

云 南 省

暴雨洪水查算实用手册

云南省水利水电厅

一九九二年十二月

云南省水利水电厅文件

云水规字(1992)第 92 号

关于使用《云南省暴雨径流查算实用手册》 的通知

各地州市水利水电局、勘测设计院、处、队、厅属各单位：

由我厅主编的《云南省暴雨径流查算实用手册》现予发行。本手册可作为面积在 1000km² 以下小河流规划、小型水利水电工程初步设计和中型可行性研究在无实测流量资料情况下设计洪水计算与审查的依据。在使用中的问题、意见请与厅规划基建处联系。

云南省水利水电厅

一九九二年十二月二十二日



批准：邓德仁

审定：谢承彧

编写：邵子杰 李宁宁 刘道槐

目录

前言

1.	自然地理概况.....	1
2.	暴雨.....	2
2.1.	暴雨特性.....	2
2.2.	暴雨的天气系统.....	3
2.3.	暴雨区划.....	3
2.4.	时面深曲线及其绘制.....	3
2.5.	云南省最大 1 小时、6 小时、24 小时点雨量等值线图编制.....	5
3.	洪水.....	8
3.1.	洪水特性.....	8
3.2.	产流计算及参数地区综合.....	8
3.3.	汇流计算及系数地区综合.....	15
4.	图表法计算设计洪水的步骤.....	20
4.1.	基本资料.....	20
4.2.	设计暴雨计算.....	23
4.3.	产流计算.....	28
4.4.	汇流计算.....	30
5.	实例.....	34
5.1.	基本情况.....	34
5.2.	设计暴雨计算.....	34
5.3.	产流计算.....	35
5.4.	汇流计算.....	39

编后语

附件一 图集

附图 1	1 小时最大降水量均值图
附图 2	1 小时最大降水量 Cv 值图
附图 3	6 小时最大降水量均值图
附图 4	6 小时最大降水量 Cv 值图

- 附图 5 24 小时最大降水量均值图
- 附图 6 24 小时最大降水量 C_v 值图
- 附图 7 暴雨区划图
- 附图 8 产流参数分区图
- 附图 9 汇流系数分区图
- 附图 10 最大基流量分布图

前 言

在设计防洪工程时，往往涉及到安全与投资两个问题，工程所冒的风险可能由于投资的增加而减少。防洪工程的安全度又同设计标准和设计洪水有关，前者是水工建筑物防洪级别高低的一种指标，后者是按某一设计标准分析计算得到的具体洪水数值。设计标准由防洪工程的等级与重要性，按有关规范选定；设计洪水数值大小及其过程则受到流域气候、地形、地质、植被条件、水系和河床特征等多种因素的影响，而流域气候、植被条件又随时间在变化，人为活动对未来洪水的影响程度也在增加，这就使问题变得相当复杂。设计洪水的大小是水工建筑物的设计的重要依据之一，如果计算得到的设计洪水小于未来实际发生的同频率洪水，将使工程遭致失败，人民财产受到损失，造成政治社会、经济问题；倘使洪水设计值过大，将形成无谓的浪费。云南自然条件复杂，气象水文资料短缺，因此，切合实际拟定设计洪水是一切水工建筑物设计中正确处理安全与投资关系的一项头等重要任务。

在设计洪水分析计算方法方面，在设计洪水分析计算方法方面，要全面考虑，切忌片面性，以免造成工程失误。我省从 50 年代到 70 年代初，基本上使用频率法；在无水文实测资料的地区，还有使用洪水经验公式的，这种单打一的洪水分析方法，具有相当的片面性。1975 年 8 月淮河大水，板桥、石漫滩水库溃坝，造成严重损失。为了吸取这次大水的教训，1975 年 12 月水利电力部在郑州召开了规模庞大的《全国防汛及水库安全会议》，会议决定：大中型水库和重要的小型水库（指下游有重要城镇、密集居民点、铁路干线或其他重要政治经济意义的设施），应以可能最大暴雨和洪水作为保坝标准进行校核估算。会议要求编制全国可能最大暴雨等值线图，作为洪水安全复核的依据。在水利电力部的统一安排下，各省有关部门的水文气象科技人员共同努力，完成了各种历时和各种频率的暴雨等值线图以及相应的暴雨径流查算图表，编写了场次洪水的系统资料。这对提高中小型水库设计洪水精度有重要的价值。以上是水文气象法的由来。此外，还有历史洪水加成法、地区中合法等。采用哪一种方法，要根据实际资料情况，综合分析，合理选定。

设计洪水的确定，要经过多次审查、论证。参加审查、论证的科技人员要求具有较高的理论水平和较丰富的实践经验，才能做到严格把关。

云南省绝大多数中小型水利水电工程兴建于六大江河的一、二级支流源头，

汇水面积小，实测流量资料短缺，洪水计算一直是工程水文计算的重点和难点。

暴雨洪水查算图表（简称图表，下同）是适用于 1000km² 以内的设计暴雨洪水计算的一种图表集，是在短缺实测资料地区的小型水利水电初步设计及中型工程可行性研究阶段设计洪水计算的主要方法，水利电力部（厅）有关图表使用的文件在今后仍将具有指导效益。

《图表》是由水利厅主持，由省水利水电勘测设计院、省水文总站和部分地州、县水利水文部门的同志组成暴雨洪水办公室，历经数年的分析与计算所取得的成果，并经全国暴雨洪水办公室审查验收。由于种种原因图表未能正式刊印以供使用。为适应新形势下水利水电建设的需要，在延搁了十年后，我厅决定组织《云南省暴雨洪水查算实用手册》（简称手册，下同）编写组完成此项工作，使之发挥其应有的作用，不负众多科技人员的希望。

手册编制的原则是忠实于图表的原有内容和注重实用。手册编写分工是：自然地理概况、暴雨、洪水由省水文总站李宁宁同志编写；手册的其余部分均由省水利水电厅邵子杰同志编写；图集由省水文总站狄源、曹矿君同志编制；省水利水电勘测设计院的臧庆春同志编制了电算程序。邵子杰同志负责手册编制的全面技术工作。

暴雨洪水查算图表是全省水利系统许多同志多年辛勤工作的成果，手册的刊印发行是对他们成绩的充分肯定；图表还凝聚了已故水利水电厅原总工程师李荣梦同志和省水利水电勘测设计院元副总工程师徐元久同志的数载心血与汗水，手册的刊印发行也是对他们最好的纪念！

本手册是在省水利水电厅副厅长邓德仁总工程师指导下编写的，亦得到了厅规划基建处廖伯枢、谢成彧两位处长的支持，《云南水利水电》编辑部的何春培、张锡蓉同志为手册的刊印发行付出了辛勤劳动，在此一并致以谢意。

本手册由于编辑工作，拖的时间较长，而且参加汇编工作的人员变动较大，疏忽、遗漏之处实难避免；加之编者技术水平有限，错误的地方，敬请指正，以便及时更正。

1. 自然地理概况

云南省地处祖国西南边陲，位于北纬 $21^{\circ} 9' \sim 29^{\circ} 15'$ ，东经 $97^{\circ} 23' \sim 106^{\circ} 12'$ ，属高原山区省份。全省地形大致由剑川经大理沿红河一带分为两部分，西部为著名的横断山脉高山峡谷区，山川相间，河流呈帚状排列；东部属云贵高原，一般海拔在 2000m 以上；南部中、低山宽谷盆地区。全省海拔相差很大，最高点位于滇藏交界的梅里雪山海拔 6740m，最低点在河口县，海拔仅 76.4m，整个地势由西北向东南呈三级阶地递降。

从气候条件看，全省寒、温、热三带兼备。滇南、滇西南为热带、亚热带，滇西北主要为高寒气候带，温带分布范围最广。云南地处低纬度地带，大部分地区夏无酷暑，冬无严寒。干湿季分明是主要的气候特点。夏半年，受热带海洋气团控制，盛行西南季风和东南季风，水汽丰沛，多阴雨天气，若与南下冷空气相遇，往往易形成强度较大的暴雨。冬半年，受热带大陆气团控制，盛行西风、西南风，湿度小，气温高，降雨少。全省多年平均降雨量约为 1100mm，汛期（5-10）月降雨量占年降雨量的 85%左右，尤以 6-8 月所占比重为大，且是暴雨洪水频繁发生的季节。

云南有六大水系，除金沙江、珠江外，其余四条为国际河流，流入越南、老挝和缅甸等国。大多数河流都具有落差大、水流湍急、水量变化大的特点，因而蕴藏着丰富的水力资源，我省境内多年平均产水量为 2222 亿 m^3 ，居世界第 3 位。

2. 暴雨

2.1. 暴雨特性

1. 暴雨的季节分配

据各区代表站 592 场暴雨发生月份的统计（资料截至 1975 年），各地暴雨开始和结束日期并不一致，主要出现在 5-10 月，以 6-8 月暴雨发生最为频繁。一般规律是，滇东早于滇西，滇南长于滇北，尤以滇东北最为集中，多数发生在 7、8 两月。

2. 暴雨的时程分配

全省暴雨资料统计，24 小时雨量主要集中在 6-12 小时内。由综合时深关系表可知，1 小时、6 小时、12 小时分别占 24 小时雨量的 29~36%、60~75% 和 85% 左右，可见我省暴雨时程分配之不均匀程度。

3. 暴雨的空间分布

复杂的地形和悬殊的高差，构成了我省独特的“立体气候”，暴雨有随地势高差呈相应的垂直变化的特点。将高程相近的群站年最大一日暴雨均值与其相应高程建立相关图（1），不难看出：

- （1）在 1300~2000m 高程范围内，为明显的最大降雨带；
- （2）在 700~1300m 高程范围内，暴雨随高程增加而递增；
- （3）约在 2000m 以上，降水量则随高程而递减。

按暴雨出现的频次，全省分为 6 个多暴雨中心和 4 个少暴雨区，它们是：滇东南特多暴雨区、滇南特多暴雨区、滇西南多暴雨区、滇东多暴雨区、滇东北多暴雨中心和华坪暴雨中心。四个少暴雨区为滇西北特少暴雨区、滇北少暴雨区，滇东北少暴雨区和滇中少暴雨区。

暴雨的另一特点是同次暴雨笼罩面积小、暴雨量级低、递减快，一般相距 10km 的站点，雨量可相差 1~2 倍。

4. 暴雨的年际变化

由 24 小时暴雨的变差系数 C_v 值反映出的一般规律是滇西小于滇东，滇北大于滇南，即多暴雨区的 C_v 值小于少暴雨区，如会泽县坡脚位于少暴雨区，曾出现了日雨量达 262mm 的全省之冠（至 1975 年止），而暴雨频繁发生的西盟县，其最大日雨量仅为 147mm。

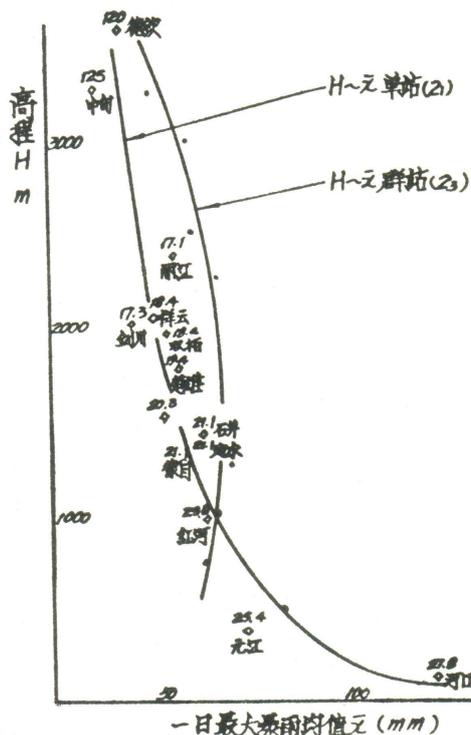


图 1 海拔高程 H ~一日最大暴雨均值 \bar{X} 相关图

2.2. 暴雨的天气系统

天气系统和地形特性是影响暴雨的两个主要因素。据 1455 场暴雨分析，我省产生暴雨的天气类型以低槽型、切变型、冷锋低槽和冷锋切变型为主，其中冷锋低槽、低槽约占总数的一半。冷锋低槽主要分布在滇东北、滇东及元江流域；低槽型主要分布在怒江、澜沧江上游、滇西南及滇南沿国境线一带。

2.3. 暴雨区划

暴雨区划原则：以暴雨特征和产生暴雨天气形势、气候条件为基础，结合下垫面、地貌要素，特别是大地形高程、走向、方位等方面进行区划。

在暴雨气候区划 13 个区、地貌区划 12 个区的基础上，采用区划指标叠置法，全省综合调整为 14 个一级区划。见附图 7《暴雨区划图》。

2.4. 时面深曲线及其绘制

为满足中小型水库设计洪水计算的要求，需通过实测大暴雨的时面深（简称 DAD）关系综合分析，绘出雨量~历时~面积关系曲线，应用这一套图表以推

求设计流域不同历时、不同面积的设计面雨量。

在全省 14 个暴雨区划内共选出典型暴雨 119 场，进行了暴雨等值线、时面深关系曲线的绘制。

1. 时面深关系曲线绘制的一般方法

本次仅分析 6、12、24 小时三个时段、面积为 1000km² 的时面深关系，时段雨量是以暴雨中心站为准，统计 6、12、24 小时最大雨量，其周围各站取与中心站对应时段的雨量进行等雨量线的勾绘。本着“长包短、大包小”的原则进行合理性检查，作适当的调整。建立如图（2）单站雨量~历时~面积关系曲线（DAD 曲线）。

2. 时面深关系的综合分析

为了全面反映地区暴雨特性，以暴雨区划分区综合。将各场暴雨 DAD 曲线按同一区绘于一张图上，采用绝对值外包，再换算成相对值，便于应用。以不同历时的暴雨中心雨量为 100%，求不同面积雨深占暴雨中心雨深的百分比，以 α 表示（ $\alpha = P_{\text{面}} / P_{\text{中心}}$ ）称为点面折减系数。见表（7）云南省分区综合时~面~ α 、 β 关系表。

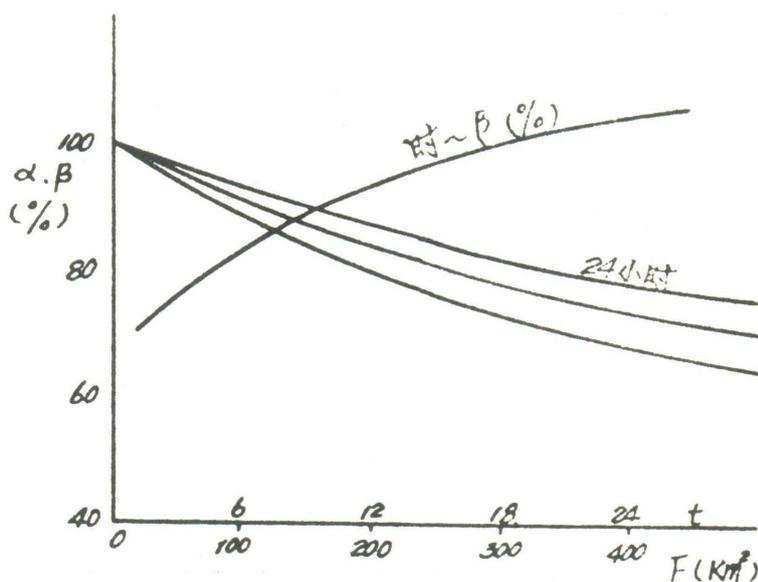


图 2 时~面~ α 、 β 关系曲线

3. 一日暴雨雨型统计分析

下面将解决暴雨时程分配的问题。雨型是直接关系到洪水的峰、量和洪水形状，必须挑选能反映当地暴雨特性的暴雨。为此，对 119 场暴雨分区作了分析，以其发生频次最多的暴雨雨型作为该区的综合雨型，供设计雨型使用，见表（9）

云南省 24 小时暴雨分区综合雨型表。

2.5. 云南省最大 1 小时、6 小时、24 小时点雨量等值线图编制

在全省已建中型、小（一）型水库中，流域面积在 50km² 以下的占 80% 以上，为了满足中小型水利工程设计使用，必须绘制短历时暴雨等值线图。我省共绘制了年最大 10 分钟、30 分钟、1、3、6、12、24、48、72 小时共 9 个时段暴雨统计参数等值线图。全国对 1、6、24 小时点暴雨参数等值线图进行了拼图和协调，也是我省的工作重点。

本次共搜集了具有 10 年以上（资料截至 1979 年）雨量资料的水文、气象和雨量站 450 站，采用以小时滑动摘录年最大时段雨量的统计方法，对 7761 站年资料作分析计算。

1. 暴雨的频率计算

在上述统计时段暴雨的基础上，采用矩法公式计算各时段暴雨的均值 \bar{H} 和变差系数 C_v 值， C_s 采用 $3.5C_v$ 。

（1）经验频率公式：

$$P = \frac{m}{n+1} \cdot 100\%$$

式中

m ——系列按大小排序后的序位，

n ——实测系列的年数。

（2）各时段点暴雨均值计算

$$\bar{H} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_i$$

（3）变差系数

$$C_v = \frac{1}{\bar{H}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_i - \bar{H})^2}{n-1}}$$

暴雨参数 \bar{H} 、 C_v 采用适线值。

2. 成果的合理性检验

为达到在现有资料条件下尽可能地提高成果精度，有必要作合理性的检查。做法是：将单站各时段暴雨频率曲线同绘于一张频率纸上，经协调，使各频率曲线互不交叉且线间保持合理的差值。另据 157 站 C_v 与历时 T 关系线，有 147 站

Cv 最大值发生在 6 小时附近, 这与 24 小时暴雨主要集中在 6 小时以内是相吻合的。Cv 值的变化属下列情况均属合理: 随着降雨历时的增长, Cv 渐小; 或在 Cv~T (历时) 曲线上, Cv 值两端小, 中间大; 或短历时小, 以后渐趋稳定。对流域而言, Cv 值有自上游向下游逐渐减小的一般规律。在进行了这些方面的合理性检查, 便可着手绘制暴雨参数等值线。

3. 暴雨等值线的绘制

鉴于我省复杂的地形和气候条件, 在绘制暴雨等值线时参照了下述的有关因子, 由此而勾绘之暴雨等值线才能真正反映了高原山区的特性。

(1) 据水汽入流图。如滇东北往往是四川盆地丰沛水汽入侵我省的强盛地带, 等值线顺山脉、河谷呈南北向。

(2) 据地貌类型、山脉、高程概化图。我省南部的中、低山区位于西南、东南暖湿气流的前缘, 等值线呈东西向; 等值线应尽量避免横穿较完整的高山屏障, 如高黎贡山、哀牢山等。

(3) 特殊地形对暴雨的作用。

(4) 利用全省各区暴雨站点均值与高程关系图, 勾绘无资料地区的等值线。

(5) 以均值 \bar{H} 与 Cv 关系来勾图。其一般规律是: \bar{H} 大, Cv 小; 反之 \bar{H} 小, Cv 大。

4. 暴雨公式的建立

由多数站点时深关系, 将关系线归纳为四段: 1 小时以下、1~6 小时、6~24 小时和 24~72 小时。相应的递增指数 (即 1-n, n 为衰减指数) 分别以 N₁、N₂、N₃ 和 M 表示。由此推导得一组暴雨公式:

$$1 \text{ 小时以下: } \overline{H_{t<1}} = \overline{H_{24}} \cdot 24^{-\overline{N_3}} \cdot 6^{\overline{N_3}-\overline{N_2}} \cdot t^{\overline{N_1}}$$

$$1 \sim 6 \text{ 小时: } \overline{H_{1-6}} = \overline{H_{24}} \cdot 4^{-\overline{N_3}} \cdot 6^{-\overline{N_2}} \cdot t^{\overline{N_2}}$$

$$6 \sim 24 \text{ 小时: } \overline{H_{6-24}} = \overline{H_{24}} \cdot 24^{-\overline{N_3}} \cdot t^{\overline{N_3}}$$

$$24 \sim 72 \text{ 小时: } \overline{H_{24-72}} = \overline{H_{24}} \cdot 24^{-\overline{M}} \cdot t^{\overline{M}}$$

其中

$$\overline{N_1} = 1.285 \lg \frac{\overline{H_{60}}}{\overline{H_{10}}}, \quad \overline{N_2} = 1.285 \lg \frac{\overline{H_6}}{\overline{H_1}}, \quad \overline{N_3} = 1.661 \lg \frac{\overline{H_{24}}}{\overline{H_6}}, \quad \overline{M} = 2.096 \lg \frac{\overline{H_{72}}}{\overline{H_{24}}}$$

式中:

H_i ——各时段的暴雨量,

t——1 小时以下以分钟计, 1 小时以上以小时数。

同时, 我们对暴雨递增指数 N₁、N₂、N₃ 和 M 分别绘制了四张等值线图。

5. 暴雨等值线图的合理性分析和修正

(1) 定量检查。

A. 对经纬线 151 个交叉点用查暴雨等值线图与暴雨公式计算暴雨这两种方法作对比检查，然后，适当调整等值线，使两法成果的误差值 $\leq 5\text{mm}$ ；

B. 各时段暴雨等值线也应遵循“长包短，大包小”的原则；

C. 用 \bar{N} 、 \bar{N}_w 值对 \bar{H} 、 C_v 等值线图协调检查，使 $\Delta\bar{N}$ 、 $\Delta\bar{N}_w$ 尽可能在 ± 0.15 以内。即用： $\Delta\bar{N} = \bar{N}_{6-24} - \bar{N}_{1-6} = \bar{N}_3 - \bar{N}_2$ ， $\Delta N_{P=0.01\%} = \bar{N}_{3P=0.01\%} - \bar{N}_{2P=0.01\%}$ 。

D. 以实测最大暴雨重现期检查、修正 \bar{H} 、 C_v 等值线图。

(2) 定性检查。

A. \bar{N} 值等值线图间的检查，其一般规律： $\bar{N}_1 > \bar{N}_2 \geq \bar{N}_3 \geq \bar{M}$ ；

B. \bar{H} 等值线图与相应的 C_v 图、不同时间段的 C_v 图间的合理性检验。

1、6、24 小时暴雨统计参数等值线图见附图 1~附图 6。

3. 洪水

3.1. 洪水特性

我省除滇西北一小部分地区有融雪水外，大部分地区的洪水均由降水形成，两者具有良好的对应关系。洪水大致具有以下特征：

1. 汛期一般始于 5 月，结束于 10 月，个别年份迟至 11、12 月。一般而言，滇东、滇东北洪水早于滇南、滇西南，而汛期则短于后者。洪水以 6~8 月居多，对 20 个水文站 473 场洪水统计，6~8 月洪水发生频次占 80.5%，其中又以 8 月为最多，出现频次占 40.1%，其次是 7 月，比重为 27.5%。因此，7、8 月是我省洪灾频繁发生的时期。

2. 不对称的洪水过程。退水段历时往往是涨水段的数倍、数十倍。山区中小流域地面径流陡涨陡落，反映了山区河流落差大、水流急的特点。

3. 汛期雨日多，雨强不大，造成洪水多为复峰，往往前一个峰未退完，后一个峰又叠加其上，特别在雨水充沛的滇西、西南边境一带，汛期就是一个长历时的洪水过程，不易分割。

4. 丰富的地下水。地下水量一般约占总径流量的 30% 以上，尤其在灰岩区、滇西及西南火成岩、花岗岩风化带，大者可达 30~40%。地下退水历时可达 2~3 月之久。

5. 洪水空间分布的不平衡。因受地形和气候条件的影响，大面积的洪水并不多见，一般以单一河流出现的洪水为多。长历时的降雨易造成大范围的洪水，如 1966 年 9 月全省性的大洪水；而局地洪水则往往是历时短、强度大的局部暴雨所致，也是造成了相邻河流年最大流量出现日期并不一致的主要原因。如松华坝水库上游小河站与甸尾站位于相邻主支河流，直线距离仅数公里，1979 年前的 26 年同步水文资料中，小河站出现年最大流量达 11 次，8 月发生 6 次；甸尾站 7 月出现年最大流量仅 7 次，8 月则为 11 次。

3.2. 产流计算及参数地区综合

雨量降至地面，扣除了植物截流、填洼量及土壤中的持水量等损失后，经过坡地漫流，河网汇流，在流域出口断面形成了径流过程，这就是洪水部分中需要解决的两个问题：产流和汇流的分析计算。

产流计算的内容有：次洪径流量的计算、流域平均雨量及蓄水量的计算、降

雨径流相关图建立和参数的地区综合。

1. 单站降雨径流相关图

我省属湿润、半湿润地区，由洪水特性，产流过程符合蓄满产流理论，因而采用建立降雨径流相关图计算次洪径流量。关系图形式为：

$$\bar{P} + W_0 - E \sim R$$

式中：

\bar{P} ——流域平均降雨量，

W_0 ——起涨前土壤蓄水量，

E ——雨期流域蒸散发量，

R ——本次降雨的径流量。

(1) 资料的使用情况

在小河站点稀少和资料系列短缺的情况下，凡具有 5 年以上水文资料的中小河流水文站都被选用。本次产流计算共选择了 49 个代表站，分析了 1008 场洪水，水文资料使用至 1979 年。代表站面积级统计如下表

表 1

面积级 (km ²)	<50	50~100	100~300	300~500	500~700	700~1000	1000~1807	总计
站数	4	1	11	7	13	10	3	49

各代表站摘自 3~5 年大、中水年的水文资料，并点绘各汛期逐日平均流量过程线，按照尽可能挑选孤立洪峰和易于分割之复峰的原则，选择 20 场以上的洪水作为产流计算的依据。

当代表站上游受水利工程影响严重，还原计算有困难者，仅采用建库前的水文资料。

雨量资料的使用：受雨量站不配套的局限，只有 123 个水文站、气象站和雨量站点的资料可供使用。摘录与洪水相对应的雨量资料，以计算流域平均雨量。

(2) 次洪径流深 R 的计算

A. R 是指本次降水所形成的径流总量。计算中必须把不属于本次的前期径流和基流分割出来，首先就要寻找流域的退水规律，以便把前期洪水分割掉。其次是探索基流的变化过程和流域最大基流值。

流域的总退水曲线是流域中已有水量的消退曲线，鉴于地下水退水曲线比较稳定的特点，采用的方法是：在历年实测流量资料中，选择退水期无雨或有小于

蒸发量的小雨退水段，建立以月份 M 或洪峰流量 Q_M 为参数的相邻时段流量相关图，见图（3）。有此关系，就可进行洪水分割，见图（4）

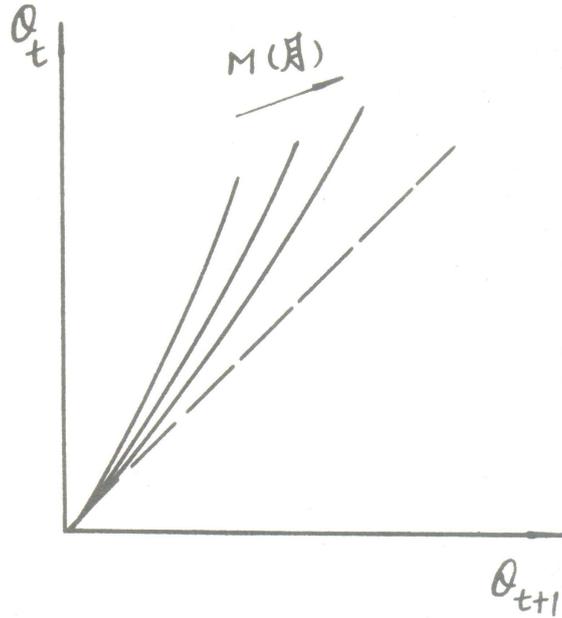


图3 前后时段流量相关图

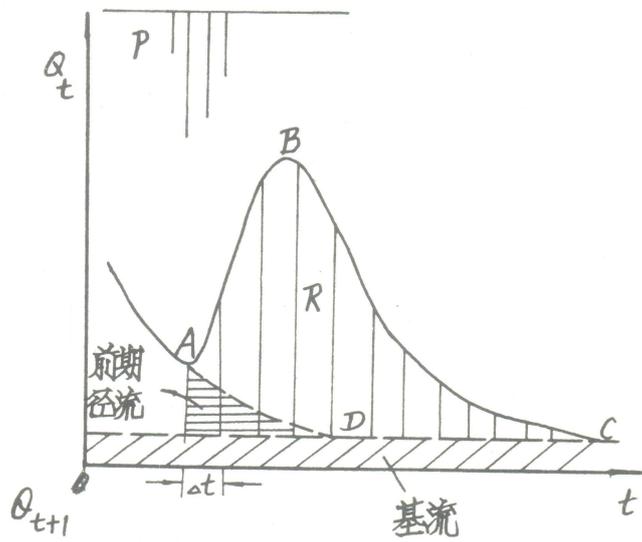


图4 前期洪水基流分割示意图

B. 基流的分割。基流是深层地下水的补给量，在湿润地区，地下水补给丰沛，致使流量过程线退水延续时间很长，必须把不属于本次降雨所造成的基流扣除。

由实际资料，流域的基流虽是一个比较稳定的数值，在一年中，随着汛期的来临、结束，基流呈现由小渐大，又由大渐小的过程。针对这一特点，按水文年不同阶段退水趋势稳定最小值，连结成缓变的基流线。以此线即可把基流量分割出来，见图（5）。在进行了洪水过程和基流的分割后，就可以计算面积 ABCD 即本次径流量 R。

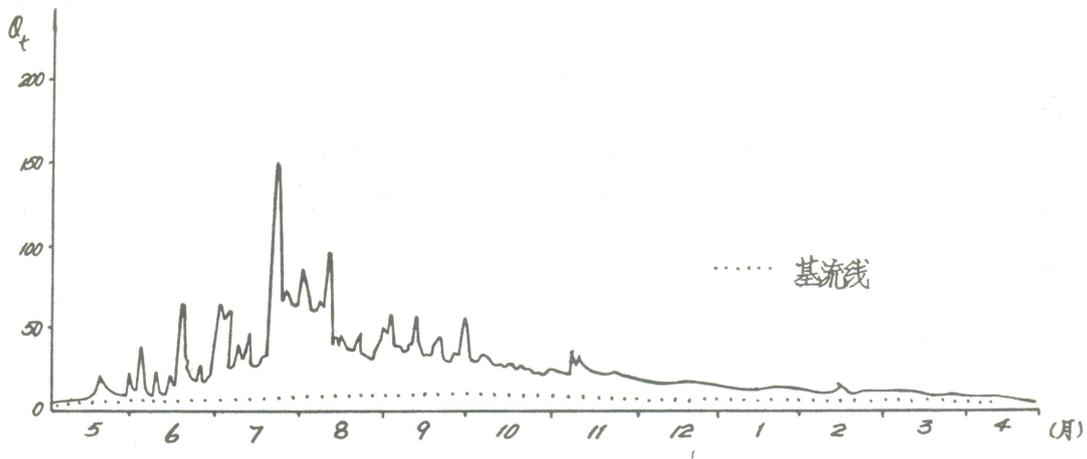


图 5 XX 站基流分割示意图

(3) 流域平均雨量 \bar{P}

每代表站流域平均不足三个雨量站，有部分站仅本站有雨量观测。只有尽其所有雨量站算术平均求流域平均雨量 \bar{P} 。

(4) 流域前期蓄水量 W_t 的计算

A. 流域最大蓄水量的确定。 W_t 是反映流域前期湿润情况的指标，它对产流量有着直接的影响。 W_m 是指流域在十分干旱的情况下，降雨产流过程的坡地损失最大值。确定方法：在历年资料中选择久旱不雨后 ($W_t \approx 0$)，一次降雨量较大且达到全流域产流的资料，由下式计算而得：

$$W_m = \bar{P} - R - E$$

分析多次雨洪资料，确定一个流域的 W_m 值。全省变化范围是 100~200mm。

B. K 值的分析。K 称为土壤蓄水量消退系数（又称折减系数），是一个与蒸发有关的系数。设土壤蒸发量与流域蓄水量成正比，计算公式：

$$K_i = 1 - \frac{E_{mi}}{W_m}$$

式中

E_{mi} ——为历年各月最大日蒸发量（借用 E_{601} 观测资料）。

在我省，除滇西北区外，大部分地区各月蒸发量有较明显的变化，因而采用分月计算 K 值。

全省计算之 K 值变幅为 0.87~0.97，其规律如图（6）。共综合成四组。详见云南省产流分区表（2）。

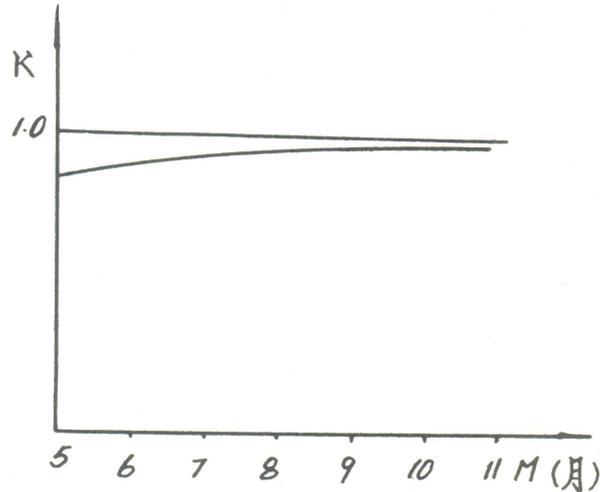


图 6 K~M 关系图

C. 流域蓄水量的计算。

$$W_{t+1} = K_i (\bar{P}_t + W_t)$$

式中：

W_t 、 W_{t+1} ——t 日、(t+1) 日初的流域蓄水量；

\bar{P}_t ——t 日流域平均降水量。

当 $W_t > W_m$ 时，取 $W_t = W_m$ 。

运用上式对各代表站摘取的 3~5 年水文资料，逐年自汛初逐日连续计算 W_t 值，直至汛末，由此可以查得各次洪水起涨时之土壤蓄水量。

(5) 雨期蒸发量的计算。公式如下：

$$E_t = \frac{W_t}{W_m} E_m$$

在供水充分时，土壤蒸发量可达最大值，即达到在该气象条件下的蒸发能力 E_m （采用 E_{601} 观测资料）。在无资料的流域是移用邻近水文站或气象站蒸发资料。

(6) 单站降雨径流经验相关图

完成了上述各要素的计算后，即可制作各站降雨径流相关图 $\bar{P} + W_0 - E \sim R$ 。如图（7）

云南省产流参数分区表

表 (2)

项目	I 区						II 区	III 区						IV 区						V 区						VI 区						
	滇西南区						滇西区	滇西北区						滇中区						滇东北区						滇东南区						滇东区
水文、地质情况	主要为中生界的碎屑岩层、水文地质条件复杂,水系发育,为花岗岩、变质岩分布区,风化层厚,河谷斜坡及山岭土地地下水埋藏深。						该区山高谷深,岩性坚硬。除大气降水外,高山冻雪融水也是补给地下水的来源之一。	中生界区厚的砂岩、泥岩、泥灰岩等透水性不良的岩层,地下水补给条件较差,是省内有名的干旱坝子。						碳酸盐类含水层分布广,以喀斯特、裂隙水为主,泉流量大,裂隙水含量较小。						岩溶地貌十分发育,广泛分布着碳酸盐类含水层、漏斗、落水洞密度很大,地下水丰富。						滇东盆湖区多构造湖泊、岩溶、裂隙很发育,地下水补给条件极好,是我省主要农业区之一。						
植被情况	滇中南亚热带常绿阔叶林带,思茅松林区,占全省森林面积的 12%,森林复被率 39.6%;滇南边缘热带性常绿阔叶林带季雨林,占全省森林面积 15.5%。覆盖率 22.3%。						寒温带草甸~针叶林带,亚高山针叶林区,以冷杉、云杉、铁杉为主,占全省森林面积的 17.6%,森林履盖率达 34.7%。	亚热带常绿阔叶林、松栎混交林带,云南松林区,横贯我省东西、多次生林和中幼林以云南松树占绝对优势,占全省森林面积的 46.7%,复被率达 26.6%。						温带针~阔叶林带山林区,占全省森林面积的 1.6%,复被率仅为 6.5%,多为幼林和中林,是全省森林资源最少的地区。						亚热带常绿阔叶林带山林区,占全省森林面积的 6.6%,复被率为 13%。						同滇中地区。						
W_m (mm)	200		150		120		120						100						100						100							
设计洪水前期蓄水量 W_t	180		125		100		95						82						85						78		82 72					
月份	五	六	七	八	九	十		五	六	七	八	九	十	五	六	七	八	九	十	五	六	七	八	九	十	五	六	七	八	九	十	
K_i	K_4						K_2	K_3						K_2						K_2	K_1						K_1					
	0.94	0.95	0.96	0.96	0.96	0.97		0.96	0.96	0.96	0.97	0.97	0.97	0.9	0.92	0.94	0.95	0.96	0.97		0.87	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94						
\bar{f}_c	3.5						4.5 (2.0)	1.5						1.8						2.0						2.2		2.5				

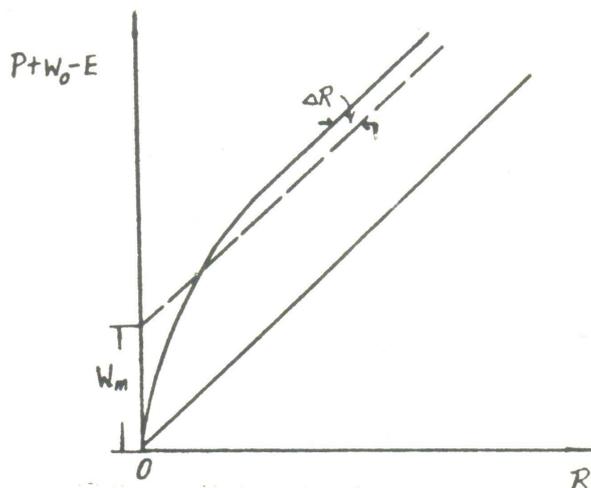


图 7 降雨径流相关图

2. 降雨径流相关图及参数的地区综合

由产流计算，反映出了产流参数具有较明显的地区性。为了便于无资料地区分析使用，必须结合下垫面情况分区综合参数。分区的主要原则是：

- (1) 同一区内下垫面情况基本一致；
- (2) 同属一个气候类型；
- (3) 各产流参数相近。

根据上述原则，全省共分为 6 个产流区 9 个分区。

单站降雨径流相关图的评定标准：凡 70% 以上的场次洪水总量误差在 $\pm 20\%$ 以内为合格站，或合格率虽在 65~70% 之间，而大洪水点据配合较好者也列入合格站，并参加地区综合。

具体做法：结合同一区内各代表站计算之产流参数，初定一组 W_m 、 K_i 值，然后对各次洪水重新计算有关要素，并绘制各站新的 $\bar{P} + W - E \sim R$ 相关线于同一张图上，使综合出的相关线与各站相关线的误差在 $\pm 10\%$ 以内。否则，适当调整 W_m 、 K_i 值，重复上述工作，直至满足精度要求，于是便求得了该区共有的产流参数。逐区进行协调以确定本区参数，得附图 8 产流参数分区图和云南省产流参数分区表 (2)。

(4) 设计洪水 W_d 的估算

对全省 22 个代表站的实测大洪水前期土壤蓄水量 W_d 作了分区归纳，范围约在 $(0.7 \sim 0.85) W_m$ 之间，供中小型工程设计时参考使用。

(5) 问题讨论

由单站成果可看出，多数站点的 $\bar{P} + W_d - E \sim R$ 相关图上存在着一个 ΔR 值，

即实测值比理论值偏小 ΔR ，一般为 10mm 左右。个别站可达 50~60mm，如太极村站 $\Delta R=60\text{mm}$ ，益谷坝站 ΔR 为 54mm。究其原因为：

A. 计算次洪径流深 R 时，割去了基流部分，包含了由本次降雨所造成的基流的一小部分；

B. 汛期降雨所储存在土壤和裂隙中的地下水在枯季源源不断地补给河流，是造成 ΔR 的主要原因。

C. 复杂的地质条件，无法准确地勾绘地面、地下分水线，水账不清。

3.3. 汇流计算及系数地区综合

由径流量 R 经过坡地漫流和河槽汇流两个阶段后，在流域出口断面形成的洪水过程，就是汇流计算的内容。

产流量是由不同的水源所组成，它们有各自的汇流过程。因此，在分割基流后，进一步划分地表径流和潜流量。我省对地表径流的研究采用了纳希瞬时单位线法；潜流过程则简化为等腰三角形来处理。

汇流计算中，我省共挑选了 81 个代表站，分析了 654 场洪水（尽量与产流分析洪水相结合），最后有 58 站 562 场洪水参加地区综合。代表站流域面积级统计见下表：

表（3）

面积级 (km^2)	F<50	50~ 100	101~ 300	301~ 500	501~ 700	701~ 1000	1001~ 2000	总数
站数	5	4	20	10	16	16	10	81
占总站数的 百分比%	6.2	4.9	24.7	12.3	19.8	19.8	12.3	100

1. 瞬时单位线数学表达式

假设净雨过程相当于入流，经过一系列 n 个相同的“线型水库”的调蓄作用，形成出口断面径流过程。经推导得下式：

$$u(o,t) = \frac{1}{K\Gamma(n)} \left(\frac{t}{K}\right)^{n-1} \bullet e^{-\frac{t}{K}}$$

式中：

$u(o,t)$ ——瞬时单位线的纵标；

$\Gamma(n)$ ——参数 n 的伽玛函数；

n ——相当于水库数或调节次数；

K——相当于流域汇流时间的参数；

t——时间（小时计），取 $\Delta t=1$ 小时。

由表达式可知，只要求出参数 n、k 便可计算得瞬时单位线。

2. 矩法计算 n、k 值

n、K 是通过瞬时单位线、净雨过程和出流量过程三者矩之间关系而求得。

采用湖北水电院的简化公式：

$$I'_1 = \left(\frac{\sum \sum I_i}{\sum I_i} - 0.5 \right) \Delta t$$

$$Q'_1 = \frac{\sum \sum Q_i}{\sum Q_i} \Delta t$$

$$I_2 = \frac{1}{4} \Delta t^2 + \frac{2(\sum \sum \sum I_i - \sum \sum I_i)}{\sum I_i} \Delta t^2 - (I'_1)^2$$

$$Q_2 = \frac{1}{4} \Delta t^2 + \frac{2(\sum \sum \sum Q_i)}{\sum Q_i} \Delta t^2 - Q'_1(Q'_1 + \Delta t)$$

$$u'_1 = Q'_1 - I'_1 = m_1$$

$$u_2 = Q_2 - I_2$$

$$n = \frac{(u'_1)^2}{u_2}$$

$$K = \frac{u'_1}{n}$$

$$m_2 = \frac{1}{n}$$

式中：

I'_1 、 Q'_1 ——分别为净雨、地面径流的一阶原点矩；

I_2 、 Q_2 ——分别为净雨、地面径流的二阶中心矩；

$\sum I_i$ 、 $\sum \sum I_i$ 、 $\sum \sum \sum I_i$ ——由净雨终点逆时序累加值；

$\sum Q_i$ 、 $\sum \sum Q_i$ 、 $\sum \sum \sum Q_i$ ——由地面径流终点逆时序累加值。

3. 次洪水过程的拟合

(1) 推求净雨过程

在产流阶段分割前期径流和基流后，采用目估法确定地面径流终止点 D（即退水段第二拐点），起涨点 A 与 D 的连线，作为地面径流与潜流的分割线，其上部分是地面径流 $R_{\text{面}} (Q_i \sim t)$ ，其下为潜流量 $\sum \bar{f}_c$ 。

初损平均后损法：自降雨开始至洪水起涨时刻的累积雨量称为初损量 I_0 ，后损平均入渗率 \bar{f}_c 由下式确定：

$$\bar{f}_c = \frac{\bar{P} - R_{\text{面}} - I_0}{t_r}$$

式中： t_r ——产流历时或后损历时。

在一次降雨过程中扣除了初损值 I_0 和后损值 $\sum \bar{f}_c$ 以后，就得到了净雨过程 $I \sim t$ ，见图 8。

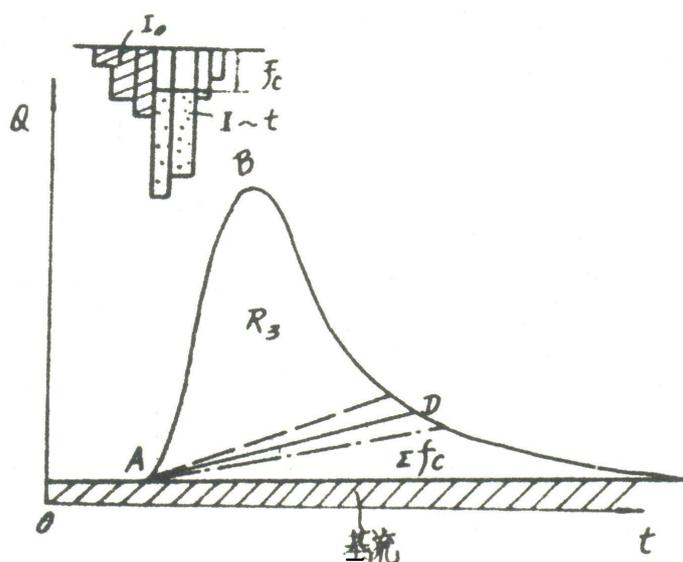


图 8 初损后损法

(2) n、K 的计算

目标函数的确定：洪峰流量相对误差 $\delta \leq \pm 20\%$
 峰现时间误差 $\delta_t \leq \pm 2\Delta t$

代入瞬时单位线数学公式，即可求得 n、K 值。然后，以 n、K 值查 $S(t)$ 曲线的查算表，推算 $\Delta t=1$ 小时的时段单位线 $u(1,t)$ 。

(3) 洪水过程的拟合

净雨过程 $I \sim t$ 配合单位线 $u(1,t)$ 推算得洪水过程，当其洪峰流量或峰现时间超过误差范围，则需修正 n、K，第一步是在合理范围内调整 D 点位置，重新以矩法计算 n、K，作第二次洪水的拟合，直至符合要求止；第二步，当调整 D 点仍无法满足精度，则采用优选法，即固定 n 值，调整 K 值，重新拟合洪水过程，直至达到精度要求。

4. 单站 $m_1 \sim \bar{i}_{\pm}$ 主关系线的建立。

$m_1 = n \cdot K$ 是瞬时单位线的滞时，相当于净雨过程的形心与地面径流过程形心之间的时距，是反映流域汇流特征的指标，它与净雨强度有着密切的联系，因而，单站的综合是建立 $m_1 \sim \bar{i}_{\pm}$ 的关系（见图 9）。

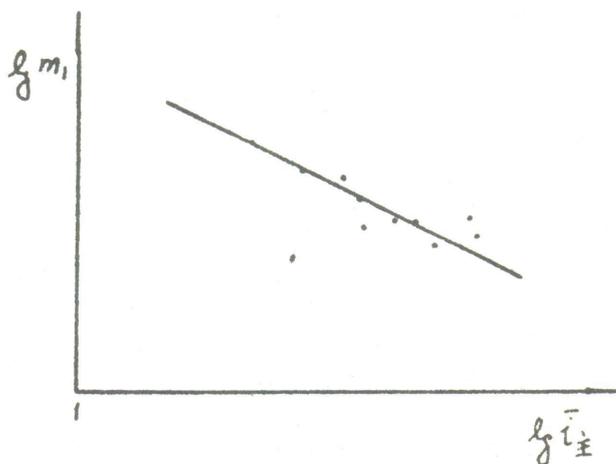


图 9 $m_1 \sim \bar{i}_{\pm}$ 的关系线

数学形式：

$$m_1 = a \cdot \bar{i}_{\pm}^{-b}$$

式中：

\bar{i}_{\pm} ——主雨段平均净雨强度。

a ——系数

b ——关系线的坡度。（ $\Delta y / \Delta x$ ）

确定 $m_1 \sim \bar{i}_{\pm}$ 关系线时，原则上通过点群中心定线。当点据比较散乱时，以全面汇流的大洪水点子为依据定线。其坡度即为 b 值， $\bar{i}_{\pm} = 1$ 时的 m_1 即为系数 a 。

5. 汇流系数的地区综合

汇流分析的目的是为了建立汇流系数的地理变化规律，以满足无资料中小流域进行洪水计算时移用。

汇流系数的地理综合法主要内容：选取参加地理综合的单站汇流系数的代表值；地理因子对汇流参数的影响分析；建立代表值与地理因子之间的相关关系；地理综合方案的精度评定及验证计算。

(1) 确定单站汇流系数的代表值

对于瞬时单位线，系数进行单站综合后，一个流域只有一组 a 、 b 值，故可直接取用。统一取 $\bar{i}_{\pm} = 10\text{mm/h}$ 的 m_1 参加地区综合。

(2) 地理影响因素的分析

汇流系数综合地反映了流域各种影响因素对汇流作用的总效果，当 \bar{i}_{\pm} 固定为 10mm/h，综合系数仅仅是对流域的下垫面因子而言。选用的因子有集水面积 F (km²)、主河道平均坡降 J (以小数计)、河长 L (km) 和流域形状系数 B ，将这些因子两两建相关，从中选择独立性较强的 F 、 J 和 B 。

(3) m_1 与地理因子的关系

$$m_{1_{i=10}} = a(10)^{-b}$$

$$m_{1\text{设}} = \left(\frac{\bar{i}_{\text{设}}}{10}\right)^{-b} \cdot m_{1_{i=10}}$$

得

$$m_{1\text{设}} = C_m \cdot F^{0.262} \cdot J^{-0.171} \cdot B^{-0.476} \cdot \left(\frac{\bar{i}_{\text{设}}}{10}\right)^{-0.84F^{-0.109}}$$

$m_{1\text{设}}$ —— 某频率的 m_1 、 $\bar{i}_{\text{设}}$ —— 相应频率之平均净雨强度。

C_m —— 系数。全省变化范围 0.2~0.6。

(4) n 值的地理综合

从 81 站分析结果， n 值的变幅为 1.2~3.5 而 K 值的变化范围则是 0.9~25。可见 n 值较 K 值要稳定得多。建立 $n \sim F$ 、 J 的关系，用最小二乘法得：

$$n = C_n \cdot F^{0.161}$$

系数 C_n 的变化范围为 0.65~0.81 之间，全省划分为 9 个汇流分区，见附图 9 《汇流系数分区图》。

(5) $m_1 \sim \bar{i}_{\pm}$ 关系线的外延

将单站综合 $m_1 \sim \bar{i}_{\pm}$ 关系线点绘在同一张普通厘米纸上，由图看出， m_1 有随主雨强的增大而减小，且当 \bar{i}_{\pm} 达到某一值时， m_1 渐趋稳定为常数。 \bar{i}_{\pm} 一般取最大 3 小时雨量之平均值。经分析 $\bar{i}_{\pm} \sim F$ 关系，全省归纳为：

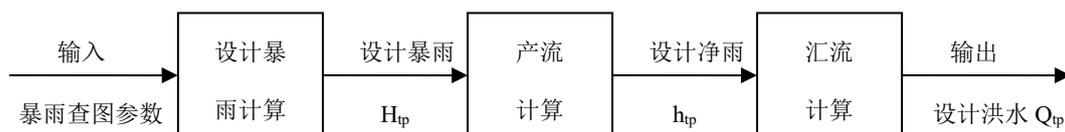
当工程处集水面积 $F \leq 100\text{km}^2$ ， \bar{i}_{\pm} 上限值为 10mm/h；

当工程处集水面积 $100 < F < 200\text{km}^2$ ， \bar{i}_{\pm} 上限值取 15mm/h；

当工程处集水面积 $F \geq 200\text{km}^2$ ， \bar{i}_{\pm} 上限值取 25mm/h。

4. 图表法计算设计洪水的步骤

使用图表计算设计洪水的主要内容应有基本资料、设计暴雨计算、产流计算和汇流计算，要计算与分析并重，加强计算成果的合理性检查，还要注意计算中常遇问题的处理。图表法计算设计洪水的程序框图为：



现将计算步骤分述如下：

4.1. 基本资料

按计算需求，须有下列基本资料

1. 有关暴雨、产流和汇流计算的图表。手册列有 1 小时最大降水量均值图；1 小时最大降水量 C_v 值图；6 小时最大降水量均值图；6 小时最大降水量 C_v 值图；24 小时最大降水量均值图；24 小时最大降水量 C_v 值图；暴雨区划图；产流参数分区图；汇流参数分区图；最大基流分布图；分区综合时~面~ α 、 β 关系表；24 小时暴雨分区综合雨型表。

2. 河流与流域的形态参数量算。在 1/5 万地形图上绘量以下参数：

(1) 勾绘河流在工程断面以上流域的分水线，用求积仪量算集水面积 (F)，单位为 km^2 。在有岩溶发育的地区，要注意有无封闭区（岩溶洼地）的存在，并须绘量其面积，水文人员与地质人员密切配合确定地下水汇水面积。

(2) 用量线仪或分规量算干流河长 (L)，单位为 km。扇形河系的干流是指在工程断面的洪水组成中洪水来量最大的支流，另外，河长不是自工程处量至河源而是量至距河源最近的分水岭。

(3) 干流纵比降 (J)，以小数表示，可按下式计算：

$$J = \frac{1}{L^2} [(h_0 + h_1)l_1 + (h_1 + h_2)l_2 + \cdots + (h_{n-2} + h_{n-1})l_{n-1} + h_{n-1}l_n]$$

式中：

L——干流河长，其定义同前，以 km 计

$h_0, h_1, \cdots, h_{n-1}$ ——干流纵剖面各折点处（常为地形等高线与干流的相交处）至工程断面河底的高差，以 m 计

$l_1, l_2 \cdots l_n$ ——各分段的河长，以 km 计。

注意 $\sum l = L$ ，差值大者须重新量算；差值小者，可以河段长为权重进行差值平差分配。

(4) 流域形状系数 (B)，是无因次系数，以下式计算：

$$B = F / L^2$$

各符号意义同上。

3. 水文调查

切忌仅凭手册进行洪水计算，进行必要的水文调查以提高计算成果的精确度。

(1) 洪水基流。是深层地下水补给的河川基流量，常以枯水流量来代替。若无工程专用水文站的实测枯水流量，就需进行枯水调查或水文比拟邻近水文站的枯水流量模数，手册的“最大基流量分布图”亦具应用价值。

(2) 岩溶情况。搜集与调查流域内岩溶发育、特别是在干支流上有无溶洞束水控制的情况；地下水的汇水面积、封闭区的排泄情况；泉水点调查、主要泉点汛期测流与洪水调查等。

(3) 水利概况。调查流域内已建和在建的蓄水、引水工程，分洪、滞洪工程情况，分析对洪水的影响。

(4) 雨洪特性。调查流域内：暴雨时空分布特性，如常见暴雨中心位置、暴雨的移动规律、降雨历时及其过程等；洪水的成因、来源和季节性等；注意搜集流域及邻近地区的有关雨洪计算报告和资料。

4. 标准、历时、时段

(1) 设计标准。取多少年一遇洪水进行工程设计的政策性强，应遵照水利部能源部文件水规 (1990) 35 号予以执行，具体标准列于表 (4)。

表 (4)

工程规模	水库总库容 (亿 m ³)	水电站装机 (万 kW)	防洪		设计标准 (洪水重现期·年)		校核标准 (洪水重现期·年)		
			防护城镇及工矿区	保护农田面积 (万亩)	挡水、泄水建筑物	水电站厂房	挡水、泄水建筑物		水电站厂房
							土坝、堆石坝、干砌石坝	混凝土坝、浆砌石坝	
中型	1.0~0.1	25~2.5	中等	100~30	50	30	1000	500	200
小 (一) 型	0.1~0.01	2.5~0.05	一般	30~5	30	20	500	200	100
小 (二) 型	0.01~0.001	<0.05		<5	20	10	200	100	50

注：1°当采用土石坝时，失事后对下游将造成特别重大灾害的中型工程，其校核标准可提高到 2000 年，小 (一) 型可提高到 1000 年；对旁引屯蓄水库的标准可以适当降低；云南系山区省，坝区小，防洪保护农田面积宜适当减小，但尚未制定。

2°关于施工期洪水标准，水规〔1990〕35 号文未定，暂按老标准，宜适当降低，老标准为：

中小型水利水电工程施工期间所使用的如导流建筑物等均属五级建筑物，当为土石建筑物时洪水重现期 20~10 (年)，当为混凝土、浆砌石建筑物时 5~3 (年)。

坝体施工期临时渡汛的洪水标准，应根据坝体升高而形成的拦洪蓄水库容来确定。坝型为土坝、堆石坝或干砌石坝，当库容小于 1000 万 m³ 取 50~20 (年)、当库容超过 1000 万 m³ 时取 100~50 (年)；混凝土坝、浆砌石坝分别取 20~10 (年) 和 50~20 (年)。

注：手册中的标准采用水利部能源部文件水规 (1990) 35 号，设计标准已更改，故此处从略。具体参照《水利水电工程等级划分及洪水标准》SL252-2000。

(2) 全省具有以单日暴雨居多、雨量较集中的暴雨特性，山区型小河的洪水暴涨陡落洪水过程尖瘦，中小型水库常无下游防洪保护任务而不需错峰调节，据此暴雨历时 (t) 取 24 小时、时段长 (Δt) 取 1 小时。

4.2. 设计暴雨计算

1. 1、6、24 小时点暴雨量计算

(1) 点暴雨量参数值查读。在 1/5 万地形图上确定工程集水区的形状中心（重心），量算中心至 1/5 万地形图和手册附图都标明的邻近两城镇的距离 a_1 、 a_2 ，以降水量均值、 C_v 值图上的两城镇为中心，分别以 $a_1/40$ 、 $a_2/40$ 交会确定工程集水区形状中心位置，查读其两相邻等值线的数值，采用线性内插法计算出集水区中心处的 \bar{H}_1 、 C_{v1} 、 \bar{H}_6 、 C_{v6} 、 \bar{H}_{24} 、 C_{v24} 。查读点亦可为常遇暴雨中心或为具有最大集水区面雨量的某点，为简单计，一般选用形状中心。

(2) 1、6、24 小时设计点暴雨量计算。由设计标准（以频率 P 表示）、 C_{vt} 、 $C_{st}=3.5C_{vt}$ ，查表（5）得相应的 K_p 值，采用下式计算出工程集水区中心的设计点暴雨量。

$$H_p = K_p \bar{H}_t$$

式中：

H_p ——暴雨历时（ t ）分别为 1、6、24h，频率为 P （%）的设计点暴雨量（mm）

\bar{H}_t ——暴雨历时（ t ）分别为 1、6、24h 的暴雨均值

K_p ——倍比系数查表值

P—III型曲线 K_p 值表（ $C_s=3.5C_v$ ）

表（5）

P (%) / C_v	0.1	0.2	0.33	0.5	1	2	3.33	5	10	20	33.33
0.3	2.38	2.24	2.14	2.06	1.916	1.769	1.657	1.566	1.402	1.226	1.08
0.32	2.5	2.35	2.24	2.16	1.992	1.83	1.707	1.607	1.429	1.238	1.082
0.34	2.63	2.47	2.34	2.24	2.07	1.892	1.758	1.649	1.456	1.25	1.083
0.36	2.76	2.58	2.45	2.34	2.15	1.954	1.809	1.691	1.482	1.261	1.083
0.38	2.9	2.7	2.55	2.43	2.23	2.02	1.86	1.733	1.509	1.272	1.083
0.4	3.04	2.82	2.66	2.53	2.31	2.08	1.912	1.775	1.535	1.282	1.083
0.42	3.18	2.95	2.77	2.63	2.39	2.15	1.965	1.817	1.56	1.292	1.082
0.44	3.33	3.07	2.89	2.73	2.48	2.21	2.02	1.86	1.586	1.301	1.08
0.46	3.47	3.2	3	2.84	2.56	2.28	2.07	1.903	1.611	1.31	1.078
0.48	3.63	3.34	3.12	2.95	2.65	2.35	2.12	1.946	1.636	1.319	1.075
0.5	3.79	3.47	3.24	3.05	2.74	2.42	2.18	1.988	1.661	1.326	1.072

注：此表摘自《水文统计常用图表（水利出版社）》，编者作了内插。

具体计算按表（6）进行

表 (6)

t (h)	统计参数			H_{tp} (mm)		
	\bar{H}_t (mm)	C_{vt}	C_{st}	P= %	P= %	P= %
1			$3.5C_{v1}$			
6			$3.5C_{v6}$			
24			$3.5C_{v24}$			

(3) 其它历时设计点暴雨量计算。将工程集水区中心的 24h 设计点暴雨量代入下列公式计算其它历时的设计点暴雨量:

$$\text{历时 (t) 为 2、3} \cdots \cdots \text{5h: } H_{tp} = H_{24p} \cdot 4^{-N_{3p}} \cdot 6^{-N_{2p}} \cdot t^{N_{2p}}$$

$$\text{历时 (t) 为 7、8} \cdots \cdots \text{23h: } H_{tp} = H_{24p} \cdot 24^{-N_{3p}} \cdot t^{N_{3p}}$$

式中: N_{2p} 、 N_{3p} 为设计暴雨的递增指数值, 可由 1、6、24h 设计点暴雨量按公式计算:

$$N_{2p} = 1.285 \lg \frac{H_{6p}}{H_{1p}} \quad N_{3p} = 1.661 \lg \frac{H_{24p}}{H_{6p}}$$

2. 1 至 24 小时设计面雨量计算

河流在工程断面发生的洪水系由断面以上集水区的(面)雨量所形成, 点设计暴雨量必须经过点面关系化算成面设计暴雨量。由附图 7《暴雨区划图》划定工程集水区所在暴雨分区, 查《云南省分区综合时~面~ α 、 β 关系表》见表(7), 得到工程集水面积(F)的不同历时(t)的点面雨量折算系数 α_{Ft} , 则 1 至 24h 设计面雨量 $H_{Ftp} = \alpha_{Ft} \cdot H_{点tp}$ 。

在面雨量计算时经常会碰到的问题及其一般处理有: (1) 工程集水区在两暴雨分区的交界处, 可取两区的平均的 α 值, 在经分析后亦可取其中暴雨相似区的 α 值; (2) 工程集水区面积(F)不为表列数值, 以其左右相邻 F 的 α 进行线性插值; (3) 查算不为表列历时 t 的 α_{Ft} , 是采用上下相邻 α_{Ft} 进行线性插值。

须予说明的是, 只有当工程集水区的分水线与暴雨的等值线相重合时, 应用点面折算系数将点雨量化算成面暴雨量才是合适的, 但实际上是不相重合, 理应将点面折算系数修正为较小数值, 实用时为安全起见可不修正。

云南省分区综合时~面~ α 、 β 关系表
(α —点、面化算系数; β —时、深转换系数)

表 (7)

区划	历时 (小时)	β (%)	α (%)												
			0km ²	20km ²	50km ²	100km ²	200km ²	300km ²	400km ²	500km ²	600km ²	700km ²	800km ²	900km ²	1000km ²
第一分区	24	100	100	96.2	91.3	84.5	74.4	67.0	61.5	57.1	53.6	50.7	47.9	45.7	43.5
	18	93.9	100	95.9	90.0	83.3	72.8	65.0	59.2	55.5	52.0	49.5	46.6	44.3	42.3
	12	85.8	100	95.6	89.4	82.1	71.4	63.5	58.1	53.4	50.0	47.3	44.6	42.7	40.7
	6	73.6	100	94.8	88.7	80.7	69.0	60.8	54.9	49.9	46.8	44.2	41.7	39.9	38.1
	3	54.4	100	94.0	87.1	78.9	67.0	58.9	52.7	48.3	44.8	42.0	39.7	37.2	35.5
	1	34.3	100	93.0	85.5	77.2	65.0	56.5	50.5	46.7	42.7	40.0	37.2	35.0	32.9
第二分区	24	100	100	96.2	91.3	84.5	74.4	67.0	61.5	57.1	53.6	50.7	47.9	45.7	43.5
	18	93.9	100	95.9	90.0	83.3	72.8	65.0	59.2	55.5	52.0	49.5	46.6	44.3	42.3
	12	85.8	100	95.6	89.4	82.1	71.4	63.5	58.1	53.4	50.0	47.3	44.6	42.7	40.7
	6	73.6	100	94.8	88.7	80.7	69.0	60.8	54.9	49.9	46.8	44.2	41.7	39.9	38.1
	3	54.4	100	94.0	87.1	78.9	67.0	58.9	52.7	48.3	44.8	42.0	39.7	37.2	35.5
	1	34.3	100	93.0	85.5	77.2	65.0	56.5	50.5	46.7	42.7	40.0	37.2	35.0	32.9
第三分区	24	100	100	98.5	96.4	92.9	86.3	81.8	78.3	75.6	73.8	72.0	70.3	68.8	67.3
	18	93.5	100	98.4	95.9	92.2	86.0	80.9	77.5	75.2	73.0	71.3	69.7	68.2	66.9
	12	83.3	100	98.4	95.7	91.9	85.7	80.6	76.9	74.3	72.1	69.9	67.6	66.6	64.0
	6	70.2	100	98.3	95.3	91.5	84.9	79.8	75.9	72.9	70.1	67.5	65.3	63.1	61.0
	3	58.9	100	98.3	94.9	90.7	83.4	78.0	73.8	70.7	67.7	64.7	62.2	59.9	57.6
	1	44.0	100	98.2	94.6	90.5	83.1	77.3	73.0	68.9	65.8	62.8	59.7	56.8	54.1
第四分区	24	100	100	98.5	96.0	92.6	86.1	81.5	77.5	75.0	72.8	71.5	70.6	69.8	69.0
	18	89.7	100	97.9	95.8	92.4	85.7	80.8	76.8	74.0	72.0	70.8	69.5	68.4	67.8
	12	76.8	100	97.8	95.5	92.0	85.1	79.8	75.5	72.4	70.3	69.1	67.6	66.8	66.1
	6	59.1	100	97.6	95.0	91.0	84.0	78.0	73.2	70.0	67.9	66.7	65.0	64.1	63.4
	3	45.4	100	97.5	94.5	89.8	81.7	75.6	70.8	67.6	65.4	64.0	62.8	61.8	60.8
	1	29.9	100	97.3	94.0	88.5	80.0	73.0	67.8	64.0	61.7	60.0	58.9	57.8	56.9
第五分区	24	100	100	98.5	96.0	92.6	86.1	81.5	77.5	75.0	72.8	71.5	70.6	69.8	69.0
	18	89.7	100	97.9	95.8	92.4	85.7	80.8	76.8	74.0	72.0	70.8	69.5	68.4	67.8
	12	76.8	100	97.8	95.5	92.0	85.1	79.8	75.5	72.4	70.3	69.1	67.6	66.8	66.1
	6	59.1	100	97.6	95.0	91.0	84.0	78.0	73.2	70.0	67.9	66.7	65.0	64.1	63.4
	3	45.4	100	97.5	94.5	89.8	81.7	75.6	70.8	67.6	65.4	64.0	62.8	61.8	60.8
	1	29.9	100	97.3	94.0	88.5	80.0	73.0	67.8	64.0	61.7	60.0	58.9	57.8	56.9
第六分区	24	100	100	98.2	96.6	93.5	89.3	86.1	83.5	81.8	80.5	79.5	78.5	77.4	76.5
	18	89.7	100	98.1	96.4	93.3	88.9	85.3	82.2	80.7	79.0	77.4	76.2	75.2	74.4
	12	76.8	100	98.0	96.2	93.1	88.3	84.4	81.1	79.0	77.1	75.7	74.3	72.7	71.5
	6	59.1	100	97.8	95.7	92.3	87.0	82.5	78.7	76.3	74.0	72.1	70.1	68.2	66.5
	3	45.4	100	97.5	95.1	91.3	85.0	80.3	76.5	73.7	71.2	68.4	66.3	64.6	62.2
	1	29.9	100	97.2	94.5	90.0	82.6	77.1	72.8	69.6	66.5	63.3	60.8	58.3	55.7
第七分区	24	100	100	96.8	93.0	87.0	78.0	71.4	66.5	62.4	60.0	57.8	55.8	54.0	52.1
	18	91.5	100	96.4	92.5	86.6	77.4	70.7	65.6	61.6	59.0	56.7	54.5	52.7	51.4
	12	80.7	100	96.0	92.0	86.0	76.5	69.7	64.5	60.5	57.8	55.4	53.1	51.0	50.1

区划	历时 (小时)	β (%)	α (%)												
			0km ²	20km ²	50km ²	100km ²	200km ²	300km ²	400km ²	500km ²	600km ²	700km ²	800km ²	900km ²	1000km ²
	6	65.1	100	95.5	90.5	84.8	75.0	68.0	62.5	58.5	55.5	53.0	50.9	49.0	47.9
	3	48.8	100	95.3	90.3	84.0	73.0	66.7	61.2	57.3	54.2	51.6	49.5	47.4	45.7
	1	30.2	100	95.0	90.0	82.8	72.3	65.0	59.6	55.6	52.5	50.0	47.5	45.4	43.5
第八分区	24	100	100	96.6	92.5	86.7	79.7	75.4	71.5	68.8	66.3	64.4	62.8	60.9	59.4
	18	92.8	100	96.3	92.1	86.4	78.9	74.3	70.3	67.6	65.0	63.1	61.1	59.2	57.8
	12	83.5	100	96.0	91.6	85.2	78.1	73.2	69.0	65.8	63.3	61.1	59.6	57.1	55.7
	6	69.8	100	95.5	90.3	84.0	76.3	71.1	66.6	63.2	60.1	57.6	56.2	53.6	52.3
	3	50.8	100	95.0	89.5	83.0	74.5	69.0	64.5	61.5	58.4	55.4	53.0	50.6	48.3
	1	30.9	100	94.3	88.9	82.0	72.9	67.5	63.0	59.4	56.0	52.7	49.8	47.3	44.3
第九分区	24	100	100	97.0	93.6	89.0	82.0	76.9	73.4	70.5	68.7	67.3	65.8	64.4	63.4
	18	90.6	100	96.8	93.4	88.9	81.0	75.4	71.3	68.7	66.5	64.7	63.0	61.7	60.3
	12	79.1	100	96.6	93.0	87.6	79.5	73.7	69.2	65.6	63.2	61.0	59.1	57.5	56.3
	6	62.4	100	96.2	92.1	86.5	77.5	71.0	65.5	61.4	58.2	55.3	53.4	51.7	50.1
	3	49.4	100	95.8	91.2	84.1	73.9	66.5	61.0	57.0	53.7	51.2	48.7	46.5	44.4
	1	33.9	100	94.8	89.2	81.4	70.1	62.2	56.2	51.3	48.0	45.0	42.3	39.7	37.1
第十分区	24	100	100	98.0	95.3	91.3	85.0	80.5	77.2	75.3	74.0	72.6	71.3	70.2	69.3
	18	90.6	100	97.9	95.0	90.9	84.5	79.8	76.4	74.5	73.0	71.8	70.4	69.3	68.5
	12	79.1	100	97.8	94.7	90.4	84.0	79.0	75.6	73.1	71.9	70.9	69.3	68.2	67.3
	6	62.4	100	97.4	94.0	89.1	82.1	77.3	74.0	71.3	70.1	68.8	67.6	66.5	65.6
	3	46.2	100	97.1	93.5	88.2	80.5	75.2	71.6	69.4	67.7	66.2	65.1	64.2	63.8
	1	28.7	100	96.7	93.0	87.2	79.1	73.5	69.5	67.0	65.2	64.0	62.9	62.0	61.3
第十一分区	24	100	100	96.6	92.5	86.7	79.7	75.4	71.5	68.8	66.3	64.4	62.8	60.9	59.4
	18	92.8	100	96.3	92.1	86.4	78.9	74.3	70.3	67.6	65.0	63.1	61.1	59.2	57.8
	12	83.5	100	96.0	91.6	85.2	78.1	73.2	69.0	65.8	63.3	61.1	59.6	57.1	55.7
	6	69.8	100	95.5	90.3	84.0	76.3	71.1	66.6	63.2	60.1	57.6	56.2	53.6	52.3
	3	50.8	100	95.0	89.5	83.0	74.5	69.0	64.5	61.5	58.4	55.4	53.0	50.6	48.3
	1	30.9	100	94.3	88.9	82.0	72.9	67.5	63.0	59.4	56.0	52.7	49.8	47.3	44.3
第十二分区	24	100	100	99.1	97.6	95.2	92.0	89.8	87.6	86.0	84.4	83.3	82.2	80.6	79.6
	18	94.5	100	98.8	97.2	94.5	91.4	88.5	86.3	84.4	82.6	81.2	79.8	78.6	77.0
	12	87.0	100	98.6	96.6	93.8	90.5	87.4	84.7	82.6	80.5	78.9	77.4	75.2	73.8
	6	75.8	100	98.0	95.5	93.0	88.6	84.9	81.7	79.2	76.6	74.6	72.7	69.8	68.3
	3	56.5	100	97.8	95.3	92.5	86.3	82.0	77.2	75.1	72.1	69.5	67.2	64.8	62.3
	1	36.6	100	97.5	95.0	91.0	84.2	79.0	75.0	71.5	68.1	65.0	62.2	59.6	56.7
第十三分区	24	100	100	96.7	92.7	87.1	79.0	72.7	68.4	65.0	62.2	60.0	58.0	56.0	54.3
	18	92.8	100	96.6	92.4	86.8	78.7	72.5	67.2	64.2	61.3	59.0	56.8	54.8	53.0
	12	83.5	100	96.4	92.2	86.5	78.0	71.5	66.6	63.2	60.3	57.8	55.4	52.5	51.5
	6	69.8	100	96.2	91.8	86.0	77.0	70.0	65.0	61.3	58.3	55.5	53.0	50.5	48.6
	3	51.8	100	96.1	91.5	85.6	75.7	68.4	63.2	59.5	56.0	53.0	50.3	48.0	45.8
	1	32.3	100	96.0	91.4	85.0	74.9	67.2	61.6	57.1	53.9	50.9	48.0	45.0	42.2
第十四分区	24	100	100	99.6	98.6	97.5	95.0	92.4	89.8	87.3	84.7	82.1	79.6	78.0	75.4
	18	93.6	100	99.0	98.0	95.8	92.6	89.6	86.8	84.2	81.8	79.3	77.0	75.0	72.6
	12	85.2	100	98.5	97.0	94.0	89.5	85.9	83.0	80.2	77.5	75.3	73.1	71.2	69.0
	6	72.7	100	97.8	95.3	91.5	85.0	80.0	76.6	73.8	71.2	68.8	66.8	64.8	63.0
	3	62.0	100	97.5	93.6	88.5	80.5	74.6	70.3	67.7	64.9	62.6	60.6	59.1	57.5

区划	历时 (小时)	β (%)	α (%)												
			0km ²	20km ²	50km ²	100km ²	200km ²	300km ²	400km ²	500km ²	600km ²	700km ²	800km ²	900km ²	1000km ²
	1	48.2	100	96.0	91.3	84.5	74.8	68.0	63.0	59.6	56.9	54.9	53.0	51.3	50.0
全省综合变化范围	24	100	100	99.6~96.2	98.6~91.3	97.5~84.5	95~74.4	92.4~67	89.8~61.5	87.3~57.1	84.7~53.6	83.3~50.7	82.2~47.9	80.6~45.7	79.6~43.5
	18	94.5~89.7	100	99~95.9	98~90	95.8~83.3	92.6~72.8	89.6~65	86.8~59.2	84.4~55.5	82.6~52	81.2~49.5	79.8~46.6	78.6~44.3	77~42.3
	12	87~76.8	100	98.6~95.6	97~89.4	94~82.1	90.5~71.4	87.4~63.5	84.7~58.1	82.6~53.4	80.5~50	78.9~47.3	77.4~44.6	75.2~42.7	73.8~40.7
	6	75.8~59.1	100	98.3~94.8	95.7~88.7	93~80.7	88.6~69	84.9~60.8	81.7~54.9	79.2~49.9	76.6~46.8	74.6~44.2	72.7~41.7	69.8~39.9	68.3~38.1
	3	62~45.4	100	98.3~94	95.3~87.1	92.5~78.9	86.3~67	82~58.9	77.2~52.7	75.1~48.3	72.1~44.8	69.5~42	67.2~39.7	64.8~37.2	63.8~35.5
	1	48.2~28.7	100	98.2~93	95~85.5	91~77.2	84.2~65	79~56.5	75~50.5	71.5~46.7	68.1~42.7	65~40	62.9~37.2	62~35	61.3~32.9

云南省分区综合时~ β (%) 关系表

表 (8)

区划	历时 (小时)																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	34.3	45.8	54.4	61.6	68.0	73.6	76.0	78.2	80.3	82.2	84.0	85.8	87.3	88.7	90.0	91.3	92.6	93.9	95.0	96.1	97.2	98.2	99.1	100.0
2	34.3	45.8	54.4	61.6	68.0	73.6	76.0	78.2	80.3	82.2	84.0	85.8	87.3	88.7	90.0	91.3	92.6	93.9	95.0	96.1	97.2	98.2	99.1	100.0
3	33.5	45.2	54.2	61.3	67.8	73.6	76.0	78.2	80.3	82.2	84.0	85.8	87.3	88.7	90.0	91.3	92.6	93.9	95.0	96.1	97.2	98.2	99.1	100.0
4	29.9	38.7	45.4	50.3	55.0	59.1	62.5	65.8	68.8	71.5	74.2	76.8	79.2	81.5	83.7	85.8	87.8	89.7	91.6	93.4	95.2	96.9	98.5	100.0
5	29.9	38.7	45.4	50.3	55.0	59.1	62.5	65.8	68.8	71.5	74.2	76.8	79.2	81.5	83.7	85.8	87.8	89.7	91.6	93.4	95.2	96.9	98.5	100.0
6	29.9	38.7	45.4	50.3	55.0	59.1	62.5	65.8	68.8	71.5	74.2	76.8	79.2	81.5	83.7	85.8	87.8	89.7	91.6	93.4	95.2	96.9	98.5	100.0
7	30.2	40.7	48.8	55.0	60.4	65.1	68.3	71.3	74.0	76.3	78.5	80.7	82.8	84.7	86.5	88.2	89.9	91.5	93.0	94.5	96.0	97.5	99.0	100.0
8	30.9	42.0	50.8	58.0	64.0	69.8	72.4	74.8	77.0	79.2	81.4	83.5	85.3	87.0	88.5	90.0	91.4	92.8	94.2	95.5	96.8	98.0	99.0	100.0
9	33.9	42.8	49.4	54.5	59.0	62.4	65.8	68.8	71.6	74.3	76.8	79.1	81.2	83.2	85.2	87.0	88.8	90.6	92.4	94.0	95.6	97.1	98.6	100.0
10	28.7	38.7	46.2	52.2	57.6	62.4	65.8	68.8	71.6	74.3	76.8	79.1	81.2	83.2	85.2	87.0	88.8	90.6	92.4	94.0	95.6	97.1	98.6	100.0
11	30.9	42.0	50.8	58.0	64.0	69.8	72.4	74.8	77.0	79.2	81.4	83.5	85.3	87.0	88.5	90.0	91.4	92.8	94.2	95.5	96.8	98.0	99.0	100.0
12	36.6	48.3	56.5	63.6	70.1	75.8	78.0	80.0	82.0	84.0	85.6	87.0	88.4	89.8	91.0	92.2	93.5	94.5	95.5	96.5	97.5	98.4	99.2	100.0
13	32.3	43.4	51.8	58.7	64.6	69.8	72.4	74.8	77.0	79.2	81.4	85.3	85.3	87.0	88.5	90.0	91.4	92.8	94.2	95.5	96.8	98.0	99.0	100.0
14	48.2	56.4	62.0	66.5	70.0	72.7	75.1	77.4	79.6	81.7	83.5	85.2	86.6	88.1	89.6	91.0	92.3	93.6	94.8	95.9	97.0	98.1	99.1	100.0

3. 设计暴雨的时程分配计算

总量相等的一次暴雨可以有不同的降雨过程，从而形成洪水的不同峰和量及过程，对工程将产生不同的影响。设计暴雨时程分配的计算步骤一般为由各相邻两历时的设计面雨量相减求出工程集水区 24 个 1h 设计面雨量，再按表（9）《云南省一日暴雨分区综合雨型表》中的工程所在暴雨分区的排列次序定位。

长短历时暴雨关系是用指数 N_2 、 N_3 来表示，需用实测面雨量分析计算，限于资料条件，唯以点雨量近似地用在面上，显然点雨量的长短历时关系不同于面雨量，一般规律是 $N_{\text{点}} < N_{\text{面}}$ 。

$$\text{注意复核：} \sum_1^6 H_{1i} = H_{6m}; \sum_1^{24} H_{1i} = H_{24}$$

4.3. 产流计算

采用初损后损法的产流计算方案，由工程集水区的设计暴雨过程来计算其净雨在时间上的变化（净雨过程），净雨总量即为工程断面的一次地面洪水总量。

产流计算的步骤为：

1. 确定其产流参数

由工程集水区的地理位置查附图 8 《产流参数分区图》得如下产流参数：

土壤最大缺水量 W_m (mm)

洪水起涨时的土壤含水量（设计前期影响雨量） W_0 (mm)

后期平均损失率（后损量） \bar{f}_c (mm/h)

降径关系不平衡缺水量 ΔR (mm)

雨期日蒸发量 E_3 (mm/d)

W_t 对净雨量有一定影响， W_t 的上限值是 W_m ，初损量 $W_0 = W_m - W_t$ 。

2. 净雨过程计算

由设计逐时面雨量过程的第 1 时段向后累积扣除初损量 W_0 至第 i 时段；第 i 时段的“余雨”按比例扣除部分后损量；从第 $(i+1)$ 至第 24 时段逐个扣除后损量 \bar{f}_c ，当 $H_{1i} > \bar{f}_c$ ，则净雨量为 $H_{1i} - \bar{f}_c$ ，将产生地面径流，当 $H_{1i} \leq \bar{f}_c$ ，则净雨量为 0，不产流；在扣除完初损和后损量后的由 n 个小时段净雨量所组成的净雨过程上平均扣除 $(E + \Delta R) / n$ ，当 1 小时的净雨量小于 $(E + \Delta R) / n$ 时，除扣完该时段净雨量外，不足部分需经验性地在净雨量大于 $(E + \Delta R) / n$ 的后几时段中补扣。

云南省 24 小时暴雨分区综合雨型表

表 (9)

时段序 排列序 区 划	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	6	5	4	3	2	1	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2	6	5	4	3	2	1	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
3	18	17	16	15	14	13	6	5	4	3	2	1	7	8	9	10	11	12	19	20	21	22	23	24
4	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	1	2	3	4	5	6	19	20	21	22	23	24
5	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	1	2	3	4	5	6	19	20	21	22	23	24
6	24	23	22	21	20	19	6	5	4	3	2	1	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
7	6	5	4	3	2	1	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
8	24	23	22	21	20	19	12	11	10	9	8	7	1	2	3	4	5	6	13	14	15	16	17	18
9	24	23	22	21	20	19	6	5	4	3	2	1	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
10	24	23	22	21	20	19	12	11	10	9	8	7	1	2	3	4	5	6	13	14	15	16	17	18
11	24	23	22	21	20	19	12	11	10	9	8	7	1	2	3	4	5	6	13	14	15	16	17	18
12	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	1	2	3	4	5	6	19	20	21	22	23	24
13	18	17	16	15	14	13	6	5	4	3	2	1	7	8	9	10	11	12	19	20	21	22	23	24
14	6	5	4	3	2	1	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

3. 复核计算。

工程集水区的设计洪水地面径流深 ($R_{\text{面}}$) 计算, $R_{\text{面}} = H_{24p} - (W_m - W_t) - \Sigma \bar{f}_c - (E + \Delta R)$ 。式中 $\Sigma \bar{f}_c$ 是后期损失量之和, $\Sigma \bar{f}_c$ 值决定了汇流计算中的潜流量, 要重视。要进行设计的逐时段地面净雨量之和应等于 $R_{\text{面}}$ 的复核计算。

4.4. 汇流计算

在计算工程集水区的设计面净雨过程以后, 采用综合瞬时单位线的方法计算河流工程断面设计洪水的洪峰流量及其流量过程。

1. 主净雨峰的时段平均强度计算及其“非线性”外延 (或修正)

由净雨过程 ($i \sim t$) 采用滑动平均法计算 3 小时平均雨强, 其最大值即为主净雨强度 ($\bar{i}_{\text{主}}$)。为要反映不同雨强对汇流系数的影响, 即考虑“非线性”外延或修正, 经全省分析, 设计、校核标准的主净雨强度 ($\bar{i}_{\text{主p}}$) 取值控制规定于下:

当工程处集水面积 $F \leq 100\text{km}^2$, $\bar{i}_{\text{主p}} < 10\text{mm}$, 取 $\bar{i}_{\text{主p}}$; $\bar{i}_{\text{主p}} \geq 10\text{mm}$, 取 10mm 。

当工程处集水面积 $100 < F < 200\text{km}^2$, $\bar{i}_{\text{主p}} < 15\text{mm}$, 取 $\bar{i}_{\text{主p}}$; $\bar{i}_{\text{主p}} \geq 15\text{mm}$,

取 15mm 。

当工程处集水面积 $F \geq 200\text{km}^2$, $\bar{i}_{\text{主p}} < 25\text{mm}$, 取 $\bar{i}_{\text{主p}}$; $\bar{i}_{\text{主p}} \geq 25\text{mm}$, 取 25mm 。

2. 汇流系数的查图值

由工程集水区的地理位置查附图 (9)《汇流系数分区图》得 C_m 、 C_n 值, 当集水区跨越两区时取两区平均的 C_m 、 C_n 值, 亦可取与集水区汇流条件相似的一区 C_m 、 C_n 值。

3. 纳希瞬时单位线两参数 n 和 K 值计算

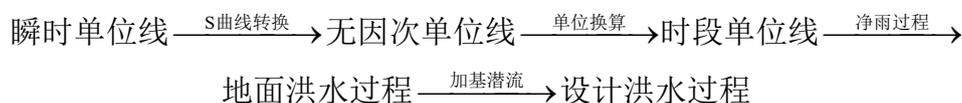
由工程集水区形态参数的量算值 F 、 J 、 B 和主净雨强度 ($\bar{i}_{\text{主p}}$) 或控制值及汇流系数的查图值 C_m 、 C_n , 据下列的综合瞬时单位线公式计算纳希单位线两参数 n 和 K 值。

$$m_1 = C_m F^{0.262} J^{-0.171} B^{-0.476} \left(\bar{i}_{\text{主p}} / 10 \right)^{-0.84 F^{-0.109}}$$

$$n = C_n F^{0.161}$$

$$k = m_1 / n$$

4. 由 n 、 K 值相应的瞬时单位线计算工程断面设计洪水过程的计算流程为:



S (t) 曲线查用表

表 (10)

n t/k	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
0.3	0.259	0.218	0.182	0.152	0.126	0.104	0.085	0.069	0.056	0.046	0.037	0.030	0.024	0.019	0.015	0.012	0.009	0.007	0.006	0.005	0.004	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
0.5	0.393	0.347	0.304	0.265	0.230	0.199	0.171	0.147	0.125	0.106	0.090	0.076	0.064	0.054	0.045	0.037	0.031	0.026	0.021	0.018	0.014	0.012	0.010	0.008	0.006	0.005	0.004	0.003	0.003	0.002	0.002
1	0.632	0.589	0.547	0.506	0.466	0.428	0.391	0.356	0.324	0.293	0.264	0.238	0.213	0.190	0.170	0.151	0.134	0.118	0.104	0.092	0.080	0.070	0.061	0.053	0.046	0.040	0.035	0.030	0.026	0.022	0.019
2	0.865	0.842	0.818	0.792	0.766	0.739	0.710	0.682	0.653	0.623	0.594	0.565	0.536	0.507	0.478	0.451	0.423	0.397	0.372	0.347	0.323	0.301	0.279	0.258	0.239	0.220	0.203	0.186	0.171	0.156	0.143
3	0.950	0.940	0.929	0.916	0.903	0.888	0.873	0.856	0.839	0.820	0.801	0.781	0.760	0.738	0.716	0.694	0.671	0.648	0.624	0.600	0.577	0.553	0.530	0.506	0.483	0.460	0.438	0.416	0.394	0.373	0.353
4	0.982	0.977	0.973	0.967	0.961	0.954	0.946	0.938	0.929	0.919	0.908	0.897	0.885	0.872	0.858	0.844	0.829	0.813	0.796	0.779	0.762	0.744	0.725	0.706	0.687	0.667	0.648	0.627	0.607	0.587	0.567
5	0.993	0.992	0.990	0.987	0.984	0.981	0.978	0.974	0.970	0.965	0.960	0.954	0.947	0.940	0.933	0.925	0.916	0.907	0.897	0.886	0.875	0.864	0.851	0.839	0.825	0.811	0.797	0.782	0.767	0.751	0.735
6	0.998	0.997	0.996	0.995	0.994	0.993	0.991	0.989	0.987	0.985	0.983	0.980	0.977	0.973	0.969	0.965	0.961	0.956	0.950	0.944	0.938	0.931	0.924	0.916	0.908	0.899	0.890	0.881	0.870	0.860	0.849
7	0.999	0.999	0.998	0.998	0.998	0.997	0.996	0.996	0.995	0.994	0.993	0.991	0.990	0.988	0.986	0.984	0.982	0.980	0.977	0.974	0.970	0.967	0.963	0.958	0.954	0.949	0.943	0.938	0.932	0.925	0.918
8	1.000	1.000	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998	0.998	0.997	0.997	0.996	0.996	0.995	0.994	0.993	0.992	0.991	0.989	0.988	0.986	0.984	0.982	0.980	0.978	0.975	0.972	0.969	0.965	0.962	0.958
9	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998	0.998	0.997	0.997	0.997	0.996	0.995	0.995	0.994	0.993	0.992	0.991	0.989	0.988	0.986	0.985	0.983	0.981	0.979
10	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998	0.998	0.998	0.997	0.997	0.996	0.996	0.995	0.994	0.994	0.993	0.992	0.991	0.990
11	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998	0.998	0.998	0.997	0.997	0.997	0.996	0.995	
12	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998	0.998	0.998
13	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999
14	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

(1) 已知 n 、 k 值查表 (10) 《S 曲线查用表》(部分) 得各 t/K 所相应的 $S(t/K)$ 值, k 值已知, t/k 值可划算成 t 值, 各值列于表 (11)。在图 (10) 的厘米格纸上绘制以 $S(t)$ 为纵坐标、 t 为横标的 S 曲线, 在 S 曲线上每隔 $1h$ (表 (12) (1) 栏) 读 $S(t)$ 值填入 2 栏将 $S(t)$ 错后 $1h$ 成 $S(t-1)$ 填入 (3) 栏, 将同行 (2)、(3) 栏的差值填入 (4) 栏, 即为 $1h$ 无因次单位线 $u(1, t)$ 。

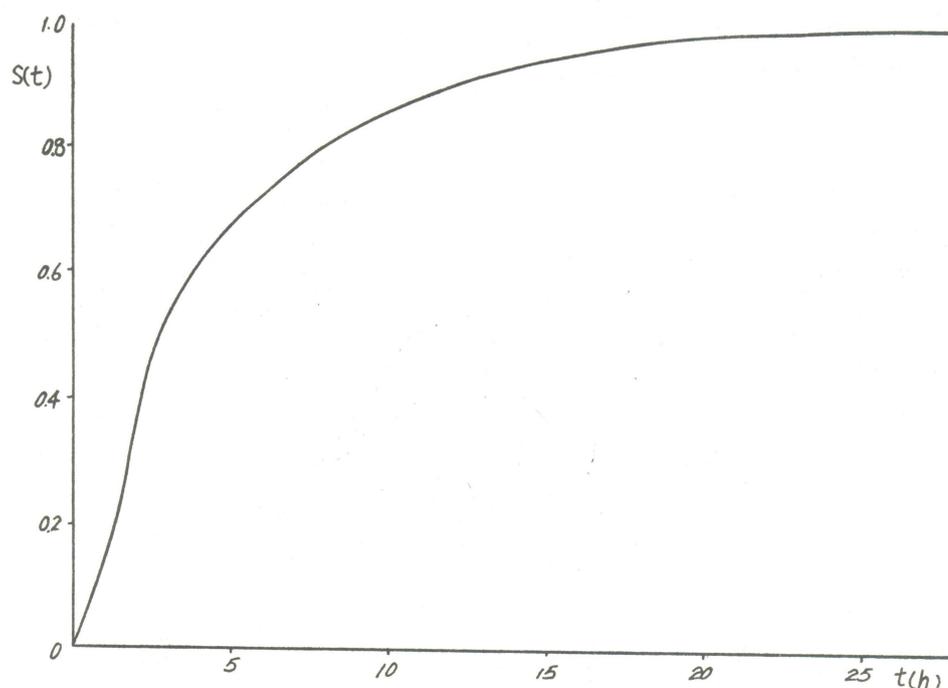


图 10 S (t) 曲线

表 (11)

t/k				
t (h)				
S (t)				

表 (12)

时序 $\Delta t=1h$	S (t)	S (t-1)	无因次单位线 $u(1, t)$	时段单位线 $q(i, t)$ (m^3/s)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)

(2) 以 $0.278F \cdot 10$ (工程的集水面积 F 以 km^2 为单位) 遍乘 (4) 栏 $u(1, t)$, 转化成净雨 $10mm$ 的 $1h$ 时段单位线 $q(1, t)$, 其值填入 (5) 栏。

(3) 按各时段的净雨汇流互不影响、各时段洪水过程线性叠加的单位线假

定，由时段单位线和净雨过程进行地面洪水过程计算，具体计算照表（13）进行。

在地表洪水过程线上加基、潜流流量，即为河流工程断面设计洪水过程。基流流量是水文调查值或附图 10 《最大基流量分布图》查图值，系一常数，填入表（13）（7）栏。潜流始于地表洪水过程的起涨点，其过程概化为一等腰三角形，潜流洪峰流量出现在地表洪水过程的终止点，峰值 $Q_{gmp} = \left(\sum \bar{f}_c F\right)_p / 3.6t$ （ t 为地表洪水过程历时）。地表洪水起涨处潜流量为 0，起涨后 1h 潜流流量 $\Delta Q_{gp} = Q_{gmp} / (t-1)$ ，第 2h 末为 $2 \Delta Q_{gmp}$ ……第 $(t-1)$ h 末即地表洪水终止处为 $(t-1)\Delta Q_{gp} = Q_{gmp}$ ，此后是潜流的退水段，为等腰三角形的右一半直角三角形的“下降斜边”。

表（13）

时间 t (h)	设计 净雨 深 R_i (m)	1h 单 位线 流量 q_i (m^3/s)	R_1 地 表流 量过 程 Q'_{1-i} (m^3/s)	R_2 地 表流 量过 程 Q'_{2-i} (m^3/s)	…	地表 流量 过程 $\sum R_i$ (m^3/s)	基流 流量 $Q_{基}$ (m^3/s)	潜流 流量 过程 $Q_{潜i}$ (m^3/s)	设计 洪水 流量 过程 Q_{pi} (m^3/s)	设计 洪水 修匀 流量 过程 Q_{pi} (m^3/s)
(1)	(2)	(3)	(4) = $R_1 q_i$	(5) = $R_2 q_i$	…	(6) = (4) + (5) +…	(7)	(8)	(9) = (6) + (7) + (8)	(10)

5. 合理性检查

设计洪水过程相应的径流深 R ($=1000W/F$, W 为洪水总量，以万 m^3 为单位， F 为工程集水区面积，以 km^2 为单位)，应不大于设计暴雨量 $H_{面p}$ ，这是因为存在各种不能形成径流的损失量；岩溶地区当基流流量很大时，较常遇暴雨洪水的径流系数可以大于 1.0；一般地区， $\alpha_{雨洪} > \alpha_{径流}$ ，且雨洪径流系数随设计频率的提高而加大。如果发现问题，可以对基、潜流部分加以修正，因它在洪水总量中所占的比例不小，但此修正对洪峰流量不起多大作用。此外，如发现洪水过程线有不光滑时可予修匀，但要遵守水量平衡的原则，将修匀流量过程填入表（13）（10）栏。

5. 实例

在滇南某县的澜沧江一级支流上拟建一座中型水库，在可行性研究阶段采用图表法计算水库设计洪水。

5.1. 基本情况

水库流域属亚热带季风气候，年雨量 1400mm，5~10 月雨季的降雨量约占全年的 80%，区内森林植被率在 50%左右，地表风化较强烈，土壤疏松肥沃，现无水利工程设施。水库总库容 4800 万 m³，按规定水库洪水的设计标准取 50 年一遇 (p=2%)、校核标准取千年一遇 (p=0.1%)、施工期渡汛标准取 20 年一遇 (p=5%)。水库洪水系由集水区内的暴雨所形成，洪水与暴雨同频率。经在 1/5 万地形图上量算，水库流域面积(F)149.9km²，主河全长 28.8km，河道坡降 0.015。水库流域无实测雨洪资料，在水库下游较远处曾设专用水文站，进行过一年流量观测，委托雨量站一处有不完整的日雨量观测，经鉴定，流量和雨量的资料质量差，不能使用。

5.2. 设计暴雨计算

1. 设计暴雨历时取 24h、时段 Δt 取 1h。水库集水区中心各种历时的查图暴雨量统计参数列于表 (14)，表中亦列出了各种频率的设计点暴雨量，系由 \overline{H}_t 、 C_{vt} 、 $C_{st} = 3.5C_{vt}$ 及理论频率曲线用皮尔逊III型曲线查 K_p 表，经 $H_{tp} = \overline{H}_t \cdot K_p$ 计算得出。

表 (14)

t (h)	统计参数			H _{tp} (mm)					
	\overline{H}_t (mm)	C_{vt}	C_{st}	p=0.1%		p=2%		p=5%	
				K_p	H_{tp}	K_p	H_{tp}	K_p	H_{tp}
1	40.0	0.32	$3.5 C_{v1}$	2.50	100.0	1.83	73.2	1.61	64.4
6	60.5	0.40	$3.5 C_{v6}$	3.04	183.9	2.08	125.8	1.78	107.7
24	84.0	0.44	$3.5 C_{v24}$	3.33	279.7	2.21	185.6	1.86	156.2

2. 由表(14)的 H_{tp} 值代入公式计算点设计暴雨量的递增指数值，列于表(15)，再代入暴雨公式插算 2~5、7~23 的各种历时雨量，数值列于表 (16) 的 (2) 栏。24h 雨量的计算值与设计值一致，而 1、6 小时略有差别。

表 (15)

N _{2p}			N _{3p}		
P=0.1%	P=2%	P=5%	P=0.1%	P=2%	P=5%
0.34	0.30	0.29	0.30	0.28	0.27

$$H_{(2\sim5)p=0.1\%} = 100.35t^{0.34} \quad H_{(7\sim23)p=0.1\%} = 107.80t^{0.30}$$

$$H_{(2\sim5)p=2\%} = 73.55t^{0.30} \quad H_{(7\sim23)p=2\%} = 76.23t^{0.28}$$

$$H_{(2\sim5)p=5\%} = 63.89t^{0.29} \quad H_{(7\sim23)p=5\%} = 66.23t^{0.27}$$

3. 由水库流域地理位置查《暴雨区划图》，在第九区，由《云南省分区综合时~面~ $\alpha \cdot \beta$ 关系表》进行集雨面积 149.9km²的暴雨历时分别为 24、18、12、6、3 和 1h 的面积线性内插，如 24h 的 α_{Ft} 内插值是 $0.89 - [(89.0 - 82.0) / 100 * (149.9 - 100)] = 0.855$ ，各指定历时的 α_{Ft} 值列于表 (16) 的 (3) 栏。其他历时亦进行内插算出，如历时为 22h 的 α_{Ft} 值为 $0.855 - [(0.855 - 0.850) / 6 * (24 - 22)] = 0.853$ ，亦列于表 (16) (3) 栏。各种频率的 α_{Ft} 取同值，24 至 1h 的设计面雨量按 $H_{Ftp} = \alpha_{Ft} \cdot H_{点tp}$ 计算，其值列于表 (16) (4) 栏。上下两相邻历时的面雨量相减值即为 1h 的面雨量，并将 24 个 1h 面雨量按大小顺序排列，分列于表 (16) 的 (5) 和 (7) 栏。24 个 1h 面雨量累计值等于 24h 设计面雨量。

4. 按《云南省一日暴雨分区暴雨分区综合雨型表》的九区排列次序，将表 (16) (7) 栏的 1h 面雨量对号就位，××水库设计暴雨的降雨过程列于表 (17) (1) 栏。为紧缩手册的篇幅，仅 p=2% 的设计标准为例，以下的产流计算、汇流计算也如此。

5.3. 产流计算

1. 确定产流参数值

××水库集水区位处滇西南区，属附图 8《产流参数分区图》的第 7 区，该区的综合产流参数值分别是：土壤最大缺水量 $W_m = 200\text{mm}$ ，设计暴雨洪水的土壤前期含水量 $W_t = 180\text{mm}$ ，土壤的后期平均入渗率 $\bar{f}_c = 3\text{mm/h}$ ，雨期日蒸发量 $E = 3\text{mm/d}$ ，降径关系不平衡缺水量 $\Delta R = -6\text{mm}$ 。

2. 1h 逐时段净雨量计算

以五十年一遇 (P=2%) 净雨量计算为例，见表 (17)，土壤初损量 $W_0 = W_m - W_t = 200 - 180 = 20 (\text{mm})$ ，是作时序累计扣除，表 (17) (1) 栏中设计暴雨过程的 1 至 7 时段雨量累计达 19.8mm，要在第 8 时段雨量 7.4mm 中扣除 0.2mm，与前 7 个时段累加雨量和为 20mm，以满足初损。对第 8 时段余值 7.2mm (=7.4

—0.2) 尚须按比例扣稳渗量, 即 $3.0 \times (7.2/7.4) = 2.9\text{mm}$, 从第 9 至 24 的各时段均扣除 3mm/h , 从表 (17) (1) 栏可见第 21 至 24 的各时段雨量等于、小于 3.0mm , 净雨量则为 0。从第 8 至 20 时段另需均匀扣除 $E+\Delta R$, 其值为 $(3+6)/13=0.7\text{mm}$, 但鉴于第 17 至 20 时段在扣除稳渗量后累计雨量仅 1.5mm , 不足 2.8mm , 因此要在第 14 至 16 时段作经验性增扣 1.3mm ($=2.8-1.5$)。在扣除各种损失后的 $\times\times$ 水库 $p=2\%$ 的设计净雨量过程列于表 (17) (5) 栏。

表 (16)

表 16-1 P=5%							表 16-2 P=2%						表 16-3 P=0.1%					
历时 (t)	H _{点t} (mm)	α _{Ft}	H _{面t} (mm)	H _{面1} (mm)	按大小顺序		H _{点t} (mm)	α _{Ft}	H _{面t} (mm)	H _{面1} (mm)	按大小顺序		H _{点t} (mm)	α _{Ft}	H _{面t} (mm)	H _{面1} (mm)	按大小顺序	
					序号	H _{面1}					序号	H _{面1}					序号	H _{面1}
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
24	156.2	0.855	133.6	1.7	1	48.8	185.6	0.855	158.7	2.1	1	55.5	279.7	0.855	239.1	3.4	1	75.8
23	154.4	0.854	131.9	1.7	2	11.6	183.4	0.854	156.6	2.1	2	14.6	276.1	0.854	235.8	3.3	2	22.5
22	152.6	0.853	130.2	1.6	3	9.0	181.1	0.853	154.5	2.0	3	10.7	272.5	0.853	232.4	3.2	3	16.9
21	150.7	0.853	128.5	1.9	4	7.0	178.8	0.853	152.5	2.2	4	8.4	268.7	0.853	229.2	3.6	4	13.5
20	148.7	0.852	126.7	1.9	5	6.1	176.4	0.852	150.3	2.3	5	7.4	264.8	0.852	225.6	3.7	5	11.8
19	146.7	0.851	124.8	2.0	6	5.8	173.9	0.851	148.0	2.5	6	6.6	260.8	0.851	221.9	3.8	6	10.3
18	144.5	0.85	122.8	2.2	7	3.9	171.2	0.85	145.5	2.6	7	5.0	256.6	0.85	218.1	4.2	7	8.3
17	142.3	0.848	120.7	2.4	8	3.6	168.5	0.848	142.9	2.9	8	4.5	252.2	0.848	213.9	4.6	8	6.9
16	140	0.845	118.3	2.3	9	3.5	165.7	0.845	140.0	2.9	9	4.1	247.7	0.845	209.3	4.5	9	6.6
15	137.6	0.843	116.0	2.4	10	3.1	162.7	0.843	137.2	2.9	10	4.0	242.9	0.843	204.8	4.7	10	6.2
14	135.1	0.841	113.6	2.7	11	3.0	159.6	0.841	134.2	3.2	11	3.5	237.9	0.841	200.1	5.1	11	5.6
13	132.4	0.838	111.0	2.7	12	2.9	156.3	0.838	131.0	3.2	12	3.5	232.7	0.838	195.0	5.1	12	5.6
12	129.5	0.836	108.3	2.9	13	2.7	152.9	0.836	127.8	3.5	13	3.2	227.2	0.836	189.9	5.6	13	5.1
11	126.5	0.833	105.4	3.0	14	2.7	149.2	0.833	124.3	3.5	14	3.2	221.3	0.833	184.3	5.6	14	5.1
10	123.2	0.831	102.4	3.1	15	2.4	145.3	0.831	120.7	4.0	15	2.9	215.1	0.831	178.7	6.2	15	4.7
9	119.9	0.828	99.3	3.5	16	2.4	141	0.828	116.7	4.1	16	2.9	208.4	0.828	172.6	6.6	16	4.6
8	116.1	0.825	95.8	3.6	17	2.3	136.5	0.825	112.6	4.5	17	2.9	201.2	0.825	166.0	6.9	17	4.5
7	112	0.823	92.2	3.9	18	2.2	131.4	0.823	108.1	5.0	18	2.6	193.3	0.823	159.1	8.3	18	4.2
6	107.7	0.82	88.3	5.8	19	2.0	125.8	0.82	103.2	6.6	19	2.5	183.9	0.82	150.8	10.3	19	3.8
5	101.9	0.81	82.5	6.1	20	1.9	119.2	0.81	96.6	7.4	20	2.3	173.4	0.81	140.5	11.8	20	3.7
4	95.5	0.8	76.4	7.0	21	1.9	111.5	0.8	89.2	8.4	21	2.2	160.8	0.8	128.6	13.5	21	3.6
3	87.9	0.79	69.4	9.0	22	1.7	102.3	0.79	80.8	10.7	22	2.1	145.8	0.79	115.2	16.9	22	3.4
2	78.1	0.774	60.4	11.6	23	1.7	90.6	0.774	70.1	14.6	23	2.1	127	0.774	98.3	22.5	23	3.3
1	64.4	0.758	48.8	48.8	24	1.6	73.2	0.758	55.5	55.5	24	2.0	100	0.758	75.8	75.8	24	3.2
累计	133.6						158.7						239.1					

××水库五十年一遇暴雨净雨量过程计算

表 17

雨量单位: mm

时段序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	备注	
降雨过程	排列序	24	23	22	21	20	19	6	5	4	3	2	1	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
	H_{1F} (1)	2.0	2.1	2.1	2.2	2.3	2.5	6.6	7.4	8.4	10.7	14.6	55.5	4.9	4.5	4.1	4.0	3.6	3.5	3.2	3.2	3.0	2.9	2.8	2.6	
扣初渗 (2)								7.2	8.4	10.7	14.6	55.5	4.9	4.5	4.1	4.0	3.6	3.5	3.2	3.2	3.0	2.9	2.8	2.6		
扣稳渗 (3)								4.3	5.4	7.7	11.6	52.5	1.9	1.5	1.1	1.0	0.6	0.5	0.2	0.2						
扣 (E+ΔR) (4)								3.6	4.7	7.0	10.9	51.8	1.2	0.8	0.4	0.4										
净雨 (5)								3.6	4.7	7.0	10.9	51.8	1.2	0.3												

注:

$$\Sigma (1) = 158.7$$

$$\Sigma (2) = 138.7, \text{初损} = \Sigma (1) - \Sigma (2) = 20.0$$

$$\Sigma (3) = 88.5, \text{稳损} = \Sigma (2) - \Sigma (3) = 50.2$$

$$\Sigma (4) = 80.8$$

$$\Sigma (5) = 79.5, (E+\Delta R) = \Sigma (1) - \Sigma (2) = 9.0$$

3. 成果合理性检查

进行并完成表 (17) 备注中的各项复查就能及时发现与纠正错误, 是十分需要的。要说明两点: (1) 后期损失量 $\sum f_c$ 是第 8 时段至第 20 时段产流历时为 13h 的 $\bar{f}_c \times t_c = 39\text{mm}$ 与第 21 至 24 时段的 4 小时不产流期累计雨量 11.3mm 之和 50.3mm, 此值决定了汇流计算中的潜流流量; (2) 总复核检查可按 $R_{\text{净}} = H - (W_m - W_t) - \sum \bar{f}_c - (E + \Delta R) = 158.7 - (200 - 180) - 50.3 - 9.0 = 79.4\text{mm}$ 进行, 与表 (17) 备注栏 $\Sigma (5)$ 相差 0.1mm, 可不修正, 仍用表 (17) (5) 栏净雨过程进行汇流计算。

5.4. 汇流计算

1. 汇流系数与雨强的计算及取值。水库集水区位于附图 (9) 《汇流系数分区图》的 7 区、临近 6 区, 7 区的汇流系数 $C_m=0.20$ 、 $C_n=0.80$, 6 区的 $C_m=0.60$ 、 $C_n=0.70$ 。鉴于流域内植被率高、调洪能力强, 影响滞时 m_1 的 C_m 值故取两区的平均值 0.40。由表 (17) 可算出 $p=2\%$ 的最大 3h 净雨强度 23.2mm, 超过了非线性改正的临界值 15.0mm, 3h 净雨强度取 15.0mm。

2. 纳希瞬时单位线两参数 n 、 K 值计算。由水库集水区的形态参数值 (流域面积 $F=149.9\text{km}^2$ 、干流河道坡度 $J=0.015$ 和流域形态系数 $B = F / L^2=0.181$) 及 3h 主净雨强度取 15.0mm 代入以下综合瞬时单位线公式计算 n 和 k 值。

$$\begin{aligned}
 m_1 &= C_m F^{0.262} J^{-0.171} B^{-0.476} \left(\dot{i}_{\pm} / 10 \right)^{-0.84F^{-0.109}} \\
 &= 0.4 \times 149.9^{0.262} \times 0.015^{-0.171} \times 0.181^{-0.476} \times (15/10)^{-0.84 \times 149.9^{-0.109}} \\
 &= 5.64 \\
 n &= C_n F^{0.161} \\
 &= 0.80 \times 149.9^{0.161} \\
 &= 1.8 \\
 k &= m_1 / n = 5.64 / 1.8 = 3.13
 \end{aligned}$$

3. 时段单位线计算。由 n 、 k 值查表 (10), 将 t/k 、 $S(t)$ 分列于表 (18) 的 (1) 和 (3) 栏, 已知 $k=3.13$, 可将经计算的 $t (= t/k \cdot k)$ 对应地填入 (2) 栏; 由 (2) 和 (3) 栏数值绘制图 (11) 的 $S(t)$ 曲线; 从 $t=0$ 起始每隔 1h 读取 $S(t)$ 值填入表 (19) 第 (2) 栏, 将 (2) 栏 $S(t)$ 错后 1h 为 $S(t-1)$ 填入 (3) 栏, 同行相减值填入 (4) 栏, 即计算出无因次时段单位线 $u(1, t)$; 按公式计算出 $\times \times$ 水库 1h10 (mm) 时段单位线 $q(1, t)$, 单位是 m^3/s , 列于表 (19) 的 (5) 栏。

S (t) 曲线计算表

表 (18)

t/K	(1)	0	0.3	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t (h)	(2)	0	0.9	1.6	3.1	6.3	9.4	12.5	15.7	18.8	21.9	25.0	28.2
S (t)	(3)	0	0.056	0.125	0.324	0.653	0.839	0.929	0.970	0.987	0.995	0.998	0.999

$$q(1, t) = 10F / 3.6 \times u(1, t) = 10 \times 149.9 / 3.6 \times u(1, t) = 416.4u(1, t)$$

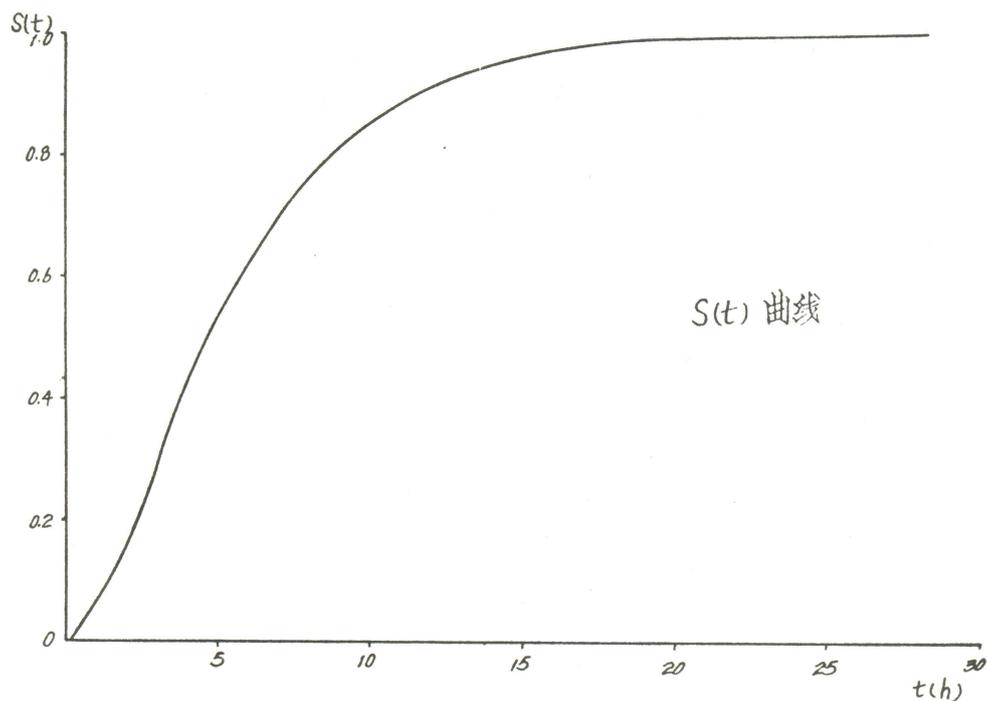


图 11 S (t) 曲线

1 小时时段单位线计算表

表 (19)

时序 $\Delta t=1h$	S(t)	S(t-1)	无因次单位线 u(1,t)	时段单位线 q(1,t)(m ³ /s)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
0	0		0	0
1	0.067	0	0.067	27.9
2	0.165	0.067	0.098	40.8
3	0.31	0.165	0.145	60.4
4	0.44	0.31	0.13	54.1
5	0.542	0.44	0.102	42.5
6	0.63	0.542	0.088	36.6
7	0.708	0.63	0.078	32.5
8	0.771	0.708	0.063	26.2
9	0.819	0.771	0.048	20.0
10	0.857	0.819	0.038	15.8
11	0.889	0.857	0.032	13.3
12	0.915	0.889	0.026	10.8
13	0.934	0.915	0.019	7.9
14	0.949	0.934	0.015	6.2
15	0.962	0.949	0.013	5.4
16	0.972	0.962	0.01	4.2
17	0.98	0.972	0.008	3.3
18	0.985	0.98	0.005	2.1

时序 Δt=1h	S(t)	S(t-1)	无因次单位线 u(1,t)	时段单位线 q(1,t)(m³/s)
19	0.988	0.985	0.003	1.2
20	0.99	0.988	0.002	0.8
21	0.992	0.99	0.002	0.8
22	0.994	0.992	0.002	0.8
23	0.996	0.994	0.002	0.8
24	0.997	0.996	0.001	0.4
25	0.998	0.997	0.001	0.4
26	0.999	0.998	0.001	0.4
27	0.999	0.999	0	0
28	0.999			
29				

4. 推求洪水过程。

由设计暴雨和时段单位线推求××水库设计洪水地表流量过程线，采用下式计算：

$$\begin{aligned}
 Q'_{1-i} &= q_i R_1 / 10 \\
 Q'_{2-i} &= q_i R_2 / 10 \\
 &\dots\dots \\
 Q'_{m-i} &= q_i R_m / 10
 \end{aligned}$$

将 Q'_{1-i} ， Q'_{2-i} …… Q'_{m-i} 错后 1h 同行相加，即为全部净雨所产生的地表流量过程，具体见表（20）。据××水库集水区地理位置查附图（10）《最大基流量分布图》计算出水库断面的基流流量为 $1.0\text{m}^3/\text{s}/100\text{km}^2 \times 149.9\text{km}^2 = 1.5\text{m}^3/\text{s}$ ，潜流流量是采用等腰三角形回加法，地表洪水起涨点潜流流量为 0，第一时段为 $\Delta Q_{\text{潜}}$ ，至地表径流终止点为三角形顶点，出现潜流洪峰流量 $Q_{\text{潜}m}$ ，此后递减。计算以下式进行：

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{潜}m} &= \sum \overline{f_c} \cdot F / 3.6t' = 50.2 \times 149.9 / 3.6 \times 32 = 65.3\text{m}^3/\text{s} \\
 \Delta Q_{\text{潜}} &= Q_{\text{潜}m} / (t' - 1) = 65.3 / (32 - 1) = 2.1\text{m}^3/\text{s/h}
 \end{aligned}$$

式中 t' 是地表洪水过程历时，为 32h。××水库 $p=2\%$ 设计洪水计算成果列于表（20）的（14）栏，对 t 为 25h 以后出现的流量涨落过程要以“水量平衡”为原则加以修匀，经修匀以后的 $p=2\%$ 设计洪水流量过程列于（15）栏，流量过程线见图（12），峰、量值列于表（21）。

××水库五十年一遇 (p=2%) 设计洪水过程线计算表

表 (20)

时间 t (h)	设计净雨深 R_i (mm)	1h 单位线流量 q_i (m ³ /s)	$R_1=3.6\text{mm}$ 地表流量过程 Q'_{1-i} (m ³ /s)	$R_2=4.7\text{mm}$ 地表流量过程 Q'_{2-i} (m ³ /s)	$R_3=7.0\text{mm}$ 地表流量过程 Q'_{3-i} (m ³ /s)	$R_4=10.9\text{mm}$ 地表流量过程 Q'_{4-i} (m ³ /s)	$R_5=51.8\text{mm}$ 地表流量过程 Q'_{5-i} (m ³ /s)	$R_6=1.2\text{mm}$ 地表流量过程 Q'_{6-i} (m ³ /s)	$R_7=0.3\text{mm}$ 地表流量过程 Q'_{7-i} (m ³ /s)	地表流量过程 $\sum R_i$ (m ³ /s)	基流量 $Q_{基}$ (m ³ /s)	潜流流量过程 $Q_{潜i}$ (m ³ /s)	P=2%设计洪水流量过程 Q_{pi} (m ³ /s)	P=2%设计洪水修匀流量过程 Q_{pi} (m ³ /s)
(1)	(2)	(3)	(4)=0.36 q_i	(5)=0.47 q_i	(6)=0.70 q_i	(7)=1.09 q_i	(8)=5.18 q_i	(9)=0.12 q_i	(10)=0.03 q_i	(11)=(4)+...+(10)	(12)	(13)	(14)=(11)+(12)+(13)	(15)
0		0	0							0	1.5	0	1.5	1.5
1	3.6	27.9	10	0						10	1.5	2.1	13.6	13.6
2	4.7	40.8	14.7	13.1	0					27.8	1.5	4.2	33.5	33.5
3	7.0	60.4	21.7	19.2	19.5	0				60.4	1.5	6.3	68.2	68.2
4	10.9	54.1	19.5	28.4	28.6	30.4	0			106.9	1.5	8.4	116.8	116.8
5	51.8	42.5	15.3	25.4	42.3	44.5	144.5	0		272	1.5	10.5	284	284
6	1.2	36.6	13.2	20	37.9	65.8	211.3	3.3	0	351.5	1.5	12.6	365.6	365.6
7	0.3	32.5	11.7	17.2	29.8	59	312.9	4.9	0.8	436.3	1.5	14.7	452.5	452.5
8		26.2	9.4	15.3	25.6	46.3	280.2	7.2	1.2	385.2	1.5	16.8	403.5	403.5
9		20.0	7.2	12.3	22.8	39.9	220.2	6.5	1.8	310.7	1.5	18.9	331.1	331.1
10		15.8	5.7	9.4	18.3	35.4	189.6	5.1	1.6	265.1	1.5	21.0	287.6	287.6
11		13.3	4.8	7.4	14	28.6	168.4	4.4	1.3	228.9	1.5	23.1	253.5	253.5
12		10.8	3.9	6.3	11.1	21.8	135.7	3.9	1.1	183.8	1.5	25.1	210.4	210.4
13		7.9	2.8	5.1	9.3	17.2	103.6	3.1	1	142.1	1.5	27.3	170.9	170.9
14		6.2	2.2	3.7	7.6	14.5	81.8	2.4	0.8	113	1.5	29.4	143.9	145.0
15		5.4	1.9	2.9	5.5	11.8	68.9	1.9	0.6	93.5	1.5	31.5	126.5	128.0
16		4.2	1.5	2.5	4.3	8.6	55.9	1.6	0.5	74.9	1.5	33.6	110.0	115.0
17		3.3	1.2	2	3.8	6.8	40.9	1.3	0.4	56.4	1.5	35.7	93.6	101.0
18		2.1	0.8	1.6	2.9	5.9	32.1	0.9	0.3	44.5	1.5	37.8	83.8	90.0
19		1.2	0.4	1	2.3	4.6	28	0.7	0.2	37.2	1.5	39.9	78.6	85.0
20		0.8	0.3	0.6	1.5	3.6	21.8	0.6	0.2	28.6	1.5	42.0	72.1	81.0
21		0.8	0.3	0.4	0.8	2.3	17.1	0.5	0.2	21.6	1.5	44.1	67.2	77.0
22		0.8	0.3	0.4	0.6	1.3	10.9	0.4	0.1	14	1.5	46.2	61.7	75.2
23		0.8	0.3	0.4	0.6	0.9	6.2	0.3	0.1	8.8	1.5	48.5	58.8	72.0
24		0.4	0.1	0.4	0.6	0.9	4.1	0.1	0.1	6.3	1.5	50.6	58.4	69.0
25		0.4	0.1	0.2	0.6	0.9	4.1	0.1	0	6	1.5	52.7	60.2	67.0
26		0.4	0.1	0.2	0.3	0.9	4.1	0.1	0	5.7	1.5	54.8	62	62.0
27		0.0	0	0.2	0.3	0.4	4.1	0.1	0	5.1	1.5	56.9	63.5	59.0
28				0	0.3	0.4	2.1	0.1	0	2.9	1.5	59	63.4	58.0
29					0	0.4	2.1	0	0	2.5	1.5	61.1	65.1	57.0
30						0	2.1	0	0	2.1	1.5	63.2	66.8	56.0
31							0	0	0	0	1.5	65.3	66.8	55.0
32								0	0	0	1.5	63.2	64.7	54.0
33									0	0	1.5	61.1	62.6	53.0
34											1.5	59	60.5	52.5

时间 t (h)	设计 净雨 深 R_i (mm)	1h 单位 线流量 q_i (m^3/s)	$R_1=3.6mm$ 地 表流量过程 Q'_{1-i} (m^3/s)	$R_2=4.7mm$ 地 表流量过程 Q'_{2-i} (m^3/s)	$R_3=7.0mm$ 地 表流量过程 Q'_{3-i} (m^3/s)	$R_4=10.9mm$ 地 表流量过程 Q'_{4-i} (m^3/s)	$R_5=51.8mm$ 地 表流量过程 Q'_{5-i} (m^3/s)	$R_6=1.2mm$ 地 表流量过程 Q'_{6-i} (m^3/s)	$R_7=0.3mm$ 地 表流量过程 Q'_{7-i} (m^3/s)	地表流量 过程 $\sum R_i$ (m^3/s)	基流 流量 $Q_{基}$ (m^3/s)	潜流流 量过程 $Q_{潜i}$ (m^3/s)	P=2%设计洪 水流量过程 Q_{pi} (m^3/s)	P=2%设计洪水 修匀流量过程 Q_{pi} (m^3/s)
35											1.5	56.9	58.4	51.5
36											1.5	54.8	56.3	51.0
37											1.5	52.7	54.2	50.0
38											1.5	50.6	52.1	49.0
39											1.5	48.5	50.0	48.0
40											1.5	46.2	47.7	47.7
41											1.5	44.1	45.6	45.6
42											1.5	42.0	43.5	43.5
43											1.5	39.9	41.4	41.4
44											1.5	37.8	39.3	39.3
45											1.5	35.7	37.2	37.2
46											1.5	33.6	35.1	35.1
47											1.5	31.5	33.0	33.0
48											1.5	29.4	30.9	30.9
49											1.5	27.3	28.8	28.8
50											1.5	25.1	26.6	26.6
												累积	5263	5263

表 (21)

洪峰流量 Q_m (m^3/s)	24 小时洪量 W_{24} (万 m^3)	48 小时洪量 W_{48} (万 m^3)
452.5	1441.2	1829.1

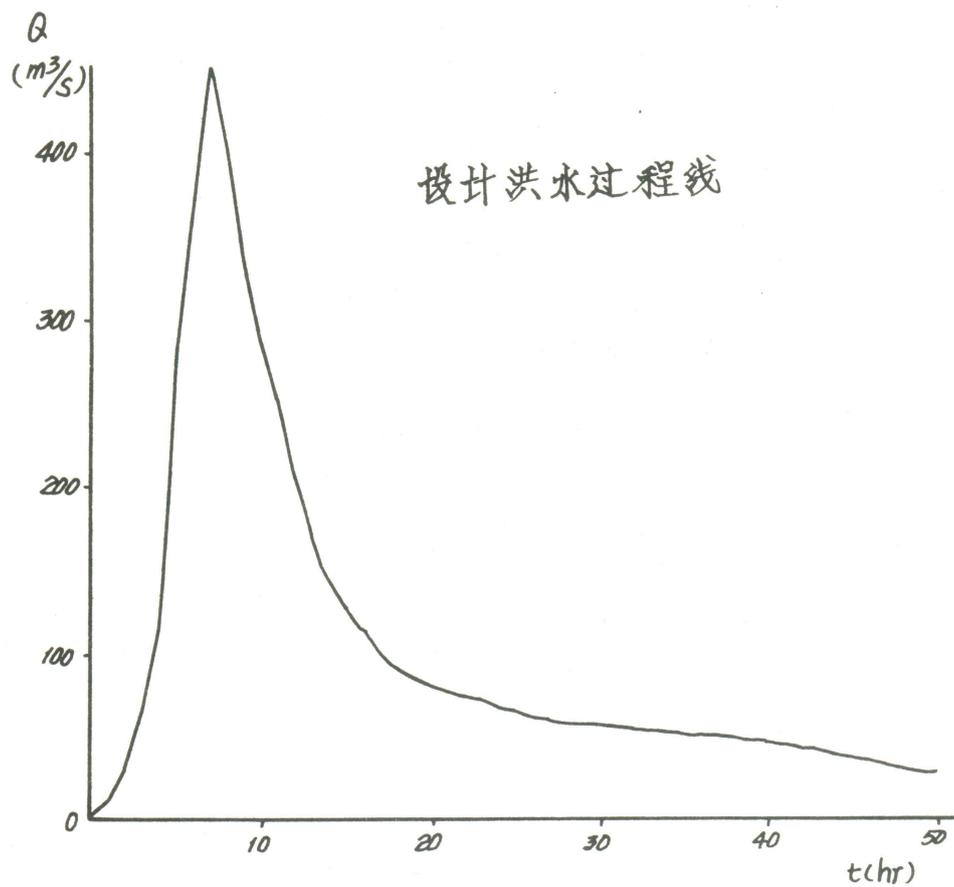


图 12 设计洪水过程线

编后语

暴雨洪水十分复杂，虽经多年的分析研究，取得现在的成果，并积累了一定的经验，但像参加工作的人员之多、工作历时之长，搜集资料之广泛，统一方法，全面、系统、深刻地对全省范围内从暴雨到产流、汇流进行分析研究，提出适合我省中小型水利水电工程设计洪水计算的一套比较完整的方法和成果，并经全国技术鉴定认可，直至目前还是第一次。图表能突出为设计服务，尽量考虑设计条件；还能与相邻省区的成果协调，基本消除了“边界矛盾”，并能对计算成果的合理性进行多方面论证，提高图表成果质量和可信度。有鉴于此，图表不仅服务于全省水利水电系统，还满足了交通、城建等部门洪水计算的需要。

基于暴雨洪水受各种自然因素（如地形等）和人类活动（如修建水库等）的影响和制约，根据雨量资料推算设计洪水的分析计算环节较多，并有经验性处理以至人为规定（如暴雨洪水同频率等），况且雨洪资料条件有限，致使图表的有些问题尚待进一步研究。主要有：1、云南是山区、边疆、民族省，暴雨洪水的地区性较强，雨洪资料不足（站点不多、分布不均、资料系列不长），图表尚难充分反映小面积、大山区、短历时、高雨强的雨洪特性，致使图表对我省的岩溶区，自然保护区，与老挝、缅甸、越南接壤的边境区未作专门分析或研究深度不够。

为使图表更臻完善，提高图表计算设计洪水的精度，使用时应注意：1、充分利用历史调查洪水和 1979 年以后的雨洪资料，对图表的两个外延进行分析论证；2、在水文站网调整中增设小河站，在岩溶区等特殊地区布设水文站，规划的中型工程设置专用站，建立、健全在建和已建的中型工程水文观测，增设自记雨量观测；3、中型工程初步设计应据长系列实测雨量资料进行设计暴雨计算，利用专用实测雨洪资料进行产流、汇流分析，对图表工程区的暴雨与产、汇流参数予以检验和完善；4、随着雨洪资料的增多和对雨洪规律认识的提高，将有必要对图表进行修正。

编者以使命感和责任心在不长的时间里完成了手册的编写。现在奉献给我省广大水利水电科技工作者，希望它能对水利水电建设工作，发挥拾遗补缺的作用。