

GUOWAI GAOLU
PENMEI YU FUYANG
YIWEN-JI

国外高炉喷煤与富氧译文集



包钢经济技术情报研究所

包 钢 炼 铁 厂

前 言

高炉风口喷吹煤粉不仅可以用廉价的劣质煤代替昂贵的冶金焦炭，从而取得可观的经济效益，同时还可给高炉冶炼带来一系列的好处，因此是增铁节焦的一项重要措施，尤其对我国这样一个煤资源极为丰富、但优质焦煤资源不多的国家更是具有十分重要的意义。

早在五十年代，国外就已将喷煤技术应用于高炉生产。六十年代中期，我国首钢也成功地进行了大喷吹量试验，并将喷煤技术正式用于高炉生产。但是，由于喷煤技术比喷油要复杂得多，而且当时国际市场的石油价格也相对比较便宜，因此在很大程度上限制了喷煤技术的发展。同时，由于我国处于十年动乱中，高炉喷煤技术的发展也处于相对停止的阶段。

1980年以后，为了摆脱石油危机给高炉生产带来的不利影响，西欧、北美、日本等地区和国家相继采用了喷煤技术。他们虽然起步晚，但发展很快，到1987年欧洲已有23座高炉喷煤，日本的38座生产高炉也已有18座开始喷煤，而且不少高炉的煤比都在 100kg/t 以上。这些国家的设备比较先进，工艺也比较成熟，因此很有些值得我们借鉴之处。

粉碎四人帮以后，我国的高炉喷煤技术发展也很快。为了进一步提高我国的高炉喷煤水平，1987年冶金部在鞍钢2号高炉组织了中型高炉富氧大喷煤量试验，取得了可喜的成绩。最近又决定在包钢进行大高炉富氧大喷煤量试验，这些对推动我国，特别是包钢的喷煤技术的发展无疑将会起巨大的作用。为了配合这次试验工作，给这次试验提供必要的资料，我们编译了这本《国外高炉喷煤与富氧译文集》作为《包钢译丛》增刊发表，以供广大炼铁工作者参考。

在这本译文集中介绍了高炉喷煤技术的发展概况及世界主要产钢国日本、美国、苏联、英国、西德、法国、加拿大等钢铁企业高炉喷煤工艺的理论研究、实际操作经验和设备情况。在喷煤计量方面，除了日本千叶5号高炉利用电容法的测定装置外，还介绍了西德的Granucor测量系统及苏联测定煤粉流量装置的基本原理。此外，象“高炉喷吹大量煤粉的气流模拟试验”、“无氮炼铁的热平衡与物料平衡”、“煤粉在直吹管内燃烧理论”等都是最近国外发表的 latest 资料，有着较高的参考价值。

为了便于读者查阅，我们还选编了几篇以前发表过的文章，这样使用一本书就可以查到较全的资料，用起来可能会更方便一些。

由于我们水平有限，错误和疏漏之处在所难免，所以诚恳欢迎批评指正，以改进我们的工作。

《包钢译丛》编辑部

一九八九年八月

目 录

- 1.高炉喷煤粉回顾.....〔英〕J.R.Monson (1)
- 2.模拟高炉用等离子加热空气燃烧煤粉的研究.....〔瑞典〕Per—Anders (3)
- 3.煤粉在高炉 风口区燃烧过程的研究.....〔苏〕С.Л.Ярошебский (8)
- 4.在高炉直吹管内喷吹煤粉的燃烧理论.....〔日〕野村伸一郎 (11)
- 5.高炉风口回旋区煤粉的燃烧和喷吹最佳化.....〔日〕野村伸一郎 (13)
- 6.高炉喷煤条件下富氧及无氮操作的热平衡和 物料 平衡.....〔加拿大〕W.K.Lu (15)
- 7.高炉喷吹大量煤粉时的 气流模拟试验.....〔西德〕H.Wilhelm (25)
- 8.喷吹辅 助 燃 料.....〔西德〕Kail—Heing (35)
- 9.霍戈文斯厂的高炉喷煤.....〔荷兰〕W.Koen (37)
- 10.德国工程师协会成员工厂喷煤技术的现状.....〔西德〕Jürgen Cappel (47)
- 11.关于“高炉喷煤技术发展状况” 报告的讨论(摘译).....〔东德〕Klaus Scheiding (55)
- 12.于齐诺尔·敦刻尔克厂 2 号高炉的喷煤技 术.....〔法〕B.Aelaice (56)
- 13.律勒欧厂2号高 炉的喷煤概况.....〔瑞典〕A.Ahngvist (63)
- 14.千叶厂5号高炉新的煤粉喷吹系统.....〔日〕M.Saino (64)
- 15.扇岛2号高炉的喷煤操作.....〔日〕加藤友则 (73)
- 16.测定高炉风口喷煤量的特 性.....〔苏〕O.B.巴巴克 (81)
- 17.高炉喷吹 煤粉的最佳控制.....〔西德〕Kail Langner (84)
- 18.用多出口分配器均匀分配粉料的 控制方法及根据此方法编制的条款(美国专
利).....〔美〕JohnH.Scheel (87)
- 19.煤粉中的焦油含量对高 炉喷煤的影响.....〔加〕W.P.Hutny等 (93)

高炉喷煤粉回顾

〔英〕J·R·Monson 等

高炉喷煤并不是新技术，它是风口喷吹的最早形式。十九世纪中期，法国和比利时已经进行了几年的实践，1840~1845年间法国就作了实验，将近10%的燃料用这种方法送入高炉。当时煤是以煤浆形式或通过原有的螺旋管道在风口附近被送入高炉鼓风中的。

1910~1920年开始试验风力喷入的方法，但由于难以维持固定的空气和燃料比，从而限制了这种方法的成功。又因喷吹设备的机械问题或对高炉生产缺乏了解而使这些早期试验遭到失败。

1950年前后，苏联开始对使用喷煤、降低冶炼生铁的高焦比感到兴趣，1948年在捷尔任斯克曾进行了小型试验，并在1955年进行了更大规模的试验。

1959和1960年，世界许多国家开始进行风口喷吹，主要喷吹重油和天然气。1959年在美国矿务局试验炉和1961年在帕发洛都已喷煤。几乎在同时，法国的拉察斯也进行过喷煤试验。这些试验在小高炉均取得了成功，至1965年其它一些高炉也相继采用这项技术。共开发了3种不同的喷吹技术。

第一种系统将磨碎并干燥了的煤通过储仓和由带伐漏斗密封的压力罐。终罐底部的煤随煤气或空气进入供煤管，每个风口有一个供煤管，煤从供煤管进入煤气流并被带入风口。用改变终罐与热风主管之间的压力差来控制煤量。这个系统在帕法罗、英国的斯坦顿及法国的劳乌罗尔等处使用。第一批的两套设备是由纽约皮特卡勃公司安装的。法

国的喷吹系统虽然也与上述情况相似，但却是独立开发的。

美国威尔顿的卡勃尔设计了一种输煤泵，上面储仓的煤被转动磨碎后送到泵的下部，再用压缩空气喷入风管。每个泵向两个风口供煤，用泵的转速来控制输煤量。这种系统的缺点是泵在高速转动下磨损快并且难以防止气体的泄漏，特别是高压操作的高炉。

伯玻柯克和维尔克斯开发了第三种系统，并在阿姆科的阿什兰特厂使用。这个系统与第一种系统类似，不同的是磨碎设备和喷煤设备放在一起，整个系统的压力均高于鼓风压力。它同样也存在密封问题，阿姆科对系统进行了修改，去掉了煤粉气体压力输送的转动部分，这样就与皮特卡勃设计的在常压下加工煤的系统相似了。

60年代中期以来，西方世界中只有阿姆科一直进行喷煤，其它厂中断试验并非因为技术不成熟，而是由于石油价格很便宜。近来由于油价上涨使得形势发生了变化，因而一些国家重新对喷煤产生了兴趣。

近来，特别是1980年以后和中国加强了联系，知道中国在60年代中期就开始了试验。据称，他们的喷吹系统比西方开发的设备效果要好些，这是他们取得成功的原因。很难弄清中国喷吹系统的详细情况，但与风力输送的皮特卡勃系统和修改后的阿姆科系统似乎没有多大的不同。据称他们已实现了很高的喷吹量，一座高炉月平均喷煤量为279公斤/吨铁。然而，这似乎更多的是受经济

因素和煤种（使用无烟煤）的影响，而不是设备的原因。

1964年在斯坦顿试验 喷吹量 达到了180公斤/吨铁，也象中国的实践一样，引起了高炉炉况不顺和综合焦比升高。阿姆科在综合焦比上没有太突出的成绩。多年来喷吹量波动在70~120公斤/吨铁之间，典型的情况是干焦比500公斤/吨铁，喷吹量约100公斤/吨铁。这样高的综合焦比是由于炉料准备不充分、低风温和高炉的其它操作因素造成的、而不是喷煤的影响。

从热量和燃烧因素来看，与喷油相比提高喷煤量是可能的。碳氢比高的煤对降低回旋区火焰温度的影响不是很大，因此在给定的火焰温度下，可以喷更多的煤。煤的燃烧特性不易确定，但煤粒在进入火焰区内有可能出现粉碎现象、从而产生“自雾化”的效果。当然，喷煤时决不应有不完全燃烧，就象喷油时一样。

煤粉粒度的最佳值还没最后确定，阿姆科系统操作时小于75微米者占80%，在斯坦顿、煤粉粒度最大者达2.4毫米，仅有10%小于0.2毫米。中国的操作不太清楚，大概接近于阿姆科。显然，应确定一个最佳粒度，因为没有必要磨得过细，这将会增加设备及操作费用。

置换比与煤的质量特别是煤的灰分有明显关系，一般都在1:1左右。尽管煤没有油好，但由于可以提高喷吹率，所以也可节约大量焦炭。

由于西方的喷煤设施很少，所以难以获得准确的价格信息。1980年建的能力为720吨/日阿姆科系统，则花了1400万美元基建费和每吨煤粉需要6美元操作费用。如果再建大一点的工厂，费用还可能要省一些，因为720吨/日并不一定就是最经济的规模。

如果能保持现有煤油间的价格差，则在许多地方尽管喷煤设备的投资大，但仍是具有吸引力的。澳大利亚和卢森堡自行设计制造

了装备，现已投入使用。日本也对喷煤表示了兴趣。

包括英国在内的一些国家，试验的新喷吹方法是喷吹煤油浆，这种方法很有吸引力，虽然操作费用可能高些，但投资比喷煤系统减少50%，向高炉输送也很简单，和常规的喷油系统区别很小。这样，一旦油和煤之间价格差变得不合适时，无需改变设备就可恢复100%喷油。应该指出的是，由于在煤浆中煤占的最大重量比只能达到约50%，所以这些优点将被抵消，也就是说喷煤的优点减半。

美国能源部鼓励发展煤油混喷来代替喷油，近来还竭力说服国际能源组织在这个领域内积极合作，这主要是指锅炉燃料。但在这种情况下要排掉煤灰比较困难，而在高炉中却不成问题。由美国能源部赞助在内陆钢公司日产1200吨生铁的高炉上进行了喷煤试验，喷煤量达到240公斤/吨铁，据了解已于1980年2月开始喷吹，至今还未有结论。在澳大利亚布罗希尔公司首先试用煤油浆，而后在堪培拉港的两座高炉上推行100%的喷煤系统。英国钢公司和Shell Coal International共同进行了研究。一些石油公司也研究了煤油混合物，他们主要的工作是致力于提高混合物的稳定性，即使在储存时也不会发生沉淀。这对钢铁公司未必有兴趣，因为高炉喷吹需要一个相当大的煤粉制备车间。虽然如此，这些试验对于新建各种输煤系统都是有价值的。

1979年11月，由BSC和Shell在BSC的克利夫兰高炉完成了一个单风口喷吹试验，喷吹率相当于正常生产时150公斤/吨铁的规模，试验比较顺利。在Shells Thornton试验室的球磨机上生产出液态煤油混合物，用油船运到克利夫兰炼铁厂后，储于大桶内供长期试验使用。

试验中有两种粒度，一是小于75微米的

（下转第7页）

模拟高炉用等离子加热空气燃烧煤粉的研究

〔瑞典〕Per—Anders 等

前 言

用高炉生产的铁水进行炼钢时，总能耗大约为4.8兆卡/吨钢，其中70%用在生产铁水上。因此，高炉工序上的节能问题在经济上具有重要意义。

由价格昂贵的炼焦煤生产出的冶金焦是高炉的主要燃料。长期以来，向高炉风口区喷吹较廉价的燃料，已获得普遍应用。在六十年代及七十年代初期，喷吹用的燃料主要是重油和天然气。进入七十年代以后，由于重油和天然气价格上涨的幅度较大，继续喷吹这两种燃料在经济上已不合算。因此，许多高炉转向全焦冶炼。在许多新建的现代高炉设计中，都考虑了采用不同形式的喷吹装置，但多数情况下，这种做法并不合适。

风口喷入燃料能为高炉增添有效的调剂手段，并可用较便宜的非炼焦煤来代替昂贵的冶金焦。近年来，喷煤粉在世界钢铁工业中已引起广泛的关注。

从风口喷入煤粉或其它燃料，对高炉操作造成的主要问题是降低理论燃烧温度。为此，采用等离子发生器来提高风温，使风口前端理论燃烧温度保持在适当的水平上，则可消除这一不利影响。

另外，喷煤的同时还可富氧，原来喷油时就这样做过，其目的也是为了维持较高的理论燃烧温度。

在高炉操作条件下，很难测定煤粉在风口区的燃烧率。因此，对高炉内煤粉燃烧状况的了解是很有限的。

可以认为，重要的一条是煤粉在离开风口回旋区之前能够全部燃烧完。实际测试结果表明，回旋区深度在1.0~1.5米之间。如果认为风速大约是200米/秒，那么煤粉颗粒与煤气的停留时间大约在10~20毫秒。这一时间比煤粉在其它炉子内能充分利用的时间要少得多（如水泥窑及锅炉等）。

过去曾在下列模拟高炉的条件下进行了煤粉燃烧的研究工作，如：

1. 风温 900~1250℃。

2. 鼓风中含氧量 21~23%。

本文所讨论的煤粉燃烧效果，是以风温为1000~1500℃，鼓风中含氧21~30%为前提，其中高风温则用等离子发生器加热空气获得的。试验是在瑞典斯德哥尔摩皇家工学院的生产技术系进行的。

实验装置

实验采用的竖炉及煤粉分配器如图1所示（略）。竖炉内径为0.8米，炉子高度大于2米。煤气取样口安置在风口对面。为了能提供足够的鼓风温度，在混合室中装有一台等离子发生器，室内热等离子气体与预热空气（400℃）进行混合，其装置如图2所示（略）。

在皇家工学院实验室中使用的等离子发生器是由美国等离子能量公司提供的，它具有可传送与不可传送两种使用性能。

在本实验进行过程中，该发生器仅作不可传送的等离子发生器使用。

下列装置用来分析鼓风含氧量以及燃烧后煤气的成份:

CO Siemens Ultramat 0—5, 0—10%
(电感式电压调整器)

Siemens Ultramat 0—1% (电感式电压调整器)

CO₂ Siemens Ultramat 0—20% (电感式电压调整器)

Siemens Ultramat 0—20, 0—40%
(电感式电压调整器)

O₂ Siemens Oxymat 0—5, 0—10%
(顺磁式)

Servomex 0—100%。

NO_x Beckman 0—10000ppm

操作时, 气体取样管应插入取样孔内。

取样时取样管要越过煤粉的火焰。

使用的原料

煤粉

煤粉的化学成分如表1所示

煤粉分析 表1

	原煤	干燥后的煤粉	干燥及去除灰分后的煤粉
质量分析			
水分ISO5900			
方法B %	1.7		
全水分 %	1.7		
灰分ISO 1171 %	8.3	8.4	
挥发份ISO 562 %	30.3	30.8	33.7
固定碳ANSI/ASTM D 3172 %	59.7	60.7	66.3
元素分析			
碳 %	75.4	76.7	83.8
氢 %	4.38	4.2	4.6
氮 %	1.2	1.2	1.3
氧 %	10.26	8.8	9.7
硫 %	0.6	0.61	
发热值			
量热法测定 千焦/公斤	30.51	31.04	33.90
有效热量 千焦/公斤	29.58	30.13	32.91

a 包括水分中的氢

b 包括水分中的氧

焦炭

在炉内填充焦炭的喷煤实验中, 所使用的焦炭是由SSAB, Lulea焦化厂提供。表2及表3分别列出筛分组成及化学成分。

焦炭筛分分析 表2

—8毫米	8—12.5毫米	12.5—20毫米	+20毫米
4 %	24 %	67 %	5 %

焦炭灰分和化学成分 表3

SiO ₂	49.5 %
Al ₂ O ₃	27.3 %
CaO	1.8 %
TiO ₂	1.9 %
Fe	8.1 %
S	7.9 %
P ₂ O ₅	0.6 %
MgO	1.0 %
Na ₂ O	1.8 %
灰分量	9.9 %

实验结果

空炉喷煤实验

富氧对燃烧率的影响, 图3示出在风口出口位置鼓风中含氧量不同时, 燃烧率随煤粉浓度(克煤粉/标米³空气)的变化情况。燃烧率的含义为, 氧化成CO和CO₂的C与喷入的总C量之比。

图3清楚地示出, 燃烧率随鼓风中含氧量的提高而增加。当喷入低浓度的煤粉时, 不同含氧量对燃烧率的影响并不是很大的。

鼓风温度对燃烧率的影响: 对1050℃, 1250℃, 1300℃, 1400℃及1475℃等鼓风温度进行了实验。图4示出了在1050℃和1475℃时, 燃烧率随煤粉浓度(克/标米³)变化的情况。

当高炉风温提高时, 如果不采取其它措施, 直吹管及风口中的风速将自动增加。此时可用V=150米/秒的风速表示。由于取样距离恒定, 在这种情况下意味着燃烧时间较短。

燃烧率%

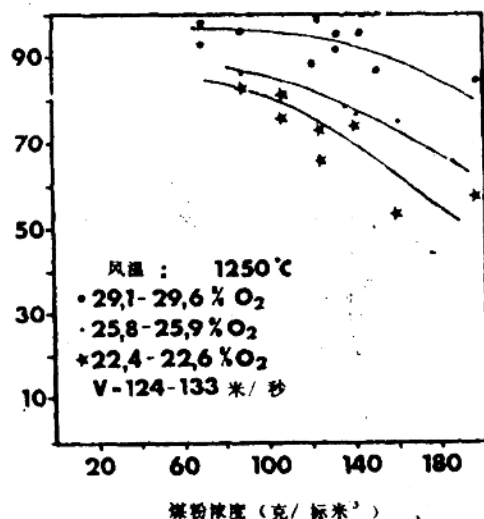


图3 当鼓风中含氧量不同时燃烧率与煤粉浓度的关系

燃烧率%

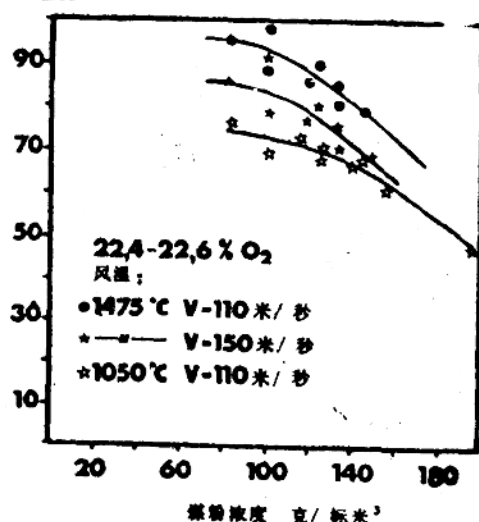


图4 当鼓风温度为1050℃和1475℃时，燃烧率与煤粉浓度的关系

图4说明，随风温提高，燃烧率也增加，特别是当煤粉喷吹量为80—120克/标米³时，增加幅度更大，在喷吹量较高的情况下，风温提高，对燃烧率的影响不大。

空气消耗系数对燃烧率的影响(SR)：为了说明空气消耗系数(SR)的影响，并与鼓风温度及鼓风中富氧率作比较，图5示出了所有的实验数据。

SR=1含义为实际供给的空气量与煤粉完全氧化成CO₂和H₂O所需要的空气量相等。

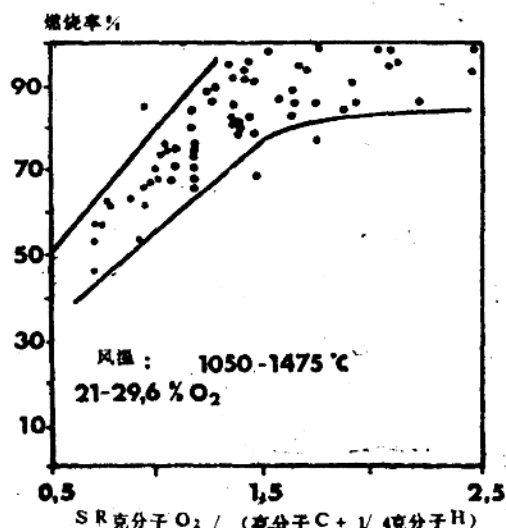


图5 燃烧率与SR的关系

图5表明了在不同的鼓风温度及富氧量情况下SR对燃烧率的影响。

可见，空气消耗系数是影响燃烧率的最重要因素。当SR降到1.2—1.4时，燃烧率急剧下降，其下降幅不受风温及富氧率的影响。

反应时间对燃烧率的影响：可以认为，煤粉喷入高炉风口后的燃烧反应时间在10~20毫秒之间。

图6表明了 在1300℃及鼓风含氧21%的条件下反应时间对燃烧率的影响。

图中示出燃烧率随反应时间增加而提高。

炉内填充焦炭的喷煤实验

这些实验是在，SKF钢公司进行的。采用了SKF钢公司的等离子发生器，实验竖

炉与上述相同。

实验期间，取喷煤粉与不喷煤粉的两种煤气试样，然后描绘出在回旋区煤气的径向分布（图7）。

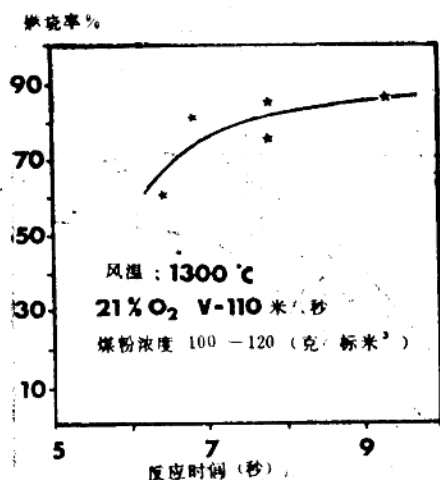


图6 燃烧率与反应时间的关系

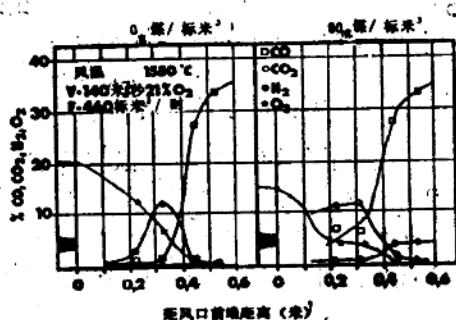


图7 燃烧区（回旋区）煤气的径向分布图

从图7可见，喷吹煤粉时风口前端CO及CO₂的浓度增加，这是由于煤粉在直吹管及风口中燃烧造成的。另外，由于喷入的煤粉中含碳氢化合物，因此回旋区中H₂的浓度增加。

实验结束后，在竖炉中充氮进行冷却，然后对炉内情况进行解剖研究（图8略）。所获得的回旋区长度与图7中CO₂消失的位置

呈现很好的对应性，其深度大约有400毫米。

回旋区下部沉积了许多粉状燃料，且风口上部的炉墙受到浸蚀（图9）。

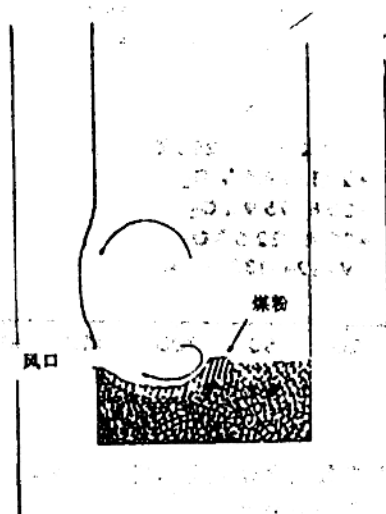


图9 冷却后炉墙腐蚀和煤粉沉积状态

讨 论

煤粉喷吹量在约80~120克/标米³的条件下，尽管鼓风中含氧量有变化，但对燃烧率的影响并不大。而当喷吹量较高时，不同喷吹量对煤粉燃烧率的差别较大。

可以假定，煤粉颗粒通过与热风的混合和燃烧，可获得极高的加热速率（10°K/秒），这时挥发份的反应速度很快。当挥发份燃烧时，消耗了局部区域的氧。如果煤粉颗粒附近氧的消耗得不到补充的话，挥发出来的煤烟及残炭颗粒的燃烧会受到影响。这种残炭颗粒被认为是原煤粉颗粒中脱去挥发份后的固体部分，其中包括煤粉颗粒中裂化出的挥发份。

在喷吹90克煤/标米³及22.5%富氧条件下，SR=1.6。多余60%O₂用以燃烧生成CO₂及H₂O。富氧率越高，剩余的氧量就越多，这意味着在低喷吹率情况下，煤粉颗

粒附近局部氧的不足问题会很快地被克服。随着喷吹率增加,较低富氧水平与高富氧水平相比,前者局部过剩氧量降低的幅度要大的多。由于有效的氧量减少,导致残炭颗粒在初期的燃烧效果降低。另外,随SR降低,未燃尽部分的数量增加。

图4表明,燃烧率随鼓风温度的提高而增加。该现象可解释为,风温提高后导致煤粉颗粒温度升高,从而燃烧的不均匀性得到了改善。但随喷吹率的提高,降低了高风温的效果,其结果可用上述机理来解释。

由此可以推测,无烟煤与含有高挥发份的烟煤相比,提高风温对其燃烧速度的促进更为明显,特别是在高喷吹率的情况下。缺少挥发份的燃烧,不仅可防止过多未燃尽物质的产生,而且还可降低氧的消耗量。高风温可使煤粉提前燃烧,又能加快其燃烧速度。

实验结果表明,对烟煤燃烧率影响最大的因素为空气消耗系数(SR)。相对比较来看,鼓风温度及含氧浓度对燃烧率的影响要小得多。这主要是由于当SR接近1时,煤粉颗粒附近局部有效的氧量降低所造成。

(上接第2页)

占40%,另一是于75微米的占30%,大粒度与小粒度相比,球磨机能力提高一倍。作为BSC煤油浆开发计划的一部分,还在试验室的火焰隧道中研究了煤粉粒度和其它燃烧特性的影响。研究表明煤油浆比油更易燃烧完全,这可能是由于对油起雾化作用的煤粒猛烈分解,或煤的尖锐断面分割作用促进了油的雾化所致。

在这些研究以后应当进行工业性试验。但由于现有设备没有足够的能力,所以需要新建一个煤粉制备车间。每次讨论都着重于建设的投资方式。

应该指出,在六十年代进行喷煤试验的同时,就开始了几种煤油浆试验。最著名的

如图5所示,当SR降到约1.2~1.4时,燃烧率急剧下降,下降幅度与鼓风温度及空气中含氧浓度无关。为了改进燃烧率,将图5中燃烧率下降的拐点移至接近SR=1的位置,则必须从改善煤粉与空气的混合入手。采用效果良好的混合装置将会减少未燃尽物质,并使残炭颗粒及未燃尽的物质加快氧化。当SR<1时,为了增加燃烧率,即加快煤的气化,除改善混合以外,还必需有足够的反应时间。

结 论

本文研究结果表明,影响煤粉燃烧的最大因素是空气消耗系数。在某些情况下,利用较高的鼓风温度或较高的富氧率,能改善煤粉的燃烧效果,特别是在较低的喷吹率下效果更好。

陈春元 译自“Scandinavian Journal of Metallurgy” 1986. 第15卷第3期

梅美武 校

是比利时的塞兰厂和日本的千叶厂。在塞兰厂的5*高炉上所有风口喷煤油浆达68公斤/吨铁,置换比达到1:1。1967年千叶厂1*高炉煤油浆也达到了70公斤/吨铁,这样喷吹混合物可与喷油相媲美,1.3公斤混合物即可代替1公斤油。但还需要进行扩大试验,以便估价现代高炉操作中大量煤油喷吹时的效果。

可以得出这样的结论,油价的变动趋势将使高炉喷吹发生根本变化。炼铁工作者必须既学会全焦操作,也要学会交替喷油操作,而交替喷煤和煤油浆是最有吸引力的。

赵国治 译自“Ironmaking and Steelmaking” 1981. V08

周文福 校

煤粉在高炉风口区燃烧过程的研究

〔苏〕С.Л.Ярощевский 等

喷吹煤粉是高炉炼铁有发展前途并有效果的工艺措施之一。工业试验表明,向炉缸喷入52—270公斤/吨铁煤粉,在生铁产量和质量保持不变或有所改善的情况下,可使焦比降低10.5—52%。

煤粉在风口完全燃烧则是喷煤工艺的关键环节。据国外经验,当煤粉不完全燃烧时(首先是由于粒度大),会引来炉缸堆积、大量烧坏风口、降低置换比和产量。

决定煤粉燃烧完全程度的条件

煤粉燃烧可分为4个阶段,并用以下方程来描述。

挥发份着火前煤粉的加热时间:

$$\tau_{Bn} = 2.5 \cdot 10^{16} \cdot Tr^{-4} \cdot d$$

式中: Tr ——气体介质温度, K,

d ——煤粉的平均粒度, 米。

挥发物烧尽时间:

$$\tau_{rл} = 0.45 \cdot 10^8 \cdot d^2$$

着火前残焦加热时间:

$$\tau_{nk} = 5.36 \cdot 10^7 \cdot Tr^{-1.2} \cdot d^{1.5}$$

残焦烧尽时间:

$$\tau_{rk} = [3.09 \cdot 10^9 (100 - A_k) / 100] \cdot (\rho_k \cdot d^2 / Tr \cdot 0.6 \cdot O^2)$$

式中: O^2 ——鼓风中氧的体积浓度,

ρ_k ——残焦的假密度, 公斤/米³

$$\rho_k = \rho_{\gamma r} \times (100 - W_p - V_p) / 100$$

式中: $\rho_{\gamma r}$ ——瘦煤的假密度, 公斤/米³

W_p ——煤粉的湿度, %

V_p ——煤粉中挥发的含量, %

煤粉颗粒的完全燃烧速度首先取决于煤粉中挥发份的含量、气相温度和气相中的含氧量(见图1)。把煤粒粉碎到0.03—0.05毫米即可保证煤粉在风口区完全燃烧。在喷煤粉的工业试验设备及工业生产设备上都作过使煤粉在风口前完全燃烧的研究工作。

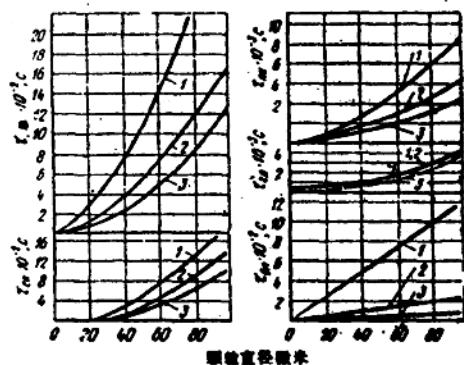


图1 煤粉燃烧时间与煤粉粒度及气相温度的关系

(图中1—3的 Tr 相应为1200, 1800, 2400K)
 $\tau_{总}$ ——总燃烧时间; 其余标记见文。

借助于对各风口燃料实际耗量的系统监测并使用风动运输的自身稳定系统和监测仪表,即使各风口喷煤量相差在10—20%的范围时,仍能保证连续和稳定地喷吹。这在很大程度上促进了风口区物理条件的稳定和最佳化。

丘马科夫斯克中心洗煤厂生产的瘦精煤

已运用于喷吹，这种煤的灰份为7—9%，挥发份10—14%， $S_{1.7}$ —2.1%。制定并掌握了确定燃料粒度组成的综合方法：在液体中先用筛子筛去大块（0.05—0.063毫米），然后再用沉淀的方法处理残渣。

用上述方法处理后的分析表明，加工后的煤粉中小于0.05毫米者占50—70%，小于0.01毫米者占10—30%。

根据以前的试验结果，喷吹煤粉时天然气的平均耗量要减少0.1—0.3米³/公斤煤粉，以便把理论燃烧温度、吨铁炉缸煤气发生量及游离氧量保持在原来的水平上，这对补偿煤所引起的热制度和煤气动力学制度的破坏、确定焦炭置换比是很有必要的。制造并推广运用了垂直喷煤与方向垂直供风的新风口，喷煤点距风口前约250—300毫米，这样可使煤粉与风很好地混合并强化燃烧。在实际生产中连续喷吹的条件下，这种风口的寿命达3—6个月，与普通风口差别不大。

进行研究的方法

到目前为止，对煤粉或其它附加燃烧沿风口区长度方向上燃烧全过程还没有提出一个定量监测法，这在很大程度上妨碍了喷煤工艺制度的完善和优化。在美国，把装在水冷管内的小型电影摄影过插入风口区，也只能对燃烧过程做定性的评价。

在顿涅茨克冶金工厂的生产条件下，试验研究出确定燃烧在风口燃烧完全程度的定量方法。

取样设备（图2）包括水冷外壳1，装在壳内的中心管2，供水的环形空腔3，在中心煤气取样管中装有通条4用以捅管，在煤气取样管2的管壁上开有孔5，它把取样管与环形空腔联接起来。孔与插入风口装置端部的距离为煤气取样管直径的3倍。为把水送入环

形空腔3，设有水管6和阀门7，为供水和排水，预留了管接头8和9。在装置的后面装有排泥浆用的管接头10。为了密封和防止煤气从取样管2逸出，又加上密封盖11。出铁后40—60分钟取样，取样装置通过风口插入高炉炉缸。在到达距第一个研究点前约0.5—1.0米处取样。试样由煤气、水和粉状料组成，首先进入一个容器中，试样的水里溶有碱及氰化物，含有炉缸煤气中所有的各种成份。在这之后，清洗过的炉缸煤气进入转子流量计以测定流量，然后再进入中间取样器，最后将煤气排出。下次的取样要在排出水和煤气混合物之后2—3分钟开始，为的是排净管内前一个样的残余。因此，通常在2—5分的取样时间内就可以得到有代表性而又均匀的煤气样、含有煤粉的粉料样以及含碱、氰化物、焦油和从炉缸煤气中捕捉的其它物料的水样。试验完成之后，收集的试样重量达20公斤。把收得的粉料进行化学分析和矿物分析。

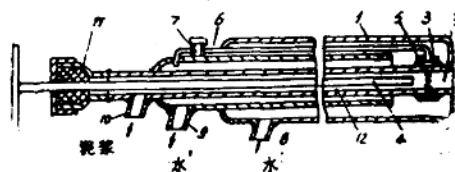


图2 高炉炉缸煤气及物料取样管（标记见文）

煤粉的实际浓度用矿物分析的方法来确定，这种方法是在抛光的磨片上用精确的体积方法来计算每个组分的百分比例。为制备薄片，严格地称量了试样的重量，并用等量的塑胶AKP——100将其固结。计算了薄片上600点的试样组分，大部分的绝对误差约为1%。

喷煤和不喷煤时期风口区 的研究结果

1982年和1983年在1号高炉上进行了一系列确定煤粉在风口区燃烧完全程度的试验（喷吹量为60—80公斤/吨铁）。

为了进行对比，在高炉不喷煤的情况下也做了类似的研究。研究期间，从炉缸的16个点取了170个样。试样的微观组织分析表明，在风口的前端，煤粉颗粒尺寸已大大减小。离开风口前端的距离越远，煤粉粒度也越小。（图3，略）

对取自炉缸的试样做了定量分析。在距风口前端0.6—0.8米处煤粉实际上已完全燃烧。煤粉在进入风口之前即开始强烈燃烧：在风口内烧完煤粉的50—70%，在风口前0.3米处烧完70—90%（图4）。增加喷煤量有助于炉缸回旋区的扩大。

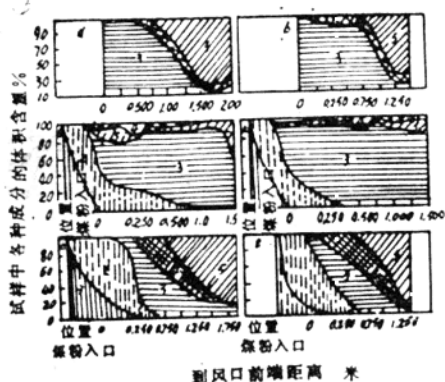


图4 沿炉缸半径的炉料组成

a, b——不喷煤时；B, r——喷煤量50—60公斤/吨铁；gc——喷煤量60—70公斤/吨铁；1——煤粉；2——格状结构的煤粉颗粒残余；3——渣；4——生铁；5——焦炭

煤粉在炉缸边沿强烈燃烧也为风口区炉煤气化学成分的变化以及从炉缸中取出的

粉状试样数量和化学成分所证实（图5）。

喷吹煤粉时，从炉缸取出的试样的平均重量比不喷吹时要少。这个差异在试样的非磁性部分表现得最为明显。例如，在炉缸中距离风口前端0—1.0米的各点，喷煤时试样的平均重量比同样条件下不喷煤时要少65.5%，试样中氧化亚铁的含量么不喷煤时少50%，渣中的硫及碱金属含量也有类似的关系。显然，向炉缸喷煤时也喷天然煤气一样，风口区最高温度有些下降，沿炉缸半径方向的温度分布变得平坦一些。取自炉缸的试样在重量和成分方面的这些特点可以解释为：由于降低了风口区气相中的氧含量及气相温度，即降低了风口区的氧化势，因此减少了生铁中元素的二次氧化。

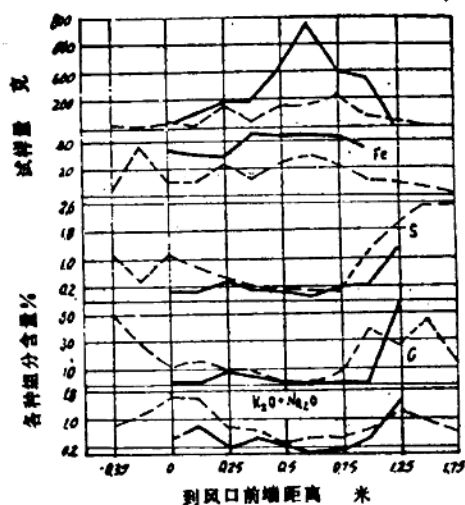


图5 高炉喷煤（实线）和不喷煤（虚线）时炉料样的重量和化学成分（说明见正文）

风口区的氧化势明显降低，氧化亚铁的直接还原度因此减少，促使进入炉缸下部高温区的强氧化剂（氧化亚铁）也减少，这将有利于扩大氧化带的长度，改善冶炼产品的

（下转第12页）

在高炉直吹管内喷吹煤粉的燃烧理论

(高炉喷煤粉最佳条件的计算—1)

〔日〕 野村伸一郎

前 言

本文应用简单的燃烧理论对向高炉内喷吹的煤粉在直吹管内的燃烧状况进行了解析,并且与已发表的定性试验结果进行了对比。将该燃烧理论与报告2中高炉风口区内煤粉的燃烧理论结合起来,可计备喷煤粉的最佳条件。

点燃与燃烧

喷入直吹管的煤粉随着热风升温、点燃、燃烧。对于点燃,在根据煤粒子的热平衡式和点燃时煤粒子温度等于其燃点的基础上,可计算出点燃所需要的时间及燃烧距离。对于燃烧,可用扩散速度定律推出未燃烧率($M_d(\theta)$)和燃烧时间的关系:

$$M_d(\theta) = (1 - \theta / T_A)^{2/3} \quad (1)$$

$$T_A = K_{dA} D_{Po}^2 \quad (2)$$

$$K_{dA} = K_{d0} (298/T_A)^{0.75} \cdot (0.21/CA) \quad (3)$$

式中: K_{d0} 为燃烧常数; T_A 为热风温度; CA 为热风中的氧分压; D_{Po} 为初始粒子直径; $(1 - M_d)$ 为燃烧率。如果与气相中的物质、能量收支式联立,进而可计算出风口前的燃烧率和热风温度等。

试验结果的对比讨论

用Mc Carthy等人的试验结果进行了

理论探讨,但由于他们所用煤的燃烧常数不定,只好根据实验数据反算,把所得到的平均值作为煤的燃烧常数。用假定的 K_{d0} 计算出的理论燃烧常数和实验数值绘于图1。图2为喷吹量和热风温度对燃烧率的影响。从试验和理论的结果可知,温度对燃烧率的影响很小。而随着喷吹量的增加,燃烧率明显降低。从式3看出喷吹量增加, CA 减少。因此,喷吹量对燃烧速度影响很大。

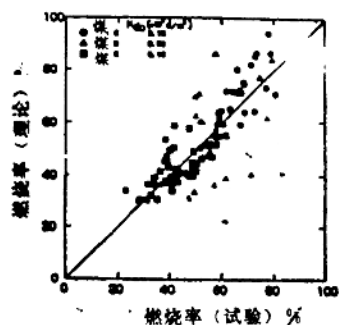


图1 理论燃烧率和试验燃烧率的对比

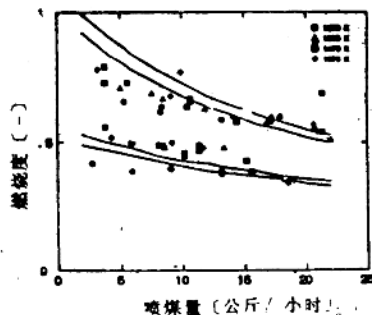


图2 燃烧度与喷煤量的关系

结 论

理论计算的结果和报导的试验结果基本一致。因此,用该理论可计算未知物质的燃烧常数。图3表示了燃烧常数和煤挥发成分之间的相关关系。

参考文献略。

任新建 译自《铁と钢》1986年№4.

马燕生 校

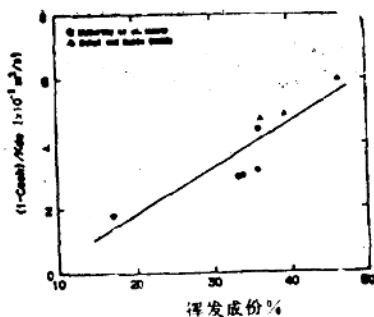


图3 燃烧常数和挥发成分的关系

(上接第10页)

加热条件,改善硅、锰还原及生铁脱硫过程。

在其它条件相同的情况下,上面列举的变化有助于改善下料过程,可以降低炉缸所需的热量,因而可以进一步节约焦炭。

从1982年6月起,在喷煤粉时配合了一系列补偿措施,在天然气喷吹量有些降低的情况下焦比降低了12—15%。

1982—1983年共喷煤粉8.3万吨,1、2号高炉冶炼的生铁有80%以上是喷煤冶炼的。

1983年进行对比冶炼试验表明,在向炉缸喷煤60—82.3公斤/吨铁的情况下,焦比降低52.0—73.2公斤/吨铁,或10—14%,置换比等于0.9,这实际上与根据燃料完全燃烧条件确定的计算值相符合。

在这种情况下,炉子产量,煤气还原能的利用程度及生铁质量基本上保持不变。主要的综合指标(综合燃料比,产品产量、理论燃烧温度等)保持在原有水平或有所改善,表明冶炼的主要工艺参数保持在原水平或有所改善,这就指出了进一步增加喷煤量和提高喷煤粉效益的可能性。

本文推荐的定量分析煤粉燃烧完全程度方法,是把取自风口区的粉状试料样加以选择和固化。利用这种方法所进行的研究表明,在现有的工艺条件和燃料消耗情况下,煤粉在高炉风口区内可以完全燃烧。

转载自“包钢译丛”1986, 4

周文福 译自《Сталь》

1985年№2

谭福华 校

高炉风口回旋区煤粉的燃烧和喷吹最佳化

(高炉喷煤粉最佳条件的计算—2)

〔日〕野村伸一郎

前 言

报告1中探讨了直吹管内煤粉的燃烧,本文对风口回旋区内煤粉的燃烧进行了理论探讨。并将这两个区域内的燃烧理论结合起来,以寻求喷煤粉的最佳条件。设吹入的煤粉在风口回旋区内完全燃烧,风口煤气温度低于煤灰分的熔化温度,将其作为基本条件。

风口回旋区内的燃烧

风口回旋区内的燃烧如图1所示,假定风口回旋区为完全混合型的反应器。用报告1中的(1)~(3)式计算燃烧过程。即平均氧分压为 $\bar{C}_R$,煤粒子进入煤气温度为(T_R)的反应器内所需要的燃烧时间为 Q_R :

$$Q_R = T_R (1 - Q_s / T_A) \quad (1)$$

$$T_R = K_{dR} D_{P_0}^2 \quad (2)$$

$$K_{dR} = K_{d0} (298 / T_R)^{0.75} \cdot (0.21 / \bar{C}_R) \quad (3)$$

式中: Q_s 为风口区燃烧所需的时间; T_R 为炉腹的煤气理论燃烧温度。由下面两个联立式可计算出 $\bar{C}_R$:

$$M_{out} = M_{in} + M_r \quad (4)$$

$$C_{in} M_{in} = r_A + \bar{C}_R M_{out} \quad (5)$$

式中: M_{in} 、 M_{out} 分别为气体进出风口区的克分子速度; M_r 为反应时单位时间增加的气体克分子数; C_{in} 为进入风口区的氧分压; r_A 为反应器内的氧耗速度。

最佳化

在一定容积 V_R 的反应器内平均滞留时间 $\bar{Q}_R$:

$$\bar{Q}_R = (1 - \lambda) V_R / M_{out} (RT_R / P_R) \quad (6)$$

$$V_R = 0.53 D_R W_R H_R \quad (7)$$

式中: λ 是焦炭在风口区所占体积的比例,中村等人取值为0.3; V_R 可由式7,根据风口区的深度 D_R 、宽 W_R 和高度 H_R 计算出来,而 D_R 、 W_R 、 H_R 则根据高炉的操作条件求出。

因此,如果 $\bar{Q}_R$ (平均滞留时间)比煤粒子燃烧所需要的时间 Q_R 长,在风口区内就能完全燃烧。其边界条件为 $\bar{Q}_R = Q_R$,如图2的点线所示。即喷吹量和距喷嘴的距离均在点线以上的区域内,就可以完全燃烧。图中的实线表示风口前热风温度与灰分熔化温度(1773K)相等时的喷吹条件。实线以下是风口前热风温度低于灰分熔点时的喷吹量和距喷嘴的距离。在图中A区域内设计的喷吹条件效果最佳。

结 论

本结论既没有数据,又没有进行直接的试验研究。在实际操作中,喷吹量经常控制在60~80公斤/吨铁,相当于图2中A区域, F/F_0 值为0.27~0.36,喷嘴距风口的距离在90厘米以内。根据本理论的预测,可达到满意的效果。

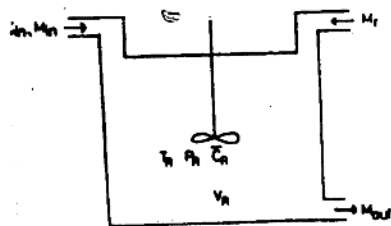


图1 风口回旋区的燃烧模型

$T_0 = 1573\text{K}$ $V_b = 3\text{标米}^3/\text{秒}$ $P_0 = 430\text{千帕}$
 $F_{ST} = 0.508\text{公斤}/\text{秒}$ $X_b\text{最大} = 3.03\text{米}$

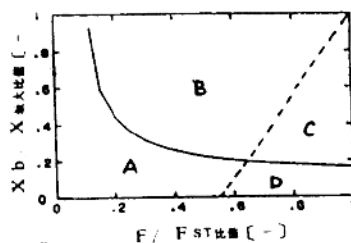


图2 最佳喷吹条件与喷嘴距风口的距离

任新建译自《铁と钢》1986年№4

马燕生 校

(上接第24页)

件。与高富氧操作相比，在生产指标相同
时，可获得适宜的回旋区理论燃烧温度、高
发热值煤气和低燃料比等。值得注意的是，
上述四种情况中，燃料比均大于450公斤/
吨铁，最多可循环70%的炉顶煤气。如果为
降低燃料比而希望循环更多的炉顶煤气，
则必须提供某些外部热源（如等离子炬）。
有些国家对此很感兴趣，但本文对此不作讨
论。

结 论

(1) 大量喷煤及富氧, 有利于改善现有生产高炉的操作。该项措施可促进焦比大幅度降低及大大提高产量, 其效果与采用酸性球团相同。

(2) 鉴于目前受高炉出铁和装料能力的限制, 建议富氧不超过35%, 产量提高在25%以下为宜。对于改建的高炉, 与生产水平相同下的较高富氧操作相比, 采用无氮操作可更好地改善炉况, 并产生发热值较高的高炉煤气。

(3) 高炉采用无氮操作时, 可将相当多的炉顶煤气循环入高炉, 同时降低焦比, 并大幅度增产。通过改变炉顶煤气循环的比例和成份及控制喷吹量, 可灵活地调节炉况, 同时达到既炼生铁又气化煤粉的双重目的。

金玉喜 译自《IRONMAKING
CONFERENCE PROCE-
EDINGS》1988.V.47
P595~609

陈春元 校