

《中国亚热带东部丘陵山区
农业气候资源
及其合理利用研究》课题组

翁笃鸣 孙治安 著
缪启龙 史 兵

中国 亚热带东部山区坡面 太阳能资源和净辐射 图集

气象出版社

中国亚热带东部山区坡面 太阳能资源和净辐射图集

《中国亚热带东部丘陵山区农业气候资源
及其合理利用研究》课题组

翁笃鸣 孙治安 著
缪启龙 史 兵

气象出版社

内 容 简 介

本图集根据作者提出的地表辐射平衡各分量的气候计算方法以及相应的坡地辐射计算方法,利用我国亚热带东部地区日射站和194个气象站的资料计算、绘制而成。图集分三部分:第一部分为水平地面上的辐射平衡各分量图,包括太阳直接辐射、散射辐射、总辐射、地表反射率、地表吸收辐射、地面有效辐射和地面净辐射等7项;第二部分为坡面辐射分量图,计有到达坡面的太阳直接辐射、坡面散射辐射、坡面总辐射和坡面净辐射4项,坡向分南、东南(西南)、东(西)、东北(西北)、北等5个方位,坡度分 5° 、 10° 、 20° ,共60项。两部分共67项,每项均绘制1、4、7、10月和全年平均值图,总计335幅。第三部分为附录,给出郑州等10个站全年各月的实测(或计算)辐射平衡各分量资料,以及 $18-37^{\circ}\text{N}$ 之间坡面太阳直接辐射的换算资料。

本图集较全面地揭示出我国亚热带东部山区太阳光能资源和辐射场分布的基本特点。由于图中各分量等值线间距较小,内插精度较高,有较高实用价值。本图集可供从事农、林、牧业和气象、水文、地理、能源等专业技术人员及有关院校师生参考。

中国亚热带东部山区坡面 太阳能资源和净辐射图集

翁笃鸣 孙治安 著
缪启龙 史 兵

责任编辑 潘根娣

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

中国科学技术情报研究所印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 全国各地新华书店经售

开本: $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印张: 9.75 印数: 1—800

1988年4月第一版 1988年4月第一次印刷

ISBN 7-5029-0116-7/P·0075

定价: 9.00元

图集计算方法及有关问题的说明

一、基本方程

水平地面辐射平衡方程可表示为

$$R = Q(1 - a) - F \quad (1)$$

式中 R 为净辐射（辐射平衡）； Q 为太阳总辐射； a 为地表反射率； F 为地面有效辐射。太阳总辐射还可表示为太阳直接辐射 S' 和散射辐射 D 之和，即

$$Q = S' + D \quad (2)$$

坡面上的辐射平衡方程，在坡度较小且坡地与坡前平地地面条件大体一致的情况下，可近似地表示为

$$R_{\alpha\beta} = (S_{\alpha\beta} + D_{\alpha\beta})(1 - a') - F_{\alpha} \quad (3)$$

其中 $R_{\alpha\beta}$ 为坡地净辐射； $S_{\alpha\beta}$ 为到达坡地上的太阳直接辐射； $D_{\alpha\beta}$ 为到达坡面上的散射辐射； a' 为坡面反射率； F_{α} 为坡面有效辐射。

二、水平面上辐射平衡各分量的气候计算方法

(1) 总辐射计算方法，采用^[1,2]

$$Q = S_0(a + bs_1) \quad (4)$$

其中 S_0 为天文辐射量； s_1 为日照百分率； a 、 b 为经验系数。据检验，在全国范围内上式的平均相对误差仅2.7%。

(2) 太阳直接辐射的气候计算式，采用^[3]

$$S' = S_0(as_1 + bs_1^2) \quad (5)$$

式中 S_0 、 s_1 同上式， a 、 b 为新的经验系数。该式平均相对误差为5.8%。

(3) 太阳散射辐射计算式为^[1]

$$D = S_0(a + b\bar{n} - c\bar{n}^2) \quad (6)$$

这里 $\bar{n}$ 为云特征参数，有

$$\bar{n} = 0.03n_L + 0.07n_t$$

n_L 、 n_t 分别为平均低云量和总云量。

上述三个分量均系独立计算且能很好闭合。实用时，各式经验系数在不同站点的取值均需通过相应等值线图内插确定。

(4) 地表反射率主要按本地区各日射站实测资料内插得出。由于本区植被发展良好，而各种绿色植被的反射率一般差异较小，所以内插值有一定代表性。对冬季有积雪的山区测点，其月平均反射率 $\bar{a}$ 可采用公式^[4]

1) 王冰梅、翁笃鸣，我国散射辐射的气候计算及其分布特征。

$$\overline{a} = a + b \left(\frac{n}{N} \right)^{1.4} \quad (7)$$

式中 n 为各月积雪日数, N 为各月日数, a 、 b 为经验系数。

在算出总辐射和地表反射率后, 地面短波吸收辐射 $Q(1-a)$ 就能方便算出。

(5) 地表有效辐射 F 可按^[5,6]

$$F = \delta \sigma [\theta^4 - T^4 (1.035 - 0.295 e^{-0.166 w_{\infty}})] (1 - 0.54 e^{0.02 z^2 n}) 0.965 e^{0.18 z} \quad (8)$$

式中 δ 为地面比辐射系数, 一般取0.95, σ 为斯蒂芬-波尔兹曼常数; θ 、 T 分别为地面和空气温度(k), z 为海拔高度(以公里表示), w_{∞} 为测点空气柱水汽含量, 可按

$$w_{\infty} = (0.1054 + 0.1513 E) e^{0.06 z} \quad (9)$$

其中 E 为水汽压(百帕), 经北京等6个热平衡站和拉萨等7个短期考察站252个月的实测资料验证, 有效辐射计算值的平均相对误差为6.7%。

(6) 地表净辐射可由(1)式作为余项算出, 据验证, 平均相对误差为8.9%^[7]。

三、坡面上辐射平衡各分量的气候计算

坡面辐射平衡各分量可通过对水平面上各分量的换算得到。

(一) 坡面太阳直接辐射计算

在晴空条件下, 坡面日平均太阳直接辐射从理论上可按式计算^[8]

$$\begin{aligned} \overline{S}_{\alpha\beta} = f \frac{I_0}{2\pi R^2} & \left[U \sin \delta (\omega_2 - \omega_1) + V (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) \right. \\ & \left. - W \cos \delta (\cos \omega_2 - \cos \omega_1) \right] \end{aligned} \quad (10)$$

其中

$$U = \sin \varphi \cos \alpha - \cos \varphi \sin \alpha \cos \beta$$

$$V = \cos \varphi \cos \alpha + \sin \varphi \sin \alpha \cos \beta$$

$$W = \sin \alpha \sin \beta$$

式中 α 、 β 分别为坡度、坡向; δ 为赤纬; ω_2 、 ω_1 为坡地开始和终止日照的时角; f 为气候学透射系数; I_0 为太阳常数; $\frac{1}{R^2}$ 为日地平均距离订正。

实际云天条件下的坡地太阳直接辐射为

$$\begin{aligned} \overline{S}'_{\alpha\beta} = \frac{I_0}{2\pi R^2} & \left[U \sin \delta (\omega_2 - \omega_1) + V \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) \right. \\ & \left. - W \cos \delta (\cos \omega_2 - \cos \omega_1) \right] (as_1 + bs_1^2) \end{aligned} \quad (11)$$

坡地开始和终止日照时角可按下式计算

$$\omega_1 = \arccos \frac{-UVtg\delta + W\sqrt{1-U^2(1+tg^2\delta)}}{1-U^2} \quad (12)$$

$$\omega_2 = \arccos \frac{-UVtg\delta - W\sqrt{1-U^2(1+tg^2\delta)}}{1-U^2} \quad (13)$$

为了估计实际山地中周围山地对所计算坡地的遮蔽影响, 我们曾进行数值试验, 证明在遮蔽

角不超过 10° （可满足多数山地条件）的情况下，由此引起对日平均辐照度的误差一般不超过5%。

（二）坡面散射辐射计算

根据天空散射各向异性特点，坡面散射辐射日平均辐照度可按式计算^[9]

$$D_{a\beta} = D_0 \cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) + F(n) A_D(h_0, \alpha) \cos\beta \quad (14)$$

式中 $D_{a\beta}$ 、 D_0 分别为坡面和水平地面的实际散射辐射日平均辐照度。

$$F(n) = 1 - (0.08n_t + 0.02n_L)$$

$$A_D(h_0, \alpha) = 35.1 \cos 1.09 h_0 \sin 1.42 \alpha$$

这里 h_0 为计算时期的平均正午太阳高度角。试验结果，模式（14）的计算误差为3.6%。

应当说明，从理论上说，到达坡面的散射辐射还应包括来自坡前平地及周围山地的反射辐射。根据实际计算，对于周围地面反射率较小且计算点坡度较小的场合，这一部分辐射量非常有限^[10]，可忽略不计。

已经证明，对于地面条件与水平地面一致的坡面，其日平均反射率基本上可直接由水平地面反射率代替，无需任何订正^[10]。

坡面有效辐射一般可按式计算

$$F_a = F_0 \cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

于是，坡面净辐射就可近似地按（3）式求出。

图集中各项辐射量的单位均以全日（1440分）的平均辐照度（通量密度）瓦/米²表示。这样做可与风能密度单位统一起来，便于实际应用。其与原有单位的换算关系为

$$1 \text{ 卡/厘米}^2 \cdot \text{分} = 697.8 \text{ 瓦/米}^2$$

图集中等值线间距一般取10瓦/米²，对散射辐射取5瓦/米²，对有效辐射取2.5瓦/米²，反射率取2%。主要考虑既能反映各辐射量的空间分布形势，又不致使图面过于复杂或简单化。台湾岛的等值线间距一般比内陆扩大一倍。

四、关于附录的说明

附录分两部分，第一部分给出郑州等10个典型站总辐射、直接辐射、散射辐射、地表反射率、有效辐射和净辐射全年各月的平均值资料，其中太阳辐射部分系各站实测（衡山无实测资料），其余为计算值。藉助这些站点资料可了解我国亚热带东部地区辐射平衡各分量年变化的详细情况，以补充图集仅有年及各季代表月分布的不足。同时也供读者自行检查所用计算方法的精度。

第二部分给出 $18-37^\circ N$ 间坡面直接辐射的换算系数 $K_{a\beta}$ ，其表达式为

$$K_{a\beta} = \frac{U \sin \delta (\omega_2 - \omega_1) + V \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) - W \cos \delta (\cos \omega_2 - \cos \omega_1)}{2[\omega_0 \sin \varphi \sin \delta - \cos \varphi \cos \delta \sin \omega_0]}$$

式中除 ω_0 为水平地面日落时角外，其余均已作介绍。有

$$\omega_0 = \arccos(-\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta)$$

表中坡向 β 取5个基本方位,即南坡($\beta=0^\circ$);东南(西南)坡($\beta=\pm 45^\circ$);东(西)坡($\beta=\pm 90^\circ$);东北(西北)坡($\beta=\pm 135^\circ$);北坡($\beta=\pm 180^\circ$)。坡度 α 取 5° 、 10° 、 15° 、 20° 。根据 K_{β} 值只需算出各地水平面上太阳直接辐射 S' ,便可方便地算出相应坡面上的太阳直接辐射。

参 考 文 献

- [1] 祝昌汉,再论总辐射的气候学计算方法(一),南京气象学院学报, 1, 1982。
- [2] 祝昌汉,再论总辐射的气候学计算方法(二),南京气象学院学报, 2, 1982。
- [8] 翁笃鸣,中国太阳直接辐射的气候计算及其分布特征,太阳能学报, 7(2), 1986。
- [4] 孙治安、翁笃鸣,我国地表反射率及其分布特征,南京气象学院学报, 2, 1987。
- [5] 孙治安、翁笃鸣,我国有效辐射的气候计算及其分布特征(上),南京气象学院学报, 3, 1986。
- [6] 孙治安、翁笃鸣,我国有效辐射的气候计算及其分布特征(下),南京气象学院学报, 4, 1986。
- [7] 翁笃鸣、孙治安、史兵,中国地表净辐射的气候学研究,南京气象学院学报, 2, 1988。
- [8] 翁笃鸣等,小气候和农田小气候,农业出版社, 1981。
- [9] 李占清、翁笃鸣,坡面散射辐射各向异性模式,气象学报(即将发表)。
- [10] 李占清、翁笃鸣,一个山区中来自周围山地的短波反射辐射计算模式,地理研究, 8, 1987。

目 录

前言

图集计算方法及有关问题的说明

一、水平地面上的辐射平衡各分量

1、4、7、10月和全年水平地面太阳总辐射平均辐照度·····	(2)
1、4、7、10月和全年水平地面太阳直接辐射平均辐照度·····	(4)
1、4、7、10月和全年水平地面太阳散射辐射平均辐照度·····	(6)
1、4、7、10月和全年平均地面反射率·····	(8)
1、4、7、10月和全年水平地面短波吸收辐射平均辐照度·····	(10)
1、4、7、10月和全年水平地面有效辐射平均辐照度·····	(12)
1、4、7、10月和全年水平地面净辐射平均辐照度·····	(14)

二、坡面上的辐射平衡各分量

(一) 坡面太阳直接辐射

南坡 (5° 、 10° 、 20°) 坡面 1、4、7、10月和全年太阳直接辐射平均辐照度·····	(16)
东南(西南)坡 (5° 、 10° 、 20°) 坡面 1、4、7、10月和全年太阳直接辐射平均辐照度·····	(22)
东(西)坡 (5° 、 10° 、 20°) 坡面 1、4、7、10月和全年太阳直接辐射平均辐照度·····	(28)
东北(西北)坡 (5° 、 10° 、 20°) 坡面 1、4、7、10月和全年太阳直接辐射平均辐照度·····	(34)
北坡 (5° 、 10° 、 20°) 坡面 1、4、7、10月和全年太阳直接辐射平均辐照度·····	(40)

(二) 坡面太阳散射辐射

南坡 (5° 、 10° 、 20°) 坡面 1、4、7、10月和全年太阳散射辐射平均辐照度·····	(46)
东南(西南)坡 (5° 、 10° 、 20°) 坡面 1、4、7、10月和全年太阳散射辐射平均辐照度·····	(52)
东(西)坡 (5° 、 10° 、 20°) 坡面 1、4、7、10月和全年太阳散射辐射平均辐照度·····	(58)
东北(西北)坡 (5° 、 10° 、 20°) 坡面 1、4、7、10月和全年太阳散射辐射平均辐照度·····	(64)
北坡 (5° 、 10° 、 20°) 坡面 1、4、7、10月和全年太阳散射辐射平均辐照度·····	(70)

(三) 坡面太阳总辐射

南坡 (5° 、 10° 、 20°) 坡面 1、4、7、10月和全年太阳总辐射平均辐照度·····	(76)
东南(西南)坡 (5° 、 10° 、 20°) 坡面 1、4、7、10月和全年太阳总辐射平均辐照度·····	(82)

东(西)坡(5° 、 10° 、 20°)坡面1、4、7、10月和全年太阳总辐射平均辐照度.....	(88)
东北(西北)坡(5° 、 10° 、 20°)坡面1、4、7、10月和全年太阳总辐射平均辐照度.....	(94)
北坡(5° 、 10° 、 20°)坡面1、4、7、10月和全年太阳总辐射平均辐照度.....	(100)
(四) 坡面净辐射	
南坡(5° 、 10° 、 20°)坡面1、4、7、10月和全年净辐射平均辐照度.....	(106)
东南(西南)坡(5° 、 10° 、 20°)坡面1、4、7、10月和全年净辐射平均辐照度.....	(112)
东(西)坡(5° 、 10° 、 20°)坡面1、4、7、10月和全年净辐射平均辐照度.....	(118)
东北(西北)坡(5° 、 10° 、 20°)坡面1、4、7、10月和全年净辐射平均辐照度.....	(124)
北坡(5° 、 10° 、 20°)坡面1、4、7、10月和全年净辐射平均辐照度.....	(130)

三、附录

I. 10个典型站全年各月太阳直接辐射、太阳散射辐射、太阳总辐射、地表反射率、地面有效辐射和地面净辐射资料表.....	(136)
II. 18° — 37° N各坡面太阳直接辐射换算系数 $K_{\alpha\beta}$ 表(1—12月)	(138)

前 言

在山地气候资源中,太阳光能和辐射热量资源是最基本的。因此,研究山区太阳辐射(特别是坡面太阳辐射)一直是气候学研究和应用的重要任务之一。

本图集是根据作者所提出的地面辐射平衡各分量气候计算方法,结合坡面特点计算、绘制而成。它具体地反映出我国亚热带东部丘陵山区各坡面太阳光能和辐射量的分布特征及其季节变化情况,揭示出该山地坡向、坡度的重要作用。由于坡地影响的几何特点,所以本图集在一定程度上也代表了其它地区山区太阳光能分布差异的一般特点。

本图集分三部分:第一部分为水平地面上的辐射平衡各分量图,包括太阳直接辐射、散射辐射、总辐射、地表反射率、地表吸收辐射、地面有效辐射和地表净辐射等7项。第二部分为坡面辐射分量图,计有到达坡面的太阳直接辐射、坡面散射辐射、坡面总辐射和坡面净辐射4项。坡向分南、东南(西南)、东(西)、东北(西北)、北等5个方位,坡度分 5° 、 10° 、 20° 3个,共60项。两部分合计为67项,每项均绘制1、4、7、10各月及年平均分布图,总计335幅图。为便于读者检验及实际应用,本图集第三部分还以附录形式给出郑州等10个典型站全年各月的实测(或计算)太阳直接辐射、散射辐射、总辐射、地面反射率、有效辐射和净辐射的资料,以及 $18-37^{\circ}\text{N}$ 坡面太阳直接辐射的换算系数 $K_{\alpha\beta}$ 值表。

本图集分析范围为我国亚热带东部山区,跨越华南山地至秦岭、淮河间的广大地区,大致包括河南、安徽、江苏、湖北、湖南、江西、浙江、福建及广东省部分地区。资料来源除应用本地区及邻近地区现有日射观测资料外,还应用了194个气象站资料。图集中各辐射量均通过计算途径得到。

本图集系《中国亚热带东部丘陵山区农业气候资源及其合理利用研究》项目的研究成果之一。在完成本图集工作以及为研究净辐射各分量气候计算方法中,还曾得到国家气象局气象科学基金会的资助。

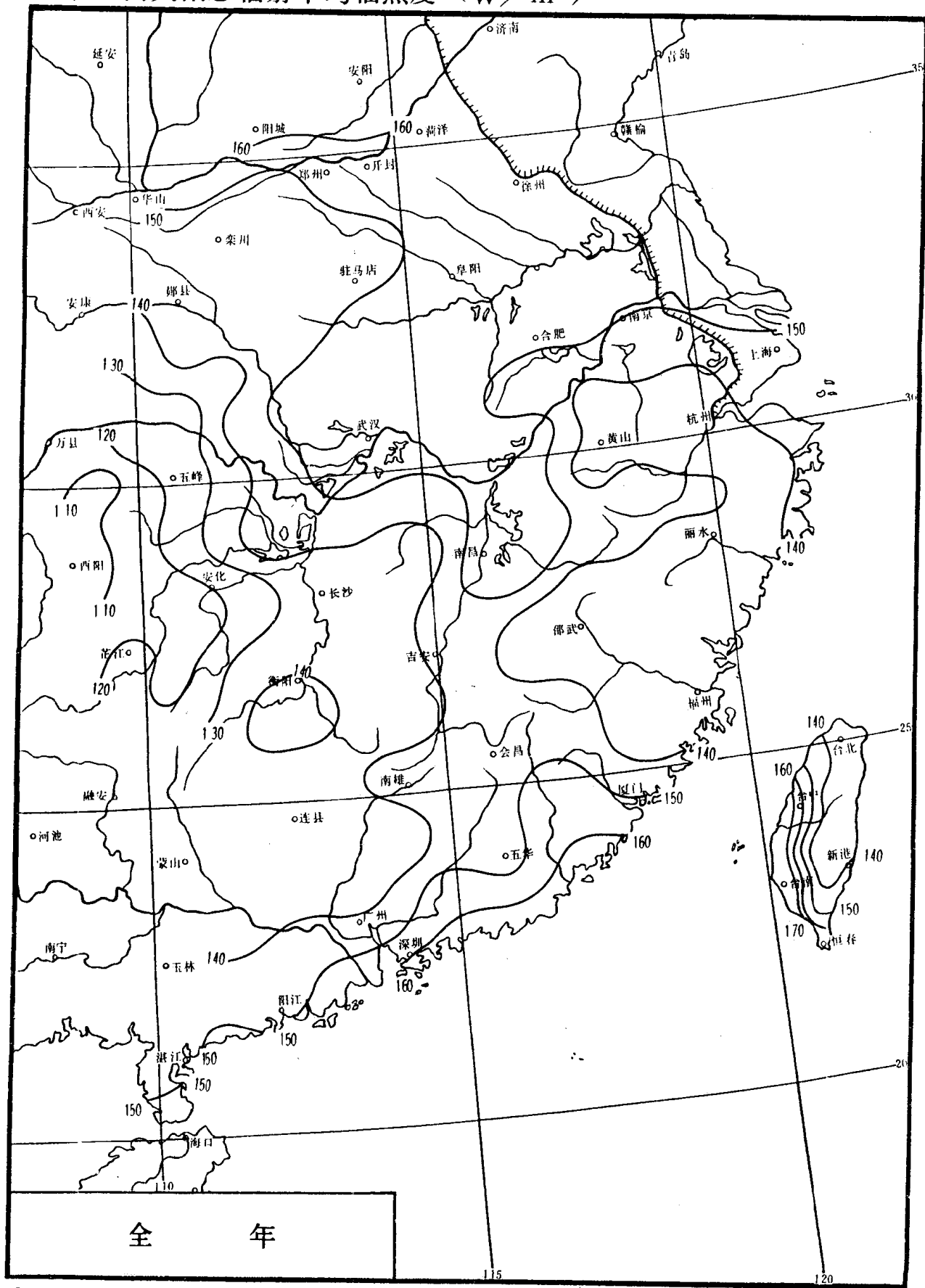
在我国编制山区坡面辐射图集还属首次,因此,这项工作带有探索性质,难度较大,加之作者水平有限,难免有许多错误和不足之处,谨请读者批评指正。

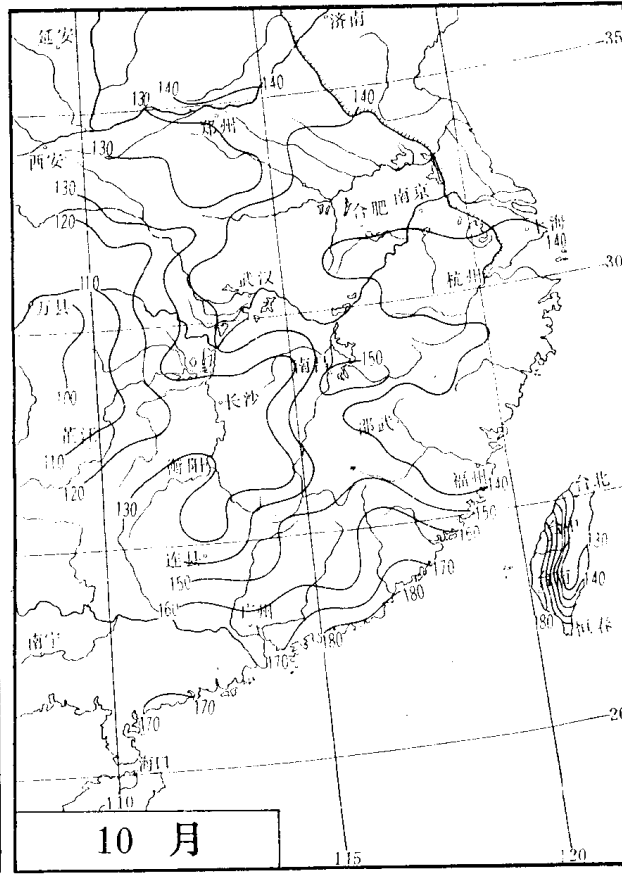
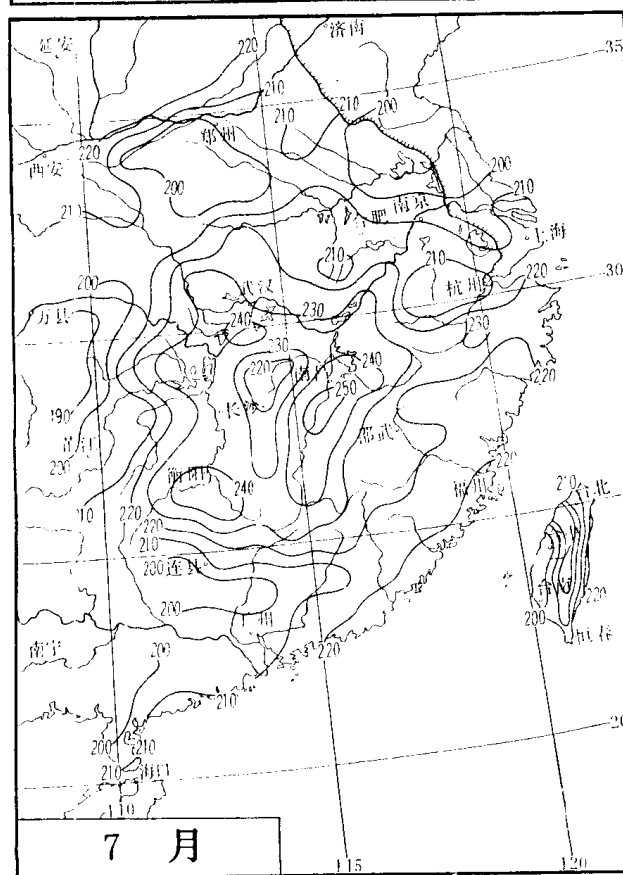
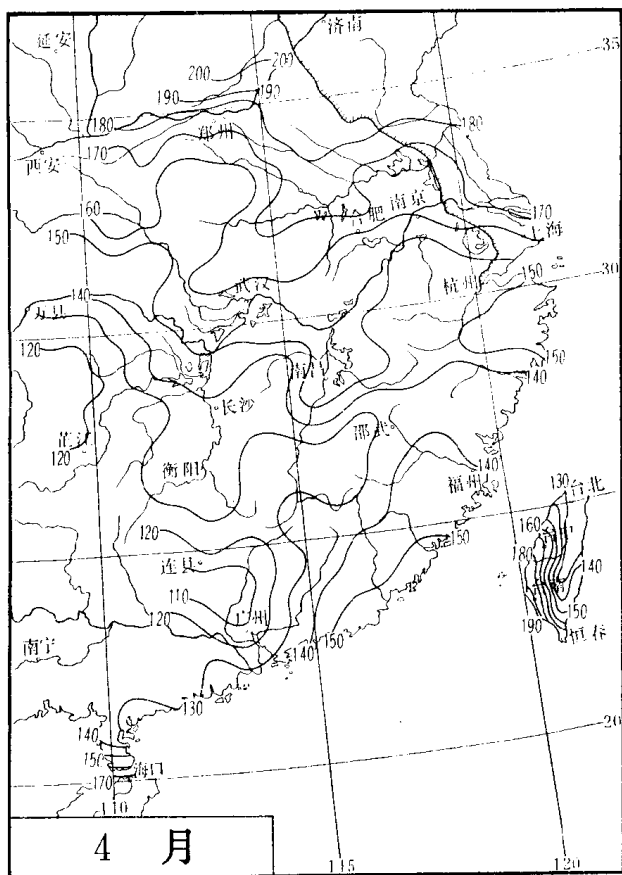
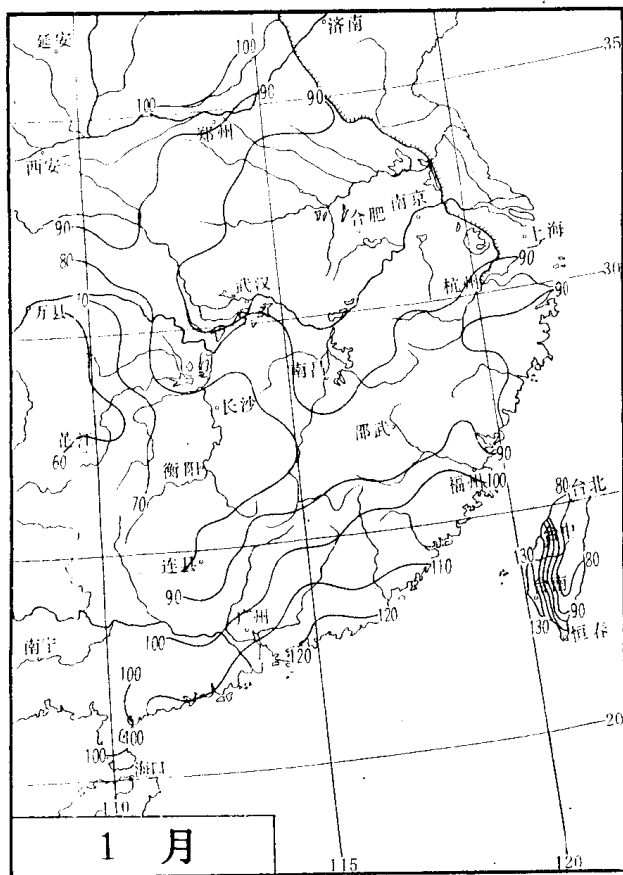
翁笃鸣于

南京气象学院

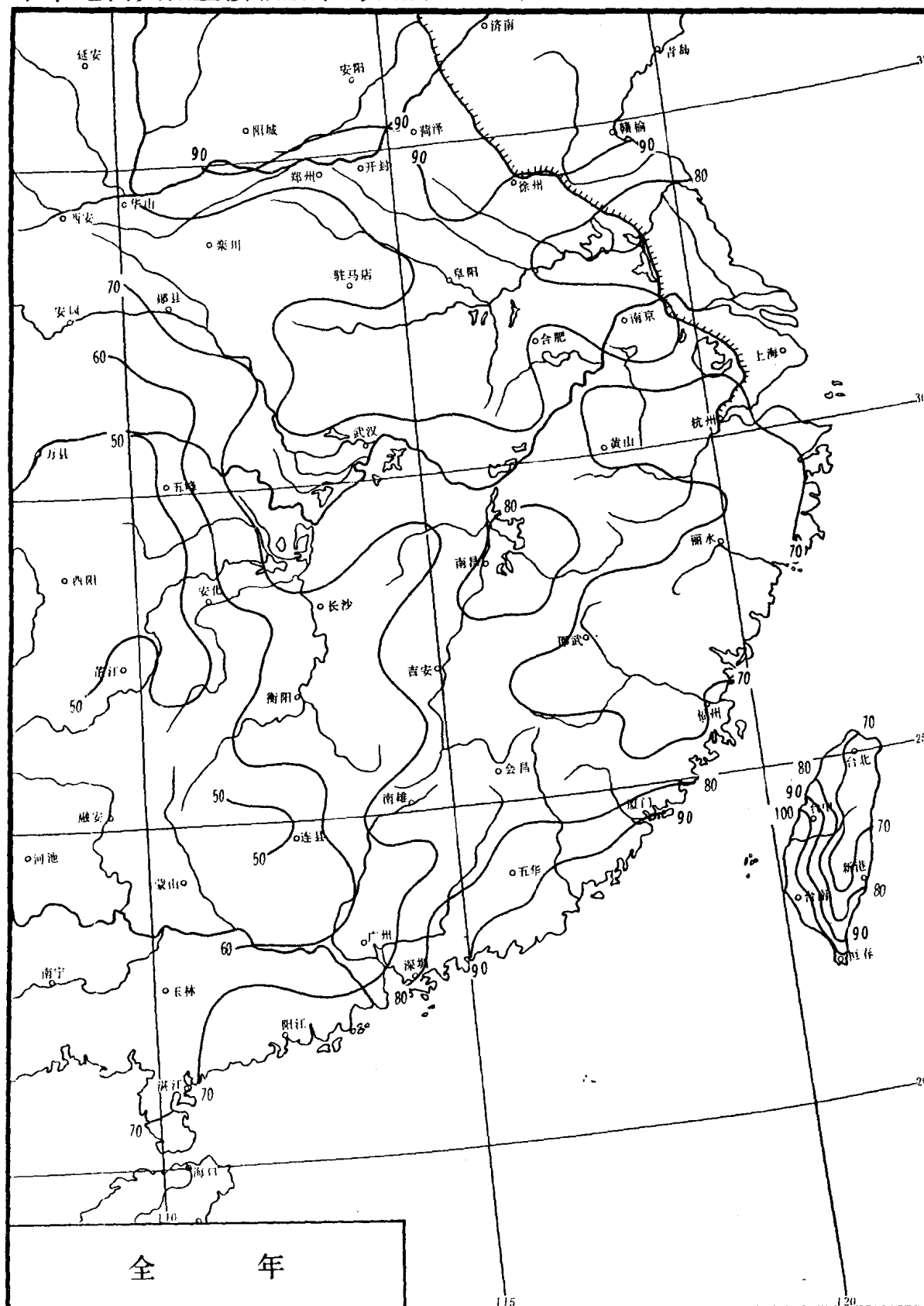
1987年11月

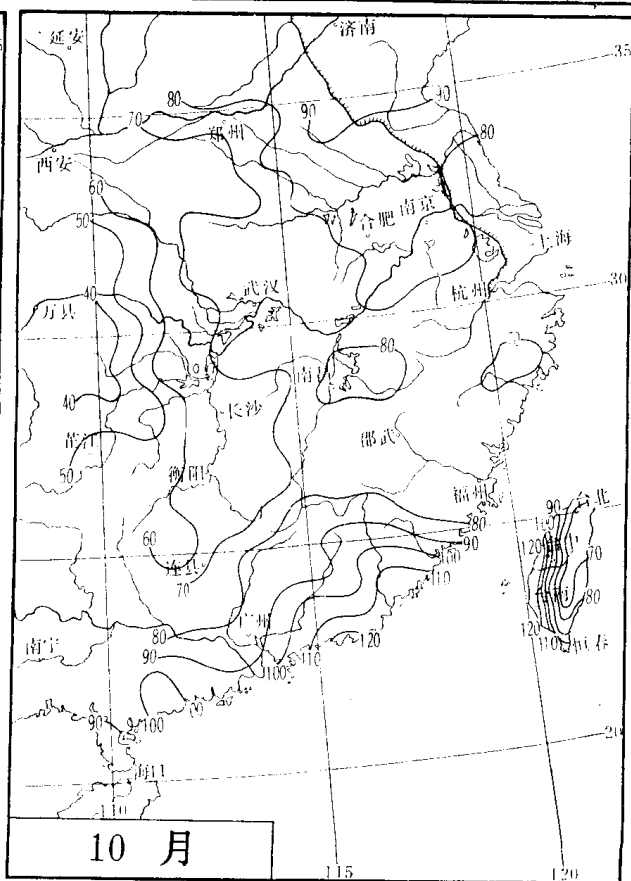
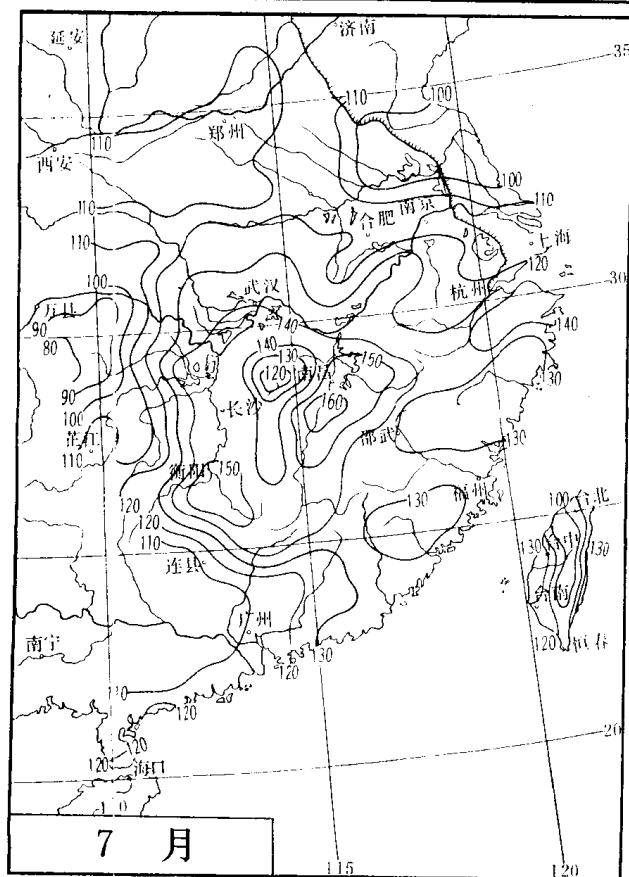
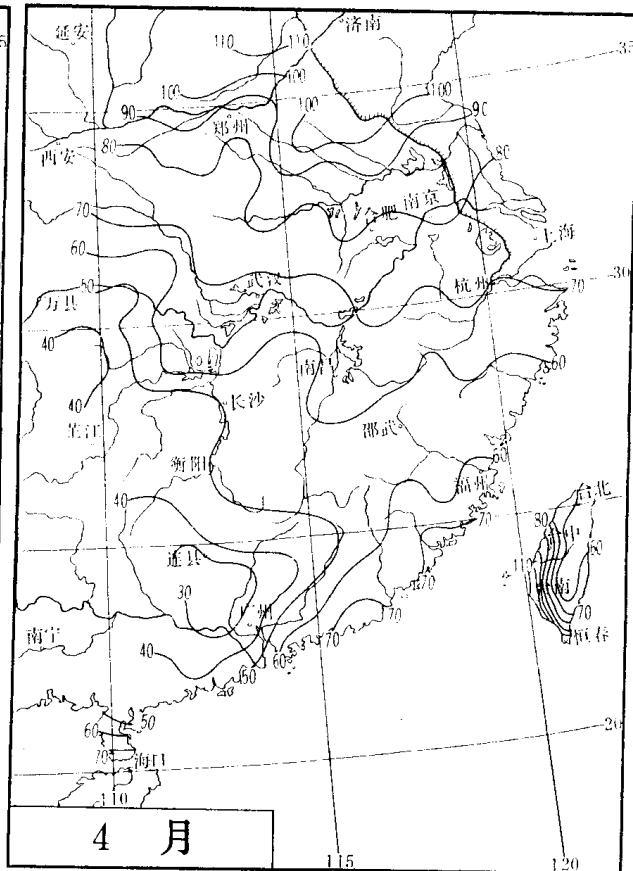
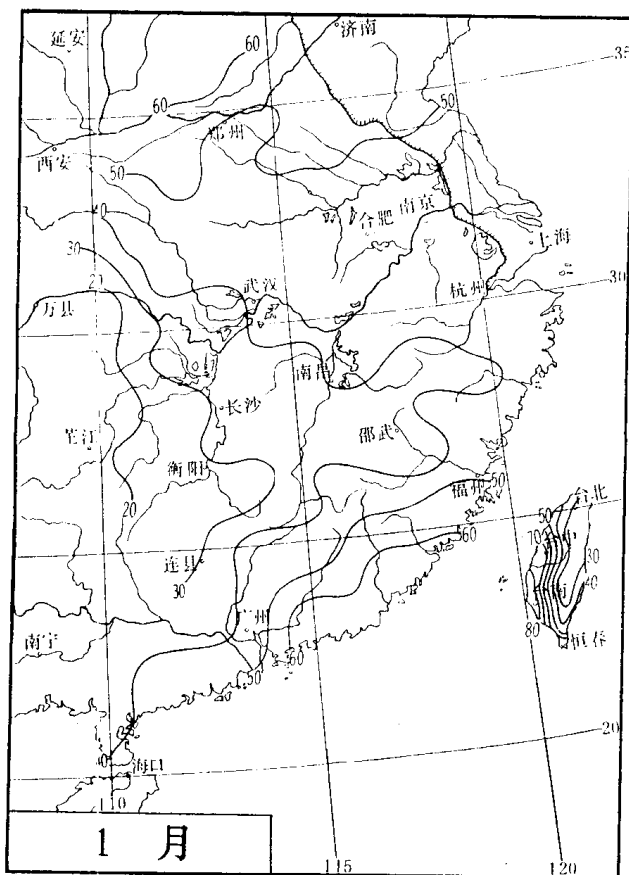
水平地面太阳总辐射平均辐照度 (W/m^2)



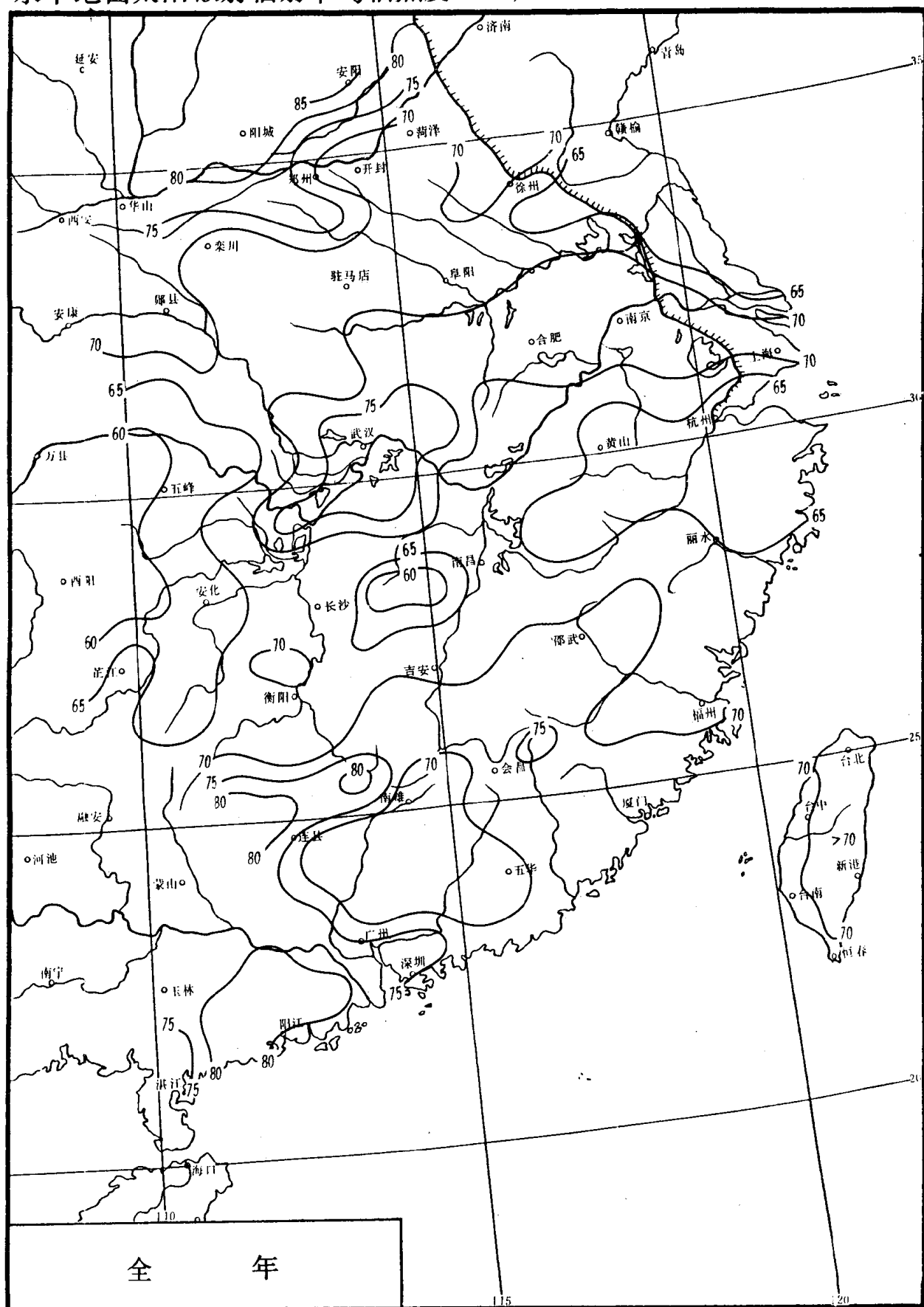


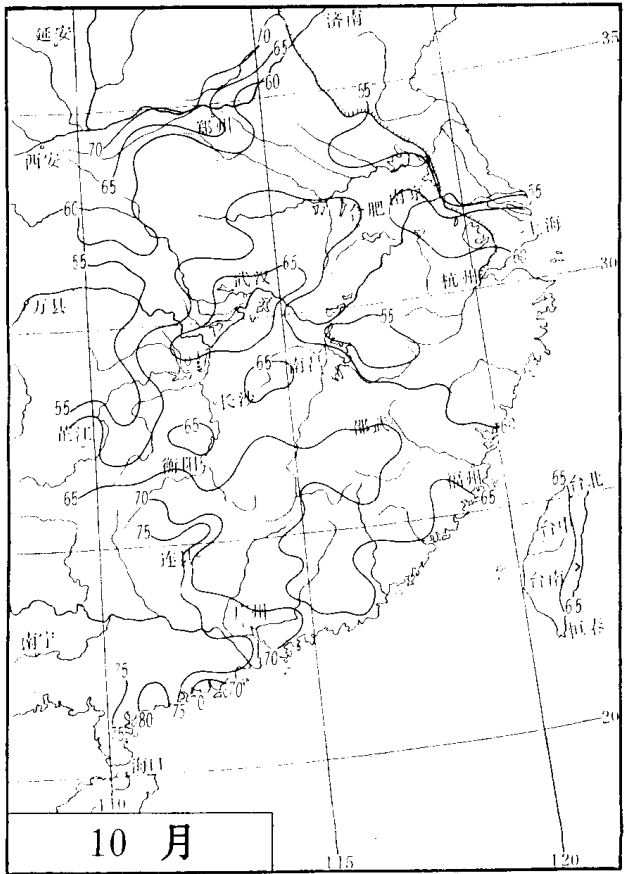
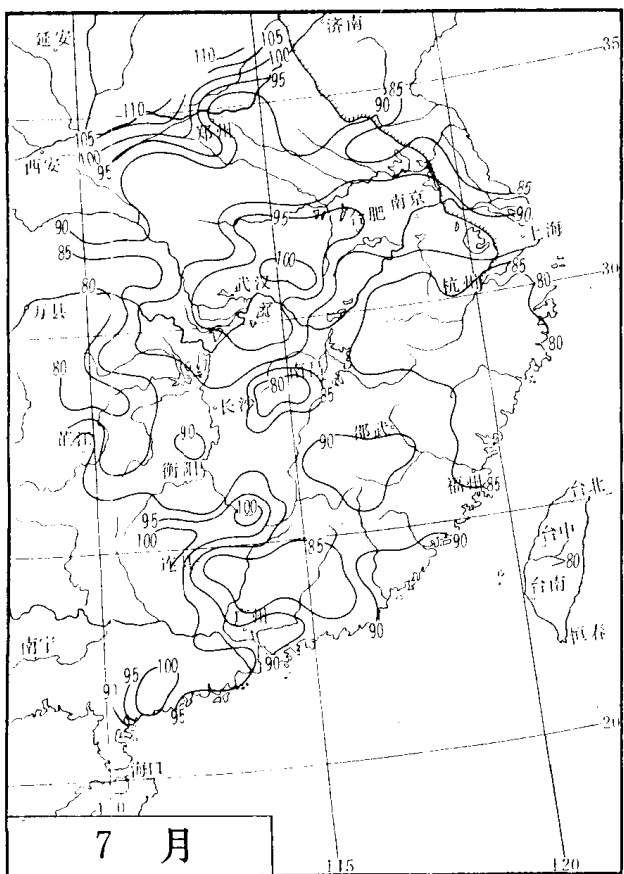
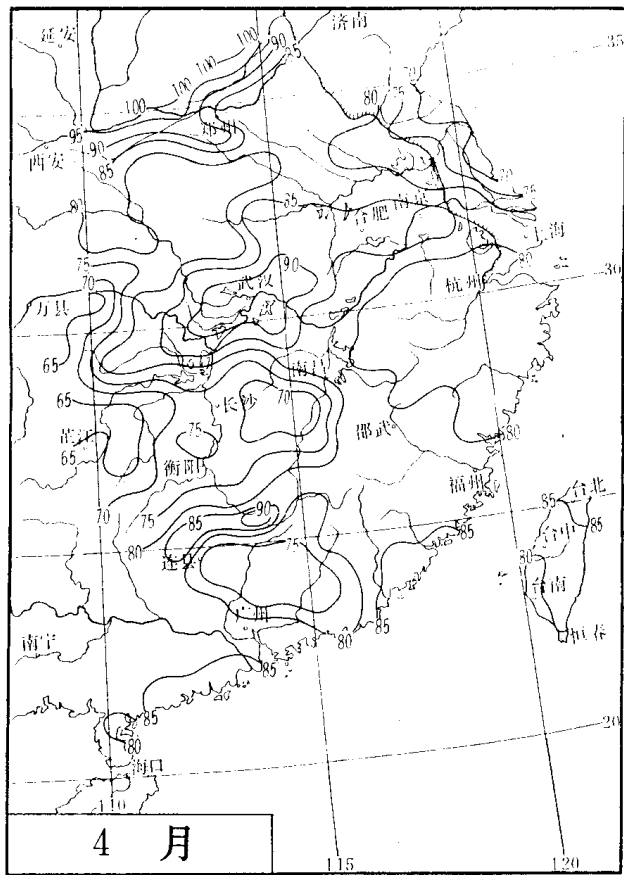
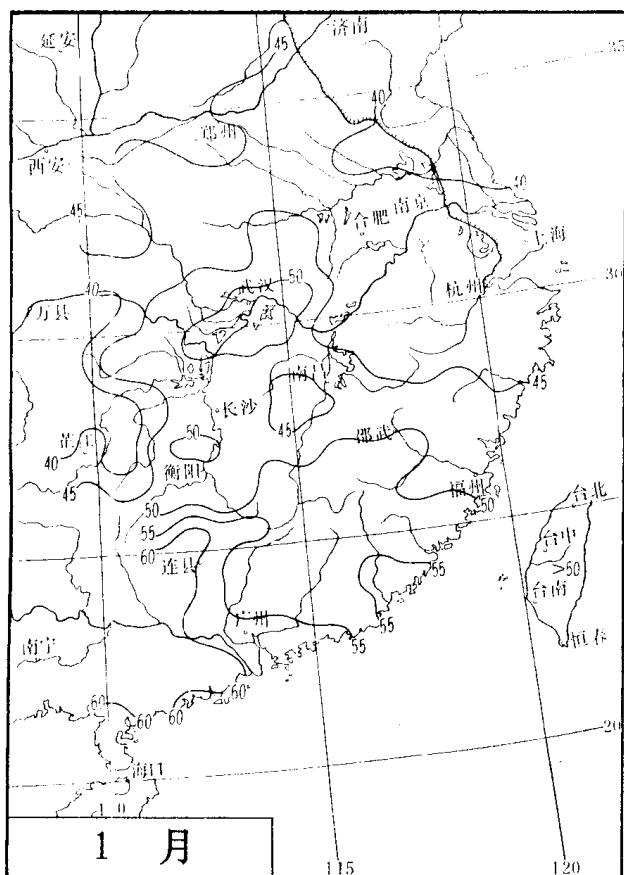
水平地面太阳直接辐射平均辐照度 (W/m^2)





水平地面太阳散射辐射平均辐照度 (W/m^2)





平均地面反射率 (%)

