

## 热风炉改造系列篇（二）

### 内燃式热风炉不停产改造为卡卢金热风炉

王长春、

#### 一、高炉用热风炉技术发展历程和项目概述

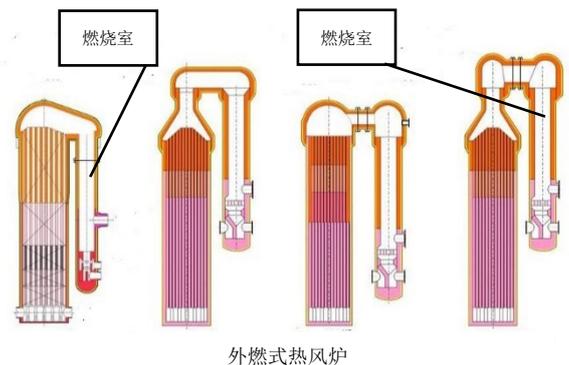
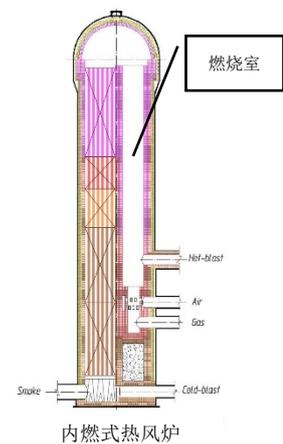
##### 1 内燃式和外燃式热风炉及其缺陷

高炉炼铁内燃式热风炉已经有一百多年的技术发展史，现在仍然在应用。内燃式热风炉的主要特征是高大的燃烧室，并且燃烧室和蓄热室在一个炉壳里。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，发现内燃式热风炉长期的运行会突出地暴露出几方面的缺陷，主要包括：“短路”、“香蕉效应”、耐材高温蠕变、燃烧物不均匀分布、脉冲燃烧，以及温度波动容易导致耐火材料损坏等。所以，内燃式热风炉的燃烧室成为热风炉最弱的部分，限制了长期运行中的热风温度很少超过 $1200^{\circ}\text{C}$ ，且需要频繁维修，内燃式热风炉在国内的应用水平不一，但这些问题都是比较普遍存在或者其中某个问题比较突出。〔1〕

为了改善热风炉长期工况和提高风温，外燃式是当时发展最成功的新结构之一，外燃式热风炉的燃烧室被放置在独立的金属壳内，消除了“短路”和“香蕉效应”两个缺点，提高了结构可靠性，但设备的成本提高30%，而且需要占用更多空间，外燃式热风炉通常在大高炉工程中应用，长期运行的最高风温能达到 $1250^{\circ}\text{C}$ ，但同时也受到蓄热室和燃烧室两个金属壳体连接部位的可靠性限制〔1〕。

总的来说，随着内燃式热风炉维修频繁，用户对新技术的需求在增强，并不是所有用户都适合选用外燃式热风炉，大部分用户会从经济性角度选择技改技术，并且，外燃式热风炉的形式并不适合于对内燃式热风炉改造。

第一代卡卢金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，因此当时只建设了一座。在拱顶上部建设预

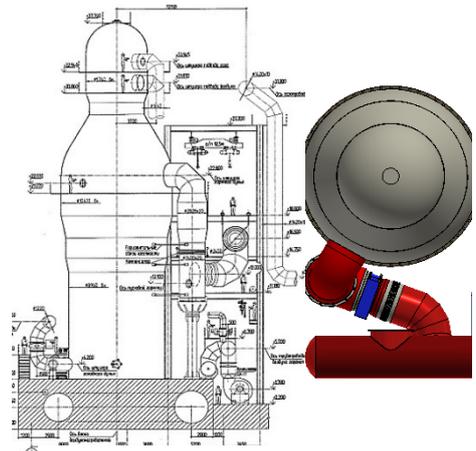


燃室、缩小顶燃式热风炉尺寸的研究一直在进行，直到 2000 年投产的利佩茨克钢铁公司 3 号高炉（3000m<sup>3</sup>）12#内燃式热风炉采用不停产方式改造的现代卡卢金热风炉投产，标志着现代卡卢金热风炉真正启动了内燃式热风炉改造工业实践。

## 二、内燃式改造为卡卢金热风炉的工业实践：

### 1、“U”形热风支管形式应用于内燃式热风炉改造：

2000 年投产的利佩茨克钢铁公司 3 号高炉（3000m<sup>3</sup>），有 4 座内燃式热风炉，其中 12#热风炉面临大修。虽然卡卢金顶燃式热风炉具有相当好的经济性和稳定性，但如果采用不停产方式改造，就必须解决在拱顶底部的热风出口标高与较低的热风主管标高之间的标高差问题。



采用“U”形热风支管改造内燃式热风炉

在这种情况下，“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。

利用“U”形热风支管技术，卡卢金后续陆续完成了西西伯利亚钢铁公司、下塔吉尔钢铁公司、哈萨铁米尔套等一系列内燃式热风炉不停产改造卡卢金热风炉工程。



俄罗斯西西伯利亚钢铁公司 1 号高炉（3000m<sup>3</sup>）内燃式热风炉不停产改造为卡卢金热风炉

哈萨铁米尔套“内改卡”（高炉 3000m<sup>3</sup>）

### 2、高炉大修期间内燃式热风炉整体改造

2003 年俄罗斯下塔吉尔 6 高炉大修，利用高炉大修期间将原内燃式热风炉改造为卡卢金顶燃式热风炉，新建热风主管，新建热风主管采用斜管方式与原主管对接。



俄罗斯下塔吉尔钢铁公司 6 号高炉（2200m<sup>3</sup>）内燃式热风炉停产整体改造为卡卢金热风炉，热风主管采用斜管形式与原管道连接

该项目热风管道安稳运行超过高炉一代炉龄。

### 3、 内燃式热风炉改造为卡卢金热风炉的经济性

内燃式热风炉运行 10-15 年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？



马鞍山 907m<sup>3</sup>高炉内燃式热风炉不停产改造为卡卢金热风炉，改造后风温提高到 1200℃，故障率降低

由于无论是维修还是原型重建，都无法彻底改变内燃式热风炉的结构缺陷，而顶燃式热风炉具有投资低、稳定性高、风温高的优势，最终将赢得这场技术更新、技术革命，已经投产的所有的“内改卡”工程都取得了不同程度的效益，但都远远多于原型重建或者维修。

### 4、 内燃式热风炉如何改造为卡卢金热风炉

大部分内燃式热风炉“内改卡”工程采取的方式都是下段直段炉壳利旧，热风炉内衬（包括炉箅子）全部更换，热风炉基础、空煤气主管、冷热风主管等管系利旧，因此，整体技改的主要目标是热风炉本体改造，这种方式有利于降低技改工程投资。



内燃式热风炉改造为卡卢金热风炉，下部直段炉壳利旧，基础好管道利旧

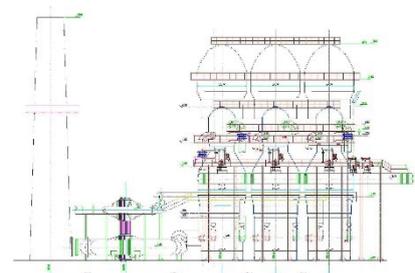
由于顶燃式热风炉热风出口与原内燃式热风管道之间存在较大的标高差，因此，热风管道对接方式成为降低工程投资、缩短工期的关键技术环节：

(1) 采用“不停产”模式逐一进行技改。技改后的顶燃式热风炉热风出口与旧管道标高一致，顶燃式热风炉热风支管在热风阀前对旧管道对接；

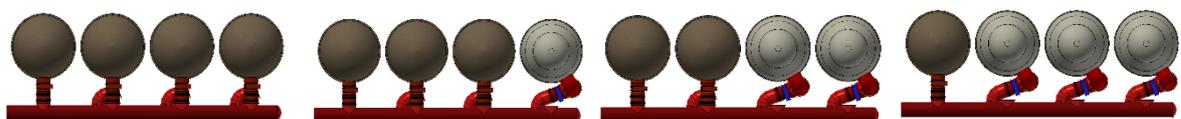
(2) 当顶燃式热风炉热风出口与原热风管道存在标高差的情况下，

● 利用高炉休风提前对原热风主管局部改造：

在热风主管上安装临时支管接口，便于以后安装顶燃式热风炉“U”形热风支管；高炉复产后，可以采用逐一改造模



内改卡，热风支管与旧管道直接对接

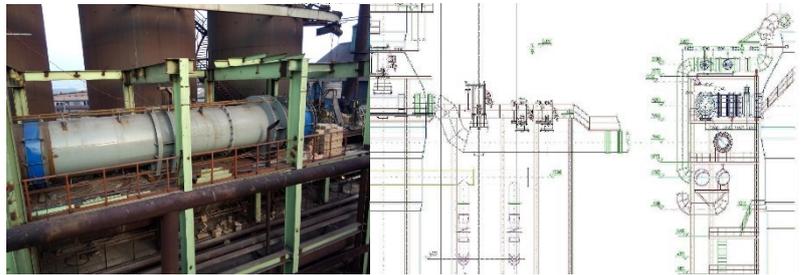


提前改造热风管，安装临时热风支管短管，内燃式热风炉改造为卡卢金热风炉后，采用“U”形热风支管与旧管道直接对接

式完成内燃式热风炉改造，采用“U”形热风支管与原热风管道对接，改造完成后对原热风支管进行封堵。

● 在现有热风管道上面预先架设新热风管道。

预先新旧热风主管，新管道与顶燃式热风炉热风出口水平对接。利用高炉休风期间，将新热风主管与原热风管道连接管（热风管道与围管的连接管道）对接，一般采用斜管方式或者竖管方式。这其中的核心技术之一，是如何在热风炉改造过程中利用新热风管道。



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。

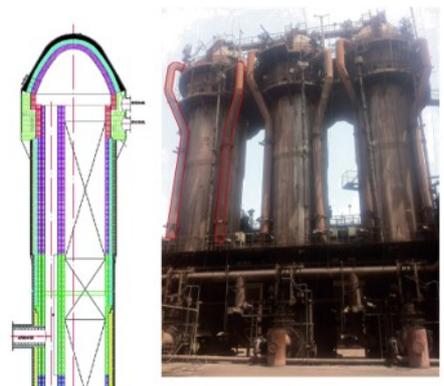
在国内一些内燃式热风炉改造工程中，新旧管道一直同时运行，即新投产的顶燃式热风炉使用新管道，但尚未改造的内燃式热风炉一直沿用旧管道，因此，在尚未完成所有内燃式热风炉改造之前，新旧热风管道同时运行时的热风炉组风温会比较低。



改造后顶燃式热风炉使用新管道，改造前内燃式热风炉仍然使用旧管道。

(3) 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。

近年国内出现一种“内改顶”技术方案，即将内燃式热风炉火井改造为热风管道、利用内燃式热风炉蓄热室改造为燃烧器位于拱顶底部周侧的技术方案，这种技术方案曾经用在一些小高炉热风炉改造工程中并且运行时间较短，在国外也有一些类似的技术方案，但通常都是应用在小高炉工程、或者对工程指标要求较低的情况。



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，不一定能够和顶燃式热风炉生产能力匹配，这会影响改造后的热风炉供热性能，换句话说，顶燃式热风炉并非按照升级指标设计、而是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。总之，这种缺乏合理性的技术方案不适合在大高炉工程中应用。

## 5、 内燃式热风炉改造中如何提高技术经济效益

内燃式热风炉改造为卡卢金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。

以当代热风炉工艺技术进行内燃式热风炉改造，要充分利用当代先进的内衬设计技术、炉箅子技术等，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。



内燃式热风炉改造为卡卢金热风炉



国内的“内改顶”工程

因此在设计时通常考虑大幅度提高热风炉蓄热面积，而采用小孔格子砖技术可以有效降低热风炉高度，降低工程投资。通常，以往4座内燃式热风炉组才能达到的供热能力，技改后由3座卡卢金热风炉组就可以实现，如果4座内燃式热风炉全部改造，风温可以达到1250℃，大幅度提高供热能力。

近几年国内完成了一批“内改顶”工程，总体来看，相比卡卢金的“内改卡”工艺技术和工程经验，除了上述在热风管改造方面存在的问题外，“内改顶”的技术经济效益也不够明显。



内燃式热风炉改造为卡卢金热风炉



国内的“内改顶”工程

## 三、总结与效益

1. 20 年以前卡卢金已经开始大高炉（3000m<sup>3</sup>及以上级别）内燃式热风炉改造为卡卢金热风炉的工业实践，这些技改后的卡卢金热风炉大多数仍然在稳定运行，从而积累了丰富的工程经验和数据，“内改卡”技术利用内燃式热风炉下部直段炉壳改造为完整的现代卡卢金热风炉，基础利旧，冷热风、空煤气和烟气主管利旧，采用小孔格子砖技术，大幅度降低工程投资（与原型重建相比，工程投资降低20%~30%），大部分工程可以采用“不停产”模式进行技改，进一步降低技改成本。
2. 通过与国内“内改顶”工程对比分析，介绍了卡卢金在“内改卡”工程中解决顶燃式热风炉热风出口与原热风管标高差的各种工艺方案；当2座内燃式热风炉完成技改后，热风炉组风温即开始较大幅度提升；3座内燃式

热风炉改造为卡卢金热风炉后风温提高到 1200℃，4 座内燃式热风炉改造为卡卢金热风炉后风温提高到 1250℃。

3. 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。
4. 国内大部分内燃式热风炉已经接近或达到设计寿命周期，由于内燃式热风炉结构特征限制，频繁维修并无法消除重大事故隐患，卡卢金的长期工业实践为国内大中型高炉内燃式热风炉大修技改提供了新的技术方向。

#### 四、附录

〔1〕《The Shaftless Hot Stove – a Reliable Construction to Increase Blast Temperature 顶燃式热风炉--一种高温的、长寿命的热风炉结构》作者：雅科夫.卡卢金，2010 年在 AIST “钢铁技术协会”大会发言稿

(全文完)