

礦山壓縮空氣設備

蘇聯 亞·謝·伊里伊契夫著

高等學校教學用書

礦山壓縮空氣設備

亞·謝·伊里伊契夫全集之一

王文銓 李道成 王志澂譯

蘇聯文化部高等教育司審定作為礦業大學機電專業教科書

燃料工業出版社

亞力山大·謝麥諾維契·伊里伊契夫傳略

(1898—1952)

亞力山大·謝麥諾維契·伊里伊契夫於1898年4月12日生於莫斯科。

1912年伊里伊契夫在前莫斯科小學畢業後，他一方面工作以獲取生活資料，一方面在夜校學習。1917年春天，他通過了中學的畢業考試，而獲得了畢業證書。

偉大的十月社會主義革命勝利以後，給伊里伊契夫打開了繼續受教育和進一步發展的道路。

1919年伊里伊契夫進入莫斯科礦業學院學習，1925年以優異的成績畢業，並得到礦山機械工程師的學位。

就在這一年，他參加了哈爾科夫的國立礦井設計院的工作。

1929年伊里伊契夫被選為莫斯科礦業學院礦山機械教研室的講師，1930年被批准為教授。

1932年伊里伊契夫又被選為礦山機電聯合教研室的主任。這教研室後來劃分為機械和電機兩組。直到他逝世時為止的二十年中，他始終領導着以斯大林命名的莫斯科礦業學院的礦山機械教研室。

1939年由於伊里伊契夫在發展祖國礦山機械事業方面有卓越的功績，被選為蘇聯科學院技術科學分院的通訊院士。在這以前(1936年)，伊里伊契夫已經參加了蘇聯科學技術分院礦業組的工作。直到他逝世為止，他一直是領導着蘇聯科學院礦業研究所的礦山機械方面的科學研究工作。該院的礦山機械組亦由他主持。

伊里伊契夫在蘇聯科學院礦業研究所工作的期間，他本人以及在他的領導下的人都進行了許多具有重大意義的科學研究工作。其中包括：(a)提昇用鋼絲繩的詳細計算方法和確定其強度方面的真實潛力；(б)探求檢查鋼絲繩強度的新方法，以及在科學基礎上改造礦山用鋼絲繩的製造技術；(в)作出了在鋼絲繩斷裂時，可靠而安全地停止罐籠方法方面的科學根據；(г)利用電子調整器使礦山提昇機械自動化；(д)選擇用在深礦井的提昇機械的合理型式；(е)作出了在可燃性礦井大氣中安全使用電力的科學根據。

伊里伊契夫在礦業方面也做了許多巨大的工作。他曾對煤礦總局、有色金屬總局、礦業總局、國立礦井設計院等的許多設計作出了技術鑑定和結論；他是蘇聯煤礦工業部科學技術委員會、蘇聯勞動人民委員部學術聯合委員會、煤礦總局發明創造和技術改進的技術鑑定委員會、重工業人民委員部礦山技術檢查總局安全提昇問題委員會、蘇聯部長會議沉重勞動機械化技術委員會、蘇聯煤礦工業學院和全蘇煤礦研究院學術委員會、以及《礦山雜誌》和《煤》雜誌編輯委員會等機構的委員。伊里

伊契夫曾長時期是蘇聯部長會議全蘇高等教育委員會礦山技術考試委員會的委員，並且擔任過該委員會的主席。他曾參加過接收莫斯科地下鐵道第一部分的政府委員會的工作，並參加地下鐵道第三和第四部分的設計鑑定工作。

1940年1月，伊里伊契夫被任命為蘇聯國家計劃委員會科學技術鑑定委員會委員，到1949年為止，他積極地在這一委員會中工作，組織和領導了許多國家建設工程的鑑定工作，特別是薩拉托夫—莫斯科的瓦斯管工程。

1941年初，伊里伊契夫加入了共產黨。

偉大的衛國戰爭一開始，蘇聯科學院礦業研究所即停止了自己的科學研究工作，使整個工作完全服從了前線和祖國國防的需要。礦業研究所作出了恢復頓巴斯煤田、莫斯科近郊煤田和蘇聯其他煤田生產的技術政策的基本方向。這一巨大工作的重要組成部分——礦山機械部分，是由伊里伊契夫領導的。

他是共產黨的忠實兒子、真正的愛國主義者。他以自己的全部活動貢獻給粉碎法西斯侵略者的事業。他積極參加了莫斯科近郊煤田的恢復工作，以後又參加了頓巴斯煤田的恢復工作。自1942年初起，伊里伊契夫在莫斯科近郊煤田直接參加煤田的恢復工作，幾乎連續了好幾個月。

伊里伊契夫是天才的教學方法專家，優秀的教育家和出色的演講家。他二十五年來幾乎沒有中斷過教育活動，他擔任礦山機械方面的教課，並充實了這些課程的內容。

伊里伊契夫在其講課中，經常有許多自礦山實際工作中得來的生動的例子；他的講課很受學生們的歡迎，並可作為教員們的範例。

伊里伊契夫很重視學生的實習，他在發展礦業學院的礦山機械實驗室方面亦曾下了不少工夫；在伊里伊契夫的領導和積極幫助下，建立了關於礦山空氣壓縮裝置和排水裝置的設備良好的教學實驗室，以及關於礦山通風裝置教學和科學研究的實驗室。

這些實驗室現已用伊里伊契夫的名字來命名。

在以斯大林命名的莫斯科礦業學院的組織工作方面，伊里伊契夫也貢獻了許多力量，在十年中（1934—1936、1938—1941、1944—1947）他曾以該院副院長的身份領導學校的研究工作和教學工作。

伊里伊契夫培養了數千的礦山機械工程師、設計師、和不少的科學工作者，他們正在蘇聯科學院、烏克蘭科學院、各礦業研究所、各部、各管理局、各礦務局、各礦山企業中工作。蘇聯礦山工業中有不少科學家和社會活動家都是伊里伊契夫的學生。

伊里伊契夫是積極的社會活動家。他曾兩次當選為莫斯科市蘇維埃代表，並曾是地方蘇維埃和蘇聯最高蘇維埃勞動者代表選舉委員會的委員和主席。

伊里伊契夫不僅是優秀的科學家，而且是熱愛祖國和具有優良品質的——非常

樸素和善良的人。他是一個具有高尚道德品質的人，能博得任何跟他認識的人的愛戴。總而言之，伊里伊契夫在生活上是一個令人起敬的、真摯的、具有同情心的、樸素的和誠懇的人。經常樂意以建議、言語和行動來幫助別人，這是他的特出的性格。

*

*

*

伊里伊契夫在礦山機械方面的優秀的科學著作和教科書，給他帶來了巨大的威望和應得的榮譽。他的科學著作出版了將近 50 種，研究了採礦和礦山機械方面的最現實的問題。

伊里伊契夫的科學著作和論文的特點是分析得非常深刻，具體和緻密地敘述問題。他所寫的關於礦山機械——空氣壓縮設備和提昇設備方面的教科書，在學生和科學工作者以及直接在礦山工業中工作的工程技術人員之間，都普遍受到歡迎。

伊里伊契夫是蘇聯礦山機械學校方面的最偉大的代表人物之一。

俄羅斯的礦山機械學是俄國民族文化的成就之一；十八世紀中葉在俄國就開始了礦山機械學的研究，這門科學，在蘇維埃政權的年代裏得到了很大的發展。

伊里伊契夫優秀的科學著作大大促進了現代礦山機械學的發展；由於他的努力，使礦山機械學的提昇和空氣壓縮設備方面的科學理論基礎促進了一步。

伊里伊契夫的關於礦山提昇問題的論文、關於礦山提昇設備的機械制動的計算問題是他的第一個作品(1932 年)。在這獨創的作品中提供了制動的理論和計算方法，並分析了現有提昇機械的制動工作。這篇論文奠定了煤礦和油母頁岩礦保安規程中有關部分的理論基礎。

1932 年伊里伊契夫把自己的巨著《礦山提昇機械》付印，這本書印行了兩次(在 1932 和 1933)。伊里伊契夫在這本書中和許多科學技術的論文中，在均衡捲筒軸上迴轉力矩的基礎上，研究如何選擇雙筒圓錐形捲筒的主要參量的方法，這在實質上是確定了根據在運轉時使能力均勻分佈的原則的礦山提昇設備的新計算方法。

此外，伊里伊契夫作出了提昇機械標準化的科學基礎和蘇聯提昇機械的設計標準(《帶圓柱形捲筒的提昇機械的標準化問題》1934)，研究了操縱提昇機械(用以提昇箕斗和罐籠)的合理的動力規範，提出了纏繞半徑變動的提昇機械均衡性的初步準則，並提供了這種提昇機械的新計算方法(1951)。

由於斯達哈諾夫運動的開展，伊里伊契夫研究了利用礦山提昇設備的潛在力量的問題(1936)，並領導了蘇聯科學院礦業研究所關於礦山提昇設備自動化的研究工作(1936—1937)。

伊里伊契夫發表了很多關於研究礦山提昇用鋼絲繩以及改造和進一步發展礦山提昇工作的著作，特別是適用於礦井深部的提昇設備方面。

關於礦山氣力設備的著作方面，伊里伊契夫提供了往復式空氣壓縮機的簡單的熱力學理論，氣動機械的基本理論，並研究了許多新的問題：在各種壓縮過程中氣缸間隙對空氣壓縮機的功的影響，調整空氣壓縮機風量的方法，中間冷卻器的容積

對空氣壓縮機的示功圖的影響，風包容積的決定等。

在各期的[礦業雜誌]和[煤]雜誌中的一些論文中，以及在伊里伊契夫的巨著[礦山壓縮空氣設備]中(1935年初版，已印行了三版)，對這些問題都作了詳盡的敘述。

[礦山壓縮空氣設備]現在印行的這一版是第四版，它和以前的幾版一樣，由作者將書中的內容加以創作性的修改，並增加了一些材料。這本書的第一版曾以烏克蘭文付印(1936)。1952年這本書的第三版曾以匈牙利文付印。伊里伊契夫所著的[礦山壓縮空氣設備]的第二版和第三版，曾被批准作為高等礦業學校的機電專業的教科書。

伊里伊契夫在這一方面的著作中，還有瓦斯礦井地下作業的氣力和電力的使用問題(1927)、礦山氣力設備的合理應用(1936)、氣力設備在山地(高出海平面很多的地方)的工作(1939)等作品。

除了礦山機械學上述部分以外，伊里伊契夫對於井下運輸也進行了研究。在1925至1932年間，伊里伊契夫發表了下列論文：機車運輸的等阻力傾斜度的決定(1926)、單向氣動機帶動的礦山震動式運輸機的計算(1928)，還發表了[礦山震動式運輸機的理論和計算](1932)，書的內容完全是新穎的，在當時，對於學礦山運輸的學生來說，是一本寶貴的參考書。

伊里伊契夫與其他作者合著的[礦山運輸機及其設計和計算]一書(1929)和編纂[莫斯科近郊煤田]兩卷巨著(1944—1946)時，貢獻了自己的豐富的科學技術經驗和廣泛的理論知識。伊里伊契夫積極參加了製定[煤礦和頁岩工業保安規程]和[煤礦技術操作規程]的工作，有關礦山機械設備方面的幾章是由他編輯的。

伊里伊契夫是屬於這樣一類的蘇維埃科學家，偉大的十月社會主義革命給他們以空前未有的機會去發展自己的才能以及有機會為祖國和祖國的先進科學服務。由於蘇維埃政權的緣故，作為工程師、科學家、教育家和組織家的伊里伊契夫的創造性才能，才得到充分發揮和壯大起來。

伊里伊契夫的一生和他的創作是這樣的一個光輝範例，這說明了在蘇維埃的條件下，一個工人的兒子由於自己的天才，由於不屈不撓的精神，由於對於勞動的特殊愛好和對於祖國的無限熱愛，而成為一個偉大的科學家，蘇聯科學院(科學的最高司令部)的通訊院士。

政府很高地估計了伊里伊契夫在工程上、科學上、教育上和社會活動上所起的創造性的作用。由於他在科學技術方面對國家的卓越貢獻，俄羅斯蘇維埃聯邦社會主義共和國最高蘇維埃主席團在1943年1月5日發出命令，授予伊里伊契夫以俄羅斯聯邦社會主義共和國功勳科學家和技術家的榮譽稱號。

1947年根據蘇聯部長會議的決定，授予伊里伊契夫三級礦山總辦的職位。

蘇聯政府曾獎給伊里伊契夫一枚列寧勳章(1939)，兩枚勞動紅旗勳章，一枚榮

譽勳章和三枚蘇聯的獎章。

蘇聯的礦業界將始終不會忘記亞力山大·謝麥諾維契·伊里伊契夫是蘇聯先進的礦山科學家、不倦的勞動者、共產黨的科學家、祖國的熱愛者、培養蘇維埃科學技術幹部的出色的教育家和富有同情心的同志，他把自己的全部力量和知識都貢獻給發展蘇聯礦山科學的事業和祖國偉大的共產主義建設事業。他的名字已被寫入蘇聯礦山科學和技術的歷史中，並將成為全心全意為黨、為祖國、為人民服務的一個範例。

蘇聯科學院通訊院士 阿·斯比瓦考夫斯基

序

1946年2月9日斯大林同志在莫斯科斯大林選區選民大會上發表的、有歷史性意義的演說中，擬定了建立共產主義物質技術基礎的綱領，以將來幾個五年計劃中我國生產能力的具體發展數字，來表示了這一任務的實質。

斯大林同志說：「至於說到更長一個時期的計劃，那末黨是立意要造成國民經濟強大的新高漲，使我們能够——譬如說——把我國工業水準提高到超過戰前水準的三倍。我們必須使我國工業能每年出產生鐵達五千萬噸，鋼達六千萬噸，煤炭達五萬萬噸，煤油達六千萬噸。只有做到了這步時，才可以說，我們祖國已有了免除一切意外的保障。這大概是需要三個新五年計劃的時間，——也許還要多些，——才可做到。但這是可能做到，而且是我們所應當做到的。」^①

在爲了完成六年前斯大林同志所提出的綱領而進行的鬥爭中，祖國的重工業已取得了巨大的成就。

僅在1951年生鐵的產量即增加了270萬噸，鋼的產量約增加了400萬噸，鋼材則增加了300萬噸。

最近幾年來煤產量的增長平均每年爲2400萬噸。

礦山工作中使用壓縮空氣，可使許多繁重的工作機械化。使用壓縮空氣最重要的機械是風鑽和風鎬，由於這些機械的結構簡單和緊湊，雖然整個氣力系統（包括壓縮空氣的生產和輸送，以及在工作機械中的使用）的效率較低，壓縮空氣在這方面仍能勝利地和電力競爭。

在有瓦斯的煤炭礦井中使用壓縮空氣，是由於它在傳動截煤機、運輸機、穿孔機、局部扇風機、充填機等時是安全的。

由於祖國機械製造工業的發展，特別是礦山機械製造工業的發展，已能供給採礦工業（煤礦企業和其他礦山企業）以足夠數量的優等的空氣壓縮設備。

應當指出，祖國的科學家：阿·普·蓋爾曼院士、烏克蘭科學院院士姆·姆·費道洛夫、勒·斯·列賓宗院士等，在發展空氣壓縮機、氣動機械和氣力網的理論方面起了巨大的作用。

阿·普·蓋爾曼院士研究出往復式空氣壓縮機的冷卻理論、空氣壓縮機的空氣分配理論、渦輪式空氣壓縮機的計算方法、風鑽的理論、氣力網的計算（考慮各個交點壓力的均衡）以及其他問題。

① 斯大林在莫斯科斯大林選區兩次選民大會上的演說，外國文書籍出版局，1949年莫斯科中文版，第30頁。

烏克蘭科學院院士費道洛夫假定空氣管單位長度中的壓力降低量不變，並考慮空氣溫度的變更，研究出礦山氣力網的計算方法。

列賓宗院士研究出空氣管中的壓縮空氣湍流(渦流)的問題。

這本書是根據祖國的工廠和設計機構的資料，以及作者多年來在以斯大林命名的莫斯科礦業學院所讀過的關於[礦山壓縮空氣設備]的教程而編寫的，書中研究了關於壓縮空氣的生產、輸送和在氣動機械中的使用等問題，以及空氣壓縮設備的運轉問題。

這本書和第三版(1949年)比較，已增加了許多新的材料。[空氣壓縮機的電力傳動]一章已由奧·阿·查列索夫講師重寫。

最後，我對下列同志表示感謝：姆·姆·什瑪哈諾夫講師幫助編寫了第十八章[礦山空氣壓縮設備工作的檢查]；奧·阿·查列索夫講師幫助編寫了第十二章[空氣壓縮機的電力傳動]；德尼徐克講師，他幫助研究出了計算空氣管的列線圖解法；法比索維契同志，亦幫助闡明了[壓縮空氣電氣化的問題]；還有其他曾對本書前幾版提過意見的同志，亦在此表示感謝。

亞·謝·伊里伊契夫 1952年2月26日

目 錄

亞力山大·謝麥諾維契·伊里伊契夫傳略

序

第一章 空氣熱力學的基本定律	12
§ 1. 空氣的基本參量	12
§ 2. 空氣狀態的方程式	13
§ 3. 濕空氣	14
§ 4. 熱與機械功	20
§ 5. 熱力學的基本方程式	21
§ 6. 熵及溫熵圖	23
§ 7. 一公斤空氣的理論變化過程	31
第二章 單段往復式空氣壓縮機的理論工作過程	50
§ 1. 空氣等溫壓縮時空氣壓縮機的理論工作過程	52
§ 2. 空氣絕熱壓縮時空氣壓縮機的理論工作過程	54
§ 3. 空氣多變壓縮時空氣壓縮機的理論工作過程	58
§ 4. 空氣壓縮機等溫、絕熱及多變壓縮過程的理論工作循環在圖上的比較	59
第三章 往復式空氣壓縮機的實際工作過程	63
§ 1. 氣缸間隙	63
§ 2. 在理論循環中氣缸間隙對空氣壓縮機吸氣量的影響	63
§ 3. 單段壓縮時空氣壓縮比的限度	64
§ 4. 氣缸間隙對空氣壓縮機的功的影響	66
§ 5. 吸氣終止時，空氣的壓力及溫度對空氣壓縮機的生產能力及功的影響	70
§ 6. 空氣濕度的影響	74
§ 7. 空氣壓縮機不嚴密對生產能力的影響	77
§ 8. 輸出係數及關於空氣壓縮機容積係數的概念的進一步明確	77
§ 9. 氣缸內排氣時空氣壓力的提高	78
第四章 雙段及多段壓縮	79
§ 1. 雙段及多段壓縮	79
§ 2. 分段壓縮時表示在溫熵圖上的分段壓力	83
§ 3. 多段壓縮與單段壓縮相比較時的經濟上的優點	83
§ 4. 多段壓縮時空氣壓縮機容積係數的提高	84
§ 5. 當終壓與標準的終壓不同時，雙段空氣壓縮機所作的功	85
§ 6. 根據空氣壓縮機氣缸的尺寸決定它的生產能力	87

第五章 空氣壓縮機的功率及其發動機	89
§ 1. 根據絕熱壓縮時的理論功率決定空氣壓縮機的功率	89
§ 2. 根據等溫壓縮時的理論功率決定空氣壓縮機的功率	90
§ 3. 電動機的功率及其能量消耗	93
§ 4. 根據示功圖決定空氣壓縮機的指示功率	93
第六章 空氣的冷卻	94
§ 1. 空氣壓縮機內放出的熱量	94
§ 2. 空氣壓縮機所需的冷卻水量	93
§ 3. 關於熱的傳導的一般概念	97
第七章 往復式空氣壓縮機的構造	104
§ 1. 單段空氣壓縮機	104
§ 2. 雙段空氣壓縮機	113
§ 3. 移動的往復式空氣壓縮機	130
第八章 往復式空氣壓縮機的空氣分配	137
第九章 迴轉式空氣壓縮機	143
第十章 透平式空氣壓縮機	151
§ 1. 工作原理	151
§ 2. 透平式空氣壓縮機的一般優點和缺點	152
§ 3. 透平式空氣壓縮機的理論工作過程和實際工作過程	152
§ 4. 透平式空氣壓縮機的功率和效率	155
§ 5. 透平式空氣壓縮機的特性曲線	156
§ 6. 透平式空氣壓縮機的幾個例子	159
第十一章 空氣壓縮機生產能力和壓力的調整	159
第十二章 空氣壓縮機的電氣傳動	169
§ 1. 用來傳動空氣壓縮機的電動機的主要性能	170
§ 2. 往復式空氣壓縮機傳動的特點	172
§ 3. 空氣壓縮機電動機的起動	173
§ 4. 帶有同期電動機的空氣壓縮機的自動起動	175
第十三章 空氣壓縮機的附屬設備	180
§ 1. 濾風器	180
§ 2. 風包	184
§ 3. 後繼冷卻器	193
§ 4. 冷卻水用的設備	199
§ 5. 空氣壓縮站設備的配置	205
第十四章 空氣充分膨脹的單段往復式氣動機械的理論工作過程	206
§ 1. 空氣等溫充分膨脹時氣動機械的理論工作過程	208
§ 2. 空氣絕熱充分膨脹時氣動機械的理論工作過程	210

§ 3. 空氣多變充分膨脹時氣動機械的理論工作過程	213
§ 4. 空氣等溫充分膨脹, 絕熱充分膨脹和多變充分膨脹的氣動機械的理論工作循環圖的比較	215
第十五章 往復式氣動機械的實際工作過程	219
§ 1. 空氣的反壓縮對氣動機械所作的功和氣缸尺寸的影響	219
§ 2. 進氣時空氣在氣缸中溫度的降低對於氣動機械單位空氣所作之功的影響	223
§ 3. 空氣溫度的影響	225
§ 4. 空氣在氣動機械中不充分膨脹的影響	226
§ 5. 氣動機械的指示效率	229
§ 6. 氣動機械的機械效率	230
§ 7. 氣動機械的總效率	230
第十六章 氣動機械	236
§ 1. 風鑽和風鎚	236
§ 2. 往復式氣動機械	246
§ 3. 迴轉式氣動機械	259
§ 4. 齒輪式氣動機械	264
§ 5. 利用壓縮空氣作為巷道的局部通風	278
第十七章 氣力網	282
§ 1. 空氣導管的計算	282
§ 2. 氣力網的構造	398
第十八章 礦山壓縮空氣設備工作的檢查	307
§ 1. 空氣壓縮機的試驗	307
§ 2. 運轉時空氣壓縮機設備的工作檢查	322
第十九章 壓縮空氣設備在高地上的工作	334
§ 1. 空氣壓縮機的體積生產能力和重量生產能力的減少	334
§ 2. 空氣壓縮機在高地上所作的全功的減少	336
§ 3. 氣動機械在高地上的工作	337
§ 4. 氣動機械消耗的空氣重量的變更	338
§ 5. 高地上工作的壓縮空氣設備的設計特點	339
第二十章 壓縮空氣設備的設計特點	343
§ 1. 空氣壓縮站需要的生產能力的決定	343
§ 2. 空氣自空氣壓縮機輸出時需要壓力的決定	345
§ 3. 空氣壓縮機型式和數量的選擇	346
§ 4. 空氣壓縮機的冷卻	347
§ 5. 礦井壓縮空氣設備設計計算的例子	347
第二十一章 空氣壓縮機設備的安裝、運轉和檢修	355
§ 1. 空氣壓縮機安裝概要	355
§ 2. 空氣壓縮機的基礎	356

§ 3. 空氣壓縮機安裝在基礎上.....	357
§ 4. 用水泥漿灌注空氣壓縮機機座.....	358
§ 5. 空氣壓縮機的裝配.....	358
§ 6. 開動空氣壓縮機的準備.....	358
§ 7. 往復式空氣壓縮機的開動和停止.....	359
§ 8. 迴轉式空氣壓縮機安裝後的初次開動.....	359
§ 9. 往復式和迴轉式空氣壓縮機在工作時的維護.....	360
§10. 往復式空氣壓縮機在工作中的不正常現象.....	362
§11. 空氣壓縮機的潤滑.....	363
§12. 壓縮空氣的起電現象.....	367
§13. 壓縮空氣設備的計劃檢查.....	368
§14. 壓縮空氣設備的總效率.....	369
§15. 壓縮空氣設備使用的改善.....	371
附錄1. 空氣壓縮機及管道的敷設、維護和管理規程	
附錄2. 空氣的溫熵圖	
附錄3. 大氣溫度的降低對於壓縮空氣設備工作的影響	

第一章 空氣熱力學的基本定律

§ 1. 空氣的基本參量

可以確定空氣狀態的諸量，謂之空氣的基本參量。

(1) 空氣的體積 V ，立方公尺；

(2) 空氣體積為 V 時的重量 G ，公斤；

(3) 一公斤空氣的體積，或稱為比容，

$$v = \frac{V}{G} \text{ 立方公尺/公斤；}$$

(4) 一立方公尺空氣的重量，或稱為空氣的比重，

$$\gamma = \frac{G}{V} \text{ 公斤/立方公尺；}$$

很明顯， $v\gamma=1$ ；

(5) 空氣的溫度利用攝氏溫度計來測量並以度數($^{\circ}\text{C}$)表示之。為了便於進行學理上的論證，通常都採用絕對溫度

$$T = t + 273^{\circ}\text{K；}$$

空氣的絕對溫度同樣用攝氏溫度計的度數表示，其代表符號為 $^{\circ}\text{K}$ ，絕對溫度由 $0^{\circ}\text{K} = -273^{\circ}\text{C}$ 起算；

(6) 進行學理上的論證時，空氣的絕對壓力通常都以公斤/平方公尺作單位，並用 P 表示。

進行技術上的計算時，最好採用較大的單位公斤/平方公分或公制絕對大氣壓來表示空氣的絕對壓力。

如有需要也可用若干公尺空氣柱高來表示壓力，

$$H_{\text{B3}} = \frac{P}{\gamma_{\text{B3}}} \text{ 公尺。} \quad (1)$$

測量小的壓力時，用若干公厘水柱或水銀柱高表示較為方便

$$h_{\text{ммвод.ст}} = 1000 \times \frac{P}{\gamma_{\text{B}}} = P \text{ 公斤/平方公尺，} \quad (2)$$

即

$$1 \text{ 公厘水柱高} = 1 \text{ 公斤/平方公尺。}$$

$$h_{\text{ммрт.ст}} = 1000 \times \frac{P}{\gamma_{\text{рт}}} = \frac{P}{13.6} \text{ 公斤/平方公尺。} \quad (3)$$

大於大氣壓的壓力用壓力計測量之，它所表示的壓力 $P_{\text{м}}$ ，為以大氣壓為起始

或

$$p_M = p - p_a \quad \text{公斤/平方公分。} \quad (4')$$

小於大氣壓的壓力用真空計測量，它所表示的壓力 $P_{\text{бак}}$ ，爲比大氣壓 P_a 不足的數值，所以其絕對壓力 P 爲

$$P = P_a - P_{\text{бак}}. \quad (5)$$

各個地方的大氣壓隨着其距海平面之高度而變化，同樣與季節也有關係。

海平面上的平均大氣壓取定爲

$$p_0 = 760 \text{ 公厘水銀柱；當 } 0^\circ\text{C 時，} p_0 = 1.033 \text{ 公斤/平方公分。}$$

在海平面上 11 公里的高度內，即被稱爲對流層的空氣厚度，海平面上的高度 H (公尺) 和這一高度上空氣的絕對壓力 p_h ，以及海平面上空氣的絕對壓力 p_0 之間的關係，可用下式表示之^①

$$p_h = p_0 \left(1 - \frac{H}{44\,300} \right)^{5.256}. \quad (6)$$

距海平面 H (公尺) 高度上空氣的絕對溫度可用下式計算之

$$T_h = T_0 - 0.0065 H, \quad (7)$$

此處 T_0 ——海平面上空氣的絕對溫度， $^\circ\text{K}$ 。

§ 2. 空氣狀態的方程式

我們若把乾空氣當作理想氣體來研究，根據波義耳-馬利奧特及給-呂薩克定律，可以得出以下的關係：

$$\frac{Pv}{T} = \text{常數} = R,$$

此處 P ——空氣的絕對壓力，公斤/平方公尺；

v ——空氣的比容，立方公尺/公斤；

T ——空氣的絕對溫度， $^\circ\text{K}$ 。

R 稱爲空氣的氣體常數。

氣體常數的單位爲：

$$[R] = \frac{\text{公斤} \cdot \text{立方公尺}}{\text{平方公尺} \cdot \text{公斤} \cdot ^\circ\text{C}} = \text{公斤公尺/公斤}^\circ\text{C},$$

氣體常數即是一公斤空氣，當溫度上昇 1°C 時，其膨脹所作之功(公斤公尺)。

當溫度爲 0°C 、壓力爲 760 公厘水銀柱時，1 立方公尺乾空氣的重量爲

① 這樣得出的壓力稱爲計示壓力、表壓力或超大氣壓。——譯者

② 尤烈也夫著《實驗空氣動力學》，第一卷第 29 頁，1936 年。

$$\gamma_0 = 1.293 \text{ 公斤/立方公尺.}$$

若取

$$T_0 = 273^\circ\text{K}; P_0 = 10\,333 \text{ 公斤/平方公尺}$$

及

$$v_0 = \frac{1}{\gamma_0},$$

則可得出乾空氣的氣體常數

$$R = \frac{P_0 v_0}{T_0} = \frac{P_0}{\gamma_0 T_0} = \frac{10\,333}{1.293 \times 273} = 29.27 \text{ 公斤公尺/公斤}^\circ\text{C.}$$

對於一公斤乾空氣的空氣狀態的方程式可寫成如下的形式:

$$Pv = RT' \quad (8)$$

對於任意重量 G (公斤) 的空氣及與此重量相應的體積 V (立方公尺), 空氣狀態的方程式可寫成下面的形式 [用 $v = \frac{V}{G}$ 代入方程式(8)]:

$$\frac{PV}{G} = RT'$$

或

$$PV = GRT' \quad (9)$$

§ 3. 濕 空 氣

大氣中經常含有水蒸汽, 且一般呈不飽和狀態。空氣與不飽和蒸汽的混合物是無色透明的, 並且遵守道爾頓氣體定律。一立方公尺濕空氣中實際所含有的水蒸汽量用 γ' (公斤/立方公尺) 代表, 這個數值稱為空氣的絕對濕度。

一立方公尺的透明空氣中, 呈浮游狀態的水蒸汽的最大數量, 就是在該溫度下一立方公尺飽和水蒸汽的重量 γ_s (公斤/立方公尺), 因為水蒸汽與空氣混合時, 它是不受空氣影響的。

比值

$$\varphi = \frac{\gamma'}{\gamma_s} \quad (10)$$

稱為空氣的相對濕度。

當 $\varphi < 1$ 時, 空氣為無色透明的; 當 $\varphi > 1$ 時, 空氣中的水蒸汽呈過飽和而變為濕空氣, 由於部分濕空氣凝結成水點, 因而使空氣失去透明性。

根據道爾頓氣體分壓定律, 濕空氣的絕對壓力 p 等於乾空氣的壓力 p_{B3} 及水蒸汽的壓力 p' 之和, 這些壓力稱為分壓力,

$$p = p_{B3} + p' \quad (11)$$

求水蒸汽的分壓力比求乾空氣的分壓力容易。當空氣中的水蒸汽已達飽和或過飽和狀態時，根據空氣的溫度 $t(^{\circ}\text{C})$ 及表 1，可以查出相應的飽和水蒸汽的壓力 p_s 。

飽 和 水 蒸 汽

表 1

溫度 °C	水蒸汽的絕對壓力 p_s		一立方公尺水蒸汽 的重量 γ_s , 公斤/立方公尺	溫度 °C	水蒸汽的絕對壓力 p_s		一立方公尺水 蒸汽的重量 γ_s , 公斤/立方公尺
	水銀柱高(公厘)	公斤/平方公分			水銀柱高(公厘)	公斤/平方公分	
-16	1.32	0.00179	0.00129	39	52.5	0.0715	0.0488
-14	1.55	0.00211	0.00153	40	53.3	0.0752	0.0512
-12	1.83	0.00248	0.00183	41	58.4	0.0795	0.0538
-10	2.14	0.00291	0.00217	42	61.5	0.0836	0.0565
-8	2.51	0.00341	0.00256	43	64.8	0.0882	0.0595
-6	2.93	0.00397	0.00301	44	68.3	0.0930	0.0625
-4	3.40	0.00462	0.00354	45	71.9	0.0978	0.0655
-2	3.95	0.00536	0.00415	46	75.7	0.103	0.0685
0	4.58	0.00622	0.00484	47	79.6	0.108	0.0719
2	5.29	0.00718	0.00557	48	83.7	0.114	0.0758
4	6.10	0.00828	0.00637	49	88.0	0.120	0.0794
6	7.01	0.00950	0.00726	50	92.5	0.126	0.0832
8	8.05	0.0109	0.00828	55	—	0.161	0.1043
10	9.21	0.0125	0.00941	60	—	0.203	0.1301
11	9.84	0.0134	0.01005	65	—	0.255	0.1611
12	10.52	0.0145	0.01057	70	—	0.318	0.1979
13	11.23	0.0153	0.01138	75	—	0.393	0.2416
14	11.99	0.0163	0.01205	80	—	0.483	0.2929
15	12.79	0.0174	0.01283	85	—	0.590	0.3531
16	13.64	0.0186	0.01366	90	—	0.715	0.4229
17	14.5	0.0197	0.01449	95	—	0.862	0.5039
18	15.5	0.0211	0.01535	100	—	1.033	0.5970
19	16.5	0.0224	0.01629	105	—	1.232	0.7036
20	17.5	0.0238	0.0173	110	—	1.461	0.8254
21	18.6	0.0254	0.0185	115	—	1.724	0.9635
22	19.8	0.0270	0.0194	120	—	2.025	1.120
23	21.1	0.0287	0.0206	125	—	2.367	1.296
24	22.4	0.0305	0.0218	130	—	2.755	1.494
25	23.8	0.0324	0.0230	135	—	3.192	1.715
26	25.2	0.0345	0.0244	140	—	3.685	1.962
27	26.7	0.0363	0.0258	145	—	4.238	2.238
28	28.3	0.0385	0.0272	150	—	4.855	2.543
29	30.0	0.0403	0.0287	155	—	5.542	2.880
30	31.8	0.0432	0.0304	160	—	6.303	3.252
31	33.7	0.0458	0.0320	165	—	7.147	3.662
32	35.7	0.0485	0.0338	170	—	8.080	4.113
33	37.7	0.0513	0.0357	175	—	9.10	4.605
34	39.9	0.0543	0.0376	180	—	10.23	5.145
35	42.2	0.0575	0.0396	185	—	11.45	5.734
36	44.6	0.0605	0.0418	190	—	12.80	6.378
37	47.1	0.0641	0.0440	195	—	14.26	7.078
38	49.7	0.0676	0.0465	200	—	15.85	7.840

空氣中的水蒸汽未達飽和狀態時， $p' < p_s$ ，求水蒸汽的壓力也很簡單，即利用阿佛古斯特的乾濕球溫度計，其上相並地安有兩個同樣的溫度計，其中一個是乾的，另一個的球上包有紗布，並始終保持潮濕狀態。

根據乾濕兩個溫度計所示溫度 $t_{\text{cyx.T}}$ 及 $t_{\text{cm.T}}$ 的差，即可求出水蒸汽的分壓力

$$p' = p_{s \text{ cm.T}} - C(t_{\text{cyx.T}} - t_{\text{cm.T}}) \frac{p_a}{760} \text{ 公厘水銀柱,} \quad (12)$$