

# 顶燃式热风炉热风管道的稳定性设计

王长春

## 一、概况

热风管道的稳定性直接影响到高炉生产，因此，高风温操作制度对热风管道系统整体稳定性的要求更高，需要相应地提高钢壳和内衬耐火材料的承压耐温性能，提高工程建设规范标准。但这仍然不够，对热风管道结构的优化改进可以起到事半功倍的成效。

国内技术人员针对顶燃式热风炉热风管道开展了大量的技术研究和工业实践，例如，矩形热风管道的工业实践、热风管道载荷计算、补偿器和支座的优化设计 and 应用、全管道温度监控等。

俄罗斯钢铁工业发展历史悠久，具有很高的技术水平，但高炉技术更新比较缓慢，因此，现在可以看到各种形式、建造于不同年代的热风管道结构，其中包括一些具有代表意义的先进热风管道技术，这也是不同年代里应用最广泛的各种热风管道结构的典范。

## 二、顶燃式热风炉常规热风管道和竖管

在常规的顶燃式热风炉管道系统中，热风支管以水平方式接入热风主管，热风主管经过竖管降低标高，再经联络管进围管（图一）。

### 1) 热风竖管结构。

热风竖管的主要作用是将热风主管标高降低到与围管等标高，热风竖管作为刚性支座，一端是热风主管，另一端则是热风联络管，有一

些设计是在竖管上设置了混风管。

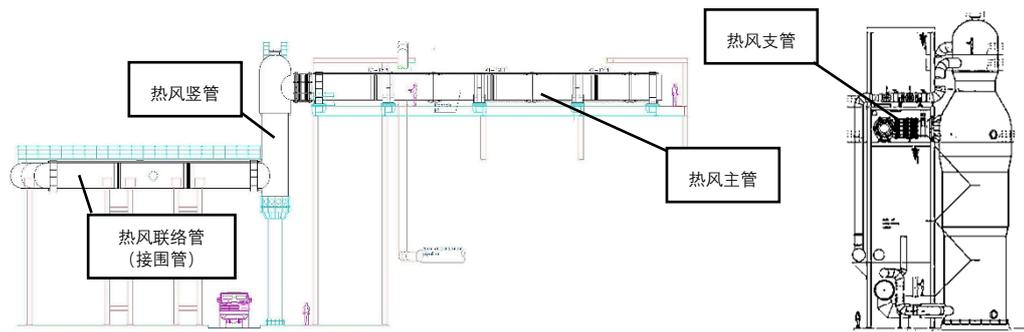


图1 带竖管的顶燃式热风炉热风管道路

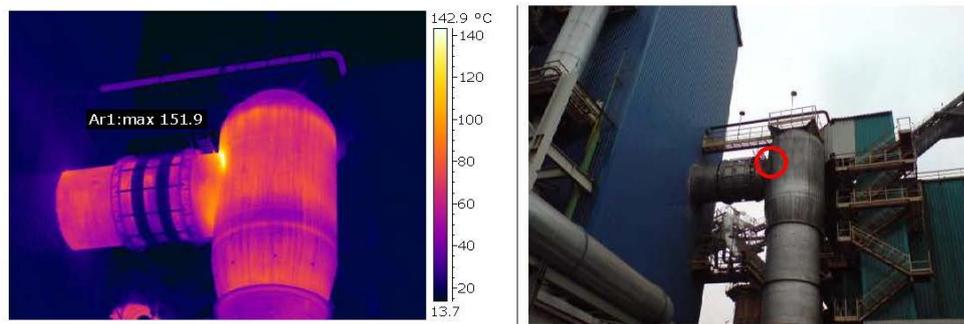


图2 竖管的结构和运行—俄罗斯运行10年

在俄罗斯新西伯利亚钢铁公司，对运行10年的竖管进行检测后并没有发现影响运行的炉壳高温问题（图2）。但在其它顶燃式热风炉工程中，竖管仍然是导致热风管道路失稳的最普遍的原因之一，在国内尤其如此，由于竖管故障频发，严重影响了顶燃式热风炉高风温技术的应用。

## 2) 热风竖管内衬。

对竖管内衬结构（图3）进行分析，就可以发现热风竖管内衬存在一些结构上的薄弱环节，例如上部狭小的拱顶、上部风口组合砖距离拱顶迷宫结构很近，有一些竖管设计了贯通的热风进出口，这些设计都使得砌体很难施工，长期高温运行时很难保证稳定运行。

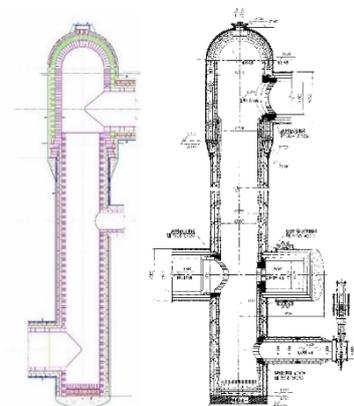


图3 热风竖管内衬结构

### 3) 热风支管补偿器和大拉杆。

在水平热风支管上有热风阀和1-2个补偿器,补偿器有两个作用,一是吸收热风炉投产初期炉壳膨胀升高的变形,二是用于热风阀维修。在早期的结构中,补偿器被设置在热风炉和热风阀之间,目的是便于维修和更换,但这种布置方式会让补偿器一直承受热风炉高低压交变工况的波动影响,因此会缩减补偿器使用寿命(一般只有2-3年),现在新建热风炉工程更多是将补偿器设置在热风阀和热风主管之间。

国内工程设计比较普遍采用热风支管大拉杆,带有大拉杆的热风支管采用无约束型补偿器结构(没有受力拉杆),大拉杆承受波纹管上来自管道内部高压介质的拉伸力(盲板力),同时限制了热风管道和热风炉之间的距离,整体上维持了热风管道的稳定性。但这种结构也有不利之弊,例如:波纹管刚性不足会造成支管变形;三岔口位置仍然会频发内衬掉砖事故,比较有效的解决方案是在三岔口下部设置固定支座,但这种情况下拉杆自身膨胀会对热风炉炉壳施加外力,因此,不建议采用环绕热风炉炉壳的整体环箍固定支管拉杆。



图4 云南 2000m<sup>3</sup>高炉内燃式热风炉热风支管和主管(2000年搬迁引进),补偿器位于热风阀和热风管道之间,无支管拉杆,无主管拉杆

无约束型(低应力)热风管道设计理念源自欧洲(图4),其特征是在热风阀和热风主管之间设置约束型补偿器(补偿器自身带有受力拉杆),没有热风支管拉杆,三岔口不设固定支座,热风管道的膨胀变

形通过微小的位移得到释放。基于这种设计理念在俄罗斯有成功经验，卡卢金也将这种低应力管道设计技术引进中国，但我们在推广应用过程中发现：当系统结构存在较大预应力（例如来自安装偏差）时，热风管道投产后会发生较大位移，从而影响管道运行安全。

俄罗斯下塔吉尔钢铁公司 2200m<sup>3</sup> 高炉卡卢金热风炉采用斜管形式连接热风主管和热风联络管（图 5），稳定运行 12 年无故障，采用这种斜管连接方式取代竖管结构，可以简化结构、降低投资，但应在斜管前设置固定支座。



图 5 下塔吉尔 2200m<sup>3</sup> 高炉热风管道，稳定运行 13 年

#### 4) 小结

顶燃式热风炉常规热风管道设计方案是：热风支管水平接入热风主管、经过热风竖管降低高度后再经联络管接围管，这种结构相对紧凑，但热风炉、热风支管、三岔口、竖管之间相互关联度很高，在设计、材料和建造等任一环节存在质量偏差都有可能影响管道安全运行。

在国内，山西 4350m<sup>3</sup> 高炉热风管道（图 6、2013 年投产）是这种热风管道长期稳定运行的典范工程，但在一般的顶燃式热风炉工程中，热风管道的三岔口、补偿器、竖管仍然都是事故高发环节。



图 6 山西 4350m<sup>3</sup> 高炉热风管道

## 二、垂直热风支管技术

如何提高顶燃式热风炉热风管道的稳定性？最重要的指标应该是降低顶燃式热风炉热风管道高度（与围管等标高），取消热风竖管，其次，就是消除热风炉、热风支管、热风主管之间的关联度。

实现这一目标的优选技术方案就是采用垂直热风支管。

(1) 垂直热风支管的概念起源于外燃式热风炉，尤其是新日铁式、克虏伯式外燃式热风炉（图 7），这类外燃式热风炉在燃烧室外设置了垂直热风支管（“L”形热风支管），垂直热风支管包括垂直段和水平段，垂直段顶部有混风室用于安装

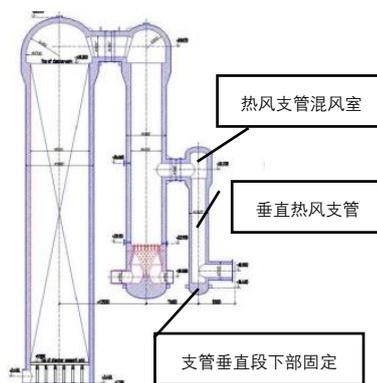


图 7 外燃式热风炉垂直热风支管

混风管、下部与平台固定，水平段安装热风阀、补偿器并水平接入热风主管，垂直热风支管将热风出口高度降低到与围管等标高。

(2) 这种“L”热风支管的垂直段底部与平台固定，因此热风炉与热风支管垂直段实为一体，但与热风管道之间相互隔离、互不干涉，这种结构有利于保护热风炉热风出口结构稳定。

(3) 广东 5000 立级别大高炉顶燃式热风炉工程（图 8、2014 年投产）率先引用了新日铁式外燃式热风炉垂直热风支管结构（称为“新日铁式垂直热风支管”），该方案将卡卢金顶燃式热风炉本体和新日铁式热风支管结构进行了有机结合，将顶燃式热风炉热风管道高度降低到与围管等标高；另外，与新日铁外燃式热风炉一样，该工程也为每座热风炉配置了混风管。

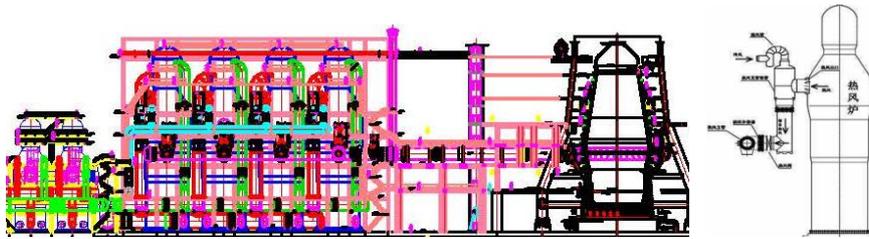


图 8 顶燃式热风炉与外燃式热风炉垂直热风支管有机结合，热风主管标高降低到与围管等标高

(4) 采用卡卢金垂直热风支管 (“L”热风支管)的安徽 3200m<sup>3</sup> 高炉卡卢金热风炉于 2016 年投产 (图 9)。卡卢金“L”形热风支管技术借鉴了早期卡卢金热风炉用于改造内燃式热风炉工程经验，与新日铁式垂直

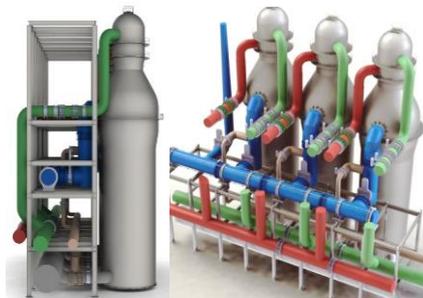


图 9 “L”形热风支管，热风主管与围管等标高，热风炉与热风管道相互隔离

热风支管不同，卡卢金“L”形热风支管垂直段上部没有混风室，因此结构更为简单实用。这种垂直热风支管在垂直段设置了补偿器，用于吸收热风炉投产初期受热膨胀升高变形；热风支管垂直段下部与平台固定，将热风炉（包括热风支管垂直段）与热风主管隔离开来，互不干涉；热风支管水平段安装热风阀、轴向补偿器，以水平方式接入热风主管；热风主管与围管等标高。

总体来说，不同形式的“L”形垂直热风支管将热风炉（包括热风支管垂直段）与热风主管隔离开来，互不干涉；热风主管与围管等标高，取消了竖管，因此大幅度提高热风管道和热风出口的稳定性。

### 三、“U”形垂直热风支管技术

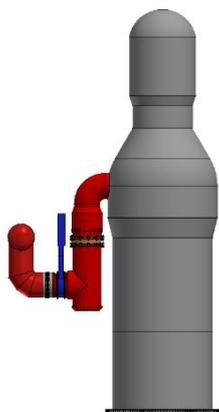


图 10 “U”形热风支管，热风主管与围管等标高，热风炉与热风管道相互隔离，支管从下部接入主管。

现在，利用卡卢金改造内燃式热风炉工程获得的成功经验，卡卢金正在全面推广“U”形垂直热风支管方案（图 10），与“L”形热风支管相比，这种“U”形热风支管从下部接入热风主管，因此解决了三岔口内衬砌筑技术难题，彻底消除了“三岔口内衬掉砖”的常见故障隐患，更具有实用性和可靠性。

从 2000 年开始，卡卢金就在内燃式热风炉改造工程中使用这种“U”形热风支管结构，最长运行时间已经超过高炉一代炉龄，在更早的时候，俄罗斯北方钢厂（Severstal）著名的 5580m<sup>3</sup> 高炉外燃式热风炉 1986 年投产，也是采



图 11 俄罗斯北方钢厂 5580m<sup>3</sup>高炉外燃式热风炉 1986 年投产，采用“U”形热风支管

用了这种“U”形热风支管（图 11），因此，这种“U”形热风支管结构已经成为俄罗斯新建顶燃式热风炉首选技术方案，例如，2018 年投产的俄罗斯下塔吉尔钢铁公司 2200m<sup>3</sup> 高炉卡卢金热风炉，采用“U”形热风支管结构，目前风温 1250℃ 以上（图 12）。

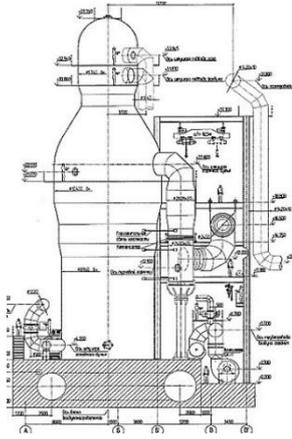


图 12 2000 年俄罗斯西西伯利亚钢铁公司 3000m<sup>3</sup> 高炉内燃式热风炉改造为卡卢金热风炉投产，采用“U”形热风支管（左），热风主管利用。2018 年俄罗斯下塔吉尔钢铁公司 2200m<sup>3</sup> 高炉卡卢金热风炉投产，采用“U”形热风支管，目前风温 > 1250℃（右）

相比常规的顶燃式热风炉热风支管水平接入热风主管的结构，“U”

形热风支管结构占用空间较大，对一些空间有限的工程，“U”形热风支管可以调整角度，在较小的空间里安装（图 13），这种方法通常

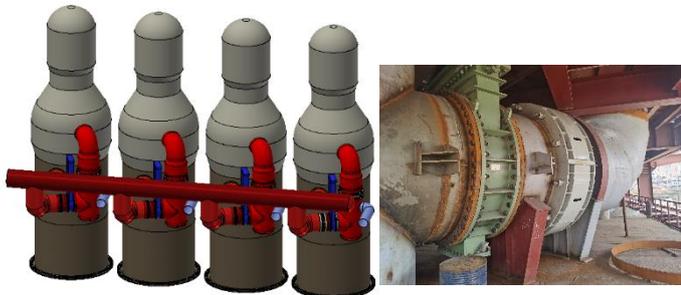


图 13 辽宁 2580m<sup>3</sup> 高炉卡卢金热风炉投产，“U”形热风支管转动一个角度，可以在热风炉和热风主管较小间距里安装

也应用在内燃式热风炉改造为卡卢金热风炉工程中。另外，在国外也有一种类似技术方案，在热风支管垂直段下部设置弹簧支座，取代了设置在垂直段的补偿器，可以降低一些投资（图 14）。



图 14 俄罗斯下塔吉尔 2200m<sup>3</sup> 高炉卡卢金热风炉采用“U”形热风支管，热风支管垂直段下部采用弹簧支座取代补偿器

## 四、热风管道梁式拉杆

欧洲和俄罗斯热风炉系统普遍采用一种“梁式拉杆”保护热风主管补偿器(图 15),用框架式拉杆—梁式拉杆取代常规的圆棒式拉杆,具有很多明显的优点。例如,因为梁式拉杆两端与热风主管焊接在一起,



图 15 热风主管梁式拉杆 (俄罗斯下塔吉尔钢铁公司)

消除了圆棒式拉杆热胀冷缩引起主管补偿器变形的隐患,另外,框架式拉杆(梁式拉杆)犹如在热风主管上加了翅片,增加了热风主管刚性。

梁式拉杆在国内已经应用在 5500m<sup>3</sup> 高炉卡卢金热风炉热风管道工程中(图 16),这项技术的优势正在被越来越多的用户认可,国内辽宁新建 2580m<sup>3</sup>高炉、福建新建 2500m<sup>3</sup>高炉卡卢金热风炉系统都采用了这种梁式拉杆。



图 16 河北 5500m<sup>3</sup>高炉卡卢金热风炉热风主管梁式拉杆

## 四、总结

常规的顶燃式热风炉系统采用水平热风支管、热风主管通过竖高与围管连接的结构,与之相比,更为先进、可靠的“U”形垂直热风支管将得到广泛应用,由于采用了“U”形垂直热风支管,热风出口结构得到加强,彻底消除了三岔口内衬故障隐患,取消了竖管,热风主管与围管

等标高，缩短了热风管道总长度，因此大幅度提高了热风管道稳定性。

这种“U”形热风支管在垂直段设置了补偿器，用于吸收热风炉投产初期受热膨胀升高变形；热风支管垂直段下部固定，将热风炉/热风支管垂直段与热风主管隔离开来，互不干涉；在“U”形热风支管的水平段安装热风阀并从下部接入热风主管；热风主管与围管等标高；在热风阀和热风主管之间设置了轴向补偿器，用于热风阀维修。通过转动角度，“U”形热风支管可以安装在较小空间里，这种方法通常用于内燃式热风炉改造为卡卢金热热风炉工程中，不需要新设置竖管，原内燃式热风炉的热风管道可以利旧。

用梁式拉杆取代常规的圆棒式拉杆，消除了圆棒式拉杆热胀冷缩引起主管补偿器变形的隐患，增加了热风主管刚性，已经应用在 5500m<sup>3</sup>高炉、2580m<sup>3</sup>高炉、2500m<sup>3</sup>高炉卡卢金热热风炉工程中。

(全文完)