

煉鐵高爐設計和計算

作者 王德勝
編者 王德勝 王德勝



序

在煉鐵爐的構造中，首先應該核定爐形內線的尺寸，因為這是化鐵成鐵的工作地，直接影響每日產量，間接的是操作和爐齡。一樣高度而又同樣的爐腹直徑，只要缸徑配合不當，生產能力就會減低很多。若是高度够，除了燃料消耗增多之外，生產能力更會減低。爐身和爐喉的周壁斜度不能配合鐵礦與焦炭的品質，其所造成的後果，不是礦料損耗增多，就是爐內消化不會正常；影響所及，是操作困難和爐齡縮短。這本書裏的第一篇從最古老的爐形內線說起，逐漸發現不利情形，於是很自然的根據現實而加以改正，以至演進到現在的煉鐵爐內形。經過這樣敘述，對於各種內形尺寸的利害得失，就表示很明顯；同時對於內形之必須達到現代的形狀和尺寸，是正確而有信心了。在第二篇裏作者擬定一種計算方法，並應用這方法核對現今正在生產的各地煉鐵爐，經過實際許多舉例對照，證明用這種計算方法設計煉鐵爐內形不會有什麼大偏差的。

煉鐵爐的內形能够正確，雖然解決了設計上的重大問題，但是襯壁不能持久，內形還是不能保留，操作也難維持正常，爐齡也不會太合理想，所以第三篇中又用事實證明襯壁厚薄的關係，以及各種施用冷水退却熱度以減少襯壁侵蝕的利害。尤以多方應用有水管的鑄鐵冷却鐵板代替銅水箱，適合蘇聯產銅不豐的環境，也就合乎我們目前的情形。

煉鐵爐內腔就是設計正確，爐壁也能保持到相當完美，而加料不能分佈均勻，氣體流速就避重就輕，使熱度上昇，化煉過程失常，操作上也會發生困難；所以第四篇裏對於加料敘述特詳；於是再就基礎、缸底、爐缸、爐腹、支柱承墊圈、支柱、支架圈、爐身以及爐頂的加料櫃，都經分別敘述；對於它鐵爐本身的構造，說明得非常詳盡。不獨設計新爐可以參考應用，現有舊爐也可參照改建，以增進效能而提高產量。校閱之後，

對於本書資料的豐富，敘述的詳盡以及立論的正確，十分感佩；並以其切合實用，特序其梗概以作介紹。

余 名 鈺

譯 者 序

蘇聯煉鐵爐專家巴伏洛夫院士在 1900 年對化鐵爐的技術工作已有驚人的成就。1936 年他發表了煉鐵爐設計的著述後，德法兩國即轉載在雜誌上和印成單行本。1937 年日文本又從法國雜誌譯出，以其解說的詳盡，立論的正確，巴伏洛夫不愧為世界煉鐵權威，而此書也可稱為世界的名著了。1951 年增訂的俄文本中材料更豐，數字又新；茲特詳細譯述，以供同好。

本書共分四篇：第一篇評論各國用木炭、焦炭、以及無煙煤煉鐵爐的發源和內形的改進，使讀者了解煉鐵爐內形的演進程序，經過失敗與成功而達現代的標準。讀了之後不獨能體會今昔從業者摸索的困難，也可以見到各種荒謬的主張都被事實證明其不能存在，使後學者不復聽信謬論而遭受損失。

第二篇敘述煉鐵的計算標準和方法，並列舉實例來核對各煉鐵爐而加以批評；使讀者明白如何來設計一座優良的煉鐵爐，並且還可以核對現有的化鐵爐，分析其優劣之所在，進而作合理的改正；使生鐵產量得以增加，燃料消耗量可以降低，減少無形的浪費，增加優良的產品，獲益實非淺鮮。

第三、第四篇將煉鐵爐構造的歷史經過以至近代的各種裝置詳列無遺。為使讀者明瞭起見，另輯圖表一冊，列為附篇，表示各種煉鐵爐的裝置情形。不獨為初學者所必須精究細讀，也是從事鋼鐵者隨時應用的手冊。茲於譯成之後，爰序其顛末。

余 宣 揚

原 序

這本再版生鐵冶金學——煉鐵爐（高爐設計和構造）敘述各種操作方法中的煉鐵爐內形的選擇與其尺寸大小的核算方法，並列舉建造煉鐵爐的演進情形。

和第一版對照，這版裏就有許多修訂的地方，並且補充幾處最偉大的煉鐵爐及其附件的設計與構造。在重訂此書時，對於名詞也有些更改。

本書是配合多數未曾學習專門冶鐵學的人們之所需要；同時對於冶金工業專科學校的學生，還是很有用處的。

科學會員 姆·巴伏洛夫

莫斯科 1951

目 錄

第 一 篇

煉鐵爐內形的演進與其大小尺寸和生產量的關係

第一章 概論煉鐵爐內形和尺寸.....	I
第二章 木炭煉鐵爐內形.....	15
第三章 焦炭煉鐵爐的內形.....	27
第四章 煤炭煉鐵爐的內形.....	58
第五章 結論.....	58

第 二 篇

煉鐵爐尺寸的核定

第一章 核定煉鐵爐尺寸的方法.....	59
第二章 煉鐵爐內形各部的尺寸與其相互的關係.....	68
1. 煉鐵爐的高度.....	68
2. 煉鐵爐的容積.....	71
3. 爐缸.....	82
4. 爐腰與爐腹.....	89
5. 爐身.....	93
第三章 核定實地應用煉鐵爐內形的各種實例.....	96

第 三 篇

煉鐵爐構造的演進

第一章 用實壘磚砌成方或圓形的爐子.....	123
第二章 用減薄磚壁的爐子.....	132

第三章 爐身周壁薄的煉鐵爐	191
---------------------	-----

第四篇

現代化鐵爐的各種構造

第一章 概論現在應用的煉鐵爐構造	195
第二章 分敘煉鐵爐的各部構造	214
1. 煉鐵爐的耐火磚	213
2. 煉鐵爐底盤和基礎	220
3. 缸底、爐缸及爐腹	224
4. 供風入爐缸及從爐缸放渣的方法	232
5. 支柱、支架圈及支柱下的熱板	235
6. 爐身	230
7. 加料設備	257
索引	I-VIII

第一篇

煉鐵爐內形的演進與其 大小尺寸和生產量的關係

第一章 概論煉鐵爐內形和尺寸

1. 煉鐵爐 本來是從鍛鐵爐改造出來的；在鍛鐵爐裏，就用鍛鐵法直接把鐵礦鍛鍊成鐵。鍛爐的容積，即熔化室的容積，就是在以耐火材料築成上下倒置的雙錐形爐壁裏面。最大鍛爐內形的高度，正常未曾超過4.5公尺；其中段最大處的對徑，則在1.5—1.8公尺。這種鍛爐內形的縱斷面是兩個不平行四邊形，如圖1。

煉鐵爐最初的内形和鍛爐大同小異，不過稍高而已。當時以為十分加高是不可能的事，因為木炭組織太鬆，恐怕受不起壓力。

從鍛爐演進到煉鐵爐的過程中，因為認為不可能增加高度，於是從事於橫擴其面積，使爐的容積加大，以求多產生鐵。但人工操作限制了煉鐵爐上口的擴大；因為上口是原料加入的地方，如若要使原料加得在水平層全面積均勻分佈的話，上口擴大了是很困難達到的。於是增加爐的下部的對徑，就是擴大了燃燒供熱地段，換句話說呢，也就是增加爐缸的直徑。如根據舊的觀念，那是有害的辦法，以為應該用高熱集中來生產鑄鐵用的生鐵——在化鐵爐初期工作時的主要產品。事實上對於煉鋼用的生鐵可用較低溫度化煉，而普遍的經驗都證明大爐富有增進煉鐵爐工作效率的可能，這是因為用了狹窄的爐缸，其結果則四周逐漸都經燒蝕。話雖如此，但在此一世紀中，每次修爐，還是把爐子的原來內形重又照樣建造。不管

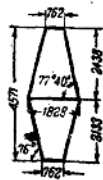


圖1
鍛爐的內形。

其如何醜陋而不合理，這種內形還是繼續存在十九世紀的中葉。圖 2 表示這種內形的凡格海根廠古老德國木炭爐，在 1893 年還用木炭在煉鐵。當時本生曾第一次做他有名的這座爐子上爐身裏的氣體化驗。

有經驗者，一見圖 2，對於操作這種內形的爐子，從他們的觀察上就明確的知其結果，當第一期剛在開爐之後，產量是少的；只有待爐缸十分熔蝕之後——熱力改正了建造者的錯誤——，產量才逐漸增多而達正常；因為爐缸擴大，能使風量增多，（如實際工作者常說狹小的爐缸不會受風），於是爐裏的作用就十分猛進，堆積的熔料也就下降而移動了。若爐缸狹小，不獨爐的容量不能十足利用，因生鐵對每單位爐量的生產量很低；而且氣體的熱力和化學能力都會大部損失，因為氣體向最短途徑上升時，沿途與小量下降熔料相接觸就排入空氣中，溫度稍低而且內含大量的一氧化碳。

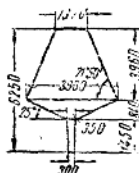


圖 2

德國凡格海根廠木炭爐的內形，有效容量 28 立方公尺，每月產量 1.5 噸煉鐵生鐵。

若把凡格海根廠的爐子來定其內形高度(H)和最大橫斷面對徑(D)的比例，定其最大橫斷面對徑(D)和爐缸對徑(d)的比例，及定其頂上爐喉對徑(d_1)和爐缸上緣最大橫斷面對徑(D)的比例；則這三個比例，就很顯明的描寫這種化鐵爐內形的典型；於是以我們的方法用數字來表示：

$$H:D=1.5; \quad D:d=11 \quad \text{及} \quad d_1:D=0.346$$

這三個比例都明確表示古老煉鐵爐中和現代煉鐵爐中比例的不同。

但當時所有一切爐子，並不是都像凡格海根廠的爐子有這樣醜陋的內形和如此低的高度的。同時，在德國萊茵廠的一個廠裏，有一座爐子，用木炭煉鐵，其內形則如圖 3。

這座爐子就有相當的高度。在 19 世紀的上半紀中，這樣高度是認為用木炭煉鐵爐中的最高限度了。當時用木炭煉鐵的，尚有許多爐子，也是這樣的高度。萊茵爐的爐腹對徑比凡格海根的是略小些，其全高和爐腹對徑的比例是 3.6，這種比例就接近現代的比例了。但爐子下部的第三段，仍有大部份和十九世紀上葉的陳舊內形相同。爐缸是很高

而窄；爐腹傾斜則不像凡格海根爐的角度那麼銳。

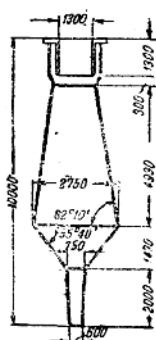


圖 3

在 19 世紀初葉德國萊茵廠木炭爐的內形；有效容量 32.8 立方公尺，每日產量 4 公噸。

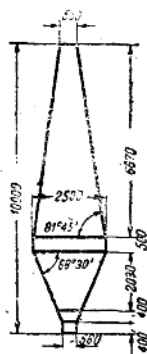


圖 4

法國克賴法爾廠木炭爐的內形；有效容量 21.9 立方公尺，每日生產煉生鐵 3 公噸。

當本生在試驗凡格海根爐時，愛倍爾曼同時在研究克賴法爾廠及奧登考爾廠的法國木炭爐，供給我們這些爐子內形的數字；從他的研究論文中，我們得到克賴法爾廠爐子的內形，如圖 4。

這座爐子的高度和萊茵爐相同，但其內形是很不正常，爐的裝料上口非常狹窄，但爐腹是一直達到風嘴帶；因風嘴左近所造成的空處和爐斗傾斜較陡的便利，所以料的下降進行得非常順利而均勻。在這座爐子上，其爐高和腹徑的比例達到 4。其爐喉狹窄，則為當時西歐許多爐子的通常情形。在烏拉爾，由第一根尼那指導而建造的第一座爐裏（第 18 世紀初期 25 年間），腹徑和喉徑的比例約為 0.75。這個烏拉爾和西歐爐子的不同點，以後仍是保留的。

烏拉爾爐子的高度比西歐的，不獨不低，而且還要高些。在 1740 年，普羅可比·第米道夫在尼維安斯基廠建造一座煉鐵爐，根據愛爾曼，其內形如圖 5。因全高 12.8 公尺，這座爐子有克賴法爾 3.5 倍以上的有效容量，從伏蘇戈耶山的富礦裏，每日化出 14 噸生鐵。這樣的產量，

在當時，是隨便那座歐洲的煉鐵爐所未曾達到過的。圖5表示第米道夫煉鐵爐的內形式樣，那是和圖3萊茵斯爐子相同，不過其主要尺寸是約計高出25%。爐缸也較高，但因其周壁向上擴大，造成與爐腹部接合處的面積廣大。斜度也比萊因爐子的陡些。

應用圖5的內形和尺寸是一個很大的進步。此外，尼維安斯基廠的爐子，在第一次開爐是施用兩個風嘴。這也是一格重要的創舉，使這座爐，在產量方面，高居煉鐵爐首席至相當長久的時間。

2. 用焦炭化生鐵 是1740年在英國一座木炭爐裏始創進行的。在英國建造第一座焦炭煉鐵爐的高度和內形，是同木炭煉鐵爐一樣。其產鐵量，每日約25噸，比木炭煉鐵爐略多些。

加大焦炭煉鐵爐的尺寸，演進得非常之慢。加大尺寸的工作之所以遲緩，是因為當時只有用水力帶動的普通轉轆式風箱，而沒有大型鼓風機的緣故。

1776年以後，應用到蒸汽機來供給煉鐵爐的壓風，才能把爐的尺寸加大，使產量提高。

話雖如此，在實際上對於加大尺寸和增加產量，還是演進得很慢；就是在1796年西利西亞的格萊維次廠裏，焦炭煉鐵爐的高度和橫斷面積，還是比第米道夫在56年前所造的煉鐵爐矮小些（對照圖5和圖6）。

在十九世紀最初25年中，大不列顛境內焦炭煉鐵爐的每日產量未曾超過7噸，而平均則為5噸。一座這種產量的煉鐵爐，即蘇格蘭的卡隆廠裏的焦炭煉鐵爐，列示在圖7。同凡格海根廠的煉鐵爐對照，則這裏的爐高和腹徑的比例(2.65)是大些，而腹徑和缸徑的比例(5.15)則小

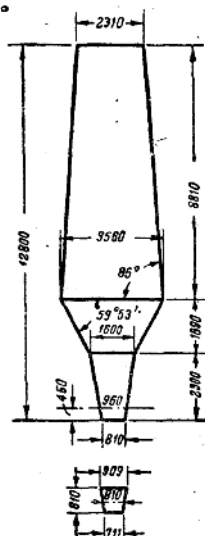


圖5

1740年尼維安斯基廠爐子的內形，有效容量72立方公尺，每日生產煉鋼灰口生鐵14公噸。

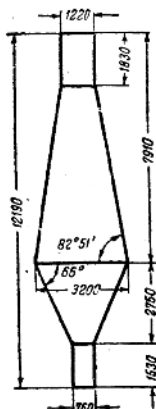


圖 6

1796 年西利亞亞格來維次廠焦炭煉鐵爐的內形；有效容量 37 立方公尺，每日產量 2.1 至 2.5 噸。

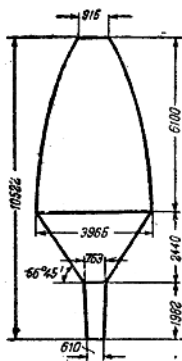


圖 7

十九世紀初葉蘇格蘭卡隆廠焦炭煉鐵爐的內形；有效容量 47 立方公尺，每日產量 5 噸。

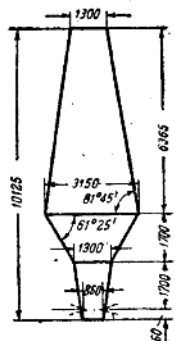


圖 8

法國維也納廠在 1843 年所建焦炭煉鐵爐的內形；有效容量 30 立方公尺，每日產量 4 噸。

些。總之，爐缸面積（喉口面積也是一樣）是十分狹小的。

在歐洲大陸的煉鐵爐，多沿習英國的模型，其內形多如圖所示。圖 8 和圖 9 分別表示法國維也納廠和普魯士西根斯區的煉鐵爐。這兩座爐的高度，都和卡隆廠的一樣，但維也納廠的爐缸較大和爐腹較陡，其內形可謂比蘇格蘭的都有成就；但其上口的爐喉，還是狹窄的。在西根斯區的爐子裏，對於爐喉這一點是改正了的，但是爐缸狹窄得很，比法國爐子的還要小。

在這個時期，雖然實際在生產的爐子，其內形多數是極類似的，但對於煉鐵爐內形應究竟如何選定才有利的思想，則當其時已經開始見於論述的了。

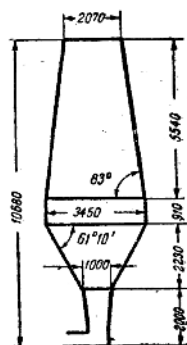


圖 9

普魯士的西根斯區在 1860 年所建焦炭煉鐵爐的內形；有效容量 52.3 立方公尺，每日產量 7 噸。

在1839年，約翰·吉達斯曾編印一本小冊子，叫做“斯塔福郡煉鐵爐建造的實際記錄”，在冊子裏他曾這樣寫着：

『因為有充分的機會來做詳細觀察煉鐵爐的工作，我就利用這個機會來研究熱力對於爐內操作地段形狀的影響，從開爐始至最後放爐修理為止。

在斯塔福郡，煉鐵爐開爐一次，能持久4—5年；但我在許多年中同時管理六座爐子，我就把這些爐子分期放爐，從開爐後三個月起開始注視爐子的燒蝕情況，注意力逐漸加強，待至最後，爐子完全蝕穿，為止。

在放爐後，又注意到爐子工作各段耐火周壁的情形，我就對自己說“火的數字好像都書寫在爐壁上似的，我想用心去瞭解這些所書寫的是些什麼，於是許多事實竟使我明白了”。

首先使我感想的是爐缸及爐腹的周壁，在開爐之後就會很快燒蝕的事實；可以說在開爐六個月後，平均的數字是 $\frac{1}{3}$ 爐壁厚度；若是磚砌的話，則以後燒蝕很少，但逐漸加深以至爐腹完全燒蝕到必須修爐之時為止。

這就使我體會到：若我這樣建造一座爐子，使其工作地段的內形，預先就砌成三個月後所燒蝕的形狀，那末，我可以限制火的侵蝕，能保護爐窩和爐斗的大部份不至燒蝕。這種試造是不會有什麼危險的，所以我就照這樣做了』。

首先是：把爐窩的對徑加大到支撐爐壳的磚柱所能容許為止。爐缸較大的爐子比舊式的能在早幾個月達到正常的標準生產量，而修理時間可晚些，就是說，可以使用得更長久些。

第二是：把爐腹加陡和把爐筒加大。做這樣改造煉鐵爐的工作結果，是和建爐者的預計完全相符合的；經過 $4\frac{1}{2}$ 年繼續不斷的施用，這座爐子比鄰近各爐的化煉全程，放出加倍的生鐵，而且以後還是始終保有這樣優良的成績；其煉鐵全程維持到七年之久，而在放爐停息之後，爐的磚壁仍若完好。圖10就是這個內形的寫照。

這個內形的爐高和最大爐徑比例增加到3.5，而腹徑和缸徑比例降低到3.5。從現代的觀察，腹徑和缸徑比例，還是太高——對於這樣內形，若用再大些的爐缸，還是有利的。在觀摩各部尺寸之後，還要注意

到爐壁的形狀如何構成全爐的內形；從圖裏可以看到，爐筒是曲面構成的；曲面的曲率是自然變過來的，使其與爐喉的陡度，很正確的互相符合。所以，不論其爐缸怎樣狹窄，其中堆積的熔料得以陸續下降，而氣體能夠在爐內的全面均勻分佈，這是實際上需要構成全爐內形的條件。

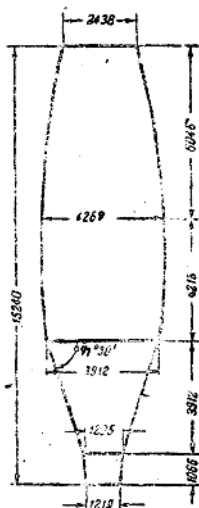


圖 10

1830 年的吉達斯內形；有效容積 141 立方公尺，每日產量 15 噸。

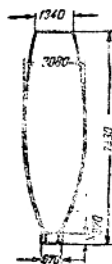


圖 11

十八世紀中葉瑞典木炭爐的內形。

那末，我們在這裏，應該提到札白利安爾·夏雷的歷史性名著中所述的，在 1760 年所施用的，瑞典木炭爐中之一座的內形（圖 11）了。圖裏所表示的“很自然的內形”，在很多年前早已聞世，這種內形的主張，在當年由於英國啓發的。札·夏雷有此高見，指出這種內形之有利，特別在其喉口之大；這種立論是在當年各國未曾採用之前所發表的。

吉達斯本人明確的認識爐缸對徑加大的功用，但因風量不足與風壓太低，始終未能達到實施。如圖裏所表示的內形的爐子，每日能產鐵約 15 噸；隨後有一同樣內形的爐子，不過把爐窩加大些，每日就能產鐵

20 噸，在當時，採用貧礦和設備極簡陋的環境中，認為是很高的生產能力了。

任憑他有此成就，還是很少有人來跟隨吉蓬斯的。他的極有見地的主張，對於“很自然的內形”的應用，不論他的同事們，或是後起的冶鐵人員，雖從澤·潘西的冶金學裏深知吉蓬斯的至理名言，都未曾及時利用。可是這本冶金學曾分別譯成法文、德文和俄文。

在吉蓬斯的歷史性小冊出版後幾十年，許多有名的專家還在建造稀奇古怪內形的化鐵爐，而十分自信，還以為比吉蓬斯簡單的“自然內形”來得合理化且各有其利益呢。

舉一個例來說，我們可以指出一位名人的設計，繪描煉鐵爐內形的法則，就是那有名的發明爐氣器和裝料機構者，澤·派里。在他的法則裏，對於繪描內形是如何確實而詳細的陳述出來：

『爐喉對徑應為爐腹對徑的一半，爐腹的深度不應十分小於其對徑。從爐喉到爐腹的爐身部份，其周壁應該是曲面，因此，爐身裏的容量，可使比錐形的大；爐身曲面弧的中心點應在爐腹上緣平面線的延長部份之上。

曲面的曲線半徑若是小的話，則爐身裏的容量，當然，要比這半徑大的多；但因此爐壁上就會有一個“死地”，熔料在這個地方受不到氣體的作用。爐身曲面向下連接爐腹，而爐腹向下至風嘴是 70 度斜角，於是成為截頭圓錐形。爐腹在風嘴水平線之上的高度不應小於腹徑加風嘴部份的爐缸對徑之半。』

依據以上派里敘述的指示，是無法把煉鐵爐內形繪描出來的，因為有關主要尺寸——缸徑、腹徑等的核定，他是始終未曾提出些什麼。派里本人所繪的內形，如

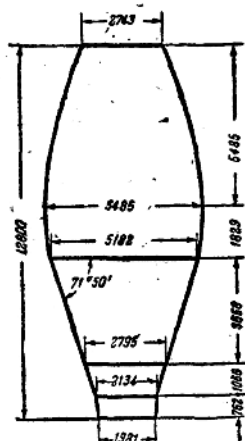


圖 12

派里的內形；有效容積 180 立方公尺。

圖 12 所示，是關於一座高度很低的焦炭化鐵爐（烏拉爾的木炭爐就是這個高度）。在他的內形裏，爐缸是充分的大，但最大爐徑若與爐高相比，實屬太大。其爐腹是相當陡，但過分高而深；大部份的有效容量是移至爐筒上段的，在應用上則有損失。對此十分高的爐子，派里的內形法則就會繪出不可容許的尺寸；可是，在英國居然有幾座爐子是這種內形的（高度達 15 公尺）。

在 1850 年以前，對於焦炭化鐵爐，以圖 10 所示的為最高。再度加高是在 1860 年以後，當克利夫蘭的泥鐵礦積極開採，造成米列得斯波羅鎮（克利夫蘭）冶煉生鐵事業的迅速發展。這就發動許多優秀配備的新爐子的建造，使這個鎮成為“各冶金區的模範”。

因其有達刺姆所產品質優良焦炭的便利，克利夫蘭的煉鐵爐構造，就很快從普通 15—17 公尺，改到 24.38 公尺，隨後高達 27 公尺；在斐雷一基爾廠裏，有一座爐子造到 31.5 公尺高，然不久又復改低了。

圖 13—17 表示英國克拉朗斯廠，在五十六年中，使煉鐵爐內形和尺寸逐漸演進的經過。這個廠的負責人是羅提安·柏爾（愛爾·柏爾）。

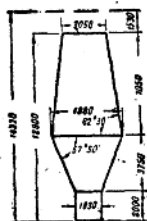


圖 13

1853 年內形；有效容積
170 立方公尺，每日產煉
鋼灰生鐵 30 噸。

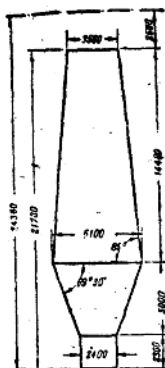


圖 14

1865 年內形；有效容積
440 立方公尺，每日產量
50 噸。

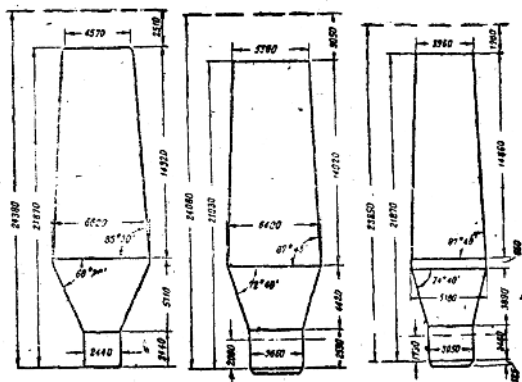


圖 15

1874 年內形；有效容
積 570 立方公尺，每
日產量 65 噸。

圖 16

1907 年內形；有效容
積 570 立方公尺，每
日產量 185 噸。

圖 17

1908 年內形；有效容
積 830 立方公尺，每
日產量 110 噸。

把內形來比較一下，我們發現爐底對徑和爐身的角度的加大，是十分小心而遲緩的。在 54 年後，缸徑不過達到 3.66 公尺，而爐腹角度不過 70 度 40 分。爐喉口徑的加大，則相當猛進。在 1906 年，已經增加到 5.39 公尺之大，而最大爐徑不過 6.4 公尺，實可認為過度發展。爐身周壁斜度達到 87 度 45 分，這是只有在克利夫蘭可以採用，因為裝入爐內的大部份鐵礦是大塊的，而焦炭是堅硬的。

顯然的，愛爾·柏爾也注意到爐高和最大爐徑的重要性。在他長期的管理克利夫蘭廠裏，他就在試驗這個稱為“細長的內形”；他把十一座煉鐵爐中的一座，高度和其它爐子一樣，而腹徑比別座大的，來改成細長的內形。圖 17 表示細長內形，這是比圖 16 所表示的合理得多，但關於爐子上 $H:D$ ，仍保守着很低的比例，而未曾作任何有效的選擇。

關於煉鐵爐的高度，其實早曾進行過有效的改進步驟。曾在 1865 年，造過一座爐子，比克拉朗斯廠的高 10 公尺。但再沒有其它超過 24.38 公尺高度者，因為大家認為再比克利夫蘭爐子高是沒有用處的。