

航空氣象學講義

第一回

624100-1



社團法 考友社 出版發行

航空氣象學講義 第一回



第一回 (1/3)

第一講 大氣概述.....	1
命題重點.....	1
重點整理.....	2
壹、大氣的組成.....	2
貳、大氣的結構.....	7
參、主要氣象要素.....	12
肆、大氣的基本物理性狀.....	18

第一回 (2/3)

第二講 大氣的熱能和溫度.....	1
命題重點.....	1
重點整理.....	2
壹、太陽輻射.....	2
貳、地面輻射和大氣輻射.....	14
參、大氣的增溫和冷卻.....	18
肆、大氣溫度隨時間的變化.....	37
伍、大氣溫度的空間分布.....	40

第一回 (3/3)

第三講 大氣的水分.....	1
命題重點.....	1
重點整理.....	2
壹、蒸發和凝結.....	2
貳、地表面和大氣中的凝結現象.....	12
參、降水.....	22

第一講 大氣概述

命題重點

壹、大氣的組成

- 一、乾潔空氣
- 二、大氣中的水汽
- 三、大氣中的固體雜質和液體微粒
- 四、大氣污染

貳、大氣的結構

- 一、大氣的高度
- 二、大氣的垂直分層

參、主要氣象要素

- 一、氣壓
- 二、氣溫
- 三、濕度
- 四、風

肆、大氣的基本物理性狀

- 一、大氣的基本物理性質
- 二、狀態方程

重點整理

壹、大氣的組成

一、乾潔空氣

大氣中，除水汽、液體和固體雜質外的整個混合氣體，稱為乾潔空氣。它的主要成分是氮、氧、氬、二氧化碳等，此外還有少量的氫、氖、氬、氫、臭氧等稀有氣體。

表 1-1 列舉了乾潔空氣的成分，其中氮與氧兩者就體積和質量來說，約占空氣的 99%，氮、氧與氬合計，則占空氣的 99.9%。至於氫、氖、臭氧、氫等氣體合計，在空氣總容積中還不到 0.01%。

地球大氣的起源，一般認為大約在 4.5×10^9 年以前。在地球形成的當時或稍晚一些時候，有一段時期地球上是没有大氣的，今天觀測到的大氣是由伴隨著火山活動而從地球內部排出的揮發性物質變成的。當然，現在所知道的大氣與火山噴發出來的“原材料”之間，很難看出有何相似之處。例如，火山噴發出來的氣體大約是由 85% 水汽、10% 二氧化碳以及量達百分之幾的氮和硫或硫化物（二氧化硫和硫化氫）混合組成的。在火山噴發物中顯然沒有自由的氧。為了解現在的大氣是如何由地球內部排出的揮發性物質變成的，必須把大氣看成是地球組合系統的一部分，而不是與地球隔絕的實體。這個組合系統是由水圈（地面及地表以上水物質的總體）、生物圈（一切有生命的動植物）和稱為岩石圈的地殼組成。當火山爆發時，大氣只能容納其中很少一部分的水汽質量，因此地球表面最早的火山活動必定產生雲和雨，通過這一過程形成了地球表面上的水圈。水的解離和光合反應，產生大氣的氧，兩種反應均涉及對太陽輻射的吸收，前者要求吸收紫外輻射，後者要求吸收可見光輻射。當大氣中的氧逐漸增加時，就導致高層大氣中臭氧（ O_3 ）層的形成，從而吸收太陽輻射光譜中的紫外部分。這樣愈來愈多的氧——愈來愈少的紫外輻射——愈來愈多的可見光輻射——愈來愈豐富的植物生命——產生更多的氧。這是一種增益放大過程。排放到大氣中的氮，通過離子交換作用和土壤微生物的固氮作用，其中有一小部分（約為 20%）進入到地殼的硝酸鹽中，但是氮具有化學惰性，它在水中的溶解度又低（約為二氧化碳的 1/70），所以火山噴發出的氮，

大部分仍保留在大氣中。但水和二氧化碳卻由於前面提到的過程，大部分移走了，因此氮就變成地球大氣中主要氣體成分了。大氣中氫的含量，遠比其他惰性氣體為多，是地球固體部分放射性物質衰變時的副產品。地球大氣中的氫大部分也由放射性衰變產生。

由於大氣中存在著空氣的垂直運動、水平運動、湍流運動和分子擴散，使不同高度、不同地區的空气得以進行交換和混合，因而從地面開始，直到 90 公里處，乾潔空氣成分的比例基本上是不變的。因此，在 90 公里以下，可以把乾潔空氣當成分子量為 28.97 的“單一成分”的氣體來處理。在 90 公里以上，大氣的主要成分仍然是氮和氧，但是從 80 公里開始，由於太陽紫外線的照射，氧和氮已有不同程度的離解，在 100 公里以上，氧分子已幾乎全部解離為氧原子，到 250 公里以上，氮也基本上都解離為氮原子。

表 1-1 乾潔空氣的成分 (25km 高度以下)

氣體成分	分子量	乾潔空氣中的含量 (%, 按容積) ⁽¹⁾	密度		臨界溫度 t° ⁽²⁾
			標準狀況下的 絕對值(g/m ³)	對乾潔空氣的比值	
氮 N ₂	28.016	78.09(75.52)	1250	0.967	-147.2(33.5)
氧 O ₂	32.000	20.95(23.15)	1429	1.105	-118.9(49.7)
氫 A	39.944	0.93(1.28)	1786	1.379	-122.0(48.7)
二氧化碳 CO ₂	44.010	0.03(0.05)	1977	1.529	31.0(73.0)
氦 N _e	20.183	1.8×10^{-3}	900	0.695	-228.0(26.0)
氫 H ₂	4.003	5.24×10^{-4}	178	0.138	-258.0(2.3)
甲烷 CH ₄	16.04	2.2×10^{-4}	717	—	—
氬 Kr	83.700	1.1×10^{-4}	3736	2.868	- 63.0(54.0)
氧化氮 N ₂ O	44.016	0.5×10^{-4}	1978	—	—
氫 H ₂	2.016	0.5×10^{-4}	90	0.070	-239.0(12.8)
氙 Xe	131.300	0.08×10^{-4}	5891	4.524	16.6(58.2)
臭氧 O ₃	48.000	1.0×10^{-6} ⁽³⁾	2140	1.624	- 5.0(92.3)
氬 R _n	222.000	6.0×10^{-18}			
乾潔空氣	28.966	100	1293	1.0	-140.7(37.2)

註

(1) 括弧內的數值為按質量占的百分比。

(2) 括弧內的數值為臨界壓力(大氣壓)。

(3) 臭氧含量變化很大，近地面為 $0 - 0.07 \times 10^{-4}\%$ ；在 20 — 30 公里的高度上為 $1 - 3 \times 10^{-4}\%$ (按容積)。

大氣中的氧是一切生命所必需的。這是因為動物和植物都要進行呼吸作用，都要在氧化作用中得到熱能以維持生命的緣故。此外，氧還決定著有機物質的燃燒，腐敗及分解過程。

大氣中的氮能夠沖淡氧，使氧不致太濃，氧化作用不過於激烈。此外，氮也是製造化學肥料的原料，豆科植物可通過根瘤菌的作用，直接將大氣中的氮素改造為植物體內不可缺少的養料。

在乾潔空氣的各種成分中，臭氧和二氧化碳所占比例雖然極少，但對大氣溫度分布和人類生活卻有較大的影響。

臭氧是由氧分子分解為氧原子後再和另外的氧分子結合而成的氣體。大氣中的臭氧主要是在太陽紫外線輻射作用下形成的。另外，有機物的氧化和雷雨閃電作用也能形成臭氧。大氣中臭氧的含量很少，而且是隨高度而改變的。在近地面層臭氧含量很少，從10公里高度開始逐漸增加，在12-15公里以上含量增加特別顯著，在20-25公里高度處達最大值，再往上，臭氧的含量逐漸減少，到55-60公里高度上就極少了。造成這一現象的原因是由於在大氣的上層中，短波紫外線的強度很大，使得氧分子解離增多，因此氧原子和氧分子相遇的機會很少。即使臭氧在此處形成，由於它吸收一定波長的紫外線，又引起自身的分解，因此，在大氣上層臭氧的含量不多。在較低層次紫外線的強度因大氣的吸收而減弱，只有部分的氧分子發生分解。在這一層次中，既有足夠的氧分子，又有足夠的氧原子，這就造成了臭氧分子形成的條件。因此在35公里處，臭氧的混合比最大（混合比是指單位質量乾空氣中的臭氧質量），再通過下沉氣流的作用，將臭氧向下輸送，造成在20-25公里的層次中臭氧的數量最多。在低於這一層次的空氣中，短波紫外線大大減少，氧分子的分解也就大為減弱，所以氧原子的數量減少，以致臭氧的形成較少。大氣中臭氧含量的年變化及其地理分布為北半球高緯度春季臭氧含量最大，秋季最小。因為臭氧濃度常因溫度降低而增大，但冬季極地為極夜，無太陽輻射進行光化學作用，所以臭氧含量最多區不在極地而偏於高緯地區；在赤道地區，由於溫度高以及太陽輻射強烈，臭氧光解作用較強，因此出現臭氧含量最小值。

臭氧能大量吸收太陽紫外線，使臭氧層增暖，影響大氣溫度的垂直分布。同時，還使地面上的生物免受過多紫外線的傷害，少量紫外線可以起到殺菌治病的作用。

大氣中的二氧化碳是有機化合物氧化作用的產物，例如燃料的燃燒，有機物的腐化以及動、植物的呼吸等都產生二氧化碳。這些作用集中在大氣的底層，因此，二氧化碳集中於大氣底部20公里的一薄層內。在20公里高度以下，大氣中二氧化碳一般占0.03%，到了20公里以上，二氧化碳含量就顯著地減少。底層大氣中的二氧化碳含量，略因時間和空間而不同；大致夏季較少，冬季較多；城市較多，農村較少。在大工業城市，大氣中二氧化碳的含量可達到0.05%，甚至0.07%。其含量達到0.2-0.6%的時候，對人類已經有害了。

二氧化碳對太陽輻射吸收很少，但卻能強烈地吸收地面輻射，同時它又向周圍空氣和地面放射長波輻射，因此，它能對大氣和地面的溫度產生一定的影響。

二、大氣中的水汽

大氣中的水汽來自江、河、湖、海及潮濕物體表面的水分蒸發，並借助空氣的垂直交換向上輸送。一般說來，空氣中的水汽含量隨高度的增高而減少。由於大氣溫度隨高度增加而降低，以及水汽因溫度降低到一定程度而凝結，因此，這種向上減少的速度是很快的。觀測證明，在 1.5-2 公里高度上，空氣中水汽含量已減少為地面的一半；在 5 公里高度，減少為地面的 1/10；再向上，含量就更少了。但在某些情況下，氣層中水汽含量隨著高度升高而增大的情形也是有的。

大氣中的水汽含量，不但有垂直分布的變化，而且還因緯度、地勢高低以及海陸的不同，而有顯著差異。緯度愈高水汽含量愈少，在寒冷乾燥的陸面上其含量幾乎接近於零，而在溫度較高的洋面（如赤道洋面）上空，其含量按容積來說可達 4%。

大氣中水汽含量雖然不多，但它是天氣變化中的一個重要角色。在大氣溫度變化的範圍內，它可以變為水滴和冰晶，成雲致雨，落雪降雹。此外，由於水汽能強烈地吸收地面輻射，同時它又向周圍空氣和地面放射長波輻射，在水相變化中又能放出或吸收熱量，這些都對地面和空氣的溫度有一定的影響。

三、大氣中的固體雜質和液體微粒

大氣中懸浮著各式各樣固體雜質和液體的微粒。

固體雜質包括來源於物質燃燒的煙粒，海水飛濺揚入大氣後而被蒸發的鹽粒，被風吹起的土壤微粒及火山噴發的煙塵，流星燃燒所產生的細小微粒和宇宙塵埃，還有細菌、微生物、植物的孢子花粉等。它們多集中在大氣的底層。固體雜質的分布情況是隨時間、地區和天氣條件而變化的。通常，在近地面大氣中陸上多於海上，城市多於鄉村，冬季多於夏季。空氣的湍流運動和垂直運動對懸浮微粒的垂直分布有很大影響，當湍流和垂直運動強時，微粒可散布到高空；反之，多集中在下層。空氣的水平運動對懸浮微粒的水平分布亦有很大影響，可將某一地區的懸浮微粒輸送到另一地區。

大氣中的固體雜質浮游空際，會使大氣能見度變壞，但它能充當水汽凝結的核心，對雲、雨的形成卻起重要作用。同時，固體微粒能吸收一部分太陽輻射和阻擋地面放熱，對地面和空氣溫度有一定影響。

液體微粒是指懸浮大氣中的水滴、過冷水滴和冰晶等水汽凝結物。它們常聚集在一起，以雲、霧等形式出現，使能見度變壞，還能減弱太陽輻射和地面輻射，影響地面空氣的溫度。比如，在同一季節裡陰天比晴天的最高溫度低，就是這種影響的例證。

四、大氣污染

大氣污染不僅直接危及人體的健康和農、林作物的正常生長，而且也愈來愈多地影響著天氣、氣候變化。這種人類活動對自然環境的作用愈來愈不能低估，大氣污染觀測應列為氣象觀測中經常性的項目，為環境保護、天氣預報提供必要的資料，以便為化害為利、改造自然提供科學依據。

大氣污染物，目前已被人們注意到的大致有一百種左右。主要污染物如表 1-2 所列，其中影響範圍廣，對人類環境威脅較大的主要是煤粉塵、二氧化硫、一氧化碳、碳化氫、硫化氫和氨等。

表 1-2 大氣主要污染物

分 類	成 分
粉 塵 微 粒	碳粒、飛灰、碳酸鈣、氧化鋅、二氧化鉛
硫 化 物	二氧化硫、三氧化硫、硫酸、硫化氫、硫醇等
氮 化 物	一氧化氮、二氧化氮、氨等
氧 化 物	臭氧、過氧化物、一氧化碳等
鹵 化 物	氯、氟化氫、氯化氫等
有機化合物	碳化氫、甲醛、有機酸、焦油、有機鹵化物、酮等

大氣污染物主要是燃料燃燒時從煙囪排出的廢氣與汽車的排氣和工廠散逸的毒氣等。燒 1 噸煤一般就有 6-7 公斤煙粒升入空中，這種飄浮空中的煙粒與燃燒煤放出的 SO₂ 等氣體混合，便可形成煤粉塵煙霧；應用石油作燃料煙霧較燒煤雖減少，但石油中含硫較多，燃燒時 90% 的硫都變成 SO₂ 進入大氣。CO 是大氣中含量最多的污染物質，大部分 CO 都是由汽車排出的；此外，污染物 NO₂ 在紫外線作用下，經過複雜的化學反應過程，可以形成光化學煙霧。

目前，解決大氣污染問題的措施有：建立監測網，進行污染預報；通過集塵器和清洗器在排氣前清除污染物質；發展無煙囪工廠的閉合工藝過程以及合理布局工業等。造林綠化也是保護環境，淨化空氣，防止大氣污染的重要措施。

為了掌握大氣污染的情況和警戒限度，我國已經研製了 QJC-01 型大氣污染監測車，它可同時對空氣中的二氧化硫、一氧化碳、飄塵、氮氧化物、總氧化物、臭氧、總烴、甲烷、乙烯、乙炔等十種物質及氣溫、濕度、風向、風速等四個氣象指標進行連續自動監測，並由電子計算機自動報出測量結果，作出大氣污染狀況的評價，為對污染採取防治措施提供依據。

貳、大氣的結構

一、大氣的高度

據計算，由地面到大氣上界，單位截面積大氣柱的總質量在標準情況下（溫度為 0°C 、氣壓為760毫米）為 1033.3克/厘米^2 ，其中有50%的大氣質量集中在離地5.5公里以下的層次內，在離地36-1000多公里的大氣內只占總質量的1%。大氣壓力和密度隨高度的分布如表1-3。儘管空氣密度愈到高空愈小，到700-800公里高度處，氣體分子之間距離可達幾百米遠，這種情況，遠遠超過近代實驗室中所能獲得的真空。但無論那個高度，大氣密度都不會減少到零的程度。實際上，即使在地球以外的宇宙空間內，也不是絕對真空，而是有某種氣體質點存在的。也就是說，大氣圈與星際空間之間

表 1-3 氣壓和密度的高度分布

高度 (km)	氣壓 (mb)	密度 (g/m^3)	高度 (km)	氣壓 (mb)	密度 (g/m^3)
0	1013	1225	14	141	227
1	899	1112	15	120	194
2	795	1007	20	55	88
3	701	909	25	25	40
4	616	819	30	12	18
5	540	736	35	6	8
6	472	660	40	3	4
7	411	590	45	2	2
8	356	525	50	0.9	1
9	307	466	60	0.3	0.4
10	264	413	70	0.06	0.1
11	226	364	80	0.01	0.02
12	193	311	90	0.001	0.003
13	165	266	100	0.0002	0.0004

很難用一個“分界面”把它們分開。嚴格地說，不存在大氣圈的這種上界。雖然如此，我們還是可以通過物理分析，確定一個最大高度來說明大氣圈的垂直範圍。這一最大高度的測定，由於著眼點不同，所得的結論也不同，通常有兩種劃法；一是著眼於大氣中出現的某些物理現象。根據觀測資料，在大氣中極光是出現高度最高的物理現象，它可以出現在1200公里的高度上，因此，可以把大氣的上界定為1200公里。這種根據在大氣中才有，而在星際空間沒有的物理現象確定的大氣上界，稱為大氣的物理上界；另一