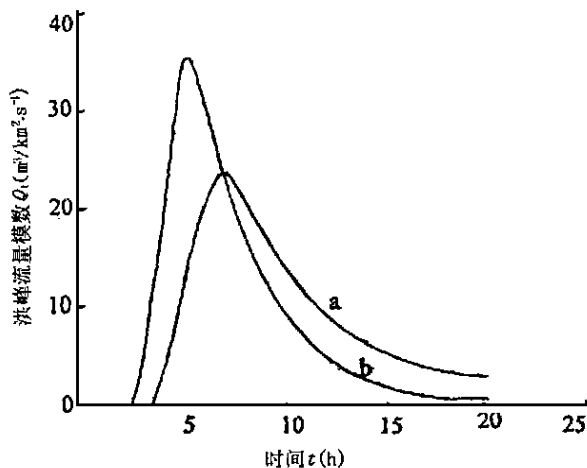
2.1.1 峨眉山多雨区对比流域实验资料分析

在峨眉山暴雨中心区设有两个径流实验流域,一个叫虎溪桥,为多林区,森林覆盖率 92 %;另一个叫六角亭,为少林区,森林覆盖率 40 %。前者面积为 0.470 km²,后者为 0.248 km²。

这两个流域紧紧相邻,地质、地貌和气候条件基本相似,具有研究森林面积差异对洪水影响的有利条件。

这两个流域年降雨量高达 1 500 mm 以上,6 ~ 9 月暴雨量级大,次数多。通过 1966 ~ 1975 年间气象水文观测资料的分析,发现多林流域平均洪水径流系数

为 0.72 而少林流域仅为 0.59;反映在洪峰特征上,多林流域洪峰流量模数(单位面积上的造峰流量)比少林流域低,多林流域虽然径流量大,但洪峰较低,一般为少林流域的 75 % 左右;此外还发现多林流域退水流量模数平均为 0.418 m³ / km² · s⁻¹,少林流域为 0.51 m³ / km² · s⁻¹。可见,多林流域洪峰过后退化过程明显比少林流域高。以上特征可表示为图 1。



a. 虎溪桥流域; b. 六角亭流域

图 1 峨眉山两个实验流域的洪水过程比较

Fig. 1 Comparison of flood process of two experiment watersheds at the Omei Shan Region

2.1.2 三峡库区对比流域实验资料分析

王鸣远和王礼先在鄂西长江三峡库区北岸一级小支流上的两个相邻集水区开展了森林拦洪作用的对比观测与研究^[1]。这两个集水区分别称之为有林沟和无林沟,前者面积 22 086.7 m²,森林覆盖率 60 %;后者面积 23 000.0 m²,森林覆盖率 10 %。这两条沟的地质、地貌和气候条件基本相似。

1992 年 9 月 ~ 1993 年 7 月进行了为期近 1 a 的气象水文观测,他们对这一年的实验资料进行了分析,并总结出了如下的规律:在相同雨强下,有林沟洪峰径流模数明显小于无林沟;在相同雨量下,有林沟洪水径流深比无林沟低;在降雨或暴雨事件发生较近的情况下,由于雨前土地湿润情况较好的原因,在有林沟后续降雨的洪峰流量比前面相似雨量的洪峰流量大,表现出有林沟对后续降雨的拦洪作用随流域雨前蓄水量的增大而减小。

2.1.3 盆地丘陵区对比流域实验资料分析

盛志高等人在盆地丘陵区的盐亭县林山乡的两个相邻小流域开展过森林对径流调蓄作用的研究^[1]。这两个小流域分别称为西沟和庙儿沟,前者

面积 4.38 km², 森林覆盖率 44.6 %, 后者面积 2.84 km², 森林覆盖面积 2.94 %。它们的地质、地貌和气候条件基本相似。

1981—09—01 ~ —03 这两个流域同时发生高达 294.9 mm 的降雨量, 24 h 雨强为 197 mm, 为当地百年罕见。通过这两个小流域水文观测资料的分析, 发现多林流域的减洪作用明显, 实际洪峰流量, 多林流域为 25.35 m³/s, 少林流域为 19.75 m³/s; 实际洪

峰流量模数, 多林流域为 5.97 m³/km²·s⁻¹, 少林流域为 6.97 m³/km²·s⁻¹; 修正后洪峰流量模数, 前者为 6.11 m³/km²·s⁻¹, 后者为 6.97 m³/km²·s⁻¹, 多林流域洪峰流量模数比少林流域减少 10 %左右。

中国科学院盐亭紫色土农业生态站在盐亭县林山乡试验林地对 1998—08 6 次暴雨与产流进行了观测(见表 1)。

表 1 四川盆地盐亭县林山乡试验林地暴雨产流观测资料

Table 1 Observation data of storm rainfall discharge flow at the experimentalized forest watershed of Yanting County in the Sichuan Basin

降雨记录时间(年—月—日)	暴雨特征	雨量(mm)	径流量(m ³)
1998—08—03	历时 30 min, 最大雨强 150 mm/h	25.7	74.40
1998—08—09	历时 120 min, 雨强较小	31.0	1.04
1998—08—14	历时 31 h, 最大雨强 70 mm/h	122.0	0.65
1998—08—19	历时 4.5 h, 最大雨强 125 mm/h	128.1	4.50
1998—08—20	历时 15 min, 最大雨强 130 mm/h	112.6	490.50
1998—08—26		90.7	314.10

注: 试验林地面积 15683 万 m³, 林林覆盖率 60 %, 以约 20 年生柏树为主混有少量桉树, 资料由盐亭站高美荣和刘刚才提供。

通过表 1 资料的分析, 可以发现林地产流有如下的特点:

1. 雨前土壤较为干燥情况下的第一场暴雨(25.7 mm), 按理土壤初始入渗率应该比较高, 但由于暴雨历时短, 雨强大, 出现降水强度大于土壤入渗率, 进而形成一定的超渗产流;
2. 时隔 5 天后的第二次暴雨(31.0 mm), 雨量较前一场暴雨多, 但由于暴雨历时长, 雨强小, 土壤入渗量较大, 因此其产流量明显比第一场暴雨小;
3. 第二场暴雨后的第 5 天出现高达 122.0 mm 的第三场暴雨, 尽管雨强达 70 mm/h, 但历时达 31 小时, 大部分雨水有足够的时间进入土壤, 因而其产流量比第一、二场暴雨产流量还小;
4. 第三场暴雨后的第 5 天又一次出现高达 128.1 mm 的第四场暴雨, 其历时和雨强都较第三场暴雨大, 因而其产流相应增大;
5. 第 4 场暴雨后的第 2 天, 接着发生高达 112.6 mm 的第 5 场暴雨, 尽管其暴雨量比第 4 场暴雨小, 但是其产流量大得惊人, 高达 496.50 m³, 其原因显然与前期降雨使得土壤蓄水达到饱和状态有关;
6. 第 5 场暴雨后的第 6 天, 虽然暴雨量只有

90.7 mm, 然而其产流量仍高达 314.10 m³, 表明土壤受前期暴雨的影响, 其蓄水容量很小, 大部分暴雨流走。

2.2 典型洪水事件的森林调洪作用分析

1981—07—09 ~ 14, 在四川盆地嘉陵江、涪江、沱江中下游出现历时 6 d 的暴雨, 其中 11 日、12 日和 13 日三天总雨量超过 200 mm 的面积达 10.3 万 km², 日雨量超过 300 mm 的面积为 5 080 km²。最大点雨量达 440 mm。在这次暴雨前期, 这些地区又发生过较大面积的降雨, 土壤比较湿润, 紧接着出现 6 d 的暴雨过程, 造成“三江”中下游大面积的洪水灾害。实际情况表明, 大尺度流域下的流域坡度、形态和降雨量、雨强及其历时对洪水、洪峰的形成产生重大的影响, 森林在其中对洪水、洪峰形成的作用及其影响关系较为复杂。目前还没有较好的方法来说清其关系。前已述及, 森林植被对洪水的影响主要通过森林—土壤系统对降雨的调节作用来实现的。大面积森林生态系统结构及其土壤生态系统结构特性的资料难以获取。为此我们试图采用水文模型模拟的方法, 探索在这种情况下的森林植被变化对洪水能有什么样的影响。

为避免降雨差异及其它因素对森林与洪水之间影响关系的干扰,我们试图通过不同区域洪水径流系数计算的基础上,再通过这些系数区域差异与森林覆盖率变化关系的比较,来探索森林对洪水的影响关系。

据此,我们选取了分布于嘉、涪、沱中下游干流上的主要水文站为控制站,根据水文站的分布和流域的自然地理条件划分出 14 个江区(嘉陵江划出 5 个江区,涪江 5 个,沱江 4 个),每个江区分别选出 10~20 个雨量站,计算各江区连续 6 d 的流域平均暴雨总量,根据控制水文站水文资料,算出各江区(流域)洪水总量。在获得各江区暴雨总量和洪水总量的基础上,通过各江区洪水总量与暴雨总量比值(称之为洪水径流系数)的计算,并把不同江区洪水径流系数与相应江区森林植被覆盖率点绘在直角坐标系中;并按点群分布特点定出相关曲线。通过曲线的分析,发现森林覆盖度较低的江区(主要分布于四川盆地中部丘陵区)森林覆盖率每增长 10%,洪水径流系数减小 0.10。在一定程度上,反映了森林植被的减洪作用。

3 森林调洪作用讨论

3.1 森林调洪作用与森林—土壤系统之间关系

森林调洪作用的发挥不能就森林论森林,必须着眼于森林—土壤系统的结构及其截留蓄水的功能。森林—土壤系统通过地面森林生态系统群落结构对降雨的截留和地下土壤生态系统土层结构对雨水的储存来减少暴雨径流形成时间和暴雨径流量。良好的森林—土壤系统结构,必然有良好的截留蓄水功能,截留蓄水功能越强,暴雨对洪水的贡献就越小。因此,研究和表明不同地区森林—土壤系统截留蓄水最大容量本底值,对指导以森林植被恢复重建为内容的森林—土壤系统的建设与保护以及进一步搞好防洪工作有重要意义。四川盆地紫色土丘陵区,近 10 a~20 a 来森林覆盖率从 60~70 年代不到 10%提高到现在的 20%以上,森林覆盖率翻了一番,但是截留蓄水功能没有发生显著的提高,原因在于林下没有灌、草结构,更没有枯枝落叶层,特别是林下的土壤层仍很薄,土壤最大蓄水能力 $500 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,不及正常情况下的 $1/5$,仍表现出大雨大流的现象。因此,四川盆地生态环境建设,不能单纯地追求森林覆盖率这个指标,而必须着眼于生态系统结构的建设,特别是当前应采取有利于地表枯

枝落叶层和土壤有机质提高的措施。

3.2 不能过分地夸大森林调洪的作用

小流域和小集水区森林植被变化对洪水影响的实验资料表明,森林确实有调洪的作用,主要表现在它的截留作用,使雨水径流总量减小和使雨水汇流时间滞后。但是如果前期已发生降雨,森林植被被充分湿润下,其作用主要通过其粗糙度对降雨汇流运动产生影响。具有良好结构的森林生态系统,其粗糙度大,对雨水汇流的滞后作用大,但是对降雨形成汇流的削减作用很小。另外,森林对降雨拦蓄作用与降雨的大小有关,当降雨量很小时,其截留量很大,甚至可达到 100%。随着降雨量的增大,其截留量不断减小。前已述及当降雨量加上其前期截留量大于森林生态系统可能最大截留容量时,超出的降雨量则不再被森林植被拦蓄而流失,若在这种情况下,加之土壤也被充分的湿润时,再出现大暴雨,则可快速形成洪峰径流。关于森林植被在“81·7”特大洪水事件的分析,只考虑了暴雨洪水径流系数与森林覆盖率的关系。实际情况表明,中一大尺度流域条件下的洪水的形成很复杂,其中影响汇流的因素很多,很难用几个参数或简单的模型就能揭示它们之间的复杂关系。通过四川盆地中部丘陵区洪水与森林和流域地形之间关系的一般分析,发现在 $< 100 \text{ km}^2$ 的小流域,坡面汇流比重较大,一般可占 10%~30%,因此坡面森林植被对汇流的影响较大,但是到底有多大影响,尚需作进一步的深入研究。对于几百平方公里的中型流域,河道的汇流和河道的调蓄作用分布于流域山坡上的森林植被对汇流过程可能还有一定的阻滞作用,但是有多大,有待于今后的深入研究。

对于几千甚至几万平方公里以上的中一大型和大型流域,河道的汇流和河道的调蓄作用起着十分重要的作用,分布于流域山坡上的森林植被对汇流过程的影响可能很小,或是小到可以忽略不计。

暴雨发生的时间、强度、历时及其空间分布对流域洪水的形成影响很大。暴雨强度小或历时短,相对于有茂密森林分布的大流域来说,发生洪水的可能很小。若暴雨发生在前期降雨之后,而且强度大、历时长和分布的面积又大,森林的调蓄作用可能就不大了。回顾四川盆地区从公元 7 世纪到 19 世纪共发生洪灾达 133 次^[3],造成大面积灾害损失。历史时期的四川盆地森林覆盖率都是比较好的,在遇上述情况的暴雨,森林再好也是无济于事。

参考文献:

- [1] 王鸣远, 王礼先. 鄂西长江三峡库区森林集水区拦洪作用分析
[J]. 长江流域资源与环境, 1995 4(3).

- [2] 程根伟, 陈桂荣. 长江上游洪涝灾害分析及防灾减灾措施[J].
长江流域资源与环境, 1996 5(1).

An Analysis of Affection of Forest Vegetation Change on Flood ——Take Typical Small Watersheds and History Flood Event in the Upper Reaches of the Yangtze River as Examples

ZHONG Xiang-hao and CHENG Gen-wei

(*Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041 China*)

Abstract: An affection of forest vegetation change of the typical small watersheds on floods and forest vegetation change on history flood event in the upper reaches of the Yangtze River has been analyzed. It is found that increase of forest area at the small watersheds can reduce discharge modulus of flood peak, and continuous storm rainfall can cause fast increase discharge of flood peak after the forest-soil system was wetted by the rainfall before. Investigation, classification and division of background values of contents of intercept and storage rainfall of the forest-soil systems in the upper reaches of the Yangtze River have very important significance for guiding works of restoration and enhancement of forest vegetation and prevention flood.

Key words: forest; flood; the upper reaches of the Yangtze River