

GIS 技术在小流域地区暴雨推求设计洪水的应用

黄锋华

(广东省水利水电科学研究院, 广东省水动力学应用研究重点实验室, 广东 广州 510610)

摘要:广东省小流域地区暴雨推求设计洪水的方法主要是广东省综合单位线法和推理公式法。GIS 技术结合 DEM 和土壤数据的应用为流域地理属性的提取提供了便利,进而为无资料地区设计洪水推求提供基础条件。该文以流溪河水库流域为例,采用 STRM90m 的 DEM 和国际粮农组织 (FAO) 1k 分辨率的土壤数据,在 ArcGIS9.2 平台中分析计算流域地理参数,用以计算该流域地区暴雨推求设计洪水,取得较好的效果。

关键词:GIS 技术;数字高程模型;地理参数;小流域设计暴雨;设计洪水

中图分类号:P208:P333 **文献标识码:**B **文章编号:**1008-0112(2010)10-0040-03

前言

在农田水利基本建设中,大量工程措施位于小流域上,诸如建库蓄洪、修建农田灌溉排水措施、公路和铁路桥涵建筑、城市和工矿地区的防洪工程等方面的计算,都需要依据小流域设计洪水的计算结果,而小流域地区多属于无资料地区。目前,广东省综合单位线法和推理公式法是广东省内小流域设计洪水计算的主要方法,并发挥着积极作用;通过使用 1991 年编制的《广东省暴雨径流查算图表》^[1] 计算方法和 1993 年编制的《广东省暴雨等值线图》^[2] 可以快速地推求小流域的设计洪水。但是,这 2 种方法涉及的参数较多,如何正确地获取参数,减少参数选取的不确定性,是提高设计洪水计算精度的关键问题。特别是人类活动干预少、资料严重匮乏的小流域地区的设计洪水计算,参数获取显得意义尤为重大。为了能验证 GIS 技术在无资料地区设计洪水计算过程中发挥的作用,本文选取具有一定资料的流溪河水库流域进行小流域暴雨推求设计洪水的分析计算。

1 两种方法简介

1.1 广东省综合单位线法

广东省综合单位线法是广东省水文局通过对纳希瞬时单位线方法的深入分析,吸取国内外经验并结合广东省的具体实际提出来的具有本地特色的综合单位线法。选取了广东省内集雨面积为 2.30 ~ 950km² 的 50 个水文站共 639 场雨洪进行资料分析与综合;产流分析

采用初损后损法,全省共分 5 个产流分区并给出集水面积大于和小于 100km² 的产流参数,初损 I_0 、平均后损 f_{24} 、平均损失率 f_{3d} 。由于据实测大洪水分析综合的 I_0 很小,在推求设计洪水时,为简化计算,不扣初损,只扣后损,也不考虑通过地下径流回归至设计洪水中;汇流分析主要是采用应用于线性系统识别的最小二乘法解算经验单位线,综合给出分区分类的以无因次单位线 $u_i \sim x_i$ 表达的经验线型,并从实际条件出发,建立分区集水区域特征参数 $\theta = L/J^{1/3}$ 与稳定的单位线滞时 m_1 的关系。

1.2 推理公式法

推理公式法是小流域暴雨推求设计洪水中最为常用的一种方法,该方法已经在广东省地区使用多年,积累了不少经验。全省共选用集水面积 2.30 ~ 950km² 的 48 个水文站共 597 次实测暴雨洪水资料,资料使用至 1983 年。产流方法采用单位线法的初损后损法,即产流分析采用广东省综合单位线的成果。其中汇流参数 m 是推理公式法中最为关键的参数之一,通过对流域地理特征的分析总结和结合《广东省暴雨径流查算图表》可以由 $\theta = L/J^{1/3}$ 查取汇流参数 m 。

2 流域地理信息提取

地理信息系统 (GIS) 技术具有强大的地理空间分析和数据管理能力,数字高程模型 (DEM) 则具有丰富的地理属性信息,通过 GIS 技术对 DEM 数据的挖掘,提取出有利于流域管理的地理信息。GIS 技术现已广泛

收稿日期:2010-09-15

作者简介:黄锋华(1985-),男,硕士,主要从事水文水资源分析计算工作。

应用于水文建模、防洪减灾、水资源管理、水利信息化建设等诸多领域,本文探讨该技术在流域暴雨推求设计洪水中的应用。

本文采用 ArcGIS 9.2 及其扩展模块 Arc Hydro Tools 在 STRM90m 分辨率 DEM 基础上进行流溪河水库流域地理信息的提取。

2.1 流溪河大坝以上流域简介

流溪河水库大坝位于流溪河干流上游、从化市良口镇境内,距离从化市区 30km、广州市区 90km。坝址以上流域位于东经 $113^{\circ}15' \sim 113^{\circ}55'$ 、北纬 $23^{\circ}10' \sim 24^{\circ}01'$ 之间,地处北回归线,属华南亚热带气候。实测多年平均降雨量为 2 082mm,多年平均入库流量为 $21.8 \text{ m}^3/\text{s}$ 。坝址以上主要有 2 条支流,包括吕田水和玉溪水。流溪河大坝以上流域,简称流溪河水库流域,坝址以上河长为 37km,水库总库容为 3.78 亿 m^3 ,流域集雨面积为 539 km^2 。

2.2 集雨面积

流域地理信息提取的最关键一步是确定流域的范围,即控制断面以上的集雨面积。在自然流域的情况下,通过 ArcGIS 扩展模块 Arc Hydro Tools 可以容易地实现流域集雨面积的提取。提取集雨面积的步骤可以分为:①原始 DEM 数据预处理,主要是对流域内洼地进行填注;②基于 D8 法^[3]流向生成;③累积流生成;④流域出口点生成;⑤最后通过 Batch SubWatershed Definition 生成流溪河水库流域集雨面积。在生成的 SubWatershed 矢量文件的属性表中可查得流溪河水库流域面积为 535 km^2 (与实测集雨面积 539 km^2 接近);再经过 ArcGIS 空间分析模块 Spatial Analyst Tools 实现流域范围内的 DEM 截取,结果见图 1。从 DEM 图上可以看出流溪河水库流域地形为东南高西北低。

2.3 河长

河长 L 亦称河流长度,即自工程所在河流断面起沿干流河道至分水岭的最长距离,包括干流以上沟形不明显部分的坡面流程长度,以往主要通过在地形图上用曲线仪或小分规量出。采用 Arc Hydro Tools 内置提取最长河流的工具 Longest Flow Path,通过输入流溪河水库流域范围以及流域范围内的流向,即可生成流溪河水库流域河长,结果见图 2。在生成河长矢量文件的属性文件中查取流溪河水库流域河流长度为 42km (与实测河长 37km 相差 5km,相对误差为 12%)。

2.4 干流平均坡降

干流平均坡降 J 是指自分水岭至工程所在河流断面的纵断面图上按坡降变化特征划分河段求出的综合

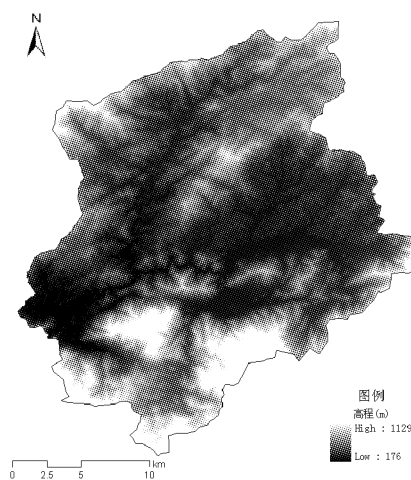


图1 流溪河水库流域范围 DEM

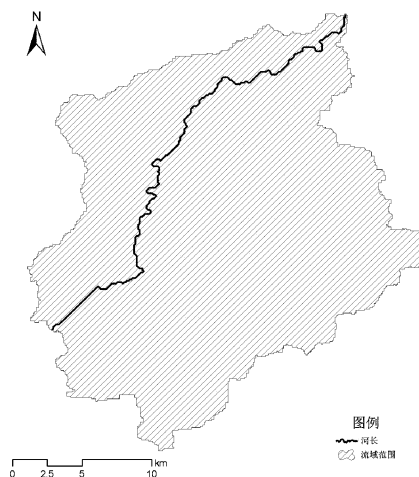


图2 流溪河水库流域河长

平均坡降。一般按公式(1)采用加权平均法计算。

$$J = \frac{(Z_0 + Z_1)L_1 + (Z_1 + Z_2)L_2 + \dots + (Z_{N-1} + Z_N)L_n - 2Z_0L}{L^2} \quad (1)$$

式中 $Z_0, Z_1, \dots, Z_{n-1}, Z_n$ 为自工程所在河流断面起干流各坡降变化特征点的地面高程; $L_0, L_1, \dots, L_{n-1}, L_n$ 为各特征点间距离。

通过前面生成的流溪河水库流域 DEM 与河长数据进行叠加分析,提取沿着河流的高程点及相邻高程点之间的距离。由 ArcGIS 获取的相邻高程点间距为栅格边长或边长的 1.41 倍。沿干流河道共提取高程点数为 354 个,高程点空间分辨率高,完全能够反映干流各坡降变化特征。流溪河水库流域从河源至水库大坝干流高程随距离的变化见图 3,通过公式(1)计算得到流溪河水库流域干流平均坡降为 4.7‰ 。

2.5 其他参数

除了上述 3 个主要的地理参数外,应用广东省综合

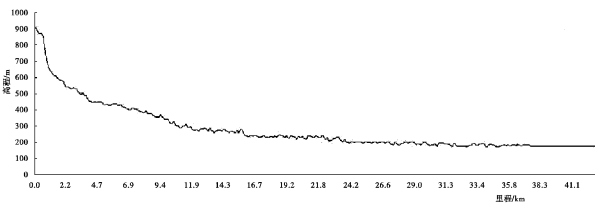


图3 流溪河水库流域干流高程沿程变化

单位线法和推理公式法进行暴雨推求设计暴雨仍需要更为详尽的流域地理信息,作为参数选取的辅助信息,比如:流域中心位置、平均高程、土壤质地等等。通过 Arc Hydro Tools 模块中 Drainage Area Centroid 工具可获得流溪河水库流域中心位置,见图4。应用 ArcGIS 空间分析工具中的栅格计算器分析流溪河水库流域 DEM,统计各个栅格的高程再除以栅格总数,可获得流域平均高程 Z 为 410m;为了了解流溪河水库流域土壤质地,采用国际粮农组织(FAO)于 2008 年发布的 $30'' \times 30''$ 的中国土壤分布数据,应用 ArcGIS 空间分析工具截取流溪河水库流域范围内的土壤类型(见图5),通过分析土壤类型的质地,可知该流域内的土壤类型为壤土、粘壤土和沙壤土,分别占流域面积的 63.8%、31.7% 和 4.5%,说明流溪河水库流域的主要土壤类型为壤土。壤土指土壤颗粒组成中粘粒、粉粒、沙粒含量适中的土壤。质地介于粘土和沙土之间,透水性适中。

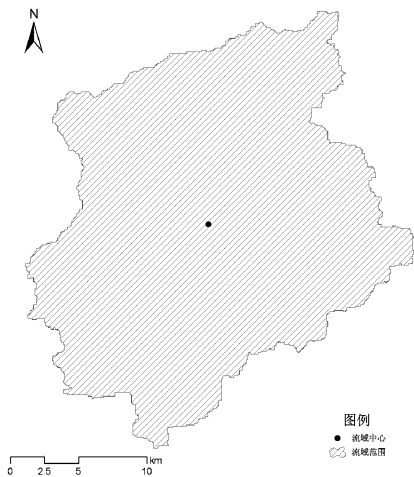


图4 流溪河水库流域中心位置

根据《广东省暴雨径流查算图表》中的汇流参数分类指标表以及前面流域地理信息的提取,可知流溪河水库流域属于高丘区,则应采用高丘区类的汇流参数。

通过 ArcGIS9.2 及其扩展模块 Arc Hydro Tools 对流溪河水库流域的地理信息数据的挖掘,已经具备了广东省综合单位线和推理公式法在小流域暴雨推求设计洪水应用的基础条件,结合相关图表及参考文献^[4],足

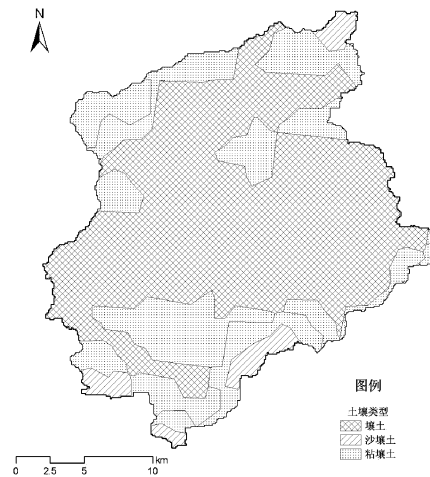


图5 流溪河水库流域土壤类型

以完成设计洪水的推求。

3 设计暴雨

从《广东省暴雨参数等值线图》图集中查找流溪河水库流域中心位置的 1/6h、6h、24h 及 72h 时段点多年平均值和变差系数 C_v 。并查得该水库流域位于广东省暴雨径流查算图表分区的珠江三角洲亚区 VII₂,属于暴雨低值区。在 $\alpha_1 \sim t \sim F$ 关系图上查取暴雨低值区上集雨面积为 535km² 的各个时段的点面转换系数 α_1 ,最终设计面雨量结果见表 1。

表1 流溪河水库流域设计面雨量

时段 /h	均值 /mm	C_v	C_v/C_s	α_1	设计面雨量/mm			
					1%	2%	5%	10%
1	49	0.35	3.5	0.707	73.0	66.6	57.8	50.9
6	95	0.35	3.5	0.798	159.8	145.8	126.6	111.4
24	140	0.4	3.5	0.872	281.8	254.2	216.7	187.4
72	185	0.4	3.5	0.908	387.8	349.8	298.2	257.8

4 设计洪水

在设计面雨量及相关参数已知情况下,通过广东省综合单位线和推理公式法推求设计暴雨的计算方法已经非常成熟,计算步骤在《广东省暴雨径流查算图表》中亦有详尽的介绍,在此不再赘述。按《广东省暴雨径流查算图表》使用说明,要求采用 2 种方法计算,经合理调整 m_1 和 m ,使 2 种方法计算结果相差不超过 20%。本文在应用广东省综合单位线和推理公式法推求设计洪水过程中,充分利用了 GIS 技术对流溪河水库流域地理信息数据挖掘成果。

GIS 技术提取流溪河水库流域的地理信息可总结为:流溪河水库流域集雨面积 (下转第 46 页)

(上接第 42 页)

$F = 535\text{km}^2$, 河长 $L = 42\text{km}$, 平均坡降 $J = 4.7\text{‰}$, 流域平均高程 $Z = 410\text{m}$, 属于高丘区, 流域内主要土壤类型为壤土, 土壤渗透性属于中等。利用以上地理信息结合《广东省暴雨径流查算图表》, 2 种方法推求流溪河水库流域各个频率下的设计洪峰流量见表 2。

表 2 流溪河水库流域设计洪峰流量计算结果

频率 /%	洪峰流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)		误差 /%
	推理公式法	广东省综合单位线法	
1	2 765	2 604	-6.2
2	2 471	2 319	-6.5
5	1 977	1 933	-2.3
10	1 633	1 628	-0.3

根据流溪河水库设计洪水及其多次复查成果, 流溪河水库各个设计频率下的洪峰流量如表 3 所示, 2 种方法的计算结果与各个时期设计洪水比较, 本次设计洪水计算结果与流溪河水库流域第 4 次设计洪水复查成果最为接近。说明了基于 GIS 技术提取的流域地理信息是可靠、合理的。

5 结语

在 GIS 技术支持下, 采用 DEM 及土壤类型数据可以方便地获取流域集雨面积、河长、干流平均坡降、土壤质地等流域地理信息数据, 为小流域暴雨推求设计洪水提供了支持。本文以流溪河干流上游流溪河水库流域为例, 采用 ArcGIS9.2 及其扩充模块 Arc Hydro Tools 对其进行流域地理信息数据提取。从流域集雨面积、河长及设计洪峰流量与实际相比, 效果比较理想。

表 3 两种方法计算结果与流溪河水库设计洪水及多次复查成果对比 (单位: m^3/s)

频率 /%	推理 公式法	广东省 综合单 位线法	设计 洪水	第 1 次 复查成果 (1963 年)	第 2 次 复查成果 (1974 年)	第 3 次 复查成果 (1980 年)	第 4 次 复查成果 (1989 年)
1	2 765	2 604	1 970	2 150	2 555	2 850	2 800
2	2 471	2 319	1 760	1 890	2 240	2 490	2 415
5	1 977	1 933	1 455	1 560	1 820	2 020	1 925
10	1 633	1 628	1 250	1 300	1 502	1 650	1 550

小流域地区多属于无资料地区, 做好无资料地区设计洪水推求, 仅仅懂得使用计算方法是不够的。充分利用 GIS 及应用遥感技术, 准确地提取流域集雨面积、河长、干流平均坡降等地理参数以及挖掘流域地形、地貌、土壤质地等对降雨径流过程有影响的地理信息, 减少参数选取的主观不确定性, 在此基础上才能准确地把握计算方法的要领, 设计洪水的结果才能是可靠的。

参考文献:

- [1] 广东省水文局.《广东省暴雨径流查算图表》使用说明[R]. 广州:广东省水文局,1991.
- [2] 广东省水文局. 广东省暴雨参数等值线图[R]. 广州:广东省水文局,2003.
- [3] 汤国安. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [4] 时振阁,金玉玺. 小流域设计洪水误差分析及改进措施[J]. 南水北调与水利科技,2009,7(5):114-117.

(本期责任编辑 罗睿)