

專刊暨經驗交流**船、機、螺槳在運航操控性能運用之探討（二）**田文國¹ 苗林華² 簡光輝³

船舶正常航行時，機、槳配合穩定在點A。當船舶阻力增大時，如果主機油門開度不變，即主機仍按全負荷速度特性曲線1工作，則螺槳特性曲線將由I段移至線II，機、槳配合點由點A沿曲線1左移至點a。這時雖然功率和轉速都有所降低，但點a在等轉矩限制線OA上方，主機處於超轉矩下運行，還容易出現大負荷低轉速運轉現象，使主機工作惡化。此時，如果還要維持原轉速 n_H ，則必須加大油門，使主在超負荷速度特性曲線4上工作，這顯然是不允許的，因為此時機、槳配合點移至點e，主機處於既超功率又超轉矩的嚴重負荷的工况下工作。正確的操作應是採取減小主機油門格數，使主機在部分負荷速度特性曲線2上工作。工作點降到圖示點b以下才是安全的。因此，在船舶阻力增大時，決不可因轉速自動下降而盲目加大油門。有的主機在調速器中裝有轉矩限制器，當船舶阻力增大時會自動降低油門，使工作點移至點b。有些船裝有功率限制裝置，當該裝置起作用時，駕駛室功率限制指示

燈會亮，此時駕駛員不可輕易使用取消功率限制按鈕加速，應使用遙控俾鐘略微減速，以保安全。

船舶阻力減小時，如主機油門開度不變，機、槳配合點A右移至點c。此時，主機雖然在全負荷速度特性曲線1上工作，但功率和轉速都超過標定值，主機處於超轉速工况下進行，這亦不允許。為此，必須減小油門開度，使主機工作於部分負荷速度特性曲線3的點d上，以保證轉速不超過標定值 n_H 。

導致船舶阻力變化的因素很多，可規納為以下幾個方面：

- (1)船舶航次裝載量變化；
- (2)船底污穢；
- (3)船舶在不同氣象條件下航行，如頂風、頂流和大風浪中航行，以及在順風順流中航行；
- (4)船舶在不同航區中航行，如由深水進入淺水區航行，在狹窄航道中航行等。

船舶在各種航行條件下變化的 λ_p 值列表如表2所示：

表2 船舶在各種航行條件下變化的 λ_p 值列表

航行情況	λ_p 值
1、穩定等速航行	常數
2、起航與加速工況	逐漸增大
3、倒俚工況	減少
4、反轉制動過程	由負數逐漸漸變為0
5、船舶轉彎	減小
6、吃水增加(減小)	減小(增大)
7、頂風(順風)	減小(增大)
8、深水(淺水)	增大(減小)
9、海水(淡水)	增大(減小)

2、加速速率控制

加速速率的控制一般包括船舶起航和船舶加速時加速速率的控制。對於駕駛台操縱主機，遙控系統中一般設有：起動邏輯程序在主機負荷為額定功率的30~70%的低負荷運行時，為保證船舶操縱的機動性，設有快加速程序(港內航速油量控制)；在主機負荷為額定功率的70~90%的高負荷時，為保證主機安全運轉，設有程序(Program increasing)加速度程序(至海上全速油量控制)。然而不論是

駕駛員通過遙控俚鐘操縱主機或輪機員通過操縱手柄操縱主機，討論機、槳配合工況變化的性質是一樣的。

船舶起航和加速時間工況都是過渡工況，因船速在變， λ_p 也在不斷改變，所以機、槳配合點不是只在一條推進特性曲線上變化。

(1)船舶起航時的速率控制

船舶起航時有駕駛室要求主機轉速較低(n_1)和較高(n_2)兩種情況，如圖4(a)(b)所示。

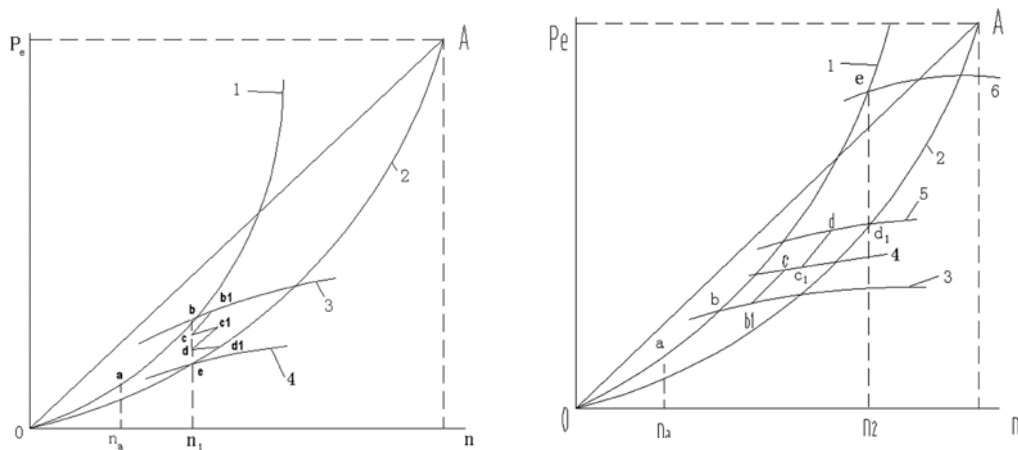


圖4a、b 船舶起航工況：1- $\lambda_p=0$ 時螺旋槳特性曲線；2-穩定航行時螺旋槳特性曲線；3、4、5、6-部分負荷速度特性曲線

要求主機起航轉速較低的操俾方法一般如下：起動主機，當主機轉速到過起動轉速(即點火轉速)點a時，將油門手柄推至與 n_1 相對應的部分負荷速度特性曲線3的油門格數上，於是主機發出功率帶動螺旋槳加速運轉。由於發航瞬間船速為零，所以機、槳配合工作點沿螺旋槳特性曲線1($\lambda_p=0$)迅速上升，至點b暫時穩定。此時，船速開始由零逐漸升高。隨船速增高， λ_p 值便大，螺旋槳特性曲線向右變動，使機、槳配合點沿曲線3右移。由於起動主機時加的油門較大，所以轉速增高開始偏離 n_1 。為了嚴格執行俾令轉速 n_1 ，此時應及時地不斷減小油門格數，以儘量減小 n_1 得偏離量，使機、槳配合點沿 $bb_1cc_1dd_1e$ 折線變化，最後落在點e，並在e點 n_1 下穩定地運轉。點e是部分負荷速度特性曲線4與穩定航行螺旋槳特性曲線2的相交點。

如果駕駛台室要求起航轉速較高，如圖(4b)所示 n_2 ，則要注意不可盲目加大油門，若一下子將調油手柄推到 n_2 所對應的部分負荷速度特性曲線6的油門格數，主機容易發生故障，因為此時機、槳配合點暫時穩定在點e，點e在等轉矩限制特性線OA的上方，主機處於超轉矩下工作。正

確的操俾方法應該是逐級加大油門，使主機轉速逐漸接近 n_2 ，即機槳配合點按 $abb_1cc_1dd_1$ 折線進行，最後落在點 d_1 穩定運轉。要控制主機轉速不要上升過快，特別在暖機不夠充分的情況下，以避免發航過程中主機超負荷。

(2)船舶加速時的速率控制

船舶加速工况與起航工况基本相似，如圖5所示，所不同的是低負荷加速是以港內某一低速開始，而高負荷加速則是以港內全速開始加速。

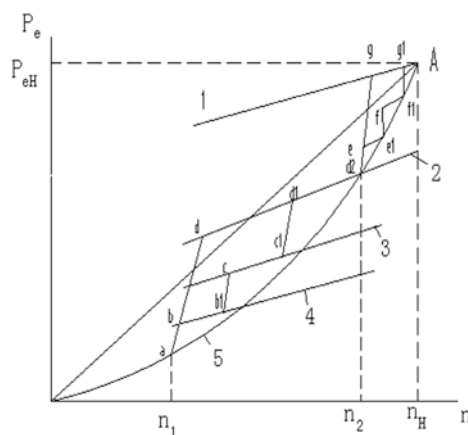


圖5 船舶加速時的工况

港內加速，同樣以轉速 n_1 加速到 n_2 有兩種方法。一是將調油手柄一下子推到與 n_2 相對應的部分負荷速度特性曲線2的油門位置，這時，由於船舶慣性大，油門雖已加大，但船速仍基本維持原航速，所以機槳配合點將沿等航速線a d上升至點d，隨後

隨船速提高， λ_p 增大，再沿曲線2過渡到點 d_2 ，並在 d_2 點以轉速 n_2 穩定工作。但由於該加速過程中可能會有一部分處在等轉矩限制線OA的上方，主機處於超轉矩和大負荷低轉速下運行，容易損傷主機，所以這種操作方法是不可取的。最好的操作方法應是逐級加大油門，使機、槳配合點沿 $abb_1cc_1d_1d_2$ 折線變化。從圖中可以看出，在低負荷時，螺槳特性曲線5與等轉矩限制線OA之間幅度相對較大，所以油門分級可適當大些，轉速提高可較快一些。

從港內全速加速到海上全速，是船舶定速航行時常見的高負荷加速工况，與低負荷加速工况完全一樣，從港內全速工作點 d_2 加速過程按 $d_2ee_1ff_1g_1A$ 折線變化。實際操作時，油門分級越多越好，這樣可使在海上全速工作點A附近的超轉矩工作區大大減小。為使主機熱負荷較緩慢增加，一般加速過程需要30分鐘以上，如果一下子開大油門，或按下負荷程序取消按鈕，讓船速迅速提高，即機、槳配合點沿 d_2gA 變化，則將使主機的工况幾乎都處在超機械負荷的情況下，至使主機產生一系列不良惡果。諸如：可能引起氣缸安全閥跳脫，甚至於氣缸、氣缸頭破裂或損傷

曲軸和軸承；可能使受熱部件產生裂紋；容易引起燃燒不良，排氣冒黑煙；容易引起廢氣渦輪增壓機喘振等。因此非船舶緊急情況，不可輕易按此按鈕。

3、船舶倒俾主機換向時的速率控制

圖6所示為主機換向時螺槳的倒轉特性曲線。曲線1表示船舶全速前進時主機從正俾改為倒俾的運轉情況。船舶全速前進時，機、槳配合點為a(標定工况)。當接到倒俾俾令後，先停止主機噴油，使主機轉速迅速下降，此時因過程比 λ_p 迅速增大轉矩迅速下降，至轉速為60~70% n_H 的點b時，槳的轉矩為零。b點以後，船舶由於慣性幾乎仍在全速前進，而螺槳受水流沖擊產生負轉矩，像水輪機一樣帶動主機仍按正轉方向回轉。這負轉矩用來克服主機運轉部件和軸系的摩擦阻力矩，因而轉速迅速下降，至30~40% n_H 的

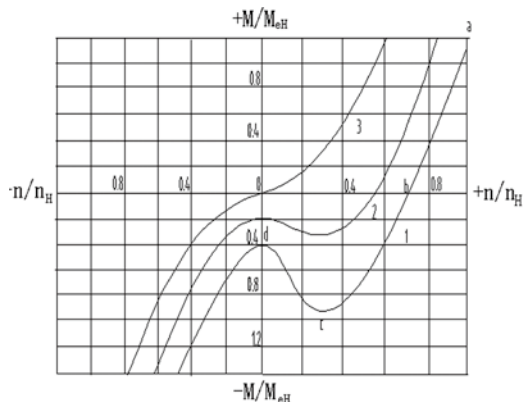


圖6 螺槳倒轉特性

點c時，負轉矩達最大值。

在c點之後，隨轉速下降，負轉矩開始減小。當負轉矩減小到與主機運動部件和軸系的摩擦阻力矩相平衡的點d時，螺旋槳便停止自由轉動。此時主機可以換向並倒俾起動，起動力矩必須大於此時螺旋槳的負轉矩 M_d 才能帶動螺旋槳反轉，產生負推力先對船舶起制動作用。由於此時船舶因慣性仍在前進，因此當倒俾轉速還未到 $40\%n_H$ 時，主機軸系所承受的轉矩就以達到 $120\%M_{eH}$ 。若要使倒俾轉速過到 n_H ，則負轉矩將高過 $4M_{eH}$ 。可見，當船舶以全速前進時，操縱主機以高的倒俾轉速工作是很危險的。圖中曲線2和3分別表示低速和繫泊情況下進行轉向反轉時的轉矩變化。

據上分析，當船舶在全速前進中需要緊急倒俾的話，正確的操作應該是：

- (1)立即關油門，停止向主機供油；
- (2)當轉速下降到 $60\sim 70\%n_H$ 時，進行倒俾換向：
- (3)換向完畢，即可倒俾起動(此時主機還在正轉，轉速已降到 $30\sim 40\%n_H$)，用壓縮空氣制動，如果一次制動不成功，稍停幾秒進行第二次制動(這時千萬不可進油)：

- (4)當轉速接近零又變為倒俾時，推上油門，倒俾開出後，逐漸調節油門格數，使轉速符合俾令要求。

開始時轉速不能超過 $40\sim 60\%n_H$ ，否則將使軸系超機械負荷，只有當船舶已停止前進開始倒航時，才可逐漸提高倒俾轉速。如駕駛室遙控，一般在全速換向過程中，先把遙控俾鐘從全速正俾拉到半速倒俾，待船開始倒航後再拉到全速倒俾。船舶倒航時，由於船艏形狀肥大，船體阻力比正俾時大，螺旋槳特性曲線比正俾陡。如圖7所示，設全速正俾工作點A，當船舶倒航時，如果也在全負荷速度特性曲線1上工作，則機槳配合點由A移向點a，點a在等轉矩限制線OA上方為超轉矩。為此只好減小油門將機、槳配合點移向點b。 n_b 即為主機倒航時所允許的最大轉速，一般不得超過 $70\sim 80\%n_H$ 。每艘船的最大倒航轉速由輪機人員跟

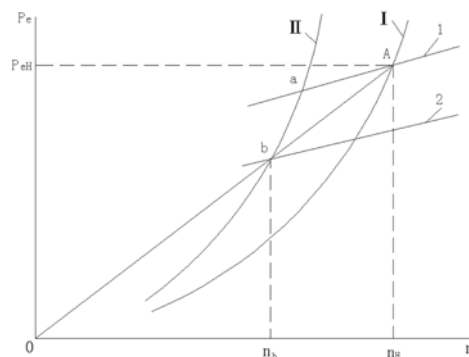


圖7 船舶倒航工況

據主機排煙溫度來確定。同樣道理，各檔倒俚轉速也均比相應正俚轉速低。

五、結論

保證主機安全、可靠而經濟地工作，並儘量延長其使用壽命是輪機員的基本職責，但需要駕駛員相互配合。主要是在保證安全操船的前提下要合理地操縱主機，不輕易將機器限制按鈕排除。輪機長憑藉自己積累的主機運轉經驗，通過熱力檢查和機械檢查，仔細觀察主機各部分運轉工作狀況，依據定期維修保養及運用情況，根據主機技術狀態、塢修日期、主機運行參數變化包括排氣溫度、排煙研色、增壓機轉數、掃氣壓力和溫度、冷卻水溫度、潤滑油溫度等，在船舶定航後，調整妥自己認為合適的

油門格數，重新規定定航轉速。一般對於技術狀態較好的主機，長期的低負荷下運行反而對機器不利，所以儘可能調高轉速。需要變動定航轉速，通常是輪機長與船長協商決定的，但一旦輪機長規定了主機轉速和油門，除非緊急狀況外未經允許，值班駕駛員和輪機員不得擅自改變。

[註1]機器功率使用範圍：機器製造廠廠出售功率(額定功率)為(用MCR表示)，裝船與螺旋槳配合的功率都要低於此點的功率，一般為90%MCR，此功率稱之為海上允許使用的最大功率，有的用MCR表示。(MCR—Maximum Continuous Rate)。考慮海上功率保留系數後，在服務航速下使用的功率稱之服務功率CSR(或

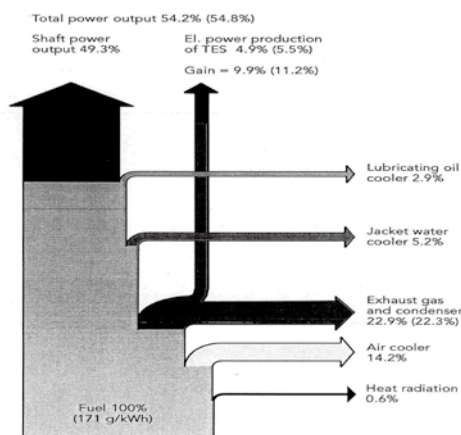


圖8 熱平衡圖Form the MAN B&W 12K98MC/ME engine with TES operating at ambient reference conditions at 100% SMCR[15]

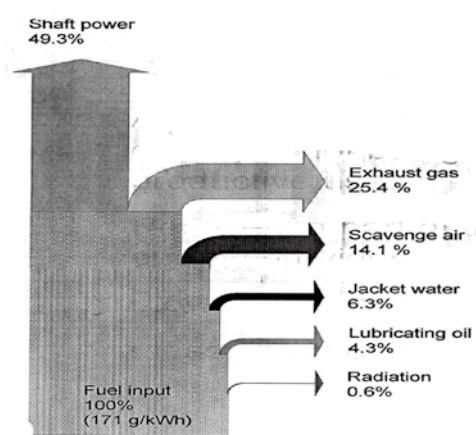


圖9 熱平衡圖Form the Wartsila 12RTA96C engine with TES operating at ambient reference conditions at 100% SMCR[16]

CSO)(CSR – Continuous Service Output ; R – Rate)海上保留系數即海上儲備功率(Sea Margin)，不同類形的船有所不同，定期輪船期要求準確，海上受惡劣海況影響時要加速保準班，因而儲備功率就大。一般類型船儲備系數10%~15%。

[註2]現代船用主機燃油燃燒產生的熱量分配爲：用於作功的占50%左右、排氣帶走的23%、掃氣帶走的熱量14%、冷卻水及潤滑冷卻帶走的占8%左右，其餘爲機器的散熱[15、16]如圖8、9所示。

參考文獻

- (1)Colin R. Ferguson. Allan T. Kirkpatrick "Internal Combustion Engines" 2nd ed 2001 John Wiley & Sons Inc.
- (2)彭水生 "船舶柴油機測試技術" 1996 大連海事大學出版社
- (3)詹玉龍 張興芝 "輪機管理" 1993 科學出版社
- (4)吳恆 "船舶動力裝置技術管理" 1999 大連海事大學出版社
- (5)吳恆 "現代輪機技術管理" 1998 大連海事大學出版社
- (6)郭錦榮 "最新實用重柴油機精華" 中國航海技術研究社 May/1986.
- (7)樓無畏 "最新輪機實務" 前程出版社 Aug/1997
- (8)樓無畏 "重柴油機實務" (十版) 前程出版社Aug/1994
- (9)樓無畏 "船舶輪機實務" (九版) 前程出版社Aug/1995.
- (10)錢耀南"船舶柴油機" 1999 大連海事大學出版社
- (11)Instructions for 50-90MC M C E t y p e e n g i n e s operation. MAN B&W Diesel A/S Copenhagen, Denmark
- (12)MAN B&W Service letters: Survey 1968-1997 ; Service letters MC engines 1983-1997.
- (13)M.David Burghardt James A. Harbach "Engineering Thermodynamic 4th ed) Harper Collins College Publishers. P-25.
- (14)Exxon Marine Conversion Tables and Charts Exxon International Company. 1973 p-7

作者：

¹ 台灣海洋大學商船系副教授

² 台灣海洋大學商船系研究生

³ 台灣海洋大學商船系研究生