

热风炉改造系列篇（三）

内燃式热风炉怎么改造成顶燃式热风炉

王长春、

一、 内燃式热风炉系统结构特点

内燃式热风炉的燃烧室和蓄热室在同一个炉壳里，燃烧器在燃烧室底部，这就决定了内燃式热风炉的空煤气进口在燃烧室底部，热风出口也位于燃烧室下部。

内燃式热风炉管道的布置的一个特点是烟道、冷风管道与热风管道和空煤气管道分炉体两侧布置；其次是热风管道与围管等标高，热风管道中心线距离热风炉本体中心线距离较近（图1）。

大型高炉内燃式热风炉通常将空煤气主管位于上平台，便于布置管道检测装置，阀门设备则布置在炉体下方的空煤气进口附近。

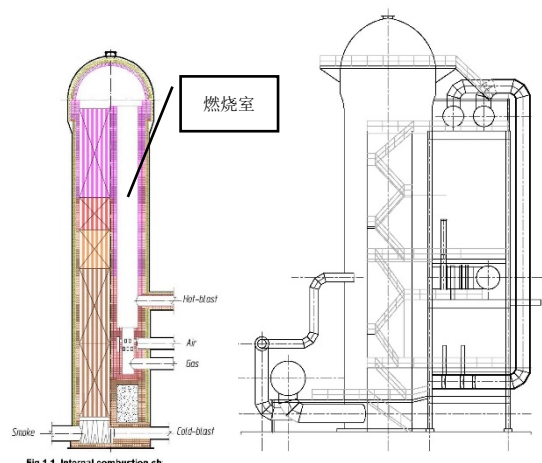


图1 内燃式热风炉及管道布置

二、 顶燃式热风炉系统结构特点

现代顶燃式热风炉的基本特点是燃烧器布置在蓄热室上部的拱顶上方，因此空煤气进口也在拱顶上方；“大拱顶”形式的顶燃式热风炉有所不同，空煤气进口在拱顶底部。但是，不管哪种形式的顶燃式热风炉，热风出口都布置在拱顶下方，或者说都在蓄热室上方，这是顶燃式热风炉与内燃式热风炉的一个重要的结构性的差异---顶燃式热风炉热风出口的标高一般都高于高炉围管标高（图2）。

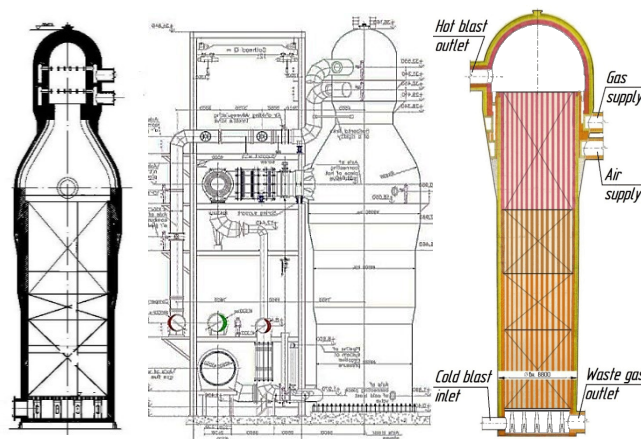


图2 顶燃式热风炉及管道布置

顶燃式热风炉与内燃式热风炉的另一个重要区别是空煤气进口位置，内燃式热风炉的空煤气进口位于炉体下方，但顶燃式热风炉的空煤气进口在拱顶上方。

三、 内燃式热风炉为什么要改造成顶燃式热风炉

前苏联时代工程技术人员（以卡卢金博士等主导）在上世纪七十年代对各式内燃式热风炉开展了全面的研究，发现内燃式热风炉的燃烧室是热风炉

最弱的部分，限制了内燃式热风炉长期运行的热风温度很少超过 1200℃，且需要频繁维修。内燃式热风炉在国内的建造水平和应用水平不一，但燃烧室的问题普遍存在，或者其中某个问题比较突出。

国内如武钢等有一些建设质量优异的内燃式热风炉已经稳定运行了很长时间，但这些内燃式热风炉仍然会面临运行一定年限后的大修技改问题。由于内燃式热风炉的投资远远高于顶燃式热风炉，因此，投资更低、风温更高且故障率更低的顶燃式热风炉结构是内燃式热风炉大修技改的最佳技术路线。

卡卢金顶燃式热风炉技术引进中国不到 20 年，随着工程实践项目和高炉炉容不断增加，卡卢金热风炉技术一直在不断发展，包括核心的燃烧器结构也已经有了很多技术进步。

但是，因为引进技术展现的显著优势的影响，近十几年来国内蜂拥而起地建设了一批所谓“改进型”、或者抄袭加改装的各式顶燃式热风炉，这些热风炉设备品质良莠不齐，有一些在运行中故障频发，最典型的是风温不能达标，以及在热风出口、热风管道三岔口、竖管等部位的内衬损坏事故，让用户蒙受巨大损失。这种情况很像当初霍戈文内燃式热风炉引进中国后的情况，国内之后自行建设了大量的各种“改进型”内燃式热风炉，技术参差不齐，运行质量普遍达不到引进技术的水平，同时，国内的内燃式热风炉技术也失去了原创技术的支持和持续发展的基础。

2019 年 4 月，由卡卢金原创设计的国内第三座 5500m³ 高炉顶燃式热风炉组投产，目前运行风温一直保持在 1250℃ - 1260℃ 以上，该项目采用了很多先进的顶燃式热风炉技术，包括卡卢金原创设计的自动化操作程序，以及外均压等热风炉系统技术，使得高炉操作指标得到较大改善（图 3、图 4）。

总的来说，内燃式热风炉技改大修的技术方向不是原型重建，而是改造为投资更低、风温更高的顶燃式热风炉。其中，卡卢金具有大高炉长期运行风温最高的工程经验。



图 3 2019 年投产的 5500m³ 高炉卡卢金顶燃式热风炉

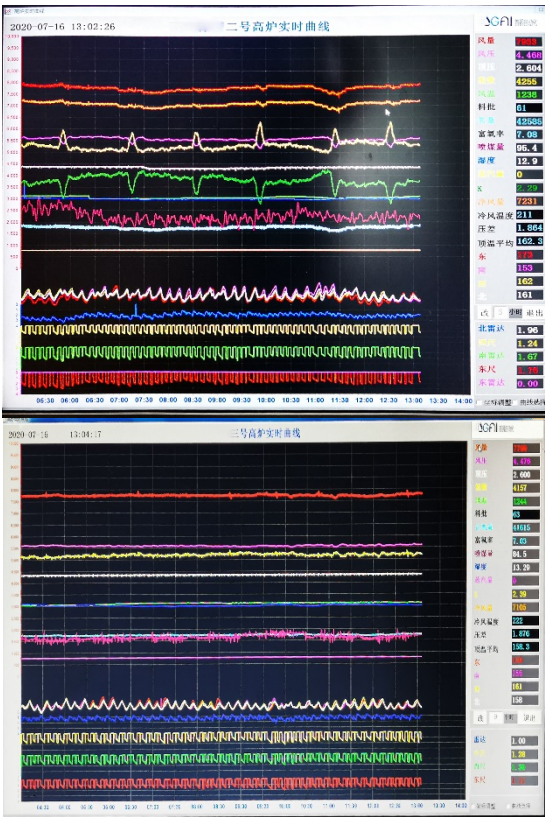


图 4 5500m³ 高炉配置卡卢金原创设计热风炉组，下图是采用卡卢金热风炉自动化操作程序和外均压技术后的高炉操作指标，上图是早期建设的同型号高炉操作指标。

四、大拱顶的顶燃式热风炉不适合改造内燃式热风炉

大拱顶（“大帽子”）的顶燃式热风炉因为拱顶尺寸太大，不能适应内燃式热风炉改造要求。国内建设大拱顶热风炉的厂家一直在推广保留内燃式热风炉炉壳的方式，也就是将内燃式热风炉火井改造为热风管道的技术方案，这种技术方案曾经使用在一些小高炉热风炉改造工程中，或者对工程指标要求较低的场合。

在这种设计里，无论是烧炉阶段还是送风阶段，热风管道（原燃烧室）与蓄热室（尤其是中下部）仍然存在巨大温差的情况，这种设计虽然可能会节省技改投资，但其炉体结构与内燃式热风炉结构并没有本质区别，长期运行时隔墙的故障隐患并没有彻底消除；除此之外，受现有炉壳限制加进去的环形预燃室和燃烧器，不能够和顶燃式热风炉生产能力匹配，换句话说，顶燃式热风炉仅仅利用内燃式热风炉局促的空间进行所谓的“变形设计”，因此很难实现“改造+升级”的目标，这种缺乏合理性的技术方案不适合在大高炉工程中应用。

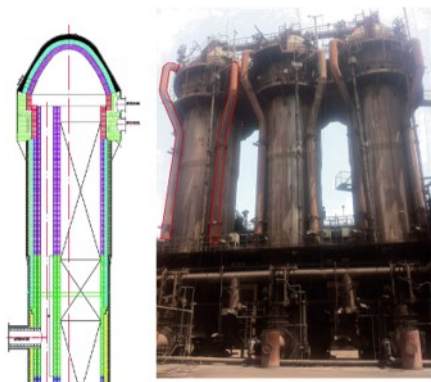


图5 将内燃式热风炉火井改造为热风管道的技术方案

五、内燃式热风炉怎么改造成顶燃式热风炉

1. 热风炉本体结构改造

首先，热风炉基础、热风炉炉底利旧是降低技改投资的重要原则。

在热风炉基础和炉底利旧的前提下，根据炉壳材质情况，一般情况下都尽可能将与炉底连接的直段炉壳利旧，在这种情况下，冷风、烟道支管的钢壳（到第一个阀门）也可以利旧。在原热风炉直段炉壳上方建设顶燃式热风炉炉壳，包括拱顶和燃烧器钢壳。

由于前述内燃式热风炉和顶燃式热风炉的结构差异，两种热风炉的空煤气进口位置分别位于炉体下部和上部，所以需要改造空煤气支管。比较简单的方式是从位于炉体下部的空煤气阀门新建支管到炉体上方接入顶燃式热风炉燃烧器，在这种情况下原空煤气主管也是可以利旧的。

小孔格子砖技术是提高顶燃式热风炉供热能力的关键技术，因为蓄热室炉壳利旧，小孔格子砖技术、尤其是20毫米孔径（37孔）格子砖技术可以利用原蓄热室壳体建设具有更大蓄热面积的蓄热室，从而提高技改后顶燃式热风炉供热能力。

顶燃式热风炉的热风出口位于拱顶下方，因此，热风支管如何与现有热风主管连接就成为热风炉本体改造的难题，也是决定技改投资的重要部分。

2. 热风管道改造--解决顶燃式热风炉热风出口与现有热风主管标高差的问题

一种方案是新建热风管道，新建热风管道与顶燃式热风炉热风支管水平对接，然后通过竖管将热风主管与原热风桥管连接起来。在马鞍山、邯郸、南京等地实施的内燃式热风炉改造工程，都采用了这种技术方案。毫无疑问，这种方案会增加工程投资，新建热风管道同时还需要改造现有的平台框架。



图6 马鞍山内燃式热风炉改造工程，预先架设新热风主管，然后逐一将内燃式热风炉改造为卡卢金热风炉，斜管连接。改造后风温提高到1200℃



图7 邯郸内燃式热风炉不停产改造为顶燃式热风炉，新建主管和竖管。

图8 宁波新建4#顶燃式热风炉，新建竖管与旧热风主管连接。

卡卢金最早采用“U”形热风支管将顶燃式热风炉热风出口与原热风主管连接起来的技术方案，其主要特点是：首先，需要利用较短的高炉休风时间在原热风主管上安装新的下接入短管，之后就可以采用不停产方式逐一完成热风炉改造。

2000年投产的利佩茨克钢铁公司3号高炉（3000m³）内燃式热风炉改造为卡卢金顶燃式热风炉工程，是较早采用“U”形热风支管的典型案例。这种“U”形热风支管可以很好地将顶燃式热风炉热风出口和现有热风管道连接在一起，并且消除了水平布置的热风支管与热风主管之间的“三岔口”内衬掉砖问题。

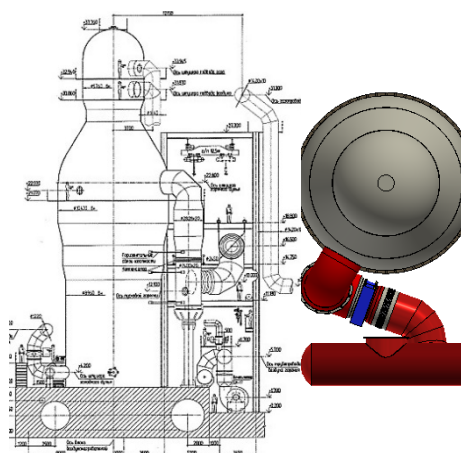


图9 采用“U”形热风支管改造内燃式热风炉

3. 热风炉基础和管道平台框架改造

基础和平台框架修建成本在技改工程中占比很高，由于顶燃式热风炉载荷低于内燃式热风炉，因此顶燃式热风炉可以利用原内燃式热风炉基础；除此之外，对热风管道的改造也在很大长程度上影响技改工程投资，新建热风管道和热风竖管都需要对现有平台框架进行改造，“U”形热风支管是现有热风

管道利旧的关键技术，相比新建热风主管和竖管的技术方案，“U”形热风支管方案可以大幅度降低平台框架的技改投资。

六、 内燃式热风炉改造为顶燃式热风炉的经济性

内燃式热风炉长久运行后不得不面临维修费用大幅度提升、风温严重降低、能耗大幅度增加、NO_x 排放超标等问题。维修维持运行、原型重建、改造为顶燃式热风炉等，哪种方式的经济性更好？

内燃式热风炉改造为顶燃式热风炉的一项重要技术则，是通过技术改造提高风温、降低投资、降低能耗、降低排放。

不提倡“利用内燃式热风炉火井改造为顶燃式热风炉热风管道”的方案在大高炉工程中应用。

以当代顶燃式热风炉工艺技术进行内燃式热风炉改造，要实现延长热风炉运行寿命、提高风温、提高热风炉运行效益的目标。通常的技术方案包括大幅度提高热风炉蓄热面积、提高废气最高温度等，最终实现提高热风炉组供热能力的目标。

与原型重建相比，以当代顶燃式热风炉工艺技术进行内燃式热风炉改造，通常耐火材料用量降低 20%-30%，总体来说可以降低工程投资。

通常情况下，内燃式热风炉技改后由 3 座卡卢金热风炉组就可以实现风温 > 1200℃ 的目标，如果 4 座内燃式热风炉全部改造为卡卢金热风炉，风温可以达到 ≥ 1250℃。

（全文完）