

汾阳市暴雨强度公式编制报告

山西省气象科学研究所

二〇二四年九月

项目名称: 汾阳市暴雨强度公式编制

委托单位: 山西省汾阳市气象局

编制单位: 山西省气象科学研究所

(法定代表人: 王文春)

(单位地址: 山西省太原市新建路 65 号)

类 别	姓 名	职称/职务	签 名
项目负责人	岳 江	高工/科长	岳江
	李雁宇	助工	李雁宇
项目组成员	黄 云	助工	黄云
	贺洁颖	高工/副科长	贺洁颖
	程 雪	助工	程雪
	赵竞昱	工程师	赵竞昱
	王高婵	助工	王高婵
	咎达桢	助工	咎达桢
审 核	郭 栋	副所长	郭栋
	师莉红	高工	师莉红
审 定	王文春	高工/所长	王文春

目 录

1 总则	1
1.1 编制背景及必要性	1
1.2 编制依据	2
1.3 遵循原则要求	3
1.4 内容和方法	3
2 术语和符号	5
2.1 术语	5
2.2 符号	5
3 降雨资料和统计样本	6
3.1 站点情况和降雨资料年限的确定	6
3.1.1 站点情况	6
3.1.2 资料年限的确定	7
3.2 原始资料的取得	7
3.2.1 降雨自记纸数据处理	7
3.2.2 自动气象站观测数据处理	8
3.3 降雨数据的可靠性、一致性分析	9
3.4 统计样本选取及分析	9
4 频率计算和分布曲线确定	12
4.1 经验频率和重现期计算	12
4.2 分布曲线	14
4.2.1 耿贝尔频率曲线	14
4.2.2 皮尔逊-III型曲线	18
4.2.3 指数分布曲线	23
5 暴雨强度公式	27
5.1 $P-i-t$ 关系表的确定	27
5.2 暴雨强度公式的表达形式	27
5.3 暴雨强度公式参数优化	27

5.3.1 雨强度公式参数拟合方法及原理	28
5.3.2 暴雨强度公式拟合结果	39
5.3.3 暴雨强度公式拟合精度检验方法	37
6 短历时暴雨雨型确定	41
6.1 雨峰位置系数的计算	42
6.2 芝加哥法雨型确定	44
7 常用图表	47
图 7-1 单一重现期公式暴雨强度-历时-重现期关系曲线图	47
图 7-2 不同历时的暴雨强度重现期关系曲线图	48
图 7-3 不同历时的降雨量重现期关系曲线图	49
图 7-4 总公式暴雨强度-历时-重现期关系曲线图	50
表 7-1 单一重现期暴雨强度-历时-重现期关系表	51
表 7-2 各历时暴雨强度查算表	52
8 适用性分析	60
8.1 时间变化特征	60
8.2 新编暴雨强度与旧公式对比分析	66
8.3 社会影响分析	70
9 编制成果	71
9.1 编制成果	71
9.2 建议	72
附图表	73
附表 1 各降雨历时逐年最大降雨样本每 5 分钟雨量	73
附表 2 各历时不同重现期芝加哥法雨型各时段平均雨强	85
附图 不同重现期各历时暴雨雨型图	93
附件 资料来源证明	101

1 总则

1.1 编制背景及必要性

我国已经进入高速城市化时期，特大城市和城市群的出现，使城市降雨特征发生变化。已有数据表明，部分城市每隔 10 年左右就出现超过历史记录的特大暴雨。依据水文气象频率分析理论，基于已有的降雨记录数据，采用数理统计的方法拟合出的城市暴雨量、暴雨强度等曲线函数，是科学表达城市降雨规律的一种方法。设计暴雨强度是计算雨水排水设计流量的基本依据，它直接影响到城市排水工程的投资预算和可靠性。我国幅员辽阔，各地降雨强度不一，根据《室外排水设计标准》（GB50014-2021）规定，在进行室外排水设计时，雨水管网的设计排水量应通过当地的暴雨强度公式计算求得。因此，编制适合各地实际情况的城市暴雨强度公式是室外排水工程规划设计的重要基础性工作。

在当前气候变化的背景下，极端天气事件频发，且随着城市化进程的加快，城市暴雨出现的概率增大，降雨范围更加集中，城市现行的暴雨强度公式可能不完全适合当前的降雨情况。首先，从统计学的角度来讲，暴雨强度公式是根据已有水文数据整合得出，定期更新降水资料年份可得到代表度更高、更新的暴雨强度公式。其次，从城市防灾减灾角度讲，城市快速发展导致下垫面变化会引起降雨时空变化。这就需要对暴雨强度公式适时地进行更新修订，尽可能准确地反映当前降雨的变化情况，从而提高排水工程的效率。

汾阳市以往所使用的暴雨强度公式为《山西省水文计算手册》中的汾阳市中心城区暴雨强度公式。为落实《住房和城乡建设部办公厅 国家发展改革委办公厅 中国气象局办公室关于进一步规范城市内涝信息发布等有关工作的通知》（建办城〔2022〕30 号文件精神，山西省汾阳市气象局委托我单位编制《汾阳市暴雨强度公式编制报告》。

根据相关文件要求，本报告采用汾阳国家基本气象站包含最近年份（1981-2023 年）的降水资料，根据《室外排水设计标准》（GB50014-2021）（以下简称《标准》）和《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》）要求完成的。与上一版相比，所采用的数据资料进行了延展，暴雨强度公式的编制思路方法基本一致，推算结果具有一定可比性，能更好的代表汾阳市当前降水特征。

1.2 编制依据

本报告引用了下列法规、条例、规范、标准中的有关条款。凡是不注明日期的引用文件，其最新版本适用于本报告。

《室外排水设计标准》（GB50014-2021）

《城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则》

《数值修约规则与极限数值的表示和判定》(GB/T 8170-2008)

《地面气象观测规范 降水量》(GB/T 35228-2017)

《气象观测资料质量控制 地面》(QX/T 118-2020)

《水利水电工程设计洪水计算规范》(SL 44-2006)

《城市排水工程规划规范》(GB50318-2017)

《建筑给水排水设计标准》(GB50015-2019)

《公路排水设计规范》(JTG/T D33-2012)

《住房和城乡建设部、中国气象局关于做好暴雨强度公式修订有关工作的通知》(建城〔2014〕66 号)

《山西省住房和城乡建设厅、山西省气象局关于转发〈关于做好暴雨强度公式修订有关工作的通知〉的通知》(晋建城字〔2014〕131 号)

《住房和城乡建设部办公厅 国家发展改革委办公厅 中国气象局办公室关于进一步规范城市内涝防治信息发布等有关工作的通知》（建办城〔2022〕30 号）

《山西省住房和城乡建设厅、山西省气象局关于转发〈关于进一步规范城市内涝信息发布等有关工作的通知〉的通知》(晋建城函〔2022〕1343号)

《中国气象局办公室转发<国家防汛抗旱总指挥部办公室关于提升城市极端暴雨防范应对能力的指导意见>的通知》(气办发〔2024〕22号)

1.3 遵循原则要求

本工作按照《导则》要求的技术流程、降雨资料 and 统计样本、频率分布曲线、暴雨强度公式参数求解、短历时设计暴雨雨型确定、图表绘制、适用性分析和成果表达格式等方面的技术要求完成。并遵循：资料准确可靠、推算方法科学合理、编制成果规范表达的原则。

1.4 内容和方法

根据《导则》，暴雨强度公式编制和暴雨雨型确定工作内容包括：代表性站点选择、原始数据整理、降雨资料年限确定、统计样本建立、频率计算和分布曲线拟合、暴雨强度公式参数求解、短历时设计暴雨雨型确定、图表绘制、成果适用性分析、精度检验、各历时暴雨变化特征等。

暴雨强度公式编制和暴雨雨型确定工作是基于历史降雨资料，采用频率分析、数值拟合等数理统计方法进行的。具体流程如下：

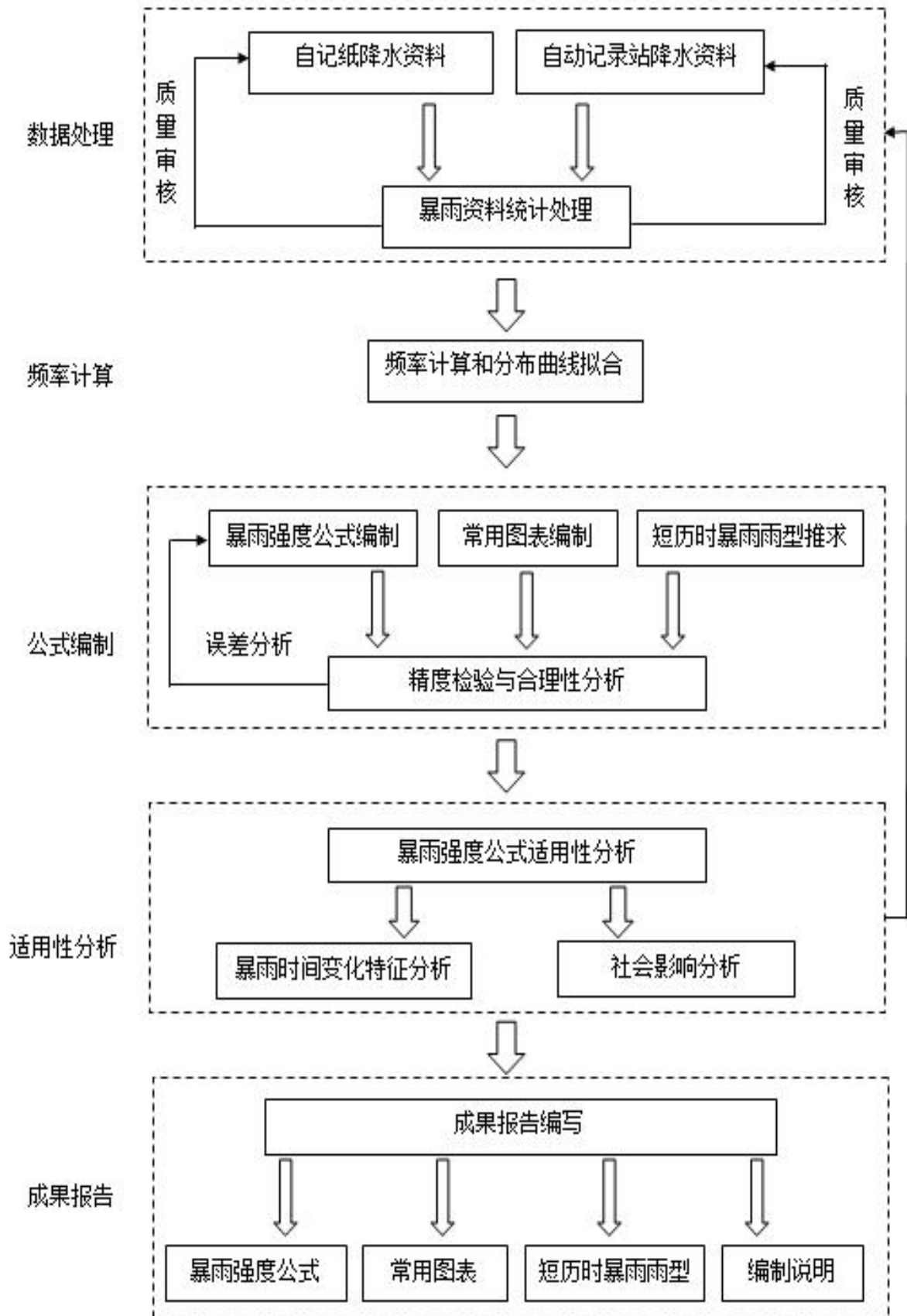


图 1.1-1 暴雨强度公式编制流程图

2 术语和符号

2.1 术语

(1) 降雨历时 rainfall duration 指连续降雨的时段, 为累积雨量的时间长度, 以分钟(min)计。

(2) 降雨量 rainfall amount 某一时段内降落到水平面上的雨水累积深度, 以毫米(mm)计。

(3) 降雨强度 rainfall intensity 指某一历时内单位时间(每分钟或每小时)的降雨量。

(4) 短历时降雨 short duration precipitation 指降雨历时小于 180 分钟的降雨。

(5) 有效暴雨资料样本 effective rainstorm sample 作为暴雨公式和暴雨雨型编制的降雨数据样本。

(6) 暴雨重现期 rainstorm return period 某一强度的暴雨重复出现的统计平均时间间隔, 以年(a)计。

(7) 暴雨雨型 rainstorm profile 不同降雨历时内的暴雨强度随时间变化的特征, 以不同降雨历时的降雨过程线型表达。

(8) 雨峰位置系数 peak intensity position coefficient 表征暴雨强度过程的雨峰位置的参数, 从降雨历时开始至降雨峰值出现的时间段长度与降雨历时的比值。

2.2 符号

i 、 q ——设计暴雨强度(i --mm/min; q --L/(s·hm²));

P ——设计暴雨重现期(a);

ρ ——经验频率(无量纲参数);

t ——降雨历时(min);

A_1 ——雨力参数(经验参数);

- C ——雨力变动参数(经验参数);
- b ——降雨历时修正参数(经验参数);
- n ——暴雨衰减指数(经验参数);
- r_i ——雨峰位置系数(无量纲参数)。

3 降雨资料 and 统计样本

3.1 站点情况和降雨资料年限的确定

3.1.1 站点情况

本报告使用的降雨量为汾阳国家基本气象站降雨量 1981—2023 年的观测数据。汾阳国家基本气象站建于 1956 年，位于汾阳县小南关门外，观测场海拔高度 748.9 米，至今未迁站。站址位置如下图 3.1-1 所示。

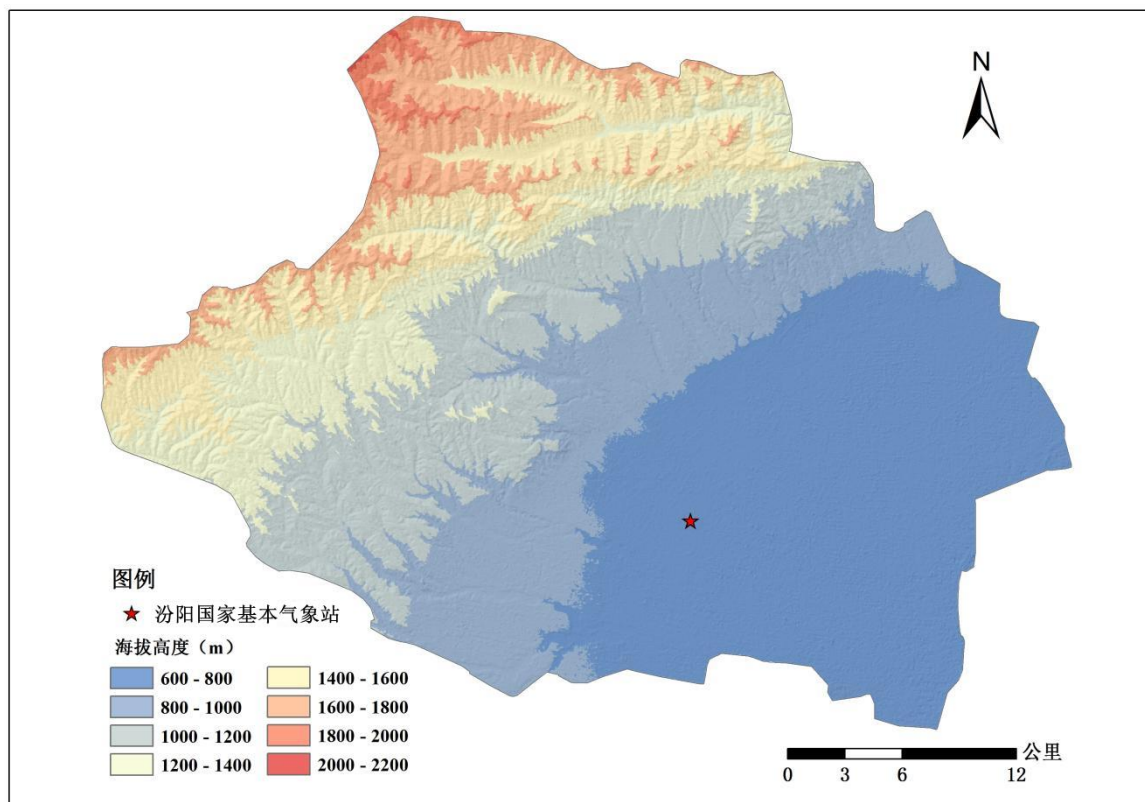


图 3.1-1 气象站地理位置及汾阳市地形示意图

3.1.2 资料年限的确定

气候平均状态一般是指持续 30 年的气候变动。为使做出的暴雨强度公式既能满足《标准》和《导则》要求，也能反映目前气候态下的极值规律，项目降雨资料年限的确定，主要考虑以下 3 个方面原因，本报告选取了汾阳国家基本气象站降雨量 1981—2023 年的观测数据作为统计样本。

（1）《标准》要求暴雨强度公式编制采用的年最大值法基础资料年限至少需要 20 年，有条件的地区可用到 30 年以上系列；

（2）《导则》对选择资料年限做了进一步说明，要求合理选择资料年限，但需包括最近年份的降雨资料。

（3）山西省各气象站建站时间不一致，有许多县（市）气象观测站始建于上世纪 70 年代末，因此选择 1981 年作为数据起始年份可满足全省所有市县气象站建站时间统一的要求。

因此，为既满足《标准》和《导则》要求，又使各地市暴雨强度成果具有一定可比性，本报告采用汾阳国家基本气象站 1981—2023 年的 43 年降雨资料。

3.2 原始资料的取得

3.2.1 降雨自记纸数据处理

按照《导则》要求，原始降雨资料采用逐分钟自动记录的基础数据，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。对以自记纸形式保存的历史降雨自记记录资料，使用中国气象局组织编制的“降雨自记纸彩色扫描数字化处理系统”进行数字化处理。该系统通过计算机扫描、图像处理、数据处理，将气象站降雨自记纸图像进行数字化转换，成为逐分钟降雨量，并需要经人工审核或修正后，录入数据库，具体处理过程如下：

（1）降雨自记纸预处理。在自记纸扫描前，需将装订好的自记纸拆开，挑选出有降雨过程的自记纸，并标注起止日期，将时间清晰地写在可扫描

区域内。

(2) 图像扫描。首先设置好扫描图像的分辨率、图像压缩率等扫描参数，一般文件大小应控制在 150~350 KB 之间，如过大可提高压缩率、过小则减小压缩率，以达到正常跟踪与处理速度、保存容量的较好结合，既保证得到的扫描图像的清晰度，又有较快的扫描速度。

(3) 降雨自记迹线的跟踪。调整合适的阈值，使程序能更好的自动跟踪；在强降雨时，采用强降雨跟踪方法（在非强降雨时也可灵活使用该方法）；作异常处理时，可采用二次处理法，首先由程序自动计算异常量，然后再将包含异常时段在内的若干小时作异常处理，输入这段时间的降雨量；无降雨时的处理方法是从小最早出现降雨的地方开始跟踪，将尾部无降雨的迹线删除；注意与状态库或地面气象观测记录月报表文件中的日降雨量及逐时降雨量进行比对。

(4) 数据转换与质量检查。数据转换包括：将迹线数据(ZJR 文件)转换成分钟强度数据，将分钟强度数据进行质量检查后再转换成标准分钟强度数据，以及将标准分钟强度数据转换成小时强度数据。在分钟强度转换前，可运行 ZJJC 软件对 ZJR 文件进行质量检查，检查项目包括时间连续性检查和数据质量检查。数据转换程序也会进行转换前的必要检查，如虹吸过程是否超过 2 分钟，虹吸量是否超范围等。

(5) 数据集制作。降雨自记纸数字化处理应得到 3 个数据集：图像数据集、降雨强度数据集和迹线文件数据集。每个数据集应包括：数据实体文件、数据说明文件、备注说明文件和元数据说明文件 4 个部分，因此，每个数据集应按规范和格式要求制作说明文档、备注说明文件和元数据说明文档。

3.2.2 自动气象站观测数据处理

自动气象站，能够用于对风速、风向、雨量、空气温度、空气湿度、光照强度、土壤温度、土壤湿度、蒸发量、大气压力等十几个气象要素进

行全天候现场监测。可以通过专业配套的数据采集通讯线与计算机进行连接，将数据传输到气象计算机气象数据库中，用于统计分析和处理。

3.3 降雨数据的可靠性、一致性分析

本报告采用的基础气象观测数据为汾阳国家基本气象站降雨量逐分钟观测值，该数据集经由山西省气象信息中心质量控制，已通过人工审核，资料准确可靠，来源证明见附件。

自 2004 年开始，汾阳国家基本气象站已采用自动气象观测站观测降雨量。该降雨量仪器为逐分钟观测模式，本报告使用的自动站观测数据为人工校准后的数据集。人工质量控制包括：数据时间一致性检查和空间一致性检查。其中时间一致性检查还包括时变检查和持续性检查两种技术，空间一致性检查采用最优插值法技术。

汾阳国家基本气象站自建站以来至今未迁站，可以认为 1981 年以来汾阳国家基本气象站降雨资料一致性较好。

3.4 统计样本选取及分析

按照《标准》的要求，暴雨强度公式编制的降雨历时应采用 5 min、10 min、15 min、20 min、30 min、45 min、60 min、90 min、120 min、150 min、180 min 共 11 个历时。

图 3.4-1 是各历时年最大降雨量变化曲线，图 3.4-2 是各历时年最大降雨强度变化曲线。从图 3.4-1~3.4-2 可见，1981—2023 年，降雨量和降雨强度年际变化较大，如历时 150 min 降雨强度最大可达到 0.542mm/min（1988 年），而最小则只有 0.081 mm/min（2008 年），最大值是最小值的 6 倍多。而各历时降雨量最大值与最小值的差值由 9.87 mm(5 min)扩大为 69.46 mm（180 min），可见 43 年间，年降雨量和降雨强度已经发生了明显的变化，定期对暴雨强度公式进行修编和复核具有重要的现实意义。

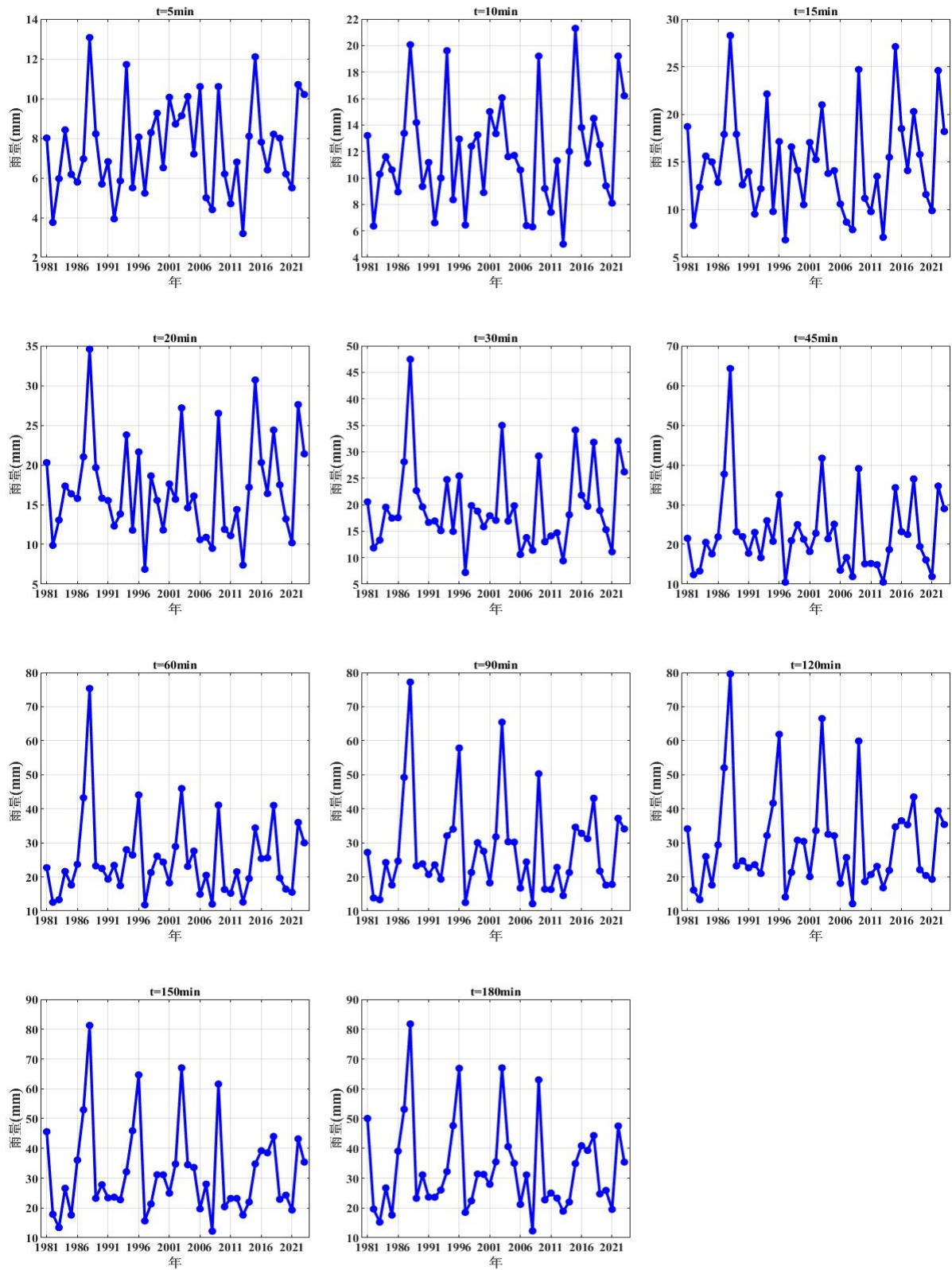


图 3.4-1 汾阳市各历时年最大降雨量变化曲线

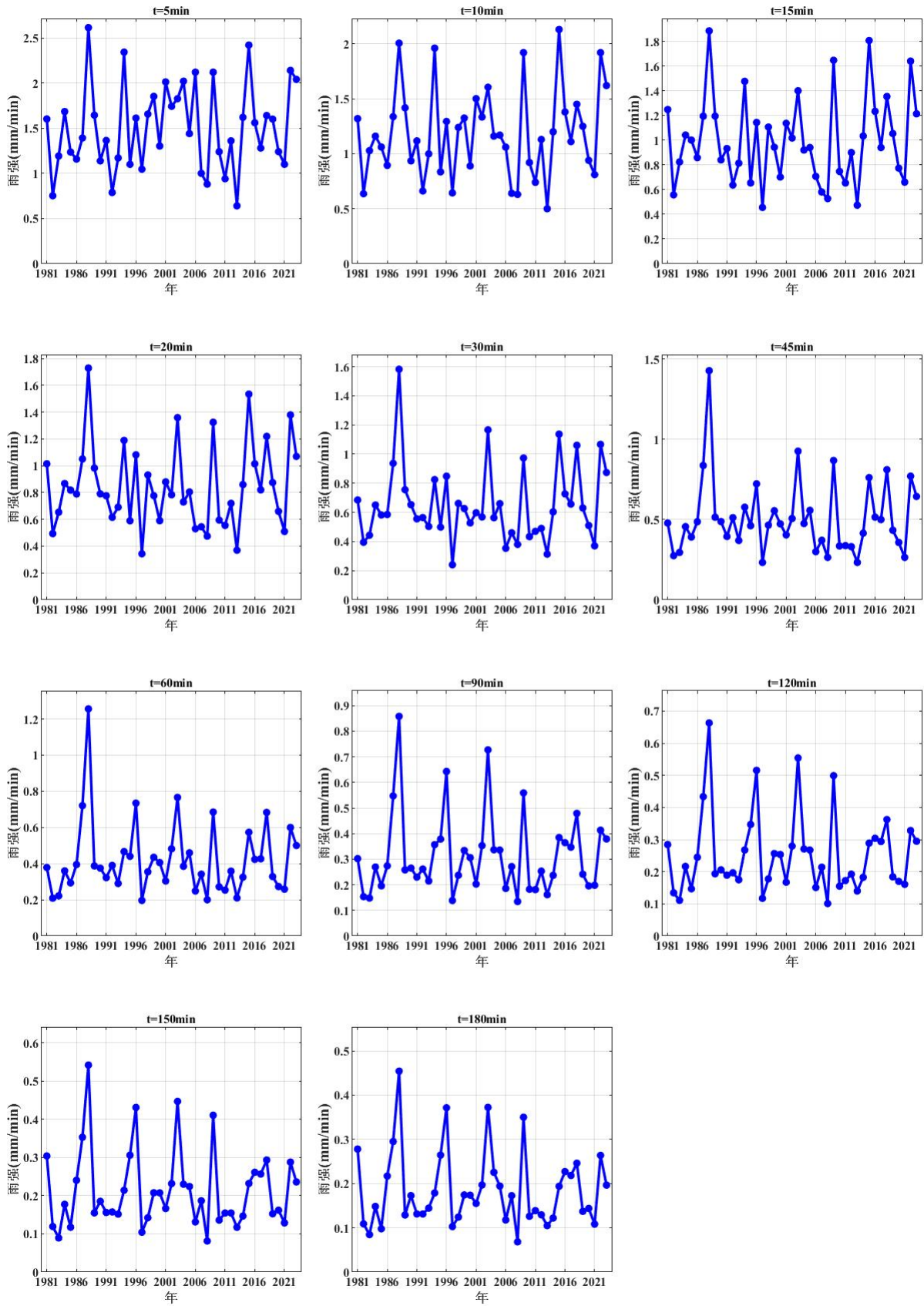


图 3.4-2 汾阳市各历时年最大降雨强度变化曲线

4 频率计算和分布曲线确定

4.1 经验频率和重现期计算

经验频率计算是数理统计理论的基本数学方法，频率与重现期具有倒数关系。重现期可兼顾统计学和以年为周期的特征表达，物理意义较清晰。根据《导则》经验频率和重现期按下列方法计算。

(1) 样本按照降序排列，样本经验频率按以下公式计算：

$$\rho = m / (n + 1)$$

其中， ρ 为经验频率， m 为排序数， n 为样本容量，即样本总数。

(2) 重现期与经验频率按照以下公式换算：

$$P = 1 / \rho$$

其中， P 为重现期， ρ 为经验频率。

把降雨强度不同历时不论年次按照降序排列，计算各历时暴雨强度的经验频率、重现期，结果如表 4.1-1。

表 4.1-1 不同经验频率(重现期)下各历时降雨强度(mm/min)

频率	重现期(a)	5min	10min	15min	20min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min
0.023	44.000	2.614	2.130	1.885	1.730	1.582	1.429	1.256	0.858	0.664	0.542	0.454
0.045	22.000	2.420	2.006	1.807	1.535	1.166	0.927	0.766	0.727	0.554	0.447	0.372
0.068	14.667	2.342	1.961	1.647	1.380	1.137	0.869	0.735	0.643	0.516	0.431	0.372
0.091	11.000	2.140	1.920	1.640	1.360	1.067	0.838	0.721	0.559	0.499	0.411	0.350
0.114	8.800	2.120	1.920	1.476	1.325	1.060	0.811	0.685	0.547	0.434	0.353	0.295
0.136	7.333	2.120	1.620	1.400	1.220	0.973	0.771	0.683	0.479	0.363	0.306	0.278
0.159	6.286	2.040	1.605	1.353	1.190	0.937	0.762	0.600	0.413	0.347	0.304	0.265
0.182	5.500	2.020	1.501	1.248	1.082	0.873	0.723	0.573	0.384	0.328	0.293	0.264
0.205	4.889	2.012	1.450	1.233	1.070	0.848	0.644	0.500	0.379	0.304	0.288	0.246
0.227	4.400	1.852	1.418	1.213	1.051	0.825	0.578	0.482	0.378	0.295	0.261	0.227
0.250	4.000	1.826	1.380	1.195	1.015	0.755	0.558	0.467	0.364	0.294	0.257	0.226
0.273	3.667	1.742	1.337	1.194	1.015	0.727	0.556	0.460	0.357	0.289	0.240	0.218
0.295	3.385	1.684	1.334	1.143	0.984	0.685	0.516	0.440	0.353	0.285	0.236	0.217
0.318	3.143	1.656	1.325	1.137	0.932	0.661	0.515	0.435	0.347	0.280	0.232	0.197
0.341	2.933	1.644	1.320	1.106	0.881	0.660	0.512	0.427	0.337	0.271	0.232	0.197
0.364	2.750	1.640	1.294	1.053	0.875	0.657	0.507	0.423	0.336	0.268	0.230	0.194
0.386	2.588	1.620	1.250	1.041	0.868	0.653	0.500	0.406	0.334	0.268	0.224	0.194
0.409	2.444	1.612	1.239	1.033	0.860	0.651	0.488	0.395	0.306	0.257	0.214	0.179
0.432	2.316	1.602	1.200	1.017	0.820	0.630	0.487	0.390	0.302	0.254	0.208	0.174
0.455	2.200	1.600	1.170	1.001	0.819	0.626	0.479	0.387	0.274	0.245	0.207	0.174
0.477	2.095	1.560	1.160	0.943	0.805	0.603	0.476	0.385	0.271	0.217	0.187	0.173
0.500	2.000	1.440	1.160	0.940	0.791	0.597	0.473	0.379	0.269	0.214	0.185	0.173
0.523	1.913	1.392	1.130	0.940	0.790	0.585	0.466	0.375	0.265	0.206	0.177	0.155
0.545	1.833	1.364	1.117	0.932	0.784	0.582	0.462	0.360	0.262	0.197	0.166	0.148
0.568	1.760	1.360	1.110	0.920	0.777	0.568	0.456	0.358	0.258	0.194	0.162	0.145
0.591	1.692	1.302	1.061	0.900	0.777	0.564	0.433	0.355	0.253	0.193	0.157	0.144
0.614	1.630	1.280	1.060	0.858	0.730	0.563	0.416	0.342	0.241	0.189	0.156	0.139
0.636	1.571	1.240	1.028	0.840	0.720	0.555	0.404	0.328	0.237	0.184	0.155	0.137
0.659	1.517	1.240	0.999	0.823	0.692	0.527	0.395	0.325	0.237	0.183	0.155	0.131
0.682	1.467	1.236	0.940	0.813	0.660	0.510	0.391	0.322	0.230	0.178	0.155	0.131
0.705	1.419	1.192	0.935	0.773	0.654	0.503	0.371	0.304	0.215	0.175	0.153	0.129
0.727	1.375	1.170	0.920	0.747	0.616	0.498	0.370	0.294	0.203	0.173	0.152	0.129
0.750	1.333	1.158	0.894	0.707	0.595	0.490	0.358	0.290	0.198	0.170	0.147	0.126
0.773	1.294	1.138	0.889	0.701	0.591	0.470	0.338	0.273	0.196	0.167	0.142	0.124
0.795	1.257	1.100	0.835	0.660	0.590	0.460	0.336	0.272	0.196	0.161	0.136	0.122
0.818	1.222	1.100	0.810	0.653	0.555	0.443	0.331	0.258	0.186	0.155	0.131	0.118
0.841	1.189	1.046	0.740	0.653	0.545	0.433	0.300	0.253	0.182	0.151	0.129	0.109
0.864	1.158	1.000	0.661	0.636	0.530	0.395	0.296	0.248	0.181	0.147	0.119	0.108
0.886	1.128	0.940	0.644	0.580	0.510	0.380	0.275	0.222	0.161	0.140	0.117	0.105
0.909	1.100	0.880	0.640	0.557	0.494	0.370	0.264	0.210	0.154	0.134	0.117	0.103
0.932	1.073	0.788	0.636	0.527	0.475	0.353	0.264	0.209	0.148	0.117	0.104	0.098
0.955	1.048	0.752	0.630	0.473	0.370	0.313	0.233	0.200	0.138	0.111	0.089	0.085
0.977	1.023	0.640	0.500	0.455	0.344	0.240	0.233	0.196	0.134	0.101	0.081	0.068

4.2 分布曲线

由于实测系列的样本数 n 较小，直接用经验频率点绘出的曲线往往不能满足推求稀遇频率极值的要求，目估适线或外延会产生较大的误差，因此需要借助理论频率曲线作为定线和外延的依据，从而得出重现期、降雨强度和降雨历时三者的关系，即 $P-i-t$ 关系表。

理论分布曲线拟合的作用之一是将分散的数据拟合出内在趋势，为暴雨强度公式的外延计算创造条件。《导则》指出，分布曲线拟合应基于选取的统计样本，采用理论频率曲线进行拟合调整，《导则》推荐的理论频率曲线包括皮尔逊-III型分布曲线和耿贝尔分布曲线，可根据本地降雨特点，选取进行多种频率分布函数的拟合试验，从中选取拟合效果较好的理论频率曲线函数类型，拟合精度差异不大时推荐采用皮尔逊-III型分布曲线。《标准》则在附录中推荐了指数分布曲线作为理论频率曲线。因此，本报告分别采用皮尔逊-III型分布曲线、耿贝尔分布曲线、指数分布曲线进行拟合试验，综合考虑误差和适线图结果，从而确定理论频率曲线函数类型。

根据皮尔逊-III型、耿贝尔、指数分布曲线原理，将三种方法拟合情况绘制在海森频率格纸上，以便于比较分布拟合结果。海森频率格纸特点是正态随机变量的经验频率点子散布在其上成为直线，非正态变量的点子在其上散布不成为直线，但曲率较小，便于内差或外延。

4.2.1 耿贝尔频率曲线

根据统计学理论，原始分布为偏态铃型的，其极大值 x 的分布应属耿贝尔分布（Gumbel，即第 I 极值分布），分布函数为：

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad (\alpha > 0, -\infty < \beta < \infty)$$

公式中 α 为尺度参数， β 是位置参数，反映频率分布集中在数轴上的位置。它们与平均值和均方差 S 的关系是：

$$\alpha = \frac{\pi}{S\sqrt{6}}; \quad \beta = \bar{x} - 0.5772 \frac{\sqrt{6}}{\pi} S;$$

设计频率 $\rho = F(x \geq x_\rho)$ 所对应极值 x_ρ 为:

$$x_\rho = \beta - \frac{1}{\alpha} \ln[-\ln(1 - \rho)]$$

耿贝尔法是一种直接与经验概率相结合的参数估计方法。根据耿贝尔分布原理确定的参数见表 4.2-1。图 4.2-1 给出了耿贝尔法拟合雨强频率图，可见耿贝尔法拟合出了雨强经验频率的平均趋势。

表 4.2-1 耿贝尔分布的参数

项目	5min	10min	15min	20min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min
Ex	1.503	1.183	0.997	0.846	0.655	0.507	0.418	0.314	0.253	0.214	0.186
α	2.466	2.875	3.314	3.741	4.397	5.089	5.824	7.365	9.349	11.389	13.588
β	1.282	0.994	0.832	0.701	0.531	0.400	0.325	0.240	0.194	0.166	0.146

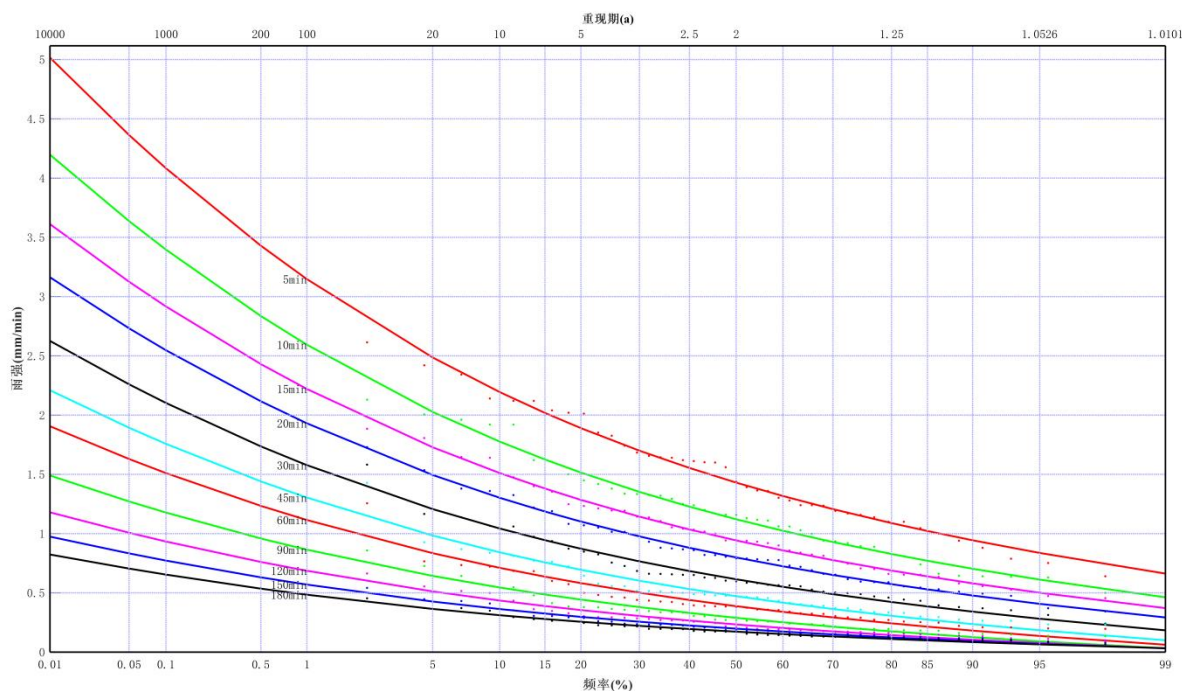


图 4.2-1 耿贝尔法拟合雨强频率图

利用确定的参数结果，计算得到与表 4.1-1 中经验频率相应的暴雨强度及拟合的平均绝对误差（表 4.2-2），拟合的平均绝对误差为 0.029mm/min。（4.2-3）。耿贝尔法拟合得到的 $P-i-t$ 关系见表 4.2-4。

表 4.2-2 耿贝尔分布拟合雨强 (单位:mm/min)

重现期(a)	5min	10min	15min	20min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min
44.000	2.812	2.306	1.971	1.709	1.389	1.141	0.972	0.752	0.598	0.497	0.423
22.000	2.526	2.061	1.758	1.521	1.229	1.003	0.851	0.656	0.523	0.435	0.372
14.667	2.356	1.915	1.632	1.409	1.134	0.921	0.780	0.600	0.478	0.399	0.341
11.000	2.235	1.811	1.541	1.329	1.066	0.862	0.728	0.559	0.446	0.372	0.319
8.800	2.139	1.729	1.470	1.266	1.012	0.816	0.688	0.527	0.421	0.352	0.301
7.333	2.060	1.661	1.411	1.214	0.968	0.777	0.654	0.500	0.400	0.334	0.287
6.286	1.993	1.603	1.361	1.169	0.930	0.744	0.626	0.478	0.382	0.320	0.275
5.500	1.933	1.552	1.317	1.130	0.897	0.716	0.600	0.458	0.366	0.307	0.264
4.889	1.880	1.507	1.277	1.095	0.867	0.690	0.578	0.440	0.352	0.295	0.254
4.400	1.831	1.465	1.241	1.063	0.840	0.666	0.557	0.424	0.339	0.285	0.246
4.000	1.787	1.427	1.208	1.034	0.815	0.645	0.539	0.409	0.328	0.275	0.237
3.667	1.746	1.392	1.177	1.007	0.792	0.625	0.521	0.395	0.317	0.266	0.230
3.385	1.707	1.359	1.149	0.981	0.770	0.606	0.505	0.382	0.307	0.258	0.223
3.143	1.671	1.327	1.122	0.957	0.750	0.589	0.490	0.370	0.297	0.250	0.216
2.933	1.637	1.298	1.096	0.935	0.730	0.572	0.475	0.358	0.288	0.243	0.210
2.750	1.604	1.270	1.072	0.913	0.712	0.556	0.461	0.348	0.279	0.236	0.204
2.588	1.572	1.243	1.048	0.892	0.694	0.541	0.448	0.337	0.271	0.229	0.199
2.444	1.542	1.217	1.026	0.872	0.677	0.526	0.435	0.327	0.263	0.222	0.193
2.316	1.513	1.192	1.004	0.853	0.661	0.512	0.423	0.317	0.255	0.216	0.188
2.200	1.485	1.168	0.983	0.835	0.645	0.498	0.411	0.308	0.248	0.210	0.183
2.095	1.457	1.144	0.963	0.816	0.630	0.485	0.399	0.298	0.241	0.204	0.178
2.000	1.430	1.121	0.943	0.799	0.615	0.472	0.388	0.289	0.234	0.198	0.173
1.913	1.404	1.098	0.923	0.781	0.600	0.459	0.376	0.281	0.227	0.192	0.168
1.833	1.378	1.076	0.904	0.764	0.585	0.447	0.366	0.272	0.220	0.187	0.163
1.760	1.353	1.054	0.885	0.747	0.571	0.434	0.355	0.263	0.213	0.181	0.159
1.692	1.327	1.033	0.866	0.731	0.557	0.422	0.344	0.255	0.206	0.176	0.154
1.630	1.302	1.011	0.847	0.714	0.543	0.410	0.333	0.247	0.200	0.170	0.149
1.571	1.277	0.990	0.829	0.698	0.529	0.398	0.323	0.238	0.193	0.165	0.145
1.517	1.252	0.968	0.810	0.681	0.515	0.386	0.312	0.230	0.187	0.159	0.140
1.467	1.227	0.946	0.791	0.664	0.500	0.373	0.301	0.221	0.180	0.154	0.136
1.419	1.201	0.925	0.772	0.648	0.486	0.361	0.291	0.213	0.173	0.148	0.131
1.375	1.176	0.903	0.753	0.631	0.472	0.349	0.280	0.204	0.166	0.143	0.127
1.333	1.149	0.880	0.734	0.613	0.457	0.336	0.269	0.195	0.159	0.137	0.122
1.294	1.122	0.857	0.713	0.596	0.442	0.323	0.257	0.186	0.152	0.131	0.117
1.257	1.095	0.833	0.693	0.577	0.426	0.309	0.245	0.177	0.145	0.125	0.112
1.222	1.066	0.808	0.671	0.558	0.410	0.295	0.233	0.167	0.137	0.119	0.107
1.189	1.035	0.782	0.648	0.538	0.393	0.280	0.220	0.157	0.129	0.112	0.101
1.158	1.002	0.754	0.624	0.516	0.374	0.265	0.206	0.146	0.121	0.105	0.095
1.128	0.967	0.723	0.598	0.493	0.355	0.247	0.191	0.134	0.111	0.098	0.089
1.100	0.927	0.689	0.568	0.467	0.332	0.228	0.175	0.121	0.101	0.089	0.081
1.073	0.881	0.650	0.534	0.437	0.307	0.206	0.155	0.106	0.089	0.079	0.073
1.048	0.824	0.601	0.492	0.399	0.275	0.178	0.131	0.086	0.074	0.067	0.063
1.023	0.742	0.531	0.430	0.345	0.229	0.139	0.096	0.059	0.052	0.049	0.048

表 4.2-3 耿贝尔法雨强拟合误差 (单位:mm/min)

重现期(a)	5min	10min	15min	20min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min
44.000	0.198	0.176	0.086	-0.020	-0.193	-0.287	-0.283	-0.106	-0.066	-0.045	-0.031
22.000	0.106	0.055	-0.049	-0.014	0.063	0.076	0.085	-0.071	-0.032	-0.012	-0.001
14.667	0.014	-0.046	-0.015	0.029	-0.003	0.052	0.045	-0.043	-0.038	-0.032	-0.031
11.000	0.095	-0.109	-0.099	-0.030	-0.001	0.024	0.007	0.000	-0.053	-0.038	-0.031
8.800	0.019	-0.191	-0.006	-0.059	-0.048	0.005	0.003	-0.020	-0.013	-0.001	0.006
7.333	-0.060	0.041	0.011	-0.006	-0.005	0.006	-0.029	0.021	0.037	0.028	0.009
6.286	-0.047	-0.002	0.008	-0.020	-0.007	-0.018	0.026	0.064	0.035	0.016	0.010
5.500	-0.087	0.051	0.069	0.048	0.023	-0.008	0.027	0.073	0.038	0.014	0.000
4.889	-0.132	0.057	0.044	0.025	0.019	0.045	0.078	0.061	0.048	0.007	0.008
4.400	-0.021	0.047	0.028	0.012	0.015	0.089	0.075	0.046	0.044	0.024	0.018
4.000	-0.039	0.047	0.013	0.019	0.059	0.087	0.072	0.044	0.034	0.019	0.012
3.667	0.004	0.055	-0.017	-0.008	0.065	0.069	0.061	0.038	0.028	0.026	0.012
3.385	0.023	0.025	0.005	-0.002	0.085	0.091	0.065	0.029	0.022	0.022	0.006
3.143	0.015	0.002	-0.015	0.026	0.088	0.074	0.055	0.023	0.017	0.018	0.019
2.933	-0.007	-0.022	-0.010	0.054	0.070	0.060	0.048	0.022	0.017	0.011	0.014
2.750	-0.036	-0.024	0.018	0.038	0.055	0.049	0.038	0.012	0.012	0.006	0.010
2.588	-0.048	-0.007	0.007	0.025	0.042	0.041	0.042	0.003	0.004	0.005	0.005
2.444	-0.070	-0.022	-0.007	0.012	0.027	0.038	0.040	0.021	0.007	0.008	0.014
2.316	-0.089	-0.008	-0.013	0.033	0.031	0.025	0.033	0.015	0.002	0.008	0.013
2.200	-0.115	-0.002	-0.018	0.016	0.019	0.020	0.024	0.034	0.003	0.002	0.009
2.095	-0.103	-0.016	0.020	0.011	0.026	0.010	0.014	0.027	0.024	0.017	0.005
2.000	-0.010	-0.039	0.003	0.008	0.017	-0.001	0.009	0.020	0.019	0.013	0.000
1.913	0.012	-0.032	-0.017	-0.008	0.015	-0.007	0.002	0.016	0.021	0.015	0.013
1.833	0.014	-0.041	-0.028	-0.020	0.003	-0.015	0.006	0.010	0.023	0.020	0.015
1.760	-0.007	-0.056	-0.035	-0.030	0.003	-0.022	-0.004	0.005	0.020	0.019	0.014
1.692	0.025	-0.028	-0.034	-0.046	-0.008	-0.011	-0.011	0.002	0.014	0.018	0.010
1.630	0.022	-0.049	-0.011	-0.016	-0.021	-0.006	-0.008	0.005	0.011	0.014	0.011
1.571	0.037	-0.038	-0.011	-0.022	-0.027	-0.007	-0.006	0.001	0.009	0.010	0.008
1.517	0.012	-0.031	-0.013	-0.010	-0.013	-0.009	-0.013	-0.007	0.004	0.005	0.009
1.467	-0.009	0.006	-0.022	0.004	-0.010	-0.018	-0.021	-0.009	0.002	-0.001	0.005
1.419	0.009	-0.010	-0.001	-0.006	-0.017	-0.010	-0.013	-0.002	-0.002	-0.004	0.002
1.375	0.006	-0.017	0.006	0.015	-0.027	-0.021	-0.014	0.002	-0.006	-0.009	-0.003
1.333	-0.009	-0.014	0.027	0.018	-0.033	-0.022	-0.022	-0.002	-0.011	-0.010	-0.004
1.294	-0.016	-0.032	0.012	0.005	-0.028	-0.015	-0.016	-0.009	-0.015	-0.011	-0.007
1.257	-0.005	-0.002	0.033	-0.012	-0.034	-0.026	-0.026	-0.019	-0.016	-0.011	-0.010
1.222	-0.034	-0.002	0.018	0.003	-0.033	-0.036	-0.025	-0.018	-0.018	-0.012	-0.011
1.189	-0.011	0.042	-0.005	-0.007	-0.041	-0.020	-0.033	-0.025	-0.022	-0.016	-0.008
1.158	0.002	0.093	-0.012	-0.014	-0.020	-0.031	-0.042	-0.035	-0.026	-0.014	-0.013
1.128	0.027	0.079	0.018	-0.017	-0.025	-0.027	-0.030	-0.027	-0.029	-0.020	-0.016
1.100	0.047	0.049	0.011	-0.027	-0.038	-0.036	-0.035	-0.033	-0.034	-0.028	-0.021
1.073	0.093	0.014	0.007	-0.038	-0.047	-0.058	-0.054	-0.042	-0.029	-0.025	-0.025
1.048	0.072	-0.029	0.018	0.029	-0.039	-0.055	-0.069	-0.052	-0.037	-0.023	-0.022
1.023	0.102	0.031	-0.025	0.001	-0.012	-0.094	-0.100	-0.075	-0.049	-0.032	-0.020
绝对误差	0.029										

表 4.2-4 耿贝尔法 $P-i-t$ 关系表 (单位:mm/min)

重现期 (a)	5min	10min	15min	20min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min
2	1.430	1.121	0.943	0.799	0.615	0.472	0.388	0.289	0.234	0.198	0.173
3	1.648	1.308	1.104	0.942	0.737	0.577	0.480	0.362	0.291	0.245	0.212
5	1.890	1.515	1.285	1.102	0.872	0.695	0.582	0.443	0.355	0.298	0.256
10	2.194	1.776	1.511	1.302	1.043	0.842	0.711	0.545	0.435	0.363	0.311
20	2.486	2.027	1.728	1.495	1.207	0.984	0.835	0.643	0.512	0.427	0.364
30	2.654	2.171	1.853	1.605	1.301	1.065	0.906	0.699	0.556	0.463	0.395
50	2.864	2.351	2.010	1.744	1.419	1.167	0.995	0.769	0.612	0.508	0.433
100	3.147	2.594	2.220	1.930	1.578	1.304	1.115	0.864	0.686	0.570	0.484

4.2.2 皮尔逊-III型曲线

皮尔逊-III型曲线是一端有限的不对称单峰、正偏曲线，其概率密度的数学表达式为：

$$f(x) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} (x - a_0)^{\alpha-1} e^{-\beta(x-a_0)} \quad (a_0 < x < \infty, \alpha > 0, \beta > 0)$$

式中： $\Gamma(\alpha)$ 为伽玛函数； α 、 β 、 a_0 分别为关于形状、尺度和位置的参数。显然 α 、 β 、 a_0 确定以后，该密度函数也随之确定。可以推证这三个参数与总体的三个统计参数 $\bar{x}$ 、 C_v 、 C_s 具有如下关系：

$$\alpha = \frac{4}{C_s^2};$$

$$\beta = \frac{2}{\bar{x}C_vC_s};$$

$$a_0 = \bar{x}(1 - 2C_v / C_s);$$

其中 $\bar{x}$ 为均值、 C_v 为离差系数、 C_s 为偏差系数。

$\bar{x}$ 、 C_v 、 C_s 统计参数可以通过矩法进行初步确定。使用矩法计算 3 个统计参数公式如下：

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i;$$

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)\bar{x}^2}};$$

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-3)\bar{x}^3 C_v^3};$$

在实际计算中并不需要计算出 α 、 β 、 a_0 ，只要计算出 $\bar{x}$ 、 C_v 、 C_s ，就可以求出频率 ρ 对应的 x_ρ ，其关系式为：

$$x_\rho = (1 + \Phi_\rho C_v) \bar{x}$$

离均系数 Φ_ρ 可以根据 C_s 、 ρ 查统计表取得。由此可知，在已知 $\bar{x}$ 、 C_v 、 C_s 情况下，则可得出皮尔逊-III型拟合分布曲线。

由于参数估值均以有限样本为基础，存在着抽样误差，实际计算只能提供参考，通常使用最小二乘法约束准则与目估适线相结合的综合适线方法确定。即以经验点的散布为依据，调整 C_v 、 C_s ，协调各历时频率曲线之间的间距，使拟合曲线误差较小并且合理。

皮尔逊III型分布的总体参数 C_v 、 C_s 具有较清晰的物理意义，《导则》对适线过程和方法也做了具体规定，推荐采用人工适线和最优计算适线相结合的方法。适线过程应注意以下几点：

- (1) 同一站点不同历时的雨量和雨强频率曲线不能相交；
- (2) 不同历时、不同频率的降雨强度计算均值，与地区水文参数对照不能出现明显不合理；
- (3) 不同频率的曲线应总体协调；
- (4) 妥善处理分散的极大值、极小值数据；
- (5) 拟合曲线能较好地代表分散数据的趋势分布。

本报告根据选取的11个历时的经验频率强度，采用皮尔逊-III型频率分布曲线，利用最小二乘法约束准则与目估适线相结合的综合适线方法，协调各历时频率曲线之间的间距，最终确定各历时的频率曲线，得到各历时

参数。表 4.2-5 给出了适线得到的最终参数。

表 4.2-5 皮尔逊-III型分布适线参数结果

项目	5min	10min	15min	20min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min
Ex	1.503	1.183	0.997	0.846	0.655	0.507	0.418	0.314	0.253	0.214	0.186
Cv	0.337	0.372	0.386	0.396	0.433	0.493	0.482	0.477	0.469	0.450	0.441
Cs	0.972	1.049	1.125	1.143	1.226	1.368	1.362	1.355	1.347	1.337	1.341
Cs/Cv	2.882	2.818	2.914	2.887	2.835	2.774	2.828	2.843	2.871	2.969	3.041

图 4.2-2 为皮尔逊-III型适线拟合雨强频率图。可见，适线后的各历时频率曲线互相之间间隔合理，不产生相交。按照《导则》规定，通过对特大值数据及与其它数据相比存在明显偏离的数据进行合理处理，拟合出的雨强频率间隔合理。

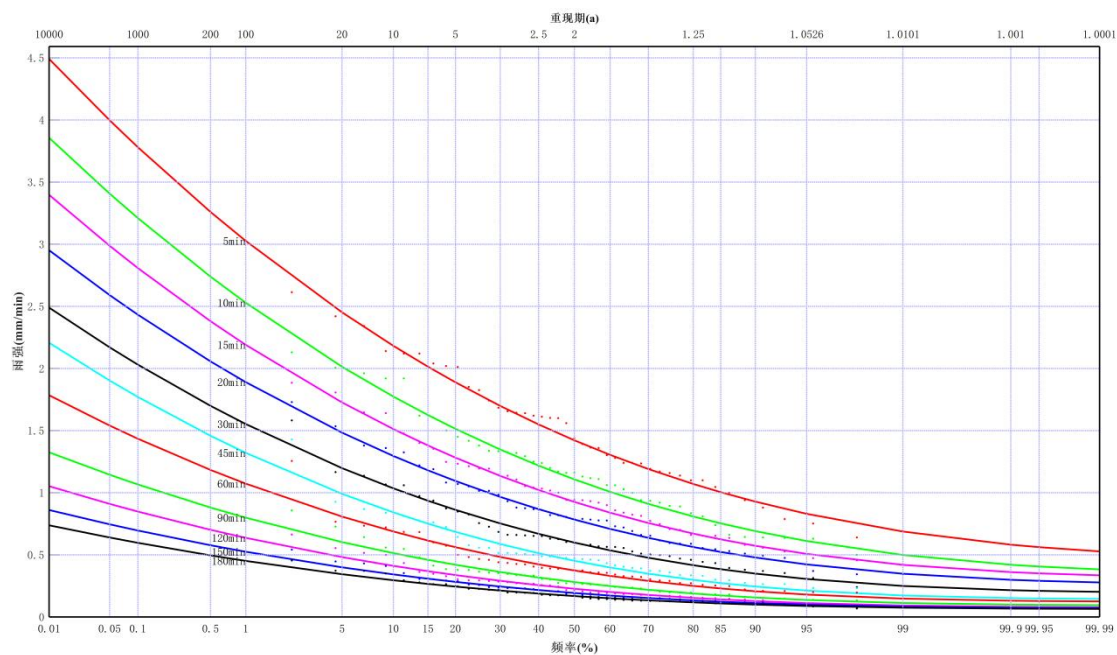


图 4.2-2 皮尔逊-III型分布拟合雨强频率图

表 4.2-6 皮尔逊-III型拟合暴雨强度(单位:mm/min)

重现期(a)	5min	10min	15min	20min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min
44.000	2.740	2.272	1.958	1.686	1.375	1.155	0.940	0.700	0.559	0.462	0.397
22.000	2.488	2.046	1.755	1.508	1.220	1.011	0.824	0.615	0.491	0.407	0.351
14.667	2.334	1.908	1.632	1.401	1.126	0.925	0.755	0.563	0.451	0.374	0.323
11.000	2.221	1.808	1.543	1.322	1.058	0.863	0.705	0.526	0.421	0.350	0.302
8.800	2.130	1.728	1.471	1.260	1.004	0.814	0.665	0.497	0.398	0.332	0.286
7.333	2.055	1.661	1.412	1.208	0.959	0.773	0.632	0.473	0.379	0.316	0.273
6.286	1.989	1.603	1.361	1.163	0.921	0.738	0.604	0.452	0.362	0.303	0.262
5.500	1.931	1.552	1.315	1.123	0.887	0.707	0.579	0.433	0.348	0.291	0.252
4.889	1.879	1.505	1.274	1.088	0.856	0.679	0.557	0.417	0.335	0.280	0.243
4.400	1.831	1.463	1.237	1.055	0.828	0.654	0.537	0.402	0.323	0.271	0.235
4.000	1.786	1.424	1.203	1.025	0.803	0.632	0.519	0.388	0.312	0.262	0.227
3.667	1.745	1.388	1.171	0.997	0.779	0.610	0.502	0.376	0.302	0.254	0.220
3.385	1.706	1.354	1.141	0.971	0.757	0.591	0.486	0.364	0.293	0.246	0.214
3.143	1.669	1.322	1.113	0.947	0.736	0.572	0.471	0.353	0.284	0.239	0.208
2.933	1.634	1.291	1.086	0.923	0.716	0.555	0.457	0.342	0.276	0.233	0.202
2.750	1.601	1.262	1.061	0.901	0.697	0.538	0.443	0.333	0.268	0.226	0.196
2.588	1.568	1.234	1.036	0.880	0.679	0.522	0.431	0.323	0.260	0.220	0.191
2.444	1.537	1.207	1.013	0.859	0.662	0.507	0.419	0.314	0.253	0.214	0.186
2.316	1.507	1.181	0.990	0.840	0.646	0.493	0.407	0.305	0.246	0.209	0.182
2.200	1.478	1.156	0.968	0.821	0.630	0.479	0.396	0.297	0.240	0.203	0.177
2.095	1.450	1.132	0.947	0.802	0.614	0.465	0.385	0.289	0.233	0.198	0.172
2.000	1.422	1.108	0.926	0.784	0.599	0.452	0.374	0.281	0.227	0.193	0.168
1.913	1.395	1.084	0.906	0.766	0.584	0.439	0.364	0.273	0.221	0.188	0.164
1.833	1.368	1.061	0.886	0.749	0.570	0.427	0.354	0.266	0.215	0.183	0.160
1.760	1.341	1.038	0.866	0.732	0.555	0.415	0.344	0.259	0.209	0.178	0.156
1.692	1.315	1.016	0.847	0.715	0.542	0.403	0.334	0.252	0.204	0.174	0.152
1.630	1.289	0.994	0.828	0.699	0.528	0.391	0.325	0.245	0.198	0.169	0.148
1.571	1.263	0.971	0.809	0.682	0.514	0.380	0.316	0.238	0.192	0.165	0.144
1.517	1.237	0.949	0.790	0.666	0.501	0.368	0.306	0.231	0.187	0.160	0.141
1.467	1.211	0.927	0.771	0.650	0.487	0.357	0.297	0.224	0.182	0.156	0.137
1.419	1.185	0.905	0.752	0.633	0.474	0.346	0.288	0.217	0.176	0.152	0.133
1.375	1.159	0.883	0.733	0.617	0.460	0.335	0.279	0.211	0.171	0.147	0.129
1.333	1.132	0.860	0.714	0.600	0.447	0.323	0.270	0.204	0.166	0.143	0.126
1.294	1.104	0.837	0.695	0.584	0.433	0.312	0.261	0.197	0.160	0.139	0.122
1.257	1.076	0.814	0.675	0.566	0.419	0.301	0.252	0.190	0.155	0.134	0.118
1.222	1.047	0.789	0.654	0.549	0.405	0.289	0.243	0.183	0.149	0.130	0.114
1.189	1.017	0.764	0.633	0.531	0.391	0.278	0.233	0.176	0.144	0.125	0.110
1.158	0.985	0.737	0.611	0.512	0.375	0.265	0.223	0.169	0.138	0.120	0.106
1.128	0.950	0.709	0.588	0.491	0.359	0.253	0.213	0.161	0.132	0.115	0.102
1.100	0.913	0.678	0.562	0.470	0.342	0.239	0.202	0.153	0.125	0.110	0.098
1.073	0.870	0.643	0.534	0.445	0.323	0.225	0.191	0.144	0.118	0.104	0.093
1.048	0.819	0.602	0.500	0.417	0.301	0.209	0.177	0.134	0.110	0.098	0.087
1.023	0.749	0.547	0.457	0.379	0.273	0.188	0.161	0.122	0.100	0.089	0.080

表 4.2-7 皮尔逊-III型拟合暴雨强度绝对误差(单位:mm/min)

重现期(a)	5min	10min	15min	20min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min
44.000	0.126	0.142	0.074	-0.043	-0.207	-0.274	-0.316	-0.158	-0.105	-0.080	-0.057
22.000	0.068	0.040	-0.051	-0.027	0.054	0.084	0.058	-0.112	-0.063	-0.040	-0.022
14.667	-0.008	-0.053	-0.014	0.021	-0.011	0.056	0.020	-0.079	-0.065	-0.057	-0.049
11.000	0.081	-0.112	-0.097	-0.037	-0.009	0.025	-0.016	-0.033	-0.078	-0.060	-0.048
8.800	0.010	-0.192	-0.005	-0.065	-0.056	0.002	-0.020	-0.050	-0.036	-0.021	-0.009
7.333	-0.065	0.041	0.012	-0.012	-0.014	0.002	-0.051	-0.006	0.016	0.010	-0.005
6.286	-0.051	-0.002	0.007	-0.027	-0.016	-0.025	0.004	0.038	0.015	-0.001	-0.003
5.500	-0.089	0.051	0.067	0.041	0.013	-0.016	0.006	0.049	0.019	-0.002	-0.012
4.889	-0.133	0.055	0.041	0.018	0.008	0.035	0.057	0.038	0.031	-0.008	-0.003
4.400	-0.021	0.045	0.024	0.004	0.004	0.077	0.055	0.024	0.028	0.010	0.007
4.000	-0.040	0.044	0.008	0.010	0.047	0.074	0.052	0.024	0.018	0.005	0.001
3.667	0.003	0.051	-0.023	-0.018	0.052	0.055	0.042	0.019	0.013	0.014	0.002
3.385	0.022	0.020	-0.002	-0.012	0.072	0.075	0.045	0.011	0.008	0.010	-0.003
3.143	0.013	-0.003	-0.024	0.015	0.075	0.057	0.036	0.006	0.004	0.007	0.011
2.933	-0.010	-0.029	-0.020	0.043	0.056	0.042	0.030	0.006	0.005	0.001	0.005
2.750	-0.039	-0.032	0.007	0.026	0.041	0.031	0.020	-0.003	0.000	-0.004	0.002
2.588	-0.052	-0.016	-0.005	0.012	0.027	0.022	0.025	-0.011	-0.007	-0.004	-0.003
2.444	-0.075	-0.032	-0.021	-0.001	0.012	0.019	0.024	0.008	-0.003	0.000	0.007
2.316	-0.095	-0.019	-0.027	0.020	0.016	0.006	0.017	0.003	-0.007	0.001	0.007
2.200	-0.122	-0.014	-0.033	0.002	0.003	0.000	0.008	0.023	-0.005	-0.004	0.003
2.095	-0.110	-0.028	0.004	-0.003	0.011	-0.010	0.000	0.018	0.017	0.011	0.000
2.000	-0.018	-0.052	-0.014	-0.007	0.002	-0.021	-0.004	0.012	0.013	0.008	-0.005
1.913	0.003	-0.046	-0.034	-0.023	-0.001	-0.027	-0.011	0.008	0.015	0.011	0.009
1.833	0.004	-0.056	-0.046	-0.035	-0.012	-0.035	-0.006	0.004	0.018	0.017	0.011
1.760	-0.019	-0.072	-0.054	-0.045	-0.013	-0.042	-0.014	0.001	0.016	0.016	0.011
1.692	0.013	-0.045	-0.053	-0.061	-0.023	-0.031	-0.020	-0.002	0.011	0.016	0.008
1.630	0.009	-0.066	-0.030	-0.031	-0.036	-0.024	-0.017	0.003	0.009	0.013	0.009
1.571	0.023	-0.057	-0.031	-0.038	-0.041	-0.025	-0.013	0.001	0.008	0.010	0.007
1.517	-0.003	-0.050	-0.033	-0.026	-0.027	-0.027	-0.019	-0.006	0.005	0.006	0.009
1.467	-0.025	-0.013	-0.042	-0.010	-0.023	-0.034	-0.025	-0.006	0.004	0.001	0.006
1.419	-0.007	-0.030	-0.021	-0.020	-0.029	-0.025	-0.016	0.002	0.001	-0.001	0.004
1.375	-0.011	-0.037	-0.013	0.001	-0.038	-0.035	-0.014	0.008	-0.002	-0.004	0.000
1.333	-0.026	-0.034	0.007	0.005	-0.043	-0.034	-0.020	0.006	-0.004	-0.004	0.000
1.294	-0.034	-0.052	-0.007	-0.007	-0.037	-0.026	-0.012	0.001	-0.007	-0.004	-0.002
1.257	-0.024	-0.021	0.015	-0.023	-0.041	-0.035	-0.020	-0.005	-0.006	-0.002	-0.004
1.222	-0.053	-0.021	0.001	-0.006	-0.038	-0.042	-0.016	-0.002	-0.006	-0.002	-0.003
1.189	-0.029	0.024	-0.020	-0.014	-0.043	-0.022	-0.020	-0.006	-0.007	-0.004	0.001
1.158	-0.015	0.076	-0.025	-0.018	-0.019	-0.030	-0.025	-0.012	-0.009	0.001	-0.002
1.128	0.010	0.065	0.008	-0.019	-0.021	-0.022	-0.009	0.000	-0.008	-0.002	-0.003
1.100	0.033	0.038	0.006	-0.024	-0.028	-0.025	-0.008	0.000	-0.009	-0.007	-0.005
1.073	0.082	0.007	0.007	-0.030	-0.030	-0.040	-0.018	-0.004	0.001	0.000	-0.005
1.048	0.067	-0.028	0.027	0.047	-0.012	-0.025	-0.023	-0.004	-0.001	0.008	0.002
1.023	0.109	0.047	0.001	0.036	0.032	-0.044	-0.036	-0.012	-0.001	0.008	0.012
平均绝对误差					0.027						

利用表 4.2-5 确定的参数结果, 计算得到与表 4.1-1 中经验频率相应的暴雨强度 (表 4.2-6) 及拟合的平均绝对误差 (表 4.2-7)。可知, 皮尔逊-III 型的拟合绝对误差为 0.027mm/min。皮尔逊-III 型法拟合得到的 $P-i-t$ 关系见表 4.2-8。

表 4.2-8 皮尔逊-III 型 $P-i-t$ 关系表(单位:mm/min)

重现期 (a)	5min	10min	15min	20min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min
2	1.422	1.108	0.926	0.784	0.599	0.452	0.374	0.281	0.227	0.193	0.168
3	1.646	1.301	1.095	0.931	0.723	0.560	0.461	0.346	0.278	0.235	0.204
5	1.889	1.514	1.282	1.094	0.862	0.685	0.562	0.420	0.337	0.282	0.244
10	2.182	1.774	1.512	1.296	1.035	0.842	0.688	0.514	0.411	0.343	0.296
20	2.452	2.014	1.727	1.483	1.198	0.991	0.808	0.603	0.482	0.399	0.344
30	2.602	2.148	1.847	1.589	1.290	1.076	0.876	0.653	0.522	0.432	0.372
50	2.786	2.312	1.995	1.719	1.403	1.181	0.961	0.716	0.571	0.472	0.406
100	3.026	2.529	2.190	1.890	1.553	1.321	1.073	0.799	0.637	0.525	0.451

4.2.3 指数分布曲线

指数分布是一条一端有限另一端无限的单调减凹曲线, 也有文献称其为“乙”形曲线, 其概率密度的数学表达式为:

$$F(x) = \alpha e^{-\alpha(x-\beta)} \quad (\alpha > 0, \beta \leq x < +\infty)$$

式中: α 为尺度参数, 表示离散程度, β 为形状参数, 表示分布曲线的下限。可用矩法对参数 α 、 β 进行快速确定, 矩与参数具有如下关系:

$$\bar{x} = \beta + \frac{1}{\alpha}; \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \frac{1}{\alpha};$$

其中 $\bar{x}$ 为均值、 σ 为方差。设计频率 $\rho = F(x \geq x_\rho)$ 所对应极值 x_ρ 为:

$$x_\rho = \sigma \ln \frac{1}{\rho} + \beta$$

根据指数分布原理确定的各历时曲线参数见表 4.2-9。图 4.2-3 给出了指数分布拟合雨强频率图。

表 4.2-9 指数分布的参数

项目	5min	10min	15min	20min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min
Ex	1.503	1.183	0.997	0.846	0.655	0.507	0.418	0.314	0.253	0.214	0.186
α	2.123	2.475	2.853	3.221	3.785	4.382	5.015	6.341	8.049	9.806	11.699
β	1.032	0.779	0.646	0.536	0.391	0.279	0.219	0.156	0.129	0.112	0.100

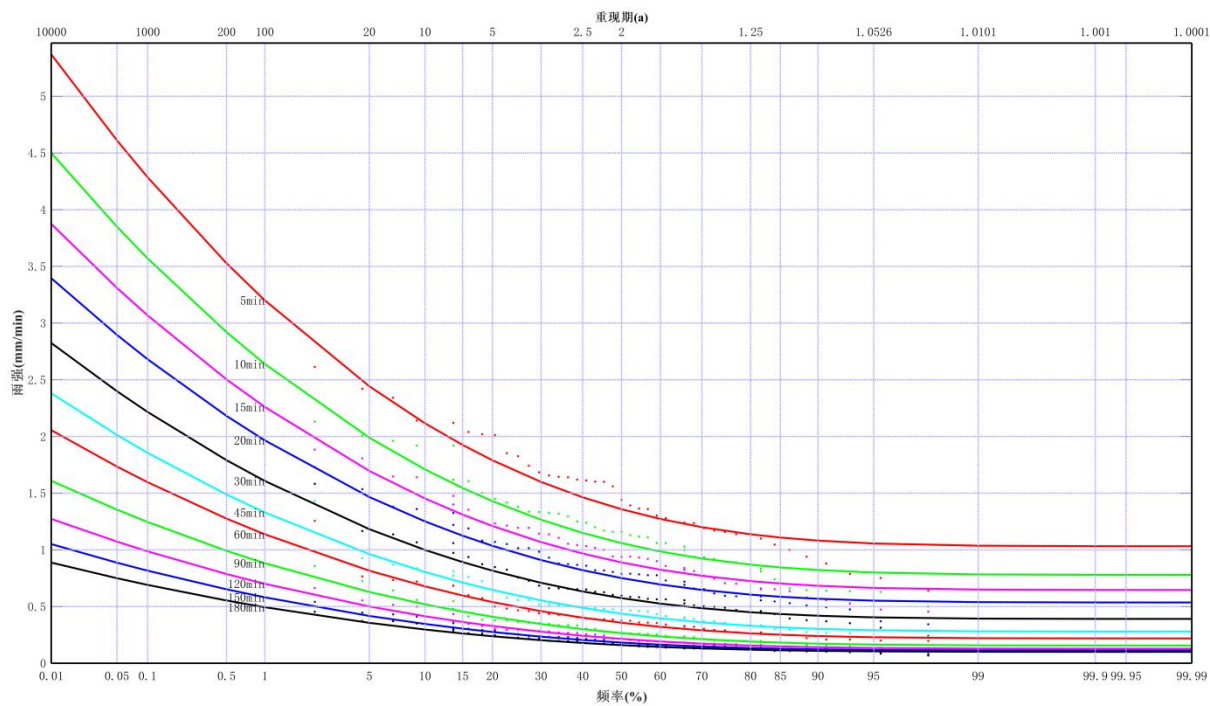


图 4.2-3 指数分布拟合雨强频率图

表 4.2-10 指数分布拟合暴雨强度(单位:mm/min)

重现期(a)	5min	10min	15min	20min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min
44.000	2.814	2.308	1.972	1.711	1.391	1.143	0.974	0.753	0.599	0.498	0.424
22.000	2.488	2.028	1.729	1.496	1.208	0.984	0.835	0.643	0.513	0.427	0.365
14.667	2.297	1.864	1.587	1.370	1.101	0.892	0.754	0.580	0.462	0.386	0.330
11.000	2.161	1.658	1.487	1.281	1.025	0.826	0.697	0.534	0.426	0.356	0.305
8.800	1.970	1.658	1.408	1.211	0.966	0.775	0.653	0.499	0.399	0.334	0.286
7.333	1.970	1.584	1.344	1.155	0.917	0.734	0.616	0.470	0.376	0.315	0.271
6.286	1.898	1.522	1.290	1.107	0.877	0.699	0.586	0.446	0.357	0.299	0.258
5.500	1.835	1.468	1.244	1.065	0.841	0.668	0.559	0.425	0.340	0.286	0.246
4.889	1.779	1.420	1.202	1.029	0.810	0.641	0.535	0.406	0.326	0.274	0.236
4.400	1.730	1.378	1.165	0.996	0.783	0.617	0.514	0.390	0.313	0.263	0.227
4.000	1.685	1.339	1.132	0.939	0.757	0.595	0.495	0.375	0.301	0.253	0.219
3.667	1.644	1.304	1.102	0.939	0.734	0.576	0.478	0.361	0.290	0.244	0.211
3.385	1.606	1.272	1.073	0.915	0.713	0.557	0.462	0.348	0.280	0.236	0.205
3.143	1.571	1.242	1.047	0.892	0.694	0.540	0.447	0.337	0.271	0.229	0.198
2.933	1.539	1.214	1.023	0.870	0.675	0.525	0.434	0.326	0.262	0.221	0.192
2.750	1.508	1.188	1.001	0.850	0.658	0.510	0.421	0.316	0.254	0.215	0.187
2.588	1.480	1.163	0.979	0.831	0.642	0.496	0.409	0.306	0.247	0.209	0.182
2.444	1.453	1.140	0.959	0.814	0.627	0.483	0.397	0.297	0.240	0.203	0.177
2.316	1.427	1.118	0.940	0.797	0.613	0.471	0.386	0.288	0.233	0.197	0.172
2.200	1.403	1.098	0.922	0.781	0.599	0.459	0.376	0.280	0.226	0.192	0.168
2.095	1.380	1.059	0.905	0.766	0.587	0.448	0.366	0.273	0.220	0.187	0.164
2.000	1.358	1.059	0.873	0.751	0.574	0.437	0.357	0.265	0.215	0.182	0.160
1.913	1.337	1.041	0.873	0.737	0.562	0.427	0.348	0.258	0.209	0.178	0.156
1.833	1.317	1.024	0.859	0.724	0.551	0.417	0.340	0.252	0.204	0.174	0.152
1.760	1.298	1.008	0.844	0.712	0.540	0.408	0.332	0.245	0.199	0.169	0.149
1.692	1.280	0.992	0.831	0.699	0.530	0.399	0.324	0.239	0.194	0.165	0.145
1.630	1.262	0.977	0.817	0.688	0.520	0.390	0.316	0.233	0.189	0.162	0.142
1.571	1.228	0.962	0.805	0.676	0.511	0.382	0.309	0.227	0.185	0.158	0.139
1.517	1.228	0.948	0.792	0.665	0.501	0.374	0.302	0.222	0.180	0.151	0.136
1.467	1.212	0.934	0.780	0.655	0.492	0.366	0.295	0.216	0.176	0.151	0.133
1.419	1.197	0.921	0.769	0.645	0.484	0.359	0.289	0.211	0.172	0.147	0.130
1.375	1.182	0.908	0.758	0.635	0.475	0.352	0.282	0.206	0.168	0.144	0.128
1.333	1.167	0.895	0.747	0.625	0.467	0.345	0.276	0.201	0.164	0.141	0.125
1.294	1.153	0.883	0.737	0.616	0.459	0.338	0.270	0.197	0.161	0.138	0.122
1.257	1.126	0.872	0.726	0.607	0.452	0.331	0.265	0.192	0.157	0.135	0.120
1.222	1.126	0.860	0.707	0.598	0.444	0.325	0.259	0.188	0.153	0.132	0.118
1.189	1.114	0.849	0.707	0.590	0.437	0.319	0.253	0.183	0.150	0.129	0.115
1.158	1.101	0.838	0.698	0.582	0.430	0.312	0.248	0.179	0.147	0.127	0.113
1.128	1.089	0.828	0.688	0.573	0.423	0.307	0.243	0.175	0.143	0.124	0.111
1.100	1.077	0.818	0.680	0.566	0.416	0.295	0.238	0.171	0.140	0.121	0.109
1.073	1.065	0.808	0.671	0.558	0.410	0.295	0.233	0.167	0.137	0.119	0.106
1.048	1.054	0.798	0.662	0.550	0.403	0.290	0.228	0.163	0.134	0.116	0.104
1.023	1.043	0.789	0.654	0.543	0.397	0.284	0.224	0.160	0.131	0.114	0.102
平均绝对误差					0.058						

利用表 4.2-9 确定的参数结果，计算得到与表 4.1-1 中经验频率相应的暴雨强度及拟合的平均绝对误差（表 4.2-10）。可知，指数分布的拟合绝对误差为 0.058mm/min。

指数分布曲线拟合得到的 $P-i-t$ 关系见表 4.2-11。

表 4.2-11 指数分布 $P-i-t$ 关系表(单位:mm/min)

重现期 (a)	5min	10min	15min	20min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min
2	1.358	1.059	0.889	0.751	0.574	0.437	0.357	0.265	0.215	0.182	0.160
3	1.549	1.223	1.031	0.877	0.681	0.530	0.438	0.329	0.265	0.224	0.194
5	1.790	1.429	1.210	1.036	0.816	0.646	0.540	0.410	0.328	0.276	0.238
10	2.116	1.709	1.453	1.251	0.999	0.804	0.678	0.519	0.415	0.347	0.297
20	2.443	1.989	1.696	1.466	1.183	0.963	0.816	0.628	0.501	0.417	0.356
30	2.634	2.153	1.838	1.592	1.290	1.055	0.897	0.692	0.551	0.459	0.391
50	2.874	2.360	2.017	1.751	1.425	1.172	0.999	0.773	0.615	0.511	0.435
100	3.201	2.640	2.260	1.966	1.608	1.330	1.137	0.882	0.701	0.581	0.494

5 暴雨强度公式

5.1 $P-i-t$ 关系表的确定

由上分析可知，皮尔逊-III型的绝对误差为 0.027 mm/min，耿贝尔法的绝对误差为 0.029 mm/min，指数分布曲线的绝对误差为 0.058mm/min。《导则》规定，可进行皮尔逊-III型、耿贝尔型、指数型分布函数的拟合试验，从中选取拟合效果较好的理论频率曲线函数类型，当拟合精度差异不大时推荐采用皮尔逊-III型分布函数。综合考虑绝对误差和适线图结果，本报告选择使用皮尔逊-III型拟合得到的 $P-i-t$ 关系表推算暴雨强度公式(表 4.2-8)。

5.2 暴雨强度公式的表达形式

暴雨强度总公式的表达形式为：

$$q = \frac{167 A_1 (1 + CLgP)}{(t + b)^n}; \quad i = \frac{A_1 (1 + CLgP)}{(t + b)^n};$$

单一重现期暴雨强度公式形式为：

$$q = \frac{167 A_1}{(t + b)^n}; \quad i = \frac{A_1}{(t + b)^n};$$

式中 i 为设计暴雨强度(单位: mm/min); q 为设计暴雨强度(单位: L/(s·hm²)); A_1 、 C 、 b 、 n 为地区参数，其值随地区差异而不同。

5.3 暴雨强度公式参数优化

暴雨强度公式参数的求解过程是整个暴雨强度公式编制的核心，可以采用符合数理统计理论基础的数学优化方法求解参数，包括求解非线性方程的方法或最优化方法率定暴雨强度公式参数。《导则》推荐常用求解非线性方程的方法有：牛顿迭代法、高斯-牛顿法、麦夸尔特法、优选回归分析法等。《标准》中则推荐高斯-牛顿法作为年最大值法取样的暴雨强度公式参数优化方法。

5.3.1 雨强度公式参数拟合方法及原理

(1) 牛顿迭代法 (*Newton's Method*) 也叫牛顿法, 是一种基于泰勒展开的解决最小二乘的迭代优化算法。它通过二阶导数信息来逼近函数的局部形状, 并以此为依据进行参数更新, 具有二阶收敛速度, 通常在接近极小值点时收敛更快。然而, 由于需要计算和存储二阶导数矩阵的逆矩阵, 因此在处理大规模问题时可能会面临计算和存储的困难。

设 $f(x)$ 是二次可微的实函数, x_k 是 $f(x)$ 的一个极小点估计, 把 $f(x)$ 在 x_k 处展成二阶泰勒级数并取二阶近似:

$$\begin{aligned} f(x) &\approx \phi(x) \\ &= f(x_k) + \nabla f(x_k)^T (x - x_k) + \frac{1}{2} (x - x_k)^T \nabla^2 f(x_k) (x - x_k) \end{aligned}$$

其中, $\nabla^2 f(x_k)$ 是 $f(x)$ 在 x_k 处的 *Hessian* 矩阵。为求 $\phi(x)$ 的稳定点, 令 $\nabla \phi(x) = 0$, 即 $\nabla f(x_k) + \nabla^2 f(x_k)(x - x_k) = 0$ 。

设 $\nabla^2 f(x_k)$ 可逆, 则由上式可得到牛顿法相应的迭代公式:

$$x_{k+1} = x_k - \nabla^2 f(x_k)^{-1} \nabla f(x_k) \quad (5.3-1)$$

牛顿法具有二阶收敛速率, 收敛速度快等优点, 并且对于正定二次函数仅需一步迭代即可达到最优解。但是初始点如果选择不当, 会导致算法不收敛。当二阶 *Hessian* 矩阵非正定时, 不能保证产生的方向是下降方向。若 *Hessian* 矩阵不可逆, 牛顿法将无法进行。而且在计算过程中需要频繁计算目标函数的 *Hessian* 矩阵, 难度较大, 所以牛顿法仅适合小规模优化问题。

(2) 高斯-牛顿法 (*Gauss-Newton Method*) 是牛顿迭代法的一种改进算法, 它利用在计算梯度时已经得到一阶偏导逼近二阶信息项。高斯-牛顿法假设目标函数可以被表示为二次函数, 并且该函数的 *Hessian* 矩阵是正定的。

设一般的非线性模型形式为:

$$y = f(X, \theta) + \varepsilon$$

式中 f 为一般函数； X 可以是单个自变量，也可以是 r 个自变量 $X = (x_1, x_2, \dots, x_r)$ ； θ 为 p 维参数向量，即 $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p)'$ ； ε 为随机误差项，且 $\varepsilon \in N(0, \sigma^2)$ 。

设对 y 和 X 通过 m 次观测，得到 m 组数据 $(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ir}; y_i)$ ， $i = 1 \sim m$ 。其中 x_{ij} 的两个角标，第一个代表观测序号， $i = 1 \sim m$ ；第二个代表自变量序号， $j = 1 \sim r$ ；求“最小二乘”拟合曲线，就是求 θ 的估计值 $\hat{\theta}$ ，使得 $S(\theta) = \sum_{i=1}^m \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^m [y_i - f(X_i, \theta)]^2$ 为最小。

对于非线性模型，无法直接求“最小二乘”解。若把它对待定参数 $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p)'$ 在 $\theta_0 = (\theta_{1(0)}, \theta_{2(0)}, \dots, \theta_{p(0)})'$ 处展开成只包括一次项的泰勒级数，从而使非线性模型线性化。为方便起见，以下用 $f_i(\theta)$ 代替 $f(X, \theta)$ ，满足上式的 $S(\theta)$ 为最小的参数递推公式，并形成矩阵形式

$$\theta_{(k+1)} = \theta_{(k)} + [J'(\theta_{(k)})J(\theta_{(k)})]^{-1} J'(\theta_{(k)})[y - f(\theta_{(k)})]$$

式中 k 为递推次数。

$$J(\theta_{(k)}) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1(\theta)}{\partial \theta_1} & \frac{\partial f_1(\theta)}{\partial \theta_2} & \dots & \frac{\partial f_1(\theta)}{\partial \theta_p} \\ \frac{\partial f_2(\theta)}{\partial \theta_1} & \frac{\partial f_2(\theta)}{\partial \theta_2} & \dots & \frac{\partial f_2(\theta)}{\partial \theta_p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_m(\theta)}{\partial \theta_1} & \frac{\partial f_m(\theta)}{\partial \theta_2} & \dots & \frac{\partial f_m(\theta)}{\partial \theta_p} \end{bmatrix}_{\theta=\theta_{(k)}}$$

$y = (y_1, y_2, \dots, y_m)'$ ， $f(\theta_{(k)}) = [f_1(\theta_{(k)}), f_2(\theta_{(k)}), \dots, f_m(\theta_{(k)})]'$ 。用矩阵形式从 $\theta_{(0)}$ 开始，一步步递推下去，直到 $\theta_{(k)}$ 收敛稳定，即 $|\theta_{(k+1)} - \theta_{(k)}|$ 的值小于或等于预先指定的小正数 δ ，从而得到 θ 的估计值 $\hat{\theta}$ 。

(3) 麦夸尔特法 (Levenberg-Marquardt) 算法也叫阻尼牛顿法，主要用于解决非线性最小二乘问题。该算法的核心思想是在每次迭代过程中，根据当前步的梯度信息来调整搜索方向和步长，以加速收敛并提高解的精

度。它结合了高斯-牛顿法和梯度下降法的优点。与高斯-牛顿法相比，麦夸尔特法在迭代过程中引入了一个可调整的阻尼参数来平衡高斯-牛顿法的迭代部分和梯度下降算法的下降部分，使得麦夸尔特法在迭代过程中实现更好的收敛效果和更高的解的精度。

设非线性关系式的一般形式为：

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_p; b_1, b_2, \dots, b_m) + \varepsilon$$

上式中 f 是已知非线性函数； $x_1, x_2, \dots, x_p$ 是 p 个自变量； $b_1, b_2, \dots, b_m$ 是 m 个待估的未知参数； ε 是随机误差项。设对 y 和 $x_1, x_2, \dots, x_p$ 通过 N 次观测，即得到 N 组数据

$$(x_{T1}, x_{T2}, \dots, x_{Tp}, y_T) \quad T = 1, 2, \dots, N$$

将自变量的第 T 次观测值代入函数可得：

$$f(x_T, b) = f(x_{T1}, x_{T2}, \dots, x_{Tp}; b_1, b_2, \dots, b_m)$$

因为 $x_{T1}, x_{T2}, \dots, x_{Tp}$ 是已知数，故 $f(x_T, b)$ 便是 $b_1, b_2, \dots, b_m$ 的函数。先给 b 一个初始值 $b^{(0)} = (b_1^{(0)}, b_2^{(0)}, \dots, b_m^{(0)})$ ，将 $f(x_T, b)$ 在 $b^{(0)}$ 处按泰勒级数展开，并略去二次及二次以上的项，得：

$$\begin{aligned} f(x_T, b) \approx & f(x_T, b^{(0)}) + \frac{\partial f(x_T, b)}{\partial b_1} \Big|_{b=b^{(0)}} (b_1 - b_1^{(0)}) + \frac{\partial f(x_T, b)}{\partial b_m} \Big|_{b=b^{(0)}} (b_m - b_m^{(0)}) \\ & + \dots + \frac{\partial f(x_T, b)}{\partial b_m} \Big|_{b=b^{(0)}} (b_m - b_m^{(0)}) \end{aligned}$$

上式是关于未知参数 $b_1, b_2, \dots, b_m$ 的一个线性函数，上式中除 $b_1, b_2, \dots, b_m$ 之外皆为已知参数，对此使用最小二乘法原则，令：

$$Q = \sum_{T=1}^N \left\{ y_T - \left[f(x_T, b^{(0)}) + \sum_{i=1}^m \frac{\partial f(x_T, b)}{\partial b_i} \Big|_{b=b^{(0)}} (b_i - b_i^{(0)}) \right] \right\}^2 + d \sum_{i=1}^m (b_i - b_i^{(0)})^2$$

其中 $d \geq 0$ ，称为阻尼因子。

欲使 Q 值达到最小，令 Q 分别对 $b_1, b_2, \dots, b_m$ 的一阶偏导数等于零，于

是得方程组：

$$0 = \frac{\partial Q}{\partial b_k} = 2 \sum_{T=1}^N \left[y_T - f(x_T, b^{(0)}) + \sum_{i=1}^m \frac{\partial f(x_T, b)}{\partial b_i} \Big|_{b=b^{(0)}} (b_i - b_i^{(0)}) \right] \frac{\partial f(x_T, b)}{\partial b_k} \Big|_{b=b^{(0)}} + 2d(b_k - b_k^{(0)})$$

其中 $k=1,2,\dots,m$ ，并可化为以下形式：

$$\begin{aligned} (a_{11} + d)(b_1 - b_1^{(0)}) + a_{12}(b_2 - b_2^{(0)}) + \dots + a_{1m}(b_m - b_m^{(0)}) &= a_{1y} \\ a_{21}(b_1 - b_1^{(0)}) + (a_{22} + d)(b_2 - b_2^{(0)}) + \dots + a_{2m}(b_m - b_m^{(0)}) &= a_{2y} \\ &\dots\dots \end{aligned} \quad (5.3-2)$$

$$a_{m1}(b_1 - b_1^{(0)}) + a_{m2}(b_2 - b_2^{(0)}) + \dots + (a_{mm} + d)(b_m - b_m^{(0)}) = a_{my}$$

上式中

$$\begin{aligned} a_{jk} &= \sum_{T=1}^N \frac{\partial f(x_T, b)}{\partial b_j} \Big|_{b=b^{(0)}} \cdot \frac{\partial f(x_T, b)}{\partial b_k} \Big|_{b=b^{(0)}} = a_{kj} \\ a_{jy} &= \sum_{T=1}^N (y_T - f(x_T, b^{(0)})) \cdot \frac{\partial f(x_T, b)}{\partial b_j} \Big|_{b=b^{(0)}} \end{aligned}$$

其中 $j=1,2,\dots,m; k=1,2,\dots,m$ 。

从而可解得

$$\begin{vmatrix} b_1 - b_1^{(0)} \\ b_2 - b_2^{(0)} \\ \dots\dots\dots \\ b_m - b_m^{(0)} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11} + d^{(0)} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} + d^{(0)} & \dots & a_{2m} \\ \dots\dots\dots & & & \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mm} + d^{(0)} \end{vmatrix}^{-1} \begin{vmatrix} a_{1y} \\ a_{2y} \\ \dots \\ a_{my} \end{vmatrix}$$

或

$$b = \begin{vmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_m \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} b_1^{(0)} \\ b_2^{(0)} \\ \dots \\ b_m^{(0)} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} a_{11} + d^{(0)} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} + d^{(0)} & \dots & a_{2m} \\ \dots & & & \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mm} + d^{(0)} \end{vmatrix}^{-1} \begin{vmatrix} a_{1y} \\ a_{2y} \\ \dots \\ a_{my} \end{vmatrix}$$

此解与代入的初始值 $b_1^{(0)}, b_2^{(0)}, \dots, b_m^{(0)}$ 和 $d^{(0)}$ 有关。若解得的各 b_i 与 $b_i^{(0)}$ 之差的绝对值皆很小，则认为估计成功。如果 $b_i - b_i^{(0)}$ 较大，则把上一

步算得的 b_i 作为新的 $b_i^{(0)}$ 代入 (5.3-2) 式, 从头开始上述计算再解出新的 b_i 又作为新的 $b_i^{(0)}$ 再代入 (5.3-2) 式, 又从头开始, 如此反复迭代, 直至 b_i 与 $b_i^{(0)}$ 之差可以忽略为止。在式 (5.3-2) 中, 因 $a_{1y}, a_{2y}, \dots, a_{my}$ 是定值, 故 d 值愈大必然使得 $b_1 - b_1^{(0)}, b_2 - b_2^{(0)}, \dots, b_m - b_m^{(0)}$ 的绝对值愈小, 极端的情况有 $\lim_{l \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^m (b_i - b_i^{(0)})^2 = 0$ (式中 l 为迭代次数), 但如果 d 值选择过大将增加迭代的次数。为减少迭代次数, d 又要选得稍小, 选择的界限要看残差平方和是否下降。于是在迭代过程中需要不断变化 d 的取值。

(4) 拟牛顿法 (*Quasi-Newton Method*) 是一种改进的牛顿法, 也叫修正牛顿法, 其本质思想是通过构造一个不包含二阶导数的正定矩阵来近似代替牛顿法中的 *Hessian* 矩阵或者其逆矩阵, 产生在近似矩阵范数意义下的最速下降方向, 从而显著减少牛顿法在求解大规模非线性优化问题时的计算量和存储需求。其优点是具有快速收敛速度, 通常在处理非线性最小二乘问题时表现良好。

为构造牛顿法式 (5.3-1) 中 $\nabla^2 f(x_k)^{-1}$ 的近似矩阵 H_k , 先分析 $\nabla^2 f(x_k)^{-1}$ 与一阶导数的关系。设在第 k 次迭代后, 得到点 x_{k+1} , 将 $f(x)$ 在 x_{k+1} 点展成泰勒级数, 并取二阶近似, 得:

$$f(x) \approx f(x_{k+1}) + \nabla f(x_{k+1})^T (x - x_{k+1}) + 1/2 (x - x_{k+1})^T \nabla^2 f(x_{k+1}) (x - x_{k+1})$$

令 $g_{k+1} = \nabla f(x_{k+1})$, $G_{k+1} = \nabla^2 f(x_{k+1})$, 对上式两边关于 x 求梯度:

$$\nabla f(x) \approx g_{k+1} + G_{k+1} (x - x_{k+1})$$

令 $x = x_k$ 得到

$$g_{k+1} - g_k \approx G_{k+1} (x_{k+1} - x_k)$$

记 $y_k \triangleq g_{k+1} - g_k$, $s_k \triangleq x_{k+1} - x_k$ 则

$$y_k \approx G_{k+1} s_k$$

因此，构造 *Hessian* 矩阵 $\nabla^2 f(x_{k+1})$ 的近似矩阵 B_{k+1} ，使其满足：

$$y_k = B_{k+1} s_k \quad (5.3-3)$$

若引入矩阵 B_{k+1} 的逆 H_{k+1} ，就得到

$$H_{k+1} y_k = s_k \quad (5.3-4)$$

方程 (5.3-3) (5.3-4) 均称为拟牛顿方程，也称作拟牛顿条件。进而利用拟牛顿方程沿拟牛顿方向 $d_k = -H_k g_k$ 或 $B_k d_k = -g_k$ 进行线性搜索来产生新的迭代点。

对于构造 *Hessian* 矩阵的近似，一般通过修正 B_k 即 $B_{k+1} = B_k + \Delta B_k$ 来满足拟牛顿方程，当 B_k 已知时，通过修正 ΔB_k 来得到 B_{k+1} 。这样因为 B_k 和 ΔB_k 的不同就可以得到多种不同种类的迭代算法，而这些算法统称为拟牛顿算法。其中常用的 *BFGS* 修正公式如下：

$$B_{k+1} = B_k + \frac{y_k y_k^T}{y_k^T s_k} - \frac{B_k s_k s_k^T B_k}{s_k^T B_k s_k}$$

关于 H 的 *BFGS* 公式为：

$$H_{k+1}^{BFGS} = H_k + \left(1 + \frac{y_k^T H_k y_k}{s_k^T y_k} \right) \frac{s_k s_k^T}{s_k^T y_k} - \frac{s_k y_k^T H_k + H_k y_k s_k^T}{s_k^T y_k}$$

它的算法一般如下：

步骤 1，给定初始点 $x_0 \in R^n$ ，初始对称正定矩阵 $B_0 \in R^{m \times n}$ 或 $H_0 \in R^{m \times n}$ ，精度 $\varepsilon > 0$ ，令 $k = 0$ ；

步骤 2，计算 $d_k = -H_k g_k$ 或 $B_k d_k = -g_k$ ，若 $\|\nabla f(x_k)\| \leq \varepsilon$ ，则算法终止；

步骤 3，沿搜索方向做线性搜索求 α_k ，令 $x_{k+1} = x_k + \alpha_k d_k$ ；

步骤 4，校正 H_k 产生 H_{k+1} ，令 $k := k + 1$ ，转步骤 2。

(5) 元启发式优化算法 (*MetaHeuristic Algorithm*) 是一类通用启发式策略，用来指导传统启发式算法朝着可能含有高质量解的搜索空间进行搜索，是人类通过对自然界现象的模拟和生物智能的学习，提出的一类新型

的搜索技术。这类算法的优点是能够弥补传统算法只生成数量非常有限的解或者易陷入质量不高的局部最优的缺陷，但也存在需要大量的计算时间和计算资源来运行以及调参复杂等缺点。元启发式优化算法主要可分为四类：基于进化的算法、基于群体智能的算法、基于人类（人类行为）的算法、基于物理和化学的算法。各类元启发式优化算法的代表性算法如图 5.3-1 所示，本报告选取其中的遗传算法作为暴雨强度公式参数优化拟合的方法之一。

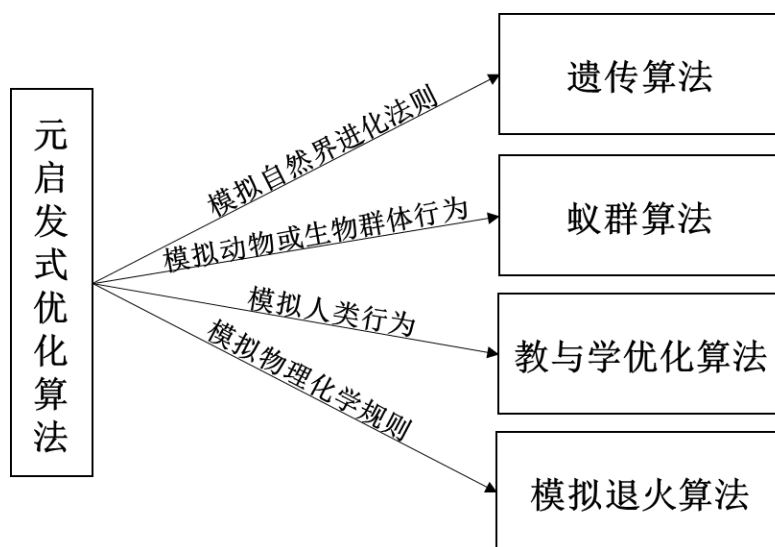


图 5.3-1 元启发式优化算法分类图

遗传算法（*Genetic Algorithm, GA*）是元启发式优化算法中基于进化的代表性算法，起源于对生物系统所进行的计算机模拟研究，它是模仿自然界生物进化机制发展起来的随机全局搜索和优化方法，借鉴了达尔文的进化论和孟德尔的遗传学说。它的基本思想是根据待求解优化问题的目标函数构造一个适应度函数。然后，按照一定的规则生成经过基因编码的初始群体，对群体进行评价、遗传运算（交叉和变异）、选择等操作，引导搜索过程向“最适应环境”的个体（最优解）逼近，逐代演化出越来越好的近似解，最终收敛到问题的最优解或满意解。其本质是一种高效、并行、全局搜索的方法，能在搜索过程中自动获取和积累有关搜索空间的知识，并自适应地控制搜索过程以求得最佳解，缺点是收敛速度受参数设置及计算机

硬件等条件影响往往比较耗时。

遗传算法的主要步骤和基本流程图如下：

(a) 初始化：随机生成含有 N 个个体的初始种群 $P = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ ，每个个体经过编码对应着待求解优化问题的一个初始解。

(b) 计算适应值：个体 $X_i, i = 1, 2, \dots, n$ ，由指定的适应度函数评价其适应环境的能力。不同问题的适应度函数构造方式不同，对函数优化问题，通常取目标函数作为适应度函数。

(c) 选择：根据某种策略从当前种群中选择出 M 个个体作为重新繁殖的下一代群体。选择的依据通常是根据个体的适应度高低进行的，适应度高的个体相比适应度较低的个体为下一代贡献一个或多个后代的概率更大。选择过程体现了达尔文的“适者生存”原则。常用的选择策略有轮盘赌选择法、期望值选择法等。其中轮盘赌选择法又称为适应度比例选择或蒙特卡罗选择法，是一种回放式随机采样方法。该方法的基本思想是：种群中各个个体被选择的概率和其适应度值成正比例。对于个体 i ，设初始种群大小为 n ，适应度函数为 $f_i (i = 1, 2, \dots, n)$ ，则该个体被选中的概率 P_i 可以表示为：

$$P_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^n f_i}, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

(d) 遗传运算：遗传运算主要包括交叉与变异两个运算过程。交叉运算体现了个体间信息交换的思想，变异运算增强了种群的多样性，使得个体有进一步探索新解的能力。

交叉运算也称为杂交或基因重组。它是把两个父代个体的相对应的部分结构加以替换重组，而生成一个新个体的操作。交叉的目的是为了能够在下一代中产生新的个体，就像人类社会的婚姻过程。通过重组交叉操作，遗传算法的搜索能力能得到飞跃地提高。依据个体编码表示方法的不同，有二进制交叉和实值重组等常用算法。其中常用的二进制交叉包括单点交

叉、多点交叉、均匀交叉等方法。交叉运算的一般性步骤为，在选择出的 M 个个体中，以事件给定的杂交概率 P_c 任意选择出两个个体进行交叉运算，产生两个新的个体，重复此过程直到所有要求杂交的个体杂交完毕。

变异运算是将染色体位串种的某些基因位上的基因值用该基因位上的其他等位基因替换，从而形成一个新的个体。实质上是子代基因按照小概率突变产生的变化，目的是为了增强种群多样性，在遗传算法收敛到某个局部最优解时，此时种群种的染色体趋于一致，采用变异操作将使搜索跳出局部最优解。常用的变异运算方法有按位变异、高斯变异、有向变异等。变异运算的一般性步骤为，根据事先给定的概率 P_m 在 M 个个体中选择出若干个体，按一定的策略对选中的个体进行变异运算。

(e) 检验算法的停止条件：若满足则停止算法的执行，将最优个体经过解码得到所需的最优解，否则转到步骤 (b) 重新进行迭代过程。每一次进化过程就产生新一代的种群，种群内的个体经过进化最终达到或接近最终解。

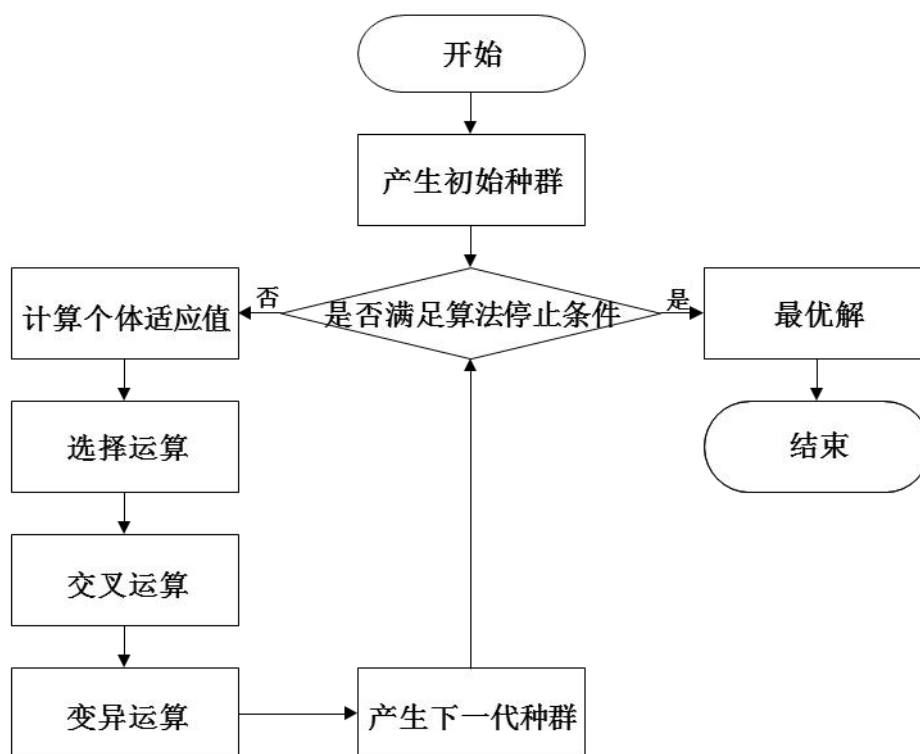


图 5.3-2 遗传算法基本流程

上述常用非线性参数优化方法间的逻辑关系如图 5.3-3 所示，可见高斯

-牛顿法和拟牛顿法是对牛顿迭代法的改进，而麦夸尔特法是对高斯-牛顿法的优化改进。综合分析上述各算法特点，本报告选取高斯-牛顿法、麦夸尔特法、拟牛顿法、遗传算法对暴雨强度公式参数进行拟合优化，并根据《导则》《标准》相关要求，选取误差最优结果作为暴雨强度公式最终参数。

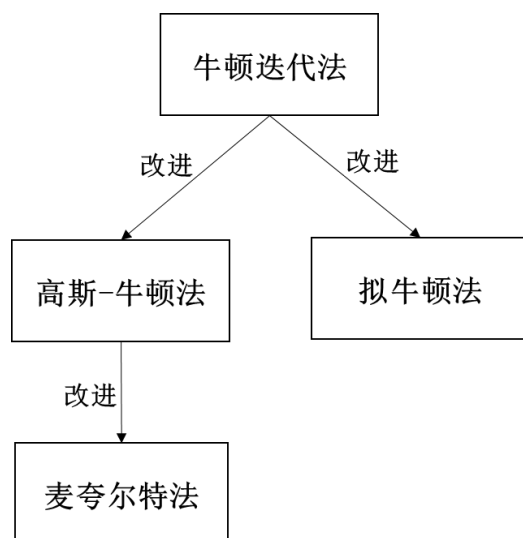


图 5.3-3 牛顿迭代法、高斯-牛顿法、麦夸尔特法、拟牛顿法间的关系图

5.3.2 暴雨强度公式拟合精度检验方法

按《标准》和《导则》的要求，为确保计算结果的准确性，需对暴雨强度计算结果进行精度检验，宜按绝对均方差计算，也可以辅以相对均方差计算。计算重现期在 2~20 年时，在一般降雨强度的地方，平均绝对均方差不宜大于 0.05mm/min；在较大降雨强度的地方，平均相对均方差不宜大于 5%。平均绝对均方差 σ_1 和平均相对均方差 σ_2 表达式如下：

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{1}{m} \sum (i_g - i_j)^2} ;$$

$$\sigma_2 = \sqrt{\frac{1}{m} \sum \left(\frac{i_g - i_j}{i_g} \right)^2} \times 100\%$$

其中 i_g 为 $P-i-t$ 关系表中暴雨强度值（mm/min）， i_j 为基于暴雨强度公式的理论暴雨强度值（mm/min）； $m=k*s$ ，其中 k 为历时总数， s 为重现期总数。

按照上述方法，本报告分别计算了拟合的暴雨强度总公式、单一重现期公式平均绝对均方差，以及总公式重现期在 2~20 年平均绝对均方差和平均相对均方差（表 5.3-1）。由表 5.3-3、5.3-4 可知，无论是暴雨强度总公式还是单一重现期公式，误差均符合《标准》和《导则》要求。

表 5.3-1 暴雨强度公式的总公式拟合误差(单位: mm/min)

重现期(a)	5min	10min	15min	20min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min
2	-0.039	0.029	0.044	0.066	0.087	0.086	0.072	0.056	0.047	0.039	0.034
3	-0.080	-0.015	0.003	0.031	0.054	0.049	0.044	0.036	0.032	0.028	0.025
5	-0.193	-0.121	-0.093	-0.053	-0.021	-0.025	-0.014	-0.007	-0.001	0.002	0.003
10	-0.387	-0.298	-0.253	-0.192	-0.144	-0.143	-0.108	-0.076	-0.056	-0.041	-0.033
20	-0.574	-0.470	-0.409	-0.329	-0.266	-0.260	-0.202	-0.144	-0.110	-0.084	-0.070
30	-0.655	-0.548	-0.481	-0.392	-0.323	-0.318	-0.247	-0.178	-0.136	-0.105	-0.087
50	-0.778	-0.662	-0.586	-0.485	-0.407	-0.399	-0.312	-0.226	-0.173	-0.135	-0.112
100	-0.966	-0.835	-0.744	-0.623	-0.530	-0.519	-0.407	-0.296	-0.229	-0.179	-0.150
均方根误差	0.039			2-20 年平均绝对均方根误差		0.031		2-20 年平均相对均方根误差		4.921%	

5.3.3 暴雨强度公式拟合结果

根据上一章中选定的皮尔逊-型曲线形成的 $P-i-t$ 关系表（表 4.2-8），运用麦夸尔特法、拟牛顿法、遗传算法编程拟合得到的暴雨强度公式参数及拟合误差见表 5.3-2。

表 5.3-2 三种不同方法拟合暴雨强度公式参数及误差表

拟合方法	A	C	b	n	总公式 平均绝对均方差	2~20 年总公式 平均绝对均方差	2~20 年总公式 平均相对均方差 (%)
麦夸尔特法	11.594	0.971	13.428	0.818	0.039	0.031	4.923
拟牛顿法	11.600	0.971	13.432	0.818	0.039	0.031	4.921
遗传算法	17.780	0.965	17.306	0.907	0.042	0.035	4.336

表 5.3-1 为三种不同方法拟合暴雨强度公式参数误差结果，其中拟牛顿法的总公式平均绝对均方差、2~20 年总公式平均绝对均方差和 2~20 年平均相对均方差最小，因此本报告最终选取拟牛顿法拟合参数作为暴雨强度公式参数，其总公式形式如下：

$$q = \frac{1937.200(1+0.971 \lg P)}{(t+13.433)^{0.818}}$$

$$i = \frac{11.600(1+0.971 \lg P)}{(t+13.433)^{0.818}}$$

根据暴雨强度公式得到的理论雨强 i 见表 5.3-3。

表 5.3-3 暴雨强度公式的理论雨强 (单位: mm/min)

重现期(a)	5min	10min	15min	20min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min
2	1.383	1.136	0.970	0.850	0.686	0.538	0.446	0.337	0.274	0.232	0.202
3	1.565	1.286	1.098	0.962	0.777	0.609	0.505	0.382	0.310	0.263	0.229
5	1.796	1.476	1.260	1.103	0.891	0.699	0.580	0.438	0.356	0.301	0.263
10	2.108	1.733	1.479	1.296	1.046	0.821	0.681	0.514	0.418	0.354	0.308
20	2.421	1.990	1.698	1.488	1.201	0.942	0.782	0.591	0.480	0.406	0.354
30	2.604	2.140	1.827	1.600	1.292	1.013	0.841	0.635	0.516	0.437	0.381
50	2.834	2.329	1.988	1.742	1.406	1.103	0.915	0.691	0.561	0.476	0.414
100	3.147	2.586	2.208	1.934	1.561	1.225	1.016	0.768	0.623	0.528	0.460

同时，本报告还计算了单一重现期暴雨强度公式及其拟合的平均绝对均方差。此外，由于在实际中经常用到 1a 重现期的暴雨强度，因此在推算单一重现期暴雨强度公式时，增加了 1a 重现期公式，结果见表 5.3-4。

表 5.3-4 年最大值法暴雨强度公式

重现期 (a)	q (L/(s · hm ²))	i (mm/min)	平均绝对均方差
总公式	$q = \frac{1937.200(1+0.971 \lg P)}{(t+13.433)^{0.818}}$	$i = \frac{11.600(1+0.971 \lg P)}{(t+13.433)^{0.818}}$	0.039
$P=2a$	$q = \frac{2258.308}{(t+9.394)^{0.844}}$	$i = \frac{13.523}{(t+9.394)^{0.844}}$	0.007
$P=3a$	$q = \frac{2654.916}{(t+10.232)^{0.832}}$	$i = \frac{15.898}{(t+10.232)^{0.832}}$	0.005
$P=5a$	$q = \frac{3131.467}{(t+11.186)^{0.824}}$	$i = \frac{18.751}{(t+11.186)^{0.824}}$	0.006
$P=10a$	$q = \frac{3785.055}{(t+12.391)^{0.820}}$	$i = \frac{22.665}{(t+12.391)^{0.820}}$	0.011
$P=20a$	$q = \frac{4470.423}{(t+13.534)^{0.820}}$	$i = \frac{26.770}{(t+13.534)^{0.820}}$	0.016
$P=30a$	$q = \frac{4891.263}{(t+14.183)^{0.820}}$	$i = \frac{29.289}{(t+14.183)^{0.820}}$	0.020
$P=50a$	$q = \frac{5444.200}{(t+14.984)^{0.822}}$	$i = \frac{32.600}{(t+14.984)^{0.822}}$	0.024
$P=100a$	$q = \frac{6245.466}{(t+16.046)^{0.826}}$	$i = \frac{37.398}{(t+16.046)^{0.826}}$	0.030
$P=1a$	$q = \frac{1563.805}{(t+7.903)^{0.872}}$	$i = \frac{9.364}{(t+7.903)^{0.872}}$	0.010

注：重现期在 2~20 年时，总公式平均绝对均方差为 0.031mm/min。

6 短历时暴雨雨型确定

短历时暴雨雨型在排水管道系统计算机模型建立时是必须的。研究雨水调蓄系统时，最好用雨型进行设计校核。短历时暴雨雨型主要用于确定设计暴雨的时间变化过程。《导则》推荐短历时暴雨雨型可采用芝加哥法雨型。芝加哥法雨型是在暴雨强度公式的基础上，根据统计综合雨峰位置系数确定，工程应用方便。

芝加哥法雨型确定包括综合雨峰位置系数确定及芝加哥降雨过程模型确定，具体流程如下：

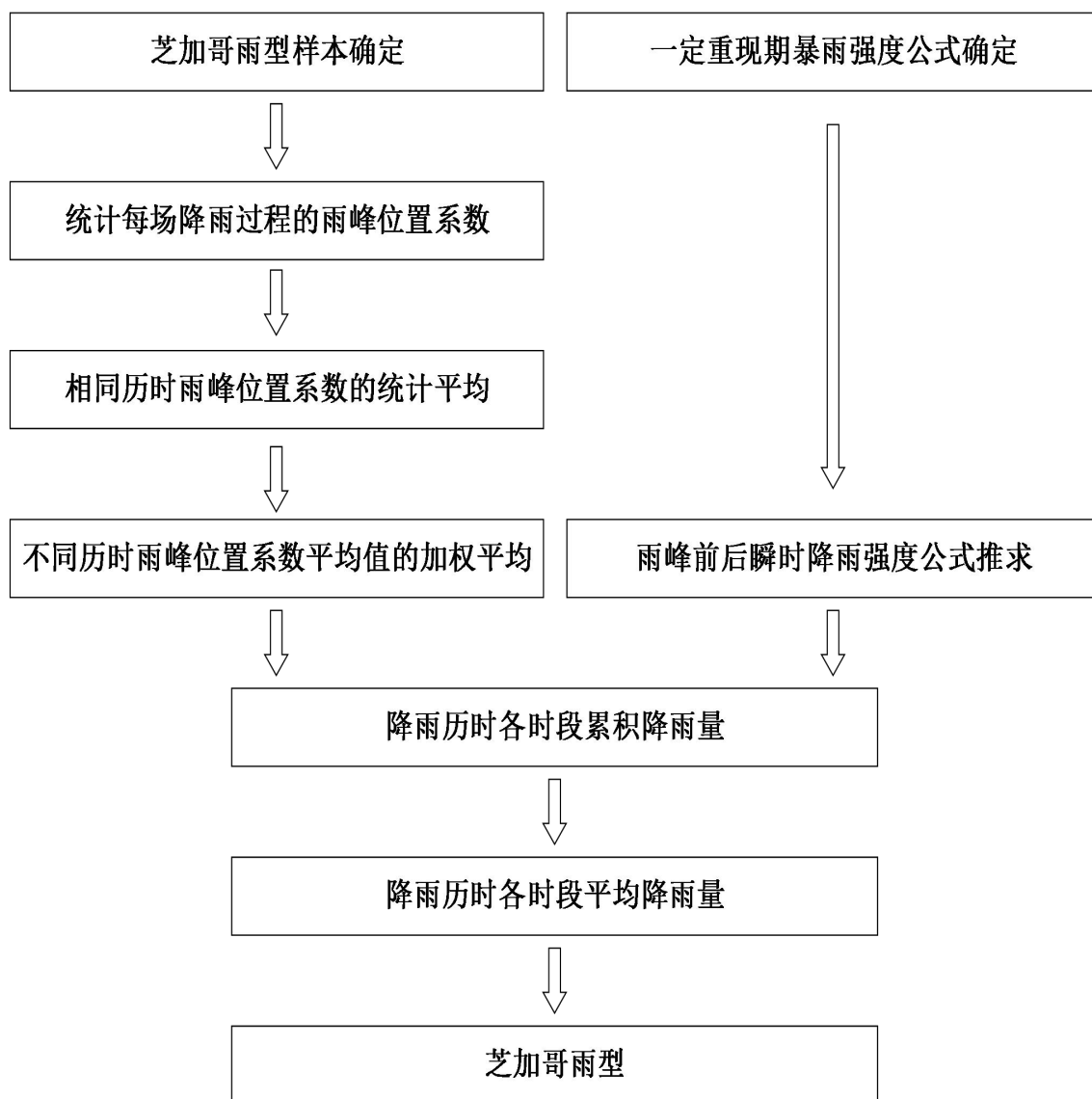


图 6-1 芝加哥法雨型确定流程

6.1 雨峰位置系数的计算

(1) 根据《导则》短历时暴雨雨型确定的降雨历时采用 30 min、60 min、90 min、120 min、150 min、180 min 共 6 个历时。

(2) 选取降雨资料样本中各降雨历时雨量的逐年最大值的降雨场次，记录选定降雨场次过程开始时间及逐分钟降雨量，作为芝加哥法雨型统计的有效暴雨资料样本。

(3) 将各降雨历时的逐年最大降雨过程样本，以 5 min 为间隔进行分段，统计降雨过程的雨峰位置系数。

$$r_i = \frac{t_i}{T_i};$$

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。

(4) 先将历时相同的逐年最大降雨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各历时的长度进行加权平均，求出综合雨峰位置系数。

下表给出了各降雨历时的逐年选定降雨过程的雨峰位置系数及综合雨峰位置系数。

表 6.1-1 各历时雨峰位置系数

年份	30min	60min	90min	120min	150min	180min
1981	0.667	0.667	0.278	0.292	0.167	0.139
1982	0.500	0.250	0.056	0.083	0.067	0.056
1983	0.500	0.250	0.167	0.125	0.100	0.111
1984	0.167	0.167	0.111	0.083	0.067	0.056
1985	0.500	0.167	0.111	0.083	0.067	0.056
1986	0.167	0.417	0.611	0.875	0.767	0.778
1987	0.167	0.250	0.167	0.208	0.067	0.139
1988	0.833	0.250	0.500	0.167	0.333	0.306
1989	0.333	0.333	0.222	0.167	0.133	0.111
1990	0.667	0.333	0.278	0.208	0.167	0.139
1991	0.333	0.250	0.167	0.125	0.200	0.194
1992	0.667	0.583	0.389	0.292	0.233	0.194
1993	0.833	0.833	0.722	0.958	0.900	0.972
1994	0.500	0.167	0.167	0.125	0.100	0.083
1995	0.833	0.917	0.833	0.917	0.867	0.833
1996	0.667	0.833	0.833	0.750	0.533	0.611
1997	1.000	0.500	0.611	0.833	0.767	0.833
1998	0.500	0.250	0.167	0.125	0.100	0.917
1999	1.000	0.833	0.444	0.500	0.633	0.611
2000	0.167	0.167	0.556	0.417	0.333	0.278
2001	0.333	0.167	0.111	0.042	0.100	0.083
2002	0.333	0.500	0.111	0.292	0.233	0.194
2003	0.833	0.333	0.222	0.333	0.433	0.361
2004	0.833	0.750	0.778	0.625	0.700	0.389
2005	0.833	0.583	0.444	0.333	0.267	0.222
2006	0.167	0.750	0.889	0.875	0.467	0.556
2007	0.333	0.083	0.056	0.042	0.100	0.111
2008	0.333	0.167	0.389	0.292	0.233	0.194
2009	0.500	0.167	0.167	0.125	0.100	0.139
2010	0.167	0.083	0.056	0.500	0.267	0.361
2011	0.833	0.417	1.000	0.667	0.800	0.806
2012	0.500	0.167	0.278	0.208	0.467	0.389
2013	0.167	0.500	0.444	0.458	0.500	0.917
2014	0.333	0.167	0.111	0.083	0.067	0.056
2015	0.333	0.167	0.111	0.083	0.067	0.056
2016	0.167	0.333	0.222	0.208	0.167	0.167
2017	0.500	0.333	0.556	0.375	0.333	0.556
2018	0.333	0.500	0.333	0.250	0.200	0.167
2019	0.500	0.250	0.167	0.125	0.900	0.778
2020	0.333	0.917	0.889	0.750	0.600	0.611
2021	0.833	1.000	0.667	0.500	0.400	0.278
2022	0.667	0.333	0.222	0.792	0.867	0.722
2023	0.333	0.417	0.722	0.542	0.433	0.361
平均值	0.500	0.407	0.380	0.368	0.356	0.370
综合雨峰系数			0.377			

6.2 芝加哥法雨型确定

芝加哥法雨型是以统计的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个部分。令峰前的瞬时强度为 $i(t_b)$, 相应的时刻为 t_b , 峰后的强度为 $i(t_a)$, 相应时刻为 t_a 。取一定重现期下暴雨强度公式形式为:

$$i = \frac{A}{(t+b)^n}$$

雨峰前后降雨强度可由下式计算:

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

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

从而确定出对应一定重现期及降雨历时的芝加哥法雨型。表 6.2-1 中给出了根据年最大值法暴雨强度总公式计算的各历时 2a 重现期芝加哥法雨型各时段平均雨强。图 6.2-1 是根据表 6.2-1 绘制的芝加哥雨型图。

根据附表中雨型图变化过程可以看出: 同一重现期, 历时越大, 雨峰对应的历时越大, 同时雨峰对应的雨强值越大。

表 6.2-1 各历时 $P=2a$ 时芝加哥法雨型各时段平均雨强

t=30min P=2a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.407	0.853	1.334	0.719	0.463	0.334
t=60min P=2a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.172	0.234	0.354	0.670	1.378	0.831
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	0.513	0.362	0.276	0.221	0.184	0.157
t=90min P=2a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.107	0.129	0.161	0.214	0.312	0.547
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	1.305	0.978	0.573	0.393	0.294	0.233
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	0.192	0.163	0.142	0.125	0.112	0.101
t=120min P=2a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.078	0.088	0.103	0.122	0.151	0.197
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	0.279	0.460	1.074	1.177	0.647	0.429
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	0.316	0.247	0.202	0.170	0.147	0.129
时段	95	100	105	110	115	120
雨强	0.115	0.104	0.094	0.087	0.080	0.074
t=150min P=2a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.061	0.067	0.075	0.085	0.099	0.117
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	0.142	0.183	0.252	0.395	0.809	1.353
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	0.739	0.473	0.340	0.262	0.212	0.178
时段	95	100	105	110	115	120
雨强	0.152	0.133	0.118	0.106	0.097	0.089
时段	125	130	135	140	145	150
雨强	0.082	0.076	0.071	0.066	0.063	0.059
t=180min P=2a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.051	0.055	0.060	0.066	0.073	0.082
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	0.095	0.111	0.135	0.170	0.229	0.344
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	0.641	1.383	0.858	0.524	0.368	0.279
时段	95	100	105	110	115	120
雨强	0.224	0.186	0.158	0.138	0.122	0.109
时段	125	130	135	140	145	150
雨强	0.099	0.091	0.083	0.077	0.072	0.068
时段	155	160	165	170	175	180
雨强	0.064	0.060	0.057	0.054	0.051	0.049

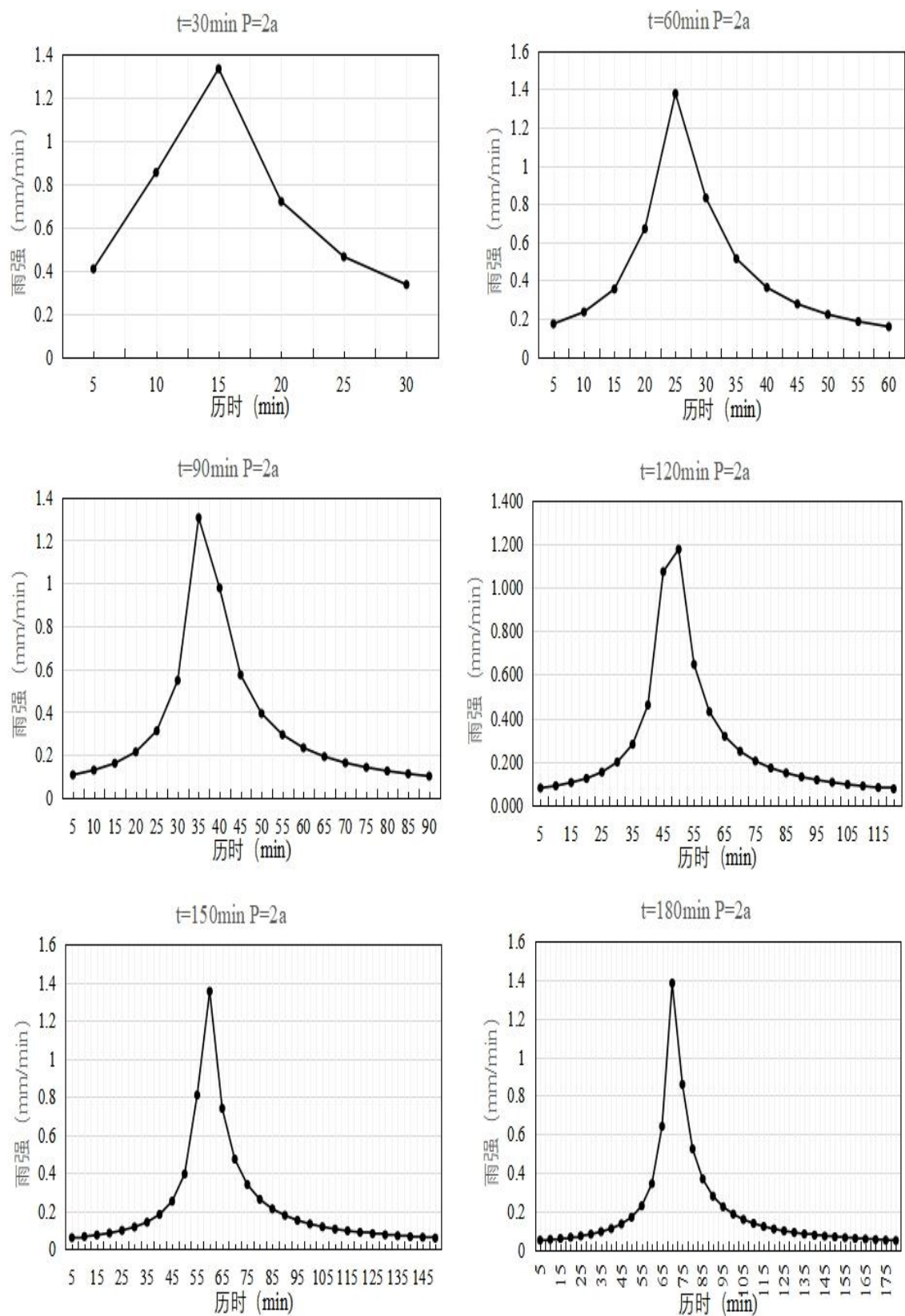


图 6.2-1 重现期为 2a 时各历时芝加哥雨型图

7 常用图表

为便于使用，本节给出常用查算图表。根据《导则》规定，本章节中查算图表是根据年最大值法得到的单一重现期公式制作的。

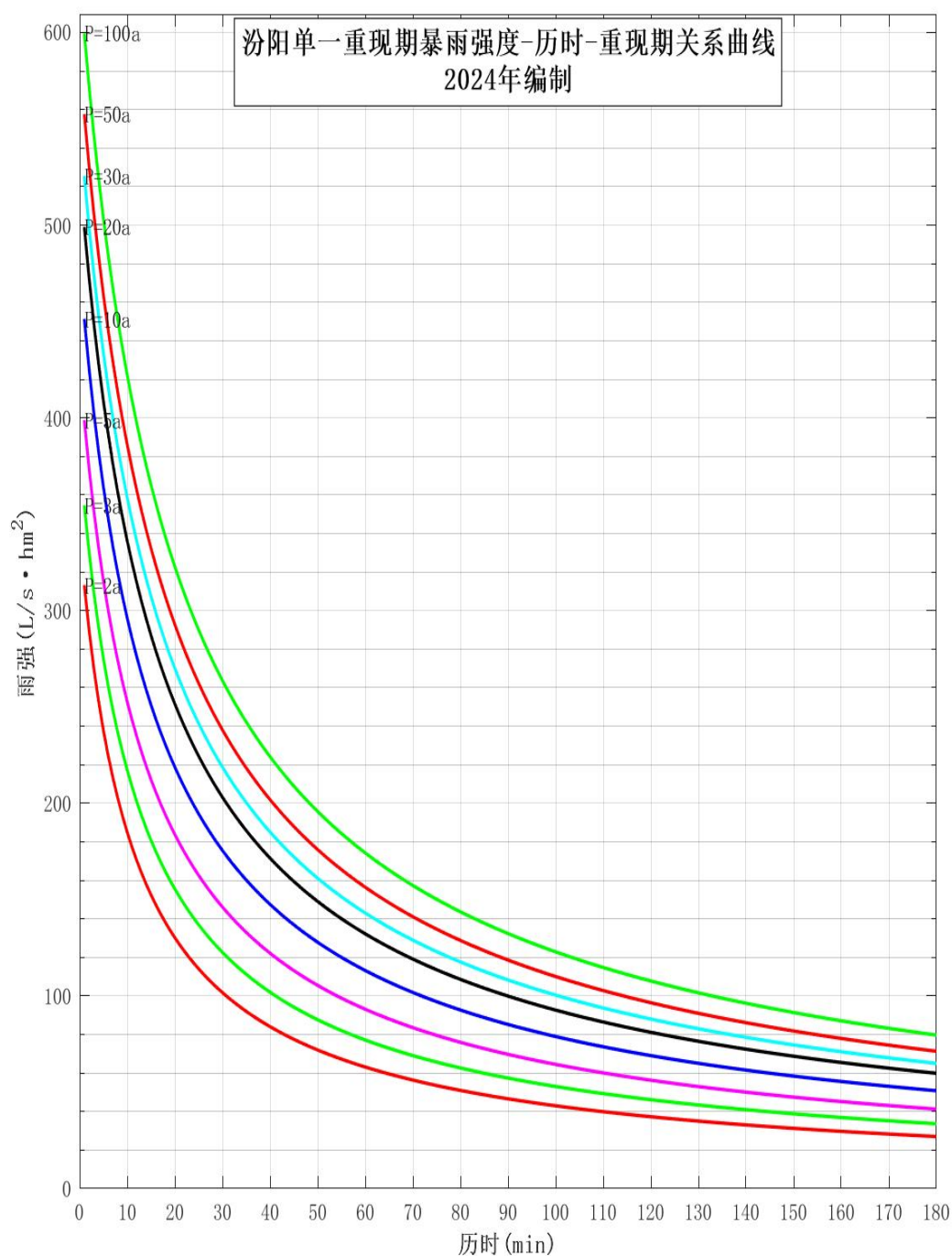


图 7-1 单一重现期公式暴雨强度-历时-重现期关系曲线图

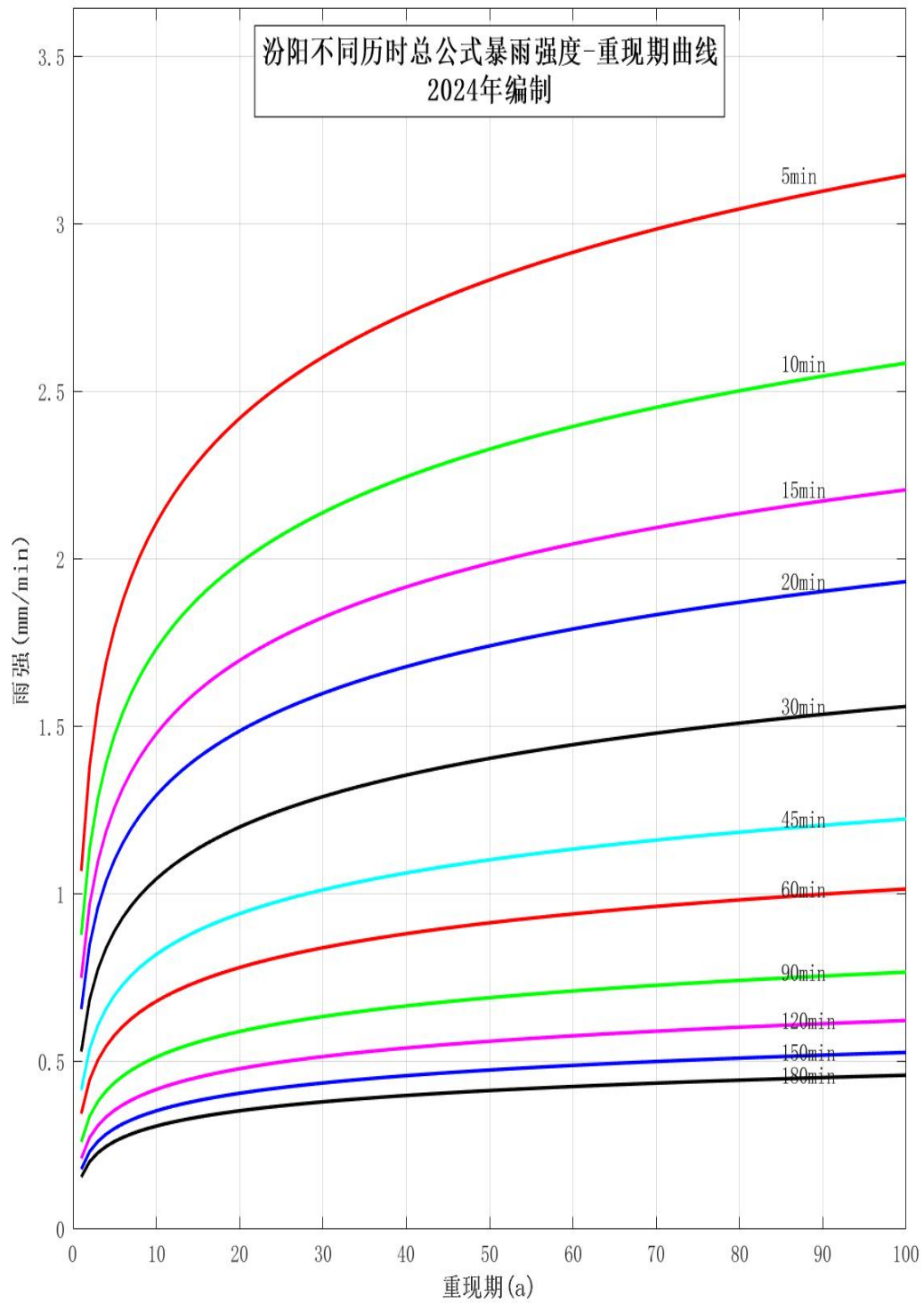


图 7-2 不同历时的暴雨强度重现期关系曲线图

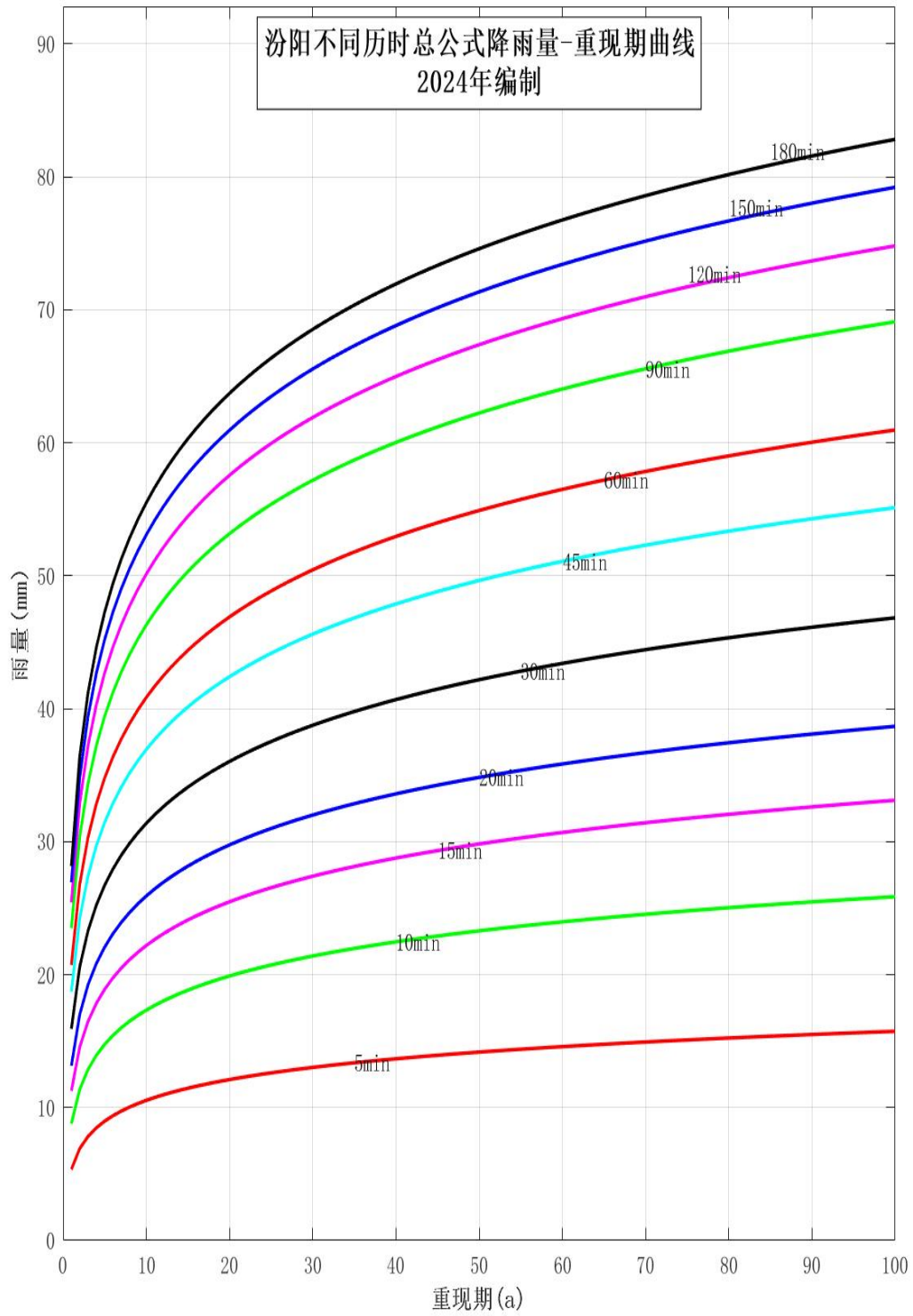


图 7-3 不同历时的降雨量重现期关系曲线图

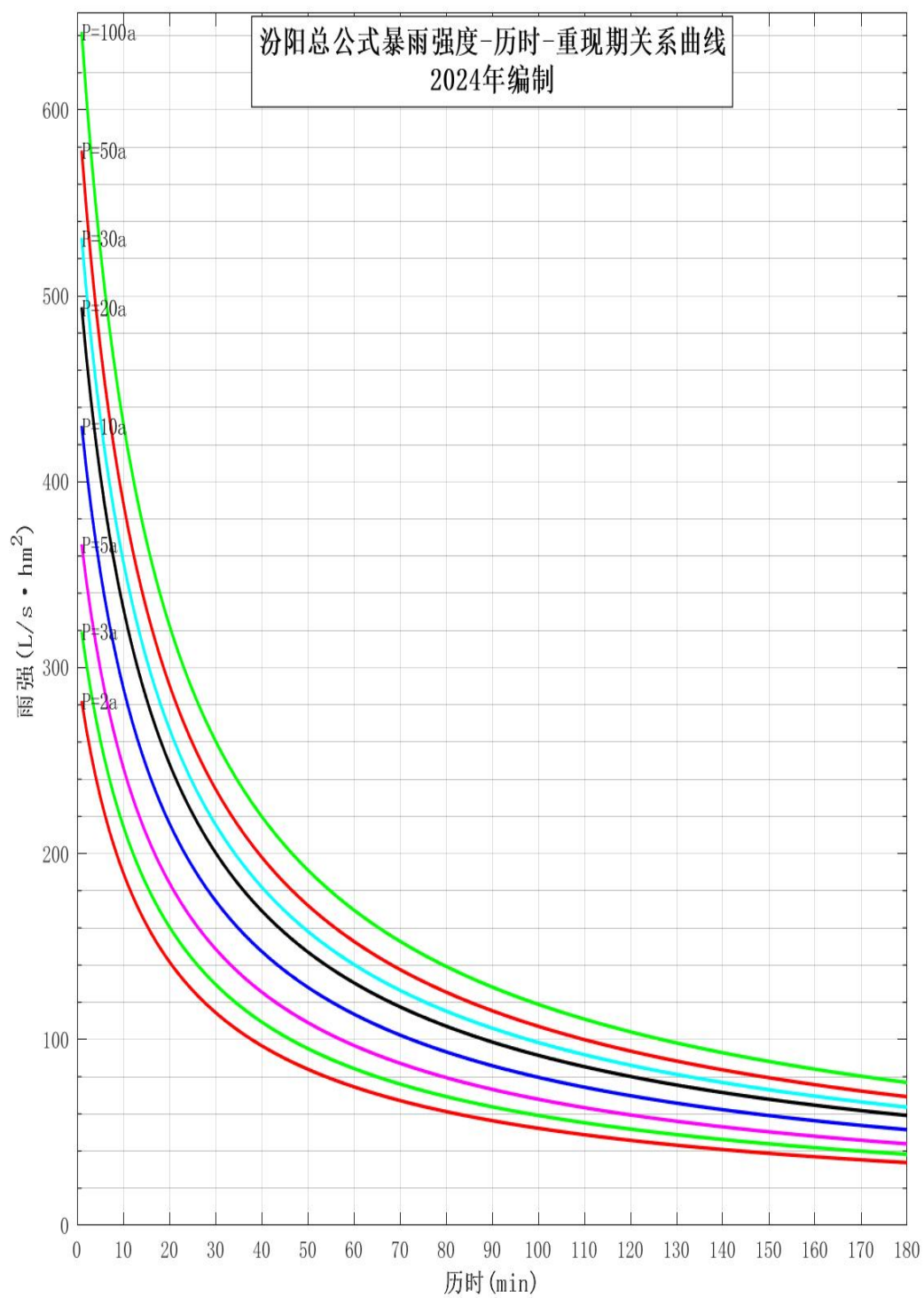


图 7-4 总公式暴雨强度-历时-重现期关系曲线图

表 7-1 单一重现期暴雨强度-历时-重现期关系表(mm/min)

历时(min)	2a	3a	5a	10a	20a	30a	50a	100a
5	1.425	1.648	1.890	2.182	2.449	2.598	2.779	3.016
10	1.108	1.301	1.514	1.774	2.014	2.148	2.313	2.529
15	0.913	1.083	1.271	1.504	1.720	1.841	1.991	2.188
20	0.780	0.932	1.101	1.310	1.507	1.617	1.753	1.934
25	0.683	0.820	0.974	1.165	1.345	1.446	1.571	1.737
30	0.609	0.734	0.875	1.051	1.217	1.310	1.426	1.579
35	0.551	0.666	0.796	0.959	1.113	1.200	1.308	1.450
40	0.504	0.611	0.732	0.884	1.027	1.108	1.209	1.343
45	0.464	0.564	0.678	0.820	0.955	1.031	1.126	1.251
50	0.431	0.525	0.632	0.766	0.893	0.965	1.054	1.172
55	0.403	0.491	0.592	0.719	0.839	0.907	0.992	1.104
60	0.378	0.462	0.558	0.678	0.792	0.857	0.937	1.043
65	0.356	0.436	0.527	0.642	0.750	0.812	0.888	0.990
70	0.337	0.414	0.500	0.610	0.713	0.772	0.845	0.942
75	0.320	0.393	0.476	0.581	0.680	0.737	0.806	0.899
80	0.305	0.375	0.455	0.555	0.650	0.704	0.771	0.860
85	0.292	0.359	0.435	0.532	0.623	0.675	0.739	0.825
90	0.279	0.344	0.417	0.510	0.598	0.648	0.710	0.793
95	0.268	0.330	0.401	0.491	0.576	0.624	0.684	0.763
100	0.257	0.317	0.386	0.473	0.555	0.602	0.659	0.736
105	0.248	0.306	0.372	0.456	0.536	0.581	0.637	0.711
110	0.239	0.295	0.360	0.441	0.518	0.561	0.615	0.687
115	0.231	0.285	0.348	0.427	0.501	0.544	0.596	0.666
120	0.223	0.276	0.337	0.413	0.486	0.527	0.578	0.645
125	0.216	0.268	0.327	0.401	0.471	0.511	0.561	0.626
130	0.210	0.260	0.317	0.389	0.458	0.497	0.545	0.609
135	0.204	0.252	0.308	0.379	0.445	0.483	0.530	0.592
140	0.198	0.245	0.300	0.368	0.433	0.470	0.516	0.576
145	0.193	0.239	0.292	0.359	0.422	0.458	0.502	0.561
150	0.187	0.233	0.284	0.350	0.412	0.447	0.490	0.547
155	0.183	0.227	0.277	0.341	0.401	0.436	0.478	0.534
160	0.178	0.221	0.271	0.333	0.392	0.425	0.467	0.521
165	0.174	0.216	0.264	0.325	0.383	0.416	0.456	0.510
170	0.170	0.211	0.258	0.318	0.374	0.406	0.446	0.498
175	0.166	0.206	0.252	0.311	0.366	0.398	0.436	0.487
180	0.162	0.202	0.247	0.304	0.358	0.389	0.427	0.477

表 7-2 各历时暴雨强度查算表
表 7-2 (1) 暴雨强度查算表(P=2a) t(min) $q=L/(s \cdot \text{hm}^2)$

t	q	t	q	t	q	t	q	t	q
1	313.217	37	88.643	73	54.598	109	40.210	145	32.140
2	289.856	38	87.063	74	54.045	110	39.926	146	31.965
3	269.994	39	85.542	75	53.504	111	39.646	147	31.793
4	252.882	40	84.078	76	52.975	112	39.370	148	31.622
5	237.975	41	82.668	77	52.457	113	39.098	149	31.454
6	224.863	42	81.309	78	51.950	114	38.831	150	31.287
7	213.233	43	79.998	79	51.454	115	38.567	151	31.122
8	202.841	44	78.732	80	50.968	116	38.308	152	30.960
9	193.496	45	77.509	81	50.492	117	38.052	153	30.799
10	185.043	46	76.326	82	50.025	118	37.800	154	30.640
11	177.356	47	75.183	83	49.568	119	37.551	155	30.482
12	170.335	48	74.076	84	49.120	120	37.306	156	30.327
13	163.894	49	73.004	85	48.680	121	37.064	157	30.173
14	157.963	50	71.965	86	48.249	122	36.826	158	30.021
15	152.481	51	70.959	87	47.826	123	36.591	159	29.870
16	147.399	52	69.982	88	47.412	124	36.360	160	29.721
17	142.672	53	69.035	89	47.005	125	36.131	161	29.574
18	138.265	54	68.115	90	46.606	126	35.906	162	29.428
19	134.145	55	67.221	91	46.214	127	35.684	163	29.284
20	130.283	56	66.352	92	45.829	128	35.465	164	29.142
21	126.657	57	65.508	93	45.451	129	35.248	165	29.001
22	123.244	58	64.687	94	45.079	130	35.035	166	28.861
23	120.026	59	63.888	95	44.715	131	34.824	167	28.723
24	116.986	60	63.110	96	44.357	132	34.616	168	28.586
25	114.110	61	62.353	97	44.005	133	34.411	169	28.451
26	111.383	62	61.615	98	43.659	134	34.208	170	28.317
27	108.795	63	60.896	99	43.318	135	34.008	171	28.185
28	106.335	64	60.196	100	42.984	136	33.811	172	28.053
29	103.993	65	59.512	101	42.655	137	33.616	173	27.924
30	101.761	66	58.845	102	42.332	138	33.423	174	27.795
31	99.631	67	58.195	103	42.014	139	33.233	175	27.668
32	97.597	68	57.560	104	41.701	140	33.045	176	27.542
33	95.650	69	56.939	105	41.393	141	32.860	177	27.417
34	93.787	70	56.334	106	41.090	142	32.677	178	27.294
35	92.001	71	55.742	107	40.792	143	32.496	179	27.171
36	90.288	72	55.163	108	40.499	144	32.317	180	27.050

表 7-2(2) 暴雨强度查算表(P=3a) t(min) $q=L/(s \cdot \text{hm}^2)$

t	q	t	q	t	q	t	q	t	q
1	354.665	37	107.317	73	66.971	109	49.656	145	39.866
2	330.362	38	105.462	74	66.309	110	49.312	146	39.654
3	309.447	39	103.676	75	65.661	111	48.973	147	39.444
4	291.241	40	101.955	76	65.026	112	48.640	148	39.236
5	275.238	41	100.296	77	64.405	113	48.311	149	39.031
6	261.051	42	98.696	78	63.797	114	47.987	150	38.828
7	248.380	43	97.150	79	63.202	115	47.668	151	38.628
8	236.988	44	95.657	80	62.618	116	47.353	152	38.429
9	226.687	45	94.213	81	62.046	117	47.043	153	38.233
10	217.323	46	92.817	82	61.486	118	46.738	154	38.039
11	208.770	47	91.465	83	60.937	119	46.437	155	37.848
12	200.924	48	90.156	84	60.398	120	46.140	156	37.658
13	193.700	49	88.887	85	59.870	121	45.847	157	37.471
14	187.024	50	87.658	86	59.352	122	45.558	158	37.285
15	180.834	51	86.464	87	58.843	123	45.273	159	37.102
16	175.078	52	85.307	88	58.344	124	44.993	160	36.920
17	169.711	53	84.182	89	57.854	125	44.716	161	36.741
18	164.693	54	83.090	90	57.374	126	44.442	162	36.563
19	159.990	55	82.029	91	56.901	127	44.172	163	36.387
20	155.573	56	80.997	92	56.438	128	43.906	164	36.213
21	151.416	57	79.993	93	55.983	129	43.644	165	36.041
22	147.496	58	79.016	94	55.535	130	43.385	166	35.871
23	143.793	59	78.065	95	55.096	131	43.129	167	35.703
24	140.288	60	77.139	96	54.664	132	42.876	168	35.536
25	136.966	61	76.236	97	54.239	133	42.627	169	35.371
26	133.813	62	75.357	98	53.822	134	42.381	170	35.207
27	130.815	63	74.499	99	53.411	135	42.138	171	35.046
28	127.961	64	73.663	100	53.008	136	41.898	172	34.885
29	125.240	65	72.847	101	52.611	137	41.661	173	34.727
30	122.644	66	72.051	102	52.220	138	41.427	174	34.570
31	120.164	67	71.274	103	51.836	139	41.196	175	34.415
32	117.791	68	70.515	104	51.458	140	40.967	176	34.261
33	115.519	69	69.773	105	51.086	141	40.742	177	34.108
34	113.341	70	69.049	106	50.720	142	40.519	178	33.957
35	111.252	71	68.341	107	50.360	143	40.299	179	33.808
36	109.245	72	67.648	108	50.005	144	40.081	180	33.660

表 7-2(3) 暴雨强度查算表(P=5a) t(min) $q=L/(s \cdot \text{hm}^2)$

t	q	t	q	t	q	t	q	t	q
1	398.828	37	128.440	73	81.093	109	60.472	145	48.727
2	373.729	38	126.284	74	80.308	110	60.060	146	48.471
3	351.877	39	124.206	75	79.539	111	59.655	147	48.219
4	332.667	40	122.203	76	78.786	112	59.255	148	47.969
5	315.633	41	120.270	77	78.049	113	58.862	149	47.722
6	300.417	42	118.403	78	77.327	114	58.474	150	47.478
7	286.735	43	116.599	79	76.620	115	58.092	151	47.236
8	274.360	44	114.855	80	75.927	116	57.715	152	46.998
9	263.109	45	113.167	81	75.247	117	57.344	153	46.762
10	252.830	46	111.534	82	74.581	118	56.978	154	46.528
11	243.400	47	109.952	83	73.928	119	56.617	155	46.297
12	234.714	48	108.418	84	73.287	120	56.261	156	46.069
13	226.686	49	106.931	85	72.659	121	55.910	157	45.843
14	219.242	50	105.489	86	72.042	122	55.564	158	45.620
15	212.318	51	104.089	87	71.437	123	55.222	159	45.399
16	205.860	52	102.729	88	70.842	124	54.885	160	45.180
17	199.822	53	101.408	89	70.259	125	54.553	161	44.964
18	194.162	54	100.124	90	69.686	126	54.225	162	44.750
19	188.845	55	98.876	91	69.124	127	53.901	163	44.538
20	183.840	56	97.661	92	68.571	128	53.582	164	44.328
21	179.119	57	96.479	93	68.028	129	53.267	165	44.121
22	174.659	58	95.329	94	67.495	130	52.956	166	43.915
23	170.437	59	94.208	95	66.971	131	52.648	167	43.712
24	166.435	60	93.116	96	66.455	132	52.345	168	43.511
25	162.635	61	92.051	97	65.948	133	52.046	169	43.312
26	159.021	62	91.013	98	65.450	134	51.750	170	43.115
27	155.581	63	90.001	99	64.960	135	51.458	171	42.920
28	152.301	64	89.013	100	64.478	136	51.170	172	42.726
29	149.171	65	88.049	101	64.004	137	50.885	173	42.535
30	146.179	66	87.108	102	63.538	138	50.604	174	42.346
31	143.317	67	86.189	103	63.079	139	50.326	175	42.158
32	140.577	68	85.290	104	62.627	140	50.051	176	41.972
33	137.949	69	84.413	105	62.183	141	49.780	177	41.788
34	135.428	70	83.555	106	61.745	142	49.512	178	41.606
35	133.007	71	82.716	107	61.314	143	49.247	179	41.426
36	130.679	72	81.896	108	60.890	144	48.986	180	41.247

表 7-2(4) 暴雨强度查算表(P=10a) t(min) $q=L/(s \cdot hm^2)$

t	q	t	q	t	q	t	q	t	q
1	451.378	37	154.869	73	98.876	109	74.110	145	59.901
2	425.505	38	152.345	74	97.937	110	73.614	146	59.591
3	402.710	39	149.911	75	97.018	111	73.124	147	59.284
4	382.460	40	147.562	76	96.117	112	72.642	148	58.981
5	364.340	41	145.293	77	95.235	113	72.167	149	58.681
6	348.021	42	143.100	78	94.371	114	71.699	150	58.385
7	333.242	43	140.979	79	93.524	115	71.237	151	58.092
8	319.787	44	138.927	80	92.693	116	70.782	152	57.802
9	307.482	45	136.939	81	91.879	117	70.333	153	57.516
10	296.180	46	135.014	82	91.080	118	69.891	154	57.232
11	285.762	47	133.148	83	90.297	119	69.455	155	56.952
12	276.123	48	131.339	84	89.528	120	69.024	156	56.674
13	267.178	49	129.583	85	88.774	121	68.600	157	56.400
14	258.852	50	127.878	86	88.034	122	68.181	158	56.129
15	251.081	51	126.222	87	87.308	123	67.768	159	55.860
16	243.809	52	124.613	88	86.594	124	67.361	160	55.594
17	236.989	53	123.049	89	85.894	125	66.959	161	55.331
18	230.579	54	121.528	90	85.205	126	66.562	162	55.071
19	224.541	55	120.048	91	84.529	127	66.170	163	54.814
20	218.843	56	118.607	92	83.865	128	65.784	164	54.559
21	213.457	57	117.205	93	83.212	129	65.402	165	54.307
22	208.356	58	115.838	94	82.571	130	65.025	166	54.057
23	203.519	59	114.507	95	81.940	131	64.654	167	53.810
24	198.923	60	113.209	96	81.320	132	64.286	168	53.565
25	194.553	61	111.943	97	80.710	133	63.924	169	53.323
26	190.389	62	110.708	98	80.110	134	63.566	170	53.083
27	186.419	63	109.503	99	79.521	135	63.212	171	52.846
28	182.627	64	108.327	100	78.940	136	62.863	172	52.611
29	179.003	65	107.178	101	78.369	137	62.517	173	52.378
30	175.535	66	106.056	102	77.807	138	62.177	174	52.148
31	172.212	67	104.960	103	77.254	139	61.840	175	51.920
32	169.026	68	103.889	104	76.710	140	61.507	176	51.694
33	165.968	69	102.842	105	76.174	141	61.178	177	51.470
34	163.030	70	101.817	106	75.646	142	60.853	178	51.248
35	160.205	71	100.816	107	75.126	143	60.532	179	51.029
36	157.487	72	99.835	108	74.614	144	60.215	180	50.811

表 7-2(5) 暴雨强度查算表(P=20a) t(min) $q=L/(s \cdot hm^2)$

t	q	t	q	t	q	t	q	t	q
1	499.071	37	179.820	73	115.739	109	87.042	145	70.484
2	472.596	38	176.956	74	114.654	110	86.464	146	70.122
3	449.051	39	174.192	75	113.593	111	85.895	147	69.764
4	427.962	40	171.522	76	112.552	112	85.334	148	69.410
5	408.953	41	168.941	77	111.533	113	84.781	149	69.060
6	391.722	42	166.445	78	110.534	114	84.236	150	68.714
7	376.026	43	164.030	79	109.554	115	83.699	151	68.372
8	361.660	44	161.691	80	108.594	116	83.169	152	68.033
9	348.460	45	159.424	81	107.652	117	82.647	153	67.698
10	336.283	46	157.227	82	106.728	118	82.132	154	67.367
11	325.013	47	155.097	83	105.821	119	81.624	155	67.039
12	314.549	48	153.029	84	104.932	120	81.123	156	66.715
13	304.805	49	151.021	85	104.059	121	80.629	157	66.395
14	295.706	50	149.071	86	103.202	122	80.141	158	66.077
15	287.190	51	147.176	87	102.360	123	79.660	159	65.764
16	279.200	52	145.334	88	101.533	124	79.185	160	65.453
17	271.687	53	143.542	89	100.721	125	78.717	161	65.146
18	264.609	54	141.799	90	99.924	126	78.254	162	64.841
19	257.928	55	140.102	91	99.140	127	77.798	163	64.540
20	251.610	56	138.449	92	98.370	128	77.347	164	64.242
21	245.626	57	136.839	93	97.613	129	76.902	165	63.948
22	239.949	58	135.270	94	96.869	130	76.463	166	63.656
23	234.555	59	133.741	95	96.137	131	76.030	167	63.367
24	229.424	60	132.249	96	95.417	132	75.601	168	63.081
25	224.535	61	130.794	97	94.710	133	75.179	169	62.797
26	219.872	62	129.374	98	94.013	134	74.761	170	62.517
27	215.419	63	127.987	99	93.329	135	74.348	171	62.239
28	211.161	64	126.633	100	92.655	136	73.941	172	61.964
29	207.085	65	125.311	101	91.991	137	73.538	173	61.692
30	203.180	66	124.019	102	91.339	138	73.140	174	61.423
31	199.435	67	122.756	103	90.696	139	72.747	175	61.156
32	195.840	68	121.521	104	90.064	140	72.359	176	60.891
33	192.386	69	120.314	105	89.441	141	71.975	177	60.629
34	189.064	70	119.133	106	88.827	142	71.596	178	60.370
35	185.867	71	117.977	107	88.223	143	71.221	179	60.113
36	182.788	72	116.846	108	87.628	144	70.850	180	59.858

表 7-2(6) 暴雨强度查算表(P=30a) t(min) $q=L/(s \cdot hm^2)$

t	q	t	q	t	q	t	q	t	q
1	525.482	37	193.963	73	125.319	109	94.385	145	76.486
2	498.699	38	190.910	74	124.153	110	93.761	146	76.094
3	474.770	39	187.961	75	123.010	111	93.146	147	75.707
4	453.247	40	185.111	76	121.890	112	92.540	148	75.324
5	433.777	41	182.355	77	120.793	113	91.943	149	74.945
6	416.070	42	179.689	78	119.717	114	91.354	150	74.571
7	399.892	43	177.108	79	118.662	115	90.774	151	74.200
8	385.047	44	174.607	80	117.628	116	90.202	152	73.834
9	371.371	45	172.184	81	116.614	117	89.637	153	73.471
10	358.729	46	169.834	82	115.618	118	89.081	154	73.113
11	347.004	47	167.554	83	114.642	119	88.532	155	72.758
12	336.097	48	165.341	84	113.683	120	87.991	156	72.407
13	325.923	49	163.192	85	112.742	121	87.456	157	72.060
14	316.408	50	161.104	86	111.818	122	86.929	158	71.717
15	307.488	51	159.074	87	110.911	123	86.409	159	71.377
16	299.108	52	157.100	88	110.020	124	85.896	160	71.041
17	291.218	53	155.180	89	109.145	125	85.390	161	70.708
18	283.776	54	153.311	90	108.285	126	84.890	162	70.379
19	276.743	55	151.491	91	107.440	127	84.396	163	70.053
20	270.086	56	149.718	92	106.610	128	83.909	164	69.730
21	263.774	57	147.991	93	105.793	129	83.428	165	69.411
22	257.780	58	146.308	94	104.990	130	82.953	166	69.095
23	252.080	59	144.666	95	104.201	131	82.485	167	68.782
24	246.653	60	143.065	96	103.425	132	82.021	168	68.472
25	241.478	61	141.502	97	102.661	133	81.564	169	68.165
26	236.539	62	139.977	98	101.910	134	81.112	170	67.862
27	231.818	63	138.488	99	101.171	135	80.666	171	67.561
28	227.301	64	137.033	100	100.444	136	80.225	172	67.263
29	222.975	65	135.613	101	99.728	137	79.790	173	66.968
30	218.828	66	134.224	102	99.024	138	79.360	174	66.676
31	214.848	67	132.866	103	98.330	139	78.935	175	66.387
32	211.025	68	131.539	104	97.647	140	78.515	176	66.101
33	207.350	69	130.241	105	96.975	141	78.099	177	65.817
34	203.814	70	128.971	106	96.313	142	77.689	178	65.536
35	200.409	71	127.728	107	95.660	143	77.283	179	65.258
36	197.128	72	126.511	108	95.018	144	76.882	180	64.982

表 7-2(7) 暴雨强度查算表(P=50a) t(min) $q=L/(s \cdot hm^2)$

t	q	t	q	t	q	t	q	t	q
1	557.595	37	211.433	73	137.170	109	103.460	145	83.896
2	530.455	38	208.146	74	135.901	110	102.779	146	83.467
3	506.079	39	204.970	75	134.658	111	102.108	147	83.043
4	484.055	40	201.900	76	133.440	112	101.446	148	82.624
5	464.048	41	198.930	77	132.246	113	100.794	149	82.209
6	445.785	42	196.055	78	131.075	114	100.151	150	81.799
7	429.043	43	193.270	79	129.927	115	99.517	151	81.394
8	413.634	44	190.572	80	128.801	116	98.892	152	80.993
9	399.400	45	187.956	81	127.697	117	98.275	153	80.596
10	386.207	46	185.418	82	126.613	118	97.667	154	80.204
11	373.943	47	182.955	83	125.550	119	97.067	155	79.816
12	362.511	48	180.563	84	124.506	120	96.476	156	79.432
13	351.825	49	178.239	85	123.481	121	95.892	157	79.052
14	341.813	50	175.981	86	122.475	122	95.316	158	78.676
15	332.411	51	173.785	87	121.486	123	94.748	159	78.304
16	323.564	52	171.649	88	120.516	124	94.187	160	77.936
17	315.222	53	169.570	89	119.562	125	93.633	161	77.571
18	307.342	54	167.546	90	118.625	126	93.087	162	77.211
19	299.886	55	165.575	91	117.703	127	92.547	163	76.854
20	292.820	56	163.655	92	116.798	128	92.015	164	76.501
21	286.112	57	161.783	93	115.908	129	91.489	165	76.151
22	279.735	58	159.958	94	115.033	130	90.970	166	75.805
23	273.666	59	158.178	95	114.172	131	90.457	167	75.462
24	267.880	60	156.441	96	113.326	132	89.951	168	75.123
25	262.359	61	154.746	97	112.493	133	89.451	169	74.787
26	257.084	62	153.092	98	111.673	134	88.957	170	74.454
27	252.038	63	151.476	99	110.867	135	88.469	171	74.125
28	247.207	64	149.897	100	110.074	136	87.986	172	73.799
29	242.576	65	148.354	101	109.293	137	87.510	173	73.476
30	238.133	66	146.846	102	108.524	138	87.040	174	73.156
31	233.866	67	145.372	103	107.767	139	86.574	175	72.839
32	229.766	68	143.930	104	107.022	140	86.115	176	72.526
33	225.821	69	142.519	105	106.288	141	85.661	177	72.215
34	222.023	70	141.139	106	105.565	142	85.212	178	71.907
35	218.365	71	139.788	107	104.853	143	84.768	179	71.602
36	214.837	72	138.465	108	104.151	144	84.329	180	71.300

表 7-2(8) 暴雨强度查算表(P=100a) t(min) $q=L/(s \cdot \text{hm}^2)$

t	q	t	q	t	q	t	q	t	q
1	599.555	37	234.653	73	152.944	109	115.528	145	93.732
2	571.967	38	231.059	74	151.539	110	114.770	146	93.254
3	547.036	39	227.585	75	150.163	111	114.023	147	92.781
4	524.387	40	224.225	76	148.813	112	113.286	148	92.313
5	503.712	41	220.972	77	147.491	113	112.561	149	91.851
6	484.756	42	217.821	78	146.193	114	111.845	150	91.394
7	467.308	43	214.768	79	144.921	115	111.139	151	90.941
8	451.191	44	211.809	80	143.673	116	110.443	152	90.494
9	436.252	45	208.937	81	142.449	117	109.757	153	90.051
10	422.365	46	206.151	82	141.247	118	109.080	154	89.613
11	409.419	47	203.445	83	140.068	119	108.412	155	89.180
12	397.318	48	200.817	84	138.910	120	107.753	156	88.752
13	385.981	49	198.262	85	137.773	121	107.103	157	88.328
14	375.334	50	195.778	86	136.656	122	106.461	158	87.908
15	365.316	51	193.362	87	135.559	123	105.828	159	87.493
16	355.870	52	191.011	88	134.482	124	105.203	160	87.082
17	346.948	53	188.722	89	133.423	125	104.587	161	86.675
18	338.506	54	186.493	90	132.383	126	103.978	162	86.273
19	330.504	55	184.321	91	131.360	127	103.377	163	85.875
20	322.909	56	182.205	92	130.355	128	102.783	164	85.480
21	315.689	57	180.141	93	129.366	129	102.198	165	85.090
22	308.817	58	178.128	94	128.394	130	101.619	166	84.704
23	302.267	59	176.165	95	127.438	131	101.048	167	84.321
24	296.016	60	174.248	96	126.497	132	100.483	168	83.942
25	290.044	61	172.377	97	125.572	133	99.926	169	83.567
26	284.332	62	170.550	98	124.661	134	99.375	170	83.196
27	278.863	63	168.765	99	123.765	135	98.831	171	82.828
28	273.621	64	167.021	100	122.883	136	98.294	172	82.464
29	268.592	65	165.316	101	122.015	137	97.763	173	82.103
30	263.762	66	163.650	102	121.160	138	97.238	174	81.746
31	259.121	67	162.020	103	120.318	139	96.720	175	81.393
32	254.656	68	160.425	104	119.490	140	96.207	176	81.042
33	250.358	69	158.865	105	118.673	141	95.701	177	80.695
34	246.217	70	157.337	106	117.869	142	95.200	178	80.351
35	242.225	71	155.842	107	117.077	143	94.705	179	80.011
36	238.372	72	154.378	108	116.297	144	94.216	180	79.673

8 适用性分析

8.1 时间变化特征

本节分析了汾阳市年降雨量和最大降雨量的时间变化特征，其中最大降雨量的时间变化特征包括日变化特征、月际变化特征、年际变化特征、年代际变化特征。图 8.1-1 给出了汾阳市 1981-2023 年逐年降雨量，由图可见汾阳市年降雨量差异较大，年降雨量最大为 718.1mm，出现在 1988 年；年降雨量最小为 260.7mm，出现在 1997 年，年降雨量多年平均为 444.4mm。

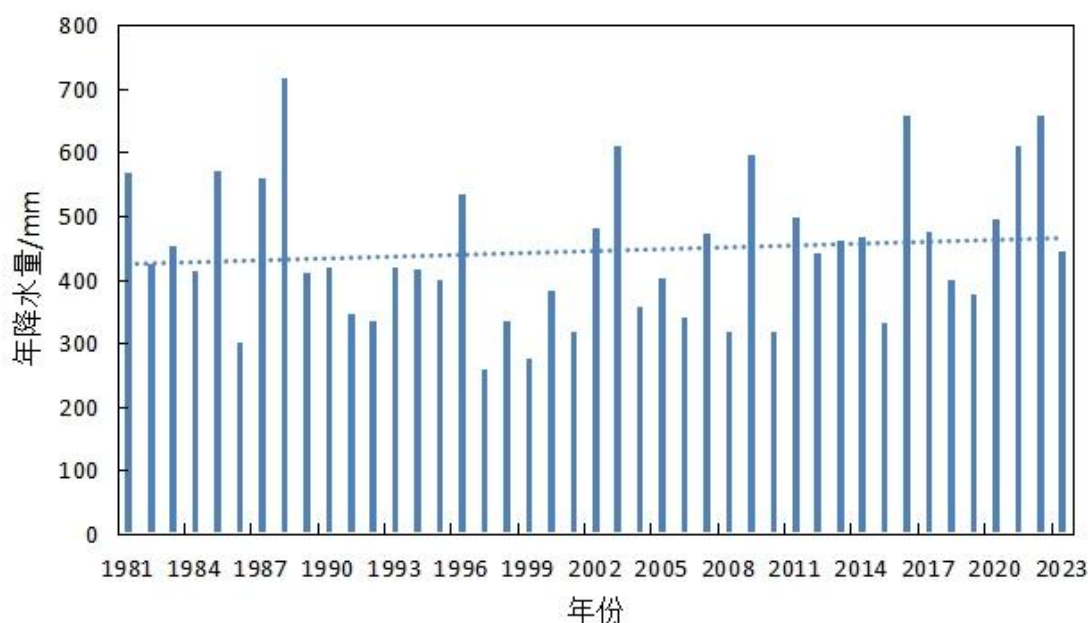


图 8.1-1 汾阳市 1981—2023 年降雨量年际变化

表 8.1-1 给出了汾阳市 30 min、60 min、90 min、120 min、150 min、180 min 历时，选定降雨场次过程的开始日期和开始时刻。图 8.1-2 是根据表 8.1-1 绘制的各历时选定降雨场次多年平均的各时出现次数，可见，年最大降雨场次日变化明显，凌晨和傍晚出现次数较多。图 8.1-3 是根据表 8.1-1 绘制的选定降雨场次多年平均各旬出现次数，可见各历时年最大降雨主要出现在 7 月中旬和 8 月上旬。

表 8.1-1 年最大降雨场次过程开始时间

历时	30min	60min	90min	120min	150min	180min
年	日期-时间	日期-时间	日期-时间	日期-时间	日期-时间	日期-时间
1981	0729-0942	0703-1940	0620-0508	0620-0500	0703-1952	0703-1951
1982	0809-1221	0809-1221	0802-0044	0802-0043	0802-0043	0802-0043
1983	0827-1940	0827-1940	0827-1940	0827-1940	0730-0537	0730-0535
1984	0511-0103	0511-0102	0511-0102	0511-0101	0511-0101	0511-0100
1985	0823-1602	0823-1601	0823-1601	0823-1601	0823-1601	0823-1601
1986	0626-1735	0626-1716	0626-1645	0626-1556	0626-1545	0626-1522
1987	0821-1747	0821-1744	0821-1744	0821-1735	0821-1742	0821-1735
1988	0715-0353	0723-0506	0723-0438	0723-0503	0723-0432	0723-0425
1989	0720-1945	0720-1936	0720-1936	0720-1936	0720-1936	0720-1936
1990	0921-1808	0921-1805	0921-1801	0921-1802	0921-1804	0921-1804
1991	0727-2043	0727-2039	0727-2039	0727-2039	0727-2026	0727-2021
1992	0803-1230	0803-1213	0803-1213	0803-1213	0803-1213	0803-1213
1993	0804-0518	0804-0449	0814-0449	0804-0348	0804-0326	0804-0246
1994	0831-1401	0831-1402	0831-1401	0831-1358	0831-1358	0831-1358
1995	0904-0500	0904-0430	0904-0409	0904-0334	0904-0313	0904-0254
1996	0809-2043	0809-2013	0809-1944	0809-1929	0809-1941	0809-1912
1997	0703-0147	0703-0121	0703-0055	0703-0039	0718-2054	0718-2019
1998	0705-1915	0713-1118	0713-1118	0713-1118	0713-1118	0705-1648
1999	0808-2322	0808-2302	0808-2311	0808-2249	0808-2215	0808-2158
2000	0704-1937	0704-1933	0704-1854	0704-1852	0704-1852	0704-1852
2001	0806-1350	0806-1350	0806-1350	0727-0215	0727-0208	0727-0206
2002	0626-1906	0626-1845	0626-1843	0626-1842	0626-1842	0626-1842
2003	0730-1317	0730-1318	0730-1318	0730-1259	0730-1234	0730-1234
2004	0809-2240	0630-0615	0729-0332	0729-0324	0729-0254	0729-0333
2005	0816-0900	0816-0850	0816-0848	0816-0847	0816-0844	0816-0844
2006	0628-1251	0825-1103	0825-1027	0825-1002	0825-1036	0825-1008
2007	0829-1406	0630-0010	0630-0008	0630-0008	0829-1400	0829-1355
2008	0627-1852	0627-1852	0627-1825	0627-1825	0627-1825	0627-1825
2009	0825-1904	0825-1900	0825-1904	0825-1904	0825-1902	0825-1854
2010	0831-1729	0831-1729	0831-1729	0818-1659	0818-1719	0818-1657
2011	0715-2120	0715-2119	0702-0542	0702-0518	0702-0512	0702-0447
2012	0713-1912	0713-1914	0713-1858	0713-1858	0713-1814	0713-1814
2013	0609-0417	0609-0416	0609-0342	0609-0328	0609-0307	0621-0056
2014	0729-1103	0729-1103	0729-1103	0729-1103	0729-1103	0729-1103
2015	0803-0838	0803-0838	0803-0838	0803-0838	0803-0838	0803-0838
2016	0724-2311	0605-1006	0605-1010	0605-1004	0605-1002	0605-0958
2017	0723-1819	0726-0624	0726-0554	0726-0557	0726-0553	0726-0504
2018	0716-1556	0716-1536	0716-1536	0716-1536	0716-1536	0716-1536
2019	0805-2256	0805-2256	0805-2256	0805-2256	0804-0240	0804-0235
2020	0801-1929	0805-0358	0805-0331	0806-1317	0806-1318	0806-1300
2021	1003-0359	1003-0325	1003-0324	1003-0324	1003-0324	1004-0754
2022	1002-2018	1002-2014	1002-2014	0715-2150	0715-2112	0715-2112
2023	0721-1524	0721-1510	0721-1427	0721-1427	0721-1427	0721-1427

注：日期-时间格式为 MMdd-hhmm；0703-1951 表示 7 月 3 日 19 时 51 分

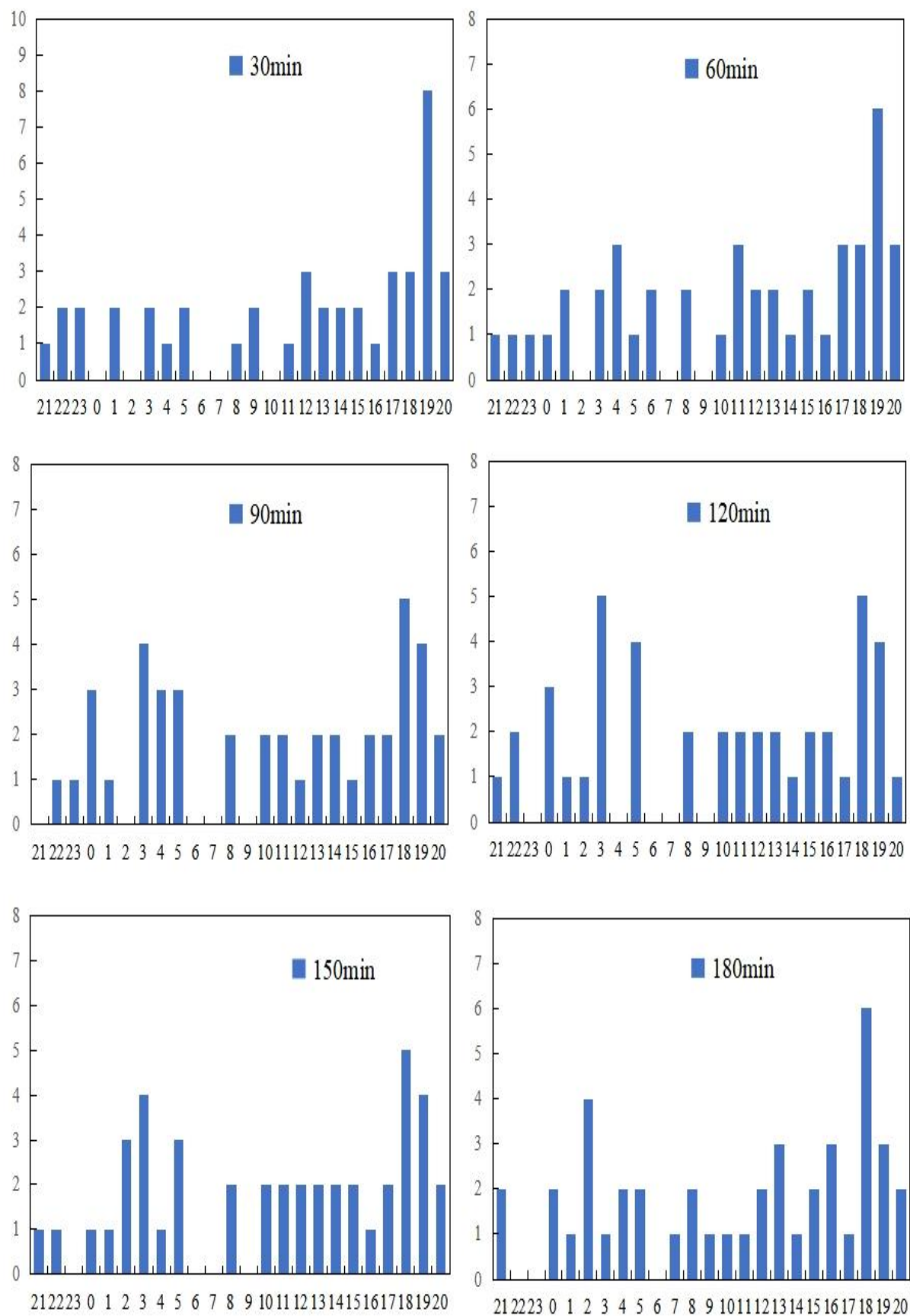


图 8.1-2 年最大降雨各时出现次数

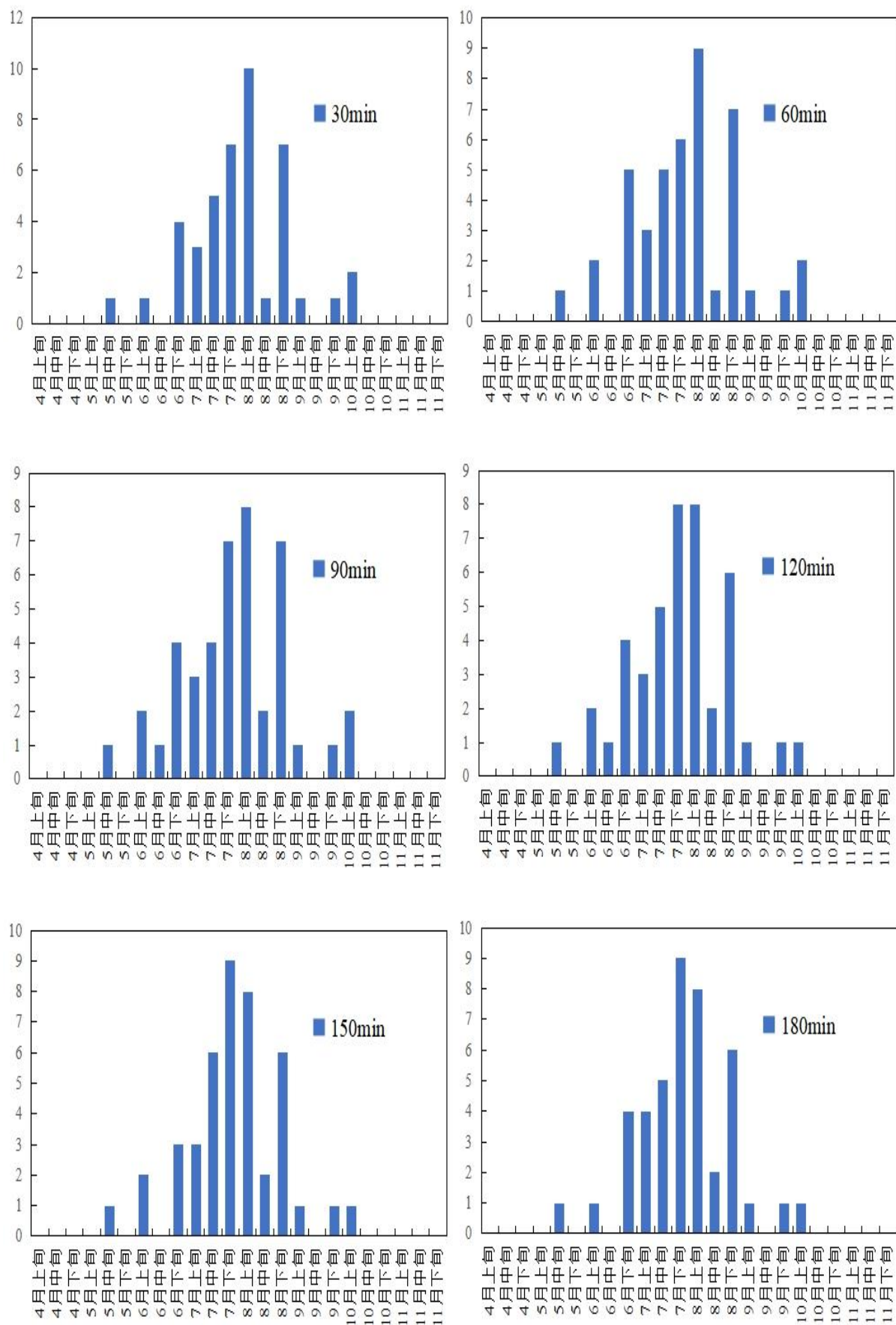


图 8.1-3 年最大降雨各旬出现次数

表 8.1-2 给出了汾阳市年最大降雨量的年代际变化，以单一降雨历时来看，90 年代至今，各年代际平均最大降雨量呈先减少后增加，然后再减少的趋势；以同一年代际，不同历时来看，5min 至 180min 平均最大降雨量呈显著增加趋势。图 8.1-4 给出各历时年最大降雨量出现时间的年际变化，可见，年最大降雨量最早出现在 5 月中旬，最晚出现在 10 月上旬。最大降雨量的年代际变化比较明显，表 8.1-3 给出了汾阳市年最大降雨量不同年代出现日期，从表中可以看出各年代际最大降雨出现时间主要在 7-8 月。随着数据的积累，降雨强度极端大的记录和极端小的记录都在刷新，由汾阳国家基本气象站的降雨量长年代变化分析来看也有该特征，因此暴雨强度公式以及由其计算得到的设计雨强也会发生变化。这些降雨特征的趋势性变化对城市的防灾减灾提出挑战。因此，随着数据的积累，有必要定期对暴雨强度公式进行复核或修编。

表 8.1-2 年最大降雨的年代际变化(mm)

时间	5min	10min	15min	20min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min
1981—1990	7.2	11.8	16.0	18.4	21.8	25.4	27.6	29.4	31.6	34.2	35.8
1991—2000	7.1	11.0	13.3	15.2	17.5	21.5	24.2	27.9	30.0	31.2	32.3
2001—2010	8.2	11.9	14.4	16.1	18.5	22.6	24.9	29.6	31.9	33.7	35.6
2011—2020	7.2	11.8	15.3	17.3	19.8	21.1	23.1	25.6	27.5	29.0	29.9
多年平均	7.2	11.8	16.0	18.4	21.8	25.4	27.6	29.4	31.6	34.2	35.8

表 8.1-3 年最大降雨不同年代出现日期

年份	30min	60min	90min	120min	150min	180min
1981—1990	0729	0727	0725	0725	0724	0724
1991—2000	0731	0801	0802	0801	0802	0802
2001—2010	0801	0728	0731	0728	0803	0803
2011—2020	0720	0715	0714	0714	0714	0715

注：月日格式为 MMdd；0724 表示 7 月 24 日



图 8.1-4 各历时年最大降雨量出现时间年际变化

8.2 新编暴雨强度与旧公式对比分析

本节根据《导则》要求对新、旧暴雨强度公式进行比较。本区域以往使用的暴雨强度公式为《山西省水文计算手册》中的汾阳市中心城区暴雨强度公式（简称：旧公式），本节将新暴雨强度公式与旧暴雨强度公式所推求的暴雨强度值进行比较分析。

新编暴雨强度公式为：

$$q = \frac{1937.200(1+0.971 \lg P)}{(t+13.433)^{0.818}}$$

以前沿用的旧暴雨强度公式为：

$$q = \frac{1119.23(1+1.1501 \lg P)}{(t+7.7623)^{0.7456}}$$

为了比较新、旧公式在暴雨强度值推求上的差别，固定重现期，依次计算在不同历时下由两公式得到的雨强差异。表 8.2-1 是以往沿用的旧暴雨强度公式暴雨强度，表 8.2-2 是新、旧公式暴雨强度差值，表 8.2-3 是新公式比旧公式雨强提高的幅度。图 8.2-1 是根据表 5.5-4 及表 8.2-2 绘制的不同重现期下新、旧暴雨强度设计值比较。图 8.2-2 是根据表 8.2-3 绘制的新公式计算结果比旧公式计算结果提高幅度。由新旧公式推算的暴雨强度值对比结果可见，各重现期内新公式雨强高于旧公式雨强。

由两公式推算的暴雨强度值对比结果可见，各重现期内，历时越大，两版暴雨强度公式雨强差值越小。因此，根据汾阳市降雨资料得到的暴雨强度公式更适用于当前汾阳市降雨的实际，可为汾阳市水文、排水等规划设计提供科学参考。

表 8.2-1 旧暴雨强度公式计算雨强(单位:mm/min)

重现期(a)	5min	10min	15min	20min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min
1	1.004	0.784	0.652	0.562	0.447	0.348	0.289	0.220	0.180	0.154	0.135
2	1.351	1.056	0.878	0.757	0.602	0.469	0.389	0.296	0.243	0.207	0.182
3	1.555	1.215	1.010	0.871	0.692	0.540	0.448	0.341	0.279	0.238	0.209
5	1.811	1.415	1.176	1.014	0.806	0.628	0.521	0.397	0.325	0.278	0.244
10	2.158	1.687	1.402	1.209	0.961	0.749	0.622	0.473	0.387	0.331	0.291
20	2.506	1.958	1.628	1.404	1.116	0.870	0.722	0.549	0.450	0.384	0.338
30	2.709	2.117	1.760	1.518	1.206	0.940	0.780	0.594	0.486	0.415	0.365
50	2.965	2.317	1.926	1.661	1.321	1.029	0.854	0.650	0.532	0.455	0.399
100	3.313	2.589	2.152	1.856	1.475	1.150	0.954	0.726	0.595	0.508	0.446

表 8.2-2 新公式与旧公式雨强差值(单位:mm/min)

重现期(a)	5min	10min	15min	20min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min
1	0.066	0.095	0.099	0.095	0.084	0.068	0.056	0.041	0.032	0.026	0.021
2	0.031	0.080	0.092	0.093	0.084	0.069	0.057	0.041	0.031	0.025	0.020
3	0.011	0.071	0.088	0.091	0.084	0.070	0.058	0.041	0.031	0.024	0.019
5	-0.015	0.061	0.084	0.089	0.084	0.071	0.058	0.041	0.031	0.024	0.019
10	-0.050	0.046	0.077	0.087	0.085	0.072	0.059	0.041	0.030	0.023	0.018
20	-0.085	0.031	0.071	0.084	0.085	0.073	0.060	0.042	0.030	0.022	0.016
30	-0.105	0.023	0.067	0.082	0.085	0.073	0.061	0.042	0.030	0.022	0.016
50	-0.131	0.012	0.062	0.081	0.085	0.074	0.061	0.042	0.029	0.021	0.015
100	-0.166	-0.003	0.056	0.078	0.086	0.075	0.062	0.042	0.029	0.020	0.014

表 8.2-3 新公式比旧公式雨强提高的幅度(%)

重现期(a)	5min	10min	15min	20min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min
1	6.6	12.1	15.1	16.9	18.7	19.5	19.5	18.7	17.6	16.6	15.7
2	2.3	7.6	10.5	12.2	14.0	14.7	14.7	13.9	12.9	12.0	11.1
3	0.7	5.9	8.8	10.5	12.2	12.9	12.9	12.1	11.1	10.2	9.3
5	-0.8	4.3	7.1	8.8	10.5	11.2	11.2	10.4	9.5	8.5	7.7
10	-2.3	2.7	5.5	7.2	8.8	9.6	9.5	8.8	7.8	6.9	6.0
20	-3.4	1.6	4.3	6.0	7.6	8.4	8.3	7.6	6.6	5.7	4.9
30	-3.9	1.1	3.8	5.4	7.1	7.8	7.8	7.0	6.1	5.2	4.3
50	-4.4	0.5	3.2	4.9	6.5	7.2	7.2	6.4	5.5	4.6	3.8
100	-5.0	-0.1	2.6	4.2	5.8	6.5	6.5	5.8	4.8	3.9	3.1

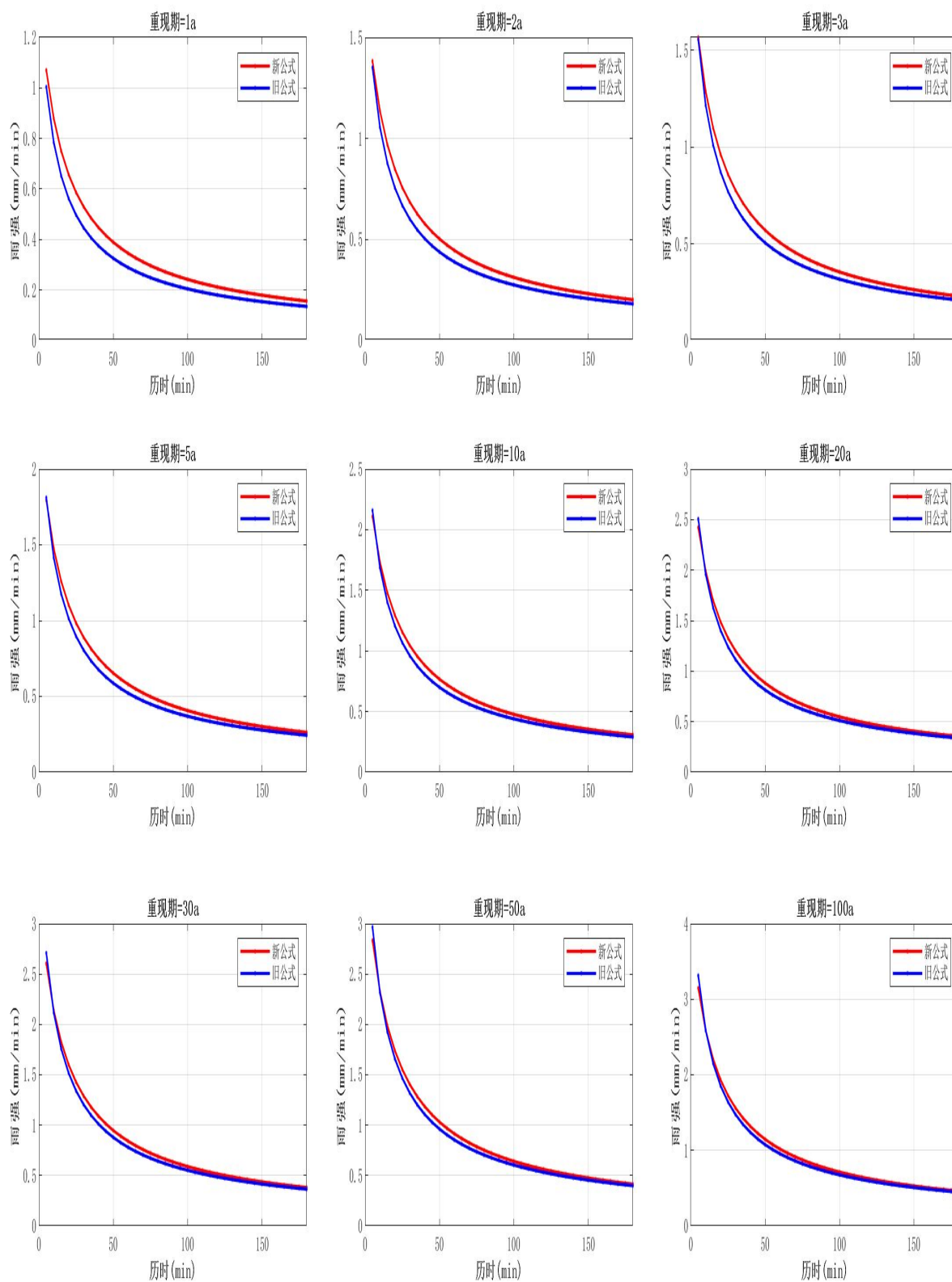


图 8.2-1 不同重现期下新公式雨强与旧公式雨强

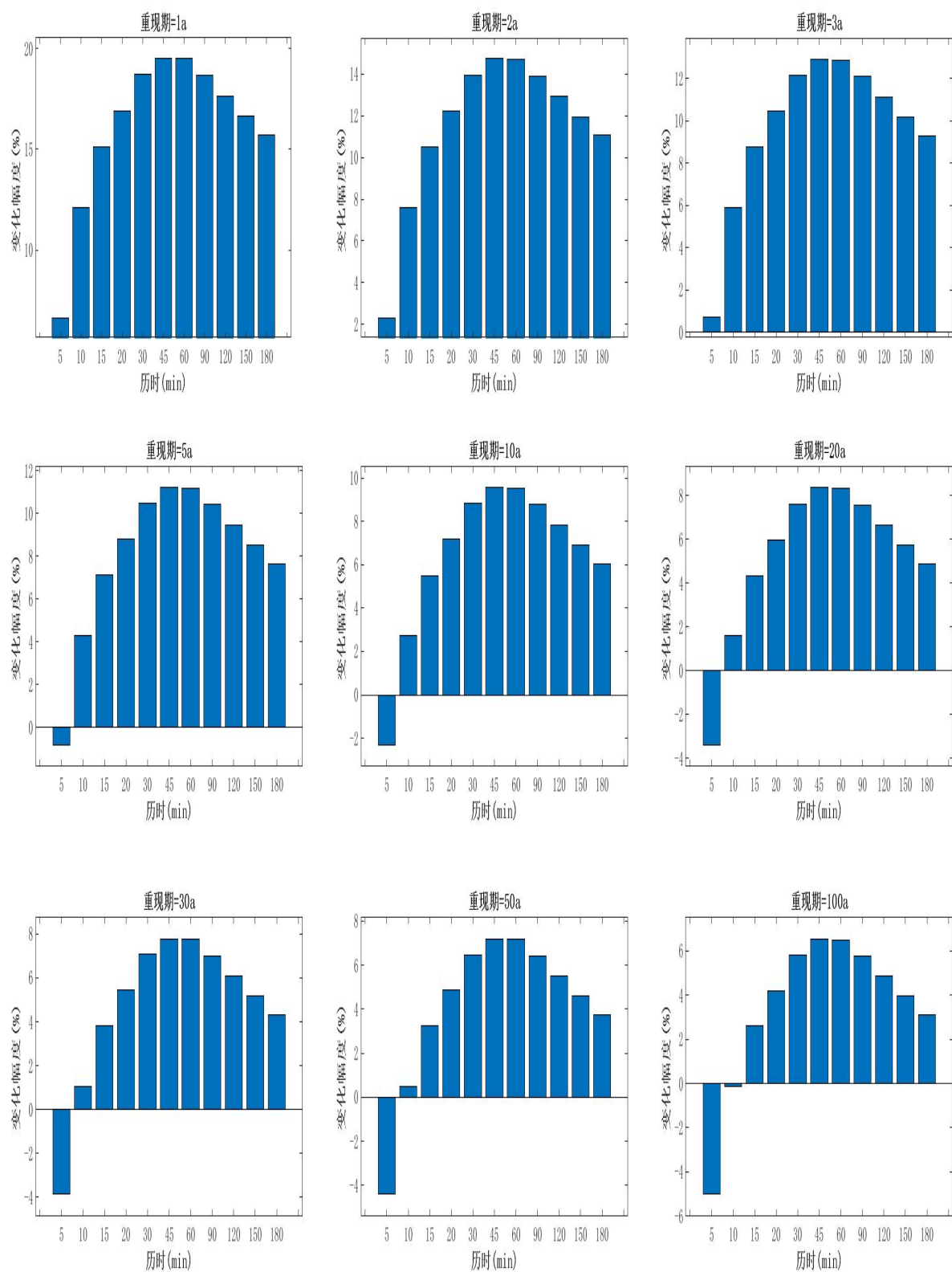


图 8.2-2 不同重现期下新公式雨强比旧公式雨强提高幅度

8.3 社会影响分析

由于近年来极端天气气候事件增多，特别是汛期，暴雨等极端降水频发，严重影响人们的生产生活。此外，部分城市排水系统存在严重安全隐患，配套设施落后，规划建设不合理，排水设计标准过低，无法防御城市内涝、洪涝等灾害的侵袭。暴雨强度公式与城市排水设施的建设密切相关，如果设计值偏低，则据此设计的城市排水设施抵御短历时暴雨和特大暴雨的能力降低，容易造成城市内涝，威胁到居民的生命财产安全；设计值偏高，则造成建设成本增加，产生浪费。

根据《住房和城乡建设部办公厅 国家发展改革委办公厅 中国气象局办公室关于进一步规范城市内涝防治信息发布等有关工作的通知》（建办城〔2022〕30号）文件要求，原则上应每隔5年修订一次。此外，山西省人民政府办公厅发布了《关于推进海绵城市建设管理的实施意见》（晋政办发〔2016〕27号）文件，要求大力开展海绵城市建设规划编制，提出城市低影响开发雨水系统的实施策略、原则和重点实施区域，并将有关要求和内容纳入城市水系、排水防涝、园林绿化、道路交通等相关专项（专业）规划。本报告所推荐的暴雨强度公式符合海绵城市建设的技术要求，其编制成果适用于汾阳市雨水排水系统的设计和建设，可为汾阳市开展城市建设规划提供辅助技术依据。

9 编制成果

9.1 编制成果

(1) 暴雨强度公式

本报告中汾阳市暴雨强度公式（表 9.1-1）是依据汾阳国家基本气象站降雨资料采用年最大值法计算得到，适用于汾阳市重现期 $\leq 100a$ 、历时 $\leq 180min$ 的情况，可作为水利、城建、规划部门设计汾阳市排水系统和海绵城市管网设计的技术依据。本公式适用于汾阳市城区，周边其他区域可参照本公式使用。

表 9.1-1 汾阳市暴雨强度公式（2024 年版）

重现期 (a)	q (L/(s · hm ²))	i (mm/min)	平均绝对均方差
总公式	$q = \frac{1937.200(1+0.971 \lg P)}{(t+13.433)^{0.818}}$	$i = \frac{11.600(1+0.971 \lg P)}{(t+13.433)^{0.818}}$	0.039
$P=2a$	$q = \frac{2258.308}{(t+9.394)^{0.844}}$	$i = \frac{13.523}{(t+9.394)^{0.844}}$	0.007
$P=3a$	$q = \frac{2654.916}{(t+10.232)^{0.832}}$	$i = \frac{15.898}{(t+10.232)^{0.832}}$	0.005
$P=5a$	$q = \frac{3131.467}{(t+11.186)^{0.824}}$	$i = \frac{18.751}{(t+11.186)^{0.824}}$	0.006
$P=10a$	$q = \frac{3785.055}{(t+12.391)^{0.820}}$	$i = \frac{22.665}{(t+12.391)^{0.820}}$	0.011
$P=20a$	$q = \frac{4470.423}{(t+13.534)^{0.820}}$	$i = \frac{26.770}{(t+13.534)^{0.820}}$	0.016
$P=30a$	$q = \frac{4891.263}{(t+14.183)^{0.820}}$	$i = \frac{29.289}{(t+14.183)^{0.820}}$	0.020
$P=50a$	$q = \frac{5444.200}{(t+14.984)^{0.822}}$	$i = \frac{32.600}{(t+14.984)^{0.822}}$	0.024
$P=100a$	$q = \frac{6245.466}{(t+16.046)^{0.826}}$	$i = \frac{37.398}{(t+16.046)^{0.826}}$	0.030
$P=1a$	$q = \frac{1563.805}{(t+7.903)^{0.872}}$	$i = \frac{9.364}{(t+7.903)^{0.872}}$	0.010

(2) 芝加哥暴雨雨型

历时 180min 重现期 2a 芝加哥暴雨雨型图见图 9.1-1。其他不同重现期各历时芝加哥暴雨雨型见附表 2 和附图 1。

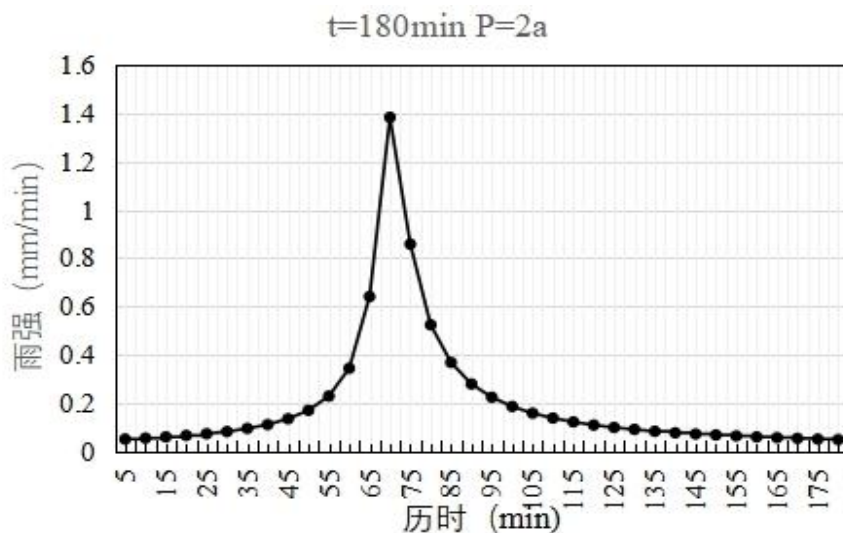


图 9.1-1 历时 180min 重现期 2a 芝加哥暴雨雨型图

9.2 建议

依据本区域降雨量年际变化分析，暴雨强度公式应该随着数据的积累，定期进行修订。根据《住房和城乡建设部办公厅 国家发展改革委办公厅 中国气象局办公室关于进一步规范城市内涝防治信息发布等有关工作的通知》（建办城〔2022〕30 号）文件要求，原则上应每隔 5 年修订一次。

附图表

附表 1 各降雨历时逐年最大降雨样本每 5 分钟雨量

附表 1(1) 汾阳市逐年历时 30min 各段雨量(每段 5min)

年份	5	10	15	20	25	30
1981	0.47	3.28	5.09	8.01	1.14	2.55
1982	1.87	1.12	3.03	2.97	2.30	0.55
1983	0.62	3.93	5.20	3.12	0.43	0.00
1984	5.80	4.93	3.92	2.51	1.51	0.85
1985	1.05	5.20	5.25	4.10	1.22	0.64
1986	5.17	3.41	3.95	3.21	0.91	0.90
1987	6.96	6.41	4.45	2.49	3.57	4.22
1988	6.62	6.55	7.41	8.32	10.42	8.14
1989	4.38	7.73	5.01	2.39	2.00	1.15
1990	2.88	3.53	3.10	5.62	2.48	1.97
1991	2.69	6.24	4.77	1.83	0.41	0.72
1992	2.82	3.26	2.57	3.59	1.76	2.93
1993	0.37	1.23	1.94	4.96	5.03	1.56
1994	1.29	9.37	9.82	2.95	1.17	0.14
1995	2.70	1.15	1.65	3.44	3.84	2.17
1996	1.73	3.15	4.59	6.65	5.82	3.50
1997	2.82	0.02	0.00	0.04	1.43	2.90
1998	0.32	1.51	5.46	5.34	5.40	1.81
1999	3.73	1.18	1.14	2.47	4.90	5.37
2000	6.51	2.38	1.63	1.04	0.80	3.46
2001	1.67	7.70	7.11	1.08	0.30	0.06
2002	2.79	4.83	1.66	2.53	2.44	2.80
2003	6.79	2.74	6.64	6.35	7.93	4.53
2004	0.90	1.40	0.80	4.40	5.90	3.50
2005	2.90	1.40	1.50	3.20	6.50	4.30
2006	10.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2007	2.30	3.60	2.40	2.40	1.60	1.50
2008	2.30	3.20	2.20	1.70	1.40	0.60
2009	7.40	8.00	9.30	1.80	0.50	2.20
2010	6.20	0.80	0.60	2.40	2.20	0.80
2011	1.10	2.00	1.20	3.00	3.80	3.00
2012	1.40	4.90	5.70	2.40	0.30	0.00
2013	2.80	1.10	1.00	0.20	2.00	2.30
2014	2.40	8.10	3.90	2.60	0.70	0.40
2015	8.00	10.80	8.00	3.60	2.20	1.50
2016	6.90	6.80	4.60	2.00	0.30	1.20
2017	1.60	3.50	6.10	4.50	2.30	1.70
2018	4.90	8.10	6.10	5.20	4.20	3.30
2019	1.20	5.50	6.80	3.50	1.70	0.20
2020	3.50	3.70	1.40	1.80	2.50	2.40
2021	0.70	0.30	1.20	2.60	5.50	0.80
2022	1.90	4.60	9.50	9.60	3.70	2.70
2023	4.40	10.20	3.40	2.90	1.80	3.50

注：本报告中所有资料都是根据山西省信息中心整理而得，使用中应满足《气象法》和相关的保密规定。

附表 1(2) 汾阳市逐年历时 60min 各段雨量(每段 5min)

年份	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
1981	0.39	0.99	1.00	3.32	3.24	0.86	3.20	5.06	0.88	1.42	1.86	0.49
1982	1.87	1.12	3.03	2.97	2.30	0.55	0.17	0.22	0.14	0.05	0.05	0.07
1983	0.62	3.93	5.20	3.12	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1984	3.48	6.76	3.63	3.04	1.62	0.91	0.49	0.32	0.28	0.25	0.34	0.47
1985	0.28	5.20	4.72	5.09	1.36	0.79	0.08	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00
1986	0.57	0.64	0.60	1.00	5.71	3.10	4.03	2.95	0.53	1.11	2.19	1.26
1987	5.15	5.87	6.25	3.75	2.47	3.91	5.20	2.88	2.03	3.36	0.75	1.63
1988	6.09	8.35	9.00	8.20	5.53	4.70	7.07	6.55	5.60	8.02	3.45	2.79
1989	0.05	0.24	6.09	6.82	4.77	1.99	2.05	0.86	0.23	0.13	0.00	0.00
1990	1.36	3.22	3.25	4.75	4.60	1.70	1.64	1.06	0.26	0.13	0.17	0.35
1991	0.67	3.26	6.82	3.90	1.50	0.30	0.73	0.32	0.27	0.44	0.71	0.42
1992	0.08	0.19	1.74	2.48	2.93	2.94	3.67	2.02	2.53	1.72	3.02	0.08
1993	0.24	0.25	0.27	0.48	0.62	0.48	0.42	1.50	2.26	5.22	4.62	1.05
1994	1.63	11.09	8.52	2.51	0.74	0.14	0.07	0.42	0.87	0.66	0.67	0.68
1995	2.64	1.79	1.27	2.31	1.98	1.48	2.70	1.15	1.65	3.44	3.84	2.17
1996	4.39	4.40	3.18	1.64	2.25	2.77	1.73	3.15	4.59	6.65	5.82	3.50
1997	0.24	0.44	0.63	0.36	0.56	3.15	0.04	0.01	0.01	0.83	2.87	2.64
1998	0.73	0.84	6.06	3.13	2.33	1.09	4.54	1.96	0.29	0.21	0.07	0.04
1999	0.09	0.58	0.94	2.28	3.73	1.18	1.14	2.47	4.90	5.37	2.80	0.62
2000	1.21	6.25	2.39	1.47	0.97	1.09	3.56	1.99	1.51	1.87	1.21	0.82
2001	1.67	7.70	7.11	1.08	0.30	0.06	0.03	0.19	0.06	0.03	0.00	0.00
2002	3.69	2.97	0.62	1.40	2.60	4.62	2.26	2.12	2.52	2.73	1.98	1.41
2003	6.68	4.09	5.54	7.86	7.60	3.16	1.18	3.15	2.45	2.14	0.51	1.61
2004	0.50	3.40	1.40	1.30	1.40	1.30	1.80	3.00	4.70	3.10	1.00	0.20
2005	1.00	1.00	2.90	1.40	1.50	3.20	6.50	4.30	2.00	2.20	1.00	0.60
2006	0.90	1.20	1.70	1.10	0.50	1.10	1.20	1.70	3.10	1.70	0.40	0.30
2007	3.10	1.40	1.50	2.90	1.00	0.70	1.10	1.30	2.20	1.10	1.30	2.90
2008	2.30	3.20	2.20	1.70	1.40	0.60	0.30	0.20	0.00	0.10	0.00	0.00
2009	1.20	9.20	7.90	7.20	1.40	0.60	2.60	2.30	4.40	3.20	0.70	0.40
2010	6.20	0.80	0.60	2.40	2.20	0.80	1.50	0.30	0.30	0.70	0.50	0.00
2011	1.20	1.60	1.60	2.10	4.40	3.00	1.00	0.10	0.20	0.00	0.00	0.00
2012	2.40	6.40	4.70	0.90	0.10	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	3.40	3.50
2013	2.50	1.30	1.10	0.30	1.20	2.80	0.60	0.40	0.30	0.50	1.00	0.60
2014	2.40	8.10	3.90	2.60	0.70	0.40	0.20	0.10	0.30	0.20	0.40	0.20
2015	8.00	10.80	8.00	3.60	2.20	1.50	0.20	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00
2016	0.80	0.90	0.80	6.20	5.00	2.80	1.90	1.60	2.20	1.40	0.70	1.10
2017	0.80	1.20	2.40	5.80	1.10	1.90	2.90	4.80	1.20	1.20	1.10	1.20
2018	1.80	2.80	1.00	0.40	4.90	8.10	6.10	5.20	4.20	3.30	2.00	1.20
2019	1.20	5.50	6.80	3.50	1.70	0.20	0.20	0.20	0.20	0.10	0.00	0.10
2020	1.20	0.60	0.50	1.30	1.00	0.50	0.50	0.60	1.60	3.10	4.30	1.20
2021	4.10	0.50	0.00	0.10	0.00	0.00	0.30	0.60	0.20	1.90	2.50	5.30
2022	1.20	1.80	6.20	9.10	9.10	3.20	2.40	1.20	0.50	0.30	0.50	0.50
2023	0.60	0.70	1.40	6.10	9.30	2.70	3.30	1.50	3.20	0.30	0.70	0.20

附表 1(3) 汾阳市逐年历时 90min 各段雨量(每段 5min)

年份	5	10	15	20	25	30	35	40	45
1981	1.95	2.49	1.70	0.64	4.07	1.89	0.40	2.60	0.72
1982	1.82	1.78	0.95	0.79	0.46	0.23	0.82	1.71	0.82
1983	0.62	3.93	5.20	3.12	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00
1984	3.48	6.76	3.63	3.04	1.62	0.91	0.49	0.32	0.28
1985	0.28	5.20	4.72	5.09	1.36	0.79	0.08	0.07	0.02
1986	0.43	0.15	0.08	0.06	0.04	0.20	0.51	0.66	0.60
1987	5.15	5.87	6.25	3.75	2.47	3.91	5.20	2.88	2.03
1988	0.41	0.71	0.25	0.00	0.00	1.25	7.87	8.49	9.35
1989	0.05	0.24	6.09	6.82	4.77	1.99	2.05	0.86	0.23
1990	0.34	1.96	3.14	3.14	5.47	3.86	1.63	1.45	0.92
1991	0.67	3.26	6.82	3.90	1.50	0.30	0.73	0.32	0.27
1992	0.08	0.19	1.74	2.48	2.93	2.94	3.67	2.02	2.53
1993	0.22	0.38	0.44	0.45	0.46	0.67	0.78	0.81	0.72
1994	1.29	9.37	9.82	2.95	1.17	0.14	0.09	0.18	0.98
1995	0.45	1.04	1.55	1.91	2.67	1.96	1.19	2.14	2.13
1996	3.39	3.56	3.21	2.25	0.56	0.84	4.79	5.62	1.35
1997	0.37	0.06	0.01	0.00	0.10	0.24	0.33	0.66	0.39
1998	0.73	0.84	6.06	3.13	2.33	1.09	4.54	1.96	0.29
1999	0.95	1.86	3.74	1.63	0.94	2.20	4.36	5.41	3.41
2000	1.85	0.85	0.49	0.20	0.15	0.36	0.58	0.48	2.42
2001	1.67	7.70	7.11	1.08	0.30	0.06	0.03	0.19	0.06
2002	2.26	4.18	1.10	1.02	2.21	3.27	3.94	1.27	3.02
2003	6.68	4.09	5.54	7.86	7.60	3.16	1.18	3.15	2.45
2004	2.50	3.90	2.80	1.00	0.70	1.60	0.90	0.20	0.40
2005	0.70	1.10	2.40	1.90	1.20	2.10	5.20	6.50	1.90
2006	0.40	0.10	0.30	0.40	0.50	0.30	0.10	0.40	1.60
2007	2.70	2.00	1.10	2.60	1.80	0.50	1.20	1.00	2.10
2008	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	3.70	1.70	2.30
2009	7.40	8.00	9.30	1.80	0.50	2.20	2.20	4.40	3.30
2010	6.20	0.80	0.60	2.40	2.20	0.80	1.50	0.30	0.30
2011	1.20	0.70	0.50	0.40	0.60	0.50	0.90	0.60	1.00
2012	0.20	0.00	0.10	1.70	5.90	5.40	1.40	0.20	0.00
2013	0.60	0.50	0.10	0.50	0.20	0.30	0.20	2.80	1.10
2014	2.40	8.10	3.90	2.60	0.70	0.40	0.20	0.10	0.30
2015	8.00	10.80	8.00	3.60	2.20	1.50	0.20	0.00	0.00
2016	1.00	0.70	4.80	5.80	2.90	2.40	1.70	1.80	1.80
2017	1.60	1.50	1.40	0.40	0.40	0.30	0.80	1.20	2.40
2018	1.80	2.80	1.00	0.40	4.90	8.10	6.10	5.20	4.20
2019	1.20	5.50	6.80	3.50	1.70	0.20	0.20	0.20	0.20
2020	0.20	0.30	0.10	0.30	0.10	0.90	0.80	0.50	1.10
2021	3.90	0.90	0.00	0.00	0.10	0.00	0.10	0.70	0.30
2022	1.20	1.80	6.20	9.10	9.10	3.20	2.40	1.20	0.50
2023	4.50	0.60	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30

附表 1(3) 汾阳市逐年历时 90min 各段雨量(续)(每段 5min)

年份	50	55	60	65	70	75	80	85	90
1981	0.68	0.12	0.24	0.24	0.24	0.21	2.56	2.57	3.88
1982	0.47	0.43	0.35	0.36	0.37	1.04	0.29	0.36	0.77
1983	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
1984	0.25	0.34	0.47	0.19	0.43	0.58	0.57	0.47	0.41
1985	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1986	0.71	5.17	3.41	3.95	3.21	0.91	0.90	1.93	1.72
1987	3.36	0.75	1.63	1.84	0.61	0.12	1.40	0.76	1.26
1988	7.44	4.58	6.78	5.19	7.32	6.65	6.18	3.49	1.25
1989	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1990	0.19	0.13	0.17	0.41	0.37	0.13	0.13	0.17	0.25
1991	0.44	0.71	0.42	0.29	0.23	0.20	0.30	0.15	0.18
1992	1.72	3.02	0.08	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02
1993	1.37	1.46	1.80	3.39	2.68	2.09	0.87	0.42	0.32
1994	0.65	0.67	0.68	0.82	0.89	0.87	1.14	0.34	0.04
1995	1.50	2.67	1.25	1.28	3.16	4.13	2.32	2.18	0.51
1996	2.12	2.17	2.76	1.63	3.30	6.31	5.52	5.32	3.14
1997	0.54	3.04	0.25	0.01	0.01	0.39	2.71	3.03	0.32
1998	0.21	0.07	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
1999	1.11	0.06	0.06	0.11	0.14	0.30	0.68	1.02	2.07
2000	5.19	2.48	1.38	0.88	1.66	3.24	1.92	1.48	1.93
2001	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2002	2.48	2.52	1.36	1.34	0.65	0.23	0.19	0.32	0.41
2003	2.14	0.51	1.61	1.28	4.16	4.11	7.69	1.75	0.48
2004	0.30	3.10	2.20	3.00	4.90	0.90	0.70	0.50	0.70
2005	2.50	1.20	0.80	0.40	0.40	0.60	0.40	0.40	0.50
2006	1.60	1.10	0.70	0.90	1.10	1.40	3.30	1.80	0.70
2007	1.60	0.80	2.60	2.10	0.70	0.50	0.40	0.40	0.30
2008	1.50	1.10	0.40	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00
2009	1.20	0.50	0.20	0.40	1.90	2.10	1.50	2.30	1.10
2010	0.70	0.50	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
2011	1.20	1.60	1.00	0.90	1.30	0.70	0.80	0.70	1.70
2012	0.00	0.00	0.10	0.00	2.30	4.00	1.20	0.10	0.20
2013	1.00	0.20	2.00	2.30	0.30	0.40	0.30	0.70	1.00
2014	0.20	0.40	0.20	0.40	0.30	0.40	0.20	0.40	0.10
2015	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	0.00
2016	0.80	1.00	0.50	0.30	0.70	1.80	1.10	1.60	2.10
2017	5.80	1.10	1.90	2.90	4.80	1.20	1.20	1.10	1.20
2018	3.30	2.00	1.20	1.00	0.80	0.30	0.00	0.00	0.00
2019	0.10	0.00	0.10	0.20	1.00	0.20	0.30	0.30	0.00
2020	1.10	0.60	0.50	0.40	1.20	2.60	4.20	2.30	0.40
2021	1.20	2.60	5.50	0.80	0.10	0.20	0.10	1.00	0.30
2022	0.30	0.50	0.50	0.40	0.10	0.30	0.20	0.10	0.10
2023	0.30	1.10	2.20	8.70	7.30	1.70	3.00	2.70	1.60

附表 1(4) 汾阳市逐年历时 120min 各段雨量(每段 5min)

年份	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
1981	2.16	1.34	2.14	2.88	0.74	0.78	4.80	0.95	0.95	2.14	0.71	0.45
1982	1.57	1.81	1.12	0.80	0.56	0.24	0.67	1.65	0.96	0.48	0.45	0.36
1983	0.62	3.93	5.20	3.12	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1984	1.55	8.12	3.39	3.57	1.65	1.03	0.61	0.31	0.30	0.25	0.29	0.51
1985	0.28	5.20	4.72	5.09	1.36	0.79	0.08	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00
1986	1.44	2.05	1.56	1.05	0.31	0.56	0.71	0.45	1.05	0.68	0.39	0.12
1987	0.06	0.71	5.96	5.52	6.18	3.30	2.72	3.71	5.64	2.43	1.99	3.11
1988	1.25	7.87	8.49	9.35	7.44	4.58	6.78	5.19	7.32	6.65	6.18	3.49
1989	0.05	0.24	6.09	6.82	4.77	1.99	2.05	0.86	0.23	0.13	0.00	0.00
1990	0.46	2.46	3.29	3.13	5.66	3.06	1.85	1.29	0.76	0.14	0.14	0.18
1991	0.67	3.26	6.82	3.90	1.50	0.30	0.73	0.32	0.27	0.44	0.71	0.42
1992	0.08	0.19	1.74	2.48	2.93	2.94	3.67	2.02	2.53	1.72	3.02	0.08
1993	0.31	0.26	0.26	0.39	0.31	0.23	0.20	0.25	0.22	0.40	0.53	0.25
1994	0.48	2.68	11.71	7.03	2.37	0.39	0.14	0.04	0.67	0.75	0.66	0.67
1995	1.93	1.94	1.92	0.75	0.53	0.70	0.37	0.45	1.04	1.55	1.91	2.67
1996	0.99	0.06	0.65	3.39	3.56	3.21	2.25	0.56	0.84	4.79	5.62	1.35
1997	0.06	1.27	0.22	0.33	0.10	0.00	0.01	0.07	0.20	0.27	0.67	0.47
1998	0.73	0.84	6.06	3.13	2.33	1.09	4.54	1.96	0.29	0.21	0.07	0.04
1999	0.03	0.06	0.05	0.16	0.86	1.19	3.01	3.01	0.78	1.78	3.16	4.98
2000	1.41	1.31	0.50	0.28	0.14	0.23	0.55	0.55	0.66	6.51	2.38	1.63
2001	2.02	1.19	0.72	0.72	0.71	0.58	0.26	0.18	0.48	1.11	1.25	1.24
2002	1.59	4.38	1.53	0.76	1.91	2.94	4.56	1.31	2.85	2.48	2.68	1.48
2003	0.01	0.06	0.06	0.88	6.10	5.83	4.58	8.69	7.36	1.84	1.29	3.63
2004	0.40	1.40	3.30	3.40	2.00	0.80	0.60	1.40	0.80	0.20	0.30	1.50
2005	0.60	1.00	2.10	2.30	1.10	1.80	4.30	7.20	2.40	2.10	1.80	0.80
2006	0.10	0.10	0.50	0.30	0.10	0.40	0.10	0.30	0.40	0.50	0.30	0.10
2007	2.70	2.00	1.10	2.60	1.80	0.50	1.20	1.00	2.10	1.60	0.80	2.60
2008	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	3.70	1.70	2.30	1.50	1.10	0.40
2009	7.40	8.00	9.30	1.80	0.50	2.20	2.20	4.40	3.30	1.20	0.50	0.20
2010	0.40	0.40	0.60	0.30	0.50	0.60	0.70	0.50	0.60	0.80	1.20	2.20
2011	0.60	0.50	1.10	0.70	0.70	1.20	0.60	0.50	0.40	0.50	0.70	0.90
2012	0.20	0.00	0.10	1.70	5.90	5.40	1.40	0.20	0.00	0.00	0.00	0.10
2013	0.30	0.30	0.70	0.60	0.30	0.30	0.30	0.30	0.20	0.30	3.00	1.10
2014	2.40	8.10	3.90	2.60	0.70	0.40	0.20	0.10	0.30	0.20	0.40	0.20
2015	8.00	10.80	8.00	3.60	2.20	1.50	0.20	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00
2016	0.70	1.10	0.60	3.60	6.30	3.40	2.60	1.50	1.80	2.00	0.90	0.80
2017	1.60	1.70	0.50	0.40	0.40	0.60	1.10	1.30	5.40	2.90	1.00	2.50
2018	1.80	2.80	1.00	0.40	4.90	8.10	6.10	5.20	4.20	3.30	2.00	1.20
2019	1.20	5.50	6.80	3.50	1.70	0.20	0.20	0.20	0.20	0.10	0.00	0.10
2020	0.60	0.80	0.60	0.40	0.90	1.30	0.90	0.80	0.60	0.80	0.90	0.50
2021	3.90	0.90	0.00	0.00	0.10	0.00	0.10	0.70	0.30	1.20	2.60	5.50
2022	1.40	2.10	0.90	0.60	1.10	2.10	2.30	2.40	2.50	1.80	3.20	1.70
2023	4.50	0.60	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.30	1.10	2.20

附表 1(4) 汾阳市逐年历时 120min 各段雨量(续) (每段 5min)

年份	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
1981	0.16	0.24	0.23	0.23	0.43	3.75	2.55	2.74	0.47	1.70	0.87	0.74
1982	0.37	0.31	1.02	0.40	0.33	0.69	0.70	0.46	0.30	0.29	0.29	0.30
1983	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1984	0.21	0.38	0.56	0.57	0.49	0.43	0.38	0.38	0.38	0.36	0.16	0.11
1985	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1986	0.07	0.06	0.04	0.27	0.57	0.64	0.60	1.00	5.71	3.10	4.03	2.95
1987	0.72	1.89	1.69	0.42	0.12	1.46	0.87	1.44	1.63	0.42	0.03	0.04
1988	1.25	0.10	0.16	0.05	0.05	0.03	0.04	0.03	0.46	0.78	1.50	0.59
1989	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1990	0.45	0.32	0.13	0.13	0.19	0.22	0.05	0.12	0.19	0.18	0.17	0.14
1991	0.29	0.23	0.20	0.30	0.15	0.18	0.31	0.32	0.37	0.39	0.33	0.28
1992	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00
1993	0.23	0.26	0.25	0.42	0.64	0.50	0.37	1.23	1.94	4.96	5.03	1.56
1994	0.71	0.88	0.89	0.76	1.16	0.09	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
1995	1.96	1.19	2.14	2.13	1.50	2.67	1.25	1.28	3.16	4.13	2.32	2.18
1996	2.12	2.17	2.76	1.63	3.30	6.31	5.52	5.32	3.14	1.61	0.44	0.29
1997	0.48	2.47	0.92	0.01	0.01	0.21	2.32	3.11	0.78	0.09	0.00	0.00
1998	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	4.86	2.21	0.09	0.06	0.06	0.14	0.24	0.49	0.90	1.80	0.83	0.04
2000	1.04	0.80	3.46	2.19	1.59	1.70	1.46	0.88	0.38	0.30	0.26	0.23
2001	1.09	1.07	1.00	0.82	0.59	0.58	0.52	0.33	0.34	0.36	1.43	1.50
2002	1.39	0.74	0.26	0.19	0.26	0.42	0.49	0.35	0.31	0.29	0.21	0.21
2003	2.30	1.79	0.40	1.99	1.24	4.54	4.93	6.51	1.41	0.54	0.36	0.18
2004	2.40	3.40	3.70	2.70	1.30	0.30	0.40	0.70	0.20	0.20	1.00	0.10
2005	0.40	0.40	0.60	0.30	0.40	0.50	0.40	0.10	0.30	0.40	0.30	0.50
2006	0.40	1.60	1.60	1.10	0.70	0.90	1.10	1.40	3.30	1.80	0.70	0.30
2007	2.10	0.70	0.50	0.40	0.40	0.30	0.50	0.40	0.20	0.10	0.10	0.00
2008	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2009	0.40	1.90	2.10	1.50	2.30	1.10	2.10	4.00	1.10	0.80	0.80	0.80
2010	1.30	0.60	0.30	0.90	1.40	1.00	0.70	0.40	1.10	0.60	0.70	0.80
2011	0.50	1.10	1.40	1.50	0.90	0.90	1.20	0.70	0.80	1.00	1.50	0.80
2012	0.00	2.30	4.00	1.20	0.10	0.20	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.10
2013	0.80	0.30	2.60	1.60	0.20	0.50	0.40	0.80	0.80	0.40	0.30	0.40
2014	0.40	0.30	0.40	0.20	0.40	0.10	0.20	0.00	0.20	0.10	0.10	0.00
2015	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2016	0.70	0.30	0.50	1.70	1.20	1.50	2.10	1.00	0.60	0.40	0.60	0.60
2017	4.40	2.10	1.70	0.70	1.40	0.70	0.10	0.30	0.10	0.20	1.30	2.90
2018	1.00	0.80	0.30	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.20	0.10
2019	0.20	1.00	0.20	0.30	0.30	0.00	0.10	0.20	0.10	0.00	0.00	0.00
2020	0.70	0.50	0.90	0.60	0.60	1.50	1.20	1.10	1.30	1.10	0.90	0.90
2021	0.80	0.10	0.20	0.10	1.00	0.30	0.60	0.50	0.10	0.20	0.10	0.00
2022	0.90	0.80	1.50	1.10	1.20	2.90	4.10	1.80	0.60	0.50	0.40	1.50
2023	8.70	7.30	1.70	3.00	2.70	1.60	0.70	0.30	0.10	0.00	0.20	0.00

附表 1(5) 汾阳市逐年历时 150min 各段雨量(每段 5min)

年份	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
1981	2.19	3.47	2.12	0.91	5.05	3.18	0.64	2.25	1.03	0.42
1982	1.57	1.81	1.12	0.80	0.56	0.24	0.67	1.65	0.96	0.48
1983	0.32	0.29	0.77	0.62	0.38	0.38	0.38	0.55	0.58	0.40
1984	1.55	8.12	3.39	3.57	1.65	1.03	0.61	0.31	0.30	0.25
1985	0.28	5.20	4.72	5.09	1.36	0.79	0.08	0.07	0.02	0.00
1986	0.70	0.76	1.05	2.20	1.75	1.17	0.36	0.45	0.75	0.49
1987	2.14	6.96	6.41	4.45	2.49	3.57	4.22	4.53	2.25	2.82
1988	0.27	0.36	0.75	0.29	0.02	0.00	0.62	7.12	8.42	8.78
1989	0.05	0.24	6.09	6.82	4.77	1.99	2.05	0.86	0.23	0.13
1990	0.89	3.20	3.50	3.64	5.23	2.07	1.85	1.15	0.38	0.14
1991	0.05	0.10	0.28	1.54	5.46	5.68	2.53	0.90	0.46	0.54
1992	0.08	0.19	1.74	2.48	2.93	2.94	3.67	2.02	2.53	1.72
1993	0.23	0.25	0.37	0.45	0.35	0.26	0.27	0.31	0.39	0.24
1994	0.48	2.68	11.71	7.03	2.37	0.39	0.14	0.04	0.67	0.75
1995	0.26	1.16	0.48	1.36	1.94	1.94	2.04	0.87	0.57	0.63
1996	1.60	4.05	3.23	3.01	1.31	0.56	2.38	3.94	5.72	0.89
1997	0.64	0.45	0.33	0.30	0.23	0.26	0.29	0.29	0.55	0.35
1998	0.73	0.84	6.06	3.13	2.33	1.09	4.54	1.96	0.29	0.21
1999	0.05	0.11	0.09	0.07	0.03	0.03	0.02	0.04	0.05	0.06
2000	1.41	1.31	0.50	0.28	0.14	0.23	0.55	0.55	0.66	6.51
2001	1.09	1.60	1.68	0.81	0.72	0.72	0.69	0.37	0.16	0.34
2002	1.59	4.38	1.53	0.76	1.91	2.94	4.56	1.31	2.85	2.48
2003	0.08	0.17	0.20	0.03	0.02	0.01	0.06	0.06	0.88	6.10
2004	1.20	0.40	0.10	0.00	0.30	0.00	0.40	1.40	3.30	3.40
2005	0.30	0.80	1.20	2.60	1.70	1.30	2.70	5.80	5.40	1.90
2006	0.40	0.30	0.50	0.40	0.10	0.20	1.60	1.60	0.90	1.00
2007	0.90	1.60	3.90	2.50	2.30	1.90	1.50	1.30	0.80	0.90
2008	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	3.70	1.70	2.30	1.50
2009	3.70	9.10	10.10	2.90	1.30	1.00	2.80	3.30	3.80	2.30
2010	0.50	0.60	0.70	0.50	0.60	0.80	1.20	2.20	1.30	0.60
2011	0.50	0.60	0.50	1.00	0.80	0.60	1.20	0.70	0.50	0.40
2012	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10
2013	0.20	0.20	0.00	0.10	0.30	0.20	0.60	0.60	0.50	0.10
2014	2.40	8.10	3.90	2.60	0.70	0.40	0.20	0.10	0.30	0.20
2015	8.00	10.80	8.00	3.60	2.20	1.50	0.20	0.00	0.00	0.00
2016	0.70	0.90	0.80	1.40	6.40	4.70	2.90	1.60	1.60	2.00
2017	1.30	1.60	1.60	0.50	0.20	0.40	0.80	1.00	2.00	5.60
2018	1.80	2.80	1.00	0.40	4.90	8.10	6.10	5.20	4.20	3.30
2019	0.30	0.50	0.30	0.00	0.90	0.50	0.60	0.30	0.20	0.10
2020	0.70	0.70	0.60	0.50	0.90	1.30	0.90	0.70	0.60	0.90
2021	3.90	0.90	0.00	0.00	0.10	0.00	0.10	0.70	0.30	1.20
2022	1.00	1.20	0.80	0.80	0.40	0.50	0.50	0.60	2.00	1.80
2023	4.50	0.60	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.30

附表 1(5) 汾阳市逐年历时 150min 各段雨量(续 1) (每段 5min)

年份	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1981	0.15	0.15	0.37	0.35	0.39	0.69	0.68	0.42	0.67	0.88
1982	0.45	0.36	0.37	0.31	1.02	0.40	0.33	0.69	0.70	0.46
1983	0.42	0.37	0.35	0.24	0.27	0.33	0.71	0.73	0.48	0.41
1984	0.29	0.51	0.21	0.38	0.56	0.57	0.49	0.43	0.38	0.38
1985	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1986	1.08	0.65	0.43	0.15	0.08	0.06	0.04	0.20	0.51	0.66
1987	1.71	0.99	1.98	1.24	0.24	0.62	1.18	1.07	1.74	1.23
1988	8.20	5.03	5.78	6.18	7.22	5.73	7.19	3.57	1.93	0.16
1989	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1990	0.15	0.28	0.44	0.21	0.13	0.13	0.24	0.14	0.06	0.16
1991	0.30	0.26	0.65	0.60	0.33	0.28	0.20	0.25	0.23	0.16
1992	3.02	0.08	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03
1993	0.21	0.23	0.23	0.28	0.55	0.35	0.23	0.26	0.24	0.32
1994	0.66	0.67	0.71	0.88	0.89	0.76	1.16	0.09	0.03	0.02
1995	0.53	0.33	0.91	1.47	1.87	2.60	2.09	1.24	1.92	2.25
1996	2.33	2.56	2.14	2.63	3.32	8.06	4.82	4.11	2.37	1.24
1997	0.21	0.15	0.22	0.25	0.79	0.66	0.67	0.65	0.63	0.55
1998	0.07	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
1999	0.25	0.93	1.49	3.45	2.30	0.81	1.99	3.74	5.04	4.38
2000	2.38	1.63	1.04	0.80	3.46	2.19	1.59	1.70	1.46	0.88
2001	0.84	1.24	1.24	1.16	1.07	1.07	0.87	0.67	0.58	0.57
2002	2.68	1.48	1.39	0.74	0.26	0.19	0.26	0.42	0.49	0.35
2003	5.83	4.58	8.69	7.36	1.84	1.29	3.63	2.30	1.79	0.40
2004	2.00	0.80	0.60	1.40	0.80	0.20	0.30	1.50	2.40	3.40
2005	2.40	1.00	0.70	0.30	0.50	0.50	0.40	0.50	0.40	0.30
2006	0.70	1.20	1.30	2.70	2.50	0.90	0.10	0.30	0.10	0.10
2007	0.90	1.00	0.70	0.70	0.40	0.50	0.50	0.50	0.30	0.40
2008	1.10	0.40	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2009	0.50	0.30	0.40	0.80	2.40	1.80	1.80	1.80	1.00	4.90
2010	0.30	0.90	1.40	1.00	0.70	0.40	1.10	0.60	0.70	0.80
2011	0.60	0.50	0.90	0.60	1.00	1.20	1.60	1.00	0.90	1.30
2012	0.00	0.20	2.40	6.40	4.70	0.90	0.10	0.00	0.00	0.10
2013	0.50	0.20	0.30	0.20	2.80	1.10	1.00	0.20	2.00	2.30
2014	0.40	0.20	0.40	0.30	0.40	0.20	0.40	0.10	0.20	0.00
2015	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	0.00	0.10	0.00
2016	1.30	0.80	1.00	0.20	0.40	1.30	1.50	1.10	2.10	1.70
2017	1.90	1.50	2.80	4.80	1.40	1.30	1.00	1.40	0.30	0.10
2018	2.00	1.20	1.00	0.80	0.30	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00
2019	0.60	0.40	0.20	0.40	0.70	0.50	0.60	0.40	0.20	0.80
2020	0.80	0.50	0.70	0.60	0.80	0.70	0.60	1.60	1.10	1.10
2021	2.60	5.50	0.80	0.10	0.20	0.10	1.00	0.30	0.60	0.50
2022	0.70	0.70	1.60	2.20	2.20	2.60	2.20	2.20	3.00	1.20
2023	1.10	2.20	8.70	7.30	1.70	3.00	2.70	1.60	0.70	0.30

附表 1(5) 汾阳市逐年历时 150min 各段雨量(续 2) (每段 5min)

年份	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
1981	0.61	0.48	2.92	2.01	1.68	2.65	1.40	4.24	2.56	1.04
1982	0.30	0.29	0.29	0.30	0.29	0.29	0.29	0.29	0.30	0.29
1983	0.45	0.47	0.58	0.51	0.41	0.33	0.30	0.64	0.43	0.30
1984	0.38	0.36	0.16	0.11	0.12	0.10	0.11	0.09	0.10	0.11
1985	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1986	0.60	0.71	5.17	3.41	3.95	3.21	0.91	0.90	1.93	1.72
1987	0.08	0.04	0.03	0.05	0.04	0.04	0.05	0.12	0.50	0.15
1988	0.16	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03	0.33	0.74	1.38	0.85
1989	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1990	0.19	0.19	0.15	0.17	0.27	0.33	0.44	0.52	0.82	0.74
1991	0.23	0.31	0.34	0.39	0.38	0.29	0.31	0.17	0.11	0.07
1992	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1993	0.58	0.56	0.43	0.80	1.67	3.26	5.85	3.03	0.39	0.17
1994	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1995	1.57	2.47	1.54	1.10	2.68	4.30	2.61	2.18	0.89	0.12
1996	0.34	0.21	0.08	0.05	0.03	0.04	0.80	0.88	0.86	1.10
1997	0.68	1.06	1.20	0.81	0.68	0.85	0.58	0.33	0.56	0.42
1998	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	1.63	0.07	0.06	0.09	0.13	0.26	0.58	0.96	2.07	0.38
2000	0.38	0.30	0.26	0.23	0.08	0.00	0.17	0.20	0.12	0.11
2001	0.38	0.34	0.33	0.94	1.62	1.17	0.99	0.56	0.54	0.60
2002	0.31	0.29	0.21	0.21	0.21	0.21	0.20	0.24	0.15	0.14
2003	1.99	1.24	4.54	4.93	6.51	1.41	0.54	0.36	0.18	0.01
2004	3.70	2.70	1.30	0.30	0.40	0.70	0.20	0.20	1.00	0.10
2005	0.20	0.20	0.40	0.50	0.30	0.30	0.10	0.30	0.20	0.40
2006	0.10	0.30	0.20	0.40	0.30	0.40	0.20	0.30	0.30	0.30
2007	0.30	0.50	0.40	0.70	0.70	0.30	0.30	0.20	0.30	0.80
2008	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
2009	1.20	0.90	0.90	0.80	0.60	0.50	0.20	0.10	0.10	0.30
2010	0.30	0.30	0.00	0.10	0.30	0.10	0.20	0.40	1.10	0.70
2011	0.70	0.80	0.70	1.70	0.80	0.60	0.40	0.20	0.50	0.40
2012	0.00	0.00	3.40	3.50	0.70	0.00	0.20	0.10	0.10	0.00
2013	0.30	0.40	0.30	0.70	1.00	0.50	0.30	0.30	0.20	0.20
2014	0.20	0.10	0.10	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00
2016	0.50	0.40	0.50	0.60	0.60	0.50	0.50	0.40	0.40	0.40
2017	0.30	0.20	0.20	1.60	2.80	1.10	0.20	0.40	0.10	0.10
2018	0.00	0.00	0.20	0.10	0.20	0.10	0.00	0.10	0.00	0.10
2019	0.80	1.30	0.50	0.30	0.10	0.80	4.50	3.10	0.90	2.10
2020	1.40	1.00	0.90	0.80	0.60	0.40	0.30	0.60	1.10	0.90
2021	0.10	0.20	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2022	0.60	1.30	1.30	1.00	1.40	4.10	3.30	1.10	0.60	0.30
2023	0.10	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

附表 1(6) 汾阳市逐年历时 180min 各段雨量 (每段 5min)

年份	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
1981	1.42	3.50	2.74	0.77	4.22	4.15	0.73	1.85	1.45	0.46	0.19	0.11
1982	1.57	1.81	1.12	0.80	0.56	0.24	0.67	1.65	0.96	0.48	0.45	0.36
1983	0.30	0.23	0.62	0.78	0.40	0.38	0.37	0.48	0.58	0.52	0.37	0.38
1984	0.61	8.42	3.18	4.02	1.73	1.19	0.72	0.31	0.31	0.25	0.28	0.48
1985	0.28	5.20	4.72	5.09	1.36	0.79	0.08	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00
1986	0.33	0.52	0.69	0.73	0.69	0.66	0.88	1.85	1.86	1.44	0.83	0.33
1987	0.06	0.71	5.96	5.52	6.18	3.30	2.72	3.71	5.64	2.43	1.99	3.11
1988	0.21	0.28	0.30	0.58	0.50	0.14	0.00	0.10	4.28	8.24	9.57	8.44
1989	0.05	0.24	6.09	6.82	4.77	1.99	2.05	0.86	0.23	0.13	0.00	0.00
1990	0.89	3.20	3.50	3.64	5.23	2.07	1.85	1.15	0.38	0.14	0.15	0.28
1991	0.05	0.05	0.10	0.28	1.54	5.46	5.68	2.53	0.90	0.46	0.54	0.30
1992	0.08	0.19	1.74	2.48	2.93	2.94	3.67	2.02	2.53	1.72	3.02	0.08
1993	0.76	0.89	0.43	0.51	0.52	0.35	0.24	0.11	0.23	0.25	0.37	0.45
1994	0.48	2.68	11.71	7.03	2.37	0.39	0.14	0.04	0.67	0.75	0.66	0.67
1995	0.37	0.34	0.13	0.07	0.40	1.15	0.42	1.66	1.93	1.94	1.92	0.75
1996	0.57	0.42	0.02	0.86	0.18	0.19	2.37	3.97	3.28	2.68	0.91	0.57
1997	0.69	0.62	0.38	0.33	0.61	0.32	0.33	0.64	0.45	0.33	0.30	0.23
1998	0.08	0.09	0.23	0.35	0.35	0.22	0.09	0.13	0.04	0.03	0.04	0.05
1999	0.16	0.00	0.02	0.05	0.08	0.09	0.11	0.04	0.01	0.03	0.02	0.06
2000	1.41	1.31	0.50	0.28	0.14	0.23	0.55	0.55	0.66	6.51	2.38	1.63
2001	0.83	1.20	2.08	0.98	0.71	0.72	0.72	0.51	0.21	0.22	0.56	1.21
2002	1.59	4.38	1.53	0.76	1.91	2.94	4.56	1.31	2.85	2.48	2.68	1.48
2003	0.08	0.17	0.20	0.03	0.02	0.01	0.06	0.06	0.88	6.10	5.83	4.58
2004	3.40	3.20	2.60	0.80	0.70	1.60	0.90	0.10	0.40	0.90	2.80	2.80
2005	0.30	0.80	1.20	2.60	1.70	1.30	2.70	5.80	5.40	1.90	2.40	1.00
2006	0.20	0.60	0.10	0.30	0.20	0.10	0.40	0.30	0.50	0.30	0.10	0.90
2007	0.50	0.90	1.60	3.90	2.50	2.30	1.90	1.50	1.30	0.80	0.90	0.90
2008	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	3.70	1.70	2.30	1.50	1.10	0.40
2009	0.10	0.30	7.40	8.00	9.30	1.80	0.50	2.20	2.20	4.40	3.30	1.20
2010	0.40	0.50	0.30	0.60	0.40	0.60	0.70	0.50	0.50	0.80	1.00	1.50
2011	0.30	0.40	0.30	0.40	0.20	0.50	0.60	0.50	1.00	0.80	0.60	1.20
2012	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	0.00	0.20
2013	0.40	0.50	0.30	0.70	0.70	0.40	0.60	0.80	0.70	0.60	0.50	0.70
2014	2.40	8.10	3.90	2.60	0.70	0.40	0.20	0.10	0.30	0.20	0.40	0.20
2015	8.00	10.80	8.00	3.60	2.20	1.50	0.20	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00
2016	0.20	0.70	1.00	0.70	2.40	6.40	4.20	2.70	1.50	1.80	1.90	1.10
2017	0.40	0.50	0.20	0.20	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.10	1.60	1.50
2018	1.80	2.80	1.00	0.40	4.90	8.10	6.10	5.20	4.20	3.30	2.00	1.20
2019	0.40	0.30	0.50	0.30	0.00	0.90	0.50	0.60	0.30	0.20	0.10	0.60
2020	0.10	0.10	0.20	0.50	0.90	0.60	0.40	0.80	1.10	1.10	0.80	0.60
2021	0.90	0.40	0.50	0.60	0.20	0.40	0.30	0.70	0.80	1.10	0.80	0.60
2022	1.00	1.20	0.80	0.80	0.40	0.50	0.50	0.60	2.00	1.80	0.70	0.70
2023	4.50	0.60	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.30	1.10	2.20

附表 1(6) 汾阳市逐年历时 180min 各段雨量(续 1) (每段 5min)

年份	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
1981	0.35	0.37	0.37	0.53	0.83	0.45	0.56	0.87	0.70	0.37	1.77	3.09
1982	0.37	0.31	1.02	0.40	0.33	0.69	0.70	0.46	0.30	0.29	0.29	0.30
1983	0.36	0.26	0.31	0.27	0.55	0.75	0.57	0.41	0.48	0.44	0.53	0.55
1984	0.26	0.32	0.54	0.58	0.51	0.44	0.38	0.38	0.38	0.38	0.20	0.11
1985	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1986	0.63	0.68	0.53	0.98	0.65	0.32	0.10	0.07	0.06	0.04	0.33	0.65
1987	0.72	1.89	1.69	0.42	0.12	1.46	0.87	1.44	1.63	0.42	0.03	0.04
1988	6.19	3.93	7.56	5.24	6.48	8.22	4.00	3.11	0.54	0.13	0.09	0.05
1989	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1990	0.44	0.21	0.13	0.13	0.24	0.14	0.06	0.16	0.19	0.19	0.15	0.17
1991	0.26	0.65	0.60	0.33	0.28	0.20	0.25	0.23	0.16	0.23	0.31	0.34
1992	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00
1993	0.35	0.26	0.27	0.31	0.39	0.24	0.21	0.23	0.23	0.28	0.55	0.35
1994	0.71	0.88	0.89	0.76	1.16	0.09	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
1995	0.53	0.70	0.37	0.45	1.04	1.55	1.91	2.67	1.96	1.19	2.14	2.13
1996	3.46	3.76	4.81	1.23	2.30	2.67	1.92	3.06	3.62	7.39	5.55	3.89
1997	0.26	0.29	0.29	0.55	0.35	0.21	0.15	0.22	0.25	0.79	0.66	0.67
1998	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.05	0.08	0.04	0.01	0.03	0.03
1999	0.04	0.12	0.73	1.00	2.64	3.49	0.91	1.46	2.77	5.12	5.00	2.62
2000	1.04	0.80	3.46	2.19	1.59	1.70	1.46	0.88	0.38	0.30	0.26	0.23
2001	1.25	1.22	1.08	1.07	0.95	0.77	0.58	0.59	0.46	0.34	0.34	0.46
2002	1.39	0.74	0.26	0.19	0.26	0.42	0.49	0.35	0.31	0.29	0.21	0.21
2003	8.69	7.36	1.84	1.29	3.63	2.30	1.79	0.40	1.99	1.24	4.54	4.93
2004	3.10	4.00	1.30	0.20	0.50	0.80	0.10	0.30	0.90	0.20	0.00	0.10
2005	0.70	0.30	0.50	0.50	0.40	0.50	0.40	0.30	0.20	0.20	0.40	0.50
2006	1.20	1.70	1.10	0.50	1.10	1.20	1.70	3.10	1.70	0.40	0.30	0.10
2007	1.00	0.70	0.70	0.40	0.50	0.50	0.50	0.30	0.40	0.30	0.50	0.40
2008	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2009	0.50	0.20	0.40	1.90	2.10	1.50	2.30	1.10	2.10	4.00	1.10	0.80
2010	2.10	0.70	0.50	0.60	0.90	1.50	0.80	0.60	0.70	0.90	0.70	0.70
2011	0.70	0.50	0.40	0.60	0.50	0.90	0.60	1.00	1.20	1.60	1.00	0.90
2012	2.40	6.40	4.70	0.90	0.10	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	3.40	3.50
2013	0.90	0.90	0.30	0.50	0.30	0.30	0.20	0.40	0.50	0.30	0.20	0.40
2014	0.40	0.30	0.40	0.20	0.40	0.10	0.20	0.00	0.20	0.10	0.10	0.00
2015	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2016	0.90	0.80	0.20	0.40	1.50	1.30	1.40	2.10	1.40	0.50	0.40	0.60
2017	1.40	0.40	0.40	0.30	0.80	1.20	2.40	5.80	1.10	1.90	2.90	4.80
2018	1.00	0.80	0.30	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.20	0.10
2019	0.40	0.20	0.40	0.70	0.50	0.60	0.40	0.20	0.80	0.80	1.30	0.50
2020	0.70	1.00	0.60	0.60	0.60	0.70	0.80	0.60	1.00	1.50	1.00	1.20
2021	0.40	0.40	0.90	0.40	0.50	0.60	0.50	0.50	0.40	0.20	0.30	1.10
2022	1.60	2.20	2.20	2.60	2.20	2.20	3.00	1.20	0.60	1.30	1.30	1.00
2023	8.70	7.30	1.70	3.00	2.70	1.60	0.70	0.30	0.10	0.00	0.20	0.00

附表 1(6) 汾阳市逐年历时 180min 各段雨量(续 2) (每段 5min)

年份	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180
1981	1.69	2.65	0.89	3.97	3.28	1.26	0.29	0.37	0.69	0.76	0.87	1.48
1982	0.29	0.29	0.29	0.29	0.30	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.30	0.29
1983	0.48	0.30	0.46	0.36	0.55	0.33	0.27	0.29	0.22	0.30	0.41	0.38
1984	0.11	0.11	0.11	0.09	0.10	0.10	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
1985	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1986	0.61	0.60	1.43	5.79	3.15	3.93	2.55	0.41	1.30	2.43	0.83	0.18
1987	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05	0.39	0.30	0.12	0.03	0.00	0.00	0.00
1988	0.04	0.04	0.03	0.07	0.68	1.07	1.32	0.23	0.03	0.02	0.03	0.02
1989	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1990	0.27	0.33	0.44	0.52	0.82	0.74	0.44	0.71	0.71	0.52	0.53	0.40
1991	0.39	0.38	0.29	0.31	0.17	0.11	0.07	0.05	0.04	0.04	0.03	0.04
1992	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1993	0.23	0.26	0.24	0.32	0.58	0.56	0.43	0.80	1.67	3.26	5.85	3.03
1994	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.02
1995	1.50	2.67	1.25	1.28	3.16	4.13	2.32	2.18	0.51	0.10	0.37	0.42
1996	1.92	0.89	0.33	0.16	0.07	0.05	0.02	0.11	0.91	0.84	0.97	0.92
1997	0.65	0.63	0.55	0.68	1.06	1.20	0.81	0.68	0.85	0.58	0.33	0.56
1998	0.03	0.01	0.00	0.08	0.10	0.22	0.88	3.28	7.93	4.46	2.91	0.30
1999	0.24	0.06	0.05	0.14	0.20	0.42	0.84	1.42	1.37	0.07	0.00	0.01
2000	0.08	0.00	0.17	0.20	0.12	0.11	0.06	0.04	0.02	0.01	0.02	0.01
2001	1.58	1.40	1.05	0.70	0.54	0.55	0.77	0.83	0.72	0.26	0.26	0.21
2002	0.21	0.21	0.20	0.24	0.15	0.14	0.15	0.13	0.12	0.11	0.11	0.10
2003	6.51	1.41	0.54	0.36	0.18	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2004	0.10	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.30	1.00	2.20	1.00	4.00
2005	0.30	0.30	0.10	0.30	0.20	0.40	0.20	0.30	0.40	0.20	0.20	0.10
2006	0.10	0.10	0.30	0.20	0.20	0.40	0.30	0.40	0.30	0.20	0.40	0.20
2007	0.70	0.70	0.30	0.30	0.20	0.30	0.80	0.50	0.40	0.40	0.60	0.70
2008	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2009	0.80	0.80	0.60	0.20	0.20	0.10	0.20	0.30	0.30	0.30	0.20	0.30
2010	0.50	0.30	0.10	0.10	0.10	0.30	0.10	0.20	0.80	1.10	0.40	0.20
2011	1.30	0.70	0.80	0.70	1.70	0.80	0.60	0.40	0.20	0.50	0.40	0.20
2012	0.70	0.00	0.20	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00
2013	0.30	0.30	0.30	0.50	0.60	0.60	0.50	0.90	1.00	0.80	0.70	0.30
2014	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2015	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00
2016	0.50	0.60	0.40	0.60	0.30	0.50	0.40	0.40	0.40	0.30	0.20	0.20
2017	1.20	1.20	1.10	1.20	0.20	0.10	0.20	0.20	0.30	1.90	2.70	0.90
2018	0.20	0.10	0.00	0.10	0.00	0.10	0.00	0.10	0.10	0.00	0.10	0.00
2019	0.30	0.10	0.80	4.50	3.10	0.90	2.10	0.20	0.40	0.40	0.10	0.30
2020	1.40	0.90	0.80	0.70	0.60	0.30	0.40	0.80	1.10	0.70	0.50	0.20
2021	0.60	0.60	0.70	0.80	0.70	0.40	0.20	0.10	0.20	0.80	0.40	0.50
2022	1.40	4.10	3.30	1.10	0.60	0.30	0.80	1.20	0.50	0.70	0.60	0.50
2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

附表 2 各历时不同重现期芝加哥法雨型各时段平均雨强

附表 2(1) 各历时 P=2a 时芝加哥法雨型各时段平均雨强 时段(min);雨强(mm/min)

t=30min P=2a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.407	0.853	1.334	0.719	0.463	0.334
t=60min P=2a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.172	0.234	0.354	0.670	1.378	0.831
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	0.513	0.362	0.276	0.221	0.184	0.157
t=90min P=2a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.107	0.129	0.161	0.214	0.312	0.547
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	1.305	0.978	0.573	0.393	0.294	0.233
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	0.192	0.163	0.142	0.125	0.112	0.101
t=120min P=2a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.078	0.088	0.103	0.122	0.151	0.197
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	0.279	0.460	1.074	1.177	0.647	0.429
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	0.316	0.247	0.202	0.170	0.147	0.129
时段	95	100	105	110	115	120
雨强	0.115	0.104	0.094	0.087	0.080	0.074
t=150min P=2a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.061	0.067	0.075	0.085	0.099	0.117
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	0.142	0.183	0.252	0.395	0.809	1.353
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	0.739	0.473	0.340	0.262	0.212	0.178
时段	95	100	105	110	115	120
雨强	0.152	0.133	0.118	0.106	0.097	0.089
时段	125	130	135	140	145	150
雨强	0.082	0.076	0.071	0.066	0.063	0.059
t=180min P=2a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.051	0.055	0.060	0.066	0.073	0.082
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	0.095	0.111	0.135	0.170	0.229	0.344
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	0.641	1.383	0.858	0.524	0.368	0.279
时段	95	100	105	110	115	120
雨强	0.224	0.186	0.158	0.138	0.122	0.109
时段	125	130	135	140	145	150
雨强	0.099	0.091	0.083	0.077	0.072	0.068
时段	155	160	165	170	175	180
雨强	0.064	0.060	0.057	0.054	0.051	0.049

附表 2(2) 各历时 P=3a 时芝加哥法雨型各时段平均雨强 时段(min);雨强(mm/min)

t=30min P=3a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.460	0.966	1.510	0.814	0.524	0.379
t=60min P=3a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.195	0.264	0.401	0.759	1.560	0.941
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	0.581	0.409	0.312	0.250	0.208	0.178
t=90min P=3a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.121	0.146	0.182	0.242	0.354	0.620
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	1.478	1.107	0.649	0.445	0.333	0.264
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	0.218	0.185	0.160	0.141	0.127	0.114
t=120min P=3a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.088	0.100	0.116	0.139	0.171	0.223
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	0.316	0.521	1.216	1.333	0.732	0.486
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	0.357	0.280	0.229	0.193	0.166	0.146
时段	95	100	105	110	115	120
雨强	0.130	0.117	0.107	0.098	0.091	0.084
t=150min P=3a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.069	0.076	0.085	0.097	0.112	0.132
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	0.161	0.207	0.285	0.447	0.916	1.532
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	0.837	0.535	0.385	0.297	0.240	0.201
时段	95	100	105	110	115	120
雨强	0.172	0.151	0.134	0.121	0.109	0.100
时段	125	130	135	140	145	150
雨强	0.093	0.086	0.080	0.075	0.071	0.067
t=180min P=3a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.057	0.062	0.068	0.074	0.083	0.093
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	0.107	0.126	0.152	0.192	0.260	0.390
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	0.726	1.566	0.971	0.594	0.416	0.316
时段	95	100	105	110	115	120
雨强	0.253	0.210	0.179	0.156	0.138	0.124
时段	125	130	135	140	145	150
雨强	0.112	0.103	0.094	0.088	0.082	0.076
时段	155	160	165	170	175	180
雨强	0.072	0.068	0.064	0.061	0.058	0.056

附表 2(3) 各历时 P=5a 时芝加哥法雨型各时段平均雨强 时段(min);雨强(mm/min)

t=30min P=5a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.528	1.108	1.732	0.933	0.601	0.434
t=60min P=5a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.224	0.303	0.460	0.871	1.789	1.079
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	0.666	0.470	0.358	0.287	0.239	0.204
t=90min P=5a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.139	0.167	0.209	0.278	0.406	0.711
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	1.695	1.270	0.744	0.510	0.382	0.303
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	0.250	0.212	0.184	0.162	0.145	0.131
t=120min P=5a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.101	0.115	0.133	0.159	0.196	0.256
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	0.363	0.597	1.395	1.529	0.840	0.558
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	0.410	0.321	0.262	0.221	0.191	0.168
时段	95	100	105	110	115	120
雨强	0.149	0.135	0.123	0.113	0.104	0.097
t=150min P=5a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.101	0.115	0.133	0.159	0.196	0.256
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	0.363	0.597	1.395	1.529	0.840	0.558
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	0.410	0.321	0.262	0.221	0.191	0.168
时段	95	100	105	110	115	120
雨强	0.149	0.135	0.123	0.113	0.104	0.097
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.101	0.115	0.133	0.159	0.196	0.256
t=180min P=5a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.079	0.088	0.098	0.111	0.128	0.151
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	0.185	0.237	0.327	0.513	1.051	1.758
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	0.960	0.614	0.441	0.341	0.276	0.231
时段	95	100	105	110	115	120
雨强	0.198	0.173	0.154	0.138	0.126	0.115
时段	125	130	135	140	145	150
雨强	0.106	0.099	0.092	0.086	0.081	0.077
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.079	0.088	0.098	0.111	0.128	0.151

附表 2(4) 各历时 P=10a 时芝加哥法雨型各时段平均雨强 时段(min);雨强(mm/min)

t=30min P=10a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.620	1.301	2.034	1.096	0.706	0.510
t=60min P=10a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.263	0.356	0.540	1.022	2.101	1.267
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	0.782	0.551	0.420	0.337	0.280	0.239
t=90min P=10a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.164	0.197	0.246	0.326	0.476	0.835
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	1.991	1.492	0.874	0.599	0.449	0.356
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	0.293	0.249	0.216	0.191	0.170	0.154
t=120min P=10a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.119	0.135	0.157	0.187	0.231	0.300
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	0.426	0.701	1.638	1.795	0.987	0.655
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	0.481	0.377	0.308	0.259	0.224	0.197
时段	95	100	105	110	115	120
雨强	0.175	0.158	0.144	0.132	0.122	0.114
t=150min P=10a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.093	0.103	0.115	0.130	0.150	0.178
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	0.217	0.278	0.384	0.602	1.234	2.064
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	1.128	0.721	0.518	0.400	0.324	0.271
时段	95	100	105	110	115	120
雨强	0.232	0.203	0.180	0.162	0.147	0.135
时段	125	130	135	140	145	150
雨强	0.125	0.116	0.108	0.101	0.095	0.090
t=180min P=10a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.077	0.083	0.091	0.100	0.111	0.126
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	0.144	0.170	0.205	0.259	0.350	0.525
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	0.978	2.109	1.308	0.800	0.561	0.426
时段	95	100	105	110	115	120
雨强	0.341	0.283	0.241	0.210	0.186	0.167
时段	125	130	135	140	145	150
雨强	0.151	0.138	0.127	0.118	0.110	0.103
时段	155	160	165	170	175	180
雨强	0.097	0.091	0.087	0.082	0.078	0.075

附表 2(5) 各历时 P=20a 时芝加哥法雨型各时段平均雨强 时段(min);雨强(mm/min)

t=30min P=20a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.712	1.494	2.335	1.258	0.811	0.586
t=60min P=20a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.302	0.409	0.620	1.174	2.412	1.455
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	0.898	0.633	0.483	0.387	0.322	0.275
t=90min P=20a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.188	0.226	0.282	0.374	0.547	0.959
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	2.286	1.713	1.003	0.688	0.515	0.409
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	0.337	0.286	0.248	0.219	0.196	0.177
t=120min P=20a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.136	0.155	0.180	0.214	0.265	0.345
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	0.489	0.805	1.880	2.061	1.133	0.752
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	0.552	0.433	0.353	0.298	0.257	0.226
时段	95	100	105	110	115	120
雨强	0.201	0.182	0.165	0.152	0.140	0.130
t=150min P=20a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.107	0.118	0.132	0.150	0.173	0.204
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	0.249	0.320	0.441	0.691	1.416	2.370
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	1.295	0.828	0.595	0.459	0.372	0.311
时段	95	100	105	110	115	120
雨强	0.267	0.233	0.207	0.186	0.169	0.155
时段	125	130	135	140	145	150
雨强	0.143	0.133	0.124	0.116	0.110	0.104
t=180min P=20a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.088	0.096	0.104	0.115	0.128	0.144
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	0.166	0.195	0.236	0.298	0.401	0.603
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	1.123	2.422	1.502	0.918	0.644	0.489
时段	95	100	105	110	115	120
雨强	0.391	0.325	0.277	0.241	0.214	0.191
时段	125	130	135	140	145	150
雨强	0.173	0.159	0.146	0.135	0.126	0.118
时段	155	160	165	170	175	180
雨强	0.111	0.105	0.100	0.095	0.090	0.086

附表 2(6) 各历时 P=30a 时芝加哥法雨型各时段平均雨强 时段(min);雨强(mm/min)

t=30min P=30a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.766	1.607	2.512	1.353	0.872	0.630
t=60min P=30a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.325	0.440	0.666	1.263	2.594	1.565
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	0.966	0.681	0.519	0.416	0.346	0.296
t=90min P=30a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.202	0.243	0.304	0.403	0.588	1.031
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	2.458	1.842	1.079	0.740	0.554	0.439
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	0.362	0.308	0.267	0.235	0.210	0.190
t=120min P=30a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.146	0.167	0.193	0.231	0.285	0.371
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	0.526	0.866	2.022	2.217	1.218	0.809
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	0.594	0.465	0.380	0.320	0.276	0.243
时段	95	100	105	110	115	120
雨强	0.217	0.195	0.178	0.163	0.151	0.140
t=150min P=30a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.115	0.127	0.142	0.161	0.186	0.219
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	0.268	0.344	0.474	0.743	1.523	2.549
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	1.393	0.890	0.640	0.494	0.400	0.334
时段	95	100	105	110	115	120
雨强	0.287	0.251	0.223	0.200	0.182	0.167
时段	125	130	135	140	145	150
雨强	0.154	0.143	0.133	0.125	0.118	0.111
t=180min P=30a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.095	0.103	0.112	0.124	0.138	0.155
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	0.178	0.209	0.253	0.320	0.432	0.649
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	1.208	2.605	1.616	0.987	0.692	0.526
时段	95	100	105	110	115	120
雨强	0.421	0.349	0.298	0.260	0.230	0.206
时段	125	130	135	140	145	150
雨强	0.187	0.171	0.157	0.146	0.136	0.127
时段	155	160	165	170	175	180
雨强	0.120	0.113	0.107	0.102	0.097	0.093

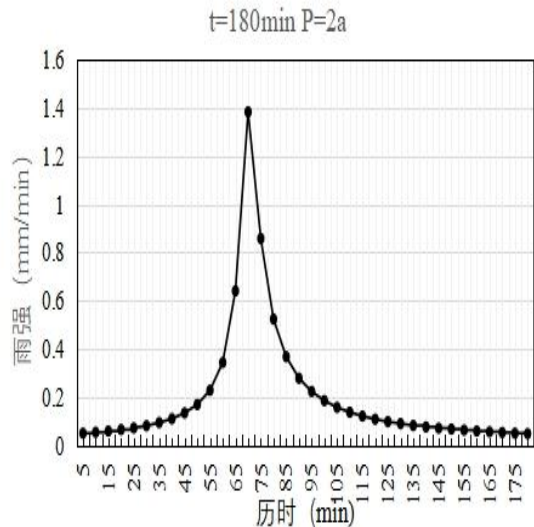
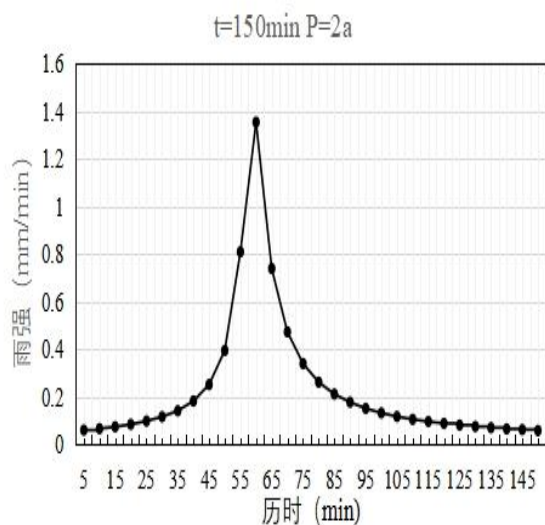
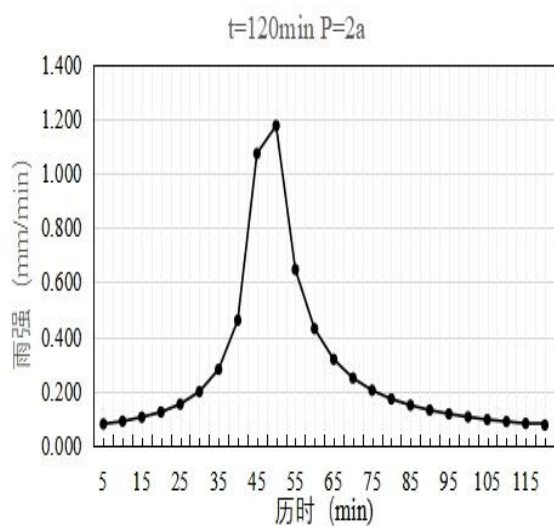
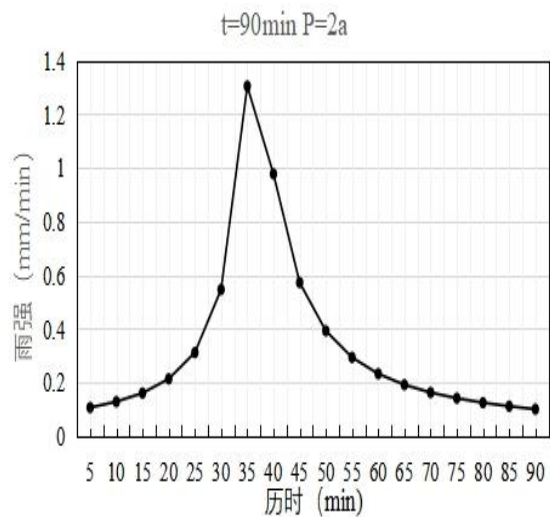
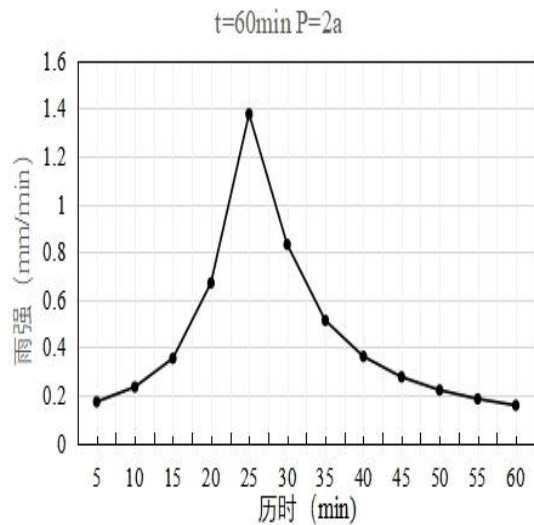
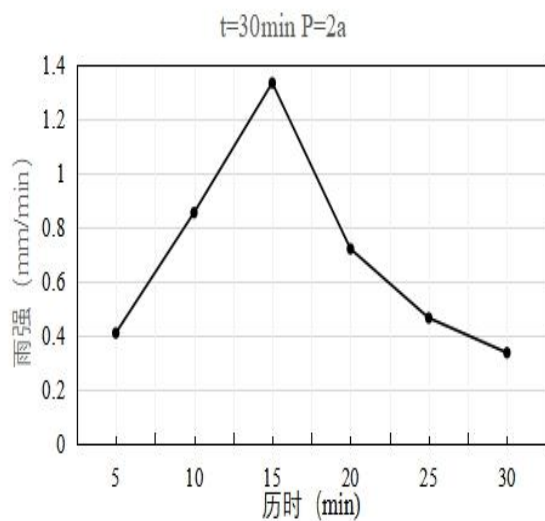
附表 2(7) 各历时 P=50a 时芝加哥法雨型各时段平均雨强 时段(min);雨强(mm/min)

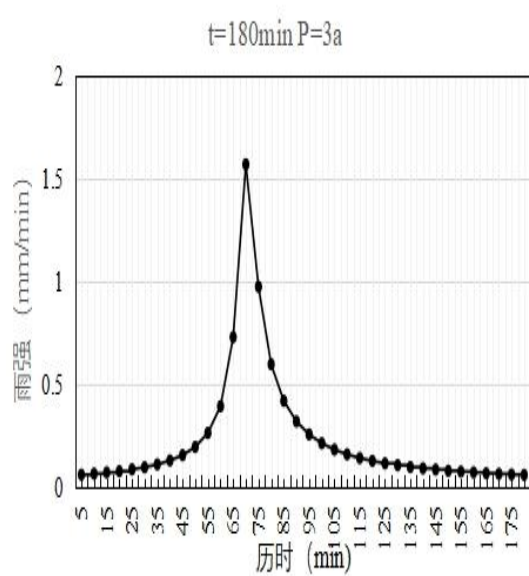
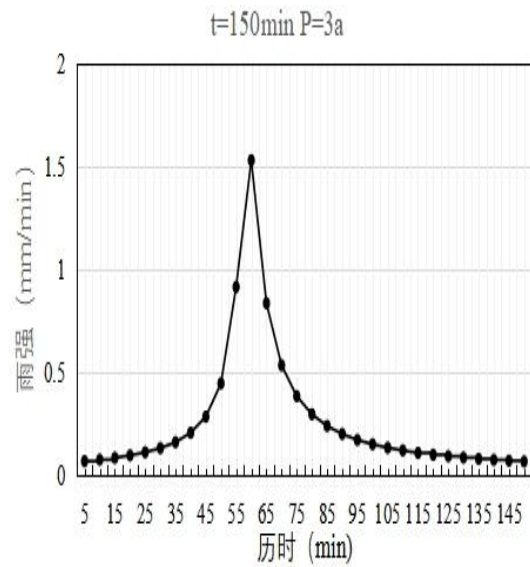
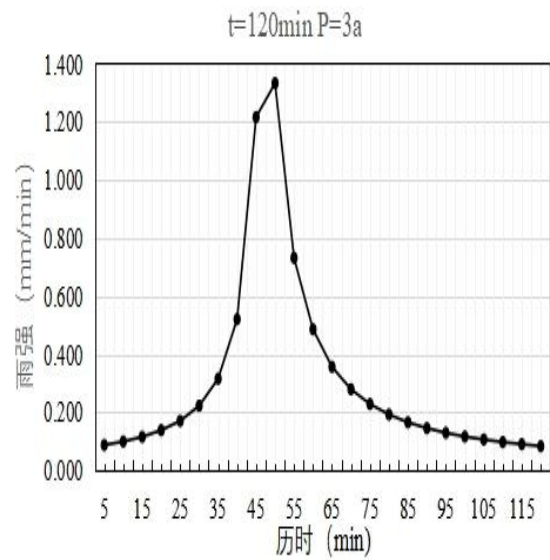
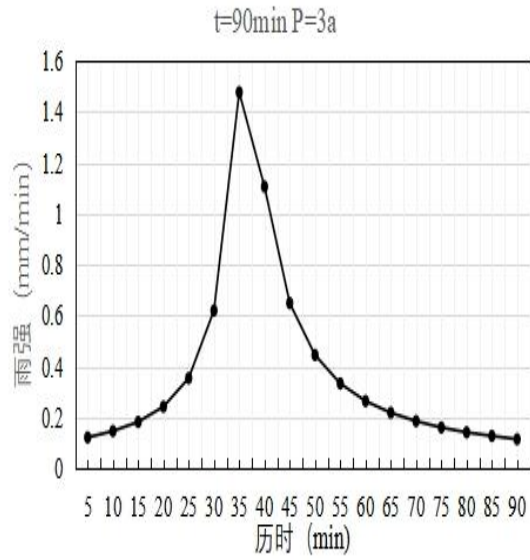
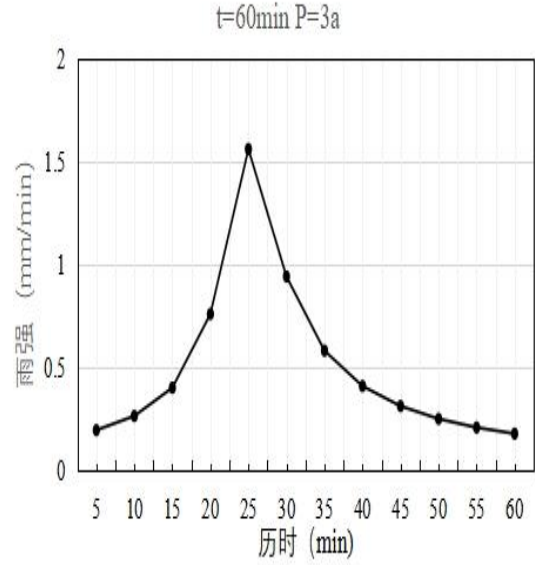
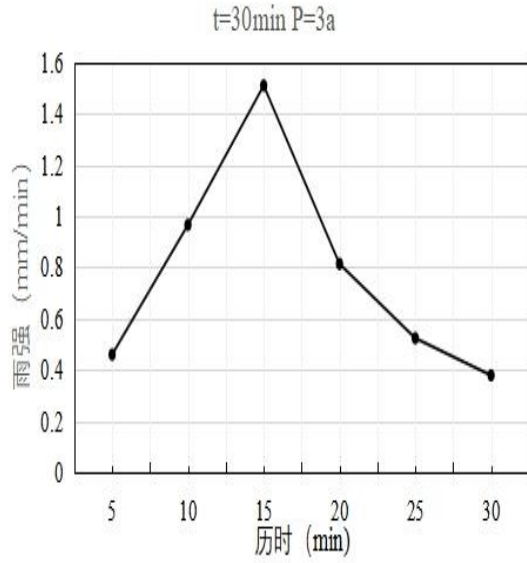
t=30min P=50a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.833	1.749	2.734	1.473	0.949	0.686
t=60min P=50a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.354	0.479	0.725	1.374	2.824	1.703
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	1.051	0.741	0.565	0.453	0.377	0.322
t=90min P=50a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.220	0.264	0.330	0.438	0.640	1.122
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	2.676	2.005	1.175	0.805	0.603	0.478
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	0.395	0.335	0.290	0.256	0.229	0.207
t=120min P=50a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.159	0.181	0.211	0.251	0.310	0.404
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	0.572	0.942	2.201	2.413	1.326	0.880
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	0.647	0.506	0.414	0.349	0.301	0.264
时段	95	100	105	110	115	120
雨强	0.236	0.213	0.194	0.178	0.164	0.153
t=150min P=50a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.125	0.138	0.154	0.175	0.202	0.239
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	0.292	0.374	0.516	0.809	1.658	2.774
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	1.516	0.969	0.696	0.537	0.435	0.364
时段	95	100	105	110	115	120
雨强	0.312	0.273	0.243	0.218	0.198	0.182
时段	125	130	135	140	145	150
雨强	0.168	0.156	0.145	0.136	0.128	0.121
t=180min P=50a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.104	0.112	0.122	0.135	0.150	0.169
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	0.194	0.228	0.276	0.349	0.470	0.706
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	1.315	2.835	1.759	1.075	0.754	0.572
时段	95	100	105	110	115	120
雨强	0.458	0.380	0.324	0.283	0.250	0.224
时段	125	130	135	140	145	150
雨强	0.203	0.186	0.171	0.159	0.148	0.138
时段	155	160	165	170	175	180
雨强	0.130	0.123	0.117	0.111	0.106	0.101

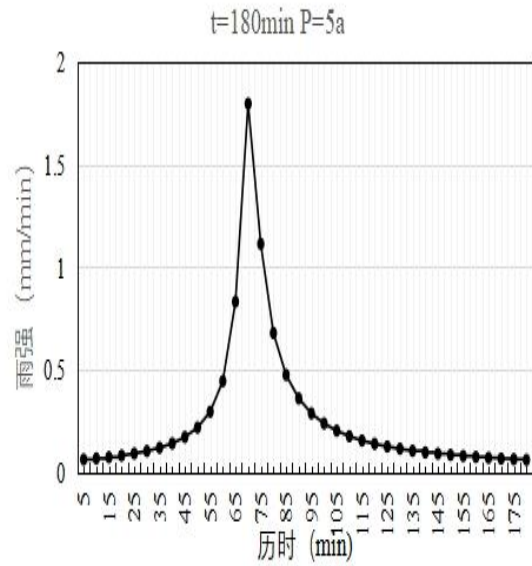
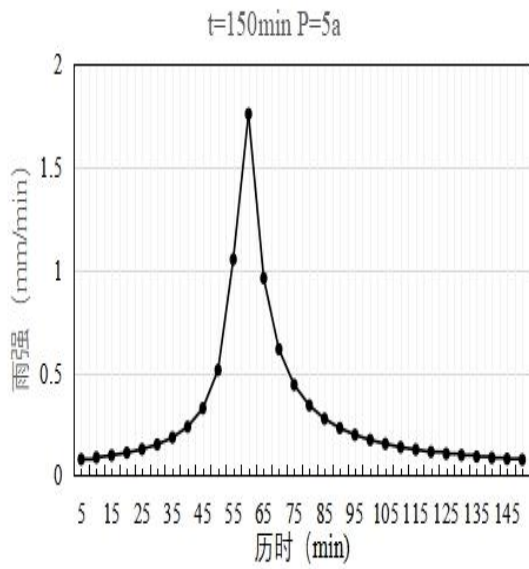
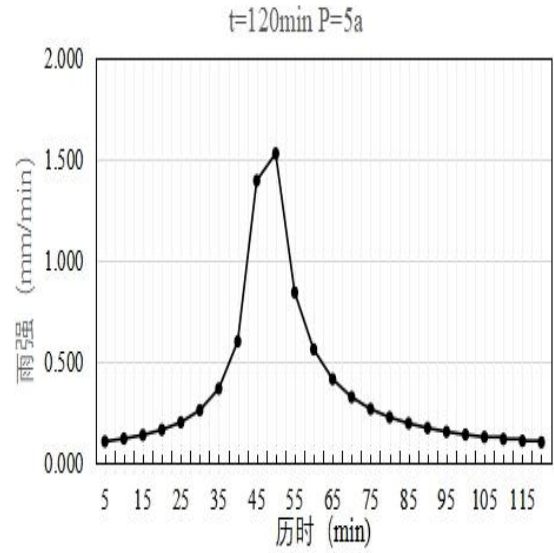
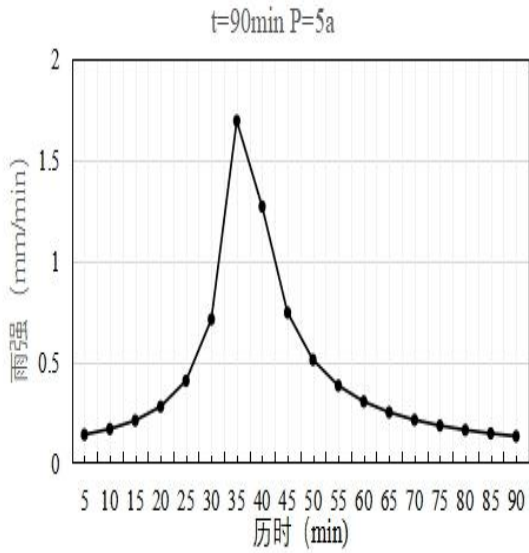
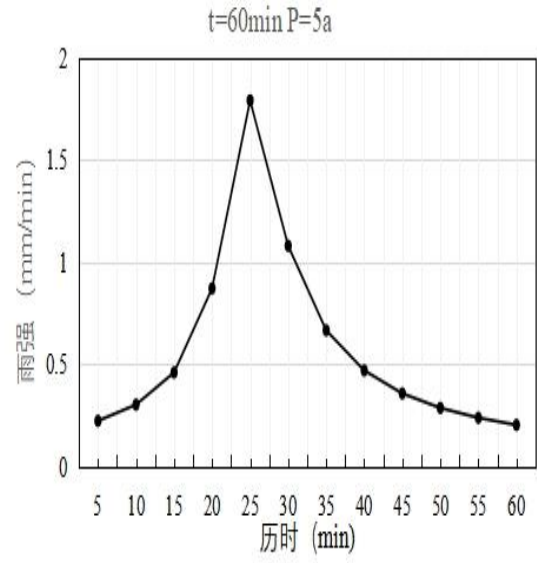
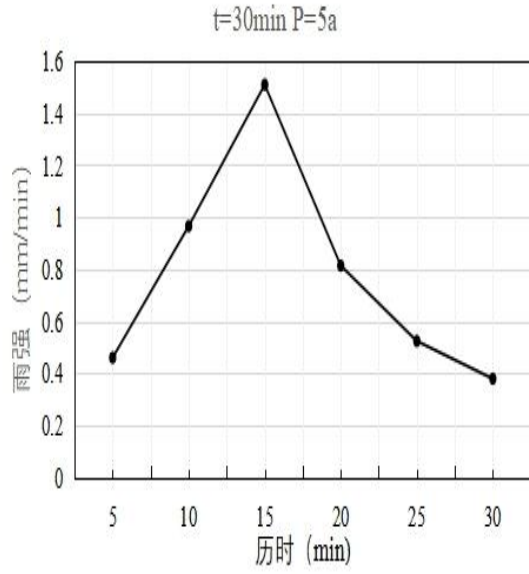
附表 2(8) 各历时 P=100a 时芝加哥法雨型各时段平均雨强 时段(min);雨强(mm/min)

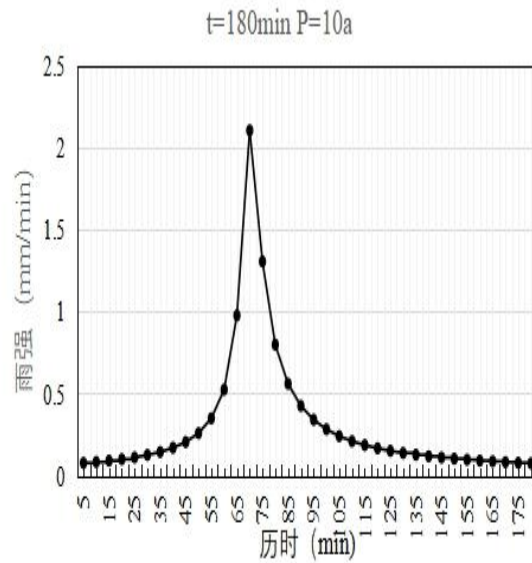
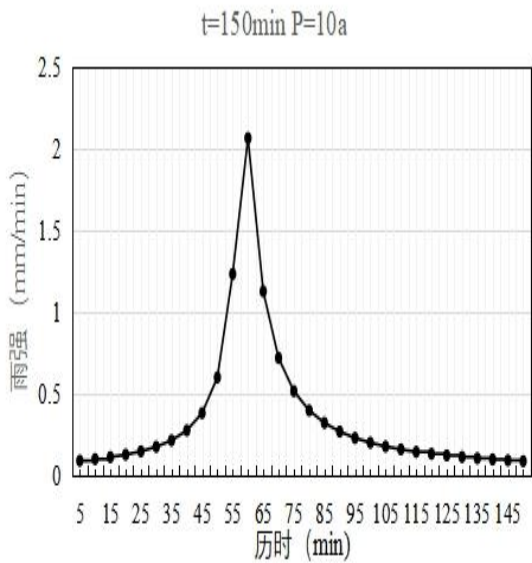
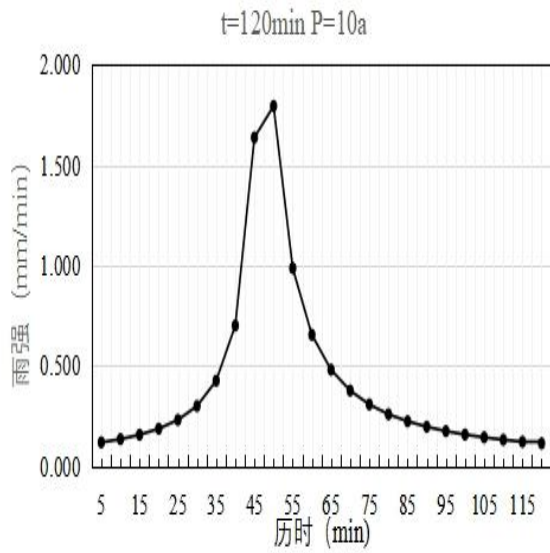
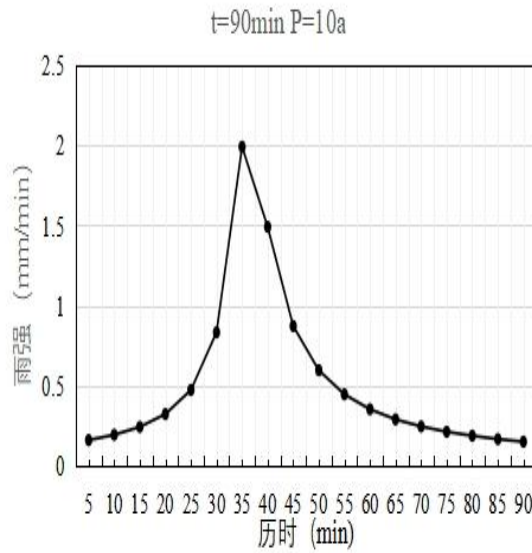
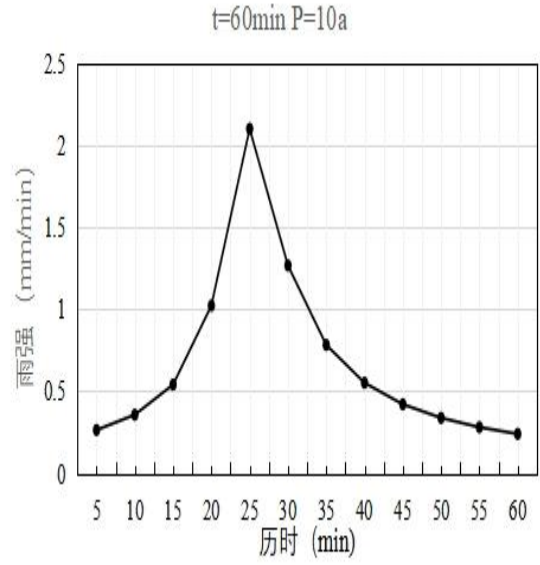
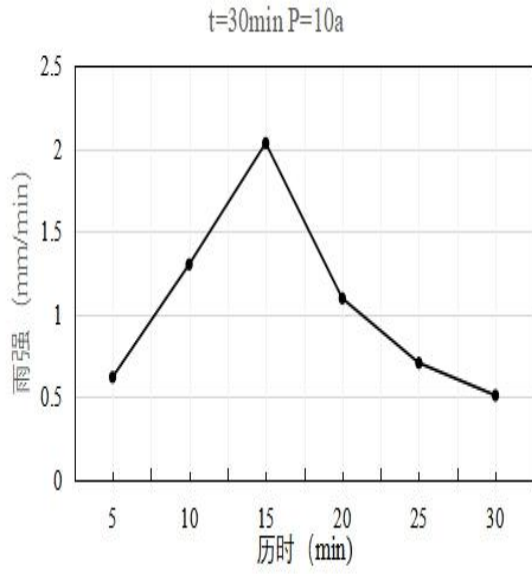
t=30min P=100a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.925	1.942	3.036	1.636	1.054	0.761
t=60min P=100a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.393	0.532	0.805	1.526	3.135	1.891
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	1.167	0.823	0.627	0.503	0.418	0.357
t=90min P=100a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.244	0.293	0.367	0.487	0.711	1.246
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	2.971	2.226	1.304	0.894	0.670	0.531
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	0.438	0.372	0.322	0.284	0.254	0.230
t=120min P=100a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.177	0.201	0.234	0.279	0.344	0.448
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	0.635	1.046	2.444	2.679	1.472	0.977
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	0.718	0.562	0.459	0.387	0.334	0.294
时段	95	100	105	110	115	120
雨强	0.262	0.236	0.215	0.197	0.182	0.170
t=150min P=100a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.139	0.154	0.172	0.194	0.224	0.265
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	0.324	0.416	0.573	0.898	1.841	3.080
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	1.683	1.076	0.773	0.597	0.483	0.404
时段	95	100	105	110	115	120
雨强	0.347	0.303	0.269	0.242	0.220	0.202
时段	125	130	135	140	145	150
雨强	0.186	0.173	0.161	0.151	0.142	0.135
t=180min P=100a						
时段	5	10	15	20	25	30
雨强	0.115	0.124	0.136	0.149	0.166	0.188
时段	35	40	45	50	55	60
雨强	0.216	0.253	0.306	0.387	0.522	0.784
时段	65	70	75	80	85	90
雨强	1.460	3.148	1.953	1.193	0.837	0.636
时段	95	100	105	110	115	120
雨强	0.509	0.422	0.360	0.314	0.278	0.249
时段	125	130	135	140	145	150
雨强	0.225	0.206	0.190	0.176	0.164	0.154
时段	155	160	165	170	175	180
雨强	0.145	0.137	0.129	0.123	0.117	0.112

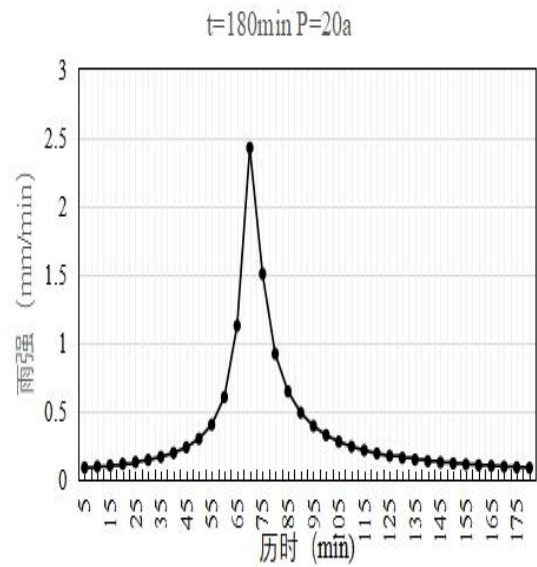
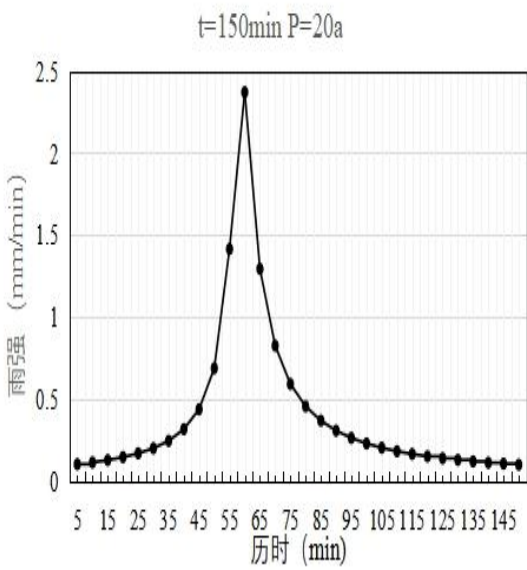
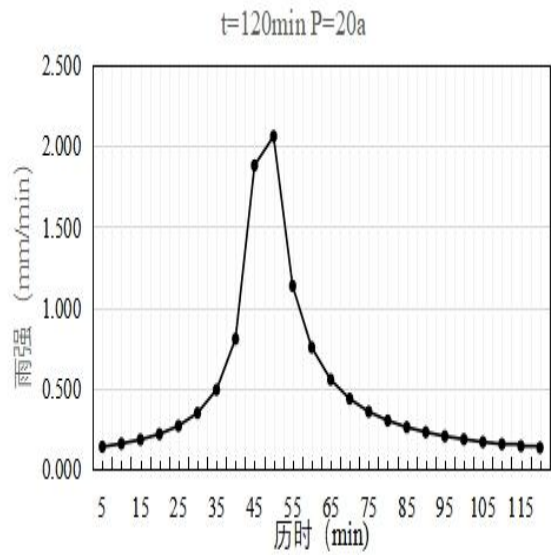
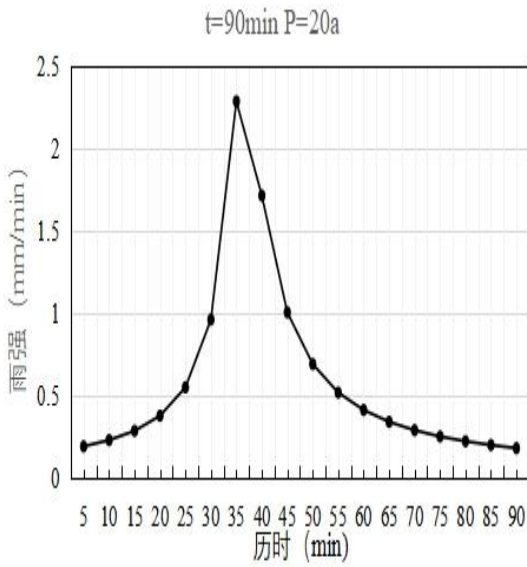
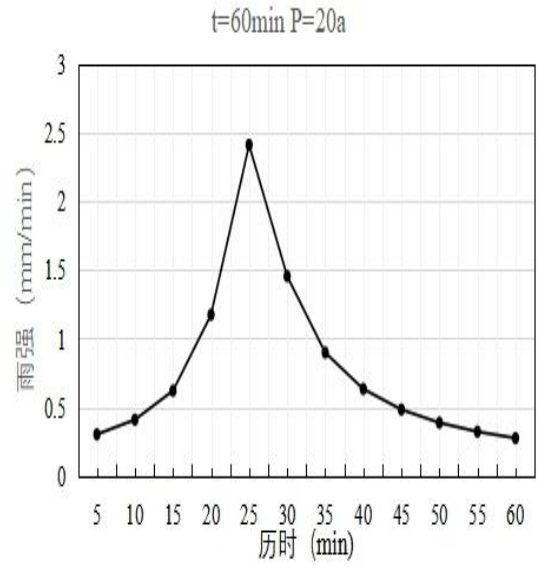
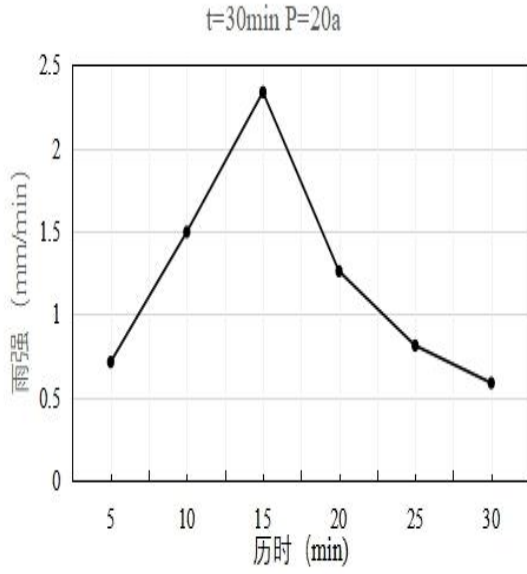
附图 不同重现期各历时暴雨雨型图

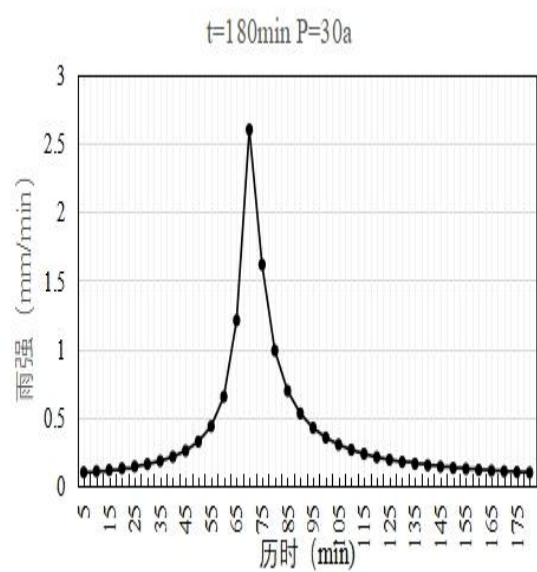
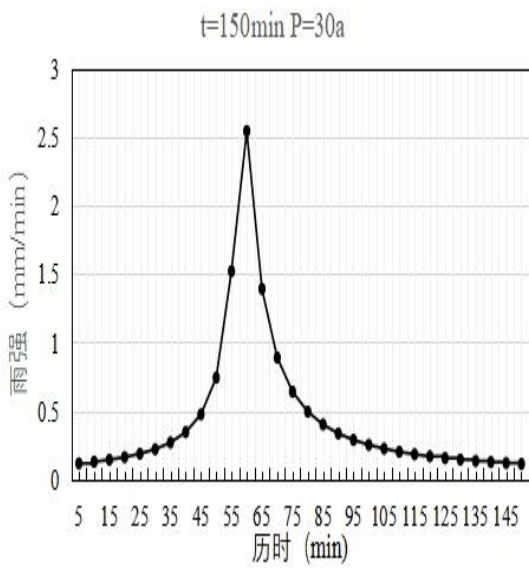
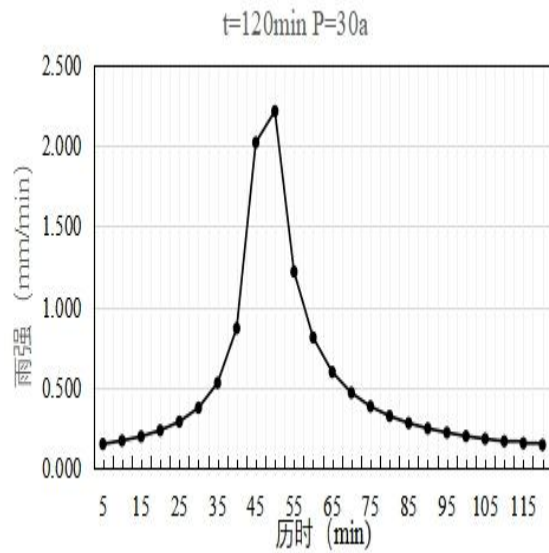
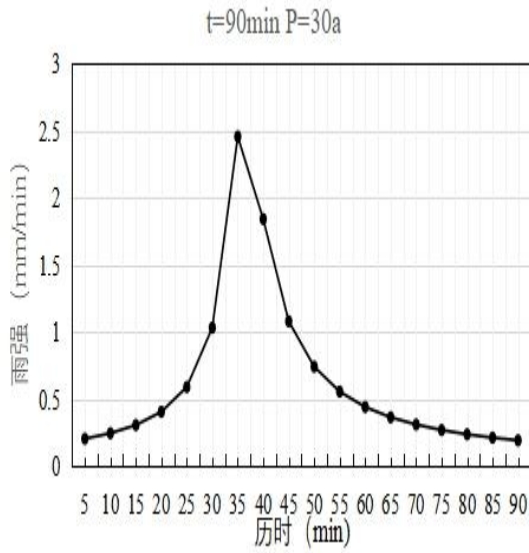
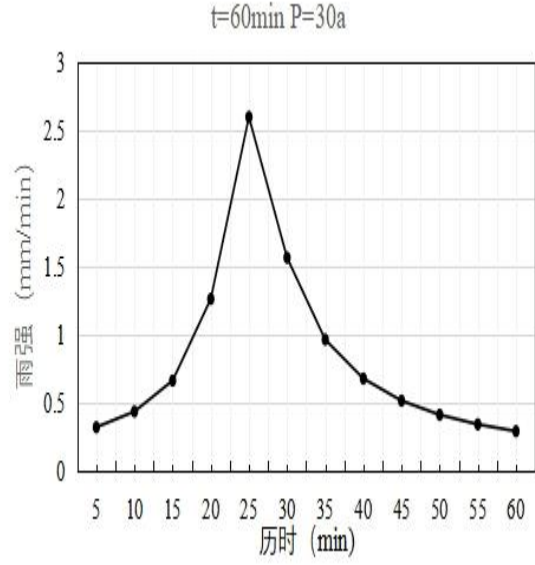
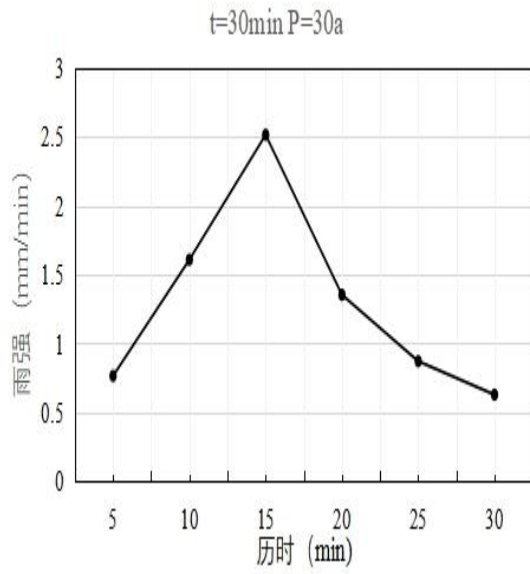


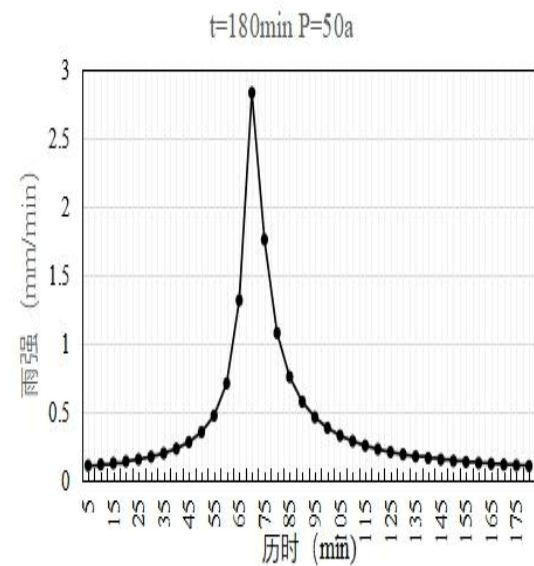
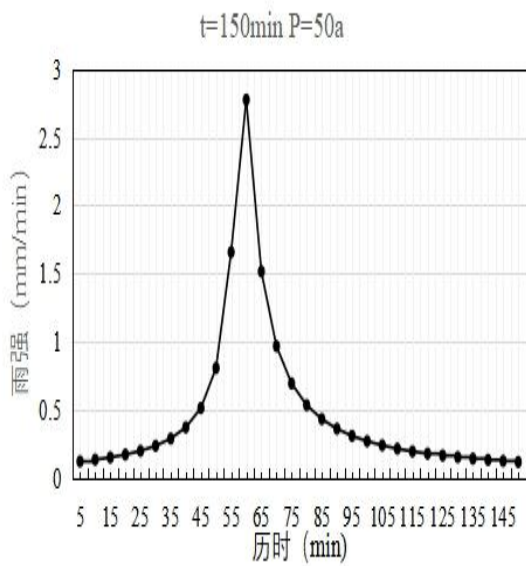
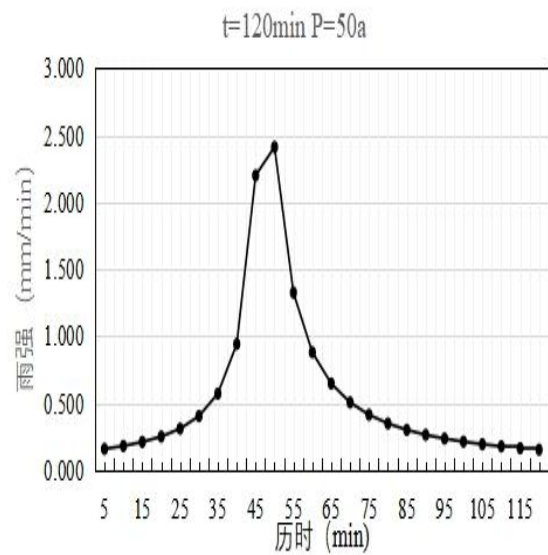
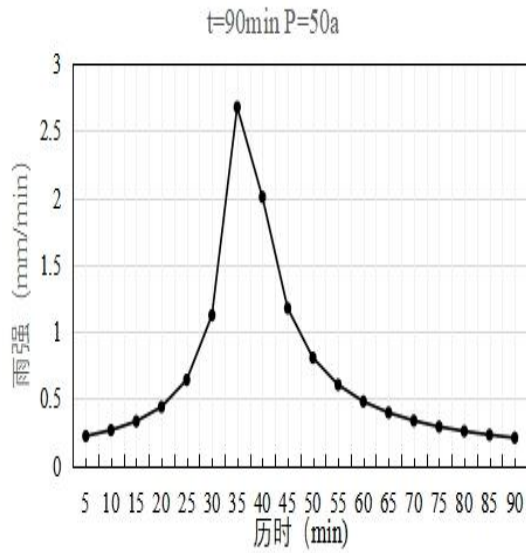
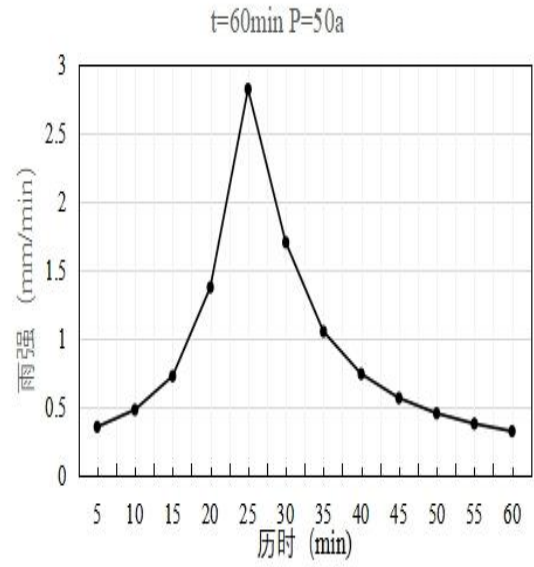
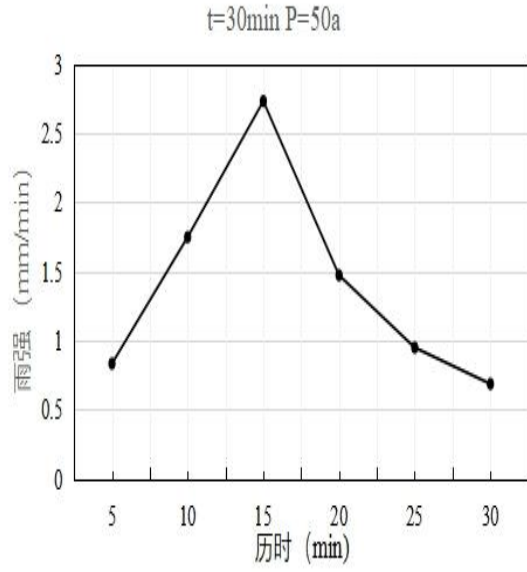


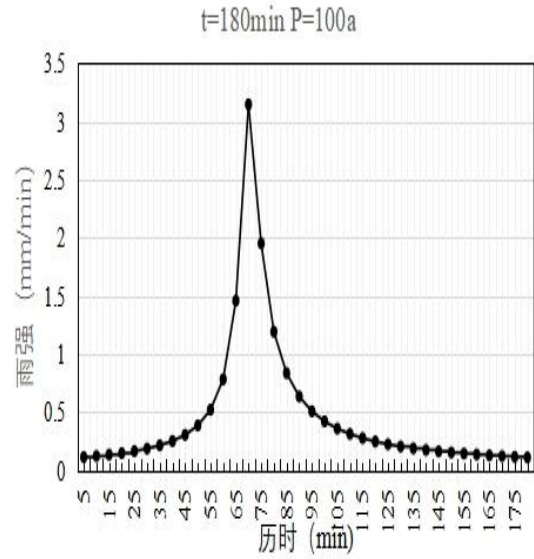
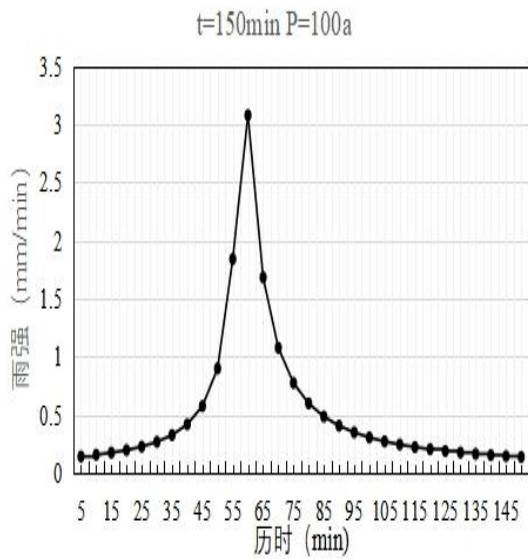
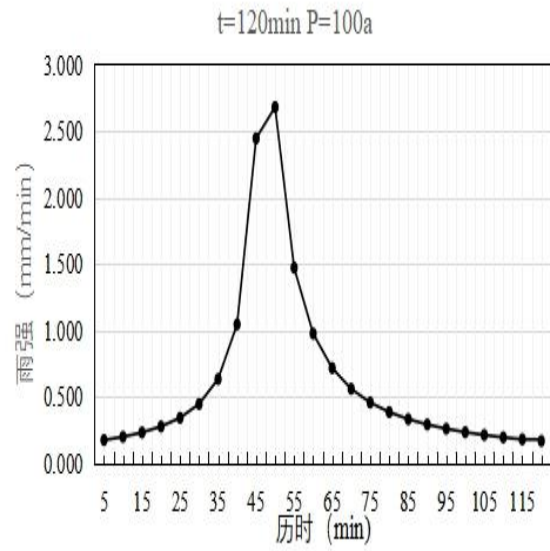
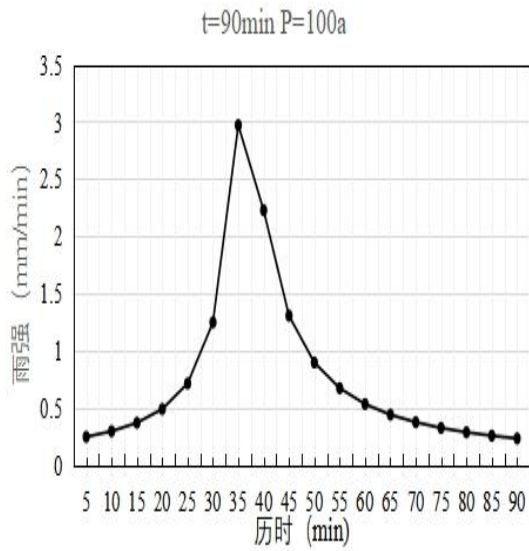
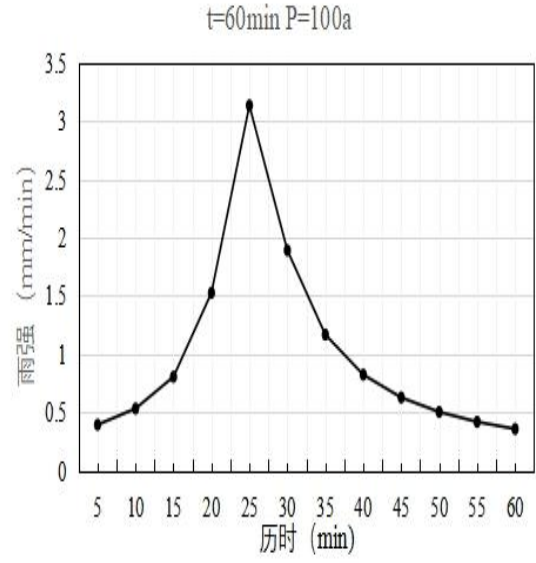
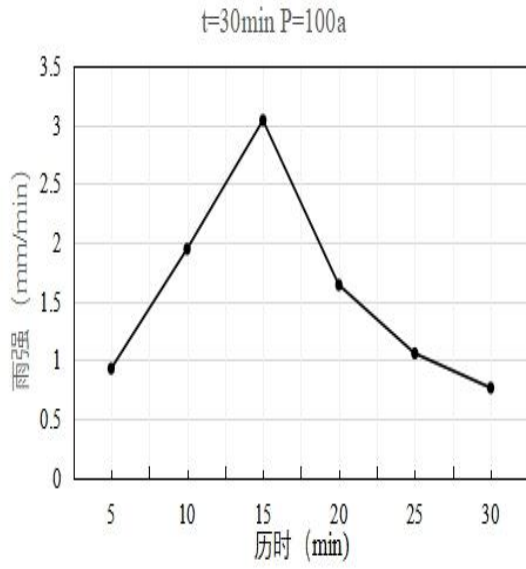












附件 资料来源证明

山西省气象信息中心气象服务数据移交清单

序号: XXZX-2024-_____

用户单位	山西省气象科学研究所	申请人	岳江
资料用途	汾阳市暴雨强度公式编制报告		
申请日期及方式	2024 年 4 月《山西省气象数据服务申请表》		
移交数据情况	数据量: 399 (KB) 是否符合申请要求: ☒是 ☐否 备注: 项目所使用的通过数据服务申请的资料均由山西省气象信息中心提供。 服务追溯码: 1.2.156.416.CMA-SX.D3-S.202405.H0V3G (国家气象数据流通交易安全监管平台 http://moid-node.cma.cn) 移交数据方式: ☒在线传输内网通 离线传输: ☐拷贝 ☐光盘刻录		
移交单位			
移交签名	承办人: 史源香 数据制作人: 齐宏伟 日期: 2024.5.22	数据接收方签名: 岳江 日期: 2024.5.22	

注: 一式两份, 双方签字各执一份。

《汾阳市暴雨强度公式编制报告》评审意见

2024年9月26日，山西省汾阳市气象局组织有关专家（名单附后）召开评审会。评审组专家听取了山西省气象科学研究所编制的《汾阳市暴雨强度公式编制报告》汇报，经充分讨论，形成如下评审意见：

1.该报告根据《室外排水设计标准》（GB 50014-2021）和《城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则》等技术标准要求，采用汾阳国家基本气象站 1981-2023 年的降雨资料，选择皮尔逊-III型经验频率分布曲线，采用拟牛顿法拟合优化暴雨强度公式参数，并进行精度检验，得出 2024 年版汾阳市暴雨强度公式；选用芝加哥雨型法计算了雨峰位置系数，确定了短历时暴雨雨型，给出了暴雨强度查算图表。

2.该报告采用的数据可靠，统计分析、计算方法科学合理，内容全面，符合相关技术标准要求。编制成果可为城市排水、防洪等工程规划设计和城市建设提供科学依据。

评审组一致同意通过评审。

评审组组长：



2024年9月26日

《汾阳市暴雨强度公式编制报告》评审组名单

2024年9月26日

序号	姓 名	工作单位	职称/职务	签 名
1	赵建	汾阳市水务局	主任	赵建
2	宋启宁	公用事业服务中心	副主任	宋启宁
3	李耀君	城管执法大队		李耀君
4	武峰梅	孝义市气象局	高工	武峰梅
5	闫建军	吕梁市气象局	高工	闫建军