

機械工程

蒸汽鍋爐,蒸汽機之部

錢迺楨編著

龍門聯合書局出版

序

本書敘述各重零蒸汽鍋爐及蒸汽機之構造及運用。關於蒸汽發生之全部設備，更作廣泛敘述，以明瞭現代蒸汽廠之一般狀況。蒸汽機現尚廣被採用為特種機械之原動機，例若用於碾軋、起重、修造等業務之器械。故設蒸汽機一篇，敘述其構造、運用及性能，以應特殊業務之需。本書編著方針如上，敬希指正。

錢 迺 植

一九五一年七月於上海交通大學

目 次

第二篇 蒸汽鍋爐

第一章	蒸汽發生器或汽鍋·····	185
第二章	蒸汽發生器輔助機械·····	211
第三章	給水加熱及定態·····	246
第四章	通風器具·····	268

第三篇 蒸汽機

第一章	往返式蒸汽機·····	287
第二章	蒸汽機之動力及經濟·····	317

第二篇 蒸汽鍋爐

第一章 蒸汽發生器或汽鍋

1-1. 發展及趨勢。 據機械工程學者所作之定義：一套蒸汽發生設備為熱之產生，供給或收復器具，結合傳熱器具，以加熱於流體使其汽化之綜合裝置。此整套裝置可包括下列全部機件，或其中部份機件：汽鍋，爐膛，燃料燃燒設備，水管爐壁，水管爐底，水管爐簾，過熱器，蒸汽重熱器，省煤器及空氣加熱器。故“汽鍋”一名詞，僅指流體在鍋內發生物理變化之機件，而非概括蒸汽發生加熱過程之全部機件；因此，一般工程學者均主以“蒸汽發生器”名蒸汽發生之重要設備，而不稱“汽鍋”。

五十年前，蒸汽壓力，每平方呎 10 尅，已以危險高壓論；二十年前所謂高壓亦僅高於 18 尅；今日，壓力在每平方呎 35 尅下者極普通。汽鍋使用壓力，約每平方呎 225 尅達蒸汽臨界壓（註一）力者，歐洲工廠已有多家應用成功。事實上，不論為蒸汽動力廠及其他工業工廠，一般趨向於更高壓力及溫度，亦為已定不投爭響，此可於下舉實例見之：甚多工廠已裝設壓力 100 尅汽鍋，裝設壓力 130 尅及 180 尅汽鍋之工廠亦有多家，少數研究及試驗用蒸汽發生器，其壓力已有超過每平方呎 352 尅者。現在使用中之單隻汽鍋，每小時蒸汽量，有多於五十萬尅者；最近將來，每隻汽鍋蒸汽量，超出每小時一百萬尅，極為可能。蒸汽在高汽壓階段，增加汽溫 100°C 比較增加汽壓每平方呎 100 尅，更能使其含熱量可供利用。因此，應將汽溫盡量提高，直至汽鍋金屬材料所能忍受為止。現在汽溫之極高限度約在 540°C 左右，此為商用鉻鎢鋼之性質所限定。甚多蒸汽發生器之汽溫自 480° 至 520°C，已製造使用。在不久將來，可能發現能耐 700°C 或更高汽溫之金屬材料，以供製造汽鍋之

（註一）臨界壓力 Critical pressure.

用。

1-2. 分類。 汽鍋分類，因所依據之比較基礎不同，有各種方法。列舉如下：

- a. 以鍋水及熱燃氣之相對地位言，有水管汽鍋及火管汽鍋。
- b. 以鍋管之排列言，有立式、臥式及傾斜式。
- c. 以鍋管之曲率言，有直管式及彎管式。
- d. 以爐膛之地位言，有外燃汽鍋及內燃汽鍋。
- e. 以服務性質言，有固定式、搬移式、火車用汽鍋及船舶用汽鍋。

選擇汽鍋，供一定服務之用，須根據甚多因數決定，主要為適合性。經濟問題不在本章討論範圍之內。以下所研究者為敘述若干典型汽鍋之一般構造及作用而已。

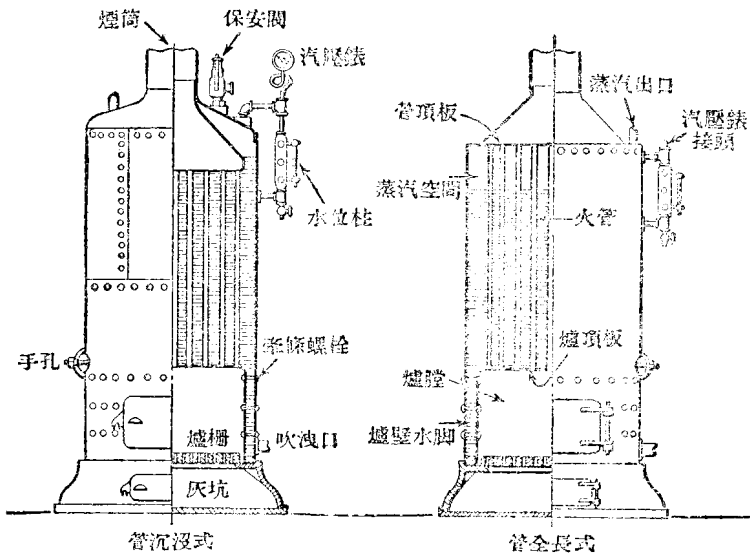


圖 1-1. 立式火管汽鍋，人工加煤爐。

1-3. 立式火管汽鍋。 火管汽鍋由燃燒所發生之熱氣，經行於火管內。圖 1-1 示兩種型式之立式火管汽鍋，為內爐式，鍋管自爐頂板直達管頂板。其標準尺寸為直徑自 60 至 170 吋，長自 150 至 460 吋，

及汽鍋受熱面自 4 至 100 平方呎。用無煙煤、柴油及煤氣為燃料者，火管直徑常為 51 毫米，用煙煤者管徑須增至 76 毫米；蒸汽壓力甚少超過每平方呎 7 呎(表壓力)。

立式火管汽鍋，常用於下列各特殊需要處所：低汽壓，佔地緊湊，可搬移，成本低，汽化能力快及需要蒸汽量小(每小時 45 至 1800 呎)。其缺點為下列各項：發汽量小，不經濟(效率低)，因燃氣沖入煙筒之溫度高，不易作內部檢查及清潔，蒸汽供量變動時汽壓震躍不穩。大型立式火管汽鍋之受熱面，有每汽鍋達 560 平方呎者，故可增高汽壓達每平方呎 14 呎。此類大型汽鍋經濟優良，因蒸汽空間增，爐棚面積大及火管長；若與同量臥式汽鍋比較，佔地面積小。

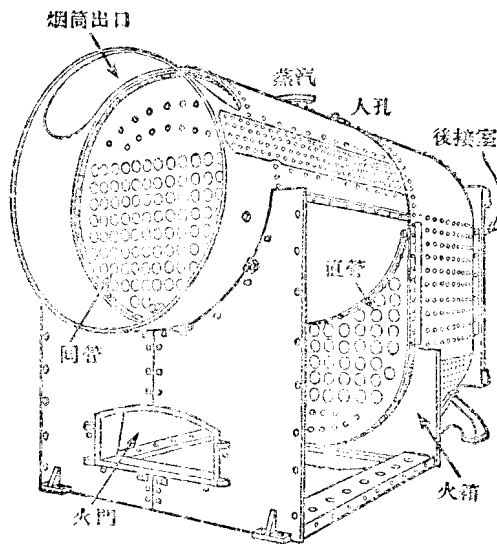


圖 1-2. 臥式回返火管搬移式汽鍋。

1-4. 臥式火管汽鍋。 圖 1-2 示一臥式回返火管搬移式汽鍋，常用於佔地須小，蓄水量大，而又需汽鍋及爐膛自成一裝置者。汽鍋前部為圓筒形，跨臨爐膛之上；汽鍋後部為橢圓形，橢圓下方超出圓筒部份之距離甚長，以便裝置直管，為爐膛與後接室間之通路。熱燃氣經過直管，進入後接室，在此折入回管，返回至汽鍋前部，由其上方進入

煙筒。爐膛前壁及兩旁均以火磚砌之。此式汽鍋可採用之標準尺寸，爲自 20 至 230 平方呎受熱面。汽壓不超過每平方呎 12 缸。

臥式回返火管汽鍋加以修改，卽成火車用汽鍋，屬於內燃臥式火管汽鍋，而以火箱製於一體者，其形狀似圖 1-3 所示。火箱(爐膛)及灰坑壁製成雙層，中間隔有空隙；此空隙稱爲水脚，中儲以水，與鍋罐之水相通。熱燃氣直接自火箱流經火管，而達煙筒；熱燃氣不與鍋罐相接觸。此一情形使火車用汽鍋壓力(每平方呎 23 至 32 缸)高於任何其他火管汽鍋；其額定量範圍爲 250 至 1200 汽鍋馬力。

圖 1-3 示一搬移式火車頭火管汽鍋之側視斷面圖及頂視圖，主要

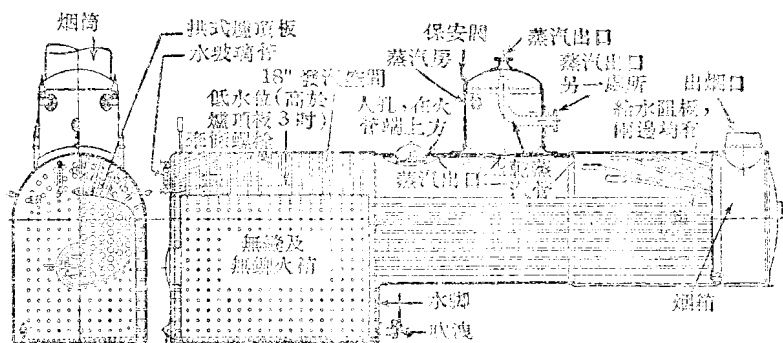


圖 1-3. 火車頭式(油頭區)汽鍋，主要用於固定場合。

用於油礦區，蒸汽壓力可達每平方呎 28 缸，能量在 150 汽鍋馬力下。火車頭式汽鍋優點爲有搬移性，工作情況超越尋常時，僅需極少保養工作，即可獲得絕優及連續之蒸汽供應。而其一定尺寸汽鍋之能量又大，例如 125 汽鍋馬力，24.6 缸蒸汽壓力，鍋罐直徑 1.52 呎，汽鍋總長僅 7.6 呎。其缺點爲鍋身鋼板面積平且大，須用甚多索桿螺栓方能增加強度，水流循環欠佳及爆炸危險率高。火車頭式汽鍋常用於固定場合，特宜於加熱用途，或需要汽鍋形式緊湊(卽高度須低)之處。

在固定型臥式回返火管汽鍋內，其爐膛包括爐柵、爐壩(註一)、火門、灰門、灰坑及燃燒空間。爐膛內壁以火磚砌之。鍋罐承托於鋼樑及掛

(註一)爐壩 Bridge wall.

腳。小型臥式回返火管汽鍋(直徑小於 150 吋)可以其鍋罐之耳,擱置於爐側牆壁。熱燃氣發生於爐腔,經過爐榻,沿鍋罐底部,達汽鍋後方,然後折入火管,於管中回返至汽鍋前方,將燃燒產物引入煙道,自煙筒沖出。

遵照鍋爐規範,此類汽鍋標準尺寸,為自直徑 91.5 吋,長 3.05 呎,至直徑 214 吋,長 6.10 呎,受熱面依次自 14 至 232 平方呎,蒸汽壓力可達 12 缸。火管直徑為 76.8) 或 102 吋,低揮發性燃料用小管,高揮發性燃料用大管。回返火管汽鍋採用於小規模工廠,因其構造緊湊,成本低,清潔容易及蓄水量大;但亦有立式火管汽鍋之缺點,唯程度較輕。

1-5. 臥式水管汽鍋: 縱向鍋罐。圖 1-4 為屬於此類之典型蒸汽發生器; 汽鍋尺寸自 70 至 1400 平方呎受熱面, 汽壓可高達每平方吋 35 缸。此類汽鍋構造之顯著特點為: 臥式鍋罐一個或多個, 直立(或傾斜)分隔聯箱(註一), 以 22 度安置之傾斜直管, 及直立(或幾近於直立)煙道氣阻板(註二)。水管直徑常為 10 吋, 長自 5.5 至 6.1 呎, 排列成爲直立及水平行次。將管端擴張, 裝牢於生鐵或壓鋼之聯箱。每聯箱裝接直行管二排, 管與管間相互交錯。聯箱與蒸汽鍋罐間以短管連接之; 短管先裝接於一橫向水箱, 然後再以水箱鉚牢於罐底(近罐端處), 如圖 1-4 所示。

汽鍋以鐵桿(註三)懸掛於橫樑; 將此橫樑關置於適當建立之鋼柱; 因此整個建築能自由膨脹或收縮, 並不損害汽鍋或磚砌爐壁; 並亦可不妨礙汽鍋或其汽管, 以從事爐壁之修理工作。阻板分隔煙道氣在水管四周之流通面積爲數分室, 稱謂通道。此類阻板必須安置妥善, 使通

(註一) 分隔聯箱 Sectional headers.

(註二) 煙道氣阻板 Fine-gas baffles.

(註三) 鐵桿 Stirrups.

道面積寬暢，並適當分配通道俾能自焙道氣吸收最大熱量，而又不產生非必要之氣流阻力。在圖 1-4 中，前阻板以生鐵及火磚製之，承攔於爐壩及水管；後阻板承攔於鋼樑及水管。燃燒產物向上橫越水管，行經第一通道而達鍋罐下方之空間；然後繞過前阻板，折向下流，橫越水管中部，流經第二通道；復繞過後阻板下端，流入第三通道，橫越水管末端，而達擋板（註一），以接至烟肉。

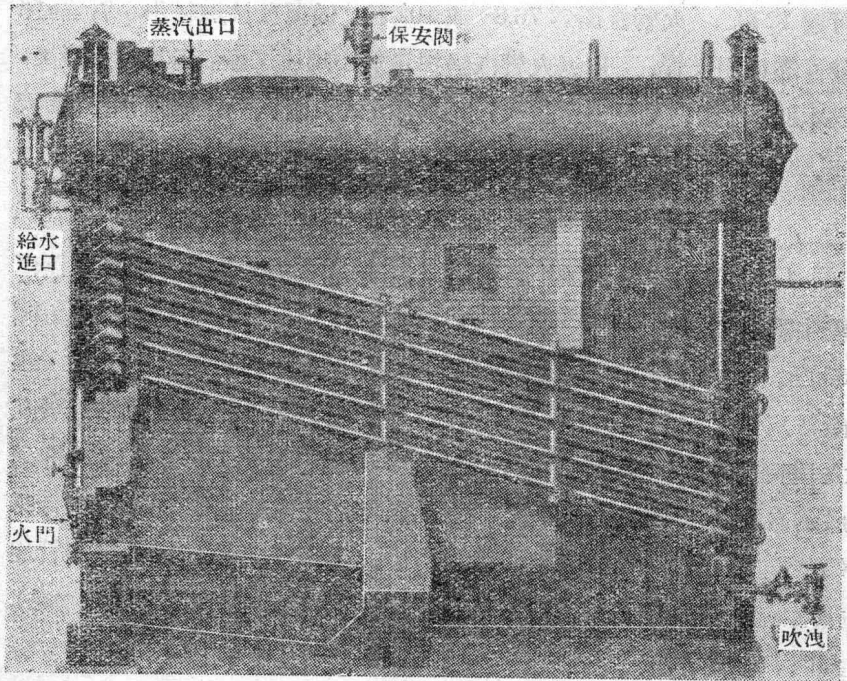


圖 1-4. 拔拍草縱向鍋罐汽鍋，直立聯箱。

凡汽鍋裝有聯箱者，在管孔之對面，均備手孔，其功用為便於裝接水管及清潔或調換水管。環繞孔周之面積，加工修光，安置墊圈，以接合孔蓋。

1-6. 臥式水管汽鍋：橫向鍋罐。 橫向鍋罐水管汽鍋，圖 1-5，原

（註一）擋板 Damper.

為適應屋頂甚高之特殊情形而設計，如用於船舶者然；最近一般工廠及動力廠亦逐漸採用此式汽鍋。鍋罐以橫向安置於水管之上方，直接位於後集管箱上方或居於前後二集管箱中間之頂點。此式汽鍋之特點為

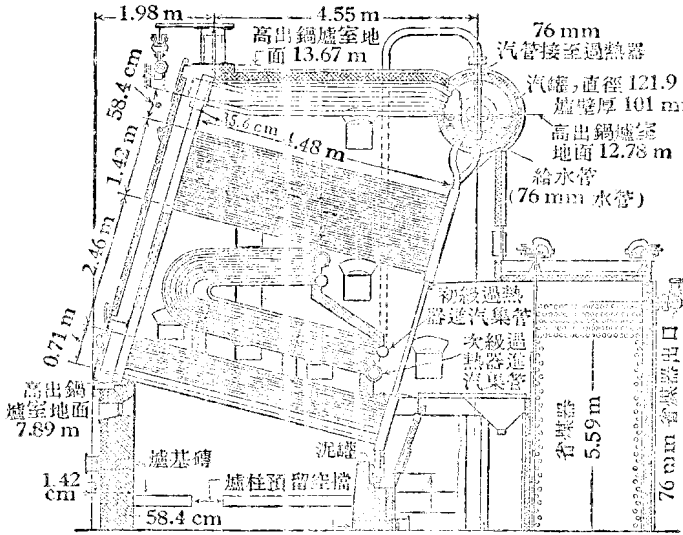


圖 1-5. 拔頂式橫向鍋罐汽鍋，傾斜聯箱。

傾斜聯箱，及受熱面分為上下二區。下區受熱面包括 51 磅水管八組，及上區受熱面包括 51 磅水管十七組。下區受熱面不裝限板，上區受熱面則裝一直立阻板，使熱燃氣繞經管周二次。在上下二區水管間，裝一初級及次級過熱器。

此類汽鍋特宜於大型動力廠設備，其受熱面可達 4,650 平方呎，雙鍋式之發汽量超過每小時五十萬呎，汽壓及汽溫均高，佔地面積又小。圖 2-10 及圖 2-12 亦示橫向鍋罐之汽鍋，其設計及受熱面佈置略有不同，如圖 1-5 所示者。

1-7. 立式水管汽鍋：直管式。 立式水管汽鍋，圖 1-6，包括上下二圓筒鍋罐，以直立水管連接。水管排列成平行行次，中部裝有直立

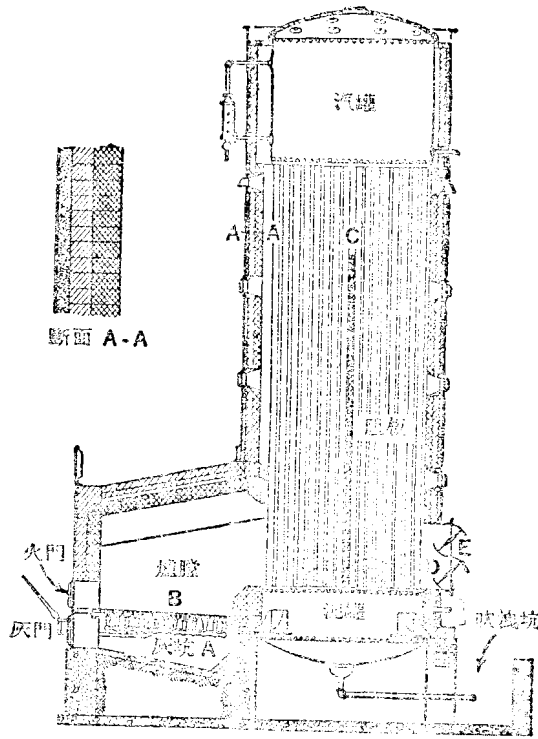


圖 1-6 立式水管汽鍋。

阻板 c，此阻板幾延伸至上鍋罐。爐膛安置在“荷蘭式密爐”（註一）內，砌造於汽鍋主壁之一邊。汽鍋承托於四托架，此托架綁牢於泥罐，而懸置於埋在磚砌爐壁內之鐵板。

汽罐上裝有給水管及水位接頭，並一進入孔。正常情形罐內三分之一容積，充滿以水；因此供給之蒸汽空間及蒸汽自水面解放而出之面積均大。熱燃氣於前列水管四周向上流行，然後折向下行，繞過後列水管四周，而通至烟道接頭 DE。給水於上汽罐後方近罐底處進入，以向下方向流動於後列水管，以向上方向流動於前列水管。此式汽鍋設計簡單，佔地面積小，易於檢視及清潔。其製造尺寸依需要而定，可達405

（註一）“荷蘭式密爐” Dutch oven.

平方呎受熱面，蒸汽壓力不超過每平方呎 14 呎(表壓力)。

1-8. 立式水管汽鍋：灣管式。 根據統計，各公用事業，工業廠場及大建築等所用動力設備，其在最近年內裝置之蒸汽發生器，約 75% 屬於灣管式水管汽鍋。此式汽鍋於上方備置一個或數個臥式汽罐，圖 1-7，以直立或傾斜水管，連接至安置於下方之一個或數個臥式水罐。所用水管數多，適於大量產生蒸汽。

一灣管式汽鍋之典型設計示於圖 1-7。其構造包括平行安裝於上方之橫向汽罐及水罐三個，以彎曲水管連接至下方之一泥罐；管端彎曲度數使水管以垂直方向連接於罐面。此種曲率供給水管可為廣大及有效之膨脹與收縮。前方及中間鍋罐以彎曲水流管連接之，而上方三鍋罐間，以彎曲蒸汽平衡管互相接通。

給水進入上方最末一汽罐，傳遞至一槽，由此分佈於汽罐之全長。當鍋水向下流行至泥罐，逐漸受熱，獲得部份淨化效果，大部沉澱雜質，積集於泥罐底，按時開啓吹洩閥把它排去。鍋水自下方泥罐向上流經前方傾斜管；在此產生之蒸汽，經由安置於鍋頂之汽管，流入後部汽罐。其尚未蒸發之水，則經由安置於中前二汽罐間底部水管，流入中間汽罐。自上方中間汽罐，鍋水流經中部傾斜管，以入泥罐，然後返向回流於前方傾斜管中。蒸汽集積於中間汽罐之頂端，由此流入過熱器集管。保安閥安置於末一汽罐頂端及過熱器集管上。水柱安置於汽鍋前方之一邊，連接至中間汽罐之一端。

此式汽鍋之設計，產生合於理想之水流及氣流方式；即最冷燃氣與最冷鍋水接觸，最熱燃氣與最熱鍋水接觸。當熱燃氣離去柴油燃燒器，圖 1-7，流向上方最前汽罐，繞經水管四周及過熱器，然後自中部汽罐，折向下行，流經中部水管之四周，重復向上，流經後部水管四周，而達上方末一汽罐。已燃氣體於後部傾斜管頂端，離開汽鍋。四汽罐及其連接管，並包藏於鍋內之流體，全部重量承托於一鋼架，砌築於汽鍋週圍壁內。故磚砌鍋壁僅作圍欄燃氣用，不承受汽鍋重量，因此亦不發生

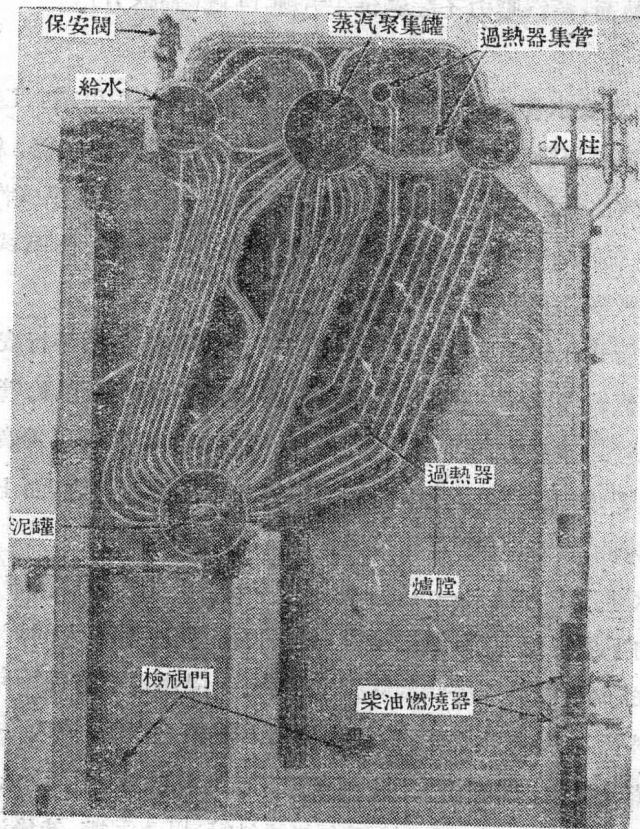


圖 1-7.

四缸高發汽量司特令(註一)汽鍋, 備有過熱器及機械噴霧法柴油燃燒器。

變形。從事檢查及清除時, 可經由安置於汽罐端之人孔進入汽罐內部。清除水管, 管內用水管清除器, 管外用吹灰器。毋須手孔或牽條螺絲。

彎管式汽鍋之優點為其敏感性, 即能迅速供應超額蒸汽需量, 及在非常惡劣的工作情況下, 產生高乾度蒸汽之能力, 如以高額定量使用汽

(註一)司特令 Stirling.

鍋，而所用鍋水為雜質濃度高者。此種優點由於汽鍋儲水量大，蒸汽自水面解放而出之面積大，及上方各汽罐間水管及汽管之排列好。彎管式汽鍋主要缺點為成本貴，及因鍋管各不相同，必須多製備貨，以便掉換。此式汽鍋小型尺寸，可低至每小時 680 尪蒸汽；雙鍋式發汽量可超過每小時五十萬尪。

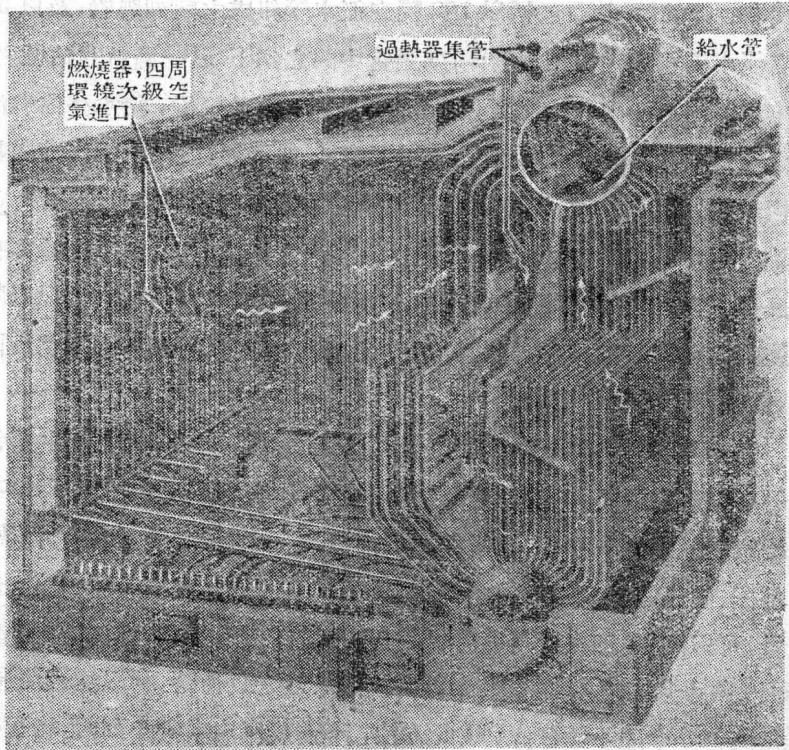


圖 1-8.

燃燒室自備式二罐蒸汽發生器；其設計可單獨或合併燃燒粉煤、柴油或煤氣。

西異蒸汽發生器示於圖 1-8，為一立式彎管型汽鍋，僅有二鍋罐；特為佔地經濟，及兼顧優良性能而設計。此式汽鍋之尺寸，製造時相差甚大，可自每小時發汽量 6800 至 114,000 尪，汽壓及汽溫隨需要不同而變異。燃燒器之裝置，於其中央引進燃料（粉煤、柴油或煤氣）及初

級空氣，次級空氣經過每燃燒器四周之小孔，以同心方式引入。此種設計供給火焰之高度穩定性，及燃料與空氣之充分混和。棚式阻板(註一)促成熱燃氣之橫向流動，以繞行各組水管之四周，其氣流路徑約如圖 1-8 箭頭所示。

圖 1-8，爐膛之爐頂、爐底及兩旁均用水冷，以 76 毫米直徑水管與汽鍋接聯。汽鍋受熱面包括以 102 毫米直徑水管組成之前列鍋管，及以 51 毫米直徑水管組成之後列鍋管；兩列鍋管中間之空隙，以一過熱器佔據之。上方汽罐內有一多孔給水管，裝置如圖所示；由此裝置，給水分佈於汽罐之全長內，故在給水未與汽罐壁接觸前，即行加熱。上方汽罐內折向板及籠狀板之裝置，保證導引至過熱器連接管內者為高乾度之蒸汽。上罐內之水位，在中心線，因此供給蒸汽之解放面大。下罐並非在其底部承托，但以水管連接於上罐。此種小型立式汽鍋特宜於以廢熱為燃料之發汽設備。全部裝置應妥善絕熱，四周以可裝拆之鋼格板圍繞，成一密不漏氣之爐殼。

圖 1-9 示一典型雙汽鍋發汽量巨大之裝置，每小時能發生蒸汽 190,000 呎，汽壓每平方呎 50 呎，汽溫 454°C；在實際工作情形下，測得之總汽鍋效率為 86%。其受熱面之佈置，有一新奇設計，即經過汽鍋、過熱器、省煤器及空氣加熱器，熱氣流分二路進行。流經過熱器面之熱氣量，可以控制，即在低負荷時，以百分率較高之熱氣量，流經較大過熱器面(圖 1-9 右方)，而在最大負荷或近於最大負荷時，利用擋板控制，使氣流百分率達平衡狀態；依此方法，不論蒸汽流率大小如何，均可在一定汽壓下，使離開發生器之蒸汽溫度保持常值。

1-9. 汽鍋受熱面。 汽鍋受熱面為鍋水受熱的部份，故汽鍋一邊為熱水，另一邊為熱燃氣。過熱器面為蒸汽受熱的部份，故一邊為蒸汽，另一邊為熱燃氣。在上述二情形，均以與熱燃氣接觸的一邊，計算其面積。鍋爐規範關於汽鍋受熱面，如以下所述。

(註一)棚式阻板 Shelflike baffle.

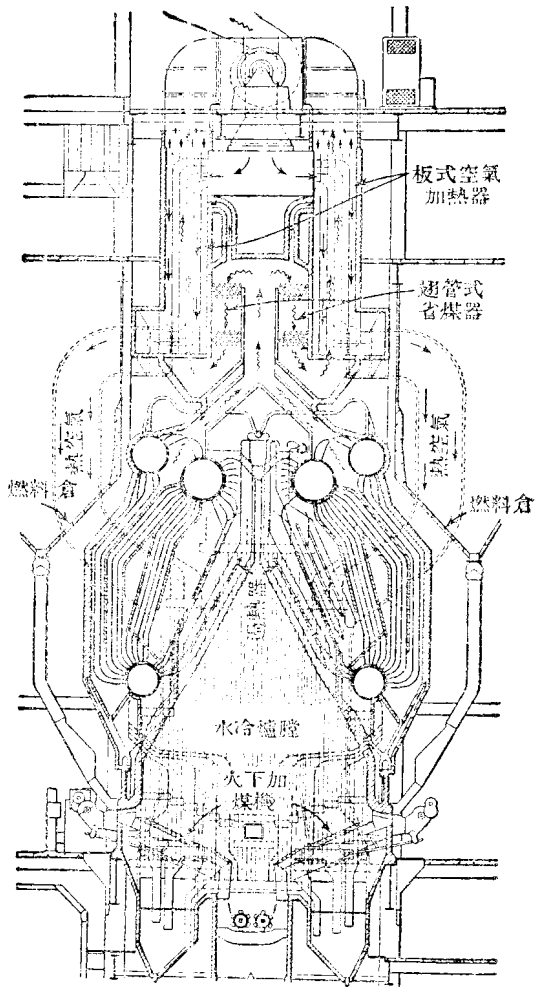


圖 1-9.

雙汽鍋西屋蒸汽發生器圖；水下加煤機 補償過熱器（註一）。

汽鍋受熱面包括所有汽鍋原件之總面積。此等原件構成汽鍋本部之周流系統而實際與熱燃氣接觸。任何面積不在汽鍋周流系統內，而又不連接至汽鍋蒸汽空間者，應以預熱器或省煤器面論，不以汽鍋之受

（註一）補償過熱器 Compensating superheaters.

熱面論。

過熱器面應包括所有原件之總面積，此等原件一邊為熱燃氣，及另一邊僅為蒸汽。過熱器面，汽鍋受熱面及預熱器面應分開註明。因熱燃氣一邊對於傳熱阻力，有決定性作用，故水管汽鍋之受熱面，以管外徑計算，及火管汽鍋之受熱面，以管內徑計算。預熱器面及過熱器面均以管外徑計算。

汽鍋受熱面包括傳熱器具一部份之面積，即一邊與流體接觸，此流體係被加熱者，及另一邊與熱燃氣或耐火物接觸，此二物係被冷却者，上述被加熱流體構成周流系統之一部；傳熱器具一部份面積，應以受熱一邊計算。此傳熱器具包括汽鍋、水管爐壁、水管爐簾及水管爐底。

下述規則用以決定一臥式回返火管汽鍋之受熱面：其受熱面等於汽罐外周圍筒面積之半，加所有火管內徑面積，加三分之二汽罐兩端管板面積，減所有火管外徑斷面之兩倍，所有面積均以平方呎計。

1-10. 汽鍋能量。 一蒸汽發生設備之出量，常以每小時產生蒸汽尅數表示。但在各不同壓力及溫度，蒸汽所含之熱量不同，故每小時產生蒸汽尅數，不是一個絕對單位。汽鍋能量以其受熱面每小時傳熱量單位表示，較為具體。不過此量之數字甚大，故以每小時 1000 大卡為一傳熱單位，稱謂每時千大卡 (kC)，或以每小時 1,000,000 大卡為一傳熱單位，稱謂每時兆大卡 (mC)。蒸汽發生器內之傳熱過程，屬於穩定流量式；在此過程內傳熱量等於流體含焓量(註一)之變化。因此，汽鍋出量，以鍋水及蒸汽所吸收之熱量計，為

$$Q = \frac{W_s (h_s - h_f)}{1000} \text{ kC/小時。} \quad (1-1)$$

此處 W_s = 汽鍋(或過熱器)每小時產生之蒸汽量，尅/小時。

h = 一尅蒸汽在觀察壓力及乾度或溫度下之焓量，大卡/尅。

(註一)含焓量為流體在等壓下，於各不同溫度時所含之熱量，以每尅大卡計。