DOI: 10.3969/j.issn.1000-6826.2024.01.1201

提高连铸坯入炉温度改造实践

Practice of Improving the Temperature of Continuous Casting Billets Entering the Furnace

供稿|谭杜 / TAN Du

内容导读

连铸坯作为轧钢轧制的原料，表面温度越高，加热炉的加热耗能成本则会越低，因此提高铸坯入炉温度对整个轧制过程的节能降耗至关重要。目前阳春新钢炼钢与轧钢之间的钢坯一般通过辊道、过跨车或者汽车 3 种方式进行输送。其中铸坯主要以经济、高效的辊道热送为主，此方式可以利用连铸坯本身的物理热进行轧制，不仅减少了燃料消耗和污染物的排放，而且还节省了加热炉维护的成本。但若需进一步提高铸坯表面温度，则辊道运输速度、距离、设备功率等均会影响铸坯表面温度的提高，本文通过相关改造措施，实现了铸坯入炉温度提升和加热炉煤气消耗减少。

背景现状

在钢铁行业中，铸坯加热耗能占据轧钢工序总能耗的 70% 以上，主要产生于加热炉的加热工序中。因此，加热炉的节能对于整个轧制过程的能耗节约至关重要[1]。2008 年 1 月阳春新钢铁有限责任公司在炼钢厂与轧钢厂拟建设热送热装工程，并于 2010 年 4 月实现了连铸坯热送热装，2011 年热装率已达到 39.29%，铸坯入炉温度平均达到 600 ℃。到 2022 年，热装率维持在 60% 左右的水平，铸坯入炉温度平均为 740 ℃，但随着钢铁行业降本增效及公司战略方针变化，为了推动其炼钢—连铸—热轧生产的一体化，加速钢铁生产向连续化、低成本和高质量方向发展的步伐，同时为进一步节能降耗及配合公司 150 kW 发电机组煤气所需求，阳春新钢铁有限责任公司炼钢厂、轧钢厂对提升连铸坯入炉温度进行攻关，实现煤气用量的节约。改造涉及生产管理、工艺技术和设备改造等诸多方面，难度较大。为实现较高的铸坯表面温度及减少铸坯在输送过程中造成温度损失，需要通过相关措施进行改造：（1）通过优化移坯车操作方式，减少铸坯等待过程温降；（2）优化连铸冷却制度，在保证铸坯质量的前提下，减少铸坯冷却水量，降低铸坯表面温度损失；（3）通过信息化、自动化技术的结合，实时获取轧钢厂对铸坯的需求状态，炼钢厂根据需求状态安排铸坯热送或者安排铸坯下线并进行堆垛；（4）通过缩短轧钢与炼钢之间的距离，使铸坯以最快速度到达轧钢；（5）在设备安全系数保障的前提下，提高设备运行速度，从而实现铸坯运行速率的提升。

具体改造措施

优化移坯车操作方式

铸坯经火切机切割后到达出坯辊道，再由翻钢

作者单位：阳春新钢铁有限责任公司，广东　阳春　529600

机翻起至推坯滑条上，再由移坯车将推坯滑条上的铸坯送至轧钢，具体流程见图 1

目前移坯车推坯的数量主要根据生产节奏和岗位的操作习惯而定，正常操作以推 4 支/组为主，但铸坯一直在等待，过程热量损失大[2]，不能及时将铸坯送至轧钢入炉，故通过对移坯车推坯方式优化，将目前移坯车推坯方式 4 支/组改为 3 支/组后，具体数据见表 1。

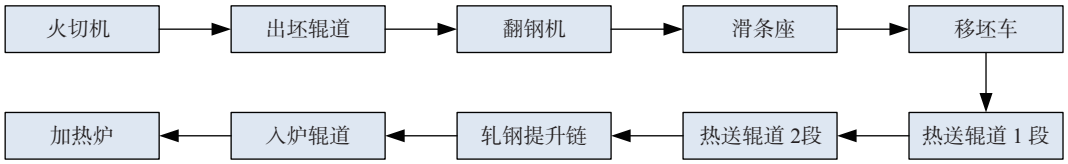

图 1　铸坯入炉流程图

表 1　不同方式试验数据对比

推坯方式	平均拉速/(m/min)	翻钢温度/℃	轧钢入炉温度/℃	翻钢至入炉时长/min
3支/组	4.4	882	836	5.80
4支/组	4.4	885	800	6.51

通过以上数据，可看出在同等拉速情况下，3 支/组运行方式比 4 支/组轧钢入炉温度提高 36 ℃，同时翻钢机至入炉时间缩短 0.71 min。说明了此种推坯方式，减少了移坯车等待组坯时间，可缩短炼钢至轧钢之间运行时间，铸坯温度明显提升[3]。

自动化程序在移坯车上应用

移坯车定位判断

（1）在移坯车传动轴增加一个增量型编码器，根据齿轮齿顶圆周长结合编码器发出信号次数来计算出移坯车所在位置。

（2）移坯车在等待位时定位为零，当移坯车开始前进时编码器开始增加计数[4]，设置对应数值为 S1、S2、S3、S4、S5 位置（图 2），以实现移坯车停在设定的流次位置。

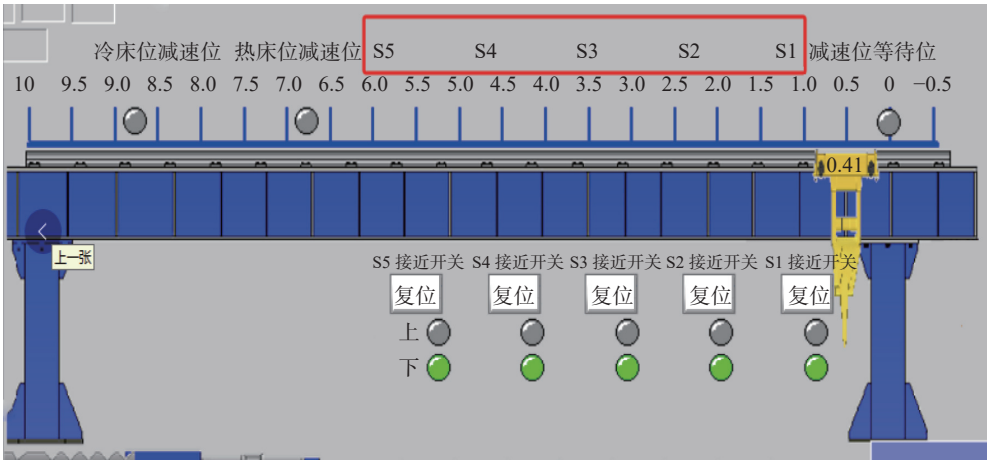

图 2　移坯车上不同位置标识

铸坯流次信息的判断

根据当前移坯车推坯方式，对现有移坯车推 3 支铸坯程序优化[5]，目前铸坯切割方式为：当铸坯长度信号到位后，火切机夹紧铸坯进行切割，而铸坯切割完成后，火切机松开夹臂，故可根据火切机切割完夹紧气缸的松夹信号，提前对翻坯流次进行预判（图 3），如 S1 流火切机夹紧气缸松开，预判 S1 流会提前到位，再结合热检信号进行判断，最终确认 S1 流铸坯到位；S2 流火切机未有夹紧或松开信号，说明铸坯未切割，暂不能预判（图 4）。运用此方法从而可实现移坯车在各流次位置的精准定位，避免移坯车每次推坯完成后，再返回初始位置，可缩短移坯车运行时间最长约 10 s。

连铸二次冷却水量优化

连铸坯拉坯是钢水由液态变为固态的过程，主要通过水对钢水进行冷却[6]，使钢水凝固成铸坯的过

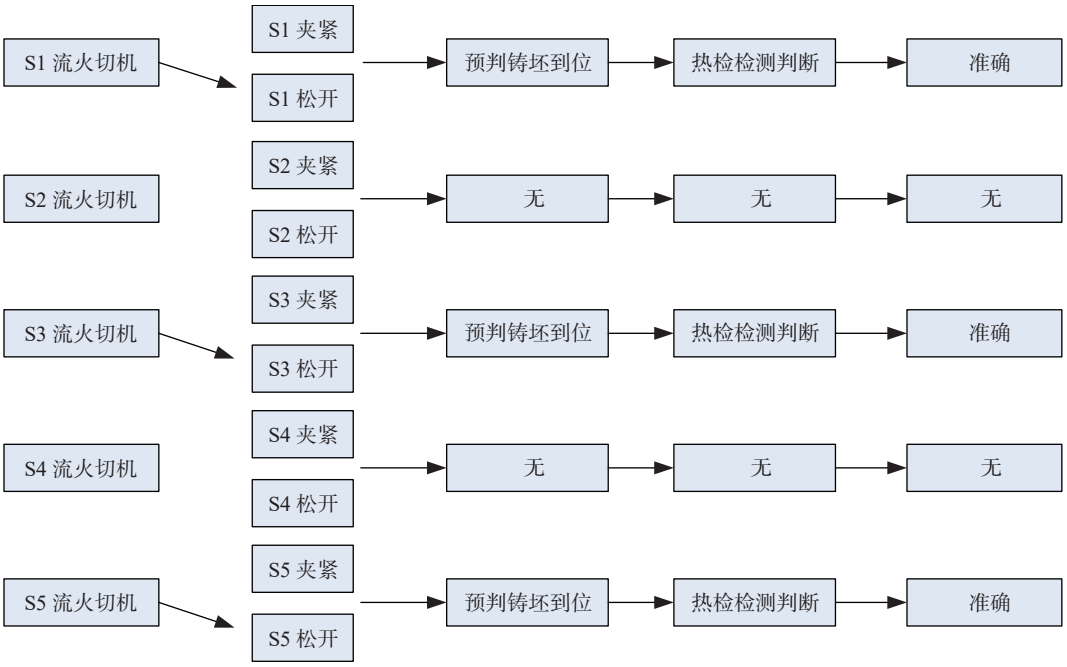

图 3　铸坯流次判断流程图

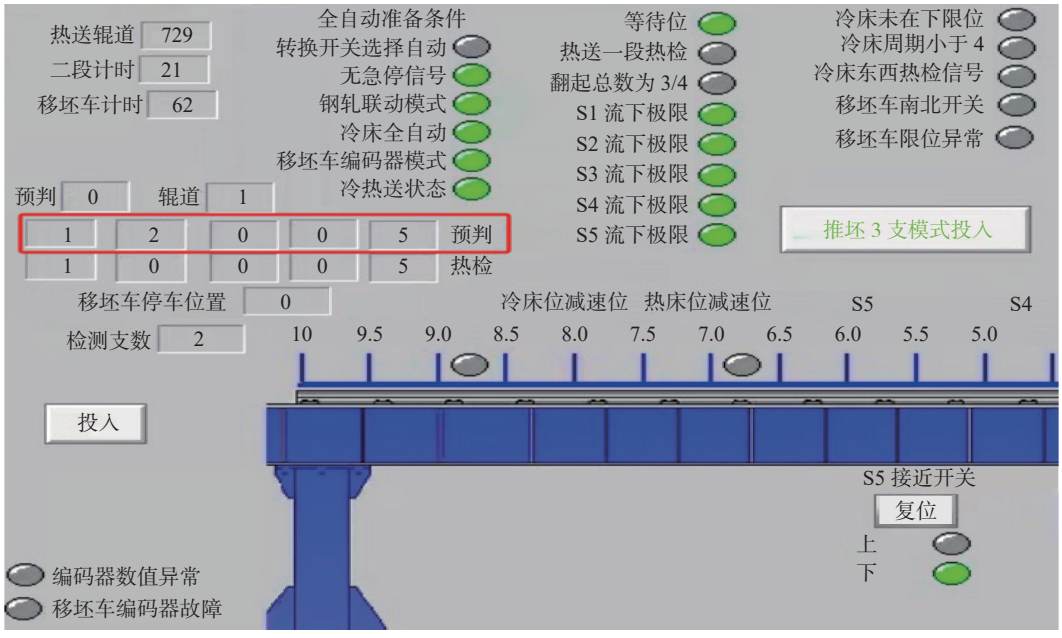

图 4　铸坯流次预判界面

程，在满足连铸安全生产、质量稳定的前提下，根据铸机拉矫机及翻钢机处铸坯温度数据，对二次冷却水量三、四区进一步减少，具体见表 2。

为了确保拉矫机前铸坯温度在工艺要求标准 900~1100 ℃ 范围内[7]，根据我厂二冷室布置情况并结合不同拉速与之水量调整关系，每降低 0.5 t 水量，铸坯表面温度可提高 5 ℃，通过减少水量后，铸坯表面温度最低流次提高 5 ℃，最高流次提高了 25 ℃（表 3）。

连铸保护渣对铸坯表面温度影响

保护渣被称为连铸“工业味精”，在连铸质量生产中起到决定性作用[8]，保护渣在钢水释放的热量作用下熔化流入结晶器铜管与铸坯坯壳之间[9]，形成一

表 2　水量调整情况

拉速/(m/min)	三区水量/(m³/h)		四区水量/(m³/h)	
	原来	现在	原来	现在
2.5	7.5	6.25	6.63	5.50
2.6	7.8	6.50	6.89	5.72
2.7	8.1	6.75	7.16	5.94
2.8	8.4	7.00	7.42	6.16
2.9	8.7	7.25	7.69	6.38
3.0	9.0	7.50	7.95	6.60
3.1	9.3	7.75	8.22	6.82
3.2	9.6	8.00	8.48	7.04
3.3	9.9	8.25	8.75	7.26
3.4	10.2	8.50	9.01	7.48
3.5	10.5	8.75	9.28	7.70
3.6	10.8	9.00	9.54	7.92
3.7	11.1	9.25	9.81	8.14
3.8	11.4	9.50	10.07	8.36
3.9	11.7	9.75	10.34	8.58
4.0	12.0	10.00	10.60	8.80

表 3　改进前后铸坯表面测温数据

项目	拉矫机/℃					翻钢机/℃				
	1流	2流	3流	4流	5流	1流	2流	3流	4流	5流
改造前	1005	1005	1004	1007	1010	873	889	874	872	887
改造后	1020	1025	1021	1017	1020	890	910	894	890	912

道渣膜，起到润滑与传热作用，但因每个厂家使用的原材料与工艺不同，导致铸坯表面渣膜不掉落或仅掉落一部分（图 5），从而影响水对铸坯表面的冷却，通过跟踪保护渣对铸坯温度影响的研究，1#保护渣的理化指标为熔点 1045 ℃、熔化速度 31 s（1350 ℃）、黏度 0.165 Pa/s、碱度 0.95，铸坯表面渣壳不易脱落，而 2#保护渣的理化指标熔点 1050 ℃、熔化速度 34 s（1350 ℃）、黏度 0.186 Pa/s、碱度 0.98 时，铸坯表面渣壳易脱落，可看出黏度的提高、熔化速度的减慢，铸坯表面渣层易脱落，拉速在 4.0 m/min 时，对比 1#与 2#保护渣使用温度，发现 2#保护渣较 1#保护渣铸坯面温度平均高 26 ℃（表 4）。

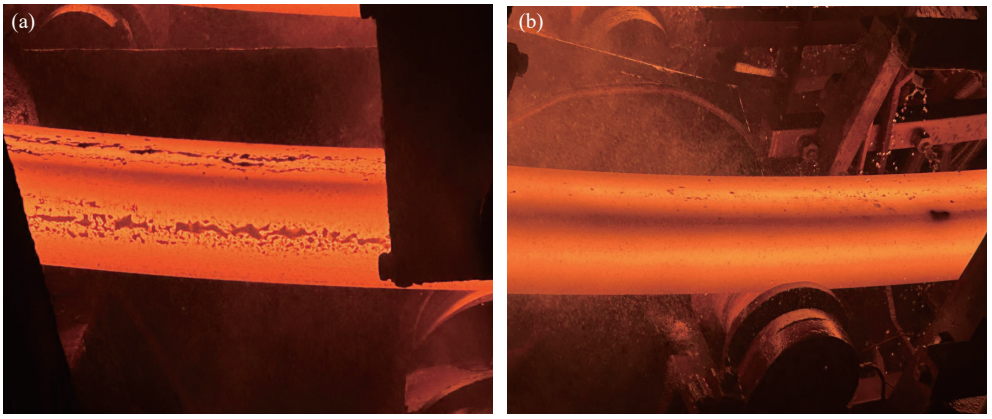

图 5　铸坯表面有渣膜 (a) 和铸坯表面无渣膜 (b)

表 4　不同保护渣铸坯温度对比

流次	翻钢机温度/℃	热送辊处温度/℃	轧钢入炉温度/℃	保护渣编号
S1	918	909	850	1#
S2	882	897	854	1#
S1	902	945	870	2#
S2	906	945	886	2#

虚拟编号在铸坯上应用

针对钢轧信号的统一，我们推行了铸坯虚拟编号的应用（图 6），而虚拟编号主要根据连浇炉数、当炉支数、流次信息，赋于每一支铸坯一个编号，确保了当支铸坯的唯一性并保证铸坯温度在炼钢、轧钢双方测量的真实性（图 7）。

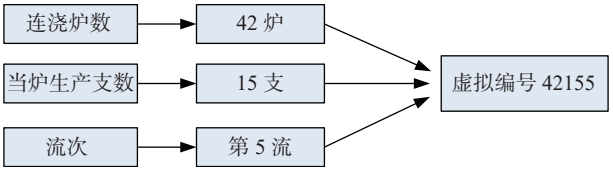

图 6　虚拟编号流程图

同时根据轧钢的需求，增加自动化逻辑判断，如移坯车开启后确定轧钢热检信号，当轧钢段热送

辊道无热检信号时，说明辊道处无铸坯，轧钢需进坯，则移坯车将铸坯推至热送位并执行送坯操作，当轧钢热送辊有热检信号，说明辊道处有铸坯，则移坯车将铸坯推至冷床位。

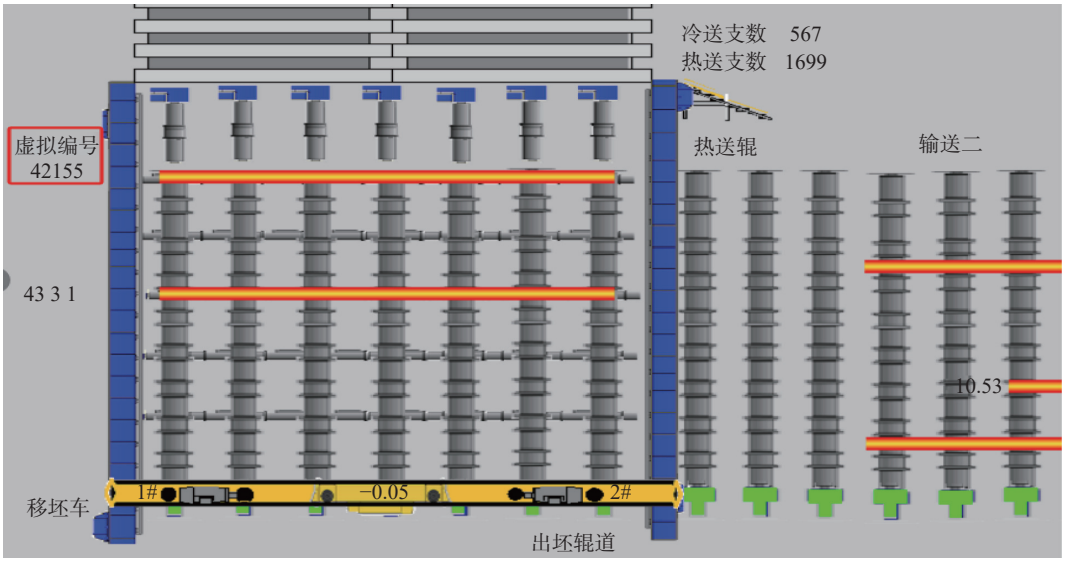

图 7　虚拟编号的应用界面

减少铸坯入炉时间

设备提速，缩短铸坯入炉时间，围绕“以空间换时间，以速度换时间”思想，当前炼钢铸坯经移坯车推至热送辊道再由电机带动热送辊道送至轧钢集坯架处，再由提升链将铸坯提至轧钢入炉前辊道，在保证设备安全运行前提下，分别对移坯车、热送辊道电机进行提速，其中移坯车电机频率由 30 Hz 提高至 40 Hz，运行时间由 45 s 缩短至 37 s，热送辊道 2 段频率由 8 Hz 提高至 10 Hz，运行时间由 25 s 缩短至 18 s，二项合计改进铸坯运行时间可缩短 15 s，可提高铸坯入炉温度近 30℃。

减少铸坯过程周转数量

炼钢厂与轧钢厂之间的距离衔接犹为重要[10]，通过改造缩短炼钢与轧钢之间距离，减少过程中存坯数量，从而减少铸坯在等待过程中温度损失，故增大轧钢提升链角度，增加收缩油缸的行程，改造后，收集台架存坯数量由原来最高 15 支减少至 5 支（图 8），有效减少了铸坯等待过程中的温度损失，可提高铸坯入炉温度近 20 ℃。

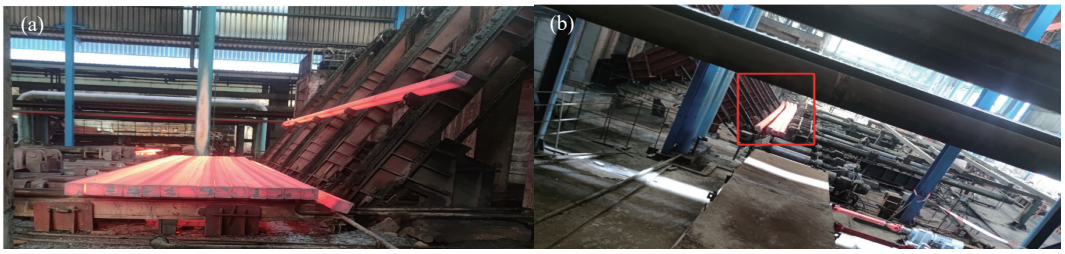

图 8　改造前后集坯架存坯情况：（a）改造前；（b）改造后

结束语

通过优化连铸生产工艺、设备改造、自动化技术的应用和操作方式的优化等，铸坯平均入炉温度由 740 ℃ 提升至 878 ℃，轧钢厂加热炉的煤气消耗减少，由改造前 0.549 GJ/t 降低至 0.471 GJ/t，铸坯入炉温度提高、加热炉煤气消耗降低效果明显，可有效降低轧钢生产线的生产成本。提高连铸坯入炉

温度，仍需要进行大量的工作，通过持续努力和不断创新，进一步提升连铸工艺、设备的水平及加强自动化的应用，实现高效、安全、稳定的生产，为钢铁行业的发展做出贡献。

参考文献

[1] 孙复年，任能，任本福，等. GCr15 轴承钢连铸坯冷却速度与入炉温度对其组织和性能的影响. 金属世界，2024(3)：53
[2] 范越. 热直轧连铸方坯温度场的精准横拟和控制 [学位论文]. 鞍山：辽宁科技大学，2021
[3] 王学兵. 方坯连铸直轧过程数值模拟研究与应用 [学位论文]. 北京：钢铁研究总院，2018
[4] 师进. 探析智能型机械自动化应用趋势. 电子元器件与信息技术，2017(3)：63
[5] 高广宇，郭鑫，张起瑞. 智能型机械自动化的发展与应用趋势探析. 四川水泥，2017(1)：111
[6] 沈建中. 浅析圆坯连铸机二冷水改造的可行性. 山东冶金，2008(3)：18
[7] 王宏斌，唐海燕，李京社，等. 八流连铸中间包控流装置优化的水力学模拟. 特殊钢，2012，33(3)：18
[8] 袁志鹏. 非牛顿流体连铸结晶器保护渣的研究 [学位论文]. 唐山：华北理工大学，2017
[9] 谭杜，彭灿锋. 小方坯超高拉速保护渣研究. 冶金设备，2021(5)：26
[10] 朱正海，仇圣桃，廖鹏，等. 热送热装过程大板坯传热数值模拟研究. 炼钢，2009，25(5)：43

作者简介：谭杜（1989—），男，湖南湘潭人，炼钢连铸，高级工程师，通信地址：广东省阳春市潭水镇南山工业园阳春新钢铁有限公司；E-mail：tandu520@vip.qq.com。