

普通气象学

(上册)

王彬华编著

上册目录

緒 論

§0—1 气象学的領域.....	1
§0—2 气象学的演进.....	2
§0—3 气象在生产建設上的应用.....	7
§0—4 气象科学的研究及其展望.....	13

第一章 大气的組成及其性質

§1—1 大气的范畴.....	16
§1—2 大气的組成.....	19
§1—3 大气的性質.....	22
§1—4 对流层.....	29
§1—5 平流层与电离层.....	35

第二章 气象要素

§2—1 大气温度及其单位.....	42
§2—2 湿度的意义和种类.....	44
§2—3 气压及其測定.....	56
§2—4 风.....	58
湿度.....	61

第三章 太阳辐射

§3—1 辐射和辐射通量.....	67
§3—2 有关辐射的几个定律.....	73
§3—3 太阳辐射的分布.....	79
§3—4 太阳辐射的损耗问题.....	83

第四章 地球辐射

§4—1 天空辐射.....	95
§4—2 地面辐射.....	99
§4—3 大气对于长波辐射的作用.....	103
§4—4 大气间的热平衡.....	106

第五章 大气的热力性质

§5—1 干空气的绝热变化.....	112
§5—2 水汽对于绝热变化的影响.....	114
§5—3 气温直减率.....	118
§5—4 位温和焓.....	123
§5—5 空气的干温和饱和温度.....	129

第六章 空气稳定度

§6—1 空气垂直运动的热力条件.....	139
§6—2 单量空气的稳定度.....	142
§6—3 薄片方法的空气稳定度.....	150
§6—4 均匀大气和机械性不稳定.....	156
§6—5 空气不稳定能量的计算.....	159
✓ §6—6 热力图解的种类和应用.....	

第七章 大气中的热量传递

§7-1 大气温度的局地变化	163
§7-2 辐射的热过程	172
§7-3 分子和乱流热过程	176
§7-4 水汽的潜热交流	184
§7-5 空气的大量传热过程	185

第八章 气温场

§8-1 气温的水平变化和垂直变化	189
§8-2 近地层的大气温度	203
§8-3 气温的日变化和年变化	213
§8-4 地球面上的气温分布	225

第九章 水温、草温与地温

§9-1 水温及其变化	239
§9-2 草温、地温和地温定律	244
§9-3 土壤温度的变化	250
§9-4 气温、水温与地温	255

第十章 蒸发与凝结

§10-1 水相及其平衡	251
§10-2 蒸发过程及其特性	277
§10-3 冷却	281
§10-4 凝结与凝结过程	290

第十一章 大气透明度与雾霾现象

§11-1 大气透明度	298
-------------	-----

§11—2	雾、霾及霾	301
§11—3	雾的成因	303
§11—4	雾的分类	311

第十二章 云 及 降 水

§12—1	云的成因及其属性	321
§12—2	云的分类	326
§12—3	降水与降水程序	336
§12—4	雨的成因及其分类	340
§12—5	雪、雹及其他降水	342

第十三章 湿 度 场

§13—1	水汽的空间分布	348
§13—2	湿度的水平分布	352
§13—3	湿度的日变化和年变化	356
§13—4	云雾的变化与分布	360
§13—5	降水的型式和变化	367

第十四章 大气中的物理现象

§14—1	光的散射作用	373
§14—2	光的折射作用	379
§14—3	光的衍射作用	390
§14—4	大气中的电离现象与电场强度	397
§14—5	极光	401
§14—6	大气中声的传播	404

緒 論

§ 0—1. 气象学的領域

气象学是研究大气界物理現象的一种科学。它所研究的范围限于大气圈內，和专门研究大气以外天体现象的天文学迥然不同；凡是天气的冷、暖、阴、晴、风、云、雨、露等发生在大气以內的自然現象，都是气象学的研究对象。这些現象，实为大气压力、大气温度、大气湿度、风、云、日照以及降水等气象要素的综合表現和交互反应。人类生存在大气圈內，对于天气变化，自然都很关切。要想了解天气变化的情形，求得对于气象科学有一个比較完整的概念，不得不先从普通气象学去学习和討論。为了对于大气物理性質作进一步的理論上的探索，随着又有理論气象学或物理气象学的产生。因为理論气象学或物理气象学是研究大气性質及其变化的原理，所以也可以叫做大气物理学。要是单从大气的动力、热力以及运动的变化来研究气象学，則叫做动力气象学。要是着重討論天气現象及其演变，并从天气現象中找出其演变規律，据以推测未来天气变化，則叫做天气学。要是专门研究自由大气的，則叫做高空气象学*。前面曾經說过，天气

* 最近出版的書籍中，有把高空气象观测的方法、仪器和資料整理等，叫做高空气象学，似欠妥当。

变化对于人类的生产活动，关系很深，因此它有着很广泛的应用范围。这样，从气象学的应用对象来说，便有航空气象学、海洋气象学、军事气象学、卫生气象学、水文气象学、农业气象学等若干种。从总的方面来看，气象学的种类虽然很多，但是除了普通气象学、理论气象学、动力气象学、天气学和高空气象学等各有其不同性质和领域以外，其他各种气象学，都是依据一般气象学原理，分别在其所属学科中作理论的和实用的相关分析叙述，内容上尽管有所不同，原理上彼此并没有显著差异。

§ 0—2. 气象学的演进

人类既然生存在地球面上的大气圈中，对于天气变化，自然不能漠不关心，社会文化的兴衰，衣食住行的变化，或多或少都要受到天气的影响，所以远在纪元开始的几千年以前，观测天气的工作，已有萌芽；可是等到数学和物理学大大发展并在各个学科中广泛应用，以及发明了气象仪器之后，气象学的研究，才算有了理论基础和资料依据。在十六、七世纪，伽利略(Galileo)*和托里拆利(Torricelli)等发明温度表和气压表以前，气象学的记载，大半出于想象或迷信，虽有理论上的叙述，但也很少能自成体系，完成一系列的气象学的科学著述。我国虽有东汉王充、北宋沈括和南宋朱熹在气象学理论上有所阐述，但是这些阐述都是零星片断地说明天气现象，而且以后也未能得到很好的发扬和继续。后汉

* 荷兰“德拜尔”(C. Drebbel Von Alkmar)于1592年也独立的发明了温度表。

張衡曾有風向儀器的創制，明朝也有雨量器的推廣應用，可是都沒有把觀測記錄系統的保存下來；同時這些觀測工作，也沒有作到有計劃地發展和繼續。大體說來，在這個期間，縱有氣象記載，但多為長期經驗匯集而成的氣象歌謠，流傳民間，並沒有在理論上作系統地闡述。不過要把物候的記載和闡述計算進去，我國春秋戰國時期，便有了二十四氣和七十二候的確定，開始物候記載。秦漢時期的“呂氏春秋”、“夏小正”和“禮記月令”，都是世界上最早記載物候的著作。因此，要是嚴格地論述氣象學史，溫度表和氣壓表的發明，固然很重要，可是要談到氣象學的演進，則紀元前的一段時期，都應當列入，特別是中國古代在氣象學上的貢獻，無論在理論著述上，儀器創制上；都遠在溫度表和氣壓表發明以前就有了輝煌成就。如果把紀元以前的一段一併列入，則氣象學的演進，可以分作四個時期：從太古到紀元開始為第一時期；紀元以後到十八世紀末為第二時期；十九世紀為第三時期；從十九世紀末到現在為第四時期。

第一時期：天上繁星，空中雲彩，一向就引起人們的注意；在古代還常常依據這些來推測人間凶吉、谷物豐歉。以星相論斷吉凶，固然是荒誕不經，流為迷信，但是根據雲形變幻，預測風雨，從而測報旱澇，估計豐歉，積年累月，自有其相當準確性。由於天氣變化對於人類的生活關係密切，所以在氣象儀器發明以前，人們（尤其是農民）就從其歷代有關天氣變化的生產鬥爭中，積累了若干天氣歌謠，以為預測天氣的準繩。三千年前，我國殷墟甲骨文中許多卜辭，都為了要知道陰、晴、雨、雪而留下很多記錄。周朝前半期，常有匯集民間生活經驗，傳為詩歌的。如“詩經”上說：“相彼雨雪，先集維散”，說明了冬天降雪之前，先見雪球的現象。又如：“朝濟于西，崇朝其雨”，說明早

晨太阳初出时，如果看到西方有虹，便将降雨。这些都是从生产斗争中体验出来的天气变化真理。至于春秋战国以至秦汉时期的物候记载，可以说在气候方面已经有了系统化的著述和记载。外国气象学的萌芽也很早，纪元前四世纪希腊大哲学家亚里士多德（Aristotle）曾著有气象学“Meteorologic”一书，综合叙述水、空气和地震等问题。现在气象学的外文名字，还是从亚里士多德的原书名称演变而来的。因此，无论在我国，还是在外国，纪元以前，气象学就已经奠定了启蒙时期的基础。

第二时期：从纪元开始一直到十八世纪末，这个期间无论在气象仪器方面或是气象学理论方面，都有了显著的进步和发展。在这个期间，特别是在这时期的早期，我国对于气象学上的贡献最大也是最早。在仪器方面，后汉“张衡传”里有这样一段记载：

“阳嘉元年（公元132年）张衡造候风地动仪……。”至于候风地动仪的式样，以后在后汉或魏晋人所著的“三辅黄图”中有记载：“长安宫南有灵台，高十五仞，上有天仪，张衡所造，又有相风铜乌，遇风乃动。”因此，张衡的相风铜乌，可能为另外一种专测风向的仪器，和地动仪并不是同一个仪器。“观象玩占”中也说：“凡候风必于高平远畅之地，立五尺竿，于竿首作盘，上作三足乌，两足连上外立，一足系下内转，风来则转，回首向之，乌口衔花，花旋则占之。”其次明朝永乐末年（1424），曾令全国各州县报告雨量。当时各县都颁发有雨量器，一直发到朝鲜。朝鲜的“文献备考”中，有一节讲明朝的雨量器制度，并说明当时雨量器圆径七寸，高一尺五寸。从我国发明风向器、雨量器之后，到十六、七世纪，外国才先后发明了温度表和气压表。简单气象仪器既备，正式的观测工作，也渐渐开始建立起来。从这以后，便有以仪器测得的气象记录，作为气象科学的研究依

据。在气象学原理方面，我国东汉王充在其“論衡”中的“龙虛”和“雷虛”两篇文章里，对于雷暴已作了初步解释。其中曾經这样說过：“雷者太阳之激气也，何以明之。正月阳动，故正月始雷，五月阳盛，故五月雷迅，秋冬阳衰，故秋冬雷潛。”以后关于虹的說明，北宋沈括謂：“虹，雨中日影也，日照雨，則有之。”关于云雨的生成原因，南宋朱熹也有解释，“朱子語录”說：“气蒸而为雨，如飯甑盖之，其气蒸郁而淋漓；气蒸而为霧，如飯甑不盖，其气散而不收。”外国在十六世紀以后，气象学才有系統的观测与研究。以后我国关于气象学的观测记录，曾断續維持，但是作为自然科学的系統研究，却未能被重視而发揚下去。外国由于物理学的发展，以后对于晕、华、虹、霓以及海市蜃楼等现象，也得到合理的解释。同时，在利用气象仪器的基础上，又更进一步地根据气象记录，对于大气环流的理論，逐漸加以闡发，直到十九世紀初，卜兰德（H.W.Brandes）初創天气图以后，气象学的实际观测与理論研究，才算初具規模。

第三时期：1820年卜兰德虽已首創天气图，但是当时各地气象电报联系，并没有被人注意，所以对于利用天气图从事天气預报的工作，仍被忽視。直等到十九世紀中叶，由于生产力不断发展，世界各国差不多都从封建社会进入到資本主义社会，使落后的生产方式得到改进，人类对于自然的了解更为深入，对于自然的利用，也就更覺得迫切而需要；特别是終日生活在大气里，尤其是风雨晦明的天气变化，几乎无时无刻不关系到人类的活动范围与生存領域，因而对于已有相当基础的气象科学以及正在萌芽的天气預报，力图发展与提高。在这一个历史阶段里，欧美各国差不多都在尽量地設立气象台，加强天气預报。从此，有计划地測候系統，次第建立，为近代气象科学奠定了良好基础。

第四时期：十九世紀以后，各种科学进展迅速。在记录方面，因气象观测仪器逐步改进，不仅原有的地面观测，做到了精密确实；而且高空测候也因为测风气球及无线电探空仪的先后应用，而得以发展。由于高空记录的获得，对于大气的垂直分布，更加明了。在这个期间，因为挪威渔业生产的发展，漁船經常往返于远洋外海，对于海上风暴的消长，必須具体掌握。所以挪威境内测候网次第建立，总结經驗，綜合研究，随有以畢叶克斯(Bjerknes)父子为首的极鋒学說的創立，对于天气的构造模型，获得划时代的新的認識。以后关于大气演变，就由两度空間进而为三度空間的天气分析。二十世紀四十年代以后，高空分析普遍的得到重視和发展，因而对于大气环流，特别是中緯度的环流，著述很多。一向不太被重視的热带天气系統，近年来也得到普遍的重視和发展。同时，在这个期间，苏联气象学者又創立了平流动力学說，并把它在天气分析上加以發揮。二十世紀五十年代以后，因为气象仪器逐步改进，無論在量上和質上，气象记录都有显著提高，从而推动了气象学原理的进一步发展，使处在半經驗状态的天气預报，有了逐步利用机械走向数值預报的趋势。从1957年7月1日国际地球物理年开始，更有施放人造地球卫星計劃，以了解更高处的上层大气。而且这一計劃已在1957年10月4日苏联首先成功地施放了第一顆人造地球卫星，而得以实现。因此，在这一时期，不仅气象仪器有所改进，而且理論上的闡述，也极宏伟。

从以上四个时期看来，在前两个时期里，我国人民在气象科学上的貢獻是丰富的，也是伟大的。但是近百余年来，帝国主义势力侵入我国，为了滿足其侵略意图，便在我国先后設立气象台，再加上我国統治阶级不重視人民科学事业，听任其宰割代办，以致在第三、四两个时期中，我国气象事业未能繼承祖先遺

产发扬光大起来。直到全国解放以后，人民政府重视科学事业，气象工作才得到了发展，到1956年止，全国气象台站网基本建成，观测技术达到了国际水平。随着1958年的工农业大跃进，我国气象事业又获得迅速发展。目前正以飞跃速度前进，今后我们不再满足于了解天气、掌握天气的消极状态，而要进一步地控制天气、改造天气了。

§0—3. 气象在生产建设上的应用

气象在生产建设上的应用，主要表现在以下两方面，一方面是气象资料的应用，就是把过去资料加以整理分析，找出它的规律和特性；另一方面便是根据过去和当时天气实况，对于未来的天气演变，作出预报。无论是利用过去资料或者是预测未来天气，对于生产建设都有其积极的意义和作用。在目前，虽然人力还不能改变天时，但是尽可能的利用天时，已经在农林、渔牧、交通、工程各个方面表现出良好的效果。

0—3.1. 农林方面

在农业生产建设中，每一农事季节、农事活动以及农作物的生长发育，都与气象变化有密切关系。这些变化不仅表现在大地区的灾害性天气，而且在极小范围内的小气候学的研究，都有其迫切需要。因为生物体既然生长在它的周围的外界环境中，外界环境必定要影响到它的生长、发育和繁殖。对于植物来说，它的外界环境主要的是气候和土壤。况且土壤与气候之间，还有彼此

的交互影响和作用。因此农林科学无论是直接的还是间接的，都离不开气象科学。

在农业技术方面，播种期就是一个重要问题，远在一千几百年前，我国人民就订下了二十四气和七十二候，完全为了解决耕作上的适时问题。因此不仅要了解各地温度、日照和降水等气象要素的分布和变化，而且还要针对不同地区的土壤性质，决定适当的播种日期。在栽培问题上，栽植作物的作畦方法、栽植密度和栽植形式，都会引起不同的小气候现象。因此在设计栽培方式时，必须使耕地的小气候尽可能的为各种作物提供最合适的条件。其次关于耕耘、培土、除草和镇压等农田操作，需要掌握适当气象条件，分别处理。为了提高土壤蓄水力，加强其抗旱能力，宜加耕耘。为了防止幼苗遭受冻害，便在作物根际培土或加土。为了防止霜柱^{*}，反而不宜耕耘，而需把土壤压紧，以减少土壤中的空气含量，使其容易导热，免结霜柱。这种压紧土壤过程，叫做镇压。因此，在农田操作上，究竟应如何进行，必须了解气象情况。

气象环境足以影响树木发育、造林作业以及林产物的加工等等。在天气方面，有风折、雪压、晚霜、旱害等直接灾害和林火与病虫害等间接灾害。在气候方面，也必须考虑其变迁周期，做好造林与护林计划。要是造林为了调节气候，更应当研究其气象条件以后，才能着手进行。不但造林如此，就是伐林也必须参考气象资料，冬季采伐比夏季采伐的林木质料坚实，而且遭受虫害的机会也少些；不过象针叶树一类的林木，倒以晚夏采伐比较合适。

除了上面谈到的问题以外，灾害性天气中的大风、冻害、雹害、霜灾等的及时预报以及长期预报中的旱涝预报和严寒预报，

^{*} 土壤中水分结成柱状的冰，叫做霜柱。

更是农林工作中所需要的了。过去我国统治阶级对于这些灾害性天气，不但不进行及时预报，协助人民防范，反而趁救灾机会勒索敲詐，弄得人民災上加災，流离失所。現在，我国各地气象台不但及时作出灾害性天气预报，而且政府还发动羣众进行事前防护与事后救助，以減輕和消灭自然灾害。

0—3.2. 漁牧方面

我国既有綿长的临海，又有辽闊的草原，便为水产和畜牧事业提供了有利的自然条件。

首先談一談水产业。我国漁場面积共計 436,890 平方海里，占全世界漁場面积的 23.7%；姑且不論淡水漁业怎样，就单是海洋漁业，也就极可觀了。水产事业与气象科学的关系也是密切的，表现在：

0—3.2.1. 风

目前我国漁船还以机帆船居多，风固然可以被用作动力，但是风大了，也容易招致危险，因此必須了解风的情况。况且若干鱼类，还随风暴发生显著变化，有的鱼类遭受风暴以后，魚羣分散不容易追捕；有的鱼类反在风暴过去以后，喜欢栖羣。因此，掌握了风暴来踪去迹，可以指导生产。

0—3.2.2. 水 温

水温高时，魚对食物的要求增加，气体交换也旺盛，在一定限度的高水温范围内，可以促使其加速生长。同时每一鱼类，都有其一定的适温范围，要是水温变化太大，超过它的适应力，魚

类被迫迁移,这也是使得鱼类洄游的一个原因。所以测定水温,可以判断某些鱼类的鱼场,如鲑鱼的适温范围,便是 $14-18^{\circ}\text{C}$ 。因此了解甚至预测水温分布,也可以作为寻找渔场的一种参考依据。

0—3.2.3. 日照

日光强烈直接关系到浮游生物的增减,也间接地成为鱼类洄游的另一原因。同时鱼类在产卵期,喜欢在日光充足、浮游生物多、营养丰富以及水温合适的场所栖息,以便其索食、生殖和孵育。英国每年五月鲑鱼收获量,就和日照多少成正比,可见日照影响的显著。但是日光太强了,在盛夏季节内湾海水中的浮游生物(鞭毛藻、砂藻、夜光虫等)繁殖激增,常常容易形成一条腥臭而带粘性的红色海水带,这条粘水带叫做赤潮。海水中有了赤潮,使溶解后的含氧量突减,或因腐烂分解产生毒素,又足以损害鱼类,或致鱼类死亡,使得渔捞受到影响。

0—3.2.4. 降水

浅海养殖中的牡蛎,必须生活在比重为 $1.020-1.024$ 的海水中。要是降水多,浅海中注入的淡水必多;如果淡水增多,足以使海水比重降到 1.020 以下,牡蛎便要死亡。从这一个例子里,可以知道降水也影响到水产事业。至于水产加工方面,雨日、雨量以及其他天气变化的影响,便更显著了。

其次谈一谈畜牧业。温度和降水对于畜牧业的影响比较大些。降水不仅可以清潔畜体、草原和空中灰尘,而且还可以增加水源。但是积雪(地面5寸以上的积雪)却足以妨碍放牧。至于地面凝結物中的露,每使畜体辐射加强,伤害幼畜;霜能致牧草

变冷，引起牲畜胃腸卡特性炎症和疝痛等疾病，需要及早作出預报，以便預防。气温影响牲畜体内新陈代謝作用，低温固然可以提高其身体对外界刺激的抵抗力，但是过于寒冷，也容易招致貧血。相反地，气温太高，又会使其喪失生理机能，因此气温变化太快是不好的。此外，气压也有其一定影响，西藏高原上由于气压太低，便限制了馬的繁殖。

0—3.3. 盐粮方面

在盐业生产和粮食存儲方面，应用气象資料的，大部关于水分蒸发。由于蒸发作用的复杂，温度、降水、风信等各种气象要素都有其直接和間接影响。何况海盐的生产，主要依靠海水蒸发；粮食的存儲，在目前还不曾采用机械干燥方法，而必須利用日晒。这样，便增加了二者对于气象科学的关联性。

海盐生产过程，实质就是蒸发过程，因此日照多少，关系很大。北方晒盐多集中在夏至以前进行，就是避免雨季影响，爭取連續晴天的机会。既然蒸发关系很大，那么温度低，蒸发作用小；风速大，蒸发快，所以需要选择高温与在六級左右的风力条件为最适宜。气温低不仅影响蒸发，而且还妨碍冬春打坝工作。风力强，同时还可以供給风車动力，灌取海水，不过风力太强了，要是从內陆吹来，空气中帶有尘沙，影响盐質；要是从海上吹来，因与海潮同来，破坏力大，反而受到損失。其次关于降水的影响，表现在：

- (1) 卤化結晶池里已結晶的盐粒；
- (2) 使各种浓度的卤水变淡；
- (3) 冲淡空池子的池板，影响以后灌卤生产；

(4) 妨碍作池板的压平池底的“泥活作业”。

以上四点说明了降水的影响是很大的，因此在海盐生产过程中，最好有連續七、八天的晴天，以便有充分时间，完成一次生产过程。

此外，露水也不利于海盐生产，往往第一天下午的卤水浓度很高，一夜降露，第二天卤水浓度就变淡了。

在粮食管理和储藏方面，气象也是必须参考的一种资料。粮食是有生命的东西，它也要呼吸，而产生二氧化碳、水及热量；热量多了，不容易散失，便增高了温度；温度既高，又加强其呼吸作用，再度生热；周而复始，终因温热过量，使得粮食变质腐烂。从这里可以知道粮食入库存储以前的“底温”关系，非常重要。因此，在晒粮时，必须注意适当的温度，晒的季节太早了，温度低，不容易晒干；晒晚了，温度太高，入库后容易生热腐烂（一般在温度 10°C 左右入库保存，比较合适）。晒粮入库的时候，应注意粮食的含水量，普通粮食中有10—25%的水分，但在入库以前，必须晒到水分不超过13.5%的标准程度，才能达到安全保藏的目的。

0—3.4. 工程交通方面

在交通工程方面，气象资料的应用极广。公路建设中必须知道冻土深度、最低温度和低于 0°C 温度的連續出现日数。气温足以改变路基土壤内部水分的重新分布，影响路基强度。其次降水中的一次最大量和連續最大量，为公路桥涵设计时的必要依据。在航务工程中的筑港计划，需视港湾形势，适当的利用当地盛行风。要是港湾外堤面积大，足以防止风浪影响，保持港内水面平