

绿色低碳钢铁冶金全国重点实验室
State Key Laboratory of Advanced Metallurgy

培育发展新质生产力 赋能行业绿色低碳转型

——绿色低碳钢铁冶金全国重点实验室战略重组与使命

钢铁行业是国民经济的重要基础产业，是建设现代化强国的重要支撑，也是我国制造业二氧化碳排放的重点行业。绿色低碳钢铁冶金全国重点实验室前身为钢铁冶金新技术国家重点实验室，依托北京科技大学于2011年经科学技术部批准成立。2022年，以国家战略需求为导向，圆满完成国家重点实验室重组任务，更名为绿色低碳钢铁冶金全国重点实验室，成为首批进入新序列运行的国家重点实验室。为此，世界金属导报系统梳理了实验室的最新技术进展，组织系列专题，加大成果宣传、服务成果转化，助力我国钢铁行业绿色低碳转型发展。

1 前言

实现碳达峰碳中和，是以习近平同志为核心的党中央统筹国内国际两个大局作出的重大战略决策。温室气体持续大量排放带来的全球变暖问题已成为自然生态平衡和人类社会发展的主要威胁之一。钢铁、化工等流程制造业在提供基础原材料的同时，排放了大量CO₂。据统计，流程制造业直接排放总量占全国总排放的40%以上，间接排放总量约占全国总排放量的50%（包括电力CO₂排放）。流程制造业减碳是实现国家“双碳”战略目标的迫切需求和主要抓手，其中钢铁工业碳排放占比大，推动钢铁工业低碳转型意义重大。加快在新工艺开发、新能源应用、新流程再造等方面技术突破，扎实推进绿色低碳转型，是我国钢铁工业高质量发展的必然选择，也是实现国家“双碳”战略目标的重要支撑。

2 战略定位

习近平总书记在给北京科技大学老教授的重要回信中作出重要指示，“促进钢铁产业创新发展、绿色低碳发展，为铸就科技强国、制造强国的钢铁脊梁作出新的更大的贡献。”实验室重组前以冶金学科引领为导向，围绕高温多元多相复杂反应体系物质与能量的转化规律这一关键科学问题，开展基础理论研究，促进钢铁生产的资源高效利用、能源高效转化、产品高效生产。重组后将聚焦超低碳排放钢铁流程再造，开展应用

基础研究，以创新高地、人才高地、行业引领基地为建设目标，革新钢铁制造流程低碳技术，服务国家重大战略需求。

实验室将建成世界一流钢铁冶金流程制造工业科学研究、高端人才培养和国际学术交流的高水平基地，汇聚和培养一批具有国际重要影响力的战略科学家和领军人才，形成国际一流的绿色低碳冶金科学家团队，引领绿色低碳钢铁冶金技术研究，带动全行业发展，为实现国家“双碳”战略目标提供基础理论与核心技术支撑。

3 发展目标与重点任务

基于实验室在低碳钢铁冶金领域的前期布局和重组以来科研攻关进展情况，图1和图2分别列出了实验室低碳钢铁冶金流程再造技术路线和分阶段发展目标。

实验室将按照既定的绿色低碳钢铁流程再造时间表和路线图，围绕低碳钢铁冶金前沿技术持续深耕，高质量完成各阶段预期目标。

聚焦超低碳排放钢铁流程再造，围绕绿色低碳钢铁冶金基础理论-关键技术与装备-能源重构与流程再造全链条，

规划传统碳热钢铁冶金流程低碳技术与装备、近零碳排放冶金新技术与关键装备、资源绿色利用与过程污染控制、超低碳排放钢铁流程再造四大重点研究任务，实现冶金科学基础-工序装备-流程运行多层次协同创新，成为绿色低碳钢铁冶金流程再造理论与技术的策源地，推动我国钢铁工业转型升级和绿色低碳高质量发展。

4 队伍建设与人才培养

实验室高度重视人才队伍建设，引育并举，打造高水平科研队伍。实验室主任朱荣教授，中国金属学会会士，长期致力于绿色低碳钢铁冶金技术的研究工作，多次获国家科学技术进步奖等荣誉。实验室拥有国家级冶金领军人才，周国治、蔡美峰、岳清瑞、吴爱祥等院士，对实验室的建设起到了中流砥柱作用，为推动我国钢铁工业进入世界前列做出重要贡献。实验室形成了以院士为学术带头人，杰青、万人领军人才为重要力量，四青等青年骨干科技人才为主力的科研创新团队，拥有1个冶金工程“全国高校黄大年式教师团队”和1个“绿色与智能冶金创新引智基地”。实验室重组后人员达到166人，其中科研人员占比90.4%，实验技术人员占比6.6%，科研管理人员占比3.6%。拥有两院院士4人，外籍院士1人，入选国家级领军人才项目22人，入选国家优秀青年人才项目25人，其中2022-2024年培养中国工程院院士1人，国家级领军人才5人，国家万人计划教学名师1人，国家四青人才8人，涵盖了冶金工程、材料科学、环境工程等多个领域，形成了一个交叉融合、专业齐备的团队。

实验室还聘请来自美、欧、日、墨等国家或地区国际知名专家为客座教授或固定工作人员，为国际化科研项目合作和人才培养提供了坚实的基础。

5 成果与贡献

实验室围绕钢铁冶金绿色化和低碳化的重点任务，承担各类科研项目总计700余项，累计科研合同总经费约8亿元，其中承担国家重大专项计划3项，国家重点研发计划国际合作重点项目1项，国家重点研发计划青年科学家项目2项，国家自然科学基金重大和重点项目6项，北京高校卓越青年科学家计划项目1项，承担国家战略科技任务的能力显著提高。实验室与企业联合研发关键技术和装备，在绿色低碳冶金领域千万以上合同4项，百万以上合同共计62项。2022-2024年，牵头“高炉富氢冶炼理论基础与关键技术开发”“近零碳排放电炉炼钢工艺研究”等中国宝武低碳基金17个项目，承担了1/3的全球低碳冶金创新联盟低碳冶金创新基金项目，牵头“基于氢基直接还原电炉短流程的高端绿色汽车板生产关键技术提升技术与经济煤比研究”等2024年河钢集团“揭榜挂帅”项目11项，为推进我国钢铁工业绿色低碳发展进程提供强大源动力。

实验室产出高水平教育科研成果，助力钢铁冶金领域高质量发展。自“十三五”以来，实验室获国家奖6项，其中2024年实验室牵头“基于二氧化碳资源化利用的绿色洁

净炼钢技术及应用”荣获国家科学技术进步奖二等奖。同时，实验室牵头荣获国家级教学成果奖二等奖2项，以“信息物理系统融合的钢铁制造流程智能化研发及应用”获得冶金科学技术奖特等奖为代表的省部级奖励38项。此外，在Angew、PNAS、Science Advances等国际顶级期刊发表系列高水平论文。2人次入选科睿唯安公布的2023年度“全球高被引科学家”名单，8人人选爱思唯尔2023年度“中国高被引学者”名单。

6 平台建设与合作

实验室首批加入国家科技基础条件平台和首都科技条件平台，将资源优势转化为创新发展优势。科研及办公用地面积扩大至约30000m²，仪器设备总价值约3.6亿元，其中重组后新增1.2亿元，单价百万以上设备40台/套，涵盖绿色低碳钢铁冶金、资源循环利用、污染物控制等方向检测、制备加工与分析表征的先进仪器设备。

实验室创办的“冶金创新国际论坛”已成为颇具国际影响力的学术交流平台。实验室设有冶金大讲堂，邀请海外知名学者讲学、交流。实验室与企业开展深度合作。2022-2024年，与地方人民政府、企事业单位共同签署战略合作协议或建立联合研发中心9个。实验室充分发挥育人作用，多次与中国钢铁工业协会、首钢等单位联合举办创新人才培训。

下转 B03 版

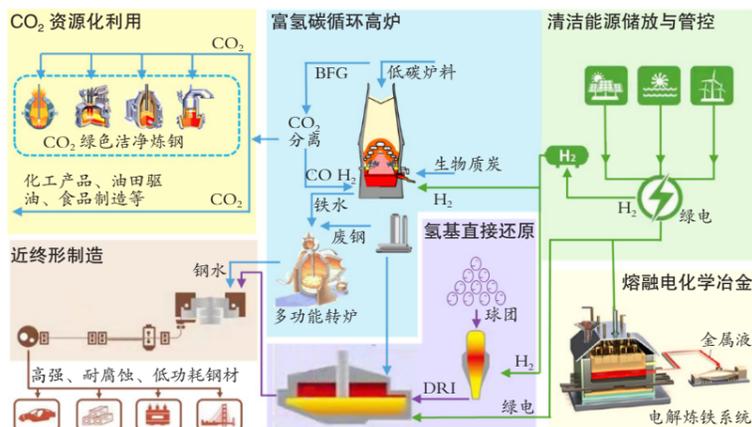


图1 实验室低碳钢铁冶金流程再造技术路线

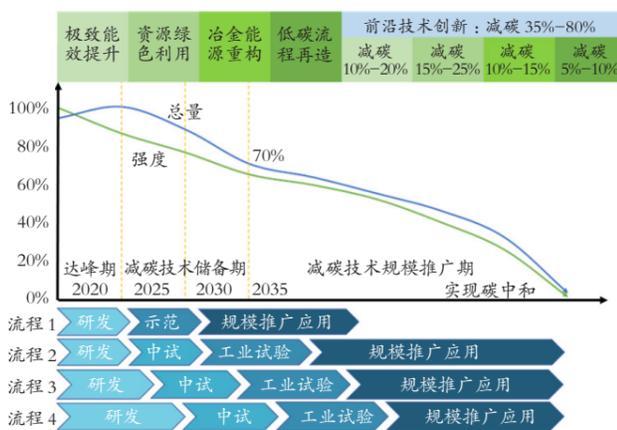


图2 实验室低碳钢铁冶金流程再造分阶段发展目标

新型敞开浇铸无辐射性钢水液面控制技术

1 前言

众所周知，结晶器内钢水液面的稳定是生产高质量钢材的主要因素之一。许多质量问题都与结晶器弯月面区域的水平波动和弯月面发生的种种事件相关。第一层初生坯壳的形成是连铸过程的关键步骤，因为它直接影响连铸坯缺陷的发生。此外，不稳定的钢液面可能导致缺陷、漏钢和溢出。因此，在结晶器中保持稳定的弯月面是铸坯质量和产能提升的关键因素。

辐射式和电磁式液位计是目前应用最广泛的液位控制系统，可能的替代方案包括热电偶（TC）和光纤（OF）。然而，所有这些解决方案在安装和维护方面都存在很大的局限性。一方面，TC和OF需要侵入式安装，因此探针必须通过昂贵的加工将其粘到铜管/板中；另一方面，辐射测量系统意味着与辐射源处理和处置有关的严格安全管理。此外，测



图1 ULD在水套中的安装方式



图2 ULD 电缆出口位置

量与温度相关的铜阻抗变化的电磁传感器通常具有有限的测量范围和复杂的校准程序。

为了解决这些限制性问题，Ergolines公司开发了一种基于超声波技术（UT-LEVEL）的无辐射性系统，用于敞开浇铸的钢水液面控制。该系统的主要组件是超声波液位检测器（ULD）。因为该系统可直接安装在水套中，不需要将任何探头嵌入铜管中，故该系统不需要任何侵入破坏性加工。除了完全无辐射性外，该系统还有一个额外的价值，即可以提供弯月面处的实时“热温度剖面”。经现场验证，该系统是一项成熟的技术，是一种可靠的替代辐射式液位计、用于敞开浇铸的钢水液面控制技术。

2 ULD 安装方式

在连续浇铸小方坯和大方坯的条件下，ULD 安装在水套中，如图1所示。传统传感器安装在水套或背板中，该方式可以将加工工作量减少到最低限度。基于超声波技术，ULD 不直接与铜接触，即不需要将探头嵌入铜中，不用进

行昂贵的侵入性加工，这是区别于TC和OF的地方。ULD的安装方式为：在结晶器筒体上开一个孔作为电缆出口，在孔周围焊接一个特殊的法兰，用克林格垫圈密封传感器连接部件，如图2所示。

3 系统工作原理

ULD 测量的是铜管在弯月面区域的“热温度剖面”，即在传感器前方沿着铜管的热温度分布。其测量方法如下，传感器产生多束超声波，这些超声波光束穿过近层水区域，传播到铜管壁，最终被传感器接收回来。由于铜管中的超声波速度取决于介质的热状态，因此对超声波信号进行专门的信号处理可以计算传感器前方铜管区域的局部热温度分布，从而得出热温度剖面。通过专有算法，从热剖面的形状中提取弯月面位置，从而实现钢水液面的控制。

与TC和OF相比，UT-LEVEL的一个显著优势是零“探针热化延迟”。由于TC和OF探针被粘接在铜管中，探头与附近的铜体一起热化需要一定的时间，导致探头与周围

的铜体达到热平衡时相应的响应延迟。而ULD传感器直接在铜内部传播，因此没有探针嵌入到铜管中，从而实现零热化延迟。此外，TC只能看到探头位置的铜体温度，这是铜管壁的内部温度，不能直接接触到铜管内壁表面的钢液。随着热电偶离热表面的距离的增加，热电偶检测温度波动的能力会降低。与TC的另一个区别是，ULD传感器检测整个铜体附近的平均温度，包括与钢液接触的铜管热面，响应时间更快。

4 现场应用效果

现场应用数据展示了传统辐射性钢水液面控制系统与UT-LEVEL系统的比较结果，如图3所示。矩形坯尺寸为160mm×200mm。红线表示传感器在10Hz采样频率下测量的钢水液面。自动浇铸开始后，由于引锭杆头部离开结晶器下口，钢水液面下降，此时钢水液面水平线达到设定值。数据表明，两种系统的动力学是相同的。

钢水液面位置由传感器控制，通过改变水口直径，观察

瞬态条件下ULD与辐射式传感器给出的信号，结果如图4所示。红线是ULD测量的钢水液面位置。数据清楚地显示了应用UT-LEVEL系统的钢水液面控制的鲁棒性，该传感器的响应与辐射式传感器的响应相当。

5 系统其他优势

该系统其他优势如下：

- 1) 无需在每次连铸作业前进行全层校准，节省时间和人员工作量。
- 2) 无需储存和管理辐射源，节省成本、时间，保障人员安全。
- 3) 热温度剖面可用于测试不同钢种和不同连铸拉速下的润滑效果。

6 结论

本文介绍了一种结晶器保护渣润滑敞开浇铸钢水液面控制系统的运行情况和效果。该系统完全无辐射性和无接触点，降低了对结晶器的加工要求。现场数据验证了该技术的成熟度和可靠性，证明了该系统在敞开浇铸中是替代辐射式传感器进行钢水液面控制的可靠选择。

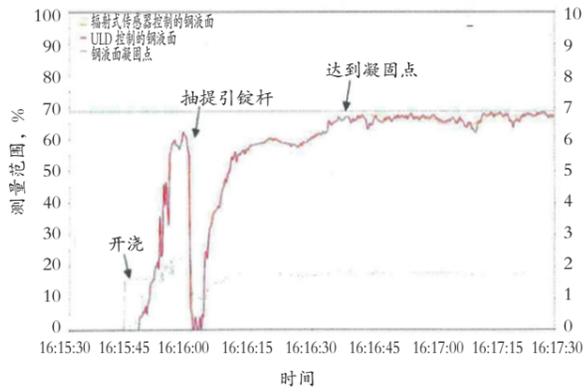


图3 ULD与辐射式传感器的应用结果对比

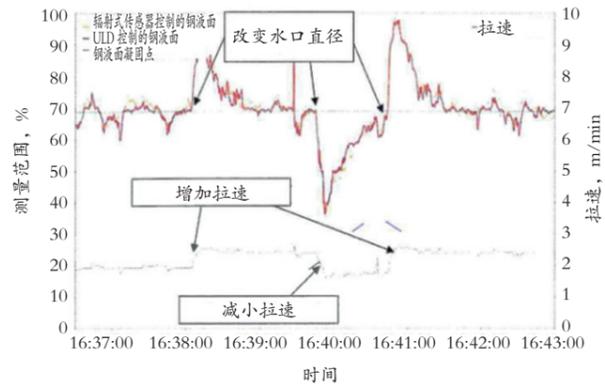


图4 ULD与辐射式传感器瞬态条件下的应用结果对比

上接 B02 版

7 运行管理体制机制

按照“开放、流动、联合、竞争”的运行管理机制，坚持以高标准建设先进实验室。实验室实行主任负责制（见图

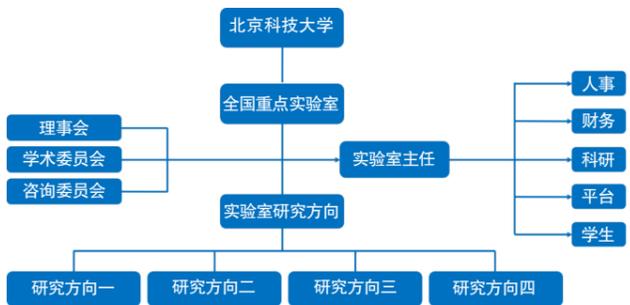


图3 实验室组织管理框架图

3)，负责实验室的总体运行，制定发展计划，组织实施研究计划和运行计划。实验室下设4大研究方向，突破学科、行业壁垒，构建点面结合、交叉协同的研究集群，形成目标统一、多头驱动的融通发展态势。

实验室重组后成立第一届学术委员会，由干勇院士担任主任，在实验室学术思想凝练、研究任务提炼等方面发挥了重要指导作用；第一届咨询委员会由殷瑞钰院士担任主任，邀请国内行业院士专家、企业家组成，为实验室未来发展规划及建设提出宝贵咨询建议；第一届理事会由校长担任理事长，主管科研副校长担任副理事长，统筹实验室体系建设。

8 未来规划

“绿色发展是高质量发展的底色，新质生产力本身就是绿色生产力。”实验室正以创新高地、人才高地、行业引领基地为建设目标，对四大研究

方向协同发力，为加快推动钢铁冶金领域全面绿色转型、培育发展新质生产力提供新动能，贡献北科力量。

1) 以“统筹推进教育科技人才体制机制一体改革”为方向，实现“科技创新、人才培养、学科发展“三位一体”，设立专项基金，加强年轻骨干教师培养，加快绿色低碳海外人才引进，推动大师级科学家不断涌现。

2) 未来将与宝武集团、河钢集团、首钢集团、建龙集团等大型钢铁企业深度合作研发关键生产工艺技术及产业化应用，推动实验室与科技领军企业共建联合研究机构的产学

研深度融合，搭建国际领先的科研平台。

3) 依托重点研究任务，鼓励以实验室牵头的校企联合技术攻关，设立“绿色低碳高峰计划”，重点布局低碳炼铁技术与装备、低碳钢铁材料、电冶金与电化学冶金、资源绿色高效利用、冶金过程污染控制、绿色低碳智能化六个绿色低碳研究内容。

4) 以公共实验室为基础，通过逐步改造及适配设备，研发专用设备，试制专用仪器，参与重大项目仪器开发，长周期测试设备等，打造满足绿色低碳研究需求的专业实验室。

（刘锦周 张娟）