

# 首钢京唐 5500 m<sup>3</sup> 高炉炉顶 1:1 布料试验

张 建

(北京首钢国际工程技术有限公司)

**摘要** 对首钢京唐 5500 m<sup>3</sup> 高炉炉顶 1:1 布料试验进行了总结。采用激光网格和图像采集的方法,得到了料流轨迹的实测数据。试验结果验证了首钢炉顶技术的可靠性,有力支撑了高炉实际生产操作。

**关键词** 特大型高炉 炉顶 布料

首钢京唐 5500 m<sup>3</sup> 高炉的关键设备——无料钟炉顶,是由北京首钢国际工程技术有限公司自主研发。为了检验设备运行的可靠性、设备技术指标和制造质量,以及研究炉顶设备的布料规律,确定设备投产后所需要的控制和操作参数,为高炉顺利投产做好准备,北京首钢国际工程技术有限公司联合首钢京唐钢铁联合有限责任公司、北京神网创新科技有限公司和北京科技大学作了 1:1 的布料试验研究。5500 m<sup>3</sup> 高炉 1:1 的布料试验,这在世界冶金领域是第一次。

## 1 试验方案

1:1 试验是指利用已制作完成的无料钟炉顶设备按实际使用状态组装起来,模拟高炉生产情况进行冷态装料和布料试验。

### 1.1 试验装料设备和系统组成

(1) 设备分为五个主要部分:上料胶带机、料罐、阀箱(包括下密封阀、料流调节阀)、中间漏斗(包括波纹伸缩器)、布料装置。

(2) 系统分为 3 个主要系统:液压系统、干油润滑系统、稀油润滑系统。

试验布置方案及现场情况如图 1、2 所示。

### 1.2 试验炉顶系统主要技术参数及设备参数

试验炉顶系统主要技术参数及设备参数见表 1。

### 1.3 装料程序控制方式

(1) 计算机键盘手动操作。工作人员在上位机上对单体设备用键盘进行操作。

(2) 机旁手动操作。主要用于维修、调试,作为机旁单独运转,在现场控制箱进行人工控制,操作人员应对被操作设备的各种状况通过判断,充分确认

表 1 京唐 5500 m<sup>3</sup> 高炉布料试验炉顶系统主要技术参数及设备参数

项 目	参数或描述
上料方式	大倾角胶带机上料
基本装料制度	C/O
布料方式	采用时间控制和重量控制布料方式,实现多环布料、扇形布料、定点布料
正常装料批重	焦炭 22 t/批,矿批 122 t/批
试验料罐有效容积, m <sup>3</sup>	70
下密封阀直径, mm	Φ1100
料流调节阀直径, mm	Φ1000
料流调节阀排料能力, m <sup>3</sup> /s	0.8
中心喉管直径, mm	Φ730
α、γ 角控制精度	±0.3°
α、γ 角计量精度	±0.1°
布料溜槽长度, mm	4500
布料溜槽旋转速度, r/min	0~8.5
布料溜槽倾动速度,(°)/s	0°~1.6°
布料溜槽倾动范围	2°~53°

后再操作。

(3) 自动控制。设备根据计算机规定的运转顺序连锁及设定值进行自动运转。

## 2 试验目的、方法及研究内容

(1) 试验目的。本次试验不仅检验了 5500 m<sup>3</sup> 高炉并罐无料钟炉顶设备运行状况,确定无料钟炉顶设备投产后所需要的控制和操作参数,还使操作人员在高炉试车及开炉前熟悉了此特大型无料钟炉顶设备性能,并基本掌握了设备的操作和控制方法。

(2) 试验方法。本次试验采用激光网格和图像采集测定布料规律的新方法,对 5500 m<sup>3</sup> 高炉并罐无料钟炉顶设备分别布焦炭和烧结矿时的料流轨迹进

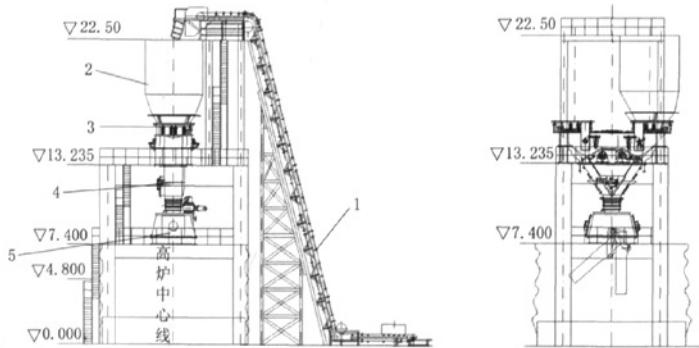


图1 京唐 $5500\text{m}^3$ 高炉布料试验布置方案  
1-上料胶带机;2-料罐;3-阀箱;4-中间漏斗;5-布料装置



图2 京唐 $5500\text{m}^3$ 高炉布料试验现场情况(照片)

行了测定。此外,本次试验检验了设备的多环布料效果,并请专业测绘人员进行了测量和记录。

(3) 试验研究内容。①焦炭排料流量与料流调节阀开度关系(FCG 曲线)研究;②烧结矿排料流量与料流调节阀开度关系(FCG 曲线)研究;③在不同溜槽倾角时焦炭料流轨迹研究;④在不同溜槽倾角时烧结矿料流轨迹研究;⑤溜槽定点、单环(正、反转)和多环布料效果试验及料面形状研究。

### 3 试验及测量结果

首钢京唐 $5500\text{m}^3$ 高炉并罐式无料钟炉顶设备布料测量试验工作,从2008年3月13日开始,至2008年4月18日结束。根据布料测量研究方案的要求,测量了焦炭、矿石的 FCG 曲线及不同溜槽倾角时焦炭、矿石的料流轨迹,同时也测量和记录了每批料布完后的料面形状。

#### 3.1 排料流量与料流调节阀开度关系(FCG 曲线)测定

本次试验在测定料流轨迹的同时,做了排料流

量与料流调节阀开度关系(FCG 曲线)的测定。焦炭和烧结矿排料流量和料流调节阀的关系 FCG 曲线如图 3、4 所示。

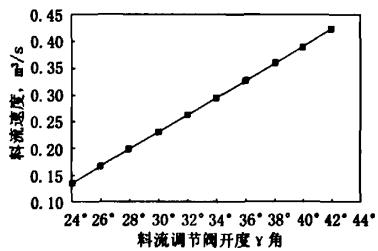


图3 京唐 $5500\text{m}^3$ 高炉布料试验焦炭 FCG 曲线

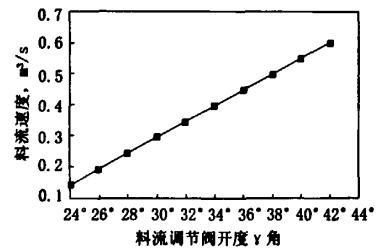


图4 京唐 $5500\text{m}^3$ 高炉布料试验烧结矿 FCG 曲线

#### 3.2 料流轨迹测定

焦炭和烧结矿料流轨迹测定是本次试验的一项重要内容,测量的结果作为指导 $5500\text{m}^3$ 高炉并罐式无料钟炉顶设备布料操作的重要参考依据。

本次试验料流轨迹测定工作,以激光网格为背景,用摄像和录像的方法获取炉料通过激光网格的图像,用来测量焦炭、矿石的料流轨迹。此次试验设计网格图如图 5 所示,现场效果情况如图 6 所示。

图 7 是摄像机摄录下的激光网格图像及料流轨  
• 39 •

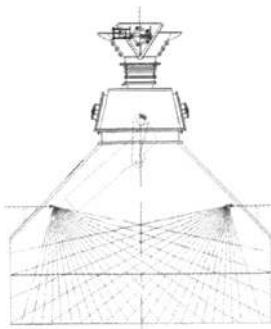


图 5 京唐  $5500\text{m}^3$  高炉布料试验激光网格设计



图 6 京唐  $5500\text{m}^3$  高炉布料试验现场激光网格效果

迹图像。在装料时,以激光网格为背景摄录料流轨迹的图像并把图像录制存储,对图像进行分析和数据处理得到料流轨迹的数据。用计算机对料流轨迹

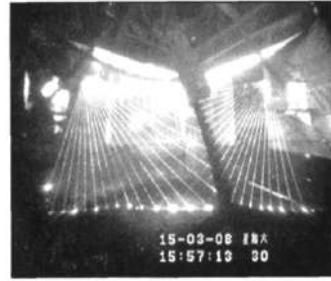
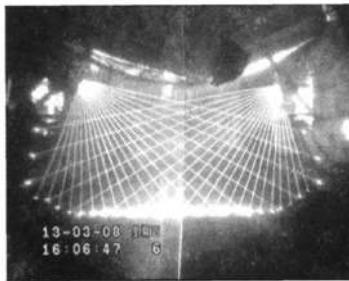


图 7 京唐  $5500\text{m}^3$  高炉布料试验模型内激光网格图像及料流轨迹图像

图像进行处理,得到焦炭和矿石料流轨迹曲线如图8、图9所示,各溜槽角度对应的料流轨迹测量数据见表2、3。

由以上得到的焦炭和烧结矿在各料线的溜槽倾角与炉料落点关系数据,可计算得到各料线11个等面积圆环中心对应溜槽倾角。表4、5为计算得到的布料溜槽角度。

### 3.3 料面形状测量

料面形状测量数据将为检验设备单环、多环布料的效果和总结研究炉料偏析的规律提供重要资料。

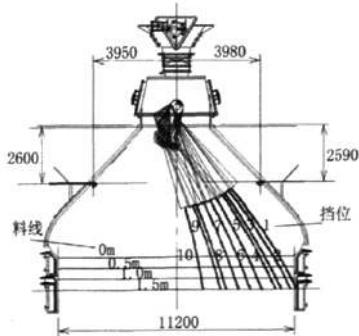


图 8 京唐  $5500\text{m}^3$  高炉布料试验焦炭料流轨迹

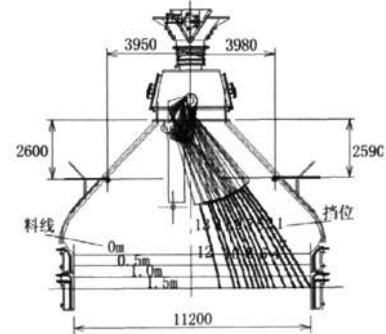


图 9 京唐  $5500\text{m}^3$  高炉布料试验矿石料流轨迹

料,记录的炉料堆尖位置也将作为验证料流轨迹落点的一个依据。本次试验料面形状由北京首钢国际工程技术有限公司测绘事业部的专业测量队伍,采用独立坐标、高程系统、宾得 PTS - V2 型全站仪极坐标方法进行测量。

焦炭和烧结矿布料料面形状如图10、11所示。

## 4 试验结果分析

### 4.1 料流轨迹计算修正程序

根据实测数据,并与理论计算相结合,对料流轨

表 2 京唐 5500 m<sup>3</sup>高炉布料试验焦炭料流不同挡位在不同料线上的落点, mm

挡位°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0 m 料线	4545	4260	3888	3668	3125	2672	2187	1671	1475	851
0.5 m 料线	4853	4584	4172	3937	3379	2901	2397	1858	1641	964
1.0 m 料线	5154	4882	4445	4190	3614	3114	2597	2041	1804	1071
1.2 m 料线	5273	4991	4552	4289	3702	3195	2673	2112	1867	1111
1.5 m 料线	5437	5146	4709	4435	3829	3314	2783	2210	1955	1168

\* 挡位/角度: 1/42.2°, 2/40.9°, 3/39°, 4/37.9°, 5/34.93°, 6/29.08°, 7/25.36°, 8/22.01°, 9/20.09°, 10/16°。

表 3 京唐 5500 m<sup>3</sup>高炉布料试验烧结矿料流不同挡位在不同料线上的落点, mm

挡位°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0 m 料线	4373	4106	3843	3472	3104	2861	2618	2406	2176	1937	1611	1411	896
0.5 m 料线	4693	4410	4123	3732	3325	3073	2833	2616	2379	2133	1784	1574	1021
1.0 m 料线	4992	4691	4385	3975	3533	3268	3034	2813	2573	2320	1952	1727	1136
1.2 m 料线	5108	4799	4485	4067	3613	3343	3110	2887	2646	2388	2016	1785	1179
1.5 m 料线	5277	4957	4631	4199	3729	3450	3219	2994	2750	2483	2109	2871	1240

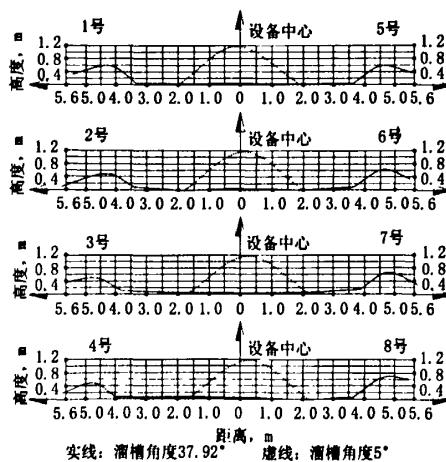
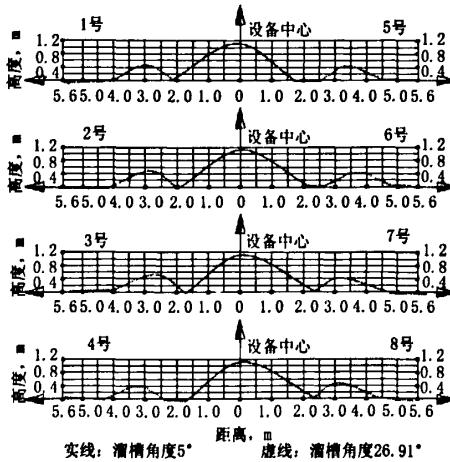
\* 挡位/角度: 1/41.95°, 2/40.13°, 3/38.93°, 4/37.86°, 5/35.06°, 6/32.16°, 7/30.92°, 8/29.05°, 9/26.91°, 10/25.4°, 11/21.9°, 12/20.6°, 13/16.04°。

表 4 京唐 5500 m<sup>3</sup>高炉布料试验各料线 11 个等面积圆环中心对应溜槽 α 角焦炭

落点, mm	844	2038	2656	3151	3576	3956	4302	4621	4921	5202	5470
0 m 料线	15.3°	23.2°	27.5°	31.0°	34.2°	37.0°	39.7°	42.1°	44.5°	46.8°	48.9°
0.5 m 料线	14.6°	22.0°	26.1°	29.4°	32.4°	35.1°	37.6°	40.0°	42.2°	44.3°	46.4°
1.0 m 料线	14.1°	21.1°	24.9°	28.1°	30.9°	33.5°	35.8°	38.1°	40.2°	42.3°	44.3°
1.2 m 料线	13.8°	20.8°	24.6°	27.7°	30.5°	33.0°	35.3°	37.5°	39.6°	41.5°	43.4°
1.5 m 料线	13.8°	20.3°	23.9°	26.9°	29.6°	32.0°	34.3°	36.5°	38.5°	40.5°	42.4°

表 5 京唐 5500 m<sup>3</sup>高炉布料试验各料线 11 个等面积圆环中心对应溜槽 α 角烧结矿

落点, mm	844	2038	2656	3151	3576	3956	4302	4621	4921	5202	5470
0 m 料线	13.6°	24.5°	29.5°	33.0°	35.8°	38.2°	40.1°	41.7°	43.2°	44.4°	45.5°
0.5 m 料线	12.4°	23.2°	28.0°	31.6°	34.4°	36.7°	38.7°	40.3°	41.8°	43.1°	44.2°
1.0 m 料线	11.5°	22.0°	26.8°	30.3°	33.1°	35.4°	37.4°	39.0°	40.5°	41.8°	43.0°
1.2 m 料线	11.1°	21.5°	26.3°	29.8°	32.6°	34.9°	36.9°	38.6°	40.1°	41.4°	42.5°
1.5 m 料线	10.6°	20.9°	25.7°	29.1°	31.9°	34.2°	36.2°	37.9°	39.4°	40.7°	41.8°

图 10 京唐 5500 m<sup>3</sup>高炉布料试验焦炭料面形状测量结果图 11 京唐 5500 m<sup>3</sup>高炉布料试验烧结矿料面形状测量结果

迹计算公式进行修正并编制计算程序,模拟计算料流轨迹,验证该分析结果<sup>[1]</sup>。焦炭和烧结矿的布料轨迹略有不同,可以通过调整相关参数来模拟计算。通过输入的几个初始参数,程序得出的数据与实际测得的数据大致吻合,误差均在5%以下。考虑到试验条件的局限性,实际测量过程中亦存在误差,因此认为计算程序可以较好的模拟实际情况。

#### 4.2 料面形状分析

并罐无料钟炉顶布料过程中,由于料罐的偏心、溜槽有效长度的变化等原因,料堆形状实际为一个近似圆环的椭圆环。通过实测的数据,可以进一步的研究并罐无料钟炉顶布料过程,得到一些规律性的认识<sup>[2-3]</sup>。试验数据综合表明:

(1) 当溜槽倾角小于15°时,从中心喉管下来的料流几乎未接触到溜槽,此时的料堆偏向料罐异侧。说明在上部料流调节阀打开时,从料罐流下的料经中间漏斗的斜冲,至中心喉管,最后实际落料到溜槽的异侧,且堆尖位置大致保持在穿过两料罐中心线的平面上,偏心约为0.2~0.3m。

(2) 当溜槽倾角大于15°时,此时流沿布料溜槽流下,通过肉眼观察及测量,布料后料堆的形状呈不规则椭圆形状。排除布料圈数不完整等因素,可以发现,在料罐同侧及以此为弧起点其旋转方向扫过的一段扇形区域,料流较细,料面较低,且半径较大,为椭圆的长半轴;在其对称于回转中心的另面,则出现相反的结果。

(3) 由图10、11可看出炉料堆尖并不在设备中心上,实测堆尖偏移设备中心100~200mm。产生偏移的原因,是下料时炉料从叉形溜管至中心喉管过程中发生一次或多次碰撞改变方向下落到炉内,而并非从喉管中心直接下落。

#### 5 生产实践

首钢京唐公司5500m<sup>3</sup>高炉2009年5月21日开炉后,因熟练准确掌握了上部布料规律,使高炉强化生产、指标提升得以稳步推进,主要技术指标达到国际先进水平(见表6)。

#### 6 结语

首钢京唐5500m<sup>3</sup>高炉炉顶1:1布料试验对掌

表6 京唐5500m<sup>3</sup>高炉的主要技术指标

项 目	设计指标	2010年生产指标
高炉有效容积,m <sup>3</sup>	5500	5500
利用系数,t/(m <sup>3</sup> ·d)	2.3	2.4~2.5
日产铁量,t/d	12650	13000~13750
焦比,kg/t	290	290~325(含焦丁)
煤比,kg/t	200	150~175
燃料比,kg/t	490	475~485
送风温度,℃	1300	1280~1305
炉顶压力,MPa	0.280	0.274

握高炉布料规律具有十分重要的意义。试验结果验证了首钢炉顶技术的可靠性,有力支撑高炉实际生产操作需求,为京唐高炉生产技术指标达到国际领先水平打下了坚实的基础。生产实践表明,首钢京唐公司5500m<sup>3</sup>高炉所有技术指标均达到设计要求,主要技术指标达到世界先进水平,真正实现我国特大型高炉关键技术和重大装备的自主创新。

#### 7 致谢

组织本试验研究工作的还有首钢国际工程公司的苏维教授级高级工程师、首钢京唐公司王涛教授级高级工程师、张卫东教授级高级工程师。北京科技大学高征铠教授、首钢国际工程公司闫树武工程师、戴建华工程师、首钢京唐公司董志宝技师等对本项研究作出了极大贡献。首钢国际工程公司张福明教授级高级工程师给予悉心指导。在此表示最诚挚的感谢和敬意。

#### 8 参考文献

- [1] 刘云彩. 高炉布料规律(第三版)[M]. 北京:冶金工业出版社,1984:32~37.
- [2] 高道铮,钱人毅,等.无钟炉顶布料的周向均匀性研究[J].首钢科技,1982;(4):41.
- [2] 钱人毅.高炉无钟炉顶布料规律的研究[J].钢铁,1987,22(8):46~481.

联系人:张 建 教授级高级工程师 电话:010-88298502

E-mail:zhangjian@bsiet.com

(100043)北京市石景山路60号北京首钢国际工程技术有限公司设备成套部

收稿日期:2010-04-15