

宁波市 2013 年夏季干旱分析

王 颖, 许 洁, 李文杰

(浙江省宁波市水文站, 浙江 宁波 315020)

摘 要:2013 年夏季干旱给宁波市带来了极大的损失。本文利用全市 63 个国家基本雨量站资料, 采用连续无雨日法和降水量距平法评估此次干旱的干旱等级, 并提出了回归分析的改进方法。通过与历史同期旱情进行对比分析, 认为宁波市 2013 年夏季干旱为近 60 年比较严重的年份之一, 频率分析达到 30 年一遇。

关键词:宁波市; 干旱成因; 干旱等级; 回归分析

中图分类号: P429

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2014)04-0086-06

1 概述

宁波市位于我国东南沿海, 属典型的亚热带季风气候, 多年平均降水量在 1 400~1 600mm 之间。冬季受北方冷高压控制, 以晴冷干燥的天气为主, 易形成冬旱; 春夏之交随着暖湿气流在长江流域中下游一带的停滞, 冷暖空气交汇, 造成持续时间较长的梅雨季节, 若降水量大易形成平原地区的内涝; 出梅后, 又处于太平洋副高的控制下, 天气晴热少雨, 日照长, 蒸发量大, 容易形成干旱^[1]。

目前国内外对干旱的定义还未达成一致。国际气象界一般将干旱定义为“长时间缺乏降水或降水明显短缺”或“降水短缺导致某方面的活动缺水”^[2]; 我国国家气象局认为干旱是指因水分的收与支或供与求不平衡而形成的持续的水分短缺现象。但由于干旱涉及的范围广泛, 时空分布多样, 以及人们对水资源的不同需求, 使干旱的单一定义很难满足各行业、各部门的需求。于是研究者开始将不同类型的干旱进行分类和重新定义, 目前将干旱分成气象干旱、农业干旱、水文干旱和社会经济干旱。另外根据干旱发生的频次, 干旱可分为因气候引起的常年性干旱和气象因子(降水少、气温高)引起的季节性干旱。

根据干旱的不同分类, 将干旱指数分为气象干旱指数、农业干旱指数、水文干旱指数。气象干旱指数用于监测和评价某区域某时段内因天气气候异常引起的

水分亏欠程度。降水是气象干旱的主要因素, 再加上雨量资料相对易于获得, 因此气象干旱指数评价方法被广泛运用。国内外常见的气象干旱指数有降水距平、降水频率、标准差等。农业干旱指数常见的有土壤水分指标、作物水分指数等。水文干旱指数大多基于河道流量, 研究较多的则是水文干旱频率问题^[3]。

2 干旱成因及特点

2013 年 7~8 月间因受太平洋副高影响, 宁波市遭受了长时间大范围的持续高温少雨天气, 高温晴热导致蒸发量大, 又值农业双抢用水高峰, 导致全市各区县均发生了不同程度的干旱。持续干旱使水库蓄水量、江河水位急剧下降, 造成部分山区、海岛发生了饮水困难, 干旱还使水田干涸, 农作物遭受了很大危害。旱灾给全市造成了极大的损失, 全市直接经济损失达 8.25 亿元, 其中农业直接经济损失 7.75 亿元。

此次干旱主要是因为高温少雨造成, 7 月 1 日~8 月 17 日, 全市降水量仅 48.8mm, 比常年同期(270.2mm)偏少 8 成。特别在 7 月份, 全市面平均降水量 44.0mm, 比同期多年平均偏少 7 成, 与历史同期相比, 仅高于 1994 年(23.3mm)。受副热带高压控制, 全市日最高气温超过 35℃的天数长达 43d, 而多年平均仅为 12d, 并出现了 43.5℃的日历史最高气温。高温加剧了水面的蒸发量, 以市区为例, 姚江大闸站 7 月份蒸发量 157.5mm, 比多年平均(100.0mm)增加了近 6 成,

7月1日~8月17日整个干旱期蒸发总量为249.4mm。这次干旱主要有以下几个特点:

(1)高温强度大。全市除宁海外,其他地区均创下当地建站以来高温记录,其中奉化最高气温一度达到43.5℃,破宁波最高气温极值记录。在2003年前全市并无40℃以上的高温,2013年之前更是没有42℃以上的高温。各站极值纪录情况见表1。

(2)高温持续时间长。全市38℃、40℃和42℃以上高温天数为历史罕见,其中,余姚7月20~31日连续12d出现38℃以上高温,奉化40℃以上(含40℃)的高温天数多达15d,位列全市之首。

(3)高温范围广。首轮强高温(7月24~30日),宁波有四分之一的地区连续7d最高气温达到40℃以上;第二轮高温(8月5~9日)范围更广,全市二分之一面积连续5d最高气温达到40℃,尤其是8月8日,全市有五分之一面积最高气温达到42℃以上。(备注:以

上气温数据来自气象部门)

(4)降雨量严重偏少。出梅以来,各县市区降雨量严重偏少。7月1日~8月17日,市区、宁海、慈溪、余姚、象山、奉化市降水量分别为41.6mm、51.1mm、57.7mm、47.2mm、30.2mm、63.0mm,较各县市区多年同期均值分别偏少83%、85%、71%、82%、87%、78%。7月份全市面平均降雨量44.0mm,比多年平均偏少7成,全市自1956年以来7月份降水量变化过程见图1。

降水量偏少导致全市大中型水库水位蓄水量日趋减少,从7月1日至8月18日8时32座大中型水库蓄水量减少 $2.37 \times 10^8 \text{m}^3$,8座主要供水水库蓄水量减少 $1.18 \times 10^8 \text{m}^3$ 。全市河网水位由于雨量减少下降较明显都处于较低水位,特别是姚江水位,最低水位下降至-1.06m。全市7月1日~8月18日主要河网最低水位情况见表2。

表1 各站极值纪录情况统计表

Table 1 The extreme record statistics

最高气温		慈溪	余姚	镇海	鄞州	北仑	奉化	象山	宁海	石浦
历史	极值	40.6	41.7	39.8	41.3	40.5	41.6	39.7	40.7	38.8
	时间	2003-7-17	2003-7-17	2010-8-12	2009-7-20	2005-7-5	2007-8-2	2009-7-21	2005-7-4	1971-8-20
至2013年8月11日	极值	41.2	42.4	41.0	42.1	40.5	43.5	40.5	39.8	38.2
	时间	8-5/8-6	8-8	8-7	8-8	8-5	8-7/8-9	8-7	8-8	8-5

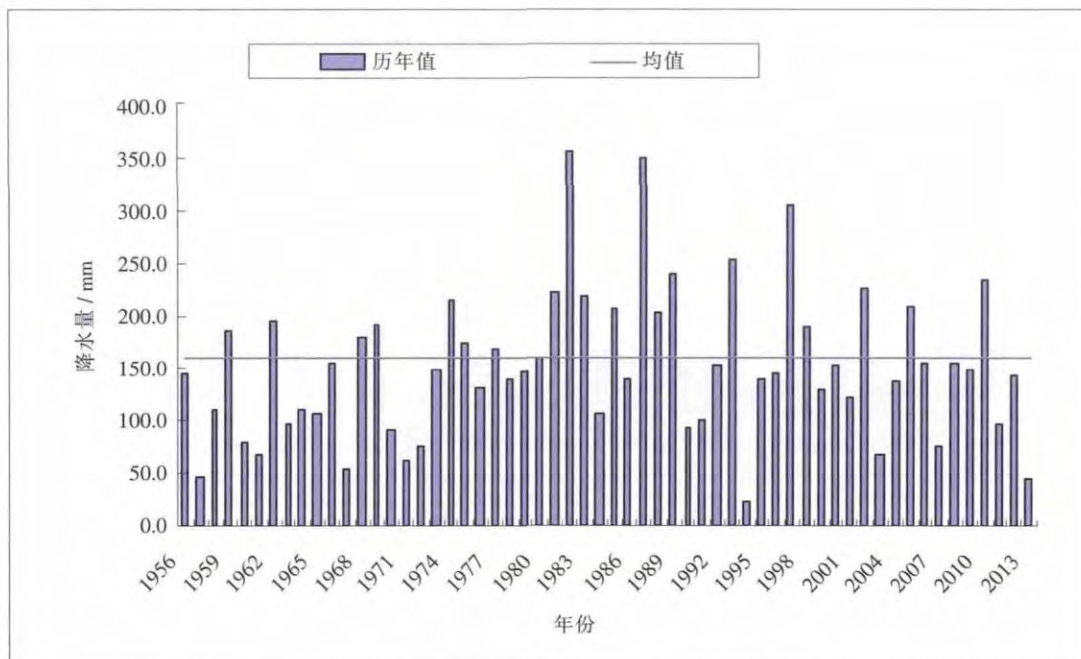


图1 7月份宁波市平均降水量变化图(1956~2013年)

Fig.1 The mean precipitation in Ningbo city in July (from 1956 to 2013)

表2 全市主要河网代表站最低水位统计表

Table 2 The statistics of the lowest water levels at the representative stations

河网名称	代表站	发生时间	水位 / m	多年平均 / m
	余姚	18日 08:20	1.05	1.00
姚江流域	丈亭	18日 17:30	-1.10	0.79
	姚江大闸	18日 17:20	-1.06	0.79
镇海内河	骆驼桥	16日 17:50	0.87	0.92
鄞东平原	五乡碶	17日 16:25	0.83	1.08
鄞南平原	姜山	18日 10:00	0.86	1.10
鄞西平原	黄古林	17日 16:45	1.12	1.34

注:以上水位采用 1985 高程基准。

3 旱情等级评估

目前通用的干旱指标一般有 4 类:①气象干旱指标(降水与蒸发、连续无雨日数法等);②农业干旱指标(土壤墒情与作物需水量);③水文干旱指标(径流低于一定供水量的地表和地下水不足程度);④经济干旱指标(反映人类活动中造成的水资源供需不平衡程度)。本文参照《旱情等级标准》SL424-2008 中的农业旱情指标与等级标准,采用连续无雨日数法和降水量距平百分比法对全市旱情进行分析评估。

3.1 资料来源与评估标准

根据宁波市实际情况,选取资料质量好,系列长,有较好代表性的 63 个国家基本雨量站资料,采用连续无雨日数法和降水量距平法对全市干旱期旱情进行评估。本次评估将旱情分为四级,即轻度、中度、严重和特大干旱,主要分析夏季(6~8月)旱情。

连续无雨日法主要分析在作物生长期连续无有效降雨的天数^[3]。无有效降雨指:春季的 3~5 月份和秋季的 9~11 月份,一日雨量小于 3mm 的降水;夏季 6~8 月份一日雨量小于 5mm 的降水。本文连续无雨日法按夏季标准分析计算干旱等级。

降水量距平法采用计算期内的多年平均降水量。计算期的确定,应根据不同季节选择适当的计算期长度,夏季宜采用 1 个月,春、秋季宜采用连续 2 个月,冬季宜采用连续 3 个月。本文采用夏季标准分析降水量距平值最小的一个月作为分析结果。

3.2 旱情分析评估方法

3.2.1 连续无雨日法干旱评估

在各个计算分区中选取全部代表站进行连续无降水日数统计^[4],每个站采用最长连续无雨日数参加旱

情评估,计算分区则采用区域内各代表站连续无雨日数的均值进行旱情评估,成果见表 3。

表3 2013 年各分区连续无雨日数法旱情评估表

Table 3 The evaluation of the rainless days in the concerned areas in 2013

分区	无雨日数 / d		干旱等级
	平均连续	单站最长连续	
市区	22	35	严重干旱
宁海县	26	35	严重干旱
慈溪市	26	35	严重干旱
余姚市	29	51	严重干旱
象山县	31	35	特大干旱
奉化市	18	35	严重干旱
入曹小区	16	18	严重干旱
姚江流域	29	51	严重干旱
奉化江及甬江干流	20	35	严重干旱
象山港及三门湾	28	35	严重干旱
宁波市	25	51	严重干旱

由表 3 可知,采用连续无雨日法评估 2013 年夏季旱情,全市干旱等级为严重干旱,其中象山县属特大干旱,各流域均达到严重干旱等级。其中余姚的临山站出现最长连续 51d 无雨日,历史上 1967 年镇海站、崔家岙站最长连续无雨日分别为 51d、50d。

3.2.2 降水量距平法干旱评估

降水量距平法旱情评估是基本旱情评估方法之一,其基本计算公式为:

$$D_p = \frac{P - \bar{P}}{\bar{P}} \times 100\%$$

式中: D_p 为计算期内降水量距平百分比,%; P 为计算期内降水量,mm; \bar{P} 为计算期内多年平均降水量,mm。

本文用泰森多边形法计算出各个分区平均降水量,与同期多年平均降水量进行比较,采用降水量距平法对夏季旱情进行分析^[4],夏季评估时间段为一个月,经计算 7 月份降水距平百分比最小,因此选用 7 月份数据进行评估,成果见表 4。从表 4 看出,除慈溪属于轻度干旱外其他地区均达到中度干旱。

3.3 与历史比较

全市自 1956 年以来,主要有四个干旱期,分别为 1964~1971 年、1978~1979 年、1985~1991 年和 2003~2004 年。历史旱期采用代表性较好具有实测资料系列 47 年以上的 45 个国家基本雨量代表站、2013 年采用 63 个国家基本雨量代表站,分别采用连续无雨日数法

表 4 2013 年各分区距平法旱情评估表

Table 4 The evaluation by anomaly method for the concerned areas in 2013

分区	7月降水总量		D_p / %	干旱等级
	多年平均 / mm	2013 年 / mm		
市区	141.1	36.8	-73.9	中度干旱
宁海县	194.1	46.6	-76.0	中度干旱
慈溪市	126.3	56.1	-55.6	轻度干旱
余姚市	157.5	39.9	-74.7	中度干旱
象山县	128.5	27.5	-78.6	中度干旱
奉化市	170.8	58.3	-65.9	中度干旱
入曹小区	197.8	49.3	-75.1	中度干旱
姚江流域	137.1	45.7	-66.7	中度干旱
奉化江及甬江干流	156.2	49.9	-68.1	中度干旱
象山港及三门湾	163.4	38.1	-76.7	中度干旱
全市	159.9	44.0	-72.9	中度干旱

和降水量距平百分比法对全市干旱期夏季旱情进行统计分析。

采用连续无雨日数法分析各典型年成果见表 5。由表 5 可见, 所选典型年中由 97.3% 的站点发生了不同程度的旱情, 其中, 轻度占 27.2%、中度占 34.7%、严重占 32.0%、特大占 3.3%, 还有 2.8% 的站点未发生旱情。2013 年与历史各典型年相比, 出现特大干旱的站点明显增多, 占到总数的 33.3%, 其它站点也都出现了中度到严重干旱, 其中中度干旱的站点占到总数的 3.2%, 严重干旱的站点占到总数的 63.5%。

采用降水量距平法分析各典型年成果见表 6。从表 6 可以看出, 全市历史 9 个典型年夏季有 66.7% 年份发生轻度以上旱情。从干旱程度来看, 1967 年旱情最为严重, 慈溪市已经达到特大干旱等级。从各分区来看, 慈溪和象山最易发生干旱等级较高的旱情, 如慈溪市和象山县 9 个夏旱典型年中有 4 年发生中度

表 5 各典型年连续无雨日数法统计表(夏旱)

Table 5 The evaluation of continuous rainless days in the typical years (summer drought)

年份	代表 站数	夏 旱								合计	
		轻度		中度		严重		特大			
		站数	百分数 / %	站数	百分数 / %	站数	百分数 / %	站数	百分数 / %	站数	百分数 / %
1964	45	1	2.2	9	20	35	77.8	0	0	45	100
1965	45	32	71.1	8	17.8	5	11.1	0	0	45	100
1966	45	1	2.2	16	35.6	17	37.8	11	24.4	45	100
1967	45	4	8.9	10	22.2	18	40	13	28.9	45	100
1968	45	13	28.9	19	42.2	13	28.9	0	0	45	100
1969	45	9	20	2	4.4	11	24.4	0	0	22	48.9
1970	45	15	33.3	14	31.1	15	33.4	1	2.2	45	100
1971	45	9	20	21	46.7	12	26.6	3	6.7	45	100
1978	45	3	6.7	8	17.8	34	75.5	0	0	45	100
1979	45	15	33.3	30	66.7	0	0	0	0	45	100
1985	45	23	51.1	20	44.5	2	4.4	0	0	45	100
1986	45	9	20	28	62.2	8	17.8	0	0	45	100
1987	45	45	100	0	0	0	0	0	0	45	100
1988	45	5	11.1	21	46.7	19	42.2	0	0	45	100
1989	45	29	64.4	16	35.6	0	0	0	0	45	100
1990	45	6	13.3	12	26.7	27	60	0	0	45	100
1991	45	14	31.1	28	62.2	3	6.7	0	0	45	100
2003	45	0	0	7	15.6	38	84.4	0	0	45	100
2004	45	0	0	28	62.2	17	37.8	0	0	45	100
平均	45.0	12.3	27.2	15.6	34.7	14.4	32.0	1.5	3.3	43.8	97.3
2013	63	0	0	2	3.2	40	63.5	21	33.3	63	100

表6 各典型年夏季旱情评估成果
Table6 The typical summer drought evaluation results

行政、流域分区	1964年		1967年		1968年		1971年		1978年		1979年		1986年		2003年		2004年	
	D_p	干旱等级	D_p	干旱等级	D_p	干旱等级	D_p	干旱等级	D_p	干旱等级	D_p	干旱等级	D_p	干旱等级	D_p	干旱等级	D_p	干旱等级
市区	-60.9	中度	-94.3	严重	-50.3	轻度	-84.7	严重	-54.5	轻度	-47.8	轻度			-56.5	轻度	-53.9	轻度
宁海县	-49.7	轻度	-90.9	严重	-34.9		-75.1	中度	-25.8		-47.0	轻度			-58.8	轻度	-77.1	中度
慈溪市	-75.2	中度	-99.7	特大	-55.8	轻度	-76.3	中度	-73.3	中度	-48.5	轻度	-55.5	轻度	-56.8	轻度	-19.9	
余姚市	-57.9	轻度	-89.3	严重	-43.8	轻度	-71.5	中度	-59.9	轻度	-42.4	轻度	-40.6	轻度	-52.8	轻度	-36.5	
象山县	-59.4	轻度	-88.9	严重	-46.0	轻度	-73.6	中度	-23.6		-53.1	轻度	-46.5	轻度	-73.7	中度	-84.9	严重
奉化市	-57.1	轻度	-82.1	严重	-39.2		-86.4	严重	-45.4	轻度	-27.8		-34.0		-53.2	轻度	-57.0	轻度
入曹小区	-53.4	轻度	-90.1	严重	-34.5		-49.2	轻度	-55.1	轻度	-49.1	轻度	-33.1		-49.7	轻度	-30.7	
姚江流域	-62.3	中度	-92.1	严重	-44.5	轻度	-73.6	中度	-66.2	中度	-45.1	轻度	-42.4	轻度	-54.8	轻度	-31.8	
奉化江及甬江干流	-59.5	轻度	-87.4	严重	-43.8	轻度	-83.8	严重	-53.0	轻度	-42.0	轻度	-30.2		-54.6	轻度	-50.5	轻度
象山港及三门湾	-50.4	轻度	-91.2	严重	-39.2		-76.6	中度	-31.3		-45.8	轻度	-23.8		-64.8	中度	-77.6	中度
宁波市	-59.6	轻度	-90.9	严重	-45.8	轻度	-79.3	中度	-46.0	轻度	-46.6	轻度	-21.5		-57.7	轻度	-58.7	轻度

以上干旱。从各流域看，最不易发生旱情的为入曹小区，姚江流域及象山港比较容易发生干旱。2013年干旱情况与历史相比，略有不同，最易发生严重旱情的姚江流域的慈溪市干旱等级只为轻度，主要因为今年慈溪市夏季短时雷暴雨较多。

3.4 不同方法的比较和相关分析

通过分析发现，用连续无雨日法会出现程度上的重判，用距平法会出现程度上的轻判，在实际中不能单用此两种方法直接进行干旱评价，鉴于此，本文提出改进评价方法。

首先将所选典型年各评价等级做定量分析，将干旱等级进行分级编码，干旱等级为无旱、轻度干旱、中度干旱、严重干旱、特大干旱，分别用数字0、1、2、3、4表示。以Y表示实际农业干旱等级，以 X_1 、 X_2 分别表示降水量距平法、连续无雨日法干旱等级，如表7所示。采用线性回归对表7进行回归综合得到方程：

$$Y=0.15+0.16X_1+0.83X_2 \text{ (小数位四舍五入取整)}$$

回归检验：

(1)经计算，本方程判定系数(r_2)为0.71，说明具有较好的相关性。

(2)经计算， $F=7.19$ ，通过查表得到 $F_{0.05}(V_1, V_2)=F_{0.05}(2, 6)=5.143$ ，由于 $7.187>5.143$ ，通过F检验，说明回归公式可用于评估本市夏季干旱等级。

表7 各典型年夏季干旱等级分级编码

Table 7 The summer drought grade codes of the typical years

年份	X_1	X_2	Y
1964	1	3	1
1967	3	3	3
1968	1	1	1
1971	2	3	3
1978	1	3	1
1979	1	2	1
1986	0	2	1
2003	1	3	2
2004	1	3	1

用此公式计算2013年夏季全市干旱等级 $Y=0.15+0.16 \times 2+0.83 \times 3=2.96$ ，四舍五入后 $Y=3$ ，据此评定，2013年全市干旱等级为严重干旱。

4 干旱重现期分析

P-型分布具有广泛的概括和模拟能力，在水文、气象上常用来拟合月、年的最大风速和各种历时的降水量及最大洪峰流量等极值分布，进而求得一定重现期的值，也可用于计算给定时间尺度(如月、年)小于某一雨量值的概率，即可用于计算干旱期的最小降水量，从而知道某时段的干旱为多少年一遇。

表 8 不同重现期对应的降水量
Table 8 The precipitation in the various return periods

重现期 / a	2	5	10	20	30	50	100
7 月份降水量 / mm	133.6	78.6	59.1	47.0	42.0	39.1	32.2

另外气候极值都是相对于某一统计时段而言,如果某要素的极大(小)值为 X_p ,若大(小)于或等于 X_p 的事件平均每 N 年出现 1 次,则 X_p 就称为 N 年一遇的极大(小)值,其重现期就是 N 年。假设月或年降水量总量小于某一降水值的概率是 P_{\min} , 则该降水量的重现期即为 $T=1/P_{\min}$, 因此我们只要计算出月或年降水小于某一数值的概率,就能得出各月或年不同程度的干旱重现期。在 P-型分布曲线方法中,我们得到的是降水量大于某一数值的概率 P_{\max} , 显然 $P_{\min}=1-P_{\max}$, 则干旱重现期为 $T=1/(1-P_{\max})$ 。

重现期分析采用宁波市 1956~2012 年实测资料系列共 57 年,资料系列较长,数据准确、可靠。经统计 7 月份降水量,利用排频分析求得不同重现期下的降水量,成果详见表 8。2013 年 7 月份全市平均降水量 44.0mm,从表 8 中可以看出,干旱重现期接近 30 年一遇。

5 结论

(1)通过对干旱情况分析,得出本次干旱主要有 4 个特点:高温强度大、高温持续时间长、高温范围广、降雨量严重偏少。

(2)单纯用连续无雨日数法会出现重估,单纯用降水量距平法会出现轻估,与实际农业干旱有明显出入。为改进评价方法,本文提出用两种方法进行回归综合,得出了接近实际农业干旱等级的本地化夏旱评价方法。但由于所用资料系列短,得出的只是初步结论。

(3)通过频率分析,得出 2013 年夏旱接近 30 年一遇。

参考文献:

- [1] 杨辉,赵立锋,陈望春. 宁波市近十年来水旱灾害现状分析 [J]. 浙江水利科技, 2003,(2): 49-51. (YANG Hui, ZHAO Lifeng, CHEN Wangchun. Analysis of the flood and drought disasters in Ningbo city in recent 10 years [J]. Zhejiang Hydrotechnics, 2003,(2):49-51. (in Chinese))
- [2] Heim Jr., Richard R. A review of twentieth-century drought indices used in the united states [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2002,83(8):1149-1165 .
- [3] 李文杰. 宁波市历史旱情研究[D]. 南京:河海大学, 2011. (LI Wenjie. Study on Historical Droughts in Ningbo City [D]. Nanjing: Journal of Hohai University, 2011. (in Chinese))
- [4] SL424-2008, 旱情等级标准 [S]. SL424-2008, Standard of Classification for drought severity [S]. (in Chinese)

Analysis of 2013 Summer Drought in Ningbo City

WANG Ying, XU Jie, LI Wenjie

(Ningbo Hydrology Station, Ningbo 315020, China)

Abstract: The 2013 summer drought led great losses to Ningbo City. This paper used the data from the rainfall stations in Ningbo City to assess the drought and its grade with the method of continuous rainless days and method precipitation anomaly, and gave out an improved method of regression analysis. By comparison with the historical droughts in the same period, the 2013 summer drought in Ningbo City is most serious one in the past 60 years, being 30-year return with frequency analysis.

Key words: Ningbo City; drought causes; drought grade; regression analysis