

基于降水频率特性分析的 Z 指数界限值修正

常 静^{1,2}, 杨志勇², 曹永强¹, 于赢东²

(1. 辽宁师范大学城市与环境学院, 辽宁 大连 116029;

2. 中国水利水电科学研究院 流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038)

摘 要: P-III 型分布已被众多学者广泛应用于降水量的拟合, 且效果良好, 而降雨 Z 指数恰好假设某一时段的降水量服从这一分布, 并且计算简便, 结果比较符合实际, 是反应旱涝分布及程度的一种常见的方法。在实际应用中, 由于各区域降水的特征, 导致结果不符合实际情况, 需对其进行修正。从此角度出发, 从我国七个区(华北、华中、华东、华南、东北、西北和西南地区)选取各区代表站的年降水量资料, 分析了代表性站点降水频率特性, 并对 Z 指数等级界限值进行修正。结果表明: 由于各区域降水特性的差异, Z 指数界限值有所不同, 尤其华东、华南两区与其他区域差异较明显, 由此推测我国降水在空间上存在差异。

关键词: 降水量; 旱涝指标; Z 指数; 修正

中图分类号: N3

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2015)01-0068-05

1 引言

旱涝问题一直深受全球关注, 因此, 对旱涝指标的研究就显得十分重要。作为形成旱涝的重要因子之一, 许多学者以降水量来评价旱涝情况, 其中降水 Z 指数、降水距平百分率、标准化降水指标等旱涝指标已得到比较广泛应用, 成为评估旱涝的代表性指标。降水 Z 指数则通过将降水资料正态化处理以消除量纲, 能更客观地反映出旱涝程度, 同时使用简便, 是单站划分旱涝中使用最为广泛的指标^[1,2], 在我国钱塘江、辽宁省及日照市等地区已经得到了广泛应用^[3-6], 结果表明 Z 指数能较客观地反映旱涝程度。

在实际应用过程中, 根据推荐界限值计算得到的部分地区旱涝频率与理论频率存在较大差异^[7-8], 这主要与区域降水频率特性有关, 为使 Z 指数评价结果更为符合实际, 需根据区域降水特性, 需要根据理论概率, 调整 Z 指数旱涝分级的理论界限值, 使之更符合研究区的实际旱涝等级, 最终得出适合研究区的 Z 指数旱涝等级标准。本文从此角度出发, 将我国分为七个

大区(华北、华中、华东、华南、东北、西北和西南地区), 选取各区代表站的年降水量资料, 对其进行 Z 指数界限值的修正, 以便更加适合在各地区中的使用。

2 降水 Z 指数的基本原理

降水 Z 指数是用来表征旱涝程度及空间分布的一种指标, 其假设某一时段的降水量服从 P-III 型分布, 通过对降水量进行正态化处理, 将概率密度函数转化以 Z 为变量的标准正态分布, 其转换公式为^[1]:

$$Z_i = \frac{6}{C_s} \times \left(\frac{C_s \times \varphi_i}{2} + 1 \right)^{\frac{1}{3}} - \frac{6}{C_s} + \frac{C_s}{6} \quad (1)$$

式中: C_s 为偏态系数; φ_i 为标准变量, 均可由降水资料序列计算求得, 即:

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{n\sigma^3}; \quad \varphi_i = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma} \quad (2)$$

式中: X_i 为逐年降水量序列; \bar{X} 为累年平均; σ 为标准差。根据 Z 值的正态分布曲线, 划分为 7 个等级, 具体见表 1^[1]。

收稿日期: 2013-12-13

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2010CB951102); 国家科技支撑计划资助项目(2013BAC10B01); “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAC19B03)

作者简介: 常静(1988-), 女, 辽宁锦州人, 硕士研究生, 主要从事气候变化和水文水资源。E-mail: 15904265131@sina.cn

表1 Z指数旱涝等级标准
Table1 Droughts grading standards of Z-index

等级	类型	理论概率/%	Z值范围	累计频率 / %
1	特涝	5	$Z > 1.645$	$P > 95$
2	大涝	10	$1.037 < Z \leq 1.645$	$85 < P \leq 95$
3	偏涝	15	$0.842 < Z \leq 1.037$	$70 < P \leq 85$
4	正常	40	$-0.842 \leq Z \leq 0.842$	$30 < P \leq 70$
5	偏旱	15	$-1.037 \leq Z < -0.842$	$15 < P \leq 30$
6	大旱	10	$-1.645 \leq Z < -1.037$	$5 < P \leq 15$
7	特旱	5	$Z < -1.645$	$P < 5$

3 降水频率分析

为了探究Z指数的假设条件,以乌鲁木齐为例,对其1961~2010年降水频率进行分析。图1所示为乌鲁木齐近50年降水量与P-型分布的拟合效果图。从图中可以看出,乌鲁木齐多年降水量与P-型分布拟合的效果不好,差别比较大。

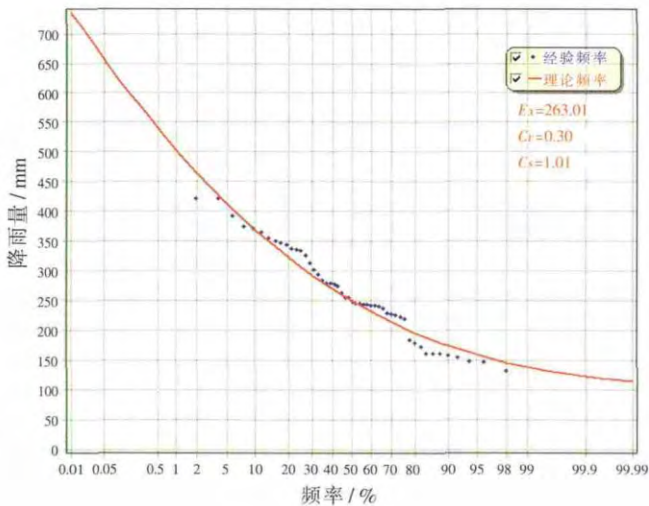


图1 乌鲁木齐站多年降水频率曲线

Fig.1 Frequency curve of the annual rainfall at the Wulumuqi station

由此可知,降水Z指数的假设条件,即假设某一时段的降水量服从P-III型分布,在某些地区、某时段并不成立,从而影响Z指数对旱涝程度的分析。

4 降水Z指数的分析

4.1 代表站的Z指数旱涝频率

在全国七个地区(华北、华中、华东、华南、东北、西北和西南地区)各选取一个代表站点,利用降水Z指数法计算1961~2010年降水量的Z值,划分旱涝等级,并统计各代表站发生旱涝的频率,结果如表2所示。

从表中可以看出,利用Z指数法计算,七个站点的实际旱涝频率与理论频率均有一定的出入,尤其是偏涝、偏旱和正常情况的频率偏差比较大,也就是说,7个旱涝等级的分布与实际并不相符。

4.2 对Z指数修正的原因分析

前面指出,Z指数等级划分的界限值在部分地区并不合理,主要原因如下:由于Z指数是基于一定的假设,即假设某一时段的降水量服从P-型分布,而事实上,部分地区降水量Z值并不符合正态分布,如图2所示;另外,一部分地区,虽然Z值服从正态分布,但是由于地区的特殊性等原因,导致实际频率与理论频率偏差较大,在某个范围内高于或低于理论频率,如图3所示。在出现这两种情况的地区,Z指数评价的结果都会与实际情况不符。

总之,根据降水Z指数旱涝等级标准对部分地区进行旱涝等级划分,会出现等级分布形式不合理的情况,这也验证了Z指数的等级界限值存在问题这一说法^[7],因此,在利用降水Z指数进行旱涝评价前,要调整Z指数各旱涝分级的界限值,使其更符合当地情况,最终得出适合实际情况的Z指数旱涝等级标准。

对Z指数界限值调整的原则,一是划分后的旱涝

表2 Z指数旱涝频率

Table2 The droughts and floods frequency of Z-index

类型	理论概率/%	实际概率 / %						
		北京	武汉	广州	南昌	沈阳	乌鲁木齐	拉萨
特涝	5	3.9	5.9	3.9	3.9	3.9	2.0	5.9
大涝	10	13.7	7.8	15.7	9.8	9.8	19.6	9.8
偏涝	15	7.8	5.9	0	5.9	7.8	0	5.9
正常	40	45.1	56.9	58.8	58.8	52.9	51.0	54.9
偏旱	15	10.0	2.0	0	3.9	9.8	9.8	11.8
大旱	10	13.7	13.7	15.7	7.8	9.8	11.8	7.8
特旱	5	3.9	5.9	3.9	7.8	3.9	3.9	2.0

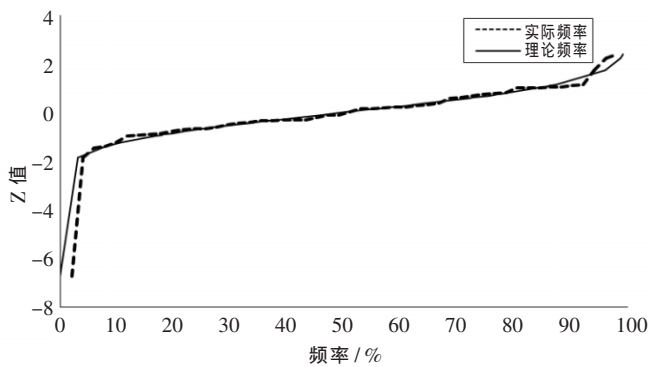


图2 石家庄近50年降水量Z值频率曲线

Fig.2 Frequency curve of Z-index of past 50-year rainfall in Shijiazhuang

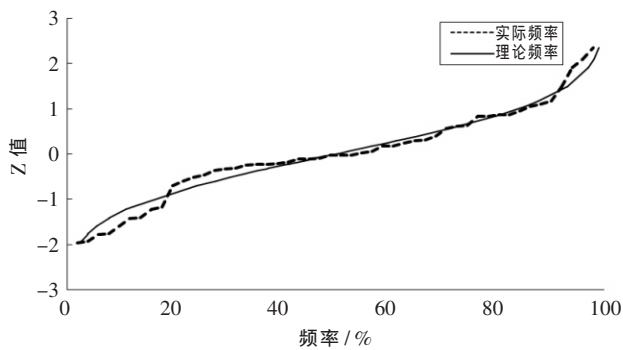


图3 郑州近50年降水量Z值频率曲线

Fig.3 Frequency curve of Z-index of the past 50-year rainfall in Zhengzhou

年份要大体相当;二是在原来Z指数界限值的基础上做微调,调整幅度不宜太大。

5 降水Z指数界限值的修正

5.1 基本数据

本文选用我国七个地区(华北、华中、华东、华南、东北、西北和西南地区)代表性气象站点,例如华北地区选取北京、天津、石家庄、张家口、太原、大同、乌鲁木齐、包头8个代表站点,1961~2010年年降水量数据,按照Z指数的调整原则及概率要求对各地区旱涝等级界限值进行修正。

5.2 Z指数界限值的修正

Z指数的7个旱涝等级中,一般要求特涝和特旱所占比例分别为5%,大涝和大旱所占比例分别为10%,偏涝和偏旱所占比例分别为15%,正常级所占比例为40%^[8],据此理论概率分布,经过正态分布函数的查算^[9],得到相应的Z值范围。修正后的七个地区的Z指数旱涝等级标准如表3、表4所示。

5.3 修正结果的验证

利用调整后的分级标准确定各个地区旱涝等级,其各等级的概率较修正前更接近理论概率,说明修正

表3 华北、华中等五个地区修正的Z指数旱涝等级标准

Table3 The droughts grade standards of modified Z-index

类型	理论概率/%	Z 值范围				
		华北地区	华中地区	西北地区	东北地区	西南地区
特涝	5	$Z > 1.645$	$Z > 1.645$	$Z > 1.645$	$Z > 1.602$	$Z > 1.645$
大涝	10	$1.037 < Z \leq 1.645$	$1.037 < Z \leq 1.645$	$1.037 < Z \leq 1.645$	$1.037 < Z \leq 1.602$	$1.037 < Z \leq 1.645$
偏涝	15	$0.524 < Z \leq 1.037$	$0.524 < Z \leq 1.037$	$0.524 < Z \leq 1.037$	$0.552 < Z \leq 1.037$	$0.542 < Z \leq 1.037$
正常	40	$-0.524 \leq Z \leq 0.524$	$-0.524 \leq Z \leq 0.524$	$-0.524 \leq Z \leq 0.524$	$-0.552 \leq Z \leq 0.552$	$-0.542 \leq Z \leq 0.542$
偏旱	15	$-1.037 \leq Z < -0.524$	$-1.037 \leq Z < -0.524$	$-1.037 \leq Z < -0.524$	$-1.037 \leq Z < -0.552$	$-1.037 \leq Z < -0.542$
大旱	10	$-1.645 \leq Z < -1.037$	$-1.645 \leq Z < -1.037$	$-1.645 \leq Z < -1.037$	$-1.602 \leq Z < -1.037$	$-1.645 \leq Z < -1.037$
特旱	5	$Z < -1.645$	$Z < -1.645$	$Z < -1.645$	$Z < -1.602$	$Z < -1.645$

表4 华东、华南地区修正的Z指数旱涝等级标准

Table4 The droughts grade standards of modified Z-index in the east China and south China

类型	理论概率/%	Z 值范围	
		华东地区	华南地区
特涝	5	$Z > 1.963$	$Z > 1.963$
大涝	10	$1.442 < Z \leq 1.963$	$1.442 < Z \leq 1.963$
偏涝	15	$0.844 < Z \leq 1.442$	$0.844 < Z \leq 1.442$
正常	40	$-0.844 \leq Z \leq 0.844$	$-0.844 \leq Z \leq 0.844$
偏旱	15	$-1.442 \leq Z < -0.844$	$-1.442 \leq Z < -0.844$
大旱	10	$-1.963 \leq Z < -1.442$	$-1.963 \leq Z < -1.442$
特旱	5	$Z < -1.963$	$Z < -1.963$

表5 修正的Z指数在各地区的应用
Table5 Application of the modified Z-index in various regions

等级	Z 值范围			
	浙江省 ^[2]	西北地区 ^[7]	山西省 ^[10]	河北省 ^[11]
特涝	—	(1.6485, ∞)	(1.645, ∞)	(1.645, ∞)
大涝	—	(1.0364, 1.6485]	(1.037, 1.645]	(1.037, 1.645]
偏涝	—	(0.5244, 1.0364]	(0.524, 1.037]	(0.524, 1.037]
正常	[-0.84, 0.84]	[-0.5244, 0.5244]	[-0.524, 0.524]	[-0.524, 0.524]
偏旱	[-1.44, -0.84)	[-1.0364, -0.5244)	[-1.037, -0.524)	[-1.037, -0.524)
大旱	[-1.96, -1.44)	[-1.6485, -1.0364)	[-1.645, -1.037)	[-1.645, -1.037)
特旱	(-∞, -1.96)	(-∞, -1.6485)	(-∞, -1.645)	(-∞, -1.645)

等级	Z 值范围			
	三峡库区 ^[12]	长江上游 ^[13]	河南省 ^[14]	东北地区 ^[15]
特涝	(1.65, ∞)	(1.645, ∞)	(1.645, ∞)	(1.645, ∞)
大涝	(1.05, 1.65]	(1.037, 1.645]	(1.037, 1.645]	(1.037, 1.645]
偏涝	(0.55, 1.05]	(0.524, 1.037]	(0.524, 1.037]	(0.524, 1.037]
正常	[-0.55, 0.55]	[-0.524, 0.524]	[-0.524, 0.524]	[-0.524, 0.524]
偏旱	[-1.05, -0.55)	[-1.037, -0.524)	[-1.037, -0.524)	[-1.037, -0.524)
大旱	[-1.65, -1.05)	[-1.645, -1.037)	[-1.645, -1.037)	[-1.645, -1.037)
特旱	(-∞, -1.65)	(-∞, -1.645)	(-∞, -1.645)	(-∞, -1.645)

后不同地区的 Z 指数等级界限值比较符合我国各个地区。

为了验证修正结果的合理性, 查阅了对各地区的相关研究, 文献所采用的修正的 Z 指数界限值见表 5。从表中可以看出, 文献中采用的 Z 指数界限值与本文修正的旱涝等级标准大致相同, 验证了此结果的合理性。因此可以认为本文修正后的旱涝等级界限值具有一定可靠性。

6 结论与讨论

(1) 在我国七个地区(华北、华中、华东、华南、东北、西北和西南地区)各选取一个代表站点, 利用降水 Z 指数法划分旱涝等级, 由结果可知, 7 个旱涝等级的理论频率分布与所选代表站点实际频率并不相符, 尤其是偏涝、偏旱的频率均低于理论频率的 15%, 正常情况的频率高于理论频率的 40%, 且偏差均较大。

(2) 对 Z 指数旱涝等级标准不合理性进行分析: Z 指数的降水量假设在部分地区不成立, 导致 Z 值不服从正态分布(见图 1、2); 另一方面, 对于部分地区, 由于种种原因, 虽然 Z 值服从正态分布, 但是各旱涝类型的实际频率与理论频率相差较大(见图 3)。以上两个原因, 都会导致 Z 指数在划分旱涝等级上出现偏差。

(3) 本文分别在全国七个地区选取代表站点, 按照修正原则及理论概率分布的要求, 对 Z 指数旱涝等级界限值进行修正, 主要调整了正常与偏涝、正常与偏旱的界限值, 总体分为两种情况, 大致为 -0.5~0.5 与 -0.8~0.8。并利用修正的 Z 指数对我国七个地区进行旱涝等级划分, 其概率更接近理论值。由此表明, 修正后的 Z 指数旱涝等级更适合我国各地区。并且通过与一些相关文献对比, 证实本文结果的合理性。

(4) 根据修正后的 Z 指数旱涝等级标准界限值, 发现华东、华南两地区与其它地区有明显差异, 各等级界限值分别为: 1.963, 1.442, 0.844, -0.844, -1.442, -1.963, 绝对值均明显高于其他地区的 1.6, 1.0, 0.5, -0.5, -1.0, -1.6。因此可将我国分为两种情况: 一是华东、华南两地区; 二是华北、东北等其它五个地区。华东、华南两地区 Z 指数各旱涝等级界限值的绝对值明显不同于其他各地区, 可以认为该地区的降水特征与其它地区不同, 据此推测, 我国的降水特征在空间分布上存在差异, 至少南北存在差异。此推断在文献[16]中得到了证实。

参考文献:

- [1] 鞠笑生, 杨贤为, 陈丽娟, 等. 我国单站旱涝指标确定和区域旱涝级别划分的研究[J]. 应用气象学报, 1997, 8(1). (JU Xiaosheng, YANG Xianwei, CHEN Lijuan, et al. Research on determination of station indexes and division of regional flood/drought grades in China [J].

- Journal of Applied Meteorology, 1997,8(1). (in Chinese)
- [2] Wu H, Hayes M J, Weiss Albert, et al. An evaluation of the standardized precipitation index, the China-Z index and the statistical Z-Score [J]. International Journal of Climatology, 2001,21:745-758.
- [3] 林盛吉,许月萍,田焯,等. 基于 Z 指数和 SPI 指数的钱塘江流域干旱时空分析 [J]. 水力发电学报, 2012,31(2). (LIN Shengji, XU Yueping, TIAN Ye, et al. Spatial and temporal analysis of drought in Qiantang River basin based on Z index and SPI [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2012,31(2). (in Chinese))
- [4] 曹永强,路璐,张兰霞,等. 基于 Z 指数的辽宁省气象干旱时空特征分析 [J]. 资源科学, 2012,34(8). (CAO Yongqiang, LU Lu, ZHANG Lanxia, et al. Spatio-temporal characteristics of meteorological drought in Liaoning Province based on Z Index [J]. Resources Science, 2012,34(8). (in Chinese))
- [5] 阿帕尔,尹建新,叶尔克江,等. 昌吉地区旱涝特征分析 [J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版), 2011,3(4). (Apar, YIN Jianxin, Erkejan, et al. Research on climatological drought and flood index of Changji areas [J]. Journal of Nanjing University of Information Science and Technology (Natural Science), 2011,3(4). (in Chinese))
- [6] 陆桂荣,郑美琴,周秀君,等. 山东日照市 2 种干旱指标的应用对比 [J]. 干旱气象, 2010,28(1). (LU Guirong, ZHENG Meiqin, ZHOU Xiujun, et al. Application and comparison of two kinds of drought indices in rizhao of Shandong Province [J]. Journal of Arid Meteorology, 2010,28(1). (in Chinese))
- [7] 张存杰,王宝灵,刘德祥,等. 西北地区旱涝指标的研究 [J]. 高原气象, 1998,17(4). (ZHANG Cunjie, WANG Baoling, LIU Dexiang, et al. Research on drought and flood indices in northwest China [J]. Plateau Meteorology, 1998,17(4). (in Chinese))
- [8] 方茸, 周后福, 屈雅. 基于江淮分水岭地区的 Z 指数修正 [J]. 气象, 2010,36(10). (FANG Rong, ZHOU Houfu, QU Ya. Adjustment of Z-Index based on Jianghuai watershed area [J]. Meteorological Monthly, 2010,36(10). (in Chinese))
- [9] 马开玉,丁裕国,屠其璞,等. 气候统计原理与方法 [M]. 北京: 气象出版社, 1993. (MA Kaiyu, DING Yuguo, TU Qipu, et al. Climate Statistical Theory and Methods [M]. Beijing: Meteorological Publishing House, 1993. (in Chinese))
- [10] 周晋红,李丽平,秦爱民. 山西气象干旱指标的确定及干旱气候变化研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2010,28(3). (ZHOU Jinhong, LI Liping, QIN Aimin. Study on the determination of meteorological drought index and drought climate changes in Shanxi province [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2010,28(3). (in Chinese))
- [11] 王宏,余锦华,李宗涛,等. 基于 Z 指数的河北省旱涝多尺度变化特征 [J]. 气象与环境学报, 2012,28(1). (WANG Hong, YU Jinhua, LI Zongtao, et al. Multi-time scale characteristics of drought and flood based on Z index in Hebei province [J]. Journal of Meteorology and Environment, 2012,28(1). (in Chinese))
- [12] 张葵,刘庆,杨德保,等. 三峡库区上游_川渝地区_旱涝指标研究 [J]. 安徽农业科学, 2009,37(12). (ZHANG Kui, LIU Qing, YANG Debao, et al. Research on drought and flood indices in Opstream three Gorges Reservoir area [J]. Journal of Anhui Agri. Sci. 2009,37(12). (in Chinese))
- [13] 刘志雄,肖莺. 长江上游旱涝指标及其变化特征分析 [J]. 长江流域资源与环境, 2012,21(3). (LIU Zhixiong, XIAO Ying. Indices and characteristic of drought and flood in the upper basin of the Changjiang river [J]. Research and Environment in the Yangtze Basin, 2012,21(3). (in Chinese))
- [14] 朱业玉,王记芳,武鹏. 降水 Z 指数在河南旱涝监测中的应用 [J]. 河南气象, 2006,4. (ZHU Yeyu, WANG Jifang, WU Peng. Application research on precipitation Z Index in Henan drought-flood monitor [J]. Meteorology Journal of Henan, 2006,4. (in Chinese))
- [15] 孙力,安刚,丁立. 中国东北地区夏季旱涝的分析研究 [J]. 地理科学, 2002,22(3). (SUN Li, AN Gang, DING Li. The characteristics of summer drought and flood in Northeast area of China [J]. Scientia Geographica Sinica, 2002,22(3). (in Chinese))
- [16] 严华生,严小冬. 中国降水场的时空分布变化 [J]. 云南大学学报(自然科学版), 2004,26(1). (YAN Huasheng, YAN Xiaodong. The spatial and temporal distribution variation of precipitation field over China [J]. Journal of Yunnan University, 2004,26(1). (in Chinese))

Adjustment of Z-index Threshold Value Based on Rainfall Frequency Features

CHANG Jing^{1,2}, YANG Zhiyong², CAO Yongqiang¹, YU Yingdong²

(1. School of Urban Planning and Environmental Science, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China; 2. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: P-III has been widely used by many scholars to fit precipitation, and the results are good. The Z-index assume that the precipitation accord with the distribution. It is a common method to response the spread and grade of drought and flood. In practical applications, Z-index need correct due to that it is not suitable to the reality because of rainfall features in some regions. In this paper, precipitation was selected in representative weather stations in seven zones (the North China, Central China, East China, South China, Northeast China, Northwest China and Southwest China) to analyze rainfall frequency features and revised the boundary value of Z-index. The results show that the boundary value of Z-index is different due to rainfall feature, especially in the North China and South China.

Key words: precipitation; drought and flood index; Z-index; revise