粗镍铁精炼工艺应用探讨

梁帅表 李曰荣
(中国恩菲工程技术有限公司 北京 中国 100038)

摘 要 针对粗镍铁精炼技术新工艺,总结了目前国内外主要镍铁冶炼厂的粗镍铁精炼工艺流程并进行了比较,分析了镍铁中有害元素的来源,同时对 3 种典型的镍铁精炼工艺的应用及其同整个冶炼工艺流程的合理衔接进行了重点介绍,得出不同镍铁产品的精炼工艺不同,得到的产品品位也不同。

关键词 红土矿 镍铁精炼 有害元素
中图分类号 TF644.3 **文献标识码** B **文章编号** 1001-1943(2012)05-0007-05

THE DISCUSSION OF COARSE Fe-Ni REFINING PROCESS

Liang Shuaibiao Li Yuerong
(China ENFI Engineering Co., Ltd., Beijing 100038, China)

Abstract According to the new coarse Fe-Ni refining process, summarizing the flow of coarse Fe-Ni refining process of main Fe-Ni smelting plant in domestic and overseas and made a comparison. Analyed the source of harmful elements in Fe-Ni, focused on the application of three typical Fe-Ni refining process and reasonable link up with the whole smelting process. Different nickel iron product needs different refining process and the product grade is different.

Keywords laterite, Fe-Ni refining, harmful elements

前 言

镍资源类型通常分为硫化镍矿和氧化镍矿两类。从世界范围看,目前约有 70%的镍是从硫化镍矿中提取的,但赋存在氧化矿床中的镍却占镍储量的 65%~70%,这是一个很大的矛盾。随着硫化镍资源和高品位红土镍矿资源的逐渐减少,大量品位在 2%左右的红土镍矿的经济开发日益为人们所关注[1]。

从红土矿中提取镍铁成为开发的一个主流方向。对于大多数的不锈钢厂商,采用镍铁比采用纯镍成本低。近年来国内越来越多的镍铁项目开始开工建设,主要的工艺流程为回转窑焙烧—电炉熔炼(RKEF)法,电炉产出的镍铁一般为含有部分杂质的粗镍铁,其杂质主要有 Si、S、P、C 等,因此,在电炉熔炼之后需要进行镍铁的精炼。

1 镍铁精炼工艺概述

目前,国内大部分的镍铁生产工艺均时间短、规模小,尚没有设精炼工段。镍铁生产商直接销售粗镍铁,根据杂质含量设定价格。杂质由不锈钢冶炼厂在使用前进行预处理。不锈钢厂家关注的镍铁有害元素主要有 P、S、Si 等,与传统的铁水杂质一样。不锈钢厂家在除去杂质时需要将买来的镍铁熔化并造渣除去,增加了生产成本,因此更为经济的方法是直接购买杂质元素合格的镍铁,这就需要镍铁生产厂家自己除去杂质,否则产品没有竞争优势。

国内新建的某镍铁冶炼厂采用了从乌克兰引进的精炼工艺,目前尚没有投产;缅甸某镍铁项目设计了新开发的喷吹法精炼工艺,目前也没有投产。国外的镍铁冶炼工艺时间久,技术较为成熟,大部分镍铁厂都进行了粗镍铁的精炼。国内外精炼工艺技术应用总结见表 1[2]。

由表 1 看出各镍铁厂的精炼工艺所用设备和采用的试剂区别较大,但主要的脱硫、脱硅、脱碳和脱磷工艺均源于钢铁冶炼厂的铁水预处理技术。由于每个矿山的红土矿成分差别较大,使得不同冶炼厂的产品所含杂质不同。

作者简介 梁帅表 男,1981 年出生,2006 年毕业于西安建筑科技大学冶金物理化学专业,工程师。现从事有色冶金工程设计工作。

收稿日期 2012-07-29

表 1 国内外镍铁厂镍铁精炼工艺

Tab.1 Fe-Ni refining process of Fe-Ni smelting plant in domestic and overseas

厂 家	规 模/(t/a)	工艺、设备、粉剂
Falcondo 多米尼加鹰桥—多米加镍公司	28 500	第一步:脱硫, 24MW ASEA-SKF 钢包;加碱性氧化渣;温度:1 500~1 550 ℃ 第二步:除氧, 24MW ASEA-SKF 钢包;加硅铁;温度:1 500~1 550 ℃ 第三步:需要时脱硫,24MW ASEA-SKF 钢包;碱性还原渣;过程温度:1 500~1 550 ℃
Cerro Matoso 哥伦比亚蒙特利巴诺必和 必拓公司	49 100	第一步:除磷、除碳;COBS 和 ASEA 钢包;CaO/SiO_2 渣 O_2;温度:1 440 ℃ 第二步:除氧,COBS 和 ASEA 钢包;加硅铁和铝;温度:1 550 ℃ 第三步:脱硫, COBS 和 ASEA 钢包;加碱性还原渣;温度:1 620 ℃
Loma de Niquel 委内瑞拉英美 公司洛玛镍厂		第一步:除磷、除碳;ASEA 钢包; CaO 和 O_2;温度:1 650~1 700 ℃; 第二步:除硫, ASEA 钢包;CaO、硅铁、硅钙和铝;过程温度:>1 600 ℃
FENT 马其顿费尼马克公司	7 000	第一步:脱硫;感应炉;加碳化钙;温度:1 280~1 330 ℃ 第二步:2 台氧气竖式转炉;加铁酸钙炉渣
Doniamobo 新呵里多尼亚冶金公司 (挨赫曼镍公司)多尼安博厂	60 000	第一步:脱硫;摇包;加碳化钙 第二步:脱碳;酸性转炉吹炼;氧气
Pobuzhsky 乌克兰波布日斯克镍铁公司兰波布日斯克 (中钢滨海)	16 000	第一步:脱硫;盛电炉镍铁的钢包;加苏打灰;温度:1 350 ℃ 第二步:吹炼(第一阶段),氧气竖式转炉(酸性炉衬);加氧化镍/铁矿石、废料、冷粗镍铁;温度:1 450~1 500 ℃ 第三步:吹炼(第二阶段),氧气竖式转炉(碱性炉衬);加石灰石、硅铁;过程温度:1 590~1 650 ℃
Pomalaa 印尼苏拉威西阿尼卡 —坦姆邦公司波马拉厂	11 000	第一步:脱硫;带搅拌器的钢包; $CaC_2 + NaCO_3$;温度:1 350 ℃ 第二步:除硅(低碳镍铁),摇包;氧气、煅烧石灰;温度: 1 450 ℃ 第三步:脱碳(低碳镍铁),摇包;氧气、煅烧石灰、石灰石);温度:1 620 ℃
Hyuga 日本日向熔炼有限公司 日向厂	22 000	第一步:除硫;低频感应炉; CaC_2;温度:1 400 ℃~1 450 ℃ 第二步:除碳和除硅, LD 转炉;氧;温度:1 600~1 650 ℃

2 镍铁中有害元素的来源

镍铁中有害元素的来源主要是原矿，部分来源于煤。由于镍铁的冶炼过程中需要加入大量的煤作为还原剂，因此煤中有害元素的富集有较大的放大作用。

红土矿不含硫,但在产品中往往含有硫,主要是从煤中带入,大多数的煤均含硫,不含硫的煤数量少且昂贵,因此在镍铁冶炼时尽量采用低硫的煤,以使成品镍铁中的硫达到要求。

镍铁中的硅主要来源于红土矿，红土矿含有大量的 SiO_2,焦炭在还原铁和镍的同时,会还原少量的硅进入镍铁中。镍铁中的碳主要来自焦炭,镍铁中的碳含量同镍铁的品位有一定的关系，碳含量高说明还原度大,铁被全部还原则镍铁的品位低;碳含量低说明还原度低,铁部分被还原则镍铁的品位高。还原度的控制需要通过大量的操作才能达到，通过控制还原度可以得到不同品位的镍铁。目前我国国内生产厂家全部采用还原的方式操作，产品均为高碳低品位镍铁,而元素硅的含量同碳含量走势一致,碳含量高,硅的含量也高,则需脱硅和脱碳。国外部分镍铁厂家采用直接冶炼高品位低碳镍铁，而此时硅的含量亦减小,达到要求,但低碳镍铁熔点高,对电炉的操作要求也较高。

镍铁中的磷主要源于红土矿,有的红土矿中含有磷,有的红土矿中没有。若矿石中含磷超量势必在镍铁中富集,并高出标准要求。磷是不锈钢冶炼中的有害元素,不锈钢冶炼中没有有效脱除磷的手段。所以若镍铁中含有磷,必须在镍铁厂中通过精炼除去。

从以上分析中看出,建一条镍铁生产线,精炼工艺的确定取决于矿石和煤中有害元素的含量。一般来说,要有脱硫的措施,若是矿石中含有磷,需要同时有脱硫和脱磷的措施。

3 镍铁精炼工艺技术的应用

3.1 超达镍业 Falcondo 镍铁厂镍铁精炼工艺

超达镍业 Falcondo 镍铁厂是一家在多米尼加共

和国的镍铁生产商，该厂生产含镍 38%的精炼镍铁产品。精炼车间主要是对刚排放出的粗镍铁进行脱磷和脱硫，该车间自 1971 年投产以来就一直在改进精炼技术。最初的脱磷工艺是将生石灰和铁矿石混合作为熔剂，在金属排放前添加到钢包中，然后将氧气喷入熔体。该技术对脱磷非常有效，但缺点是钢包的耐火材料消耗较大[3]。为在添加熔剂后增加造渣，一直在试验添加其它的脱磷剂如苏打粉和萤石(CaF_2)，精炼前后镍铁的成分见表 2。

该厂经过不断地改进，最终形成的工艺流程如图 1 所示。镍铁从电炉排出和称重后，钢包移至 1# 加热站进行脱磷。此时，镍铁加热至 1 510 ℃并与二氧化碳搅拌在一起，需要时偶尔喷入氧气以刺激熔体氧化。

表 2　钢包精炼前后镍铁成分

Tab.2　Fe-Ni component around ladle refining

项 目	Ni	Fe	Co	Si	S	P	Cu	Cr	C	O
精炼前	38.0	60.7	0.75	0.04	0.25	0.03	0.08	0.01	0.02	0.04
精炼后	40.5	58.11	0.84	0.44	0.05	0.005	0.07	0.01	0.02	0.02

除去脱磷渣后，钢包移至 2# 加热站进行脱硫。脱硫时，首先加入 FeSi(70%Si)脱氧，然后加入生石灰和萤石，在 2# 加热站镍铁水温度提高到 1 540 ℃。此时向镍铁水喷入二氧化碳产生搅动，并除去溶解在金属中的残余氮气，然后除去硫渣，最后加入少量生石灰，将镍铁加热到要求的粒化温度 1 590 ℃。该工艺用来加热的装备主要为 ASEA-SKF 型的加热炉，详见图 2。

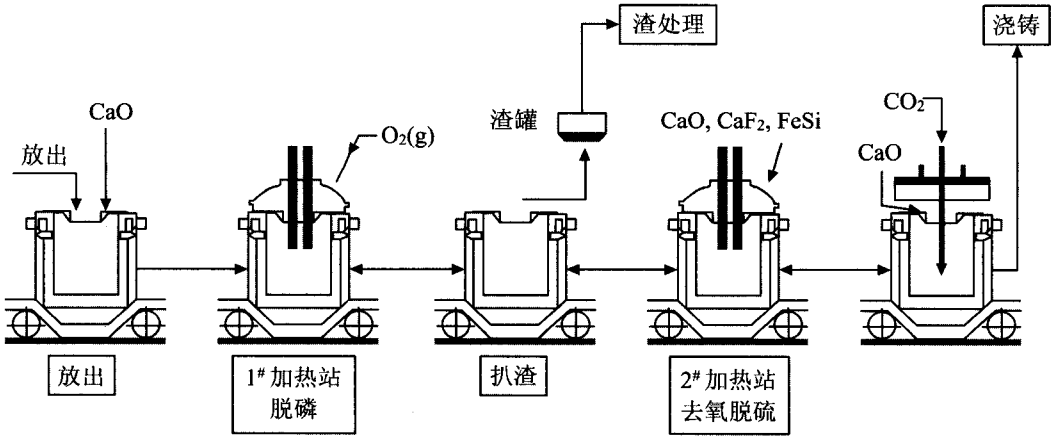


图 1　Falcondo 精炼工艺流程图

Fig.1　Falcondo refining process flow diagram

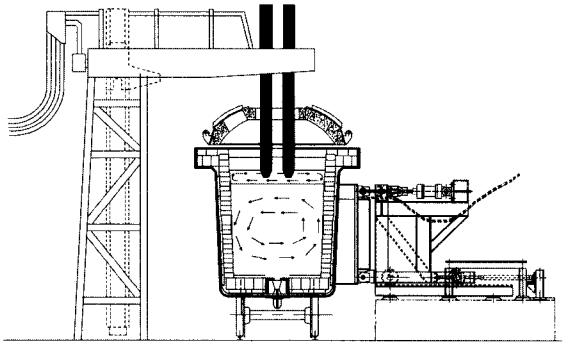


图 2　钢包电弧加热炉(ASEA-SKF 型)

Fig.2　Steel ladle arc heating furnace(ASEA-SKFtype)

3.2　转炉镍铁精炼工艺

乌克兰波布日斯克镍铁厂采用的是转炉精炼工艺，目前国内已有引进。其特点是镍铁品位低，镍铁水的镍含量低于 15%，硅和碳含量高。该类低品位镍铁水的精炼难度较大。该工艺是采用了酸性和碱性两台转炉分别脱硅和脱磷。镍铁精炼前后的成分见表 3。

粗镍铁水从矿热电炉到钢包后，通过钢包车运入精炼车间精炼跨，粗镍铁的放出温度为 1 385 ℃。转炉开始精炼镍铁水时，通过起重机将粗镍铁水兑入酸性转炉。全部炉料进入精炼转炉后，开始用氧气

表 3　转炉精炼前后镍铁成分

Tab.3　Fe-Ni component around converter refining

项 目	Ni	Fe	Co	Si	S	P	Cu	Cr	C
精炼前粗镍铁	12.4	81.2	0.17	2.1	0.3	0.12	0.09	1.3	2.3
酸性转炉精炼后	14.2	79.0	0.20	0.5	0.14	0.12	0.09	0.8	1.5
碱性转炉精炼后	19.3	73.5	0.28	0.01	0.07	0.015	0.09	0.02	0.015

进行氧化精炼，并加入溶剂造渣，主要目的是去除炉内镍铁水的部分碳和全部硅，温度和成分合格后即可从酸性转炉倒出，再兑入碱性转炉二次精炼，主要目的是继续去除镍铁中的碳、硫和磷，精炼过程与酸性转炉相似，待温度和成分合格后从碱性转炉倒入镍铁包。其精炼流程示意见图 3。

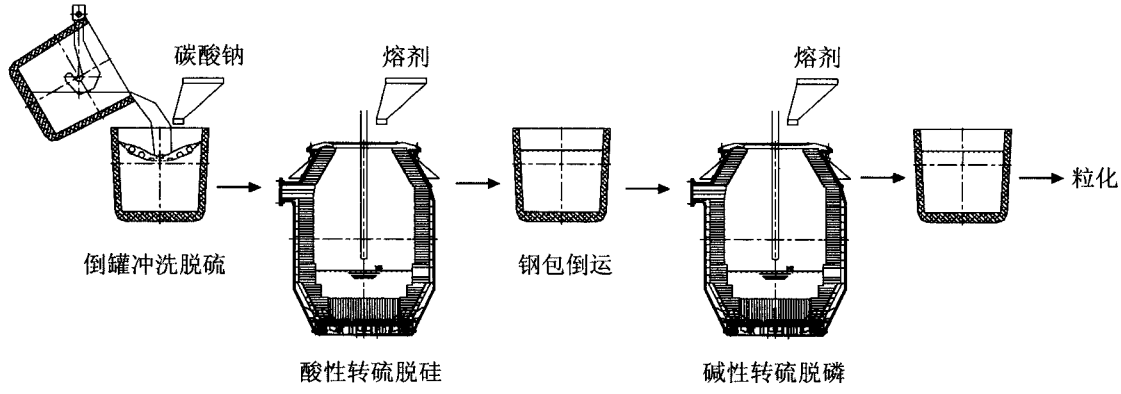


图 3 转炉法镍铁精炼流程示意

Fig.3 Flow diagram of Fe-Ni refining by converter process

3.3 喷吹镍铁精炼工艺

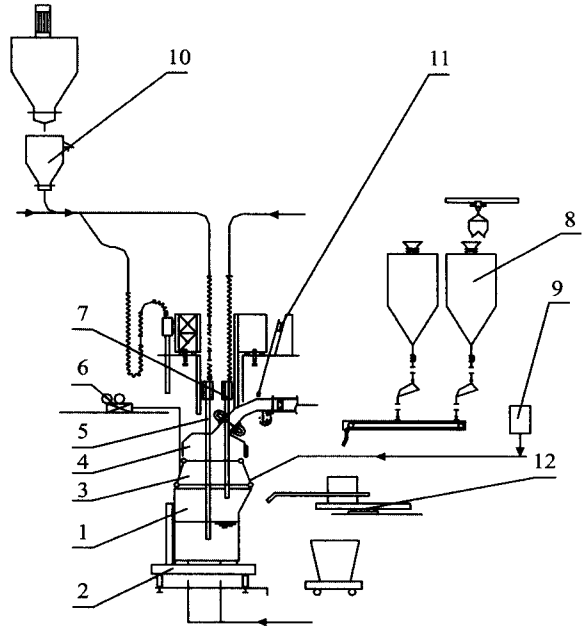
喷吹镍铁精炼工艺目前尚没有投入实践运营，此为理论和工程设计参数。精炼前后镍铁成分如表 4 所示。

表 4 喷吹法精炼前后镍铁成分

Tab.4 Fe-Ni component around blowing process refining

项 目	Ni	Fe	Co	Si	S	P	Cu	Cr	C	O
精炼前	25	72.8	0.39	0.37	0.58	0.07	0.07	0.37	0.37	0.04
精炼后	26.5	70.1	0.25	0.05	0.02	0.015	0.05	0.2	0.03	0.03

喷吹精炼工艺的脱磷、脱硫、升温均在一个镍铁罐内完成，通过加入不同的试剂，改变镍铁罐内的氧化、还原气氛，从而完成脱磷和脱硫的过程[4]。熔剂通过喷枪喷入熔池底部，促使反应迅速并起到搅拌作用，流程示意图见图 4。镍铁从电炉排出到镍铁罐后运至喷吹站，进行化学升温，通过顶加铝吹氧升温到 1 550 ℃以上。第一步进行脱磷作业，吹氧和喷入石灰基溶剂造渣，扒去脱磷渣；然后向镍铁内加入铝锭，进行化学升温，同时脱除多余的氧；第二步进行脱硫，向镍铁罐内喷吹石灰粉剂，脱硫后镍铁温度降低，继续加入铝锭并吹氧，升温到 1 590 ℃，运往粒化工段。



1-镍铁罐 2-倾翻台车 3-防溅罩 4-集烟罩 5-喷枪 6-防溅罩提升装置 7-氧枪 8-顶加料系统 9-钙硅丝机 10-喷吹系统 11-测温取样装置 12-扒渣设备

图 4 喷吹法精炼工艺设备简图

Fig.4 Equipment diagram of blowing refining process

该工艺设备简单，主要由镍铁罐、喷吹装置、扒渣装置、铝升温装置等组成，具有灵活、快速和投资低等特点。在镍铁精炼上结合应用了化学升温法和喷吹法脱硫脱磷[5-6]。据报道，在 Cerro Matoso 镍矿公司曾经采用电炉进行升温，电炉的最佳升温效率为 3.5℃/min，但此加热效率不足以使精炼流程在 3 h 内完成。为减少加热时间，1998 年以后，该厂采用了“电热+化学热”方式，减少了镍铁精炼流程时间，加热速率达到了 11 ℃/min。

喷吹法精炼工艺所有的工段均在一个镍铁罐内完成，镍铁罐和喷枪的寿命及喷溅问题是需要重点关注的方面，另外该工艺单独采用化学升温法补偿

精炼过程中的温降，其效果也需要在实践中进一步验证。

4　结语

通过对 3 种典型镍铁精炼工艺的探讨得出，不同的镍铁产品使用的精炼工艺也会有较大的区别。矿热电炉不同的冶炼工艺产出不同品位的镍铁，主要有高品位镍铁和低品位镍铁两种。

高品位镍铁的特征为低碳、低硅，而磷和硫的含量与所用原料有较大关系。该类镍铁熔点高（1 420 ℃左右），其精炼任务主要是为去除硫和磷，由于熔点高且没有发热元素，需要在精炼过程中不断升温补热。脱硫的主要方法有搅拌、喷吹等，脱磷的主要方法有吹氧等，加热的主要方法有电加热和化学加热。

低品位含镍铁水的特征为高碳、高硅，磷和硫的含量与所用原料有较大关系。该类镍铁熔点低（1 250 ℃左右），其精炼任务较为繁重，需脱除硫、硅、碳和磷等，工艺较复杂。低品位镍铁水熔点低，且含有发热元素，精炼过程中基本没有温降，不需要补热。由于脱除的杂质元素较多，需要采用分步脱除的方式，先脱硅和硫，后脱磷，分别在 2 台电炉内完成。精炼前后，镍的含量有明显的提高，但精炼过程中镍的损失增加。

相比之下，高品位镍铁杂质含量少，精炼工艺流程简短。喷吹法镍铁精炼适宜于处理高品位镍铁的工艺。

参考文献

[1] 李小明. 红土矿处理工艺探讨. 铁合金, 2007(4):24-28

[2] 肖安雄.镍红土矿[J].中国有色冶金,2008(4):1-12

[3] An Equilibrium Study of the Distribution of Phosphorus between Liquid Iron and Basic Slags[J].Trans.ATME,1946,167

[4] 陈景峰. 铁水预处理“三脱”技术在太钢的应用. 全国铁水预处理技术研讨会文集,2003

[5] 梁帅表,李曰荣. 镍铁精炼系统:中国,CN201120013284.X.2011-03

[6] 梁帅表,李曰荣. 精镍铁的精炼工艺:中国,CN201110009258.4.2011-03

行业信息

《炭素技术》杂志 2013 年征订启事

《炭素技术》杂志创刊于 1982 年，是经国家科委和新闻出版署批准的国内外公开发行的炭素专业科技期刊。国内统一刊号 CN 22-1147/TQ，国际标准刊号 ISSN 1001-3741，广告经营许可证号吉工商广字:220200100013。办刊宗旨是交流技术、传播信息，促进炭素工业及炭材料学科技术进步。主要介绍我国炭素工业的生产技术、科学试验、理论研究、经营管理、市场信息，使用设备的开发与更新，产品质量监督、环境保护与综合利用、检测、计算机在炭素生产领域应用等方面的经验成果；报导炭材料学科包括钢铁冶金用炭材料、铝用炭材料、电炭材料、炭纤维及复合材料、活性炭、金刚石及石墨层间化合物、各种新型炭材料、特种炭材料等的新产品、新工艺以及炭材料应用技术研究、有关炭材料领域和炭素工业国外先进技术和发展动态。

《炭素技术》设有专家讲座、实验研究、经验交流、综合述评、计算机应用与控制、技术改造、节能环保、行业信息、消息报导、炭素文摘、专利等栏目。

《炭素技术》杂志目前已成为中文核心期刊、中国科技核心期刊，已加入《中国期刊网》、《中国学术期刊》(光盘版)全文数据库、万方数据系统数字化期刊群、中文科技期刊数据库；并被美国“化学文摘”(CA)、美国“乌利希期刊指南”(UPD)、俄罗斯“文摘杂志(AJ)”等多种国外大型权威数据库收录；是《CAJ-CD 规范》执行优秀期刊。

《炭素技术》的发行面覆盖了全国的炭素厂家、有关的科研院所、大专院校及生产炭素用原料、机械设备等生产单位。

本刊为大 16 开版本，双月刊，单价 15.00 元，全年订价 90.00 元。国内邮发代号：12-308，全国各地邮局均可订阅，漏订可与编辑部联系。

本刊承接彩色、黑白广告业务，热忱地为国内外企业服务，宣传产品，推广技术，树立企业形象。

地址：吉林市哈达湾和平街 9 号《炭素技术》编辑部

邮编：132002

开户行：工商银行吉林市分行哈达湾支行

户名：中钢集团吉林炭素股份有限公司

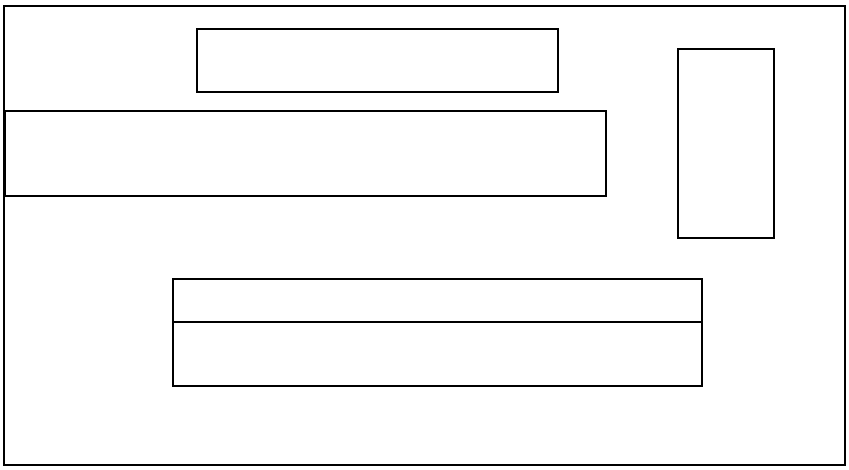
帐号：0802210609000000171　请注明：订阅《炭素技术》

电话：0432-62749715(传真)

E-mail:tsjsbjb@126.com

ded

滴



Drdrdr