

上
卷



SELECTED WORKS
OF ZHANG SHOURONG

张寿荣文选

张寿荣 著

湖北科学技术出版社

张寿荣院士是一位德高望重、国内外著名的钢铁专家和冶金学家。20世纪80—90年代,他曾担任武汉钢铁(集团)公司副经理、总工程师,1995年当选中国工程院院士,在1992—1998年期间,曾担任国际继续工程教育协会副主席,1997年当选墨西哥工程院院士。今年是张寿荣院士80岁华诞,本文选是武汉钢铁(集团)公司为庆祝他的80岁寿辰而编辑出版的。

张寿荣院士生于1928年,1949年毕业于北洋大学冶金系。他大学毕业的青年时代,恰逢中华人民共和国成立前夕,当时我国钢铁工业的基础几乎是一片废墟。1949年9月,他怀着建设新中国的壮志,热情投身到鞍钢恢复、重建工作之中。在鞍钢,他从基层生产岗位干起,历任高炉工长、生产科长、工程师、厂长助理。20世纪50年代,他在鞍钢高炉上推行炉顶调剂法,使高炉生产超过了历史最好水平。此后鞍钢的高炉炉顶调剂法经验很快推广,对提高全国炼铁生产水平起了积极作用。1956—1957年间,他研究了低锰生铁冶炼与脱硫、全国炼铁生产发展等问题,在《钢铁》杂志发表了具有广泛影响的论文。

1957年他被调入武钢参加一期工程建设工作。在此期间,他参加审查苏联提供的高炉及配套的矿山、烧结、焦化、能源介质、运输等设计,提出不少改进意见,节省了投资,缩短了建设工期。在武钢1号高炉投产前,他组织了铁矿石冶炼性能试验,选定了开炉原燃料,制定了开炉方案并组织实施。1958年9月13日,武钢1号高炉顺利出铁,作为历史性的标志载入了武钢史册。

20世纪60—70年代,他在武钢炼铁厂先后任生产科长、副总工程师,对武钢炼铁生产技术的发展作出了巨大贡献。60年代初的国民经济调整时期,原燃料、电力等生产条件极为困难,高炉生产经常面临低压、休风、封炉等不正常状态。为了在低冶炼强度下保持高炉顺行,他提出了提高鼓风动能、上下部调剂相结合的正确操作方针。60年代中期,他被调到武钢中央试验室任炼铁研究室主任,组织开展了高炉风口取煤气样和测温、炉顶取煤气样和炉料、1:1布料模型试验、风口喷吹沥青等试验研究工作,取得了一大批创新性的重大成果。例如,通过试验研究,认识到当时国内外炼铁学术界颇有争议的高炉“布料反常”现象是由于烧结矿平均粒度小、含粉率高、堆角小引起的,阐明了武钢高炉特殊的“布料反常”规律。1970年建成投产的容积 $2\,516\text{m}^3$ 的武钢4号高炉,为当时第一座国内自行设计和建设的大型高炉,是根据他提出的方案,用 $1\,513\text{m}^3$ 高炉设备改造建成的。70年代初,针对武钢高炉渣氧化铝含量高、生铁合格率低的问题,他组织研究高氧化镁渣冶炼,确定了适宜的高炉造渣制度。70年代末,他组织了3号、4号高炉料槽下烧结矿过筛的技术改造,改善了炉内料柱的透气性,推广了大批重、正分装的高炉上部操作制度,使高炉利用系数、焦比有了明显改善。70—80年代,武钢高炉寿命问题很突出,有的高炉炉缸、炉底侵蚀严重,生产安全性差;更普遍的则是炉身寿命短,高炉每隔3~4年就需要进行中修。为了延长高炉寿命,他组织了多次高炉大中修破损调查,研究了炉衬和冷却壁破损的机理,据此改进了高炉结构设计,并提出了开发球墨铸铁冷却壁和优质高炉耐火材料的设想,推动了武钢延长高炉寿命的研究和实践。

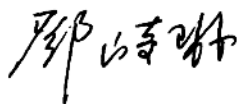
20 世纪 80—90 年代,他先后任武钢公司副总工程师、副经理、总工程师,全面负责武钢公司的技术进步和管理工作,对武钢的技术进步和发展作出了重大贡献。80 年代初,为了适应“一米七”轧机系统各厂生产的需要,他组织了炼铁前工序老厂的技术改造,包括矿山系统弱磁、强磁工艺改造,烧结机大修增加铺底料,高炉大修增设烧结矿槽下过筛,料场增加矿石混匀设施等,提高了高炉精料水平和技术经济指标。“一米七”系统各厂投产后,针对存在的问题和薄弱环节,他组织了引进技术的消化、吸收和创新攻关,武钢“‘一米七’轧机系统新技术开发与创新”项目荣获 1990 年国家科技进步特等奖。在炼钢工艺技术方面,他组织的“转炉复合吹炼技术”攻关,使该项技术达到 80 年代国际先进水平,荣获“七五”国家科技攻关奖;武钢第二炼钢厂全连铸攻关,使连铸比由设计的 80 % 提高到 100 %,武钢第二炼钢厂成为国内第一家实现全连铸的炼钢厂;“大型板坯连铸机开发”项目,在消化原引进技术的基础上,依靠国内力量自行设计、制造了我国第一台大型板坯连铸机,荣获国家科技进步一等奖。在新产品研制开发方面,他组织的“铁路用耐大气腐蚀钢开发”项目,使铁路车辆使用寿命延长 1 倍以上,经济效益每年超过 1 亿元;“稀土钢开发”项目,解决了连铸与模铸稀土加入的工艺问题,开发出一批含稀土低合金钢,使武钢稀土钢占全国总产量的 60 % 以上,获“七五”国家科技攻关奖;“硅钢系列新产品开发”项目,开发出与引进硅钢专利不同的新产品,成功地应用于北京正负电子对撞机,获得了国家攻关奖励荣誉。他组织的“武钢新 3 号高炉建设”项目,对多国先进技术实施技术集成,完全依靠国内力量设计、施工、建设,使武钢新 3 号高炉的总体技术装备达到 80 年代末 90 年代初的国际先进水平。这种 3 200 m³ 大型高炉设计已在武钢和国内很多大型钢铁厂得到推广。

在“九五”和“十五”期间,张寿荣院士对武钢的重大技术改造项目提出了很多有价值的意见,特别是对 3 200 m³ 高炉、450 m² 烧结机和鄂州 500 万 t/a 球团厂的建设和技术方案的决策起了关键作用。进入 21 世纪前后,张寿荣院士对我国钢铁工业结构调整、节能减排、可持续发展等问题发表了很多论文,提出许多有价值的建议,为制定我国钢铁工业产业政策和钢铁工业的健康发展作出了重要贡献。

张寿荣院士不仅实践经验丰富,而且勤奋治学,笔耕不止,著述颇丰。在炼铁领域,他对高炉设计、布料、长寿、上下部调剂、操作、精料等有很深的学术造诣,在国内外炼铁学术界享有很高的声誉。此外,他非常熟悉大型钢铁企业的生产流程和新产品开发,对全面质量管理、技术进步管理和继续工程教育也颇有建树。他十分热心学术活动,20 世纪 80 年代以来在美国钢铁协会年会、中日双边钢铁学术会议、世界钢铁大会以及国内钢铁学术会议和刊物上发表了百余篇有重要影响的论文。

在张寿荣院士 80 华诞之际,我们整理了张寿荣院士有代表性的论文和报告,分为上下两卷出版。上卷为炼铁技术的中英文文章;下卷为钢铁技术、科技管理和继续工程教育的文章。这些文章不仅反映了武钢科技进步的历史,也是近几十年我国钢铁工业发展的一个缩影。由于编辑时间所限,张寿荣院士的部分新作尚未收录在内,相信今后一定有机会整理出来奉献于我国的钢铁学术界同仁。

武汉钢铁(集团)公司 总经理



2008 年 2 月

目 录

※ 上 卷 ※

• 炼铁技术 •

武钢高炉降低焦比的前景	(1)
关于武钢高炉的设计问题	(9)
关于武钢高炉利用系数达到 $1.8 \text{ t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 以上、焦比降至 450 kg/t 以下的若干问题	(20)
高炉设计不宜定型化	(38)
原料对高炉操作制度的影响	(43)
碱金属及维护高炉合理操作炉型	(50)
武钢高炉炉身结构及寿命分析	(58)
武钢炼铁系统的技术改造	(65)
武钢高炉寿命与高炉结构的技术进步	(74)
关于今后 10 年我国高炉的技术改造问题	(84)
我国炼铁工业的回顾与展望	(93)
当代高炉炼铁发展趋向及我们的对策	(99)
当前炼铁精料技术的发展	(108)
面对新世纪挑战的我国炼铁工业	(122)
延长高炉寿命是系统工程 高炉长寿技术是综合技术	(138)
进入 21 世纪中国炼铁工业面临的挑战——结构重组与节能降耗	(144)
武钢 3 200 m^3 高炉的建设——我国高炉炼铁走向可持续发展的 一次尝试	(161)
高炉冶炼强化的评价方法	(171)

试论进入 21 世纪我国高炉炼铁技术方针	(180)
高炉造渣过程的优化与提高喷煤量的关系	(192)
构建可持续发展的高炉炼铁技术是 21 世纪我国钢铁界的重要任务	(198)
中国高炉炼铁的现状和存在的问题	(209)
高炉高温综合操作指数的研究与开发	(222)
A Study Concerning Blast Furnace Life and Erosion of Furnace Lining at Wuhan Iron and Steel Company	(231)
The Past, Present and Future of Ironmaking in WISCO	(244)
Practical Experiences in all Carbon Blast Furnace Bottom with Underhearth Water Cooling at Wuhan Iron and Steel Company	(260)
Maintenance of Furnace Hearth and Bottom Lining by Using Titania-bearing Material	(270)
Technological Progress of Ironmaking in Wuhan Iron and Steel Company	(278)
The Development of China's Ironmaking Technology in Past Decade	(288)
Construction and Commissioning of New No. 3 Blast Furnace at WISCO	(299)
A View of China's Ironmaking Industry in the Past Two Decades	(316)
Problems Relating to High Coal Rate Injection into Blast Furnace and the Prospects of Ironmaking Technology	(327)
Experience for Prolongation of Blast Furnace Campaign Life at Wuhan Iron and Steel Corporation	(343)
Technological Progress of China's Ironmaking Industry	(359)
Practice for Extending Blast Furnace Campaign Life at Wuhan Iron and Steel Corporation	(369)
On the Concept of "Permanent Lining" for The Prolongation of Blast Furnace Campaign Life	(383)

❁ 下 卷 ❁

• 钢铁技术 •

挖潜、革新、改造是当前发展我国钢铁工业的正确途径	(399)
“六五”期间武钢低合金钢的发展	(406)
武钢 30 年的技术进步	(411)
关于我国钢铁工业的发展战略	(417)
武钢“八五”技术进步的新起点	(423)
美国纽柯公司薄板坯连铸连轧工艺新流程	(426)
当前国际钢铁工业的发展趋势	(439)
台湾科学研究及钢铁工业概况	(445)
面临国际市场挑战的我国钢铁工业	(462)
世纪之交的钢铁工业新技术	(476)
中国钢铁工业领域高新技术发展和产业 技术创新发展战略研究	(490)
21 世纪的钢铁工业及对我国钢铁工业的挑战	(500)
21 世纪中国需要多少钢	(515)
关于 21 世纪我国钢铁工业的若干思考	(522)
20 世纪中国钢铁工业的崛起	(531)
钢铁工业的过去、现在和未来	(537)
薄板坯连铸连轧技术在我国大有可为	(544)
钢铁工业绿色化问题	(550)
可持续发展战略与我国钢铁工业的结构调整	(556)
我国钢铁工业发展的潜在危机	(562)
薄板坯连铸连轧技术在我国的确大有可为	(570)

钢铁工业与技术创新 (574)

我国钢铁工业(流程制造业)发展循环经济的若干问题 (583)

Matching the Large-scale Modern Units (589)

On the Trends of Restructuring of China's Steel Industry
Beyond 2000 (605)

• 科技管理 •

推行科学管理 狠抓技术进步 (617)

关于武钢“一米七”轧机系统的“四恢复”工作 (621)

提高质量降低消耗推动技术进步 (629)

坚持以质量为中心——关于 1988 年的生产技术工作 (633)

建设“质量彻底优先”的企业文化 (639)

以全面质量管理为中心 推行企业管理现代化 走质量效益型
发展道路 (646)

坚持以质量求效益 (651)

依靠技术进步以质量求效益 (656)

工程管理的范畴及工程管理的重要性 (662)

工程哲学管窥 (669)

• 继续工程教育 •

始于教育 终于教育 (675)

国际继续工程教育发展趋势 (679)

国际继续教育发展趋势 (686)

广泛而深入地推动继续教育——迎接 21 世纪挑战的重大措施 (696)

深化继续教育适应知识经济需要 (698)

关于知识经济问题 (700)

21 世纪中国继续教育面临的形势和任务 (704)

武钢高炉降低焦比的前景

1962年以来,武钢高炉焦比有了显著的降低。焦比降低的原因,一方面是原燃料供应的改善;另一方面是高炉技术操作的进步。对1962年降低焦比的分析结果为,在焦比降低中原燃料改善所占的比重为56.6%,高炉技术操作所占的比重为43.4%。1963年以来,焦比进一步降低。一季度平均焦比为688.4 kg/t,比1962年降低69.3 kg/t,4月份焦比为628 kg/t,比1962年降低129.7 kg/t。

原燃料改善及高炉操作改进使焦比降低,表现在高炉内热量的利用上是:冶炼单位生铁的热量消耗减少和非焦炭燃烧热量来源的增加。对1962年9月份1号高炉热平衡曾做过计算:这一时期的焦比为646 kg/t,是1号高炉1962年焦比最低的时期。计算表明,焦比低的原因之一是,冶炼单位生铁消耗热量减少,由以往12560 kJ以上下降至11313 kJ。焦比降低的另一原因是热风带入的热量增加,由1884 kJ以下增至2186 kJ。1963年焦比继续降低,也是沿着同一方向。4月份1号高炉焦比达到595 kg/t(实物量焦比,铁水焦比588.8 kg/t),就在于消耗热量的进一步降低(表1)。

表1 热风带入热量与焦比关系

日期	高炉	铁种	总热量收入/ (kJ · kg ⁻¹)	热风带入热 量/(kJ · kg ⁻¹)	焦比/ (kg · t ⁻¹)
1961年8月	2号	热制钢铁	12807	1851	809.1
1961年9月	1号	热制钢铁	12974	1892	747.4
1962年9月 11—25日	1号	制钢铁	11312	2186	646.0
1963年4月	全厂	制钢、铸造 各约1/2	11221	2123	628.0
1963年4月	1号	制钢铁	10735	2026	595.0

在目前焦比逐步降低的形势下,进一步降低焦比的潜力究竟有多大?毫无疑问,低冶炼强度操作时期,降低焦比是高炉技术操作主要任务之一。因此,武钢高炉降低

* 本文合作者:文学结、宋盛梅。原文发表于《武钢技术》,1963.(1)

焦比的前景不能不是武钢高炉工作者极为关心的问题。

1 从计算中看最低焦比

焦炭在高炉中的重要作用体现在它是还原剂及热量的供给者。从矿石还原每单位生铁所需的炭量及供给冶炼单位生铁必需热量的炭量都是直接还原率的函数。高炉实际操作达到的焦比必须满足这两方面对碳素的需要。

从这一原理出发,根据武钢条件,按照 A. H. 拉姆的方法计算不同直接还原率的焦比,计算结果如图 1。计算采用的原燃料成分系根据 1962 年下半年平均分析得出的(表 2)。

表 2 原燃料成分(质量分数) %

原燃料	Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	P ₂ O ₃
铁山矿	55.40	2.96	75.95	11.58	3.58	1.210	0.309	0.132	0.135
烧结矿	52.43	13.53	59.68	9.62	3.53	11.521	1.151	0.218	0.178
石灰石	2.00		2.86	1.45	0.93	52.370	0.750		
焦炭	1.15		1.64	6.88	5.52	0.808	0.268		
原燃料	SO ₃	CuO	P	S	烧损	挥发分	S _{有机}	C _{固定}	灰分
铁山矿	0.298	0.433	0.059	0.119	3.431				
烧结矿	0.175	0.216	0.078	0.078					
石灰石					42.930(CO ₂)				
焦炭						0.51	0.73	83.47	15.29

1962 年下半年烧结矿使用率在 70 % 左右,所以假设原料条件为烧结矿 70 %、铁山矿 30 %。生铁品种为低锰平炉炼钢生铁, $w(\text{Si})$ 0.9 %, $w(\text{C})$ 4.0 %, $w(\text{S})$ 0.03 %。炉渣碱度 $w(\text{CaO})/w(\text{SiO}_2)$ 为 1.2。鼓风水分 3 %。炉顶温度 200 ℃。炉渣及铁水含热为 1884 kJ/kg 及 1256 kJ/kg。热量损失为(以碳素计)1507 kJ/kg。风温假定了几种不同情况:800 ℃、900 ℃、1000 ℃、1100 ℃,分别计算了不同风温时不同直接还原率焦比的变化。考虑到使用 90 % 烧结矿的可能性,也计算了 90 % 烧结矿和风温分别为 900 ℃、1000 ℃、1100 ℃ 时不同直接还原率的焦比。计算出的曲线可用公式表示:

烧结矿使用率 70 % 时,风温 800 ℃, $K = 366.5 + 658r_d$; 风温 900 ℃, $K = 346.7 + 632r_d$; 风温 1000 ℃, $K = 330.3 + 610r_d$; 风温 1100 ℃, $K = 316.7 + 586r_d$ 。

烧结矿使用率 90 % 时,风温 900 ℃, $K = 325 + 590r_d$; 风温 1000 ℃, $K = 307 + 570r_d$; 风温 1100 ℃, $K = 295 + 550r_d$ 。

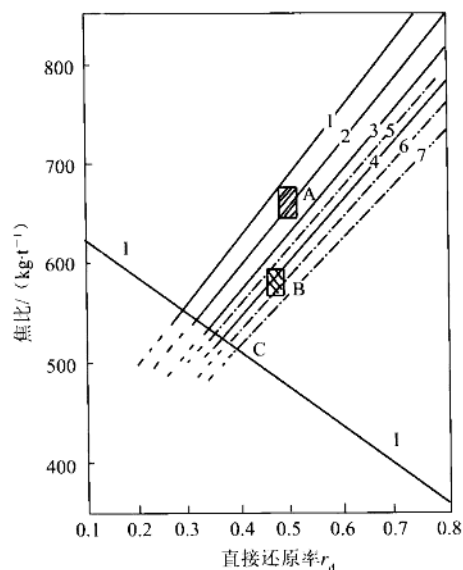


图 1 不同直接还原率下的焦比

1 为烧结矿使用率 70%，风温 800℃； 2 为烧结矿使用率 70%，风温 900℃；
 3 为烧结矿使用率 70%，风温 1000℃； 4 为烧结矿使用率 70%，风温 1100℃；
 5 为烧结矿使用率 90%，风温 900℃； 6 为烧结矿使用率 90%，风温 1000℃；
 7 为烧结矿使用率 90%，风温 1100℃；
 A 为 1962 年 4 季度； B 为 1963 年 4 月； C 为可达到的最低焦比

这些线与 I—I 线交点以下的部分是不能达到的。因为该段所代表的焦比不能满足还原对炭量的需要，所以在理论上是不能成立的。但 I—I 交线以上的焦比在实践上也并不是全能达到的。例如，烧结矿使用率为 70%，风温 900℃ 时，理论最低焦比为 550 kg/t。但是，达到这样低的焦比要求直接还原率不高于 0.32%。在目前实践中这样低的直接还原率是不能达到的。1962 年第 4 季度焦比达到的范围相当于图 1 的“A”区。1963 年 4 月份，由于烧结矿使用率的增加和风温的提高，炼钢铁焦比下降至 600 kg/t 以下，相当于图 1 的“B”区。从图中可以看出，随着风温进一步的提高和技术操作的改善，焦比还可以降低到“C”点，即焦比为 525 kg/t 左右。

理论计算显示，武钢高炉降低焦比的前景是广阔的，巨大的潜力有待于发掘。

2 热平衡的分析

为找出降低焦比的潜力所在，下面取两个典型例子加以分析。第一个例子是烧结矿使用率 70%，风温 900℃， r_d 0.5，焦比 662.7 kg/t。第二个例子是烧结矿使用率为 90%，风温 1100℃， r_d 0.42，焦比 525 kg/t。从热平衡的分析中找潜力。

两个例子的热平衡如表 3、表 4 所示。从表 3、表 4 看出，焦比由 662.7 kg/t 降至 525 kg/t，冶炼单位生铁的热量减少了 $11708.68 \text{ kJ} - 10859.39 \text{ kJ} = 849.29 \text{ kJ}$ (7.35%)，热风

携带的热量所占的比例由 17.9% 增加至 18.7%，从而减少了由焦炭燃烧必需供给的热量 $9423.57 \text{ kJ} - 8701.59 \text{ kJ} = 721.98 \text{ kJ}$ ，所以焦比降低。

表 3 焦比 662.7 kg/t 的高炉热平衡 kJ/kg

热量收入		热量支出	
焦炭燃烧	9423.57	氧化物还原	7046.80
鼓风含热	2110.61	碳酸盐分解	313.84
成渣热	241.70	炉料水分蒸发	75.82
		鼓风水分分解	358.81
		生铁含热	1256.04
		炉渣含热	1114.94
		煤气带走	708.41
		热损失	834.01
合计	11775.88	合计	11708.68

收入支出相差: $11775.88 - 11708.68 = 67.20$ (约 0.57%)

表 4 焦比 525.0 kg/t 的高炉热平衡 kJ/kg

热量收入		热量支出	
焦炭燃烧	8701.59	氧化物还原	6934.47
鼓风含热	2057.02	碳酸盐分解	136.78
成渣热	119.78	炉料水分蒸发	52.75
		鼓风水分分解	277.84
		生铁含热	1256.04
		炉渣含热	1044.19
		煤气带走	511.88
		热损失	645.44
合计	10878.39	合计	10859.39

收入支出相差: $10878.39 - 10859.39 = 19.00$ (约 0.17%)

为了比较详细地分析热量需要的变化, 计算了这两个例子的区域热平衡。将高炉按炉料的温度分为 4 个区: 900℃ 以下区, 900~1200℃ 区, 1200~1500℃ 区, >1500℃ 区 (图 2)。

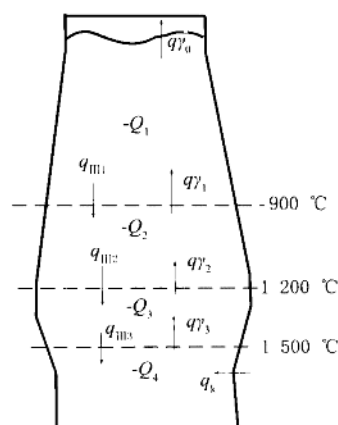


图 2 高炉按炉料温度分区

对每个区来说,热量来源是炉料显热 $q_{m_{n-1}}$ 、上升煤气显热 $q\gamma_n$ 、温度降低了的煤气携带的热量 $q\gamma_{n-1}$ 。在每一区域内,收入和支出处于动平衡状态:

$$q_{m_{n-1}} + q\gamma_n = Q_n + q_{m_n} + q\gamma_{n-1}$$

从上述观点出发,计算了两个例子的区域热平衡,见表 5、表 6。

表 5 焦比 662.7 kg/t 的高炉区域热平衡					J/kg
项 目	<900 °C	900~1200 °C	1200~1500 °C	>1500 °C	
铁的间接还原	+120798				
铁直接还原	-259774	-779214	-259774		
其他元素的还原		-42144	-128418	-82145	
脱硫反应			-5342	-8014	
水分蒸发	-75823				
碳酸盐分解		-313843			
风中水分分解				-538213	
铁水热焓	-591595	-1050887	-1256040	-1256040	→
渣水热焓	-512883	-681716	-873241	-873241	→
焦炭热焓	-673099	-858809	-936658	-936658	→
H ₂ 的还原	+46767				
热量损失	-166802	-166802	-287717	-208503	
合计 $Q_n + q_{m_n}$	-2112412	-3893414	-3747190	-3902814	
炉料潜热 $q_{m_{n-1}}$		+1777577	+2591411	+3065939	
净热耗 $Q_n + q_{m_n} - q_{m_{n-1}}$	-2122412	-2115837	-1155779	-836874	
焦炭燃烧热量 q_c				+6922493	
煤气含热 $q\gamma_n$	+2814003	+4929840	+6085618		
$q\gamma_{n-1}$	+684843	+2814003	+4929840	+6085618	
煤气温度/°C	193	920	1610 1972	2120	

表 6 焦比 525 kg/t 的高炉区域热平衡					J/kg
项 目	<900 °C	900~1200 °C	1200~1500 °C	>1500 °C	
铁的间接还原	+141208				
铁直接还原	-208678	-626035	-208678		
其他元素的还原		-43823	-130532	-82145	
脱硫反应			-4346	-6523	
水分蒸发	-52754				
碳酸盐分解		-136783			
风中水分分解				-417382	
铁水热焓	-591595	-1050887	-1256040	-1256040	→
渣水热焓	-480473	-702897	-925241	-925241	→
焦炭热焓	-522261	-661824	-715373	-715373	→
H ₂ 的还原	+35772				
热量损失	-129079	-129079	-225890	-161347	
合计 $Q_n + q_{m_n}$	-1807860	-3351328	-3466101	-3564051	
炉料潜热 $q_{m_{n-1}}$		+1594329	+2415608	+2896651	
净热耗 $Q_n + q_{m_n} - q_{m_{n-1}}$	-1807860	-1756999	-1050493	-667397	
焦炭燃烧热量 q_c				+5771395	
煤气含热 $q\gamma_n$	+2296506	+4053505	+5103998		
$q\gamma_{n-1}$	+488646	+2296506	+4053505	+5103998	
煤气温度/°C	192	980	1710 2146	2300	

焦比 525 kg/t 时热量消耗少,主要是 900~1200℃ 区域及 <900℃ 区域热量消耗的减少,其数值为 233234J 及 304552J。热量消耗减少的原因是:烧结矿使用率增加,石灰石分解热量减少、直接还原率降低。

比较煤气温度的变化,问题就更加清楚了(图 3)。煤气离开 900~1200℃ 区时的温度,当焦比为 662.7 kg/t 时为 920℃,当焦比为 525 kg/t 时为 980℃。为使热交换顺利进行,20℃ 的温差太少了。计算结果说明,焦比 662.7 kg/t 的热交换比焦比 525 kg/t 反而更紧张一些。这一区域的热量平衡不仅影响焦比的高低,同时还决定了高炉能否使用高风温来降低焦比。

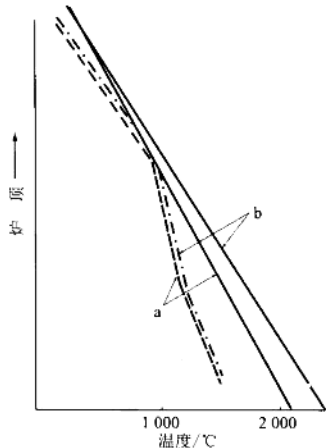


图 3 煤气温度变化

a. 焦比 662.7 kg/t b. 焦比 525 kg/t 实线为煤气;虚线为炉料

区域热平衡的分析表明,在武钢原料条件下有可能达到最低焦比 525 kg/t。办法是:多用烧结矿,高炉内少加石灰石,改善煤气利用和提高风温。多用烧结矿是最重要的措施。

既然多用烧结矿是高炉降低焦比的必要条件,改善烧结矿质量使其更加适应高炉需要将是今后一件重要工作。烧结矿质量不好,高炉就不可能大量使用,也不可能更好地利用煤气的热能与化学能达到较低的直接还原率。日本大阪 1 号高炉焦比达到 490 kg/t 以下,煤气 $\varphi(\text{CO}_2)$ 达到 20% 以上,与烧结矿质量好是分不开的。

武钢烧结矿的特点是粉末多。1963 年 3 月份秤量车取样平均筛分见表 7。

表 7 烧结矿粒度分析					%
<6 mm	6~10 mm	10~25 mm	25~40 mm	>40 mm	
29.8	22.5	27.5	9.3	11.0	

武钢烧结矿筛分组成与日本大阪烧结矿的比较见图 4。由图可见,武钢烧结矿粒度不好。但如果筛去粒度小于 6 mm 以下的粉矿,则可以达到相当令人满意的粒度。

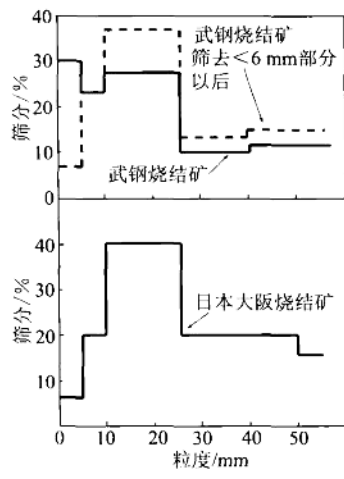


图 1 武钢烧结矿与日本大阪烧结矿的筛分组成

改善烧结矿的粒度十分必要,特别是在冶炼强度提高之后,要想保持最低焦比,必须改善炉料粒度组成。

3 进一步降低焦比的可能性

上面已经讨论了焦比降低至 525 kg/t 的种种因素。需要研究降低焦比至 500 kg/t 以下的可能性。

焦炭在高炉内消耗在 3 个方面:渗入生铁,进行直接还原,风口前燃烧。进一步降低焦比在于减少焦炭在这 3 方面的消耗。最近几年发展起来的风口喷吹燃料的操作方法,实质就在于用其他燃料代替焦炭。

武钢如采用风口喷吹燃料只有几种可能:喷吹焦炉煤气,喷吹沥青,喷吹粉煤。苏联广泛采用天然气,取得良好的效果,但武钢无天然气可用。某些国家喷吹油的效果很好,但我们得不到廉价的油类。武钢可以得到的气体燃料,只有焦炉煤气可以用于风口喷吹技术。在液体燃料中,只有沥青有积压时可以利用。

首先从理论计算上预测喷吹焦炉煤气或沥青降低焦比的效果。计算采用的焦炉煤气成分见表 8,沥青的成分见表 9。

表 8 焦炉煤气成分 $\varphi_{\text{H}}/\%$

CH_4	CO	H_2	CO_2	N_2	C_nH_m	O_2
25.00	6.71	58.40	2.59	4.25	2.27	0.78

表 9 沥青成分 $w_{\text{B}}/\%$

C	H	N	O	S
92.30	3.79	2.18	1.43	0.30

原料条件为烧结矿 90%，铁山矿 10%（化学成分同以前提理论计算）。高炉风温 1100℃，湿分 3%。计算结果见图 5。

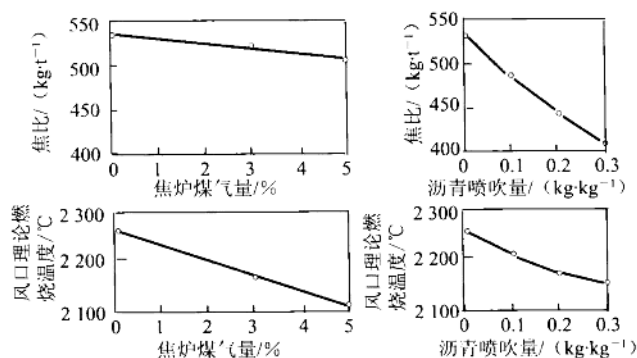


图 5 喷吹焦炉煤气或沥青降低焦比的效果

从图 5 看到，喷吹焦炉煤气降低焦比的效果不高。每吹 1m³ 焦炉煤气，焦比只降低 0.39kg，经济价值不大，而且喷吹焦炉煤气炉缸温度降低很厉害。看来，喷吹焦炉煤气不会有太大收益。

喷吹沥青效果很大，根据计算，风口每吹 1kg 沥青可代替的焦炭量如下。

沥青喷吹量 0.1 kg/kg 风口燃烧碳素时：1.50 kg；

沥青喷吹量 0.2 kg/kg 风口燃烧碳素时：1.15 kg；

沥青喷吹量 0.3 kg/kg 风口燃烧碳素时：1.02 kg。

喷吹沥青炉缸温度降低程度比喷吹焦炉煤气小。

看来，喷吹沥青可以降低生铁成本。特别是武钢沥青积压，如高炉能采用风口喷吹沥青则可一举两得。

但是，喷吹沥青在国内外尚无先例，毫无疑问会有很多困难。但从理论上推测，这一操作方法是是可以实现的。

喷吹粉煤也是经济的。每千克煤粉可代替焦炭 0.9 kg。但喷吹煤粉设备复杂，不易解决，目前来看不能很快实现。

4 结 语

综上所述，可见武钢高炉降低焦比前景十分乐观。在现有条件下，通过改善原料，提高烧结矿强度，多用烧结矿，减少入炉石灰石量，提高风温，改善煤气利用，改进高炉日常调剂，焦比可以降低到 600 kg/t 以下，在此基础上，采用风口喷吹燃料方法，可以降低焦比至 500 kg/t 以下。作者认为，武钢可以试验风口喷吹沥青，因为这一措施能一举两得。

关于武钢高炉的设计问题

武钢从 1958 年 1 号高炉投产至今已有 16 年了。16 年中间又先后有 3 座高炉投产。现有 4 座高炉,在结构上有共同点,也有不同点。16 年来在高炉寿命方面,武钢有成功的经验,如 1 号高炉从 1958 年投产至今尚未大修,至 1974 年底已生铁 783.8 万 t,预计这一代的产铁量可能达到 900 万 t。但武钢高炉也有失败的教训,如 2 号高炉第 1 代自 1959 年 7 月投产,1963 年 12 月中修,1964 年 6 月炉缸烧穿;又如 3 号高炉投产后,炉缸水温差经常过高,有时处于烧穿的边缘,而不得不减产,甚至休风。因此,对武钢高炉所采用的设计,根据 16 年的生产实践加以比较分析,找出经验教训,对武钢今后高炉的建设和改造都是有益的。本文试图对武钢高炉的设计问题加以讨论,错误之处请批评指正。

武钢 4 座高炉每代使用年限,产铁量以及中修情况见表 1。

下面分几个问题对武钢高炉的设计问题加以讨论。

1 炉底与炉缸

武钢 4 座高炉采用 5 种炉底炉缸结构。1 号高炉是炭砖高铝砖综合炉底,炉底厚度 5600mm,炭砖炉缸。2 号高炉第 1 代是高铝砖炉底,黏土砖炉缸,炉底厚度 5600mm。2 号高炉第 2 代炉底厚度仍为 5600mm,但改为炭砖高铝砖综合炉底,增加了炉底风冷和炉底下部的平铺炭砖。3 号高炉炉底厚度为 5600mm,炉缸与炉底上部与 2 号高炉第 2 代相同,但炉底下 6 层不是炭砖而是炭捣预制块砌筑,炉底也有风冷。4 号高炉采用炭砖炉底炉缸,炉底为水冷,炉底下部为两层立砌炭砖,厚度 2300mm,其上为两层高铝砖,厚度 800mm,炉底总厚度 3100mm。各高炉炉缸炉底结构示意图见图 1。

* 原文发表于《武钢技术》,1975,(2):38~46

表 1 武钢高炉每代使用年限、产量及中修情况

	1 号高炉	2 号高炉	3 号高炉	4 号高炉
投产日期	1958-9-13	1959-7-13	1969-4-9	1970-9-30
第 1 次中修日期	1962-6-19 至 7-9	1963-10-30 至 12-13	尚未中修	1974-2-17 至 10-16
由投产至第 1 次中修的产铁量	189.3 万 t	196.7 万 t		234.7 万 t
第 2 次中修日期	1965-11-15 至 12-14	无第 2 次中修, 1965-5-30 大修		
第 1 次与第 2 次中修间产铁量	155.6 万 t	第 1 代共产铁 254.9 万 t		
第 3 次中修日期	1970-3-5 至 4-10			
第 2 次与第 3 次中修间产铁量	180.7 万 t			
投产日期	尚无第 2 代	1965-8-30	尚无第 2 代	尚无第 2 代
第 1 次中修日期		1971-5-26 至 6-23		
由投产至第 1 次中修的产铁量		289.2 万 t		
从第 1 代投产至 1974 年底止共产生铁量	783.8 万 t	第 2 代至 1974 年底止共产生铁 471.6 万 t	253.7 万 t	258.9 万 t

16 年来的实践证明：

- (1)炭砖高铝砖综合炉底，炉底厚度 5 600 mm，无炉底冷却，可以达到炉底长寿，1 号高炉就是例子；
- (2)高铝砖或黏土砖的炉缸炉底是不能长寿的，2 号高炉第 1 代就是证明；
- (3)炭捣预制块砌筑高炉炉底是不安全的，3 号高炉是一个例子；
- (4)炭砖炉缸炉底是有发展前途的，经多方面测定与计算，4 号高炉炉底虽在施工上有缺陷，现剩余厚度仍有 2 000 mm，炉底厚度减薄，并采用水冷砖炉底，是今后发展方向。

厚度 5 600 mm 的炭砖高铝砖炉底可以达到长寿。由于周围炭砖的冷却作用，炉底侵蚀深度受到限制，这样厚的炉底其冷却实际上不发挥作用。2 号高炉第 2 代虽有炉底冷却，但未使用。炉底最下层平砌的炭砖也未发挥作用。从武钢的实践看，这种炉底实际上是浪费，这样厚的综合炉底其冷却和底部砌炭砖都是多余的。

炭捣预制块代替炭砖看来不合要求。炭捣时加压很低，又不经焙烧，受热后必然产生收缩，从而在炉底产生缝隙。3 号高炉投产后连续炉底水温差过高与炭捣预制块分不开。

炭砖薄炉底加水冷看来是合理的。炭砖加水冷可以发挥炭砖的作用，待炉底侵蚀到建立新的平衡后炉底的侵蚀就停止了。实际上这种炉底是寿命最长的。它的另