

可能最大降水研究

南京大学气象系
水利部治淮委员会规划处

说 明

本专辑选刊了有关可能最大降水(PMP)估算研究论文共十篇。其中既包括长历时、大流域(如淮河洪泽湖以上流域、骆马湖、南四湖流域等)的PMP估算研究;也包括了某些大型水利工程(如丹江口、五强溪和万安等水电枢纽)的PMP估算技术总结。在这些文章中,详细分析了汉江、沅江、赣江上游以及江淮流域内的水文气象特点和暴雨洪水成因,概要性地总结了PMP估算的实践经验及其结果;并通过若干实例,介绍和改进了PMP估算的水文气象学方法。可降水量的大小、分布以及水汽输送是影响暴雨形成的重要因素,专辑中也刊载了这方面的论文。

本专辑可供水文气象专业和水利水电设计部门以及大专院校有关专业师生及科研人员参考。

本专辑由南京大学气象系和水利部治淮委员会规划处共同编辑,作为内部参考资料刊印。专辑编辑组由邹进上、王德瀚、阎世全、王兴祥组成。

一九八〇年五月

序 言

我国地处副热带和北温带大陆东岸季风气候区，地形复杂，多大暴雨。除了著名的35.7、63.8、75.8、77.8等特大暴雨外，24小时雨量超过1000毫米的暴雨还有多处。美国的地理纬度与我国相当，但我国的暴雨却较美国的为大，有的暴雨已接近世界纪录。从历史暴雨及由历史洪水估算的洪峰模数来看，我国历史暴雨不仅强度和总量大，而且它的发生季节、地区与现代暴雨分析结果也是一致的。近年来，由于火山爆发频繁和人类活动的影响加剧，使得太阳辐射减少，低纬地区减少更甚，因而导致哈德莱环流减弱。为了维持全球的热量平衡，中纬度槽脊的振幅必然要增大，这就更加助长了极端天气现象（例如，旱涝或暴雨）发生的可能性。

我国已经建成了许多水库，将来还要修建更多更大的水库。在这样大的暴雨洪水地区修建水库，必须考虑安全和经济两方面的问题。

一、安全问题 我国人口众多，水库下游多有人口密集的城镇，水库一旦失事就可能造成毁灭性灾害。修建水库必须对人民生命提供最大的保护，防患于未然。也就是说，应以可能发生的最大洪水作为防御的对象，但现在较为通用的频率方法是不易估算这种洪水的，因而雨洪地区的国家，多进行可能最大降水（IMP）及相应的可能最大洪水（PMF）研究。1978年我国水电部颁布规范，规定“失事后对下游将造成较大灾害的大型水库、重要的中型水库及特别重要的小型水库的大坝，当采用土石坝时，应以可能最大洪水作为非常运用的标准”。这不仅适应客观实际需要，而且为发展PMP研究创造了有利条件。某些工程因限于物力和财力不采用这种标准时，IMP及PMF研究也可帮助设计者和决策者对工程所承担的风险有所了解。

二、经济问题 现行频率方法规定某种稀遇频率洪水（例如万年一遇）作为设计校核的标准。早在60年代苏联索洛夫斯基等就认为苏联近70年来的实测资料中并无千年洪水，对于以万年洪水作为校核的标准是否合理提出怀疑。近年从全美国河流随机抽取的资料中（流域面积从194—613,804平方公里，资料年限从20—185年），也发现美国不少河流的PMF小于万年洪水，有的甚至小于千年洪水（当然，也有大于万年洪水的）。这就说明以万年洪水作为标准也不一定就经济，因为有些河流是不会发生万年洪水的。如采用PMF作为标准也不一定投资大，因为有些河流的PMF小于万年洪水。

天气成因分析说明，造成特大洪水的特大暴雨不同于造成中小洪水的一般暴雨。例如，河南75.8大暴雨是五、六种天气系统上下迭加或停滞少动的结果，而一般暴雨并不具有这种特点。现行频率方法是大小洪水的综合产物，因而从统计学的角度来看，稀遇洪水与PMF之间似乎没有必然的联系。也就是说PMF可以大于、等于或者小于万年洪

水。当然一个方法的优劣并不决定于它所提供数字的大小，因为采用什么数字是一个标准问题，这要看国家的政策和经济情况而定。

自从电子计算机应用到水文学以来，水文学已进入一个向成因方向发展的新时期。气象是水文现象最活跃最重要的影响因素，一门“复性”科学——水文气象学兴起了。PMP研究是这门学科中的最重要课题。近年来我国各大设计院进行了许多大水库的PMP、PMF计算，为工程的安全设计提供了依据。另外，还编制了有关PMP的规范性文件，总结交流的PMP、PMF文章，据不完全统计已达500余篇，此外还有一些专集。这都说明我国PMP、PMF研究的前景是令人鼓舞的。

FMP计算，必须在坚实的气象和自然地理基础上才能合理可靠。也就是说，要详细研究设计流域洪水暴雨的天气成因是什么？天气和地形有什么特点？这种研究我们认为无论怎样强调也不算过分，因为只有在这种研究的基础上才能优选计算方案，决定数字。但是怎样将水文与气象结合起来，为PMP估算打下坚实的基础呢？这是我们做这种工作时常常遇到的问题。目前的参考文献中大都言之不详，读者无所遵循。南大和淮委编选的这部《专辑》，选辑了近年大型水库（或大流域）PMP计算的一些个例，特别注重于水文与气象相结合和流域的天气气候分析，正好为这个问题提供了可贵的经验。我相信这部《专辑》问世，对我国大型水库PMP估算，一定会有很大帮助和推动作用，因乐而为之序。

詹道江

1980年2月7日

目 录

序 言..... 詹道江 (1)

淮河洪泽湖以上流域31天可能最大降水估算

..... 南京大学气象系、水利部治淮委员会等 (1)

汉江丹江口以上流域可能最大降水估算总结

..... 南京大学气象系、长江流域规划办公室 (22)

汉江上游水汽输送个例计算与秋季PMP估算研究..... 邹进上、刘惠兰、涂蓉玲 (53)

用暴雨移置估算五强溪水电站可能最大降水

..... 华东水利学院水文系、电力部中南勘测设计院等 (59)

赣江万安水利枢纽可能最大降水估算

..... 南京大学气象系、地理系、江西省水电勘测设计院 (73)

骆马湖及南四湖流域可能最大洪水计算

..... 水利部治淮委员会规划处、南京大学地理系等 (96)

关于暴雨放大公式的一个讨论..... 王德翰 (120)

对水汽输送率放大方法的改进..... 王兴祥 (123)

我国可降水量分布特征及其与暴雨的关系..... 邹进上、刘国伟 (130)

可能最大降水效率的一个计算方法..... 陆兴华 (139)

淮河洪泽湖以上流域31天可能最大降水估算

南京大学气象系 协作组*
水利部治淮委员会

引 言

一、地 形

淮河发源于桐柏山,流经河南、安徽、江苏三省,由苏北三江营入长江,干流全长1,000公里,流域面积约187,000平方公里,其中洪泽湖以上158,000平方公里,正阳关以上91,600平方公里。

本流域地势大致由西北向东南倾斜。西部为伏牛山、桐柏山,南部为大别山。山多孤峰,山峰海拔高程在1,000~2,200米之间,平均800米。全流域平原洼地约占三分之二,山地丘陵占三分之一左右。

二、降水的一般情况

淮河流域年降水量的分布如图1。大体上自南向北减少,淮南桐柏山区和大别山区

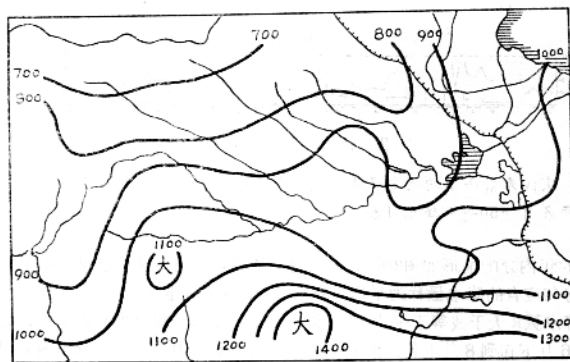


图1 年降水量的分布

*参加工作的有:王德瀚、毛秀凤、麦庆民(南京大学)、黄永泽、王兴祥、沈国荣(治淮委员会)、孙群(蚌埠市气象局)、李锦书(安徽省水利局)、李云川(江苏省治淮指挥部)以及南大气象系73届部分学员。本文由王德瀚、王兴祥执笔。

分别有1108毫米（信阳）和1419毫米（霍山）的大值中心，淮北沙颍河上游在750毫米以下。

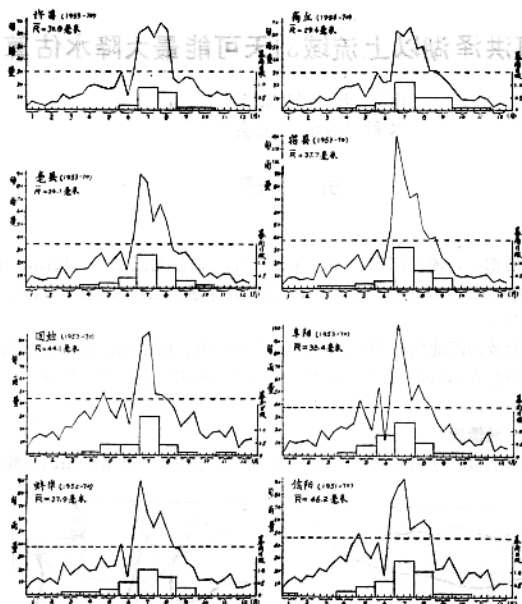


图2 降水量的年内分配

实线为累年平均逐月降水量的变化；虚线为 $R=1.5\bar{R}$ 线；直方图为累年各月 ≥ 50 毫米降水日数。

降水量的年内分配情形如图2所示。如果将某地累年平均年降水总量平均地分配于年内36个旬，每旬应有的降水量称为平均旬降水量 $\bar{R}$ ，当某站连续二旬或二旬以上的时间内，每旬的降水量 R 大于或等于平均旬降水量的1.5倍，这一段时期称为雨季，则沿淮、淮南雨季从6月下旬到8月下旬，淮北从7月上旬到8月中旬。旬雨量年内分配的这种特征和暴雨频数年内分配情形相一致，暴雨出现最多在7月份。

产生暴雨的天气系统，在雨季前期主要是切变线和低涡，后期则有台风参与其中。台风暴雨的特点是范围较小，历时较短、强度较大，大范围、持久性的降水是由切变线和低涡接连出现而引起。江淮流域6—7月间持久性的大范围降水天气称为梅雨。梅雨期的长短、梅雨期雨量的多寡基本上决定了淮河流域的水情。譬如1934年、1959年梅

雨期短、雨量少，本流域大旱；1931、1954年梅雨期长、雨量多，本流域大涝。

梅雨期结束，转入盛夏，淮河流域也受台风袭击。有的年份梅雨结束没几天就有台风来袭。譬如1965年7月24日出梅，7月27日有台风侵袭洪泽湖地区。这一年淮河干流中游以及洪泽湖地区最大30天降水是由前期24天梅雨和末了6510号台风雨所组成（图3）

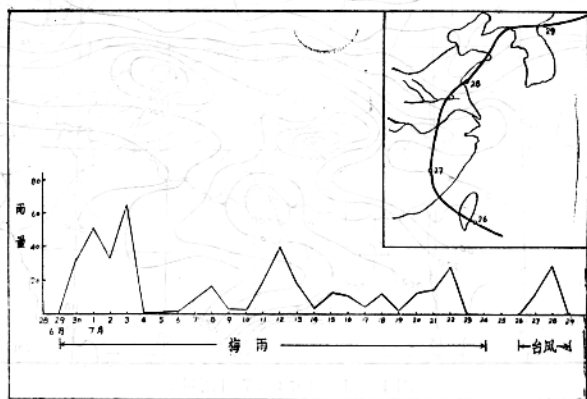


图3 1965年雨季阜阳、正阳关、蒙城、怀远、泗县、定远、盱眙七站平均雨量曲线与6510号台风路径

三、估算方法

估算大面积、长历时的可能最大降水，国内外尚无成熟经验。一般采用组合暴雨法。组合暴雨一般有二种途径：

1) 相似代换法：原暴雨过程序列为 $A \Rightarrow B$ ，现有一较严重的暴雨过程 C ， C 的环流形势和天气系统与 B 相似，可用 C 代换 B ，则 $A \Rightarrow C$ 成立。

2) 连续性分析法：原暴雨过程序列为 $D \Rightarrow E$ ，现有一较严重的暴雨过程 F ，虽从环流形势和天气系统上看， E 和 F 有较大的差异，不过根据天气学原理和天气预报经验来推断， $D \Rightarrow F$ 的演变也是可能的，因而 $D \Rightarrow F$ 可以成立。

鉴于淮河流域最大30天降水主要由梅雨支配，同时也受台风影响，从造成洪水的恶劣性出发，我们在组合时既考虑情况严重的梅雨期暴雨序列，又考虑下接台风暴雨的可能性。经过暴雨普查发现，对整个淮河洪泽湖以上流域来说，而雨量大的没有几场，因此在组合时引用了移置的概念。对梅雨期暴雨过程序列的组合，采用相似代换法。接台风雨的问题是用连续性分析法来解决的。

第一章 梅雨期暴雨过程序列的组合

1.1 典型年选择

淮河流域的大水年份主要有1921、1931、1954、1956、1968、1969七年，其中1931年和1954年尤为突出。我们选定1954年7月作为典型年，其理由如下：

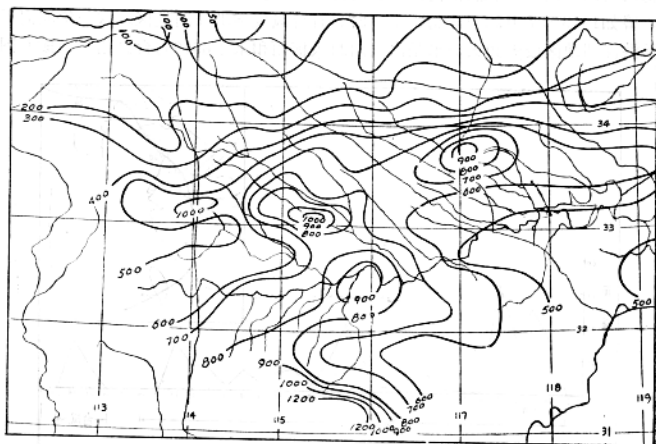


图 1—1 1954年7月雨量

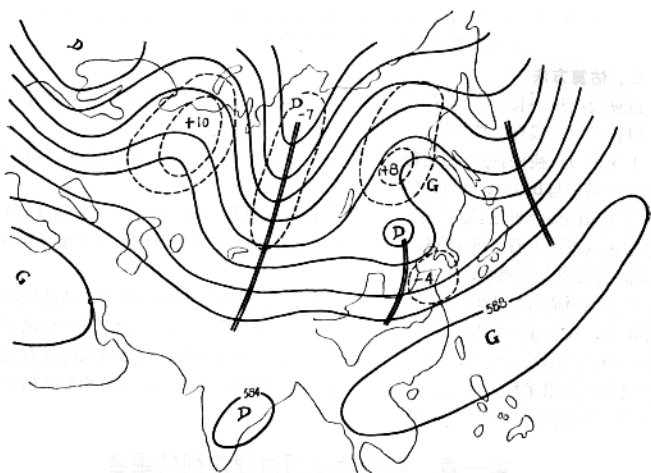


图 1—2 1954年7月500毫巴平均图（虚线为距平，双线为槽线）

1、暴雨持久、面广、量大。

1954年7月份接连发生了七次暴雨过程。从月雨量图(图1—1)上可见:全流域除沙颍河上游及蚌埠—中渡之间的淮河以南地区外,月雨量均在500毫米以上。王家坝、前畝、宿县、临泉雨量在900毫米以上,其中吴店、前畝最大,分别达到1265、1260毫米。

2、环流具有典型性

图1—2是54年7月500毫巴平均图。可见该年西太平洋副热带高压呈东西向带状,脊线在 20°N 附近,相当于常年6月份的位置;该月东亚上空西风带位置也较常年偏南。欧亚中高纬度长波系统稳定,乌拉尔和鄂霍茨克海分别为阻塞高压或稳定的长波脊,中部西伯利亚为宽广的低压槽区。这种形势一直维持到7月第5候,因此使得淮河流域长期处于西太平洋副热带高压北侧西偏南气流与西风带南缘西偏北气流的汇合带中。地面图上(图略),梅雨锋系长期徘徊于江淮之间。西风带每一次短波槽东移,相应在地面图上就有一次气旋波过程,而长波形势稳定使得这种过程得以重复出现,引起一场场接连的暴雨。

1931年大水期的环流形势与54年大体相似。由于31年没有高空图,我们只能从地面图情况来进行比较。图1—3是31年7月和54年7月地面气压系统综合图。由图可见:不论是54年或31年,西西伯利亚以及日本海、鄂霍茨克海地区都是高压活动区,贝加尔湖以东以及我国大陆为低压活动区。在江淮流域,54年7月与31年7月都有气旋波频繁产生或经过(图1—4),31年气旋路径偏南,故该年大水长江比淮河更严重。

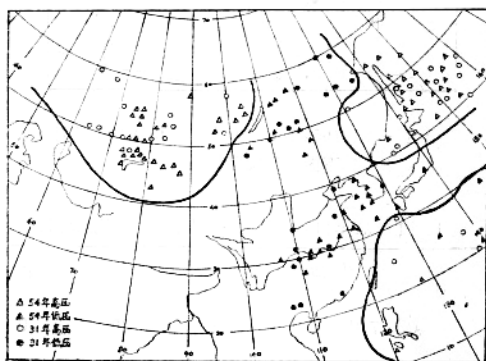


图1—3 31年7月和54年7月地面气压系统综合图

另外,我们还可以参考欧洲—大西洋环流型资料,如表1—1所列,这二年7月都盛行E、W型,可见大环流形势颇相似。

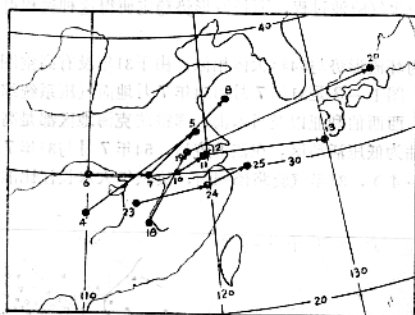
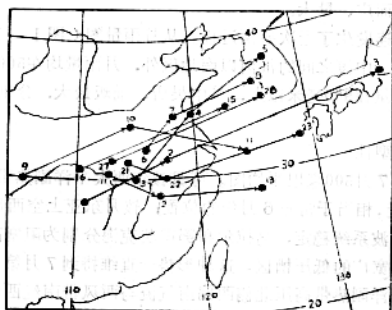


图1—4 1954年7月(上图)和1931年7月
(下图)气旋路径

表1—1 31年和54年7月W、E、C型环流出现日数

年、月	环流型	W	E	C
31年7月		11	20	0
54年7月		14	17	0

资料取自辽宁省气象科研所《辽宁旱涝史记》1974

综上所述,说明54年环流是淮河流域大水年的典型代表。31年同它甚相似,表示象

54年这样的环流形势不是空前绝后的，以后完全有可能重现，并且情况可能比54年更严重。由于54年资料条件比31年好，所以我们选54年为典型年。

选定典型年后，我们按照雨区演变和天气系统发展相结合的原则，把54年7月淮河流域的天气划分为七次降水过程和五段间歇期，结果如表1—2。

表1—2 54年7月淮河洪泽湖以上流域降水过程分段

(面雨量单位：毫米)

起止日期	1—2	3—5	6—7	9—11	15—16	19—21	26—28	间歇期	7月总计
面雨量	22.5	91.2	81.0	80.4	66.7	65.9	48.2	57.1	513.0

1·2 代换原则和步骤

暴雨的产生必须有强烈的上升运动和充沛的水汽供应。它们都是和一定的环流形势相伴出现的。譬如在江淮流域梅雨期间，低空常有一条近乎东西向的切变线，沿切变线上有涡旋活动(图1—5)切变线北侧为西风带的高压，南侧正是西太平洋副热带高压北延，有较强的西南风气流(低空急流)。在切变线南侧，低空急流的北侧，是大范围的辐合上升区，降水就发生在这里。低空急流一方面起着水汽和热量输送机构的作用；另一方面，对其左侧的辐合也有重要的贡献。由于切变线的强弱、西南风急流的强弱以及其他影响降水的因子强弱的不同，在相似的天气形势下，出现的降水量可能很不相同。

这就使得我们可以通过相似代换来进行暴雨放大。这里的一个重要问题是如何掌握相似条件。我们从上述暴雨成因的简单分析出发，确立以下三条作为代换原则：

1、大环流形势要基本相似

欧亚中高纬度的长波形势和太平洋副热带高压的配置决定着冷空气南下的路径和强度以及西北气流和西南气流汇合带的位置和强度，暴雨天气系统是受此汇合带制约的。因此，在代换时要考虑被代换的过程和代换过程的大环流形势是否基本相似，及长波槽脊位置符号要一致，副高脊线位置要接近。

2、产生暴雨的天气系统必须相同

暴雨天气系统是产生暴雨的直接因子。天气系统的类型不同，它所引起的降水的性质、强度和分布是不同的。因此，在代换时要强调被代换的过程和代换过程必须属于同

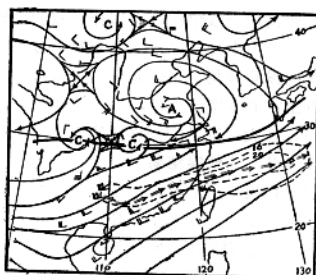


图1—5 切变线、低涡示例(矢线为流线；粗实线为切变线；双线矢为低空急流轴；虚线为等风速线)。

一类型的天气系统。

3、雨区变化要大致相似

雨区的位置和移动方向是反映降水天气系统的，它对洪水的关系极大，因此在代换时，被代换过程的雨区和代换过程的雨区变化应大体一致。

另外，在挑选代换的对象时要注意自然天气季节。我们现在做的是组合梅雨，因此，代换对象必须在梅雨季节里挑选。前已指出，54年7月环流相当于常年6月的情况，所以6月的暴雨过程可作代换对象。

代换的具体步骤是这样的：1) 普查54—75年6、7、8月气象台的日雨量图，找出淮河流域大面积降水，其中有大于100毫米暴雨站点的个例，对照天气图分析产生降水时的天气形势，把它与54年7月份的七次过程进行比较，找出它们之间的相同点和不同点；2) 在确定基本相似的前提下，再用水文站资料计算暴雨过程的面雨量；3) 如果某个相似过程的面雨量比54年过程面雨量大，则进一步对该两过程作综合动态图，点绘副热带高压脊线位置等，以作细致的比较，最后确定代换方案。

暴雨普查中发现，对158,000平方公里这么大面积的淮河洪泽湖以上流域来说，面雨量大的没有几场。也就是说，可以选为代换对象的为数甚少，这就使得我们在掌握相似原则上，必须宽紧适宜，抓住主要因子，不拘泥于详情细节，同时认为在寻找代换对象时可以扩大范围，即把移置的概念引用到相似代换中来。

1·3 代换结果

总共代换了三个过程，二个是用本地暴雨代换，另一个是从长江流域移置过来的代换。代换结果综合如表1—3。表中的环流型取自《中央气象台环流型》的环流型日历表。代换后净增面雨量201毫米。

表1—3 相似代换结果

代 换 过 程				被 代 换 过 程				代换 天数	净增 雨量 (毫米)	
起 止 日 期	环 流 型	天 气 系 统		面 雨 量	起 止 日 期	环 流 型	天 气 系 统			面 雨 量
		高 空	地 面				高 空	地 面		
54.6.24—25*	N,	涡切变	气旋波	136	54.7.15—16	N,	涡切变	气旋波	67	2 69
56.6.6—8	N,	涡切变	气旋波	125	54.7.19—21	N,	涡切变	气旋波	66	3 59
71.6.9—11		涡切变	气旋波	121	54.7.26—28	N,	涡切变	气旋波	48	3 73
合 计				382					181	8 201

* 为从长江流域移置到淮河流域的代换

各代换时段的天气分析比较说明如下：

一、当地暴雨代换

1、1956年6月6—9日代换1954年7月19—21日

1) 54年7月19—21日500毫巴图上, 乌拉尔和鄂霍茨克海分别为阻塞高压, 两阻塞高之间为宽广的低槽区。西太平洋副高脊线在 $21-22^{\circ}\text{N}$ 附近, 588线伸向我国大陆。56年6月6—9日500毫巴形势与54年7月19-21日基本相似, 也是两脊一槽型, 副高脊线在 $22-23^{\circ}\text{N}$ 间, 588线伸向我国大陆。2) 两个时段的降水系统亦很相似(图1-6, 1-7)。700毫巴均为切变线低涡, 切变线位置在 30°N 左右, 同时切变线上连接有低涡东移, 对应地面图上静止锋加强, 产生波动, 气旋移近时降水增大。

3) 雨区变化也很相似, 两个过程雨区均呈东西向带状分布在淮河干流, 暴雨中心逐日东移到洪泽湖附近。

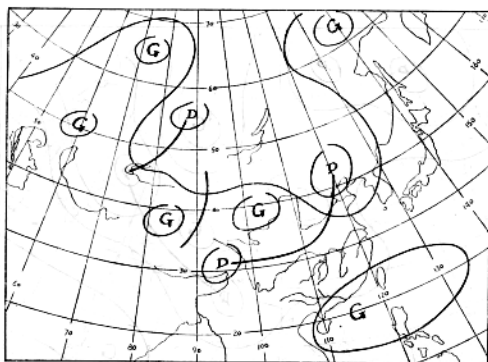


图 1—6 1954年7月21日23时700毫巴形势

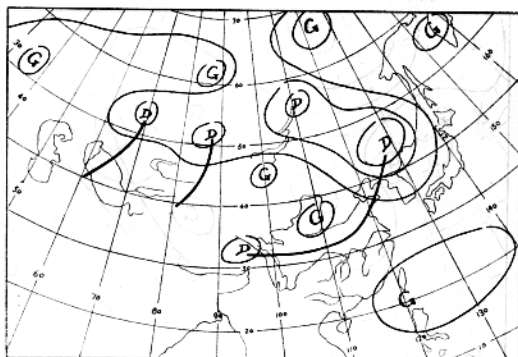


图 1—7 1956年6月7日23时700毫巴形势

2、1971年6月9—11日代换1954年7月26—28日

1) 54年7月26日—28日500毫巴图上长波形势处于调整阶段，乌拉尔无明显阻塞高压。贝加尔湖北部为一阻高。鄂毕河附近为低槽。副高脊线在 20°N 之间。

71年6月9—11日500毫巴形势与54年7月26日大致相似，乌拉尔地区阻高不明显，贝加尔湖为一高压脊，鄂毕河附近为低压槽，副高脊线在 20°N 附近。

2) 两个时段天气系统相似(图1—8, 1—9), 均为中纬度低槽东移, 槽线南段转成切变线, 槽后小高压明显, 四川附近均有低涡生成东移。对应地面图上冷锋南下, 与静止锋衔接, 气旋发展东移, 入海后气旋加深, 冷锋南移。

3) 两个时段的雨区均呈东北—西南向分布在淮河流域。暴雨主要集中在信阳—固始—淮阴一带。

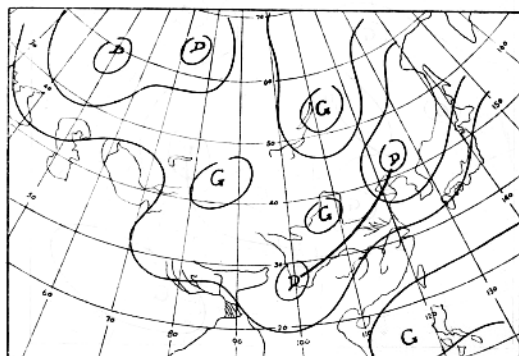


图1—8 1954年7月27日23时700毫巴形势

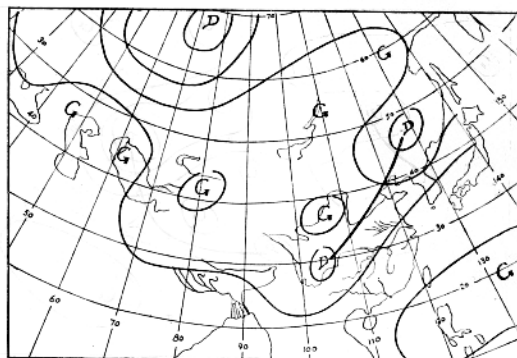


图1—9 1971年6月11日08时700毫巴形势

二、移置代换

用54年6月24—25日发生在长江流域的暴雨来代换淮河流域54年7月15—16日暴雨。先来论证移置可能性。

我们用中央气象局出版的1960—1969年多年平均的探空温压湿资料，按公式 $W = 0.01 \int_{P_0}^P q dp$ 计算了我国东部黄河以南地区6、7月可降水的分布。式中 q (克/千克) 为比湿， P (毫巴) 为气压。在计算中，取 $P_0 = 1000$ 毫巴， $P = 200$ 毫巴。对海拔高度较高、没有1000毫巴实测记录的测站，1000毫巴的比湿值是按850毫巴—900毫巴的实际分布外延而得的。计算结果如图1—10所示。

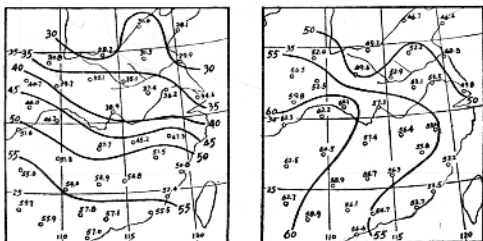


图1—10 6月(左)7月(右)平均可降水分布(单位:毫米)

由图可见:可降水的分布自南向北减少,6月40毫米线在大别山以南。长江以南,南岭以北,可降水都在40—50毫米之间。到了7月,40毫米线已挺进到黄河以北,淮河流域的可降水普遍在50毫米以上。由此看出,7月份淮河流域的可降水比长江流域6月份的可降水是有过之而无不及的。

以上讲的平均情况。另外,我们又选用有关气候整编资料填绘了我国东部黄河以南地区历年6—7月最大绝对湿度分布图(图1—11)。此图展示出淮河流域以及长江以南湘西、浙东一带是主要的高湿带,高湿中心分别在淮河干流上的蚌埠(47.1)、湖南的沅陵(49.9)和浙江的温州附近(43.0)。这说明,就水汽含量(湿度)的极值而言,淮河流域比长江流域也毫不逊色。

由此得出结论:淮河流域的水汽条件和长江流域是相当的,把长江流域6月份的暴雨移到淮河流域,代换7月份暴雨是允许的。

1954年7月份15—16日和6月24—25日500毫

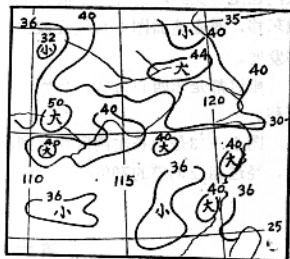


图1—11 历年6—7月地面最大绝对湿度(毫巴)

巴图上长波系统都为两脊一槽型,即:乌拉尔和鄂霍茨克海地区各为一阻塞高压,两高压之间为宽广的低槽。副高脊线前者在 24°N ,后者在 21°N ,588线均伸向我国大陆。

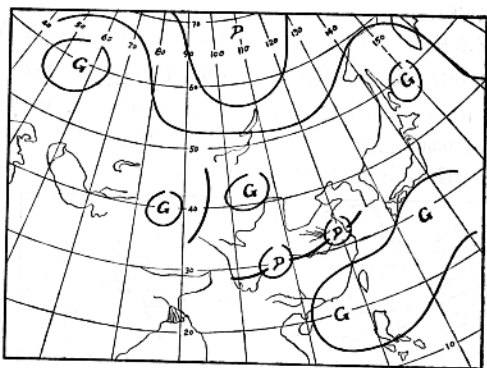


图 1—12 1954年 7 月 16 日 23 时 700 毫巴形势

54年 7 月 15—16 日 700 毫巴图上, (图 1—12) 河套附近小高压与太平洋副高压之间为切变线, 并在 30°N 左右摆动。过程中有二个低涡在四川地区生成沿切变线东移入海。对应地面图上有气旋波生成, 沿淮河干流东移入海发展。54年 6 月 24—25 日 700 毫巴图上, 降水系统也是切变线, 並有三个低涡沿切变线东移, 对应地面图上有气旋波生成东移发展。

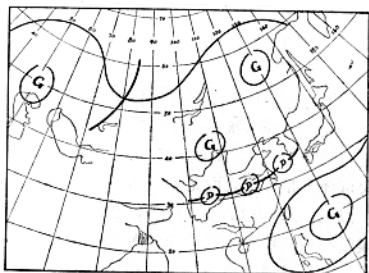


图 1—13 1954年 6 月 25 日 23 时把长江雨区移置到淮河后经过调整的 700 毫巴形势。

雨区都是东西向带状, 暴雨中心向东移。

图 1—13 是把长江雨区移置到淮河后, 经过相应调整的 700 毫巴形势。

第二章 接台风暴雨

2.1 接台风暴雨的可能性分析

1、台风路径普查