

苏联内河运输部学校管理总局批准

高等学校船舶机械系教科書

船用蒸汽机零件的设计 和强度计算

B. B. 拉哈寧著

柯永久 叶昭煦

朱錦益 荣次仙

陈紹綱合譯

人民交通出版社

苏联内河运输部学校管理总局批准
高等学校船舶机械系教科書

船用蒸汽机零件的设计 和强度计算

B. B. 拉哈寧著

柯永久 叶昭煦

朱錦益 荣次仙

陈紹綱合譯

人民交通出版社

本書系根据苏联河运出版社1952年出版的B. B. 拉哈寧著的《船用蒸汽机零件的設計和强度計算》一書譯出。原書經苏联河运部学校管理局推荐作为高等学校船舶机械系教科書。

本書論述了有关制造船用蒸汽机零件的材料，並援引了这些零件的結構和計算方法的实例，皆是以現代的强度学說为根据的。

参加本書翻譯的为上海海运管理局設計科柯永久（第一、五、九章）、叶昭煦（第二、七章）、朱錦益（第三、四章）、荣次仙（第六章）及陈紹綱（第八章）五位同志。

統一書号：15044·6051-京

船用蒸汽机零件的設計 和强度計算

В.В.ЛЯХАНИН

КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ

НА ПРОЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ

СУДОВЫХ ПАРОВЫХ МАШИН

ИЗДАТЕЛЬСТВО "РЕЧНОЙ ТРАНСПОРТ"

МОСКВА—1955

本書根据苏联河运出版社1955年莫斯科俄文版本譯出

柯永久等 合譯

人民交通出版社出版

（北京安定門外和平里）

新華書店發行

公私合营慈成印刷工厂印刷

1956年7月北京第一版 1956年7月北京第一次印刷

开本：850×1168 $\frac{1}{32}$ 印張：11張

全書：300,000字 印數：1—2,400册

定價(10)：2.40元

（北京市書刊出版業營業許可証出字第〇〇六号）

序

近年來祖國的機器製造業在數量和質量兩方面都有相應的增長。隨着科學上巨大的成就，機器製造業同樣也有了快速的發展。

爲了適應日益增長的國民經濟和偉大的建設事業中所產生的新河道，在現代技術基礎上的內河船隊的發展要求新型的現代化的機器裝備。在船隊方面已經和將要增添現代化裝備的新式船舶，尤其是要增添作爲內河船舶發動機的主要型式之一的往復蒸汽機所裝備的船舶。

重新設計與建造機器時應當考慮到現代科學和工業的成就，特別是設計和強度計算應當根據蘇聯國家標準ГОСТ的要求，及有關現代材料的數據而進行。

在可能時，應根據交變載荷來進行核算強度，並必須考慮到應力集中、零件形狀和尺寸及其加工的方法和質量等因素的影響。

業經發行了的船用蒸汽機零件計算手冊均顯陳舊，已不適合新的要求了。本書是提出船用蒸汽機零件強度計算的新方法的手冊。書中遵循蘇聯科學家賽倫氏、奧金格、普利格羅夫斯基、波德佐洛夫和其他學者的成就，並採用了我國機器製造工廠的經驗而寫成的。

作者認爲倘若在教材中僅僅敘述強度計算的公式，則其作用是不大的。所以在本書第一篇中列入了最新式蒸汽機零件的圖樣和說明，以及有關選擇這些零件所用材料的推薦。在第二篇中敘述了根據結構的分析而得到零件主要尺寸的決定的結構比例及強度計算。第一篇應作爲第二篇的基礎。

本書中主要的是研究了內河船用斜式蒸汽機的零件，同時也研究了立式蒸汽機，特別是爲拖輪所採用的立式蒸汽機的零件。

本書提供給熟習船舶蒸汽機結構與原理的人們以設計和決定其主要尺寸的原則，同時也敘述了關於強度的知識。

烏克蘭蘇維埃社會主義共和國科學院院士 C.B. 塞倫氏和技術科學博士 A.A. 莫依謝耶夫教授，在審查原稿時，給予許多寶貴的指示，H.C. 波達波夫工程師代為校閱本書，以及斯大林獎金獲得者 A.B. 拜巴柯夫工程師供給了若干圖樣，作者一併致以無限感謝。

作 者

目 錄

序	1
---	---

第一篇 船用蒸汽機零件的材料和構造

第一章 用於零件製造的金屬和合金、連接件及圖例

§ 1. 在選擇材料時一般的考慮	1
§ 2. 鑄鐵	2
§ 3. 鍛鋼和彈簧鋼	7
§ 4. 鑄鋼	13
§ 5. 有色合金	14
§ 6. 減摩合金	15
§ 7. 船用蒸汽機連接件和零件所採用的螺紋	20
§ 8. 船用蒸汽機所採用的連接件	27
§ 9. 船用蒸汽機零件所採用的表面光度、公差和配合 以及機械圖上的符號	32
§ 10. 船用蒸汽機零件的材料選擇推薦表例	38

第二章 船用蒸汽機零件的構造

§ 11. 汽缸和襯套	44
§ 12. 填料箱和汽缸附件	55
§ 13. 活塞	59
§ 14. 活塞桿和十字頭	65
§ 15. 連桿	72
§ 16. 汽門和汽閥	77

§ 17.	汽門和汽閥聯動機構	82
§ 18.	機軸	88
§ 19.	立式蒸汽機的座板、機架及支柱	94
§ 20.	臥式和斜式蒸汽機的座板	98
§ 21.	導板和主軸承	100
§ 22.	凝汽櫃	104

第二篇 決定零件的主要尺寸和強度計算

第三章 作用於蒸汽機零件上的力

§ 23.	作用於汽缸中的力	111
§ 24.	作用於連桿-曲拐機構上的力	113
§ 25.	作用於配汽機構上的力	123

第四章 交變載荷時蒸汽機零件強度的計算原理

§ 26.	基本定義	136
§ 27.	零件中的集中應力以及零件絕對尺寸和表面狀態的影響	143
§ 28.	疲勞圖和交變應力的強度計算	148

第五章 決定汽缸部分各零件的主要尺寸和強度計算

§ 29.	決定汽缸和汽缸零件的主要尺寸	158
§ 30.	汽缸壁和襯套壁的強度計算	169
實例 1.	汽缸襯套壁的強度計算	175
§ 31.	汽缸蓋螺柱和螺栓的強度計算	175
§ 32.	計算及設計螺栓和螺柱的幾個指示	185
實例 2.	連接汽缸蓋至汽缸的螺柱強度的計算	191

第六章 決定活塞、活塞桿和連桿-曲拐機構零件的主要尺寸和強度計算

§ 33.	決定活塞桿的主要尺寸	198
§ 34.	活塞桿的強度計算	199
實例 3.	活塞桿的強度計算	205
§ 35.	決定活塞的主要尺寸	205
§ 36.	活塞的強度計算	215
§ 37.	活塞漲圈的強度計算	219
實例 4.	核算活塞和活塞漲圈的強度	222
§ 38.	決定十字頭和滑板的主要尺寸	222
§ 39.	十字頭的強度計算	228
實例 5.	斜式蒸汽機十字頭的強度計算	242
§ 40.	決定連桿的主要尺寸	242
§ 41.	連桿的強度計算	250
§ 42.	連桿叉頭的強度計算	255
§ 43.	連桿軸承蓋和螺栓的強度計算	259
實例 6.	連桿的強度計算	265

第七章 決定配汽機構零件的主要尺寸和強度計算

§ 44.	決定汽門的尺寸	272
§ 45.	決定汽閥的主要尺寸和汽閥彈簧的計算	272
實例 7.	蒸汽機汽閥彈簧的強度計算	279
§ 46.	決定汽門和汽閥機構零件的主要尺寸	282
§ 47.	汽門桿、偏心桿和偏心環的強度計算	288
§ 48.	滑環機構零件的強度計算	294

第八章 決定機軸的主要尺寸及其強度計算

§ 49.	蘇聯船舶登記局法規決定的機軸尺寸和型式	300
§ 50.	擬製機軸草圖的步驟	304
§ 51.	核算曲拐軸的方法	305
§ 52.	按靜力特性並假定其為分段的梁來計算曲拐軸	306
§ 53.	按疲勞特性並假定其為分段的梁來計算曲拐軸	318

§ 54.	計算明輪式船舶的推進軸.....	330
§ 55.	機軸的幾個原件的設計和計算.....	334
實例 8.	按疲勞特性計算曲拐軸.....	341

第九章 決定座板、機架、導板及凝汽櫃的主要尺寸和強度 計算

§ 56.	決定座板、機架、導板和主軸承的主要尺寸.....	346
§ 57.	蒸汽機座板的強度計算.....	351
§ 58.	立式蒸汽機機架和支柱的強度計算.....	357
§ 59.	主軸承的強度計算.....	361
§ 60.	導板的計算.....	363
§ 61.	凝汽櫃零件的結構比例.....	365
§ 62.	凝汽櫃零件的強度計算.....	368

第一章 用於零件製造的金屬和 合金、連接件及圖例

§ 1 在選擇材料時一般的考慮

近代船用蒸汽機零件僅用金屬及合金來製造。雖然關於塑膠體及陶器材料是否可以用來製造蒸汽機零件的問題，是值得研究機構和設計局重視的，但目前我們還沒有採用它。

我們在下文中僅討論金屬及合金。

當選擇用以先製成半成品，以後又做成零件的材料時，應考慮下列要求：

- 1) 結構方面——材料應滿足零件的工作條件；
- 2) 工藝方面——在整個零件製造程序中勞動消耗應為最少；
- 3) 經濟方面——材料應為最節約。

零件的結構形狀應滿足其工作條件和任務，而結構形狀的決定又依據於零件的材料和加工方法。

同時材料的選擇不僅應保證零件的強度、剛度和輕重量，還應適合材料的工藝性質：可鍛性、加工性、良好的鑄造性等。

材料的使用是否符合有利的原則，不僅決定於材料的價格低廉，而且決定於零件的加工方法經濟，而零件的加工方法是由選用材料的性質來決定的。

機器製造中所採用金屬的物理機械性能不斷地在改進，尤其是結構鋼的機械特性改進更為顯著。

現今由於採用了合金並改良了處理的方法，鑄鐵的強度極限比較五十年前提高了好幾倍。圖 1 為蘇聯科學院院士 H.A. 阿金

格製成的圖形，表示從 1860 年到 1950 年鑄鐵強度的增進情況。

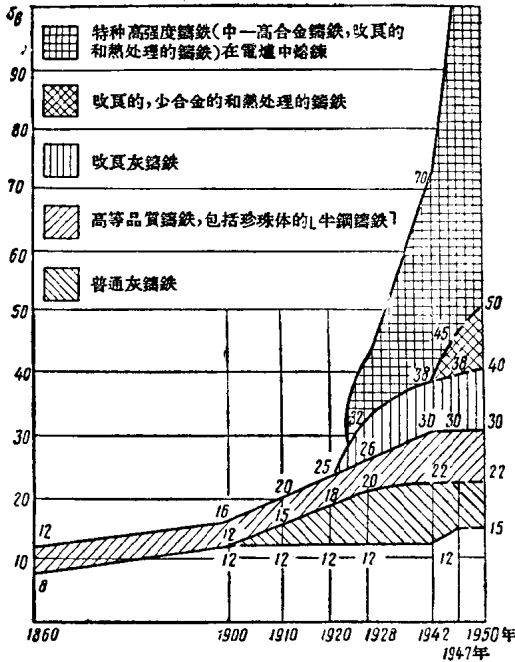


圖 1

材料的節約，有利於國民經濟的增長，其意義是重大的，節約可由如下方法達到：

1. 由於合理地利用材料性能和正確地確定安全係數而節約材料；
2. 用價廉的和產量大的金屬來代替昂貴的和產量少的金屬（如有色金屬）。

§ 2 鑄 鐵

灰 鑄 鐵

灰鑄鐵在製造船用蒸汽機零件上得到了廣泛地應用。這是由於它具有可鑄造複雜零件（例如汽缸）的澆鑄性質，且其價值不

貴和有良好的加工性。此外，灰鑄鐵的機械性質能夠滿足許多船用蒸汽機零件的工作條件。

灰鑄鐵，尤其是改進性質的灰鑄鐵（改良鑄鐵）具有高度的抗磨性。抗磨性將隨珍珠體數量的增加而提高，鑄鐵的強度、硬度將在滲入合金原素時得到提高。

因為鑄鐵有均勻地分佈於金屬中的石墨含量，所以它具有好的減摩性（均勻適度的磨耗、不會咬住、不高的摩擦係數）。鑄鐵的機械強度、硬度和減摩性達到溫度 425°C 時也不減退。

由灰鑄鐵製成的鑄件雖然有比較高的表面硬度（鑄鐵的硬度為波氏硬度 $H_B = 170 \sim 262$ ），但是却能被很好地加工。

鑄鐵的熱膨脹係數 α 由溫度 (t) 而定。當 t 為 $0 \sim 300^{\circ}\text{C}$ 時， $\alpha = (1.0 \sim 1.15) 10^{-5}$ 。鑄鐵的熱膨脹係數比鋼為小，所以在其他條件相同的情況下，鑄鐵零件中的熱應力比鋼零件中的為小。

鑄鐵具有高度承壓強度，這就適宜於被廣泛地採用來製造那些在壓力載荷下工作的零件。但是應該注意，鑄鐵的拉伸強度不夠，鑄鐵的拉伸強度比壓縮強度低 $2/3 \sim 3/4$ ，且比通常碳素鋼的拉伸強度低 $1/3 \sim 1/2$ 。此外，在高溫時灰鑄鐵有不良的結晶顆粒增大的性質（增加體積），由於這些情況，便排除了應用鑄鐵的可能性。現代的改良的灰鑄鐵已增高了耐熱性，此外其中已不發生顆粒增大現象。

用灰鑄鐵製成的零件稱為鑄件，是在熔鐵爐或其他熔鐵設備中，將鼓風爐所熔成的鐵塊和鐵鋼錠熔化並將熔化物注入模型內而鑄成的。鑄件有灰色斷面者標誌着與肥粒體及珍珠體這一基本物質共存的自由石墨。

由灰鑄鐵製成的鑄件可分為幾種，均用根據抗拉和抗彎強度極限而確定的標號來表示。根據蘇聯國家標準 ГOCT 1412—48，灰鑄鐵的主要特性載於表 1 中。

改良鑄鐵的標號也可從蘇聯國家標準 ГOCT 選用。

用於製造船用蒸汽機零件的鑄鐵主要有如下標號的幾種：
CЧ 15-32，CЧ 18-36，CЧ 21-40 及 CЧ 24-44。

表 1

灰鑄鐵的分類 (根據蘇聯國家標準 ГОСТ 1412-48)

標 號	拉伸時的 極限強度 公斤/公厘 ²	彎曲時的 極限強度 公斤/公厘 ²	當跨度為下列數值 時的撓度, 公厘		壓縮時的 極限強度 公斤/公厘 ²	硬 度 (依波氏硬 度) H_B
			600公厘	300公厘		
			至 少			
СЧ00			未 作 相 當 的 試 驗			
СЧ12-28	12	28	6	2	50	143~229
СЧ15-32	15	32	} 8	} 2.5	65	163~229
СЧ18-36	18	36			70	170~229
СЧ21-40	21	40	}	}	75	170~241
СЧ24-44	24	44			85	170~241
СЧ28-48	28	48	} 9	} 3	100	170~241
СЧ32-52	32	52			110	197~248
СЧ35-56	35	56			120	197~248
СЧ38-60	38	60	}	}	130	207~262

標號為 СЧ21-40 及 СЧ24-44 的鑄鐵應該用以製造最重的且承受巨大蒸汽壓力的零件, 用這些標號的鑄鐵製造的零件具有良好的密封性和高的機械強度。

標號為 СЧ21-40 和 СЧ24-44 的鑄鐵可用來製造: 汽缸、汽缸襯套、水泵殼、汽閥室、滑汽門和活塞漲圈等, 假如活塞是用鑄鐵來製造的, 也應採用上述兩種標號的鑄鐵。用鑄鐵來製造活塞在近年來是很少見的。

有時為減低汽缸、汽缸襯套、活塞漲圈和水泵殼等的成本, 可用鑄鐵 СЧ18-36 來製造, 而在小型輔機中不承摩擦的工作零件, 甚至可用鑄鐵 СЧ15-32 製造。例如, 一個國營工廠曾用鑄鐵 СЧ18-36 製造輔機汽缸; 但是可拆移的汽缸底和蓋乃用鑄鐵 СЧ15-32 製成。

在上述零件中, 採用鑄鐵 СЧ18-36 和 СЧ15-32 應該是有限制的。這些標號的鑄鐵可用來製造基架、機座、機柱、導板, 有時也用以製造主軸承, 因為這類鑄鐵可以保證厚壁巨型鑄件的優

良品質。

上邊推薦的鑄鐵可用來製造在正常蒸汽壓力（例如 20 大氣壓以內）及 320~350°C 的溫度下工作的汽缸。

對於工作於較高蒸汽狀態的蒸汽機，例如壓力為 40~60 大氣壓力和溫度為 380~450°C 時，應推薦採用標號為 CЧ28-48 及 CЧ32-52 的優質鑄鐵，也可採用改良鑄鐵。

現代船用蒸汽機發展的趨向，為了使用增高狀態或高狀態的蒸汽，同時在螺旋槳式船舶中增加蒸汽機的快速性，也需要採用較優質的材料來製造蒸汽機零件。當正常蒸汽狀態時利用優質材料往往也是有利的，因為這些材料可增加強度可靠性、使用的長久性、減少機器的重量和尺寸。蘇聯的冶金工業已掌握了新的高價標號鑄鐵的製造，這種鑄鐵可應用於建造或修理正常壓力和高壓力的船用蒸汽機中。

改 良 鑄 鐵

改良灰鑄鐵具有優良的性質，當鐵水從熔鐵爐或其他熔鐵設備中取出時，在鑄鐵中附加（在出鐵槽上或在勺子內）少量（0.1~0.6%）特殊的附加物（調質劑）。灰色的改良鑄鐵是按照蘇聯國家標準 ГОСТ 1412—48 的規格製造的。CЧ21-40、CЧ24-44、CЧ28-48、CЧ32-52、CЧ35-56 及 CЧ38-60 乃是改良鑄鐵。

改良鑄鐵與灰鑄鐵比較具有幾點較優良的性質：結構的均一性、較小的磨耗性、較小的摩擦係數、增高的耐熱性，此外，其中不發生顆粒增大現象。所有各種標號的改良鑄鐵都具有高的強度。

由於採用了改良鑄鐵，使我們有效地減輕了鑄鐵鑄件的重量、延長了零件的使用年限，並且有可能用鑄鐵鑄件來代替鋼和有色金屬的鑄件，因而大大的擴大了鑄鐵的應用範圍。

改良鑄鐵尤其適用於汽缸和配汽機構的零件。

減 摩 鑄 鐵

當建造和修理船用蒸汽機時，載荷較輕的軸承應採用減摩灰鑄鐵的鑄件。減摩灰鑄鐵可利用作為有色金屬減摩合金的代替品。減摩鑄鐵就是低合金熔化的灰鑄鐵，具有正常的或增高的石墨含量和珍珠體結構。根據化學成分的含量分為兩種標號的減摩鑄鐵（表 2）。

減 摩 鑄 鐵 表 2
 （根據蘇聯國家標準 ГОСТ 1585—42）

標 號	含 量 %				
	碳 C	矽 Si	錳 Mn	磷 P	硫 S 至多
СЧП1 СЧП2	} 3.2~3.6	2.2~2.4	0.6~0.9	0.15~0.25	0.12

續 表 2

標 號	含 量 %			
	鉻 Cr	鎳 Ni	銅 Cu	鋁 Al
СЧП1 СЧП2	} 0.20~0.35	0.3~0.4	0.2~0.3	0.10~0.15

由減摩鑄鐵而製成的鑄件，在加工處的硬度，應為波氏硬度 170~229 的範圍內。

在下列情況時，可採用減摩鑄鐵：

- 1) 精細的機械加工和零件摩擦面的準確配合；
- 2) 連續和優質的潤滑；
- 3) 增大的餘隙（較在青銅軸承中的餘隙大 10~15%）；
- 4) 機軸材料的硬度較軸承為大；
- 5) 當圓周速度少於 2 公尺/秒和單位壓力低於 20 公斤/公分²。

應該指出，當低的圓周速度數值時（0.1 公尺/秒以下）單位壓力可允許增至 200 公斤/公分²。

當軸承有衝擊載荷時，不允許採用減摩鑄鐵。

關於鑄件品質的要求

由灰鑄鐵或改良鑄鐵製成的蒸汽機零件的鑄件。應該適合於指定的工作圖樣上載明的加工所需的附加尺寸，以及按蘇聯國家標準 ГOCT 1855—42 規定的尺寸與重量的公差。鑄件應該用砂輪或噴砂來打光表面及除去分界面邊緣上的薄片，不允許有裂縫、空泡、雜質、減低零件強度或外表惡化的缺點。

小的砂眼或熔渣泡、疤紋、空隙容許用打磨或填焊來補救，補救缺點的方法應該保證被補救的鑄件能充分適合於其預定的工作條件。

§ 3 鍛鋼和彈簧鋼

碳素鋼鍛件在製造船用蒸汽機零件上廣泛採用。在消費於蒸汽機製造的材料中，它佔着主要的地位（次於鑄鐵）。

所有船用蒸汽機的鍛鋼零件均由通用的碳鋼製成。這種鋼材的廣泛採用是由於其十分令人滿意的機械性能、低廉的價格及易於熱處理。

碳鋼鍛件在形狀上和尺寸上應符合造件圖樣。所載明的機械加工附加尺寸和規定製造準確程度的公差。

在鍛件的外表面上不應有裂縫、滾轆或鍛合的痕跡、鱗皮、砂孔及細縫等。局部的缺點容許用帶傾斜度的切削或打磨來消除，但切削或打磨的深度不應超過附加尺寸的 40%。

根據其用途，鍛件可經退火、正火、或繼以回火的正火。直徑大於 400 公厘的鍛件在正火後爲了消除其高度的內應力，回火應作爲必須的程序。

爲了製造船用蒸汽機的鍛製零件，可以根據蘇聯國家標準 ГOCT 380—50 選用一般性質的熱軋碳鋼的某些標號。及根據蘇聯國家標準 ГOCT B-1050—41 選用優質的熱軋結構型鋼的某些標號。載於蘇聯國家標準 ГOCT B-1050—41 的鋼材用於重要零件

及高速機器的製造。

根據蘇聯國家標準 ГОСТ 380—50，一般性質的碳鋼，按其機械性能分為不同的標號①。

鋼的機械性能的基本特徵是：拉伸時的強度極限 σ_B ，長徑比為 10 或 5 的試件的相對伸長率 δ_{10} 、 δ_5 ，屈服點 σ_S 。

根據蘇聯國家標準 ГОСТ 380—50，鋼的主要資料列於表 3 中。

一般性能碳素鋼的特性 表 3
(根據蘇聯國家標準 ГОСТ 380—50)

標 號	拉伸時的極限 強度 σ_B (公斤/公厘 ²)	相對伸長率(%)至少		最低屈服點 σ_S (公斤/公厘 ²)
		長的試件 δ_{10}	短的試件 δ_5	
Ст. 0	32~47	18	22	10
Ст. 1	32~40	28	33	—
Ст. 2	34~42	26	31	22
Ст. 3	38~40	23	27	} 24
	41~43	22	26	
	44~47	21	25	
Ст. 4	42~44	21	25	} 26
	45~48	20	24	
	49~52	19	23	
Ст. 5	50~53	17	21	} 28
	54~57	16	20	
	58~62	15	19	
Ст. 6	60~63	13	15	} 31
	64~67	12	14	
	68~72	11	13	
Ст. 7	70~74	9	11	} —
	75~79	8	10	
	80 及 80 以上	7	9	

根據蘇聯國家標準 ГОСТ В-1050—41，優質結構碳素鋼依化學成分而分為二組：第一組具有正常的含錳量，第二組具有增多的含錳量。船用蒸汽機零件中採用第一組（有正常的含錳量），所以表 4 中所示資料僅為這一組。

① 蘇聯國家標準 ГОСТ 380—50 鋼的標號也有按化學成分而分的。在船用蒸汽機的機器製造工廠中，鋼的標號僅按機械性質而分。