

高等学校教学用书

高空气象学

上册

A. B. 卡林諾夫斯基 著
H. 3. 庇努斯

高等教育出版社

高等学校教学用书



高 空 气 象 学

(高空气象观测法原理)

上 册

A. B. 卡林諾夫斯基 著
H. 3. 庇 努 斯
顧 鈞 禧 等 譯

高等教育出版社

高等学校教学用书



高 空 气 象 学

(高空气象观测法原理)

下 册

A. B. 卡林諾夫斯基
H. 3. 席 努 斯 著

高等教育出版社



本書係根据苏联國立水文气象書籍出版社 (Гидрометеорологическое издательство) 1951 年出版的卡林諾夫斯基 (А. Б. Калининский) 和庇努斯 (Н. З. Пинус) 合著的“高空气象学”(Аэрология) 譯出。原書經苏联高等教育部審定為水文气象学院教学参考書。

本書可供气象專科以上学校教学上的使用，並可供气象工作者工作上、研究上参考之用，与高空气象有關的物理、無線电工程、儀器製造各方面工作人員也可参考。

本書由顧鈞禧等翻譯。

本書中譯本分上、下兩册，上册為第一至四章，下册為第五至十二章、補篇及附錄。

高 空 气 象 学

上 册

А. Б. 卡林諾夫斯基 Н. З. 庇努斯著

顧鈞禧等譯

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇號

(北京市書刊出版業營業許可証出字第〇五四號)

新華印刷廠印刷 新華書店總經售

書號 13010.142 開本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ 印張 $7 \frac{13}{16}$ 字數 209,000

一九五六年三月北京第一版

一九五六年七月北京第二次印刷

印數 2,501—3,500 定價(8) 洋 0.90

本書系根据苏联国立水文气象書籍出版社 (Гидрометеорологическое издательство) 1951 年出版的卡林諾夫斯基 (А. Б. Калининский) 和庇努斯 (Н. З. Пинус) 合著的“高空气象学” (Аэрология) 譯出。原書經苏联高等教育部审定为水文气象学院教学参考書。

本書可供气象專科以上学校教学上的使用, 并可供气象工作者工作上、研究上参考之用, 与高空气象有关的物理、無綫电工程、仪器制造各方面工作人員也可参考。

本書由顧鈞禧、周恩济等翻譯。

本書中譯本分上、下兩册, 上册为第一至四章, 下册为第五至十二章、补篇、文献及附录, 并由譯者編附名詞索引。

高 空 气 象 学

下 册

A. B. 卡林諾夫斯基, Н. З. 庇努斯著

顧鈞禧 周恩济等譯

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第〇五四号)

京华印書局印刷 新华書店总經售

統一書号 13010·219 開本 850×1168¹/₃₂ 印張 8¹²/₁₆ 字数 233, 300

一九五七年二月北京第一版

一九五七年二月北京第一次印刷

印數 0001—4, 500 定價 (8) 1.00

序

这本獻給讀者的書是依照苏联高等教育部所批准的供水文气象学院用的高空气象学教学大綱編寫的。在書中敘述在研究自由大气的高空气象学中所研究出來的所有各种基本方法。

自由大气物理的許多問題，因未列入現行大綱中，所以沒有講到。这些問題須在別本專著中加以講述。

本書第一章、第二章(甲篇)、第三章(§ 1 至 § 14)、第四章(甲、丁兩篇)、第五章和第八章由 A. B. 卡林諾夫斯基 (Калиновский) 所編寫；而本書第二章(乙篇)、第三章(§ 15 至 § 20)、第四章(乙、丙兩篇)、第六章、第七章、第九章、第十章、第十一章、第十二章和補篇，則由 H. 3. 庇努斯(Пинус)所編寫。

以 A. И. 伏也依可夫(Воейков)命名的地球物理現象總台和中央高空气象台的各位科学工作同志都在學術討論会的會議上廣泛参加了本書初稿的討論，並為本書的改進提供了許多寶貴的、实际的意見，對於他們，本書著者敬致深切的謝意。

對於將把他們的意見和願望寄來以幫助本書改進的所有人士，著者願先在此表示感謝。

目 錄

序	vi
第一章 緒論	1
§ 1. 高空气象学的对象和任务	1
§ 2. 高空气象观测方法概述	2
§ 3. 高空气象研究的起源, 俄罗斯在十九世紀和在二十世紀初葉有系統的高空气象观测組織	4
§ 4. 偉大的十月社会主义革命以後苏联高空气象的發展	10
第二章 气流的測定, 測風气球法	17
甲 測風气球單點观测	18
§ 1. 測風气球观测法的基本原理	18
§ 2. 測風气球的總舉力和淨舉力	22
§ 3. 測風气球的上升速度	24
§ 4. 根据淨舉力和球皮重量決定測風气球的上升速度	27
§ 5. 由於空气密度的改变所引起的測風气球上升速度隨高度的变化	28
§ 6. 氫气溫度和周圍空气溫度的差異对上升速度变化的影响	29
§ 7. 上升速度实际確定法	30
§ 8. 測風气球的标准上升速度	34
§ 9. 高空气象經緯儀和它們在構造方面的基本要求	28
§ 10. 高空經緯儀的各基本部分及目鏡的光学系統圖	39
§ 11. 庫士涅佐夫式、AT 式、ИИТ 式三種經緯儀的構造	42
§ 12. 船舶高空經緯儀	48
§ 13. 自記經緯儀構造的原理	50
§ 14. 高空經緯儀器差的來源及其訂正值的決定	52
§ 15. 測風气球观测地點的選擇及經緯儀的安裝	59
§ 16. 灌充測風气球和無綫电探空儀气球的橡膠質球皮用的氫气	60
§ 17. 氫气筒的構造	61
§ 18. 用製氫器製造氫气	63
§ 19. 測風气球、無綫电測風气球及無綫电探空儀气球所用的球皮	65
§ 20. 气球球皮大小的選擇和它們在測風气球观测前的灌充工作	68
§ 21. 观测測風气球的技術	70

§ 22. 測風气球夜間觀測	7
§ 23. 整理測風气球觀測記錄以確定高空的風	71
§ 24. 測風气球觀測記錄在繪圖紙上的整理	73
§ 25. 应用莫尔恰諾夫盤整理測風气球觀測記錄	76
§ 26. 在移動着的船上所測得的測風气球觀測記錄的整理	81
§ 27. 測風气球單點觀測法的誤差	83
§ 28. 測風气球实际上升速度与計算值之間的差異以及其產生的原因	93
§ 29. 依照測風气球視角大小以確定气球高度的方法	98
乙 測風气球基綫觀測法	101
§ 1. 用投影到水平面上的方法計算測風气球的高度	101
§ 2. 在投影到水平面上以確定測風气球高度時的誤差	102
§ 3. 用投影到鉛直面上的方法計算測風气球的高度	109
§ 4. 在投影到鉛直面上以確定測風气球高度時的誤差	111
§ 5. 測風气球上升速度計算上的誤差	113
§ 6. 風速計算上的誤差	115
§ 7. 風向測定上的誤差	119
§ 8. 組織測風气球基綫觀測工作	121
§ 9. 在基綫觀測點上裝置經緯儀	125
§ 10. 經緯儀讀數同時性的校正	126
§ 11. 測風气球高度計算公式的選擇, 柴伊契可夫的劃分區界圖	127
§ 12. $h \operatorname{ctg} \gamma$ 、 $\sin(\gamma \pm \varepsilon)$ 和 $\sin(\gamma \pm \delta')$ 各值的確定	129
§ 13. 計算測風气球高度的技術, 托馬謝維奇对數盤	133
§ 14. 根据基綫觀測法確定風速和風向	135
第三章 气象計及其構造, 誤差的來源和檢定	137
§ 1. 气象計的構造原理	139
§ 2. 气压感应器	140
§ 3. 溫度对变形气压表示度的影响	146
§ 4. 空盒的慣性	150
§ 5. 高空气象探测中測定溫度的方法	153
§ 6. 高空气象探测中所应用的溫度电測法	157
§ 7. 溫度感应器的誤差	161
§ 8. 由於溫度感应器的慣性所引起的誤差	162
§ 9. 由於日射影响所引起的誤差	170
§ 10. 由於空气摩擦影响所引起的誤差	172
§ 11. 由於溫度感应器受潮所引起的誤差	174
§ 12. 濕度的測定	175
§ 13. 用气象計測風速的方法	180

§ 14. 气象計在構造上的要求, 气象計的型式	122
§ 15. 气象計的檢定, 檢定儀器	127
§ 16. 气象計檢定前的準備工作	128
§ 17. 气压感應器檢定法, 檢定曲綫圖	129
§ 18. 溫度感應器檢定法, 檢定曲綫圖	202
§ 19. 濕度感應器檢定法, 檢定曲綫圖	203
§ 20. 气象計風速器的檢定	204
第四章 应用風箏、高空气球和平流層气球的大气研究	205
甲 風箏	205
§ 1. 風箏的基本原理	205
§ 2. 風箏的構造, 鋼繩, 絞車和風箏施放法	209
乙 繫留气球	210
§ 1. 繫留气球的舉力	211
§ 2. 繫留气球的空气動力学上的原理	212
§ 3. 繫留气球鋼繩的特性	215
§ 4. 繫留气球的定衡, 上升高度	217
§ 5. 繫留气球在使用上的一些特點	218
§ 6. AM-1 型高空气球气象計	221
§ 7. 繫留气球升降的操縱, 气球上升時的地面观测	223
丙 自由球形气球	224
§ 1. 自由球形气球的構造及其在使用上的特性	225
§ 2. 在自由气球上的高空气象探测法	227
丁 平流層气球	231
§ 1. 平流層气球的構成部分	232
§ 2. 在平流層气球中飛行時为了研究平流層而採用的儀器和研究法	238

目 录

第五章 探空气球法	245
§ 1. 使气象計安全降落和易于檢回的方法	246
§ 2. 探空气球的上升速度	250
§ 3. 探空气球的最大上升高度	251
§ 4. 探空气球用的气象計	253
第六章 大气的飞机探测	257
§ 1. 帶气象計的飞机装备	259
§ 2. 探测大气时的飞行情况	263
§ 3. 飞机气象計	266
§ 4. 气象計在飞行前的准备工作	272
§ 5. 飞行中日测工作的进行	274
§ 6. 飞机上对大气的水平探测	282
§ 7. 飞机上对風向和風速的測定	284
第七章 气象計記錄的整理	289
§ 1. 气象自記記錄整理的准备工作	290
§ 2. 特性点的选定	291
§ 3. 气象自記記錄曲綫上各点的同时化	293
§ 4. 用基綫法决定特性点的气象要素值	296
§ 5. 用变差法整理气压自記記錄	297
§ 6. 气象自記記錄上風速記錄的整理	300
§ 7. 用快速飞机探测大气时气象自記記錄整理上的特点	301
§ 8. 高度的計算和升空圖的繪制	302
§ 9. 根据气压值計算高度时的誤差	306
§ 10. 高空气象的高度測量單位	309
第八章 無綫电探空仪法	315
§ 1. 無綫电探空仪法的基础	315
§ 2. 無綫电探空仪的类型	316
§ 3. II. A. 莫尔恰諾夫大型梳狀無綫电探空仪	320
§ 4. P3-049 型梳狀無綫电探空仪	327
§ 5. ITO 型交換式無綫电探空仪	329
§ 6. “电波式”無綫电探空仪	332

§ 7. 蘭格(德国)式無線电探空仪	337
§ 8. 美国式無線电探空仪	338
§ 9. 梳狀無線电探空仪檢定上的特点	340
§ 10. 梳狀無線电探空仪在施放前的准备和裝配	343
§ 11. 無線电探空仪的基值感受、施放和信号收录	345
§ 12. 無線电探空仪信号的整理	346
§ 13. “电波式”無線电探空仪檢定上的特点	349
§ 14. “电波式”無線电探空仪升空前的准备、施放及信号收录	351
§ 15. “电波式”無線电探空仪信号記錄器自記紙的整理	353
§ 16. 無線电探测的准确度, 方法改进的展望	355
第九章 雷达设备在高空气象研究上的应用	362
§ 1. 应用無線电测定法测高空風	364
§ 2. “脉冲式”雷达设备的構成部分及其操作法	367
§ 3. 雷达用的反射靶	371
§ 4. 無線电测風气球观测时雷达的校驗	375
§ 5. 無線电测風气球观测的操作和資料的整理	378
§ 6. 測定較大高度上風速时的誤差	379
§ 7. 利用雷达發現云和降水	383
§ 8. 降水和雷暴观测的組織	387
§ 9. 云和降水的發現和研究方法	388
§ 10. 在飞机上利用無線电高度表和空盒高度表測定風速和風向	391
第十章 自由大气中鉛直运动和乱流的研究法	395
§ 1. 施放風箏和系留气球測定風速瞬間值	395
§ 2. 利用平衡测風气球測定大气中的鉛直运动	397
§ 3. 施放自由气球和利用探空仪的螺旋槳測定大气中的鉛直运动	399
§ 4. 利用滑翔机和飞机測定空气的鉛直运动	403
§ 5. 利用备有加速計的飞机測定鉛直風陣速度	405
第十一章 研究云的高空气象学方法	418
§ 1. 云的下限高度的測定	418
§ 2. 云層厚度的測定, 測云仪	426
§ 3. 測定云素的方法	429
§ 4. 液滴云含水量的測定	435
§ 5. 云的攝影	439
第十二章 火箭在大气研究上的应用	449
§ 1. 噴气式发动机的作用原理和火箭的特性	449
§ 2. 借火箭飞升的气象仪器的工作情况	454
§ 3. 利用随火箭上升的仪器測定很大高度上气象要素的方法	455

补篇 高空气象年报付印的準備和观测資料的机械化整理	460
§ 1. 测風气球观测和無綫电测風气球观测的最終檢查	461
§ 2. 無綫电探空仪飞升和飞机飞升的最終檢查	463
§ 3. 飞机飞升时目測記錄的編纂	464
§ 4. 高空气象观测数据机械化整理的原理	465
基本文献	473
补充文献	473
附录	
1. 根据测風气球圓周長度 C (厘米) 及自由升力 A (克) 求气球上升速度 W (米/分) 用表	484
2. 测風气球上升速度的空气密度訂正乘数表	486
3. 气压测高用表	488
4. 探空观测簿	492
5. 测風气球 (無綫电测風气球) 观测表	496
6. 溫度探测結果表	499
7. 溫度探测結果表	503
名詞索引	
一. 技术名詞	507
二. 人名	516

第一章 緒論

§ 1. 高空气象学的对象和任务

高空气象学是一門研究自由大气（即受地面直接影响的貼地气層以上的大气）中所發生的各种物理現象和过程的科学。高空气象学从气象学——研究整个大气層中所發生的各种物理現象和过程的科学——中分出自成一支是比較晚近的事。因为大气是气象学的各部門所共同研究的对象，所以气象学的各分支是彼此密切联系着的，並且互相利用它們所研究出來的成果和結論。高空气象学与天气学及動力气象学是直接联系着的。

在高空气象学的任务中，由於要進行自由大气的物理学方面的研究工作，因而自然也包括高空气象学方法和儀器的研究。

自由大气的研究工作是藉裝在飛行器械上上升的特种儀器來進行的；为了研究大气最高各層起見，人們廣泛地採用了各种物理方法：光学的、無線电物理学的方法等。根据高空气象觀測的結果，可以闡明發生於大气中的各种过程的特點，找出它們的物理解釋，並確定它們的發展規律。

高空气象探測的結果首先被廣泛地應用於天气業務。天气分析和預報工作，如不引用高空記錄，就不可能有充分的根据和成功的。

在苏联，高空气象觀測的發展是苏維埃天气学成功的重要条件。

高空气象学在天气業務中的意义決定了它在滿足國民經濟各部門（如農業、運輸及其他）的要求中的作用。高空气象觀測的結果特別廣泛地被應用於航空方面。風和溫度隨高度的分佈、雲層的高度和厚度、

飛機積冰的可能性等,所有这些对飛行的順利進行都有很大的意义。

高空气象学所担負着的許多任务,在整套的气象研究工作中是很重要的。这些任务中就有:雲(高度、厚度、微結構)和積冰的研究以及平流層、大气鋒面、乱流过程的研究等。由於高空气象研究的結果,人們獲知了大气構造的一般情况,研究出在大气中所進行着的許多过程,闡明了各气象要素場的結構,而且建立了某些大气現象的理論。

由此可見高空气象学在大气研究中的作用是如何重大,而实用上又有怎样的意义。因此就不难理解:在苏联的情况下,即在实行有計劃的社会主义經濟的國家裏,大气的研究工作已大受重視。

最普遍的、有系統的高空气象觀測工作,为的是要確定出各地自由大气的各項最重要的物理特徵。这些特徵首先就是各基本气象要素,如:風、气压、气温和氣濕(空气濕度)。在自由大气中測定这些要素要比在地面上進行觀測時困难得多。高空气象学已廣泛地应用了物理学、無綫电工程、儀器製造学、航空……等各方面的最新成就。

本教程旨在闡述高空气象觀測的各种現代方法。

§ 2. 高空气象觀測方法概述

高空气象觀測的各种方法,在研究的对象上及其为此而应用的工具上均有所不同。我們已經指明,有系統的高空气象觀測工作,在基本上,提供關於各高度上的風速和風向以及气压、溫度、濕度的分佈和雲高等知識。此外,高空气象的方法也用以研究空气成分、輻射能的分佈、电的状态、宇宙輻射强度等項。

高空觀測的研究方法,依照所用手段的性質,可以分为直接高空气象觀測法和所謂間接高空气象觀測法兩類。

在第一類方法中,用以研究自由大气的物理状态及其变化的,是重於或輕於空气的飛行器械所提升的儀器。

間接方法藉着对声波傳播(声学方法)、光学現象(如探照灯光、曙

光亮度、夜天空的光度、流星、極光)、無線電波傳播(無線電波的反射、大氣天電等等)的觀測,使研究大氣成為可能。在這些方法中,並不需要應用飛行工具。

高空氣象測站網日常所應用的第一類的方法,對自地面直到 20—30 仟米高度內自由大氣的探測工作講,是基本而最常用的。直接的高空氣象觀測工作通常是在自由氣球、繫留氣球、小型氣球、飛機和風箏上升時,藉着能自動記載氣象要素變化的儀器(氣象計)來進行的。在探空氣球和飛機上升時,觀測員可以親自參加飛行,以進行觀測工作。此外,還有許多觀測方法,其由氣象儀器上升所測得的結果就由地面的觀測員或特殊設備來記錄。這些方法是:(1)測風氣球觀測法,這時候測風氣球在上升途中的位置是由經緯儀來測定的,以及無線電測風氣球觀測法,這時候氣球的位置是用雷達(無線電定位器)或無線電定向器來測定的;(2)無線電探空儀法,這時候各氣象要素測定的結果由儀器以無線電信號播送出來,並由在地面的特製無線電接收設備記錄下來。

在高空氣象觀測日常實踐中應用最廣的就是上述後面的一類,即在地面記錄探測結果的那些方法。

在目前自由大氣中氣流的研究,主要是用測風氣球和無線電測風氣球兩種觀測法來進行的。為了測定各高度上氣壓、溫度、濕度,則多半應用隨着灌充氫氣的氣球上升的探空儀,但也有用隨着飛機上升的氣象計的。

雲層上下限的研究工作,不但可以用測風氣球觀測法,而且也可以用測雲儀(облакомер)或用在氣球和飛機上的探測來進行。

近年來日益開展的雲的微結構的研究,需要有特別裝備的飛行實驗室;在這方面,已經應用了無線電定位法。

高空氣象研究方法在它達到其現代狀況以前,曾經經歷了一段與氣象學的發展及科學、技術的共同發展相聯系的歷史路徑。

§ 3. 高空气象研究的起源, 俄罗斯在十九世紀和在二十世紀初葉有系統的高空气象觀測組織

大气高層的研究問題, 自十八世紀中葉起, 就引起科学家們的注意。俄罗斯科学的奠基人 M. B. 罗蒙諾索夫(Ломоносов)首先指出这种研究工作的重要性, 他远在 200 年前就確定了研究大气的意义。

那些年在高山各高度上所進行的大气研究工作, 沒有能够說明自由大气的情况。这个問題只有应用了飛行器械才能解决。1754 年二月四日 M. B. 罗蒙諾索夫在科学院的會議上發表了關於他創造出一种供各种气象計上升到大气頂層去用的儀器的報導。这种“飛行机器”(аэродромическая машина)具有兩個在不同方向上旋轉的螺旋槳, 其实即为小型的直升飛機^①, 但是 M. B. 罗蒙諾索夫並沒有能够应用他自己的發明品。

自由大气研究的開始是与航空事業的兴起有關联的。

我們祖國在製成第一个气球並載人飛升的这件事情上, 居於优先地位。在報道關於在俄罗斯的最初幾次飛行情況的文稿中, 有下列一段敘述 1731 年所進行的隨气球上升的記載: “衙門書記、涅萊赫達人 Θ 克略庫特諾依(Крякутной)做了一个袋子, 像大的球一样, 中間灌充着惡臭而骯髒的煙, 球下吊一个繩索圈子, 坐在其中, 並且”……上升“到樺樹之上”。由此可見, 法國蒙哥尔法歐(Монгольфье, Montegofier)兄弟只是在五十二年以後(即在 1783 年), 才得以重複克略庫特諾依的試驗。

高空气球的發明使人們着手研究自由大气成为可能, 但在最初的幾次飛行中觀測工作是順便進行的, 觀測方法並不完全, 而所得結果也無多大意义。在俄罗斯, 第一次專为科学研究的飛行是由科学院院士

① 直升飛機是一种能藉裝在垂直軸上的空气螺旋槳的作用而上升的飛行机器。

Θ 涅萊赫達(Нерста)是离莫斯科东北 270 仟米的一个城市——譯者註。

И. Д. 柴哈罗夫 (Захаров) 於 1804 年六月三十日所進行的。在這一次飛行中，完成了項目廣泛的研究工作：氣壓和溫度的測定，空氣成分的研究；此外，又進行了對聲學、電學、磁學等現象和太陽輻射及其他各項的觀測工作。氣球所達高度約為 2600 米。由觀測記錄確定出溫度從地面的 23.8° 降低到最高處的 5.6° 。整個所進行的探測工作貢獻出重大的科學價值。

在 И. Д. 柴哈罗夫飛行之後，有法國物理學者蓋·呂薩克 (Гей-люссак, Gay-Lussac) 和皮歐 (Бю, Biot) 所參加的科學探測飛行工作，他們發現了在溫度觀測法上的一件重要事實：即溫度表在太陽輻射作用下的增熱現象。

必須指出，航空及其在科學研究工作上的應用問題早已引起了俄羅斯社會先進分子的注意。例如，1818 年進步的社會活動家 В. Н. 加拉辛 (Каразин) 曾經建議施放隨著繫留氣球上升的實驗儀器以研究高空各層大氣。更早一些，在 1806 年，在 И. Ф. 克魯純什謙恩 (Крузенштерн) 的一次環球探險中，為了觀測自由大氣中的風，曾經施放了充滿着熱空氣的小型氣球。這些觀測工作後來就促成了測風氣球觀測方法的產生。

在上述 И. Д. 柴哈罗夫等科學家應用氣球進行了幾次研究高空的飛行之後，曾經停頓了一個時期，直到十九世紀六十年代才重新恢復為了科學目的的飛行工作。在這時候，研究家用更有系統的飛行、達到較大的高度及改進觀測方法等辦法，以期在研究大氣中獲得較好的效果。

在俄羅斯，利用氣球的研究工作，在 1868 年由 М. А. 磊加且夫 (Рыкачев) (後來他是科學院院士兼物理觀象總台台長) 開始後，就一直繼續着。在他的飛行中，有一次 (在 1873 年)，為了可靠地確定氣球高度起見，曾經用經緯儀來觀測。

俄羅斯天才科學家 Д. И. 門得雷業夫 (Менделеев) 的活動對自由大氣探測工作的發展是有重大意義的。他在氣象學方面的主張和直接參