

平坦 V 型测流堰在山区森林水文研究中的应用与设计*

饶良懿^{1,2}, 朱金兆^{1,2}, 王玉杰^{1,2}

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 2. 北京林业大学 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083)

摘 要: 科学有效的测流工具是森林水文学研究的重要手段之一。目前国际森林水文学研究中较多使用薄壁堰、三角剖面堰等堰型, 平坦 V 型测流堰的使用相对较少, 后者是国际标准推荐的一种新型量水建筑物, 具有测流范围广、精度高等优点。以重庆四面山森林流域水量平衡观测研究为例, 介绍了该区平坦 V 型堰堰址选择的原则, 分别采用水科院推理公式和小流域暴雨径流组公式计算该区设计洪峰流量, 并以此为依据进行平坦 V 型堰各部分尺寸的设计, 探讨平坦 V 型堰在山区森林水文定位观测中应用的可行性, 为平坦 V 型堰的推广使用提供借鉴。

关键词: 平坦 V 型堰; 应用与设计; 山区森林水文

中图分类号: S715

文献标识码: A

文章编号: 1002-3409(2008)04-0123-03

The Application and Design of the Flat V Weir for Mountain Forest Hydrology Research

RAO Liangyi^{1,2}, ZHU Jinzhao^{1,2}, WANG Yujie^{1,2}

(1. School of Soil and Water Conservation of Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. The Key Laboratory of Soil and Water Conservation & Desertification Combat, Ministry of Education, Beijing 100083, China)

Abstract: Scientific and effective flow measurement tools is important for the forest hydrology research. Many types of flow measurement tools are applied to the quantitative analysis of water balance in catchment scale. The flat V weir is a useful flow measurement tool to get a quantitative relationship between forest change and discharge variation of river which could help to make out the accurate situation of water balance in catchment scale. It is powerful in flow measuring with high precision and has been widely used in forest hydrology research, especially in the mountain areas. The application and detail design of the flat V weir has been discussed in this paper which takes the Simian Mountain forest catchment of Chongqing city as a case study, which is located in the Three Gorges Reservoir Area of Southwest China. The principles of site selection and design of flat V weir have been put forward in this paper. Finally the specific size of the flat V weir has been described in details.

Key words: flat V weir; application and design; mountain forest hydrology

森林与水的关系一直是森林水文学研究的热点问题之一。要研究森林与水的关系就必须借助测流工具进行流域径流和产水量的观测以获得科学而精确的观测数据。在国外, 欧美等一些国家是最早利用测流堰来进行森林水文学研究的。1890 年在瑞士 Emmental 的 Sperbelgraben 和 Rappengraben 2 个小流域首次开始了真正意义上的现代森林水文集水区研究, 1927 年在 Rappengraben 上游建立了汤姆森测流堰(Thomson weir)用于流域的径流观测; 1909 年在美国科罗拉多州南部的 Wagon Wheel Gap 建立了世界第一个配对集水区开展径流观测与研究, 采用的是 V- 凹槽型堰(V2notch weir)测流堰; 美国 COWEETA 森林水文定位观测站于 1934 年建立了森林水文观测体系, 并建立了配对集水区进行森林水文学研究, 他们在控制流域出口处设置了各种

类型的测流堰进行流量的测定, 如 V2notch weir, 矩形堰(rectangle weir), 深凹口堰(deep notch weir), cipolletti 型堰(cipolletti weir)等, 其中 23 个控制流域出口处大多采用的是 90° 和 120° 的 V2notch weir, 流域控制面积在 2.5~140 hm², 其余 8 个则设在更大一些流域出口, 大多采用 cipolletti weirs 堰型进行观测。在中国, 随着 20 世纪 70 年代森林水文学研究热潮的兴起, 陆续建立了从寒带至热带不同地理区域的各种类型的森林生态系统水文定位观测站, 而各种类型的测流堰也随之广泛应用于不同尺度的森林生态系统水文生态功能的长期定位观测研究中, 如亚热带常绿阔叶林、热带雨林、暖温带等森林生态系统水文定位观测站等。北京林业大学 20 世纪 80 年代末 90 年代初在黄土高原山西省吉县蔡家川流域布设了多个次生林和人工林测流堰进行控制流

* 收稿日期: 2007-12-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(30500389); 国家/ 十一五科技攻关课题(2006BAD03A1802)

作者简介: 饶良懿(1976-), 女, 福建建瓯人, 博士, 副教授, 主要从事林业生态工程、森林生态水文、水土保持等领域研究。E-mail: raliangyi@bjfu.edu.cn

域的水文泥沙研究,采用的是矩形三角复合堰,这种堰型适用于黄土丘陵沟壑区的自然气候环境特点,既能满足大雨量期洪峰流量的观测又能确保小雨量期径流的观测精度。

在这些堰中应用比较多的是薄壁堰、平顶堰、三角剖面堰、巴歇尔槽及一些复合堰等,而平坦 V 型堰用得不多,这主要是由森林水文研究地点的自然气候和地理条件决定的。选择合适的测流堰类型是森林流域水量平衡观测数据准确性的首要保障。如在中国西南季风气候区,干雨季节分明,一般干季(11 月- 翌年 4 月)降水只占年降水总量的 17%,期间地表径流量少;而雨季(5- 10 月)降雨量丰富且降水强度大,降水量占年降水总量的 83%,在设计测流堰时既要保证在较小径流量时的测流精度,又要保证在最大降水(由暴雨引发的洪峰过程)时也能准确观测到径流量,使测流堰不能溢口,刘玉洪等^[1]针对该区的特点在西双版纳热带森林集水区设置了直角三角矩形复合堰进行集水区径流观测。

平坦 V 型堰是国际标准推荐的一种新型测流工具^[2],它是上部为矩形、下部为 V 形的复合断面量水设备,其最大的优点是能使最大流量和最小流量的测流精度都较高,特别适合在水头变化范围大而又要求测流精度高的渠道上使用^[324]。在森林水文学研究中,平坦 V 型堰被用于揭示流域森林植被变化对径流和洪水的影响,从而为建立和检验森林水文模型的参数提供可靠的数据。就以重庆四面山响水溪森林小流域为例,介绍平坦 V 型堰堰址的选择、设计洪峰流量的确定及堰体的具体设计方法等,以为他人的应用和研究提供借鉴。

1 研究区概况

四面山森林流域位于重庆市南端,北纬 28°31'41"- 28°46',东经 106°17'22"- 106°30'。地势南高北低,海拔为 900 ~ 1 500 m。岩层主要是白垩纪晚期夹关组厚层红色砂岩,经张力作用和外营力作用的强烈冲蚀切割形成的典型丹霞地貌。本区属于北半球亚热带季风性湿润气候区,气候温暖湿润,雨量充沛,四季分明,无霜期为 285 d。多年平均气温 13.7℃,月平均最高气温为 8 月份,达 31.5℃,月平均最低气温为 1 月份,为 - 5.5℃,海拔每上升 100 m 气温递减 0.58℃。多年平均降雨量 1 522.3 mm,日最大降雨量 160.5 mm。雨季集中在 5- 9 月,占年平均降雨量的 62.7%。降雨量变化较大,海拔每上升 100 m,降雨量递增 43.3 mm。植被具有典型的亚热带常绿阔叶林特征,由天然次生林和人工林组成,主要乔木树种有杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)、柳杉(*Cryptomeria fortunei*)、石栎(*Lithocarpus hancei*)、木荷(*Schima superba*)、青冈(*Cyclobalanopsis myrsinaefolia*)、紫花杜鹃(*Rhododendron backii*)、福建柏(*Fokienia hodginsii*)等,此外还有楠竹(*Phyllostachys pubescens*)等竹类植物。土壤是酸性母质在生物气候和人为活动的作用下形成的,呈微酸性至酸性,主要的森林土壤类型为粗骨黄壤、腐殖质黄壤、山地黄壤、冷砂黄壤等。

2 平坦 V 型堰堰址的确定

2.1 设计的目的

设计的主要目的是为了科学而准确地获得所研究森林

控制流域的径流和产水量数据,探索该流域的水量平衡规律,研究该区森林植被变化对流域洪水及径流的影响,同时利用所得到的观测数据检验森林流域水文模型,为模型的建立和校验提供可靠的水文参数。

2.2 闭合集水区及堰址选择的原则

(1)选择地形、地貌、土壤及植被方面具有代表性的闭合集水区;(2)集水区面积大小适中,植被类型较多;(3)测流断面尽量选在跌水、陡坡上,保证水流呈自由流状态;(4)测流断面附近河底比较平坦,有较长的顺直段,无支流汇入,无水库回水;(5)交通便利、观测方便,有利于设备安装和维护。

2.3 闭合集水区及堰址的选定

根据以上原则,在研究区域选择闭合集水区,集水区特征参数如表 1 所示。

表 1 森林集水区特征参数

| 集水区名称 | F | L | J | $H= L/ J^{1/3} F^{1/4}$ |
|-------|------|------|-------|-------------------------|
| 响水溪 | 9.00 | 6.12 | 66.10 | 8.74 |

注:F:集水区面积(km²);L:集水区汇流长度,包括坡面和主干河道的长度(km);J:沿流程的平均纵比降(j)。

3 设计洪峰流量的确定

首先应确定量水建筑物的设计标准^[6]。一般来讲量水建筑物的设计标准不宜过高,否则造价会很高。标准低一些即使遇到超标洪水,破坏性也不会很大,仍可通过浮标法或洪水调查法获得观测数据。设计中采用频率为 5% 和频率为 10% 的设计洪水进行计算。

小流域设计洪水的推求方法很多,有推理公式法、经验公式法、综合瞬时单位线法、洪水调查法等。由于推理公式在公式推导过程中大多经过一定的假定和概化,公式中的参数也存在一定问题,因此在计算设计洪峰流量时,应尽可能地采用几种方法,综合分析比较后,合理选定设计洪峰流量的值。本设计采用水科院推理公式和小流域暴雨径流组公式进行设计洪峰流量的计算。

3.1 水科院推理公式

水科院推理公式是以等流时线原理为基础,通过产流、汇流分析,由暴雨推求洪水,其基本形式为

$$Q_m = 0.278 S_p / S^W F$$

式中:Q_m))) 最大洪峰流量(m³/s);S_p))) 设计暴雨雨力(mm/h);S))) 汇流历时(h);n))) 暴雨衰减指数;W))) 成峰径流系数;F))) 集水区面积(km²)。

根据5 四川省水文手册^[7]查得该流域的暴雨统计参数 H₂₄,C_v,C_s。根据集水区的雨洪特性、河道特征、土壤植被条件等确定汇流参数 m 的值为 0.39。采用上式分别计算频率 P 为 10% 和 5% 的最大洪峰流量,结果如表 2 所示。

3.2 小流域暴雨径流组公式

小流域暴雨径流组公式是由铁道部第一设计院,中国科学院地理研究所及铁道部科学研究院西南研究所组成的小流域暴雨径流研究组提出的,其基本形式为

$$Q_m = 0.278 S P F C t_0^n$$

式中:Q_m))) 最大洪峰流量(m³/s);S))) 雨力(mm/h);

P))) 最大同时汇流面积系数, 为形成洪峰最大同时汇流面积 f 与全流域面积 F 的比值; F))) 集水区的控制面积 (km²; C))) 径流系数; t_Q))) 形成洪峰时间(h); n))) 暴雨衰减指数。

表 2 采用推理公式法计算的最大洪峰流量值

| F | L | J | $H= L/J^{1/3}F^{1/4}$ | m | H_{24} | C_v | C_s | P |
|-----------|------|--------|-----------------------|------|------------|-------|-----------|---------|
| 9 | 6.12 | 0.0661 | 8.74 | 0.39 | 92 | 0.5 | 3.5 C_v | 10%, 5% |
| H_{24p} | n | S_p | S_0 | L | LS_0/S_p | W | S | Q |
| 153 | 0.71 | 60.76 | 3.92 | 3.93 | 0.171 | 0.82 | 4.164 | 45.27 |
| 183 | 0.70 | 70.56 | 3.73 | 4.26 | 0.152 | 0.845 | 3.925 | 57.28 |

注: m : 汇流参数; H_{24} : 年最大 24 h 暴雨均值(mm); C_v : 离差系数; C_s : 偏差系数; H_{24p} : 年最大 24 h 设计暴雨量(mm); n_2 : 暴雨衰减指数; S_p : 设计暴雨雨力(mm/h); S_0 : 当 $W=1$ 时流域汇流时间(h); L : 平均下渗强度(mm/h); W 成峰径流系数; S : 汇流历时(h); Q_m : 最大洪峰流量(m³/s)。采用小流域暴雨径流组公式计算结果如表 3 所示。

表 3 采用小流域暴雨径流组法计算的最大洪峰流量值

| F | A ₁ | | L ₁ | | I ₁ | | A ₂ | | L ₂ | | I ₂ |
|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|----------------|------|----------------|--|----------------|
| 9 | 0.167 | | 5.75 | | 69.24 | | 0.004 | | 0.37 | | 520 |
| P | S _点 | S _面 | n | K ₁ | K ₂ | x | y | C | Q _m | | |
| 10% | 60.76 | 57.11 | 0.71 | 2.17 | 15.77 | 17.15 | 0.456 | 0.65 | 48.87 | | |
| 5% | 70.56 | 66.32 | 0.70 | 2.17 | 15.77 | 17.15 | 0.456 | 0.65 | 62.30 | | |

注: F : 集水区控制面积(km²); A_1 : 河槽流速系数; L_1 : 主河槽长度(km); A_2 : 坡面流速系数; L_2 : 山坡长度(km); I_2 : 山坡平均坡度(j); $S_{点}$: 点暴雨雨力(mm/h); $S_{面}$: 面暴雨雨力(mm/h); n : 暴雨衰减指数; K_1 : 河槽汇流因子; K_2 : 山坡汇流因子; x : 山坡和主河槽综合汇流因子; y : 反映流域汇流特征的指数; C : 径流系数; Q_m : 最大洪峰流量(m³/s)。

3.3 设计洪峰流量的确定

表 4 列出了根据推理公式法和 小流域暴雨径流组法计算得到的最大洪峰流量 Q_{max} 的值, 取 55 m³/s。

表 4 2 种方法得到的最大洪峰流量值 m³/s

| | 推理公式法 | 小流域暴雨径流组法 |
|------------|-----------------------|---------------------|
| 公式形式 | $Q_m=0.278S_p/S_nW^F$ | $Q_m=0.278SPFCtQ^n$ |
| $Q_{10\%}$ | 45.27 | 41.30 |
| $Q_{5\%}$ | 57.28 | 54.04 |

4 平坦 V 型堰堰体各部分的尺寸设计

根据流域测流断面情况, 选择堰宽 $B=10\text{ m}$, 堰顶横向坡度 1B 10, 上下游坡度分别取 1B 2 和 1B 5, 堰槛高 $P_1=0.5\text{ m}$ 。20 a 一遇设计洪峰流量 $Q_{设5\%}=55\text{ m}^3/\text{s}$ 。上游实测水头取 h_{1e} 取 2 m, 采用如下流量计算公式:

$$Q=0.8C_{De}C_vZ_hg^{1/2}mh_{1e}^{5/2}$$

式中: C_{De}))) 自由流流量系数; C_v))) 行近流速系数; Z_h))) 形状系数; h_{1e}))) 以堰顶最低点为基准面的上游有效实测水头(m)。

计算结果如表 5 所示。

表 5 平坦 V 型堰设计尺寸

| B/ m | P_1 / m | hc | m | 堰上游 坡度 | 堰下游 坡度 | h_{1e} | Q' (m ³ # s ⁻¹) |
|---------|--------------|-----|----|-----------|-----------|----------|---|
| 10 | 0.5 | 0.5 | 10 | 1B 2 | 1B 5 | 2 | 56.50 |

注: B : 堰宽; P_1 : 堰槛高; hc : 堰的最高点与最低点之差; m : 堰顶的横向边坡系数; Q : 流量。

由于 $Q=56.50\text{ m}^3/\text{s}$ 大于最大设计洪峰流量值 $55\text{ m}^3/\text{s}$

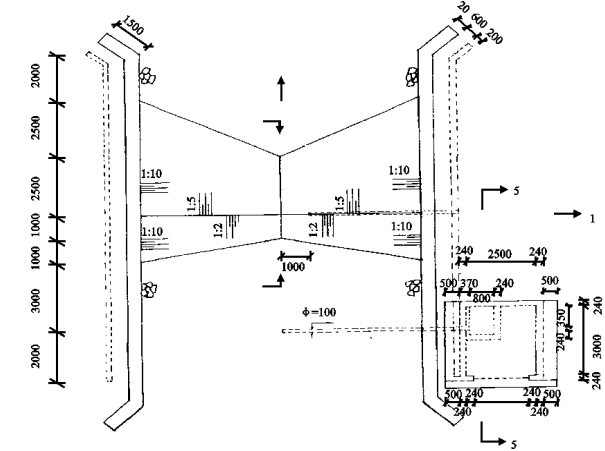


图 1 平坦 V 型堰及观测室平面图

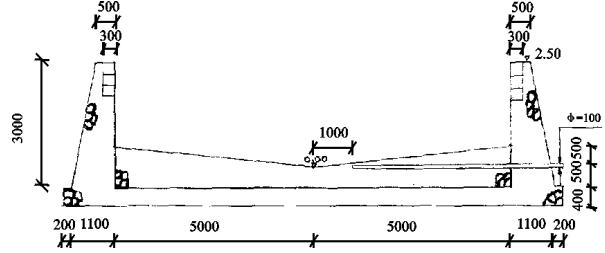


图 2 平坦 V 型堰 1- 1 断面剖视图

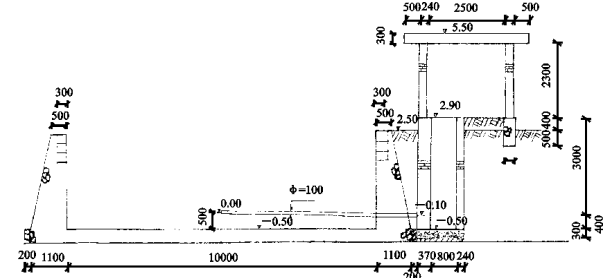


图 3 平坦 V 型堰 2- 2 断面剖视图

绘制平坦 V 型堰施工设计图, 如图 1, 2, 3。

5 结论和建议

(1) 平坦 V 型堰适用于西南山区雨量丰沛径流含沙量小的森林流域, 既能实现大雨量期洪峰流量的观测又能确保小雨量期径流的观测精度, 能够满足山区森林流域水文学研究的需要;

(下转第 129 页)

重大举措,也是努力构建人与自然和谐关系的积极探索,是一项“惠民工程0√生态工程0”。工程将淹没区肥沃的耕作层土壤搬移,一方面抢救、保护了库区宝贵的耕地资源,另一方面可以大幅度降低库区水库水体的富养化程度,清洁水质和减少库底泥沙的淤积,改善水库生态环境。工程将肥沃土壤覆盖到淹没线以上的瘠薄耕园地,增加了库区耕地数量,有

效提高了耕地质量,较好地缓解了库区尖锐的人地矛盾,提高了耕园地的产出率,增加了农民的收入。同时,通过田、水、路、林、村的综合整治,一方面提升淹没线以上耕地的保水保肥能力,有效降低库区严重的水土流失强度,改善库区生态环境,另一方面完善了农民的生产生活条件,对推进库区新农村建设有重大意义。

表 3 各地类梯田设计

| 地类 | 平均坡度/(b) | 田坎标高/m | 田块宽度/m | 石(土)坎高度/m | 石(土)坎顶宽/m | 石(土)坎长度/km | 占地损失比/% |
|----|----------|--------|--------|-----------|-----------|------------|---------|
| 水田 | 14 | 1.2 | 4.57 | 1.70 | 0.35 | 17.26 | 5.0 |
| | 11 | 1 | 4.64 | 1.20 | 0.30 | 5.38 | 9.7 |
| 旱地 | 10 | 1 | 5.17 | 1.20 | 0.30 | 0.53 | 8.8 |
| | 18 | 1 | 2.58 | 1.20 | 0.30 | 9.85 | 16.2 |
| 菜地 | 11 | 1 | 4.64 | 1.20 | 0.30 | 0.08 | 9.7 |
| 茶园 | 19 | 1 | 2.40 | 1.20 | 0.30 | 2.62 | 17.2 |
| 柑桔 | 20 | 1 | 2.25 | 1.20 | 0.30 | 4.25 | 18.2 |

三峡库区/ 移土培肥工程0 设计,为合理确定移土培肥区域、面积和工程量及综合整治库区生产与生活环境提供了科学依据与指导,是工程顺利开展与成功实施的保障。三峡库区是地质灾害多发和国家重点生态建设地区,土地整理的主要目的是提高耕地质量,改善排灌条件,建设主产稳产的生态田,因此工程设计中应注意协调好工程建设与生态建设的关 系,强化对水土流失、地质灾害的事前评估、事中防范和事后监测工作,实现工程建设和生态建设的双赢。

三峡库区/ 移土培肥工程0 将表土剥离引入土地整理,谱写了耕地保护的新篇章。我国耕地资源匮乏,大量优质耕地被建设占用,其肥沃的耕作层被废弃,占补平衡中的补充耕地往往质量低下,这使得耕地保护的数量与质量都面临严峻形势,建设占用耕地与耕地保护之间的矛盾更加尖锐。三峡库区/ 移土培肥工程0 的实施,是一种全新的耕地保护和利用理念,是在建设中耕地保护的典范,对我国在土地开发整理实践中积极探索建设占用耕地耕作层剥离与利用方面,具有

巨大的示范作用。

参考文献:

[1] 新华网. 李佩成院士率专家组检查三峡库区/ 移土培肥工程0 项目[EB/OL]. http://news.chd.edu.cn/con2tent/content_6319.

[2] GB/ T16453. 1- 1996, 水土保持综合治理 技术规范 坡耕地治理技术. 土地开发整理相关技术标准汇编(下册)[S]. 北京: 中国人事出版社, 2003: 144 21445.

[3] 刘松林. 水土保持工程[M]. 北京: 水利电力出版社, 1990: 39244.

[4] 姜达炳,樊丹,等. 运用生物埂治理三峡库区坡耕地水土流失技术研究[J] . 长江流域资源与环境, 2004, 13 (2): 1632167.

[5] 刘振国. 为了耕作层的永续利用))) 三峡移土培肥一期工程进展报告[N]. 国土资源报, 20020228(2).

(上接第 125 页)

(2) 平坦 V 型堰要求较高的施工质量,堰体每部分的施工尺寸误差不能超过 1 cm,并要保证堰体各部分不发生渗漏现象;

(3) 在重庆研究区雨季多有暴雨,可对暴雨携来的推移质进行及时清除,在资金允许条件下也可加设沉沙池,以保证测流的准确性及观测数据的精确性和可靠性;

(4) 测流堰的选择影响控制流域水量平衡观测数据的准确性和精确性,因此一定要根据控制流域的自然环境特征及研究的需要出发选择合适的测流堰进行流域径流和产水量的观测。

致谢: 特别感谢北京林业大杨雨行教授对本文的指导!

参考文献:

[1] 刘玉洪, 张克映, 马友鑫, 等. 西双版纳热带森林集水区

测流堰建设的研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(5): 1412143

[2] World Meteorological Organization. Use of weirs and flumes in Stream gaging[M]. WMO No. 280 Technical Note, 1971: 57.

[3] 范家炎, 史伏初, 等. 灌区量水设备[M]. 北京: 水利电力出版社, 1990.

[4] 阿克尔斯 P, 等. 测流堰槽[M]. 北京市水利科学研究所译, 1984.

[5] 饶良懿, 朱金兆, 毕华兴. 重庆四面山森林枯落物和土壤水文效应[J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(1): 33237.

[6] 张增哲. 流域水文学[M]. 北京林业大学, 1990.

[7] 四川省水利电力水文总站. 四川省水文手册[Z]. 1979.