

焊接高炉金属结构的 设计制造与安装

Б.А. 霍赫洛夫 主編



焊接高爐金屬結構的 設計、制造与安裝

斯大林獎金获得者

Б. А. 霍赫洛夫工程师 主編

冶金工業出版社

本書中載有容積為 1200 公尺³全焊高爐的金屬結構研究工作、設計、製造和安裝等等結果的分析。

本書中記載了建造新型高爐和新施工方法的各階段許多實際材料，並敘述了在製造比較完善之高爐結構和構築物的工藝方面實現新理想的方法。

本書適用於從事施工工作的工程師和技術員，土建設計人員，冶金工作者和造船工作者。

Б. А. Хохлов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИЗГОТОВЛЕНИЕ И МОНТАЖ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ
КОНСТРУКЦИИ СВАРНЫХ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

Стройиздат (Москва—1949—Ленинград)

焊接高爐金屬結構的設計、製造與安裝

編輯：殷保楨 設計：趙香荅 魯芝芳 責任校對：朱駿英

1958年6月第一版 1958年6月北京第一次印刷 1,500冊

850×1168·1/32·129,900字·印張8 $\frac{16}{32}$ ·插頁2·定價(10)1.60元

冶金工業出版社印刷廠印 新華書店發行 書號0791

冶金工業出版社出版(地址：北京市燈市口甲45號)

北京市書刊出版業營業許可証出字第093號

目 录

緒言	5
第一章 設計和科学研究工作	9
第一节 高爐結構的概述	9
第二节 高爐金屬結構構件的分析	14
第三节 高爐金屬結構的設計技术条件	40
第四节 作为高爐金屬結構設計方案依据的焊接实验研究	44
第五节 查坡罗什鋼厂第四号焊接高爐的結構及其特点	55
第六节 高爐金屬結構（焊接的）制造和安裝的技术规范	65
第二章 金屬結構的制造	68
第一节 概論	68
第二节 施工圖	69
第三节 高爐結構使用的鋼材	71
第四节 高爐外壳零件的加工	73
第五节 裝配用具	85
第六节 高爐外壳的預裝配	90
第七节 高爐外壳結構的質量檢查与驗收	107
第八节 高爐的柱子、热風圍管、煤气管与斜桥等的制造工艺	120
第九节 制造查坡罗什鋼厂第四号高爐的結構制造施工进度表	124
第十节 制造焊接高爐結構的劳动量	125
第三章 金屬結構的安裝	121
第一节 施工組織的技术措施	121
第二节 安裝工作的組織設計	122
第三节 安裝机械	149
第四节 煉鉄車間工程的安裝	158
第五节 焊接前結構裝配的檢查組織、裝配的精确度和驗收	188

第六节 結構安裝的技术經濟指标	188
第四章 安裝焊接	192
第一节 修建焊接高爐时的实验研究工作	192
第二节 准备工作	216
第三节 电焊工和鑄整工的訓練	219
第四节 高爐外壳的焊接工艺过程	223
第五节 焊接工作的組織和施焊	254
第六节 高爐外壳裝配和焊接的監督	257
第七节 由焊接引起的高爐壳变形	265
第八节 亞速鋼厂第二号高爐外壳的焊接	272

緒 言

建筑用低碳鋼的电弧焊接，近年来使用得極其广泛。制造建筑金屬結構时，焊接已成为主要的連接方法。只有在制造作業条件繁重之特別沉重的結構时，如平爐煉鋼車間或与其相类似的各車間中的吊車梁，以及在構築受强烈的和很高的动力荷重的鐵路桥梁的跨間結構时，才采用鉚接。

近年来，在生产優質厚塗料焊条（这种厚塗料焊藥能保證有可靠的气体的或渣滓的，以及气渣綜合的焊接保护帶，以防止空气中之氮和氧对焊接产生不良的影响）方面的成就，使得所焊出的熔融合金具有很高的机械性能。在大力开展为焊接确定連接和接头的优良准备方法（焊缝坡口的作法，鋼材边的加工和空隙的尺寸）的科学研究与实验工作的基础上对焊接工艺的改善，施焊技术的改良，确定焊接制度方面的改进，以及推行以透視和照像的办法檢查焊缝的完善方法等等，就打消了对焊接連接之强度和可靠性方面的顧慮。所有这一切都使得沒有任何限制地在極其重要的構築物中，和在非常复杂的工艺条件与高压力作用下工作的厚鋼容器結構中采用焊接。

在修筑高爐时采用焊接應該認為是最近年代中的一种最卓越的成就。

由于对与焊接厚度大的低碳鋼有关之諸問題进行了仔細的和深入的研究結果，和对像高爐爐身外壳和爐缸外壳所具有之可變溫度和可變荷重的复杂工艺条件下焊缝工作的研究結果，于1948年，在苏联曾在很短的期間內順利地構築了第一批兩座各为1300公尺³的全焊高爐。

由于很好地編制了焊接的工艺，仔細地挑选和很好地訓練电焊工，周密地研究了电焊工作的組織和对已規定之工艺过程遵守情况的檢查，兩座高爐的焊接是在很高的技术水平下进行的，並且获得了国家驗收委员会的好評。焊接這兩座高爐时未曾有过一

处主要焊缝造成廢品的情況。

高爐金屬結構的安裝工作和焊接工作的順利進行，在頗大的程度上是賴于工廠制造結構的質量優良的結果。對鋼板邊緣加工的精確度和接頭處的重合性，以及對接口中的空隙等所提出的較高的要求，就迫使從根本上重新研究高爐結構工廠制造和安裝的操作工藝。因此決定所有調整安裝接頭的工作都在工廠中進行。給制造廠方面曾提出過指示，要求他們要對高爐的所有主要構件和部件進行預裝配，調整所有的接頭，使符合于特為制造全焊高爐結構所編制之技術條件的要求，將所作的預裝配交付給安裝機構的檢查員進行檢查，並安置專用的定位器，使之能够在安裝時將結構準確的按工廠中預裝配時的位置進行裝配。

高爐結構的安裝工作是用由一批蘇聯安裝工程師特別設計出的強大的高效能的塔式起重機進行的，這種起重機的起重高度達70公尺，起重桿伸出長度達30公尺和最大的起重能力達40噸，用它可以安裝預先裝配好的和在擴大裝配場地上焊接好的大型構件。

構築第一批全焊高爐工作的順利完成和很高的技術經濟效果是斯大林五年計劃的年代中建築安裝工作技術的偉大成長的結果。

科學研究機構和設計機構的工作者們，在進一步加強自己社會主義祖國的威力的愛國主義思想鼓舞下，同工業部門和建築部門的斯達哈諾夫工作者與工程技術人員緊密地聯系，順利地解決着使祖國的科學和技術推向前進的新的問題。

採用焊接可以將高爐的結構特別是爐喉部分作根本的改變，將爐喉部分作成更便于煤氣取樣和減少爐灰吹出量的形狀，在根本上改進了煉鐵的工藝過程。

第一批的兩座全焊高爐的操作是完全順利的，未發生任何毛病。

根據所做的試驗的結果，決定今後所有新建的高爐只採用焊接。在本年內這一決定就開始執行，並且目前在頓巴斯和德涅泊

尔区的一些建筑場地上正在順利地結束高爐的最重要的基本結構的焊接工作。

應該特別指出，焊接第一批兩座高爐的經驗已完全証實了最初研究的並推荐的焊接工艺过程。焊接目前修筑的所有高爐的結構都是按最初編制的工艺过程进行的，沒有任何違背的地方。

同时，根据制造和安裝第一座高爐的經驗，需要在高爐的某些节点和結構構件的設計中要做一些修改，以及对某些結構的制造和安裝的工艺也要做一些改变。例如，为了避免用手工加工下部煤气导出管的复杂表面，和將其做成能在鋼板弯曲輥床上制作而不用手工制造的一种形狀，曾改变了下部煤气导出管的外形和形狀。曾改变了爐頂最末一节支承爐頂平台的支圈結構。安置用厚鋼板作成的結構来代替弯曲的大型角鋼，这样就減輕了制造工作，同时也改善了支圈的結構。曾經考虑了生产人員提出的关于增加斜桥剛度等等的意見。

由于掌握了对爐缸和爐身外壳厚鋼板（特別是錐形表面和曲率半径差度大的鋼板）的精确輥压的方法，在日丹諾夫金屬結構工厂中取消了鋼板沿長度的裕量，这样就大大地減少了鋼材的切边廢料和提高了采用焊接的經濟效果。

1948年修筑第一批全焊高爐所进行的工作获得了苏联政府很高的評價，並授予了斯大林獎金。

在这一部集体著作中，試圖向讀者介紹苏联第一批全焊高爐設計、制造和安裝方面的經驗，以及介紹一下作为所采用之施工方法的依据的科学研究工作。

本書第一章記載苏联国立鋼結構設計院的工作，是由 Н. П. 明尔尼科夫、Е. X. 馬那柯夫和 К. К. 姆哈諾夫三位工程师編写的。

本書第二章記載关于在德涅泊尔彼得洛夫斯克城莫洛托夫工厂中制造金屬結構的情况，是由斯大林獎金获得者 М. М. 薩赫諾夫斯基工程师編写的。

以上兩章是在斯大林獎金获得者 Б. И. 布略耶夫工程师的領

导和参加下編写的。

第三章是由斯大林獎金获得者 A.3. 齐弗里諾維奇工程师和 Л. И. 列文工程师編写的，其中叙述了「鋼結構安裝」公司和「鋼結構」公司在修筑高爐时的安裝工作經驗。

第四章叙述有关「鋼結構安裝」公司所进行的安裝焊接的材料，是由斯大林獎金获得者 В. И. 明尔尼克工程师和 В. Л. 柴格爾斯基与 Р. Г. 什涅依捷洛夫兩位工程师編写的。

后兩章是在 В. Л. 沈金工程师的领导下写成的。

此外，在編著此書时还有斯大林獎金获得者 И. Б. 吉特曼工程师和 Г. В. 列別基工程师参加。

第一章 設計和科學研究工作

第一節 高爐結構的概述

近代的高爐是冶金工廠中最複雜的一種工程構造物。它是一座很高的豎井式的爐子。由爐缸、爐腹、爐腰、爐胸和爐喉（圖1）所構成的高爐的內壁是用特殊的耐火磚（粘土磚）砌成的，外面以整個鋼制外殼包裹或以單獨的鋼帶纏繞。

高爐從上面用料車卷揚機裝料（主要是由焦炭、礦石和石灰石所組成的機械混合料）。

料車卷揚機包括卷揚機室、兩個料車（小車）、料車坑和設有翻車裝置的斜橋。料車依次地在料車坑內裝料，沿斜橋上昇，並自動地傾翻，將其中所裝的料卸入裝料機的受料漏斗中。

由礦石煉出生鐵的過程需要大量的熱，這種熱主要是焦炭（或是木炭）燃燒時和往爐中送熱風時產生的。焦炭是在風口區的有限容積內燃燒的。

為了使大型高爐正常操作，在一晝夜內約需4000噸原料、將近3000000公尺³加熱到500—700°並以1—1.5大氣壓的壓力送來的熱風和達35000公尺³用來冷卻高爐砌體的水。

高爐的生產過程是不間歇的，因而一晝夜一般出鐵6次。大型高爐一次出生鐵300—350噸。

大型高爐中在一分鐘內可生成約3000立方公尺的爐頂煤氣，這種煤氣的發熱能力約為950仟卡/立方公尺。煤氣由高爐中以10—15公尺/秒的速度排出並經除塵處理。

爐頂煤氣用干式靜力除塵器進行第一次粗除塵，在這種除塵器中沉積達80%的灰塵；用這些除塵器只能清除爐塵中的最大顆粒。爐頂煤氣在專門的煤氣洗滌機室用洗滌塔和洗滌機進行最後的除塵。

高爐在停爐大修之間不斷地工作，這種不斷工作的單獨期

間称为爐役期（高爐一代寿命）。

在將近四年的繼續不断地工作的一个爐役期內，一座大型高爐約生产一百八十万吨生鐵。爐役期結束时高爐即停爐进行大修，大修工作約繼續三个月。高爐的鋼結構应保証有可能在最短的期間內进行修理。

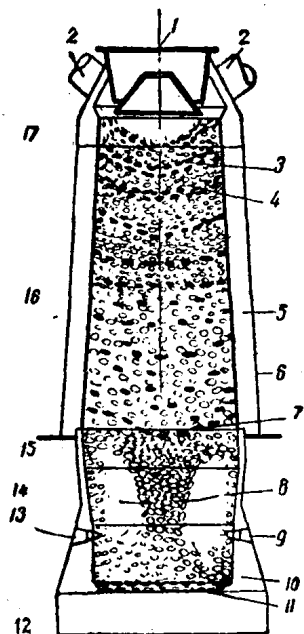


圖1 高爐的工艺圖

1—高爐的裝料；2—爐頂煤气的导出管；3—矿石層；4—焦炭層；5—耐火磚；6—鋼板外壳；7—第一滴鉄水的形成；8—燃燒帶；9—鼓風： $T=500-700^{\circ}$ ，压力—1—1.5 大氣压；10—爐渣；11—鉄水；12—爐底；13—爐缸： $T=1500-1900^{\circ}$ ；14—爐腹： $T=1300-1700^{\circ}$ ；15—爐腰： $T=1000-1300^{\circ}$ ；16—爐身： $T=350-1000^{\circ}$ ；17—爐喉： $T=150-300^{\circ}$

高爐的內型以及襯磚的厚度均由冶金工艺人員确定，同时爐子內型和襯磚的厚度对确定構築物之土建部分和对高爐的生产能力均起着很重要的影响。1300立方公尺之标准高爐用粘土耐火磚作里襯，其厚度在托圈（爐腰）以上兩公尺的高度內为1265公厘，而在兩公尺以上的地方为920公厘。爐底砌体的厚度一般不小于3.5公尺。在爐喉帶內安有鋼板，以防止在裝料时砌体受机械破損。

对砌体的質量要特別注意：砌体磚縫的厚度，在爐缸处不应超过0.5公厘，在爐腹处和爐腰处不超过1公厘，在爐胸处不超过1.5—2.0公厘。在砌完以后，应进行仔細的干燥。

高爐的砌体在極其繁重的条件下工作，一般是不能够坚持一个爐役期以上的，一个爐役期結束以后就要进行大修。

首先，高爐中部和下部的砌体遭到破坏。粘土磚在加热到 900° 以上的溫度时，就逐漸地丧失了耐磨的性。爐喉处的砌体受裝料时的机械影响而很快地遭到破坏，这是固定保护板的結構不好的原因。砌体

在燒結的爐料（渣皮）和落下的爐料的影响下，也会遭到破坏。当爐料在瞬間落下时会造成悬料，因而，爐腹就起着支承所形成之拱的作用。承受上部料柱的重量。

砌体的被破坏会造成外壳局部燒穿，对爐子的正常操作起不良的影响。砌体的局部破坏就会形成爐料拱，造成悬料现象，因而就改变並增加鋼結構的負荷。

曾發生过爐底被侵蝕达 3 公尺深以及爐缸壁燒穿鉄水流出等情况，在这时伴随而来的是高爐的一兩個支柱被破坏。

为减少高温对爐子結構的影响的最主要办法就是用水冷却爐子砌体。在溫度最高的区域（爐缸、爐腹、爐腰）內采用整塊的冷却板，冷却板中鑄有管子，在管子中有水循环。在高爐爐身 $\frac{3}{4}$ 的高度內用局部的臥式冷却板冷却，冷却板大約以 600 公厘的間距錯綜排列。

为了进行冷却，高爐設有很多的分支給水管綫。管綫同每个冷却器是通过爐壳上的孔单独連接的。

高爐的爐頂部分，以及所有煤气导出管均以磚或鑄造的生鉄板作里襯。

所有荒煤气的导出管應該有不小于 53° 的傾角，以防止被爐塵堵塞。

高爐的鋼構架包括：支柱、托圈、爐缸外壳、爐腹外壳、爐腰外壳和爐胸外壳、爐頂外壳和爐頂裝置的結構。

爐頂結構乃是由帶放散管的煤气导出管、爐頂平台、安裝小車、料車卷揚机滑輪的平台和用来起放佈料器料鐘平衡桿的平台組成，利用佈料器向爐中裝料。全部爐頂結構均固定在煤气导出管上或者是固定在特殊的立体結構上，即所謂爐頂鋼架上。煤气导出管乃是一个圓筒形的管子，用它把爐頂煤气由爐中导出並將煤气送至除塵器。煤气导出管之垂直部分的頂部以閘作結尾，謂之放散管。当高爐操作不正常时，放散管用来將煤气放入大气中。

爐喉的个别部分，特別是爐盖和佈料器的漏斗須要在高爐一个爐役期終了时更換。这一更換工作須要在極短的时期內完成，

因为它与高爐的停爐是有联系的。为此目的，在爐頂上設置專門的机械裝置，即所謂的安裝小車。

安裝小車在通过高爐中心綫的平面內水平地沿着兩根梁移动，這兩根梁固定在爐頂鋼架的結構上。

爐頂鋼架一般是由兩個金屬構架所組成，兩個構架用斜撐連接成一個剛性的立體結構體系。鋼架的構架支承在爐頂平台上。

为了維護設置在爐頂上的机械裝置，設有專用的平台，並在平台上設有非常方便的梯子（因为由高爐中和煤氣导出管中會放散出有害的氣體，故在爐頂上不允許設置豎梯）。

通过爐腹帶上的風口送入高爐中去的風要在熱風裝置——熱風爐中加熱。

熱風爐乃是一個圓筒形的豎爐，由耐火磚砌成，外面包以鋼板外壳。熱風爐由于高爐煤氣在其中燃燒而被加熱，空氣由鼓風機中送入熱風爐中，在通过熱風爐時被加熱，然後經風管和熱風圍管送入進風彎管中。每座高爐一般使用三座熱風爐。在同一時間內由一座熱風爐送熱風，而另兩座熱風爐則用高爐煤氣加熱。

爐頂煤氣由兩座不同型式的除塵器構成的除塵器組進行粗除塵。第一除塵器乃是一個里面襯磚的垂直鋼板圓筒，下部有漏斗。由高爐爐頂進入到這裡來的爐頂煤氣急驟地改變其運動的方向，其運動的速度也隨之而減小，這樣，灰塵中較大的顆粒就沉積在漏斗中，漏斗在定期內排放。

由第一除塵器部分除塵過的爐頂煤氣進入第二除塵器中，第二除塵器是旋風式的除塵器。爐頂煤氣在這裡再補充地進行除塵，然後通过荒煤氣管道送入煤氣洗滌塔中。

第二除塵器同樣是由圓筒形的鋼板外壳所構成，下面帶有漏斗，但它的里襯不是磚的，而是襯以鋼板的，並且尺寸比較小些。

每個煉鐵車間有原料堆放場——貯礦場，貯礦場中一般設有門形礦石抓斗起重機和通向斜橋料車坑的貯槽棧橋。

高爐的平面佈置方法有兩種：一系列式佈置和島式佈置（圖2）。

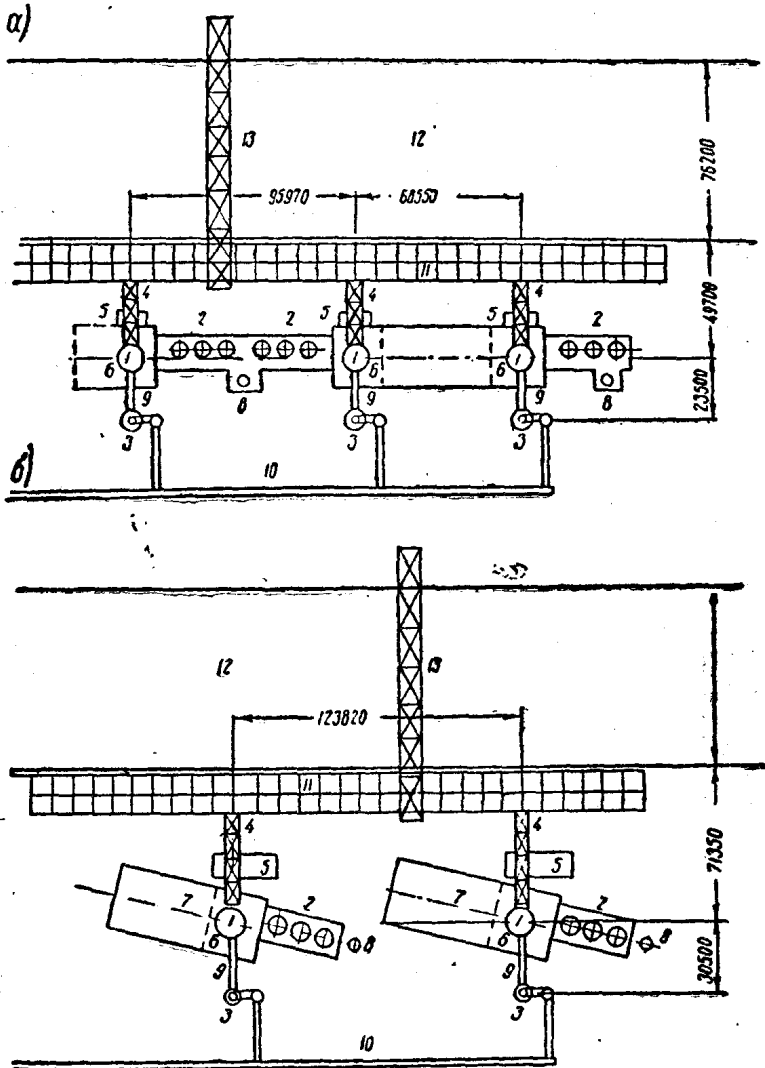


圖 2 煉鐵車間的平面圖

α——一系列式佈置；6——島式佈置；1——高爐；2——熱風爐組；3——除塵器組；4——斜橋；5——料車卷揚機室；6——爐台；7——出鐵場；8——煙囪；9——煤氣下降管；10——荒煤氣管道；11——貯槽棧橋；12——貯礦場；13——矿石抓斗起重機

采用一系列式佈置时，兩座高爐使用一个配置在它們之間的出鉄場；出鉄場的中心綫与高爐的中心綫重合。每座高爐由一个有三座热風爐的热風爐組供应（更确切些說，是由六座热風爐所構成的热風爐組，它供应兩座高爐）。斜桥中心綫与高爐和出鉄場的中心綫成 90° 角。

島式佈置时每座高爐設有一个單独的由三座热風爐組成的热風爐組和一个單独的出鉄場。它們的中心綫与配置高爐的中心綫交成一个不大的角度（約 12° ）。

島式佈置与一系列式佈置相比較具有一些优点；其中如可保証在鉄路运输方面有較自由的运轉，尤其是当有一座高爐进行修理时。在最近的年代中冶金工作者們偏重于島式佈置。

煉鉄車間的全圖示于圖 3 中。

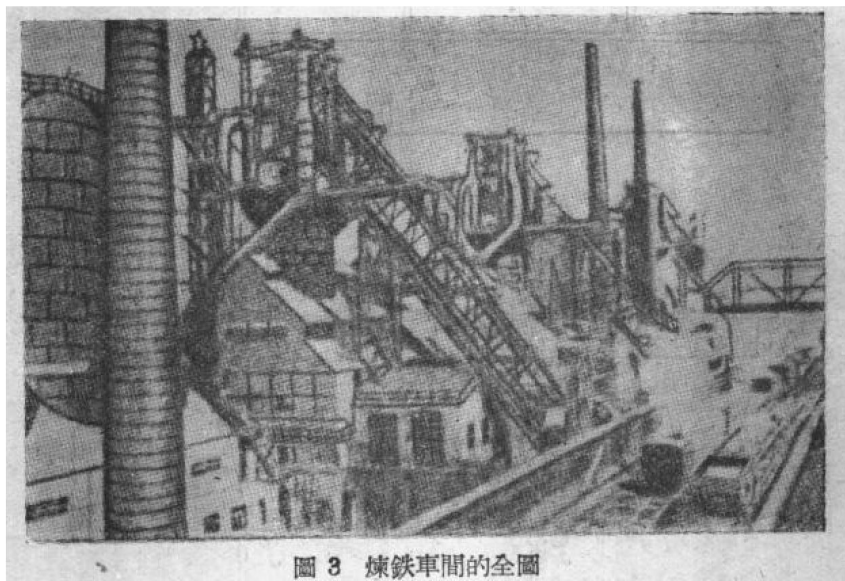


圖 3 煉鉄車間的全圖

第二节 高爐金屬結構構件的分析

制造和安裝金屬結構的技术在最近的年代中發生了極大的变化；除了鉚接連接的形式外，还出現了利用电焊的一种比較先进的連接方法。在最短的期間內焊接已成为大多数金屬結構構件的

主要的連接方法。

考虑到高爐結構工作的特点，在高溫下繁重的操作条件，在很長的時間內焊接只局限于在平台、爐頂裝置、煤气管道等結構中采用，以及在个别情況下在热風爐、除塵器和洗滌塔的結構中采用。关于高爐本身（外壳、托圈、支柱）采用焊接結構，由于对焊缝的質量是否能保証高爐不断的工作缺乏信心，一直拖延了很長的時間。

由于焊接金屬結構的现代技术情况，掌握有優質的焊条和可以满足对制造重要焊接結構所提出的严格要求，因而就提出了用焊接制造高爐外壳的問題，这种外壳是一种非常重要的厚鋼板的結構。

在采用焊接之前，必須对高爐已有的結構形狀进行批判性的研究。高爐的金屬結構不屬於建筑結構之类，並且很大一部分只是根据工艺方面的要求来制造的；在設計時未曾足够地考虑合理的制造和安裝这些結構的生产要求。同样对結構在靜荷重下工作和有效地利用材料方面也是缺乏分析的。

在1944年「鋼結構設計院」曾把高爐的結構看作为工程構築物，对如何从鉚接过渡到焊接的問題进行过研究。焊接結構要求与鉚接有不同的形狀；在选择結構方案時必須同样重視对高爐所提出的生产方面的要求，以及要考虑焊接結構制造和安裝的工艺特点。因此，在解决焊接高爐的結構問題以前，必須对在实际施工中已确定的高爐鉚接結構的形狀进行研究和詳細的分析。只能是在这种分析的基础上才能对焊接高爐提出正确的結構方案。

1) 高爐的外壳

高爐外壳的主要用途是确定高爐的有效容积和保証不透氣。此外，外壳还用来作为煤氣导出管和爐頂結構的承重結構。

經過数十年的實踐所研究成的高爐內型，目前在某种程度上已成为不变的了。

砌体壁的厚度根据工艺条件考虑在一个爐役期的过程中能保

証砌体的工作来确定。用这种方法确定好的砌体外形用外壳包裹，外壳是用厚鋼板作成的圓筒形和圓錐形的旋轉筒体相互配合

而構成的（圖4）。一种筒体与另一种筒体相接处構成在構造上复杂的接头，同样在接头处也形成有应力集中。为了避免这一点，在外壳的輪廓上应力求减少折曲的数量。可是，簡化外壳的形狀就势必要改变外面的輪廓，这样就使磚砌体的体积增加致使構筑物昂貴。高爐外壳最合理的形狀应当以經濟观点同时考虑砌体与鋼結構的造价的方法来确定。

在1300立方公尺高爐的焊接爐身外壳的最新的方案中，只决定有兩個折曲部分，但可以想像得到这並不是極限的。

在强烈外部冷却的条件下，砌体燒蝕的时间是慢的。在这种情况下砌体的厚度达到80—120公厘，而再繼續減薄几乎是不允許的。在强烈的用水进行冷却的条件下可以作薄金屬壁的爐身（圖5）。曾在几座高爐上作成这样的結構（如馬凱耶夫和柯索哥尔工厂的高爐），但是沒有获得广泛的采用。現代的大型高爐均做成厚壁的爐身。

制造与安裝外壳的劳动量取决于接头的数量。因此，形成外壳的鋼板的尺寸应当尽可能地采用大一些的。鋼板最合理的尺寸應該根据軋鋼机軋制的可能性，以及鋼結構制造厂中弯曲軋床的尺寸和安裝外壳单独簡节所用之安裝机械的性能而定。

外壳鋼板的裁切工作是最主要的問題。錐形筒体如展开成平面，就可以把它裁切成

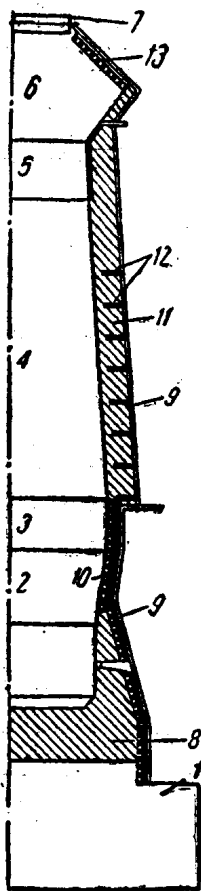


圖4 高爐的断面

- 1—基础； 2—爐腹；
- 3—爐腰； 4—爐胸；
- 5—爐喉； 6—爐頂；
- 7—爐頂法蘭盤； 8—爐底；
- 9—鋼板外壳； 10—立式冷却板；
- 11—爐身砌体； 12—臥式冷却板；
- 13—鑄鋼的里襯板