



中国宝武富氢碳循环高炉 工艺路线研究与实践

中国宝武八钢公司





目录

01

项目背景

02

宝武富氢碳循环高炉工艺路线研究

03

宝武富氢碳循环高炉工业试验

04

宝武富氢碳循环高炉后期工业实验策划



Part

01

项目背景

1、项目背景

背景1 全球应对气候变化在行动

为遵守《巴黎气候变化协定》，欧洲已开始以征收碳税的方式促进碳减排，预计2030年、2040年将分别达到53、93美元。2020年中国钢铁行业吨钢利润约为26美元，若对中国钢铁征收碳税，将削弱行业竞争力。二氧化碳排放量中国是美国的两倍，中美排放量又占世界的一半，中国宝武钢铁产能全球最大。

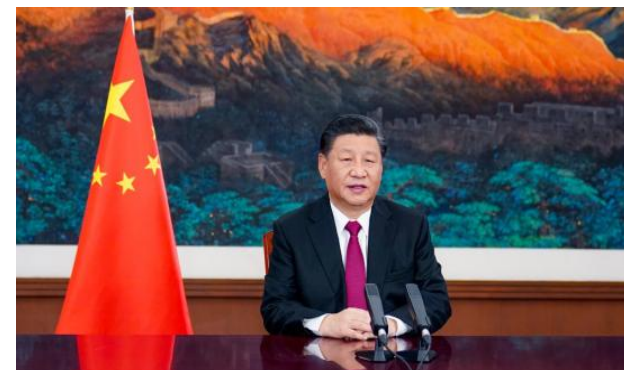


1、项目背景

背景2 中国应对碳减排已庄严承诺

习近平总书记在2020年12月世界气候雄心峰会上向全球宣布“中国要实现2030年前碳达峰、2060年前碳中和的目标”。

宝武集团陈德荣董事长提出了宝武低碳绿色发展的路线图和时间表。2023年实现碳达峰，2025年具备减碳30%的工艺技术的的能力，2035年实现减碳30%，到2050年力争实现碳中和目标。

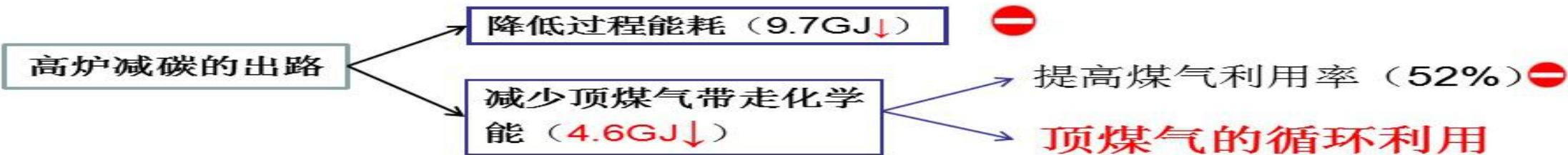


1、项目背景

背景3 中国高炉炼铁工艺占总铁产量的90%。

1) 传统高炉热效率极高（热效率93.5%），但碳利用效率仅有65.5%，剩余碳素被煤气带走。传统高炉减碳能力已到极值。

2) 高炉输出煤气在现有的技术条件下脱氮脱二氧化碳在技术上难以经济实现。



02

宝武富氢碳循环高炉工艺路线研究

2.1 提高高炉碳利用率机理分析

传统高炉间接还原区间受限，只有当炉顶煤气循环利用率为89%时，直接还原率可降至15%左右，在喷吹天然气的高炉上，氢还原替代直接还原。可进一步降低直接还原。只有提升顶煤气碳循环比率方可实现炼铁工序碳消耗最低目标。

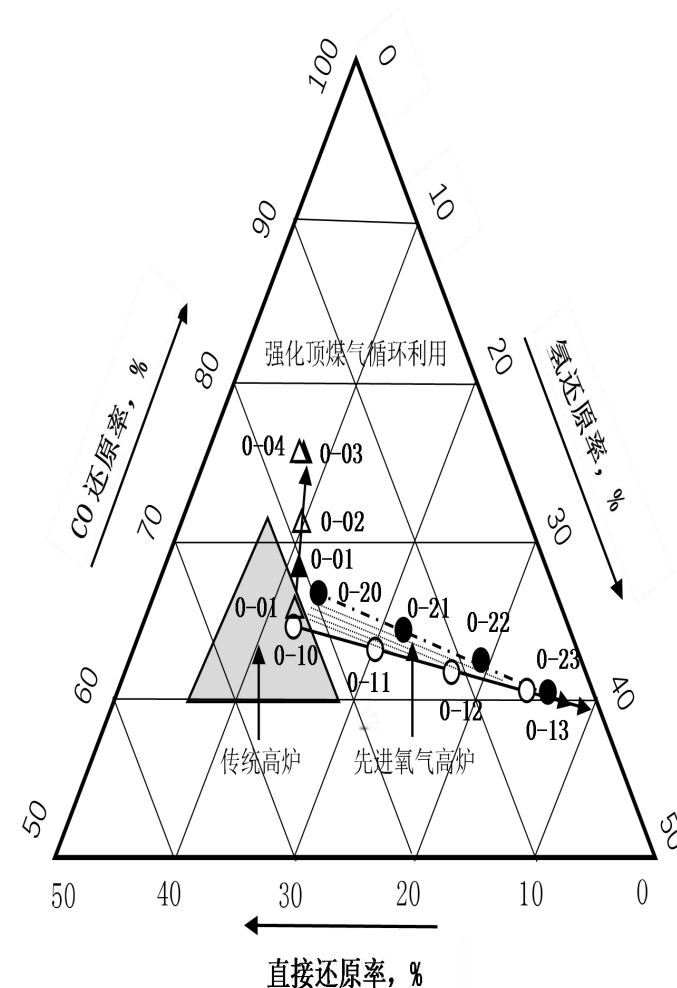


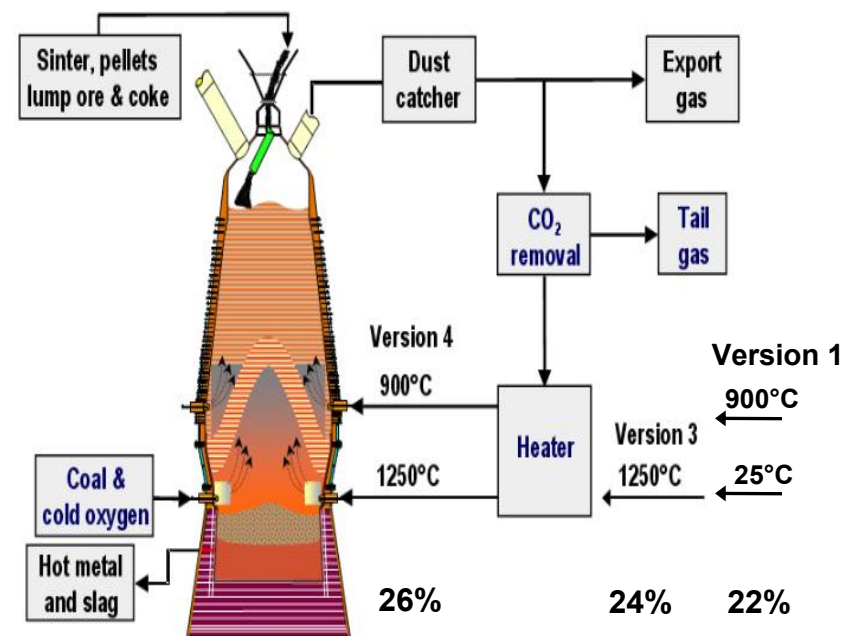
图1 在各种高炉工艺中还原步骤的分布

2.2 碳循环高炉工艺技术研究

- 1) 高炉碳循环只有实现全氧冶炼，才能避免 N_2 的循环富积。
- 2) 全氧鼓风后，还原性气体浓度接近100%;矿石的间接还原度大幅度提高。
- 3) 全氧冶炼后，炉内工况发生巨大变化，燃料比大幅降低，对炉料的性能将提出新的要求。

2.3 全氧冶炼技术——国外实验案例

国内外进行了较多的理论研究，但试验研究相对较少。只有在瑞典9m³试验高炉开展过。而单纯的氧气高炉的试验在日本NKK公司（4Nm³试验高炉）开展过。

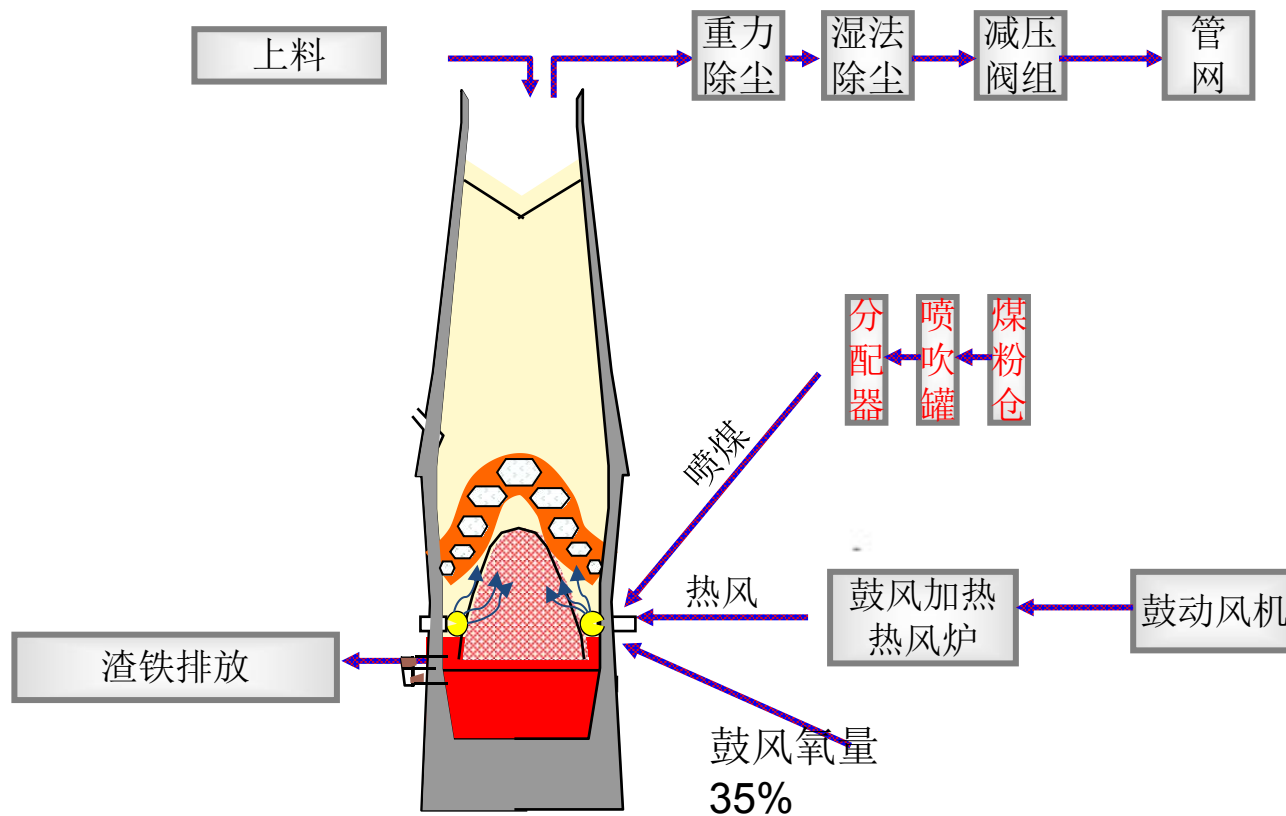


2.4富氢碳循环高炉实验计划

中国宝武以八钢原430m³ 高炉为基础，建立具有CO₂脱除、顶煤气循环、加热、富氢冶金等功能的低碳炼铁试验基地，基地计划分四步实施工业实验研究，最终实现减碳30%的目标。

2.5 第一步组织35%高富氧冶炼工艺流程试验研究（已完成）

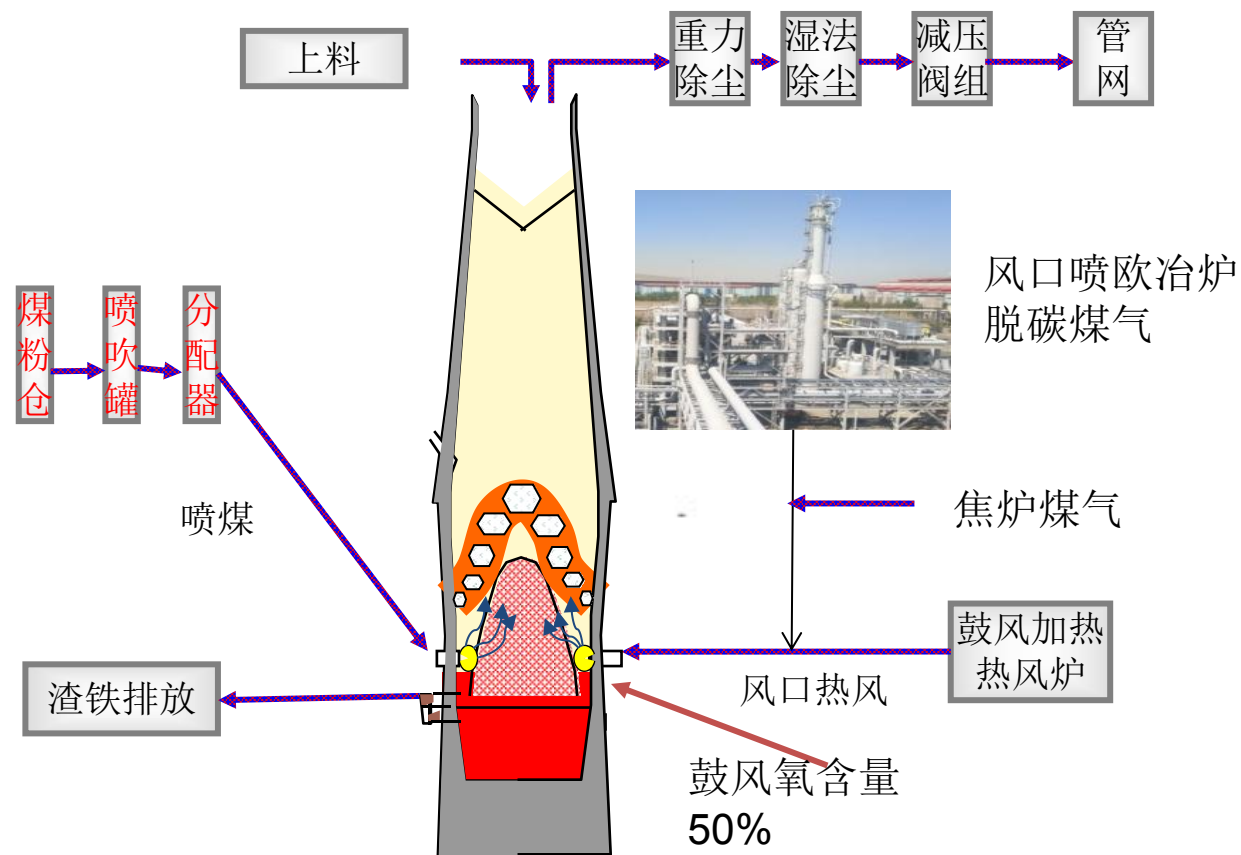
探索、实践、总结出高富氧冶炼技术，为后期更高目标富氧操作积累经验。



2、 宝武富氢碳循环高炉工艺路线研究

2.6 第二步组织引入欧冶炉脱碳煤气、焦炉煤气完成50%富氧目标工艺路线研究

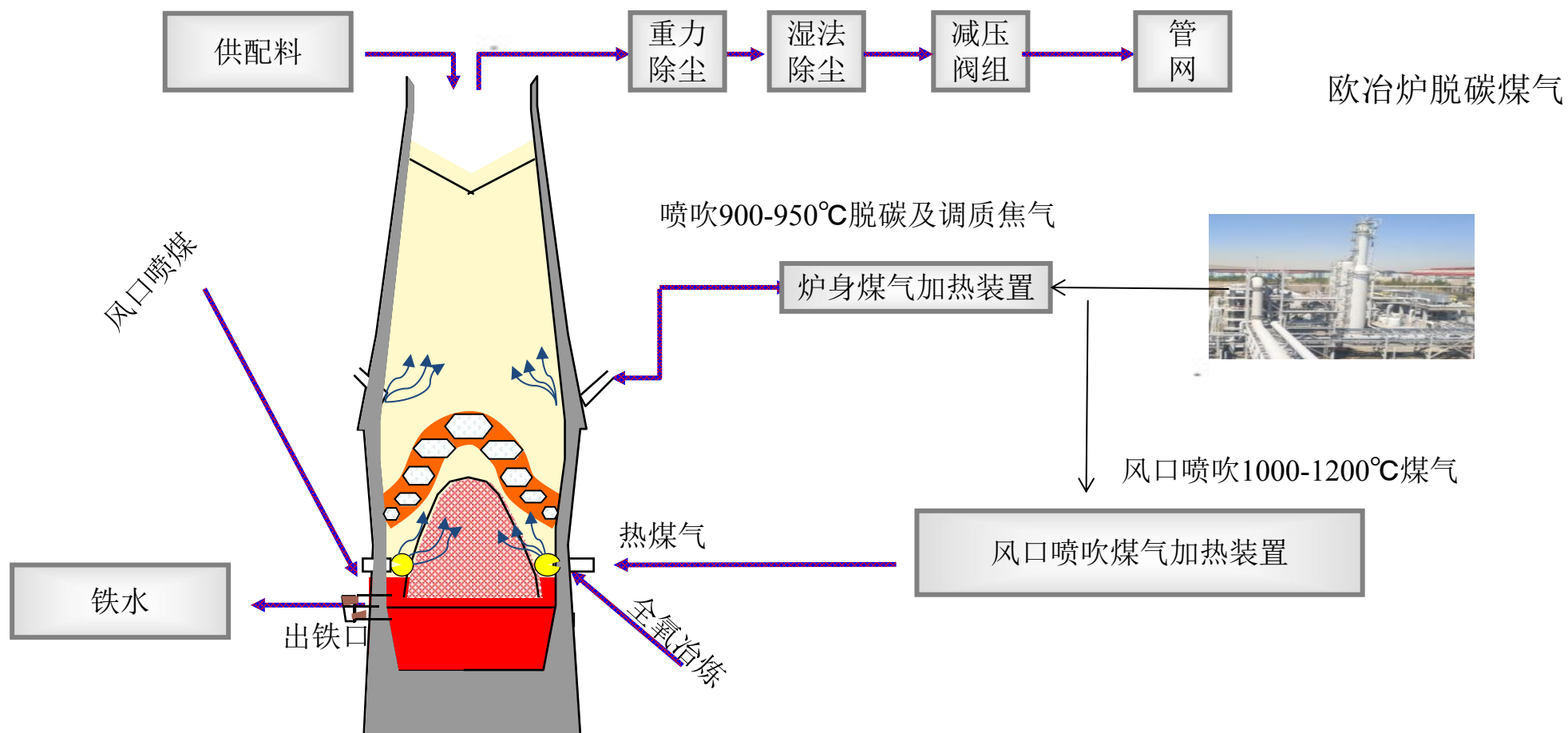
探索、实践、总结、验证出部分煤气循环及富氢冶金后的高富氧操作及减碳成效，为三期全氧煤气循环冶炼操作积累经验。实现减碳8-10%的目标



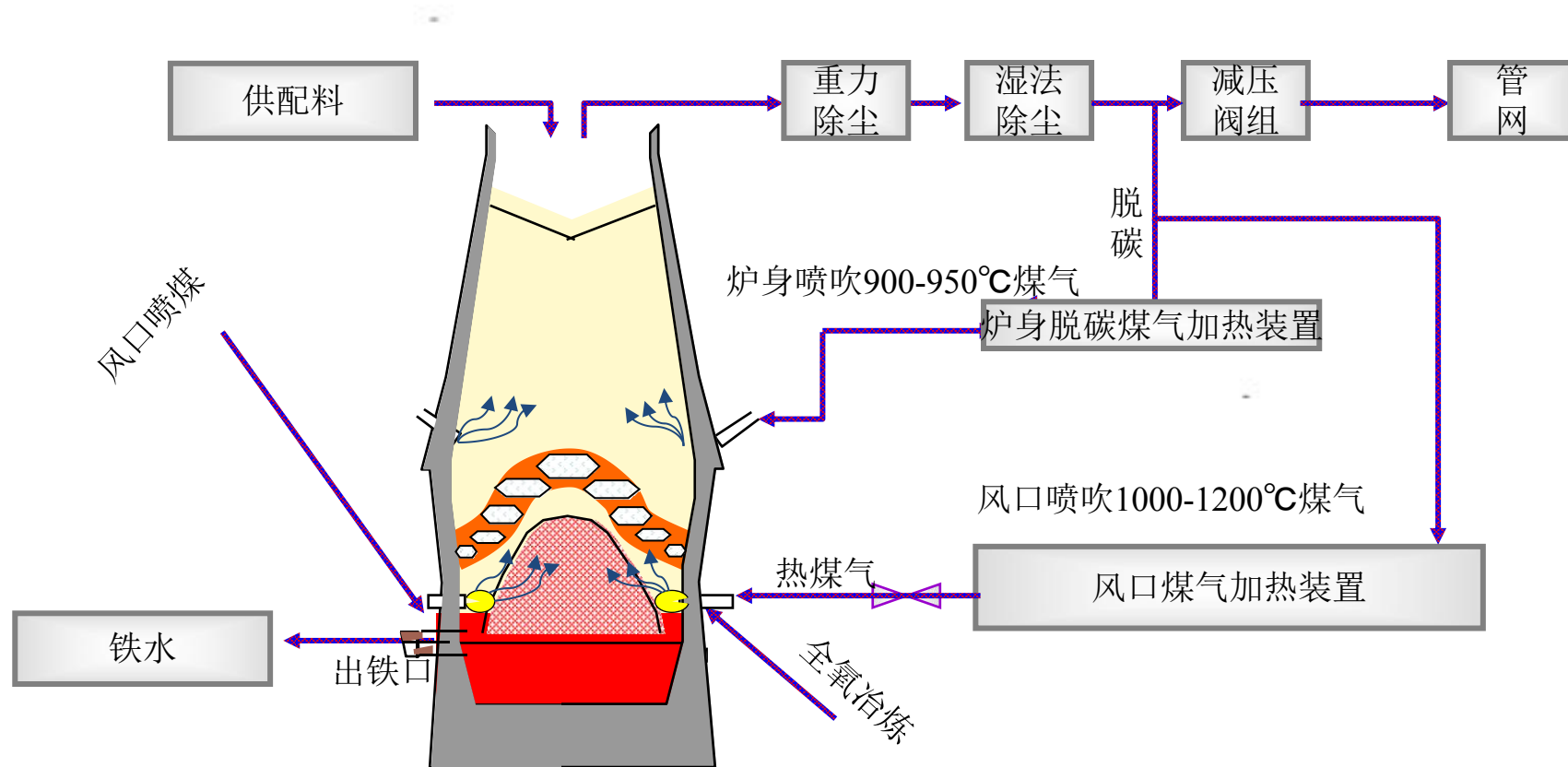
2、宝武富氢碳循环高炉工艺路线研究

2.7 第三步组织利用欧冶炉脱碳煤气、焦炉煤气，实现全氧冶炼目标工艺路线研究

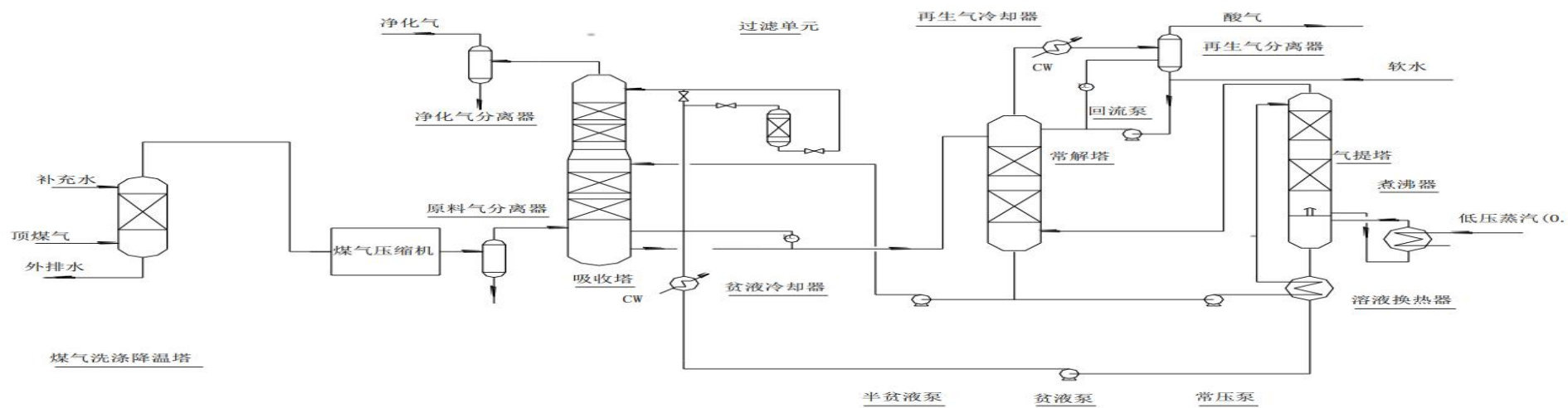
从工艺能力上实现**30%**的碳减排目标



2.7 第四步实施富氢碳循环高炉全氧冶炼工况下的煤气自循环工艺路线研究。 建立高炉减碳30%的示范产线。

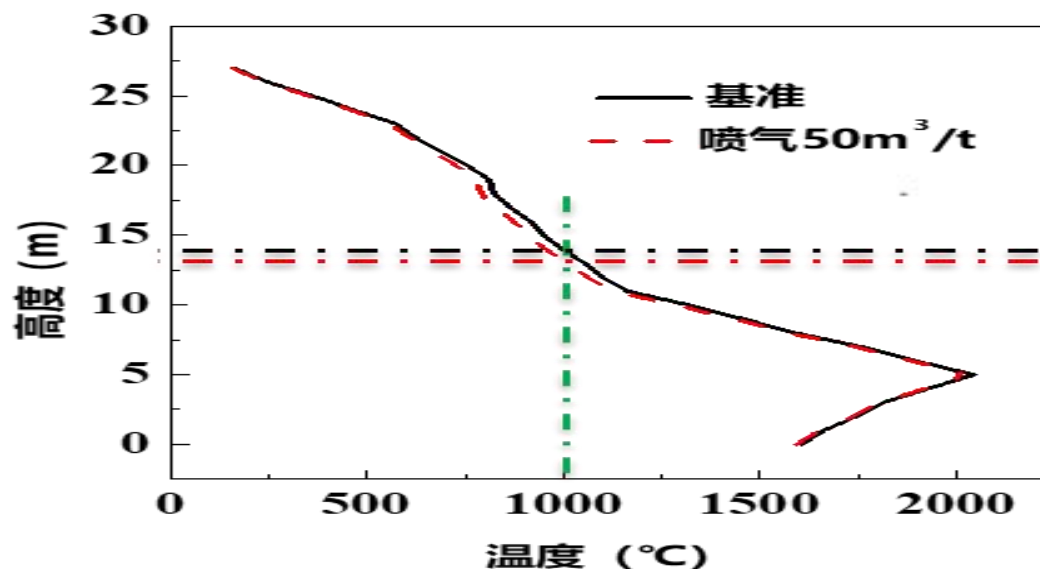
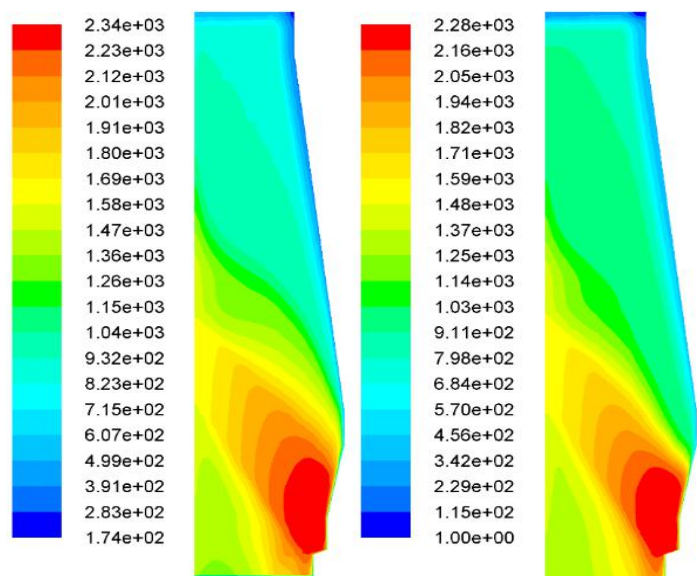


现今国内比较成熟的煤气分离技术有两种：①变压吸附式（PSA）煤气提纯技术；②醇胺法（NCMA），对比分析醇胺法更经济稳定。八钢欧冶炉已投入运行一套脱碳装置，目前运行工况良好。



2.9 高炉风口喷吹脱碳煤气技术研究

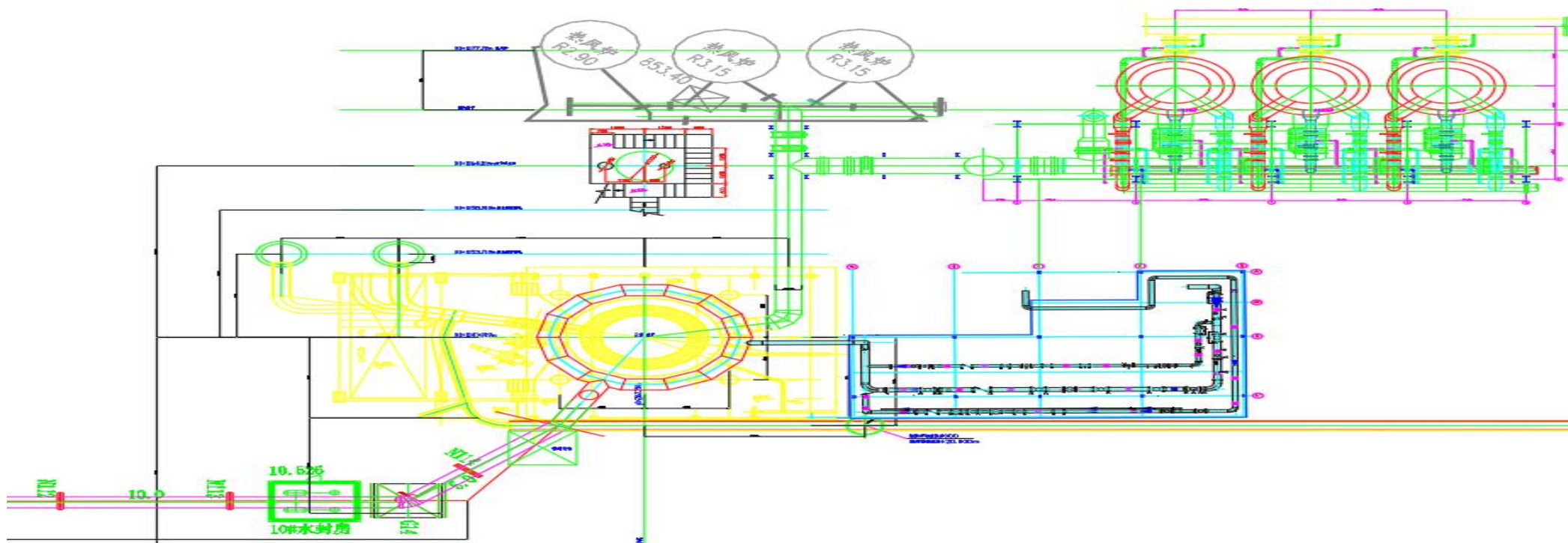
北科大课题研究团队对高炉风口喷气模型结果分析表明：喷吹煤气后炉内间接还原区扩大，有利于炉内间接还原的发展，喷气量每升高 $50\text{m}^3/\text{t}$ ，直接还原度降低约0.03，热损失盈余约 $223.02\text{MJ}/\text{min}$ ，可实现总节焦量为 $15.5\text{ kg}/\text{t}$ 。



2.10 高炉风口喷吹脱碳煤气技术研究

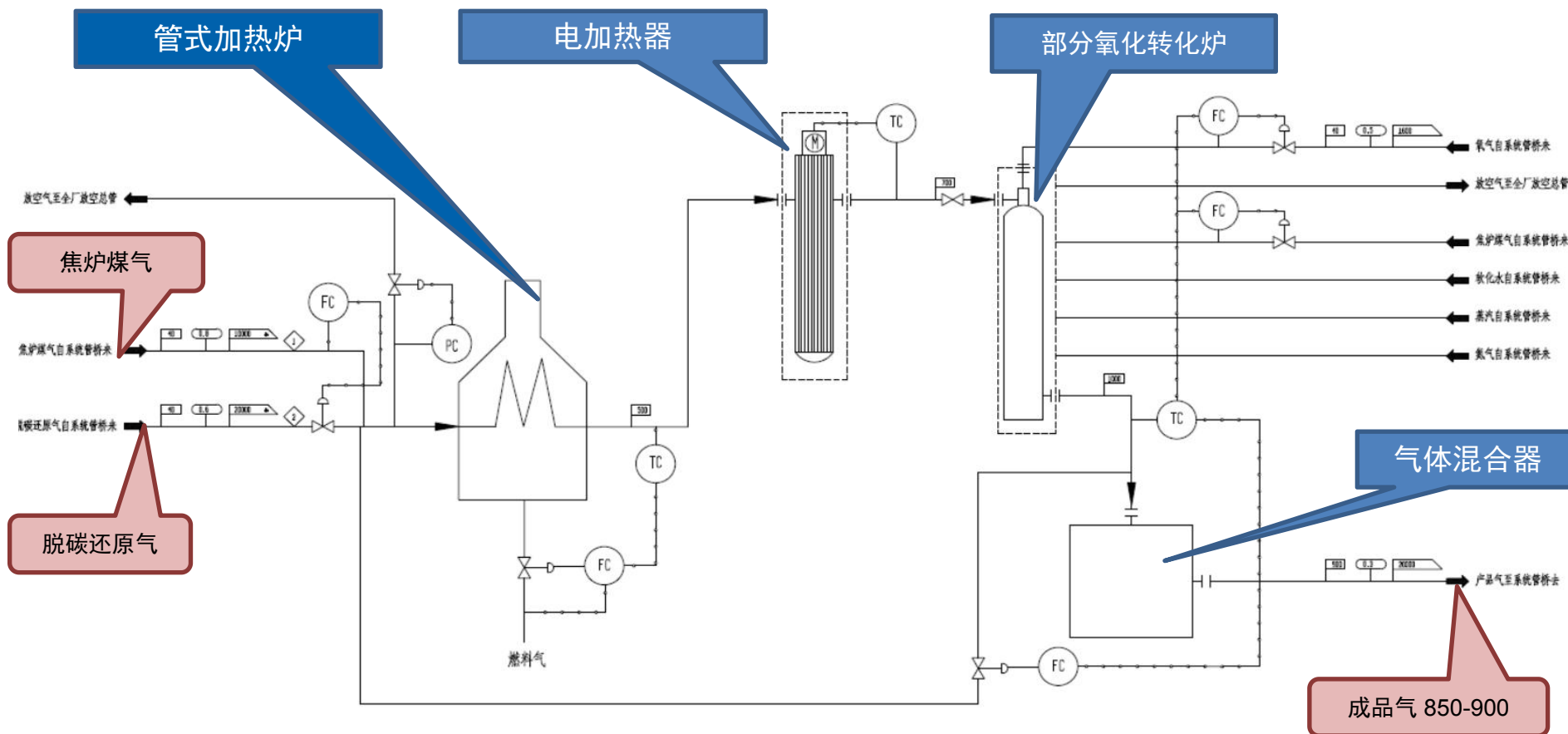
风口喷热煤气的加热工艺

与中钢公司合作研究开发3座特殊设计顶燃式热风炉，加热煤气后送往高炉热风管道系统，用于风口喷吹热煤气。原热风炉系统在试验前期也能送热风，可以根据试验需要实现热风与热煤气系统切换。



2、宝武富氢碳循环高炉工艺路线研究

炉身喷吹煤气加热工艺



Part
03

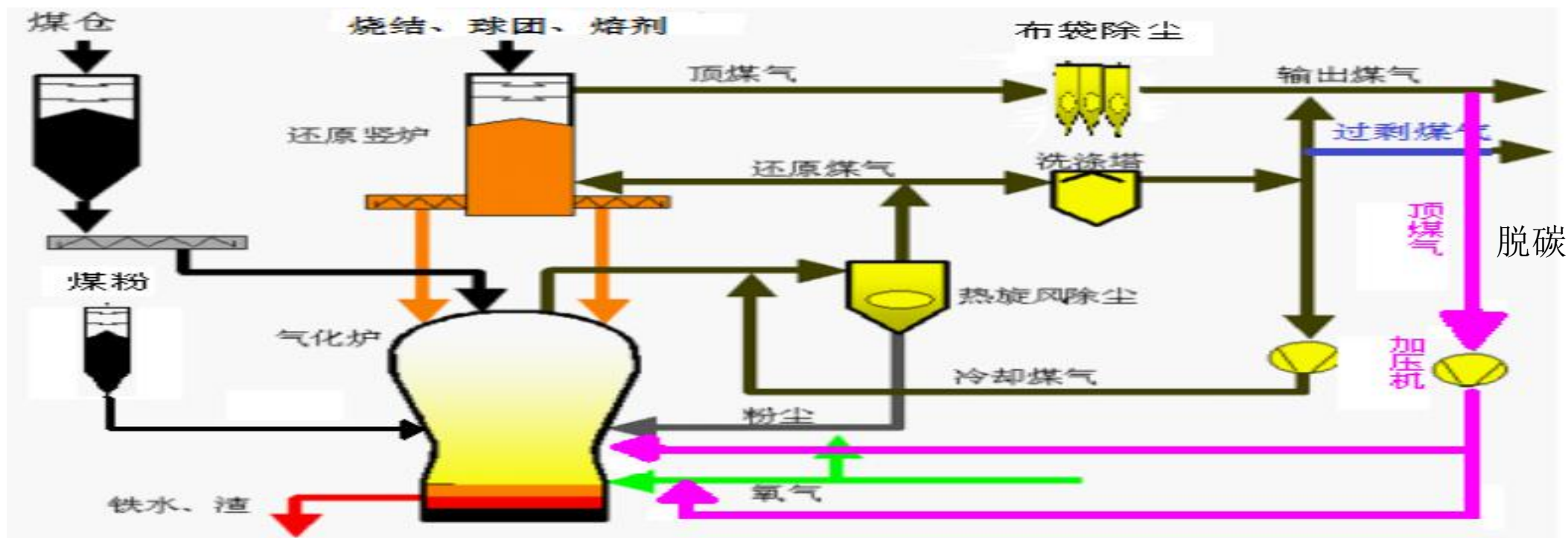
富氢碳循环炉工业试验



3、宝武富氢碳循环炉工业试验

3.1 全氧冶炼工艺——欧冶炉工艺的实践探索

八钢欧冶炉2015年落户八钢，在八钢及宝武工程技术及专家人共同努力下，先后与北京科技大学、华东理工大学、武汉科技大学、重庆大学等冶金、化工院校协同开发攻关，形成了独具特色的全氧冶炼工艺，目前欧冶炉已实现经济稳定运行，在顶煤气循环、废弃物处置及与高炉的耦合、经济炼铁已展示出了强大的竞争优势



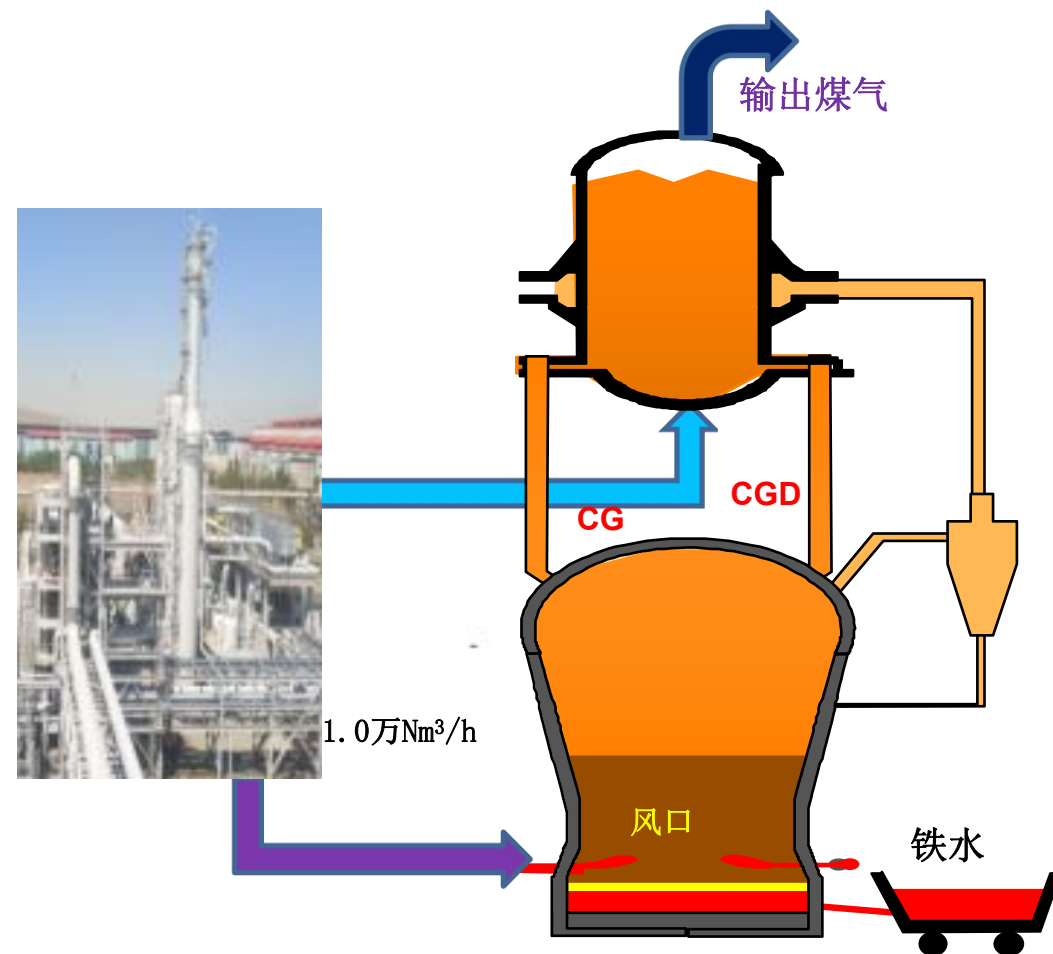
3、 宝武富氢碳循环炉工业试验

3.2 碳捕集工艺在八钢欧冶炉的实践

2020年7月4日炼铁工艺史上第一套顶煤气脱碳装置在八钢欧冶炉投入运行，目前装置运行平稳。脱碳煤气运行费用0.12元/m³ 左右。

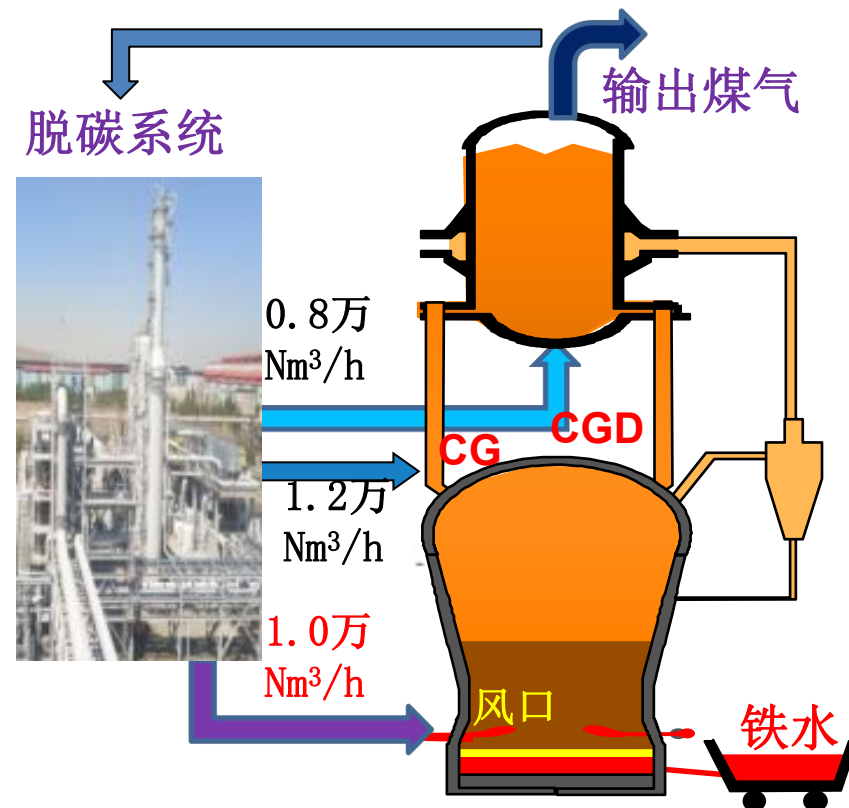
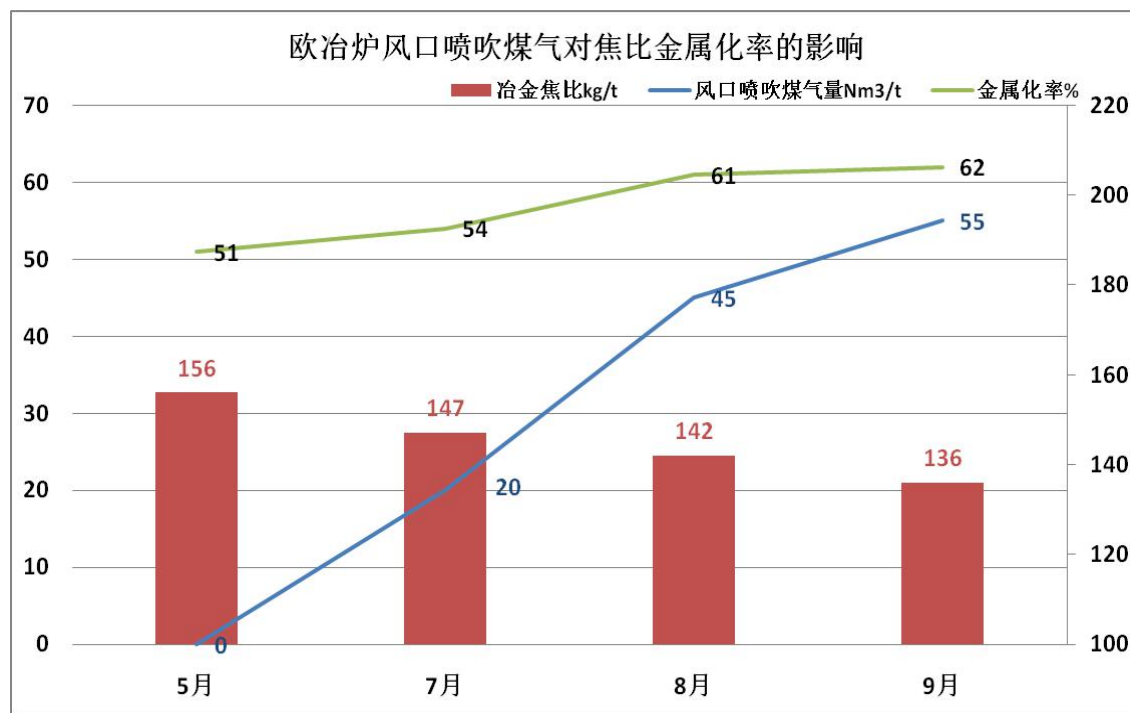
顶煤气成份：CO 37% H₂ 11% CO₂ 36%

脱碳后煤气：CO 74% H₂ 13% CO₂ 1%



3、宝武富氢碳循环炉工业试验

3.3 欧冶炉全氧冶炼脱碳煤气回用工业实验



◆脱碳后煤气：CO 74%，H₂ 13%，CO₂ 1%；

◆稳定喷吹煤气量，燃料比和焦比降低，金属化率升高，第一阶段风口喷吹燃料置换比约0.26kg/Nm³，第二阶段风口和拱顶同时喷吹时燃料置换比约0.36kg/Nm³。

3、宝武富氢碳循环高炉工业实验

3.4 宝武富氢碳循环高炉实验平台工程建设

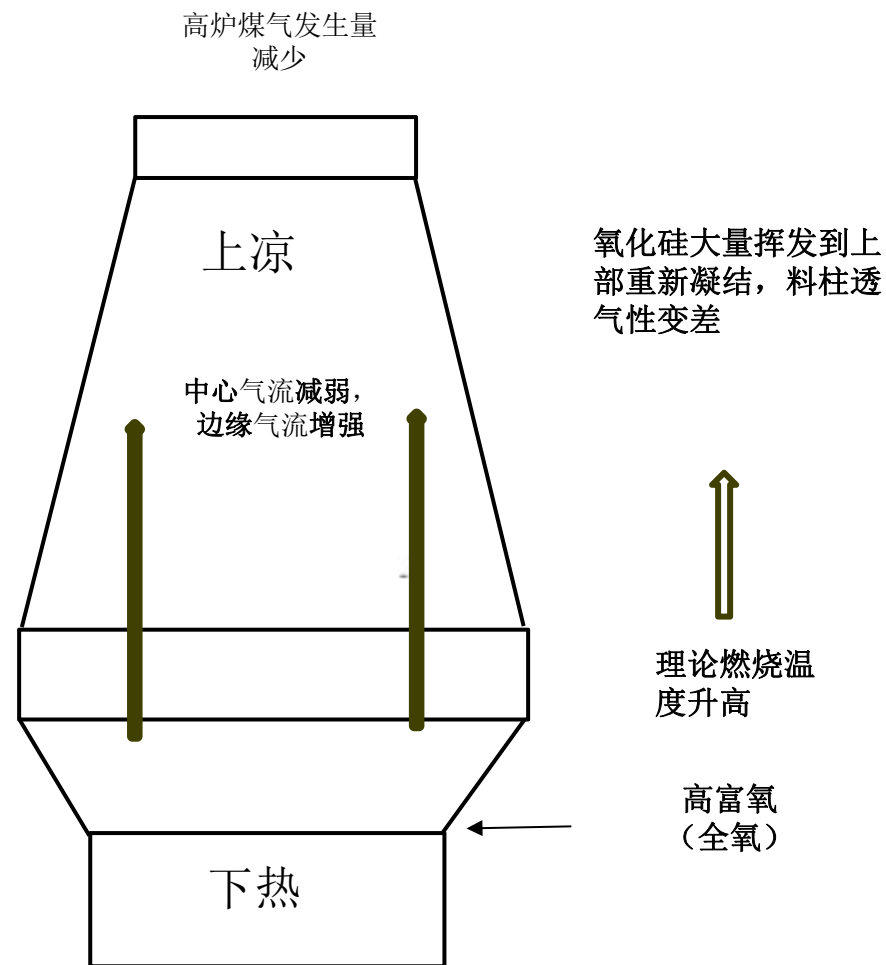
富氢碳循环高炉试验平台工程于2020年3月18日正式开工建设，克服疫情影响，历时百天，于2020年7月15日正式竣工点火开炉。开始一期工业实验。

历时百天，旧貌换新颜



3.5 碳循环氧气高炉冶炼技术难点和技术瓶颈

- 1) 炉内上凉下热。
- 2) 理论燃烧温度过高，高硅，顺行差。
- 3) 冶炼条件变化，中心弱，边缘气流强。
- 4) 极易发生滑料引起炉凉。



3.6 针对氧气高炉运行技术瓶颈可采取的技术应对措施

- 1) 增大喷煤量、调整加湿量降低理论燃烧温度。
- 2) 降低风口面积，保持合理的风速(220-260m/s)。
- 3) 降低渣铁在炉内的滞留时间，严格执行《定点出铁制度》。
- 4) 扩大矿批及增大布料带宽及增加中心焦量来稳定中心煤气流。
- 5) 建立崩滑料补热数据库及《炉凉操作规范》，为工长处理高炉炉凉提供技术指导。

3.8 富氢碳循环高炉一阶段工业实验实绩

- 1) 随着富氧率的提高，利用系数上升。富氧率提高1%，增加产量1.3%-4.5%，但当富氧率进一步提高，易导致高炉炉况不顺，增产效果从而逐渐降低。
- 2) 在富氧率提升过程中，炉况透气性较前期明显变差，炉况难行，通过高喷煤比、加湿下调TF值上限，可实现炉况顺行正常。
- 3) 提高富氧率攻关实践中，当富氧率达到6%时，燃料消耗达到最低，随着富氧率的提高，风口回旋区缩短，煤气流初始分布向边缘发展，煤气利用率逐步降低。燃料比上升。
- 4) 高富氧率下，高炉喷煤比可大幅度提高，本阶段试验35%的鼓风氧含量下，风口喷煤比240kg/t，实现了同类型高炉喷煤比的突破。

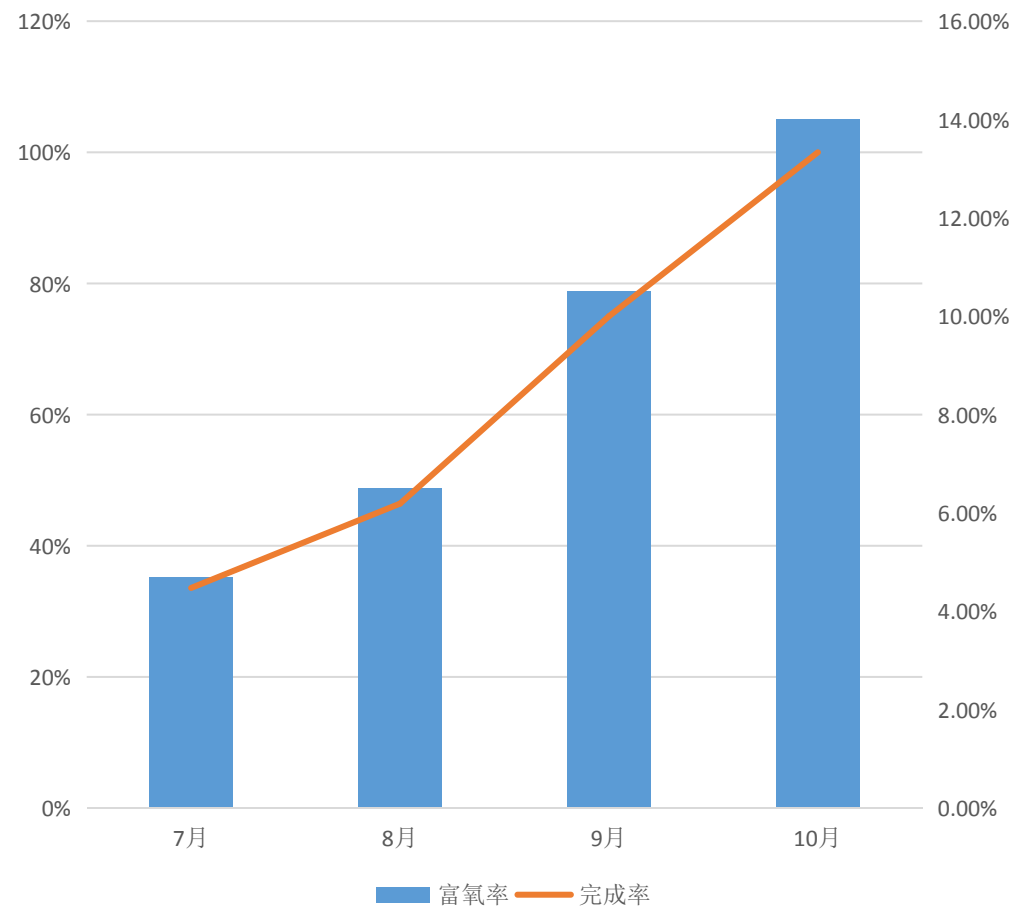
3、 宝武富氢碳循环高炉工业试验

3.7 完成一阶段工业实试任务

2020年10月中旬鼓风含氧达到35%，完成第一阶段的高富氧冶炼试验目标任务。



2020年度试验完成情况



Part

04

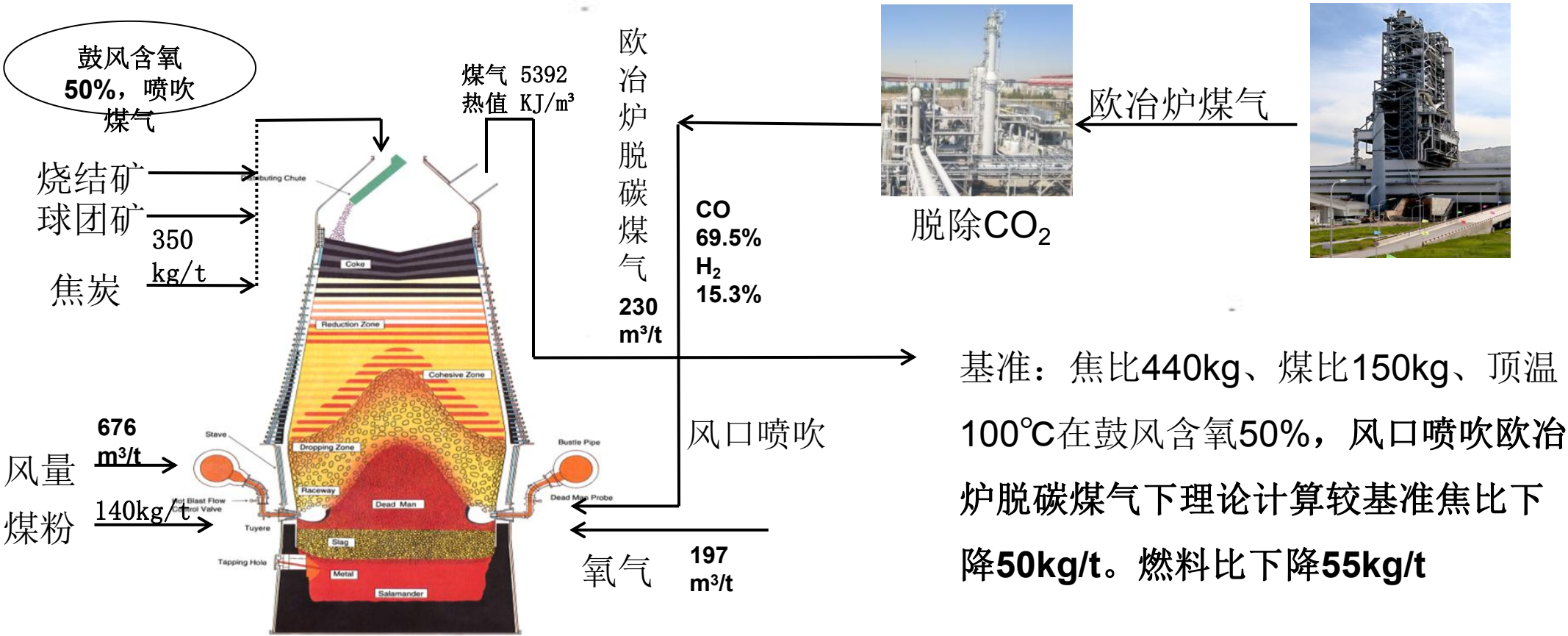
富氢碳循环高炉未来规划



4、碳循环高炉后期工业试验策划

4.1 2021年6月实现风口喷吹欧冶炉脱碳煤气

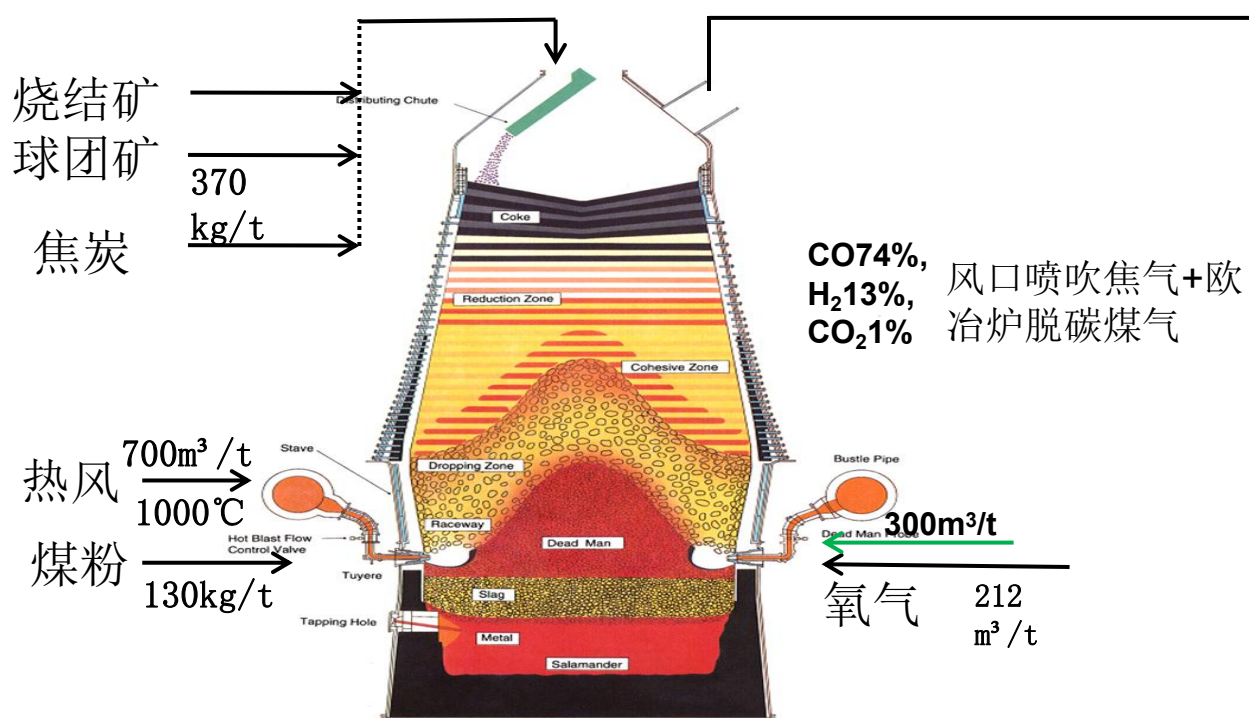
借助欧冶炉已投运的脱碳装置，完成试验平台部分煤气循环工业实验



4、碳循环高炉后期工业试验策划

4.2 2021年7月实现风口喷焦炉煤气+脱碳煤气完成富氢冶金工业实验,鼓风氧含量50%

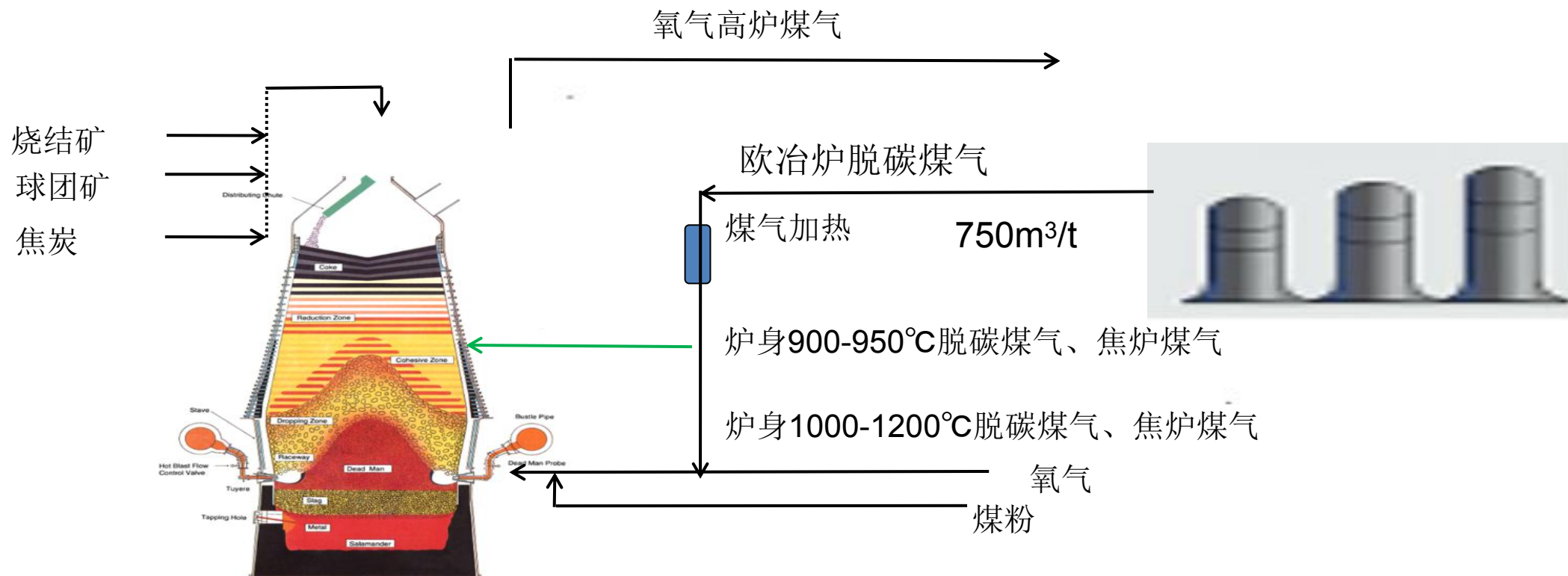
计划在7月初开始风口喷吹焦炉+脱碳煤气工业实验，风口喷吹焦炉煤气工程施工中。



基准：焦比440kg、煤比150kg、顶温100°C在鼓风含氧50%，风口喷吹欧冶炉脱碳煤气、焦炉煤气300m³/h,理论计算较基准焦比下降70kg/t。燃料比下降90kg/t

4.3 2022年实现风口、炉身喷吹脱碳加热煤气及焦炉调质煤气实现全氧冶炼目标

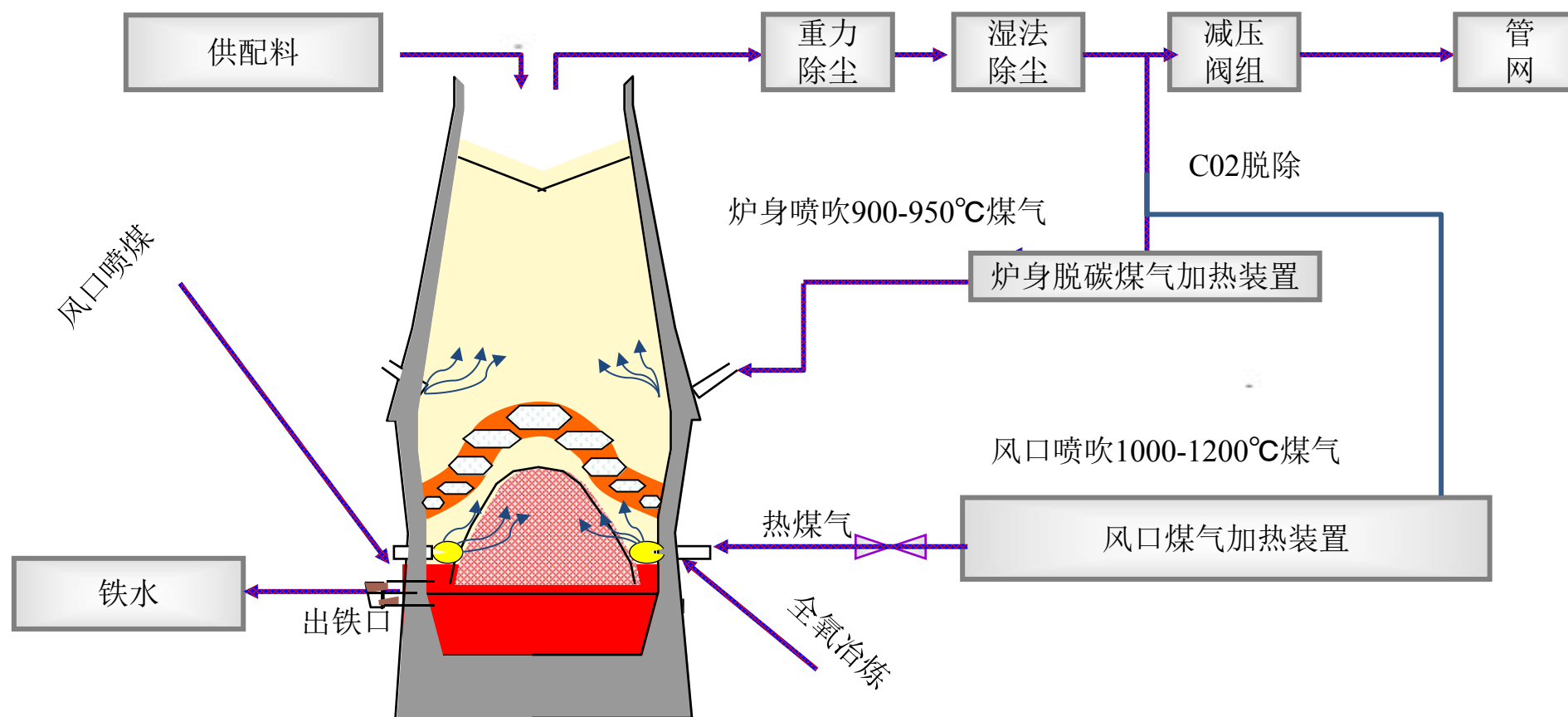
利用欧冶炉脱碳煤气,实现脱碳煤气加热、焦炉煤气调质后风口及炉身喷吹,达到全氧冶炼目标。



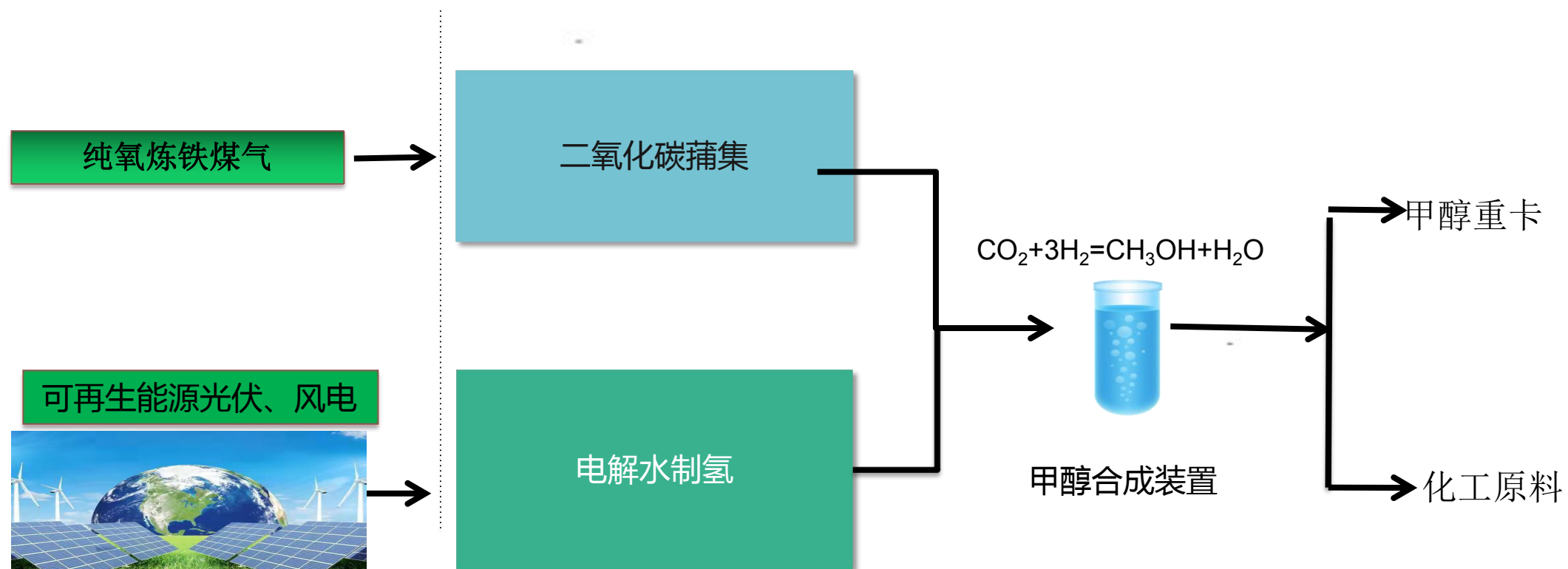
基准：焦比440kg、煤比150kg、顶温100°C在鼓风含氧100%，风口喷吹欧冶炉脱碳煤气、焦炉煤气750m³/h,理论计算较基准焦比下降120kg/t。燃料比下降180kg/t

4.4 2023年实现富氢碳循环高炉自身顶煤气循环

全氧冶炼、高炉煤气自循环，降低碳排放**30%**，形成低碳炼铁示范线。



4.5 低碳冶金实验创新项目（策划中）



结语

富氢碳循环高炉作为一个全新的炼铁工艺技术，需要从基本原理、装备、材料及操控系统进行全面研究与开发，降低碳排放是所有炼铁人义不容辞的责任，诚恳邀请炼铁同仁一起协同，为实现绿色、低碳的炼铁新工艺而努力。



汇报完毕 感谢聆听

