

能量水分平衡与网络试验研究 农业生产潜力

赵名茶 主编

气象出版社

1992

65.231
552

能量水分平衡与网络试验研究 农业生产潜力

赵名茶 主编

气象出版社

1992

(京)新登字046号

内 容 简 介

本书是中国科学院重点项目“资源生态环境网络研究”中课题成果。用1990—1992网络观测资料及农田自然要素观测资料研究能量、水分平衡及生产潜力。

全书共分四章，包括太阳光谱辐射的网络研究，能量水分平衡试验研究，网络数据库软件设计和不同地区农业生产潜力及承载力研究。书中概括了几十年农业生态试验的数据及理论著述。

本书可供气象、农、林业生态工作者，有关大专院校教师及高年级学生和研究生阅读、参考。

能量水分平衡与农业生产潜力网络试验研究

赵名茶 主编

责任编辑：庞金波

气象出版社出版

(北京西便门白石桥路46号)

廊坊市东安庄曹庄印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

全国各地新华书店经销

开本：787×1092 1/16 印张：14.6 字数：365千字

1992年12月第一版

1992年12月第一次印刷

印数：500

定价：12.00元

ISBN7—5029—1140—5/S·0186

序

由于人口急剧增长和工业迅猛发展,使得全人类愈来愈严重地面临资源和生态方面的许多问题。我国人口众多、资源问题就更加严重。森林过伐、草场过牧、水土流失、环境污染及沙漠化加剧等一系列问题,已经严重地影响我国经济的发展和生态环境的改善。

为了了解可更新自然资源与生态环境的变化,探索其利用与保护的途径,建立合理经营模式,需要建立生态研究所,它们是进行自然资源和生态环境研究的前沿阵地。自中国科学院成立以来,我们已在各地建立了覆盖全国主要的自然、半自然和人工生态系统类型的五十多个生态研究站。通过科技人员长期艰苦的工作,这些站在探索自然规律方面做出了显著成绩,并为合理利用保护资源环境和发展生产提供了示范样板。它们不仅为生态科学的发展,而且也为经济的繁荣做出了贡献。这些站已经成为我院研究工作的重要组成部分,也是国家的宝贵财富。

人类活动对资源和生态环境所产生的压力,促进了资源环境科学的发展、由单学科研究到多学科的综合研究,由静态研究到动态研究,由定性到定量的研究,由对孤立过程的研究到对整个生态系统的研究,由地区性到区域性、全国性乃至全球性的研究,已经成为生物学、地理学发展的一些重要动向。近几年来,“地球系统”这一概念的出现,以及为揭示该系统的奥秘而推出的国际地圈-生物圈计划(IGBP),更将资源、环境科学的发展提高到一个新阶段。

为了迎接时代的挑战、认识并力图解决人类所面临的资源和生态环境方面的问题,按照统一的思想、方法和目标,将已有的各个生态研究站组织起来,建成地区的、全国的和全球的网络,进而从事网络性研究,是一条非常重要的途径。

正是基于这种认识,我们经过长时间的酝酿,准备建成中国生态研究网络。它的任务是,进行我国主要生态系统的结构与功能及优化模式的研究和经营示范工作。这一项目已被列为我院的重大科研项目之一。该网络的建成,将标志着我院的可更新资源与生态环境研究和经营示范工作进入到一个新的阶段。

本书是《资源生态环境网络研究》项目中第二课题“生态系统过程和机理、生产潜力和土地承载力的系统网络研究”中的第四子课题“主要类型生态系统的生产潜力与土地承载力网络试验研究”(06-02-04课题)的一本综合性成果。希望本书的出版能对推动我国生态研究网络的建设和研究工作起到一定作用。

孙鸿烈

前 言

当今全世界都在关心环境变迁及全球气候变暖问题,而气候变化对自然环境的影响更是研究的焦点所在。自然地域分异的物质、能量基础之定量研究,则是其工作的重心。自60年代初,我们跟随黄秉维先生从事农田热量、水分平衡试验及理论研究,先后进行了抑制蒸发田间试验及抑制蒸发剂的研制,又在热、水平衡研究基础上,从事农业生产潜力及土地承载力的研究。近几年工作深入到自然地域分异的物质、能量定量研究中,地理系统理论的研究亦处于盛期。我们的全部工作都是围绕着能量平衡、水分平衡及其区域划分工作的,而在方法上则始终以站点观测试验工作为基础,又特别着重站、点之间网络的建立及时间、空间上的对比联系。

60年代、70年代、80年代我们先后在石家庄,栾城,庄河,湖南韶山,河南柘城、商丘,湖北襄樊、荆州,北京等地定位、半定位试验站上进行过多年观测试验。90年代初,建立了农业生产潜力观测试验网络。该网络由禹城试验站、长白山试验站、内蒙古草原生态站、海伦试验站、阜康试验站、固原试验站、阿克苏试验站及桃源试验站等八个试验站组成。分别研究阔叶红松林、典型草原、东北黑土地地区农田、荒漠绿洲、黄土丘陵农田及中亚热带水稻田的农业生产潜力。

网络观测试验工作首先完成了各站的太阳分光光谱的观测,自1990年3月开始至1992年2月止,进行两年的观测工作。太阳分光光谱观测网络,采用统一的观测仪器,设计了统一的计算机软件包进行分析及绘图,观测时间、观测程序、观测方法均有统一的规范。观测项目有总辐射、散射辐射、反射辐射,光谱波段为红外辐射、可见光辐射、紫外辐射等,每日每时不间断地连续观测,共积累了几百万组数据。

本书是“生产潜力与土地承载力网络试验研究”(1991年1月北京工业大学出版社出版)的续集。本书第一部分为太阳辐射光谱网络研究,包括太阳辐射光谱与地物反射波谱的分析、校验,太阳辐射光谱的集中度与集中期研究,还有分光光谱辐射特征的分析。太阳分光光谱观测的地区有喀喇昆仑山—昆仑山地区,塔里木盆地西北部,小兴安岭西侧松辽平原,长白山区,黄土高原丘陵区及中亚热带丘陵等不同的生态类型区。

能量、水分平衡试验研究是第二部分的中心内容。包括冬小麦土壤水分消耗的综合研究、冬小麦蒸发规律的研究、蒸发力的气候算法及卞曼蒸发力公式在我国适用性的检验等。观测始自1960—1966年石家庄定位试验站观测试验工作,到70至80年代扩展到其它各地。无论在理论水平及试验观测手段上都是属于当时国内先进的水平,以其严谨的试验手段、较高的理论水平及精确的实验数据为特征而显示出它们的高度科学性。

第三部分是太阳分光光谱辐射及生产潜力数据库软件设计。包括计算及BASIC绘图程序,太阳光谱年过程玫瑰图绘制程序,集中期与集中度的计算及绘图等。

第四部分为农业生产潜力及承载力研究。包括草原草场生产力、牧场载畜量研究,塔里木盆地绿洲生产潜力研究及阜康、宁夏、西藏、湖南等地生产潜力及承载力的研究。

本书是地理所及网络各站70多名科技人员集体工作的结晶,在此特向参加本课题工作并

为之付出辛勤劳动的同志们致谢。并以此书做为我们共同工作、奋力拼搏，并获得中国科学院自然科学奖这一成果的总结，做为我们团结协作进行科学研究与友谊的纪念。

孙鸿烈副院长为本书作了序，特此致谢！

赵名茶

1992年2月

目 录

序

前言

第一部分 太阳辐射光谱网络研究

1. 太阳辐射玫瑰图及其在我国不同自然地区的分布特征.....赵名茶 (1)
2. 太阳辐射光谱及地物反射波谱与分光谱辐射观测资料的校验.....赵名茶 (5)
3. 分光谱辐射特征.....徐兆生 (16)
4. 夏季喀喇昆仑山—昆仑山分光谱辐射特征的分析.....魏耀宏 林振耀 (24)
5. 塔里木盆地西北部平原地区分光谱辐射的特征.....蒋葆明 (31)
6. 海伦地区太阳分光谱辐射特征.....张志学 朱志明等 (35)
7. 长白山站光合有效辐射特征研究.....金昌杰 朱延曜等 (41)
8. 桃源分光谱辐射特征的初步分析.....童成立 肖昌锰等 (47)
9. 海伦地区太阳辐射观测试验研究.....张志学 朱志明等 (52)
10. 黄土高原太阳辐射的计算及其时空分布特征的研究.....穆兴民 陈国良等 (57)

第二部分 能量、水分平衡试验研究

11. 冬小麦土壤水分消耗的综合研究.....唐登银 (62)
12. 冬小麦总蒸发规律研究.....赵名茶 (80)
13. 新疆干旱区地表辐射平衡的研究.....邓慧平 (97)
14. 卞曼蒸发力公式在我国适用性的检验.....赵名茶 (104)
15. 蒸发力的气候算法.....赵名茶 (114)
16. 光量子能量在冬小麦群体中的吸收及利用率.....赵名茶 (125)
17. 冬小麦耗水量与土壤水分、气象因子关系分析.....孙惠南 (131)

第三部分 太阳分光谱辐射及生产潜力数据库软件设计

18. 分光谱辐射观测记录数据库应用程序的改进及BASIC绘图程序...李钜章 (137)
19. 年过程玫瑰图绘制与集中度、集中期计算程序.....李钜章 (143)
20. 分光谱辐射过程线的屏幕硬拷贝程序的开发与应用.....王雪松 朱志明 (148)
21. 阿克苏水平衡实验站科学试验观测资料数据库管理查询系统.....周宏飞 (153)

第四部分 农业生产潜力及承载力研究

22. 内蒙古典型草原的生物量与生产力.....王义凤 (158)
23. 塔里木盆地绿洲生产潜力研究中的几个问题.....吴申燕 (167)
24. 我国的农业生产潜力.....冷疏影 (172)
25. 内蒙古白音锡勒牧场载畜量研究.....尹承军 马 奇 (179)
26. 阜康荒漠绿洲农业生态系统优化模型研究.....张 宏 程心俊 (187)
27. 不同干旱强度对春小麦产量的影响及其在生产力估测中的应用
.....陈国良 王万忠等 (193)

28. 西藏宜牧土地的生产潜力.....刘燕华 (200)
29. 宁南山区粮食自给能力的系统分析.....赵养社 陈国良等 (207)
30. 应用太阳辐射观测资料研究水稻生产潜力.....李慎典 (211)
31. 湖南土地资源承载力分析.....肖昌锰 (217)
32. 土壤中有效态钴及钴肥对作物产量和质量的影响.....刘雪华 (222)

太阳辐射玫瑰图及其在我国不同自然地区的分布特征

赵名茶

(中国科学院 地理研究所)
(国家计委)

一、前言

太阳辐射是一个典型的标量,在辐射资料分析中只用数字表示,使用最多的是日、旬、年总量及各次观测值,单位为 $J/m^2 \cdot \text{日}$ 、 $J/m^2 \cdot \text{月}$ 、 $J/m^2 \cdot \text{年}$ 或 W/m^2 ,在辐射图集中用年、日过程线及辐射分布等值线图表示。但若要从地理分布的特点同时表示太阳辐射的时间分布及空间分布规律却很困难。

作者尝试将太阳辐射视为一个矢量,进行分析。早在1983年作者曾将降水做矢量分析,进行矢量合成,求出了降水的季节性能指标及降水的集中度,集中期,对全国及华北平原、黄土高原地区的降水期及作物水分亏缺进行了研究分析。1989年至1992年初我们与科学院八,个野外生态试验站共同建立了太阳分光谱辐射观测网络。八个试验站使用统一的仪器进行观测用锦州322所生产的TBQ-4-1型分光谱辐射表,每套仪器由三个不同波段的辐射表同步观测,分别在每日每小时观测总辐射、紫外辐射、可见光辐射及红外辐射的散射辐射、反射辐射值。网络的观测已持续两年,在用计算机计算辐射分量时,并同时设计了计算机绘图程序。

本文试图对太阳总辐射及其各分矢量做矢量分析,用辐射玫瑰图表征太阳辐射的年内分布特征,在此基础上分析辐射年内分布均匀度及集中期。

太阳分光谱观测网络分布在我国中温带、暖温带、中亚热带等三个温度带中,又分处于湿润地区、半湿润地区、半干旱地区及干旱地区等不同的干湿地区中,所代表的生态类型有红松阔叶林、典型草原、东北黑土地地区农田、黄土丘陵沟壑区旱作农田、西北荒漠绿洲农田、华北平原农田及南方水稻田。各站所属自然区域列于表1。

表1 太阳分光谱辐射观测网络台
站及所代表的自然区域特征

站号	站名及代号	所属自然区域
1	海伦站A	中温带湿润地区
2	长白山站B	中温带湿润地区
3	内蒙古站C	中温带半干旱地区
4	阜康站D	中温带干旱地区
5	禹城站E	暖温带半湿润地区
6	阿克苏站E	暖温带干旱地区
7	固原站F	暖温带半干旱地区
8	桃源站H	中亚热带湿润地区

二、太阳分光谱玫瑰图原理

太阳辐射这一标量,本无方向可言,现将其视为一矢量,绘制辐射玫瑰图,这种设计是参考了风玫瑰图的制作原理,风向有 360° 变化,风玫瑰图图形清晰、简明。太阳辐射的年内分配亦按36旬/年计算,每旬 10° ,按顺时针方向依次取各旬中间度数如 5° , 15° , 25° , 355° 为第1、2、3,.....,36旬的方向。辐射矢量的大小以各旬中日平均值为代表,单位: $MJ/m^2 \cdot d$ 太阳辐射玫瑰图很容易分析出太阳辐射在年内各旬、各月的分布情况及特征。

用计算机求出各旬太阳辐射矢量之后,又求出8个站36旬辐射分矢量的合成矢量。对于两个分矢量求合成,一般采用平行四边形法,对多个分矢量合成,则用多边形法。如禹城站太阳总辐射的矢量合成,取1旬太阳总辐射平均值 4.86MJ/m^2 ,通过坐标原点,方向取 5° ,将2旬太阳总辐射值 5.59MJ/m^2 ,方向取 15° ,该旬矢量始点移至1旬矢量终点与之相接,两矢量的头尾相接即为1、2旬之合成矢量,依此继续下去,就得出了36旬之合成矢量值。计算公式如下:

太阳辐射合成矢量A由36个旬矢量相加合成:

$$A = A_1 + A_2 + \dots + A_{36}$$

其中 $A_1 = a_1 \times \cos Q_1 + ja_1 \times \sin Q_1$

$$A_2 = a_2 \times \cos Q_2 + ja_2 \times \sin Q_2$$

$\vdots$

$$A_{36} = a_{36} \times \cos Q_{36} + ja_{36} \times \sin Q_{36}$$

$$A = x + jy$$

式中:

$$x = a_1 \cos Q_1 + a_2 \cos Q_2 + \dots + a_{36} \cos Q_{36}$$

$$y = a_1 \sin Q_1 + a_2 \sin Q_2 + \dots + a_{36} \sin Q_{36}$$

$$\text{矢量A的模 } |A| = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$\text{矢量A的角度 } E = \arctg \frac{y}{x}$$

作者用IBM286型计算机计算了8个站太阳分光谱年内分布的非均匀性指标及辐射集中期,公式为:

$$M = \frac{\text{SQR}(x^2 + y^2)}{B} = \frac{|A|}{B}$$

式中M为太阳辐射年内分配非均匀度指标,为一个用百分数表示的数值,B值为36旬太阳辐射总量。太阳辐射合成矢量的方向表示辐射最大值出现的季节,我们叫它集中期,用E表示。

将非均匀度指标与集中期联合,用一个5位数字代表,称为辐射矢量指标W, $W = M + E$ 。如海伦站总辐射矢量指标为33190,其中33(即前两位,万位及千位)表示M值等于33%,后三位190表示合成矢量出现在 190° ,即集中期出现在7月上旬,太阳辐射的非均匀性指标M较小,一般在15—40%之间。

三、我国不同自然地区的太阳辐射玫瑰图

用上述方法绘制了8个站不同自然地区的太阳辐射玫瑰图,(见图1)。绘图软件由李钜章编制。

为了说明各自然地区玫瑰图特性,首先要对大气上界各纬度的辐射玫瑰图进行分析。作者对八个站所在纬度大气上界辐射玫瑰图进行研究,结果列于表2。

大气上界太阳辐射不受大气衰减的影响,无云、水汽、气溶胶、各种微粒的影响,是一极好的参照标准值,但太阳辐射在大气上界随纬度、季节、等各种因素变动,因此也是一个年内及年际变化值,现在忽略其年际变化,只考虑年内变化。大气上界辐射的影响因素为:

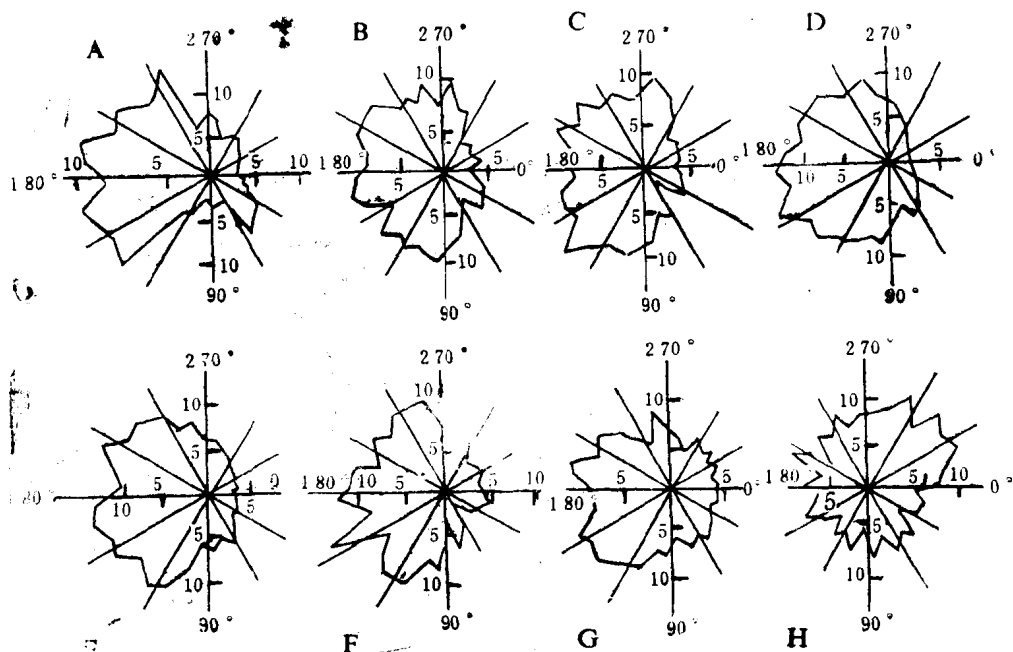


图1 我国不同自然地区代表站的太阳辐射玫瑰图

(A. 海伦站, B. 长白山站, C. 内蒙古站, D. 阜康站, E. 禹城站, F. 阿克苏站, G. 固源站, H. 桃源站, X及Y轴单位为MJ/m²·各旬日平均, 代表辐射矢量长度; 0°, 90° 180° 270° 分别代表各旬, 即第36旬、第9旬、第18旬及27旬辐射矢量方向角)

表2 各站相应的大气上界辐射矢量指标

纬度(°N)	站名	大气上界太阳辐射 年内分配非均匀度	大气上界辐射集中期	大气上界辐射矢量指标
29	桃源站	16.487	170.795°	16.170
36	固原站	21.607	170.230°	21.170
37	禹城站	22.370	170.223°	22.170
40.5	阿克苏站	25.177	170.251°	25.170
42.5	长白山站	26.970	170.35°	27.170
43.5	内蒙站	27.890	170.38°	28.170
44.5	阜康站	28.990	170.106°	29.170
48	海伦站	32.204	170.132°	32.170

太阳赤纬、地方纬度、时角及太阳常数, 计算公式为:

$$R_0 = \frac{TI_0}{59\pi} \times (\omega_0 \cdot \sin L \cdot \sin D + \cos L \cdot \cos D \cdot \sin \omega_0)$$

式中 I_0 为太阳常数, 视其无年度变化及季节变化, 取为 $8.123\text{J}/\text{cm}^2 \cdot \text{分}$, T 为一天的时间1440分, 59为热量单位 $\text{J}/\text{cm}^2 \cdot \text{分}$ 与它所能蒸发的水汽 mm 数的换算系数, D 为太阳赤纬, L 为地方纬度, ω_0 为以角度表示的日出日没时间, $24/N = \pi/\omega_0$, N 为可能日照时数。

按上式分别计算各站所在纬度大气上界的各旬辐射值，并计算出辐射矢量指标，结果表明：从低纬 29°N 至 48°N 辐射非均匀度增高，且极有规律，变化于16%至32%之间。而辐射集中期都在 170° ，即6月下旬（6月22日）。纬度越低辐射年内分配越均匀。为便于直接观察大气上界各站相应纬度的太阳辐射年内分布状况，做了八个站大气上界玫瑰图（图2），绘出最低纬度与高纬度两站玫瑰图进行比较，H站的年内非均匀度值小，仅16%，而D站非均匀度达29%，高纬地区冬季辐射值小，夏至时达最大，非均匀性大。

为对玫瑰图特征做定量、定性分析，需要选择一个客观标准，大气上界相应纬度之辐射玫瑰图及辐射矢量指标正是这样的标准参照值，将北自海伦南至桃源的各站地面太阳辐射矢量指标与大气上界值分别进行比较，取大气上界非均匀度指标为1，各站辐射矢量指标相应所占比值列于表3。由表可见，各站地面辐射非均匀度随纬度增高从13.8变化至33.0，非均匀程度也符合大气上界的分

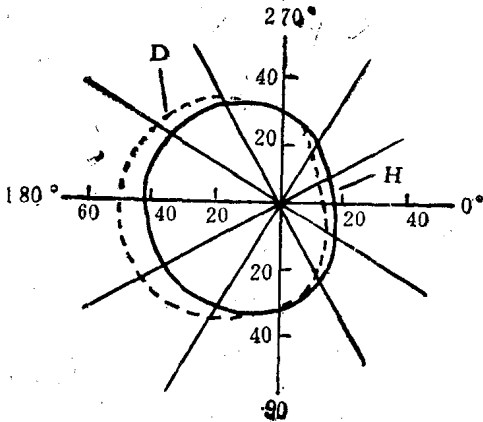


图2 8个站上界玫瑰图

表3 各站辐射非均匀度值（%）与大气上界相应非均匀度值（%）比较

纬度	29°N	36°N	37°N	40.5°N	42.5°N	43.5°N	44.5°N	48°N
大气上界非均匀度	16.478	21.607	22.370	25.177	26.970	27.890	28.890	32.204
地面实测非均匀度值	H站	G站	E站	F站	B站	C站	D站	A站
比值	0.837	0.973	1.099	1.049	0.846	0.970	1.142	1.025

布规律，但地面辐射值的非均匀度除受天文因素影响之外，还受地理位置的影响，如海陆分布、大气环流、海流影响等等，具体地可以按干湿地区的划分来进一步分析。A、B、H站处于湿润地区多云，多雨，雨期长，造成辐射年内分配均匀度大，非均匀度小，都在0.8至1.0之间，非均匀度指标与大气上界比值，又随纬度增高而增大，依此为0.83, 0.84, 1.0等，半湿润地区及半干旱地区为过渡地区，非均匀度指标与大气上界比值变化于1.09, 0.97, 0.97之间。在干旱地区两站F及D，比值大于1，且又随纬度变化向高纬增大，自 40.5°N 至 44.5°N ，比值从1.04增至1.14。

更深入的研究应与大气环流、降雨季节、降雨分布等联系考虑，这是我们目前正在进行着的工作。

参考文献：

(1)李钜章，年过程玫瑰图绘制与集中度、集中期计算程序，见本期。

太阳辐射光谱及地物反射波谱 与分光辐射观测资料的校验

赵名茶

(中国科学院 地理研究所)
(国家计委)

经过1990—1991年的观测,课题中有海伦、长白山、禹城、草原、阿克苏、阜康、固原及桃源站的较为完整的辐射分光资料。在汇总这些资料入库的过程中,发现了一些问题,需要进行校验与订正。

主要问题是:观测(主要是紫外部分)有个别负值及各项中不合理值的出现。产生这些问题的原因有以下几种可能:

(1) 紫外辐射是两个大值相减的小差值,任何小误差都易影响它的精度。由300nm—2800nm波段的能量值与400nm—2800nm波段的能量值相减得出紫外辐射的总辐射(IR)、散射紫外辐射(DIR)、与直射紫外辐射(SIR)及反射紫外辐射(ΔIR)。

(2) 由于观测仪器数量、(电表)精度的限制,由一套仪器接收三种读数,不可能完全同步,而空中云量是瞬息万变的。除在晴天外,无论阴天或多云天(云量变化较大的天气,云经常遮蔽太阳面,又离开太阳面,使辐射观测值变化较大),这是造成误差的一个重要原因。

(3) 观测客观误差,由于观测员多数不是专业人员,辐射观测经验及概念不足,不能在复杂的情况下选择合理读数。

(4) 观测员主观误差,读数错,缺测,漏测。

(5) 场地环境选择带来的误差,如在丘陵区,低山区,地形起伏造成观测场地的遮蔽。

(6) 下垫面不均匀,代表性不足,如观测仪器架下踏出的小路,附近作物被踏倒等等均明显地影响观测值。

(7) 观测员未能在观测后立即进行计算,未能及时发现错误并改正。待到时过境迁,发现资料有问题时已经不能追补。

(8) 计算误差或计算机录入时产生的误差。

为了能够对资料进行校验,给分光辐射观测工作打下坚实的基础,现将太阳辐射,地物波谱反射值的基本规律介绍于后。掌握了基本规律就可以对数据进行合理选择,校对,并能指导观测工作,使观测质量大大提高。

一、太阳辐射光谱

太阳一刻不停地发射着巨大的能量,其总功率为 $3.826 \times 10^{26} \text{W}$,这种能量来源于太阳中氢原子聚合为氦原子的热核反应,太阳辐射以电磁波形式发射,形成一个连续的电磁波谱,太阳辐射为波长范围从0.1nm以下的宇宙射线,直至无线电波,电磁波谱中的绝大部分都在其中。

表 1 大气上界太阳辐射光谱分布

光谱段	波长范围 (μm)	辐射能量值 (Wm^2)	占总量百分比 (%)
宇宙射线		6.978×10^{-5}	
X 射线	至 1 (nm)	6.978×10^{-7}	
超紫外线	至 0.2	6.978×10^{-4}	
紫外线			
紫外—C	0.2- 0.28	7.864×10^0	0.57
紫外—B	0.28-0.32	2.122×10^1	1.55
紫外—A	0.32-0.40	8.073×10^1	5.90
可见光			
可见光—A	0.40-0.52	2.240×10^2	16.39
可见光—B	0.52-0.62	1.877×10^2	13.36
可见光—C	0.62-0.78	2.280×10^2	16.68
红外线			
红外—A	0.78-1.40	4.125×10^2	30.18
红外—B	1.40-3.00	1.836×10^2	13.43
红外—C	3.00-100	2.637×10^1	1.93
无线电波			
厘米波段	0.1-10cm	6.978×10^{-9}	
分米波段	10-100cm	6.987×10^{-10}	
米波段	1.0-20m	6.978×10^{-9}	

太阳辐射光谱是连续光谱，在可见及红外部分，太阳的色温为6000K，连续光谱是由太阳的光球层发射的，光球层已把太阳内部的高温辐射全部吸收了，它的吸收率=1，所以光球层的辐射特性与绝对黑体的辐射特性相一致。图 1 给出了大气上界太阳辐射照度曲线与5900K黑体辐射曲线的差别，可以说太阳辐射的大部分能量集中在近紫外（紫外A）至中红外（红外B）区内。其中近紫外占6.147%，可见光部分占48.39%，红外区占45.46%。

太阳辐射在近紫外至中红外区内的强度变化很小，可以认为是一个稳定的辐射源。了解大气上界辐射强度及其在大气中的衰减比例，可以求出地面辐射值，及各波段量值。

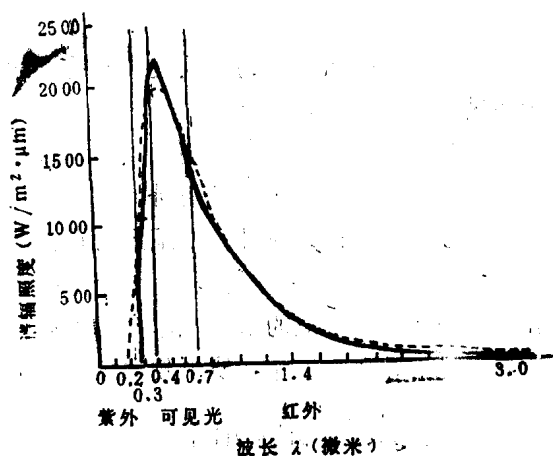


图 1 大气上界的太阳辐射照度曲线
实线为大气上界曲线；
虚线为5900K黑体辐射曲线

在可见辐射波段,随波长由短到长的变化,人眼可以看出可见光谱中紫、蓝、绿、黄、橙、红的颜色变化,他们的波长范围为:

二、大气的光谱透明度

在太阳辐射通过大气层到达地球表面的过程中,受到大气的吸收,散射和云层的反射而削弱,使到达地表的辐射光谱发生变化。

图2为大气中各种成分和整个大气圈对太阳辐射的吸收光谱、表2为各种吸收带的中心波长,表中仅列出了小于 $3\mu\text{m}$ 波长的吸收带中心。

颜色	中心波长(nm)	范围(nm)
红	700	640-700
橙	620	600-640
黄	580	550-600
绿	510	480-550
蓝	470	450-480
紫	400	400-450

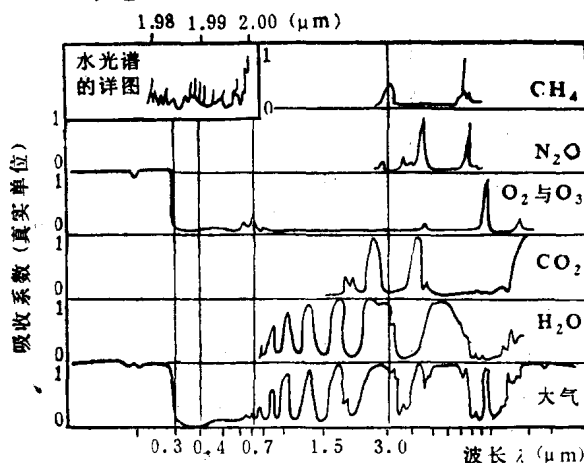


图2 气大中的各种成分和整个大气圈的吸收光谱

表2 大气中主要吸收体吸收带的中心波长

吸收体	强吸收中心波长(μm)	弱吸收中心波长(μm)
水汽 H ₂ O	1.4	0.9
	1.9	1.1
	2.7	
二氧化碳 CO ₂	2.7	1.4
		1.6
		2.0
臭氧 O ₃	<0.3	3.3
一氧化碳 CO		2.3

大气中的臭氧吸收了小于 $0.3\mu\text{m}$ 波段的紫外辐射,使小于 $0.3\mu\text{m}$ 的紫外辐射不能到达地表。水汽主要的吸收区在大于 $0.7\mu\text{m}$ 的红外区中, CO_2 对太阳辐射的吸收并不重要,图3表现出太阳辐射光谱通过大气层时被削弱的情况,由图可见 $0.3-0.7\mu\text{m}$ 波段被削弱的最少,辐射透过最高,这一区也叫做光学窗口。

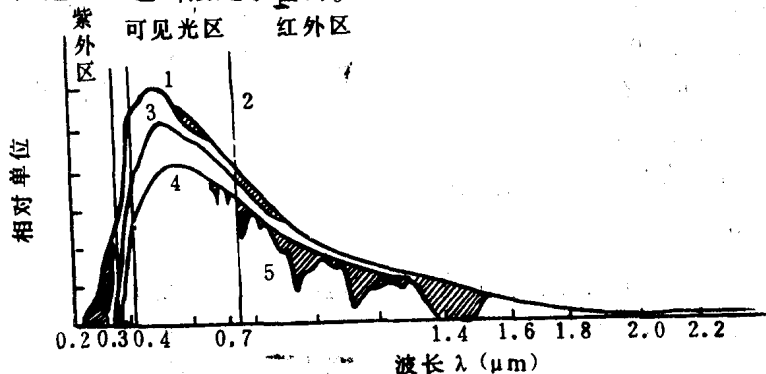


图3 太阳辐射光谱通过大气层的减弱情况

1. 大气上界太阳辐射光谱; 2. 臭氧层下太阳辐射光谱; 3. 分子散射作用后的光谱; 4. 粗粒散射作用后的光谱; 5. 水汽吸收后的太阳辐射光谱

大气层对太阳辐射的散射是太阳辐射减弱最重要的原因，因为大气散射的波长范围都集中在辐射强度最大的可见光区内，散射又分为分子散射与粗粒散射两种，当散射质点（如空气分子）的直径小于辐射波长时，所发生的散射称为分子散射，其强度与波长的4次方成反比，波长越短，散射强度愈大，在可见光中紫色光波长为 $0.4\mu\text{m}$ ，红色为 $0.8\mu\text{m}$ ，红色光的散射强度仅为紫色光的1/16，蓝紫色光本身辐射强度就大，又经大气强烈的散射，大气经常显现出碧蓝就是由分子散射引起的。

$$i\lambda / I\lambda = c / \lambda^4 \quad (1)$$

(1) 式中 $i\lambda$ ：被单位容积空气向各方散射的单色辐射能量（ W/M^2 或 $\text{J}/\text{CM}^2 \cdot \text{分}$ ）， $I\lambda$ 为射入的单色辐射能量， λ 为射入辐射的波长（ μm ）， c 为散射系数。

$$c = 8/3 \times [\pi^3 \times (n^2 - 1)^2 / N] \quad (2)$$

(2) 式中 n 为空气对波长 λ 光的折射系数， N 为单位容积空气中的分子数，当大气的散射质点大于辐射波长时（如云雾滴，气溶胶子等），产生粗粒散射，随着反射质点的增大，波长较长的散射强度也随之增大，使辐射光谱与太阳辐射光谱相同；当天空空气比较混浊时，呈乳白色，这是因为大气浮游尘埃等颗粒多，他们以粗粒散射为主。

大气散射强度变化很大，取决于太阳高度角、云量、云状、云厚、大气透明度和海拔高度等因素，其中云的变化对太阳辐射散射强度影响最大，当云量为10时，比碧空无云时的散射大1.5—2.0倍，透光的高积云或积云的散射强度可增大散射8倍以上，所以散射辐射的光谱比例变化大，不易笼统给出，而需具体分析、计算。

大气层对太阳辐射的反射取决于两方面：

(1) 大气散射与入射方向相反的散射，包括大气分子、水汽分子、小水滴及尘埃杂质等粗粒子散射所造成的反射，约占太阳常数的7%。

(2) 云层的反射变化于30—73%之间，平均约为50—55%，约有1/4的太阳辐射能量被云反射到太空而损失掉。

大气对辐射光谱的削弱及影响，概括地可以用太阳辐射的大气光谱透明度来表征，光谱透明系数的计算公式为：

$$P_{\Delta\lambda}^m = S_m, \Delta\lambda / S_0, \Delta\lambda \quad (3)$$

式中 S_m 为地面上—窄狭光谱段的直接辐射强度， S_0 为相应波段的大气上界太阳辐射通量， $\Delta\lambda$ 表示光谱段 $\Delta\lambda$ 的数值， m 为大气质量， P 为大气透明系数， P 随 λ 与 m 变化，理想大气的光谱透明度在紫外波段（ $0.3-0.4\mu\text{m}$ 之间）平均为0.535，（ $0.4-0.7\mu\text{m}$ ）可见光波段为0.887，红外（ $0.72-3.0\mu\text{m}$ 之间）为0.991，在实际大气中随水汽，气溶胶等的含量而变化，大气光谱透明度还具有日变化与季节变化。

三、到达地面的太阳辐射光谱

1. 太阳总辐射（ θ ）

太阳总辐射量与大气上界太阳辐射值，大气透明度和天气晴朗程度有关，总辐射光谱随太阳高度角的降低受到极大的削弱。图4为无云时不同太阳高度角下，太阳辐射光谱中能量的分布，图中给出了 8° 、 11° 、 23° 三个不同的太阳高度角，纵轴是单色太阳辐射通量值，横轴是波长（ nm ）。由图可见，太阳高度角越低，总辐射减弱的越多，图4中红外谱段的低值区为水汽、氧、 CO_2 等的吸收带。

太阳辐射光谱成分在干洁大气条件下随大气质量 m （或太阳高度角）的变化在图5中得到明显的验证，当大气质量增加时（即在太阳高度减小时）红外辐射的百分比数增加很多。

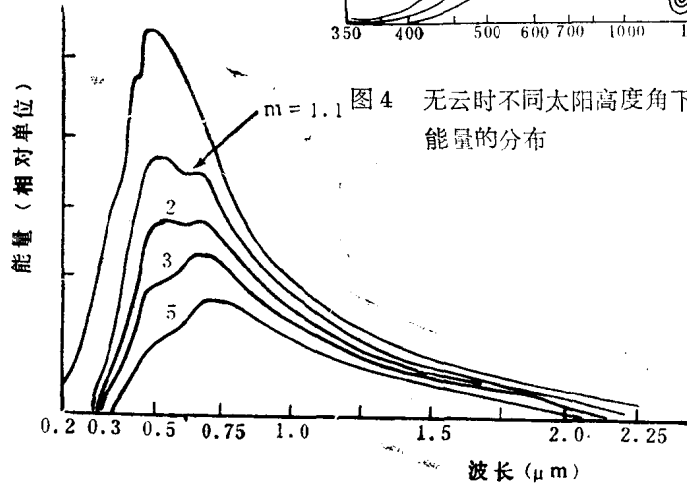


图5 干净大气条件下太阳辐射光谱成分随大气质量 m 的变化

表3给出了干洁大气下太阳辐射光谱中的能量分布，为简明按紫外，可见及红外部分统计，由表可见，随太阳高度角的减少，紫外，可见辐射都在减少，红外辐射明显增大。

表3 不同大气质量条件下干洁大气的太阳辐射光谱能量百分比

波段	大气 上界	大气质量							
		1/2	1	2	8	4	6	8	10
紫外辐射	6.7	5.3	4.2	2.7	1.8	1.1	0.5	0.2	0.1
可见辐射	46.8	46.3	45.8	43.8	42.0	40.8	36.5	33.2	30.3
红外辐射	46.5	48.4	50.0	53.5	56.2	58.1	62.0	66.6	69.6

总辐射随纬度分布变化很大，图6给出了纬度从 0° 60° ，不同月份中日总量的年变化过程线。由图6可见。

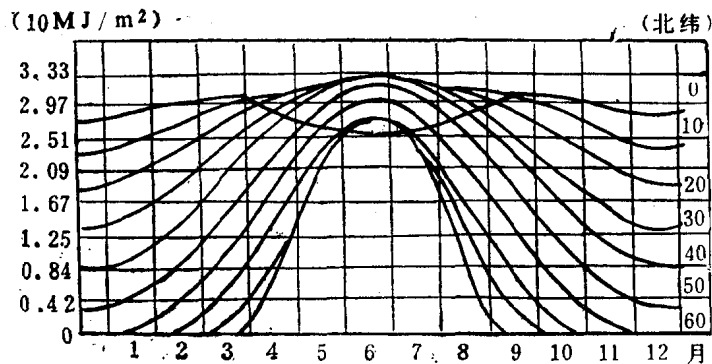


图6 不同纬度太阳辐射日总量的年变化($P_m = 0.8$ 时)

太阳总辐射值随高度有明显变化，高程越高，穿透的大气厚度小，削弱亦少，现举珠峰及西藏地区总辐射的月总量和年总量值为例，列于表4