

部編大學用書

大氣衛星遙測學

國立編譯館主編

艾貝颱風

曾 忠 一 著

低氣壓

渤海堂文化事業公司印行

大氣衛星遙測學

國立編譯館主編

曾 忠 一 著

國立台灣大學大氣科學系
中央研究院物理研究所



渤海堂文化事
台灣台北市

Library of Congress Cataloging in Publication Data
Tseng, Chung-yi. 1943-

Tāi-khì Uī-seng lâu-chhek-hák (in Chinese)
(Remote Sounding of the Atmosphere from Satellites)
xvi, 630p. illus., 21cm

Bibliography : p.613-623

Includes index.

1. Atmosphere--Remote Sensing I. Title

QC871. T83 1988 551.5'028

Published by Bo Hai Town Culture Foundation Co.

Rm.1, 8th Fl., No.20, Roosevelt Rd. 1st Sect.

Taipei 10757, TAIWAN

大氣衛星遙測學

曾忠一撰 民國77年 台灣台北市

國立編譯館主編 渤海堂文化事業有限公司印行

16, 630面 21公分

有附錄、索引及參考文獻

I. 曾忠一撰

328.886

8051

1988年9月初版

版 權
所 有

大氣衛星遙測學

(全一冊)

定價 新台幣 325 元

著作權：國 立 編 譯 館
所有人

著 者：曾 忠 一

發行人：高 本 劍

印刷及：渤海堂文化事業有限公司
發行所

台北市羅斯福路一段20號8樓之1

電話：392-8516 郵撥：1094926-2

登記證：局版臺業字第3694號

內 容 簡 介

本書有系統的闡述大氣衛星遙測的原理和方法。本書總共有十三章，可分為兩部分。前六章主要介紹遙測的基本觀念，包括氣象衛星系統、輻射傳遞原理、大氣的吸收、衛星軌道力學、雲圖的定位以及太空輻射計。後六章主要討論氣象要素的遙測原理，包括雲分析、海面溫度、氣溫與氣體成分以及地球輻射收支。最後一章說明被動微波遙測的主要內容。本書適合大專院校大氣科學系高年級學生或研究生閱讀，對從事遙感探測的科研人員、教學人員和氣象人員，本書也是一本有用的參考書。

著 者 略 歷

曾忠一，花蓮縣人。國立台灣大學土木工程系與土木工程研究所畢業，後來又獲得北美奧克拉荷馬大學氣象學碩士與博士學位。現任台大大氣科學系教授及中央研究院物理研究所研究員。著作有大氣遙測原理與應用、動力預報的基本方程、氣象與遙測資料的客觀分析、大氣輻射、大氣輻射續篇等專書及其他論文多篇。

自序

過去二十多年來太空和電腦科技的長足進步給大氣遙測提供優越的條件，現在遙測技術已經蓬勃發展，成為研究天氣與氣候的最重要的工具。衛星資料在下面三種情況下對氣象學特別有用。第一，地球上許多地區，如海洋、沙漠及極區等地，測站稀少，天氣資料缺乏，衛星資料正好填補這些空隙。第二，衛星可以監視颱風和熱帶風暴，在離島或海岸地區，即使沒有測站，只需藉便宜的設備就可接收衛星雲圖，追蹤颱風的路徑。第三，氣象衛星可以在大氣層外連續不斷的監測地球氣候及其變動。

我國大氣遙測研究是在1981年開始的，那年1月28日中央氣象局啟用了氣象衛星資料接收站。這幾年來，即使一般社會大眾從每天電視台的氣象報告都能體認到衛星雲圖的重要性。除了雲圖外，從接收到的數位資料還可決定氣溫和水汽的垂直分布、雲參數以及海面溫度等氣象要素，以做為天氣分析與預報及學術研究的參考，具有多方面的效益。

大氣遙測是最近才發展起來的新興領域，雖然已有二十多年的歷史，但在國內外有系統的介紹這門學科的專書還很少。本書主要總結了大氣衛星遙測學的基本原理和方法，以便讀者在最短時間內全面了解這門學科的主要內容。本書總共有十三章，可分為兩部分。前六章

詳細介紹遙測的基本概念和原理，包括氣象衛星系統、輻射傳遞原理、大氣的吸收、衛星軌道力學、雲圖的定位以及太空輻射計。隨後的六章主要闡述氣象要素的遙測原理，包括雲參數、風速、海面溫度、氣溫和氣體成分的垂直分布以及輻射收支參數。最後一章說明微波被動遙測的主要內容。六個附錄主要提供書中所需的數學背景知識，書後還有幾種對照表、參考文獻及索引，以供讀者參考。

本書是根據五年前著者編寫的一本書“大氣遙測原理與應用”重新改寫而成的，內容幾乎增加了一倍。增添的材料如雲分析、地球輻射收支和微波遙測等，充分反映出過去幾年來大氣衛星遙測學的飛躍進步。

在這本書的編寫和出版過程中，著者獲得許多朋友和學生熱誠協助。劉振榮教授閱讀手稿，提供不少寶貴的意見；潘榮俊、張拱祿、談珮華和黃慧萍等人進行校對工作，改正許多錯誤。著者在這裏向他們表達衷心的感謝。此外，由於國立編譯館的協助，本書才得以早日問世。在本書的編寫期間內，著者一直執行農業委員會的遙測計畫，因此本書也可說是在農委會計畫支持下完成的。

在這本書的校對期間中，我們花費極大的心力去檢查每個公式每個句子，但由於時間相當匆促，缺點和錯誤在所難免，熱誠希望海內外廣大華文讀者批評指教。

曾 忠 一

1988年8月7日

於中央研究院

目 錄

自 序

第一章 大氣遙測與氣象衛星

1.1	引言.....	1
1.1.1	衛星遙測.....	1
1.1.2	大氣遙測與地球資源遙測.....	3
1.1.3	電磁波譜.....	5
1.2	需要遙測的變數.....	8
1.2.1	地球輻射收支.....	8
1.2.2	氣溫垂直分布.....	9
1.2.3	大氣中的氣體成分.....	10
1.2.4	雲、降水、氣溶膠及地表現象.....	15
1.3	表達大氣成分含量的參數.....	17
1.3.1	氣體成分的含量.....	17
1.3.2	大氣中的液態水.....	22
1.3.3	氣溶膠.....	25
1.4	氣象衛星.....	27
1.4.1	繞極軌道衛星.....	30
1.4.2	地球同步衛星.....	35
	參考讀物.....	38

第二章 輻射傳遞原理

2.1	基本觀念.....	39
2.1.1	立體角.....	39

2.1.2	光子分布函數與輻射參數.....	42
2.1.3	平行光束輻射.....	46
2.1.4	散射和吸收的觀念.....	48
2.2	黑體輻射定律.....	52
2.2.1	普朗克定律.....	52
2.2.2	斯提藩-玻爾茲曼定律.....	54
2.2.3	維恩位移定律.....	56
2.3	輻射傳遞方程.....	58
2.3.1	方程的導出.....	58
2.3.2	完全熱力平衡與局部熱力平衡.....	61
2.3.3	席氏方程與比爾定律.....	63
2.4	表面的輻射特性.....	66
2.4.1	表面的反射.....	66
2.4.2	表面的吸收與放射.....	71
2.4.3	表面的其他輻射特性.....	73
2.5	平行平面大氣中的輻射傳遞方程.....	74
2.5.1	非散射大氣.....	76
2.5.2	地表處的向上輻射強度.....	79
2.5.3	紅外遙測方程.....	82
	參考讀物.....	85
第三章 大氣的吸收		
3.1	吸收線的形成.....	86
3.1.1	分子的吸收帶.....	87
3.1.2	二原子分子的光譜.....	90
3.1.3	多原子分子的光譜.....	95
3.2	吸收線的形狀.....	100
3.2.1	氣壓加寬.....	100
3.2.2	多普勒加寬.....	102
3.3	透射函數.....	104
3.3.1	光譜反應函數.....	104
3.3.2	平均透射函數.....	108
3.3.3	光譜模式.....	110
3.4	大氣的吸收.....	114
3.4.1	紅外區的吸收.....	117
3.4.2	窗區.....	120
3.4.3	太陽光譜.....	121

3.4.4	地球大氣系統的放射光譜.....	123
3.5	幾種輻射計的觀測頻道.....	126
	參考讀物.....	129

第四章 衛星軌道力學

4.1	重力場.....	131
4.1.1	萬有引力定律.....	131
4.1.2	高斯定理.....	134
4.2	雙體運動.....	137
4.2.1	運動方程.....	137
4.2.2	開普勒第一定律.....	139
4.2.3	開普勒第二與第三定律.....	143
4.2.4	開普勒方程.....	144
4.3	坐標系.....	147
4.3.1	軌道力學使用的坐標系.....	147
4.3.2	經典軌道要素.....	151
4.3.3	坐標變換.....	153
4.3.4	由位置和速度向量決定軌道要素.....	155
4.4	非球形地球產生的攝動.....	157
4.4.1	非球形地球產生的重力位.....	157
4.4.2	軌道要素隨時間的變動.....	160
4.4.3	衛星位置的計算.....	166
4.4.4	交點周期和近點周期.....	167
4.5	地球同步與太陽同步軌道.....	169
4.5.1	地球同步衛星.....	169
4.5.2	平太陽時.....	170
4.5.3	太陽同步衛星.....	173
4.6	其他問題.....	175
4.6.1	更準確的軌道.....	175
4.6.2	軌道回歸問題.....	176
	參考讀物.....	180

第五章 雲圖的定位

5.1	引言.....	181
5.2	雲圖的分辨率.....	182

5.3	繞極軌道衛星雲圖	186
5.3.1	星下點的位置	186
5.3.2	雲圖的定位	189
5.3.3	定位透明膠片的製作	193
5.4	地球同步衛星雲圖	195
5.4.1	輻射計的掃描方式	195
5.4.2	雲圖的簡易定位法	197
5.4.3	雲圖的視運動	200
5.5	地球同步衛星的姿態	202
5.5.1	圖像坐標	204
5.5.2	地理坐標	209
5.5.3	圖像坐標和地理坐標間的變換	212
5.5.4	利用陸標和恆星決定衛星姿態	213
	參考讀物	217

第六章 輻射計

6.1	儀器	218
6.1.1	輻射計的元件	218
6.1.2	輻射參考電平	219
6.1.3	噪聲和光譜反應	221
6.1.4	校準	222
6.2	成像輻射計	224
6.3	濾波輻射計	226
6.3.1	一般濾波輻射計	226
6.3.2	選擇斬波輻射計	230
6.3.3	調壓輻射計	235
6.4	分光計	240
6.4.1	光柵分光計	240
6.4.2	干涉計	245
6.5	成像輻射計的校準	253
6.5.1	VISSR的紅外校準	253
6.5.2	VISSR的可見光校準	256
6.5.3	AVHRR的校準	257
	參考讀物	260

第七章 窗區頻道的特性與應用

7.1	紅外窗區頻道的特性	262
7.1.1	地表亮度溫度的變化	262
7.1.2	地表放射率的效應：兩頻道的比較	265
7.1.3	水汽的吸收：兩頻道的比較	265
7.2	雲的效應	267
7.2.1	有雲時的紅外輻射傳遞方程	267
7.2.2	雲的效應：兩頻道的比較	269
7.2.3	紅外雲圖	270
7.2.4	可見光雲圖	273
7.3	雲分析	276
7.3.1	直方圖法	280
7.3.2	空間相干法	286
7.3.3	改良式二閾值法	289
7.3.4	雲頂溫度與雲頂高度	292
7.4	風速的估計	294
7.4.1	基本原理	295
7.4.2	雲塊的追蹤	297
7.4.3	不隨風移動的雲	299
	參考讀物	300

第八章 海面溫度遙測

8.1	引言	302
8.1.1	海面溫度的重要性	302
8.1.2	海面溫度的觀測	304
8.1.3	大氣對海溫遙測的影響	306
8.2	濾雲法	308
8.2.1	晴空視場的檢定	308
8.2.2	統計法	309
8.2.3	截尾式正態分布法	311
8.3	單頻道大氣訂正法	314
8.3.1	視角訂正	318
8.3.2	可降水量和亮度溫度	319
8.3.3	高度訂正	321
8.3.4	大氣訂正的一般公式	322
8.4	多頻道與多視角大氣訂正法	322
8.4.1	多頻道訂正法	323
8.4.2	多視角訂正法	328

8.4.3	可降水量	330
8.5	反射陽光訂正	332
8.5.1	窗區頻道的反射陽光	332
8.5.2	雙頻道訂正法	337
	參考讀物	339

第九章 氣溫和氣體成分遙測的原理

9.1	頻譜法氣溫遙測	340
9.1.1	氣溫遙測的物理基礎	340
9.1.2	測溫準確度：三吸收帶的比較	343
9.1.3	權重函數的計算	344
9.1.4	氣溫遙測方程的線性化	347
9.2	氣溫遙測的幾個問題	351
9.2.1	可測高度範圍	351
9.2.2	解的穩定性	354
9.2.3	氣溫垂直分布的相關性	357
9.2.4	觀測的相關性	359
9.3	頻譜法水汽遙測	362
9.3.1	基本方程	362
9.3.2	水汽遙測的困難	364
9.4	臭氧總含量及垂直分布的遙測	366
9.4.1	紅外遙測法	367
9.4.2	後向散射紫外技術	368
9.5	臨邊探測法	370
9.5.1	臨邊掃描法	370
9.5.2	掩星法	377
9.5.3	臨邊探測儀器	379
	參考讀物	382

第十章 反演法

10.1	化積分方程為代數方程組	383
10.2	線性反演法	386
10.2.1	直接線性反演法	386
10.2.2	約束線性反演法	387
10.2.3	光滑解的代數性質	390

10.3	統計法	392
10.3.1	回歸法	392
10.3.2	統計控制法	394
10.3.3	極大似然解	398
10.3.4	極小資訊解	398
10.4	級數展開法	401
10.4.1	經驗正交展開法	402
10.4.2	以核為基礎函數的解法	404
10.5	巴庫斯-吉伯特反演法	405
10.6	非線性疊代法	410
10.6.1	恰希內鬆弛法	410
10.6.2	史密斯疊代法	412
10.6.3	水汽垂直分布	414
10.6.4	臭氧總含量與垂直分布	415
	參考讀物	417
第十一章 雲的效應與晴空輻射強度		
11.1	引言	419
11.2	有雲時的輻射傳遞方程	421
11.2.1	雲高和有效雲量	422
11.2.2	輻射傳遞方程的解法：疊代法	424
11.2.3	輻射傳遞方程的解法：聯立物理反演法	425
11.3	晴空輻射強度	431
11.3.1	相鄰視場法	431
11.3.2	篩選法	438
11.3.3	經驗正交展開法	440
11.3.4	統計法	443
11.4	晴空輻射強度的訂正	448
11.4.1	視角訂正	451
11.4.2	反射陽光訂正	452
	參考讀物	454
第十二章 輻射收支及其遙測		
12.1	地球輻射收支	455
12.1.1	太陽常數的衛星觀測	459

12.1.2	緯度分布	461
12.1.3	地理分布	467
12.2	輻射收支遙測	469
12.2.1	原理與問題	469
12.2.2	現有的輻射收支觀測衛星	475
12.3	狹帶觀測	478
12.3.1	由紅外窗區觀測決定射出長波輻射	479
12.3.2	由可見光頻道觀測決定行星反照率	481
12.4	寬帶觀測	483
12.4.1	各向異性因子	483
12.4.2	射出長波輻射	488
12.4.3	行星反照率	493
	參考讀物	495

第十三章 被動微波遙測

13.1	引言	496
13.2	微波輻射計	498
13.2.1	天線方向圖和天線溫度	498
13.2.2	微波輻射計系統	502
13.2.3	幾種實際使用的微波輻射計	503
13.3	微波輻射傳遞方程	506
13.3.1	非散射大氣	506
13.3.2	散射大氣	509
13.4	大氣與地表的微波輻射特徵	510
13.4.1	微波波譜	510
13.4.2	雲與降水的微波輻射特徵	514
13.4.3	地表放射率	518
13.5	大氣微波遙測	520
13.5.1	水汽與液態水含量	523
13.5.2	氣溫垂直分布	525
13.5.3	降水	527
13.6	海面狀況的微波遙測	533
13.6.1	海面溫度	533
13.6.2	極冰與海面風	534
13.6.3	多重回歸分析	536
13.7	未來展望	537

參考讀物.....	539
附錄 1 分析	
A 1.1 狄拉克 δ 函數.....	541
A 1.2 里曼 - 勒貝格引理.....	542
附錄 2 球面三角學及其應用	
A 2.1 球面三角學.....	544
A 2.2 太陽天頂角與日照時間.....	545
附錄 3 矩陣代數	
A 3.1 矩陣的基本性質.....	550
A 3.2 線性向量空間.....	553
A 3.3 特徵值與特徵向量.....	555
A 3.4 協方差矩陣.....	558
A 3.5 矩陣的對角化.....	561
附錄 4 函數的極值	
A 4.1 強勢與弱勢約束條件.....	563
A 4.2 二次形的極值.....	568
附錄 5 最小二乘法	
A 5.1 基本原理.....	570
A 5.2 加權最小二乘法.....	571
附錄 6 經驗正交展開	
A 6.1 經驗正交函數.....	573
A 6.2 統計相關情況.....	578
習題.....	580
主要符號表.....	602
物理常數與單位換算.....	605
略語表.....	606
特別名詞漢英對照表.....	609
西洋人名對照表.....	612
參考文獻.....	613
標題索引.....	624

第一章

大氣遙測與氣象衛星

1.1 引言

1.1.1 衛星遙測

遙測，又稱為遙感探測，一般定義為利用儀器偵測目標物反射或放出的電磁波來決定其物理性質的技術。遙測儀器對目標物只進行間接的和遠距離的，而不是和目標物直接接觸的測量。根據這個定義，人類的眼睛是最基本的遙測儀器。在氣象學的範圍內，使用氣象雷達、激光雷達、多普勒雷達以及氣象衛星等工具來觀測大氣現象都屬於遙測的領域。

廣義的遙測還包括利用磁性和重力等方法進行測量的技術。這些方法在探測地球內部構造方面特別有用，在地球物理學中相當受到重視。利用聲波雷達來探測低層大氣也屬於遙測的範圍。從這個觀點來看，人類的耳朵也是一種遙測儀器。

遙測可以分為主動遙測和被動遙測。假如遙測儀器能發射電磁波，然後接收目標物反射的回波，則稱為主動遙測。因此，利用各種雷達系統來偵測大氣或地表現象都屬於主動遙測。假如遙測儀器並不發射電磁波，則稱為被動遙測。在這情況下，遙測儀器接收到的能量來