

文章编号: 1006-4354 (2006) 06-0022-03

陕西夏季不同区域层状云系水分转换研究

陈保国¹, 栗珂², 何军¹, 郭强¹, 马振华¹, 刘方¹

(1. 陕西省人工影响天气办公室, 西安 710014; 2. 陕西省经济作物气象服务台, 西安 710014)

摘要: 根据 1980—1982 年夏季 (5—8 月) 陕西不同区域降水性层状云系 15 架次飞行探测资料, 用层状云水分循环系数计算方案, 对陕北、关中和陕南地区降水性层状云系的水分转换系数作了计算。讨论了 3 个区域降水性层状云系云水——雨水转化问题。初步得出, 陕北、关中和陕南 3 个区域降水性层状云系平均水分转换系数分别为 0.818、1.241 和 1.369。表明 3 个地区自然降水的发动和水分转换状况有着明显差异, 自北向南呈递增趋势。

关键词: 层状云系; 水分转换; 夏季

中图分类号: P426.5

文献标识码: A

大气探测事实表明, 中纬度地区层状云系降水过程多与锋面活动相联系^[1]。由于锋面附近气流辐合上升, 持续大范围的垂直运动, 加之层状云中水汽含量较高, 上升冷却凝结率较大, 所以降水效率也较高, 一般能产生稳定的持续性降水, 降水量较大。对锋面降水性层状云系水分转化和人工增雨问题, 早期人们以静止的观点看待云水转化为雨水。仅是云中液态水降落下来的雨量是微乎其微的。例如 R. Wexler^[2]根据这种观点得出锋面层状云系人工增雨效益不大的结论。其实在持续降水的层状云系中, 云水转化为雨水不是静止的。Elliott^[3], P. V. Hobbs 和 Thomas J. Mate 把层状云天气系统看成云水转化成雨水的一部“造雨机器”, 讨论了降水性层状云系的水分转化、循环和降水效率问题。栗珂^[4]首次根据层状云水分循环的物理过程, 提出了降水性层状云水分转

换系数 (Water circulation coefficient) 计算方案, 并对宁夏、陕西和吉林出现的一次大范围冷锋层状云系的水分转换和增雨潜力做了分析讨论。

根据陕西 20 世纪 80 年代夏季 (5—8 月) 获取的全省不同区域降水性层状云系飞机探测资料, 通过计算各区域层状云系的水分转换系数, 分析讨论全省不同区域层状云系水分转换的特征和差异。

1 资料收集

1980—1982 年, 飞行探测中, 取得了降水性层状云天气、地面雨量、云物理宏观和微观大量的资料。共飞行探测 60 多架次, 选取了夏季 (5—8 月) 不同区域有代表性比较完整的 22 架次资料样本。陕西 3 个地区层状云系探测基本资料见表 1。表中 h_c 、 h_s 、 ΔH 、 h_0 和 \bar{Q} 分别为平均云底高度、云顶高度、云厚、0 °C 层高度和云内平均含水量。

表 1 陕西 1980—1982 年夏季 (5—8 月) 层状云系云物理基本参数

区域	探测区	月份	架次	云型	h_c/m	h_s/m	$\Delta H/m$	h_0/m	$\bar{Q}/(g/m^3)$
陕北	榆林	6—7	4	Ci As Sc	2 305	4 343	2 287	3 123	0.20
关中	西安	5—8	13	Ac As Sc Ns Fn	1 219	5 258	4 045	4 605	0.22
陕南	汉中	6—7	5	Ns Fn As Sc	1 046	5 354	4 308	4 980	0.36

收稿日期: 2006-08-07

基金项目: 国家科技部“西部开发科技行动”重大攻关项目 (2001BA901A41)

作者简介: 陈保国 (1955—), 男, 陕西华县人, 高级工程师, 主要从事人工增雨、防雹研究。

在飞行探测中,主要的探测仪器有机载 TPM-1 型云滴谱仪、TPZ-2 型含水量仪和机载雨滴谱锡箔取样器等。其中含水量探测方法为滤纸色斑法。云含水量计算表达式为 $\bar{Q}=2.3669 ab/U t$ (g/m^3), 式中 a 、 b 分别为斑痕长、短轴直径, U 为飞行空速, t 为取样暴露时间。含水量观测资料经与吉林、新疆、宁夏等省相比较, 资料具有较高的合理性和可靠性。因而用云含水量计算层状云系云内可能降水量。

2 降水性层状云水分转换系数的计算

为了研究降水性层状云系水分转换状况, 引入文献 [5] 的计算方案。

2.1 云体内最大可能降水量的计算

假设层状云系整体为一圆柱体, 其横截面半径为 R_s , 云体垂直厚度为 ΔH , 云体内各层平均含水量为 \bar{Q}_i , n 为飞行探测的层数, ρ 为雨水密度, $i=1, 2, \dots, n$, 则云体内液态水总质量为:

$$W = \iiint_v Q(x, y, z) dv = R_s^2 \pi \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{Q}_i \quad (1)$$

假定不计上升气流及湍流扩散, 这些水分完全下降到地面, 而地面上测得 1 mm 降水量的质量为

$$m = R_s^2 \pi \rho \quad (2)$$

由式 (1)、(2) 可得层状云系最大可能降水量

$$R_{\max} = w/m = \frac{R_s^2 \pi \Delta H \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{Q}_i}{R_s^2 \pi \rho} = \frac{1}{\rho} \Delta H \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{Q}_i \quad (3)$$

式 (3) 为在假定条件下, 即降水性层状云最大可能降水量的计算式。

2.2 探测时间内地面实测雨量

在飞行探测时间内, 地面逐时雨强为 I_j , j 为历时序号, 则探测时间内地面总的实测量为

$$R = \int_0^m I(t) dt = \sum_{j=1}^m I_j \quad (4)$$

式中, m 为 I_j 的资料份数。

2.3 探测时间内层状云整体水分转换系数的计算

根据降水性层状云系水分转换的物理意义, 由式 (3)、(4) 可得

$$\eta = \sum_{j=1}^m I_j / \left(\frac{1}{\rho} \Delta H \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{Q}_i \right)$$

取 $\rho=1.00 \text{ g}/\text{cm}^3$, ΔH 单位 m , \bar{Q}_i 单位 g/m^3 , R_{\max} 单位 mm , 则降水性层状云水分循环系数

$$\eta = 1.00 \times 10^3 \sum_{j=1}^m I_j / \left(\Delta H \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{Q}_i \right) \quad (5)$$

式 (5) 即水分转换系数实用计算式。

方案仅用飞行探测资料和地面雨量资料即可进行水分转换系数计算, 但只能计算云体内液态含水量区整体的水分转换系数。

3 水分转换状况

根据陕西夏季 (5—8 月) 在陕北、关中和陕南取得的 15 架次飞行探测资料, 用公式 (5) 对 3 个地区层状云系个例进行计算, 并对层状云系水分转换状况和人工增雨潜力分析讨论。

3.1 水分转换系数计算结果

3.1.1 陕北地区 1980 年 6—7 月在陕北地区飞行探测 4 架次, 这 4 次层状云系降水过程, 主要影响系统为低槽冷锋型。探测区的云型主要为 Ci—As—Sc 或 Ac、As—Sc。云层厚度为 1 340~3 050 m, 平均为 2 287 m, 云内含水量为 0.16~0.27 g/m^3 , 平均为 0.20 g/m^3 , 探测时间内的降水量为 0.2~0.6 mm。由于影响层状云系降水过程的天气系统和云物理参数的差异, 使得云内含水量和地面雨量各不相同。夏季 (6—7 月) 层状云系水分转换系数计算结果为 0.575~1.105, 平均值为 0.818。

3.1.2 关中地区 1980—1981 年夏季 (5—8 月) 在关中地区探测飞行 13 架次, 选出 6 架次比较完整的资料进行分析。这 6 架次探测均为降水性层状云系。主要影响系统为西风槽—冷锋等。探测区的云型主要是 As—Sc 或 Ns—Fn。云层厚度为 2 720~4 630 m, 平均为 4 112 m。云内平均液态含水量为 0.14~0.26 g/m^3 , 平均含水量为 0.20 g/m^3 。各架次探测时间内地面降水量为 0.4~1.5 mm。夏季 (5—8 月) 降水性层状云系水分转换系数计算结果为 0.823~1.716, 平均值为 1.241。

3.1.3 陕南地区 1982 年夏季 (6—7 月) 在陕南汉中盆地探测飞行 5 架次, 属降水性层状云系天气过程。主要影响系统是低槽、冷锋和低压系统。探测区的主要云型为 As—Sc—Fn 和 Ns—Sc

—Fn。云层厚度为 3 520~4 980 m, 平均为 4 308 m, 云内平均液态含水量为 $0.20\sim 0.53\text{ g/m}^3$, 平均值为 0.36 g/m^3 。各个过程天气、云体、云物理条件和地面雨量均不相同。水分转换系数计算结果为 1.15~1.707, 平均值为 1.369。

3.2 不同区域层状云系水分转换状况分析

3.2.1 层状云系水分转换状况 据 3 个地区降水性层状云水分转换系数计算结果, 可看出 3 个地区降水性层状云系水分转换系数存在着差异。水分转换系数 $\eta > 1.0$ 表明云内水分在转换。它反映了降水性层状云系自然降水发动情况和云水——雨水的转化情况, 即水分循环状况在 3 个地区各不相同。因此, 可以认为在夏季 (5—8 月), 陕北 (榆林) 地区降水性层状云系水分转换 ($\eta < 1.0$) 不够充分, 关中 (西安) 地区 ($\eta > 1.2$) 较陕北充分但不如陕南。陕南 (汉中) 地区 ($\eta > 1.3$) 较关中水分转换更充分一些。

3.2.2 水分转换状况差异的原因分析 3 个地区水分转换状况存在着较大的差异, 原因可以通过对不同的云体条件、云水资源、气候背景和自然环境差别的分析得到解释。公式 (5) 在忽略其他物理过程的情况下, η 与云层的厚度 ΔH 、云中液态平均含水量 \bar{Q} 及探测时段内的地面雨量 $\sum I_j$ 有着密切的关系。显然, 这些物理因子与云体条件、云水资源、气候条件和自然环境有关。

从云体资源分析 (见表 1), 陕北地区夏季层状云云底较高, 云顶较低, 云层厚度较薄; 陕南地区云底低, 云顶高, 云层厚度厚。与云体条件的差异, 决定了云内可能降水量的差异, 造成地面降水量的差异, 影响到层状云系的水分转换状况。

从云水资源来分析 (见表 1), 陕北地区云内液态含水量较小; 陕南地区较大。云水资源的差异, 必然影响到云体的水分转化和循环。

从气候背景和自然环境分析, 陕北属寒冷半干旱气候区, 关中属温和、半湿润气候区, 陕南属温暖湿润气候区。从自然环境看, 榆林属长城沿线风沙区, 西安为关中平原地带, 汉中属中高

山区盆地。自然环境对层状云系的发展所提供的热力和动力作用差异悬殊。既使受同一天气系统影响, 在 3 个地区层状云系的上升运动、发展规模、云水含量、降水的形成等各不相同。气候条件的差异, 直接影响层状云系的水资源和降水强度。气候干燥或湿润对大气湿度和蒸发力影响较大。气候干燥的地区水分蒸发力大, 云液态含水量就较低, 层状云水分转换就不充分。相反, 气候湿润的地区, 水分转换充分。另外, 同样的降水元离开云体进入干燥的大气环境中, 由于较强的蒸发使得降水强度削弱, 地面雨量减小; 相反, 在湿润的大气环境中地面雨量偏大。

4 结论与讨论

4.1 引用的层状云水分转换系数计算方案是以动态循环的观点来研究降水性层状云系的云水转化问题, 物理意义明确, 计算方法简便。

4.2 陕北、关中和陕南 3 个探测区层状云水分转换系数分别为 0.818、1.241 和 1.369。从自然降水角度看, 陕南水分转换较强, 关中次之, 陕北较弱。

4.3 由于云体条件、云水资源、气候背景和自然环境不同, 层状云系自然降水的发动和水分转换状况有着明显的差异。

4.4 计算方案仅用飞机探测、地面观测等常规资料, 对降水性层状云的水分转换系数计算。未考虑上升运动和湍流扩散的影响, 即把云体视为封闭系统, 但实际上云体为非封闭系统。

参考文献:

- [1] 栗珂. 锋面层状云系的天气特征 [G]//汪学林, 金德镇. 云雨物理论文集. 北京: 中国科学技术出版社, 1987: 10-18.
- [2] 北京大学地球物理系. 云物理学 [M]. 北京: 北京大学出版社, 1979: 25-26.
- [3] Elliott R D. California Strom Characteristics and Weather [J]. Modification of Metvolis. 1958, 6 (12): 20-24.
- [4] 栗珂. 降水性层状云水分循环的研究 [J]. 大气科学研究与应用, 2001, 3 (1): 15-19.