



12_篇

炼铁技术论文

普锐特冶金技术在维也纳举办的2017欧洲钢铁技术和应用日会议期间宣读了12篇炼铁技术论文，内容包括矿石准备、烧结、直接还原、高炉炼铁、工艺控制及煤和含铁副产品冷压块方案。

奥钢联钢铁公司直接还原厂，美国德克萨斯州科帕斯市。

以最低工艺成本达到最高生产效率，从而为客户带来最大收益。

全面的选矿技术——从原料到钢水

论文编号：43

第一作者：Reinhard Redl

高效生产对于世界上的任何钢铁企业都至关重要。铁矿石的来源和品质对后续炼钢生产的总体成本有相当大的影响。铁矿石中的杂质使高炉和炼钢车间产生了很大一部分工艺成本，因为不希望的元素必须以渣的形式被去除，这就需要额外的热量或电能。

为了优化铁矿石的选择和使用，普锐特冶金技术加大了选矿技术领域的研究力度，在考虑从原料到钢水的整个钢铁冶炼流程的前提下开发了一种单一计算模型。该模型能够评估铁矿石对炼钢工艺的适用性，不仅计算每个单体设备的质量和能量平衡，而且计算整个生产流程的整体质量和能量平衡。另外，模型还结合客户的需要确定应当采取的选矿措施和最可行的生产路线。还开发了废弃尾矿的提质工艺以有效地回收原本损失掉的铁矿物，从而获得具有附加值的铁精矿。

通过对整个增值生产链进行整体分析，普锐特冶金技术能够从原矿选矿（包括尾矿回收）直到钢铁冶炼提供所有成熟的工业规模设备方案，确保以最低工艺成本达到最高生产效率，从而为客户带来最大收益。

烧结工艺的数值模拟和基于计算流体动力学模拟的炉顶烧嘴系统优化

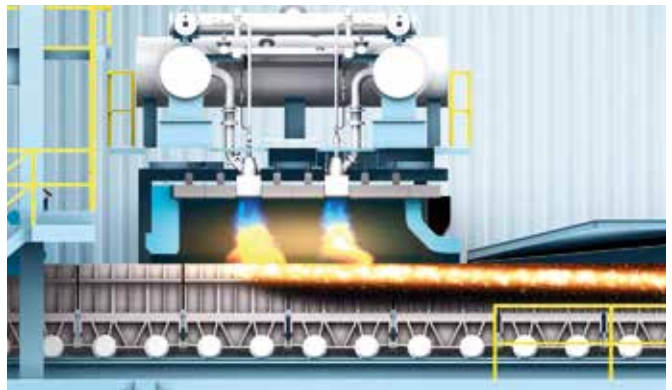
论文编号：46

第一作者：Edmund Fehring

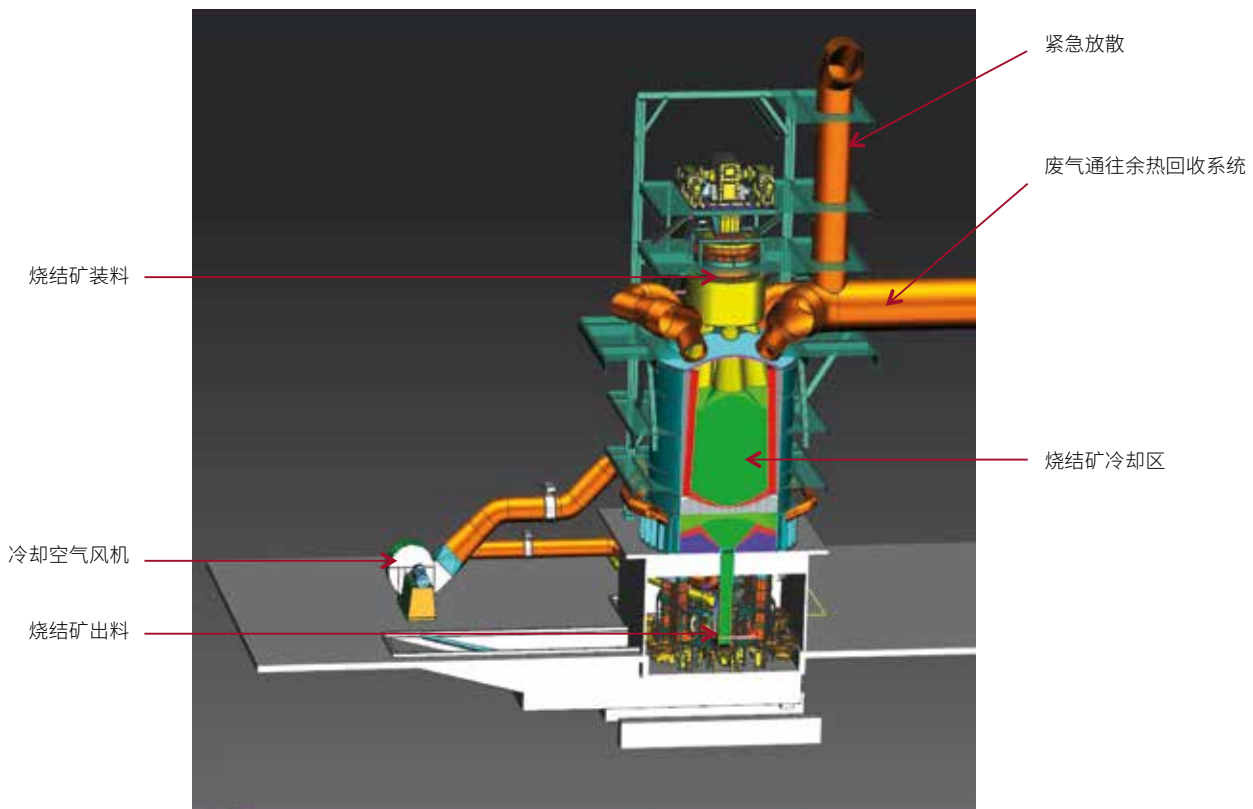
钢铁企业经常要面对许多挑战：铁矿石品质下降，由于经济压力而必须使用廉价矿石，环保标准日益严格，等等。使用不同的原料会对烧结工艺产生很大影响。调整所有工艺参数以恢复稳定和高效的运行可能需要花费相当长的时间，往往会造成生产损失。原料改变还将引起工艺气流和排放指标的波动。

有鉴于此，普锐特冶金技术开发了一种先进的烧结工艺数值模拟模型。它能够模拟烧结工艺中的固体和气体流动，所有影响因素或者作为输入值（比如原料的化学成分）和边界条件（比如抽气压力）输入模型，或者由模型计算得出。这种模拟工具采用了综合计算模型，能够高度灵活地分析不同的工艺条件，从而准确地预测出运行参数和烧结废气的排放指标。

普锐特冶金技术还采用计算流体动力学 (CFD) 方法改进了炉顶烧嘴系统的设计。CFD 软件不仅模拟烧嘴火焰本身，而且模拟点火炉和退火罩内的整个燃烧过程。结果可以被用于点火炉的设计，如果需要，还能据此在项目的早期阶段有效地进行设计变更。数值模拟工具是实验室系列试验的一种成熟、可靠、经济的替代方案。



烧结机炉顶烧嘴点火炉的新设计



竖式烧结冷却机示意图

基于逆向流动原理的高效环保型烧结矿冷却技术

论文编号：45；第一作者：Michaela Böberl 博士

目前最先进的烧结矿冷却机采用了横向流动原理。基于这种原理的冷却机只有一部分热气能够被用于余热回收，其余热量则损失到环境中。因此，烧结矿冷却机热量的回收利用有相当大的改善潜力。同时，环境法规日益严格，要求进一步减少粉尘排放和更好地利用能源。

由于这些原因，普锐特冶金技术开发了两种基于逆向流动原理的烧结矿冷却机。第一种是固定式竖窑，热烧结矿从顶部装入后通过竖窑落到底部，而冷却空气则向上流动，与烧结矿移动方向相反。第二种是循环料斗式冷却机，热烧结矿装到沿圆形路径移动的烧结料层上。在烧结矿装料站之前用一个刮板装置将料层下部已冷却的烧结矿从料斗中刮掉。冷却空气从下向上流过烧结料层，与逐渐下降的烧结矿方向相反（逆向流动原理）。这种烧结矿冷却机最早由三菱重工冶金分部（现在是普锐特冶金技术的一部分）建在新日铁住金株式会社（NSSMC）和歌山厂。

在这两种基于逆向流动原理的烧结矿冷却机中，热量都是从热烧结矿直接传给冷却空气。因为热烧结矿的热能全部传给冷却空气，所以废气温度能够达到最高值，对后续应用非常有利，比如产生蒸汽甚至发电。由于烧结矿是在一个密闭的系统内冷却，粉尘排放减少到零。根据可用的空间和需冷却烧结矿量，客户可以从这两种逆向流动型烧结矿冷却机中进行选择，从而确保热烧结矿高效冷却，而且热能得到最大限度的回收利用。

奥钢联钢铁集团德克萨斯公司世界最大 MIDREX 热压块铁厂的投产和初期运行结果

论文编号：59；第一作者：Wolfgang Sterrer

奥钢联林茨钢铁公司在2013年7月启动了公司历史上规模最大的海外投资项目，在美国德克萨斯州科帕斯建设一家年产200万吨的Midrex直接还原厂。普锐特冶金技术美国有限公司和Midrex技术有限公司组成的联合体获得了该合同，为这家全新的炼铁厂提供生产设备、工程设计和技术服务。该厂的核心设备是一座直径为7.15米的还原竖炉和一座20跨的重整炉，二者的设计均能满足高产量生产直接还原铁并热压成热压块铁(HBI)的要求。HBI厂还配备了一套热粉料回收系统和用以冷却HBI的冷却输送机。

在设备联动调试和烘干后，Midrex厂于2016年9月27日开始热试，并于2016年10月26日正式投产。HBI产品的平均金属化率达到93%，碳含量为1.5%。产品除了运到奥钢联钢铁公司的奥地利钢厂，还在北美市场出售。



位于美国德克萨斯州科帕斯市的奥钢联钢铁集团直接还原炼铁厂

用 DRIPAX™ 专家系统优化直接还原工艺

论文编号：93；第一作者：Dieter Bettinger

普锐特冶金技术和 Midrex 技术公司针对 Midrex 直接还原 (DR) 设备联合开发了一种集成式工艺优化系统。这种新型产品质量预测模型的预测精度达到了极高的水平，而且能够在获得测量数据前几个小时得到预测结果。这对迅速作出生产决定以使直接还原铁 (DRI) 产品稳定保持目标质量大有帮助。由于改进了质量控制，可以预计，将为后续生产运行带来明显节约。

DRipax 专家系统是一种基于规则的咨询系统，能够对控制室操作人员提供指导，是直接还原设备改善工艺控制的最新工具。这种专家系统作为工艺优化系统的组成部分而在奥钢联钢铁集团德克萨斯有限责任公司新建的美国 Midrex 直接还原厂首先投入使用。



DRipax直接还原工艺优化系统的显示画面

“在新建的奥钢联钢铁集团德克萨斯直接还原厂，DRipax系统已经表现出了它对优质HBI生产的重要价值。”

Christopher Harris，奥钢联钢铁集团德克萨斯有限责任公司

直接还原在欧洲发展前景的中长期展望

论文编号：60；第一作者：Robert Millner

在减少二氧化碳排放和提高能源效率的国际呼声不断高涨的形势下，能源系统使用的趋势出现了明显变化。举例来说，欧盟发展蓝图提出，在 2005 到 2050 年间二氧化碳减排 80%。这已经对欧洲的钢铁生产方式产生了影响。

像气基直接还原工艺这样的炼铁技术具有二氧化碳排放少于联合钢厂的特点。所以，在达到工业脱碳和工艺相关二氧化碳减排 60% 以上目标的过程中，直接还原可以被视为一种中期过渡方案。一些欧洲钢铁企业已经开始或者计划在天然气和电力成本最低的地区生产热压块铁 (HBI)。同时，在自己的钢铁厂使用 HBI 将进一步减少二氧化碳排放。

为了逐步达到欧盟设定的二氧化碳减排目标，在钢铁生产中补充或者唯一使用来自可再生自然资源的“绿色”氢气，将是长期的需要。铁矿石或铁矿石球团的直接还原是一种效率很高的成熟技术，而且在 DRI 或 HBI 的生产中有可能用氢气来代替天然气。这样，氢气将成为炼铁的基础。将直接还原设备和电弧炉 (EAF) 结合起来，还能在炼钢工艺中获得更多的协同效益。沙特钢铁公司 (Hadeed) 通过一套热送系统将直接还原设备和电弧炉串接起来，就是一个典型例子。这进一步降低了能源需求和减少了排放。



沙特钢铁公司(Hadeed)的直接还原设备(右)和EAF炼钢厂(左)通过一套封闭的热送系统直接串接起来。这使得DRI能够以超过 600°C 的温度装入 EAF，从而大量节省了冶炼用电。

塔塔钢铁有限公司KPO厂1号高炉的设计、调试和运行

论文编号：49

第一作者：Mark Geach

2012年，塔塔钢铁有限公司开始在印度奥里萨邦Kalinganagar建设一家联合钢厂。项目一期包括了炼钢设施、一个焦化厂、一台烧结厂和一座高炉(1号)。作为这个项目的一部分，普锐特冶金技术曾于2007年1月获得了设计并提供一座炉缸直径14米的新高炉和配套设施的合同。

合同内容包括提供一座现代独立式高炉所需设备，比如铜冷却壁系统、平地出铁场、无料钟炉顶装料设备和全套高炉配套设备。还提供湿法渣粒化设备、3座外燃式热风炉、1套带炉顶煤气回收透平机的煤气净化系统。高炉的设计能力为日产铁水9,150吨，已于2016年2月29日开炉。

本文介绍了项目内容和一些设计特点，比如气动粉尘输送、旋风除尘器和收尘器组合、出铁沟强制冷却和先进的热风炉交叉并联送风，还讨论了项目不同阶段(设计，供货，施工，调试，运行)遇到的一些挑战。



塔塔钢铁有限公司Kalinganagar钢铁厂新建1号高炉——印度最大的高炉

利用空气冷却熔渣并回收热能的干法渣粒化新技术正在开发中。

干法渣粒化中试厂在奥钢联钢铁公司A高炉上的应用

论文编号：71

第一作者：Thomas Fenzl

全世界每年产生大约4亿吨出炉温度在1,500°C左右的高炉渣，因此，它们是一笔相当可观并能回收利用的能源，但很大一部分未被利用。目前普遍采用的处理方法是在湿法渣粒化设备中使高炉渣粒化，但没有利用它的热能。现在，利用空气冷却熔渣并且回收热能以供蒸汽制造或发电之用的干法渣粒化新技术正在开发中。

在干法渣粒化实验设备所获经验和其他相关研究成果的基础之上，普锐特冶金技术及其合作伙伴开始了下一步工作，在奥地利林茨奥钢联钢铁公司A高炉的出铁场安装了一套大型中试设备，采用旋转杯技术对高炉渣进行处理，使其成为可供销售的产品。高炉渣在干燥条件下用空气冷却。通过逐步提高废气温度，有很大的潜力将这些热空气携带的能量用于蒸汽制造等不同用途。中试设备进行的大量试验将为该工艺实现商业化而提供需要的知识和诀窍。干法渣粒化系统的总图和配置、运行参数和工艺可行性等各个方面都将得到深入细致的研究。



铁水额定产能为200万吨/年的Finex 2.0M设备

现有高炉与 FINEX 技术的结合为联合钢厂提升效益

论文编号：280；第一作者：Norbert Rein

能源需求不断增加和原料品位不断降低，是如今的钢铁企业面临的主要挑战。韩国浦项钢铁公司（浦项）和普锐特冶金技术联合开发的 Finex 工艺为可降低铁水生产成本，减少排放，同时提高运行灵活性和扩大合适原料选择范围的机会。该工艺包括了一系列流化床反应器内的气基铁矿还原和熔融气化炉内的熔炼。创新性的 Finex 方案生产的铁水质量与高炉铁水相同，但不需要炼焦和烧结设备。

第一套铁水年产能力为 150 万吨的工业化 Finex 设备于 2007 年 4 月在浦项钢铁公司浦项厂投产。在此之后，该厂又建造了产能为 200 万吨/年的第三代 (3G)Finex 2.0M 设备，而且从 2014 年 1 月开炉以来一直保持可靠运行。

Finex 工艺设备方案成熟，技术特点鲜明，生产成本极具竞争力，环保效果出色，是高炉炼铁的理想替代或补充。现有联合钢厂结合采用 Finex 技术，将使企业明显受益于高炉和 Finex 设备的协同作用，从而全面提升钢厂效益。这是因为，炼焦和烧结产生的所有粉料都能在相应的炼铁设备中得到有效使用，所以企业能够以一种更经济和更环保的方式生产更多的铁水。



普锐特冶金技术提供的含铁副产品回收设备实例

将含铁粉料和煤粉压制成药——节约资源，创造价值

论文编号：55

第一作者：Stefan Hötzing

粉料、泥浆、淤泥和氧化铁皮——合称为“含铁副产品”——的产生是全球钢铁行业始终面临的难题之一。很多钢厂经常要对这些副产品进行循环利用。一般来说，这类材料不能直接用于钢铁生产工艺。根据它们的化学成分和粒度分布，含铁副产品通常添加到烧结原料中。不过，还有其他方案可以考虑。本文介绍了普锐特冶金技术含铁副产品冷压块技术的最新开发成果和将冷压块直接装入直接还原竖炉的项目实例，还介绍了联合钢厂的其他方案。

另外，在煤的运输和装卸过程中产生的煤粉也可制成压块，并且用于 Corex 或 Finex 熔融还原工艺，或者在传统高炉路线中用来强化焦炉运行。普锐特冶金技术的目标是，让煤压块的机械性能和热强度超过普通煤。使用这样的压块能够提高产能和降低成本。文中介绍了普锐特冶金技术在煤压块领域的不同工艺方案和应用。

迈向更清洁的未来——炼铁气体净化技术的发展趋势

论文编号：66

第一作者：Andreas Steinwandter

传统的高炉煤气湿法洗涤器净化受到了再度兴起的干法气体净化技术的挑战，因为后者在钢铁生产链的其他部分得到了成功应用。高炉炉顶煤气的湿法净化是一种成熟的方案，能够在一步中将气体中所含灰尘和一些微量物质去除。不过，湿法气体净化还需要净化溶解了固体物的水，然后再对这些固体物进行处理。高炉改造为改进现有湿法气体净化系统提供了机会。本文介绍怎样能够以一种经济有效的方式实施这些改进措施。

现在，许多高温工艺都采用了氮氧化物脱除 (DeNO_x) 技术。鉴于政府颁布的日益严格的排放限值规定必须执行，今后，选择性催化还原 (SCR) 技术将会得到越来越广泛的应用。本文也介绍了 SCR 技术在烧结厂的实施和需要考虑的一些特殊方面。

目标是让煤压块的机械性能和热强度超过普通煤。

整体优化模型——炼铁工艺控制的最新进展

论文编号: 87; 第一作者: Dieter Bettinger

目前采用的最先进的工艺控制系统旨在沿钢铁生产流程优化每一步生产工艺。它们建立在只能临时获得的本地信息基础之上。而遵循了“工业 4.0”思想的整体优化模型走得更远,通过详细分析历史数据和将来自不同设备的信息结合起来而提升设备性能。普锐特冶金技术将其炼铁工艺整体优化模型视为实现智能工厂愿景的重要一步。本文介绍了普锐特冶金技术高炉和烧

结厂二级工艺优化系统的最新进展。改进的决策支持和详细的工艺分析是这种整体方案的众多优点中最突出的两个方面。多个近期项目实例展示了操作人员和工艺工程师怎样从整体优化模型完美构建的工艺优化方案中获取最大价值。

普锐特冶金技术炼铁技术亮点

造块

- 采用强力混料和制粒系统能够在烧结工艺中使用多达80%的球团原料
- 烧结机点火炉采用立式炉顶烧嘴系统使燃料消耗降低25%
- 选择性废气循环系统使烧结废气量减少50%
- Meros废气处理工艺使烧结厂污染物排放减少99%
- 烧结矿冷却机余热锅炉系统能够每吨烧结矿制造出15 kg - 25 kg蒸汽
- 采用环形球团技术(CPT)使烧结炉空间需求减少50%

高炉炼铁

- 高炉喷煤率大于每吨铁水200 kg, 节省大量焦炭
- 采用炉顶煤气压力回收透平机能够每吨铁水发电30 kWh - 40 kWh
- 采用Merim高炉干法除尘系统能够使炉顶煤气压力回收透平机发电量增加25%以上

直接还原(Midrex工艺)

- Midrex直接还原模块的年产能范围为50万吨到250万吨
- 与煤基炼铁相比工艺产生的二氧化碳排放减少60%以上
- DRI在600°C温度下以热态从直接还原设备直接装入EAF同冷态DRI装料相比具有下列优点:产能提高15% - 20%;电耗降低120 kWh/t - 140 kWh/t;电极消耗降低0.5 kg/t - 0.6 kg/t;耐材消耗降低1.8 kg/t - 2.0 kg/t

熔融还原

- 煤基Corex炼铁工艺与高炉路线相比OPEX(运行成本)降低8% - 14%
- Corex、直接还原设备(使用Corex输出煤气)和电弧炉的配置与高炉 - LD(BOF)转炉联合路线相比二氧化碳排放减少15% - 33%
- 煤基Corex和以煤及粉矿为原料的Finex设备能够使用 Al₂O₃含量高达4%的铁矿石