

戴有学,王振华,戴临栋,等.芝加哥雨型法在短历时暴雨雨型设计中的应用[J].干旱气象,2017,35(6):1061-1069, [DAI Youxue, WANG Zhenhua, DAI Lindong, et al. Application of Chicago Hyetograph Method in Design of Short Duration Rainstorm Pattern[J]. Journal of Arid Meteorology, 2017, 35(6):1061-1069], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-06-1061

芝加哥雨型法在短历时暴雨 雨型设计中的应用

戴有学¹,王振华²,戴临栋³,曹巧莲¹,王通¹

(1.山西省临汾市气象局,山西 临汾 041000;2.山西省气象科学研究所,
山西 太原 030002;3.兰州大学大气科学学院,甘肃 兰州 730000)

摘要:基于山西临汾国家基本气象站1981—2013年逐日雨量资料,对临汾市城区暴雨强度公式修订的基础上,采用芝加哥雨型法,对临汾市城区短历时暴雨雨型设计进行分析研究。结果表明:1981—2013年山西临汾短历时最大降水量年际变化较大,且随着降水历时的延长,年最大降水量极值有增大趋势;年最强降水比较集中,多出现在7月上旬到8月中旬,且在午后出现次数较多。除历时30 min和180 min外,临汾城区短历时暴雨雨峰位置略偏前,短历时强降雨较为集中。瞬时雨强呈先增后减的单峰型分布,各历时的瞬时雨强变化趋势以及分布型基本一致,只是在时间分配上稍有差别,且雨强随着重现期增大而增大。当重现期相同时,雨峰处降雨强度随着历时的延长整体呈现减小、增大、再减小的波动趋势,但峰值雨强差异较小。

关键词:年最大值法;雨峰位置系数;暴雨雨型设计;芝加哥雨型法

文章编号:1006-7639(2017)06-1061-09 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-06-1061

中图分类号:P426.62

文献标志码:A

引言

山西临汾城区现行的暴雨强度公式及暴雨雨型设计1985年由太原理工大学编制完成^[1]。近30多年来,随着城市的快速发展,热岛效应凸现,局地性城市降雨特征也发生显著变化,临汾站降水强度极值不断刷新,旧的暴雨强度公式及暴雨雨型设计已经不能反映当地真实降雨特点,继续沿用旧暴雨强度公式及暴雨雨型设计可能会造成城市工程的浪费或财产损失^[2]。暴雨强度公式及暴雨雨型是当地雨水排水设计流量计算、城市排水管网设计和城市规划等工作的基础^[3-8],因此,开展新的暴雨强度公式及暴雨雨型设计分析研究具有重要的现实意义。

目前国内外设计雨型的主要方法是芝加哥雨型法,其雨型多为单峰雨型^[9-14]。本文基于临汾国家基本气象站1981—2013年逐日雨量资料,对临汾市

城区暴雨强度公式修订的基础上,采用芝加哥雨型法,对临汾城区短历时暴雨雨型设计进行研究,期为临汾市城区的城市规划及建设提供科学依据,增强临汾市城区抗御短历时暴雨的能力。

1 资料与方法

1.1 资料及处理

暴雨样本的选取方法有年最大值法、年超大值法、年超定量法与年多个样法等,本文采用目前应用最为广泛的年最大值法。根据《城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则》(以下简称《导则》)要求,暴雨强度公式编制采用年最大值法的基础资料年限至少20 a,有条件的地区可用30 a以上序列^[15]。因此,利用山西省气象信息中心提供的临汾国家基本气象站1981—2013年共33 a降水资料筛选暴雨样本。

原始降雨资料采用逐分钟自动记录的基础数

收稿日期:2017-06-26;改回日期:2017-09-25

基金项目:山西省科技厅重点研发项目“临汾市气象灾害监测预警、防御及应急技术应用研究(20130313029-3)”及山西临汾市财政项目“临汾市区暴雨强度公式编修规划”共同资助

作者简介:戴有学(1964—),男,高级工程师,主要从事气象预报业务及研究。E-mail:daiyouxue@126.com。

据,包括以自记纸形式记录的逐分钟降雨资料 and 现代自动气象站自动记录的逐分钟降雨资料。其中,前者采用气象部门已业务化运行的“降水自记纸彩色扫描数字化处理系统”对原始数据进行信息化处理,数据精度高,能准确实现“不漏场次、不漏最大值”挑选降雨场次的原则,统计样本准确可靠^[16]。根据《导则》要求,短历时暴雨雨型的确定:降雨历时采用 30 min、60 min、90 min、120 min、150 min、180 min 共 6 个历时;选取降雨资料样本中各降雨场次,记录选定降雨场次过程开始时间及逐分钟雨量,作为芝加哥法雨型统计的有效暴雨样本。因此,从临汾站 1981—2013 年 5、10、15、20、30、45、60、90、120、150、180 min 等 11 个历时最大降水量极值资料中,挑选出历时 30、60、90、120、150、180 min 共 6 个历时的过程降雨量样本,确定每个过程的开始时间和结束时间,按照开始和结束时间建立这 6 个历时 1981—2013 年年最大降雨量过程的逐分钟雨量资料序列。

1.2 方法

1.2.1 暴雨强度公式

芝加哥雨型法是在暴雨强度公式基础上,根据统计综合雨峰位置系数确定,包括对综合雨峰位置系数及芝加哥降雨过程模型的确定。

暴雨强度公式为:

$$q = \frac{167 A(1 + C \lg P)}{(t + b)^n} \quad (1)$$

式中: q 为降水强度 ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$); t 为暴雨历时 (min); P 为重现期 (a); A 、 b 、 C 、 n 是与地方暴雨特性有关且需求解的参数, A 为雨力参数,即重现期为 1 a 时的 1 min 设计降雨量 (mm), C 为雨力变动参数 (无量纲), b 为降雨历时修正参数,即对暴雨强度公式两边求对数后能使曲线画成直线所加的一个时间常数 (min), n 为暴雨衰减指数,与重现期有关。

1.2.2 雨峰位置系数计算

将各历时逐年最大降雨过程样本,以 5 min 为间隔进行分段,统计计算降雨过程的雨峰位置系数。其计算公式如下:

$$r_i = \frac{t_i}{T_i} \quad (2)$$

式中: r_i 为雨峰位置系数, t_i 为降雨峰值时刻, T_i 为降雨历时, i 为年份。

先将历时相同的年最大降雨过程样本的雨峰位置系数进行算术平均,再将各历时的雨峰位置系数按照对应历时长度进行加权平均,求出综合雨峰位置系数。

1.2.3 芝加哥雨型法确定

芝加哥雨型法是以暴雨强度公式为基础设计的典型降雨过程。通过引入雨峰位置系数 r 来描述暴雨峰值发生的时刻,将降雨历时时间序列分为峰前和峰后两部分。其中,设峰前的降雨瞬时强度为 $I(t_b)$,相应时刻为 t_b ,峰后的降雨强度为 $I(t_a)$,相应时刻为 t_a ,则一定重现期下的暴雨强度公式为:

$$I = \frac{A}{(t + b)^n} \quad (3)$$

其中,雨峰前后降雨强度可由下式计算:

$$I(t_b) = \frac{A \left[\frac{(1-n)t_b}{r} + b \right]}{\left(\frac{t_b}{r} + b \right)^{n+1}},$$

$$I(t_a) = \frac{A \left[\frac{(1-n)t_a}{1-r} + b \right]}{\left(\frac{t_a}{1-r} + b \right)^{n+1}} \quad (4)$$

在求出综合雨峰位置系数 r 之后,可利用公式 (4),通过积分计算芝加哥合成暴雨过程线各时段 (5 min 间隔) 的累积降雨量及平均降雨量,进而得到各时段的平均降雨强度,最终确定一定重现期下降雨历时的芝加哥雨型法。

2 短历时暴雨雨型设计

2.1 短历时暴雨变化特征

图 1 是山西临汾 1981—2013 年各短历时年最大降水量变化。可以看出,临汾各短历时最大降水量的年变化较大,且不同历时的年变化特征较一致,最大值都出现在 2010 年,但总体上随着降水历时的延长,年最大降水量波动幅度及极值有增大趋势。

针对以上 6 个历时,选定 1981—2013 年临汾站年最大降雨场次过程开始日期及开始时刻,分析各历时选定的降雨场次过程开始时间的月变化 (图 2)。由图 2 可知,年最强降水比较集中,多出现在 7 月上旬到 8 月中旬。其中,30 min 年最强降水最多出现在 7 月中旬,次多出现在 7 月下旬;而 60 min、90 min、120 min、150 min、180 min 年最强降水最多出现在 7 月下旬,次多出现在 7 月中旬。

图 3 是 1981—2013 年临汾站 6 个短历时年最大降雨场次过程开始时刻统计。可以看出,30 min、60 min、90 min 年最强降水在午后出现次数最多,后半夜次多,前半夜最少;120 min、180 min 年最强降水在后半夜出现次数最多,午后次多,前半夜最少;150 min 年最强降水多出现在后半夜和午后,其次出现在前半夜和上午。

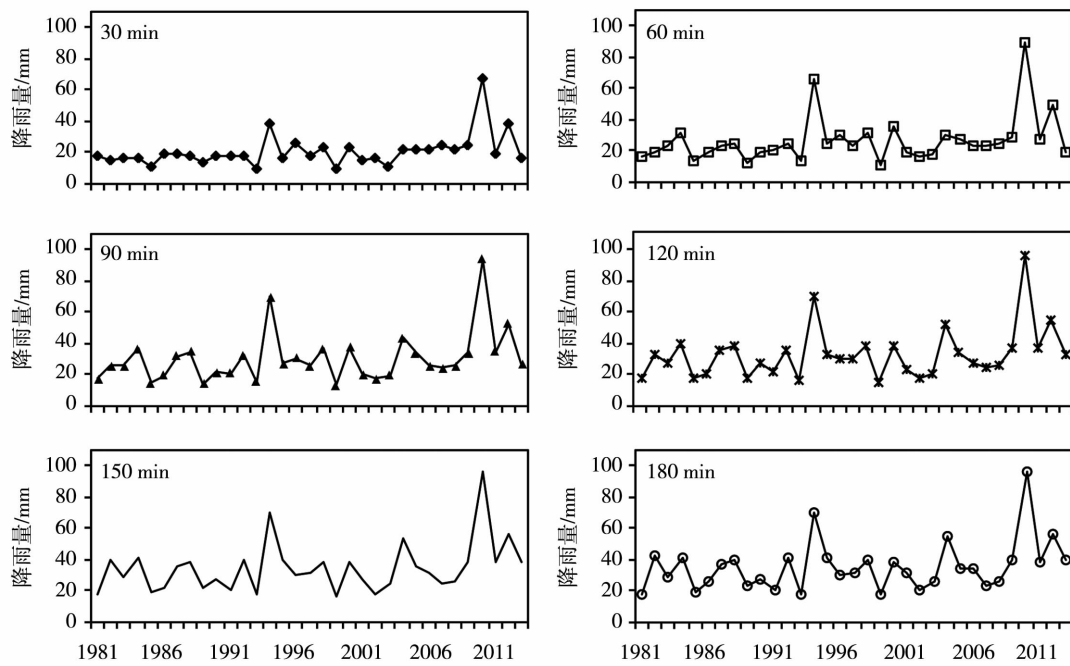


图 1 1981—2013 年临汾各短历时年最大降水量变化

Fig. 1 The changes of annual maximum precipitation with different short durations in Linfen of Shanxi Province from 1981 to 2013

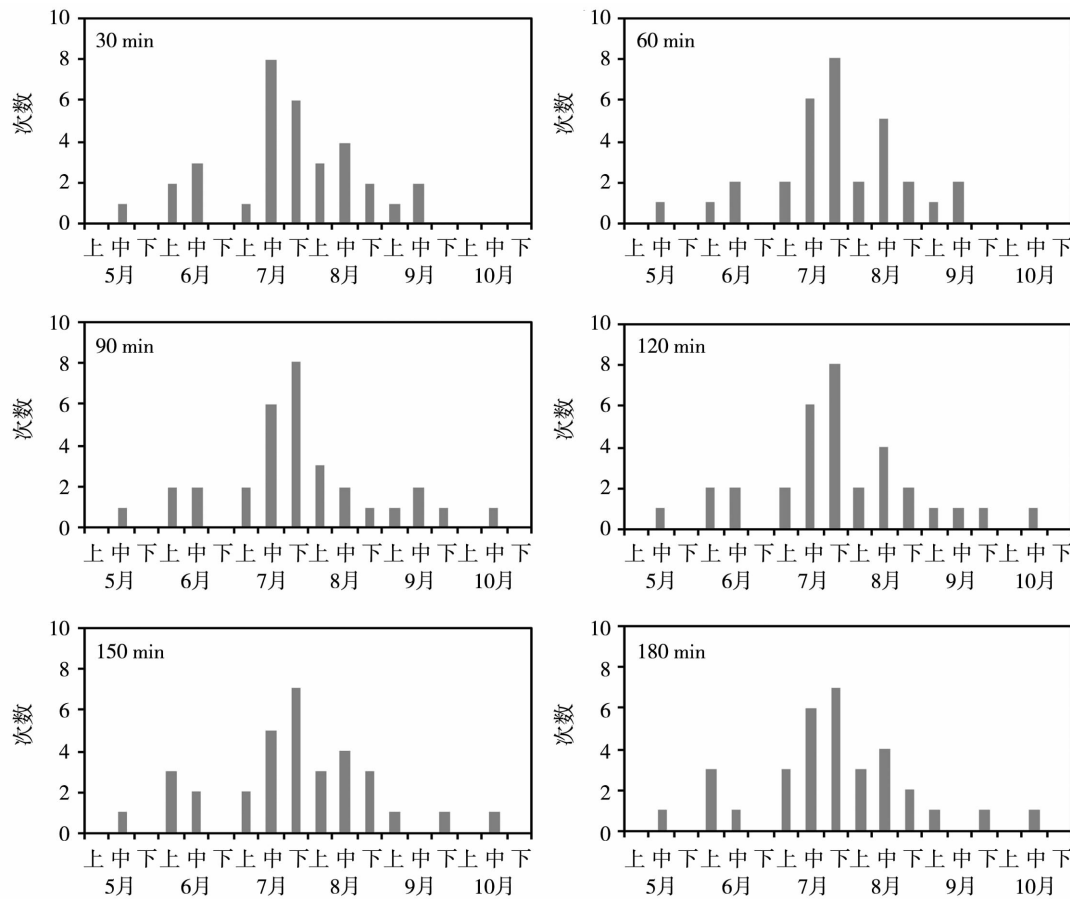


图 2 1981—2013 年临汾各短历时年最强降水逐旬分布

Fig. 2 The 10 - day distribution of the strongest precipitation with different short durations in Linfen of Shanxi Province from 1981 to 2013

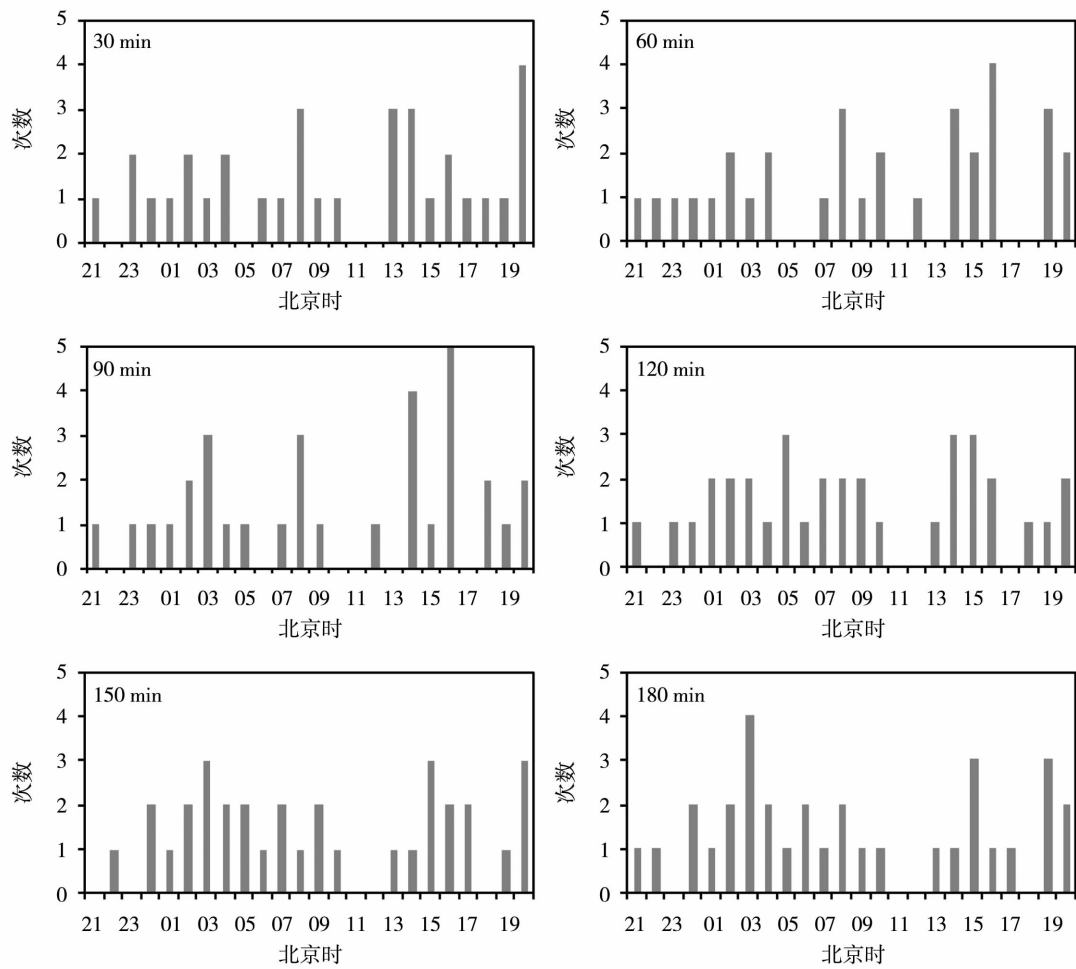


图3 1981—2013年临汾各短历时年最强降水逐时分布
 Fig.3 The hourly distribution of the strongest precipitation with different short durations in Linfen of Shanxi Province from 1981 to 2013

2.2 临汾市城区暴雨强度公式推求

利用临汾站 1981—2013 年筛选出的各历时暴雨样本,采用经验频率方法计算各历时暴雨强度的经验频率和重现期;在此基础上,采用皮尔逊-Ⅲ型和耿贝尔型频率分布曲线分别进行雨强频率拟合,根据拟合的绝对误差和适线图,优选出误差最小的分布函数来推求临汾站雨强-历时-重现期(I-t-P)关系;再由最小平方方法得到暴雨强度公式(1)中各参数值,从而得到修订后的暴雨强度公式^[17]。具体过程如下:

针对临汾站 1981—2013 年筛选出的各历时暴雨样本,将不同历时降雨强度不论年份按照降序排列,根据《导则》,得到临汾各历时暴雨强度的经验频率和重现期(表 1)。

根据上述 11 个历时暴雨强度的经验频率(表 1),采用耿贝尔型和皮尔逊-Ⅲ型频率分布曲线,依据

最小二乘法约束准则和目估适线相结合的综合适线,协调各历时频率曲线之间的间距,最终确定各历时雨强的频率拟合曲线(图 4)及对应参数(表 2)。

从耿贝尔型分布拟合的雨强频率[图 4(a)]看出,耿贝尔型分布拟合出了临汾暴雨雨强经验频率的平均趋势。根据耿贝尔频率分布参数拟合的雨强与表 1 对比,得到总体绝对误差 0.135 mm·min⁻¹,其中重现期在 2~20 a 之间的拟合绝对误差 0.129 mm·min⁻¹。

从皮尔逊-Ⅲ型分布拟合的雨强频率[图 4(b)]可知,适线后各历时雨强频率曲线之间间隔合理,且不相交,对特大值以及明显偏离的数据也进行了合理处理。根据皮尔逊-Ⅲ型频率分布参数拟合的雨强与表 1 对比,得到总体拟合绝对误差 0.120 mm·min⁻¹,其中重现期在 2~20 a 之间的拟合绝对误差平均为 0.093 mm·min⁻¹。

表1 不同经验频率(重现期)下各短历时降雨强度

Tab. 1 The rainfall intensity with different short durations under different experience frequencies (reappearing periods)

单位: $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$

频率	重现期/a	不同历时/min										
		5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
0.029	34.000	3.680	3.300	2.953	2.535	2.240	1.844	1.498	1.039	0.791	0.640	0.539
0.059	17.000	3.400	2.340	1.600	1.456	1.290	1.160	1.099	0.770	0.579	0.464	0.388
0.088	11.333	2.300	1.890	1.547	1.430	1.283	1.044	0.830	0.580	0.452	0.369	0.314
0.118	8.500	2.280	1.750	1.513	1.205	0.875	0.668	0.596	0.479	0.426	0.356	0.311
0.147	6.800	2.240	1.680	1.347	1.075	0.817	0.643	0.545	0.417	0.328	0.272	0.236
0.176	5.667	1.730	1.655	1.227	1.065	0.803	0.632	0.541	0.408	0.315	0.267	0.233
0.206	4.857	1.690	1.458	1.220	1.015	0.792	0.604	0.500	0.405	0.314	0.264	0.231
0.235	4.250	1.654	1.400	1.130	0.960	0.766	0.600	0.500	0.386	0.312	0.259	0.231
0.265	3.778	1.636	1.340	1.111	0.945	0.723	0.582	0.478	0.383	0.310	0.258	0.226
0.294	3.400	1.620	1.336	1.107	0.935	0.723	0.538	0.472	0.374	0.302	0.254	0.224
0.324	3.091	1.620	1.240	1.093	0.917	0.713	0.520	0.458	0.374	0.292	0.253	0.221
0.353	2.833	1.616	1.220	1.067	0.905	0.710	0.516	0.430	0.363	0.290	0.252	0.220
0.382	2.615	1.580	1.216	1.060	0.903	0.640	0.514	0.416	0.355	0.286	0.252	0.215
0.412	2.429	1.520	1.197	1.058	0.845	0.630	0.511	0.415	0.335	0.276	0.250	0.212
0.441	2.267	1.514	1.160	1.027	0.843	0.617	0.507	0.413	0.300	0.273	0.240	0.208
0.471	2.125	1.418	1.135	1.004	0.798	0.605	0.502	0.406	0.296	0.268	0.231	0.193
0.500	2.000	1.342	1.112	0.970	0.793	0.596	0.496	0.404	0.288	0.251	0.209	0.189
0.529	1.889	1.340	1.090	0.920	0.788	0.588	0.487	0.403	0.287	0.244	0.205	0.180
0.559	1.789	1.314	1.040	0.913	0.779	0.576	0.475	0.391	0.286	0.226	0.201	0.178
0.588	1.700	1.310	0.976	0.857	0.760	0.568	0.470	0.388	0.282	0.224	0.186	0.168
0.618	1.619	1.260	0.974	0.841	0.734	0.567	0.452	0.347	0.281	0.223	0.183	0.159
0.647	1.545	1.242	0.958	0.799	0.728	0.563	0.433	0.337	0.269	0.218	0.183	0.155
0.676	1.478	1.208	0.924	0.791	0.727	0.554	0.398	0.330	0.239	0.202	0.174	0.149
0.706	1.417	1.188	0.903	0.775	0.705	0.547	0.397	0.328	0.232	0.189	0.161	0.145
0.735	1.360	1.168	0.898	0.771	0.646	0.527	0.396	0.325	0.226	0.174	0.159	0.145
0.765	1.308	1.104	0.862	0.743	0.636	0.526	0.379	0.324	0.219	0.174	0.141	0.136
0.794	1.259	1.040	0.855	0.713	0.632	0.513	0.378	0.305	0.213	0.170	0.140	0.131
0.824	1.214	1.000	0.842	0.688	0.628	0.506	0.375	0.285	0.192	0.148	0.140	0.118
0.853	1.172	0.912	0.800	0.677	0.600	0.442	0.361	0.284	0.190	0.146	0.127	0.117
0.882	1.133	0.874	0.757	0.611	0.515	0.373	0.297	0.243	0.174	0.144	0.121	0.107
0.912	1.097	0.852	0.738	0.591	0.488	0.342	0.293	0.233	0.166	0.143	0.115	0.104
0.941	1.063	0.822	0.649	0.522	0.454	0.337	0.283	0.224	0.157	0.136	0.114	0.102
0.971	1.030	0.816	0.569	0.451	0.391	0.328	0.243	0.193	0.144	0.121	0.110	0.099

表2 耿贝尔型和皮尔逊-III型分布参数
Tab.2 The parameters of Gumbel and Pearson III distributions

历时/min	耿贝尔型			皮尔逊-III型			
	E_x	α	β	E_x	C_v	C_s	C_s/C_v
5	1.524	1.751	1.216	1.520	0.410	1.700	4.150
10	1.220	2.131	0.967	1.220	0.440	1.780	4.050
15	1.021	2.539	0.809	1.020	0.440	1.800	4.090
20	0.874	2.956	0.692	0.870	0.440	1.850	4.200
30	0.687	3.228	0.520	0.690	0.460	1.880	4.090
45	0.545	3.806	0.404	0.550	0.470	1.970	4.190
60	0.453	4.457	0.332	0.450	0.480	1.910	3.980
90	0.337	6.339	0.252	0.340	0.500	1.930	3.860
120	0.271	8.403	0.207	0.270	0.500	1.960	3.920
150	0.229	10.529	0.178	0.230	0.500	1.980	3.960
180	0.199	12.721	0.157	0.200	0.500	1.980	3.960

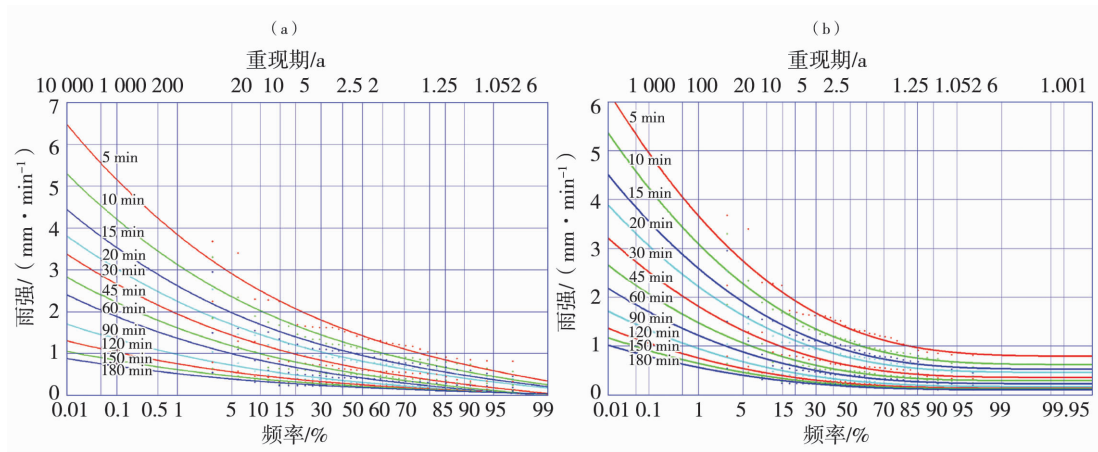


图4 临汾不同历时的暴雨强度耿贝尔型(a)和皮尔逊-III型(b)频率分布曲线
Fig.4 The fitting curves of frequency of rainstorm intensity with different durations based on Gumbel (a) and Pearson III (b) distribution

对比这两种分布曲线拟合误差,发现皮尔逊-III型分布曲线拟合的总体误差及重现期在2~20a的平均误差均小于耿贝尔型,说明皮尔逊-III型分

布的拟合精度较高,因此,选用皮尔逊-III型分布曲线建立雨强-历时-重现期(I-t-P)关系,结果见表3。

表3 1981—2013年临汾暴雨雨强-历时-重现期的关系
Tab.3 The relation between intensity, duration and recurrence period of rainstorm in Linfen of Shanxi Province during 1981-2013

重现期/a	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	45 min	60 min	90 min	120 min	150 min	180 min
2	1.353	1.070	0.894	0.760	0.597	0.472	0.386	0.289	0.229	0.195	0.170
3	1.615	1.294	1.081	0.918	0.728	0.577	0.475	0.359	0.284	0.242	0.210
5	1.931	1.567	1.309	1.113	0.890	0.709	0.585	0.446	0.353	0.300	0.261
10	2.345	1.928	1.611	1.373	1.106	0.887	0.733	0.562	0.446	0.380	0.330
20	2.749	2.283	1.909	1.630	1.321	1.065	0.880	0.678	0.539	0.459	0.399
30	2.982	2.488	2.082	1.779	1.446	1.169	0.965	0.746	0.593	0.506	0.440
50	3.274	2.745	2.298	1.967	1.602	1.300	1.073	0.831	0.661	0.564	0.491
100	3.667	3.093	2.591	2.220	1.814	1.478	1.219	0.947	0.754	0.643	0.559

单位: mm·min⁻¹

根据表 3 临汾暴雨雨强 - 历时 - 重现期的关系,由最小平方得到暴雨强度公式(1)中各参数值 $A = 7.938, C = 1.623, b = 11.517, n = 0.783$,则临汾暴雨强度公式为:

$$q = \frac{1\ 325.646(1 + 1.623 \lg P)}{(t + 11.517)^{0.783}} \quad (5)$$

根据公式(5)得到临汾暴雨各历时的理论雨强(表 4)。经计算,临汾暴雨强度总体绝对误差 $0.026 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$,重现期在 2 ~ 20 a 之间的平均绝对误差为 $0.024 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

2.3 芝加哥雨峰位置系数确定

表 5 列出 1981—2013 年临汾暴雨各历时的平均雨峰位置系数。可知,临汾暴雨雨峰位置系数介于 $0.442 \sim 0.540$,综合雨峰位置系数为 0.479 ,其中临汾城区 30 min 雨峰位置偏在 1/2 后,180 min 雨峰位置基本在 1/2 处,其他历时雨峰位置均在 1/2

前,短历时强降雨较为集中,这与大多数地区^[18-21]相似。

2.4 芝加哥雨型法确定

利用公式(4)计算每隔 5 min 的峰前雨强和峰后雨强,即可得到芝加哥合成暴雨过程线各时段(以 5 min 为间隔)的累积降雨量及平均降雨量,最终确定出不同历时、一定重现期下的芝加哥雨型法图。从不同重现期下历时 60 min 暴雨芝加哥雨型(图 5)看出,在历时 60 min 的暴雨过程中,雨强分布呈单峰型,雨强先逐渐增大,在 30 min 左右达到峰值,随后逐渐减小;对比不同重现期下雨强的变化,发现当 $P = 2$ a 时,瞬时雨强峰值为 $1.89 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$,重现期 $P = 100$ a 时,瞬时雨强峰值可达 $4.81 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$,是重现期为 2 a 时雨强的 2.5 倍,其他重现期内的瞬时雨强峰值介于二者之间,且雨强随着重现期增大而增大。

表 4 基于暴雨强度公式的理论雨强

Tab.4 The theoretical value of rainstorm intensity based on rainstorm intensity formula in Linfen of Shanxi Province

重现期/a	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	45 min	60 min	90 min	120 min	150 min	180 min
2	1.315	1.069	0.908	0.793	0.639	0.502	0.417	0.317	0.259	0.221	0.193
3	1.567	1.274	1.082	0.945	0.762	0.598	0.497	0.378	0.309	0.263	0.230
5	1.885	1.533	1.301	1.137	0.916	0.720	0.598	0.455	0.371	0.316	0.277
10	2.317	1.883	1.599	1.397	1.126	0.884	0.735	0.559	0.456	0.389	0.340
20	2.748	2.234	1.897	1.657	1.335	1.049	0.872	0.663	0.541	0.461	0.403
30	3.001	2.439	2.071	1.809	1.458	1.145	0.952	0.724	0.591	0.503	0.440
50	3.319	2.698	2.291	2.001	1.613	1.267	1.053	0.801	0.654	0.557	0.487
100	3.750	3.049	2.589	2.261	1.822	1.431	1.190	0.905	0.739	0.629	0.550

表 5 1981—2013 年临汾暴雨各历时平均雨峰位置系数

Tab.5 The coefficients of rainstorm peak position with different short durations in Linfen of Shanxi during 1981 - 2013

30 min	60 min	90 min	120 min	150 min	180 min
0.540	0.462	0.443	0.442	0.497	0.503

另外发现,不同重现期下其他历时暴雨过程的雨型,其瞬时雨强变化趋势及分布型与历时 60 min 暴雨过程基本一致,只是在时间分配上稍有差别。以 5 a 重现期下临汾各历时暴雨芝加哥雨型为例(图 6),可知各历时瞬时雨强表现为单峰型分布,其瞬时雨强变化趋势及分布型基本一致,均呈先增后

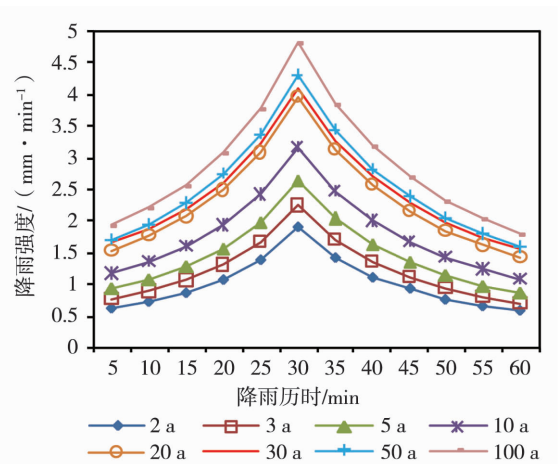


图 5 不同重现期下历时 60 min 暴雨芝加哥雨型
Fig.5 The Chicago hyetograph shapes of rainstorm lasting 60 - minute with different return periods

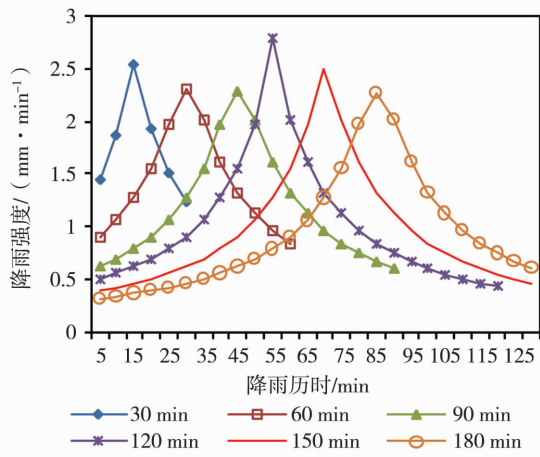


图6 重现期为5 a时临汾各历时暴雨芝加哥雨型
 Fig. 6 The Chicago hyetograph shapes of rainstorm at 5-year return period with different short durations in Linfen of Shanxi Province

减的变化趋势,只是峰值出现时间随着历时延长而向后推移,且雨峰处降雨强度随着历时延长整体呈减小、增大、再减小的波动趋势,但雨强峰值差异较小,其中历时 120 min 的峰值最大。

3 结 论

(1)1981—2013 年,山西临汾最大降水量年际波动较大,但各短历时的年变化特征较一致,最大值都出现在 2010 年,且随着降水历时的延长年最大降水量极值有增大趋势;年最强降水比较集中,多出现在 7 月上旬到 8 月中旬,且多出现在午后。

(2)临汾城区各短历时暴雨的雨峰位置系数介于 0.442~0.540,综合雨峰位置系数为 0.479,其中历时 30 min 雨峰位置偏在 1/2 后,180 min 雨峰位置基本在 1/2 处,其他历时雨峰位置均在 1/2 前,短历时强降雨较为集中。

(3)临汾瞬时雨强呈先增后减的单峰型分布,各历时的瞬时雨强变化趋势以及分布型基本一致,只是在时间分配上稍有差别,且雨强随着重现期增大而增大。当重现期相同时,芝加哥雨型雨峰处的降雨强度随着历时延长整体呈现减小、增大、再减小的波动趋势,但雨强峰值差异较小。

伴随着全球气候的不断变化,暴雨强度的时空变化规律也在变化,因此,随着降水资料序列的延长以及城市规模的扩大,短历时暴雨雨型设计应及时修订,至于修订周期,尚需进一步分析探讨。

参考文献:

[1] 李芳英. 山西省城镇暴雨强度公式及其等值线的分析研究[J]. 太原理工大学学报,1985(2):1-16.

[2] 王振华. 设计暴雨强度公式编制技术[M]. 北京:气象出版社,2016:29-33.

[3] 张晨. GB50014—2006(2014年版)室外设计排水规范[S]. 北京:中国计划出版社,2014.

[4] 金家明. 城市暴雨强度公式编制及应用方法[J]. 中国市政工程,2010(1):38-39,41.

[5] 环海军,刘焕斌,刘岩,等. 鲁中主城区暴雨强度公式的修正方法[J]. 干旱气象,2016,34(1):188-194.

[6] 任雨,李明财,郭军,等. 天津地区设计暴雨强度的推算与适用[J]. 应用气象学报,2012,23(3):364-368.

[7] 陈正洪,王海军,张小丽. 深圳市新一代暴雨强度公式的研制[J]. 自然灾害学报,2007,16(3):29-34.

[8] 段燕楠,王赞,杨芳园,等. 昆明市暴雨强度公式推算与对比[J]. 气象科技,2017,45(1):87-91,107.

[9] ARNELL V, HARREMOES P, JENSEN M, et al. Review of rainfall data application for design and analysis[J]. Waterence and Technology, 1984,16(8-9):1-45.

[10] KIBLER D E. Urban storm water hydrology[M]. Washington: American Geophysical Union,1982:48-60.

[11] 张晓婧,马京津,轩春怡,等. 北京城市和郊区夏季降雨日变化特征及对排水设计的影响分析[J]. 气象科技,2015,43(6):1203-1208.

[12] 马京津,宋丽莉,张晓婧. 对两种不同取样方法 Pilgrim & Cordery 设计雨型的比较研究[J]. 暴雨灾害,2016,35(3):220-226.

[13] 孔祥瑞,陈淑芬,李梅,等. 济南短历时暴雨强度公式研究[J]. 山东建筑工程学院学报,2013,28(5):445-448.

[14] 庄智福,王珂清,杨杰,等. 镇江市新一代暴雨强度公式研制及雨型设计[J]. 气象科学,2015,35(4):506-513.

[15] 宋丽莉. 城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则[M]. 北京:气象出版社,2014:3-5.

[16] 王伯民,吕勇平,张强. 降水自记纸彩色扫描数字化处理系统[J]. 应用气象学报,2014,15(6):737-744.

[17] 戴有学,王振华. 山西临汾市城区暴雨强度公式修订分析研究[J]. 自然灾害学报,2017,26(6):197-206.

[18] 许晖,王艳萍,张亮,等. 长春市暴雨强度公式编制和雨型确定[J]. 吉林气象,2014(4):30-32.

[19] 黄津辉,向文艳,户超,等. 天津市设计暴雨方法比较及公式修正[J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版),2013,46(4):354-360.

[20] 成丹,陈正洪. 湖北宜昌市区暴雨雨型的演变特征[J]. 干旱气象,2017,35(2):225-231.

[21] 蒋明. 新暴雨形势下上海市设计暴雨雨型研究[J]. 湖南理工学院学报,2015,28(2):69-73,80.

Application of Chicago Hyetograph Method in Design of Short Duration Rainstorm Pattern

DAI Youxue¹, WANG Zhenhua², DAI Lindong³, CAO Qiaolian¹, WANG Tong¹

(1. *Linfen Meteorological Bureau of Shanxi Province, Linfen 041000, Shanxi, China;*

2. *Institute of Meteorological Science of Shanxi Province, Taiyuan 030002, China;*

3. *College of Atmospheric Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China*)

Abstract: Based on the daily precipitation at Linfen weather station of Shanxi Province from 1981 to 2013, the rainstorm intensity formula in Linfen was revised, and on this basis the design of short duration rainstorm pattern was analyzed by using Chicago hyetograph method. The results show that annual change of maximum precipitation for short duration rainstorm was larger in Linfen of Shanxi Province during 1981 – 2013, and the extreme value of annual maximum precipitation had an increasing trend with the extension of rainfall duration. The strongest precipitation concentrated from the early of July to the middle of August, and it frequently occurred in the afternoon. The peaks of short duration rainstorms occurred in the front of the frequency distribution curves except for the rainstorms with 30 min and 180 min durations in the city area of Linfen, and the heavy rainfall with short duration was more concentrated. The instantaneous rainfall intensity presented a single peak distribution, and the change trends and distribution patterns of instantaneous rainfall intensity with different durations were basically the same except in the time distribution. Moreover, the rainfall intensity increased with the increase of return period. The Chicago hyetograph rainfall intensity was only related to the peak and corresponding time, but it was irrelevant to the duration under a certain recurrence period condition. Although the rainfall intensity at rainfall peak presented a fluctuation trend of decreasing – increasing – decreasing as the extension of rainfall duration as a whole, the difference of variation was smaller.

Key words: the annual maximum sampling method; rainstorm peak position coefficient; rainstorm pattern design; Chicago hyetograph method