



中等專業學校教學用書

礦山機械

上 卷 第一分冊

通 風 設 備

苏联 尔·恩·赫德瑞柯夫著

煤 炭 工 業 出 版 社

中 等 專 業 学 校 教 学 用 書

礦 山 机 械

上 卷 第一分册

通 風 設 备

苏联 尔·恩·赫德瑞柯夫著

韓 太 中 譯

苏联煤炭工業部教育司審定作为中等採礦專業学校教材

煤 炭 工 業 出 版 社

內 容 提 要

礦山机械一書叙述現代礦井最重要的設備。全書分为兩卷：上卷——礦井通風、排水及压風設備，下卷——礦井提昇設備。

为了适应各中等專業学校教材的需要，故將通風設備部分作为一个分册提前出版。排水及压風設備部分將陸續作为二、三兩分册出版。本册內容是叙述通風設備的基本理論及構造、安裝、運轉、設計等基本問題。

本書不仅可作中等專業学校教材，并可供採礦工業的工程技術人員參考之用。

ГОРНАЯ МЕХАНИКА

ШАХТНЫЕ ВЕНТИЛЯТОРНЫЕ НАСОСНЫЕ И
ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

苏联 Р. Н. ХАДЖИКОВ 著

根据苏联國立煤礦技術書籍出版社(УГЛЕТЕХИЗДАТ)

1951年列宁格勒增訂第2版翻譯

87

礦 山 机 械

上 卷 第一分册

通 風 設 备

韓 大 中 譯

*

煤炭工業出版社出版(地址：北京東長安街煤炭工業部)

北京市書刊出版業營業許可証出字第084号

北京市印刷一厂排印 新华書店發行

*

开本78.7×109.2公分 $\frac{1}{32}$ * 印張6 $\frac{1}{4}$ * 字数140,000

1954年7月北京第1版

1956年11月北京第6次印刷

統一書号：15035·53 印数：11,881—13,400册 定价：(10)0.90元

目 錄

序言	1
概論	2

第一篇 礦井通風設備

第一章 透平機的理論基礎	9
§ 1. 透平機的分類，動作原理及表明其工作特性的諸因素	9
§ 2. 透平機的基本方程式和單獨特性曲線	12
§ 3. 透平機的類型特性曲線	18
§ 4. 管系的特性曲線	20
§ 5. 透平機的工作性能和原動機的功率	22
§ 6. 透平機運轉的基本原理	26
第二章 礦井通風機的構造	30
§ 1. 離心式通風機	30
§ 2. 軸流式通風機	42
第三章 通風機風壓及風量的調整	67
第四章 在共同通風系統中數台通風機的聯合工作	74
§ 1. 一般概念	74
§ 2. 通風機的並聯工作	76
§ 3. 通風機的串聯工作	80
§ 4. 氣流的調整及反向	85
§ 5. 自然通風對通風機工作的影響	85
第五章 測量用的儀表	87
§ 1. 測量壓力用的儀表	87
§ 2. 測量氣流速度及通風機風量用的儀表	91
§ 3. 測量機軸轉數用的儀表	92
§ 4. 測量功率用的儀表	92
第六章 通風機的電動機及電力設備	93

§ 1. 通風機電動機的功率及能量消耗量	93
§ 2. 通風機用的電動機及電力設備	94
第七章 加熱設備（暖風設備）	98
第八章 通風設備的配置及其安裝	101
第九章 通風設備的運轉	109
§ 1. 關於通風設備運轉的基本指示	109
§ 2. 計劃檢查及修理	111
§ 3. 通風設備的儲備量	115
§ 4. 通風設備的試驗	118
第十章 通風設備的設計	122
§ 1. 通風設備設計的基本規則	122
§ 2. 通風設備的設計	139

序 言

在蘇聯，由於斯大林同志對於進步科學的偉大關懷，礦山機械已成為一種理論和實際緊密地互相聯繫的真正的科學，並且担負起來為祖國社會主義採礦工業服務的責任，它們幫助了在斯大林同志領導下的進行共產主義建設的祖國全體勞動人民之中的廣大礦工羣衆。

聯共（布）黨中央委員會關於思想問題的決議，使得俄羅斯和蘇維埃的科學家、工程師及先進生產者在科學發展上的優先權得到了有歷史意義的正義的恢復。我們的同胞創造了礦山機械的科學，在我們的國家裏設計並製造了世界上最現代化的、供礦井使用的通風機、水泵、壓風機和提昇機。

礦井通風、排水及壓風設備的研究，載於礦山機械教科書的上卷中。

本書的綱要與現行的礦業技術學校機電專業用「礦山機械學」課程大綱相符合。本書以著者在卡基葉夫斯基礦業技術學校的礦山機械講義為基礎。書中根據我國科學家的卓越成就敘述了礦山機械的理論問題，同時也敘述了我國製造的這種機械的構造、運轉以及計算問題。本書較之第一版（1947年）有很顯著的修改。

爾·赫德瑞柯夫

概 論

在礦山機械教程中，我們研究礦井的通風、排水、壓風及提昇設備。

通風設備為向礦井輸送空氣所必需的設備。它分為主要設備，供礦井全部巷道通風之用，區段設備——供礦井區段通風之用，以及獨頭工作面的通風設備（局部通風）。

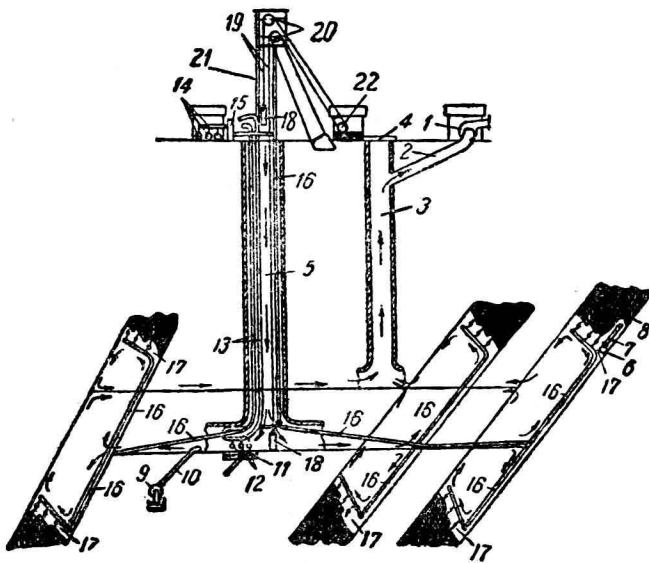


圖 1 礦井通風、排水、壓風及提昇設備示意圖

主要通風機（主扇）（圖 1）1 由風道 2 而與礦井的通風井筒 3 相接，此通風井筒為固定於上方的風門 4 所封閉。在工作時，通風機（又稱為扇風機，風扇——譯者）一面造成真空，以使在大氣壓力下的空氣進入主要井筒 5 並流至各巷道（如箭頭所示），同時又將空氣經通風井筒 3 抽出到大氣中。為使空氣沿巷道流動，通風機應產生氣壓差（或負壓——譯者）——主要井筒及通風井筒的壓力差。在所研究的情形中通風機是自礦井內抽出空氣；通風作用也可藉通風機將空氣

壓入礦井而實現，在此情形通風機將產生風壓（空氣壓力）。

獨頭工作面的通風設備（圖1），是由通風機6構成，通風機6沿管路7向工作面8送入空氣。

使用通風機的礦井通風稱為機械通風，它與不用通風機而產生的自然通風不同。在自然通風中，氣壓差要靠外部及流經礦井井巷的空氣的比重差而產生。自然通風不能保證向礦井輸送必需的空氣量，因此應用範圍極為有限。

用通風機向礦井輸送的空氣重量為採煤重量的4—6倍有時還要達到14倍。

排水設備 是供自礦井向地面排水之用。它分為區段設備——將一區（或數區）內的水排至井底車場水倉，及主要設備——將水自井底車場水倉排至地面。

區段設備的水泵9（圖1）將水由井內下山的管道10排送至井底車場水倉。然後，水沿水溝流入主要設備的貯水倉11，再經水泵12經管道13中的一條管道排送到地面。

在深井中有時要將水先自底部大巷排至某一中間大巷，然後再自此排至地面，水泵則裝在礦井的這些大巷中。

水泵自礦井排出水的重量為採煤重量的2—7倍，有時達到40倍。

壓風設備 是供給風動機械（風鎬，鑿岩機，風鑽等）獲得所需的壓縮空氣之用。

在礦井中，壓縮空氣主要是供風鎬及鑿岩機之用。這些風動機械構造簡單，重量較輕，工作可靠並且價格低廉。壓縮空氣具有適合礦井條件的非常重要的優點——瓦斯安全性。

壓風設備（圖1）是由產生壓縮空氣的空氣壓縮機14，貯氣筒（風包）15，輸送壓縮空氣的空氣管（風管）16及壓縮空氣的消費者17所組成。

提昇設備（圖1）是由井筒運輸有用採掘物、人員及其他貨載之用，它是由裝載重物的提昇盛器18，提昇鋼絲繩19，導向滑輪20，井架21及提昇機22所組成。提昇機22包括纏繩器械、原動機、操縱

裝置、保險及信號裝置。

通風設備在發展上表現出下面的幾個階段：活塞式通風機——不是完全的空氣動力比，具有蒸汽原動機的離心式通風機——具有效率良好使用電動機的離心式通風機——帶有同步電動機的軸流式（螺旋式）通風機，由於其優異的品質，現今已廣泛使用於礦山工業中。以恩·耶·儒考夫斯基命名的中央氣流學研究院在這方面的理論和實驗工作已獲得巨大的成就，如果說在以前軸流式通風機的效率不超過 0.2—0.3，而壓力為 25 公厘水柱，那麼，根據 ЦАГИ 的製品，軸流式通風機的效率已達 0.65—0.8，而壓力則為數百公厘水柱。

排水設備的發展經過了下面的幾個階段：裝設在地下的往復式（活塞式）水泵，由一位於井筒中的活塞桿而以裝置於地面的蒸汽機帶動之——具有裝設於地下的蒸汽機的往復式水泵——具有導向器或螺旋室的多級離心式水泵，此種水泵直接與高速電動機相聯。

往復式及離心式水泵同屬於一類機械——增壓機，這類機械中還包括下面的輸送流體用的設備：а) 以往復式水泵原理為基礎的迴轉式（齒輪式，螺旋式，水圈式）水泵；б) 以離心式水泵原理為基礎的軸流式（螺旋槳式）和渦流式水泵；в) 壓縮空氣或蒸汽揚水機，利用蒸汽或壓縮空氣之壓力以排出液體，或者，構成較水更輕的水與壓縮空氣的混合物而以水柱之壓力排出之（氣泡水泵）；г) 噴射水泵，根據液體流經漸擴或漸縮之噴管時，速度能轉變為壓能或壓能轉變為速度能的原理^①，因為這幾種增壓機在礦山工業中的應用與往復式水泵、特別是與離心式水泵相較是十分稀少的，所以，在本書中將不再述及。

礦井通風機及水泵的主要供給者為：以斯·姆·基洛夫命名的高爾洛夫斯基，以斯·姆·基洛夫命名的柯貝，以克耶沃羅希羅夫命名的阿列克山德等礦山機械製造工廠。這些工廠的產品都具有現代通風機及水泵構造的最新成就。

壓風設備的主要部分——壓縮機——的發展，已走過了使用活塞

① 詳情見維·格·格耶爾著之「礦井排水設備」。蘇聯國立煤礦技術書籍出版社 1948 年出版。

式、迴轉式及離心式機械的道路，並且，最適合於礦井條件使用的就是帶有同步電動機的活塞式壓縮機。

活塞式壓縮機爲一種現代的壓縮機構造的式樣，莫斯科的「考姆波列色爾」及「伯列茨」工廠，以及以姆·維·伏龍芝命名的蘇姆斯基工廠都製造這種壓縮機以供礦井使用。

提昇設備的發展經過了自吊斗到箕斗，自蔴繩到金屬繩，自簡陋的木製滾筒到雙圓柱圓錐形滾筒，自體力帶動到電力帶動，自人手操縱到自動操縱的過程。蒸汽機在其出世後不久就獲得提昇設備的廣泛使用，在前一世紀末葉，電動機開始使用於提昇設備。由於電力提昇原動機較蒸汽機有很大的優越性（工作更爲安全，操縱及運轉更爲簡易和準確、經濟性），它已獲得極廣泛的使用。

在蘇聯，大型提昇設備的機械部分主要是由以斯大林命名的諾沃克拉馬托爾機械製造工廠製造，而其電氣部分——由以斯大林命名的在哈爾柯夫電機工廠（ХЭМЗ）製造。這些工廠製造出世界上最大型的和最現代化的提昇機器。

在礦山機械學理論問題的研究上，在其成爲完整科學的轉變上，在新的礦山機械的製造上，在實驗上，以及此等機械在礦井中的運用上，我國人民在整個礦山工業的歷史中，特別是在偉大十月革命以後的年代裏，始終構成一支礦業界的先鋒隊伍。

採礦和冶金業在我們國家裏很早以前就萌芽了。天才的姆·維·羅蒙諾索夫的著作「冶金學或礦物學的初步基礎」1763年便是專述這方面的早期科學著作之一。

早在礦山工業發展的初期，就已產生了巷道通風，排水及貨載提昇用的機械裝置的需要，隨着礦井生產能力的增長，這些設備亦愈行複雜化。並且，爲了它們的正確製造和運轉，就更需要掌握理論基礎。

遠在十九世紀時，俄羅斯的科學家，首先是彼得堡礦業學院冶金機械學講座的第一位教授伊·阿·基米，就已經研究了這門科學的基本原理。伊·阿·基米的專述礦山和工廠機械及機構的構造分析和計算的科學著作，以及金屬工藝學和水力學的著作，使著者本人在礦山工業

界中享有盛名。伊·阿·基米在彼得堡礦業學院的四十二年（1878—1920）工作中，將他自己的淵博的知識傳授給將近兩千名的學生，它們之中的很多人以後都成為卓越的礦山工作者。

在以後的機械學及電工學普遍發展的時期中，對於礦山機械學的發展起着主導作用的要推耶喀切林諾斯拉夫礦業學院的教授莫·莫·費道羅夫（1867—1945）和彼得堡礦業學院的教授阿·普·葛爾曼（1874年生）。在這兩位卓越的俄羅斯科學家的著作中，首先形成了礦山機械學整個四部分（通風，排水，壓風及提昇設備）的理論基礎。

在革命後的年代裏，特別是在斯大林五年計劃的年代裏，礦山機械學得到了空前未有的偉大發展。莫·莫·費道羅夫院士和阿·普·葛爾曼院士勝利地解決了礦山機械學中一系列的問題，並且還培養出大批的蘇維埃的科學家——礦山機械學專家，他們之中的蘇聯科學院通訊院士阿·斯·依利切夫，格·姆·埃蘭奇克教授，維·布·烏曼斯基等人都以其自己的勞動而使礦山機械學達於更高的階段。

在透平機理論的發展中，俄羅斯科學家具有很多的成就。離心式輪的基本方程式便是俄羅斯科學院院士爾·愛略爾在1754年提出的。莫·莫·費道羅夫，阿·普·葛爾曼，格·弗·普勞斯庫拉等院士及格·姆·埃蘭奇克教授都深入地發展了透平機的理論。根據恩·耶·儒考夫斯基教授——空氣動力學及飛機結構學經典著作的作者——的渦流理論，蘇維埃科學家在蘇聯中央氣流學研究院中創立了軸流式通風機的理論及其合理的構造，並且，首先在莫斯科地區將這種新型通風機運用於世界上最優良的通風設備中，而後，在很短的時期內，這種通風機亦被運用在礦山工業中。在我們的國家裏設計並製造了世界上最優良的離心式水泵，並且還研究了螺旋式水泵的理論和構造。

礦井壓風設備理論的發展，應當歸功於蘇聯科學院通訊院士阿·斯·依利切夫和阿·普·葛爾曼院士等人的工作。這種機械的很多複雜的理論問題都被我們的同胞卓越的解決了。莫·莫·費道羅夫院士曾經擬定了礦井空氣導管合理設計的基本原理。

礦山機械學最複雜的問題——現代提昇設備的理論，已完全被我們的科學家研究過了。

莫·莫·費道羅夫在其初期著作之一的「根據通風機的特性曲線對於最通行的礦山通風機類型的比較」（1910年）一書中，首先在礦山透平機的理論上，指出了根據特性曲線的性質研究透平機的唯一正確的方法。

1913年莫·莫·費道羅夫教授提出了提昇系統的基本動力方程式，並且提出了解決提昇設備設計問題的分析基礎。莫·莫·費道羅夫在1913年以及維·斯·馬卡洛夫和格·姆·埃蘭奇克教授在1926年研究了提昇系統平衡的基本原理。

在1925—1930年間，維·布·烏曼斯基教授，阿·普·葛爾曼院士，蘇聯科學院通訊院士阿·斯·依利切夫以及弗·恩·施克拉爾斯基和格·姆·埃蘭奇克教授作出關於求得提昇機最有利的動力工作性能的研究，這使得我們礦山機械製造工廠的設計機構和製造部門能夠實現提昇設備的規格統一和標準化，並能夠創造供礦井用的最有利的設備類型。在此時期，特別是在較後的年月中，由於提昇機電動設備的複雜化和其動力的增大，關於操縱及保險器械的問題，關於提昇機操縱自動化的問題都已成為十分重要的問題，後一種問題，最初是在維·布·烏曼斯基教授及維·斯·杜林工程師的工作中得到深入的研究，以後我們的很多礦山工作者，電氣人員及機械製造者也都從事過這種研究。

在蘇聯科學院的礦業研究所，在莫斯科礦業研究所以及在馬開葉夫斯基科學研究院中，皆曾完成了對於新型最現代化的提昇設備部件——提昇盛器、鋼絲繩、防墜保險器（罐卡）等的研究和創造工作。在提昇盛器方面，應當提到在蘇聯科學院通訊院士阿·斯·依利切夫領導下所完成的工作，在鋼絲繩方面——阿·恩·金尼克院士，阿·什·洛克新及維·阿·茨維特克夫的工作，在防墜保險器方面——普·弗·和爾·維·巴甫洛夫及阿·普·葛爾曼和恩·維·費拉多夫院士的工作，在提昇機部件計算方面——榮獲斯大林獎金的布·爾·達維多夫教授的工作等等。

著名的礦山工作者莫·莫·費道羅夫院士在給他的學生、朋友及同事的信中寫道：

「勇敢地工作吧！像我們天才的導師斯大林同志教導的一樣，要

更勇敢地運用最新的和最好的採煤技術，要幫助礦工們生產更多的煤炭，讓黑色黃金的巨流自不愧為最進步人民——蘇聯人民，勝利者人民——的機械化礦場中連續不斷地流出吧！」

在我們的國家裏，理論研究是與實際，與國民經濟的需要緊密地聯繫着的。由於這個緣故，在斯大林五年計劃的年代裏，在蘇聯的機械製造工廠中已出產了世界上最好的煤礦工業用的機械。

在和平建設和偉大的衛國戰爭的年代裏，我們的通風機，水泵，壓縮機和提昇機對於蘇聯礦井產量的增長起着很大的作用；這些機械還給我們英雄的礦工們以最大的幫助，使他們能以極大的速度進行戰後的恢復工作，這種速度是工程歷史上從來未有過的。我們的礦山機械師在製造新的水泵和提昇機方面的卓越成就，以及在頓巴斯礦井排水的工作組織方面的出色的成績，都已榮獲了斯大林獎金。

由於我們科學家、礦業革新者的努力，礦山機械學已成為真正的斯大林的科學，緊密地與實際聯繫着；並且，由於在斯大林同志領導下和我們祖國全體勞動人民共同向着共產主義光輝頂點前進的廣大礦工羣衆的支持，礦山機械學已經服務於社會主義的礦山工業中。

第一篇 礦井通風設備

第一章 透平機的理论基礎

§ 1. 透平機的分類，動作原理及表明其工作特性的諸因素

在礦井通風中，我們唯一地使用透平式機械（透平機）——具有葉（葉片）輪的機械。

透平機按照用途分爲：1)原動機——將流體（液體，氣體）的能轉變爲機械能（透平），2)工作機械——利用原動機的機械能以輸送流體（通風機，水泵）或壓縮氣體（透平式壓縮機）。在礦井中實際使用第二類機械。

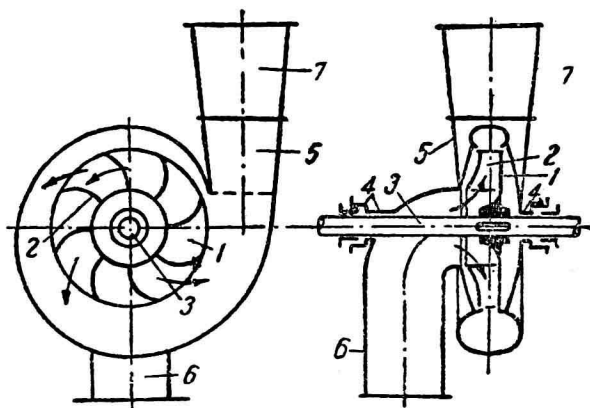


圖 2 單面吸入的離心式單級透平機

按照構造及流體對工作輪軸線的運動特點，透平機分爲：1)離心式及2)軸流式（螺旋式）；二者皆用於礦井實際中。

離心式透平機（圖2）是由工作輪1（具有葉片2並裝於軸3上），軸承4，螺旋形擴散器5，吸入口6及錐形擴散器7（在水泵

中不使用擴散器 7) 所組成。

輪照箭頭方向轉動時 (圖 2)，葉片 2 使流體亦發生運動，並且，由於離心力的作用，流體由輪的中心被拋至輪緣。葉輪中心處產生真空，在大氣壓力作用下的流體即連續進入輪內，然後流體攜帶儲存的靜能和動能又自此流出。藉助於逐漸擴張的螺線形擴散器，流體得以保持一自然的軌道並使其一部分動能轉變為靜能，即變為壓力——壓頭，此壓力在錐形擴散器中將更為增大。

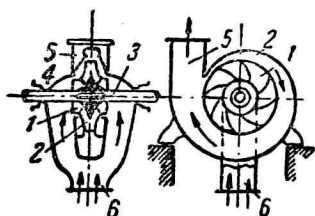


圖 5 雙面吸入的離心式單級透平機

以上所述的透平機是單面吸入的，即流體自透平機的一面進入動輪。為了增加流量，我們採用雙面吸入的透平機，即流體自兩面進入 (圖 3，符號與圖 2 相同)。這些透平機都有一個工作輪，即為單級透平機。透平機有時在同一軸上具有數個工作輪，即為多級透平機。為了增加流量，我們使用並聯式多級透平機，在此種透平機中，每一輪皆吸入流體並將流體向外拋出。為了增加壓力，我們採用串聯式多級透平機，其中，流體自外面進入第一個輪後，連續流過所有的輪，然後自末一個輪流出到接管 5 中 (圖 4，符號與圖 2 相同)。

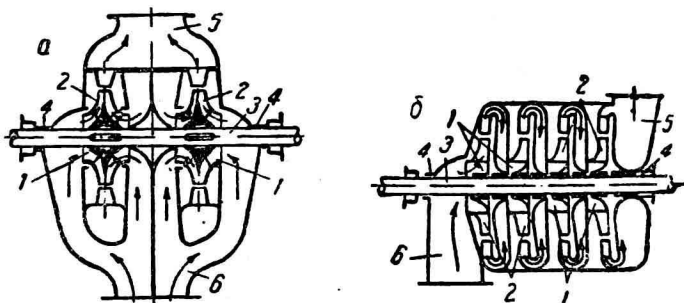


圖 4 並聯式(a)及串聯式(b)工作輪的離心式透平機

軸流式透平機 (圖 5) 是由裝在軸 2 上的殼狀工作輪 1，輪葉 3 和外殼 4 組成。工作輪轉動時，流體順輪之轉軸平行線運動 (由此得到軸流式透平機的名稱)；在輪之進口處產生真空，在輪內則產生壓

力。以上所述的軸流式透平機是單級的。和離心式的一樣，軸流式透平機也有多級的——通常為串聯式。除構造上的不同外，離心式及軸流式透平機的區別還在於：在前者，流體沿輪之軸線進入輪內並順着輪之轉動平面流出，在後者，流體沿輪之軸線運動。

透平機工作特性有：

1. 流量——供給量或消費量 Q ，即透平機單位時間內輸送流體的數量，以體積（立方公尺/秒，立方公尺/分，立方公尺/時）或重量（公斤/秒，公斤/分，公斤/時）的單位表示之。

2. 壓力——透平機產生的壓力 H 或 h 。壓力之計量單位取為液體（水、水銀、酒精等）柱高或物理氣壓及工程氣壓。

物理氣壓——即在海平面上 0°C 時大氣的平均壓力，等於 10 333 公斤/平方公尺，對應的水銀柱高為 760 公厘，水柱高為 10.33 公尺。

工程氣壓——這種壓力等於 10 000 公斤/平方公尺（或 1 公斤/平方公分），對應的水銀柱高為 736 公厘，水柱高為 10 公尺。

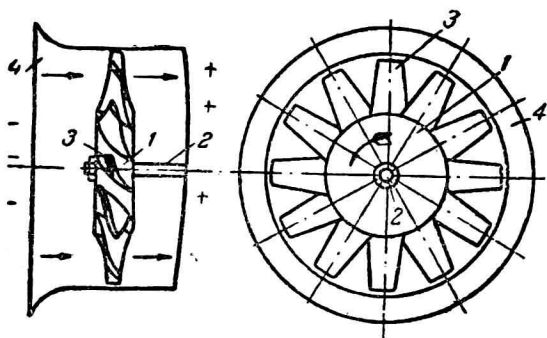


圖 5 軸流式透平機

用水力學原理，液體柱高 H 與其比重或反比，可將一種液體柱高換算為另一種液體柱高：

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{\gamma_2}{\gamma_1} \quad (1)$$

氣壓差——通風機產生之壓力差，用差壓計按公厘水柱（1公厘水柱=1公斤/平方公尺）計量之，或用精密氣壓表（按公厘酒精柱，再換算為公厘水柱）計量之。

低於大氣壓力的壓力用真空計測量之，而大氣壓力——用氣壓計，高於大氣壓力的壓力——用壓力計。前兩種儀器以公厘水銀柱標示壓力，而後者——以工程氣壓標示。真空計標示大氣壓力超出被測量壓力的大小，因此，在求絕對壓力時必須自氣壓計的讀數中減去真空計的讀數。壓力計標示被測量壓力超出大氣壓力的值，因此，在求絕對壓力時必須將壓力計的讀數與氣壓計的讀數相加。用氣壓計量的絕對壓力，以符號氣壓-絕對 (at_a) 表示之，而超出壓力，即壓力表之讀數——以氣壓-表計 (at_u) 表示之

3. 功率 N ——透平機所需的功率，在蒸汽原動機，以馬力計量之；而在電力原動機，以瓩計量之，並且 1 馬力=75 公斤公尺/秒；1 瓩=102 公斤公尺/秒；1 馬力=0.736 瓩。

4. 效率 η ——透平機的效率就是輸送流體的理想功率與實際上透平機所需功率的比值。

5. 轉數 n ——即透平機工作輪單位時間內（普通為一分鐘）的轉數。

§ 2. 透平機的基本方程式和單獨特性曲線

空氣和水按其本身性質來說雖然不同，但是通風機和水泵的工作過程却是相似的，因為這兩種機械的工作過程可以認為是在流體密度不變的情況下進行的：實際上水是不可壓縮的（壓力增加 1 氣壓時，水的體積僅縮減原體積的 0.00005 倍），空氣的密度也可以當作是不變的（通風機產生的最大壓力通常不超過 400 公厘水柱）。

透平機的流量 Q 和其產生的理論壓力 H_T （即假定透平機中無有害阻力存在時）間的關係可按下述理由求得（圖 6）。流體沿吸入接管以速度 c_0 進入輪內；然後它從軸線方向轉為半徑方向，並且在輪之內圓周（直徑為 D_1 ）處，流體以絕對速度 c_1 進入其中。因在此處輪之圓周速度等於 u_1 ，故速度 c_1 分解為速度 u_1 及流體在轉輪中運動的相