

文章编号:2096 - 5389(2022)03 - 0118 - 04

遂宁降雨动能的探索性分析

胡 兵¹, 张 玲¹, 张 敏¹, 吴 容²

(1. 四川省遂宁市气象局, 四川 遂宁 629000; 2. 四川省防雷中心, 四川 成都 610072)

摘 要:通过分析遂宁国家基本气象站 5 种不同降水强度的雨滴谱数据, 探索 DSG4 降水类天气现象仪的雨滴谱资料计算小时降雨动能的方法。结果表明: 各种降水强度下, 降雨动能差别较大, 雨量越大, 降雨动能越大, 降雨动能与小时雨滴数目、雨滴平均速度、雨滴平均直径成正相关的关系。利用研究结果结合水土流失降雨动能阈值, 可提高涪江流域沿岸的水土保持及其预警能力。

关键词:降水类天气现象仪; 降雨动能; 雨滴平均直径; 雨滴平均速度

中图分类号:P426.61 **文献标识码:**B

Analysis on Kinetic Energy of Rainfall in Suining

HU Bing¹, ZHANG Ling¹, ZHANG Min¹, WU Rong²

(1. Suining Meteorological Bureau of Sichuan Province, Suining 629000 China;

2. Sichuan Lightning - Protection Center, Chengdu 610072, China)

Abstract: By analyzing the raindrop spectrum data of five different precipitation intensities at Suining national basic meteorological station, this paper explores the method of calculating hourly rainfall kinetic energy from the raindrop spectrum data of Dsg4 precipitation weather phenomenon instrument. The results show that the rainfall kinetic energy varies greatly under various rainfall intensities. The greater the rainfall is, the greater the rainfall kinetic energy. The rainfall kinetic energy is positively correlated with the number of hourly raindrops, the average velocity of raindrops and the average diameter of raindrops. Using the research results of this paper, combined with the rainfall kinetic energy threshold of soil and water loss, the soil and water conservation and its early warning ability along the Fujiang River basin can be improved.

Key words: precipitation synoptic meter; rainfall kinetic energy; raindrop average diameter; raindrop average velocity

0 引言

降雨动能是土壤侵蚀的重要原因, 大量使用于降雨溅蚀土壤的计算、评价等工作^[1]。雨滴击溅和径流, 是水滴侵蚀土壤的动力^[2]。雨滴具有较大的能量, 对土壤颗粒有很大的打击力^[3]。水土流失的程度和降雨的特点具有一定的关系。雨滴谱特性主要指雨滴的直径、组成分布、降落末速度和动能^[4]。雨滴直径决定了降落雨滴的质量和速度, 从

而决定了雨滴所具有的动能^[5]。常见测定雨滴直径的方法有雷达观测法、摄影法、浸入法、面粉法和滤纸色斑法。①雷达观测法: 用雷达能大面积粗略地观测雨滴粒径。②摄影法: 在显微镜下测量经高速摄影机拍好的雨滴的直径。③浸入法: 测量容器中油里的水珠来确定雨滴的直径, 对大雨滴不适用。④面粉法: 根据雨滴滴入面粉所形成粉团的重量的重量来确定雨滴大小, 不适用于测量粒径太小的雨滴。⑤滤纸色斑法: 通过测量雨滴在滤纸上留下的

收稿日期: 2021 - 08 - 05

第一作者简介: 胡兵 (1986—), 男, 高工, 主要从事地面观测综合业务工作, E-mail: 289363109@qq.com。

资助项目: 遂宁市“预报有理”学习平台开发与应用 (2020 - 应用 - 01)。

色斑大小推测雨滴直径^[6]。由于测量技术粗略,雨滴直径和下降末速度存在较大误差。雨滴末速度的测定也不是直接测定,而是根据经典力学,用雨滴的直径来粗略估测。

与以上方法不同,DSG4 降水类天气现象仪对降水过程进行连续观测,自动测量、记录雨滴的个数,以及每个雨滴的直径、末速度。激光测量的区域为 54cm²,粒子直径范围为 0.062 ~ 24.5mm,共 32 个等级;速度范围为 0.05 ~ 20.8m/s,共 32 个等级。降雨是导致土壤侵蚀的主要动力因子,计算降雨动能是进行水土流失定量评价的基本工作之一。利用 DSG4 降水类天气现象仪的雨滴谱资料计算小时降雨动能,对促进涪江流域沿岸的水土保持有一定的积极意义。

1 资料和方法

1.1 资料来源

遂宁国家基本气象站 DSG4 降水类天气现象仪的核心元件采用 Parsivel2 激光降水粒子谱光学传感器,对雨滴谱原始矩阵要素数据进行采集。雨滴谱指单位体积内雨滴的数量随其直径的分布^[7]。降水的云状不同,相应的雨滴谱也有区别,一次降水过程中也会有雨滴谱的变化^[8]。雨滴谱原始矩阵要素数据表 1 d 1 个文件,文件首行为资料信息,从第 2 行起每 1 行存储 1 min 的雨滴谱数据及其质控码,1 行有 5126 个字节;时间信息占 4 个字节,32 行速度和 32 列直径共占 4096 个字节,质控码共占 1024 字节,回车换行 2 个字节。文件存储于 ISOS 地面综合观测业务软件的 dataset\省名\区站号 AWS\weather\雨滴谱\Minute 目录下^[9]。本文所用数据筛选遂宁国家基本气象站 2020 年 10 月 4 日 02—08 时、5 月 21 日 02—12 时、9 月 17 日 00—10 时、7 月 10 日 09—17 时、7 月 30 日 04—15 时的雨滴谱数据,计算小雨、中雨、大雨、暴雨、大暴雨降水强度下的小时降雨动能。

1.2 资料预处理

ISOS 地面综合观测业务软件雨滴谱原始矩阵要素数据文件占 7M 多存储空间,数据量大,且没有结构化,无法直接用于计算分析。为此开发基于 C 语言的雨滴谱数据预处理程序,步骤为:首先去除首行信息、每行的时间标记及其质控码,然后分别在原始数据的每第 4 个字节后插入空格,每第 32 个字节插入分号,最后形成以空格和分号为分隔符的结构化数据文件,共 5120 字节,相较于原文件少了 6 个字节。将预处理后的结构化数据文件导入到数据分析软件中,以备后续计算。图 1 为雨滴谱数据预处理程序的主要 C 语言源程序代码。

1.3 分析方法

根据通用的动能计算公式,每个降雨粒子速度平方的一半,乘上该粒子的质量,由于量值较小,单位以 10⁻²J 表示。其中, V 为降落速度,单位为 $m \cdot s^{-1}$; D 为粒子直径,单位为 mm; ρ 为密度,单位为 $g \cdot cm^{-3}$ 。

雨滴动能通用计算公式:

$$I = \frac{\pi}{12} \times \rho \times D^3 \times V^2 / 10^6$$

2 计算降水动能

降雨动能是表征降雨侵蚀能力的一个重要指标,广泛地用于土壤侵蚀模型研究。经处理后的雨滴谱分钟数据,经空格和分号识别,导入数据分析软件后存储为 1 个 $n \times 1024$ 的矩阵。剔除矩阵数据中的异常错误数据后将小时内的分钟数据进行行相加,得到该小时的 1×1024 的矩阵,再使用数据分析软件的 reshape 函数将 1×1024 矩阵转为 32×32 矩阵,并将其进行转置,得到的列为 32 个雨滴直径通道,行为 32 个雨滴速度通道。每列的数值乘上该列质量的一半,列相加后与速度的平方矩阵相乘,计算出小时的降雨动能总值。

表 1 2020 年 10 月 4 日小雨降雨动能、雨滴平均直径、速度、数目

Tab.1 Kinetic energy of light rain, average diameter, velocity and number of raindrops on October 4,2020

时间	雨量/mm	雨滴数/个	雨滴平均直径/mm	雨滴平均速度/(m·s ⁻¹)	降雨动能/10 ⁻² J
02 时	1.1	9183	1.0813	3.1488	7.38
03 时	0.6	7809	0.8789	2.8865	2.11
04 时	0.1	1411	0.6667	2.2512	0.08
05 时	0.6	6387	0.9564	2.8310	2.96
06 时	1.1	11815	0.9199	2.8893	4.34
07 时	0.2	13426	0.6461	1.9647	0.42
08 时	0.6	17516	0.5943	1.9516	0.60

3 5 种降雨强度对比分析

按照上文计算降水动能的方法,分析 2020 年 10 月 4 日 02—08 时、5 月 21 日 02—12 时、9 月 17 日 00—10 时、7 月 10 日 09—17 时、7 月 30 日 04—15 时的雨滴谱数据,计算出 5 种降雨强度下的降水

动能。表 1~5 分别为小雨、中雨、大雨、暴雨、大暴雨降水实况下,雨量、雨滴数、雨滴平均直径、雨滴平均末速度、降雨动能的具体数据。由此对比分析得出降雨动能与小时雨滴数目、雨滴平均速度、直径、雨量成正相关。同时,不同季节,不同云类,其雨滴直径区别较大,极大影响降雨动能的大小。

表 2 2020 年 5 月 21 日雨降雨动能、雨滴平均直径、速度、数目

Tab. 2 Rainfall kinetic energy, average diameter, velocity and number of raindrops on May 21, 2020

时间	雨量/mm	雨滴数/个	雨滴平均直径/mm	雨滴平均速度/(m·s ⁻¹)	降雨动能/10 ⁻² J
02 时	1.5	8 997	1.1441	3.3808	9.45
03 时	2.8	9 983	1.2901	3.7238	17.9
04 时	1.3	10 380	1.0029	3.2256	5.59
05 时	0.7	8 624	0.9181	3.0158	2.83
06 时	1.0	8 903	0.9814	3.1313	4.44
07 时	0.3	3 540	0.8513	2.8229	0.84
08 时	0.3	2 418	1.0357	3.3460	1.38
09 时	0.5	5 177	0.9494	3.0455	1.92
10 时	0.6	7 252	0.9148	3.0486	2.26
11 时	0.2	2 844	0.8743	2.7988	0.81
12 时	0.1	875	0.9395	3.0661	0.33

表 3 2020 年 9 月 17 日大雨降水动能、雨滴平均直径、速度、数目

Tab. 3 Kinetic energy of heavy rain precipitation, average diameter, velocity and number of raindrops on September 17, 2020

时间	雨量/mm	雨滴数/个	雨滴平均直径/mm	雨滴平均速度/(m·s ⁻¹)	降雨动能/10 ⁻² J
00 时	0.7	13 603	0.7742	2.6406	2.09
01 时	0.9	21 888	0.7188	2.4969	2.09
02 时	2.0	50 233	0.7070	2.3996	4.62
03 时	2.2	15 987	1.0002	3.1386	8.62
04 时	1.3	12 524	0.9577	3.1681	4.90
05 时	2.8	17 496	1.1028	3.4305	14.07
06 时	3.3	16 846	1.1753	3.5346	18.97
07 时	1.5	11 279	1.0524	3.3084	7.82
08 时	0.3	4 921	0.8140	2.8231	0.89
09 时	0.0	1 543	0.8623	2.8974	0.37
10 时	0.1	395	0.7734	2.6641	0.05

表 4 2020 年 7 月 10 日暴雨降水动能、雨滴平均直径、速度、数目

Tab. 4 Rainstorm precipitation kinetic energy, average diameter, velocity and number of raindrops on July 10, 2020

时间	雨量/mm	雨滴数/个	雨滴平均直径/mm	雨滴平均速度/(m·s ⁻¹)	降雨动能/10 ⁻² J
09 时	1.1	16 835	0.4495	2.9325	5.1815
10 时	1.0	14 103	0.4377	2.8676	3.9048
11 时	8.7	23 600	0.7193	3.6953	72.2624
12 时	0.2	4 281	0.4045	2.5733	0.8486
13 时	1.8	16 590	0.4995	3.0433	9.6042
14 时	19.2	65 133	0.6734	3.6953	130.8193
15 时	3.4	12 458	0.6293	3.4779	21.7860
16 时	0.3	5 372	0.4422	2.7833	1.6424
17 时	1.0	30 037	0.3593	2.4473	2.8502

表 5 2020 年 7 月 30 日大暴雨降水动能、雨滴平均直径、速度、数目

Tab. 5 Precipitation kinetic energy, average diameter, velocity and number of raindrops in heavy rainstorm on July 30, 2020

时间	雨 量/mm	雨滴数/个	雨滴平均直径/mm	雨滴平均速度 /($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	降雨动能/ 10^{-2}J
04 时	1.0	10 409	1.0125	3.2326	5.68
05 时	3.1	16 167	1.1099	3.4550	12.92
06 时	3.8	17 811	1.1672	3.4495	20.20
07 时	30.0	68 409	1.4730	3.7268	221.89
08 时	7.5	26 487	1.2377	3.5955	37.36
09 时	5.6	16 424	1.2792	3.6206	29.62
10 时	3.1	17 399	1.1060	3.4210	10.72
11 时	1.9	11 307	1.0158	3.2675	6.14
12 时	4.4	17 088	1.2115	3.5223	23.79
13 时	3.9	18 899	1.0975	3.4134	14.38
14 时	4.6	21 429	1.1268	3.4926	18.48
15 时	2.6	21 567	0.9438	3.1053	8.06

参考文献

4 结论

降雨动能参数与侵蚀土壤关系密切,传统测量方式较为粗略,本文以精确计算的方法研究遂宁地区的降雨动能,对水土流失定量评价有一定的作用。用实际的高精度测量数值,计算在各种降水强度下的小时降水动能,分析出 5 种降水强度下,降雨动能差别较大,降雨动能与小时雨滴数目、雨滴平均速度、直径及雨量成正相关,不同季节,不同云类,其雨滴直径分布区别较大,极大影响降雨动能的大小。通过进一步结合遂宁涪江流域沿岸的水土流失降雨动能阈值,对水土保持及其预警工作有一定的作用。不足之处在于,降水类天气现象仪采样高度距观测场地面 2 m,测量的雨滴直径、速度与掉落到地面时的直径、速度有一定的差别,如果要更加准确分析降雨侵蚀力,需要考虑雨滴的重力势能等因子。

[1] 章文波,谢云,刘宝元. 用雨量和雨强计算次降雨侵蚀力[J]. 地理研究,2002,21(3):384-390.

[2] 刘宝元,谢云,张科利. 土壤侵蚀预报模型[M]. 北京:中国科学技术出版社,2001.

[3] 姚文艺,汤立群. 水力侵蚀产沙过程及模拟[M]. 郑州:黄河水利出版社,2001.

[4] 王万忠. 黄土地区降雨特性与土壤流失关系的研究[J]. 水土保持通报,1983(4):7-13.

[5] 牟金泽. 雨滴速度计算公式[J]. 中国水土保持,1983(3):40-41.

[6] 濮江平,赵国强,蔡定军,等. Parsivel 激光降水粒子谱仪及其在气象领域的应用[J]. 气象与环境科学,2007,30(2):3-8.

[7] 邹书平,柯莉萍,熊凯,等. 雨滴谱反演降水与实际降水变化趋势一致性分析[J]. 中低纬山地气象,2021,45(2):1-7.

[8] 陈宝君,李子华,刘吉成,等. 三类降水云雨滴谱分布模式[J]. 气象学报,1998,56(4):506-512.

[9] 中国气象局探测中心,中国气象局干部培训学院. 地面综合观测业务软件用户操作手册[S]. 北京:气象出版社,2017. 11.