

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2011.01.004

柘林水库坝址洪水与入库洪水系列分析

陆玉忠^{1,2}, 陆宝宏¹, 陆桂华¹, 王 童¹, 王 维³, 周笑笑¹

(1.河海大学水文水资源学院,江苏 南京 210098;

2.中国水利水电科学研究院自动化研究所,北京 100038;3.天津市水利勘测设计院,天津 300204)

摘要:柘林水库的设计洪水以建库前历史坝址洪水为依据而设计,为了编制水库调度方案,需统一分析坝址洪水和入库洪水系列.为此,首先整理坝址洪水和入库洪水的基本资料,然后推算建库前及建库后的坝址洪水系列,最后建立洪峰与洪量系列之间的相关关系.计算和分析结果表明,柘林水库入库洪水洪峰流量增大系数为 1.113,1 d 洪量增大系数为 1.058,3 d 洪量系列与坝址洪水基本一致.将建库前的坝址洪水洪峰流量、1 d 洪量资料系列还原到建库后的入库洪水系列,用入库洪水推求设计洪水,更符合水库运行的实际情况.

关键词:柘林水库;洪水系列;坝址洪水;入库洪水

中图分类号:TV212.4

文献标志码:A

文章编号:1000-1980(2011)01-0014-06

柘林水库的设计洪水是以坝址历史洪水作为设计依据的,建库后河道水力特性及水文特性发生了改变,利用建库前的坝址洪水资料编制水库调度方案时,应根据建库后水文特性变化规律加以修正^[1].柘林水库自蓄水发电以来,已经积累了几十年的入库洪水资料.根据柘林水电站二次大坝定检专家组的意见,需要统一分析多年坝址洪水和入库洪水系列并进行资料一致性的还原,以形成统一的入库洪水系列.资料系列的一致性是指产生资料系列的条件要一致,就是说组成该系列的洪水资料,都是在同样的气候条件、同样的下垫面条件和同一测流断面条件下产生的.因气候条件变化缓慢,分析时主要考虑人类活动影响和下垫面的变化.若分析结果不能满足一致性要求,则需要进行一致性改正.本文依据柘林水库建库前坝址洪水和建库后入库洪水资料,分别建立了两者洪峰流量和洪量之间的相关关系,为编写柘林水库调度方案提供了科学依据.

1 流域概况

柘林水利枢纽工程位于赣西北修河干流中游末端.修河是鄱阳湖水系 5 大河流之一,发源于湘鄂边境幕阜山脉的黄龙山,自西向东流经修水、武宁、永修等县于吴城注入鄱阳湖,全流域面积 147 00 km².柘林枢纽控制面积 9 340 km²,占全流域面积的 63.5%,干流总长 304 km.该流域地形特殊,受季风影响,气候年际变化大,水库来水量年际变化也大,季节差异显著.修河流域属亚洲东南季风区,为江西 5 大暴雨中心之一,多年平均年降水量 1 594 mm,其中一半降水集中在 4—6 月,暴雨大多发生在 5—7 月间,以 6 月发生次数最多.流域内植被茂盛、表土疏松,属湿润地区.一次大洪水过程一般为 3~5 d,年平均入库水量 80.6 亿 m³,实测最大洪峰流量 12 100 m³/s,实测最大 5 d 洪量 26.2 亿 m³.

枢纽是一座以发电为主,兼有防洪、灌溉、航运、养殖等综合效益的大型水利水电工程.工程于 1958 年秋开工兴建,1972 年 1 月水库开始蓄水.1972 年 8 月首台机组发电,1975 年 6 月 4 台机组全部投产.1999 年 12 月柘林水电站扩建 2 台 12 万 kW 发电机组工程开工,2001 年 12 月和 2002 年 5 月 2 台机组先后投产.

柘林水库正常高水位 65.00 m,汛限制水位 64.00 m,死水位 50.00 m,极限死水位 47.00 m,设计洪水位 70.13 m,最高洪水位 73.01 m,水库总库容 79.2 亿 m³,其中兴利库容 34.47 亿 m³,调洪库容 32.00 亿 m³,死库容 15.70 亿 m³,库容系数 42.7%,径流利用系数 93.4%,为多年调节水库.

2 入库洪水的特点及其影响因素

水库建成后,由于自然地理条件的改变,在大坝以上水库回水区,淹没了原来的天然河道,形成人工湖泊,使水深及水面积大大增加,糙率减小,水面比降减小。入库洪水与建库前的坝址洪水,往往会产生一定差异,一般情况是洪峰流量增大、洪水历时缩短、涨水段洪量加大、落水段洪量减小、次洪量增大、洪峰流量出现时间提前。根据我国的实践,洪峰流量增大系数 k 一般为 $1.01 \sim 1.20$,个别可以达到 1.50 以上。当 k 较大时($k > 1.05$),用入库洪水作为设计洪水,更符合建库后的实际情况^[1]。

2.1 特点

入库洪水与建库前的坝址洪水比较起来,具有如下一些特点:(a)洪峰流量增大。入库洪水是在水库周边汇入,坝址洪水是坝址断面的出流,其调节程度是不同的。建库前洪水自水库周边向设计断面演进,经周边至坝址断面间河道的调蓄,洪峰流量常会有不同程度的削减。建库后洪水直接由水库周边进入水库,汇流时间缩短,因此,其峰现时间提前,洪峰流量增大,峰形更尖瘦。(b)洪量增大。由于建库后水面面积较建库前增大许多,其增大部分由陆面蒸发和下渗损失变为单纯的水面蒸发,损失大大减小,故洪量有所增加,水面面积愈大,其增量愈大。(c)干支流洪水易于遭遇。由于水库的滞蓄作用,干支流的洪水较建库前,遭遇的机会明显增加。(d)入库洪水无实测资料,只能用间接方法推求。

2.2 影响因素

不同的自然地理条件和水库特性,对入库洪水的影响是不同的。(a)河道型水库。水库位于峡谷形河道,建库前后水面宽变化不太大,形成河道形水库后,河道的调蓄能力变化也不是很大,对入库洪水的影响较小,洪峰流量增大系数大多为 $1.01 \sim 1.20$ 。(b)湖泊型水库。当坝后有较广阔的滩地地形时,建库后水面变化很大,形成湖泊型水库后,水库对洪水的影响很大,洪峰流量增大系数大多为 $1.20 \sim 1.50$ 。洪量的增大也比较明显。(c)水库蓄水面积。这种影响视水库蓄水面积 a 与控制流域面积 A 的比例 $\alpha = a/A$ 而异。 α 较小时影响也较小,反之影响则较大。对湖泊型水库来说,中小流域 α 相对较大,因而 a 对入库洪水的影响也较大。对大流域来说, A 值越大 α 值越小,因而 a 对入库洪水的影响也越小,有时这种影响甚至可以不予考虑。(d)暴雨地区特性。当区间位于暴雨中心附近或暴雨多发区时,入库洪水与坝址洪水的差异比较明显,一般需要考虑暴雨对入库洪水的影响。反之,如区间位于少雨区特别是干旱区时,二者差异较小,有时可以不予考虑。

3 入库洪水与坝址洪水的分析计算

入库洪水有 2 种分析计算方法^[2]:一是根据建库前的资料进行分析计算;二是根据建库后的资料进行分析计算。二者的计算方法虽无原则性区别,但条件及目的性则有一些差异,前者主要用于计算设计洪水,后者主要用于校核原设计值的合理性。如发现二者差别较大,应根据后者对设计值进行必要的修正。分析计算方法又可分为根据流量资料和根据雨量资料 2 大类。推求入库洪水常用的方法有:(a)合成流量法。入库洪水流量由入库断面洪水、区间洪水和库面洪水同时流量叠加而成。(b)水量平衡法。当水库建成运用并积累了一定资料时,为了复核设计洪水,可以利用水库水量平衡关系推求入库洪水。

3.1 分析计算的基本思路

柘林入库洪水与坝址洪水可利用模型^[3]进行推算。(a)建库后坝址洪水系列的推算。水库建成(或蓄水)前没有入库洪水过程,只有坝址洪水过程^[4]。通过高沙控制站洪水过程、区间雨量站降雨过程及坝址洪水过程,调试模型参数,进而用相应的高沙控制站的洪水过程、区间雨量站的降雨过程,通过模型及参数推算水库建成后的坝址洪水过程系列。(b)建库前入库洪水系列的推算。水库建成(或蓄水)后没有坝址洪水过程^[5],只有入库洪水过程,通过高沙控制站洪水过程、区间雨量站降雨过程及入库洪水过程,调试模型参数,进而用相应的高沙控制站的洪水过程、区间雨量站的降雨过程,通过模型及参数推算水库建成前的入库洪水过程系列^[6]。这一思路从洪水成因入手,是合成流量法的具体应用,但对资料要求较高,因未能收集到建库前的区间测站降雨过程资料而没有实施^[7]。

3.2 基本资料的处理

这次收集到的洪水资料为水库蓄水前 1953—1971 年所有场次的坝址洪水过程,这些洪水过程大多由大断面测量或水位流量关系转换得到,测点并非等时段,为了反映峰现过程,一般在洪峰流量处测点较密,洪水

过程的精度相对较高,是天然洪水资料^[8]。水库蓄水后为1972—2003年所有场次的入库洪水过程,这些洪水过程都是由入库流量反推计算得到的^[9],有时有“锯齿”现象,其精度相对较低。为此,利用自编洪水管理平台软件,将洪水过程存入数据库,对明显的复式洪水进行分割,处理成单一洪水过程^[10],并且对“锯齿”进行平滑处理,自动统计出各场次洪水的特征资料,主要有洪峰流量、峰现时间、1 d最大洪量、3 d最大洪量、总洪量。

3.3 分析计算的具体方法

柘林水库建库前后各有1个坝址洪水和入库洪水资料序列,这2个洪水序列中3 d最大洪量与洪峰流量、1 d最大洪量、总洪量都具有较好的相关关系,最能代表本流域次洪概貌。由于建库后 α 值(3%~4%,由流域水系图,通过地理信息系统分析得出)较小^[11],增加的水面面积一般会使洪水涨水段洪量加大、落水段洪量减小,但对次洪总量的影响不大^[12]。另外,大多数中小洪水的历时都为3 d左右,建库前、后的总洪量与3 d洪量比较接近,其相关关系直线斜率接近于1,且变化也不明显(图1),可以断定柘林水库建库前、后水面积的变化对次洪洪量的影响很小。2个序列中3 d洪量的资料序列可认为是一致的。因此,分别建立建库前、后洪峰流量与3 d洪量的相关关系,1 d洪量与3 d洪量的相关关系,通过这2个关系可直接推算出建库前、后的洪峰流量关系及1 d洪量关系。

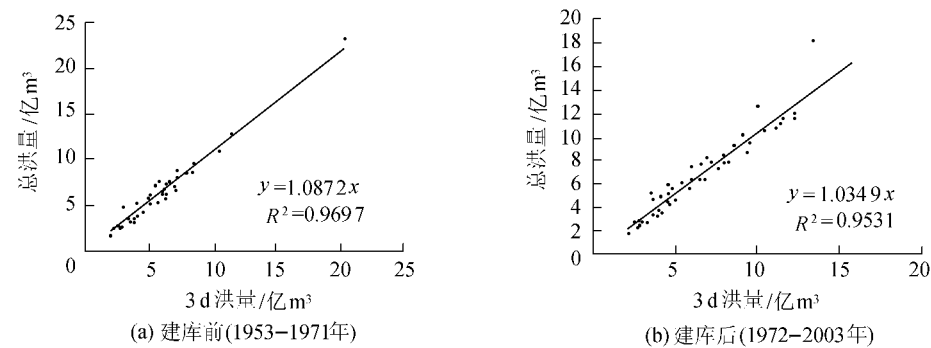


图1 不同时段总洪量与3d洪量的关系

Fig. 1 Relationship between total flood volume and three days' flood volume under different time

3.4 洪峰流量、1 d洪量与3 d洪量关系的确定

首先将建库前后的洪峰流量、1 d洪量分别与其对应的3 d洪量系列资料在坐标图中标出,然后分析数据点的分布状况并确定趋势线。结果表明,显示数据为线性关系(图2和图3),故采用下列方程代表的直线的最小二乘方拟合直线:

$$y = mx + b$$

式中: m ——斜率; b ——截距,这次建立的关系 $b = 0$ 。

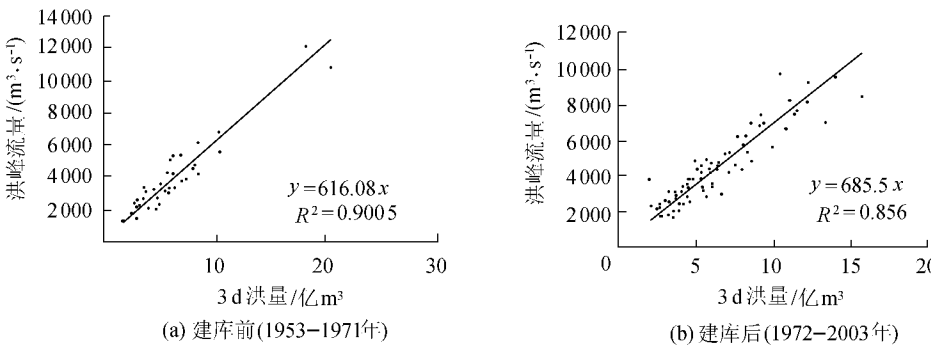


图2 不同时段洪峰流量与3d洪量的关系

Fig. 2 Relationship between flood peak and three days' flood volume under different time

3.5 趋势线的可靠性

当趋势线的 $R^2 \approx 1$ 时可靠性最高。

$$R^2 = 1 - S_{SE}/S_{ST}$$

其中 $S_{SE} = \sum (y_i - Y_i)^2$ $S_{ST} = (\sum y_i^2) - (\sum y_i)^2/n$

式中: y_i ——实测值; Y_i ——拟合值。

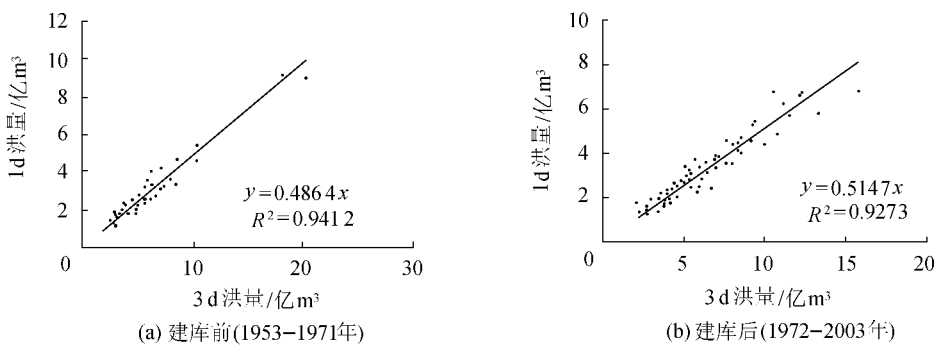


图 3 不同时段 1 d 洪量与 3 d 洪量的关系

Fig. 3 Relationship between one day's and three days' flood volumes under different time

由图 1~3 知, R^2 分别为 0.969 7 0.953 1 0.900 5 0.856 0.941 2 0.927 3, 说明趋势线与实际数据吻合较好. 另外, 建库后洪水总洪量与 3 d 最大洪量的关系、洪峰流量与 3 d 洪量的关系、1 d 洪量与 3 d 洪量的关系的 R^2 都比建库前洪水关系的 R^2 要小, 这可能与不同库水位对入库洪水的影响不一、入库洪水过程反推计算的精度等有关.

3.6 建库前后峰、量关系的推求

3.6.1 直接推求法

由建库前坝址洪水洪峰流量与 3 d 洪量的关系(图 3 a)可得

$$y_0 = 616.08x \tag{1}$$

由建库后入库洪水洪峰流量与 3 d 洪量的关系(图 3 b)可得

$$y_1 = 685.5x \tag{2}$$

如前所述, 建库前后洪水 3 d 洪量的系列基本是一致的, 由式(1)(2)可推求出建库后入库洪水洪峰流量与建库前坝址洪水洪峰流量的关系

$$y_1 = 685.5/616.08y_0 = 1.11268y_0$$

同理, 由建库前坝址洪水 1 d 洪量与 3 d 洪量的关系(图 3 a)可得

$$y_0 = 0.4864x \tag{3}$$

由建库后入库洪水 1 d 洪量与 3 d 洪量的关系(图 3 b)可得

$$y_1 = 0.5147x \tag{4}$$

用式(3)(4)同样可推求出建库后入库洪水 1 d 洪量与建库前坝址洪水 1 d 洪量的关系

$$y_1 = 0.5147/0.4864y_0 = 1.058y_0$$

3.6.2 间接推求法

洪峰流量与 1 d 洪量关系的趋势线可靠度较高(图 4), 1 d 洪量与 3 d 洪量的关系也有较好的可靠性(图 3), 通过转换也可间接推求出建库前后坝址洪水洪峰流量与入库洪水洪峰流量的关系.

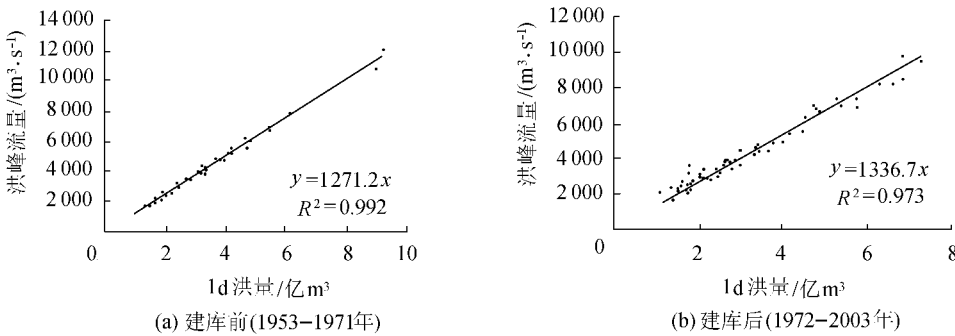


图 4 不同时段洪峰流量与 1 d 洪量的关系

Fig. 4 Relationship between flood peak and one day's flood volume under different time

由图 4(a)可得建库前坝址洪水洪峰流量与 1 d 洪量的关系

$$y_0 = 1271.2x \quad (5)$$

由图 4(b) 可得建库后入库洪水洪峰流量与 1 d 洪量的关系为

$$y_1 = 1336.7x \quad (6)$$

由式(5)(3)可得

$$y_0 = 1271.2 \times 0.4864x = 618.3117x \quad (7)$$

由式(6)(4)可得

$$y_1 = 1336.7 \times 0.5147x = 687.9995x \quad (8)$$

由式(7)(8)可推求出建库后入库洪水洪峰流量与建库前坝址洪水洪峰流量的关系

$$y_1 = 687.9995/618.3117y_0 = 1.11271y_0$$

这与直接推求法推得的结果在误差范围内一致,保留 3 位小数后可得到同样的关系式

$$y_1 = 1.113y_0$$

4 结 论

建库后入库洪水洪峰流量增大系数 k 一般为 1.01 ~ 1.20,个别可达 1.50 以上.这次研究得出的柘林水库入库洪水洪峰流量增大系数为 1.113,1 d 洪量增大系数为 1.058,3 d 洪量系列与坝址洪水一致.这表明建库后入库洪水的洪峰流量增大幅度较明显,1 d 洪量的增大幅度相对较小,3 d 洪量的变化不明显,结果均在理论值范围之内.虽然本流域洪水受不同降雨过程、下垫面条件等的影响而过程形态变化不一,但分析建库前后洪水过程系列资料得出的建库后洪水变化的综合情况,是建库后河道水力特性及水文特性发生改变的具体体现,分析结果是比较合理的.使用本次分析结果可将建库前的坝址洪水洪峰流量、1 d 洪量资料系列还原到建库后的入库洪水系列,用入库洪水推求设计洪水,更符合水库运行的实际情况.

参考文献:

- [1] 李益民,段佳美.水库调度[M].北京:中国电力出版社,2004.
- [2] 王锐琛.中国水力发电工程:工程水文卷[M].北京:中国电力出版社,2000.
- [3] 陈志明.新安江模型(三水源)分水源参数区域规律研究[J].河海大学学报,1990,18(6):133-138.(CHEN Zhi-ming. Study on regional laws of sub-water parameters of Xinanjiang Model (three components) [J]. Journal of Hohai University, 1990, 18(6):133-138. (in Chinese))
- [4] 李记泽,叶守泽,夏军.入库洪水与坝址洪水关系初探[J].水文,1992(3):32-35.(LI Ji-ze, YE Shou-ze, XIA Jun. Reserch of reservoir inflow flood and at dam sit[J]. Hydrology, 1992(3):32-35. (in Chinese))
- [5] 谢守香.太平湖水 1998 年入库洪水分析[J].水利科技与经济,2004,10(1):53-54.(XIE Shou-xiang. Reservoir inflow flood analysis of Taiping Lake in 1998 [J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2004, 10(1):53-54. (in Chinese))
- [6] 李新汉.入库洪水计算方法简评[J].中南水电,1990(1):61-65.(LI Xin-han. Brief comment of reservoir inflow flood calculation method [J]. Zhongnan Hydropower, 1990(1):61-65. (in Chinese))
- [7] 方崇惠,郭生练,段亚辉,等.还原入库洪水的一种简便新方法[J].岩土工程学报,2008,30(11):1743-1747.(FANG Chong-hui, GUO Sheng-lian, DUAN Ya-hui, et al. A simple and new approach of reproducing inflow flood hydrograph of reservoir [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2008, 30(11):1743-1747. (in Chinese))
- [8] 陈桂亚,丁志立.清江水布垭水利枢纽入库洪水分析[J].水文水资源,2000,21(1):5-7.(CHEN Gui-ya, DING Zhi-li. The analysis of reservoir inflow flood in Qingjiang Shui Buya Hydro Project [J]. Hydrology and Water Resource, 2000, 21(1):5-7. (in Chinese))
- [9] 陈俊合,刘海洋,刘树锋.飞来峡水库入库洪水计算模型研究[J].中山大学学报:自然科学版,2004,43(3):107-110.(CHEN Jun-he, LIU Hai-yang, LIU Shu-feng. Flood routing model of the Feilaixia Reservoir [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni: Natural Sciences, 2004, 43(3):107-110. (in Chinese))
- [10] 尹建国,金舒宜.预报白云水库入库洪水的简捷方法[J].湖南水利水电,2004(2):40-41.(YI Jian-guo, JIN Shu-yi. Simple method of prediction on reservoir inflow flood in Baiyun Reservoir [J]. Hunan Hydro & Power, 2004(2):40-41. (in Chinese))
- [11] 郑金丰.入库洪水分析及计算的认识[J].塔里木农垦大学学报,1996,8(1):75-76.(ZHENG Jin-feng. The knowledge of reservoir inflow flood analysis and calculation [J]. Journal of Tarim Agricultural Reclamation, 1996, 8(1):75-76. (in Chinese))
- [12] 苏江,仲梁,刘伟明.对入库洪水判别方法的探讨[J].水利天地,2002(5):42-43.(SU Jiang, ZHONG Liang, LIU Wei-ming. The

discussiong of criterion on reservoir inflow flood[J]. Water Universe , 2002(5) : 42-43. (in Chinese))

Dam site and reservoir inflow flood series of Zhelin Reservoir

LU Yu-zhong^{1,2} , LU Bao-hong¹ , LU Gui-hua¹ , WANG Tong¹ , WANG Wei³ , ZHOU Xiao-xiao¹

- (1. College of Hydrology and Water Resources , Hohai University , Nanjing 210098 , China ;
2. China institute of Water Resources and Hydropower Research , Beijing 100038 , China ;
3. Tianjin Survey and Design Institute of Water Conservancy , Tianjin 300204 , China)

Abstract : The design flood of Zhelin Reservoir was based on the historical flood at the dam site before its construction. In order to compile the reservoir scheduling scheme , the dam site and reservoir inflow flood series should be jointly investigated. The basic data of the dam site and reservoir inflow floods were collected , and the flood series before and after the reservoir construction were derived. The correlation between the flood peak and the flood volume was established. The results indicated that the enlargement coefficient of the peak discharge of Zhelin Reservoir inflow was 1.113 , and that of the flood volume in 1 day was 1.058. The flood volume in 3 days was in accordance with the flood at the dam site. The peak discharge at dam site before reservoir construction and the flood volume in 1 day were transformed into the reservoir inflow flood series. The transformed reservoir inflow flood series were employed to derive the design flood. It would be fit for the actual situation.

Key words : Zhelin Reservoir ; flood series ; dam site flood ; reservoir inflow flood

.....

《水资源保护》征订启事

全国中文核心期刊 中国科技核心期刊 RCCSE 中国核心学术期刊

《水资源保护》是河海大学和环境水利研究会主办的科学技术期刊 ,创刊于 1985 年 ,双月刊 ,国内外公开发行 ,国内统一连续出版物号 :CN32-1356/TV. 本刊为全国中文核心期刊、中国科技核心期刊、RCCSE 中国核心学术期刊和江苏省一级期刊.

《水资源保护》主要刊登与水资源保护有关的基础研究 ,应用技术 ,工程措施 ,综合述评 ,专题讲座 ,国外动态 ,书刊评介 ,科技简讯 ,水资源管理、评价、监测、优化配置 ,节水技术 ,水环境污染控制等方面的文章. 近年来 ,重点关注与水有关的生态环境领域中的研究方向 ,新增设相关的基础研究、防治技术、城市水环境治理等内容.

主要读者对象 :与水资源保护工作有关的工程技术人员、科研人员、管理人员以及大专院校的师生.

《水资源保护》邮发代号 28-298 ,双月刊 ,每期定价 8 元 ,全年共 48 元 ,每逢单月 30 日出版. 可在全国各地邮局订阅 ,也可直接与编辑部联系订阅.

编辑部地址 :南京市西康路 1 号 河海大学《水资源保护》编辑部 邮政编码 210098

电话/传真 (025) 83786642 E-mail :bh@hhu. edu. cn 网址 :kkb. hhu. edu. cn/bh/index_bh. html