

无线电气象学

Д. Н. 納西洛夫 著

科学出版社

无线电气象学

王 恩 著

● ● ● ● ●

无綫电气象学

Д. Н. 納西洛夫 著

周 梦 磨 譯

戴 理 銘 校

科 学 出 版 社

1960

Д. Н. НАСИЛОВ
РАДИОМЕТЕОРОЛОГИЯ

Гостехиздат

Москва 1956

內 容 簡 介

无线电气象学是一门新兴的学科,它是研究高层大气的重要方法之一。本书从比较各种探测大气的方法开始,指出用无线电方法探测大气的优越性,接着叙述了大气中电磁场的概念,反射脉冲的观测和无线电台电磁场的测定,最后阐述了无线电气象学的物理基础。它不但总结了已往取得的成就,同时也指出了存在的问题与方向。

本书不但对无线电物理学和气象学工作者有很大的参考价值,同时可供地球物理学、天体物理学工作者参考,亦可供大学有关专业师生阅读。

无 线 电 气 象 学

Д. Н. 納西洛夫 著

周 夢 馨 譯

戴 理 銘 校

科学出版社出版 (北京朝阳门大街 117 号)

北京市书刊出版业营业许可證出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总经售

1960 年 10 月 第 一 版

书号: 2299 字数: 150,000

1960 年 10 月 第一次印刷

开本: 850×1168 1/32

(京) 0001—9,400

印张: 5 13/16

定价: 0.86 元

原出版者的話

本书并不是詳尽无遺地闡述全部有关問題的专著。它只打算使广大讀者熟悉一种新的重要的科学領域。

无綫电波的传播和天气状况以及低层大气結構的关系，长久以来，都始終未为无綫电物理学家和气象学家所注意。現在所推荐的这本书的作者收集了丰富的实验資料，这些資料都証实了这样的关系是存在的。

这方面的工作，現在已引起极大的注意，且已具有实际的价值。关于短波和超短波的传播状况和大气性质的关系，現今虽已得到充分的研究，但中波和长波传播的状况，那就研究得差不多了。在解决这个問題的时候，摆在科学家們面前的，是还需要闡明許多問題。因此希望在不綫电物理学、气象学和天文学的領域中从事科学研究和实际工作的广大讀者，能被吸引到本书中所研究的这个問題上来。而在这里所发表的一些观念的討論，显然是有好处的。

当然，也并不是作者的一切論点都可以認為是无可爭辯的，而这一点，对于一个仅仅在晚近才开始有系統地发展起来的科学領域來說，是不足为奇的。如果还不能說是已經建立了一种新的探测大气的方法，那么，無論如何，也已經十分清楚地提供了許多新的問題，也指出了研究这方面的資料的积累与系統化的一些途径。

前 言

在研究高空自由大气的方法中，无线电方法理应占首要地位之一。这是很明显的，因为在别的方法中，沒有一种是在任何地点以及在任何时间都可以更简单地加以应用的。关于无线电方法的叙述，已有为数很多的著作。不过，其中最引人注意的是两种方法：(a)观测天电干扰的方法，和(b)观测能反射不同频率(波长)的脉冲的一些层次的高度和电离度的变化的方法。此外，所有这些著作差不多都是属于无线电物理学家的，而气象学家要随时将它们用于日常的实际业务中，那还差得远。另一方面，由于无线电物理学家没有足够的气象知识，于是又导致了若干关于天气现象和无线电波传播之间的关系的不正确的结论。

我們想通俗地叙述无线电方法，主要是为了满足气象学家、大气研究工作者这些读者在日常工作中的需要。我們觉得，在未来分析大气中种种过程的时候，这些无线电方法对于气象学家是会有很大帮助的。而在有些场合中，例如，在北方和西伯利亚一些人烟稀少的地方，在北极地带，这些方法还可以部分地弥补一些通常气象台站所获得的情报的不足。

当然，要詳細地分析研究大气的无线电方法，没有无线电物理学家的直接参加，是不可能的。关于无线电波在大气中的折射、繞射、散射和吸收的理論，正是大气的结构，而尤其是云层的结构与无线电波传播的特征的关系的一切見解的基础，在这方面，苏联的物理学家——Б. А. 夫維琴斯基 (Введенский), В. А. 佛克 (Фок), М. А. 列奧托維奇 (Леотович), М. В. 舒列金 (Шулейкин) 及其他等人都有很大的贡献。对于这方面的一些新途径的探索，无线电物理学家們更具有很多的实验机会。

現在，关于E和F这两个电离层的性质已經研究得很好了，不

过，对于对流层和平流层下部的一些电的性质是知道得还不充分的。其中一部分原因是由于我們在这里遇到的是一种复杂而极其变化无常的现象，而另一部分原因是由于大气低层对极短的波（厘米波）的传播有最大的影响。

我們并不妄想在这本书中对于所研究的这个问题的闡明能达到专著般的完善，而只希望能使广大讀者熟悉在研究大气的无綫电方法这一领域中，一些科学上主要的成就，以及摆在它面前的一些问题。应该着重指出，关于大气的波导层（волновод），关于无綫电波的折射以及它們所引起的无綫电接收情况的变化，关于云中含水量以及其中的电导率，等等，这許多问题直到如今仍有很多沒有弄清楚。其中有些问题，我們已介绍了自己的一些想法，但其中大多数问题还必须再一次加以广泛的討論。我們希望能引起对此问题有兴趣的，尽可能多的广大讀者来注意这些问题。因而我們不但是要叙述利用无綫电研究大气时的一些方法，而且还要讲到摆在地球物理学家、无綫电物理学家和天体物理学家們面前的一系列有爭論的问题。我們觉得，在这些专家中，有些人是还没有充分地估計到，在研究与无綫电波传播有关的问题时协同工作的必要性。

不过，对于无綫电气象学问题的一种普遍的，也是日益增长着的意义，可令人相信，苏联学者們在现代科学的这一领域中的联合工作，在最近的将来必定可获得新的成就。

Д. Н. 納西洛夫

目 录

原出版者的話.....	ii
前言.....	iii
緒論。探測自由大氣的方法.....	1

第一篇 大氣中的電磁場

第一章 天電.....	9
第二章 反射脈沖的觀測.....	37
第三章 無線電台電磁場強度的測定.....	50

第二篇 無線電氣象學的物理基礎

第一章 一般的意見.....	107
第二章 氣態水和液滴水含量的作用.....	112
第三章 大氣電導率的作用.....	137
結語.....	170
參考文獻.....	175

緒 論

探測自由大气的方法

在二十世紀三十年代中，用無線電探空儀來探測大气的一些最初的嘗試，曾引起若干學者的熱情評論，認為要再找尋任何別種探測高层大气的方法，好像都是無益的了。但是由於高空飛行、炮術、無線電物理學方面需要的迅速增長，同時還由於用普通的气象計或無線電探空儀所獲得的情報的貧乏，又促使人們尋求一些新的探測大气的途徑，而首先是一些與應用地面上拍發出去的無線電信號有關的方法。應用這些新的方法，以及分析利用它們得到的一些實驗資料，都需要在气象學方面，以及在無線電物理學方面，有充分的學識。無線電波是在介質中傳播的，要是不十分詳細地了解那種介質的性質，那就決不能來研究它們的傳播情況。同樣地，一些研究大气的氣象學家也不能不了解現代的探測大气的無線電法，它能讓人研究整個的大气，從它的最高的層次起直到接近地面的層次為止。

我們用一個总的名稱無線電气象學 (радиометеорология) 把一些探測大气的無線電方法統一起來，對於大气物理學來說，這個名稱是最適當不過的。

不過在說到利用無線電來探測大气的情況以前，必須扼要地談一談幾種別的探測大气的方法的特徵與缺點。這些方法就是高空气象學的、光學的和聲學的方法。拿它們一比較，就可以更明白地知道，探測大气的無線電法到底更加完善到什么程度。

高空气象學的方法

在探測气流(它們的速度和方向)方面，是利用充滿了任何一

种輕質的气体(通常是氫气)的橡皮球。这气体和自由大气的比重之差决定了这种测风气球的垂直速度。在任何地方放出的这种气球,在它自由飞行的时候,是从一个地点,也有少数是从两个地点,利用經緯仪来观察的。

这样的橡皮球,尺寸較大的,也用来作为探空气球,也就是在它上面悬挂一种自記仪器(气象計),或者备有无綫电发射机,即随着气球的上升能发送关于一些个别气象要素(气压、温度、湿度、等等)的情报的那种仪器(无綫电气象計、无綫电探空仪)。

因此,这种种探测的精确度就决定于記錄仪器的精确度,而上升的高度主要是决定于橡皮的质量好坏。

在通常的探测中,假如是从一个地点来观察(瞄准)测风气球,那就假定它的垂直速度是近于恆定的。用这一种或者另一种硫化的方式(把硫引入橡胶的小球中)可以改变球壳的质量和它們对大气情况的反应程度。改善球壳的质量是一个困难的問題,假如考虑到,在 -50 至 -60° (也就是在 $8\sim 12$ 公里以上的高度处的温度)之下,橡胶就成为脆性的,而不大能够伸张了。在这时候,气球的上升速度也就減低。因此,所有关于很大高度处的风速的測量(利用测风气球从一个地点进行的)的資料,在温度低而气压小的情形下,就需要作极仔細的分析,而其中有許多是会引起怀疑的。

可以上升的一些自記仪器的結構,直到現在还不能滿足对它們所要求的那种精确度。气象計通常只是在标准气压下来作温度檢驗的,因而只有对近地面的环境中的温度变化才显得十分灵敏。目前还不能对这样的仪器的感应部分在低压情况下的工作进行数字的計算,即算出它的慣性系数、輻射的影响、等等,因为还没有得到在低压和低温下的导热系数的資料的原故。此外,在通过云块的时候,也可能有滴状的水分落到自記温度計的感应部分上,而这一点再加上仪器的热慣性,就更加歪曲了它的讀数。

气象計的湿度部件,差不多总以毛髮作为感应元件,是极端迟鈍的,它只有对分子湿度的变化才有反应,而且这也要滞后很多;

云块中所有已經凝結的水分都仍旧不能全都估計出来¹⁾。在低温(-30° 以下)和低压之下,毛髮湿度表的讀数一般总是可疑的。在晚近这几年中,又出現了一种吸湿盐湿度表:在一块玻璃片上涂上一层吸湿盐 LiCl 溶液的薄膜。在玻璃片两旁作两个导电的边。这个系統整个的电阻或电容就要依空气中可以吸收到水分,也就是依空气的湿度而定。不过,这一种仪器也只有对水汽状的水分才有反应²⁾。

校驗装在气象計上的这样的一种湿度表的結果表明,由于发生极化現象的关系,它們給出的也是些可疑的資料。

虽然关于气压的資料是气象計記錄下来的所有資料中最精确的一种,但是即使气压資料也有若干很难加以估計的誤差;这些誤差主要是决定于低温对于金属弹性的影响。

无綫电探空仪还有一个缺点,就是在把仪器的数据譯成电碼时,也就是在把仪器(測定气压、温度、等等的)的讀数轉化为一定的、可由无綫电拍发的信号系統的时候,存在着誤差。

所說的这些使人有理由来怀疑高空气象学探测方面的許多資料。而且即使在最好的情况下,高空气象学探测的极大多数結果,基本上也都是属于大气中 10—15 公里以下的一层,而很少达到 20—25 公里的高度。当然,这样的一些資料不仅对于解决許多气象学的问题:一般环流、气团运动、等等的理論,而且对于航空与无綫电物理学方面的一系列实际問題,也都是不够的。

光 学 的 方 法

应用光学方法来研究大气中的一些过程,由于一些俄国学者的的工作,已經获得了它的基础与发展。即使到現在,П. И. 布罗烏諾夫(Броунов)在他的“大气光学”(1924 年)中所叙述的一些观念,也还没有失掉它的价值。在 1905 年 В. В. 庫茲涅佐夫(Куз-

1) 在通过云时,凝結起来的水分可能落到毛髮上,对仪器的讀数带来了无法估計的歪曲。

2) 对于根据露点的方法記錄凝結水分(冰)的那种仪器,也可以这样地說。

нецов)就开始用探照灯的光线来探测大气,用它来测定夜间云层的高度。

Л. Л. 查哈罗夫斯基(Захаровский)在苏呼米区域中研究光线折射的时候,发现在折射角和临近观测地点的气团特性之间有一种直接的关系^[1]。他曾经确定,在日出之前,有暖锋或者锢囚锋临近,且有降水(雨)时,土耳其的一些山就可以看见,而在别的时间中,通常只看见比较靠近的阿札尔的一些山¹⁾。著名的北地岛的探险家 Г. А. 烏沙科夫(Ушаков)在他的一些文章中也说到在北极圈中,当有逆温而在山脉上出现了不大的冰性云堤的时候,有同样的一些折射很大的情况^[2]。К. К. 湯姆孙(Томсон)、Н. И. 庫契罗夫(Кучеров)等人也曾经完成了很多的关于朝晚霞在不同天气条件下颜色的研究工作^[3-5]。他们发现了折射和天气有很大的关系。不过,所说的这些著作主要是关于低层大气中的一些过程(以及关于光线)的^[6]。

研究各种不同高度上太阳光线的吸收光谱,由此来确定空气中的臭氧含量,这是与略微大点的高度:20~50公里有关。

在最近这几年中,对于考查20~25公里以下的大气,已开始运用一种 И. А. 赫沃斯齐科夫(Хвостиков)所建议的探照灯探测法。用这种方法可测定探照灯的光线在不同高度处的亮度和偏振的程度。

假如探照灯投射的光线是受调节的,那么,就可以利用光电管来作为一具最灵敏的接收器。这光电管要安置在一只巨大的凹镜的焦点上,且调谐到同一频率上。

在纯净的空气中,探照灯的光线差不多是不容易看出来的。云层,或者一般的混浊层,即光散射很大的地方,都可极显明地看出来。用这种方法已经发现,例如,有一些云层存在于12~16公里高度处,以及它们在高度方面的变动²⁾。

1) 这一个有雨临近的征兆,就象我们已经能够阐明的一样,现在有许多苏呼米、古达乌塔、等等城市的居民也知道了。

2) 最初的一批关于在11~15公里高度处有云存在的报导,是1930年左右,在苏联作出来的。

И. А. 赫沃斯齐科夫在观察一強力的探照灯光束的偏振作用变化时；曾經作出了一个关于直到很大高度处的大气混浊度在一昼夜期間中变化情况的結論^[7, 8]。

对于所謂貝母云的观测,例如在挪威进行过的,已經証明了对流层中的一些过程和許多更高层次大气中的一些过程有关的可能性。在 20~30 公里的高度处,由过冷却的水滴或冰晶組成的一些云的形成,曾經企图用气团跨越斯堪的那維亞山脉时出現的波动来解释。这些云多半是从西方,并且以很大的速度——将近 1 秒鐘 75 米移来的。

更高而只有在夏夜(在北半球是在天空的北部)才看得出来的夜光云,主要是在 80~82 公里的高度上,从东方来的,平均以約每秒 100 米的速度在移动着。它們的本質还未充分地研究过;可能,这就是宇宙尘或者冰粒的一种堆积,就象 И. А. 赫沃斯齐科夫所假設的一样。对这种云的观测,需要观测員有高度的熟練經驗,特种仪器,而且只有在一昼夜和一年之中很有限的时间中才可能观测。

В. Г. 費森科夫(Фесенков)院士所倡議^[9],而主要是由 Н. М. 什陶迭(Штауде)予以发展的曙暮光法(сумеречный метод)^[10],让人可以作出关于直到 140 公里,甚至于更大高度处的大气密度,以及部分关于它的成分的結論。

不过,無論是对于光的散射和偏振,也無論是对于曙暮光的观测都极受一昼夜中时间的限制,而在整理它們的时候,也很难完全估計一些較低层次的大气所加上去的种种效应。

对于流星——隕石的燃烧所作的大量观测,已让人能作出关于差不多从 50 到 120 公里高度处的大气密度的結論。它們的发光尾部的偏斜表明了,在很大高度处有两支相反的气流:低的——通常是东来的,和高的一一西来的(对于北半球)。不过,因为这些观测既为数不多,又没有系統,所以未必能从它們之中来作出若干一般的結論;希望这种观测材料在两半球中都能有更进一步的补充。

对于极光的观测,是有系統地研究大气最高各层中大气成分

的一种最重要,也最通行的方法.在这里,提醒一下,根据极光高度的测定,它们的下界已确定大致为离地 100 公里,而它们的上界,根据有些资料,可达到 1000 公里,甚至于更高些^[11].

这一节关于光学方法的汇报,连同关于它们所达到的高度的陈述,已经能够证实它们在探测大气方面的巨大意义.但同时也不得不指明它们的应用的局限性.所有这些观察和测量都只有在一年、一昼夜内有限的时间中,以及在一定的地理区域内才可能.而这样的零星的材料的系统化也是极端困难的;从一些在地球上不同的地点,在不同的年份中,由不同的人,以及用不同的仪器所进行的观测中,是不容易作出一个结论来的.

声学的方法

众所周知,声音的可闻度常随着气象条件而有显著的变化.人们都体会到可闻度随多雨天气的临近而明显地增大.“钟声,在下雨之前,距离很远的地方就可以听到,在起风之前,它听起来就不均匀”,或者“当声音在午后特别响亮地发出回声的时候,那就要有雨了,而早上就有这种情形的时候,那将是很好的天气”^[12].不过,这总是属于在近地面的气层中,在不大的距离上传播着的一些声音.甚至于连一些很强大的声源,象爆炸、炮队射击,在差不多 50 公里的距离处也就不再可以听得到了(这个距离是可以根据风和天气而略有变化的).但是,随着远离那强大的声源,在更大一些的距离上,那声音又重新能很好地听到.这第二个可闻的地带大约在距离有 100—200 公里之处.这一个环形的可闻地带的内界半径依季节而变化,在 1 月~2 月,大约等于 110 公里(最大的可闻度是在距离约为 125 公里之处),而在 8 月,约等于 190 公里(最大的可闻远度约为 230 公里).在 1920 年 5 月 9 日莫斯科炮兵军火库爆炸的时候,外边的一个可闻地带曾经具有一种圆环的形状,这是由于一个静止的气团有非常均匀性的关系,这确是可能的.

不过,这第二个可闻地带也并不总是形成一个闭合圆环的.在西欧曾经发现过,在冬季多半是发现那环的东部,而在夏季多半

是发现它的西部。

許多的研究工作者都假設，达到所說的那第二个可聞地帶中的一些声波是从大气的各个高层中反射来的，因而曾經企图利用巨大的爆炸来研究高层的大气。例如，在1923~1926年在德国，以及1924年5月在法国，当銷毀1914~1918年那次世界大战之后遺留下来的弹药和爆炸物的儲备时，就曾經进行过这样的一些研究。根据所获得的研究資料，产生了几种解释第二个可聞地帶的理論。最有可能的理論认为后者好象与很大高度(40~55公里)处存在有一个具有高温的气层有关。一些不同的作者曾經根据这些声学的观测，算出直到60~70公里，乃至更高些的高度处的温度值。这时候，又曾經假定，具有这样高温的气层，有时存在的不是一个，而是几个。这些层次的高温似乎不难由大气中将近55公里高度处所拥有的臭氧，吸收了太阳紫外輻射这一点来解释。也可能假定，在极地区域中，臭氧的含量，同时还有温度都有降低，而在极夜之末，将成为极小。不过，由于在第二个国际极年(1932/33年)的时期中，在苏联新地島和法兰士約瑟夫地上专门組織起来的观测，曾經确定，第二个可聞地帶，即使在极夜的期間中(在最后)也是存在的——在那时候，新地島上爆炸的声音就曾經在法兰士約瑟夫地上被記錄下来^[13-15]。

由此可知，声学的方法已經証人确定，即使可能假定在将近50公里的高度处有一高温的气层存在，但是决不能单由直接的太阳光綫造成的增温作用来解释它的形成。同时也弄明白了，除了在50公里高度处的这一种温度异常的情况以外，在大气中，無論在50公里以下，也無論在50公里以上，还應該存在着別的一些复杂的过程，它們能够造成一幅可以用声学的方法来研究一些現象的复杂图景。

尤其是，最近許多工作都表明了，用声学的方法也可能极仔細地探測30~40公里以下的高度上大气中风的分布。

如考虑到用声学方法进行观测时准备工作的复杂性，那就不得不承認，它們对于研究大气中一些迅速进行的过程是不大适宜

的。因此，一些声学的方法直到今天也还很少用到。

无线电学的方法

有鉴于每一种探测大气的方法都有其可能性和缺点，往往就尝试用另一些观测来补充某一种观测的资料。这主要是属于低层大气，首先是10—15公里的。在上面分析过的一些方法之中，有许多只是在无云的天空中才可以应用，而即使在用气象计直接测定温度的时候，它们的读数在通过云层时也会受到歪曲；一些低层大气是常把种种特殊的歪曲带入光学方法的资料中的。

在现在，已经能够成功地利用火箭把特种的记录仪器发射到很大的高度上。所得到的关于空气的成分(根据光谱)，以及关于温度(根据观测到的不同高度处的空气密度算出来的)的资料已提供了一种根据，使人相信有新的研究高层大气的可能性。不过，目前已经发表的，还只是若干个别的报告，而且也还不能断定它们对于别的地方适合的程度。因此，在实用气象学方面，对于目前的每日工作，除了上面所说的一些方法以外，也利用无线电方法。

探测大气的无线电方法和别的一些方法不同，它让人可以用比较简单的手段，在任何天气下，以及在一昼夜和一年中任何时间内，来做观测工作。这样的无线电方法，已经知道的有三种：(1)观测大气放电——“天电”的方法。(2)测量反射不同频率的脉冲的一些气层的高度和电离程度的方法，以及(3)测量无线电台电磁场的强度的方法。

我们并不把无线电探空仪的应用归在无线电方法之内。它本质上就是一种简单的气象计。它的一些资料是与无线电波在大气中传播的一些特征无关的。

第一篇 大气中的电磁场

第一章 天 电

观测天电的方法可以认为是观测气象过程的一种最老的，也是最通行的无线电方法。所谓天电，就是雷暴放电，也就是可被无线电接收机发现出来的那种特殊的干扰。

关于这种干扰的起源，以及关于大气在造成这种干扰方面的作用，一般地说，是有许多不同的意见的。有些作者曾经认为，这种干扰是由一些宇宙方面的原因引起，发生在我們这太阳系的外面。曾经有过一些企图，否认大气对这种干扰的出现有任何的影响。

在现在，往往只把那些干扰，就是它们的起源应当归功于对流层中的一些过程的，叫做天电。并查明有些对于一定频率的无线电波的干扰可能是由一些宇宙方面的过程——流星雨、太阳暴发、等等造成的。这些现象没有定期的和共同的特征，因而在整理观测结果的时候，通常是很容易把它们从大气出身的干扰中分出来。

有人曾经认为，天电是由电离层内的某些过程所产生。确实，在离开位于大气低层中的一些干扰源地有很大距离的情形下，在顺着地面传播的那种直达脉冲（地面射线）到达接收机之后，过了若干时间，又会有一些从电离层反射过来的脉冲到达，而被记录下来。对于这些反射脉冲，磁扰和极光的存在也都是有其作用的。

Б. Ф. 阿尔汉格耳斯基 (Архангельский) 在第二届国际极年的时期(1932/33年)中，曾经在法兰士约瑟夫地的太平港中观测过天电^[16]，柳訖 (Lugeon) 在麦德维日伊岛上也曾经观测过^[17]，他们都曾经发现，极光好象会妨碍电磁波（和干扰）的传播，假如这些电磁波在自己的路途上遇到了它们的话。假如，在麦德维日伊岛上，当