

云南水资源公报水资源量评价系统构建与实践

王超¹, 李菊²

(1.云南省水文水资源局,云南昆明 650106;2.云南开放大学,云南昆明 650223)

摘要:为满足实施最严格水资源管理的要求,根据水资源评价的理论及水资源公报编制的规范提出了云南水资源公报水资源量评价系统的构建思路,研究了降水、地表水资源量、地下水资源量、水资源总量的分析评价具体方法,并开发了云南水资源公报水资源量评价系统。实际应用验证表明,所提出的水资源评价方法是正确的、可行的,系统较好地支撑了云南水资源公报编制工作。

关键词:水资源公报;水量;评价系统

中图分类号:TV213.4

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2017)03-0075-06

1 研究背景

1.1 水资源评价研究进展

水资源评价是对特定区域水资源的数量、质量、时空分布进行分析和评估,是水资源规划、开发、利用、保护和管理的坚实基础,是治水决策的重要依据。传统意义上的水资源评价是在一定时期为了满足水资源规划、保护、管理等工作的要求而开展的系统全面的分析研究工作,历史上我国较为全面的水资源评价工作有两次,第一次是1980年开展的第一次全国水资源调查评价,第二次是2000年开展的全国水资源综合规划,相隔时间和工作周期均较长。

早期的水资源评价主要采用统计方法。20世纪80年代以来逐渐发展为水量均衡方法,这种方法概念清楚,便于计算,在国内得到了广泛应用。随着计算机技术的广泛运用,基于模型技术的水资源评价方法亦逐步得到发展,包括新安江模型和地表-地下水资源联合评价模型,近年一些学者^[1-2]也着重研究了分布式水循环模拟模型与集总式水资源调配模型耦合而成的二元水资源评价模型,以及基于SWAT分布式水文模型等,研究方法得到了拓展。为了促进水资源评价方法的统一,联合国粮农组织曾提出基于GIS的水均衡模型,但在我国没有得到较好应用。

1.2 水资源公报编制进展

水资源评价是实施水资源管理的重要基础依据,

随着国家实施最严格水资源管理举措的落实,对水资源管理工作的时效性、准确性均提出了更高的要求,传统意义上的全面系统的水资源评价在时效性上难以满足日常的或临时的水资源管理工作,年度公报的编制对于分析当前水资源现状提供很好支撑作用,所以每年度定期编制和出版发布水资源公报对水资源管理工作显得尤为重要^[3-6]。

云南自1997年以来开始逐年编制水资源公报,至今已有近20年历史,是水资源管理中的重要日常工作之一,是水资源管理决策的基础,一年一度的水资源公报编制工作需要对上一年度的水资源量进行评价,既是一项经常性、重复性工作,也是一项重要的基础工作,其特点能满足实时性较高的要求。对于这些重复性、经常性的工作需要采用一定的方式方法,充分利用信息技术来实现水资源量的实时的、自动的评价,以减少重复的人工劳动并提高工作的时效性。国内的相关学者对编制水资源公报的软件开展过相关研究,探讨了降水等值线绘制、分区降水量计算的方法,研究了数据库设计,查询系统等^[8-11],但缺少集评价、上报、查询、发布于一体的软件系统。

水资源公报编制的主要内容包括水资源量、蓄水动态、供水量与用水量、耗水量与排水量、水体与水质、用水指标与水价和重要水事共7个部分,云南省水资源量评价系统的开发旨在解决其中的水资源量评价工作的程序化。

收稿日期:2016-08-08

作者简介:王超(1977-),男,云南昆明人,高级工程师,主要从事水文、水资源研究工作。E-mail:403383170@qq.com

2 水资源量评价工作的主要内容

在通常意义上的水资源量评价要素主要包括降水量、蒸发量能力、地表水资源量、地下水资源量和水资源总量等5项,而水资源公报中要求评价的水资源量要素为降水量、地表水资源量、地下水资源量和水资源总量4项。

就统计参数而言,在通常意义上的水资源量评价主要是对要素样本系列的均值、年内分配、年际变化进行评价和研究。其中,均值是研究样本系列的平均值以代表样本平均水平,年内分配主要是通过样本系列总体平均的年内分配过程线、集中度等进行研究,年际变化则主要是通过变差系数、极值比等研究样本系列年际的动态变化;而水资源公报水量评价则主要研究各水资源要素的当年值、当年年内分配及年际变化,其它与前者区别是,前者研究的对象是一个样本总体,而后者研究的是样本个体。

降水量评价的主要工作内容包括绘制降水量等值线图和距平图;计算各单元的年降水量,并与上年、多年平均地表水资源相比较,反映其动态变化;统计各代表站各月降水量,并与多年平均月分配进行比较,分析代表站年内变化。地表水资源量评价的主要工作内容包括计算各单元的地表水资源量,并与上年、多年平均地表水资源相比较,反映其动态变化;计算出入境和出入省境水量。地下水资源的评价分为平原区和山丘区两块计算,云南均属于一般山丘区。水资源总量评价主要是计算区域内的水资源总量。

3 方法及实现途径

水资源要素均值一般采用国家统一公开发布的数值,目前水资源公报中使用的均值基于2000年水资源评价的成果,并每隔5年重新修正一次。

云南省水资源公报水资源量评价以水资源四级分区套县级行政区为基本计算单元。系统的核心是要实现云南省境内各计算单元的降水量分析计算和水资源量的自动分析计算和评价,需要进行计算的水资源量要素有:降水量、地表水资源量、地下水资源量、水资源总量、出入境水资源量。

3.1 降水量评价

3.1.1 绘制降水量等值线图和距平等值线图

目前 ARCGIS 已具备了成熟的二次开发包^[12],在此基础上进行二次开发,根据各参证雨量站的地理坐标、降水量、距平值,采用 Kriging 插值法并进行平滑处

理后即可绘制出降水量等值线图和距平图^[13-14]。多年均值采用全国第二次水资源评价的成果,并每隔5年重新修正一次。

3.1.2 计算各单元的年降水量

根据现有站点情况,考虑站点资料的可靠性、代表性,选择各单元依据站点(选用站点可不局限于本行政分区),雨量站点选定后,各年间宜保持不变,计算各单元的降水量的方法有算术平均法、泰森多边形法、等雨量线法和网格法等^[14]。

(1)算术平均法:将降水量时间序列值加总平均,求得算术平均数,并将其作为单元平均降水量。此法适用于地形起伏不大,区域内雨量分布均匀,测站位置分布较均匀,且站网密度大的地区。云南高差悬殊较大,降水分布极为不均,故此方法一般作为合理性检查和参考之用。选用此法是要注意充分利用周边行政区和资料,以提高计算的精度。

(2)泰森多边形法:此法实现之关键在于用程序实现绘制泰森多边形并求出其面积,目前 ARCGIS 的二次开发中已具备了成熟的算法。与算术平均法不同处为各单元所选站点的权值系数不一样,这种方法精度较高,除云南省滇西北部分地区外,适合云南省大部分地区。

(3)等雨量线法:此法以降水等值面的面积作为权重来计算单元的降水量。与前面两种方法不同,考虑到实际应用,等值线图可采用两种方式生成,一是直接导入已经人工绘制好的降水量等值线图,二是采用程序绘制降水量等值线图。这种办法精确度较高,但程序绘制降水量等值线有时需要人工干预修改。

考虑到算法的稳定性、成熟性,在常见的几种方法中选择植入了算术平均法、泰森多边形法和等雨量线法,其中泰森多边形法、等雨量线法精度较高,以这两种方法为主,算术平均法为辅。实际应用中可根据实际情况选择合适计算方法进行区域内降水量计算,也可同时选用三种方法计算,通过合理性检查确认其中一种做为计算成果。

3.1.3 绘制相关对比图表

通过程序设计可以很容易实现绘制相关图表,包括绘制与上年、多年平均地表水资源对比图,绘制各代表站与多年平均月分配对比图,绘制分析代表站年内变化柱状图等。

3.2 地表水资源量评价

制定各计算单元地表水资源量计算方案时应合

理选取代表站,计算单元内有水文站控制的,若未控区面积不大且降水量与控制区相差不大时,可按面积比折算为该单元的年地表水资源量;若控制区与未控区相差较大时,可按面积比和降水量进行修正后作为该区的年地表水资源量;单元内无水文站控制的,可用水文比拟法估算出年地表水资源量。当选用的参证水文站实测径流受测站上游水库新增调蓄、引入引出水量、分洪决口等的影响,若还原水量超过总径流量的5%时,则需对实测径流量进行还原。地表水资源量计算公式如下:

$$W_r = \frac{FP}{F_s P_s} R \quad (1)$$

式中: W_r 为地表水资源量(10^3m^3); F_s 为水文站面积(km^2); P_s 为水文站降雨量(mm); R 为水文站径流深(mm)。

系统中地表水计算方法采用的是水文比拟法,其关键是要让计算单元与选用的代表站进行对应,一个计算单元可能对应一个或多个站,因此,需将计算单元与代表站进行绑定,生成计算方案,以便以后再次调用。同时为提高计算的精度,考虑用降水量对计算成果进行修正,即用单元面平均降水量和所选用水文站面平均降水量来进行修正计算成果。

出入境水量与各计算单元的计算方式基本相同,出入境水量的计算需根据边境附近断面的水文站实测径流资料进行分析,对于无水文站控制的区域采用间接方法估算。实现自动计算的关键是将绑定各流域计算出入境水量的代表站,确定计算方案后,程序便可反复调用。

3.3 地下水资源量评价

地下水资源量可采用基流分割法进行计算,或者根据云南省水资源综合规划1956~2000年系列成果,分析各计算单元水资源总量与地下水资源量关系,分析基/径比系数,建立基/径关系图表,根据图表查算地下水资源量,考虑到系统的稳定可靠采用基/径关系表进行查算。

3.4 水资源总量评价

计算单元内的水资源总量是指当地降水形成的地表和地下水产量,即地表径流量与降水入渗补给量之和。水资源总量可采用下式计算:

$$W = R_s + P_r = R + P_r - R_g \quad (2)$$

式中: W 为水资源总量; R_s 为地表径流量(即河川径流量与河川基流量之差值); P_r 为降水入渗补给量(山丘区用地下水总排泄量代替); R 为河川径流量(即地表

水资源量); R_g 为河川基流量。

在水资源总量的评价中,将河川径流作为地表水资源量,把地下水总补给量作为地下水资源量。由于地表水和地下水相互联系而又互相转化,河川径流中,包括一部分地下水排泄量,地下水总补给量中,又有一部分来源于地表水体的入渗,故不能将地表水资源量和地下水资源量直接相加作为水资源总量,而应扣除相互转化的重复水量,即:

$$W = R + G - D \quad (3)$$

式中: G 为地下水资源量; D 为地表水(河川径流)与地下水资源间的重复计算量。

云南省地下水主要以河川基流形式排泄,其他排泄量很小,可以将河川径流量近似作为水资源总量,即地表水资源量即为水资源总量。

3.5 误差分析

水资源公报编制的相关规范和导则对水资源量的计算的误差没有做出全面的规定,仅对降水量等值线的绘制提出了要求^[6],本系统绘制的降水量等值线能满足相关规范和导则的规定;传统的水资源量评价方法未对计算误差进行系统论述,少数学者对变化环境下区域水资源变异与评价方法不确定性进行了研究^[7]。水资源公报中水资源量评价的误差主要体现为降水量和水资源量的计算误差,就处于山丘区的云南而言更直接体现在降水量和地表水资源量两个方面。由于本系统采用的计算方法属于传统的水量平衡法,因此,其误差取决于所采用资料的精度。从实际应用的情况来看,用于水资源公报的雨量站、水文站资料均选取了较为可靠的站点,资料经专业人员观测整编而得,因此资料的代表性、可靠性具有一定保证,能满足水资源公报水资源量分析计算的要求。

4 系统构架与功能特点

4.1 系统构架

云南水资源公报水资源量评价系统是在建立水量评价模型和方案的基础上利用信息化手段基于B/S平台实现的软件平台,主要功能模块包括:基础数据、水资源分析、公报成果、系统管理四大模块。

应用系统基于J2EE和Flex技术,采用Microsoft SQL Server 2008数据库,完成基础资料管理、水资源分析、公报成果表格和图表的生成、参数设置等功能模块的开发。基于ArcGIS平台,利用泰森多边形法和等雨量线法实现降水量分析,实现对水资源公报成果的

导入、导出、归档、汇总、检验校核和上报等^[13]。系统总体框架如图 1 所示。



图 1 系统总体框架

Fig.1 The overall framework of the system

源量计算、水资源量计算结果查询、删除计算结果。成果表格格式以《水资源公报编制规程》(GB/T 23598-2009) 文档存储，归档以后数据用于后续的公报成果表格。水资源分析模块构架如图 3 所示。



图 3 水资源分析模块构架

Fig.3 The frame of the water resources analysis module

4.2 系统功能模块

基础数据模块：用于管理和维护本系统计算用的数据来源，包括雨量站点属性数据、雨量站点降水数据、水文站点属性数据和水文站点流量数据。其中雨量站点属性数据和水文站点属性数据在站点管理模块中提供相应的增、删、改、查、导入、导出等维护功能。站点数据导入后，能生成站点分布图和分水线图，用以为水资源分析计算提供数据支撑。基础数据模块构架如图 2 所示。

水资源量分析模块：为用户提供云南省境内各行政分区降水量分析计算和水资源量分析计算的功能，可计算的要素包括降水量、地表水资源量、地下水资源量、水资源总量、出入境水资源量，这个模块为整个系统的核心部分。水资源量分析模块具有三个功能：水资

公报成果模块：主要功能是为每年最终发布的水资源公报提供相应的汇总结果数据以及相应的地理图形、图表和表格。公报成果模块分为公报成果表格、公报图表和成果发布三大部分，其中，公报成果表格用于需要的业务表的归档、汇总、上报、校验、退回、导入、导出，为用户生成水资源公报提供数据来源；公报图表则以公报成果表格汇总的结果数据为数据源；成果发布为按照规定文档的格式生成具体的文字、表格、图表和地理图形。公报成果模块构架如图 4 所示。

系统管理模块：主要功能包括单位人员管理、角色权限管理、个人信息修改、参数设置、日志管理等 5 个子功能模块。为用户提供人员信息、权限的管理和

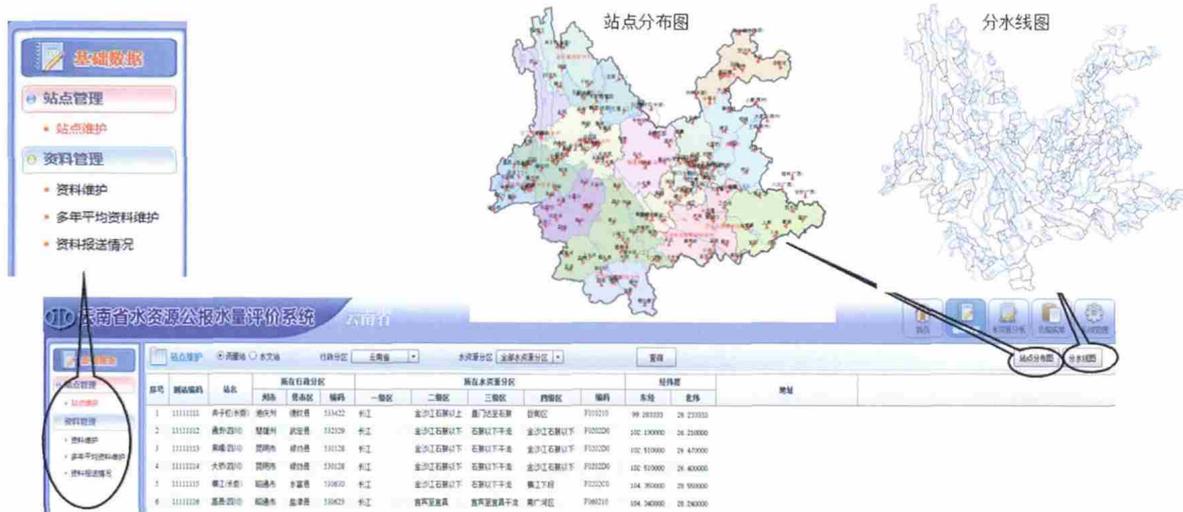


图 2 基础数据模块构架

Fig.2 The frame of the base data module



图4 公报成果模块构架图

Fig.4 The frame of the bulletin result module

维护功能,为水资源量分析计算设置需要的参数,方便用户在计算时选取。

4.3 系统特点

本系统具有基本数据、成果数据管理完善,计算方案管理系统完整,成果可人机交互等特点。

(1) 完善的计算方案管理功能是本系统的最大特点。例如,地表水资源量计算方案管理,可通过配置每

个计算单元的参证水文站,将计算单元与站点绑定后生成计算方案,形成计算单元与水文站的对应关系,一个计算单元可对应多个站点。当本行政区无参证站点时,可从所有站点中添加站点进行绑定(见图5)。选择的站点绑定信息可保存成方案,以便再次进行计算时再次选择调用,保证了不同年份进行评价时方法的延续性和计算成果的可对比性。

(2) 系统设置了人工交互校核修改功能,保证了计算成果的可控性。系统自动计算完成的成果表,可进行人工校核,可通过与多年和上年成果进行交叉校核,可进行地区之间的横向比较,亦可进行降水量、径流量的对照检查,同时,对系统自动生成的等值线,提供了人工校核修改功能,为成果的多维度合理性检查提供了手段。

5 结语

云南省水资源公报水资源量评价系统自2013年开始建设,至2014年正式投入使用,在经历3年的使用过程中已逐渐完善,并在全省范围内推广使用,已成为云南省水资源公报编制工作的软件平台之一。平台的建成大大解放了劳动生产力,平常需要1个月左右方能完成的云南水资源公报水量评价工作,使用本系统后缩短至1周内完成,并在基础与成果数据的存储方面发挥了较好的作用。本系统基本实现了水资源公报水资源量部分的常用图表的自动绘制和分析计算,其成果可直接用于发布的要求,社会效益显著,实践证明系统开发是正确的、可行的,在模型和思路上



图5 计算区域站点绑定示例图

Fig.5 The examples of the station binding for the calculation area

构建的软件平台具有较好的推广使用价值,但在水质和供水用水方面的自动评价功能有待研究。

参考文献:

- [1] 王浩,王建华,秦大庸,等. 基于二元水循环模式的水资源评价理论方法[J]. 水利学报, 2006,12:1496-1502. (WANG Hao, WANG Jianhua, QIN Dayong, et al. Theory and methodology of water resources assessment based on dualistic water cycle model [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2006,12:1496-1502. (in Chinese))
- [2] 梁梨丽,龚家国,冶运涛,等. 基于分布式水文模型 SWAT 的缺资料地区水资源评价方法[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2014,(1):54-59. (LIANG Lili, GONG Jianguo, YE Yuntao, et al. Method of water resources assessment in ungauged areas based on the distributed hydrological model of SWAT [J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2014,(1):54-59. (in Chinese))
- [3] 苏文峰,李金楠. 水资源公报编制经验体会分析[J]. 科技创新与应用, 2016,(8):167. (SU Wenfeng, LI Jinnan. Experience of water resources bulletin [J]. Technology Innovation and Application, 2016,(8):167. (in Chinese))
- [4] 祝丽萍. 落实最严格水资源管理制度做好水资源公报编制工作[J]. 治淮, 2012,(10):73-74. (ZHU Liping. Implementation of the most stringent water resources management system and do well water resources bulletin [J]. ZHIHUI, 2012,(10):73-74. (in Chinese))
- [5] 袁柳. 加强我省水资源公报编制工作的思考[J]. 水利科技, 2002,(4):15-16. (YUAN Liu. Thoughts on the water resources bulletin [J]. Hydraulic Science and Technology, 2002,(4):15-16. (in Chinese))
- [6] GB/T23598-2009, 水资源公报编制规程[S]. (GB/T23598-2009, Code of Practice for Water Resources Bulletin [S]. (in Chinese))
- [7] 许斌. 变化环境下区域水资源变异与评价方法不确定性[D]. 武汉: 武汉大学, 2013. (XU Bin. Alteration and Assessment with Uncertainty Study of Regional Surface Water Resources in the Changing Environment [D]. Wuhan: Wuhan University, 2013. (in Chinese))
- [8] 谢碧云,刘哲,管党根,等. 长江流域水资源质量公报发布系统设计与实现[J]. 人民长江, 2015,(9):98-100. (XIE Biyun, LIU Zhe, GUAN Danggen, et al. Design and realization of release system for water resources bulletin of Yangtze River basin [J]. Yangtze River, 2015, (9):98-100. (in Chinese))
- [9] 王蓓卿,卢卫,何锡君,等. 浙江省水资源公报数据库信息系统设计思路[J]. 浙江水利科技, 2015,(6):80-83. (WANG Beiqing, LU Wei, HE Xijun, et al. Database information system design ideas of Zhejiang water resources bulletin [J]. Zhejiang Hydraulics, 2015, (6):80-83. (in Chinese))
- [10] 孔庆辉,林沫,王振宝,等. 基于 B/S 结构的松辽流域水资源公报查询系统设计[J]. 东北水利水电, 2005,11:35-37. (KONG Qinghui, LIN Mo, WANG Zhenbao, et al. Water resources bulletin query system base on in Songliao River basin [J]. Water Resources & Hydropower of Northeast China, 2005,11:35-37. (in Chinese))
- [11] 杨岚. 地表水资源调查评价计算机软件在水资源公报编制中的几种应用[J]. 广西水利水, 2010,(6):14-16. (YANG Lan. Application of surface water resource investigation and assessment software in compilation of water resource communique [J]. Guangxi Water Resources & Hydropower Engineering, 2010,(6):14-16. (in Chinese))
- [12] 王超. 基于地理信息系统的水资源评价方法[J]. 水文, 2009,29(1):37-39. (WANG Chao. The way of water resources investigation and evaluation base on geography information system [J]. Journal of China Hydrology, 2009,29(1):37-39. (in Chinese))
- [13] 王超. 地理信息系统在水资源评价中的应用初探[J]. 云南地理环境研究, 2005,17(1):31-35. (WANG Chao. The application of the first explore in water resources by geography information system [J]. Yunnan Geographic Environment Research, 2005,17(1):31-35. (in Chinese))
- [14] 金栋梁,刘予伟. 降水量评价综述[J]. 水资源研究, 2004,(3):11-17+32. (JIN Dongliang, LIU Yuwei. Review on the evaluation of precipitation [J]. Journal of Water Resources Research, 2004,(3):11-17+32. (in Chinese))

Construction and Application of Water Quantity Evaluation System for Yunnan Water Resources Bulletin

WANG Chao¹, LI Ju²

(1. Hydrology and Water Resources Bureau of Yunnan Province, Kunming 650106, China; 2. Yunnan Open University, Kunming 650223, China)

Abstract: Water resources assessment is an important basis for the implementation of water resources management. In order to meet the stringent water management requirements, this paper proposed some approaches to construct the water quantity evaluation system for Yunnan Water Resources Bulletin based on the theory of water resources assessment and regulations of preparing water resources bulletin. The study examined the specific methods of analyzing and evaluating the precipitation, surface water quantity, groundwater quantity and total water resources, and then developed the water quantity evaluation system for Yunnan Water Resources Bulletin. The system was proved to be valid and feasible in actual application, which can successfully support the compilation of Yunnan Water Resources Bulletin.

Key words: Yunnan Water Resources Bulletin; water volume; evaluation system