

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2014.06.001

抗旱能力定量计算的简化方法

梁忠民¹, 王晓童¹, 郦建强², 常文娟³, 李爱花², 胡义明¹

(1. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 2. 水利部水利水电规划设计总院, 北京 100120;
3. 三峡大学水利与环境学院, 湖北 宜昌 443002)

摘要: 针对具有月尺度的径流系列资料和同期的月或年尺度的供需水系列资料, 或仅具有水资源规划中不同保证率(如 50%、75%、90%、95% 或 97% 等)的供需水资料 2 种常见的资料条件, 给出抗旱能力定量计算的简化方法, 并根据抗旱能力水平指数-来水频率(保证率)关系曲线确定抗旱能力大小; 提供了计算示例, 可供进一步研究与应用参考。

关键词: 抗旱能力; 定量计算; 抗旱能力水平指数; 干旱重现期; 干旱频率

中图分类号: P333 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2014)06-0471-05

Study of quantitative calculation of drought resistance capacity

LIANG Zhongmin¹, WANG Xiaotong¹, LI Jianqiang², CHANG Wenjuan³, LI Aihua², HU Yiming¹

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Water Resources and Hydropower Planning and Design General Institute, Ministry of Water Resources, Beijing 100120, China;

3. College of Hydraulic and Environmental Engineering, China Three Gorges University, Yichang 443002, China)

Abstract: In this paper, the simplified algorithms for quantitative calculation of drought resistance capacity are proposed under two kinds of commonly used data conditions: (1) available monthly runoff data and corresponding monthly or annual water supply-demand data, and (2) available monthly runoff data and water supply-demand data with different guarantee probabilities (50%, 75%, 90%, 95%, 97%, etc.) for water resources planning. The drought resistance capacity is determined based on the relationship between the level index of drought resistance capacity and inflow frequency. A calculation example is given, which can provide references for further study and applications.

Key words: drought resistance capacity; quantitative calculation; level index of drought resistance capacity; drought return period; drought frequency

抗旱能力研究是开展抗旱减灾战略的基础性工作之一, 通过对区域抗旱能力的分析计算, 有助于了解区域现有抵御干旱灾害的能力, 认识区域抗旱的优势和劣势, 明确今后防旱抗旱工作的方向, 对实现科学有效的旱灾风险管理具有重要意义^[1-2]。

目前, 抗旱能力分析方法主要是以定性评价为主, 即通过分析影响抗旱能力的主要因素, 构建抗旱能力评价指标体系, 并选择合适的评价方法或模型对抗旱能力进行综合评价^[3-8]。这类方法的特点是通过分析影响抗旱能力主要因素, 揭示抗旱能力与影响要素之间的因果关系, 其结果的表达方式是以抗旱能力等级(水平)的高低来表述, 故本质上属于定性评价范畴。2013 年, 梁忠民等^[2]提出了通过构造抗旱能力水平指数进行抗旱能力定量计算的思路, 本文以此为依据, 考虑到实际工作中的资料条件, 提出了抗旱能力定量计算的 2 种简化算法, 并提供了相应的计算实例, 为相关的研究与应用提供借鉴。

收稿日期: 2013-12-03

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2010CB951102); 水利部重大基建前期项目(水规计[2011]412 号)

作者简介: 梁忠民(1962—), 男, 辽宁凤城人, 教授, 主要从事水文水资源研究。E-mail: zmliang@hhu.edu.cn

1 抗旱能力的定量计算及表征

1.1 抗旱能力水平指数

抗旱能力受工程与非工程措施等因素的综合影响,但最终都可归结为干旱期间水利工程能够提供多少水量用于抗旱或提供的水量能否满足干旱期间的需水要求,因此,抗旱能力的定量计算可以通过构造反映干旱期间供需水平平衡关系的变量——抗旱能力水平指数 L_{drc} 来表示^[2]:

$$L_{\text{drc}}(t,p)=\frac{S(t,p)}{W(t,p)}$$

(1)

式中: t ——评价水平年,包括现状水平年及近、远期规划水平年; p ——来水频率,反映干旱程度; $S(t,p)$ ——干旱期间水利工程可提供的水量; $W(t,p)$ ——干旱期间维持正常生活、生产秩序应该供给的水量,其在数值上可采用干旱期间的正常需水量代替; $L_{\text{drc}}(t,p)$ ——抗旱能力水平指数, $L_{\text{drc}}(t,p) \in [0,1]$,其数值越大表明抗旱能力越强,反之亦然。

1.2 抗旱能力定量计算结果的表征

由式(1)可以计算某一水平年下 L_{drc} 与 p 之间的函数关系,如图1所示。按照 p 的定义, p 越大,表示该年份干旱越严重,其对应的 L_{drc} 越小,所以该曲线理论上呈衰减趋势,图1中 P_M 为 $L_{\text{drc}}=1$ 时对应的最大来水频率。对于 $p < P_M$ 的年份,供水可完全满足需水要求(即供需平衡);反之, $p > P_M$ 的年份,现有的抗旱能力不足以完全满足其需水要求,只能部分满足($L_{\text{drc}} < 1$)。抗旱能力强调人类所能抵御干旱灾害的最大水平,所以,可以用 P_M 来衡量一个地区抗旱能力的大小,即 P_M 越大,该地区的抗旱能力就越强,反之亦然。

在生产实践中,有时使用干旱频率(或重现期)这一指标来表示干旱的严重程度,所以也可以采用能抵御多大频率(或重现期)的干旱来衡量抗旱能力的大小。为此,需要对干旱事件进行识别^[9-11]并计算干旱频率(或重现期)^[11-13],再绘制来水频率与干旱重现期(或频率)间的关系曲线^[2]。

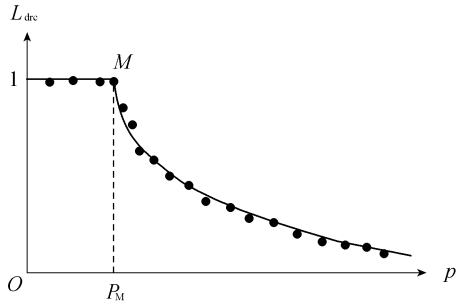


图1 $L_{\text{drc}} \sim p$ 关系曲线

Fig. 1 Relationship between level index of drought resistance capacity L_{drc} and inflow frequency p

2 抗旱能力定量计算的简化方法

抗旱能力水平指数的计算,理论上需要分别计算干旱期间的可供水量和正常需水量。然而由于干旱期间可供水量和需水量的计算较为复杂且对资料要求较高,如干旱起止时间的确定、供水用户的概化、水源划分、水源与用户间系统网络图构建,并且需要在此基础上进行干旱期间水资源的供需分析等^[14-15],使得从严格的理论层面去计算抗旱能力存在较大的困难。为此,笔者提出尽量应用已有的水资源综合规划相关成果进行抗旱能力定量计算的方法,并针对常见的2种资料条件给出抗旱能力定量计算的简化方法。

2.1 方法1

当具有月尺度的径流系列资料 and 同期月或年尺度的供/需水系列资料时,抗旱能力定量计算步骤如下。

2.1.1 干旱事件识别及干旱频率计算

基于月径流系列资料,首先采用干旱事件识别技术^[9-11]划分干旱过程,确定干旱期及干旱特征(历时、烈度)。假定 n 年的径流系列识别出的干旱过程有 m 个,则可能 $m > n$,即一年多旱;也可能 $m \leq n$,即一年一旱、跨年旱或多年连旱。接着采用 Copula 函数^[11-13],根据干旱历时与干旱烈度的联合分布计算干旱事件对应的干旱重现期 $T_i(i=1,2,\cdots,m)$ 。

2.1.2 抗旱能力水平指数计算

抗旱能力水平指数的计算根据供-需水系列的时间尺度(年或月)分2种情况计算:

a. 当具有逐月供-需水系列资料时,采用式(1)计算每一场干旱过程的抗旱能力水平指数。其中,第 i ($i=1,2,\cdots,m$)场干旱过程的可供水量,即式(1)中的 $S(t,p)$ 由干旱期各月的可供水量累加得到,应供水水量 $W(t,p)$ 由干旱期间各月正常需水量之和代替。

b. 当只有年尺度的供-需水资料时,假设:虽然干旱期的可供水量及正常需水量与全年的相应数值不同,但 2 种时间尺度的可供水量与正常需水量的比值相同。因此,仍采用式(1)计算抗旱能力水平指数,只是将公式中的 $S(t,p)$ 、 $W(t,p)$ 分别采用年可供水量和年需水量代替。

2.1.3 抗旱能力水平指数与来水频率关系建立

建立来水频率与干旱重现期(或频率)间的关系^[2],将干旱重现期 $T_i(i=1,2,\cdots,m)$ 转化成来水频率 $p_i(i=1,2,\cdots,m)$,再绘制抗旱能力水平指数与来水频率关系曲线(见图1),由该曲线确定区域抗旱能力大小(图1中的 P_M)。

2.2 方法 2

目前公布的水资源规划资料中,当仅具有几个典型来水频率或保证率(如 50%、75%、90%、95%或 97%等)的供需水数据,难以精确地建立来水频率与抗旱能力水平指数关系曲线并由此获得抗旱能力水平指数为 1 所对应的 P_M 时,可根据给定的年尺度供需水资料,仍采用式(1),将年尺度的供需水资料分别作为式(1)的 $S(t,p)$ 和 $W(t,p)$ 计算该年份的抗旱能力水平指数,再绘制抗旱能力水平指数与来水频率关系曲线,并根据点据的变化趋势,通过曲线的外延或内插等经验估算抗旱能力。

2.3 基本计算单元(县级) 供水量计算

在实际应用中,2 种方法都存在资料空间分辨率的问题,抗旱能力一般是以县为基本单元进行计算。对于已具有水资源综合规划资料的县级计算单元,即可获得计算单元不同来水频率或保证率条件下的供需水资料时,直接采用 2 种方法计算评价水平年不同来水频率条件下的抗旱能力水平指数;对于地级市有水资源综合规划资料、而县级计算单元没有综合规划资料的情况,建议通过折算系数,将地级市的水资源综合规划成果折算到县级计算单元,再采用式(1)计算。

2.3.1 县级计算单元可供水量计算

建议采用县级计算单元供水能力与其所在地级市总供水能力的比值作为折算系数,将地级市不同来水频率下的可供水量折算到县级单元,公式如下:

$$S_c(t,p) = \frac{O_c(t)}{O_M(t)} S_M(t,p) \tag{2}$$

式中: $S_c(t,p)$ ——县级单元 t 水平年、 p 来水频率条件下的可供水量; $S_M(t,p)$ ——地级市 t 水平年、 p 来水频率条件下的可供水量; $O_c(t)$ ——县级单元 t 水平年的供水能力; $O_M(t)$ ——地级市 t 水平年总供水能力。

2.3.2 县级计算单元应供水量计算

县级计算单元应供水量(数值上可采用正常需水量代替)的计算,可通过县级计算单元的用水量与地级市总用水量之比值作为折算系数,将地级市不同来水频率的需水量折算到县级计算单元,公式如下:

$$W_c(t,p) = \frac{b_c(t)}{b_M(t)} W_M(t,p) \tag{3}$$

式中: $W_c(t,p)$ ——县级计算单元 t 水平年、 p 来水频率条件下的应供水量; $W_M(t,p)$ ——地级市 t 水平年、 p 来水频率条件下的应供水量; $b_c(t)$ —— t 水平年县级计算单元用水量; $b_M(t)$ —— t 水平年地级市总用水量。

当获得县级计算单元 t 水平年、不同来水频率条件下可供水量和正常需水量数据后,即可计算出 t 水平年、不同来水频率条件下的抗旱能力水平指数。

3 实际 应用

3.1 算例 1

基于沂沭河地区 1956—2000 年共 44 年月尺度径流系列资料和同期月尺度的供需水资料,定量计算沂沭河地区的抗旱能力。

因为具有沂沭河地区逐月供需水资料系列,故采用式(1)计算每一场干旱的抗旱能力水平指数;再根据沂沭河地区年径流系列资料进行来水频率分析,并建立来水频率与抗旱能力水平指数关系曲线,如图 2 所示。需要说明的是,在建立该关系曲线的过程中,由于存在各种误差,可能会出现个别点据与整体数据变化趋势不协调的情况,曲线拟合时,应使曲线整体上具有在临界点(P_M)之后,来水频率越大、抗旱能力水平指数越小的趋势。

由图2可以看出, $L_{\text{drc}}=1$ 对应的 P_{M} 为64%,即该地区所具有的抗旱能力最大能够抵御来水频率为64%的干旱年份。

也可进一步建立沂沭河地区来水频率 p 与干旱重现期间 T 关系曲线,如图3所示。按照来水频率的定义,其数值越大,表明来水越少,越干旱,对应的干旱重现期就越大。

由图2的 $P_{\text{M}}=64\%$ 查图3,得到对应的干旱重现期约为4.6a,因此,沂沭河地区具有抵御约5年一遇干旱的抗旱能力。

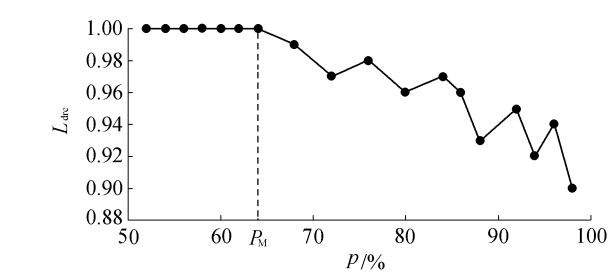


图2 沂沭河地区 $L_{\text{drc}} \sim p$ 关系曲线

Fig. 2 Relationship between level index of drought resistance capacity L_{drc} and inflow frequency p in Yishuhe region

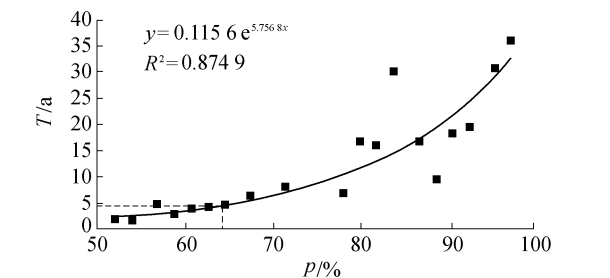


图3 沂沭河地区 $p \sim T$ 关系曲线

Fig. 3 Relationship between inflow frequency p and drought return period T in Yishuhe region

3.2 算例2

根据云南省曲靖市基准年(2010年)4种来水频率(保证率)条件下的供需水量数据(表1),以及曲靖市和其所属沾益县供水能力及用水量数据,采用式(3)、式(4)计算沾益县在4种典型来水频率条件下的抗旱能力水平指数。其中,曲靖市和沾益县的现状供水能力分别为194953万 m^3 和25681万 m^3 ,实际用水量分别为151349万 m^3 和17436万 m^3 。

表1 沾益县基准年 L_{drc} 计算结果
Table 1 Calculated results of L_{drc} in base year in Zhanyi County

$p/\%$	曲靖市		沾益县		L_{drc}
	可供水量/万 m^3	需水量/万 m^3	可供水量/万 m^3	需水量/万 m^3	
50	184706	210218	24331	24218	1.00
75	193941	227076	25548	26160	0.98
90	175471	232857	23115	26826	0.86
>97	166235	239293	21898	27567	0.79

因只有4种来水频率条件下的数据,无法精确地建立抗旱能力水平指数与来水频率关系曲线,为此,需根据曲线的趋势进行外延以推求抗旱能力水平指数为1的点(图4中A点),其对应的来水频率约为73%。因此,现状条件下沾益县具有抵御来水频率为73%干旱年份的抗旱能力。

4 结 语

- a. 采用反映干旱期间供需水平平衡关系的变量——抗旱能力水平指数,实现抗旱能力的定量计算,并根据抗旱能力水平指数-来水频率(保证率)关系曲线确定抗旱能力大小。
- b. 针对实际应用中常见的2种资料条件,提供了抗旱能力定量计算的简化方法,介绍了不同资料条件下抗旱能力水平指数的计算流程以及抗旱能力的确定方法。
- c. 本文方法的关键点是建立抗旱能力水平指数-来水频率的关系曲线,当资料条件受限时,其精度会有所降低;另外,在进行不同尺度空间数据转换时(如由市到县)也进行了一定的假设,这些假设对计算结果均不可避免地产生影响,需要进一步完善。

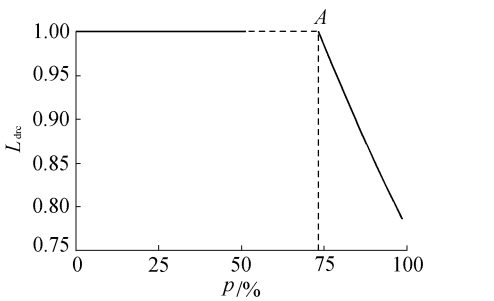


图4 沾益县 $L_{\text{drc}} \sim p$ 关系曲线

Fig. 4 Relationship between level index of drought resistance capacity L_{drc} and inflow frequency p in Zhanyi County

致谢:感谢水利部重大基建前期项目“全国干旱区划及旱灾风险评估研究”项目组成员在本项研究中给予的宝贵建议与支持!

参考文献:

[1] 鄂竞平. 推进单一抗旱向全面抗旱转变[J]. 中国水利,2004(6):16-18. (E Jingping. Promoting single drought transition to comprehensive drought [J]. China Water Resources,2004(6):16-18. (in Chinese))

[2] 梁忠民,郦建强,常文娟,等. 抗旱能力研究理论框架[J]. 南水北调与水利科技,2013,11(1):23-28. (LIANG Zhongmin,LI Jianqiang,CHANG Wenjuan,et al. Research on the theoretical framework of drought resistance capacity[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technoligy,2013,11(1):23-28. (in Chinese))

[3] 顾颖,倪深海,王会容. 中国农业抗旱能力综合评价[J]. 水科学进展,2005,16(5):700-704. (GU Ying,NI Shenhai,WANG Huirong. Comprehensive evaluation on ability of coping with agriculture drought in China [J]. Advances in Water Science,2005,16(5):700-704. (in Chinese))

[4] 杨奇勇,冯发林,巢礼义. 多目标决策的农业抗旱能力综合评价[J]. 灾害学,2007,22(2):5-8. (YANG Qiyong,FENG Falin, CHAO Liyi. Comprehensive evaluation on ability of coping with agriculture drought by using multi-objective decision[J]. Journal of Catastrophology,2007,22(2):5-8. (in Chinese))

[5] 刘迎春,肖谦益. 湖南农业抗旱能力综合评价[J]. 云南地理环境研究,2007,19(4):39-42,57. (LIU Yingchun,XIAO Qianyi. Comprehensive evaluation on ability of coping with agriculture drought in Yunnan[J]. Yunnan Geographic Environment Research,2007,19(4):39-42,57. (in Chinese))

[6] 李树岩,刘荣华,成林,等. 河南省农业综合抗旱能力分析 with 区划[J]. 生态学杂志,2009,28(8):1555-1560. (LI Shuyan, LIU Ronghua,CHENG Lin. Comprehensive agriculture drought-resistance capacity of Hebei Province:analysis and regionalization [J]. Chinese Journal of Ecology,2009,28(8):1555-1560. (in Chinese))

[7] 邓伟杰,金彦兆,李莉. 甘肃省农业抗旱能力综合评价[J]. 人民长江,2010,41(12):105-107. (DENG Weijie,JIN Yanzhao, LI Li. Comprehensive evaluation on agriculture drought-resistance ability of Gansu Province[J]. Yangtze River,2010,41(12):105-107. (in Chinese))

[8] 李瑞杰,李德竹,梅润雨,等. 基于集对分析和可变模糊集的区域抗旱能力评价模型[J]. 水资源保护,2013,29(5):59-64. (LI Ruijie,LI Dezu,MEI Runyu,et al. Regional drought-resistant ability assessment model based on set pair analysis and variable fuzzy set [J]. Water Resources Protection,2013,29(5):59-64. (in Chinese))

[9] FLEIG A K,TALLAKSEN L M,HISDAL H,et al. A global evaluation of streamflow drought characteristics[J]. Hydrology and Earth System Sciences,2006,10(4):535-552.

[10] 陆桂华,闫桂霞,吴志勇,等. 基于 Copula 函数的区域干旱分析方法[J]. 水科学进展,2010,21(2):188-193. (LU Guihua, YAN Guixia,WU Zhiyong,et al. Regional drought analysis approach based on Copula function[J]. Advances in Water Science,2010,21(2):188-193. (in Chinese))

[11] SHIAU J T. Fitting drought duration and severity with two-dimensional Copulas[J]. Water Resources Management,2006,20(5):795-815.

[12] 闫宝伟,郭生练,肖义,等. 基于两变量联合分布的干旱特征分析[J]. 干旱区研究,2007,24(4):537-542. (YAN Baowei, GUO Shenglian,XIAO Yi,et al. Analysis on drought characteristics based on bivariate joint distribution [J]. Arid Zone Research,2007,24(4):537-542. (in Chinese))

[13] 周玉良,袁潇晨,金菊良,等. 基于 Copula 的区域水文干旱频率分析[J]. 地理科学,2011(11):1383-1388. (ZHOU Yuliang, YUAN Xiaochen, JIN Juliang, et al. Regional hydrological drought frequency based on copulas [J]. Scientia Geographica Sinica, 2011(11):1383-1388. (in Chinese))

[14] 黄永基,马滇珍. 区域水资源供需分析方法[M]. 南京:河海大学出版社,1990.

[15] 董增川. 水资源规划与管理[M]. 北京:中国水利水电出版社,2008.