



243564

168351

專 科 學 校 用 書

運 渠 工 程

張 書 農 編 著
顧 兆 勳 校 訂



中國科學院圖書儀器公司



序 言

列寧伏爾加——頓河運河，五大海通航計劃以及六道大水閘所構成的世界最大的伏爾加河渠化工程說明了水道工程建設是蘇聯經濟建設的重要環節。正像蘇聯一樣，我國的水道工程建設不久也要大規模地開始實施。

本書專門討論水道工程建設的技術問題，包括運河和渠化工程，因此叫運渠工程。

本書第一章談水道交通的重要性；第二章談運河的規劃，設計和建築；第三章談渠化工程的規劃；第四章談船閘的設計和建築，船閘是一種比較複雜的水工建築物，本書談得比較詳細些。書中有許多部分是著者親身所體驗的。

這本書適宜於用做專科教本和工程師們的參攷。

本書承顧兆勳教授校訂，又承中國科學圖書儀器公司刊印出版，著者非常感謝。

張書農

南京，一九五二，十月。

目 錄

第一章 水道交通

第一節 概論.....	1-6
1-1 水道發展的歷史.....	1
1-2 水運和陸運.....	4
1-3 水道運輸的特點.....	6
第二節 船舶.....	6-18
1-4 船舶的分類.....	6
1-5 船舶的載重.....	8
1-6 輪船.....	8
1-7 內河貨船.....	9
1-8 船舶航行阻力.....	11
1-9 船運方法.....	16
第三節 水道的改善.....	18-20
1-10 水道改善的方法.....	18
1-11 河道整理.....	18
1-12 渠化工程.....	19
1-13 運河.....	19
第四節 水道建設的經濟問題.....	20-27
1-14 概論.....	20
1-15 水道網.....	20
1-16 水道建設費.....	23
1-17 船舶費用.....	24
1-18 運輸成本.....	25

第二章 運 河

第一節 渠綫的決定.....	28-42
2-1 根據技術觀點來決定渠綫.....	28
2-2 開闢運河和封閉運河.....	29
2-3 船閘和水級的數目.....	32
2-4 運河的填土和開挖.....	33

2-5	越嶺運河.....35	2-10	運河綫和公路與鐵路或其 它水道的交叉.....39
2-6	支運河.....36	2-11	梅運河.....40
2-7	運河綫的曲度.....36	2-12	運河入口.....41
2-8	運河水面與地下水位.....37		
2-9	船閘的位置.....38		

第二節 運河橫斷面..... 42-57

2-13	運河斷面的形式.....42	2-17	橋梁的高度及跨度.....48
2-14	運河斷面積和船舶浸水斷 面積的比率.....43	2-18	橫斷面的加寬.....49
2-15	影響橫斷面尺度的因素.....44	2-19	運河護岸.....50
2-16	標準橫斷面的尺度.....45	2-20	運河的防淤.....54
		2-21	運河水流.....57

第三節 運河用水量..... 58-66

2-22	運河用水量.....58	2-27	灌溉用水.....62
2-23	蒸發損耗.....58	2-28	供給水量.....62
2-24	滲漏損失.....59	2-29	用水總量.....64
2-25	船閘用水.....60	2-30	運河水量的放洩.....65
2-26	船閘開門及涵洞水門的漏 水.....62	2-31	其他用水量.....65

第四節 運河建築物..... 66-71

2-32	主要建築物.....66	2-36	運河橋.....69
2-33	航運應用的各項佈置.....66	2-37	運河隧洞.....70
2-34	涵洞及倒虹吸管.....68	2-38	其他安全設備.....71
2-35	安全門.....69		

第三章 渠化工程

第一節 概論..... 72-81

3-1	渠化工程.....72	3-2	渠化工程與河道整理工程
-----	-------------	-----	-------------

的比較.....75	3-4 河流渠化的影響.....78
3-3 水級的規劃.....76	
第二節 建築物的佈置..... 81-87	
3-5 攔河堰及船閘的位置.....81	3-7 攔河堰.....84
3-6 船閘位置.....82	3-8 其它建築物的佈置.....85
第三節 渠化河流水位的調節..... 87-89	
3-9 水位調節的需要.....87	3-11 有水力發電廠渠化河流水
3-10 無水力發電廠渠化河流水	位的調節.....89
位的調節.....88	

第四章 船 閘

第一節 概論.....90-102	
4-1 船閘的定義.....90	4-4 海船閘、運河船閘與河船閘 98
4-2 船閘的歷史.....92	4-5 船閘的尺度.....99
4-3 船閘的種類.....94	4-6 船閘的水級高度..... 102
第二節 閘室結構..... 102-120	
4-7 閘牆的類別..... 102	4-16 連接式的混凝土閘底和閘
4-8 斜坡岸..... 103	牆..... 113
4-9 木閘室..... 105	4-17 連接式的鋼筋混凝土閘牆
4-10 板樁閘牆..... 106	和閘底..... 114
4-11 石砌閘牆..... 109	4-18 閘室式樣的選擇..... 114
4-12 混凝土閘牆..... 109	4-19 閘牆後面的排水..... 115
4-13 鋼筋混凝土閘牆..... 110	4-20 牆下板樁..... 115
4-14 高樁基閘牆..... 110	4-21 閘牆和閘底的建造..... 116
4-15 閘底..... 111	4-22 閘牆的護面..... 120

第三節 閘頭結構..... 120-124

- | | |
|------------------------|---------------------|
| 4-23 閘頭的形式..... 120 | 4-26 閘底的形式..... 122 |
| 4-24 側牆和閘底分隔式..... 121 | 4-27 門閥的建築..... 123 |
| 4-25 側牆和閘底連接式..... 121 | 4-28 閘頭的長度..... 124 |

第四節 船閘上下游的佈置..... 125-127

- | | |
|-------------------|--------------------|
| 4-29 前港..... 125 | 4-31 拖船設備..... 126 |
| 4-30 停泊處..... 126 | |

第五節 放水及填水設備..... 127-145

- | | |
|---------------------------------|--------------------------|
| 4-32 通過船閘的時間..... 127 | 4-37 閘門上裝設水門..... 136 |
| 4-33 放水及填水時間..... 128 | 4-38 通過閘頭側牆的短涵洞..... 137 |
| 4-34 填水放水對於船隻所受的
影響..... 132 | 4-39 通過閘室側牆的長涵洞..... 138 |
| 4-35 怎樣安定船隻,減少震盪..... 133 | 4-40 閘頭底部短輸水道..... 141 |
| 4-36 放水和填水設備的種類..... 135 | 4-41 門底過水..... 142 |

第六節 閘室設計..... 146-168

- | | |
|-------------------------|--|
| 4-42 作用力..... 146 | 佈..... 160 |
| 4-43 圬工閘牆的設計..... 154 | 4-43 用剛度 = ∞ 和剛度 = 0 兩種反應力的平均計算法..... 163 |
| 4-44 板樁閘牆..... 157 | 4-49 彈性底板的計算法和近似法..... 165 |
| 4-45 閘底..... 159 | |
| 4-46 連接式的閘牆與閘底..... 160 | |
| 4-47 假定閘底反應力是平均分 | |

第七節 閘頭設計..... 168-175

- | | |
|------------------------|--------------------------|
| 4-50 閘門橫推力..... 168 | 4-53 其它細部結構的計算..... 173 |
| 4-51 閘牆和閘底的設計..... 171 | 4-54 閘頭上下游導牆及戽底..... 174 |
| 4-52 輸水涵洞設計..... 172 | |

第八節 閘門..... 175-213

- | | |
|----------------------------------|------------------------|
| 4-55 閘門的種類..... 175 | 4-62 閘柱及斜接柱..... 193 |
| 4-56 人字式閘門的構造..... 175 | 4-63 閘門的頂樞和底樞..... 197 |
| 4-57 橫樑式閘門橫樑的計算.. 181 | 4-64 閘門的防漏..... 200 |
| 4-58 立柱式閘門計算..... 184 | 4-65 人字形閘門啓閉的阻力.. 201 |
| 4-59 疊樑木閘門的設計..... 185 | 4-66 人字形閘門的啓閉機械.. 204 |
| 4-60 閘門的開啓情況及斜拉條
的設計..... 189 | 4-67 摺合閘門..... 206 |
| 4-61 門板..... 191 | 4-68 吊懸閘門..... 209 |
| | 4-69 橫推閘門..... 211 |

第九節 輸水道開閘水門..... 213-218

- | | |
|---------------------|--------------------|
| 4-70 水門的種類..... 213 | 4-73 輪形水門..... 216 |
| 4-71 吊懸水門..... 213 | 4-74 圓筒水門..... 217 |
| 4-72 旋轉水門..... 215 | |

第十節 節水船閘..... 218-222

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| 4-75 節水船閘的原理..... 218 | 4-77 節水池的佈置..... 221 |
| 4-76 節省水量的計算..... 219 | |

第十一節 曳船斜面及升船機..... 222-227

- | | |
|----------------------|------------------------|
| 4-78 曳船斜面..... 222 | 4-81 浮筒式升船機..... 225 |
| 4-79 升船機..... 223 | 4-82 平衡重量式升船機..... 226 |
| 4-80 水壓式升船機..... 224 | |

第十二節 船閘的裝配..... 227-231

- | | |
|--------------------|-----------------------|
| 4-83 臨時堵堰..... 227 | 4-86 繫船柱和繫船樁..... 230 |
| 4-84 扶梯..... 228 | 4-87 防衝木和護角鐵..... 231 |
| 4-85 十字樁..... 229 | 4-88 其它附件..... 231 |

第一章 水道交通

第一節 概論

1-1 水道發展的歷史 古代人民常常居住在有水草的地方；重要的市鎮，都靠近河邊，所以當時交通，主要的是利用水道。在最古時代，有獨木舟、竹編小船、羊皮筏和竹筏等，後來就發展為木船、帆船和汽船。古代航運都是在天然河流裏，後來就有人工開鑿的運河；再由內河航運而擴展到海洋航運。

按照歷史的考據，埃及⁽¹⁾ 尼羅⁽²⁾河的航運開始於公元前 3,000 年，在公元前 2,300 年完成了尼羅河到紅海⁽³⁾的運河。巴比倫⁽⁴⁾古國也很早地在右弗那得⁽⁵⁾和底格里司⁽⁶⁾兩河之間，開挖了四條運河，做成了一個水道網。

在公元前 1,100 年，我國就開挖了許多小運河。在大禹時代，治導四瀆，作為貢道。四瀆就是江、淮、河、濟，貢道就是通航的水道。河就是黃河，現在沒有濟河，它的河槽被黃河佔去了。在那個時候黃河是主要水道，其它濟、汶、泗、渭、洛等河是次等水道。

(1) Egypt

(2) Nile

(3) Red Sea

(4) Babylon

(5) Euphrat

(6) Tigris

在春秋時代開闢了運河，連絡天然河流及湖泊，就做成了很長的水道。在秦漢以後，也開挖了許多運河，如秦史祿開靈渠（在廣西，湘灘二水之間），在隋代開了通濟渠。當時開挖運河有二個目的：1. 運糧食（叫漕運）；2. 抵禦敵人，作為防線。這是我國運河的原始時代。在唐代開始應用閘河，用水閘代替隄堰。隄堰和水閘都可以抬高水位，增加水深。沿河設立了許多閘門，船到閘門，就開閘放水，船隻順流而下。靈渠有斗門（就是閘門）十八座。在湘灘兩水之間有一個分水嶺，靈渠越過山嶺，打通湘灘兩水。斗門佈置的原理和近代的越嶺運河相同。在宋代喬維嶽應用複閘。這是閘河的初期，可以作為我國運河發展的第二時代。從此以後，開挖的運河很多，普遍利用閘門。如元代的通惠渠，設有閘門；壽張和臨清之間的會通河有閘門八座。在清初對於南北運河，也曾加以修建。這是閘河的全盛時期，是我國運河的第三時代。從此以後，運河也就漸漸衰廢，這是運河的衰落時代。

我國有一條橫貫南北的大運河，穿過淮河和黃河，長 1,700 公里，在公元前 485 年就開始分段開鑿了；在吳王闔廬時代開挖淮河和長江之間的一段，叫邗溝；到隋煬帝時代才把全部運河鑿通。向北到達北京，向南到達杭州，長 1,700 公里。這一個偉大的水利工程是古代勞動人民，在很長時期中，辛苦地工作所獲得的成就。清代以後，大運河只能分段通航，並且水淺沙淤，漸漸荒廢。

在 1931 年導淮工程計劃中，曾經計劃改良長江到黃河之間的

運河，把舊閘一律廢除，從長江向北，擬在邵伯、淮陰、劉老澗、河定閘、得勝閘、叢家口、蔣家溝七處建立新式船閘，做成一條新式運河，通航載重 900 噸的船隻。在 1936 年完成了邵伯、淮陰、劉老澗三座船閘。除了這一段運河的整理以外，還有四川綦江的渠化工程，這兩項都是我國近代化的水道建設工程。

歐洲水道的發展可以分做三個時期。從 15 世紀到 18 世紀是第一期。德國、荷蘭、意大利都創立了船閘，各處仿效。起初也只是用單門，大致和我國的牐門相似，後來就應用兩道門，做成有室的船閘，這就是近代化的船閘，我國的複牐大致和它相仿。在這個時期，法國德國俄國和英國建設了大批運河。自從 1774 年蒸汽機發明以後，內河船隻都裝上蒸汽機，成為輪船，水道運輸很為發達。但是因為有了蒸汽機，就發明了鐵路，各國都建造鐵路，大量貨物的運輸都被鐵路所吸引，因此水道就被忽視。這是第二期，也就是水道的沒落時期。在第一次世界大戰以後一直到現在是第三期，各國又進行大規模的水道建設，因為水道運輸很便宜，大量的工業原料、礦產和糧食都要利用水道運輸。特別是在蘇聯，近幾年來進行了偉大的水道建設工程，用伏爾加河做主幹，造成一個大水道網。從莫斯科可以通過內陸水道到達南面和北邊的五大海。這是空前的偉大工程，只有在社會主義的國家裏才會實現。現在已經完成的列寧伏爾加-頓河運河，是這個水道網的重要關鍵，有了這條運河，才可以把五大海連繫起來。它是目前全世界的最大運河。因此第三期是水道建設的極

盛時代，我國不久也將要拿蘇聯做榜樣，進行偉大的水道建設工程。

1-2 水運和陸運 運輸的方法有陸運、水運和空運三種，運輸的物件可以分做貨物、旅客和郵件三類。空運的費用很大，在目前還不能普遍地應用。現在把陸運和水運比較一下。運輸有三個條件：1. 安全，2. 運輸效率，3. 經濟。在下面我們用這三個標準——加以比較。

1. 安全 由於大自然的威力，沒有一種運輸方法是絕對安全的，但是因為科學和技術在不斷進步，安全程度也漸漸增加了。在陸運方面，汽車容易遇險，火車遇險比較少。在水運方面，由於近代技術上的改進和號誌的設備，水運的安全程度，已經大有增加，可以和火車相等。

2. 運輸效率 各種交通工具所需的推動力如表 1-1。運河船所需的推動力最小。船隻在水中航行，受到水的撐托，所以運動的阻力最小。內河船的速度很小，所以每年運輸的距離最小，

表 1-1 推 動 力 的 比 較

交 通 工 具	速度(公里/小時)	每噸毛重所需的推動力(公斤)
運 河 船	5	1
海 船	20	2.7
火 車	60	4
汽 車	40	15
飛 機	150	150

但是不需要時常修理。水運又受到氣候的影響，例如洪水、冰凌、風浪或濃霧都要妨礙航行。這些都是水運的缺點，所以在運輸的效率上，水運沒有優越之處。

3. 經濟問題 水運的運輸成本是最低廉的，所以大宗貨物都通過水運。表 1-2 是我國在 1937 年以前各種交通工具的運輸成

表 1-2

我國 1937 年 以前		德 國	
交 通 工 具	每噸公里運輸成本	交 通 工 具	每噸公里運輸成本
肩 挑	34 分	鐵路(包裝貨)	0.05 馬克
公路汽車	30	鐵路(散貨)	0.0081
獨輪推車	19.2	海 運	0.001
騾 車	13.0	人 工 水 道	0.0084
輕便鐵路	2.4	天 然 水 道	0.0045
鐵 路	2.0	裝 貨 汽 車	0.16
民 船	0.8—1.2	飛 機	1.50

本⁽¹⁾和德國的各種交通工具運輸成本⁽²⁾。在各種交通工具中，水運的運輸成本最小⁽³⁾。可以和水運競爭的只有鐵路運輸，然而，鐵路運輸的成本仍舊比水運大一些。在蘇聯鐵路與水道是同樣重要的。

(1) 汪胡楨，整理運河工程計劃。

(2) Schleicher, Taschenbuch für Bauingenieure 1942.

(3) 據 1951 年的統計，從蕪湖到上海，用拖運方法，每噸的最低水運費是 5 萬元。約合每噸公里 120 元。

1-3 水道運輸的特點 水道運輸的優點是：1. 因為運輸成本很低，所以運費最低廉；2. 便利於大量貨物的運輸，尤其是散裝貨物如農礦產品。現代內河船隻載重量很大，每條大船可以載重 3,000 噸，如果應用拖船羣（幾條船連在一起，用拖輪拖運），每次可達五、六千噸，大約相當於兩列火車；3. 便利於農村間的交通，在水道上沿途可以裝卸貨物，而在鐵路上必須在車站裝卸，所以水運對於農業區域是非常便利的；4. 便利於其它水利事業，近代的水利事業大都是多目標制，例如，運河又可以用做灌溉渠、排水渠或給水渠。渠化工程的攔河堰又可以作為水力發電和防洪水庫之用。

水運的主要缺點是運輸效率不高，1. 運輸的速度太小；2. 受到氣候的影響，特別是在北方的水道，冬天結凍就要斷航。

水道運輸特別適合於大宗貨物的轉運，工業原料、礦產品和農產品都要靠水道來運輸。這些貨物可以運送得慢一些，因此在重要的工業區和農業區必需建立水道交通網。

第 二 節 船 舶

1-4 船舶的分類 水道的運輸工具是船舶，所以水道的工程計劃必須配合船舶的尺度，在內河水道通行的，大都是內河貨船，但是有少數大水道，也可以通航小型海船，如我國的長江和蘇聯的伏爾加河。船舶可以分做三類：

1. 輪船⁽¹⁾ 大型的輪船又叫海輪, 小型的輪船也可以在江河中航行。海輪又可分為客船和貨船兩種。

2. 內河貨船⁽²⁾ 是航行內河, 專門裝貨的船隻, 有自航船和不自航船兩種。自航貨船裝有發動機, 轉動螺旋槳, 向前推進; 不自航船要用拖輪⁽³⁾ 拖運。新式的內河貨船狹而長, 如圖 1-1。我國木船又叫民船也屬於內河貨船的一類, 但是寬而短, 載重量不大。



圖 1-1 在船閘中的內河貨船

3. 特種船 如拖輪、遊艇、運油船、運泥船等, 都是為了某種

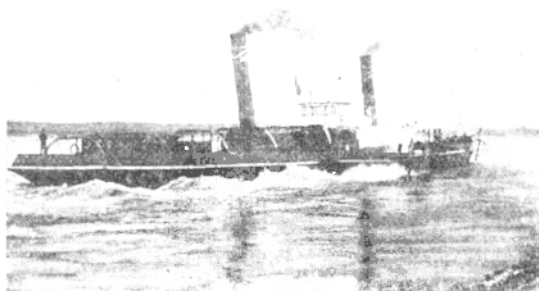


圖 1-2 在內河拖輪

(1) Steamship

(2) Barge 又叫駁船

(3) Tug

目的而特別製造的。拖輪應用很多，馬力很大，大約 150 匹到 500 匹。拖輪本身不裝載貨物，只拖運貨船。拖輪裏裝設蒸汽發動機、柴油發動機或汽油發動機。

舊式的輪船用明輪⁽¹⁾，裝在船尾或船側，後來改進為推進螺旋槳⁽²⁾。萊因⁽³⁾河的拖輪也有明輪式，船的兩旁各裝明輪一個，吃水很淺(圖 1-2)。

1-5 船舶的載重 船舶的載重有兩種計算方法：1. 登記噸⁽⁴⁾，2. 載重噸。輪船都用登記噸計算，內河貨船用載重噸。一個登記噸等於 100 立方呎的容積(或 2.83 立方公尺)。總登記噸位⁽⁵⁾等於船內總容積(立方呎)除以 100，淨登記噸位等於總容積減去船員及機器所佔的空間再除以 100，也就是可以裝載貨物的噸位。載重噸就是可以裝載貨物的噸數，不包括船壳和機器的重量。

1-6 輪船 各種船隻因為客觀條件不同，尺度就有差別。設 L = 船的總長度， B = 在水面附近的最大寬度， T = 最大吃水深度。輪船寬度和長度的一般比率是 $B:L = 1:6.7$ 到 $1:8.5$ ， $T:B = 0.45:1$ 到 $0.54:1$ 。海洋貨船 $L:B:T = 15:2:1$ ，客運快船 $L:B:T = 22.5:2.5:1$ 。船舶的排水量 $= \delta LBT$ ， δ = 排水係

(1) Paddle wheel

(2) Propeller

(3) Rhine

(4) Registered Ton

(5) Tonnage

數。海洋貨船 $\delta = 0.65 \sim 0.8$, 客運快船 $\delta = 0.58 \sim 0.63$, 大型軍艦 $\delta = 0.6$ 。客船需要較大的速度, 所以船身狹而長, δ 比較小, 也就是載重量比較小。通常輪船的尺度如表 1-3。

表 1-3 輪 船 尺 度 表

一律以公尺計長

總登記噸	長	寬	吃水	總登記噸	長	寬	吃水
100	30	5.0	1.8	6,000	120	14.5	7.7
200	35	6.0	2.4	8,000	140	17.0	8.5
300	40	6.3	2.9	10,000	150	17.5	9.0
400	45	6.7	3.0	15,000	170	19.0	9.5
500	50	7.8	3.5	20,000	190	22.0	10.0
1,000	70	8.8	4.8	30,000	220	25.0	10.2
2,500	85	11.0	6.2	40,000	240	27.0	10.5
3,000	100	12.0	6.9	50,000	265	29.0	11.0
4,000	110	13.5	7.5	80,000	300	36.0	12.0

1-7 內河貨船 小型的內河貨船多是木造的, 大貨船用鋼製。各河流的貨船爲了適應當地的條件, 尺度稍有不同。內河貨船的特點是狹而長, 吃水很小, 而載重量很大。設 l, b, t 代表船的長度、寬度和吃水深度, V = 排水量。一般的內河貨船 $t:b = 1:3 \sim 1:6$, $b:l = 1:5 \sim 1:9$, $l:b:t$ 的平均數是 $36:4.5:1$ 。 $\delta = V/tbl = 0.8 \sim 0.9$ 。載重量是排水量的 $75\% \sim 82\%$, 船的自身重量是排水量的 $25\% \sim 18\%$ 。空船的吃水深度是 $0.25 \sim 0.40$ 公尺。歐洲內河貨船的尺度如表 1-4, 大型貨船載重約 $2,000 \sim$

3,000 噸,中型是 1,000 噸,小型是 300~600 噸,在萊因河有 4,000 噸的大貨船。

表 1-4 歐洲內河貨船

長(公尺)	寬(公尺)	吃水(公尺)	載重(噸)	備 考
38.5	5.05	2.25	350	<u>比利時</u>
50.0	6.60	2.50	600	<u>比利時</u>
55.0	7.40	1.40	400	<u>德國</u>
55.0	8.00	1.70	500	<u>德國</u>
65.0	8.20	2.00	730	<u>德國</u>
67.0	8.00	1.75	600	<u>德國</u>
80.0	9.20	2.0	1,000	<u>德國標準船</u>
80.0	10.5	1.6	1,000	<u>德國標準船</u>
80.0	9.5	2.5	1,350	<u>德國</u>
85.0	9.5	2.5	1,500	<u>萊因河</u>
85.0	11.0	2.6	1,800	<u>萊因河</u>
100.0	12.0	2.8	2,000	<u>荷蘭</u>
120.0	14.0	2.85	3,500	<u>荷蘭</u>
40.2	4.6	1.6~2.0	200~250	<u>德國標準船</u>

不能自航的貨船要由拖輪來拖運,拖輪裝有強大的發動機,長度是 15 到 50 公尺,寬 3.0 到 6.0 公尺,吃水 1.0 到 2.5 公尺。

我國幅員廣闊,河流很多,所以各地的木船尺度,很不一致。據 1931 年導淮委員會調查統計,在運河裏航行的木船可以分為四級: 1. 甲級,排水量 30 噸, 2. 乙級,排水量 27 噸, 3. 丙級,排水量 12 噸, 4. 丁級,排水量 6 噸。又據前清會典的規定,最大的運糧漕船,最長不得過十丈,寬不得過 1 丈,吃水深不得過 3 尺,載米不得過四百石。表 1-5 是我國木船尺度。我國巨型木船(如天