

新暴雨特征下新乡市城区不同重现期的暴雨极值公式

段中夏

(新乡市气象局, 新乡 453000)

摘要: 利用“年最大值法”建立了新乡气象站56 a暴雨样本数据, 分析了新乡气象站的暴雨变化特征, 发现1979年前后新乡地区的暴雨特征变化显著, 旧的暴雨强度公式已不具有较好的适用性。采用P-Ⅲ型分布、耿贝尔分布和指数分布三种数据拟合曲线, 分别对1959—2014年、1980—2014年和1985—2014年的降水量数据进行曲线拟合、公式计算和显著性检验, 从而推选出最优公式。通过新旧公式对比和时空代表性的讨论, 证明了此公式具有较好的适用性。

关键词: 短时强降水, 暴雨强度, 年最大值法

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2017.06.004

Formula of Extreme Rainstorm Intensity for Changed Heavy Rain Characteristics in Xinxiang city

Duan Zhongxia

(Xinxiang Meteorological Office, Xinxiang 453000)

Abstract: Based on the precipitation data carried out by the annual maximum value method for 1959 to 2014 in Xinxiang city, we analyze the variety characteristics of heavy rain, and find that the characteristics have changed significantly since 1979, so that the old rainstorm intensity formula had lost applicability. The optimal rainstorm intensity formula was chosen by using curve fitting, computing and significance testing with the Pearson III distribution, gumbel distribution and exponential distribution. Comparison of the old to the new formula shows that the new formula has a better applicability.

Keywords: short-time heavy rainfall; rainstorm intensity; annual maximum value method

0 引言

近年来, 随着气候变暖, 各类极端性天气多发, 城市暴雨内涝已成为影响城市健康发展、威胁城市安全的突出问题^[1-2]。而传统暴雨强度公式建立在系列年限较短、代表性较差、精度较低、误差较大的资料基础上, 严重影响城市防洪规划和室外排水设计的可靠性。

新乡市目前所采用的暴雨强度公式是20世纪80年代初编制的, 所用资料为1959—1979年的降水资料。在气候变化和城市化发展背景下, 区域短历时暴雨的时空分布和变化特征均发生了显著变化。对新乡市城区暴雨强度公式进行修订, 无论是对工程建筑物本身, 还是对广大人民群众的生命财产安全, 都具有深远的意义。

1 资料与方法

1.1 资料的选取及代表性论证

本文主要使用新乡气象站1959年1月—2014年12月的逐分钟降水资料进行研究。降水气象资料的统计

和分析计算根据中国气象局颁发的《地面气象观测规范》和《全国地面气候资料统计方法》进行, 按照“不漏场次、不漏大值”的原则选取降雨过程。挑取最大降水量的时段分为5、10、15、20、30、45、60、90、120、150、180 min共11个时段, 每年每个历时选取8场最大雨量记录^[3]。

新乡市城区面积约140 km², 地势平坦。对比2011—2014年城区自动雨量站与新乡国家基本气象观测站年总降水、汛期降水和年日最大降水量, 发现不同天气系统影响对新乡城区造成的影响平均相对均衡。

1.2 研究工具及方法

样本按照降序排列, 样本经验频率按以下公式计算: $p=m/(n+1)$ 。其中, p 为经验频率, m 为排序数, n 为样本容量, 即样本总数。重现期与经验频率按照以下公式换算: $P=1/p$ 。其中, P 为重现期, p 为经验频率(%)。根据国家标准《室外排水设计规范》(2014年版)^[4]的规定, 用“年最大值法”^[5-6]建立本地数据样本, 研究8个单一暴雨强度重现期分别为2、3、5、10、20、30、50、100 a, 精度检验重点为重

收稿日期: 2017年2月16日; 修回日期: 2017年4月30日
第一作者: 段中夏(1989—), Email: 791043440@qq.com

现期2~20 a的区间。相对应的频率为50%、33.3%、20%、10%、5%、3.3%、2%、1%。

文中降雨历时指连续降雨的时段，为累积雨量的时间长度，以分钟（min）计；降雨量某一时段内降落到水平面上的雨水累积深度，以毫米（mm）计；降雨强度指某一历时内单位时间（每分钟或每小时）的降雨量；暴雨重现期某一强度的暴雨重复出现的统计平均时间间隔，以年（a）计。

为了确定最优的频率分布线性，本项目采用《室外排水设计规范》^[4]（2014年版）推荐使用的P-III型分布曲线、耿贝尔分布曲线、指数分布曲线，对使用“年最大值法”建立的56 a的本地暴雨样本数据，分段（1959—2014年、1980—2014年和1985—2014年）研究了建站至今、旧暴雨公式计算资料截止时间至今和近30 a的强降水概率分布函数的拟合。

参照现行规范，暴雨强度公式形式为 $q=167A1(1+C\lg P)/(t+b)^n$ ，文中出现的物理量及量纲单位： i 为降水强度（mm/min）； q 为暴雨强度（L/（s·hm²））（为方便管网设计应用而引用）； P 为设计暴雨重现期； t 为降雨历时； $A1$ 为雨力参数； C 为雨力变动参数； b 为降雨历时修正参数； n 为暴雨衰减指数。

2 新乡近年来强降水随时间变化特征

2.1 暴雨样本的年代际变化特征

以新乡气象站有气象记录以来的各历时雨量最大的 $4 \times N$ （ N 为56个总年份数）个样本为基础，统计各历时雨量最大的前10个样本在各年代占总样本数的百分比，以此比例的变化来表征强降水的年代际变化特征。

图1表示新乡国家气象站1959—2014年各历时雨量最大的10个暴雨样本在各个年代所占的比例。5~180 min的各短历时强降水样本在1959—1969年所占比例最低，其中30、45、60和90 min短历时强降水在1959—1969年出现频率为0；各短历时强降水样本在1992—2002年所占比例较高，其中10、60和90 min

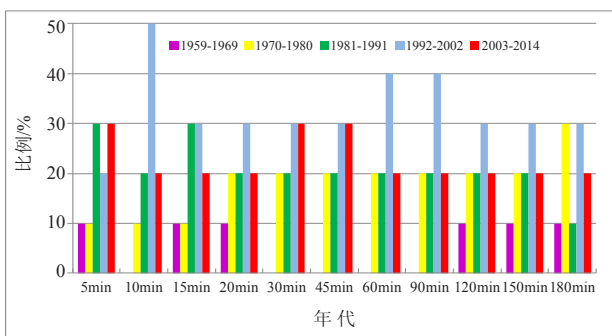


图1 新乡站各历时雨量最大的10个暴雨样本在各个年代所占的比例

Fig.1 Distribution of the top 10 precipitation at Xinxiang Station in total samples

历时达到40~50。2003年以来，各短历时强降水所占比例相对较高，均在20%以上。

2.2 暴雨样本极值的时间分布

以新乡气象站有气象记录以来的各历时雨量最大的 $4 \times N$ （ N 为56个总年份数）个样本为基础，分别统计各历时最大的10个降水极值在1959—1979年和1980—2014年的概率分布情况（表1）。可以看出，前10个降水极值在1980—2014年出现的平均频次高于1959—1979年出现的平均频次，平均频率偏高9.9%；其中，150 min以内出现频次明显高于其他的频次；各历时最大强降水均出现在1996年。

2.3 暴雨样本均值的时间分布

比较新乡气象站1959—1979年与1980—2014年两个阶段各历时年最大值雨量样本的平均值（表2）。1980—2014年的均值均明显大于1959—1979年各历时的样本均值，平均变化率达到15.6%，其中，90 min历时的变化率最大，达到30.1%，最小变化率为180 min历时，也达到13.3%。

近年来，新乡市短历时降水的频率和强度均呈加强趋势（图2）。1980年前新乡市出现过3次1 h雨量超过50 mm的降水；1981年后，先后有15次1 h降水超过50 mm，1 h最大降水雨量达110 mm（1996年8月）；1980—2014年30、60、120和180 min历时的逐年最大降水量值均高于1959—1979年对应降水量均值。

3 新暴雨公式的编制和讨论

3.1 暴雨公式的编制

根据《室外排水设计规范》（2014年版）推荐使用方法，采用年最大值法建立暴雨强度公式的统计样本。即1959—2014年，逐年选取5、10、15、20、30、45、60、90、120、150、180 min 11个降雨历时有效资料样本的最大值，建立短历时暴雨强度公式的统计样本。采用《室外排水设计规范》（2014年版）推荐使用的P-III型分布曲线、耿贝尔分布曲线、指数分布曲线，应用“暴雨强度计算系统”（该系统广东气象局开发，中国气象局验收），对使用“年最大值法”建立的56年的本地暴雨样本数据，分段（1959—2014年、1980—2014年和1985—2014年）分别进行概率分布函数的拟合试验。根据频率分布曲线，分别得出重现期（ P ）、降雨强度（ i ）和降雨历时（ t ）三者关系值，即 $P-i-t$ 关系表。一般误差越小，精度越高，则拟合曲线代表性越好。以绝对均方差作为拟合精度判断标准，选用绝对均方差小的概率型分布曲线作为最终的拟合分布曲线。

通过精度检验（表3）和拟合曲线发现

表1 新乡气象站1959—2014年各历时最大的10个降水极值年代分布

Table 1 The top 10 extreme precipitation events at Xinxiang Station meteorological station for 1959—2014

序号	降雨历时/min	1959—1979年极值出现个数	1959—1979年极值出现的频率/(%/a)	1980—2014年极值出现个数	1980—2014年极值出现的频率/(%/a)	两时段极值出现频率差/(%/a)	历史极端最大值/mm (出现年份)
1	5	3	14.3	7	20.0	5.7	19.9 (1996)
2	10	1	4.8	9	25.7	21.0	33.7 (1996)
3	15	2	9.5	8	22.9	13.3	49.5 (1996)
4	20	3	14.3	7	20.0	5.7	55.7 (1996)
5	30	2	9.5	8	22.9	13.3	75.4 (1996)
6	45	2	9.5	8	22.9	13.3	104.9 (1996)
7	60	2	9.5	8	22.9	13.3	110.0 (1996)
8	90	2	9.5	8	22.9	13.3	120.5 (1996)
9	120	3	14.3	7	20.0	5.7	123.6 (1996)
10	150	3	14.3	7	20.0	5.7	126.4 (1996)
11	180	4	19.0	6	17.1	-1.9	131.2 (1996)
平均		2.5	11.7	7.5	21.6	9.9	

表2 新乡站1959—1979年与1980—2014年两段样本均值对比

Table 2 Comparison of the sample means between 1959—1979 and 1980—2014

序号	降雨历时/min	年最大值统计样本均值/mm				均值差/mm	降水强度差/(mm/min)	前20年和后30年的变率/%
		1959—1979年		1980—2014年				
		总计	均值	总计	均值			
1	5	176.9	8.4	357.2	10.2	1.8	0.36	21.2
2	10	304.7	14.5	592.7	16.9	2.4	0.24	16.7
3	15	405.1	19.3	778.3	22.2	2.9	0.20	15.3
4	20	480.8	22.9	913.2	26.1	3.2	0.16	14.0
5	30	593.2	28.2	1131.3	32.3	4.1	0.14	14.4
6	45	697.1	33.2	1370.5	39.2	6.0	0.13	18.0
7	60	748.3	35.6	1544.9	44.1	8.5	0.14	23.9
8	90	814.4	38.8	1765.6	50.4	11.7	0.13	30.1
9	120	930.1	44.3	1885.4	53.9	9.6	0.08	21.6
10	150	1012.3	48.2	1959.7	56.0	7.8	0.05	16.2
11	180	1080.8	51.5	2041.6	58.3	6.9	0.04	13.3
平均		658.5	31.4	1303.7	37.2	5.9	0.15	

1980—2014年拟合效果最好，由于规范要求选择最近大于30 a的时间长度，且从气候角度分析，1980年前后时段的短时强降水发生的频率以及强度明显增加，因此可推荐1980—2014年的P-III分布的暴雨强度总公式，即 $q = \frac{2994.995(1 + 0.659 \log P)}{(t + 17.036)^{0.780}}$ ，作为新乡市短时强降水的城市暴雨强度公式。对应的单一及区间公式分别见表4和表5。

3.2 适用性分析

3.2.1 新旧公式对比

新乡市旧版城市暴雨强度公式由南京市建筑设计院采用CRA方法编制，公式为：

$$q = \frac{1102(1 + 0.623 \log P)}{(t + 3.20)^{0.60}}; \text{资料年限为 } 21 \text{ a (1959—1979年)}。$$

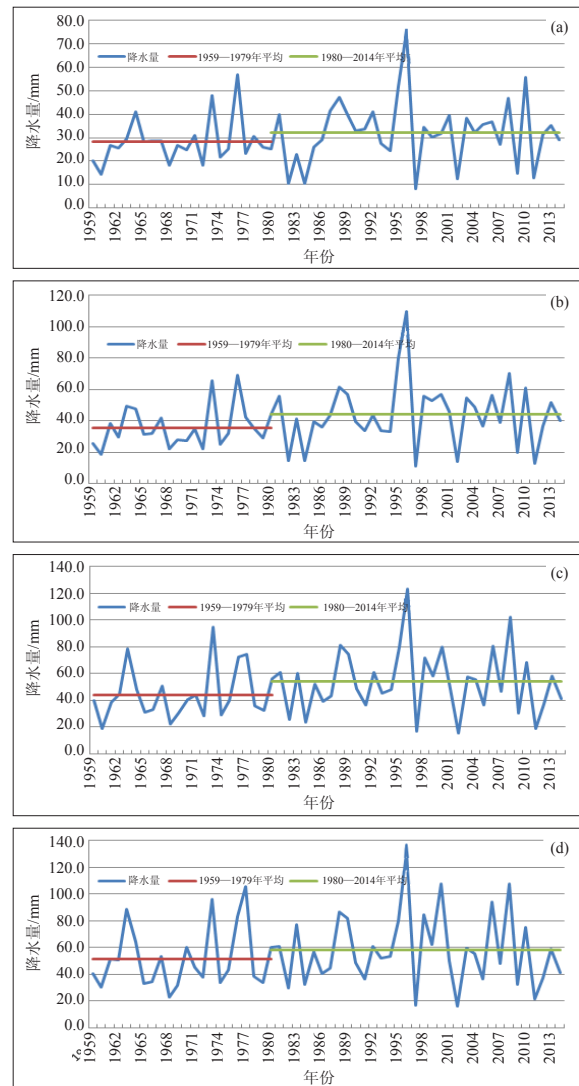


图2 30 (a)、60 (b)、120 (c)、180 (d) min历时逐年最大降水量曲线

Fig. 2 Maximum precipitation for 30 min (a), 60 min(b), 120 min(c) and 180 min(d)

表3 年最大值法求得的不同频率分布曲线的拟合误差
Table 3 Fitting errors of different distribution curves by annual maximum value method

频率分布拟合	1959—2014年		1980—2014年		1985—2014年	
	平均绝对均方差/ (mm/min)	平均相对均方差/%	平均绝对均方差/ (mm/min)	平均相对均方差/%	平均绝对均方差/ (mm/min)	平均相对均方差/%
P-III	0.036	4.72	0.035	3.26	0.037	3.68
耿贝尔分布	0.041	5.20	0.069	5.40	0.057	4.88
指数分布	0.076	8.36	0.118	8.28	0.096	8.53

表4 新乡市单一重现期暴雨强度公式 (1980—2014)
Table 4 Rainstorm intensity formula for a single reappearence period in Xinxiang city (1980—2014)

P/a	公式
2	$4199.883/(t+16.274)^{0.833}$
3	$4345.841/(t+16.238)^{0.814}$
5	$4518.352/(t+16.200)^{0.794}$
10	$4721.925/(t+16.251)^{0.771}$
20	$4985.451/(t+16.762)^{0.754}$
30	$5130.407/(t+16.940)^{0.748}$
50	$5307.928/(t+17.130)^{0.741}$
100	$5543.732/(t+17.362)^{0.732}$

表5 新乡市区间重现期暴雨强度公式 (1980—2014)
Table 5 Rainstorm intensity formula for interval years of the reappearence (1980—2014)

P/a	区间	参数	公式
1~10	I	n	$0.839 - 0.031\ln(t - 0.771)$
		b	$16.283 - 0.058\ln(t - 0.836)$
		A	$24.268 + 1.821\ln(t - 0.378)$
10~100	II	n	$0.782 - 0.011\ln(t - 7.290)$
		b	$16.023 + 0.296\ln(t - 7.842)$

新版的城市暴雨强度公式为：
 $q = \frac{2994.995(1 + 0.659\log P)}{(t + 17.036)^{0.780}}$ ；资料年限35 a (1980—2014年)，降水历时11个。

分别用新、旧暴雨强度总公式计算出2、3、5、10、20、30、50及100 a重现期的11个历时的暴雨强

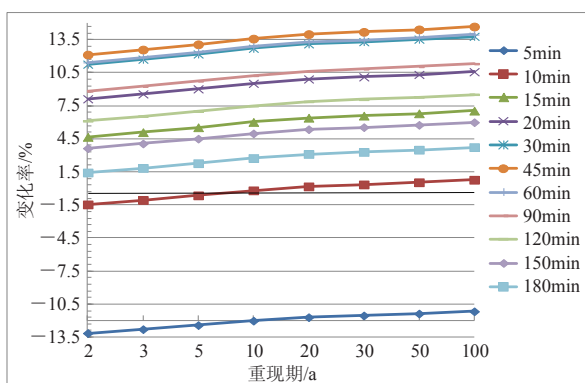


图3 各历时新暴雨公式相对于旧暴雨公式的计算结果变化率
Fig. 3 Rate of change for the new rainstorm formula compared to the old one

度，并对计算结果进行对比分析。从背景气候分析可以看出近年来，新乡市极端暴雨强度有增大趋势，新版公式的计算结果应该体现出暴雨强度增大的趋势。新版相对于旧版暴雨强度公式计算出的暴雨强度，变化率在-12%~14.7% (图3)。降雨历时在15 min以上时，变化率为正值，即新版暴雨公式计算出的各重现期的暴雨强度高于旧版，45 min前后变化率最大，可以较好地反应出短历时强降雨近年来强度和频率增加的年代际变化。

3.2.2 不同时段新暴雨公式对比

对推求的P-III分布的不同时段 (1959—2014年、1980—2014年和1985—2014年) 的暴雨强度公式分别计算各历时各重现期的暴雨强度值并进行对比分析 (图4)。各不同重现期，同一历时暴雨强度以1959—2014年资料推算的最小，1985—2014年的最大，说明1985—2014年暴雨强度高于1959—1985年。一般1980—2014年的暴雨强度与1959—2014年的相差在7%以内，与1985—2014年的相差在4%以内。对同一重现期，历时短的暴雨强度相差较大。根据资料的选择和代表性分析结果，推荐使用的暴雨公式适用于新乡市城区及新乡市管辖范围内各区。

4 结论与讨论

1) 利用年最大值法对新乡气象站分钟年最大降雨量资料进行选样，建立了该站长序列的 (1959—2014年) 的短历时暴雨资料数据库。

2) 新乡气象站的暴雨样本的年代际变化、极值和均值均在1979年前后发生了显著变化。

3) 新编的暴雨强度公式，利用“暴雨强度计算系统”，使用三种拟合方法分不同时间段进行资料处理、暴雨公式拟合、精度检验等工作。经过精度分析对比，选出最优的公式。该公式具有较好的适用性，可以满足市政设计和防灾减灾的要求，减少管网设计的盲目性，为减轻暴雨渍涝灾害提供科学依据，具有较大的社会经济价值和推广价值。

4) 根据国家规范要求，当汇水面积超过2 km²时，宜考虑降雨时空分布的不均匀性、地面产流过程和管网汇流过程，采用数学模型法计算雨水设计流量；也可采用其他小流域流量计算等方法复核。建议后期开展雨型设计研究工作。

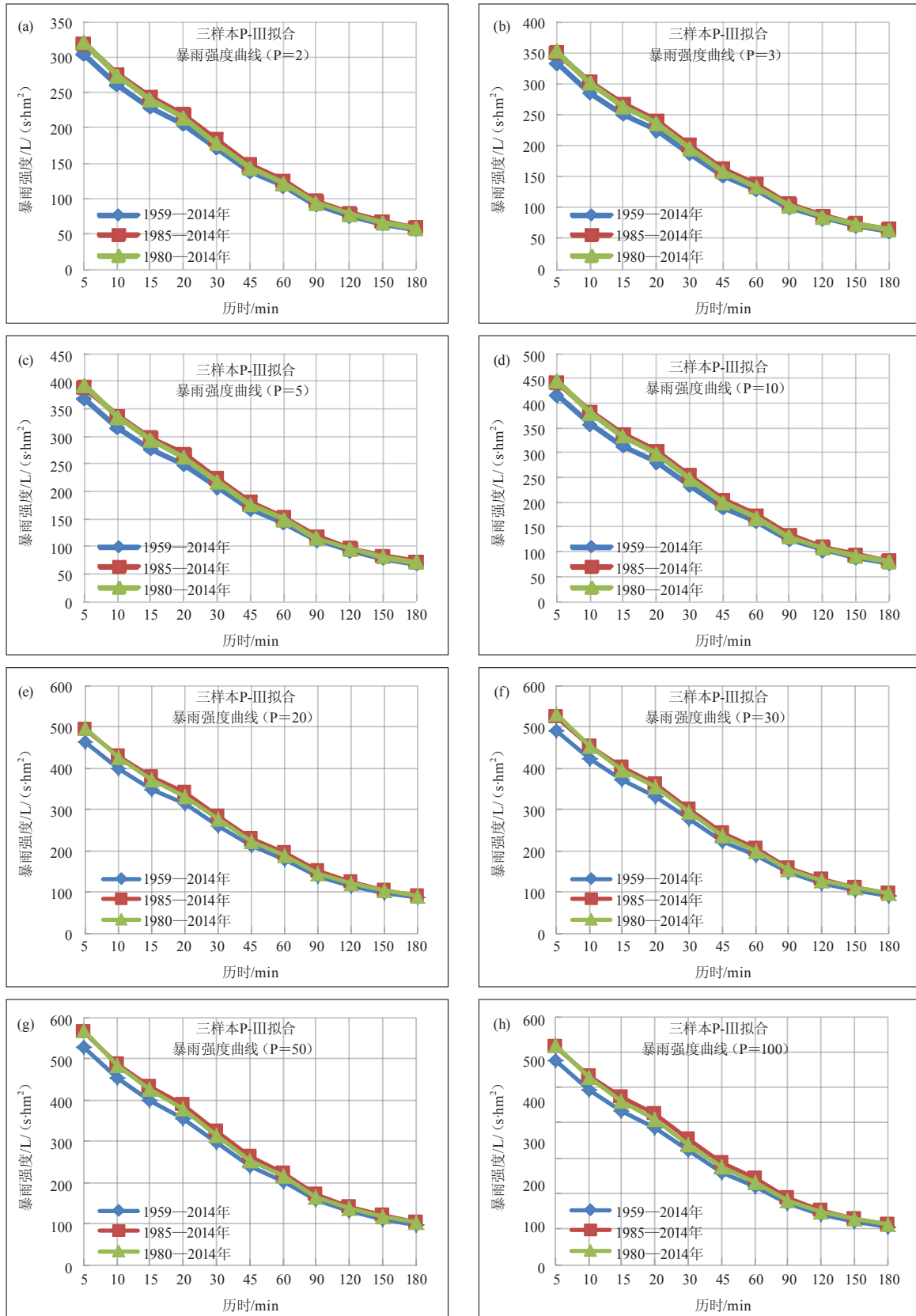


图4 不同重现期不同样本的暴雨公式强度对比

Fig. 4 Comparison of the intensity of rainstorm formulas among different samples in different reappearance period

(下转199页)