

科學圖書大庫

船用螺槳設計

編著者 丁錫鏞

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

船用螺槳設計

編著者 丁錫鏞

徐氏基金會出版

我們的工作目標

文明的進度，因素很多，而科學居其首。科學知識與技術的傳播，是提高工業生產、改善生活環境的主動力。在整個社會長期發展上，乃對人類未來世代的投資。從事科學研究與科學教育者，自應各就專長，竭智盡力，發揮偉大功能，共使科學飛躍進展，同將人類的生活，帶進更幸福、更完善之境界。

近三十年來，科學急遽發展之收穫，已超越以往多年累積之成果。昔之認為若幻想者，今多已成為事實。人類一再親履月球，是各種科學綜合建樹與科學家精誠合作的貢獻，誠令人無限興奮！時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就科學人才，促進科學研究與發展，允為社會、國家的基本使命。培養人才，起自中學階段，此時學生對基礎科學，如物理、數學、生物、化學，已有接觸。及至大專院校專科教育開始後，則有賴於師資與圖書的指導啟發，始能為蔚為大器。而從事科學研究與科學教育的學者，志在貢獻研究成果與啟導後學，旨趣崇高，彌足欽佩！

本基金會係由徐銘信氏捐資創辦；旨在協助國家發展科學知識與技術，促進民生樂利，民國四十五年四月成立於美國紐約。初由旅美學人胡適博士、程其保博士等，甄選國內大學理工科優秀畢業生出國深造，前後達四十人，惜學成返國服務者十不得一。另曾贈送國內數所大學儀器設備，輔助教學，尚有微效；然審情度理，仍嫌未能普及，遂再邀請國內外權威學者，設置科學圖書編譯委員會，主持「科學圖書大庫」編譯事宜。以主任委員徐銘信氏為監修人，編譯委員林碧銓氏為編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱工作。「科學圖書大庫」首期擬定二千種，凡四億言。門分類別，細大不捐；分為叢書，合則大庫。為欲達成此一目標，除編譯委員外，本會另聘從事

翻譯之學者五百餘位，於英、德、法、日文出版物中精選最近出版之基本或實用科技名著，譯成中文，供給各級學校在校學生及社會大眾閱讀，內容嚴求深入淺出，圖文並茂。幸賴各學科之專家學者，於公私兩忙中，慨然撥冗贊助，譯著圖書，感人至深。其旅居國外者，亦有感於爲國人譯著，助益青年求知，遠勝於短期返國講學，遂不計稿酬多寡，費時又多，迢迢乎千萬里，書稿郵航交遞，其報國熱忱，思源固本，至足欽仰！

今科學圖書大庫已出版一千餘種，都二億八千餘萬言；尙在排印中者，約數百種，本會自當依照原訂目標，廣續進行，以達成科學報國之宏願。

本會出版之書籍，除質量並重外，並致力於時效之爭取，舉凡國外科學名著，初版發行半年之內，本會即擬參酌國內需要，選擇一部份譯成中文本發行，惟欲實現此目標，端賴各方面之大力贊助，始克有濟。

茲特掬誠呼籲：

自由中國大專院校之教授，研究機構之專家、學者，與從事工業建設之工程師；

旅居海外從事教育與研究之學人、留學生；

大專院校及研究機構退休之教授、專家、學者

主動地精選最新、最佳外文科學名著，或個別參與譯校，或就多年研究成果，分科撰著成書，公之於世。本基金會自當運用基金，並藉優良出版系統，善任傳播科學種子之媒介。尙祈各界專家學人，共襄盛舉是禱！

徐氏基金會 敬啓

中華民國六十四年九月

序 言

近年來由於造船工業之突飛猛進，船型及船速之日益增大，及螺旋負荷之漸次增鉅，而使螺旋設計之問題益形重要。

船舶設計包含船壳、螺旋、及主機三大部份，本書之宗旨在於探討螺旋設計方面的問題；雖然在這方面的發展已有多年的歷史，但並非已臻完善之地步，仍有待多方面之研究。

編著一本工程上實用性及理論性兼顧之書籍，誠非易事，錫鏞不揣才疏學淺，懷着滿腔熱忱，勉力以赴，歷時數月，夙夜匪懈，現幸脫稿；但冀本書能對一般螺旋設計之工程人員有所裨益，於願已足；至於書中謬誤之處恐所難免，尚望諸賢達先進賜予指正爲荷！同時，對徐氏基金會之鼎力支持，致以最高之謝忱！

丁錫鏞 謹誌於台北

國立台灣大學造船工程研究所
中華民國六十四年十二月

目 錄

序 言

第一章 船用螺旋槳概論

- § 1-1 緒論..... 1
- § 1-2 船用螺旋槳之發展趨勢... 6
- § 1-3 有關螺旋槳之名詞術語及
定義.....15
- § 1-4 船用螺旋槳之設計觀點...17

第二章 船之阻力與推進

- § 2-1 船體阻力與推進之概說
.....22
- § 2-2 船體阻力之種類.....22
- § 2-3 摩擦阻力.....25
- § 2-4 黏性阻力.....33
- § 2-5 波浪阻力.....34
- § 2-6 空氣阻力.....35
- § 2-7 附屬物阻力.....36
- § 2-8 船模試驗及其理論依據
.....38
- § 2-9 船模阻力試驗及其數據
表示法.....44
- § 2-10 船舶阻力之估算方法
.....49
- § 2-11 船舶阻力之數學分析
.....65
- § 2-12 推進效率之組成.....74

第三章 螺旋推進器之理論

- § 3-1 概說.....84
- § 3-2 動量理論.....84
- § 3-3 葉片元素理論.....87
- § 3-4 螺旋環流理論.....94
- § 3-5 有限機翼理論.....102

第四章 模型試驗

- § 4-1 概說.....123
- § 4-2 單獨螺旋槳試驗.....123
- § 4-3 船模自推試驗.....128
- § 4-4 水槽試驗.....132

第五章 螺旋槳系列資料與設計圖表

- § 5-1 螺旋槳系列資料.....137
- § 5-2 T.M.B. 泰勒標準螺旋
槳系列.....137
- § 5-3 A.E.W. (Gawn) 標
準螺旋槳系列.....139
- § 5-4 N.S.M.B. (Troost)
標準螺旋槳系列.....140
- § 5-5 K.C.N. 標準螺旋槳系列
.....142
- § 5-6 N.S.M.B. (Van
Manen) 螺旋槳系列.....144
- § 5-7 N.P.L. 系統螺旋槳系列
.....145
- § 5-8 B- δ 圖表.....153
- § 5-9 K-J 圖表.....163

§ 5-10	μ - σ 圖表	181
§ 5-11	C-J 及 C- λ 圖表	181
§ 5-12	最佳直徑及葉片面積圖表	182

第六章 螺槳性能及推進資料

§ 6-1	螺槳性能之比較	187
§ 6-2	非標準系列之修正因子	191
§ 6-3	葉片厚度之修正	191
§ 6-4	葉片斷面形狀及螺距修正	193
§ 6-5	轂徑修正	198
§ 6-6	阻力及推進試驗報告	199
§ 6-7	全比例試航資料	216
§ 6-8	推進資料表	218
§ 6-9	推進因子資料	219

第七章 葉片斷面

§ 7-1	葉片斷面之形狀	225
§ 7-2	翼型試驗	235
§ 7-3	升力及拖曳力之計算	237
§ 7-4	壓力分佈之計算	243
§ 7-5	選取葉片斷面之考慮因素	250

第八章 空 蝕

§ 8-1	概說	256
§ 8-2	空蝕之基本過程與類別	256
§ 8-3	空蝕參數	259
§ 8-4	空蝕之尺度效應	264
§ 8-5	N.S.M.B. 空蝕圖表	265

§ 8-6	Burrill 空蝕圖表	266
§ 8-7	Lerbs-Schoenherr 空蝕圖表	269
§ 8-8	Gawn 空蝕圖表	270
§ 8-9	K.C.A. 標準系列空蝕評估	271
§ 8-10	N.S.M.B. (van Manen) 系列空蝕評估	273
§ 8-11	葉厚及葉片數修正係數	273
§ 8-12	葉片斷面空蝕圖表	276
§ 8-13	空蝕臨界轉速計算法	281

第九章 螺槳理論設計方法之應用

§ 9-1	螺槳推進理論之應用	292
§ 9-2	均勻流中最適推力負荷分佈之螺槳設計	292
§ 9-3	均勻流中任意推力負荷分佈之螺槳理論設計	300
§ 9-4	非均勻流中螺槳理論設計之應用	302
§ 9-5	升力修正係數	303
§ 9-6	Hill 氏設計方法	307
§ 9-7	van Manen 氏設計方法	308
§ 9-8	Eckhardt - Morgan 設計方法	310
§ 9-9	一些典型研究用螺槳之設計	311
§ 9-10	螺槳設計計算	322
§ 9-11	螺槳性能計算	327

第十章 螺槳強度分析

VI

- § 10-1 重量及極慣性力矩···341
- § 10-2 螺槳材料之機械性質···
·····343
- § 10-3 葉片斷面之幾何特性···
·····344
- § 10-4 葉片應力方程式——零
傾斜度·····346
- § 10-5 葉片應力方程式——傾
斜度影響·····350
- § 10-6 葉片應力計算·····352
- § 10-7 Taylor 氏強度評斷基
準·····354
- § 10-8 螺槳尺寸或局部應力之
考慮·····357

第十一章 螺槳材料

- § 11-1 概說·····360
- § 11-2 螺槳材料應具備之條件
·····360
- § 11-3 螺槳材料之種類···362
- § 11-4 螺槳材料——青銅類···
·····362
- § 11-5 螺槳材料——鑄鐵類···
·····369
- § 11-6 螺槳材料——鋼類·370
- § 11-7 螺槳材料——合金類···
·····372
- § 11-8 其他之螺槳材料——
F.R.P. ·····375

第十二章 螺槳設計

- § 12-1 設計概要·····376
- § 12-2 設計方式·····377

- § 12-3 螺槳之數目·····377
- § 12-4 Seaton 氏公式·····378
- § 12-5 螺槳拱內螺槳之位
置·····379
- § 12-6 空蝕現象之判定···379

第十三章 螺槳幾何與螺槳圖

- § 13-1 葉片之近似展開···384
- § 13-2 弦長修正·····385
- § 13-3 葉片斷面之幾何形
狀·····388
- § 13-4 葉片輪廓線及葉片
後掠資料·····393
- § 13-5 螺槳圖之繪製·····395

第十四章 螺槳設計實例

- § 14-1 設計實例摘要·····402
- § 14-2 設計實例A——單螺槳
貨船——螺槳A.8 403
- § 14-3 設計實例B——雙
螺槳旅客船——螺槳···
B.9·····409
- § 14-4 設計實例C——雙螺槳
海峽船——螺槳C.10
·····416
- § 14-5 設計實例D——單螺槳
拖網漁船——螺槳D.11
D.12 及 D.13·····420
- § 14-6 設計實例E——單螺槳
貨輪——螺槳E.14···
·····427
- § 14-7 設計實例F——雙螺槳
核子動力船——螺槳F

15	432	§ 16-3	螺殼對速度場之影響...	481
第十五章 特殊螺槳之設計		§ 16-4	對稱分佈螺旋渦動面之速度場.....	493
§ 15-1	擺線螺槳之設計.....	第十七章 螺槳升力面理論		
§ 15-2	可變螺距螺槳之設計.....	§ 17-1	概說.....	497
	446	§ 17-2	升力面系統及螺槳流之描述.....	497
§ 15-3	噴嘴螺槳之設計.....	§ 17-3	升力面上誘導速度之分佈.....	498
第十六章 螺槳升力線理論		§ 17-4	誘導速度分佈及葉片元素誘導平均線之計算.....	501
§ 16-1	概說.....			
§ 16-2	對稱分佈螺旋渦動線之速度場.....	索引		507
	468			

第一章 船用螺槳概論

§ 1—1 緒 論

近年來，世界造船工業與技術之發展極快，國內造船工業亦日益進展，油輪、貨輪、漁船等之建造噸位皆有逐年增加的趨勢。綜觀船舶發展的方向有二：其一是體積的增大；其二是速度的增快。在這兩種情況下，螺槳負荷均將增加，若想得到理想的推進效率，必須在螺槳設計方面下功夫。

船用螺槳是一種推進設備，可將船舶主機大部份的馬力轉變成推進船舶的推力。典型的船用螺槳示於圖 1-1。

船用螺槳的運動為旋轉及沿旋轉軸方向的平移的組合。它具有數葉扭曲狀相同的葉片（一般為 3 至 5 葉），圍繞著螺轂（Boss or hub）等距分佈。葉片的傾斜（Inclination）及扭曲（Twist）定義為基準面（Datum plane）（垂直於旋轉軸）與固定基準線（Datum line）（相對於葉片為固定）間的夾角。由旋轉軸的固定半徑系列可定出一組螺距（Pitch）基準線，而基準面與螺距基準線間的夾角稱之為螺距角（Pitch angle） φ 。螺距角隨徑向位置而變。典型的螺距角在接近螺轂處為 50° ，接近葉尖處為 15° 。傾斜（Rake）基準線（通常為直線）與通過旋轉軸的徑向平面的每一螺距基準線均相交。傾斜基準線與基準面間的夾角定義為傾斜角（Rake angle） φ_R 。傾斜角一般在 0° 到 15° 之間。如果傾斜基準線為一直線，則傾斜角通常為一常數。雙螺槳（Twin-screws）的傾斜角一般比單螺槳（Single-screw）者為小。

單螺槳船的螺槳位於船壳前後向垂直中心面上的船艉螺槳拱部（Stern aperture），其旋轉軸近乎水平。雙螺槳船的螺槳亦位於船艉，分居船壳垂向中心面的左右兩側，其旋轉軸在水平及垂直方向均具有斜度。二主動軸（Driving shaft）由托架（Bracket）支撐。當單螺槳船前進運動時，向前觀之，如果螺槳為順時針旋轉，則謂之“右旋螺槳”；如果反時針旋轉，則謂之“左旋螺槳”。雙螺槳船的螺槳，通常一為左旋，一為右旋。

茲以某一螺槳的環形葉片元素（Annular blade element）來考慮螺槳作用的原理，參圖 1-2。圖中示出在半徑 r 處，寬度為 dr 的環形元素的受力狀況。 Q 為主動軸作用於螺槳的轉矩， n 為螺槳及主動軸的轉速。由於流體的反作用力，葉片元素會受到總作用力 dR 。 dR 可分為兩個分量，一為切

2 船用螺旋設計

船用螺旋名稱

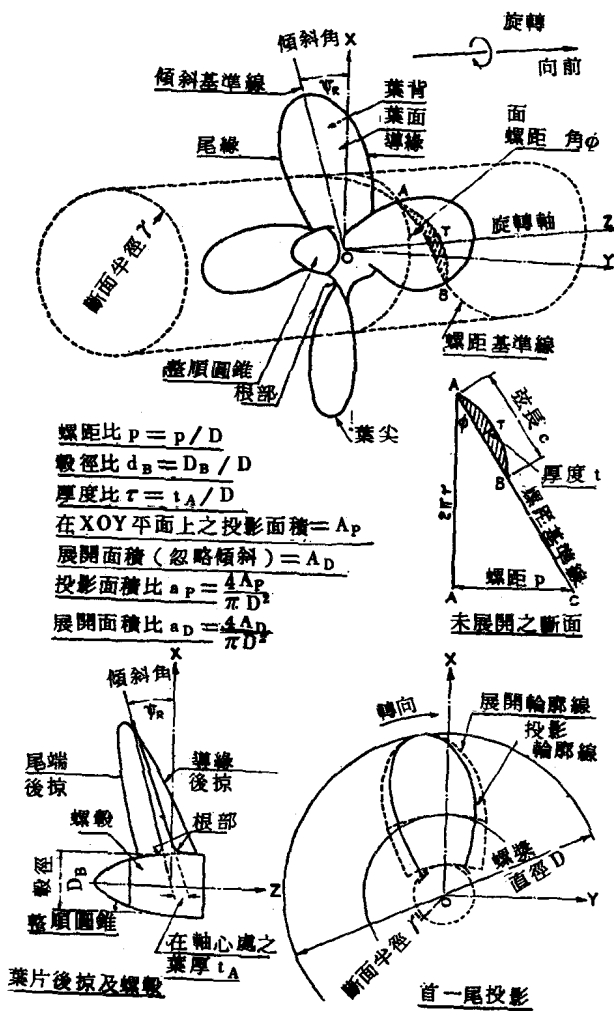


圖 1-1 船用螺旋名稱

向轉矩作用力 $\frac{dQ}{rB}$ (B 為葉片數), 其作用方向與旋轉方向相反; 一為推力 $\frac{dT}{B}$, 平行於旋轉軸, 與船前進方向相同。所有切向轉矩作用力對於葉片元

素所產生的總力矩等於 Q 。作用於所有葉片元素的總推力等於推動螺旋槳以 v_a 前進速度 (Speed of advance) 向前運動的推力 T 。

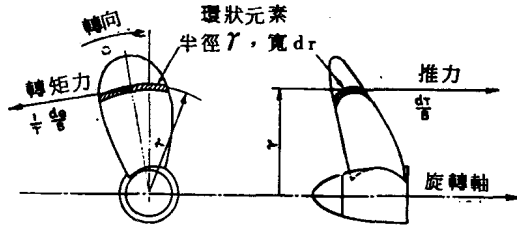


圖 1-2 環狀葉片斷面元素之推力及轉矩力

環形葉片元素的受力圖 (Force diagram) 及速度圖 (Velocity diagram) 可以展開於與旋轉軸平行的切線平面上，示於圖 1-3。除了圖中所示的軸向及切向速度外，尚有誘導速度 (Induced velocity)。誘導速度的方向約垂直於合速度 (Resultant velocity) 的方向。切向速度與合速度的夾角謂之流體動力螺距角 (Hydrodynamic pitch angle) β_i 。流體動力螺距角與幾何螺距角 (Geometric pitch angle) 間之夾角謂之入射角 (Angle of

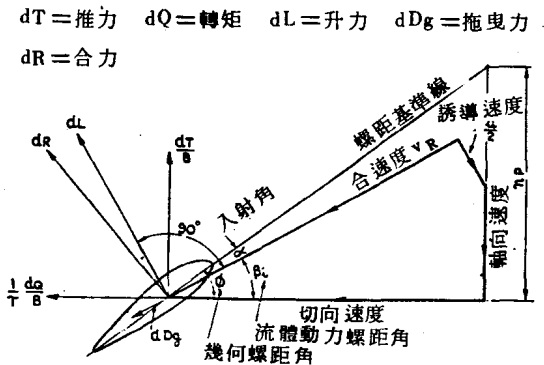


圖 1-3 伸展葉片斷面元素 - 速度及作用力圖

4 船用螺旋設計

incidence) α 。總作用力可分為軸向及切向兩個分量：一為拖曳力 (Drag force) dDg ，反向於葉片元素的運動方向，一為升力 (Lift force) dL ，垂直於葉片元素的運動方向。

升力的大小與局部壓力的變化有極密切的關係。通常在螺葉表面 (Face) 產生高壓，螺葉背面 (Back) 產生低壓。典型的壓力分佈圖示於圖 1-4。壓力的分佈不但會影響升力，也會影響螺槳的空蝕 (Cavitation)。所謂空蝕，簡而言之，即為由於空泡 (Cavity) 的形成所引起的流體崩潰 (Breakdown) 的現象，它通常發生於低壓區。

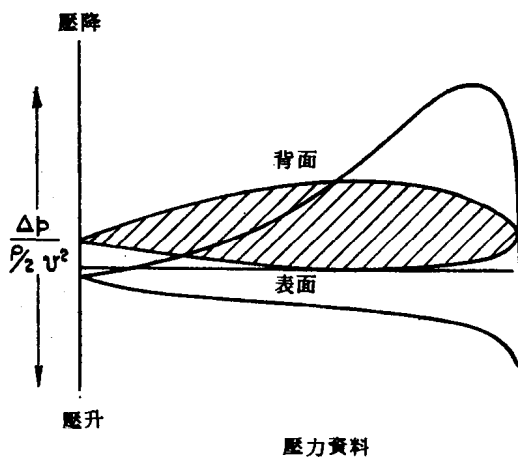


圖 1-4 伸展葉片斷面元素 - 壓力分佈圖

船舶主機所發生的馬力稱為軸馬力 (Shaft horsepower) SHP，經由旋轉軸 (Rotating shaft) 或齒輪聯結器 (Gear coupling) 而傳至主動軸。螺槳的作用在於接收此軸馬力，並期能儘量地減少軸承與齒輪間的傳動損失 (Transmission losses)，而將能量轉變為推力馬力 (Thrust horsepower) THP。軸馬力扣除傳動損失即為輸出馬力 (Delivered horsepower) DHP。推力馬力係螺槳推動船舶所作用的馬力，相當於螺槳在前進速度 v_A 時軸向推力 (Axial thrust) 所作用的馬力。輸出馬力 DHP 及推力馬力 THP 的定義如下：

$$\text{DHP} = \frac{2\pi nQ}{550} \quad (1-1)$$

$$\text{THP} = \frac{T v_A}{550} \quad (1-2)$$

螺槳效率 (Screw efficiency) η 為推力馬力與輸出馬力的比值，即

$$\eta = \frac{\text{THP}}{\text{DHP}} = \frac{T v_A}{2\pi nQ} \quad (1-3)$$

螺槳的前進速度 v_A 通常與船速 v_s 不同。由於螺槳係作用於船艉後的跡流場 (Wake field) 中，而跡流速度的大小及方向均為變數。為簡化計，茲先假設跡流速度為一常數，等於 $v_s - v_A$ 。William Froude 氏及 Taylor 氏曾分別定義跡流係數 (Wake fraction) w_F 及 w 如下：

$$w_F v_A = w v_s = v_s - v_A \quad (1-4)$$

即

$$v_A = \frac{v_s}{1 + w_F} = v_s (1 - w) \quad (1-5)$$

欲使船舶達到要求的速度，則必須輸以相當的馬力。此需求馬力隨下列因子而異：

- ① 船壳排水量 (Hull displacement)，
- ② 船壳表面的狀況，
- ③ 海面及氣候狀況。

馬力的評估與已知排水量、理想試航狀況下的需求馬力有關。所謂理想試航狀況 (Ideal trial condition) 即為船壳表面潔淨之船舶在平靜海域以固定速度直線航行的狀況，而忽略潮流及風的影響。如果不用螺槳而改以拖繩來拖船，則產生相同速度所需的拖力將異於螺槳在相當的前進速度所作用的推力。其原因是由於船壳的存在會影響螺槳的操作性能。

拖曳船體所需要的馬力稱之為有效馬力 (Effective horsepower) EHP，定義為

$$\text{EHP} = \frac{R v_s}{550} \quad (1-6)$$

式中， R 為克服船壳阻力及船艙 (Superstructure) 空氣阻力所需的作用力； v_s 為船速。

推力馬力與有效馬力的關係為

$$\text{EHP} = \xi_H \text{THP} \quad (1-7)$$

式中， ξ_H 為船壳因子 (Hull factor)。

6 船用螺槳設計

推進效率 (Propulsive efficiency) η_P 或準推進係數 (Quasi-propulsive coefficient) QPC, 爲有效馬力對輸出馬力的比值, 即

$$\eta_P = \frac{EHP}{DHP} = \frac{R v_s}{2 \pi n Q} \quad (1-8)$$

即

$$\eta_P = \xi_H \frac{THP}{DHP} = \xi_H \eta$$

§ 1—2 船用螺槳的發展趨勢

由於船在水中運動具有阻力, 所以船舶的推進必須藉外力來克服其阻力, 並利用流體的反作用力使船舶向前或向後運動。

船舶的發展包括船壳、主機、推進器三方面。推進器之良莠關係著船舶整體性能的優劣; 因此, 推進器的發展在整個船運發展史上佔着舉足輕重的地位。

由太古至今, 船舶的推進變遷及發達概況, 依時代的順序可區分其過程如下:

1. 依靠人力操動槳櫓之推進: 此種方式起源於太古時代, 目前仍經常使用於小型舟、艇及舢板等。

2. 依靠帆利用風力之推進: 此種方式起源於西曆紀元前六、七百年之希臘全盛時代, 目前仍有使用於小型遊樂艇或仿古探險用船隻。

3. 依靠機械力之推進: 此種方式據說早於 A.D. 1543 年, 西班牙人 Blascode Gray 即將蒸汽操作的機械裝置於 200 載重噸之船。到 18 世紀中葉, James Watt 氏發明蒸汽機後, 始實際將機械力用於船舶之推進。一般言之, 船舶的機械推進動力包括下列四種:

- ① 使用往復蒸汽機 (Reciprocating Steam Engine)、汽渦輪機 (Steam Turbine) 等之蒸汽機。
- ② 使用柴油機 (Diesel Engine)、燃氣渦輪機 (Gas Turbine) 等之內燃機。
- ③ 電馬達 (Electric Motor) 及藉汽渦輪機或柴油機帶動發動機之電力推進。

④核子動力。

目前船舶的推進系統幾乎全部採用機械力作為推進的動力。上述的各種推進方式，其選擇應視機器的大小、重量、價格、可靠性、使用年限、溫度及噪音、燃料種類、消耗量以及是否能與推進器相配合等為條件。

船用螺槳為船舶推進器的一種。船舶推進器即為利用以上的動力使水流發生動量變化而產生推力之工具，其種類略有：

1. 槳(Oar)·櫓(Scull)： 使用於小型舟、艇及舢板。

2. 明輪(Paddle Wheel)： 此型推進器首先由英人 Lord Dundas 使用於 Charlotte Dundas 號蒸汽機船。在船艏或舢側部裝設有划板之車輪，藉其旋轉而產生推力。圖 1-5 為使用於客輪及拖船之明輪外形，詳細結構和原理見文獻〔6〕。不過，明輪在風浪中易於損壞，而使划水效能減低，阻力增大，故至目前為止，各國在海洋航行的船舶仍無使用明輪者，而僅用於內河湖泊之遊覽船上。

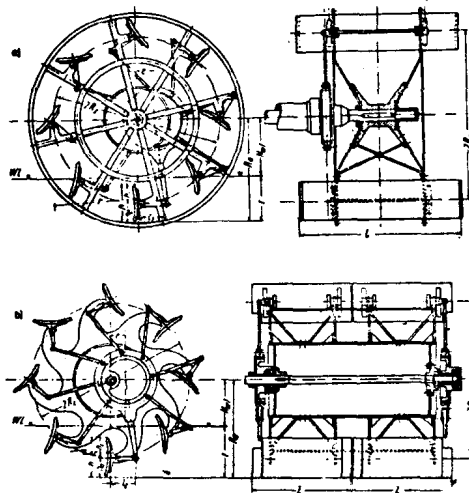


圖 1-5 明輪 a. 使用於客輪之明輪，b. 使用於拖船之明輪

明輪推進器的缺點如下：

8 船用螺旋設計

- ①轉數不可過高。
- ②明輪的效率隨船吃水 (Draught) 而變。
- ③船搖動甚遽時，推進效率會降低，且易導致明輪的損傷。
- ④明輪大部份露出水面，易受損傷。

明輪由其構造形式可分為放射狀明輪 (Radial Paddle Wheel) 及垂直狀明輪 (Feathering Paddle Wheel) 兩種。前者又稱為水車型推進器，其構造最簡單，如圖 1-6 所示。後者又稱為搖翼式明輪 (Swaying or Movable

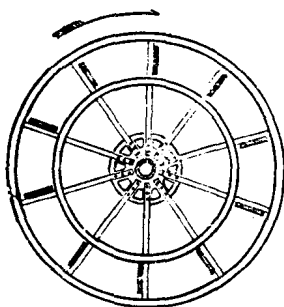


圖 1-6-1 放射狀外輪車

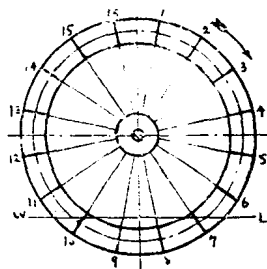


圖 1-6-2 放射狀外輪車作動圖

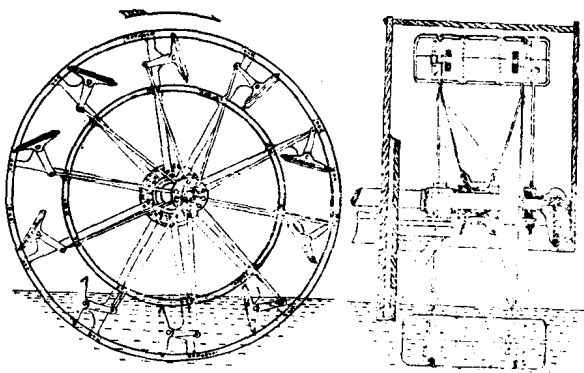


圖 1-7 垂直狀外輪車