

## 2500m<sup>3</sup>高炉热风炉四段式改造实践

刘力铭

自首套三段式顶燃式热风炉投入运行至今10多年来，高达90%以上燃烧室不同程度出现热风出口高温、拱顶垮塌，严重影响风温和企业效益。尽管采取了很多优化措施，但应力集中隐患就如定时炸弹，随时都有可能导致垮塌风险。为此，在三段式顶燃式热风炉燃烧室结构易垮塌、易高温烧红结构缺陷基础上优化改进，开发了四段式顶燃式热风炉炉型。

2003年我国炼铁企业逐渐接收和采用三段式顶燃式热风炉作为新型节能高风温炉型，使用至今已有十几年历史，三段式顶燃式热风炉以其性价比合理、炉体低、投资省、风温高而备受广大用户青睐，并得到迅猛发展。到目前为止，该炉型使用量占据热风炉市场半壁江山，为我国钢铁工业的发展做出了贡献。

### 1 三段式热风炉结构与特征

#### 1.1 三段式热风炉频繁发生炉壳发红、垮塌等问题

十几年来的长期实践证明：三段式顶燃式热风炉燃烧室在高风温状态下，频繁出现燃烧室大墙热风出口部位的炉壳发红、垮塌、拱顶垮塌，它们已成为该炉型常态化问题，给用户带来极大烦恼，同时给炼铁产能、节能带来极大损失和负面影响。通过长期的市场调研、使用用户炉型的维修维护，发现三段式顶燃式热风炉锥形拱顶直接坐落支撑在镶嵌有热风出口的大墙之上，使结构应力复杂集中这一结构缺陷，是导致三段式顶燃式热风炉燃烧室结构出现热风出口坍塌和拱顶垮塌的主要因素，这一发现为优化改进炉型结构缺陷，消除隐患，避免继续大面积垮塌，避免降低风温、淋水、吹氮气冷却高耗能低产能稳定长寿炉型的优化设计提供了科学依据。

#### 1.2 三段式热风炉出现常态化问题的原因

三段式顶燃式热风炉的结构特点：第一段为预燃室（煤气、空气预混室），第二段为燃烧室（锥形拱顶和热风出口大墙），第三段为蓄热室（装格子砖和冷风室），详见图1。从分段结构来看，第二段的燃烧室锥形拱顶直接坐落支撑在热风出口的耐火材料大墙之上，是耐火材料锥形拱顶自身重力、膨胀力、叠加膨胀力、扩张力、下滑力、剪切力、送风冲击力和送风结束后的钢壳反弹力等复杂应力集中的地方，也是三段式顶燃式热风炉出现问题最多、局部炉壳发红最严重、拱顶垮塌普遍的一段。

自2003年开始至今，全国数百座450-2500m<sup>3</sup>高炉配套的三段式顶燃式热风炉热风出口结构和锥形拱顶结构，都不同程度地进行了大修和改造，均取得较好的使用效果，但受应力缺陷导致的灌浆、降低风温操作现状依然存在。

### 2 四段式热风炉结构与特征

#### 2.1 四段式热风炉结构研究与探索

将易垮塌、易高温的三段式顶燃式热风炉第二段燃烧室结构中的锥形拱顶和热风出口大墙实施分离，形成新的四段式顶燃式热风炉结构，如图2所示。四段式顶燃式热风炉的锥形拱顶自拱脚处和热风出口大墙断开，是锥形拱顶的拱脚直接支撑在炉壳之上，分解和转移了集中的应力。四段式顶燃式热风炉燃烧室拱顶和热风出口结构稳定，不会出现高温侵蚀，也不会出现炉壳发红和拱顶热风炉出口垮塌，从而可以完全适应长期高风温的安全运行。四段式顶燃式热风炉结构就是热风出口上部炉壳比热风出口处的炉壳直径加粗的结构形式。

#### 2.2 四段式热风炉结构是高风温稳定、成熟的依据

四段式顶燃式热风炉燃烧室结构是成熟稳定的高风温结构，它是依据新日铁住金（原新日铁）

外燃式热风炉本体燃烧室结构优化而来。图3是新日铁住金热风炉示意图。事实上，三段式顶燃式热风炉的外形和内部的耐火砖整体结构和新日铁住金外燃式热风炉本体是一样的，区别之处在于三段式顶燃式热风炉的燃烧室锥形拱顶拱角之下又增加了一段大墙，大墙上设置了热风出口，而新日铁住金外燃式热风炉的热风出口设置在小帽子拱顶部位。三段式顶燃式热风炉增加的热风出口大墙的结构设置就是导致应力集中复杂的主要因素。新日铁住金外燃式热风炉锥形拱顶的耐火砖拱脚部位直接支撑在炉壳之上，不存在应力集中缺陷。所以，新日铁住金热风炉在宝钢、太钢、马钢、日本以及全世界大型高炉配套使用的寿命均超过30年，没有锥形拱顶垮塌资料记录。由此分析可见，三段式顶燃式热风炉的问题就出现在增加的一段大墙和热风出口结构上，借鉴新日铁住金外燃式热风炉高风温、稳定长寿实践经验，将三段式顶燃式热风炉燃烧室锥形拱顶结构独立支撑在炉壳之上，将大墙和热风出口结构也独立支撑在炉壳之上，形成应力分散、受力合理的新四段式结构热风炉，才能像新日铁住金热风炉本体一样稳定长期实现节能的高产高风温。

### 3 四段式热风炉成功改造实践

河北省中铁装备公司3座 $2500\text{m}^3$ 高炉9座三段式顶燃式热风炉，因热风出口和拱顶结构长期出现不同程度的炉壳发红、热风出口和锥形拱顶垮塌，常年采取灌浆修补和氮气冷却，风温维持在 $1200^\circ\text{C}$ 以下，多年来的经济损失不可估量。为了彻底消除结构隐患，使热风炉发挥正常高风温，中铁装备公司痛下决心，花费近亿元费用，计划自2017年9月9日至2018年7月8日历时10个月，委托豫兴公司对三段式顶燃式热风炉实施切割炉壳不停产全部改造成豫兴公司四段式结构，改造期间热风炉实施一烧一送，花费如此之大，改造周期如此之长，风温和产能损失巨大。

图4是中铁装备公司3号高炉热风炉。从图4中可以看到，利用原三段式顶燃式热风炉预燃室原装钢壳结构、原锥形拱顶原装钢壳结构，在燃烧室结构和锥形拱顶结构之间增加一段加粗后的炉壳，使拱顶内衬砖直接坐落支撑在加粗并焊接在炉壳托板之上的部位，与下方热风出口大墙实现分离，形成改造后的四段式顶燃式热风炉结构。目前，中铁装备公司2号 $2500\text{m}^3$ 高炉上的3座三段式顶燃式热风炉已经改造完工，并于2017年11月12号投入使用，其风温已经达到 $1200^\circ\text{C}$ 以上，风温比改造前提高了 $20\text{--}40^\circ\text{C}$ 。3号 $2500\text{m}^3$ 高炉3号和2号三段式热风炉也于2018年4月改造完毕投入使用，并已经进入1号热风炉的改造中。1号 $2500\text{m}^3$ 高炉2号三段式热风炉也于2018年3月3号开始改造，现在改造已进入尾声。所有热风炉计划在2018年的7月8号改造完毕。

改造三段式顶燃式热风炉主要目的就是消除应力复杂集中的设计缺陷，保证结构稳定高风温。

### 4 河钢乐亭项目将采用四段式顶燃式热风炉

目前，新一轮的产能置换和钢铁企业的整体搬迁工程来临，这将使广大炼铁用户、炼铁工作者、学者花费更大的精力，更深入了解和重视热风炉结构的研究和炉型的选择。

近日，豫兴公司技术专家受河北钢铁集团邀请，多次参加河钢集团乐亭钢铁项目部组织的顶燃式热风炉技术交流和讨论。与会专家充分听取了豫兴公司的四段式顶燃式热风炉的锥形拱顶独立支撑与热风出口大墙分离结构的优化原理介绍，领略了宝钢 $4350\text{m}^3$ 高炉类似于三段式的外燃式热风炉独立的锥形拱顶结构稳定使用寿命超过34年这一历史现实，并感受到国外外燃式热风炉本体锥形拱顶结构使用寿命更长的真实纪录。经过多层次技术专家面对面多次沟通讨论，得出结论：将锥形拱顶独立支撑于炉壳之上与热风出口大墙分离的结构，是消除复杂应力、彻底消除隐患，根除热风出口和拱顶垮塌的关键技术，是长寿、高风温、结构稳定的技术，采用四段式结构是非常必要的。河钢集团乐亭 $3\times3580\text{m}^3$ 高炉热风炉最终决定采用四段式顶燃式热风炉结构。

四段式顶燃式热风炉燃烧室，不存在结构缺陷和隐患，是今后我国乃至世界高风温顶燃式热风炉技术革新和发展的方向。四段式顶燃式热风炉炉型、风温、寿命、结构特点，可以和新日铁住金外燃式热风炉的结构相媲美，同时又比新日铁住金外燃式热风炉节省占地面积，节省巨额投资。

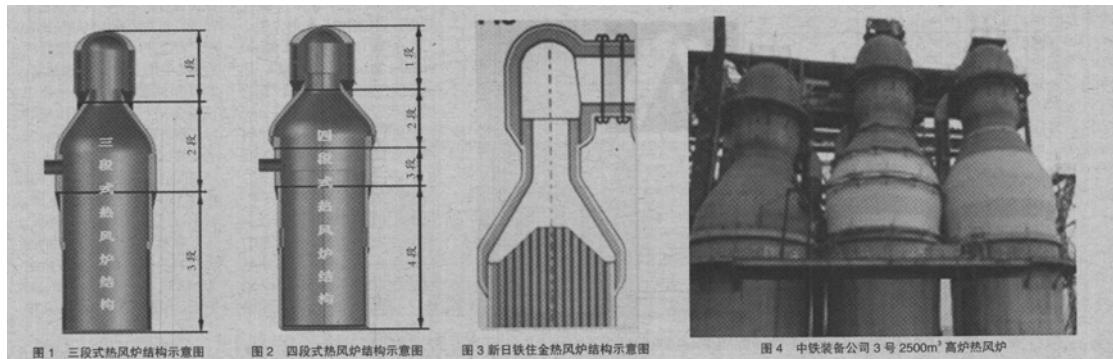


图1 三段式热风炉结构示意图

图2 四段式热风炉结构示意图

图3 新日铁住金热风炉结构示意图

图4 中铁装备公司3号2500m<sup>3</sup>高炉热风炉