

# 中国地区云的气候特征分析<sup>\*</sup>

刘洪利 朱文琴 宜树华 李维亮 陈隆勋 白立杰

(中国气象科学研究院,北京,100081)

## 摘 要

文中对比分析了国际卫星云气候计划 (ISCCP) 的 D2 资料和地面测站云资料,发现二者总云量的整体分布和气候变化都比较一致,但定量上略有差别,尤其是中国北方地区差别较大。ISCCP 资料比较齐全,尤其在站点稀少的高原、荒漠地区比其他云资料更有优势。文中分析了中国云的气候特征,发现在华北地区和南海北部的总云量有减少的趋势;四川盆地、长江三角洲等地区存在低云量异常减少的现象;而在天山、帕米尔高原、柴达木盆地、横断山脉等地区存在低云量增加的趋势。文中特别指出西北山区常年维持着的相对稳定的多云带,云层深厚、含水量大,有利于进行进行人工增雨作业。

关键词:中国地区,云,ISCCP,低云量减少。

## 1 引言

云是人们常见的一个重要天气现象。长期以来,对云的研究,尤其是云的气候特征的研究,开展得还不够深入,主要原因是云本身的多样性,不稳定性以及观测方法的局限性。随着卫星技术的发展,人类在云观测的技术上取得了长足进步。国际卫星云气候计划 (International Satellite Cloud Climatology Project, 简称 ISCCP)<sup>[1~3]</sup>自 1983 年开始实施以来,得到了比较系统的云气候资料。这些资料为我们全面了解云的时空分布特征,研究云的辐射效应、水循环状况提供了可参考的观测事实。

然而,卫星云资料是通过卫星测量(如可见光 (VIS)、红外 (IR) 通道辐射率)再经过云识别过程、辐射分析、统计平均后处理得到的,因此其反演方法的优劣直接影响到资料的可靠性,为此,有必要通过其他云资料加以验证。Rossow 等<sup>[4]</sup>用其他资料与 ISCCP 资料进行了对比研究,得到的结论是 ISCCP 资料的云量与其他云资料吻合得比较好,全球偏差在 4% 左右。魏丽等<sup>[5]</sup>对中国大陆上 ISCCP C2 和地面资料中 1983 年 7 月、1984 年 1 月的云量进行了对比,得到的结论是二者月平均总云量的分布形势相当一致,但 ISCCP C2 的资料云量普遍偏低。

翁笃鸣等<sup>[6]</sup>也对比了 1984~1988 年 207 个地面站和 ISCCP 两种资料中总云量的关系,也得到了类似的结论,并指出地面资料的优势是较真实地反映了局地云的性质,而 ISCCP 资料更适合于揭示大范围地区的云气候特征。特别是翁笃鸣提到了在天山和昆仑山北坡全年存在一稳定的相对多云带。ISCCP D2 在 C2 的基础上,改变了云的反演方法,使卷云的反演效果得到了一定的改善。上述文献中所用的资料时段都比较短,站点数目也较少,为此,我们收集了 1983 年 7 月至 1993 年 12 月的中国大陆地区 600 多个站的月平均云量资料、ISCCP D2 资料与地面常规观测,希望进一步检验中国大陆上 ISCCP D2 资料与其他云资料的差别,并给出较详细的中国大陆上云时空分布的特征。

## 2 资料简介

### 2.1 地面测站云资料

我们收集了中国 600 多个测站的月平均云量资料,包括总云量和低云量(单位:云覆盖天空的百分率),时间为 1983 年 7 月~1993 年 12 月。

这里要注意的一点是,地面观测到的云量不是云体实际面积与天空面积的比例,而是指云遮蔽天空视野的成数(云覆盖天空的百分率),其物理意义

\* 初稿时间:2002 年 1 月 5 日,修改稿时间:2003 年 4 月 12 日。

资助课题:国家自然科学基金重大项目(49899270)和 863 项目(2002AA135360)。

是“视云量”,也就是云在观测者“视角”中占的比例。因此,地面观测的云量与卫星资料、数值模式资料中的云量具有不同的物理意义。另外,由于这种资料是目测的结果,所以,对低云的描述更好一些,但可能低估很薄的高云云量。“视云量”和云覆盖率的转换关系比较复杂,取决于云高、云厚、云状、云的空间分布、有效观测角度等条件。如果要比较准确地得到二者的转换关系,一条可行的方案是进行长期的对比观测,即:在通常云量观测外,还要观测天顶附近的云量、云状,再经过统计分析,得到二者之间的转换关系。不过,如果我们应用地面云量的气候平均值(如月平均值),其数值在两种意义上差别就不大了<sup>[7]</sup>。

## 2.2 ISCCP D2 卫星云气候资料

该资料是 1983 年 7 月~1993 年 12 月全球业务卫星系统的辐射率测量值,经过云识别,辐射分析和统计计算后生成的  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  分辨率的月平均云气候资料。产品包括云量(云覆盖面积的百分率)、云顶气压、云顶温度、光学厚度、水汽总含量等。ISCCP 资料中的云是按照云顶气压和光学厚度进行分类的。云顶气压在 680 hPa 以下为低云;680~440 hPa 为中云;在 440 hPa 以上为高云。这与台站从地面观测,以云底高度将云分成高、中、低的方法有所不同。卫星探测云资料的一个优点是资料范围覆盖全球,并能提供云的多种物理信息,这对缺少地面站的地区更是可贵。卫星云资料误差主要来自云识别的技术缺陷,尤其是当地面有积雪时,目前的技术还不能很好地区分云和积雪,这会在一定程度上影响中国北方地区冬季的云量探测。

## 2.3 两种云资料的对比

图 1 给出了中国大陆 5 个地区两种资料的总云量年际变化和季节变化。在年际变化图上,各地区两种资料的变化趋势都基本一致,其相关系数都在 0.90 以上,通过了 0.01 的信度检验。但值得注意的是,在华南、长江流域,ISCCP 和地面观测值很接近,并且二者的总云量的年际变化趋势好于季节变化趋势。在北方地区(华北、东北、西北),ISCCP 总云量比地面测站总云量要高约 10%。从月际变化上可以看到,两种资料的月际变化趋势也比较符合,相关系数也都在 0.90 以上,通过了 0.01 的信度相关检验。其中二者的偏差主要发生在冬季,尤其是北方的冬季,ISCCP 云量要高约 10%。

图 2 给出了二者总云量的差与 ISCCP 云光学

厚度的分布。可以看到,南方地区云的光学厚度很大(一般在 5~9 左右),即云量很大,并且云层很厚,这时两种资料的差别很小,局部地区测站资料还要大一些。而北方地区,云的光学厚度较小(在 2.5 以下),即云量少,并且云层也薄,这时,卫星探测技术的优势比较明显,可以探测到很薄的云,而这在地面观测中往往易被忽略(尤其是夜间观测)。这是北方地区 ISCCP 总云量比地面观测结果大的主要原因。从图 2 还可以看到,同样在中国北方地区,ISCCP C2 资料总云量与地面测站资料相差不大<sup>[3]</sup>,而 D2 资料比 C2 资料的域值提高了,可以更精确地分辨薄云,这也从另一个方面证实了对薄云的精确探测是 ISCCP D2 比测站总云量高的一个原因。因此,在这个意义上讲 ISCCP 资料要准确一些。当然,另一方面,冬季积雪可能会在一定程度上影响卫星探测的精度,也可以使探测到的云量变大,这是卫星资料不足的一个方面。

从上面的分析可以看到,两种资料中云量分布形势吻合得很好,但定量的差别还比较显著,尤其是中国北方地区差别较大。总体来说,地面测站云资料的优点是对局地云量的描述可信度较高,对低云量的描述比较合理;而卫星云资料的优点是资料全面,代表地域广泛,但对云的分层描述——尤其是对低云的描述可能不太理想。这些都说明对云的观测技术还不完善,但综合各种资料,互补有无,可以让我们更好地认识云的各种特征。

## 3 中国地区云量的气候特征

### 3.1 多年平均总云量分布

图 3(见彩页)给出了 ISCCP D2 资料和地面测站资料中的多年平均总云量。从年平均情况看,中国总云量的分布形势是南多北少。东海、黄海海域和长江以南地区的云量都很多,在 65% (地面资料 60%) 以上。另外值得注意的一个特点是青藏高原的东西侧都是云量高值中心,即帕米尔高原地区和中国西南的川、云、贵地区,另外在雅鲁藏布江大拐弯处也有一个云量高值中心,这些地区年平均总云量都在 70% 以上。这 3 个中心的形成是和高原的动力作用相关的,其中帕米尔高原、雅鲁藏布江大拐弯处处于迎风面,西来气流在这里爬坡上升成云;而高原东侧的川、云、贵地区是西南气流和西北气流的交汇区,容易形成西南低涡系统,导致该地中、低层的层状云很多。在中国北方大部分地区云量较少,

一般在60%以下,这里一个主要的特点是,在西北地区,总云量的分布形势与地形吻合得很好:沿着天山-昆仑山-祁连山一线是云量的高值区(可参照

图中的3000 m地形等高线,文献[6]中还证明了那个相对多云带是常年稳定的),云量大约都是60%~70%(地面资料大约是45%~55%);沿塔里木盆

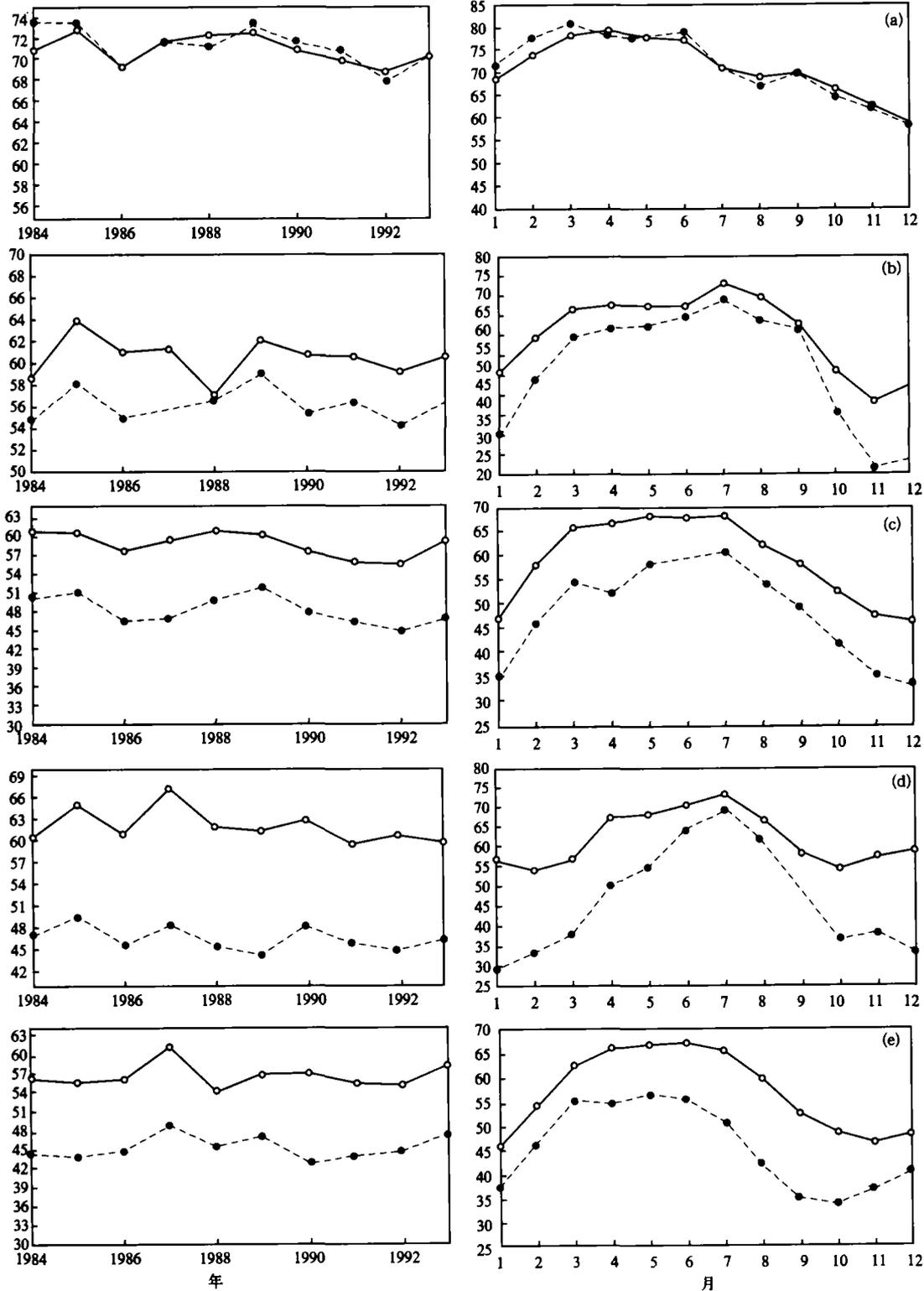


图1 总云量的年际变化(左)和季节变化(右)

(a. 华南及长江流域, b. 青藏高原, c. 华北, d. 东北, e. 西北;  
实线: ISCCP D2 资料, 虚线: 地面资料; 云量单位: 覆盖百分率)

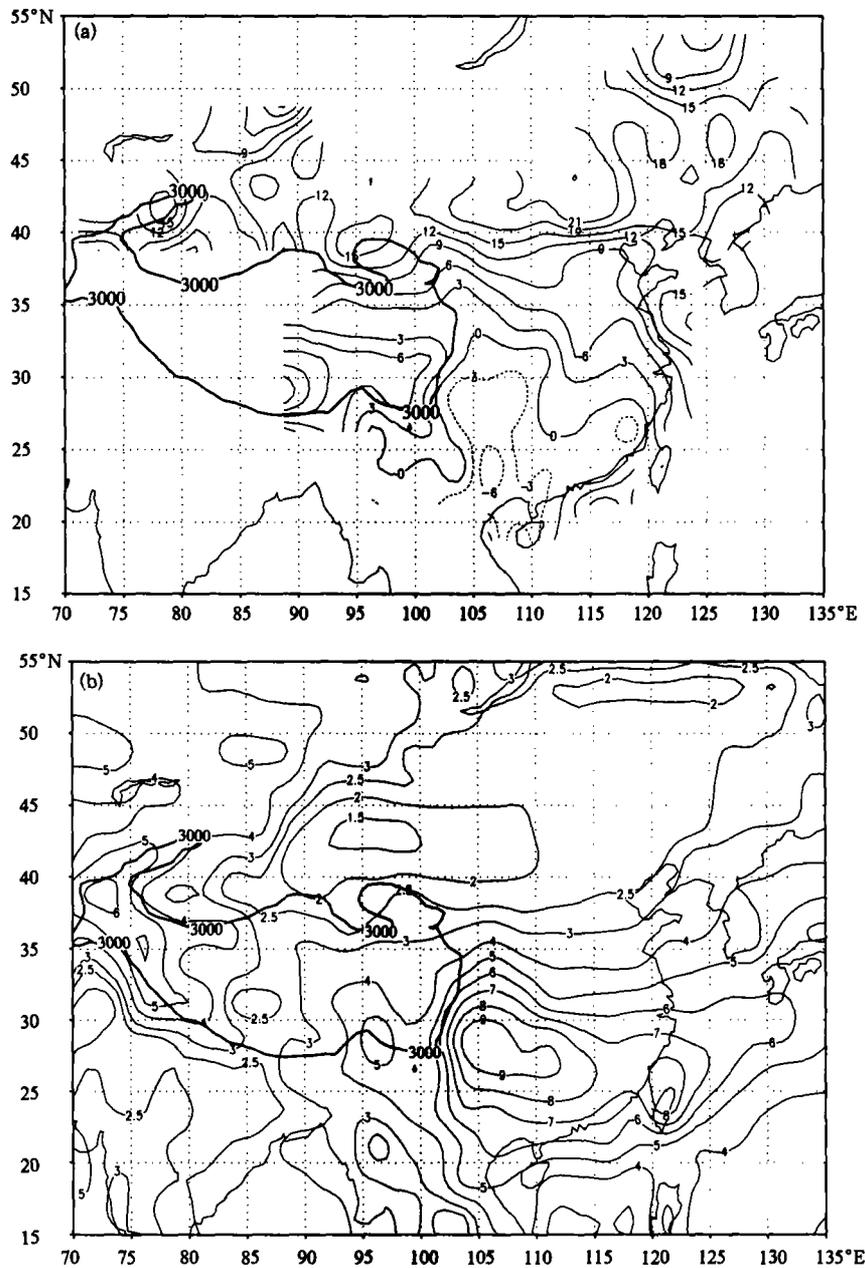


图2 卫星资料和地面资料的对比分析

(a. ISCCP D2 总云量与地面资料总云量的差, b. ISCCP D2 资料多年平均光学厚度)

地-内蒙西部戈壁沙漠-黄土高原西北部一带是云量的低值区,云量为50%~55%(地面资料大约是35%~45%)。总体来看,高值区比临近地区的云量高10%左右。另外,东北的情况也是这样:平原地区的云量相对较少,而大兴安岭、长白山等高山地带,则是一个相对的多云区。

### 3.2 低云分布特征

因为ISCCP资料的云量是按云顶气压分类的,其低云与通常意义上的低云并不一致,因此这里以地面资料中的低云来讨论。图4(见彩页)给出了地

面资料中低云和总云量的分布。可以看到,低云的分布形势及季节变化都和总云量十分一致。在西南及青藏高原东南地区,是低云量最大的地区,年平均在50%以上,其中春季最大,可达到70%以上,相当于总云量的80%左右。在华南及长江中下游地区低云量也很多,尤其是春季,低云量也有50%~70%。北方地区的低云量少得多了,尤其是塔里木盆地-甘肃北部-内蒙西部地区,是中国低云最少的地区,如在冬季,低云量基本上在5%以下;春、夏、秋季也大都在15%以下。但是要看到的是,在

天山、阿尔泰山、祁连山、长白山、大兴安岭等北方的高大山区,低云量还是不少的,可以比同纬度的高原、平原地区高出 10%~20%,一般夏季都能达到 25%以上,东北山区更可达 40%~60%。

### 3.3 总云量和低云量的年际变率

图 5(见彩页)是 1984~1993 年的地面测站总云量和低云量的年际变率。从总云量变化图中可见,在华北地区和海南省一带,总云量是减少的,减少的中心分别位于山东半岛和海南岛南部,幅度可达到每年 1%,也就是说这 10 a 来总云量大约减少了 1 成。此外,在横断山脉和昆仑山脉中段,总云量略有增加的趋势。ISCCP 资料显示的总云量年际变率也类似(图略),只是幅度略小一点。从低云量变化图中可以看到,这 10 a 来,存在 4 个低云量增加的区域,分别是天山、帕米尔高原、柴达木盆地和横断山脉附近,增加幅度大约是每年 0.6%~1%。另外还存在 4 个低云量减少的区域:四川盆地、长江三角洲、雅鲁藏布江大拐弯处和广东省北部。其中以四川盆地的低云量减少最为显著,10 a 累计低云量也减少了 1 成以上。这里选取了成都站的资料进行分析(见图 6),发现该地在历史上存在着一种时间尺度大约为 10 a 的低云量减少现象。1975~1986 年该地的总云量没有异常变化,但月平均低云量却从 60%锐减到 20%,降幅约 2/3。1986~1991 年低云量略有上升,但 1991~1995 年,低云量又有大幅度的减少,从约 30%减到 10%。分析四川盆地其他几个站点(图略)的情况,发现在盆地中间的站点都不同程度地存在这种低云量异常减少的气候事件;但在盆地边缘山区的站点,低云这种变化信号很弱,

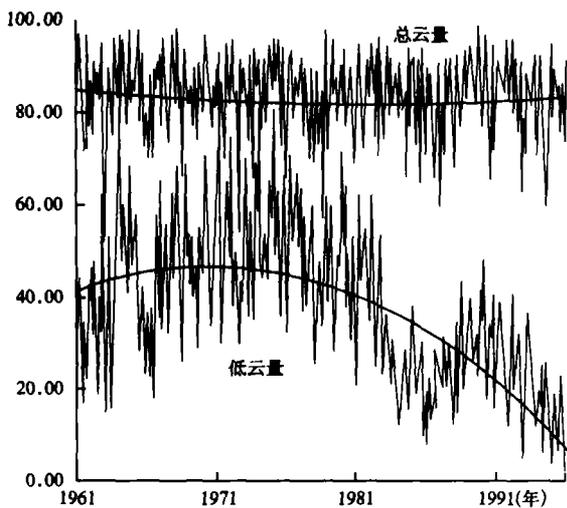


图 6 成都站的总云量和低云量的年际变化

或者没有出现异常年际变化。造成这种现象的原因目前还难以判断,可能是一种该地特殊地形下的气候正常变化,也可能是气溶胶等因素造成的影响,但这都需要进一步的分析来证实。

## 4 云的一些物理特征的分析

云量只能对云面积的大小进行表述,而不能表述云的厚度、含水量等其他特征,ISCCP 云状的分类方式与常规观测不一致,因此这里只把 ISCCP 的云状作为参考,重点分析云的厚度、水汽总含量、云顶温度、云顶气压等物理特征,以期对云的三维分布及特性有较系统的了解,重点在夏季和冬季。

### 4.1 夏季

图 7 给出了夏季的光学厚度、水汽总含量的分布,可以看到,光学厚度、水汽总含量的分布形势十分一致,并且与总云量分布很相近,既云量大的地方同时云层也很厚、含水量大。从图中可以明显地看到,中国西南地区、孟加拉湾是夏季云层最厚的地方,但是对比云顶气压和云顶温度来看(图略),二者还是有一定差别的,中国西南地区的云层比较低,尽管当地的海拔高度有 2~3 km,但云顶只在 500~400 hPa(约 6~8 km),因此可知是以中低层状云为主,这与前面分析的低云特征也是一致的;在孟加拉湾地区,云顶却比中国西南地区高得多,在 400 hPa 高度以上,因此可以推断其原因是当地的对流活动强烈,水汽在高空凝结,会有很多深厚的对流云以及卷层云、卷云。ISCCP 的云状分析(图略)也基本证实了这两点。夏季另一个明显特征是中国东南沿海地区云顶高度分布与海岸线的走向十分一致,陆面的云顶比海面的云顶高一些,云顶温度低一些,海陆差异很明显。此外中国西部塔里木盆地、黄土高原等地云顶很低,云层很薄,而青藏高原、高山地区云顶很高,云顶温度多在  $-20^{\circ}\text{C}$  以下。

### 4.2 冬季

从图 8 看到,冬季云光学厚度和水汽含量的分布还是一致的,主要特征是大值区分布于从东部海域经过华东、华南、西南、青藏高原直到西部帕米尔高一带,而中国北方地区的云层较薄。在云顶高度上(图略),主要特征是有总体形势是从东南沿海向西北内陆,云顶逐渐升高,在海岸线附近有很大的梯度,如东南沿海最低,约在 700 hPa 附近,而长江一线及华北东部、辽东半岛升到 450 hPa 高度,云顶温度也由  $10^{\circ}\text{C}$  逐渐降低到  $-25^{\circ}\text{C}$ 。在青藏高原和西

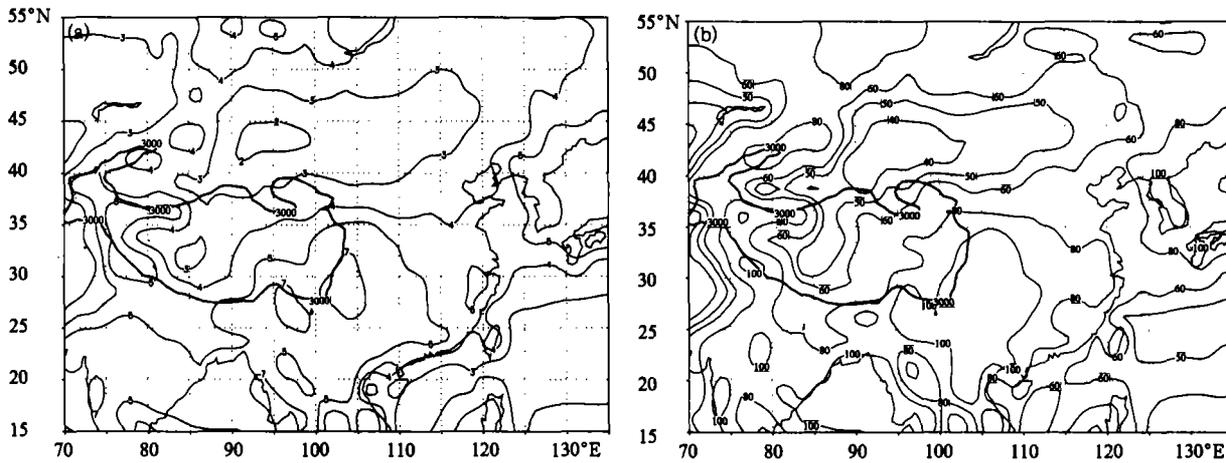


图 7 ISCCP 资料多年平均夏季云光学厚度(a)和水汽含量(b)

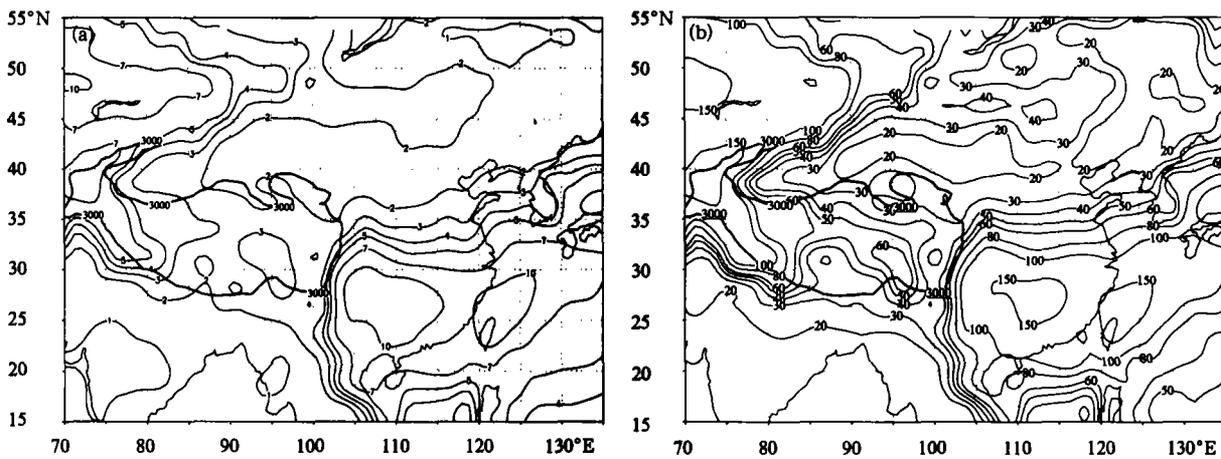


图 8 ISCCP 资料多年平均冬季云光学厚度(a)和水汽含量(b)

北山区,云顶温度更低,一般在 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下。

由于地形的影响,青藏高原和西北山区本身的海拔很高,平均在 $3\sim 4\text{ km}$ 以上,大气层比平原地区薄得多,因此其云的厚度、含水量是不应该与平原地区等量相比的。但是从图 5,8 中看到,这些高山高原的水汽含量却很高,云层很厚,因此,这些地区蕴藏的水汽资源是很丰富的。青藏高原的云特征已经有一些学者做过详细的研究<sup>[8]</sup>,因此下面重点分析西北地区的云特征。

### 5 中国西北地区云的特征

由于地理因素的影响,西北地区是典型的干旱和半干旱地区,降水稀少,水资源十分短缺<sup>[9~11]</sup>,并且降水集中在夏季,春旱严重<sup>[12]</sup>,这些因素严重制约着该地区社会经济建设与生态建设的发展。因此开发水资源,缓解西北地区水资源紧张的现状,对中国西部大开发来说是十分重要的。开发水资源的一

个重要途径就是开展人工增雨作业,增加该地区的降水量,使空中的水资源得到充分的利用,这就要求我们对西北地区的云状况有一个比较系统的了解。

虽然西北地区整体上是云量少、云层薄,但文献<sup>[6]</sup>中提到了昆仑山、天山存在一个相对多云带,且有常年稳定的特征。从图 3 和 4 中可以看到,不止是天山、昆仑山,而且在天山-帕米尔高原-昆仑山-祁连山等西北高山地区都常年维持着一个多云量地带。西北的旱灾主要发生在农牧业需要大量供水的 $4\sim 6$ 月,而西北山区这种多云特征恰好是在 $4\sim 6$ 月最显著:总云量能高达 $65\%\sim 75\%$ (地面资料是 $50\%\sim 60\%$ ),低云量也能达到 $25\%\sim 40\%$ (地面资料,包括天山、祁连山,图略),都高于华北地区。因为西北的总云量中不降水的卷云、卷层云比例很大,因此,把 3 类云层较厚的层云、雨层云、深对流云的合成云量提取出来,绘制了西北 5 个典型地区这种合成云量的变化曲线(图 9)。从图中可以看到,这

些厚云在天山、昆仑山、祁连山这些山区,厚云云量比较大,3种云的总量在春季大约是15%,夏季大约是20%,比周围地区高1倍左右。另外,厚云云量的季节变化特征鲜明,夏季云量远大于其他季节,这也和当地降水集中在夏季的现象是一致的。

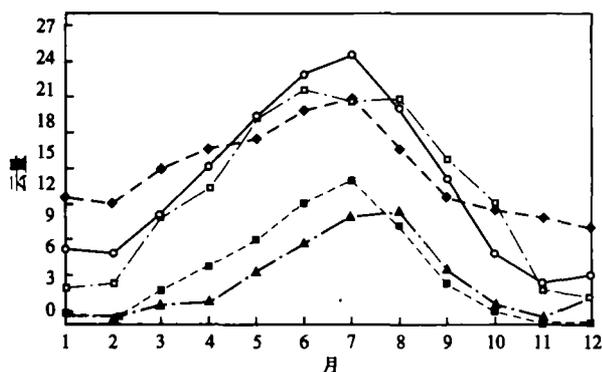


图9 西北地区5个典型地区深厚类云层云量的变化  
(—○— 昆仑山, —◆— 天山, —□— 祁连山,  
—■— 塔里木盆地, —▲— 黄土高原)

图10(见彩页)中给出了西北容易发生旱灾的4~6月的多年平均水汽含量分布(a)和云层深厚的3种云合成的水汽含量分布(b)。从图中可以清晰地看到,虽然山区海拔高,但其水汽总含量比周围地势较低的高原、盆地地区大得多,甚至比华北地区的云水含量还高。在图10a上,虽然在昆仑山东段不是很大( $50\sim 60\text{ g/m}^3$ ),但其他山区的一般在 $60\sim 100\text{ g/m}^3$ ,而塔里木盆地、内蒙西部、黄土高原西北部一带的水汽含量多在 $40\text{ g/m}^3$ 以下。对比图10a,b可以看出,3类深厚云层的含水量占了总含水量的绝大部分,尤其以山区最为明显,天山地区在 $50\sim 60\text{ g/m}^3$ 左右,昆仑山、祁连山地区也有 $30\sim 60\text{ g/m}^3$ ,大约占总含水量的一半以上。

对比临近的塔里木盆地、内蒙西部戈壁来看,造成西北山区云量多、含水量大的现象,最直接的原因是气流遇到高山阻挡,抬升凝结成云,在高山地带形成相对稳定的多云区。这些都说明了西北山区的水汽资源还比较丰富,存在开发利用的可能。有研究表明,对地形云进行人工增雨是可行的<sup>[13,14]</sup>,尤其是针对温度很低的云运用冷云催化技术进行人工增雨,更是有效的。因此,这对进行人工降水,解决西北水资源方面是很有意义的。

## 6 结论与讨论

从上面的分析可以看到,目前对云的探测技术还不完美,在一些地区,地面观测资料和卫星探测资料还存在一定的偏差。但从目前的云资料分析中,也可以得出以下一些结论:

(1) 中国云量分布的总体形势是南多北少,云的厚度、含水量也是南多北少,而且,南方低云量远远高于北方。西南地区是中国云量最高、云层最厚的地区,而西北的塔里木盆地、内蒙中西部是云量最少、云层最薄的地方。

(2) 1984~1993年的地面观测云资料显示,在华北地区和海南省一带,总云量有很明显的减少趋势,而在四川盆地等几个地区,有低云量异常减少的现象,但造成这种变化的原因还不清楚。同时,在天山和青藏高原周围的几个地区,低云量有很明显的增加趋势。

(3) 中国西北地区,总体上是云量少,云层薄,但是在天山、昆仑山、祁连山等高山区,总云量要比周围地区多10%左右,夏季低云量比周围多20%~25%,云的厚度和含水量也都高于同纬度的华北地区,空中水汽资源比较充沛,如果能有效地开发利用,可以在一定程度上缓解西北地区的水资源紧张状况。

## 参考文献

- Rossow W B, Robert A, Schiffer. ISCCP cloud data products. Bull Amer Meteor Sci, 1991, 72:12~20
- Rossow W B, Garder L C. Cloud detection using satellite measurements of infrared and visible radiances for ISCCP. J Climate, 1993, 6: 2341~2369
- Rossow W B, Garder L C. Validation of ISCCP cloud detections. J Climate, 1993, 6:2370~2393
- Rossow W B, Walker A W, Garder L C. Comparison of ISCCP and other cloud amounts. J Climate, 1993, 6:2394~2418
- 魏丽, 钟强, 侯萍. 中国大陆卫星反演云参数的评估. 高原气象, 1996, 15(2):147~156
- 翁笃鸣, 韩爱梅. 中国卫星总云量与地面总云量分布的对比分析. 应用气象学报, 1998, 9(1):32~37
- Henderson-Sellers A, McGuffie K. Are cloud amounts estimated from satellite sensor and conventional surface-based observations related? Int J Remote Sens, 1990, 11:543~550
- 魏丽, 钟强. 青藏高原云得气候学特征. 高原气象, 1997, 16(1):10~15

- 9 黄玉霞,李栋梁,黄安祥等. 西北地区降水量年代际变化的研究,见:谢金南编. 中国西北干旱气候变化与预测研究. 北京:气象出版社, 2000. 22~24
- 10 李栋梁,彭素琴,姚辉. 中国西北地区冬季平均气温的气候特征. 大气科学, 1995, 19(2): 192~199
- 11 姚辉. 中国西北降水分区及其近代变化分析. 干旱区地理, 1992, 15(4): 27~32
- 12 张家诚. 中国气候总论. 北京:气象出版社, 1991. 440~452
- 13 Bergeron T. The problem of an artificial control of rainfall on the globe: general effects of ice-nuclei in clouds: *Tellus* 1, 1959, 32~50
- 14 Ludlan F H. Artificial snowfall from mountain clouds. *Tellus* 7, 1955, 277~290

## CLIMATIC ANALYSIS OF THE CLOUD OVER CHINA

Liu Hongli Zhu Wenqin Yi Shuhua Li Weiliang Chen Longxun Bai Lijie

(*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*)

### Abstract

Comparison of the D2 data of ISCCP (International Satellite Cloud Climatology Project) with the cloud data of routine surface observation indicates that both the distributive patterns and climatic change trend of cloud agree well with each other. However there are some quantitative differences, especially in the north part of China, the total cloud amount of routine is less than the amount of ISCCP. On the other hand, ISCCP is comparatively complete, and then has more advantages, especially in plateau and desert where stations are sparsely distributed.

We analyze the climatic characteristics of cloud over China, and point out that the distribution of total cloud amount has four centers of high value: East-China Sea area, Sichuan Basin, southeastern area of Tibetan Plateau, and Pamir Plateau. The cloud amount over mountains is more than that over plain in the northern area. The total cloud covers over all areas of North-China Plain to Qilian Mountain are decreased at a rate about 5%/10 a. The decrease over Shandong Peninsula is more severe, about 10%/10 a. This feature accords to the aggravating dry damage. But the total cloud amounts over the middle of Kunlun and Hengduan Mountains are increased at a rate about 8%/10 a.

The distribution of low-cloud amount is similar to that of the total. The low-cloud amounts over Changbai and Tianshan Mountains are more than those over the plain and basin of same latitudes. The low-cloud amount over these four places manifests its decreasing trend: East coastal area of Yangtze Delta region, Sichuan Basin, northern of Guangdong, and the turning place of Yarlung Zangbo River. The decrease of Sichuan Basin is about 10%/10 a. Over Chengdu where is on the center of Sichuan Basin, the period of most manifest decrease is 1975 to 1985. In this period, the decrease of low-cloud amount is about 40%. On the other hand, the low-cloud covers over Tianshan, Pamir-Plateau, Qaidam-Basin and Hengduan Mountains are increasing.

We also point out that there are cloud belts, which are relatively stable, over the mountains in the north-west part of China. These cloud belts have deep layers and contain much water, which benefit for the artificial rain-enhancement.

**Key words:** China, Cloud, ISCCP, Decrease of low cloud amount.

# 刘洪利等：中国地区云的气候特征分析

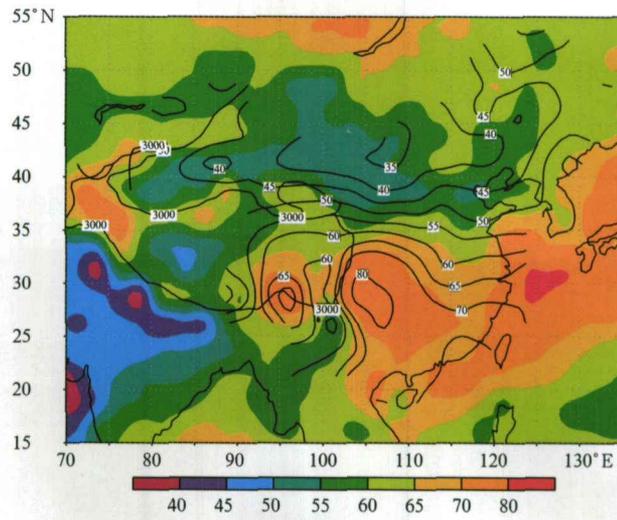


图3 ISCCP D2 (阴影) 和地面资料 (线) 多年平均总云量

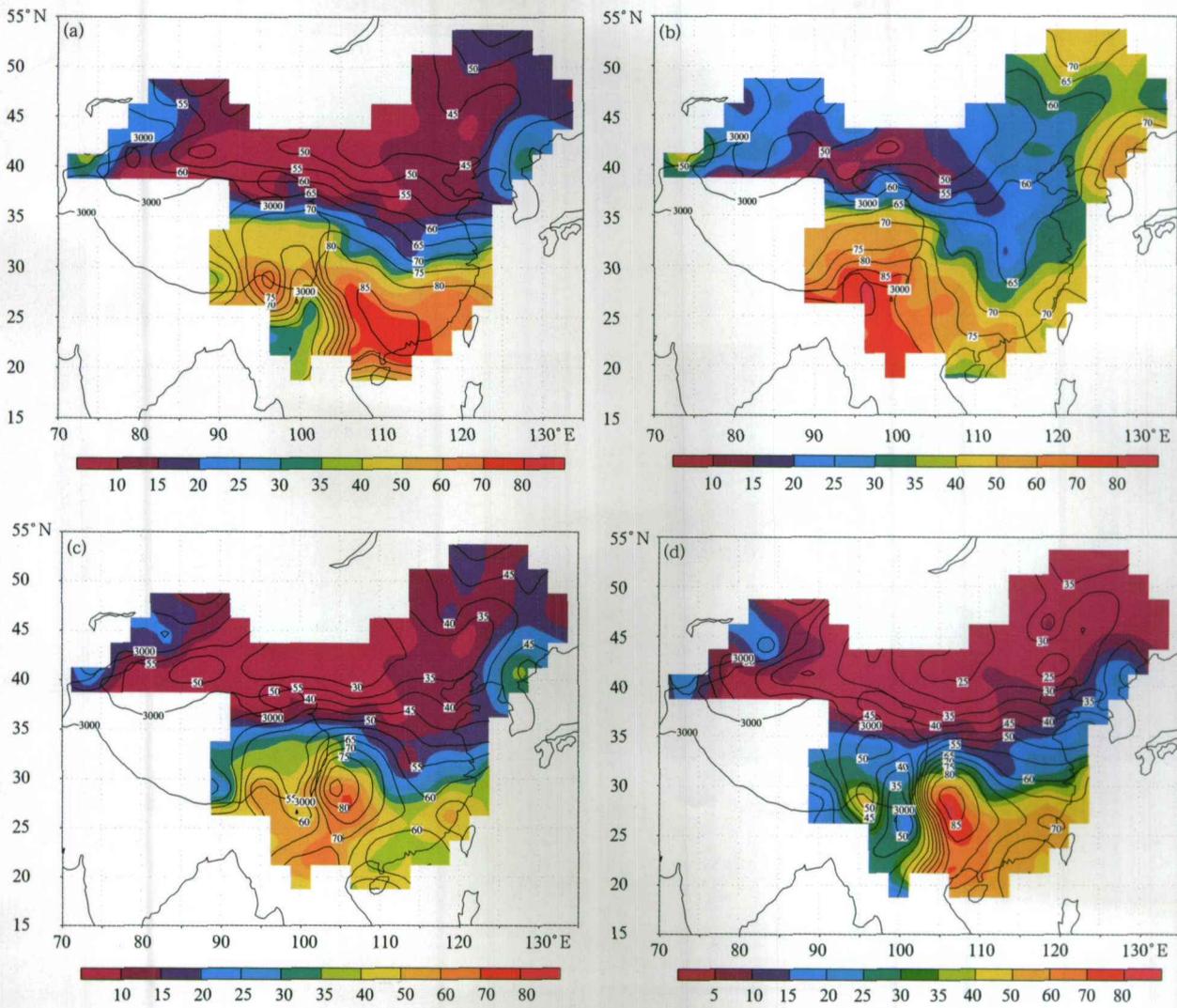


图4 地面资料中多年平均的四季低云量(阴影)和总云量(等值线)

# 刘洪利等：中国地区云的气候特征分析

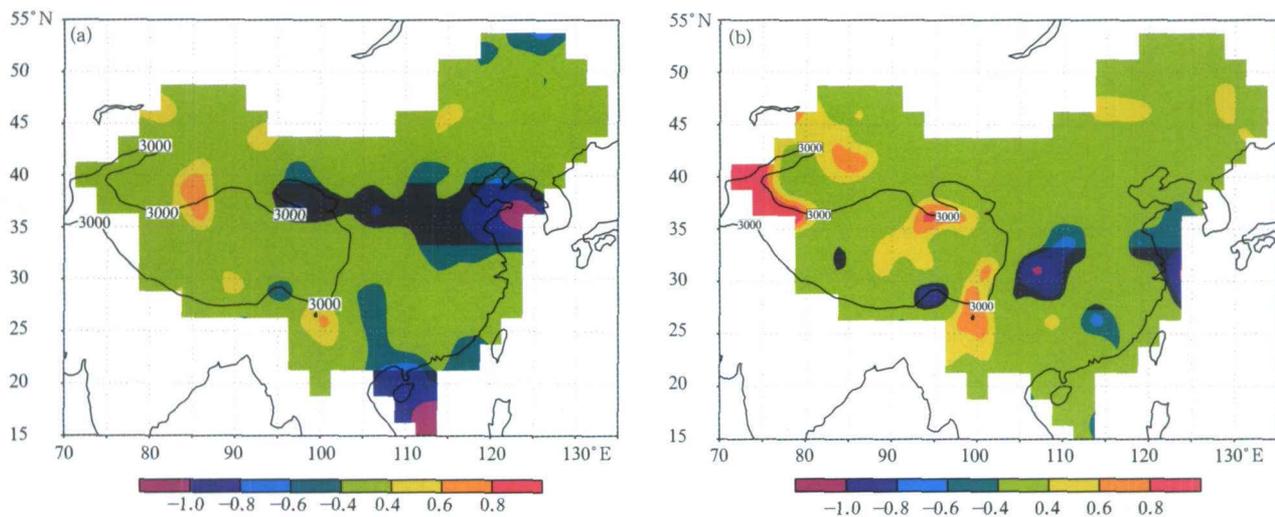


图5 地面资料中1984~1993 10 a间总云量和低云量变化率  
(a. 总云量的变化率; b. 低云量的变化率,单位: 覆盖百分率/a)

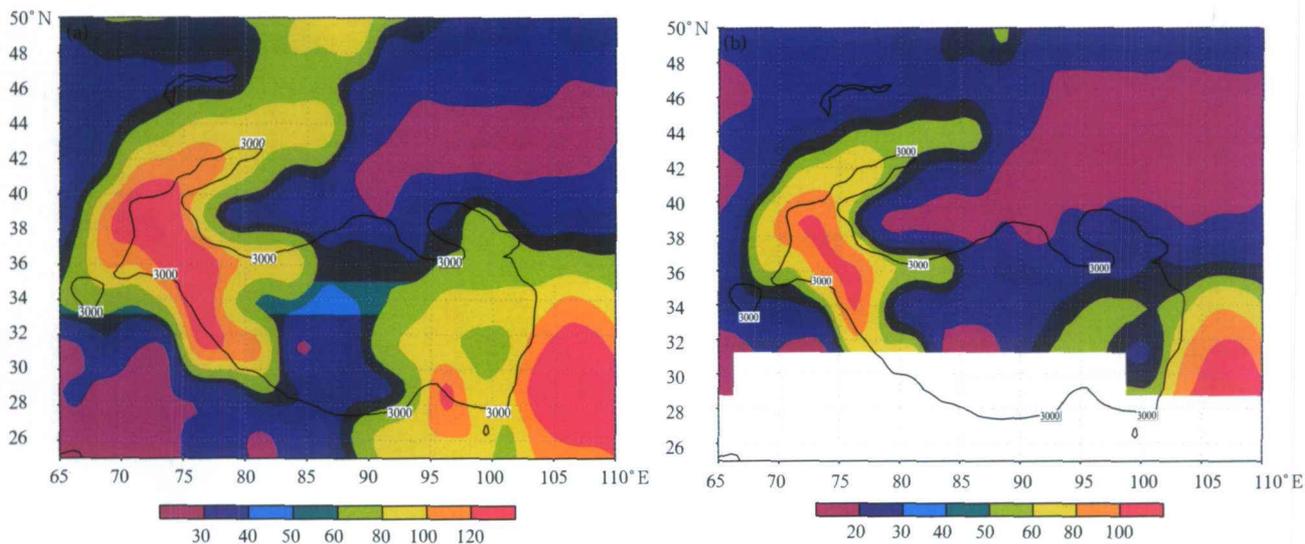


图10 西北地区4~6月云的水汽含量  
(a. 总水汽含量, b. 三类厚云合成的水汽含量(单位:  $\text{g}/\text{m}^2$ , 空白区的数据不全))