

西北地区不同类型云的时空分布及其与降水的关系*

陈勇航¹⁾²⁾ 黄建平¹⁾ 王天河¹⁾
金宏春¹⁾ 葛颢铭¹⁾

¹⁾ (兰州大学大气科学学院, 兰州 730000)

²⁾ (国家气候中心 中国气象局气候研究开放实验室, 北京 100081)

摘 要

利用 1983 年 7 月~2001 年 9 月国际卫星云气候计划 ISCCP D2 的月平均资料,对西北不同区域不同类型云的云量和云水路径的时空分布及其与降水的关系进行了研究。结果表明:高原气候区是各种云出现最多的地区,特别是积状云的云量明显高于其他两区,但这些云的云水路径值低;西北地区大多数云云量的高值区出现在天山山区、北疆地区、陕西东南部和青藏高原的部分地区。高云和部分中云云量空间分布特征与降水有着较好的一致性:沿着天山—昆仑山—祁连山一带以及陕南和/或陇南地区是高值区,低值区在塔里木盆地—内蒙古西部戈壁沙漠—黄土高原西北部一带;绝大多数云类春夏季节云量维持较高,秋冬季节云量较少。云水路径值较大的层状云类的云量多寡与降水多寡相一致;积状云类和层积云类云量多少与降水没有一定的关系,在降水偏少时,这类云的云量大多与降水正常时相近,有些云的云量甚至比降水偏多时还要多。

关键词: 云量 云水路径 空间分布 季节变化 降水

引 言

西北是我国主要的干旱和半干旱地区,目前水资源短缺已严重制约着该地区社会经济与生态建设的发展。西北地区虽然面积约占全国 42%,但降水量只占全国 17%。多年平均降水量在 235 mm 左右,而年可蒸发量却高达 1000~2600 mm,是降水量的 4~11 倍。该地区大多数河流年内长时间干枯,水资源严重缺乏。据估计,到 2010 年西北地区年缺水量将超过 250 亿 m³,由此导致西北地区经济和环境可持续发展面临的首要问题就是解决水资源短缺问题^[1]。云在地球气候系统的水分循环过程中起着至关重要的作用,不管是地表水、土壤水还是地下水,都来自大气中的云中降水,大气降水是水资源中可持续利用的重要来源。国内外科学试验证明,人工增雨(雪)是开发利用空中水资源的一项有效途径,利用云催化技术可以增加 5%~25%的降水量。全世界有 20 多个国家开展了这项工作,在技术上是可行的^[2]。因此,着眼于空中云水资源的研究,从而增加对空中云水资源的科学利用是一条有效缓解水资源短缺的“开源”之路。而要科学合理地做到这一

* 国家科技攻关计划“西部开发科技行动”重大项目(2004BA901A16)、中国气象局沙漠气象研究所课题(SQJ2004013)和中国气象局气候变化专项经费共同资助。

2004-09-29 收到,2005-01-27 收到修改稿。

点,首先必须较系统和细致地了解西北地区云水资源的时空分布及其与降水的关系。同时无论是对气候模式,还是对气候监测预测来说,也迫切需要这方面的研究。

然而,长期以来只有地面目测的总云量和低云量资料,这种观测本身由于云的多变性而存在很大局限,加之西北地区地形复杂,站点稀少,使得即使常规的目测云资料也非常缺乏,资料的受限严重制约了该地区云的研究。随着国际卫星技术以及云反演技术的发展,国际卫星云气候计划 ISCCP(International Satellite Cloud Climatology Project)最新的 D2 数据集较之此前的 C2 数据集有了很大改进^[3],在进行了大量的云物理实验观测的基础上给出了更详细、更准确的云反演结果,提供了地面观测无法提供的 15 种具体类型云的资料,是目前较好的全球云气候数据集,为我们能够比较系统地研究西北地区不同类型云的时空分布特征提供了可参考的观测事实。采用 ISCCP 资料,魏丽等^[4~5]、王可丽等^[6]、翁笃明等^[7]、刘瑞霞等^[8]、宜树华等^[9]、刘洪利等^[10]对青藏高原、中国地区的云量已做了不少很有意义的研究。但是,以上研究主要是从总云量的角度进行分析,个别的涉及到高、中、低云量,但针对具体类型云进行系统研究的尚未见,且资料长度较短。本文把西北地区分为 3 个不同气候区,在此基础上对 ISCCP D2 给出的 15 种不同类型的云进行了分析比较,并对不同年月降水量差异与云量的关系进行了初步研究,以期对西北地区的云水资源有较深入的了解。

1 资料简介和区域划分

本文采用 ISCCP D2 1983 年 7 月~2001 年 9 月的 2.5°×2.5°分辨率的月平均云气候资料。ISCCP(国际卫星云气候计划)是世界气候研究计划(WCRP)主要项目之一,它通过收集、分析卫星辐射测量值以推断云的时空分布特征及其变化,从而促进科学界对云在辐射平衡过程和全球水循环过程中的作用的研究。该资料是由 4 颗地球同步卫星(GMS, METEOSAT, GOES, INSAT)和至少一颗太阳同步极轨卫星(NOAA)获取的辐射测量值,经过云识别、辐射分析、统计分析处理后得到云的时空分布。中国西部地区的资料主要由 GMS,INSAT 静止卫星和 NOAA 极轨卫星提供。较此前的 C2 数据集、D2 数据集有较大改进,在辐射定标、阈值确定方面运用了新的方法,给出了更详细、更准确的结果。最明显的变化是 D2 数据集除了给出 15 种不同类型的云的云量以外(单位为云所占天空的百分比),还给出了其平均物理性质,如云顶气温、云顶气压、光学厚度、云水路径等。D2 资料中的云是按照云顶气压和

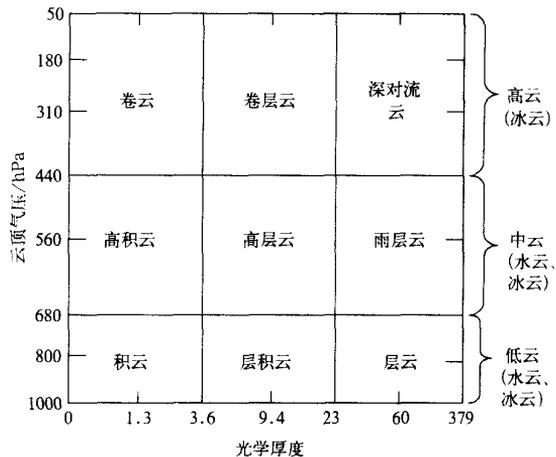


图 1 ISCCP D2 云分类示意图

光学厚度进行分类的(见图 1),云顶气压大于 680 hPa 的定义为低云,680~440 hPa 的定义为中云,小于 440 hPa 的定义为高云。然后根据光学厚度的不同将云分为 9 种具体云类,再根据云顶温度把中云和低云中的各种具体云类分为冰云和水云,如果云顶温度低于 260 K,就被认为是冰云,而高于 260 K,就被认为是水云,高云则被认为全部是冰云,这样一来,就把云分成了 15 种具体类型。Rossow 等^[11]的对比研究结论是 ISCCP 资料的云量与其他资料吻合得比较好,全球偏差在 4% 左右。魏丽、王可丽、翁笃鸣等^[4~7]也证明了 ISCCP 资料在中国地区的可用性。

1999 年 Rossow 等^[3]公布了对 D2 资料准确性进行的研究,结论是通常云量的误差 5%,光学厚度的误差 10%。

根据谢金南、宋连春等^[12~13]的研究,西北地区可以划分为 3 个气候区。据此,本文也把西北地区分为与之相应的 A、B、C 3 个区域(见图 2):A 区包括新疆、甘肃河西走廊中西段和内蒙古西部,共 31 个格点,为西风带气候区;B 区包括青海省及祁连山区,共 16 个格点,为高原气候区;C 区包括陕西、宁夏、甘肃河西走廊东段以东、青海东部,共 6 个格点,为亚洲季风影响区及其边缘区域。

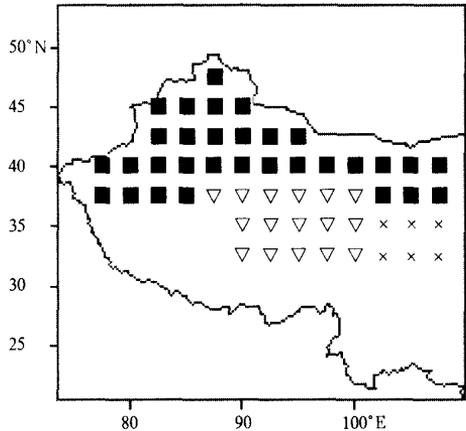


图 2 西北地区分区示意图
(表示 A 区,▽表示 B 区,×表示 C 区)

2 区域平均特征

为了对上述 3 个不同区域不同类型云的云量和云水路径情况有总体了解,分别将 A、B、C 各区内所有格点值作平均后,再对 15 年(1984 年 1 月~1998 年 12 月,共 180 个月)的月平均云量和云水路径值进行平均,得到各区多年的区域平均值及标准差(见表 1,表 2)。

这里不考虑不同云叠加的情形,只是对表 1 中各区各种云的云量求和来比较不同区域总云量情况。从合计值来看,高原气候区(B 区)是各种云出现得最多的地区,各种云云量总和为 80.0%,其他两区明显少于高原区:季风影响区及其边缘区(C 区)为 68.6%,西风带气候区(A 区)为 62.9%。与 C 区相比,B 区属积状云的水积云、冰积云、水高积云、冰高积云的云量都明显高于 C 区,而这几种云的形成都与对流密切相关。据有关研究记载^[14]：“青藏高原地区的云具有明显的气候发生学特征。统计表明,高原上全年都有对流云出现,且出现日数多而频繁,尤其是在暖季,几乎每天都可见到对流云,比同纬度我国东部地区的武汉、杭州多 3~7 倍,甚至比低纬地区的广州还要多 3~5 倍”。这与卫星观测结果非常一致。从表 1 中还可以发现,B 区的中高云云量明显多于 A 区和 C 区。由此可见,高原地区海拔高,对流旺盛从而使对流云云量明显增多,同时中高云云量明显多于其

表1 1984年1月~1998年12月A,B,C各区云量的区域平均情况 %

	A区		B区		C区	
	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差
水积云	12.3	4.4	10.3	4.0	5.6	1.9
水层积云	3.4	1.6	2.6	1.6	3.7	1.6
水层云	0.4	0.5	0.1	0.2	0.6	0.7
冰积云	1.2	1.8	0.7	1.2	0.3	0.5
冰层积云	0.3	0.5	0.1	0.3	0.0	0.1
冰层云	0.1	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0
水高积云	3.6	2.2	9.9	3.6	3.6	1.7
水高层云	2.5	2.2	7.0	4.1	6.0	3.6
水雨层云	0.9	0.7	1.3	0.9	4.4	2.8
冰高积云	7.9	4.5	8.4	5.8	5.8	4.5
冰高层云	2.5	1.2	2.7	1.9	3.2	2.7
冰雨层云	0.8	0.5	1.0	1.1	1.3	1.1
卷云	18.8	4.7	22.1	6.6	19.2	5.7
卷层云	6.0	3.0	10.3	4.9	9.4	4.3
深对流云	2.2	1.7	3.5	2.5	5.5	3.9
合计	62.9		80.0		68.6	

他两区,这是高原气候区各种云的云量总和比其他两区都大的原因。

从表2来看,15种云中,冰雨层云、冰层云和深对流云的云水路径值最大,区域平均值在 $400.8 \sim 437.9 \text{ g/m}^2$ 之间。而水高积云、水积云、冰积云、卷云和冰高积云的云水路径值最小,区域平均值在 $9.7 \sim 17.6 \text{ g/m}^2$ 之间。另外,云水路径值较大的云依次有:水雨层云($282.7 \sim 330.7 \text{ g/m}^2$)、水层云($240.3 \sim 307.0 \text{ g/m}^2$)、卷层云($101.4 \sim 111.1 \text{ g/m}^2$)及冰层积云($101.2 \sim 107.4 \text{ g/m}^2$)。对于西风带气候区A区来说,云水路径值最大的云依次为:冰雨层云(428.3 g/m^2)、冰层云(414.7 g/m^2)和深对流云(406.7 g/m^2);对于高原气候区(B区)来说,云水路径值最大的云依次为:冰层云(437.9 g/m^2)、冰雨层云

表2 1984年1月~1998年12月A,B,C各区云水路径的区域平均情况 g/m^2

	A区		B区		C区	
	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差
水积云	10.9	1.0	11.5	1.3	12.1	1.1
水层积云	42.0	5.4	38.5	5.5	45.2	4.71
水层云	307.0	50.3	274.81	78.0	240.3	35.7
冰积云	11.2	3.6	12.2	3.7	9.7	3.0
冰层积云	102.7	18.5	101.2	29.4	90.7	38.1
冰层云	414.7	99.6	437.9	104.7	400.8	146.9
水高积云	10.2	1.3	12.1	1.0	10.7	1.2
水高层云	56.2	6.3	47.5	4.1	63.8	6.1
水雨层云	330.7	56.7	284.4	32.6	282.7	44.1
冰高积云	17.1	1.8	17.3	2.3	17.6	2.6
冰高层云	101.9	9.5	96.9	8.0	107.4	16.0
冰雨层云	428.3	47.3	429.4	51.8	417.2	52.4
卷云	11.2	2.0	14.1	2.6	13.1	2.7
卷层云	103.8	10.6	101.4	11.2	111.1	15.0
深对流云	406.7	43.4	403.9	34.9	412.3	33.1

(429.4 g/m²)和深对流云(403.9 g/m²);而在季风影响区及其边缘区的C区,云水路径值最大的云依次为:冰雨层云(417.2 g/m²)、深对流云(412.3 g/m²)和冰层云(400.8 g/m²)。

从各区具体云的情况来看,在季风影响区及其边缘的C区,出现云水路径值较大同时云量也较多的云的种类最多,深对流云、卷层云、水高层云这3种云的云量合计可达20.9%,该区也是西北地区降水量最丰富的地区;对于高原气候区(B区)来说,云量和云水路径值都较大的有卷层云和水高层云,云量合计为17.3%,其他云量位居前列的几种云云水路径值都很低,该区降水量也比C区少;在西风带气候区A区,云量位居前3位的卷云、水积云和冰高积云都是云水路径值很低的云,只有位居第4位的卷层云云量和云水路径值都较大,但云量仅为6.0%,与其他两区相比该区降水量也最少。可见,云水路径值较大同时云量也较多的云云量之和的大小与这3个地区不同的干湿气候状况有较好对应。

从表1和表2还可看出,在15种云中,各区出现最多的是卷云,云量的区域平均值可达20%左右。其次是卷层云和水积云,云量的区域平均值在6.0%~12.3%范围内。但是卷云和水积云的云水路径的区域平均值都很低,只有10.9~14.1 g/m²,卷层云的云水路径的区域平均值为101.4~111.1 g/m²。出现最少的主要是冰层云、冰层积云和水层云,各区云量都在0.7%以下。但其云水路径值却较大,尤其是冰层云在15种云中名列前茅,其云水路径的区域平均值可达400.8~437.9 g/m²,水层云和冰层积云也分别可达240.3~307.0 g/m²和90.7~102.7 g/m²。这种云量多的云云水路径值小、云水路径值大的云云量又很低的现象可能与维持西北地区干旱、半干旱的气候机制有关。

需要指出的是,由于ISCCP定义的低云云顶气压在680 hPa以上,而高山地区一般海拔在2000~3000 m以上,680 hPa以下的大气层很薄或不存在,因而造成ISCCP资料在高山地区和青藏高原上低云量很低或不存在(这也是彩图3中在青藏高原上低云量存在空白的原因)。而ISCCP定义的深对流云和中云,特别是云层比较厚的中云大多属于地面观测中的低层云。

3 多年平均空间分布特征

将1983年7月~1998年12月,共186个月的ISCCP D2月平均资料进行平均,得到各种云的云量多年平均空间分布特征。

从多年平均来看,在15种云中,西北地区的高云和部分中云,即水高层云、水雨层云、冰高层云、冰雨层云、卷云、卷层云和深对流云的云量虽然在数值上并不相同,但分布形式却很相似(见彩图3a,3b),而且这一分布特征与西北地区的降水分布特征有较好的一致性:沿着天山—昆仑山—祁连山一带以及陕南和/或陇南地区是云量的高值区,这也是西北地区降水量最丰沛的地区。云量的低值区在塔里木盆地—内蒙古西部戈壁沙漠—黄土高原西北部一带,而这些地区也正是降水比较少的地区,特别是位于云量低值中心的吐鲁番盆地和塔里木盆地也正是西北地区最干旱少雨的地方^[14]。在西北地区云量的高值区具有沿山脉分布的特征,这与在山脉的迎风坡由于气流抬升作用而容易形成云、特别是形

成 ISCCP 定义的中高云有关。从前面的分析可知,水雨层云、冰雨层云和深对流云是 15 种云中云水路径值最大的云,水高层云、冰高层云和卷层云云水路径值也比较大,而卷云的云水路径值虽然低,但强降水往往是多层云叠加的结果,强降水出现时在高空常常伴随着卷云砧的出现。因此,这些云的高值区,即天山—昆仑山—祁连山一带以及陕南和/或陇南地区也是西北地区雨量最丰沛的地区。另外,上述水高层云、水雨层云、冰高层云、冰雨层云在北疆北部还有一个次高值中心(见彩图 3b)。在彩图 3a,3b 中北疆西部、北部是一个相对多云带,与之相对应,这一地区也是新疆的一个较为多雨的地区。

低云中的水积云的分布很有特点(见彩图 3c),高值区和低值区的分布与上述云的分布形式相反:低值区具有沿山脉分布的特征,即沿着天山—昆仑山—祁连山一带以及陕南和陇南地区是水积云云量的低值区,而高值区在塔里木盆地—内蒙古西部戈壁沙漠—黄土高原西北部一带,由于其云水路径值很低(11 g/m^2 左右),对这些地区的干湿气候没有明显影响。低云中的水层积云的云量高值区在新疆西部和陕西东南部,西北其他地区云量较少(见彩图 3d)。而低云中的水层云只出现在天山山区、北疆地区和陕西东南部,冰层积云(见彩图 3e)和冰层云虽然在西北绝大部分地区都可出现,但云量极低,冰层积云主要出现在天山山区和北疆地区,冰层云则主要出现在北疆北部。冰积云云量呈近似纬向分布,自南向北逐渐增加(见彩图 3f)。属于中云的水高积云云量在青藏高原上有一带状高值区,自该高值区向北,云量分布近似纬向,自南向北逐渐减少(见彩图 3g)。属于中云的冰高积云云量的两个高值区分别在青藏高原中西部及其附近地区,以及帕米尔高原、天山山区和北疆地区(见彩图 3h)。总的来说,上述几种云一般多出现在天山山区、北疆地区和陕西东南部以及青藏高原的部分地区。

4 不同区域各类云云量的季节变化

将各种类型云的月平均云量按月进行 15 年平均,从而得到包括 6 种水云和 9 种冰云的云量季节变化曲线(见图 4)。下面针对 A、B、C 3 个不同区域的 15 种云进行分析。

在西风带气候区(A区),6 种水云除高积云以外,全年各月均可出现。水低云中,水积云的年较差最大,分布呈双峰型,峰值分别出现在 4 月(16.2%)和 9 月(16.4%),冬季的 1 月(5.9%)、2 月(5.8%)云量最少。水层积云云量的年较差较小,从 8 月到次年的 2 月云量较少,在 3~7 月维持 4.4%~4.9%的相对高值。水层云虽然全年均可出现,但云量很少,在 4~10 月云量维持在 0.4%以下;从 3 种水中云云量来看,水高积云在 5~9 月几乎不出现,从 10 月开始逐渐增加,到次年的 1 月云量达到峰值 4.8%后,又逐渐减小。水高层云和水雨层云云量的季节变化相当一致,只是水高层云的年较差比水雨层云大得多,且水雨层云的曲线较平缓,二者均在 7 月达到峰值,分别为 6.3%和 1.8%。冰云中冰积云、冰层积云和冰层云这 3 种低云在 5~9 月几乎不出现,10 月云量才开始逐渐上升,冰积云和冰层积云在 1 月达到峰值,冰层云则在 2 月达到峰值。除这 3 种低云外,其他 6 种冰云全年各月均会出现:冰雨层云的云量没有明显的季节变化。冰高积云和冰高层云云量的季节变化曲线相当一致,只是冰高积云的年较差比冰高层云大得多,二者在 7 月云量最少,在整个冬季以及 3 月份维持在高值区。卷云和卷层云季节变化曲线基本一致,二

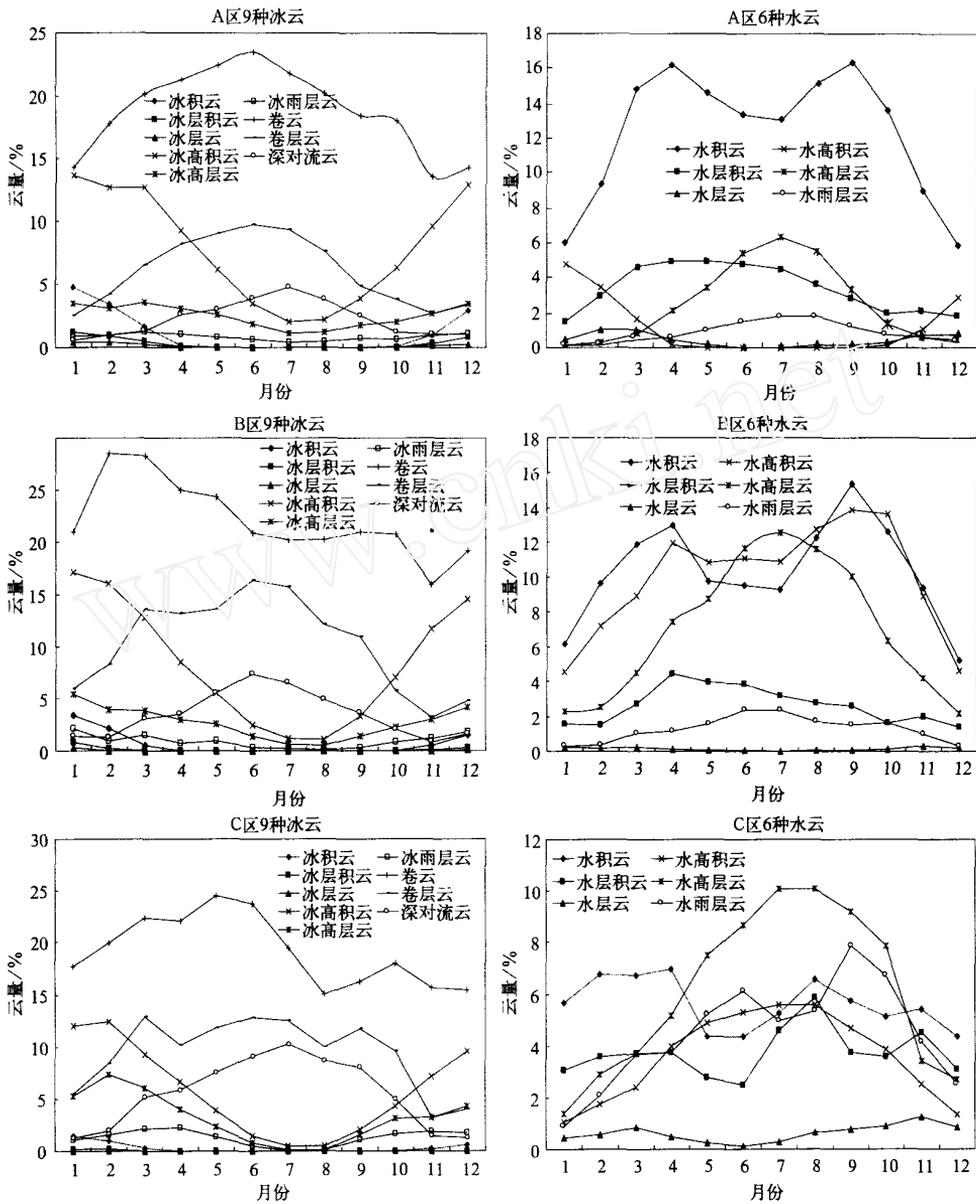


图4 1984年1月~1998年12月A,B,C各区9种冰云和6种水云云量季节变化

者云量均在6月达到峰值,云量分别为23.5%和9.7%,卷云在11月达最低值13.6%、卷层云在1月达最低值。而深对流云在7月达峰值4.8%,到11月达最低值1.0%,随后再逐渐回升到峰值。

在高原气候区(B区),6种水云全年各月均可出现。水层云是所有水云中出現最少的一种云,而且季节变化不明显。水积云的季节变化曲线呈双峰型,峰值分别出现在4月(13.0%)和9月(15.3%),冬季的12月云量最少,为5.2%;水雨层云的曲线较平缓,冬季3

个月维持在 0.3%~0.4%的低值区,其中 7~8 月云量最多(2.3%)。水高积云季节变化与水积云极为相似,也呈双峰型,峰值分别出现在 4 月(12.0%)和 9 月(13.9%),冬季的 12 月和 1 月云量最少,约为 4.5%。水高层云云量年较差在 B 区水云中是最大的,季节变化最明显。在 6~9 月的 4 个月里云量大于 10%,7 月达到峰值 12.6%,冬季 3 个月云量最少,约为 2.2%~2.5%。从 9 种冰云来看,除 3 种低云以外,其他 6 种云全年各月均会出现。冰积云在 5~9 月、冰层积云在 4~10 月、冰层云在 3~10 月几乎不出现,10 月或 11 月这 3 种低云的云量才开始逐渐上升,在 1 月达到各自的峰值 3.4%、0.8%和 0.3%,云量分别为 4.8%和 1.2%,随后云量逐渐减少;冰高积云、冰高层云和冰雨层云 3 种中云的季节变化曲线相当一致:在 7~8 月云量最少,9 月开始云量逐渐增多,在 1 月达到各自的峰值;在 3 种高云中,卷云层云量在 2 月达峰值 28.6%,到 11 月达最低值 15.9%。卷层云和深对流云季节变化曲线有些相似,二者云量均在 6 月达到峰值,云量分别为 16.3%和 7.3%,在 11 月达最低值 3.2%和 0.9%。

C 区为亚洲季风影响区及其边缘区域,在该区 6 种水云全年各月均可出现。低云中的水层云是所有水云中出現最少的一种云,季节变化不明显,年较差也最小。季节变化曲线呈双峰型,峰值分别出现在 3 月和 11 月。其他两种低云——水积云和水层积云云量的季节变化曲线呈相当一致的三峰型:水积云的峰值分别出现在 4 月(7.0%)、9 月(6.5%)和 11 月(5.4%)。水层积云的峰值分别出现在 4 月(3.8%)、9 月(5.9%)和 11 月(4.5%);中云中的水高积云和水高层云云量具有相当一致的季节变化曲线:1 月达水高积云的最低值 1.1%和水高层云的最低值 1.4%,7~8 月达水高积云的最高值 5.6%和水高层云的最高值 10.1%。而水雨层云季节变化曲线呈双峰型,峰值分别出现在 6 月(6.1%)和 9 月(7.9%),1 月云量最少,仅为 0.9%。从 9 种冰云来看,除 3 种低云以外,其他 6 种云全年各月均会出现。低云中的冰层云全年仅在 11 月和 1 月极为罕见地出现(云量为 0.02%),冰积云和冰层积云在 4~10 月几乎不出现,11 月这两种低云的云量才开始逐渐上升,在 1 月达到各自的峰值 1.5%和 0.2%,随后云量逐渐减少;3 种中云的季节变化曲线相当一致:在 7~8 月云量最少,冰高积云和冰高层云在 1 月达到各自的峰值 12.4%和 7.3%之后,云量逐渐减少。而冰雨层云在春季 4 月达到峰值 2.2%,在秋季 11 月还有一个次峰值 1.9%;在 3 种高云中,卷云层云量在 3~6 月维持较高,超过 20%,5 月达峰值 24.5%。7~8 月迅速下降,8 月达最低值 15.0%,之后的秋冬两季云量在 15.5%~19.9%之间变化。卷层云和深对流云季节变化曲线相当相似,二者云量均在 3~10 月维持较高,在 11 月和整个冬季维持在低值。

5 不同云类与降水的关系

为了了解不同云类与降水的关系,研究中补充了最新资料,利用 1983 年 7 月~2001 年 9 月共 219 个月的 NCEP/NCAR 的 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 月平均格点资料计算了降水距平百分率,根据降水距平百分率在 -20%~20%的月为正常、大于 20%为偏多、小于 -20%为偏少的标准把云量划分为 3 组,计算了各区不同类型云的 3 组云量(见表 3),以反映不同年月降水量差异与云量的关系,知道云量的情况后根据前面的工作就基本可知相应云类的

云水路径情况,由于篇幅所限,这里没有对云水路径做分析。

表3 1983年7月~2001年9月A,B,C各区不同降水情况下的云量 %

降水	A区			B区			C区		
	正常	偏多	偏少	正常	偏多	偏少	正常	偏多	偏少
▽ 水积云	11.68	11.09	13.16	9.67	8.93	10.35	5.93	5.22	6.26
水层积云	3.03	3.22	3.12	2.36	1.7	2.33	3.69	4.28	3.4
* 水层云	0.38	0.45	0.35	0.11	0.1	0.08	0.57	0.82	0.43
▽ 冰积云	1.1	1	0.93	0.49	0.49	0.71	0.3	0.17	0.33
冰层积云	0.32	0.3	0.21	0.07	0.08	0.17	0.04	0.02	0.05
* 冰层云	0.14	0.11	0.06	0.02	0.02	0.06	0.005	0	0.006
▽ 水高积云	4.00	3.58	3.51	9.87	9.11	10.17	3.74	3.87	3.68
水高层云	2.92	2.36	2.2	7.39	6.39	6.02	6.21	8.09	5.02
* 水雨层云	0.97	0.98	0.7	1.35	1.47	0.96	4.67	6.56	3.13
▽ 冰高积云	7.54	8.77	7.55	7.41	8.84	8.1	5.5	4.84	6.47
冰高层云	2.33	3.35	2.14	2.28	2.96	2.14	3.03	3.31	2.85
* 冰雨层云	0.81	1.27	0.61	0.66	1.18	0.66	1.16	1.57	1
卷云	18.93	18.5	17.82	22.37	22.44	22.15	18.68	16.49	19.77
卷层云	6.15	7.4	4.96	11.48	10.47	8.65	9.77	11.45	7.57
* 深对流云	2.38	2.85	1.58	4.11	3.75	2.83	5.95	8.34	3.59
云量总和	62.68	65.23	58.9	79.64	77.93	75.38	69.25	75.03	63.56
*号5种云云量总和	4.68	5.66	3.3	6.25	6.52	4.59	12.36	17.29	8.16
▽号4种云云量总和	24.32	24.44	25.15	27.44	27.37	29.33	15.47	14.1	16.74

注:▽为积云,*为层云。

从表3可以发现,A区的水层云、水雨层云、冰高层云、冰雨层云、卷层云、深对流云,B区的水雨层云、冰高层云、冰雨层云、卷云,C区的水层积云、水层云、水雨层云、冰高层云、冰雨层云、卷层云、深对流云,这些云类的云量多寡与降水多寡相一致,根据前面的分析可知所有这些云类,除卷云以外,其云水路径值都相当大。而积云类和层积云类云量多少与降水多少没有一定的关系,在降水偏少时,这类云中只有个别的云量比降水正常时要少得多,但大多与降水正常时相近,这类云中的有些云云量甚至比降水偏多时还要多,如A,B,C各区的水积云、B区的水高积云、C区的冰高积云和卷云等。

6 结 语

(1) 各区15种云中,云量最多的是卷云,可达20%左右。出现最少的是冰层云、冰层积云和水层云;冰雨层云、冰层云和深对流云含水量最丰富,而水高积云、水积云、冰积云、卷云和冰高积云含水量最少;西北地区云量与含水量存在交错配置的现象;云水路径值较大时云量较多的云,云量之和的大小与3个气候区不同的干湿状况有较好的对应。

(2) 从各区各种云的云量总和来看,高原气候区(B区)是各种云出现最多的地区,各种云云量总和为80.0%,季风影响区及其边缘区(C区)为68.6%,西风带气候区(A区)为62.9%。

(3) 西北地区的高云和部分中云,即水高层云、水雨层云、冰高层云、冰雨层云、卷云、卷层云和深对流云的云量分布形式很相似,而且这一分布特征与西北地区的降水分布特

征有着较好的一致性;高值区具有沿山脉分布的特征,即位于天山—昆仑山—祁连山一带以及陕南和/或陇南地区,低值区在塔里木盆地—内蒙古西部戈壁沙漠—黄土高原西北部一带。其他几种云云量的高值区一般多出现在天山山区、北疆地区、陕西东南部以及青藏高原的部分地区。

(4) 绝大多数云类春夏季节云量维持较高,秋冬季节云量较少。

(5) 云水路径值较大的层状云类的云量多寡与降水多寡相一致;积云类和层积云类云量多少与降水没有一定的关系,在降水偏少时,这类云的云量大多与降水正常时相近,有些云的云量甚至比降水偏多时还要多。

最后需要指出的是尽管 ISCCP D2 资料是目前时间系列最长最完整的卫星资料,但是随着卫星探测技术的不断改进,反演方法的逐步完善,本文有些结果还要进一步核实和修正。

致谢:在本文的工作过程中得到陈长和教授的关心和指导;本文所用卫星资料来自美国 NASA 的 Langley Distributed Active Archive Center,在使用过程中得到 User and Data Service of the Atmospheric Sciences Data Center 有关人员的帮助,在此一并表示衷心的感谢!

参考文献

- 1 林奇胜,刘洪萍,张安录. 论我国西北干旱地区水资源持续利用. 地理与地理信息科学, 2003, **19**(3): 54~58.
- 2 温克刚. 加强空中水资源的开发利用. 建设科技, 2003, (5): 14.
- 3 Rossow W B, Schiffer R A. Advances in understanding clouds from ISCCP. *Bull Amer Meteor Soc*, 1999, **80**(11): 2261~2287.
- 4 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.
- 5 魏丽,钟强. 青藏高原云的气候学特征. 高原气象, 1997, **16**(1): 10~15.
- 6 王可丽,江灏,陈世强,等. 青藏高原地区的总云量. 高原气象, 2001, **20**(3): 252~257.
- 7 翁笃鸣,韩爱梅. 我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): 33~37.
- 8 刘瑞霞,刘玉洁,杜秉玉,等. 利用 ISCCP 资料分析青藏高原云气候特征. 南京气象学院学报, 2002, **25**(2): 226~234.
- 9 宜树华,刘洪利,李维亮,等. 中国西北地区云时空分布特征的初步分析. 气象, 2003, **29**(1): 7~11.
- 10 刘洪利,朱文琴,宜树华,等. 中国地区云的气候特征分析. 气象学报, 2003, **61**(4): 466~473.
- 11 Rossow W B, Walker A W, Garder L C. Comparison of ISCCP and other cloud amounts. *J Climate*, 1993, **1**(6): 2394~2418.
- 12 谢金南. 中国西北干旱气候变化与预测研究(第一卷). 北京:气象出版社, 2000. 1~8.
- 13 宋连春,张存杰. 20世纪西北地区降水量变化特征. 冰川冻土, 2003, **25**(2): 143~148.
- 14 盛成禹. 中国气候总论. 北京:科学出版社, 1986. 428~470.

TEMPORAL AND SPATIAL DISTRIBUTION OF THE DIFFERENT CLOUDS OVER NORTHWESTERN CHINA WITH THE RELATION TO PRECIPITATION

Chen Yonghang¹⁾²⁾ Huang Jianping¹⁾ Wang Tianhe¹⁾

Jin Hongchun¹⁾ Ge Jinming¹⁾

¹⁾ (*College of Atmospheric Sciences of Lanzhou University, Lanzhou 730000*)

²⁾ (*Laboratory for Climate Studies, National Climate Center, CMA, Beijing 100081*)

Abstract

The temporal and spatial characteristics of the different clouds and the relation to precipitation over Northwest China are analyzed using the ISCCP (International Satellite Cloud Climatology Project) monthly mean D2 data from July 1983 to September 2001. Northwestern China is divided into three climatic regions for the purpose of this study. The results show that the plateau climatic region is the one with highest cumuliform cloud amount with low values of liquid water path. The higher cloud amount value areas for most types, especially for high cloud, are over Tianshan Mountains, Kunlun Mountains, Qilian Mountains, and southern Shaanxi and/or southern Gansu, while the lower values of cloud amounts are located over Tarim Basin, the western desert of Inner Mongolia and the northwestern part of Loess Plateau. Also, cloud amount levels are consistent with levels of precipitation. In general, cloud amounts are higher in spring and summer while lower in autumn and winter. The amounts of stratiform clouds associated with higher liquid water path are consistent with precipitation. The amounts of cumuliform and stratocumuliform clouds, however, do not have definite relation to precipitation.

Key words: Cloud amount Cloud water path Spatial distribution Seasonal variation
Precipitation

陈勇航等：西北地区不同类型云的时空分布及其与降水的关系

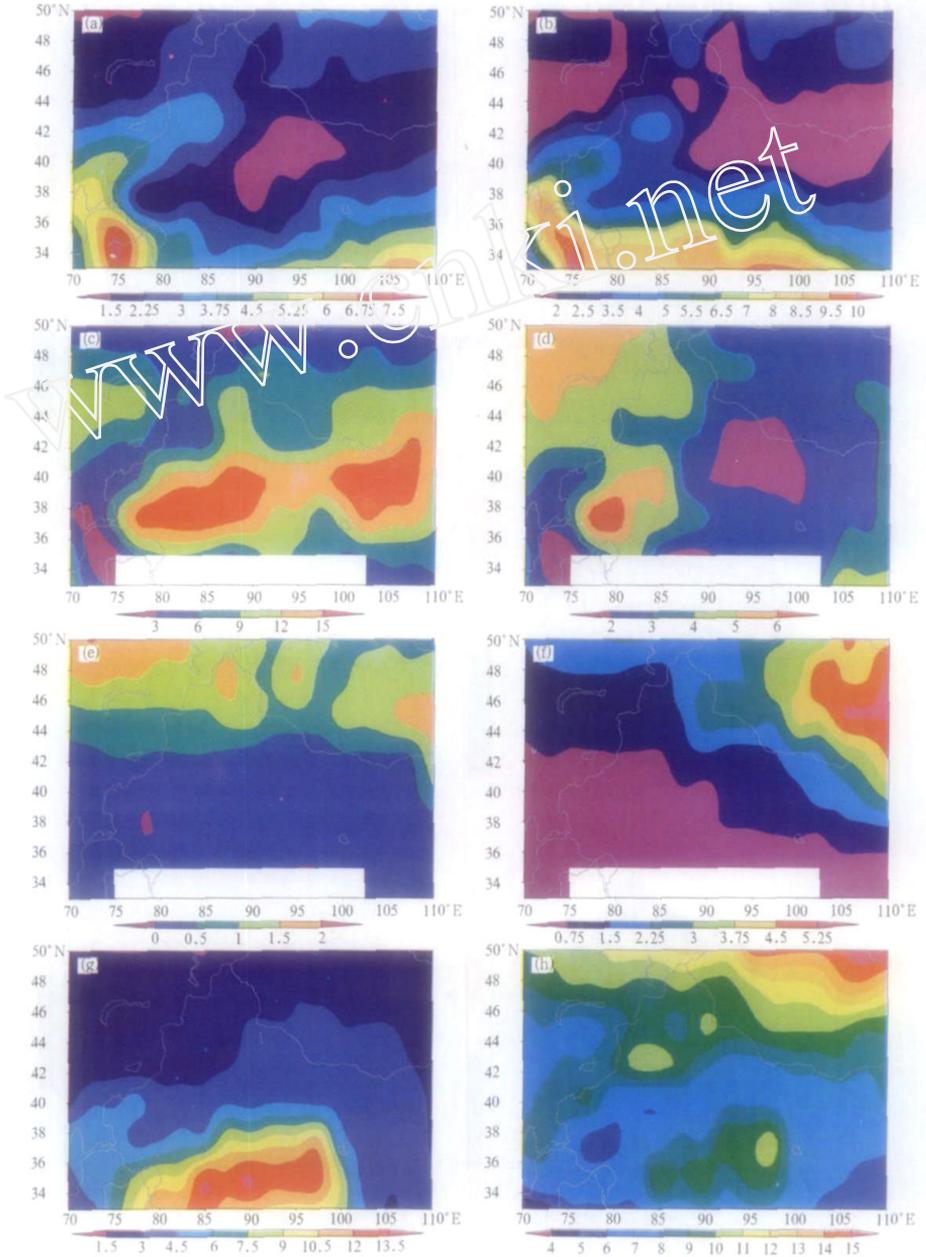


图3 西北地区各类云云量多年平均(1983年7月~1998年12月)分布图(单位: %)

- (a) 深对流云, (b) 水高层云, (c) 水积云, (d) 水层积云,
(e) 冰层积云, (f) 冰积云, (g) 水高积云, (h) 冰高积云