

文章编号 :1006-7639(2004)-01-0074-06

甘肃省暴雨初探

扈祥来¹,高前兆²,牛最荣¹,马正耀¹,张正强¹

(1. 甘肃水文水资源局,甘肃 兰州 730000 2 中科院寒区旱区环境与工程研究所,甘肃 兰州 730000)

摘 要:着重分析甘肃省的暴雨特性与时空分布规律,列举了历年实测和调查最大点暴雨特征值,绘制了短历时暴雨~高程相关线、选配了甘肃最大点暴雨外包线公式,对历年各时段最大暴雨均值、极值、C_v、C_s 值等暴雨参数及典型暴雨时程分配和面时关系线等方面作了初步探讨。

关键词:暴雨;特性;甘肃省

中图分类号:P458.1

文献标识码:A

引 言

甘肃省暴雨研究自 20 世纪 70 年代就开始进行,在广大水文和气象工作者的努力下,获得了一批成果,并编制了暴雨统计参数及其等值线图,已在水利工程和各项经济建设中发挥了作用。根据 1997 年水利部要求,统一开展了以短历时暴雨统计参数及其等值线修编为目的暴雨研究,我省自 1999 年 5 月开始收集资料,于 2000 年基本完成,共收集 700 多个站点,经过挑选,统计到 10min、60min、6h、24h、3d 五个短历时历年暴雨测站计 49 045 站年资料,进行计算统计和分析研究,现将初步研究的结果综合如下,以便有关部门及研究者参考。

1 自然地理概况

甘肃省位于中国西北内陆,居 92°12′~105°45′E 32°36′~42°50′N 间,呈东南-西北长条“哑铃”状分布,长 1 600 余 km,中部最窄处宽约 100km,面积 45.4 万 km²,周边与四川、青海、新疆、蒙古、宁夏、陕西等六省交界。地形地貌上东联黄土高原;东南与秦岭山脉相连,西南紧接青藏高原的祁连山脉,其北部是河西走廊;北部连着腾格里沙漠和巴丹吉林沙漠,属内蒙古高原西部;西北部为断续的中低山构成的北山山地。

2 甘肃暴雨成因

2.1 暴雨环流系统与天气形势

全省气候主要受冬季蒙古高压与阿留申低压、夏季印度洋低压与太平洋副热带高压(简称副高)等 4 个半永久性大气活动中心的影响^[1]。省内高空全年大部分时间受西风气流控制。夏半年由于副高强大,印度洋低压也逐渐增大,当西风槽东南移并向南加深时,槽前的暖空气向北输送,副高西伸北移,这时,西风槽前的西南风与副高前的偏南风相汇合,形成暴雨过程中的暖湿源,西风带上的扰动,以槽、切变线或涡的形势表现出来,成为暴雨过程中的冷源。在两个系统交汇地区,由于水汽输送、潜热不稳定和辐合上升都成为最强的暴雨多发区。副高稳定在北纬 25°以北地区,588hPa 线西伸至 100~115°E 之间,在高压西侧青藏高原的中东部,各有一支偏南的暖湿气流与西北方东移的冷空气相遇,这是副高稳定型的暴雨天气,占甘肃暴雨天气的 68%。春夏大雨类型和其他类各占 16%。

2.2 水汽来源与输送方式

水汽源地主要来自于南部和东部海面,如南海、东海、孟加拉湾和阿拉伯海等海域。在一定环流条件下,上述海面的水汽可以在 48h 内直接输送到西北地区;在另外一种环流条件下,水汽在陆面上先聚集成巨大的陆地“水汽库”,通过变化的环流形势,逐渐向北输送至西北和甘肃省,陆地水汽库也是多见和直接的源地^[2]。

来自西南方向的水汽,出现在副高西伸北进的

收稿日期:2004-03-09;改回日期:2004-03-15

基金项目:水利部项目“中国暴雨及其参数、等值线图修编”。

作者简介:扈祥来(1942-),男,安徽肖县人,高级工程师,主要从事甘肃省水文水资源方面研究。

环流形势下,西太平洋热带辐合带与印度热带辐合带东西相连,在副高和青藏高原低值系统之间,对流层中低层形成一支强劲的西南气流,孟加拉湾等海面的水汽被源源不断地向北输送,或者先送入四川盆地再向北输送。东南方向水汽输送与副高和台风活动关系密切,受台风或台风群活动的影响,副高脊呈西北—东南向,在台风和副高之间形成一支强劲的低空东南急流,东海或南海的大量水汽就直接或间接地输送到西北和甘肃。水汽输送量在各方大小不同,随垂直高度亦有变化,根据对西南气流型大暴雨日在 100°E 、 32.5°N ~ 40.0°N 面积上各层水汽净输送量的计算结果,可以看出净输送量以 800hPa 最大占 40%, 700hPa 次之占 20% 以上。大多数暴雨水汽的辐合集中主要在 700hPa 及以下各层。

大范围的暴雨与大尺度的环流相联系,水汽来自某一方向的水汽辐合集中为主。局地暴雨的水汽辐合集中主要是由强烈的流场辐合形成,水汽由四面八方汇集到一处,借助强烈的上升运动向高层输送,形成深厚云层。

2.3 下垫面条件对暴雨的影响

下垫面能制约和改变大尺度的环流系统。秦岭山脉和青藏高原起着阻挡南方暖湿气流和北方冷空气的作用,是影响甘肃降雨量的地区分布,暴雨分布与特性的主要原因。

地形对局地降雨的影响也比较明显,全省高山区降水量大于河谷降雨量,降水量随高程增高而增加,中长历时年最大降水点暴雨量也有随高程增加而增大的趋势。陇南山地白龙江下游河谷地带年降水量在 500mm 以下,而河谷之上的山区降水量可达 700mm 以上;位于中部半干旱区的太子山山峰的年降水量可达 $1\,000\text{mm}$,而山麓周围降水量仅 300mm ,而且迎风坡降水量大于背风坡。即使在干旱地区,地形突起的陡坎和山头往往容易形成暴雨中心。

沙漠戈壁地带的热能作用使其边缘地区气流扰动和辐合能量增强,使绿洲边缘或地形突起处加大暴雨强度,也较容易形成暴雨中心。

森林对当地降雨也有明显的影响,经多年降雨和径流关系分析,干旱区的森林有保蓄径流、增加局地降水的作用,成为一个独立的小气候区,并对暴雨产生影响。

3 暴雨特性

3.1 暴雨在年内和地区上的分布

甘肃省暴雨一般都在每年的 5~10 月发生,大多数暴雨发生在 7~8 月份。根据中、东部地区的多数雨量站分析,每年 5 月份降水量开始有显著增加,约占全年降水的 10% 以上,暴雨也随之发生,6~9 月份降水量最大,约占全年降水量的 70%~80%,而 7、8 月份降水约占全年降水的 45%,期间暴雨发生次数最多、量级最大。

暴雨在地区上的分布趋势是,发生次数和量级从东南部向西北部逐渐减少,暴雨强度和笼罩面积也相应减小。根据记载和调查,在嘉陵江上游、白龙江中下游、泾河流域、六盘山区、洮河和大夏河中下游、太子山区、渭河流域干流段、黄河流域兰州段、乌鞘岭西侧、河西走廊东部的古浪、中部的金昌、西部的阿克塞和玉门市,都曾发生过大暴雨。

3.2 暴雨类型

甘肃省暴雨大体可分为 3 种类型:一种是锋面雨或涡切变雨,其特点是笼罩面积大、历时长、强度变化平缓;其二是雷阵雨,具有雨量集中、强度大、笼罩面积小、历时短的特点;第三种是混合型,兼有以上两种类型的特点,一般是主雨历时短、强度大、雨量集中,全场降雨历时、笼罩面积介于二者之间。

根据观测资料,笼罩全省的大面积暴雨还未发生过。但近年笼罩面积较大的第 1 类暴雨已发生若干次,如 1971 年 7 月 4 日泾河暴雨历时 3d,分布范围涉及四川、陕西、甘肃 3 省, 50mm 雨量笼罩面积约 12万 km^2 。1981 年嘉陵江暴雨历时 10d,雨区分布在甘肃、陕西、四川 3 省交界处, 100mm 等雨线笼罩面积约 25万 km^2 。与此同时,在甘肃、青海、四川交界区域的黄河上游亦发生了大暴雨,雨区中心不在甘肃省,降雨历时 30d, 200mm 等雨量线笼罩面积约 12.5万 km^2 ,降雨总量大,强度不大。第 2 类暴雨,如 1991 年 7 月 18 日发生在古浪县横梁一带的暴雨, 44min 中心雨量 472mm , 400mm 雨量笼罩面积 8km^2 。再如,85.8 武山高家河暴雨, 70min 暴雨中心雨量 440mm , 100mm 等雨量线笼罩面积 220km^2 。第 3 种混合型暴雨,如金昌 87.6 暴雨,历时 37h,主雨集中在 11h 内,中心雨量 197mm , 100mm 雨量笼罩面积 $4\,000\text{km}^2$ 。再如河西土门 66.8 暴雨,中心雨量 228.0mm ,历时 11h,主雨集中在 6h 内, 50mm 雨量笼罩面积 $2\,300\text{km}^2$;各典型暴雨特征要素见表 1 所列。

3.3 暴雨的时程分配特征及时面深关系

作为典型示例(图 1、图 2)

4.2 时段暴雨参数与历时关系

各时段暴雨均值($\bar{P}$)及其系列最大值(P_m)随时段增长而增加,在其它影响因素相同的条件下, $\bar{P}$ 与 P_m 长历时暴雨量只能大于或等于较短历时的暴雨量。

在省内一些地区长、短历时暴雨量之间关系比较密切,如图 3 所示,10min 与 24h 时段最大暴雨系列均值关系图呈比较规则的带状,可通过其中心定一条直线,但多数地区关系线并不规则。

变差系数 C_v 值一般随时间的增加而减小,如 10min、60min、6h、24h、3d 五个时段比较, C_v 最大值出现在 10min 或 60min 时段内。

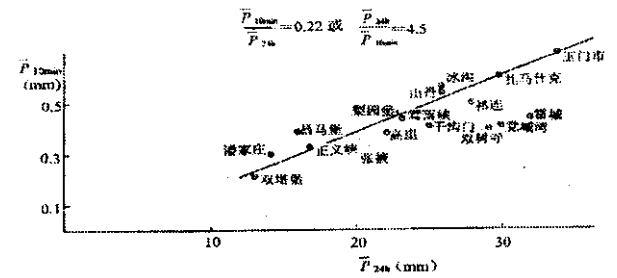


图 3 疏勒河、黑河流域 10min~24h 雨量关系图

Fig. 3 The interrelationship of average rainstorm during 10min and 24h in the Shule river and the Hei river basins

4.3 暴雨参数 $\bar{P}$ 、 C_v 、 C_s 的水平分布规律

各时段最大暴雨量系列均值有着明显的地区分布规律,各时段均值都是由东南向西北地区逐渐减少,相对较湿润地区值大,干旱地区小。变差系数 C_v 值在西北部沙漠、戈壁地区较大,湿润地区较小,最小值出现在祁连山高山区一带,偏差系数 C_s 大致呈斑块或斑点状分布。

10min 暴雨均值从省东南部甘肃、陕西与甘肃、四川边界一线 $>12\text{mm}$,至西北部的 2mm 以下;60min 暴雨均值从东南省界处 $>30\text{mm}$,减少到西北部的 $<5\text{mm}$;6h 的暴雨均值从东南部 $>50\text{mm}$,变化到西北部 $<10\text{mm}$;24h 暴雨均值在东南部 $>80\text{mm}$,而西北部在 15mm 以下;3d 的时段暴雨均值在省东南部 $>100\text{mm}$,而西北部 $<15\text{mm}$ 。

10mm 暴雨的 C_v 值在北部 >0.90 ,南部在 0.5 左右。60min、6h、24h 的暴雨 C_v 值在西北部 >0.70 ,60min 的 C_v 值在省东南部为 0.50 左右,祁连山高山地区一带为 0.45 。6h 暴雨的 C_v 值在东南部与祁连山一带在 0.40 左右,24h 的暴雨 C_v 值在省西南部为 0.40 左右,祁连山高山一带 C_v 值在 0.35 左右。3d 的暴雨 C_v 值在省西北部 >0.80 ,东南

部和祁连山区一带在 0.35 左右,是省内的低值区。

5 各时段年最大点暴雨量分布

5.1 分区各时段历时最大暴雨

依据全省 500 余站点历时最大暴雨量的统计资料,可以列出甘肃省各时段历年实测和调查最大点暴雨量,及其发生的时间和地点(表 2)。

表 2 分区各时段实测和调查历年最大点雨量

Tab.2 The maximum point rainstorms measured and investigated in the subregions and durations in Gansu province

分区区	历时					
	点雨量 (mm)	10min	60min	6h	24h	3d
疏勒河	雨量值	21.5	38.4	107.8	118	135.1
	发生年月	1979.7	1979.7	2000.6	2000.6	1979.7
流域	发生地点	玉门市	玉门市	玉门市	玉门市	阿克塞
黑河与石羊河	雨量值	107.2 *	472.0 *	472.0 *	472.0 *	472.0 *
	发生年月	1991.7	1991.7	1991.7	1991.7	1991.7
流域	发生地点	横梁	横梁	横梁	横梁	横梁
黄河干流	雨量值	41.8	80.6	401.0 *	401.0 *	401.0 *
	发生年月	1991.7	1996.6	1979.8	1979.8	1979.8
流域	发生地点	半阴坡	姚坡	新荣	新荣	新荣
渭河	雨量值	31.6	62.7	440.0 *	440.0 *	440.0 *
	发生年月	1978.7	1978.7	1985.8	1985.8	1985.8
流域	发生地点	石岭寺	石岭寺	高家河	高家河	高家河
泾河	雨量值	34.8	92.1	359.0 *	359.0 *	359.0 *
	发生年月	1971.7	1971.7	1985.5	1985.5	1985.5
流域	发生地点	合水	合水	白家岔	白家岔	白家岔
甘南	雨量值	32.5	124.0	138.0	168.0	169.7
	发生年月	1961.7	2001.7	1994.7	1994.7	1994.7
高原	发生地点	唐尔浪	岷县	阿夏	阿夏	阿夏
嘉陵江	雨量值	56.0 *	280.0 *	280.0 *	330.0 *	330.0 *
	发生年月	2000.5	2000.5	2000.5	1976.7	1976.7
水系	发生地点	庄子村	庄子村	庄子村	化马	化马

5.2 各时段年最大点暴雨的分布

全省历时 10min 最大点暴雨在 30mm 以上的有 7 处,其中陇南地区在嘉陵江水系 1 处,分布在宕昌县;渭河流域 2 处,分别是渭源县和天水市;洮河流域 2 处,都在临洮县;泾河流域 2 处,分别在华亭和庆阳 2 县。60min 降雨在 60mm 以上的有 15 处,其中在陇南嘉陵江水系有 5 处,分布在成县、宕昌、文县;渭河流域 2 处,分布在渭源和天水;洮河流域 2 处,分布在渭源和临洮县;黄河干流流域 1 处,分布在永登县;泾河流域 5 处,分布在泾川、合水、宁县、庆阳。6h 雨量超过 100mm 的事件有 35 处,其中陇南嘉陵江水系有 14 处,分别在武都、文县、成县、礼县、宕昌、徽县、两当县;泾河流域有 11 处,分别在宁县、合水、环县、庆阳、镇原、泾川、平凉;渭河流域 1 处,在武山县;洮河流域 4 处,分布在临洮、康乐;黄河干流 3 处,分布在兰州、榆中和靖远;河西内陆河流域有 2 处,分布在古浪县。24h 雨量超过 100mm 的事件全省有 182 处,其中河西内陆河流域 5 处,黄河干流区域 21 处,渭河流域 18 处,泾河流域 81 处,长江流域 56 处。24h 雨量超过 150mm 的

有 35 处 ,其中嘉陵江水系有 9 处 ,泾河流域 18 处 ,渭河流域 2 处 ,洮河流域有 3 处 ,河西内陆河流域有 3 处。24h 雨量超过 200mm 的特大暴雨发生过 14 次 ,其中河西内陆河流域 2 次 ,黄河干流 1 次 ,渭河流域 1 次 ,泾河流域 2 次 ,长江流域 5 次。3d 雨量超过 200mm 事件有 33 处 ,陇南嘉陵江水系有 13 处 ,陇东泾河流域有 12 处 ,中部渭河流域与黄河干流有 5 处 ,河西内陆河流域有 3 处。

5.3 暴雨中心分布

据全省 500 余站点 2000 年以前的不完全统计 ,省内发生暴雨(24h≥50mm)3 910 次 ,其中 6h 内≥50mm 的暴雨有 978 场。这种暴雨在内陆河流域发生 129 次 ,平均每年约 4.5 次 ,黄河干流区 347 次 ,平均每年 15 次 ;泾河流域 1 069 次 ,平均每年约 49 次 ;长江流域 1 423 次 ,平均每年约 56 次。

暴雨发生频次较高的地区 ,依次为陇南嘉陵江水系 ,陇东泾河水系 ,黄河干支流 ,渭河流域 ,河西内陆区。在陇南嘉陵江上游两当、徽县、成县、康县与白龙江下游 ,宕昌县附近为暴雨频发区。陇东泾河六盘山区、陇东中部的平凉、泾川、镇原、西峰、庆阳也为暴雨频发区。黄河干流的太子山区、洮河、大夏河中下游为暴雨多发区 ,渭河流域的静宁、庄浪、华家岭、渭河干流的武山、秦安、天水一线也多暴雨。河西内陆区在祁连山区与走廊平原交界处 ,如乌鞘岭、古浪、金昌、玉门市、阿克塞附近也是干旱地区的暴雨中心。

6 特大暴雨分布

近几十年来 ,实测和调查 24h 的点暴雨量超过 200mm 的特大暴雨发生过 15 次 ,陇南嘉陵江水系 5 次 ,分别在成县、宕昌县的化马和庄子村 ,碧口和草坝。陇东泾河水系 5 次 ,分别在镇原县的开边和孟寨 ,庆阳县的驿马关、正宁县的代家庄及甘肃、宁夏交界处的三关口附近。中部地区在临洮县的新荣和武山县的高家河各 1 次 ,天祝县的寺湾村 1 次。内陆河流域古浪县的横梁和土门各 1 次。对于某一站点而言 ,稀遇特大暴雨发生的概率极小 ,但对某一地区而言 ,每年 5~10 月份之间 ,随时都有可能发生。

根据现有资料 ,世界和中国部分最大点暴雨记载如表 3 ,中国与世界实测和调查最大暴雨点雨量历时关系如图 4。甘肃省短历时暴雨接近世界大暴雨的外包线 ,在历时 70min 处甘肃省大暴雨外包线与世界的外包线重合相交 ,70min 以上的时段暴雨

低于世界的外包线 ,说明甘肃省长历时暴雨量级不

表 3 世界和中国最大点暴雨量记载

Tab.3 The maximum point rainstorm records in the world and China

历时	雨量 (mm)	国家(地点)	时间	历时	雨量 (mm)	国家(地点)	时间
15min	198	美国	1916.5.12	6h	830	中国河南	1975.8.7
42min	305	美国	1947.6.22	7h	1 300 *	中国陕西	1998.7.9
44min	472 *	中国甘肃	1991.7.18	10h	1 400 *	中国内蒙古	1977.8.1
60min	401 *	中国内蒙古	1975.7.3	12h	1 340	留尼亚	1964.2.28
70min	440 *	中国甘肃	1983.8.12	24h	1 748.5	中国台湾	1996.7.31
90min	430 *	中国河北	1973.6.25	3d	2 748.5	中国台湾	1967.10.17
2.75h	559	美国	1935.5.31	3d	2 759	印度	1974.9.12
3h	495	中国河南	1975.8.7	8d	3 874	澳大利亚	1979.1.1

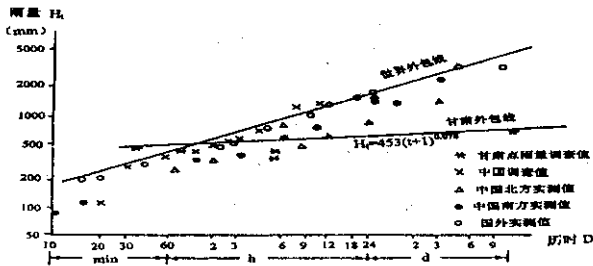


图 4 甘肃、中国和世界上实测与调查最大点暴雨量历时关系

Fig.4 The relationship between rainstorm and duration of the measured and investigated maximum point rainstorms in Gansu province , China and the world

高 ,主要发生在嘉陵江水系。但短历时的暴雨强度惊人 ,可列入世界最高记录。如最大值发生在 1991 年 7 月 18 日的河西古浪县石城、横梁一带 ,历时 44min ,中心雨量 472.0mm ;次大值是 1985 年 8 月 12 日发生在渭河流域武山县境内桦林乡 ,暴雨历时 70min ,中心在高家河、天局一带 ,点雨量 440mm ,该暴雨使天局村遭到毁灭性破坏。以上几例特大暴雨 ,其雨量都是高度集中在十分或 1~2h 内 ,像一个巨大的水柱倾泻而下 ,其强度可打死树上的鸟雀 ,坡地上野兔和野鸡 ,造成严重水灾和泥石流灾害。

7 结 论

甘肃省的暴雨成因是在特定的暴雨环流系统和天气形势下 ,受到明显的水汽来源、输送方式和下垫面条件的影响 ,在全省各地 ,特别在中、东部地区 ,夏季常形成历时短、强度大的大暴雨 ,并以 30min~2h 的短历时形成有世界量级的大暴雨。

甘肃短历时暴雨主要有 3 种类型 ,在空间上时段暴雨量与流域高程关系 ,随时段缩短其密切程度逐渐减小 ,可以忽略高程对历时在 1h 内的暴雨量影响 ,在地区上暴雨参数分布具有一定规律 ,暴雨发生频次较高的地区 ,依次为陇南嘉陵江水系、陇东的泾

河水系、黄河干支流、渭河流域和河西内陆区。

参考文献：

[1] 甘肃水旱灾害编委会. 甘肃水旱灾害[M]. 兰州 :黄河水利出版社. 1996. 200 – 265.

[2] 中国北方暴雨丛书《西北暴雨》编写组. 西北暴雨[M]. 北京 :气象出版社. 1995. 1 – 164.

[3] 国家防汛抗旱总指挥部办公室 ,中国科学院成都山地灾害与环境研究所. 山洪泥石流滑坡灾害及防治[M]. 北京 :科学出版社. 1994. 77 – 237.

[4] Zhi Junfeng , chen Jing ,Zhang Haimin. The Rainstorm Flood of small Catchment in Yellow River[A]. Proceedings of the International Symposium on Flush Floods in arid and semi – arid zones [C]. Xi 'an Hohai University Press ,1994. 51 – 56.

The Preliminary Inquisition of Rainstorm in Gansu Province

HU Xiang – lai¹ ,GAO Qian – zhao² ,NIU Zhui – rong¹ ,MA Zhen – yao¹ ,ZHANG Zhen – qiang¹

(1. Gansu Hydrology and Water Resources Bureau , Lanzhou 730000 ,China ;
2. Cold and Arid Regions environmental and Engineering Research Institute , Chinese Academy of Sciences ,Lanzhou 730000 ,China)

Abstract Gansu province is located at northwestern interior of China , and most areas belong to arid region with less rainfall , but rainstorm events always occurred with short duration and big intensity characteristics. Moreover the short duration rainstorm created the record in the world events. The rainstorm characteristics and the patterns of time and space distribution are analysed with emphasis. Measured and investigated maximum feature values of rainstorms point over the years are listed , short duration rainstorm regression curves with altitude changes are drawn , and the function of outer and include line of maximum points rainstorm in the Gansu province is selected in the paper. The paper makes the preliminary inquisition of the rainstorm parameter values of mean ,extreme ,Cv ,Cs over the years and the duration distribution and interrelated lines of areas with time change at the typical rainstorms etc.

Key Words rainstorm ;characteristics ;Gansu province