

第三篇

水 文 學

目 錄

頁

第一章 前 言

A 水文學定義.....	3— 1
B 水循環.....	3— 2
1.1 水之領域.....	3— 2
1.2 水之循環.....	3— 2
C 水文發展.....	3— 4
1.3 發展簡史.....	3— 4
1.4 水文組織.....	3— 5

第二章 氣 象

A 大氣.....	3— 7
2.1 成分.....	3— 7
2.2 結構.....	3— 12
2.3 活動.....	3— 13
B 氣溫.....	3— 14
2.4 氣溫作用.....	3— 15
2.5 氣溫計量.....	3— 16
2.6 有關名稱.....	3— 17
2.7 氣溫變化.....	3— 18
C 濕度.....	3— 20
2.8 濕度稱謂.....	3— 20
2.9 濕度量取.....	3— 21
D 氣壓與風.....	3— 23
2.10 風之測計.....	3— 23
2.11 風系.....	3— 24

2.12 特殊風	3— 25
----------	-------

第三章 降 水

A 概說	3— 28
B 雨量觀測	3— 28
3.1 讀記雨量計	3— 29
3.2 自記雨量計	3— 29
3.3 雷達觀測	3— 30
3.4 雨量計設置	3— 30
C 雨之成因	3— 30
3.5 第一問題	3— 31
3.6 第二問題	3— 31
3.7 第三問題	3— 32
3.8 第四問題	3— 32
D 成雨種類	3— 33
3.9 對流雨	3— 33
3.10 氣旋雨	3— 33
3.11 鋒面雨	3— 33
3.12 地形雨	3— 34
E 記錄整理	3— 34
3.13 雙累積曲線	3— 34
3.14 站年	3— 35
3.15 雨量內插補足	3— 36
3.16 平均雨量	3— 36
3.17 雨量面積延時曲線	3— 38
F 雨量頻率	3— 38
3.18 頻率計算	3— 39
3.19 頻率點繪位置	3— 42
3.20 頻率分析資料級序	3— 42
G 雪	3— 43
3.21 雪之特性	3— 43
3.22 雪之量計	3— 45

第四章 流 域

A	概說	3— 46
B	流域特性	3— 46
4.1	形狀	3— 46
4.2	坡度	3— 47
4.3	高程	3— 48
C	河溪特性	3— 49
4.4	河溪級序	3— 49
4.5	河段長度	3— 50
4.6	支流面積	3— 50
4.7	排水密度	3— 51
4.8	河溪坡度	3— 51

第五章 截 留

A	概說	3— 53
B	水與植物	3— 53
5.1	水之重要	3— 53
5.2	水之功能	3— 53
5.3	比輸量	3— 54
C	葉面截留	3— 55
5.4	截留現象	3— 55
5.5	截留性質	3— 56
D	截留測計	3— 56
E	露霜與雪	3— 56
F	截留特性	3— 57
5.6	植物生產	3— 57
5.7	雨量強度	3— 57
5.8	植物種類	3— 58
G	窪畜	3— 58
H	湖沼	3— 58
5.9	湖沼成因	3— 58
5.10	湖沼水文	3— 59
5.11	湖水熱量	3— 59

第六章 蒸 發

A	概說	3— 61
B	水面蒸發	3— 61
6.1	蒸發定義	3— 61
6.2	氣溫關係	3— 61
6.3	相對濕度效果	3— 62
6.4	風速與蒸發	3— 64
6.5	氣壓與蒸發	3— 64
6.6	蒸發與水中溶解物	3— 64
6.7	蒸發與水面形狀	3— 65
C	蒸發計器	3— 65
6.8	蒸發皿	3— 65
6.9	蒸發器	3— 66
D	蒸發估算	3— 66
6.10	蒸發公式法	3— 66
6.11	水量法	3— 67
6.12	熱能法	3— 67
E	地面蒸發	3— 68
6.13	土壤中水份能量	3— 68
6.14	土壤中水份含量	3— 68
6.15	雪面蒸發	3— 70
6.16	毛吸高度	3— 70
6.17	覆蓋地面	3— 70
6.18	旱田蒸發	3— 70
F	葉蒸	3— 71
6.19	概說	3— 71
6.20	土壤性質	3— 72
6.21	植物機體	3— 72
6.22	葉蒸動力	3— 73
6.23	影響葉蒸因素	3— 73
6.24	葉蒸觀測	3— 74
6.25	葉蒸比	3— 75

G 耗用.....	3— 75
6.26 影響因素.....	3— 75
6.27 未來研究.....	3— 76

第七章 入 滲

A 概述.....	3— 77
7.1 定義.....	3— 77
7.2 入滲現象.....	3— 77
B 入滲有關因素.....	3— 78
7.3 雨之特性.....	3— 78
7.4 土壤特性.....	3— 78
7.5 土壤環境.....	3— 79
7.6 地面覆蓋.....	3— 79
7.7 土壤含水量.....	3— 80
7.8 其他有關入滲因素.....	3— 80
C 入滲觀測.....	3— 80
7.9 入滲計法.....	3— 81
7.10 分析歷線法.....	3— 81
7.11 入滲曲線.....	3— 85
D 入滲與逕流.....	3— 86
7.12 小流域入滲.....	3— 87
7.13 大流域入滲.....	3— 87
7.14 入滲指數.....	3— 88
7.15 結論.....	3— 89

第八章 逕 流

A 概說.....	3— 90
B 逕流.....	3— 90
8.1 逕流現象.....	3— 90
8.2 影響逕流因素.....	3— 92
8.3 逕流估算.....	3— 92
C 歷線.....	3— 94
8.4 歷線論要.....	3— 94

8.5	基流分離	3—95
D	單位歷線	3—96
8.6	單位歷線理論	3—96
8.7	單位歷線製作	3—97
8.8	反彎歷線	3—99
8.9	分配曲線	3—101
8.10	合成單位歷線	3—104
E	逕流分佈	3—105
8.11	地面流	3—105
8.12	集中流	3—108
F	逕流分析	3—110
8.13	流量延時曲線	3—110
8.14	流量累積曲線	3—110

第九章 測 計

A	水位	3—112
9.1	讀記水位計	3—112
9.2	自記水位計	3—114
B	流速	3—115
9.3	流速計	3—115
9.4	流速計之使用	3—117
C	水深	3—118
9.5	測取水深	3—118
D	流量	3—119
9.6	控制點	3—119
9.7	水文站	3—120
9.8	流量測取	3—120
9.9	影響記錄正確之因素	3—121
9.10	流量計算	3—125
E	水位流量關係	3—126
9.11	屬於流性本身者	3—126
9.12	屬於外來因素者	3—126
9.13	水位流量關係校正	3—127

9•14	延伸率定曲線.....	3—129
F	洪流定跡.....	3—131
9•15	概說.....	3—131
9•16	洪流特性.....	3—131
9•17	普祿氏法.....	3—132
9•18	馬奇干姆法.....	3—136

第三篇

水文學

編撰人 姜承吾

審查人 王道隆

第一章 前 言

A 水文學定義

水文學之定義多而不同。林斯理氏 (R. K. Linsley) 之定義爲「水文學爲自然地理中之一部份，研究水之性質、現象及分佈」。杭諾氏 (W. W. Horner) 之定義爲「水文學爲研究水受自然力，在地面上下存在活動之一種科學」。卜萊特氏 (E. F. Brater) 與魏斯勒氏 (C. O. Wisler) 之定義爲「水文學爲處理陸地水資源充實與虧竭之一種科學」。吾國名科學家周文德氏之定義爲「水文學在廣義上爲有關水之一種科學」。以上各專家之定義，由於發表之時間不同，均有其個別時期上之代表性。

水文學在今日，已發展爲一龐大之科學部門，與若干門系之科學發生密切關係，因此水文學又有較寬之枝分，較細之分割。例如：水文學研究地面上水之形態與存在，稱爲水域學 (hydrography)；水文學與氣象學有關部份之研究，稱之爲水文氣象學 (hydrometeorology)；水文學研究水量之測計，稱之爲水計學 (hydrometry)；專門探討水文學在應用方面者，稱之爲應用水文學 (applied hydrology)；水文學專列其與工程學有密切關係者，稱之爲工程水文學 (engineering hydrology)；水文學專研究地面下部份，特別擇與地質有關者，稱之爲地質水文學 (geohydrology or hydrogeology)；水文學專研究水在冰雪形態者，稱之爲冰雪學 (cryology)；水文學專探討內陸蓄水，如湖泊等之一部份者，稱之爲湖泊學 (limnology)；現代科學以人類健康爲目的，研究水文學與人體相關問題，目標在增進人類育樂福祉者，稱之爲生物水文學 (biohydrology)；水文學專研究河川一部份者，稱之爲河川學 (potamology)；水文學專研究冰川一部份者，稱之爲冰川學 (glaciology)；有關海洋者，稱

之爲海洋學 (oceanology)；今日水之供應已感缺乏，水爲國家資源，須作多目標之使用，究如何方能完成最大價值經濟之利用，爲一重要問題，探討此問題部份者，稱爲水經濟學 (hydroeconomics)。

水之分佈極爲廣闊，遍及地面上下與空中。而水之服務於人，又可多項重疊，例如，可先用其能，再用其存在，後用其量。使用時，可供民衆遊憩，同時兼濟航運。因此水不但爲國家資源，須予重視，並應善於利用，作最大之有效使用。美國聯邦科學及技術會議曾通過一水文學之定義，爲「水文學爲研究地球上水之存在、循環與分佈，其化學物理之性質，以及其與環境及生物之關係」，較爲明顯而切實。

B 水 循 環

1.1 水之領域

地球上水量共有 1.27×10^{18} 立方公尺。海洋之水佔上述全部水量約 97 %。海洋按現有面積，平均水深約 4 公里。實際最深之海洋爲 11,524 公尺。如與地面上最高之山相較，最高之山在平均海面上 8,840 公尺，約爲深海 77 %。海洋佔地球面積 71 %，陸地僅佔地球面積 29 %。高於 2 公里之臺地，僅佔全部陸地 11 %，但深於 2 公里之海洋，則佔全部海洋 84 %。可見地球上水量之大。

地球面上，大氣所佔之容積稱之爲大氣層 (atmosphere)，水所佔之容積稱之爲水層 (hydrosphere)，土地所佔之容積稱之爲土層 (lithosphere)。實際上水有固液氣三態，可存在於任何層中。但土地只有一態，不能存在於其他二層中。

大氣中含存之水汽與地上水量相較爲數極微。每一年中，水經蒸發爲水汽，被大氣移運至陸地上之水量，約爲大氣中水汽含量之 7.7 倍。可見大氣中水量不停置換，置換之龐大動力均來自太陽。據估計地球上僅全部水量 3 % 爲淡水，其中冰川與冰雪佔 75 %，餘四分之一存在於地面及地面下。約千分之四存在於大氣中，估計約爲 13×10^{12} 立方公尺。按此估計全年全球雨量約爲 10^{15} 立方公尺，平均地球面上降雨量約爲 200 公厘。

1.2 水之循環

海洋及地面之水，接受太陽熱能，變爲水汽，蒸發入大氣中，隨大氣之移動進入陸地上空。遭遇成雨之因，凝結爲雨，降落地面。其中部份雨滴，在降落路途中，又被蒸發，復入大氣中。一部份雨滴降落地面前，被草木所截留，一部份

雨滴被儲蓄於地面窪地，或湖泊海洋中。截蓄儲蓄之水，在某種機會中，又被蒸發進入大氣中。降落地面之水，一部滲入地面下，加入地下儲蓄之水，另一部輾轉滲流，經由岩層縫隙，滲出地面為泉，或逕滲入河溪，加入河溪流量，由江而入海洋。加入地下儲蓄之水，有時被草木根部吸入草木體內，完成其在生物體內之工作，最後由草木枝葉被驅出，完成其最後減低草木體溫工作，又被蒸發入大氣中。由地面逕流送入海洋之水，在其旅途中或終點，最後仍被蒸發入大氣中，再重複其另一次旅行。此一水之循環活動，永持不息，稱之為水循環。

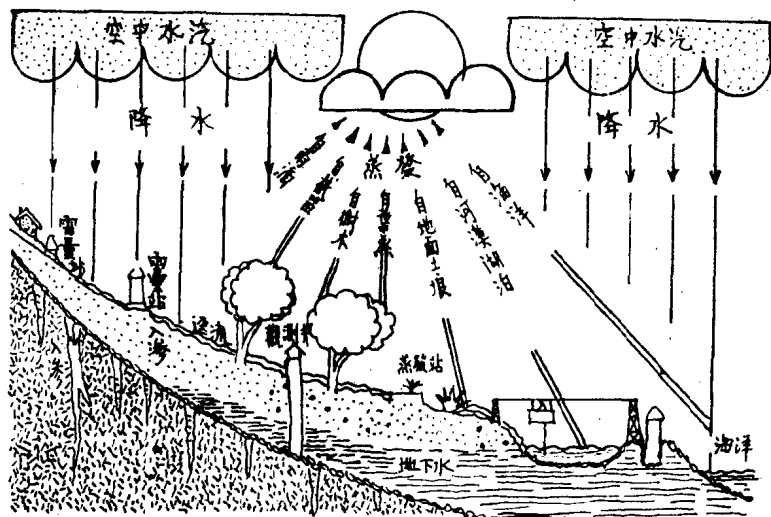


圖 1.1 水循環示意圖

水循環之主要動能，為太陽供給之熱力。水由固體之冰及液體之水變為水汽，係因接受太陽所供之大量熱能。此項熱能含著於水汽中。在水汽凝結為水時，此一熱能又放出，重返大氣中。此一熱量收放作用，調節氣溫，使熱帶氣溫減低，寒帶氣溫增高，供人類以安適之氣溫環境，同時供給人類以生活上最不可缺少之水。奧妙之大自然，蘊蓄生物生活上之最優良條件，不但供應內陸乾旱地區以各種生物及最需要之水，同時又將太陽原給於地面而不平均之熱能，予以重新適應之收放調劑，使生物適合之生活上平添出奇麗燦爛之變化。

人類生活方式日益進步，享樂日益增多，動力不足，人口日增，享用物質增夥。工業發展，工廠林立，食用使用之水亦感不足。動力求助於大自然，更須經濟與多目標之有效利用，例如河溪之水可利用以發電，發電後之水又可利用以維

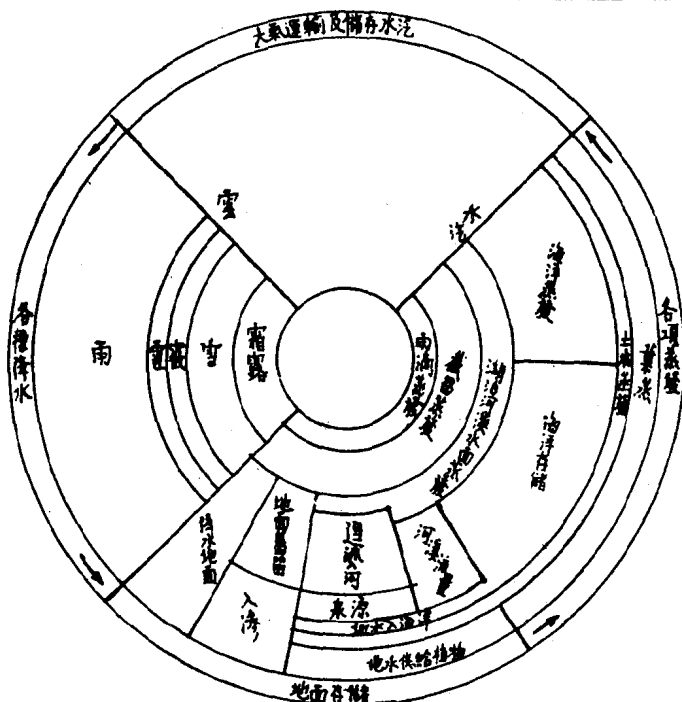


圖 1.2 水循環關係圖

航運，航運之後又可利用以給水，供應城市飲用與工業需要。高地之水，為儲蓄其能，並免佔用有用地面及節省經費，作地水補助。工業有餘閒動力，藉水儲蓄於高地，以維其高值之用途。水已被世人認係天然國家資源之一。由於水資源之被重視，水文學遂有今日快速之發展。

C 水 文 發 展

1.3 發展簡史

吾國文化創展最早。周朝已有鑿井而飲之記載。周朝起自西曆紀元前 1050 ~ 255 年，在此時代，希臘哲學家柏拉圖 (Plato) 及亞里斯多德 (Aristotle) 曾有關水文之撰述。漢朝西曆紀元前 206 年至西曆 221 年，吾國曾有若干水利

工程實施之記載，例如灌溉工程、鑿井工程、造船工程、航運工程均已開始。賈誼奏漢武帝有關食糧政策，曾論及鑿井開渠。漢末晉初，西曆約 300 年，已開始治理涇渭汾等黃河支流。隋朝已開始防洪，並興建人工運河，以濟民食，並便政令。南北朝時，約當西曆 600 年，長江下游已開始有灌溉。迨至唐朝初期，約當西曆 900 年，運河北接通，吾國已大量開發水利。運河貫串之河流，作水位調整之節制閘，已為現代水利設計繁難之工程。西曆十四世紀，歐洲始有較大水利工程，如阿瑞寶井 (Arabian Well) 羅馬輸水渠 (Roman Aqueducts) 等，該時相當吾國明朝。明代吾國著名水利專家有潘季馴者號印川，為治理黃河功臣，曾著撰河防一覽，名噪一時，凡一十四卷，對於水文及河性均有精闢之闡揚，惜後無人作深刻之研究，未能使吾國學術服務於世界人類，殊為遺憾。

茲舉潘季馴治河之言，以示例於萬一。馴有言曰：「黃流最濁，以斗計之，沙居其六。若至伏秋，則居其二矣。以二升之水，載八升之沙，非極汎溜，必致停滯。若水分則勢緩，勢緩則沙停，沙停則河塞。河不兩行，自古記之，支河一開，正河必奪。故草灣開而西橋故道遂淤，崔鎮決而桃清以下遂塞，崔家口決而秦溝遂為平陸，近事固可鑒也」。吾國水利專家，大禹以後，歷代均不乏人，惜其思想，記錄甚少，且無系統之連繫，致遺漏失，為可憾耳。

現代水文學術，肇興於十七世紀，相當吾國清朝時代。吾國唐朝（六至九世紀）已有承露盤之設，測取降雨量。十七世紀法國裴若特氏 (Pierre Perrault) 開始記錄雨量及蒸發量等，以闡明水文有關律則。迨至十八世紀，相當吾國清朝，水文學始發展為一門學術，對流速、流量之觀測與計算始有公式與理論可循。不但對水文現象有所說明，對量方面之觀測與計算亦漸有方法與算式。迨十九世紀，水文學之發展始益形完備。但因水文有關變數過多，所用公式多為經驗類型，對一般水文問題均可獲得解決之近似答案。尤其在地下水及與農業有關之蒸發、葉蒸等方面有顯著之進步。各國競相設立有關實驗站及觀測站，以完成必要記錄資料之調查。二十世紀以還，水文與氣象因具有地球面上之整體性，進行全面國際間記錄資料之調查與分析，由國家性擴展為世界性。

1.4 水文組織

吾國國民政府成立以還，水文資料之收集與管理，係由淮河、長江、黃河、珠江、華北五個流域水利機關所控制。政府遷臺以後，舊有河工、防洪等工作，係由臺灣省水利局所執掌。另關於發電方面，臺灣電力公司亦設有必要之水文站，因此水文方面資料，臺電亦有一部份，但並不與水利局相重複。臺糖公司在日治時代亦有部份之水文資料，但多與農業需要者有關。臺灣灌溉事業組織較多

，接收以後，將灌溉方面之渠圳組織，合併分組爲二十八個水利會，水利會爲期資料使用方便，亦有設置之水文站，調查記錄水文資料。民國四十二年，政府深感水文資料之不統一，使用效率減小，同時亦感過去之資料亟待加以整理，乃由經濟部所屬水資源統一規劃委員會主持整理水文資料，完成若干統計資料，頗值珍視。臺灣省鐵路局與公路局亦擁有若干水文資料，但其範圍僅限於鐵路、公路有關之河溪，可用爲水利局者或臺電者資料之補助。

國際水文組織在 1922 年成立於羅馬，名稱爲國際科學水文協會(The International Association of Scientific Hydrology，縮寫爲 IASH)，每三年開會一次，曾在世界各大名城開會。

第二章 氣 象

A 大 氣

大氣(atmosphere)爲地球外層包圍之氣體，統稱之爲大氣，普稱空氣(air)。研究大氣化學物理特性與活動變化之科學，稱之爲氣象學(meteorology)。人類近時研究瞭解太空(space)及其中物體，將地球以外空間，其中極稀大氣中各物質之存在，亦列入氣象範圍，改稱之爲空域學(aeronomy)。水汽爲氣體之水，存在之領域僅及赤道地面上約十六公里以下之空間，因此水運行活動之範圍有限，本章論述僅包括與水文有關者僅摘要述，非與水文有關者不登。

2.1 成 分

大氣爲數種氣體之混合體，主要之氣體成分(參閱表 2.1)：78.03% 爲氮、20.99% 爲氧、0.93% 爲氬、0.03% 爲二氧化碳。臭氧(ozone)與水汽之存量與分佈不一，但與人類在地球上之生存具有重要關係。臭氧之存量，在重量上雖僅爲氧氣四十萬分之一，但可保護地面生物不被太陽超短波輻射線所傷害。水汽則供應水循環中最活躍之一環，使水之傳送與分佈無遠弗屆，給地面上生物以適時適量之供應。

大氣全部 75% 存在於距地面 10,769 公尺高度以下，在此區域中，大氣不時移動，因此各種氣體，除即地生產者如二氧化碳、水汽等外，混合十分均勻。水汽與微塵爲此區域特有之成分。大氣組成之成分見表 2.1，其主要成分之物理特性如表 2.2。此一區域之厚度不定，赤道附近由於自轉較厚，兩極較薄。地球上各地之厚度不一，視此層中氣溫之變化而定，溫度高時變厚，溫度降低時則變薄。大氣溫度由地面向上減小，平均每高一公里氣溫減低 65°C (參閱表 2.3)，但此一溫降傾率亦非固定而不變，因大氣在此層中流動受若干因素之干擾。上述傾率亦偶有局部之改變，所有氣象及大氣活動均在此一層中，空氣中之水汽與二氧化碳均在地面最近之一層中。二氧化碳與水汽俱有操縱大量熱能之特性，因此對氣溫之調節有重要關係。此兩氣體在空氣中雖存量不大，但爲植物主要食糧，間接亦爲動物食糧，關係生物之存在與繁殖，爲大氣中一主要氣體。空氣之特性爲各分子氣體之綜合表現，除擇與生物有關者另行詳述外，茲將其物理特性概述於表 2.4。

表 2-1 大氣組成成分

成 分 名 稱	體 積 百 分 數	重 量 百 分 數	全 部 質 量
氮 (nitrogen)	78.03	75.5	4.23×10^{15} 公噸
氧 (oxygen)	20.99	23.2	1.30×10^{15} 公噸
二氧化碳 (carbon dioxide)	0.03	—	—
氬 (argon)	0.93	—	—
氖 (neon)			
氪 (krypton)			
氙 (xenon)	0.01	0.3	0.47×10^{15} 公噸
氦 (helium)			
氫 (hydrogen)	0.01	—	$\left\{ \begin{array}{l} 0.33 \times 10^{10} \text{ 公噸} \\ 0.15 \times 10^{15} \text{ 公噸} \end{array} \right.$
臭氧 (ozone)			
水汽 (water vapor)			
微塵	—	—	—

表 2-2 大氣重要成分特性

成 分 名 稱	比重 (海平面大氣壓) 公斤/立方公尺	氣 體 常 數 $R^{\circ} (^{\circ}R)$	定 熱 指 數
空 氣	1.205	53.3	1.40
二氧化碳	1.838	34.9	1.30
氮	1.165	55.1	1.40
氧	1.133	48.3	1.40

表 2-3 大氣氣溫氣壓與高度關係

距地面高度 (公尺)	氣溫(年平均) ($^{\circ}C$)	氣壓比值 (p/p_0)	密度比值 (ρ/ρ_0)	$\sqrt{p_0/\rho}$	氣壓水銀柱 (公厘)
0	15	1.0000	1.0000	1.0000	760
610	11	0.9298	0.9428	1.0299	710
1,220	7	0.8636	0.8881	1.0611	657
1,525	5	0.8320	0.8616	1.0773	633
1,829	3	0.8013	0.8358	1.0939	609

表 2·3 (續) 大氣氣溫氣壓與高度關係

距地面高度 (公尺)	氣溫(年平均) °C	氣壓比值 (p/p_0)	密度比值 (ρ/ρ_0)	$\sqrt{\rho/\rho_0}$	氣壓水銀柱 (公厘)
2,438	-1	0.7427	0.7859	1.1280	565
3,048	-5	0.6876	0.7384	1.1637	522
3,658	-9	0.6359	0.6931	1.2012	484
4,267	-12.8	0.5873	0.6499	1.2404	446
4,877	-15	0.5418	0.6088	1.2816	412
5,486	-20.6	0.4992	0.5698	1.3248	380
6,096	-24.5	0.4594	0.5327	1.3701	350
7,620	-34.5	0.3709	0.4480	1.4940	282
9,144	-44.5	0.2968	0.3740	1.6352	226
10,670	-54.0	0.2352	0.3098	1.7966	179
12,192	-55.0	0.1852	0.2447	2.0215	141
15,240	-55.0	0.1149	0.1517	2.5675	87.4
18,288	-55.0	0.0713	0.0941	3.2594	54.1

表 2·4 空氣物理特性

氣 溫 °C	比 重 公斤/立方公尺	動 滯 性 ν 平方公尺/秒	動力滯性 μ 公斤秒/平方公尺
-18°	1,382	11.7×10^{-6}	16.0×10^{-7}
-7°	1,325	12.6×10^{-6}	17.1×10^{-7}
5°	1,271	13.6×10^{-6}	17.7×10^{-7}
16°	1,224	14.7×10^{-6}	18.2×10^{-7}
20°	1,205	14.9×10^{-6}	18.3×10^{-7}
27°	1,179	15.7×10^{-6}	18.8×10^{-7}
38°	1,137	16.7×10^{-6}	19.4×10^{-7}
49°	1,094	17.6×10^{-6}	19.9×10^{-7}

a. 水汽 水汽(water vapor)存在於大氣中，為地球面上有生物之最大原因。一切氣象之變化產物，如雲雪雨雹等，亦均因水之存在而發生。水汽在大氣中之存量與氣溫有固定之關係，氣溫高時水汽存量較多，可達全部體積 5%，因大氣受熱膨脹，有較大之空隙以容納水汽分子之故。水在普通溫度下有氣體、液體、固體三種形態。當水在變換其形態時，吸收或放散大量熱能，因此，水汽在大氣中有能力操縱氣象，為氣象上一重要因子，水在其不同形態中，有其不同之物理性質。由氣體變為液體、由液體變為固體時均放出大量熱能，但在相反向之變化中則吸收大量熱能。吸收熱能之變化常發生於氣溫之升高，而放出熱能則發生於氣溫之降低，因此在平衡大氣熱量上，水汽之存在形成倉庫作用，低溫