

西北暴雨

中国北方暴雨丛书

《西北暴雨》编写组

气象出版社

中国北方暴雨丛书

西 北 暴 雨

《西北暴雨》编写组

气象出版社 420405

(京)新登字046号

内 容 简 介

本书是西北地区(包括内蒙古自治区)近10多年来有关暴雨研究成果的汇集,其中也包括某些尚未发表过的成果。内容涉及西北暴雨的气候特征、环流和系统、物理条件、概念模型、低空急流、卫星云图及雷达回波特征、地形下垫面的影响、预报方法、罕见暴雨实例等九个方面。全书以事实为依据,采用浅近的文字,图文并茂,全面概括了近年来的科研成果及暴雨分析、预报方法。

本书适合于气象、水文、农林等部门的从事天气分析、预报、科研的专业工作者,也适合于与气象科学交叉的专业工作者,还适合于各大专院校有关气象专业教学的师生参考。

中国北方暴雨丛书

西 北 暴 雨

《西北暴雨》编写组

责任编辑 徐昭

*

气象出版社

(北京西郊白石桥路46号)

北京市昌平区环球科技印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 全国各地新华书店经销

*

开本: 850×1168 1/32 印张: 5.375 字数: 120千字

1992年6月第一版 1992年6月第一次印刷

印数: 1—1500

ISBN 7-5029-0930-3/P·0469

定价: 5.10元

序

北方暴雨科研组是“75.8”河南大水后，一批中年气象科技人员自发的科研协作组织，在工作过程中逐步定型，并争取到各方面领导的支持。

十余年来成果丰硕，经济和社会效益难于准确估计。人民群众满意，领导满意，实际预报工作人员满意，是协作组人员的最大宽慰。实际预报人员说：“现在，在暴雨来临前，我们不慌了！”这是对协作组工作的高度赞扬。

协作组成绩的取得，除了参加人员的责任感外，协作组内部的科学民主作风也是重要因素。有了保证人民群众安全以及促进经济社会发展的责任感，并了解我们这支科学的局限性及其可能的发展前景，才能在内部协调不同意见，并坚持下来。自重者人重，人重者自重。协作组是贯彻了这一思想的。

现在，协作者委托几位成员，将历年来成果汇编成中国北方暴雨预报专著。这是一曲集体主义的凯歌。专著作者不是学究式的科研人员，行文引经据典者少，却带有一定的粗犷地方色彩。人类文明却正是这一类地方人民性智慧的积累。

雷雨顺、陆一强同志都是协作组主要成员，不幸积劳成疾，先后去世，谨在此寄予无限的哀思。

我个人有幸参加了协作组，留下了美好的回忆。

谢义炳

KAD87/02

前 言

我国西北地区位于亚洲的内陆，大多数地方属于干旱、半干旱地区，处在青藏高原北侧边坡地带，地形和下垫面复杂，境内各地天气气候差异极大。暴雨频次，从数量上来说，虽不如我国东部和南部，但暴雨落点分散，时间短，强度大，局地性强，危害程度十分严重，对国民经济及人民生命财产有很大的影响，是西北地区重要天气过程之一。

西北地区的暴雨天气过程，既是西北地区山洪、滑坡、泥石流等自然灾害的主要引发因素，又是国民经济，特别是农牧业生产的重要水资源。山区暴雨是西北西部干旱地带灌溉用水的重要补给方式，伴有区域性降雨的暴雨过程，又往往是西北地区解除农业干旱的主要途径。因此，作好暴雨预报是化害为利，趋利避害的重要一环。

近10多年来，在北方暴雨科研协作的推动下，西北各省区，围绕暴雨分析、预报作了大量研究工作，积累了丰富的成果，对西北暴雨的特殊性，有了更多的了解与进一步的认识。根据北方暴雨科研协作组的安排，把近10多年来的暴雨科研成果编辑成册，立此存照，承前启后，这是本书编写的主要目的。

本书着重归纳讨论了中国西北暴雨的若干问题，其中包括：西北暴雨的气候特征、环流和系统、物理条件、概念模式、低空急流、卫星云图及雷达回波特征、地形和下垫面的影响、预报方法、历史上的主要暴雨实例等。从多方面提出具有干旱、半干旱地区特点的观点与事实，可供气象、水文部门从事天气分析、预报、教学和科研工作者参考。

本书由邓子风提出编写提纲初稿，后经夏建平等作了修改和

补充，采用分章负责编写的办法。其中第一、七章由夏建平编写；第二、五、八章由邓子风编写；第三、六章由刘景涛编写；第四章由周全瑞编写；第九章由杨昭编写。全书最后由夏建平、邓子风负责统稿、定稿。

本书在编写过程中得到白肇烨、吴俊明、吴正华及北方暴雨协作组同志们的关心与指导，青海的上官鸿模、宁夏的魏国兴同志提出了宝贵的修改意见；李云、李荣庆同志协助作了数据整理，在此一并表示衷心地感谢。

本书在编写过程中，参考了大量文献，凡属公开、内部已出版的论文、技术材料，均已列于各章之后，非正式出版的（包括打印、铅印交流材料）论文、技术材料未能列入，在此，向原作者表示歉意，敬请原作者谅解。

本书写成后，曾在西宁、无锡、西安等暴雨研讨会上作了详细讨论、修改、补充。尽管如此，但由于编者水平所限，错、漏之处在所难免，请读者批评指正。

西北暴雨编写组

1991年7月22日于北京

目 录

序

前 言

第一章	西北暴雨的气候特征	(1)
§1	地理概况.....	(1)
§2	西北暴雨概念.....	(2)
§3	西北暴雨的空间分布.....	(3)
§4	西北暴雨的时间分布.....	(10)
§5	西北暴雨的强度.....	(18)
§6	西北暴雨的相对强度和相对次数.....	(20)
§7	西北暴雨的局地性.....	(22)
第二章	西北暴雨的环流和系统	(25)
§1	暴雨时的环流背景.....	(25)
§2	暴雨的天气尺度和次天气尺度影响系统.....	(31)
§3	中小尺度系统.....	(36)
第三章	暴雨过程的物理条件	(39)
§1	水汽条件.....	(39)
§2	垂直运动条件.....	(47)
§3	大气层结稳定度.....	(56)
第四章	暴雨过程的卫星云图及雷达回波特征	(60)
§1	天气尺度云系特征及中低纬云系的相互作用.....	(60)
§2	中尺度云团与暴雨.....	(66)
§3	暴雨过程的雷达回波特征.....	(72)
第五章	低空急流与西北暴雨	(77)
§1	低空急流的类型.....	(77)

§2	低空急流特征	(79)
§3	低空急流对暴雨的作用	(82)
§4	低空急流成因的讨论	(85)
§5	无低空急流的暴雨过程	(89)
第六章	西北暴雨的概念模式	(91)
§1	副高西北侧的西南气流型	(92)
§2	副高西侧的偏南气流型	(96)
§3	副高西南侧的偏东气流型	(99)
§4	青藏高压西北侧的西南气流型	(102)
§5	问题讨论	(106)
第七章	地形和下垫面的影响	(109)
§1	高原大地形的影响	(109)
§2	山脉迎风侧地形影响	(111)
§3	背风坡现象	(118)
§4	绕流	(121)
§5	河谷地形	(125)
§6	下垫面影响	(127)
第八章	西北暴雨的预报方法	(131)
§1	熟悉本地基本情况	(132)
§2	预报流程及预报着眼点	(134)
§3	一般暴雨预报方法	(138)
§4	暴雨预报专家系统	(139)
§5	PP、MOS、概率预报法	(147)
§6	暴雨落区预报	(149)
第九章	历史上的主要暴雨实例	(153)
§1	“77.8”德令哈、银川和毛乌素沙漠暴雨	(153)
§2	“87.6”甘肃河西持续性暴雨	(158)
§3	1981年7月5日新疆若羌特大暴雨	(161)
§4	“82.7”陕西台风倒槽暴雨	(162)

第一章 西北暴雨的气候特征

西北暴雨的气候特征与湿润地区暴雨有较大差别，局地性、短历时暴雨相对较多，加之地形和下垫面比较复杂，暴雨的时空分布与一般降水不尽相同，具有一定特色。

§1 地理概况

中国西北是一个广阔的地域，包括陕、甘、宁、青、新五省区和内蒙古自治区西部，约占全国面积的三分之一。它位于亚洲大陆中部，占据了青藏高原北半部和高原外围从高原西北侧到东北侧的广大边缘地区。东西横越37个经度，南北跨越17个纬度。由于地域跨度大、海拔相差悬殊，下垫面性质复杂，境内地形地貌特征丰富多彩。

西部有山体宽广，山势高耸的帕米尔高原。天山山脉横贯于新疆境内，山脉两侧有戈壁沙漠构成的塔里木盆地、准噶尔盆地。境内海拔高低相差悬殊，有海拔8611m的乔戈里峰，也有我国最低的吐鲁番盆地，最低处低于海平面154m。形成高山积雪和盆地燥热、对比显著的自然环境。

东部有广阔的黄土高原和鄂尔多斯台地，海拔1000—2000m。黄土高原的原面比较破碎，地下水埋藏很深，原面之间的河谷大多向下深切200—300m，自然灌溉条件差。这一带是高原东北侧冷暖空气经常交绥之处，一些山脉的小气候作用比较明显。如宁夏贺兰山和内蒙阴山，拔地1000—2000m，是西北区东部最偏北的山系。呈东北—西南弧形的走向，阻挡蒙古干冷空气和戈壁风沙侵袭，是保护银吴灌区和河套灌区的天然屏障，从而形成上述

黄河灌区的“塞外江南”小气候。还有一些更小的或孤立的山体，如甘肃中部的马啣山和陇东的子午岭，地形和森林的小气候作用，使它们成为干旱和半干旱地区的若干“湿岛”。

东南部有东西向的秦岭，平均海拔2000—3000m，是我国著名的气候分界线。秦岭以南的秦巴山地和甘肃陇南地区，山势陡峭，峡谷、深涧和山间小平坝相间，地面多为石质土壤，遇有暴雨冲刷，一旦破坏表层植被，可以形成深达数米的冲沟、泥石流。宝成铁路经过这类地区，深受其害。

南部是青藏高原主体部分，海拔4000—5000m。境内地势相对比较平坦，是黄河、长江发源地。高原湖泊较多，有的地方实际上是沼泽地，降雨次数多，空气相对比较湿润。高原西北部的可可西里地区，平均海拔5000m以上，空气稀薄，有藏北无人区之称，除野生动物之外，只有极个别适应高山缺氧环境的藏族同胞定居。

北部是蒙古高原和青藏高原之间的荒漠草原洼地，平均海拔1000m左右，是地下水的下游。所以在大面积戈壁荒漠中有不少泉、井、湖，成为游牧生活的依托点。

近几十年来，西北各地修建了大量水库，尤其是小水库，遍布各地，数量很大，它改变了局地下垫面性质，也是研究西北地区暴雨必需考虑的因素之一。

§2 西北暴雨概念

西北地区多数地方年降雨量少，日降雨量达到50mm的机会也很少，特别是新疆，80%测站从未出现过日雨量50mm以上降水。按此雨量定义暴雨，则西北暴雨极少，但实际上经常发生暴雨危害，其原因是西北地区容易出现相对较强的短历时暴雨，其日雨量可能达不到通常定义的暴雨或特大暴雨的标准。但短历时强度相当可观，它引起的地面径流沿坡沟地形迅速下泻，常汇集

成局地洪水和泥石流。为此，西北各省区都根据各自的经验重新划定对当地有影响的强降水日雨量标准。大致情况是，陕西仍沿用全国性暴雨日雨量标准 ($\geq 50\text{mm/d}$)，西北区其他省区常将日雨量 $\geq 25\text{mm}$ 列为重要天气，或统称为大到暴雨。新疆还将日雨量 $\geq 10\text{mm}$ 称为大降水。上述各种不同标准的降雨日在当地都是相对强的降水过程，其出现概率与我国南方出现暴雨或大暴雨的概率相当。所以本章论述的暴雨统计特征也包括上述相对较强降水。

在气候分析工作中，通常用年、月平均降水量表示当地降水气候特征。但同样的年、月平均量，可以由许多日雨量不大的过程累积而成，也可以由少数几场大雨或暴雨构成。这两种情况在讨论暴雨气候特征时正是应当加以区别的。为此，我们在本章内，分别用年均 $\geq 25\text{mm}$ 日数 (R_2) 或 $\geq 50\text{mm}$ 日数代表大到暴雨或暴雨气候频数，用年平均 $\geq 0.1\text{mm}$ 日数 (R_0)，即雨日数代表一般降水气候频数（确切地说，一般降水气候频数是 $R_0 - R_2$ ，因 $R_0 \gg R_2$ ，故可用 R_0 代替 $R_0 - R_2$ ）。通过对比分析，说明暴雨气候分布的特点。

§3 西北暴雨的空间分布

一、一般降水的空间分布概况

西北地区一般降水分布是自东南向西北减少。甘、青、新三省区之间降水最少，新疆西部降水又略有增加。

1. 降水少

从欧亚范围看，中国西北与苏联中亚细亚共同构成 30°N 以北最大的干旱少雨区，也是国内降水最少的地区。表 1.1 是利用中国西北区及内蒙西部 156 个测站资料 (1951—1980 年) 统计结果。由表可见，年降水量 $\leq 200\text{mm}$ (干旱区) 的站数将近占西北区总站数的一半， $\leq 400\text{mm}$ (干旱和半干旱区) 的站数则占 70% 左右。还应注意，由于站点分布不均，降雨多、人口密集的地

方测站也多，所以实际干旱少雨的面积大于此百分数。从气候图集上测算，西北区面积的78%年雨量少于400mm。我国年降雨日数少于60天的地带(与年雨量200或300mm以下地区大致对应)，75%属于西北区。

表1.1 各级年雨量站数和面积百分率

站数 省区	年雨量 (mm)	≤200	201—400	401—600	>600	合 计
新 疆		39	8		1	48
青 海		8	15	9	3	35
甘 肃		12	3	13	2	30
内蒙西部		4	9	1		14
宁 夏		3	4	3		10
陕 西			1	7	11	19
合 计		66	40	33	17	156
站数百分率%		42	26	22	10	100
面积百分率%		64	14	15	7	100

2. 相对差异大

中国西北境内，年降水量和降水日数相对差异较大。仅按气象站记录比较，西北境内最少和最多降水日数之比约为1:20。年平均最少降水日数记录出现在新疆吐鲁番盆地的托克逊站，仅8.3天；最多处是青海省的久治站，年平均170天(图1.1)。年平均降水量也是托克逊站最少，仅6.9mm，最大年降水量出现在陕西省镇巴站，年均1258mm。最少和最多年雨量之比为1:180。相对差异之大，国内其他大区少见。

相对差异较大的另一表现是山区附近降雨多，盆地降雨少。新疆的年平均最大雨量和最多雨日都在天山附近。祁连山和巴彦喀拉山都是气候上的雨量或雨日中心。柴达木盆地、塔里木盆地

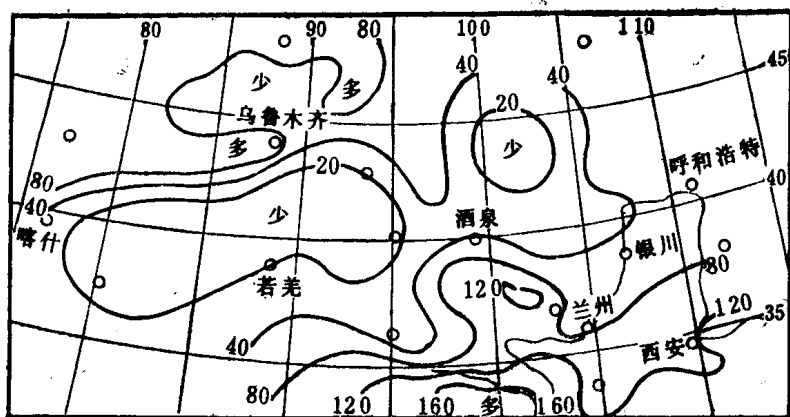


图1.1 西北区年均雨日分布

和其他相对低洼的地方，包括关中平原、银吴平原甚至范围较小的河谷地区都比四周降水偏小或雨日偏少。

山区降雨分布也不均匀。天山、太子山是北坡多雨，祁连山、阴山、秦岭为南坡多雨，六盘山和贺兰山是东坡多雨。

二、暴雨空间分布

1. 大于等于25mm降水频数

西北地区大到暴雨（日雨量 $\geq 25\text{mm}$ ）降水频数分布如图1.2所示。大致分布趋势是自东南和西北两方向向中间减少，新疆东部最少。西北区东部处于我国季风降雨向内陆急骤减少的过渡带上，大到暴雨频数自东南向西北减少的大范围趋势最为明显。

根据地形和气候特征，西北境内大到暴雨可以分为三个区域。

东南部多雨区。是西北区大到暴雨最多地区，年平均有大到暴雨4到13天。其中陕南地区是同纬带我国大到暴雨最多地区之一。

新疆西部多雨区。以天山中段为中心，是大到暴雨相对较多区，年平均大到暴雨可达1到3天。

青藏高原东北边沿多雨区。从祁连山东南部到甘肃西南部高原之间，年平均大到暴雨可达2到4天。它与西北区东南部多大到

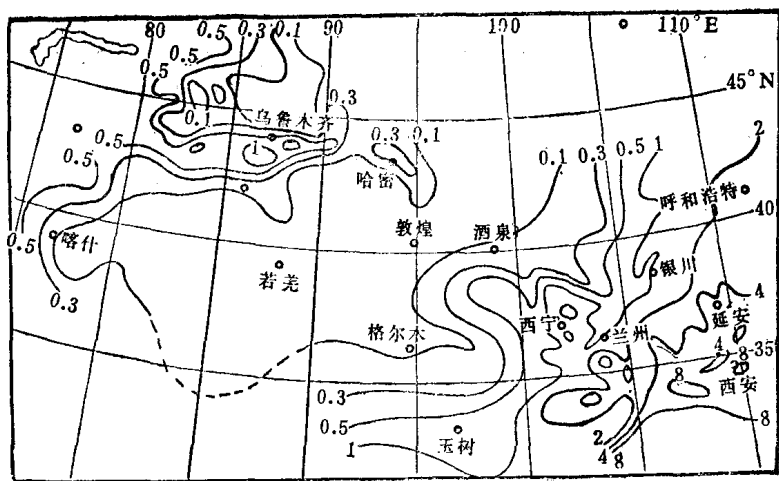


图1.2 西北区年平均 $\geq 25\text{mm}$ 的降水日数

暴雨区之间，被一条少暴雨带分隔开，成为第三个大到暴雨相对较多区域。

2. $\geq 50\text{mm}$ 降水频数

日雨量 $\geq 50\text{mm}$ 的暴雨分布趋势与 $\geq 25\text{mm}$ 降水频数分布趋势基本相似，出现次数更少。大致情况是秦岭以南年平均暴雨为2到4天，仍为同纬带我国暴雨最多地区之一，秦岭以北却不然，年暴雨日数都在1.0天以下。内蒙包头到甘肃天水一线以西，年暴雨日数都在0.5天以下。西北区西部许多地方，建站以来，从未出现过暴雨，是同纬度我国暴雨最少的地区。

3. 西北暴雨空间分布的特点

西北暴雨空间分布与雨日空间分布比较，次数少但内部相对差异更大，两者高频区位置有明显差异。

(1) 次数少，内部相对差异大

如上所述，中国西北境内多数地方的大到暴雨是几年甚至几十年一遇的小概率事件，年平均次数比雨日次数少得多。境内各地暴雨次数的绝对差值小于雨日数的绝对差值，但相对差异较

大。如河西走廊中段大到暴雨年均0.2天，陕南大到暴雨年均10天左右，约为前者50倍，而雨日数只是前者的3倍。

≥50mm的暴雨频数相对差异更为明显。如以甘肃省中部地区与陕西省关中地区比较，两地区雨日数之比为1:2，大到暴雨次数之比为1:5，暴雨次数之比为1:15。随着雨量增大，降水频数的相对差异增大。

(2) 暴雨高频区的地理位置

西北区东部，暴雨和雨日的高频区位置不同。雨日高频区在青海省东南部，暴雨高频区在陕西省南部，所以在雨日出现≥25mm降水的条件概率分布图（图1.3）上，西北区东部的等概率

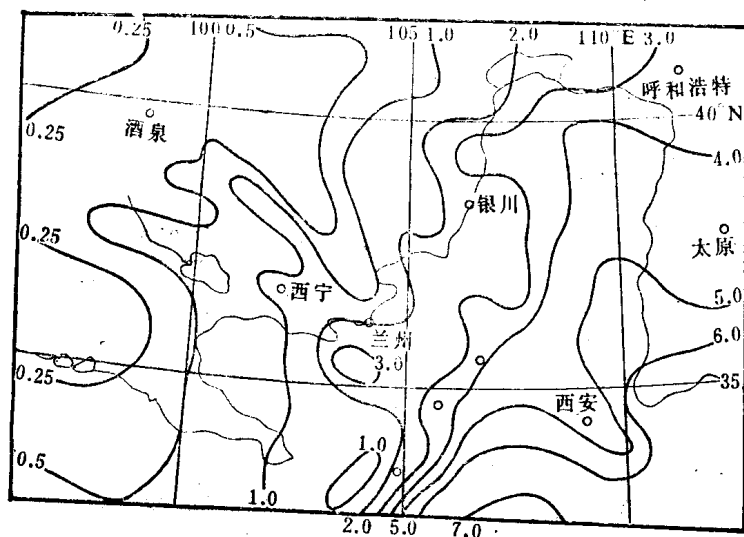


图1.3 雨日出现≥25mm降水的条件概率

线成准南北走向。如沿黄河从兰州经银川到临河，条件概率由2.1%增加到2.3%。这一特点在雨日出现≥50mm的条件概率分布（图略）上更为明显。由此可知，西北区东部一旦出现降雨过程，偏东地区出现暴雨的可能性显著增大。这也是西北区东部暴雨初生过程较多的反映，即随着降雨系统东移，地面降雨量往往

增大，东移到一定地方形成暴雨。值得指出的是，西北区东部出现降雨时，偏北地方出现暴雨的可能性并不比偏南地方小。

西北区西部， $\geq 25\text{mm}$ 的降雨和雨日的高频区都在天山附近。两者位置基本一致，但暴雨向天山附近集中的程度更为明显，所以雨日出现 $\geq 25\text{mm}$ 的条件概率，天山附近最大，中心最大值在巴仑台，达3%。

(3) 山区暴雨频数的垂直分布

从大范围看，西北暴雨和一般降水都有向山脉附近集中的趋向，但山区暴雨并不向山顶集中，图1.4是天山中段降雨日数南

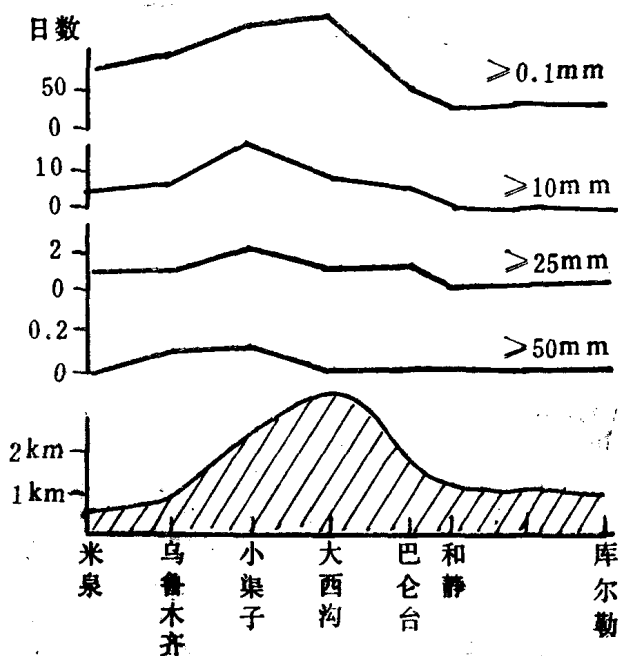


图1.4 天山山脉南北各级降水日数分布

北向分布。可以看出海拔为3529m的天山大西沟云雾站雨日最多，年降雨日为139天。天山两侧雨日随海拔高度下降而减少。大于

等于10mm的日数分布同样具有这一特色，但最多日数已偏到天山北部的小渠子站（海拔2160m）。大于等于25mm日数在天山山脉南、北坡各出现一个最多中心，而海拔最高的天山大西沟云雾站变为相对少的地区。大于等于50mm年平均日数只有天山北坡的小渠子和乌鲁木齐约十年出现一次（图略），最多日数更有移向山麓之势。

西北地区其他山脉，最多降雨日数高度也随日雨量增加而下降，造成山区暴雨的高频区比一般降水高频区的海拔高度偏低。如祁连山、贺兰山、六盘山和秦岭的最多雨日出现在海拔最高测站，而最多暴雨日却出现在山腰或山麓的测站，如表1.2所示。

表1.2 西北各主要山脉最多雨日、暴雨日与海拔高度的关系表

山脉	项目	雨日最多站			暴雨日最多站		
		站 名	海拔 (米)	年均日数	站 名	海 拔	年均日数
祁 连 山	却藏滩	2871	149.8	大 通	2568	0.1	
				西 宁	2261	0.1	
				民 和	1814	0.1	
贺 兰 山	贺兰山	2901	89.6	石嘴山 (大武口)	1104	0.6	
六 盘 山	六盘山	2840	134.6	泾 源	1941	0.9	
秦 岭	双 庙	1976	143.9	紫 阳	504	3.2	
				汉 中	508	2.1	
天 山	大西沟	3539	139.0	乌鲁木齐	918	0.1	
				小渠子	2160	0.1	

近年来西北出现的一些特大暴雨，有不少出现在浅山区。如1980年5月23日傍晚，昆仑山北麓的和田县排瓦堤水电站附近，80分钟降雨130mm（调查值）；1981年6月29日傍晚，天山北