

西北干旱地区暴雨洪水学术讨论会会议文件之一

我国干旱地区暴雨的某些特征

王家祁

水利部南京水文研究所

一九八〇年八月

提 要

本文根据各地近年整理分析的暴雨特征值和暴雨档案综合分析了中国北方干旱地区暴雨的历年统计特征值地区分布以及各次暴雨的时空分布，并与国外某些干旱地区暴雨和华南湿润地区的暴雨进行分析对比，尽量给出特征值的数字范围，在时空分布方面强调及研究一小时以内的雨率分布和分析等值线雨深和面积（或概化雨率）的关系，以适应干旱地区洪水计算的需要。并讨论了雨深—历时关系曲线和降雨体积—面积关系曲线、转折点位置与降雨特征的联系。

前 言

我国西北地区接近亚欧大陆的中央，距海最远可达二、三千公里以上，多高山、盆地和高原，年降水量稀少，蒸发量大，是明显的干旱地区。根据近年来不同文献的分析，我国干旱与半干旱地区的最小范围为新疆、青海盆地，甘、宁、陕、晋、冀黄土高原北部和内蒙古的大部。最大范围则包括川滇藏高原、秦岭和淮河以北的广大地区，约占全国总面积的三分之一左右。我国的干旱地区位于全球最大的干旱区域（北非——中亚——蒙古高原）的东部，世界上还有一块面积较小的干旱地区为澳大利亚，美国西部，南美太平洋沿岸和南非的西部，大致分布在南北纬度 10° — 50° 之间。

干旱地区一般年份的年降水量是比较小的，如1974年V. I. Korzun 等人所编制的《世界水平衡图集》就规定平均年降水小于 500 mm 和平均年蒸发量大于 800 mm 的地区为干旱地区。又据中国和美国的一些资料，当年降水小于 500 mm ，年径流小于 200 mm ，年蒸发大于 1200 mm 的地区一般称为半干旱地区，当年降水小于 200 mm ，年径流小于 100 mm ，年蒸发大于 1500 mm 称为干旱地区。当年降水小于 100 mm ，年径流小于 50 mm ，年蒸发大于 2000 mm 时为极端干旱地区。

但是，干旱地区降水的年际变化很大，降水年内分配又特别集中，因而在有些年份、有些地区，也可出现历时短，面积小，强度大的暴雨，不少暴雨接近或超过了我国南方的记录，个别暴雨接近甚至超过了原世界记录，造成了很大的灾害，必须引起足够的重视。

目前，在干旱地区，特别是极端干旱地区，对暴雨的研究还十分薄弱。首先是因为这些地区经济开发较迟，人烟稀少，

观测资料短缺，此外，暴雨的时空变化剧烈，年际变化很大，使暴雨难以测定和分析；还有水利工程较少，分析工作做得不够。不过，随着水利、交通等建设的开展，科学考察的不断进行，特别是近年方可能最大降水研究而开展的大规模暴雨分析工作，对干旱地区的暴雨研究打下了一定的基础。

本次分析搜集了西北地区的一些零散调查分析成果，考虑到黄河、海河流域半干旱地区的资料比较丰富，研究上比较深入，亦尽量加以考虑。另外，对美国、印度等国外干旱地区的暴雨情况，亦略作介绍。

一、 雨旁资料的观测与调查

西北干旱地区地域辽阔，居民点稀少，自然条件比较差，因而雨旁资料的获得是比较困难的。参考其它地区的情况，可考虑有下列几种资料来源。

1. 国家雨旁站网：干旱地区雨旁站网一般都是非常稀少的，例如美国的干旱地区内华达州雨旁站网密度对美国各州之末。印度沙漠平均每一万平方公里有四个站，部份地区仅二站。我国沙漠地区，有一、二十万平方公里之内空无一站，大高原地区往往在一万平方公里内只有一站（以下站数均指一万平方公里内的站数），黄河中游河口至龙门段略高于二十站，山西半干旱地区最密的五十站。而我国南方则密度较高，如浙江东北部超过一百站，英国有的地区竟超过四百站，可见，暴雨随距离变化剧烈的干旱地区，现有国家雨旁站网是不能反映实际暴雨分布情况的。此外，对于随时间分布极不均匀的干旱地区来说，有记雨旁站更感到缺乏。我国南方的一些省份，多数测站有记或分按较细，如浙江省基本上是有记的，但西北干旱地

区则多数是分段较粗的人工观测雨量计。如黄河中游（阿龙段）自记雨量计的站网密度每二万平方公里仅四站，占全部雨量站的18%，绝大部分测站为每天四次的人工观测站，无法分析降雨的强度变化。观测年数一般不足三十年，对于年际变化很大的干旱地区来说，是远远不够的。

2、非正规雨量站：由于国家设立的正规水文气象站网非常缺乏，因而需要极端重视非正规的雨量站。当发生一次特大暴雨之后，在短期内注意搜集由工矿、农林、城建、交通等部门设立的雨量观测点资料。此外，水库及水利管理部门和农村气象哨等在短期内也会保存一些雨量记录。应注意及时调查搜集，因为非正规观测资料一般不长期保存。也要注意观测质量的检查，以免发生错误。美国有不少私人志愿观测的雨量资料，美国的种子公司四十万个农场分发简易“试管式”塑料雨量筒，其数量远超过了国家站网。

3、暴雨调查：在站网密度稀少的干旱地区，暴雨调查是研究面雨量分布极不均匀的局地雷暴雨的有效措施。如1977年内蒙乌审旗特大暴雨超过400mm，雨深的面积为1170平方公里，没有任何国家设立的测站，而通过调查，获得雨量点三十三处，因而相当于大大增加了测站。通过调查，获得了不少特大暴雨中心的资料，在我国干旱地区，已调查到多次五、六百毫米的大暴雨，最大达1400mm，而国家站网测到的大暴雨，最大为四百多毫米，次数亦很少。只要调查及时，整个暴雨地区的情况也有可能掌握，因而能绘制暴雨等值线图，研究面分布规律，特别是几百平方公里以内的分布规律，这也是一般国家站网难以实现的，我国有些干旱地区居民点仍不少，只要重视暴雨调查，还是能取得一些资料的。在美国也是有提到“水桶调查”的记录，但比较少。对于人口极稀的广大沙漠，大高

原地区，则无法应用。调查数据的精度，都必须给予评定，以便分别对待，降雨起始时间和总历时尚能调查，降雨时程的定号分配目前还难以做到。

4. 试验流域：干旱地区地域辽阔，大部分地区人烟稀少，因而全面设立正规国家站网以研究暴雨规律是不可能的，也是不经济的。但是，对于一些暴雨特性比较一致而面积又很大的自然区域，应当考虑设立少数的试验流域或区域，以研究暴雨的特性，并移用于广大性质相近的自然区域，这种试验流域往往可以结合径流试验研究。我国干旱地区目前这种试验流域太少，比较好的仅有陕北子州岔凹沟流域十一年资料，其流域面积为187平方公里，雨量站点54处，但自记站太少；其中团山沟试验小区0.18平方公里有14处测点。我国南方试验流域很多。美国干旱地区的Walnut guleh试验区面积148平方公里，雨量点45处。近年美国又设立了一些城市气候研究区域，面积很大，如芝加哥地区计划，面积10,000平方公里，规划布设自记雨量点520处，对研究暴雨天气活动极为有利。除了大规模综合性的试验区外，也可建立单项目的试验站，如地形影响明显的地区可设立一个不同高程和方向的观测断面或地带。在干旱地区设立试验站，由于暴雨发生频次过少，有可能连试多年测不到一次理想的大暴雨，这一点是不如南方的。这种弱点应当在选择试验区位置时加以考虑，并设法利用外地资料寻求一般暴雨和大暴雨之间暴雨特性的关系和差异。

5. 其它测验手段：考虑到西北干旱地区设立一般测站的困难，应注意研究用一些现代化观测仪器。雨量站的遥测对于山高路远的区域是值得尝试的，因为直接传递的是雨量本身的信息，精度应当较好。国外近年进行的微波化雷达测雨，无疑是一种节省人力的措施。由于雷达回波和降雨强度的相关还不

的理想，必须有不少雨量站随时率定校正，因为雷达可随时观测，所以对雨团活动能较好反映。定量的精度尚在不断改进，据美国资料，如地面雨量站网每站代表面积在100~200平方公里以下，则雷达作用不大。西北站网甚稀，雷达反当起作用，不过研究暴雨中心附近的微结构（这对于旱地区是十分重要的）则仍是困难的。

二、点暴雨统计特征值的分布

根据已有降雨观测资料的分析，并统一用24小时（或日）降水量超过50mm作为暴雨的标准，初步发现，干旱地区的暴雨具有发生频数小，年际变化大，稀过暴雨强的特点。

干旱地区，特别是极端干旱地区的暴雨，在一定范围的地区内，出现的机会有些较小，在固定地点出现的机会有些更小。单站每年平均暴雨日数（日雨量在50mm以上），在各地出入很大，在极端干旱地区小于0.1，即重现期在十年以上，而一般干旱地区则为0.1~1，湿润地区都在2以上，华南个别地区可达10天以上。出现大雨以上（以日雨超过25mm为标准）的每年平均日数则大为增加。一般干旱地区可达0.2~3天，湿润地区则在7天以上，华南沿海可超过20天。

由于暴雨出现次数很少，因此历年经常发生的暴雨（我们常用年最大24小时点雨平均或中值来表示）亦不大。美国一般在50mm甚至25mm以下，印度的沙尔沙漠距海较近，可达50~100mm。我国西北大盆地极端干旱，都在10mm以下，一般干旱地区为25~50mm，半干旱地区约为60~80mm，而我国南方湿润地区大多在100mm以上，华南沿海和台湾岛可过二、三百mm。

为了说明我国西北干旱地区和南方湿润地区之间以及西北

华北的极端干旱地区。一般干旱地区和半干旱地区之间暴雨特性的差异，我们制作了两条能大致反映暴雨特征值变化的断面。一为新疆~台湾断面，呈西北~东南走向，通过克拉玛依、乌鲁木齐、鄯善、安西、酒泉、张掖、兰州、平凉、西安、老河口、汉口、南昌、南平、福州和台北，从西北国界到台湾东海岸，全长为4310公里（取上述各点的折线），它主要反映干旱地区和湿润地区的差异。另一为新疆~山东断面，由西向东，摆动在北纬36°附近，沿途经过莎车、和田、于阗、且末、若羌、冷湖、大柴旦、德令哈、张掖、民勤、银川、榆林、太原、石家庄和德州到达黄河口附近的渤海之滨，全长约4020公里（取折线），主要反映了极端干旱地区、一般干旱地区和半干旱地区之间的差异。断面位置和两个断面特征图见图1~3。

从图2和图3可见，黄土高原的暴雨均值比西部地区有明显的增加，而秦岭以南又有急剧加大，很好反映了干旱地区、半干旱地区和湿润地区的差异。

暴雨均值的地域变化，反映了我国水汽的含湿来源和地势的分布。从我国主要风期（5~9月）各月平均可降水量分布图来看，西北大盆地都在5~10mm左右，黄土高原在七、八月份为20~40mm，而长江流域六月超过40mm，七、八月超过50mm，南海六到八月可达60mm以上。说明了我国主要水汽来源（西南和东南）对大陆降水的贡献由沿海向内地，由东南向西北不断减弱的规律。新疆虽然也受到西来水汽的影响，但距离过远，贡献较小。

干旱地区的暴雨年际变化一般都很大。年最大24小时暴雨的变差系数 C_v 反映了这种变化的程度。我国南方不少地区在0.5左右或以下。而在北方除一些山脉较小外，都在0.5以上，大沙漠地区甚至达到1。 C_v 的分布大体上和均值是相反

的关系，最干旱的地区均值小， C_v 大，湿润地区均值大 C_v 小，但值得注意的是半干旱地区的均值虽然已较干旱地区明显加大，但 C_v 却减少不多，是一个均值和 C_v 都较大的地区。此外，雨量频率分布的幅度很大，有些地区偏差系数与变差系数的比值 C_s/C_v 比国内大多数地区的综合值（约3.5）为大，频率分布的线型选择发生困难。因而在推求稀遇设计暴雨工作中还存在不少值得研究的问题。

虽然常与暴雨比较小，但是由于多年之间的变差系数和偏差系数很大，较干旱地区的稀遇暴雨却是很大的，特别是短历时雨量。从实测或调查到的24小时最大点雨量来看，各层区都出现了超过100 mm的大暴雨，东经100°以东出现了200 mm以上的大暴雨，黄土高原上多次发生了400~600 mm的大暴雨，内蒙古乌审旗调查到1200 mm的特大暴雨，可见半干旱地区的最大点暴雨已超过了我国南方内地大部分地区出现的数值。上述雨量级与美国干旱地区的暴雨比较一致，美国干旱地区中心部分，一般已出现100~200 mm，边缘地区调查到610 mm，印度则为250~500 mm。如以某一个地区实测或调查最大24小时点雨量（简称动点暴雨）和该地区的单站多年平均年降水量相比较，极端干旱地区动点暴雨往往超过平均年降水量，即某一天雨量超过平均的一年雨量，印度也提到发生类似情况。例如，甘肃西部阿克塞1979年7月25—26日，最大24小时降水量123.3 mm，而附近敦煌20年平均年降水量仅29.4 mm，内蒙古乌审旗1977年8月1日降雨1400 mm，而附近陕西榆林20年平均年降水量仅438.4 mm，这样，一天雨量可相当平均年雨量的三、四倍。从图2可见，这种情况在南方是没有发生过的。更如反映多年变化特征的特大暴雨和该地区最大24小时点雨量多年均值的倍比，则更是大得惊人。西部地区可达3~4，黄土

高原可达6~8, 有些调查暴雨可超过10 (如甘肃阿克塞、内蒙的狼山、商都、河北的大山进沟), 个别超过20 (内蒙乌审旗)。

从实际发生最大暴雨的分布来看, 西部地区的地形对暴雨的影响比较显著, 黄土高原地形对暴雨的均值有较明显的影响, 但特大暴雨却到处可以出现, 不但在山区, 而且在高原甚至沙漠地区也出现, 在这些暴雨中, 不少为中小尺度不稳定局地对流性降雨。

由于暴雨特性和湿润地区有明显的差异, 因而设计暴雨和可能最大暴雨的估计方法在移用外地方法时也遇到不少特殊的问题。目前对他们还缺乏认识, 值得进一步开展研究。例如, 年际变化太大, 观测系列又短, 要搞清雨量的频率分布是十分困难的。对已有资料的综合分析以及外延合理性检查就十分必要。对较大尺度天气系统或局地雷暴所形成的暴雨如何区别对待和相互结合, 局地雷暴雨族与水汽较少, 如何放大, 都还没有充分研究。我国在前几年编制的可能最大暴雨等值线图又作中, 也试用了一些方法, 但往往为几次特大调查暴雨所左右, 不得不将特大暴雨稍加放大作为控制。从西部到东部, 24小时可能最大暴雨, 变化于100—900 mm之间。据国外估计, 印度干旱地区为300—900 mm, 美国干旱地区雷暴雨型约为300—600 mm, 一般型暴雨则不到其一半。地域变化都比较大, 半干旱地区的暴雨相当大。

表1. 真暴雨统计特征大致范围

地 区	极端干旱区	干旱区	半干旱区	湿润区	华南个别高温区
年暴雨日数(天)	<0.1	0.1~1	1~2	>2	10
$\bar{H}_{24}(\text{mm})$	<10	25~50	60~80	>100	200—300
Cv_{24}	1	0.8	0.6~0.8	0.5	
H_{24} 实测最大	50~100	100~200	400~600	400—800	800—1200

三、次暴雨的时空分布

暴雨时空分布的高度集中是干旱地区暴雨区别于其它地区的重要特征。多数大暴雨具有历时短、强度大、面积小、梯度陡的性质。洪水计算如不考虑时空分布特性会造成很大的误差，因此应予高度重视。可惜目前的资料十分缺乏，分析研究还存在不少困难。

干旱地区的降水年内分配是不均匀的，降水另往往集中于几次暴雨，平均年最大24小时降水另占平均年降水另的15%以上，极端干旱地区可占一半，而南方一般不到10%。在一次暴雨期间，强度的分布也很不均匀。图4显示了南北方典型降雨过程的对比，干旱地区的暴雨往往降雨历时短，强度大，变化快，有明显的间隙。

干旱地区的降雨，持续时间一般在一天以下。雨另的主要部分有时不到10小时，局地雷暴雨多故为二、三小时，甚至只有半小时。如新疆最大实测暴雨哈拉依敏7小时122.1 mm，青海最大调查暴雨小叶坎半小时240 mm，甘肃最大调查暴雨化马3小时330 mm，内蒙最大调查暴雨木多才当10小时1400 mm，陕北最大实测暴雨杨家坪12小时408.7 mm，山西最大调查暴雨陶村堡6小时600 mm，河北西北部调查暴雨段家庄3小时600 mm，美国的状况也类似，西部地区蒙大那州42分304 mm，科罗拉多州3小时508 mm，怀俄明州6小时559 mm。

有些暴雨，即按总历时较长，但主要的降雨另仍集中于较短的时间内。干旱地区几次具有逐时资料的较大暴雨历时在6小时以上时雨另增加甚微，有些暴雨甚至1小时可基本结束，而南方暴雨往往在12小时以上，有的可维持数日（图5）。图

图上的几次调查特大暴雨，历时都比较短。

从全国南北各资料及调查最大暴雨分布对比来看（表2）长历时暴雨，干旱地区一般远小于南方。如七天暴雨在黄土高原一般为200~400 mm，长江流域一般为400~600 mm，华南沿海可达800~1200 mm。而24小时暴雨，黄土高原一般为150~400 mm，长江流域约为300~500 mm，华南沿海约为500~800 mm，南北差距缩小。至于1小时暴雨，黄土高原一般为50~100 mm，长江流域约为75~125 mm，华南沿海为100~150 mm，差距更小。上述数据为一般情况，至于个别的短历时（12小时以下）调查特大暴雨，干旱地区可超过南方，如图5排列的若干场次，其中内蒙1977年8月特大暴雨，超过了目前公布的同历时（10小时）世界记录。

表2. 各地区不同历时暴雨实测及调查最大值一般范围(mm)

历 时	黄 土 高 原	长 江 流 域	华 南 沿 海
7 天	200~400	400~600	800~1200
24 小时	150~400	300~500	500~800
1 小时	50~100	75~125	100~150

干旱地区不同历时暴雨的年际变化规律也可能具有和南方暴雨有别的特性。虽然没有经过广泛的验证，但是河北省的分析结果显示了这种规律。河北省的西北部属于干旱地区，那里3小时暴雨的 C_v 值比24小时暴雨的 C_v 值超过0.05~0.15，这就表明短历时雨量的年际变化更为剧烈，即雨量愈大，相应有更大比例雨量集中在短历时长，反映在短历时高强度局地雷暴雨的时程分布性质。这种现象不但在翻花没有出现，而且和河北省太行山燕山迎风坡大暴雨的规律也是相反的。那里，3

小时 C_v 比24小时 C_v 低0.10~0.15，表明，雨势愈大，时间分布越趋更加均匀。

美国东部地区（105°以东）的可能最大暴雨时深关系，共有九个分区，西侧最接近干旱地区的第4区，6小时占24小时雨量的85%（未分降雨性质），比周围地区的76~78%更为集中，而美国西部地区可能最大暴雨的时深关系，分成一般型和雷暴雨型两种。一般型暴雨即使在干旱地区，时程分布也不很集中，6小时雨量为24小时雨量的48%，仅比太平洋沿岸集中，比东部地区不分型的情况更为均匀。但雷暴雨型则不同，基本图采用1小时雨量值，并且只推算到3小时雨量为止，干旱最严重的中部地区只推算1小时以下的暴雨，不推算更长的历时。可见，局地强降雨往往历时极短，时程分布特别集中，而雨势又特别大。在西部最干旱的地区雷暴雨型1小时可能最大暴雨约为150 mm，而一般型6小时可能最大暴雨反而只有50~75 mm。

由于干旱地区降雨历时短，强度变化大，地表土壤经常干旱，入渗能力强，因此，在推算洪水时，采取惯用的雨量（或平均雨率）~历时关系形式来描述一次降雨过程比较失真，因为，平均雨率和实际发生的雨率出入极大。用瞬时雨量过程来描述降雨过程，也有较大的出入，如陕北子洲实验站刘家坳雨量1966年7月17日22~23点（1小时）降雨30 mm，平均每分钟0.5 mm，但实际上其中40分钟雨率很小，而另外20分钟雨率很大，占1小时雨量的81%（图4）。因而，在干旱地区对1小时雨量内部的雨率分布的研究是很有必要的，时段的划分也许要用10分钟，甚至5分钟作为单位，以接近瞬时雨率的时程分布，才能比较真实反映降雨的实际情况。

干旱地区暴雨的面分布呈现比较复杂的情况。图6列出了

中国北方主要大暴雨的等值线。从 100mm 雨深的等值线来看，北方也出现了不少大面积的降雨，但是小面积高强度的暴雨却更加引人注目。

大面积降雨一般呈东北西南向的带状分布，其次为东西向，少数为南北向，这是由天气系统决定的。 100mm 的雨深可跨越三、四个经度，有些暴雨除中心地区外，面分布比较均匀，梯度较为平缓，如1967年8月晋北三井暴雨。有些暴雨则为多中心的斑状分布，几个中心的分布不规则，主次差别不明显，梯度比较大，如晋豫交界处的58.7暴雨，陕晋北部的71.7暴雨。印度沙漠地区1973年的一次暴雨亦有类似情况， 100mm 雨深南台等值线东西长约三百公里，南北宽二百余公里，其中包括了四个暴雨中心，雨深分别在200和300 mm 以上。有些暴雨，在大范围内梯度较缓，而暴雨中心部分很小面积内梯度很大，例如1977年7月陕北暴雨，雨深 100mm 包围面积约一万 km^2 ，而超过200 mm 的面积仅一百多 km^2 ，最大雨深达到400 mm ，中心部分的梯度很大；又如内蒙77.8暴雨，在大范围雨区内出现一个不到二千平方公里的暴雨中心（图7），在这个中心内部又出现了五个小中心，最大雨深达到1400 mm ，而就在两个高值中心之间，竟又出现了一个小于400 mm 的低值中心，与两个高值中心的距离只有5—8 km^2 。

强烈局地雷暴雨在干旱地区占有很重要的地位。图5给出了若干次通过调查得出的小面积高强度暴雨。它们出现在黄河流域的几乎所有地区，这些暴雨并非出现在大范围阴雨区域之中，而是非常局部的。面积较大者可达一千平方公里左右，如1959年7月张家房子暴雨。大多为几百平方公里，有的只有几十平方公里，如甘肃76.7化马暴雨约50 km^2 ，青海76.6小叶坎暴雨约为20 km^2 ，由于暴雨的水平尺度较小，生命史短，等

值线分布的形状比较接近规则的圆形、椭圆形，而且往往是以旱中心点。

如果将闭合暴雨等值线概化为圆形，则可很方便绘制暴雨等值线雨深~概化圆半径（距离）关系图。概化圆半径 R 由式

$$R = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = 0.5642 \sqrt{A} \quad \text{计算, } A \text{ 为等值线包围面积。图 5}$$

列出了若干次 24 小时暴雨的断面。干旱地区的暴雨概化半径一般比较小，暴雨中心部分雨深强度比较大，而远离暴雨中心雨深的概化圆半径一般在二、三十公里之内，最小的仅几公里。较大尺度的天气系统形成的降水可达几十公里。而南方的 55.7 暴雨可达一百二十公里左右，对于 300 mm 的等值线，干旱地区概化圆半径都在二十五公里以内，大多在十公里以内。而南方暴雨可达五、六十公里，相差比较大。但是发生于内蒙的 77.8 特大暴雨，在雨深 500 mm 以上时降雨范围超过了河北 63.8 暴雨，900 mm 以上时超过了河南 55.7 暴雨，成了我国大陆上最大的小面积暴雨。由于干旱地区的降雨历时短，因此，三天降雨比一天降雨增长不大，而湿润半湿润地区长历时降雨的范围则大为扩展。图 5 附列了三次长历时暴雨资料，相同雨深的等值线包围面积及概化圆半径可增长很多倍，坡度也比较平坦，这和干旱地区有明显区别。

综合考虑降雨深度和频率选面的是降雨体积，这个指标往往和工程有更直接的联系。图 5 反映了干旱地区和南方若干次降水体积随面积增长的情况。可以看到，局地雷暴雨虽然中心雨深极大，但范围小，降水体积随面积的增长很快减慢，以致不再增加。例如有些暴雨，总降水体积在一亿立方米以下，因而对大型水库是没有重大意义的，但是几十万立方米的降水体积对中小型水库有重要意义，而这种雷暴雨还是比较多的。几

亿立方米等级的局地雷暴雨亦已发生多次，大型工程也必需予以考虑。十亿立方米以上的暴雨一般都由较大尺度天气系统形成。陕北77.7和内蒙77.8暴雨总势都在西，五十亿立方米以上，是干旱地区实测的最大暴雨。但内部雨势分配不一，77.7暴雨雨面较大，而77.8暴雨中心雨深突出，因而小面积部分降水势非常大，约在二千 $\text{K}\cdot\text{m}^2$ 以内超过了著名的55.7和63.8暴雨，在几百 $\text{K}\cdot\text{m}^2$ 以内超过了河南75.8和美国全国最大24小时雨势。但是77.8暴雨在二千平方公里以上，降水强度随面积的增长显著减缓，当面积在一万平方公里以上时，比河北63.8暴雨和湖北55.7暴雨小得多，因而大面积总降水体比较小，南方的55.7暴雨一天可下150亿，一次可达九百多亿，相当于干旱地区最大值的二十倍。

图9曲线表明，几次局地雷暴雨的中心雨深（即曲线左下方趋于45°线的相应的雨深，相差不是很大，一般为400~600mm，但是，曲线坡度转为平坦的相应面积却相差很大，从几十到上千平方公里，一天降水总量可从一千万立方米到几亿立方米，因此，点面换算系数（指封闭等雨深线内平均雨深与暴雨中心雨深的比值）差别亦很大。从已经搜集到的一些暴雨资料分析，相应一千平方公里的点面系数为0.1~0.8之间，而点面换算系数为0.5的相应面积变化于50~700 $\text{K}\cdot\text{m}^2$ ，可见幅度是非常大的。

美国西部地区一般型暴雨的点面关系和东部差别不大，对于6小时暴雨，最干旱的地区100 $\text{K}\cdot\text{m}^2$ 的点面换算系数为0.72，东部地区一般为0.70~0.72。仅雷暴雨型，在最干旱地区只绘出1小时面积50 mi^2 （即130 $\text{K}\cdot\text{m}^2$ ）以内的数据，而干旱边缘地区绘出100 mi^2 （即259 $\text{K}\cdot\text{m}^2$ ）以内的数据，点面换算系数分别在0.60（相应130 $\text{K}\cdot\text{m}^2$ ）和0.48（相应259 $\text{K}\cdot\text{m}^2$ ）之下，都小于一般型100 $\text{K}\cdot\text{m}^2$ 相应的数值，对照我国目前所掌握的几次暴雨资料，

美国考虑的暴雨面积更小，点面换算系数更小，不过美国讨论的是1小时暴雨，而我国为一次暴雨，往往在12小时左右。

和雨量历时关系不能简单使用点雨深（或平均雨率）一样，干旱地区的面雨量亦不宜单纯考虑面降雨总量或面平均雨深，还应当分析不同雨深随面积的分布。因而，对一次降雨的描述除了用面平均雨深—面积关系外，还应当制作等值线雨深—面积（或概化圆半径）关系。

造成干旱地区暴雨时深分布集中是有其气象上的原因的。干旱地区多沙漠、高原，而植被差，湿度小，气温日较差大，对流强盛，层结不稳定，中低空对流性强。加上冷暖气候入频频，天气系统移动快，很少停滞，因而中小尺度暴雨突出，长历时暴雨极为少见。十分钟的降水由单个积雨云系统形成，范围5~20 km，生命史不到半小时，而一小时降水由中小尺度天气系统产生，必需有几次积雨云形成，范围达20~250 km，历时二、三小时，从已经观测到的几次暴雨发现，干旱地区的局地雷暴雨不一定要有良好的持续性的水汽输送，而可以通过本地的水汽积累和集中，有些暴雨1000 mb持续12小时最大露点在20℃左右。在短时间内所以能产生如此强烈的暴雨，主要依靠极其强烈的上升运动。这种暴雨在干旱地区是容易发生的。而长历时暴雨要求系统停滞，通过多次中小系统，不断供应丰富水汽，这些条件在干旱地区是比较困难的，因此干旱地区的暴雨时空分布都比较集中。