

岩溶区非闭合流域年径流估算方法探讨

吴浩东¹, 胡建平², 许保海¹, 宋平¹,

(1. 贵州工业大学研究生部, 贵州 贵阳 550003; 2. 华东交通大学研究生部, 江西 南昌 330013)

摘要 在分析岩溶区域特征的基础上, 构建流域水量平衡方程式, 计算流域之间的交换水量 Δu , 并结合非闭合流域的特征, 提出在有资料和无资料的情况下 Δu 的估算方法, 可应用于工程设计中。

关键词 岩溶山区; 非闭合流域; 年径流; 流域交换水量

中图分类号: TV121 文献标识码: A 文章编号: 1004-693X(2005)01-0021-03

An estimation method of annual runoff in unclosed basin in karst region

WU Hao-dong¹, HU Jian-ping², XU Bao-hai¹, SONG Ping¹

(1. Department of Graduate, Guizhou University of Technology, Guiyang 550003, China 2. Department of Graduate, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract Based on an analysis of the characteristics of karst region, a water balance equation is established to analyze the inter-basin water quantity exchange. With the character of unclosed basins taken into consideration, an estimation method is put forward, which could be applied to project design.

Key words Karst region; unclosed basin; annual runoff; inter-basin water quantity exchanged

岩溶山区地质结构复杂, 导致流域年径流难以准确地具体计算, 给工程设计工作带来很大的困难。针对这一问题, 笔者根据实践经验, 结合流域的地理特征, 提出在有资料和无资料的情况下年径流的估算方法, 以期对工程设计工作有所裨益。该估算方法已经应用到贵州的乌江水系的徐家渡站及织金站, 并取得了成功。鉴于文章篇幅所限, 文中不做实例说明, 只对估算方法进行探讨。

1 基本概念

所谓闭合流域, 就是该流域的地面分水线明确, 且地面与地下分水线又相互重合。反之, 则称为非闭合流域。年径流分析计算就是研究河川年径流的多变化及径流在年内分配的规律, 以年为时段的流域水量平衡方程式为

$$y = x - z + \Delta u + \Delta w$$

即年径流量 y 取决于属于气象因素的年降水量 x 和年蒸发量 z , 以及属于下垫面因素的年末与年初比

较的流域蓄水变化量 Δw 和流域之间的交换水量 Δu 。山区河流的流域蓄水量较小, 其年变化值 Δw 更小, 通常可忽略不计。

在流域完全闭合时 $\Delta u = 0$, 水量平衡方程式为

$$y = x - z$$

在非闭合流域, 交换水量 Δu 可能占较大比重, 故其水量平衡方程式为

$$y = x - z + \Delta u$$

2 问题的提出

岩溶是运动着的水流(包括地表与地下)与可溶性岩层相互作用的过程。由于地下暗河的发育, 地表水系与地下水系的相互袭夺, 往往造成地表分水线与地下分水线不一致。在此条件下, 河川中实测的年径流 $y_{\text{实}}$ (指地表集水面积)与本流域内降水所形成的径流 $y_{\text{本}}$ (包括地表与地下)是不相等的, 其差值即流域之间的交换水量 Δu 。在进行区域水文分析计算时, 需要用的是本流域径流 $y_{\text{本}}$ 。在做工程

设计时,需要用的是工程断面以上的河川实际的年径流 $y_{实}$,其关系为 $y_{实} = y_{本} + \Delta u$ 。水文站所测到的是测流断面以上的河川实际的年径流 $y_{实}$ 。利用这些水文站资料,正确估算各流域降水所产生的总径流 $y_{本}$,据此进行区域水文分析,制作各种水文要素等值线图。本文试图充分利用水文资料,把这些等值线图正确地运用到各个工程断面,估算出各个工程断面的实际径流 $y_{实}$,为工程的规划与设计服务。

3 估算方法

在岩溶山区,由于地表水系与地下水系的相互袭夺,造成地表分水线与地下分水线不一致,也就是河流的地表集水面积与地下集水面积是不一致的。与一般山区一样,在岩溶山区的河川径流中也包括地表径流与地下径流,地表径流变化剧烈而地下径流变化缓慢。但是,它的地表径流完全是由本流域降水产生的,其地下径流有本流域降水的渗入补给,还有与相邻流域的互相交换水量。其交换水量的大小,不能简单从地下集水面积去估算。有些地下集水面积是变化的或共用的,这就要从分析相邻流域之间的地下水量交换的方向和过水能力来估算交换水量。所以,在水文计算中,只需要采用一个面积(地表集水面积)即可。岩溶山区河流的地表集水面积的含义与一般的山区河流有所不同。不少中小河流是时明时暗的,也就是说,一条河流中可能有不少伏流河段。在分水岭地区,常有许多闭合的洼地,其径流都经过洼地中的消水洞转入地下。因此,在确定一条河流的集水面积时,首先要把河流的来龙去脉搞清楚,要把各个闭合洼地径流的去向都搞清楚。凡是流入同一河流的所有地表集区及闭合洼地,都应算在该河流的地表集水面积范围之内。在岩溶山区,不能单靠地形图来确定分水线,必须结合实地调查,搞清楚比此流域更大范围径流的来龙去脉,才能得出正确的地表集水面积。当地表集水面积确定之后,参照相似的闭合流域资料或径流等值线图,确定该流域的径流正常值 $y_{本}$ 与实测的年径流值 $y_{实}$ 之差,即为该流域之间的水量交换值 Δu 。若 $\Delta u > 0$,称为盈水流域,反之,若 $\Delta u < 0$ 称为亏水流域。

3.1 有资料地区估算 Δu 的方法

在岩溶山区,一些水文站的实测年径流深与相邻站的比较,存在着系统偏大或系统偏小的情况。流域之间的水量交换取决于两个因素:①消水洞以上河流的流量过程曲线($q \sim t$ 曲线);②消水洞与地下暗河的过水能力 P 。

当 $q < P$ 时,流域之间的交换水量就等于消水洞以上的流量 q ;当 $q > P$ 时,交换水量就等于暗河

的过水能力 P 。这样处理,没有考虑地下水调节作用,其对一次洪水过程可能有较大影响,但对于研究的年径流影响不大。

理想化模型:流域之间的水量交换在亏水流域只有一个消水洞,在盈水流域只有一个消水洞,其间有一条暗河相连,其消水洞以上河流的流量过程曲线($q \sim t$ 曲线)可参照相似流域的水文站资料,用水文比拟法得到。其过水能力 P 用出水洞的最大流量代替,用 P 值在 $q \sim t$ 曲线上平割,割线以下阴影部分面积即为 Δu 值,如图 1 所示,阴影部分的面积就是 Δu 值。

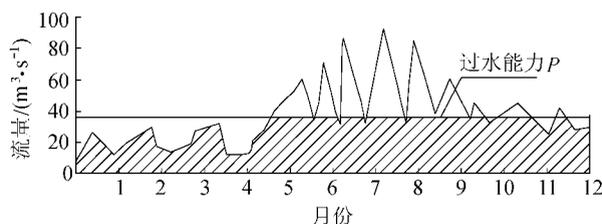


图 1 河流的流量过程曲线

但是,实际情况是很复杂的,消水洞一般是分散的,各洞口的高程不一致,而且有的洞口不明显,难以调查清楚。出水洞也是分散的,有的在悬崖峭壁上,无法调查其最大出水流量;有的在河面以下,泉水与河水混在一起,分不清泉水的确切流量值。暗河也不止 1 条,而是多条分散的。所以实际情况不能像理想化模型那样,但可以根据主要消水洞以上的流量过程线与主要出水洞的最大流量,大致确定 Δu 值。

估算出 Δu 值后,要与区域水文分析方法的数字进行对照。具体方法如下:先根据闭合(或基本闭合)流域的资料,做出陆地蒸发量 z 等值线图。查得所需流域的 z 值,再由水量平衡方程式 $\Delta u = y + z - x$ 得出 $\Delta u_{算}$,此值包括了 x, z, y 三项的误差,若 $\Delta u_{算}$ 很小,即可认为该流域是基本闭合的,即 Δu 可以忽略不计。若 $\Delta u_{算}$ 较大,就应认真对待,从盈水流域出露的泉水,可以调查到暗河的最小流量和最大流量(即过水能力),两者之比即为暗流量的年内变幅,由此估算出 $\Delta u_{调}$ 。当 $\Delta u_{算}$ 与 $\Delta u_{调}$ 相差很小时,在其间合理取值,即可得 Δu 。若 $\Delta u_{算}$ 与 $\Delta u_{调}$ 相差很大时,则应当根据 x, z, y 各项的允许误差,适当修正 $\Delta u_{算}$ 。同时复查有关调查资料,适当修正 $\Delta u_{调}$,使两者接近,再合理选取 Δu 。

3.2 无资料地区估算 Δu 的方法

在岩溶山区,分析人类活动影响较小的基本闭合流域水文站的枯水资料,得出枯水模数的地区变化规律,也就是说各地都存在着枯水模数的正常值。岩溶山区非闭合流域之间的水量交换,主要是在枯

水和比较枯的流量中进行的。枯水流量和泉水流量的年内变幅,都与交换水量 Δu 存在着密切的关系。所以,在无资料地区可通过枯水分析和水文调查的方法,大致估算 Δu 。

在盈水流域,先进行设计断面的枯水调查,了解该断面的枯水流量比正常条件下的枯水流量大多少。再进行全流域的泉水调查,了解枯水流量比正常条件下的枯水流量所大的数量与哪些泉水的枯水流量接近,判断哪些泉水可能是外流域补给的。再进一步了解这些泉水流量的变幅,若变幅都很小,则 Δu 就接近于调查的平均枯水流量与该流域枯水流量正常值的差数,若泉水流量的变幅较大, Δu 就应等于这个数的若干倍,倍数可按泉水年内变幅的 $1/2 \sim 1/3$ 取用。若泉水的最大流量调查的比较准确,可按的 $P/q_{\min} \sim \Delta u/P$ 关系曲线估计 Δu 。这样只从盈水流域的枯水流量调查估计的 Δu 还需要验证,最好能调查泉水补给来源的亏水流域,按消水洞以上的集水面积计算年径流 $Q_{\text{年}}$,再按 $P/q_{\min} \sim \Delta u/Q_{\text{年}}$ 的关系曲线估计 Δu ,两者差不多即可合理取值。两者差别大时,则要进行深入调查,找出原因,重新估计,再合理取值。

在亏水流域,要先做设计断面的枯水调查,分析该断面的枯水流量比设计流域的枯水流量正常值小多少。若流域内的消水洞是分散的,则根据消水洞的发育情况,按此差值的若干倍估算 Δu 。消水洞明显的,倍数可先按 $3 \sim 5$ 取用,消水洞不够明显的,按 $1 \sim 3$ 取用,再分析是否合适。若消水河段集中,在枯水季节会形成该河段以下断流,则可根据调查的断流天数,估计该河段以上流域的水量损失 Δu ,其关系可参考表 1。

表 1 河流断流情况与 P/q_{\min} 和 $\Delta u/Q_{\text{年}}$ 关系

河流断流天数/d	P/q_{\min}	$\Delta u/Q_{\text{年}}$
1	1	0.1 左右
90	2~3	0.2~0.3
180	5 左右	0.3~0.5
270	10 左右	0.5~0.7
330	25 左右	0.7~1.0

若经暗河补给盈水流域的出水点明显,又便于调查,则应查出水点的枯水流量及流量变幅,估计 Δu 。

以上能调查到的,应尽量去搞清楚。从不同的途径估算 Δu 相互验证比较,以便取得最合理的成果。

4 结 语

在岩溶山区非闭合流域,实测径流 $y_{\text{实}}$ 与本流域径流 $y_{\text{本}}$ 是不相等的, $y_{\text{实}} = y_{\text{本}} + \Delta u$ 。在设计非闭合流域的工程时,不能生搬硬套地使用年径流参

数等值线图。

通过本文,可以解决两个问题:①把各水文站的 $y_{\text{实}}$ 变为 $y_{\text{本}}$;②把各设计流域查图得到的 $y_{\text{本}}$ 变为 $y_{\text{实}}$ 。这样,可方便地把水文资料正确地运用到工程设计中,同时也可用实际所测年径流量来绘制水文等值线图。

参考文献:

[1] 王继辉. 贵州省缺乏实测流量资料地区河川年径流分析计算的几个问题[J]. 贵州水力水电, 2002(2): 21~25.
 [2] 王继辉, 郭履维. 贵州省诸河流枯水规律初步分析[J]. 水文, 1995(5): 54~58.
 [3] 马学尼, 叶镇国. 水文学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1996.
 [4] 梁虹, 王剑. 喀斯特地区流域岩性差异与洪枯水特征值相关分析[J]. 中国岩溶, 1998(1): 22~26.
 [5] 高诞源, 叶寿征. 水文下垫面分析与分类初探[J]. 水文, 1999(4): 13~18.
 [6] 冯国章, 王双银. 河流枯水流量特征研究[J]. 自然资源学报, 1995(12): 24~29.
 [7] 杨明德, 谭明, 梁虹, 等. 喀斯特流域水文地貌系统[M]. 北京: 地质出版社, 1998.

(收稿日期 2003-11-07 编辑: 傅伟群)

《河海大学学报(自然科学版)》征订启事

《河海大学学报(自然科学版)》是以水资源开发、利用与保护为重点的综合性学术期刊,主要刊登本校在水资源、水文、地质、测量、水利工程、水电工程、水运工程、海洋及海岸工程、水工结构、工程力学、水力学及河流动力学、岩土工程、计算机科学、电力工程、电子技术及自动化工程、工业与民用建筑、管理工程、水利经济、环境工程、机械工程等学科方面的科研成果、学术论文、学术讨论、研究动态等学术性文章,可供上述有关专业的科技工作者及大专院校师生阅读和参考。

本刊创办于 1957 年,是我国中文核心期刊,在国内工程技术界和学术界有较大影响。刊载的文章中,有不少国家科技攻关(重点)项目和各种科学基金资助项目的研究成果,部分达到了国内领先和国际先进水平,为我国水利、水电、水运工程及其他有关工程建设的规划、设计、施工和管理提供了科学理论、方法和具体建议,发挥了较大的社会效益和经济效益,深受工程界和科技界赞许,并获得全国高校科技期刊优秀编辑出版质量奖,以及中国期刊方阵“双效期刊”、江苏省优秀期刊、全国水利系统优秀期刊称号。

本刊每逢单月出版,国内外公开发行。邮发代号: 28-63,每本定价: 8.00 元,全年订费 48.00 元。欢迎广大读者在全国各地邮局订阅或直接与编辑部联系。联系地址:南京市西康路 1 号《河海大学学报(自然科学版)》编辑部,邮政编码 210098。