

# 我国的大气透明状况\*

王炳忠 潘根娣

(中央气象局气象科学研究所) (中央气象局气象中心)

## 提 要

根据全国65个甲种日射站自建站起至1978年9:30, 12:30, 15:30各时次直接辐射的观测资料, 计算了大气透明系数。为了便于各地间的比较和绘制全国分布图, 所有各时次的资料都统一订正到 $M=2$ 的情况下, 计算中太阳常数取值 $S_0=1.98$ 卡厘米 $^{-2}$ 分 $^{-1}$ 。

就我国的具体情况而论, 地势对大气透明度的影响最为显著, 直接的结果是: 高原为透明度高值区, 盆地为低值区。

分析了影响大气透明度的两个重要因子——水汽和气溶胶的分布特点, 以及它们之间的比例关系。水汽对辐射的吸收系数根据探空资料求得的整层大气的含水量按Mügge和Müller的公式计算的。

## 一、引 言

大气透明状况是除了云量、太阳高度和海拔高度以外影响到地面辐射量的重要因子。大气的透明程度同大气中发生的物理过程, 关系极为密切, 因此掌握大气透明度资料, 反过来可以借助它分析大气的物理状态。

近年来, 随着工业的迅猛发展, 燃烧产生的烟尘使大气中的微粒物质大量增加, 大气透明度变坏, 浑浊度增加。因此世界气象组织建议建立的全球大气本底污染观测中, 大气浑浊度就是一个重要的项目。虽然目前我国尚未开展此项观测, 但是, 如能利用现有的日射观测资料, 得出一些有关我国大气透明状况的初步概念和结论将是很有意义的。此外, 在评定各地的可能太阳辐射总量、计算紫外辐射和可见光透明度时, 也都需要大气透明度资料。

在我国以往的文献中, 只有一些关于透明度的零星资料<sup>[1-4]</sup>。至于我国范围内透明度的分布情况, 迄今仍属空白。

## 二、计 算 方 法

为了计算大气透明度, 只能使用观测时太阳及其附近天空未被云遮的直接辐射资料。大气透明度系按布克-兰贝特(Bouguer-Lambert)定律计算, 即

\* 本文于1981年3月25日收到, 1981年7月20日收到修改稿。

$$S = S_0 P^m \quad (1)$$

式中  $S$  为订正到日地平均距离处的直接辐射强度值,  $S_0$  为太阳常数, 按国际辐射委员会的建议, 取值  $1.98 \text{ 卡厘米}^{-2} \text{ 分}^{-1}$ ,  $m$  为大气光学质量,  $P$  就是大气透明程度的度量值, 称为透明系数, 当  $m=2$  时, (1) 式可以改写为

$$P_2 = \sqrt{S/S_0} \quad (2)$$

应当指出, (1)、(2) 式是将原单色光推广到全色光情况下的计算式,  $P$  值故又称为复合透明系数。为了克服  $P$  随  $m$  而变化的福布斯 (Forbes) 效应, 采用文献 [5] 所介绍的方法, 将各站各太阳高度角下测得的直接辐射值, 统一订正到同一大气光学质量, 即  $M=2$ 。

不同之处在于, 文献 [5] 所用的只是 12:30 的记录, 本文为了增加代表性, 还利用了 9:30 和 15:30 两个时次的日光情况为  $\odot^2$  的记录。文中所谓的平均值均指 9:30, 12:30 和 15:30 三个时次的总平均, 至于 6:30 和 18:30 的记录, 一方面由于日出、日没时间随着季节而变化, 记录颇不完整, 各站之间的比较性差; 另一方面, 此时的太阳高度角甚低, 记录受地物等条件的影响较大, 代表性差, 因此未予应用。

此外, 为了消除各站海拔高度不同的影响, 还进行了气压订正。

### 三、时空分布规律

在普查我国所有甲种日射站透明系数资料的基础上 (表 1 仅列出了其中有代表性的一部分), 发现各地透明系数的年变曲线形式具有一定的区域性。图 1 是按透明系数年变曲线的主要特点划分的分区图。

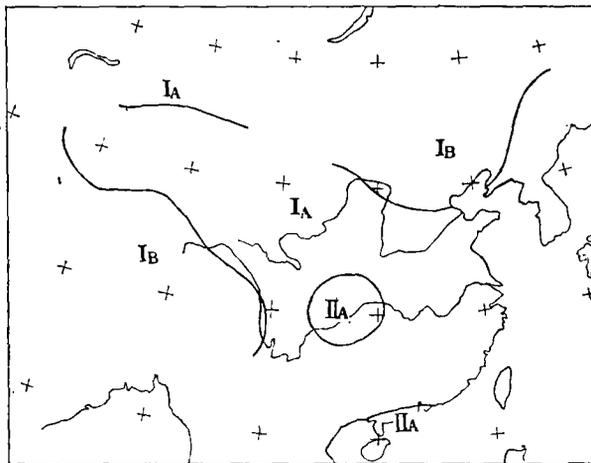


图 1 按大气透明系数年变曲线类型分区图

(IA 区峰值在秋末冬初, 谷值在春季; IB 区峰值在秋末冬初, 谷值在夏季; IIA 区峰值在夏季, 谷值在春季。)

表 1 大气透明系数的年变化  $P_2 \cdot 10^2$ 

站 名	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
阿 勒 太	80.7	79.6	77.0	75.4	74.4	73.8	72.7	74.4	76.4	78.8	82.8	81.4	77.1
佳 木 斯	74.4	75.2	73.6	70.9	69.1	70.9	71.9	73.0	72.7	75.7	76.3	74.8	73.2
烟 台	71.4	70.3	68.4	63.7	64.2	65.3	64.1	68.1	69.9	72.7	72.5	72.1	68.6
若 羌	73.9	72.7	66.8	62.5	62.8	62.7	64.1	67.1	68.9	71.8	74.2	74.9	68.5
昆 明	74.5	71.4	65.5	63.5	65.1	66.2	66.4	65.1	67.7	68.0	70.9	72.5	68.1
汕 头	68.7	66.7	60.5	59.8	64.8	66.2	66.8	66.1	65.8	67.8	67.8	70.4	66.0
福 州	65.0	64.5	60.9	58.2	61.3	62.1	64.4	62.5	67.8	68.6	68.6	64.4	64.0
长 沙	63.7	62.7	59.4	58.9	58.6	61.3	64.2	64.1	63.3	65.1	66.6	65.8	62.9
黑 河	80.3	79.1	79.2	76.1	74.8	76.4	73.2	76.7	78.0	79.6	81.1	80.4	77.9
北 京	75.8	73.5	72.2	67.8	68.6	67.7	65.8	68.8	72.3	74.8	75.7	76.1	71.6
二 连	82.7	81.5	79.8	77.9	75.6	74.9	75.5	75.6	78.5	80.3	81.9	83.1	78.9
拉 萨	82.7	82.1	80.8	77.4	77.5	76.8	76.6	77.2	78.3	79.9	81.5	82.3	79.4
万 县	57.1	57.5	57.4	56.9	58.7	58.9	62.1	63.0	62.5	62.5	60.0	56.9	59.5
重 庆	56.9	56.9	56.4	56.4	56.8	57.7	61.0	60.0	58.6	56.8	57.6	56.9	57.7
中 山	67.2	67.8	60.7	58.7	65.1	68.9	67.9	66.9	67.1	66.7	65.9	64.5	65.4
海 口	68.0	60.6	58.9	58.5	66.3	67.6	70.2	69.0	65.3	68.7	67.4	68.8	65.8

从图上可以看到,除了四川盆地和广东省南部地区外,我国绝大部分地区透明程度最好的季节都是秋末冬初。此时,我国处于反气旋形势极地大陆性气团的控制之下,天气干燥,空晴气朗。透明程度最好的时期之所以不在最冷的隆冬季节,我们考虑主要同下列因素有关:① 前期雨水的净化作用和对地表的湿润作用;② 扬尘也有个积累过程;③ 隆冬时节,地表辐射逆温现象增强,阻碍着近地面气体的扩散,致使浑浊度增加。

至于为什么全国大部分地区透明度最差的时段都在春季,我们考虑,北方主要与风速大,湿度低,地表裸露,表土易为风扬有关,南方则可能同气溶胶中的液态水有关。当然,这只是对问题的定性分析。另外,在以往的文献中<sup>[5,6]</sup>,把透明系数的年变化归结于大气绝对湿度的变化引起的,现在看来,这似乎不够全面。对此还有待进行更加细致的观测和分析研究。

在本文的范围内,没有可能逐月地分析大气透明系数的分布特点,下面仅选择其中最具有代表性的(12月和4月)进行分析。

12月(图2)这是最佳透明度的代表月份。从图2首先可以看到地势在透明度分布中的明显作用。这是我国的一大特点。所有盆地都是透明度的低值区,最明显的是四川盆地。这里是我国大气透明程度最差的地区,中心低于0.60,其它诸如准噶尔盆地、塔里木盆地、吐鲁番盆地等也都是透明度的相对低值区。相反,地势高的地区则都是透明度的相对高值区,其中尤以青藏高原为最,是我国透明程度最好的地区,中心地区高于0.84。此

外,大兴安岭、内蒙古高原、长白山脉、太行山脉等也较明显。如果就平原地区而论,透明系数则有随纬度减少而减小的趋势。

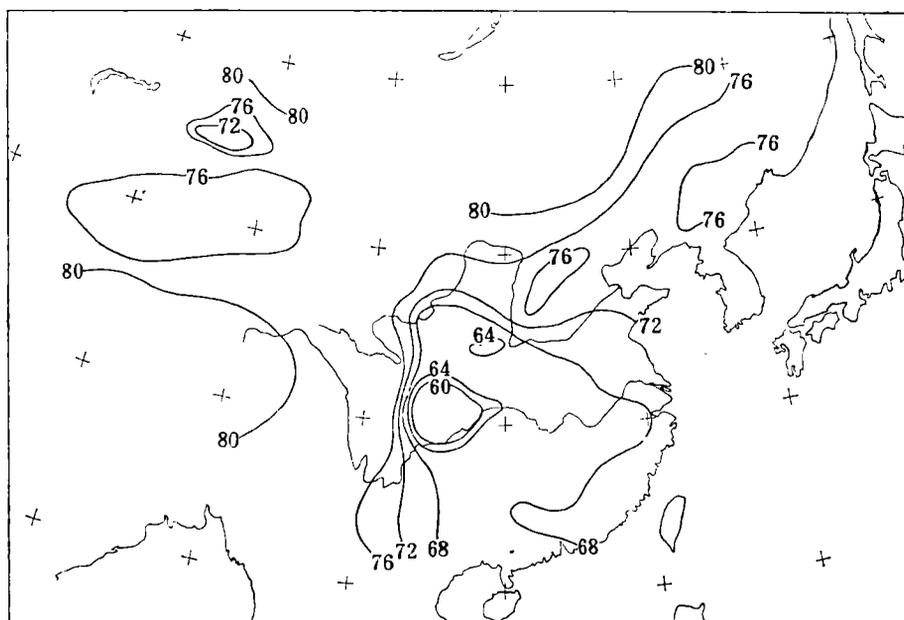


图 2 12月的大气透明系数

4月(图3)这是透明度最差的代表月份。整体的分布形势与12月份的相差无几,仍旧体现着地势在透明度分布中的主导影响,唯透明度数值普遍下降6—8%,其中尤以西南季风控制的云南地区下降最甚,达15%左右,塔里木盆地亦在10%以上。

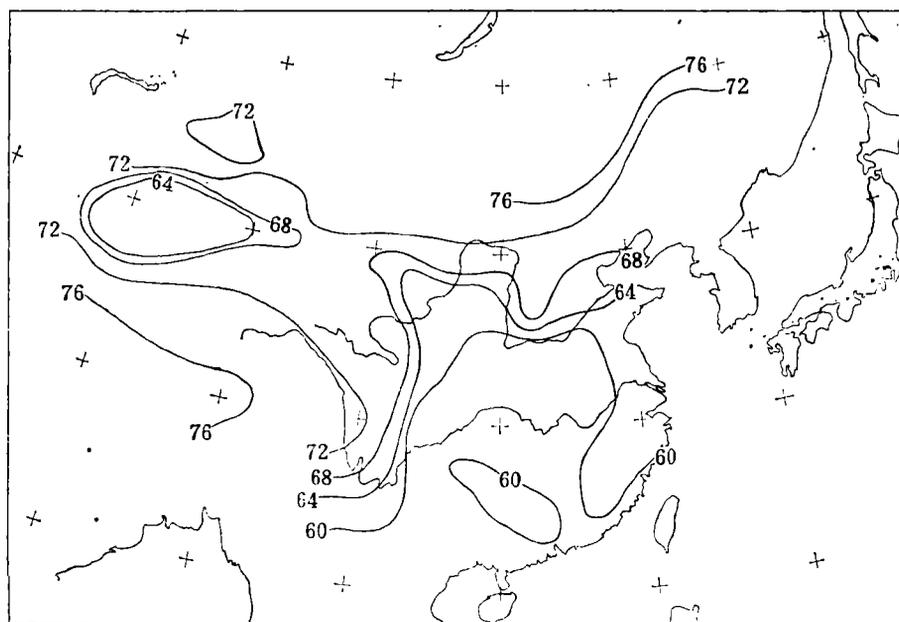


图 3 4月大气透明系数

如果以 9:30 代表上午, 12:30 代表中午, 15:30 代表下午, 我们曾分别统计了各时次的年平均透明系数(表 2)和各月各时次平均透明系数居最佳状态的次数(表略)。虽然个别站点的这两种统计结果略有出入, 总的来讲, 就大气透明系数的日变化可以分析出如下的规律性: 北纬 32° 以南地区均以下午的透明度为最好, 北纬 32° 以北地区较为复杂, 东经 110° 以东和 95° 以西地区中午透明程度最好, 东经 110°—95° 之间的地域内以上午的透明度为佳。

表 2 大气透明系数  $P_2$  的日变化

站名	时次			站名	时次			站名	时次		
	9:30	12:30	15:30		9:30	12:30	15:30		9:30	12:30	15:30
佳木斯	0.733	0.736	0.727	伊金霍洛旗	0.743	0.737	0.739	杭州	0.630	0.638	0.646
长春	0.727	0.738	0.732	银川	0.704	0.703	0.699	成都	0.583	0.598	0.601
沈阳	0.684	0.706	0.687	格尔木	0.737	0.735	0.732	汕头	0.652	0.653	0.674
二连	0.782	0.795	0.791	哈密	0.750	0.754	0.748	桂林	0.648	0.659	0.663
大同	0.733	0.738	0.720	喀什	0.702	0.704	0.694	腾冲	0.680	0.698	0.700
郑州	0.637	0.653	0.643	和田	0.650	0.666	0.648	南宁	0.638	0.638	0.662
烟台	0.681	0.690	0.686	黑河	0.772	0.776	0.775	海口	0.652	0.651	0.671

此外, 我们还统计分析了大气透明系数的分级出现频率(表 3), 分级的标准如下:

代表值	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85
范围	$\leq 0.625$	0.626—0.675	0.676—0.725	0.726—0.775	0.776—0.825	$> 0.826$

通过对表 3 所列资料的分析, 可以得到以下几点认识:

1. 频率峰值年变化的情况与  $P_2$  本身年变化的情况基本一致;
2. 北方平原地区透明系数的分级频率分布, 大部分月份呈正态分布, 唯冬季诸月略呈负偏态, 即高值偏多, 夏季诸月略呈正偏态, 即低值偏多;
3. 青藏高原地区, 由于空气稀薄, 大气自然显得透明, 高值次数增多, 故此冬季完全呈负偏态分布;
4. 南方, 在透明程度不好的季节里, 由于水汽充沛, 低值机会增多, 故此完全呈正偏态分布。

鉴此, 在呈现偏态分布的月份里, 平均值的代表性是很差的, 对此应予注意。

#### 四、水汽和气溶胶的贡献

为了了解两种主要致浑浊因子——水汽和气溶胶各自对辐射衰减的贡献, 我们借助 Mügge-Müller<sup>[7]</sup>公式计算了水汽对太阳辐射的吸收值:

$$\Delta S_{\text{水汽}} = 0.172(\omega m)^{0.303} \quad (3)$$



式中  $\Delta S_{\text{水汽}}$  为水汽所吸收的辐射值,  $\omega$  为整层大气的水汽含量(降水), 单位厘米。

太阳辐射在实际大气中的衰减数值, 可以看做是在同样大气光学质量下理想(干洁)大气的太阳辐射强度值与地表上实测的太阳辐射强度值之差, 即

$$\Delta S_2 = S_{2, \text{理想}} - S_{2, \text{实测}} \quad (4)$$

根据文献[8]  $S_{2, \text{理想}} = 1.62$  卡厘米<sup>-2</sup>分<sup>-1</sup>, 所以

$$\Delta S_2 = 1.62 - S_{2, \text{实测}} \quad (5)$$

气溶胶对辐射的衰减则等于

$$\Delta S_{\text{气}} = \Delta S_2 - \Delta S_{\text{水汽}} \quad (6)$$

水汽所吸收的辐射值, 在我国范围内的分布情况是: 冬季(1月)变化在 0.13—0.29 卡厘米<sup>-2</sup>分<sup>-1</sup>之间(图4); 夏季, 在 0.25—0.37 卡厘米<sup>-2</sup>分<sup>-1</sup>之间(图略), 并且自西北向东南, 由冬至夏逐渐增长。水汽衰减最甚的地区, 夏季出现在四川盆地以及长江中、下游至东南沿海的广阔地域内, 在 0.35 卡厘米<sup>-2</sup>分<sup>-1</sup>以上, 冬季则出现在北纬 24° 以南的各个省份里, 约为 0.25 卡厘米<sup>-2</sup>分<sup>-1</sup>。夏季最低值, 出现在青藏高原和天山山地, 一般低于 0.25 卡厘米<sup>-2</sup>分<sup>-1</sup>, 冬季, 除了上述地区外, 辽阔的东北平原、华北大平原的北半部以及内蒙古自治区也属于低值区, 在 0.15 卡厘米<sup>-2</sup>分<sup>-1</sup>以下, 最低值区在青藏高原, 低于 0.12 卡厘米<sup>-2</sup>分<sup>-1</sup>。

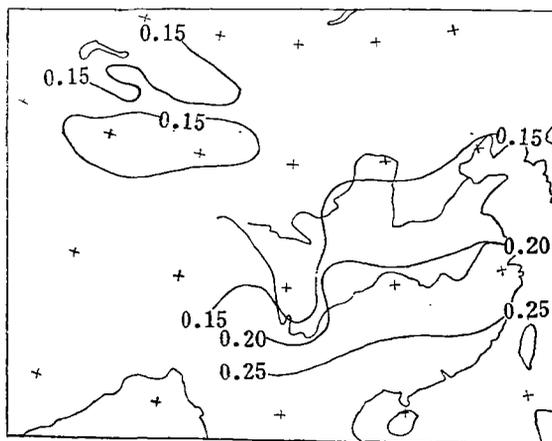


图 4 1月水汽衰减的辐射值(卡厘米<sup>-2</sup>分<sup>-1</sup>)

气溶胶衰减的辐射值, 在我国境内的变化也是相当大的, 特别是冬季(图5), 从四川盆地的 0.70 卡厘米<sup>-2</sup>分<sup>-1</sup>到青藏高原和内蒙古高原的 0.20 卡厘米<sup>-2</sup>分<sup>-1</sup>以下。气溶胶衰减的年振幅大于水汽衰减, 在数量上, 冬春最大, 夏秋最小。

从图5还可以看到, 沈阳、哈尔滨、兰州、西安等重工业中心城市对大气透明度的影响是很显著的, 它们在图上都形成了各自封闭的衰减高值区。如果注意到 Mügge-Müller 公式只是一系列形式相似但系数不同的公式中的一个<sup>[8]</sup>, 很难说它完全符合我国的情况, 但即使如此, 仍能得到这样的结果。我们认为, 上列有关图表的数据还是有一定的代

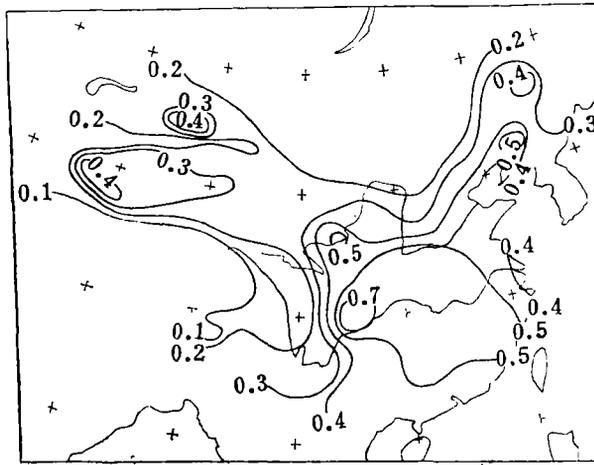


图 5 1月气溶胶衰减的辐射值(卡厘米<sup>-2</sup>分<sup>-1</sup>)

表性的。

在一年当中,随着季节的演变,水汽和气溶胶这两种辐射衰减因子所占的比重也是有变化的。不过由于大气中的水汽含量总有一定的限度,按最大可能量值代入公式计算的结果也不超过 0.4 卡厘米<sup>-2</sup>分<sup>-1</sup>。所以,除个别地区(例如青藏高原)、个别季节(如夏季)外,一般水汽的比重不超过 50%。总的来说,气溶胶居主导地位。但是,应当强调指出,所谓气溶胶指悬浮在大气中的固态微粒或液态小滴,因此,不应把气溶胶只理解为尘埃、烟尘等固态微粒。特别是在我国的南方,由于空气湿度大,一遇适当的凝结核条件和温度条件,不难形成液态小滴。所以实际上气溶胶衰减中包括了液态水对辐射的吸收。

夏季,由于夏季风的作用,我国境内水汽丰沛,水汽衰减所占比重除青藏高原占 60%居全国之首外,其余各地一般均在 50% 以下,其中塔里木、柴达木盆地,秦晋高原、秦巴山地及华中部分地区更在 40% 以下。

冬春季,气溶胶衰减的比重更形增大,在 4 月气溶胶衰减比重分布图(图7)上,自新疆(天山山地除外)经秦晋高原至黄淮海平原地区为一大于 70% 的高值带,其中塔里木盆地、柴达木盆地、河西走廊和阿拉善荒漠更在 75% 以上,其它地区除青藏高原在 60% 以下外,均处在 60—70% 之间。

## 五、小 结

总括以上所述,可以得出以下几点认识:

1. 通常在研究晴天辐射状况时,只考虑它随纬度而变化这样一种情况,看来是不全面的。正如从透明系数分布图可以看到的,对于太阳辐射来说,不仅纬度有影响,经度不同也不同。实际上,这反映出还有其它影响因子存在。

2. 地势对透明度的影响是明显的,地势越高透明度越好,所以青藏高原是我国透明

度最好的地区。相反,盆地则透明度较差,尤以四川盆地明显。

3. 在影响透明度分布的气象因子中,气溶胶居主导地位,通常其影响均占50%以上,冬、春季节可达60—70%,水汽的影响通常居次要位置,仅青藏高原地区,夏季的水汽影响占60%以上。

致谢:文中所用有关我国各地整层大气水汽含量的资料,承邹进上同志提供,谨致谢意。

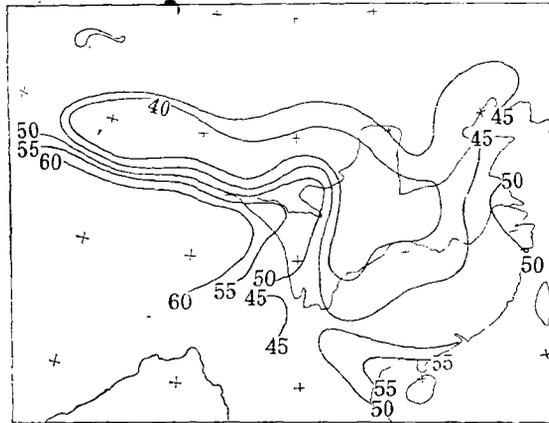


图 6 7月水汽在辐射衰减中所占比重(%)

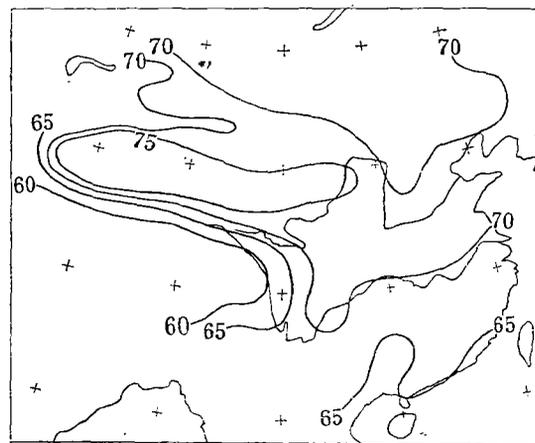


图 7 4月气溶胶在辐射衰减中所占比重(%)

### 参 考 文 献

- [1] 程纯枢, 泰山日观峰日射观测结果的分析, 气象学报, 27, №. 3, 1956.
- [2] 潘守文, 长江中下游地区的辐射平衡和大气透明度特征, 南京大学学报, 气象学, №. 1, 1962.
- [3] 陈明荣等, 秦岭山地太阳辐射特征, 地理学报, 31, №. 3, 1965.
- [4] 寇有观等, 珠峰地区的太阳辐射, 珠峰地区科学考察报告, 1966—1968, 气象与太阳辐射, 科学出版社, 1975.
- [5] 王炳忠等, 我国的大气透明度及其计算, 太阳能学报, 2, №. 1, 1981.
- [6] Пивоварова З. И. Распределение коэффициента прозрачности атмосферы для интегрального потока по территории СССР, Труды ГГО, вып. 213, 1968.

- [7] Mügge R., Müller F. Zur Berechnung von Strahlungs-strömen und Temperaturänderungen in Atmosphären von beliebigen Aufbau., Zeitschr. für Geophys. Bd. 8, H. 1—2, 1932.
- [8] Сивков С. И. Методы расчета характеристик солнечной радиации, Гидрометиздат, 1968.

## THE STATE OF ATMOSPHERIC TRANSPARENCY OVER CHINA

Wang Bing-zhong

(Academy of Meteorological Science, Central  
Meteorological Service)

Pan Gen-di

(National Meteorological Center, Central  
Meteorological Service)

### Abstract

Based on the data of direct radiation measured at 9.30, 12.30 and 15.30 true solar time daily at 65 solar radiation stations in China, up to 1978, the atmospheric transparency coefficient has been calculated. For the convenience of comparison among various regions and for presenting distribution charts, the data have been corrected to  $M=2$ . Solar constant is taken as  $S_0=1.98 \text{ cal/cm}^2 \text{ min}$ .

Topography affects atmospheric transparency significantly, high transparency being on the plateaus while low value in lowlands.

The distribution characteristics of the two major factors affecting the atmospheric transparency, water vapour and aerosol, are analyzed. The radiation absorbed by water vapour is calculated according to Muegge and Mueller formulae using the vapour content in air column obtained from radiosonde data.