

附件

2024 版钢铁行业极致能效 技术清单（T80）

目录

一、焦化工序.....	1
1) 焦炉自动加热控制技术	1
2) 焦炉炭化室压力自动调节技术	1
3) 焦炉用关键功能耐火材料及应用	1
4) 焦炉上升管荒煤气余热高效回收技术.....	2
5) 初冷器上段换热回收荒煤气低温余热技术.....	2
6) 焦炉烟道废气余热回收工艺	3
7) 干熄焦高温超高压/超高温超高压再热锅炉发电技术.....	3
8) 焦炉循环氨水余热回收	4
9) 节能热泵蒸氨技术	4
10) 蒸汽法负压粗苯蒸馏技术	5
二、烧结工序.....	5
11) 合适厚料层烧结技术.....	5
12) 节能高效智慧烧结技术	6
13) 烧结混合料预热技术	6
14) 烧结烟气余热回收利用技术	6
15) 烧结环冷机液密封技术	7
16) 烧结烟气与冷却废气双循环及余热回收技术.....	7
17) 烧结主抽风机汽电双驱技术	8
18) 高温固体散料余热直接回收技术	8
19) 烧结返矿冷固球团技术	9
三、高炉工序.....	9
20) 大型高炉炉缸整体浇注修复技术	9
21) 高炉料罐均压煤气零排放技术	10
22) 高效长寿高温热风炉技术	10
23) 高炉热风炉自动燃烧和热均压技术.....	11
24) 热风炉富氧烧炉技术	11
25) 高炉热风炉高辐射覆层节能低碳技术.....	12
26) 热风炉空气/煤气双预热技术	12
27) 高炉冲渣水余热真空相变取热与溴化锂余热制冷技术.....	12
28) 高炉煤气放散塔新型点火伴烧技术.....	13
29) 高炉鼓风定湿技术	13
四、转炉工序.....	14
30) 转炉底吹二氧化碳炼钢技术	14
31) 转炉合金在线快速预热节能技术	14
32) 转炉烟气全温域余热回收技术	15
33) 电弧炉柔性低频供电电源	15
34) 电炉废钢预热技术	16
35) 废钢配料模型降低电弧炉电耗	16
36) 钢渣风淬处理技术	17
37) 铁钢界面铁水智能调度系统	18
38) 鱼雷罐加盖技术	18

39) 烘烤器分级富氧燃烧技术	19
40) 真空室富氧烘烤技术	19
41) 氢氧切割技术	20
42) 炼钢蒸汽平衡及调控技术	20
43) 高效球形蒸汽蓄热器技术	21
44) 套筒窑煤气及空气双预热技术	21
45) 转炉除尘风机节能控制技术	22
五、轧钢工序.....	23
46) 薄带铸轧与 ESP 技术	23
47) 轧钢加热炉出钢温度“窄窗口”控制技术	23
48) 轧钢加热炉燃烧优化解决方案	24
49) 轧钢加热炉蓄热式燃烧技术	24
50) 加热炉无焰富氧燃烧技术	25
51) 轧钢加热炉炉内强化热辐射节能涂料技术.....	25
52) 全纤维炉顶加热炉	26
53) 全视场温度智能监测管理系统	26
54) 步进梁液压势能回收技术	27
55) 高耐磨组合式热轧支承辊的生产技术.....	27
56) 热轧浊环水系统综合节能技术	28
57) 辐射管节能燃烧技术	28
六、能源公辅.....	29
58) 钢铁智慧能源管理系统	29
59) 钢铁企业“燃-热-电-水-盐”五效一体高效循环利用技术.....	29
60) 能源-碳排放精准计量技术	30
61) 高效超临界煤气发电技术	30
62) CCGT 燃气轮机发电技术.....	31
63) 高速磁浮 ORC 发电技术	31
64) 余热余能电站储热调峰技术	32
65) 变速调频行车超级电容器储能节能技术.....	32
66) 新型三维变空间纯逆流模块组合式烟气余热回收换热技术.....	33
67) 全厂煤气潮流分析及平衡分配的耦合高效利用技术.....	33
68) 锅炉中高温废水余热回收及近零排放技术.....	34
69) 循环水电化学除垢技术	34
70) 乏汽高效回收技术	35
71) 地下供水管线精准测漏技术	35
72) 双筒型永磁调速节能技术	36
73) 冷却塔水电双动力风机节能技术	36
74) 超一级能效智慧空压站及压缩空气系统集中群控技术.....	37
75) 真空变压吸附制氧技术	37
76) 基于需求识别与分配的除尘智能管控节能技术.....	38
77) 钢铁全工序高效低能耗环境除尘技术.....	38
78) 皮带转运点无动力气流负压抑尘系统.....	39
79) 皮带输送机增加无动力毛刷清扫器技术.....	40
80) 蒸汽喷射真空泵+水环真空泵抽真空组合方案	40

一、焦化工序

1) 焦炉自动加热控制技术

技术简介：针对焦炉加热过程调控复杂、加热煤气消耗量大、碳排放高、氮氧化物生成多等难题，应用炼焦过程智能测温加热控制、焦炉边火道热工控制、炼焦终温反馈调节及焦炉源头减氮控制技术，可有效解决焦炉人工控温火道测控精度差、调节滞后的问题，实现焦饼中心温度远程自动准确测量控制，降低焦炉烟气氮氧化物排放。

应用情况：技术在鞍钢等多家钢铁企业推广应用。以 1000 万吨焦炭产能为例，年可节省标煤约 6.2 万吨、1357 吨 NO_x、1561 吨 SO₂。

2) 焦炉炭化室压力自动调节技术

技术简介：根据每孔炭化室煤气发生量变化，实时调节桥管水封阀盘的开度，实现整个结焦周期内炭化室压力调节，避免在装煤和结焦初期因炭化室压力过大产生煤气及烟尘外泄，并减少炭化室内荒煤气窜漏至燃烧室，实现装煤烟尘治理和焦炉压力稳定。同时技术可调控压力避免吸入空气造成能耗上升。

应用情况：技术在多家钢铁企业应用。可实现炼焦耗热量降低 2% 以上，减少炭化室压力波动造成焦炉冒烟、炭化室炉墙窜漏以及烟尘逸散等环境问题，工序能耗下降 2~4kgce/t-焦。

3) 焦炉用关键功能耐火材料及应用

技术简介：包括“表面复合陶瓷成型技术、高导热硅质材料制备

技术及窑炉热修补技术”等系列技术。表面复合陶瓷成型技术应用实现焦炉炉门结构大型化，表面光滑，解决了原用小型砖材料的结构不稳定，密封不严气体外溢的环境污染问题。高导热硅砖替代传统的硅砖耐火材料，导热效率显著提高，提高炭化室硅砖的导热性，并保持了其他良好的物理化学性能。

应用情况：相关技术在宝钢、鞍钢等多家企业应用。以某钢 4 座 50 孔的焦炉为例，应用高导热硅砖材料，热效率可提高 5%。

4) 焦炉上升管荒煤气余热高效回收技术

技术简介：将原有的焦炉上升管替换为上升管换热器，约 800℃ 的荒煤气流过上升管换热器将热量传递给强制循环的传热媒介，例如循环水、导热油，生产饱和蒸汽、过热蒸汽、高温导热油输送至热用户利用，实现荒煤气余热回收。

应用情况：焦炉上升管回收荒煤气余热技术已在宝钢、首钢、包钢、韩国现代钢铁等一批大型企业，百余座焦炉上得到应用。以某钢企焦化厂生产低压饱和蒸汽为例，吨焦产蒸汽量达 80kg 以上，工序能耗降低 7kgce/t-焦以上。该技术尚有改善空间。

5) 初冷器上段换热回收荒煤气低温余热技术

技术简介：将传统两段横管式结构初冷器设计成三段换热，分别是上段，中段和下段，供水分别是热水、循环水和低温水。热水是来自于制冷机组或通风采暖设施，温度 63~65℃，泵送至初冷器上段，

吸收荒煤气的热量后温度升高至 73~75℃，后经管路送至制冷机组或通风采暖设施，荒煤气从 81℃降温至 79~75℃。荒煤气进一步通过初冷器中段和下段被降温至约 21℃。该技术可在绝大部分的新建焦化企业内进行推广运用。

应用情况：在山西立恒焦化、铜陵泰富、新泰正大焦化等企业应用。以年产 100 万吨焦炭为例，余热回收折合低压蒸汽量为 1.20 万~1.80 万吨，并显著节约循环水用量。

6) 焦炉烟道废气余热回收工艺

技术简介：焦炉烟气进入余热锅炉换热后排入烟囱，产生低压蒸汽。辅助设备布置在锅炉下方节省占地，引风机根据主烟道压力变频，给水二冲量自动调节，汽包液位稳定，汽包压力自动调节，蒸汽压力稳定，换热器采用翅片管+热管式避免低温腐蚀。

应用情况：吨焦可产 0.6MPa 饱和蒸汽 0.05~0.1t，投资回收年 \leq 2 年。吨焦减少 CO₂ 约 15.5kg、SO₂ 约 0.5kg、NO_x 约 0.24kg、烟尘约 4.5kg。

7) 干熄焦高温超高压/超高温超高压再热锅炉发电技术

技术简介：在干熄焦余热发电系统中加入中间一次再热系统，利用进入干熄焦锅炉的高温循环气体的高品位热能，提高整体循环热效率。此技术的中间一次再热系统是利用锅炉产生的新蒸汽在汽轮机内高压缸膨胀做功后，高压排汽进入到锅炉的再热器中，提高再热蒸汽

的过热温度，再热蒸汽出口温度与主蒸汽温度相当，然后将高温的再热蒸汽送到汽轮机低压缸中继续膨胀做功。高温超高压/超高温超高压加中间一次再热汽轮机的内效率高，热力系统热效率高，中间再热技术同时提升汽轮机末级叶片干度及机组稳定运行，本项技术可充分利用干熄焦余热，提高余热发电经济性。

应用情况：综合发电效率相比同规模高温高压（9.8Mpa，540℃）发电机组提升 0~13%。以某厂干熄焦处理能力 210t/h 的项目为例，年发电时间 8000 小时，年发电量增加 3360 万 kW h 以上，年节约标煤约 0.413 万吨；年发电收益增加 1680 万元(按 0.5 元/kW h 计算)。

8) 焦炉循环氨水余热回收

技术简介：焦炉循环氨水温度达 70~80℃，循环量与余热资源量大。通过溴化锂制冷机组以水为制冷剂，溴化锂水溶液为吸收剂，利用水在高真空条件下低沸点汽化特征，回收循环氨水热量实现制冷。

应用情况：行业应用比例约 10%，降低工序能耗 0.5~1kgce/t-焦。

9) 节能热泵蒸氨技术

技术简介：采用第二类吸收式热泵机组替代常规蒸氨分缩器，回收蒸氨塔塔顶氨汽的潜热，并进行温度提质后加热循环热水，用于加热塔底废水作为部分热源给蒸氨塔供热，减少蒸汽消耗。与常规蒸氨工艺相比，热泵蒸氨工艺用热泵机组、热水再沸器、循环热水泵、汽液分离器、氨水回流泵，以及膨胀槽等组成的塔顶余热回收系统和氨

水回流系统代替常规蒸氨工艺的分缩器。

应用情况：较之目前众多焦化企业的常规蒸氨，该技术减少约 41% 的低压蒸汽消耗，减少约 13% 的循环水用量。

10) 蒸汽法负压粗苯蒸馏技术

技术简介：负压粗苯蒸馏技术，是通过真空装置维持脱苯塔内负压，以降低溶液中各组分的沸点，从而达到降低蒸馏温度、减少热量消耗的目的，同时采取优化粗苯操作参数、改进脱苯塔塔盘型式，能够有效解决焦化粗苯蒸汽耗量高的难题，节能降耗明显。

应用情况：可较正压粗苯蒸馏工艺节省 50% 的低压蒸汽消耗、25% 的循环水用量，运行成本降低 16%。

二、烧结工序

11) 合适厚料层烧结技术

技术简介：厚料层烧结技术利用料层自动蓄热的原理，通过上层物料的气流对下层物料进行加热，充分地利用料层物料燃烧产生的热量。通过高生产效率、低温烧结、低耗烧结，促进复合铁酸钙生成、改善烧结矿质量等，提升烧结技术经济指标。

应用情况：技术在汉钢、龙钢、泰钢、新天钢等企业应用。某钢采用 1000mm 以上厚料层烧结，实践表明，烧结生产过程改善，烧结机日产量增长 8%，返矿率降低 7.11%，固体燃消降低 2.99kg/t-矿。

12) 节能高效智慧烧结技术

技术简介：现有烧结工序关键工艺参数无法在线检测导致生产指标检化验滞后，烧结过程复杂多变，优化和精准控制难，流程长、设备多、岗位劳动强度大。本技术融合国际先进过程智能化技术、检测技术、信息技术与人工智能，开发了原燃料粒度在线检测等关键核心技术，建立了虚实结合和动态优化的智能制造系统，构建了智能烧结技术体系，实现了烧结工序的低碳生产和安全高效。

应用情况：以某钢 550m² 智能烧结项目为例，工序能耗从 42.8kgce/t 降低至 40kgce/t 以下，成品率从 79% 提高至 81%。

13) 烧结混合料预热技术

技术简介：烧结混合机通过使用大量蒸汽的方式预热混合料，其热量利用率偏低，不仅造成蒸汽浪费，而且蒸汽中水分对烧结过程造成影响。通过优化制粒工艺，将传统一混加水、二混制粒造球和三混强化制粒的方式改为一混强力混匀、二混加水制粒造球和三混强化制粒方式，极大提高生石灰粉消化放热功效，全年烧结混合料温度保持在 60℃ 以上，有效降低烧结固体燃料消耗。

应用情况：技术在酒钢等企业应用。烧结矿固体燃料消耗降低 1.1kg/t-矿，极大提高了能源介质利用效率。

14) 烧结烟气余热回收利用技术

技术简介：设置烧结大烟道余热锅炉和环冷机双压余热锅炉，回

收利用环冷机中高温段废气余热及烧结大烟道尾部风箱高温排烟余热，余热锅炉产生蒸汽用于发电。

应用情况：技术在马钢、宝钢、山钢永锋临港有限公司、本钢板材公司等企业应用。以某钢 500m² 烧结机为例，实施烧结环冷机烟气余热及烧结大烟道余热回收，节能 12.5kgce/t-矿。

15) 烧结环冷机液密封技术

技术简介：通过两相动平衡密封技术、高效传热技术、气流均衡处理综合技术、复合静密封技术以及高温烟气循环区液体防汽化技术，减少环冷机漏风率，降低鼓风机电耗，增加环冷蒸汽产量。

应用情况：技术在多家钢铁企业应用。某钢企应用该技术实现余热回收产蒸汽 80kg/t-矿(1.8MPa, 270℃)以上。

16) 烧结烟气与冷却废气双循环及余热回收技术

技术简介：本技术核心是“梯级控氧-分区控压”烧结烟气与冷却废气双循环技术和超低漏风高效换热新型环冷机。通过按需供热的“梯级控氧-分区控压”烧结烟气与冷却废气双循环技术，优化气体流量、温度、含氧量组合，实现烧结过程风、热、氧按需分配，使料层在烧结过程竖向供热强度一致，在减排烟（废）气、回收余热的同时，提高成品率、改善烧结矿质量，实现烟气循环量超过 30%，固体能耗降低 1.5kg/t 以上。超低漏风高效换热新型环冷机优化回转体、台车和复合水密封装置，实现料层内有效风均匀分布，降低吨矿有效冷却

风需求量，实现漏风率降低至 5% 以下，有效通风面积扩大约 20%。

应用情况：以某钢厂 400m² 烧结机为例，年产烧结矿 437.9 万吨，应用该技术后烧结固体燃料减少约 6000t，节约电能 1200 万 kW h，环冷机高温废气余热吨矿发电量提高 2700 万 kW h。

17) 烧结主抽风机汽电双驱技术

技术简介：针对“余热-蒸汽-电能-机械能”的能源回收利用过程转换环节多、效率低的问题，开发余热回收能量作用于烧结主抽风机轴系的超低耗能技术，实现汽轮机与电动机共同驱动主抽风机运行，并将多余能源转化为电能反向输入电网，提高运行经济性。主抽风机汽电双驱技术主要分为两类，一类为主抽风机工频汽电双驱技术，另一类为主抽风机变频汽电双驱技术，其中变频汽电双驱技术比常规工频汽电双驱技术的吨矿有效轴功率提升 25%。

应用情况：以河南济源钢铁应用为例，建设规模为一台蒸发总量为 56.5t/h 的双压自除氧烧结环冷机余热锅炉及一台 10MW 补汽凝汽式汽轮机，通过变速离合器，拖动烧结主抽风机，采用主抽风机工频汽电双驱技术。汽轮机年输出功率 6267.8 万 kW h，年节标煤量 1.912 万吨。

18) 高温固体散料余热直接回收技术

技术简介：无需引入中间气体换热介质，高温固体颗粒利用自身重力向下缓慢流动，通过移动填充床固体换热方式与锅炉汽水受热管

一次换热后，可直接产生高品质发电蒸汽。适用于球团余热回收。

应用情况：余热回收率能达到 80% 以上，系统整合、无需冷却风机，自用电率 10% 以下，不引入二次污染源，更清洁环保。

19) 烧结返矿冷固球团技术

技术简介：生产实践中有 30%~45% 的返矿会进入烧结系统“复烧”，造成恶性循环，减少了有效入炉量，增加了能源消耗以及温室气体排放，增加了炼铁成本。本技术以冷造块方式将返矿、精粉、钢渣粉、含铁尘泥等多态、多类厂内循环物耦合造块，成品可直接送入高炉等复杂冶炼场景中使用，实现了返矿高效利用和固废协同运用。本技术将返矿作为压团原料，实现了冶金副产物多态耦合造块高效循环利用，通过冷造块方法解决了产品热性能问题。

应用情况：汉中钢铁、榆中钢铁、略阳钢铁、新泰钢铁等应用。按照某钢企 15 万 t/年的产能计算，年节约标准煤 5140.5t，减少 CO₂ 排放约 15128.49t。

三、高炉工序

20) 大型高炉炉缸整体浇注修复技术

技术简介：开展炉缸浇注仿真模拟、侵蚀炉型精准定位、修复炉缸定制浇注、工程集成创新应用等基础科学、关键技术和工程应用多领域研究，采用高导热系数浇筑料修复炉底侵蚀碳砖，实施数字化三维扫描动态成像下的炉型修复技术，实现集安全、环保、低碳、高效、

长寿优势于一体的高炉炉缸整体浇注修复。

应用效果：首钢股份生产实践显示，炉缸浇筑恢复后燃料比降低 4kg/t-铁，工序能耗降低量约 3.8kgce/t-铁。

21) 高炉料罐均压煤气零排放技术

技术简介：针对高炉炉顶料罐均压煤气放散的资源浪费和环境污染问题，通过炉顶均压煤气回收系统，高炉料罐放散煤气在引射器的作用下经炉顶旋风除尘器一次除尘、布袋除尘器二次除尘后并入净煤气管网。通过对引射器、一级除尘器、二级除尘器、管道系统等关键工艺设备的开发设计，在不影响高炉正常生产运行的前提下实现了料罐均压煤气的净化全回收。

应用情况：应用于京唐、迁钢、河北澳森、湘钢等 20 余座高炉。某钢生产实践显示，均压煤气回收率可达到 85.1%，均压煤气回收量 83.8Nm³/次，煤气回收量达 3.90Nm³/t-铁。

22) 高效长寿高温热风炉技术

技术简介：选用新一代旋流高效燃烧、超净排放的大功率燃烧器，配置小孔径高效格子砖，涂覆高辐射材料，搭配智能燃烧控制模型，实现高效低碳超净燃烧；热风炉本体应用多段独立支撑砌筑结构，热风管道上设置平衡补偿，补偿器部位采用异型砖或导流砖，提高砌体及管系稳定性，实现热风炉及管道长期稳定工作。

应用情况：应用在首钢、昆钢等多家钢铁企业。与同类技术相比，

热效率提高 2%~4%，节约煤气 5%~8%，烟气中 NO_x 和 CO 排放量分别降低到 50mg/Nm³ 和 20mg/Nm³ 以下。

23) 高炉热风炉自动燃烧和热均压技术

技术简介：热风炉人工烧炉时，由于个体操作存在差异，煤气消耗、拱顶温度等不稳定，送风温度易波动。结合优秀操作者经验数据，以设备安全为前提，以降低煤气量和稳定风温为目标，以模糊控制为手段，制定热风炉自动燃烧模型，分阶段（点火、烧拱顶、烧烟道）调整煤气量和空燃比。

应用情况：技术在多家钢铁企业应用。某钢生产数据显示，同样拱顶和烟道温度情况下，热风炉煤气消耗由 2.085GJ/t-铁降至 2.052GJ/t-铁，平均换炉时间由 12 分钟降至 9 分钟。

24) 热风炉富氧烧炉技术

技术简介：热风炉燃烧时助燃空气中参与燃烧反应的是氧气（仅占 20.7%左右的），其他气体对燃烧无助，在燃烧废气排放的过程中还会带走相当一部分热量。富氧烧炉通过提高助燃空气的含氧量，减少助燃空气使用量，在满足高炉所需高温的同时，节约能源，降低生产成本。近年来，随着新制氧技术不断突破，该技术的应用前景进一步看好。

应用情况：某钢生产实践显示，热风炉富氧烧炉实现利用氧气 $\geq 8.02\text{Nm}^3/\text{t-铁}$ ，工序能耗降低约 1.4kgce/t-铁，并提高风温 10℃。

25) 高炉热风炉高辐射覆层节能低碳技术

技术简介：将高发射率材料应用于蓄热体表面，在不改变设计和耐材材质的前提下，提高蓄热体蓄热能力达到节能减排的目的。解决传统红外节能涂料附着力差、易脱落的难题，可提高耐材表面发射率 0.89 以上，蓄热体蓄热能力 10%，节约煤气，同时可改善耐材荷软、蠕变等物理性能，延长耐材使用寿命。

应用情况：根据某企业应用效果，统计煤气消耗节约 7% 以上，采用蓄热量的检测方式计算，蓄热量提高 10% 以上。

26) 热风炉空气/煤气双预热技术

技术简介：应用板式、管式或热管换热装置，热风炉烟气经过换热器与烧炉煤气和助燃空气进行热交换，预热煤气和助燃空气，从而将烟气余热加以利用，在保证高风温的前提下，有效降低热风炉煤气单耗。

应用情况：技术在多家钢铁企业应用。助燃空气预热温度由 165℃ 提高到 185℃，煤气预热温度由 159℃ 提高到 185℃，烟气排放温度由 159℃ 下降到 140℃，高炉煤气消耗量减少。

27) 高炉冲渣水余热真空相变取热与溴化锂余热制冷技术

技术简介：包括真空相变取热技术、溴化锂余热制冷技术等。真空相变换热技术利用水在真空状态下沸点降低的特性，利用极小能耗在设备内制造出适当的负压环境，使 50℃ 以上的冲渣水无需二次加

热而发生部分闪蒸、汽化，以清洁的水蒸汽携带大量汽化潜热与清洁水进行换热，解决了因为水质恶劣造成的换热壁面结晶、结垢以及腐蚀问题而导致的换热器失效问题，实现清洁、高效提取冲渣水热能。溴化锂余热制冷采用非电制冷原理即溴化锂吸收式制冷技术，以高炉冲渣水作为驱动热源（60~90℃）作为热源，溴化锂机组吸收高炉冲渣水余热制备符合工艺要求的 7~12℃ 冷水。

应用情况：真空相变换热技术在多家钢铁企业应用，尤其是北方钢厂用于冬季供暖。钢铁企业一般需配置 20~40MW 的设备机组，以 10MW 余热项目计，节省 0.5 万吨标煤/采暖季。高炉冲渣水余热用于溴化锂制冷适用于南方钢铁企业，用于机房制冷等。

28) 高炉煤气放散塔新型点火伴烧技术

技术简介：通过催化燃烧技术实现高炉煤气的自主、稳定燃烧，高炉煤气伴烧替代传统城市燃气或焦炉煤气长明火伴烧，高压电弧作用下从持续燃烧转变为周期性燃烧，在有煤气放散时点火燃烧，实现节能降耗。

应用情况：技术在湛江钢铁等钢企实施应用。实现零使用焦炉煤气点火伴烧，较实施前每年节约 388 万 m³ 焦炉煤气。

29) 高炉鼓风定湿技术

技术简介：通过余热制冷脱湿、冷冻机脱湿等工艺实现高炉鼓风脱湿或者定湿，控制鼓风湿度在 10mg/m³，可保证较好的高炉炉况，

保证炉内温度稳定。

应用情况：国内多家钢铁企业应用。鼓风湿度减少，焦比降低 0.6~0.8kg/t-铁。

四、转炉工序

30) 转炉底吹二氧化碳炼钢技术

技术简介： CO_2 具有弱氧化性，在钢液中能与[C]、[Si]、[Mn]、[Fe]等发生氧化反应， CO_2 与钢中[C]反应生成 CO。底吹 CO_2 气体在底吹元件出口从常温热膨胀至炼钢温度做膨胀功， CO_2 与钢中[C]发生反应生成 2 倍体积的 CO 做膨胀功； CO_2 和 CO 气体混合后，在上浮过程所做的功在相同底吹强度条件下， CO_2 对转炉熔池的搅拌效果要比 Ar 和 N_2 强，在脱碳反应剧烈的吹炼中期，对熔池搅拌能力接近底吹 Ar 或 N_2 的 2 倍。

应用情况：技术在酒钢集团宏兴钢铁、首钢京唐进行应用。数据显示因 CO_2 搅拌强度大，钢水碳氧积降低，钢水自由氧降低 20~50ppm；脱碳速度加快，吹炼时间缩短 30~50 秒，氧气消耗量降低，同时替代氮气和氩气并减少合金用量。

31) 转炉合金在线快速预热节能技术

技术简介：转炉合金在线预热系统一般放置于转炉炉后平台旋转溜槽位置，占地面积不超过 3m^2 ，在不改变原上、下料操作方式的同时，将称量好的合金加入炉内，利用转炉冶炼间隙，烘烤 10~15 分钟

至 400℃~600℃，去除合金水份、有效减少钢水温降，降低冶炼成本。

应用情况：火焰刚性强、温度可控、燃烧充分，可在 10~15 分钟内将合金预热至 400~600℃。以 120t 转炉为例，年经济效益在 750 万左右。

32) 转炉烟气全温域余热回收技术

技术简介：转炉工艺产生的高温烟气（1450~1600℃）通过汽化冷却烟道降温到 900~1000℃，再经过设置火种捕集装置、余热锅炉实现中低温余热资源的回收，充分降温后经除尘回收或放散。

应用情况：高温烟气显热回收技术普及率高，中低温余热回收尚属于试点示范技术，包钢、建龙西林钢铁进行了中试（或首台套）应用。预计节能 5kgce/t-钢以上。

33) 电弧炉柔性低频供电电源

技术简介：针对电弧炉非线性无规则负载特性，该技术适用于采用三相交流电弧炉作为生产装备的场景，采用一种基于电力电子变流器的电弧炉均衡电源，以 IGBT 器件为功率模组核心，通过直接电流控制的逆变方式实现逆变侧频率及电流可调。通过整流逆变技术，抑制电弧炉闪变和高次谐波，提高运行功率因数，将无效功率转换为有效功率，可以提高电能效率，节省电能，也可以消除对电网的冲击和污染，对敏感电力设备起到保护作用。该技术相比同类技术，具有电极自动化调整、直接电流控制和低频运行的优势。该技术相比变压器

供电节能 10% 以上，降频频率 5Hz 以下，系统效率 97% 以上，电流不平衡度、电流谐波含量均不大于 5%。

应用情况：内蒙古某铁合金企业新建电弧炉应用，电弧炉 16500kVA 容量，电压 200V，运行采集数据显示，其小时节电量达到了 1650kW h，日均节电量可达 37700kW h，节电率 10%。

34) 电炉废钢预热技术

技术简介：电弧炉由一个熔化炉和一个废钢预热竖炉组成。废钢预热竖炉系统由上闸门、废钢室、下闸门、竖炉、推钢机和水冷盘组成。预热竖炉直接刚性地连接到熔化炉，在熔融过程中废钢一直存在于竖炉中，竖炉底部的废钢接近钢水或与钢水接触，竖炉底部的废钢熔化后，竖炉中废钢高度降低时，废钢会被加入到竖炉中。在熔化够一炉钢量后，停止加入废钢。接下来在预热竖炉内充满废钢的情况下，进入到加热期。

应用情况：技术在河钢石钢、本钢板材等企业应用。废钢预热温度达到 600℃，降低冶炼电耗 120kW h/t-钢以上。

35) 废钢配料模型降低电弧炉电耗

技术简介：基于废钢预热竖井结构和废钢料篮的结构特点，结合多元料型入炉形式及原料结构的变化，确定料篮上中下部位的加入量以及各种原料结构配置。为增加预热废钢的容量，减少废钢卡料问题，结合现场废钢实际情况，制定了不同炉役、不同钢种的废钢配料模型，

配料模型分为 2 大类共计 21 小类：制定了一次预热料和二次料的配料模式，基于料篮上、中、下部形状不同，根据料型以及各部位堆密度差异，进行均匀化布料，以提高高温烟气流在废钢料层的渗透性，强化预热过程传热效果，最大限度提高废钢预热温度，预热铺底料尺寸精准控制范围以及料型，形成废钢预热关键技术；大大降低了电炉的辅助时间，提升电炉运行效率。

应用情况：通过对全废钢预热电弧炉冶炼关键技术开发与应用，河钢石钢平均电耗达到 318kW h/t 的国际领先水平，平均通电时间达到 32 分钟，实现周期 45 分钟，自动炼钢模型稳定运行。

36) 钢渣风淬处理技术

技术简介：高温液态渣液中钢的比重远大于渣的比重，液态钢沉入罐底，风淬技术通过特殊的粒化系统在密闭的风淬室将上部渣液吹散粒化成滴，沿抛物线飞行并自由落体降落至集渣池，渣粒在飞行过程中以及在冷却池的冷却过程中与空气和雾化水汽充分接触，钢渣中的游离 f-CaO 和 f-MgO 得到充分消解。根据风淬粒化后渣粒的冷却方式不同，风淬粒化技术分为钢渣湿法风淬处理技术和钢渣干法风淬处理技术。湿法可连续作业，处理效率高，处理量大日处理量可达到 900 吨以上，但需要配置水系统，烟尘中的含有大量水蒸汽需通过湿式除尘治理尾气，成本约为干法的 2 倍。干法无需配置水系统，可直接通过布袋，但受到风淬室温度影响不可连续作业，作业间歇时间约为 1 小时。

应用情况：湿法工艺在马钢、沙钢应用，干法工艺在其他企业也有应用。风淬处理技术能在 30 分钟内将 1400℃ 的高温液态熔渣直接转变为 $\leq 3\text{mm}$ 的均匀固态颗粒，吨渣处理成本约为 12 元/吨。

37) 铁钢界面铁水智能调度系统

技术简介：通过工业网络改造或新增，实现与企业已有信息化系统互联互通，实现铁水调度相关生产数据、设备运行数据和其他重要数据的自动采集；应用 RFID 技术、GPS 技术及 3D 仿真建模等智能化手段，实现机车、铁水罐准确定位跟踪、铁水信息的智能识别，将炼铁-炼钢工序紧密衔接，铁钢界面铁水调运预判及时、组织有序。并根据企业实际需求，开发集监控预警、调度指令、生产实绩、生产计划、数据分析、历史信息、基础配置等功能的智能管理系统，实现对铁水运输过程的规范化、精细化、智能化管理，减少铁水运输过程温降。

应用情况：技术在宝钢股份等多家企业应用。某钢实践显示，铁水罐周转率显著提高，铁水入转炉温度提高 10℃ 以上，吨铁节能约 2.28kgce。

38) 鱼雷罐加盖技术

技术简介：通过在混铁车鱼雷罐口加保温盖，可有效降低铁水温降以及石墨粉尘溢出污染。鱼雷罐加揭盖设备固定安装在机车上，通过电机或液压驱动的机构实现罐盖的加盖、揭盖，这其中包含盖的升

降与横移动作。当主控室接收到指令，通过 5G 传输信号，罐车接受信号给到机车 PLC，PLC 控制加揭盖动作执行。该技术对盖的材料、动力形式以及操作系统有安全性、稳定性的要求。

应用情况：在宝钢股份等企业应用，减少铁水温降 5℃ 以上，显著降低粉尘逸散问题。该技术可拓展应用到其他高温开口容器。

39) 烘烤器分级富氧燃烧技术

技术简介：铁包/钢包烘烤器采用带烟气回流的煤气-氧气分级卷吸燃烧技术，通过燃烧器结构设计，氧气和煤气经由不同喷嘴以不同的速度进入钢包内，在反应前分别与烟气发生卷吸、弥散混合后燃烧，煤气喷嘴出口的一次氧气使得火焰根部燃烧更稳定，二次氧气在钢包内与烟气和煤气二次混合燃烧，实现高温火焰的同时，使燃烧在整个炉膛内进行，燃烧区域大，火焰分布广，温度均匀性好，烟气中 NO_x 减少。

应用情况：技术在宝钢、鞍钢等多家企业应用。包底温度 > 1000℃，燃料节约率达到 50%，温度控制精度 ≤ 10℃（烘烤温度 > 250℃）。

40) 真空室富氧烘烤技术

技术简介：改变传统 RH 真空室烘烤方式，采用富氧比约 45% 左右烘烤模式，减少烟气量、降低排烟热损失，提高火焰区温度，增加烟气黑度，提高加热效率，提高烘烤升温速度，降低烘烤时间，提高

生产效率。

应用情况：技术在鞍钢股份应用。实施 RH 真空室富氧烘烤技术，升温速度提升近一倍，降低烘烤时间约 50%。

41) 氢氧切割技术

技术简介：以水为原料，通过电解产生大量的氢氧混合气来取代高耗能、高污染的传统燃气进行火焰加工作业，运行过程只消耗水和电，燃烧只生成水，切割烟尘小。

应用情况：以湛江钢铁为例，消除了因含碳燃气在连铸坯切割中产生的烟尘，改善连铸区域内环境条件，切割缝 $\leq 4.5\text{mm}$ ，吨钢切割电耗 $< 0.28\text{kW h/t-坯}$ ，切割断面光洁、挂渣量小且易清理。

42) 炼钢蒸汽平衡及调控技术

技术简介：包括蒸汽生产和使用的预测控制模型，以及蓄热器压力调节平台，控制现场设备，实现自动调节炼钢低压蒸汽外送量和中压蒸汽补入量，通过计算机智慧计算和模型控制，实现炼钢蒸汽系统自平衡，最终达到炼钢蒸汽放散为零、中压蒸汽补入为零的目标，提升炼钢蒸汽的回收利用水平。此外，提高转炉自产蒸汽利用率，最大限度供真空系统使用和回收并网，精准把控蒸汽用量分配。增设蒸汽自动控制阀，将控制权前移至岗位，依托生产调度系统，根据转炉和真空系统生产节奏，实时、快速反应，合理分配、利用蒸汽资源，最大限度减少空耗损失。

应用情况：技术在多家钢铁企业应用。某钢生产数据显示，炼钢蒸汽回收量增加 4kg/t-钢，年蒸汽回收量增加约 3.66 万吨。

43) 高效球形蒸汽蓄热器技术

技术简介：高效球形蓄热器内贮有大量热水，只留一部分作为蒸汽空间。当转炉吹氧时，汽化冷却装置产生的多余蒸汽被引入高效球形蓄热器内，容器里的压力渐渐升高，蒸汽在高效球形蓄热器内将水加热并凝结成水，使高效球形蓄热器里水的热焓值升高到与引入蒸汽压力相对应的饱和水焓值，此时高效球形蓄热器中的水位也由于蒸汽的凝结而升高，这样就进行了高效球形蓄热器的充热过程。在转炉非吹氧期或蒸发量较小的时，用户继续用汽，高效球形蓄热器中的压力就下降，因而，高效球形蓄热器中水的原有热焓值比降压后相对应的饱和水焓值大，因而部分水发生闪蒸以弥补产汽的不足，这时，高效球形蓄热器中水位开始降低并进行了放热过程（向外供汽）。

应用情况：以一座 1000 万吨钢产量的钢厂为例，建设 3 台 650m³ 高效球形蒸汽蓄热器，年蓄蒸汽约 76.5 万吨，年节约标煤约 6 万吨。

44) 套筒窑煤气及空气双预热技术

技术简介：在套筒窑上设置煤气及空气双预热器，其结构形式为扰流管和热管组合一体式结构，利用套筒窑窑体换热器出来的 400℃ 左右高温烟气作为热源，烟气首先在扰流管段内将一次空气从 180℃ 左右加热至 320℃ 左右，然后在热管段内将常温燃气预热至 220℃ 以

上。本项技术可充分利用烟气余热，降低系统热耗；同时一次空气与煤气双向温度的提高，强化了煤气、空气混合效果，增加了燃烧前混合物的扩散速度，促进了套筒窑燃烧室内热力学无焰燃烧状态的形成，进而降低了燃烧烟气中 NO_x 的生成量。

应用情况：套筒窑煤气及空气双预热技术已在方大特钢等多座套筒窑上得到成功应用。以 1 座 600TPD 套筒窑（年产 20 万吨）为例：其一，热耗降低 6% 以上（降低值为 60kCal/kg 石灰），吨石灰降低转炉煤气消耗 40Nm³（煤气热值按 1500kCal/Nm³）。其二，烟气 NO_x 降低 30% 以上（降低值为 30mg/Nm³），每年降低 NO_x 排放 19.2 吨。

45) 转炉除尘风机节能控制技术

技术简介：基于大数据分析和智能控制理论，通过研究不同工艺条件下电机和负载匹配关系、控制策略优化等，实现电机系统用能最优化。针对转炉除尘工艺优化，转炉每个冶炼周期为 30 分钟左右，吹炼时间和装、出料的时间基本各占一半，风机在转炉吹炼时高速运行，在吹炼后期及补吹时中速运行，而在出钢和装料期间可将速度降低，既能满足转炉冶炼工艺要求，又能实现节能。

应用情况：技术在多家钢铁企业应用。某钢实践显示，通过将工频风机改造为变频风机，除尘风机节电率达到 10.5%，节电量 126 万 kWh，节约电费 63 万。

五、轧钢工序

46) 薄带铸轧与 ESP 技术

技术简介：采用一对相对旋转的铸辊作为结晶器，使液态金属在极短的时间内凝固并热成型，直接成为金属薄带。薄带铸轧工艺改变了传统的钢材生产方法，取消了连铸、粗轧、热连轧及相关的加热、切头等一系列常规工序，将亚快速凝固技术与热加工成型两个工序合二为一，真正实现了“一火成材”，大幅度地缩短了钢铁材料的生产工艺流程。

应用情况：薄带铸轧在江苏沙钢等企业应用，薄带铸轧工艺总能耗约为传统热连轧工艺的 1/5 左右，温室气体排放量约为 1/4 左右，大幅减少能耗、水耗、电耗。ESP 技术在山东日照钢铁等企业应用，ESP 能耗比传统热带钢轧机减少约 40%。

47) 轧钢加热炉出钢温度“窄窗口”控制技术

技术简介：该技术综合应用传热、传质理论，结合数值计算方法，通过建立加热炉的炉内传热模型，在参数辨识与在线智能补偿技术基础上，应用总括热吸收率法定量化钢坯加热过程的复杂边界，结合先进数值计算方法，采用加热炉生产过程中的可测参量来估算炉内钢坯的温度分布等不可测参量；以钢坯加热能耗及氧化烧损最少为目标，将炉温设定值控制与钢坯出炉温度直接联系起来，构建加热炉智能烧钢系统。对钢坯加热过程各类工况进行在线优化加热制度寻优及动态

炉温制度搜索、设定，实现钢坯出炉温度“窄窗口”控制。

应用情况：该技术在攀钢、建龙集团及亚新钢铁等板带钢及棒线材加热炉的应用。具体表现为：提高加热炉燃料消耗节约 $\geq 7\%$ ，提高成材率约 $0.1\% \sim 0.2\%$ ，氧化烧损降低 $\geq 5\%$ ，加热炉智能化烧钢率 $> 95\%$ ，提升钢坯加热质量，钢坯出炉温度“窗口”范围在 $\pm 8^\circ\text{C}$ 之间。

48) 轧钢加热炉燃烧优化解决方案

技术简介：基于炉膛残氧和一氧化碳闭环优化控制，采用激光燃烧分析仪检测加热炉各段炉膛内 O_2 和 CO 残余量，进行快速、连续、实时的监测和记录，进而实时调整炉内各段空燃比/空气过剩系数，大幅度降低由于热值波动、流量计计量误差、阀门开度误差等因素导致的燃烧状态偏离现象，使得各段燃烧处于最佳状态。

应用情况：技术在多家钢铁企业应用。某钢厂应用后降低煤气消耗 $\geq 5\%$ 、降低氧化烧损 $\geq 8\%$ 。

49) 轧钢加热炉蓄热式燃烧技术

技术简介：蓄热式烧嘴成对工作，二者交替变换燃烧和排烟工作状态，烧嘴内的蓄热体相应变换放热和吸热状态。当一只烧嘴处于燃烧工作状态时，此燃料通路开通、常温空气（常温煤气）通过炽热的蓄热体，被加热为热空气（热煤气）去助燃（燃烧）；另一只烧嘴一定处于蓄热状态作为烟道，此燃料通路关闭，燃烧产物在引风机的作用下经燃烧通道到蓄热体，使蓄热体蓄下热量后，经烟道由烟囱低温

排出。通过蓄热体，使出炉烟气的余热得到回收利用。

应用情况：技术已在多家钢铁企业应用。蓄热式烧嘴的烟气排出温度可降到 150~200℃或更低，空气可预热到 1000℃以上，热回收率达 85%以上，温度效率达 90%以上。

50) 加热炉无焰富氧燃烧技术

技术简介：利用富氧空气或高浓度氧气直接取代空气进行的燃烧方式，采用无焰燃烧器，利用氧气与高热值燃料直接形成无焰燃烧，实现高效、高质量加热。同时采用向燃烧器分别喷入高速的燃料和氧气的方法，可有效克服传统助燃空气富氧燃烧技术带来的因燃烧温度较高造成的炉内温度不均匀及热力型 NO_x 易产生等问题。

应用情况：技术目前在马钢等企业应用。加热产能提高 10%以上、能耗下降 10%以上，烧损下降 10%以上，加热温度均匀性明显改善，烟气 NO_x 达标排放。

51) 轧钢加热炉炉内强化热辐射节能涂料技术

技术简介：采用“非陶瓷基”纳米涂料，纳米化涂层在喷涂后能渗透进耐材表面微孔并与其结合成一个整体，形成高辐射率总厚度约 30 微米节能层。该涂层具有一定伸缩弹性，从而从技术原理上解决传统陶瓷涂层由于和加热炉内壁耐材热膨胀系数差异导致的错层“剥落”行业顽疾；能在 1700℃高温工况下长期工作，高温下其辐射率可长期保持 0.94 左右；可喷涂在各种材质和新旧程度的耐材表面，如

耐火砖，浇注料，陶瓷纤维等。

应用情况：炉壳温度降低，吨钢能耗降低，加热炉生产效率可提高 5%；耐材表面喷涂本涂料后，硬度和强度提高，减少炉膛内化学元素对耐材的化学侵蚀，耐材寿命可延长 30% 以上。

52) 全纤维炉顶加热炉

技术简介：全纤维炉顶加热炉对轧钢加热炉采用纯纤维顶结构，通过结构设计技术及表面涂料材料的创新，解决了纤维炉顶的高温情况下的长期使用问题。采用改进的标准化炉顶模块制作技术，取代传统炉窑工程耐材的施工方式。与常规炉顶相比，同等工况下全纤维的炉顶表面热量散失小，炉膛烟气热损失更低，炉膛热损失减少；模块化结构可实现炉子免烘烤、易于施工维修、使用寿命长且节能效果显著。

应用情况：晋南钢铁、迁安九江线材(棒线和带钢)、方大特钢(棒线和弹扁)、辛集澳森(棒线)、高义钢铁(带钢)、陕西龙钢(棒线和带钢)、盐城联鑫(棒材)、连云港镔鑫(棒线)等百余座加热炉应用情况，全纤维炉顶加热炉吨钢节约燃料 5% 以上，整体使用寿命可达 10 年。

53) 全视场温度智能监测管理系统

技术简介：基于红外辐射相关定律和先进的测温技术，系统能够实现高精度的炉内坯料温度测量，为工艺控制提供准确的数据支持。通过智能图像处理技术，系统可以自动识别和跟踪工件表面的温度变

化，减少人为干预，提高测量的准确性和效率。系统不仅可以提供实时的工件宽度及长度方向温度均匀性数据，还可以生成温度变化率曲线等参数，帮助操作人员更好地了解炉内温度的变化趋势。根据温度变化，系统可以给出相关的控制信号，实现加热炉的自动化控制，提高生产效率和产品质量。

应用情况：实现 0.4kgce/t 的能耗降低，同时板坯的炉内烧损可降低 0.05% 左右。

54) 步进梁液压势能回收技术

技术简介：通过改造现有的加热炉步进梁升降油缸和加热炉液压系统，将升降油缸改成能量回收升降油缸，并在液压系统中增补蓄能器和控制阀组，由蓄能器释放和吸收液压油，减少了液压站的供油量，从而降低了油泵组负荷，降低电耗。

应用情况：在鄂钢、重钢等钢厂使用，可实现液压泵节能 30% 以上。

55) 高耐磨组合式热轧支承辊的生产技术

技术简介：该技术将轧辊的工作面以辊套的形式单独处理，使之具有高耐磨性能，再通过过盈配合的方式把辊套和辊芯组合在一起，在机械性能上达到整体辊的使用效果，在耐磨性上远超整体辊。辊套的壁厚只有整体辊直径的 1/10 左右，在热处理时能以极低的能耗达到整体辊热处理时难以企及的奥氏体均匀化程度，在不提高合金成分

的基础上使耐磨性倍增，现有产线上报废的轧辊可以作为辊芯重复利用，节能减排效果显著。相比常规支撑辊，单次过钢量翻倍使用，磨损程度不增加，大幅度降低辊耗；换辊频率降低，停产时间减少，产量提高；换辊次数减少降低了工人的劳动强度，提高作业安全系数。

应用情况：该技术从减少耗材、提高工作效率方面实现节能。山西某厂使用显示，应用该技术后过钢量相较之前提高 2~2.5 倍，换辊频率减少 1 倍，支承辊辊耗降低 40~45%，以一条 750 中宽带产线为例轧辊年消耗量减少约 50 吨。

56) 热轧浊环水系统综合节能技术

技术简介：根据轧制用水需求变化，开展能效诊断分析，结合多种高效节能泵、水力平衡调节装置、换热器、水垢处理器、冷却塔等设备的组合应用，以系统最大化节能为目标确定节能设备应用构成，并采用浊环水智能管理系统，在轧线侧相应连锁控制信号支持下，按生产经济用水需求供水，实现整个浊环水系统节能。

应用情况：本技术在湛江钢铁某热轧产线应用，实现系统节能率达 34%。

57) 辐射管节能燃烧技术

技术简介：对冷轧辐射管，采用节能烧嘴替代原烧嘴实现节能降碳。在辐射管废气出口侧安装换热器，用以加热燃烧空气，降低废气温度，提高加热效率。新烧嘴具有以下优点：结构可靠耐用；管温平

均性好；NO_x排放低；热效率可以达到75%以上。

应用情况：在宝钢股份某冷轧产线上应用，节能率≥10%，结合辐射管换热器可实现吨钢能耗下降2.1kgce/t。

六、能源公辅

58) 钢铁智慧能源管理系统

技术简介：通过与周边系统建立通讯接口，实现与生产、设备、用能过程深度在线融合，进行装置级、系统级及多系统联合优化。具体体现在多介质系统综合平衡、工序之间的供需协同、区域物流-能流的协同等多个方面，采用智慧模型和机器学习等技术，以时空扩展为基础。建立智慧能源管理平台，实现多能源介质智能调度和精细化能源管理需求，重点分析和跟踪相关单元能源消耗、能效指标、异常因素等相关变量，提高钢铁企业能源领域的数字化、网络化、智能化。

应用情况：目前在宝钢、首钢京唐、马钢、太钢等多地得到应用。某钢实施智慧能源信息化项目后，结合生产工艺特点和物料能源消耗实际数据，实现全公司、各工序碳排放总量、强度月度在线统计核算功能。某钢企能源加工转化效率由93.8%提升到94.46%，提升0.66%。

59) 钢铁企业“燃-热-电-水-盐”五效一体高效循环利用技术

技术简介：该技术以燃气-蒸汽联合循环发电（CCPP）和低温多效蒸馏海水淡化技术为核心，联合盐碱化工，形成能源高效循环利用系统。技术主要包括CCPP发电设施、热膜耦合海水淡化装置及浓盐

水综合利用设施。可有效降低海水淡化的制水成本并提高钢铁厂内余能余热利用效率。为沿海布局的钢铁、电力、石化企业在循环经济、绿色发展上提供了新的解决方案。

应用情况：该技术在首钢京唐应用，可开发非常规水资源并有效利用钢铁企业内余能余热资源，实现低成本且高效的淡水、电力生产。此外，与盐化工制碱相结合可有效实现固碳减排。

60) 能源-碳排放精准计量技术

技术简介：该技术采用跨学科手段，以边缘计算、先进传感、机器学习、分布式计算及工业 AI 为内核，从因素溯源分析、规模化多参数建模、量传体系模型验证，再到工业现场应用，实现了计量器具和计量数据的统一，覆盖主流工业管网及主要能源介质，为工业节能降本增效、极致能效、碳管理、碳履约及数字化转型打好数据底座。

应用情况：能源损耗（产消差）可控制在 2%~5%。

61) 高效超临界煤气发电技术

技术简介：选用高效超临界煤气发电技术，替代低参数、高能耗、低效率、老化严重的低参数汽轮机，高效超临界煤气发电主蒸汽额定压力 24.2MPa，主蒸汽额定温度 600℃，配套超临界参数直流锅炉，单炉膛、平衡通风、一次再热燃气锅炉及高效超临界、一次再热、单轴、单排汽、凝汽式汽轮机。可将全厂热效率提高到 43.5%，大大提高高炉煤气的利用效率。

应用情况：技术在多家钢铁公司应用。超高效超临界机组全厂热效率纯凝工况下为 43.5%，相比现有高温高压机组效率（平均热效率约 29%）提升约 50%。

62) CCGT 燃气轮机发电技术

技术简介：采用低热值煤气发电技术，应用燃气轮机替代低参数、高能耗、低效率、老化严重的低参数汽轮机。发电热效率提高到 43% 以上，大大提高了高炉煤气的使用效率。燃料适应性好，负荷变动大。

应用情况：技术在国内多家钢铁企业应用，可实现高炉煤气发电效率 43% 以上，但对副产煤气管理水平要求高。

63) 高速磁浮 ORC 发电技术

技术简介：利用 60~350℃ 中低温废热以及冷媒介质低沸点特性，结合高速永磁电机技术、磁悬浮轴承技术、轴向控制器技术、逆变器并网技术等，经系统优化整合而成低温余热发电机。预热器、蒸发器接受热源(>60℃ 的水或低压蒸汽)的热量，将有机工质加热成高压的蒸汽，然后进入膨胀机推动转子做功，同时降温降压，再进入冷凝器冷凝成液体，液体被工质泵升压，进入预热器、蒸发器，完成一轮循环。将低品位热能转换为高品位的电能。

应用情况：该技术可实现 10%~30% 的节能潜力。华东某钢厂应用差压高速磁浮发电技术，装机容量 250kW，产低压蒸汽流量 25~65 吨/小时，年净发电量 176 万 kW h（年按 8000 小时运行），年节约

标煤 563 吨。河南某钢厂匹配日处理量 1000 吨的热闷处理工程上了一套 200kW 磁悬浮 ORC 发电机组,每小时最高发电量可达 160kW h,全年发电量达到 128 万 kW h。

64) 余热余能电站储热调峰技术

技术简介: 基于固体储热、熔盐储热技术及产品,创造性地将储热技术应用于钢铁企业余热余能电站调峰系统。系统根据生产需要,控制储/放热工艺流程,将原来只随钢铁工艺生产负荷波动的余热余能机组改造为可控可调的灵活性机组,实现可调节的发电系统。

应用情况: 某厂实践表明,年调峰电量 820 万 kW h。

65) 变速调频行车超级电容器储能节能技术

技术简介: 桥式起重机(行车)是工业领域的重要生产设备,数量众多,使用频率高耗电量大。为实现行车的节能运行,普遍采用变频调速技术。但是行车起重设备在下放货物和减速过程中产生的再生电能采用电阻消耗的工作模式,不仅造成电能利用效率低下,而且电阻消耗产生大量热能影响工作环境和设备寿命。超级电容器储能式行车节能系统,可将制动电阻消耗掉的能量储存起来,并加以利用,而且储能式节电器从直流端吸收电能,不产生谐波,从原理上规避故障源,保障行车运行的安全性、可靠性。

应用情况: 以宁波某不锈钢有限公司为例,设备整体造价约 8 万元,节电率可达到 25%。

66) 新型三维变空间纯逆流模块组合式烟气余热回收换热技术

技术简介：采用先进的三维变空间、变流场设计，打破传统换热元件的烟气横向碰撞流的设计理念而采用沿 3D 管纵向等面积等流速螺旋摩擦流动设计理念，将传统热回收换热装置的碰撞流为主改为摩擦流为主，在同等允许压降下可以采用更高的介质流速，提高两侧的湍流度实现强化换热；管侧和壳侧双侧螺旋流替代传统换热器的平行流，进一步强化双侧换热，可实现完全纯逆流换热，最大限度地实现大温差换热；换热元件截面为椭圆截面，提高了比表面积，且根据管侧和壳侧介质体积流量调整元件截面的长/短轴比，实现管侧和壳侧流速的最佳匹配。

应用情况：在钢铁、玻璃企业应用。某钢铁企业将其应用 220t/h 燃气锅炉烟气余热回收系统，用于燃气锅炉空气预热器，实现减碳量 818 吨/年。

67) 全厂煤气潮流分析及平衡分配的耦合高效利用技术

技术简介：基于钢铁制造全流程中焦炉煤气、高炉煤气、转炉煤气的气体组分、热值以及密度、着火点等特征的分析，结合焦化、烧结、高炉、转炉、轧钢等生产对压力、热值、燃烧特性等的需要，以及配套发电机组的负荷分配，分析各类煤气独立运行或耦合运行特征，对全厂煤气进行平衡，对煤气的发生与利用进行合理地分配。

应用情况：预期可减少全厂各类煤气损失约 0.2%，以年产 500 万吨的钢铁企业为例，减少煤气损失的节能量约 2238tce/a。

68) 锅炉中高温废水余热回收及近零排放技术

技术简介：该技术利用蒸汽供给侧和需求侧之间的热能差，对原本处于锅炉汽包压力下饱和温度的排污废水进行焓增补偿，经节能回收装置汽化、净化后转化为用户所需求的高品质蒸汽后送回供热管网循环利用。净化装置根据压差实行在线切换，切换下来的净化装置可进行反吹再生后再次处于备用状态。压力、温度、流量等运行参数并网至客户 DCS 系统，实现远程智能化在线监控操作。整套系统实现了排污废水热量和工质的高效回收，从根源上彻底解决锅炉排污造成的能源浪费及生态环境问题。安全可靠、运行成本低，可广泛应用于钢铁行业自备电厂、干熄焦余热锅炉及其它锅炉场景。

应用情况：在武钢、联鑫钢铁、华鑫钢铁等应用。以 6t/h 连排废水为例，运行时间 8000 小时，则年回收废水量为 48000t，废水资源回收并转变成高品质的蒸汽，年节约标煤量 3378 吨。

69) 循环水电化学除垢技术

技术简介：该技术主要是在电流的作用下水在阴极发生电解反应生成 OH⁻，由阴极反应产生的 OH⁻ 离子打破阴极附近溶液中碱度与硬度的平衡，分别生成 CaCO₃、Mg(OH)₂ 沉淀析出。在电场的作用下，CaCO₃ 在阴极板表面的结晶形式由坚硬的方解石结构转变为较为疏松的文石型结构，更易于剥离去除。对于循环水补水硬度高、碱度高的系统，应用该技术可大大提高循环水浓缩倍数，并实现水处理药剂零投加，经济环保效益显著。

应用效果：首钢股份已在空压机、风机循环水系统中应用，浓缩倍数提高到 4.0 以上，节水 20%~25%。

70) 乏汽高效回收技术

技术简介：工业锅炉、电站锅炉配备的除氧器及定、连排扩容器和疏水扩容器产生大量乏汽直接排放到大气中，在使用蒸汽过程中也会产生很多低压蒸汽排放，造成能源浪费。利用化学除盐水或凝结水（水温低于 70℃）在高效汽水混合器内与除氧器、疏水扩容器、定排扩容器或者其他工艺排放的乏汽进行充分传热传质混合，排汽被水冷凝成均匀的气-水混合物，进入脱气贮水罐。在脱气贮水罐中通过除氧脱气，被分离的氧气和其他不凝气体与水分离后对空排放。热水在液位控制下经加压泵加压后，送入温度相近的低加出口热水管道中，或直接进入除氧器或疏水箱，从而全部回收乏汽的热能与冷凝水，减少加热用蒸汽消耗。

应用情况：在某钢发电站应用，年回收蒸汽折节约标准煤 2930t，凝结水温度从 45℃提升至 85℃，单套循环流量 40~50t/h；回收介质蒸汽，年减少补水 3.2 万 t。

71) 地下供水管线精准测漏技术

技术简介：钢厂地下供水管线由于管材老化、年久失修等原因，管线漏损事故频频发生，每年因管道漏损造成的直接经济损失不可忽视。该技术采用雷达波声波双波耦合的管道漏损定位技术，同时应用

雷达图像数据的多属性分析技术和探地雷达时频综合分析技术，进一步挖掘了探地雷达图像中复杂、可靠的信息，以此实现对漏损位置和规模的精准识别。

应用情况：技术在鞍钢本部和鲅鱼圈钢铁分公司应用。对埋深不超过 4 米的管道，实现现场定位准确率 $\geq 75\%$ ，定位精度小于 1 米。

72) 双筒型永磁调速节能技术

技术简介：双筒型永磁调速器安装在电机和负载之间，电机和负载无接触式联接，通过磁力传递扭矩。改变导体转子与永磁转子之间的磁场啮合面积，实现负载转速变化。啮合面积大，通过永磁调速器传递的扭矩就大，负载转速高，反之啮合面积小则传递的扭矩小，负载转速低。配套的电动执行器根据控制中心（PLC/DCS）的信号指令进行动作，提供动力使得啮合面积随着指令变化而变化，并将结果反馈给控制中心，实现远程控制、无人值守。

应用情况：平均节能率为 15%。

73) 冷却塔水电双动力风机节能技术

技术简介：由水能机和补偿电机构成的水电双动力节能风机系统，使得冷却塔风机系统具有水能机和补偿电机双动力，将循环水系统富余的压力转换为动能驱动风机运转，在确保冷却塔完全满足生产工艺冷却降温的同时，节省电耗。整套设备动能以系统回水余能驱动水能机为主，动力补偿为辅。

应用情况：已在包括钢铁冶金、石油化工等行业近百家企业的新建冷却塔或已安装冷却塔上应用。水电双动力节能技改后，节电率达到 70% 以上。

74) 超一级能效智慧空压站及压缩空气系统集中群控技术

技术简介：从系统设计、设备选型、运行优化、全生命周期管理等维度着手，建设一级能效空压站。通过应用超高效空压机组、低露点多模式节能型干燥机、高效管网输配、系统智能控制、设备安康管控、智慧能源云服务等技术，形成一级智慧空压站系统装备，提供“高能效、高品质、高安全、高智能”的压缩空气系统。压缩空气系统集中群控技术是通过准确把握用户的用气规律并作出趋势预测，通过精准调控各台空压机出力在满足生产工艺需求的同时，实现最低压缩空气系统总管压力、降低总管压力波动、满足用户经济适用气需求。

应用情况：技术在山钢、南钢、本钢等多家钢铁企业应用。某钢应用实践表明，万立方压缩空气电耗最低 1050kW h，综合输功效率超一级能效 8%。

75) 真空变压吸附制氧技术

技术简介：真空变压吸附（VPSA）制氧是除深冷法外，实际应用最成熟且运行成本相对较低的制氧方案，其广泛用于对氧气纯度要求不高，氮气需求量小的行业或生产工序。VPSA 利用具有吸附选择特性的吸附剂实现氧氮分离，由于氧气、氮气分子四极距不同，氮气

在压力状态下被吸附，氧气在气相富集后流出吸附床；抽真空状态下吸附的氮气脱附，吸附剂通过压力变换实现再生。

应用情况：在马钢、涟钢、首钢京唐与梅钢等多家企业应用该技术制氧，与传统深冷法对比，真空变压吸附制氧约 0.3kW h/m^3 ，综合成本约为深冷法制氧的 60%。

76) 基于需求识别与分配的除尘智能管控节能技术

技术简介：通过通风需求的智能识别，结合机器视觉与通风需求量化模型技术，实现现场产尘与收尘状态的动态识别，并对用户点风量需求实时量化。通过对生产节奏与产尘规律的分析，预测短期内粉尘发生概率，实现除尘系统预测性调控。针对管网风量的按需分配，基于除尘管网和设备水力特性，构建在线仿真模型，以满足各用户风量需求为目标，动态精准分配管网风量，实现在保障收尘效果的同时动态挖掘节能潜力。

应用情况：某钢厂三次除尘系统各收尘点粉尘捕集效率提升 15%~20%，电耗降低 10%~25%，累计节电 331.5kW h/年，实现年度 CO₂ 减排 1926 吨。

77) 钢铁全工序高效低能耗环境除尘技术

技术简介：该技术集成了物料转运、烧结机尾、焦炉机焦侧、高炉出铁场、转炉一次、二次、精炼、电炉以及钢渣处理等过程的烟粉尘高效低能耗捕集关键技术，管网低阻设计与变风量调控技术，除尘

器低阻运行与风机变频调节技术，运行监测评价与能源管控技术等，同时开发高效低阻除尘装备和环境除尘智能集控平台。在保证超低排放与岗位环境粉尘浓度双达标的前提下，实现“高效捕集、管网调控、低阻除尘、能耗集控”。

应用情况：在湛江钢铁、鄂钢、昆钢、重钢等钢企应用。系统风量减少 10% 以上，系统运行能耗降低约 10%，总投资额降低 10%~15%。

78) 皮带转运点无动力气流负压抑尘系统

技术简介：该技术专为治理皮带机转运点无组织排放，在不添加额外电力能源基础上有效控制散装物料转运过程中粉尘的产生及外溢。采用悬浮在皮带上方的气流裙边，固定在导料槽的两侧及尾端，底部由 **Hadrox** 钢刀导叶成固定角度排列，整体与皮带无接触保留 1mm 间距。基于空气粘性特性，当皮带机设备速度大于 1.25m/s 时，运动的输送带将附着在其表面的空气同时向前运动，起到了抽吸的驱动作用，从而在导料槽的尾端形成多个负压区，并在该区域基于满足连续性方程（保证质量守恒）形成多个涡流。气流裙边与皮带的间隙形成狭窄的通道，从而可快速吸收周围的气体补足导料槽内部的负压区，从而减少涡流的产生，稳定内部的气固两相流。带角度的 **Hadrox** 钢刀导叶将收纳的粉尘归集至导料槽内部。该技术不依赖于物理性密封以及电力能源等特性，可减少皮带机负载、缓解因落料不正导致的皮带跑偏、运行成本较低。

应用情况：在湛江钢铁、韶关钢铁应用，安装完成后通过超 A 验收。该系统不需要增加额外水电能耗，有效解决现场粉尘外泄问题，与现有布袋除尘风机风管匹配使用可降低风量减少风机功率 60%。

79) 皮带输送机增加无动力毛刷清扫器技术

技术简介：石灰窑皮带输送机在运行过程中，由于成品石灰粉细腻且均匀，经过卸料点后，在返程过程中依然附着在皮带上，存在返程带料问题。通过头部清扫器、空段清扫器能将 80% 的返程带料问题解决，剩余未能清理的料与平行下托辊摩擦，洒落至返程皮带地面上，需要人工及负压吸尘设备进行清理。无动力毛刷清扫器适用于干料输送，利用被动滚筒与皮带的摩擦力作为动力来源，当皮带运行时，摩擦力驱动传动滚筒和皮带旋转，通过传动臂带动毛刷辊旋转，毛刷的旋转方向与皮带运行方向相反，从而将返程皮带上粘附的物料清扫下来，能够高效清扫皮带上的残留物料，且不会损坏皮带，节能环保。

应用情况：技术目前在宁钢石灰窑成品皮带输送机应用，可以减少人工清理落料工作量，取消负压吸尘设备的投入，减少空段清扫器安装，降低皮带输送机运行电流，减少皮带机通廊封闭工作。减少负压吸尘设备投入费用，降低电耗。

80) 蒸汽喷射真空泵+水环真空泵抽真空组合方案

技术简介：蒸汽喷射真空泵与水环真空泵都可以应用在抽真空系统中，但由于水环真空泵受机械性能及工作液温度等因素的影响，维

持真空的效果不如蒸汽喷射真空泵，且蒸汽喷射真空泵还能使机组真空得到一定幅度的提高。由于排大气的最后一级效率很低，一般采用小功率水环真空泵作为多级蒸汽喷射真空泵的最末一级。合适的方式是采用多级蒸汽喷射器+管式换热器(冷凝器)+水环泵的组合方案，再配合使用凝结水作为冷却水源，能最大限度地把热值全部重新回收，且有效避免水环真空泵弊端，进而能维持并提高机组真空的需要。

应用情况：某钢厂 RH 抽真空使用、某钢企汽轮机组使用。相比常规水环真空泵，节电 85% 以上并能提高真空 0.25kPa 以上，无汽蚀、抽吸力强安全稳定。