

科學圖書大庫

船用蒸汽鍋爐

譯者 施繼志 校閱 鞠鴻文

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

船用蒸汽鍋爐

譯者 施繼志 校閱 鞠鴻文

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，尤為社會、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啓發，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啓導後學，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；尚在排印中者，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

校閱小言

近年來由於世界造船航運事業之發達，以及海洋科學研究熱潮之興起，徐氏基金會特極力獎助有關海事方面之譯著，以配合國內海洋科學之推展，而能趕上時代。

今幸得施繼志君選定 J.H.Milton 所著之「船用蒸汽鍋爐」作為編譯海事書籍之對象，本人喜得校閱譯文之機會，其獲益更甚於閱讀原著。

本譯著內容包括各式船用鍋爐之構造及操作方法，其對於現代發展之廢氣鍋爐及小型整體鍋爐，更詳加申述。而尤難能可貴者，關於船級協會對於鍋爐構造之規定，亦摘要條列分析，以饗讀者。其對於鍋爐檢查及鍋爐修理要點之介紹，更深有其實用價值。

本書內容廣泛，為其特色，可作為輪機人員及製造工程師之實用手冊，更可供為鍋爐技藝訓練之課本，以及為交通管理當局鍋爐考試命題之參考資料。本譯文清新齊全，可與原著並秀，允為海洋科學之良好介紹書籍之一，特為校閱小言。

台灣造船公司總工程師

鞠鴻文

原 序

今日的輪機工程師所面對的問題，其範圍全為廣大，蓋因蒸汽及燃油兩者的推進機械型式實在過於繁多複雜之故。在作為巨型高速客輪的推進用途方面，蒸汽動力仍舊居於很重要的地位，甚至在油機式的船舶上，也常會發現一具或多具成為船上機械裝置部份（常為主要部份）的蒸汽鍋爐。

基於累年經驗所獲得的有關支配鍋爐構造以及所用材料試驗等的規則，係由船級協會（Classification Societies）所制定。若能將此類規則與鍋爐的良好設計、精巧的製作技術以及認真的監督作到密切的配合，再加上使用時或平時的適當照料，則結果必將使此鍋爐之使用極其安全可靠，且只需要最低限度的保養工作即可長久使用。

有關鍋爐理論及鍋爐設計方面的書籍已經很多，因此本書的介紹方式，當盡可能把輪機工程人員所要求知道的內容以較為實際的方式加以陳說。也許這位工程人員將在一艘裝有他從來沒有見識過的鍋爐的船上服務，或者當船舶繫泊於外國口岸而必需由他來決定一具有毛病的鍋爐的施修方法時，則料想得到的是一旦碰到這種情況，如果當時手邊恰有一本通用而適修時下各型鍋爐的手冊，則施修時他將因此而充滿信心。故此書的編寫，亦將是件多麼值得重視的貢獻。

本書編寫之初，力求配合上述要求，而此修訂版，確已具有最新內容，期能與最近的發展保持一致。大量的增訂及修正，正繼續進行，其中許多部份係在技術學校校長們的敦促之下，不遺餘力地加以完成，務使其內容對有志參加運輸部海員資格考試的工程人員們會有更大的價值。

J. T. Milton

註：本書原文版係在1953年發行，1961年出第二次修訂版並於1964年出第二版。

目次

校閱小言

原序

第一章	船用鍋爐的發展史	1
第二章	船用鍋爐的理論發展	10
第三章	構造材料	17
第四章	鍋爐構造	28
第五章	櫃式鍋爐	46
第六章	水管式鍋爐	73
第七章	複式鍋爐以及排氣式鍋爐	111
第八章	強制循環式鍋爐	130
第九章	過熱器	138
第十章	蒸汽的產生	158
第十一章	低壓蒸汽產生器及包裝式鍋爐	192
第十二章	鍋爐裝件	203
第十三章	鍋爐檢查	230
第十四章	蘇格蘭型鍋爐的一般毛病及其修理	241
第十五章	消防用具	258
第十六章	合格的船員證書	266
第十七章	船級協會鍋爐規則及其遵守事項	272

第一章 船用鍋爐的發展史

令人吃驚的是在實現把閉式容器中的水因加熱後所產生有壓力的蒸汽加以利用作為一項可供人類使用不盡的機械動力之前，竟發覺許多世紀的光陰早已悄然流逝。到十八世紀中葉，工業上唯一的機械利用事實，即是水運風船的航駛以及陸上風車和水車的應用。

最早的發明者

由於不斷要求把深礦中積水移除（特別是在「康華爾(Cornwall)」錫礦區）以及增加在當時尚在萌芽中的棉毛工廠織品的產量，終使許多實事求事的創造家——如薩佛雷(Savory)，紐康曼(Newcomen)，却維錫克(Trevethick)，瓦特(Watt)及其他人等——開始從事於不需多加照顧就能連續運作的蒸汽機製造的研究工作。

必需一提的是在一七五六年首先使用於康尼希(Cornish)礦區的紐康曼型動力機(Newcomen engines)，係為一具裝有上空汽筒的動力機，該機利用真空和大氣壓力來產生動力，但效率極低。却維錫克似乎是製造汽壓大於大氣壓力的汽鍋爐的第一人。但他製造的動力機並不十分成功。詹姆士·瓦特(James Watt)把紐康曼動力機部份的機械系統加以改良，使它在使用上能發揮更實在更良好的能力。礦業界首先採用這種動力單體。其之被應用於工業界還是以後事。

這些早期發明者所面對的兩項主要問題是——第一，如何去設計及製造一具能在相當時間內產生常值低壓蒸汽而只需要最少照顧的鍋爐，第二，如何去設計及製造一具能利用鍋爐所製蒸汽產生常速運作而形成有用工作的動力機。本書所述者，乃為第一項所指的鍋爐有關問題。

第一具鍋爐所採用的材料

2 船用蒸汽鍋爐

在早期，設計者所遭遇的最大難題是難以獲得一種能合於鍋爐需求尺寸及需求厚度的適當材料，但不久就發現能夠作成適當板尺寸的鐵却能配合此項需求。至到目前為止，我國（指英國——譯者註）所採用的鐵，仍是以在北部地區熔鍊摻有木炭的原礦煉製。當時的採煤行業還是停留在低產量的階段，但是一旦開始採用蒸汽機械作為採掘工具後，此行業乃行發達，而且煤也就很快地成為製鐵及製蒸汽的主要燃料。

製造生鐵的鼓風爐的採用，還是以後的進展。這種極易熔化的生鐵，可以鑄成任何需要的形狀。當時這種生鐵已被有限度地用於鍋爐製造，但因發生了不可避免的災變，這種材料即見棄於鍋爐製造業。爾後的發展是採用軋輾機來製作適用於鍋爐構造而質地良好厚度均勻的鐵板及角鐵。

早期的設計

早期的鍋爐設計，都採用低壓式。因為要配合各種需要不同的情況，故常常把它作成各式各樣的形狀。可是，不久就發現只有圓筒形狀最能耐抗內壓力，而且，由於工廠對蒸汽的需求量不斷增加，才導致巨型櫃式鍋爐（tank boiler）的發展。此型鍋爐係在外部燃燒，其火焰則在高溫下逸入巨大烟道。

這種佈置，顯然極不經濟。其後在節省燃料的努力上所得的一項最大成就，即是為爐水所圍的內爐膛的使用。因為這種佈置可以使鍋爐中爐水的受熱面積增加，進而減低烟道溫度。具有這種特性的蘭開希雷型（Lancashire）及康尼希（Cornish）型鍋爐，迄今猶普遍地採用於工業界。

第一輛機車

這些用於泵水及工廠操作的鍋爐及動力機在設計上所作的改良被大量採用時，早期的先進者又面臨的一項困擾卻是如何可以迅速地將煤從採掘地大量地運至工廠或城市。他們的問題是如何去製造一具具有適當速度且能拖曳重荷而行駛於鄉間道路的機車。他們很快就發現如要達到上述要求，必需鋪設特種軌道。而在這種軌道上行駛的車輛，以前一直是用馬匹拖曳，然而，隨著時光的流逝，這些馬匹終被有輪子及構架上有動力機和鍋爐的動力機車所替代。不用說，這種鍋爐當然是作成如下型式：外型當然為筒式型狀，水冷式的火箱則在一端，其烟道（flue）將燃燒後的物質由火箱通經筒（barrel

），逸入另一端的烟囱。

雖然這些早期的機車談不上什麼效率，但由於它的發展，却促成了斯托克頓（Stockton）到達林頓（Darlington）之間全程軌道的鋪設。那是一條在一八二五年開放的軌道，專供一輛速度為12哩/小時的載客火車行駛。一八二九年，史蒂文生（Stephenson）終於製成了一輛著名的羅克特（Rocket）動力機，並因此而贏得了利物浦（Liverpool）到曼却斯特（Manchester）段鐵道董事們所贈與的500英鎊獎金。因為這次極為成功的發明，進而奠定了日後鐵道工程方面的基礎。當它很快地被認為是城市與城市間最快速而舒適的交通方式時，這種運輸方式也隨之興旺起來。

在這裡要加以說明的是史蒂文生所製的羅克特號機車與前人所製者不同。其裝配方式是將燃燒後的東西在離開火箱之前，先通過若干組配裝於鍋爐內的銅管。此銅管脹鑲（expanded）於筒端管板上，直徑為3吋。這樣就可使受熱面積大為增加，而此鍋爐之所以會如此成功，關鍵也在於此。今日的機車結構，仍具有早期火箱和鍋爐筒合成一體的特徵。

早期船用汽機

在輪機工程方面的早期先進者之中，製造第一具用於推進水運船隻的汽機的光榮，顯然是應該屬於西敏頓（Syninton）。他在一八〇三年造了一艘取名為夏洛蒂·等達斯號（Charlotte Dundas）小型輪槳船，試航於克利第運河河口（Firth of Clyde）上作為駁船之用。由於河主們抗議這種船槳所造成的猛烈浪擊大大地有損於他們的財產，故使它很快地就被淘汰。幾年之後，在一八〇七年，一位名叫羅伯特·富爾頓（Robert Fulton）的美國籍工程師，造了一艘名為克萊蒙特號（Clermont）的載客汽船。在一八一一年，亨利·貝爾（Henry Bell）造了著名的可米爾號（Comel）。她在克利第河（River Clyde）上的運航，極為成功。緊接着，許多其他的船舶就在大英帝國屬地的各口岸開始建造。

安全規定的創始

早期的設計者，因進行鍋爐的設計與製造時無所約束，其結果是導致所製成的鍋爐常常發生爆炸。在一八一九年，一個由國會委員召開的協調會議，制定了一項要求將所有鍋爐強迫納入登記的規章。規定中特別訂明鍋爐必

4 船用蒸汽鍋爐

需由熟鐵或銅料製成並應接受檢驗。每具鍋爐必需安裝兩具安全閥 (Safety valve), 而且, 其試驗壓力應為基於安全係數為 6 的工作壓力 (working pressure) 的三倍。在這個時期, 用於推進船隻的機械, 為一由舷側動力機來帶動的輪槳, 而動力機所需蒸汽, 復需由壓力極低的鍋爐提供, 因此, 相形之下, 船舶本身的體積也就顯得十分小了。

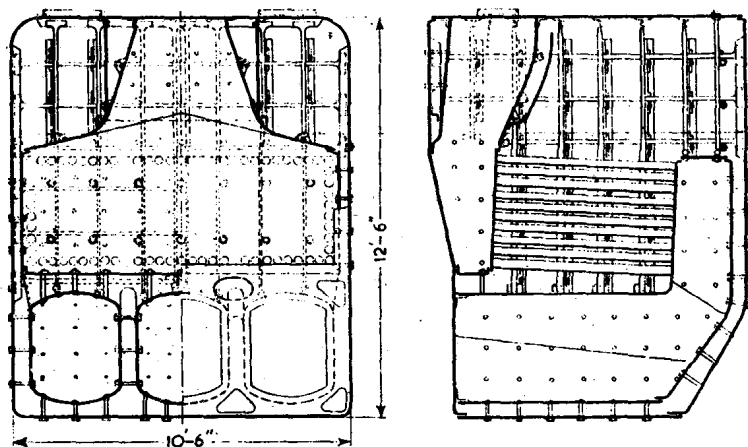


圖1. — 由薩馬斯鐵工公司建造 (一八七八年) 裝於船上的箱式鍋爐, 其工作壓力為 30 磅/平方吋

螺旋式推進時的採用

由於在一九三九年因螺旋式推進葉的引用, 為蒸汽機在船舶推進用途上帶來了一項極大的刺激。從此以後, 在動力機的設計上也有了很大的發展。特別是在一八五四年, 有一具直接傳動的立式混合型動力機出現, 其所需蒸汽壓力要比以前所用者為高。由於鍋爐在設計方面的改良, 使壓力提高到 25 磅/平方吋左右。其後所使用的鍋爐, 都被迫作成箱型以節省空間。當然, 這些鍋爐只限裝在遠洋船舶上, 而且盡可能備以足夠的爐寬面積 (grate area)。圖1所示為薩馬斯鐵工公司 (Thames Iron Works Company) 所造裝用於船舶上的這型鍋爐之一。

橢圓式鍋爐 (Oval Boiler)

在一八七一年，採用三級膨脹式動力機，因為它需要較高壓力的蒸汽，結果導致鍋爐設計上劇烈的改變，其時普遍採用的橢圓鍋爐壳板的上下部，都為半圓形狀，而其相對面板有良好的支撐。由於型狀關係，這種鍋爐在使用上帶來了極大的麻煩，因此，它們終被日後成為標準而又實用的蘇格蘭式鍋爐（Scotch Boiler）所取代。圖 2 所示為一八七八年所造橢圓式鍋爐的外型簡圖。

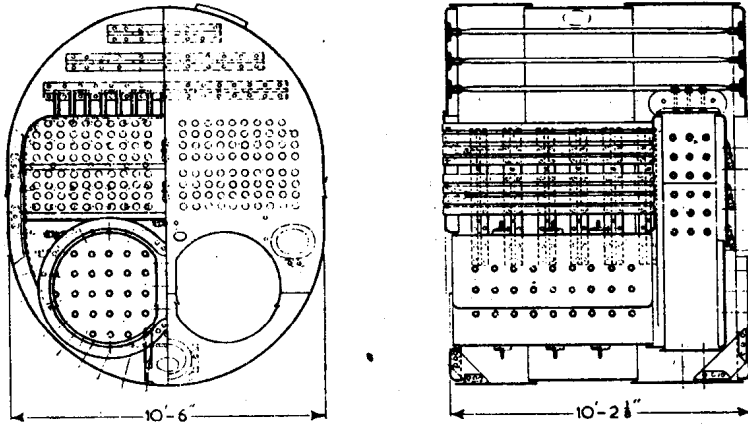


圖 2. — 加州號汽輪 (S.S. State of California)，一八七八年造，其上所裝橢圓式鍋爐的工作壓力為 70 磅/平方吋，受熱面積為 1,132 平方呎。

勞氏規則 (Lloyd's Rules)

在一八七七年以前，有關鍋爐製造的所有官方規則，多半僅涉及技術、材料及製造方法，但對於一定的安全係數，却不作硬性的規定。可是在一八七七年的當年，作者的祖父 J·T·美爾頓 (J. T. Milton) [其後的許多年，一直是勞氏驗船協會 (Lloyd's Register of Shipping) 的總驗船工程師 (Chief Engineer Surveyor)] 向格拉斯哥 (Glasgow) 的造船技師學院 (Institute of Naval Architects) 遞送了一份有關鍋爐強度的報告。報告中強調對於有關鍋爐的強度應有統一的規定。此報告中的一則有趣的指陳，指出直到當時為止，所有能夠產生高壓蒸汽的水管式鍋爐的新發明，當裝用於海船上時，都失去效用，雖然，普通的筒式鍋爐 (Cylindrical

boiler)有那麼多的毛病存在，但在當時可說還是唯一可靠的鍋爐。接着，在同年的後期，勞氏驗船協會在一連串徹底的試驗中，以及從使用中所獲得有關鍋爐故障極為珍貴的經驗中，求得了許多有關筒式鍋爐在強度上正確而以理論作為根據的規則 (Rules)。這些規則，雖然隨着時間的進展而時有配合性的修正，但仍然成為我國及全世界有關商船船用鍋爐工業界製造鍋爐時的安全和保養的重要依據。

鐵壳船舶的採用

自從第一艘用蒸汽機推進的船舶出現以後，有很長的一段時期仍是將蒸汽動力使用於多數遠洋船舶上作為輔助的推進系統。它們只是在當風力無法將船舶推進時才被啟用。早期的軍艦和商船，都是木造，故採用燒煤式鍋爐所引起的危險性，常使船東們及商人們都對它抱持一種懷疑的態度。十九世紀中時，鐵壳船舶的出現，才使這一情況大為改觀，而汽船也隨之大量出現。著名的大東方號 (Great Eastern)，長 700 呎，寬 80 呎，係於一八五八年在米爾華 (Millwall) 建造。幾乎是在同時，許多大型汽船也陸續加入商船行列。

這時期的帆船設計，也大有進步。實際上，整個越洋貿易，特別是航達遠東的，都因此而得以實現。不過，帆船的全盛時期，一直延續很久，直到一條不需藉風力而純以蒸汽作為推進動力的遠海船被大家認為是非常節省時間 (特別是當需要裝載較易腐敗的東西時) 的交通工具時為止。即使如此，直到十九世紀末葉，大型帆船仍被大量地充作重要運輸工具。值得一提的是自從西敏頓完成其第一條夏洛蒂·鄧達斯號汽船之後，相隔了幾乎有一百年之久，帆船才正式由汽船取代。

水管式鍋爐 (Water-tube Boilers)

直到十九世紀末葉，因為受到裝在大型戰艦上的櫃式鍋爐的壳板所需厚度的約束，英國海軍部 (British Admiralty) 認定其能夠到達的最高蒸汽壓力極限為 155 磅/平方吋。由於需要快速昇汽、增加動力及減少重量的關係，使他們的注意力集中於以水管式鍋爐來製造蒸汽。因此，也促使他們將法國設計的「貝利維爾」按裝到他們的幾條戰艦及巡洋艦隻上。其時，在其他較小型的船隻上，他們也安裝各種小型水管式鍋爐 (見圖 3，4 及 5)。

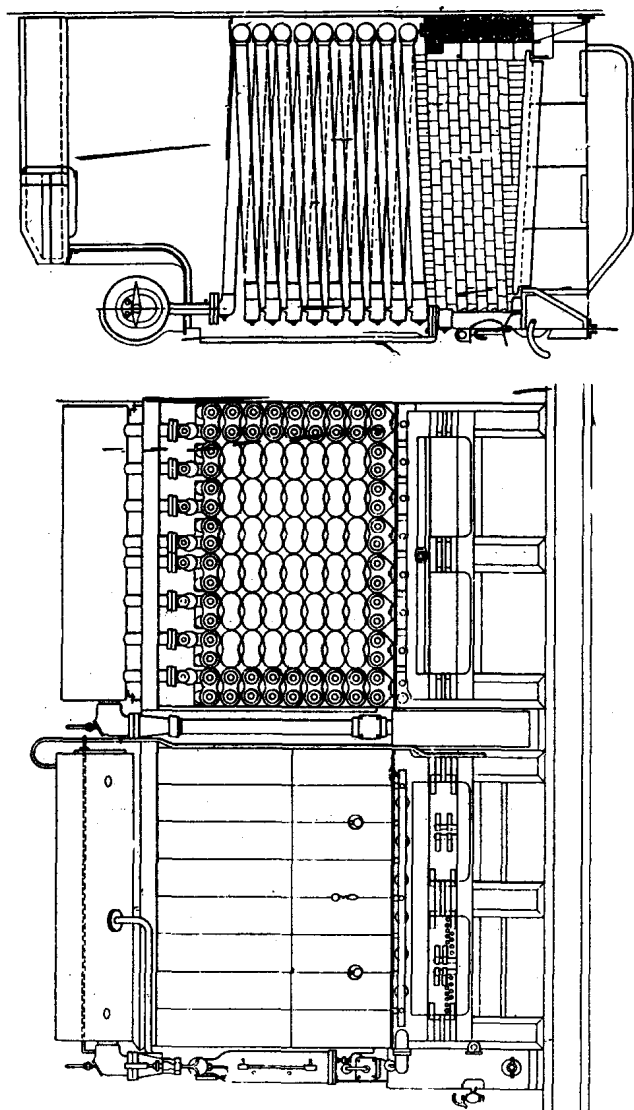


圖 3。—— 貝利維爾型 (Belleville) 鍋爐。

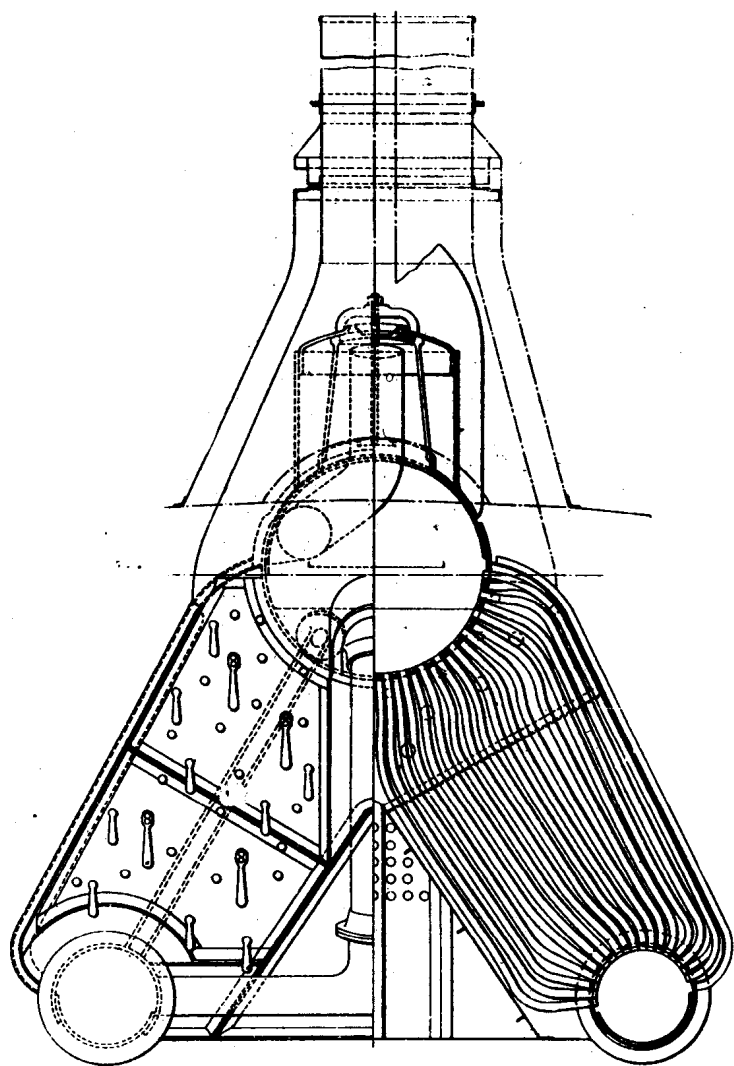


圖4。——諾曼型 (Normand) 鍋爐。

不過，貝利維爾型鍋爐的爐管滲漏，却為使用時帶來了許多困擾。在經過一個受託對這種困擾故障作專門研究的委員會的徹底試驗並提出建議之後，這種鍋爐以雅魯 (Yarrow) 巴區布考克 (Babcock) 設計的鍋爐加

以代替。上述兩型鍋爐的改良型式，迄今猶被採用。壓力高至 250 磅/平方吋（甚至更高的）的櫃式鍋爐，仍應用於商業界。但目前高動力的郵輪上，已改用各種燒油高壓的水管式鍋爐來取代這種櫃式鍋爐。

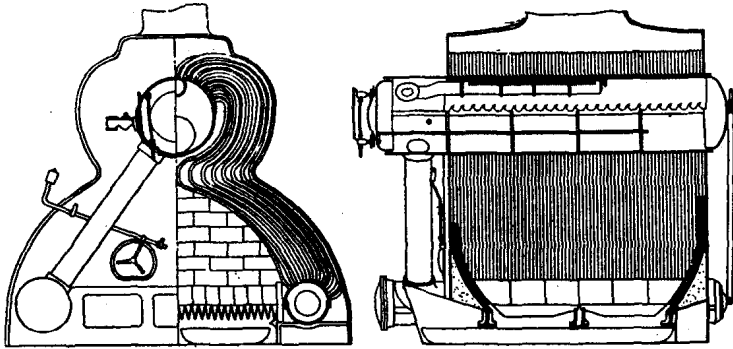


圖 5. — 宋克羅佛特型水管式鍋爐 (Thornycroft Water-tube Boiler)。

第二章 船用鍋爐的理論發展

在把時下的高壓鍋爐在應用上逐漸的發展作了簡略的介紹之後，目前要將應用的高壓高溫蒸汽特性作一番討論。

輪機人員都很清楚，鍋爐是一具密閉的容器，內貯的液體是水。在任何設計壓力下，由於加熱的關係，水會變為蒸汽。此蒸汽於透過機械的媒介之後，可用來產生有用的功能。所有材料物質，都含有各種程度不同的熱。近代科學認為此熱和其單獨分子的振動的運動（vibratory motion）有關。而此運動的振幅（amplitude）和速度（velocity）係隨溫度的升高而增加。這種溫度的最低極限，理論上定在零下 460°F ，這時候的分子將停止活動，此物體就不含熱。至於高溫端的極限範圍却並無止境，只要能夠，它將達於無窮。

在不同壓力不同溫度下，許多物質可被假定為具有各種不同的形態。水就是一個大家所熟知的例子，在大氣的常態下，它是液體，當劇冷時却成冰塊，給予足夠的熱時它却全部汽化。汽態在程度上的區別，端視加熱的程度而定，因為，當水的沸騰溫度（boiling temperature）提高時，其壓力自會隨之增高。

分子在固態時，相互靠得很緊，彼此都對其鄰接的分子使出足夠阻止對方活動的吸力。溫度升高，分子分離，相互間的引力鬆弛，液態隨即產生。越過這點，在常壓下將此液體的溫度增高，分子間的引力變得更為鬆弛，當各分子之間的引力不能再互相約束時，就到達汽態情況。此時，每個分子都自行貯蓄動能（Kinetic energy）。在密閉的容器中，這些自由汽態的分子，就開始向容器的壁壳施壓。繼續地加熱，使更多更多的分子由水中發散，壓力因而增高，最後，即到達了所謂的沸點（boiling point）。藉鍋爐中所保持的壓力，在這點時的水及所產生的蒸汽的溫度仍保持一定，亦即壓力越高，沸點也高，相對地如壓力越低，沸點亦變低。

蒸汽特性