

中间包冶金技术及进展

包燕平 王敏

baoyp@ustb.edu.cn

北京科技大学



北京科技大学
University of Science and Technology Beijing

课题组的主要科研工作

一、洁净钢生产与夹杂物控制

- 夹杂物表征技术
- 洁净钢生产案例解析
- 高品质钢（轴承钢、齿轮钢、弹簧钢等）定制化生产技术
- 脱氧与合金化优化技术
- 稀土汽车板，含稀土优质钢的开发

二、高效低耗冶炼控制技术

- 炼钢原料的高效低成本应用技术（高废钢比）
- 炼钢铁合金的高效和减量化利用技术
- 炼钢炉渣的循环与梯度利用

三、冶金反应器的优化控制

- RH真空室内脱碳模式的研究
- 中间包冶金新技术
- 真空浇注技术

四、连铸新技术

- 高品质钢连铸质量控制技术（高拉速技术，漏钢预报，裂纹控制）
- 优特钢连铸技术（电磁冶金，轻压下技术）
- 亚快速凝固技术（RTSC）



主要内容

- 1、中间包冶金技术的发展**
- 2、中间包冶金效果的影响因素**
- 3、中间包加热及保温技术**
- 4、中间包钢液净化技术**
- 5、中间包冶金智能化控制**
- 6、结论及建议**



1、中间包冶金技术的发展

分配、储存钢液的
中间容器

- 保证连浇换包；
- 多流连铸机的浇铸；
- 减少铸流对结晶器的冲击。

去除夹杂物的冶金
反应器

- 去除钢中非金属夹杂物；
- 减少二次氧化；
- 均匀温度等。

钢质量控制的反
应器

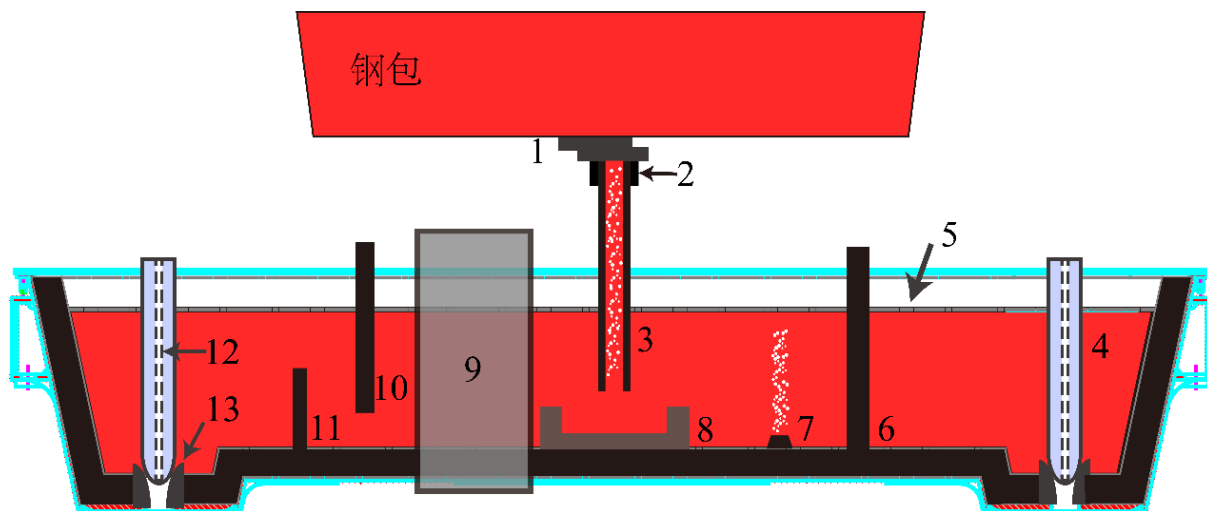
- 钢中夹杂物的去除；
- 钢液加热和保温；
- 减少对洁净钢的二次污染；
- 控制钢液的凝固结构。

智能化中间包

- 中间包成分、温度、气体含量的实施在线监/检测技术；
- 中间包钢液洁净度指数的动态监测技术；
- 基于智能判断的混钢模型和铸坯判级系统；
- 中间包生命周期安全性评估技术。

2、中间包冶金效果的影响因素

2.1 中间包冶金效果的影响因素：



中间包设备示意图

1—滑动式钢包出口，2—长水口吹气装置，4—塞棒，5—中间包覆盖剂，6—挡墙，7—吹气口（气幕挡墙），8—冲击区（湍流抑制器），9—感应加热装置，10—堰，11—坝，12—塞棒吹气装置，13—中间包底部碗口

中间包容量

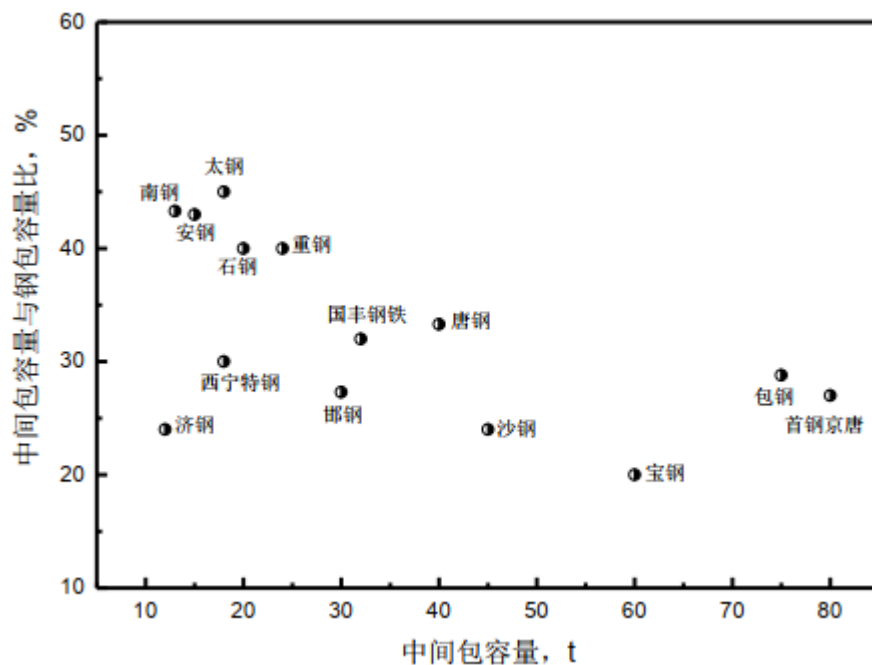
工作液位

内型结构

控流装置

(1) 中间包容量

- 中间包容量一般为钢包容量的20-40%。容量小则开浇、换包过程在整个浇铸周期中占比长，影响钢液洁净度；容量大有助于降低液面波动、延长中间包内钢液停留时间，提升夹杂物去除率。
- 但需综合考虑浇铸过程中中间包内钢液的更新速率、钢液的温度分层和成本等因素。



不同企业中间包与钢包容量比



(2) 中间包工作液位

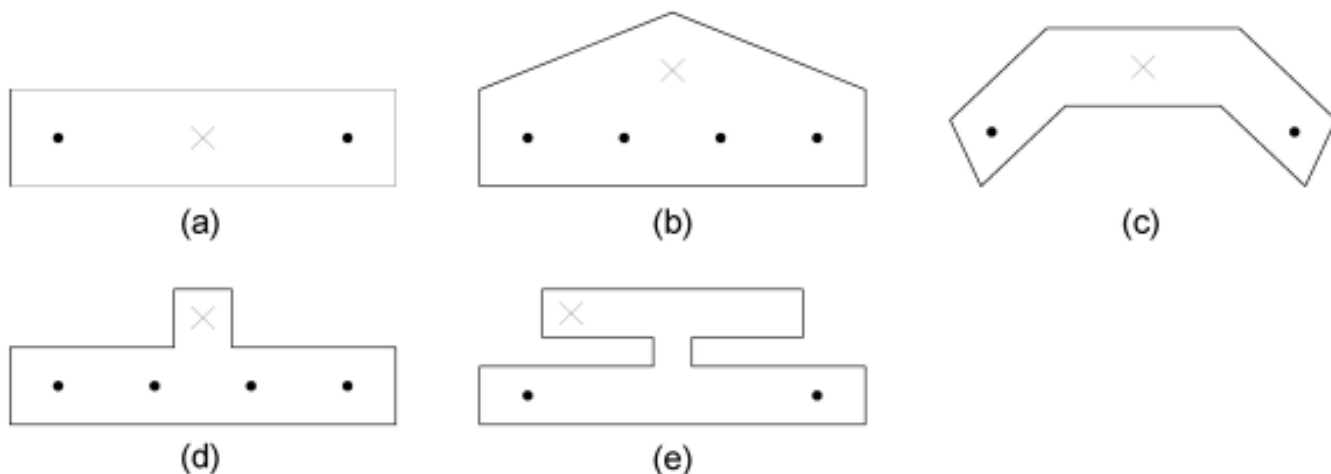
- 中间包工作液位一般在800-1100mm，深熔池有助于延长夹杂物去除路径、减少非稳态过程的液面波动和卷渣。
- 中间包大容量、深熔池是洁净钢发展的趋势之一。



(3) 中间包内型结构

▣中间包按断面形状主要分为：矩型、三角型、V型、T型和H型等。其中以矩型和T型居多。

▣作用：将冲击区和浇注区划分，保证各流之间的均匀性。



中间包断面形状

(a) 矩形； (b) 三角形； (c) V型； (d) T型； (e) H型

(4) 中间包控流装置

- 控流装置一般分为：稳流器、挡墙、挡坝、堰（上挡墙）等。
- 作用：
 - 稳流器—降低湍流，减少冲击区液面裸露和卷渣；
 - U型挡墙—起到导流和平均分配流股的作用，避免冲击区液面裸露和卷渣；
 - 挡坝—提升流股，避免形成短路流，延长钢液流动轨迹，增加停留时间；
 - 堰—改善钢液流动方向，阻隔冲击区的卷渣流向浇注区。

表 2 不同企业中间包结构及控流装置
Table 2 Tundish structure and flow control devices of different steel works

企业	中间包容量/t	内型结构	流数	控流装置	参考文献
JSW Steel Limited, India	24.9*	矩型	1	稳流器+挡坝	[18]
Poland	30	矩型	1	挡坝	[19]
安钢	/	矩型	1	堰+挡坝	[20]
湖南华菱涟源钢铁	/	矩型	2	稳流器+气幕 挡墙	[21]
首钢	80	矩型	2	稳流器+挡坝	[14]
沙钢	70	矩型	2	稳流器+挡坝 +堰	[22]
柳钢	/	矩型	2	稳流器+挡坝	[23]
U. S. Steel Košice, S.R.O	50	矩型	2	稳流器	[24]
太钢	18	T 型	3	稳流器+挡墙 +挡坝	[25]
浙江青山钢铁	15.7*	非对称异型	3	挡墙	[26]
抚顺特钢	20.3*	T 型	4	挡墙+堰	[27]
新冶钢	60	T 型	6	稳流器+流钢 通道+挡墙	[12, 13]
河北永洋特钢	30	异型	6	冲击杯+挡墙	[16]
日照钢铁	21.3*	T 型	6	稳流器+挡坝	[17]
Tata Steel Limited, Jamshedpur, India	32	T 型	6	稳流器	[28]
天钢联合特钢	44.9*	T 型	7	挡墙	[15]
邯钢	32	T 型	8	稳流器+挡墙	[29]

*表示根据体积计算的中间包容量，非公称容量



(5) 小结

- 中间包冶金效果主要受其容量、工作液位、内型结构、控流装置等综合影响；
- 中间包容量一般为**20-40%**，容量大小的选择需综合考虑浇铸过程中中间包内钢液的更新速率、钢液的温度分层和成本等因素；
- 中间包工作液位一般在**800-1100mm**，深熔池有助于延长夹杂物去除路径，减少非稳态过程的液面波动和卷渣；
- 根据浇铸的匹配性，中间包按断面形状主要分为：矩型、三角型、V型、T型和H型等，其中以矩型和T型居多；
- 控流装置一般分为：稳流器、挡墙、挡坝、堰（上挡墙）等，主要起到减少冲击区液面裸露、卷渣，稳定钢液的作用。

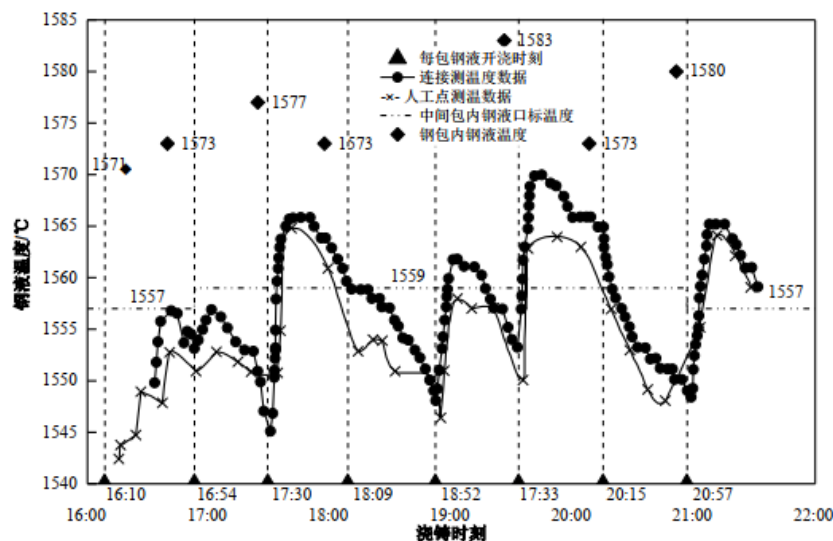


3、中间包加热及保温技术

- 中间包是连续反应器，在连续浇铸过程中，中间包的包衬、包壁、钢液（渣）表面均会持续向外界传热。（见下表、下图所示）
- 浇铸过程中，中间包内钢液温度需维持在合理过热度范围，过低则浇注后期容易出现冷钢结瘤而断浇；过高则对钢液洁净度和凝固组织控制不利。
- 中间包恒温、低过热度的控制**可通过两方面实现：
 - 外部温度补偿中间包热损失，如等离子加热技术、感应加热技术等；
 - 强化中间包保温效果，降低散热速率，如纳米绝热层保温技术、保温真空技术等

工况	包衬蓄热/%	上表面辐射/%	上表面对流/%	包壁散热/%	总散热/%	钢液温度/°C
冷包 (20°C)	52.27	45.72	2.01	0	100	1520.0
温包 (100°C)	51.64	46.00	2.02	0.34	100	1520.5

中间包钢液热损失分布

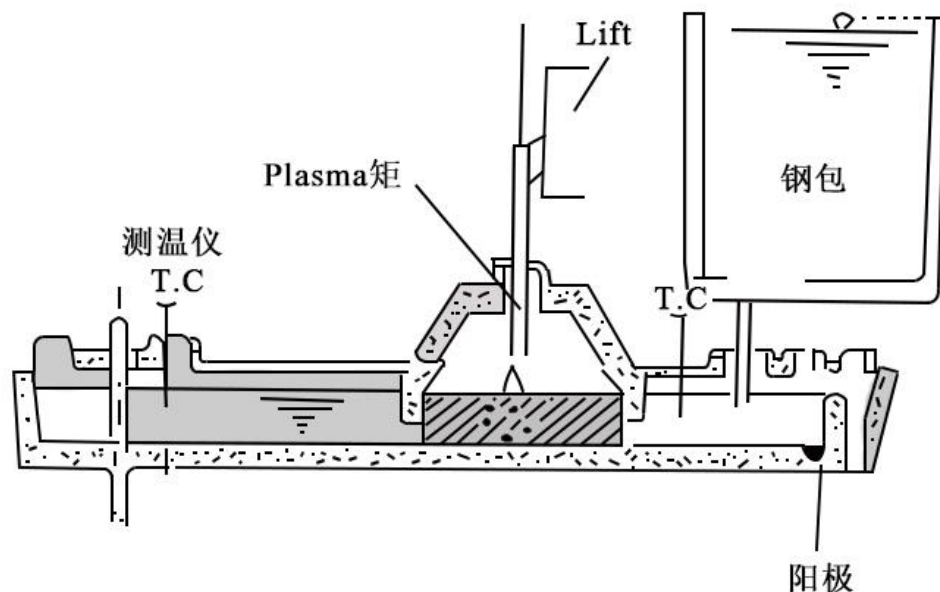


60t中间连铸过程中温度变化



(1) 等离子加热技术

- 中间包等离子加热技术 (TPH) 由英国TRD公司于20世纪80年代开发。
- 原理：以等离子枪和被加热的钢液为电流的两极，通电后等离子枪通过电极放电使气体 (Ar、N₂、N₂+Ar) 处于电离状态，产生高能量的电弧，通过电子辐射和离子化气体运动产生的对流，将热量传入中间包钢液。
- 分类：直流型 (DC)、交流型 (AC)，都采用转移弧方式将电能转化为热能。



DH型TPH装置示意图



等离子加热技术

目前，应用于冶金加热的等离子体电弧枪主要为转移型。

国内外等离子枪主要分为两种：（1）英国TRD公司的转移弧热电极型-正接法；
（2）美国PEC公司的转移弧冷电极型-反接法；

项目		反接法（PEC）	正接法（TRD）
枪体	等离子枪极性	反置电极（钢水为负极）	正置电极（钢水为正极）
	电极结构及寿命	电极可用 Cu 或 Cr-Zr 合金，寿命可达 300 小时，无需 Ar 保护	电极必须用 W，寿命达 80 小时，必须用 Ar 保护
	电极安装部位	安装在枪体内，不易受钢水飞溅而损坏	安装在枪体头部，易受钢水飞溅而损坏
	枪体长度	一般长 1-2m	不详
中间包	中间包要求	是否加盖，是否加保护液都可以	必须加盖密封，而且不能加保护渣。
	中间包称量	无需称量	需称量装置
介质要求	枪体冷却水	要求温度 $\leq 32^{\circ}\text{C}$	要求温度 $\leq 25^{\circ}\text{C}$
	工作介质气体	Ar 或 N_2 或 Ar 和 N_2 混合气体	只能用 Ar
操作	单枪功率	Max3000kw	Max600kw
	额定电压	750v	120v
特点	渣厚	Max180mm	不允许有渣
	气流进入钢液	旋转进入钢液内部，减少等离子加热的高温对中间包耐材的消耗。气流量大	气流吹在钢液表面，等离子加热的高温对中间包耐材的消耗增大。气流量小
	起弧操作	在离液面 150-200mm 起弧，之后弧长在 250mm 进行操作。离液面距离大，减少钢液飞溅对枪的损坏	在离液面 50-100mm 起弧进行操作 离液面距离小，增加钢液飞溅对枪的损坏
	升温速度	约 $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$	不详
对钢水的污染		使用 N_2 作工作介质时钢水有轻微的吸[N]。钢液的吸[N]量与铸速和混合气中的 N_2 的%有关。	因其工作介质必须采用 Ar，故对钢液无污染
运行成本		因使用 N_2 作为工作介质， N_2 价格较低廉，故运行成本较低。	因使用 Ar 作为工作介质， N_2 价格较昂贵，故运行成本较高。
消耗指标		对 28t 的中间包来说，电耗量约 2.5kwh/t，气体消耗约 40m ³ /h	不详

等离子加热技术是有前提条件的。目前，国内等离子加热技术应用并不理想。

原因：

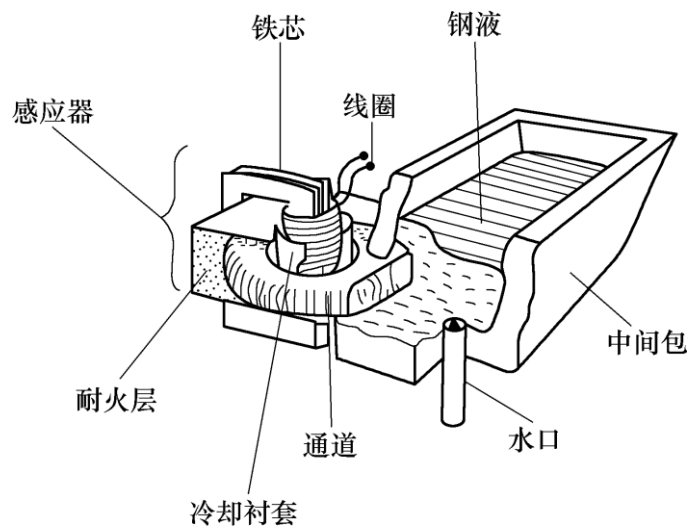
（1）等离子加热技术起到的主要作用是对钢水温度的一种“微调”。

（2）浇次中各炉间钢液温度波动较大，钢包和中间包温度损失较大，浇铸过程稳定性差；



(2) 感应加热技术

- 中间包感应加热技术由日本新日铁公司于20世纪80年代开发。
- 原理：加热器线圈中接单相交流电后，口字型铁芯内会产生交变的磁通 Φ ，使其附近通道内的钢水产生感应电动势 E ，从而使通道内的钢水中产生感应电流 j ，进而产生焦耳热 Q 对通道内的钢水进行加热。
- 目前，通道式感应加热方式应用较多。



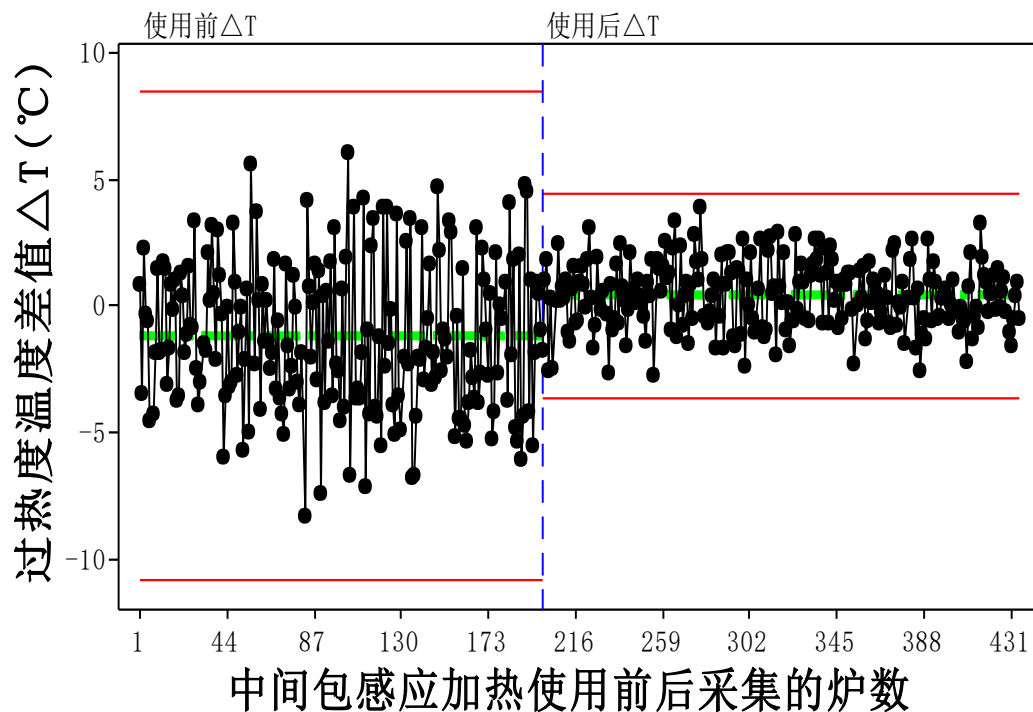
感应加热示意图



感应加热中间包砌筑图

感应加热技术

- ▣ 下图为30t H型双通道感应加热中间包浇铸GCr15钢种，开启与未开启感应加热时，中间包内钢液的温度对比。
- ▣ 中间包使用感应加热后，过热度波动由 $\pm 6^{\circ}\text{C}$ 降低至 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 以内，最低过热度由之前的 17°C 将至 8°C 。

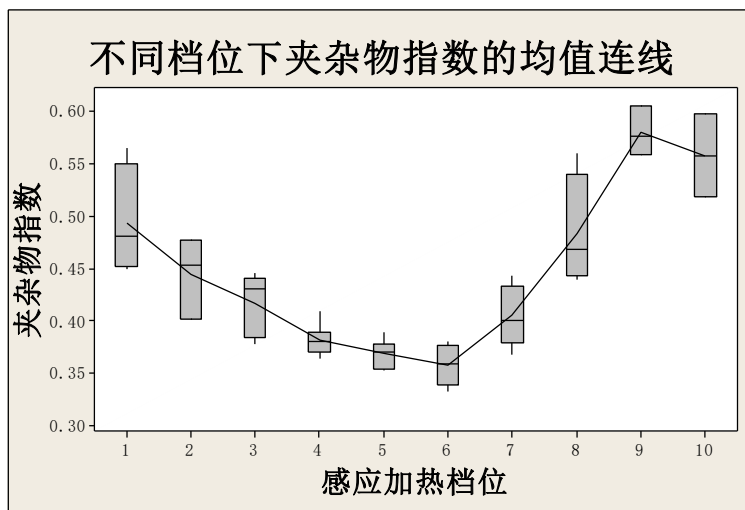


感应加热投入前后中间包钢液过热度波动对比



感应加热技术

- 中间包感应加热技术也需要一定的前提条件。对中间包内钢液的温度补偿也是有限度的，主要起到“微调”和“稳定”的作用。
- 若单纯依靠调节感应电流来补充温度损失，会带来一系列负面效应：
 - 若调节档位太高，钢液在箍缩效应作用下，迫使通道内钢水的感应电流产生脉冲，导致中间包内部流场不稳定，档位越高则扰动越强；
 - 高档位下，浇注区的钢水喷射流进一步加强，钢水流速加快，加重钢液对出钢口和中间包包壁耐材的冲刷，影响钢液洁净度，严重时可能造成生产事故。



感应加热档位对夹杂物指数的影响



(3) 中间包保温技术

□上述两种加热技术，对中间包钢液的温度仅起到“微调”和“稳定”作用，钢液温差较大时单纯依靠外部温度补偿会带来一系列负面效果。因此，强化浇铸过程中间包的保温效果，降低浇铸过程的温度损失，对于实现恒温、低过热度至关重要。

□在满足耐火材料耐高温性能基础上，采用低导热系数内衬砌筑材料、降低耐材与包壁直接的传热条件，是减少包壁热损失的可行方法。

编号	砖砌包,℃		保温包,℃	
	浇注第 1 炉	浇注第 6 炉	浇注第 1 炉	浇注第 6 炉
1	68	147	49	65
2	69	160	49	78
3	71	159	50	79
4	72	160	50	81
5	77	182	53	82
6	87	193	58	85
7	/	/	63	88
8	/	/	63	94
9	/	/	65	88
10	/	/	71	98
平均值	74	166.8	57.1	83.8

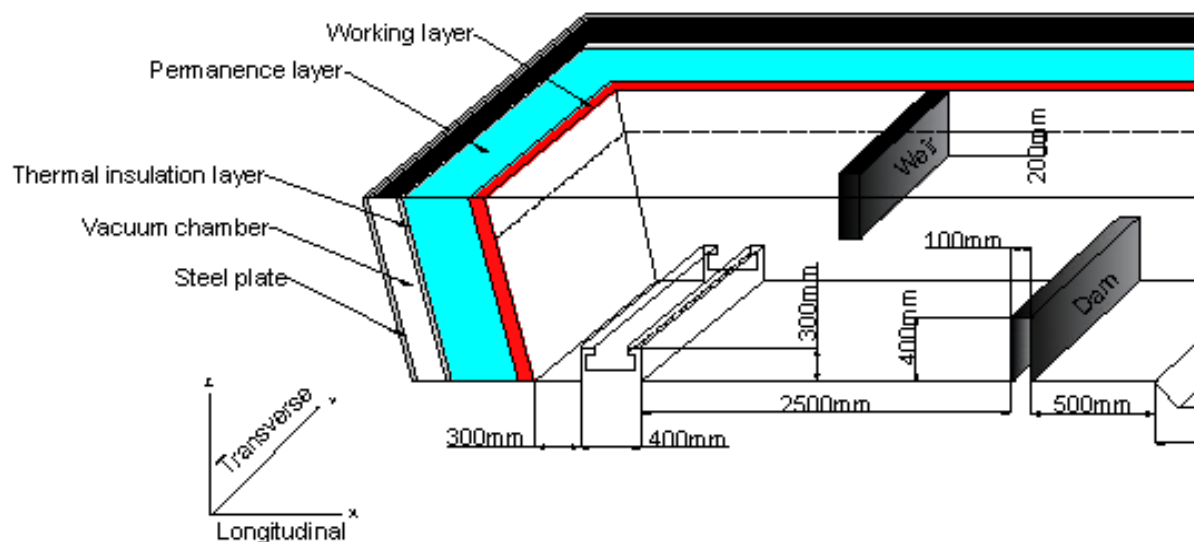
某钢厂将砖砌型中间包改为由纳米微孔绝热板、轻质保温砖及半轻质莫来石浇筑料整体注塑中间包。
中间包钢壳温度变化：
第一炉：由74℃降低至57.1℃；
第六炉：由166.8℃降低至83.8℃；

某钢厂连铸过程中间包包壳温度对比



中间包保温技术

■ 某钢厂通过在中间包钢壳与保温层之间增加一层环状内腔，其厚度一般为80-120mm。采用真空泵将内腔内的空气抽出，控制内腔内真空度达到降低导热系数的目的。



真空中间包的结构设计



(4) 小结

- 中间包恒温、低过热度的控制可通过以下两方面实现：（1）外部温度补偿中间包热损失；（2）强化中间包保温效果，降低中间包和钢包的散热效率；
- 某钢厂试验表明，采用中间包等离子加热技术，可将换包期间中间包内钢水温降控制在 5°C ，钢水过热度降低 12°C ，但使用时应满足一定的前提条件；
- 某钢厂试验表明，采用中间包感应加热技术，可将过热度波动由 $\pm 6^{\circ}\text{C}$ 降低至 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ，最低过热度由 17°C 降至 8°C ；
- 某钢厂试验表明，采用中间包保温技术，中间包第一炉钢壳温度由 74°C 降至 57.1°C ，第六炉钢壳温度由 166.8°C 降至 83.8°C ，极大的降低包壳的热量损失。



4 中间包钢液净化技术

中间包作为连铸前最后一个耐火材料容器，钢液停留时间较长，故其主要的冶金作用之一即净化钢液，促进夹杂物碰撞、长大及上浮去除。

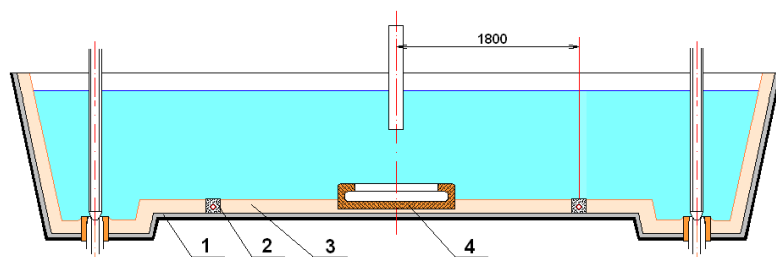
为快速高效的去除钢液中夹杂物，需在保证避免钢液卷渣及二次氧化的前提下，合理控制中间包内钢液的流动状态。目前，中间包的常规控流装置，仅对大颗粒夹杂物起到明显的去除效果，对于小颗粒夹杂物的去除仍有不足。由此冶金学者提出几种更加先进的钢液净化技术：例如：中间包气幕挡墙技术；中间包旋转磁场技术；原位生成微小气泡去除钢液中细小的夹杂物的方法。



(1) 中间包气幕挡墙去除夹杂物

▣原理：借鉴钢包吹Ar搅拌原理，在中间包包底安装长条形的透气元件代替挡墙，利用透气元件向中间包内吹Ar气，形成垂直于钢液流动方向的微气泡气幕，小气泡上浮过程中吸附小颗粒夹杂物一起进入渣中去除，起到净化钢液的目的。

▣研究表明，中间包气幕挡墙可以减少70%以上50 μm 夹杂，可以降低40%以上25-50 μm 夹杂。同时，气幕可改变钢液流动方向，消除短路流及传统挡墙背后死区，延长钢液平均停留时间，进一步增加细小夹杂物上浮的空间和时间。



中间包气幕挡墙示意图

序号	实验方案	吹气量/ $\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$	滞止时间/s	平均停留时间/s	死区比例/%
1	挡墙+挡坝	0	33	568.60	16.63
2	挡墙+位置 1 吹气	160	29	555.83	18.50
3	挡墙+位置 2 吹气	160	29	616.91	9.54
4	挡墙+位置 3 吹气	160	27	623.92	8.52
5	挡墙+稳流器+位置 1 吹气	160	42	638.82	6.33
6	挡墙+稳流器+位置 2 吹气	220	41	545.56	20.01
7	挡墙+稳流器+位置 3 吹气	300	35	512.89	24.80

*1 号距离上挡墙 200mm, 2 号距离上挡墙 400mm 位置, 3 号距离上挡墙 600mm

中间包气幕挡墙水模型实验流场指标

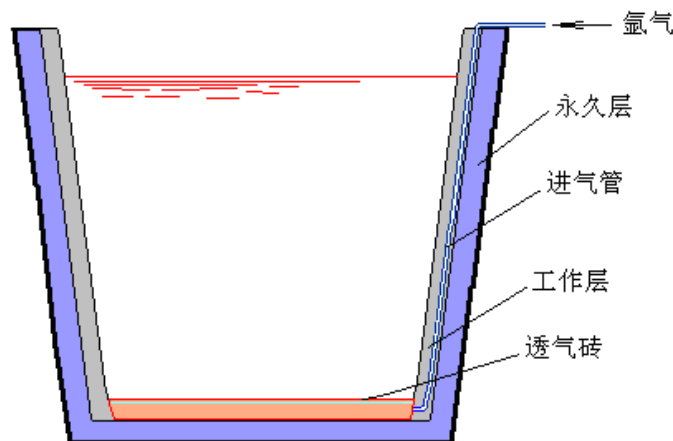
中间包气幕挡墙去除夹杂物

中间包内气泡运动是在特定区域内的一个十分复杂的过程，但是要达到去除小颗粒夹杂物的目的，需要综合考虑吹气量的大小、吹气位置、透气砖内部结构设计等方面，还需考虑气幕挡墙与其他控流装置的配合。

目前，气幕挡墙技术主要存在问题：

(1) 气幕吹气量太小起不到对液流提升的作用，达不到延长钢液平均停留时间的目的，而气量太大则容易导致液面裸露引起卷渣和二次氧化；

(2) 气幕挡墙会加重中间包耐材的侵蚀，透气砖寿命和透气性的维持与中间包寿命不同步，维护成本高。



中间包结构示意图



气幕挡墙透气砖

工业试验结果

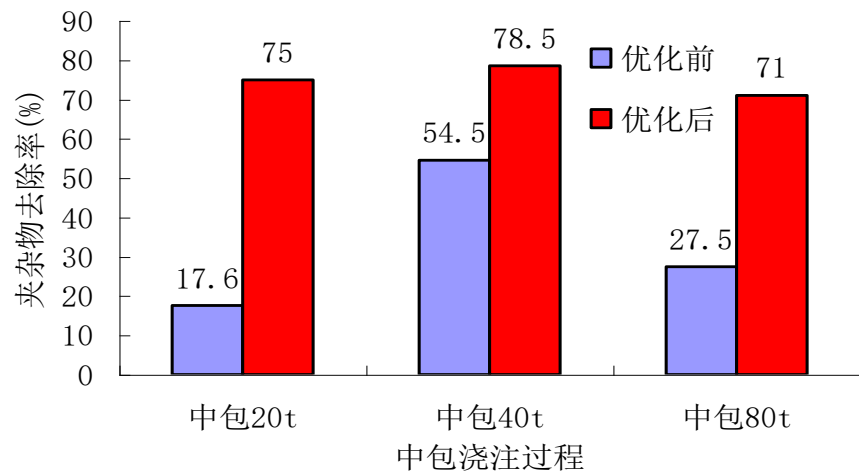


图 中包优化前后夹杂物去除能力比较

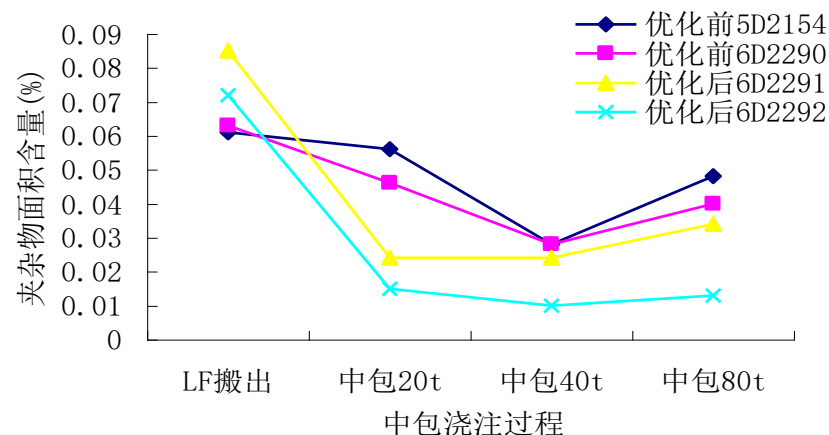
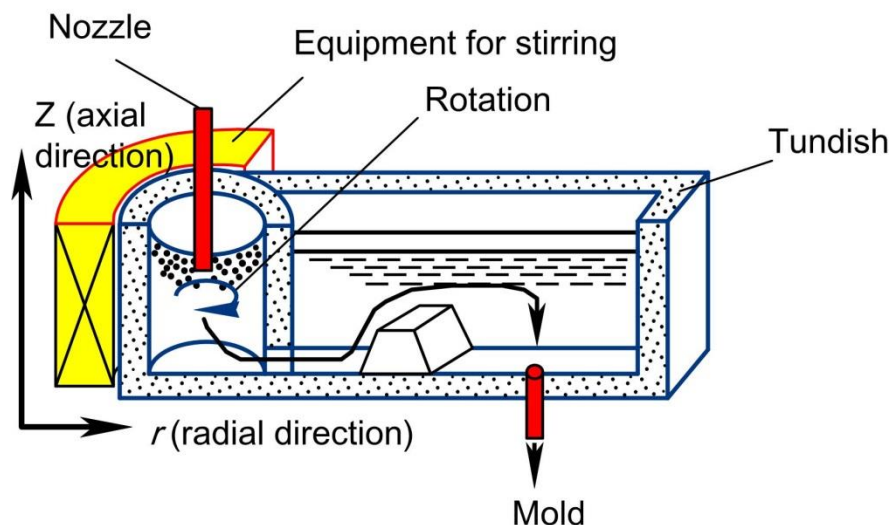


图 LF到中包钢中夹杂物面积含量变化

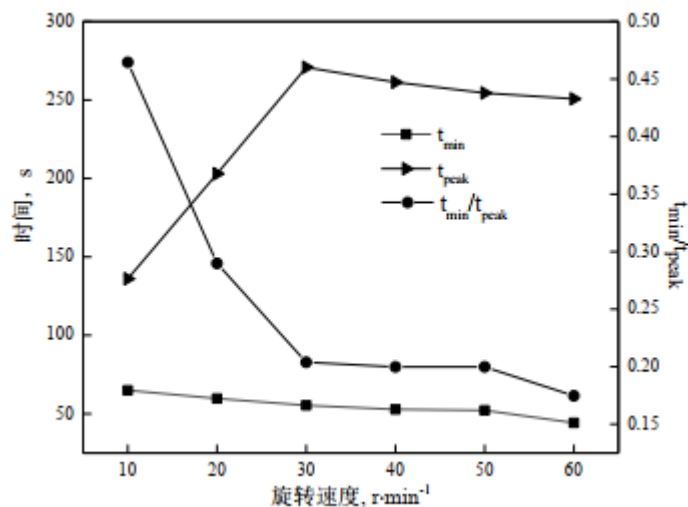
- 采用气幕挡墙后, 夹杂物总量有不同程度的下降, 第一次试验降低24.35%; 第二次试验降低25.19%; 第三次试验降低18.75%; 第四次试验降低25.28%;
- 采用气幕挡墙后, 对于小颗粒夹杂物的去除效果十分明显。第一次试验小于140 μm 的夹杂物含量降低了50%; 第二次试验小于140 μm 的夹杂物含量降低了82.86%; 第三次试验小于80 μm 的夹杂物含量降低了100%; 第四次试验中没有发现小于80 μm 的夹杂物; 第五次试验小于80 μm 的夹杂物含量降低了84.21%;

(2) 中间包旋转磁场净化钢液

- ▣原理：在中间包浇注区施加旋转磁场，利用钢液旋转产生的离心力使夹杂物向中心聚集，增加夹杂物相互碰撞长大和上浮去除能力。（见下左图所示）
- ▣旋转磁场带动钢液形成大环流，延长了钢液的流动轨迹，可有效降低死区比例，去除非金属夹杂物。在18t中间包的试验中，控制旋转速度在30r/min较为合理。（见下右图所示）



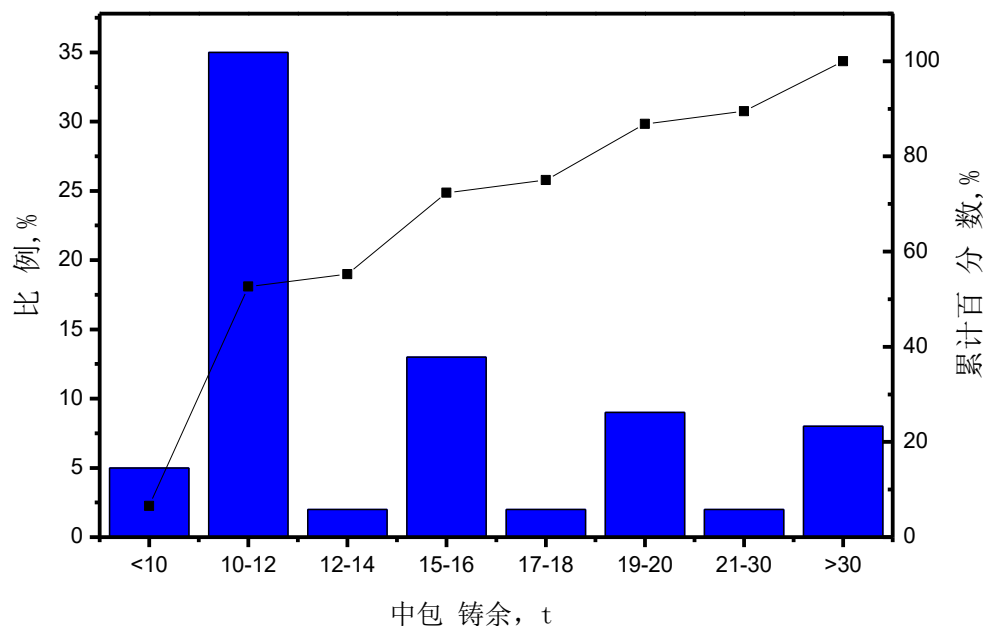
中间包电磁净化去除钢种夹杂物示意图



中间包流场指标与旋转速度的关系



(3) 中间包降铸余研究



某厂中间包铸余统计图

◆原型中间包的铸余仅有5%小于10t; >铸余12t以上的超过60%。



原中间包铸余试验

停浇线 (12t 铸余)



原型中间包注余流场 (拉速 1.2m/min)



原型中间包注余流场 (拉速 1.0m/min)



原型中间包注余流场 (拉速 0.8m/min)

现场参数:

- ✓ 铸余12t为现场安全停浇线;
- ✓ 中间包钢液面1100mm $\rightarrow$ 300mm;
- ✓ 拉速由1.3m/min $\rightarrow$ 0.7m/min。

实验室模拟:

- 中间包油水界面降到100mm即现场停浇液面高度时:
- ✓ 无卷渣现象发生;
- ✓ 较多渣进入注流区, 挡坝后渣厚为17mm明显大于挡坝前厚度8mm; 拉速越大, 注流区渣层越厚, 卷渣几率越高。



优化后中间包铸余试验

□ 铸余12t

拉速 1.2m/min



拉速 1.0m/min



拉速 0.8m/min



拉速 0.6m/min



□ 铸余9t

拉速 1.2m/min



拉速 1.0m/min



拉速 0.8m/min



拉速 0.6m/min



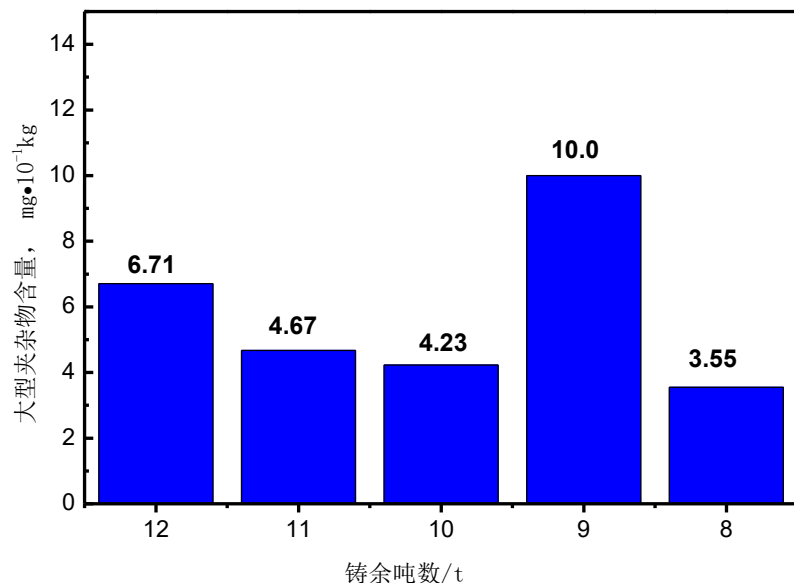
12t停浇与原型中间包相比：

- ◆注流区的渣厚比原型减少2mm，在较大拉速1.2m/min时也可保证中间包12t铸余并无卷渣；
- ◆拉速分别为0.8m/min和0.6m/min时，钢流对渣运动的影响差别不大；

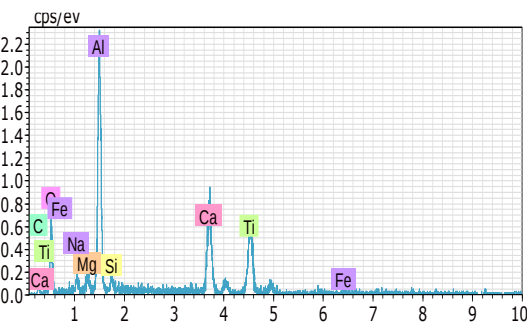
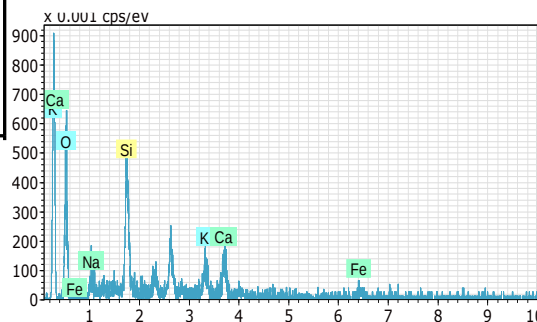
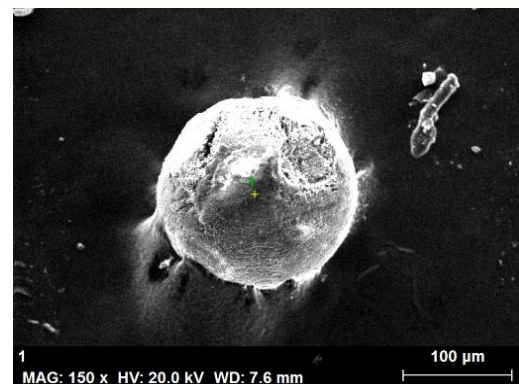
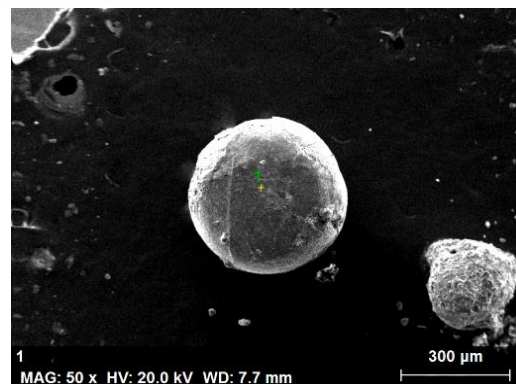
9t停浇与原型中间包相比：

- ◆拉速 $>0.8\text{m/min}$ 时，发生渣滴脱落的现象；
- ◆拉速降低到0.6m/min后，渣滴脱落现象消失但渣层波动较大。

降铸余工业试验



不同铸余位置大型夹杂物含量



- 在9t以下时夹杂物含量开始波动增加。
- 铸余降到9t后，由于卷渣引起的大颗粒夹杂物增多，与水模型的研究一致。
- 浇注末期应该在9t时停浇。

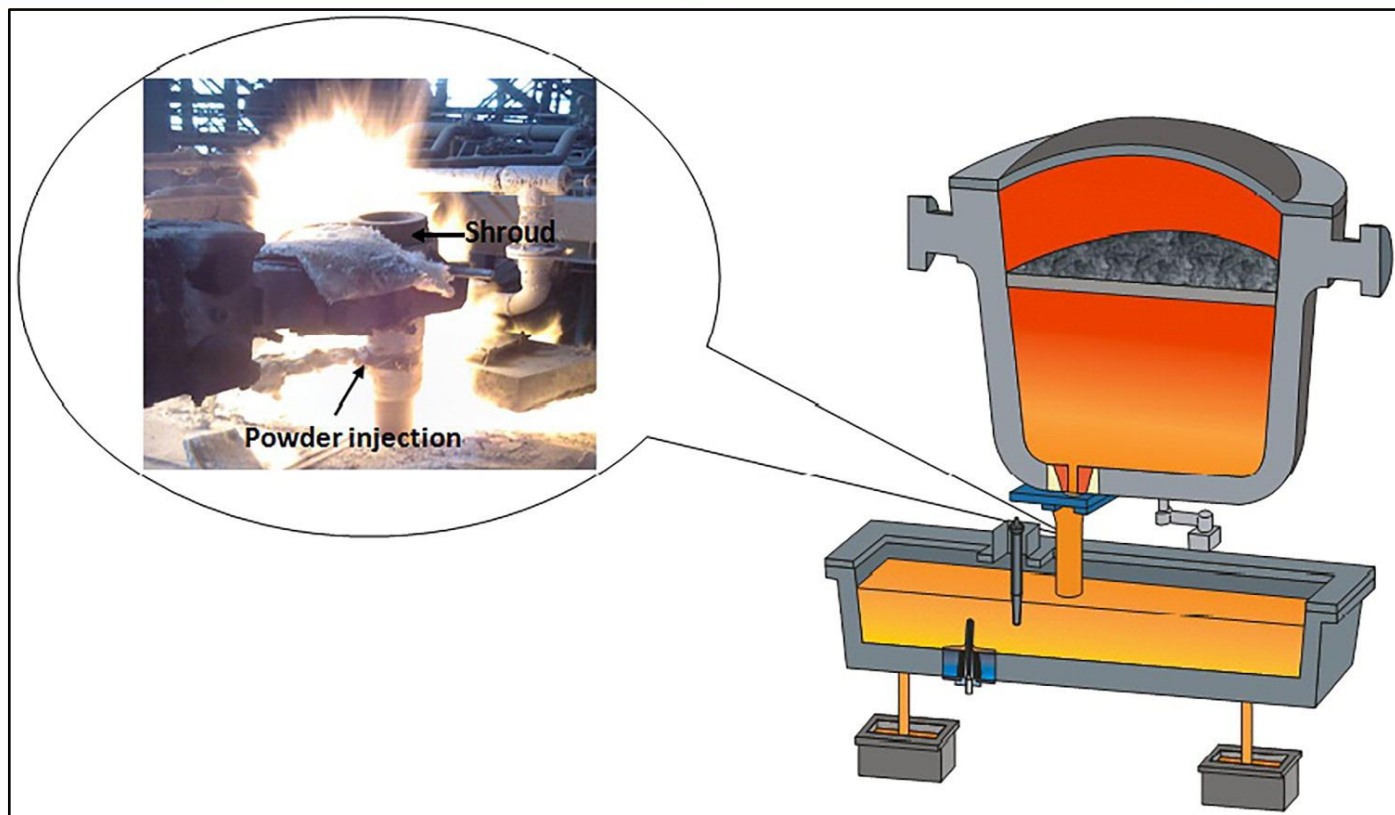
优化前后铸余对比

中间包生产DC06铸余统计表

铸机号 生产参数	生产浇次数/次	生产炉数 / 炉	平均铸余 t/ 浇次	铸余 > 12t的比率/%
CCM1/CCM2 (原型)	56	294	14.6	38.2
CCM3/CCM4 (原型)	32	160	17.2	43.7
总量 (平均)	88	454	15.6	40.2
CCM1/CCM2 (优化)	110	545	10.8	12.5
CCM3/CCM4 (优化)	59	328	13.0	26.8
总量 (平均)	169	873	11.6	18.1



(4) 中间包中原位生成微小异相净化钢水技术



本研究提出了一种原位生成微小气泡去除钢液中细小的夹杂物的方法，即在精炼过程中向钢水中引入一种反应物质原位生成一定数量、细小弥散的气泡，从而去除钢液中的微小夹杂物。



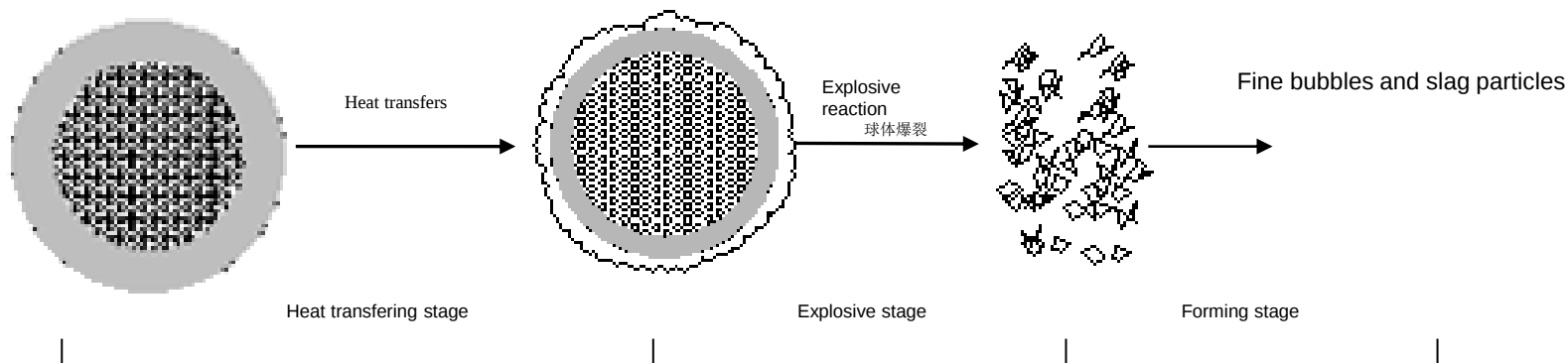
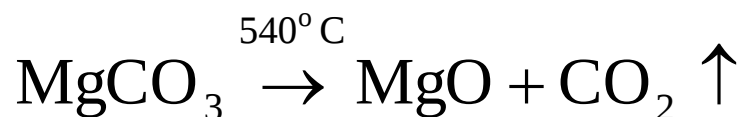
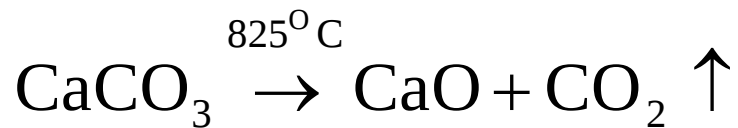
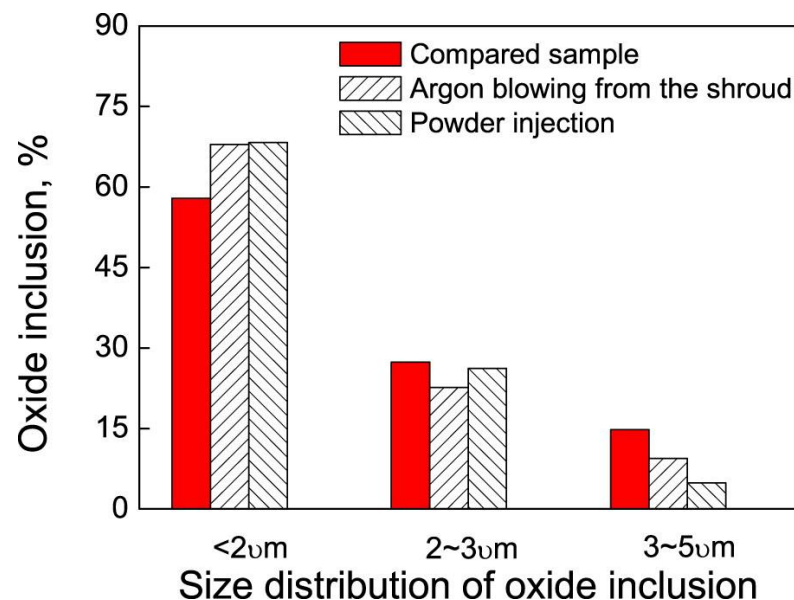
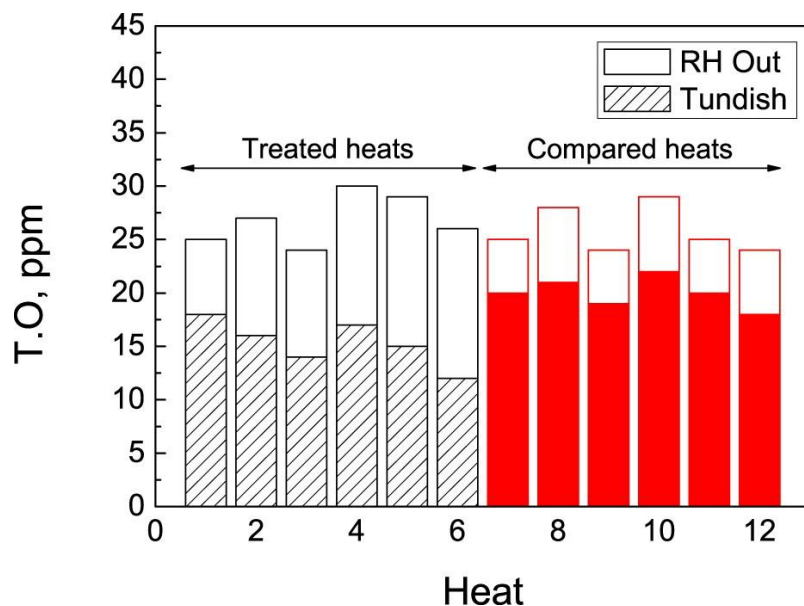


图1-1 原位生成微小气泡和渣滴

本研究的基本思想就是设计一种复合球体，该复合球体在高温下会分解释放出微小气泡和细小渣滴，如图所示。气泡尺寸细小可以增加其与夹杂物碰撞概率，提高夹杂物的去除效率；细小渣滴的存在具有渣洗的作用。



去除钢中夹杂物的效果



图：加入微小异相粒子后去除钢中全氧变化，以及钢中夹杂物尺寸变化

从图中可见，在中间包长水口处加入微小异相粒子后，钢中全氧含量明显降低，去除夹杂物效果明显。同时钢中夹杂物的尺寸明显细化。

(4) 小结

中间包的常规控流装置，对大颗粒夹杂物起到明显的去除效果，若需有效去除小颗粒夹杂，目前常用两种技术：（1）中间包气幕挡墙技术；（2）中间包旋转磁场技术；（3）原位生成微小气泡去除钢液中细小的夹杂物的方法等。

- 中间包气幕挡墙可以减少70%以上50 μm 夹杂，可以降低40%以上25-50 μm 夹杂。同时，气幕可改变钢液流动方向，延长钢液平均停留时间，进一步增加细小夹杂物上浮的空间和时间；
- 中间包旋转磁场可带动钢液形成大环流，延长了钢液的流动轨迹，可有效降低死区比例，去除非金属夹杂物。在18t中间包的试验中，控制旋转速度在30r/min较为合理。
- 通过控制拉速和适当改进挡墙结构，可以有效的降低中间包的铸余，增加合格铸坯产量。
- 在中间包长水口处加入微小异相粒子后，钢中全氧含量明显降低，去除夹杂物效果明显。同时钢中夹杂物的尺寸明显细化。



5 中间包冶金智能化控制

中间包冶金的效果直接影响和决定着铸坯的质量，中间包中钢液及操作的信息是连铸坯质量评定的重要判据，也是连铸工艺调整的依据。因此，中间包冶金的智能化是重要发展方向。中间包冶金技术的智能化发展趋势主要概括为以下几个方面：

- (1) 中间包成分、温度、气体含量的实施在线监/检测技术；
- (2) 中间包钢液洁净度指数的动态监测技术；
- (3) 中间包长寿技术；
- (4) 中间包生命周期安全性评估技术；
- (5) 中间包下渣和渣厚的实时动态监测技术；
- (6) 中间包智能浇注技术；
- (7) 基于智能判断的混钢模型和铸坯判级系统。



通过多位置的激光监测技术识别中间包钢液液位、钢渣厚度，从而对其进行实时监测。（见下图所示）中间包稳态浇注时测量误差为 $\pm 2.5\text{mm}$ ，浇注末期测量误差 $\pm 3.2\text{mm}$ （现有方法通过重量反算推测，其误差在 $\pm 30\text{mm}$ ）。

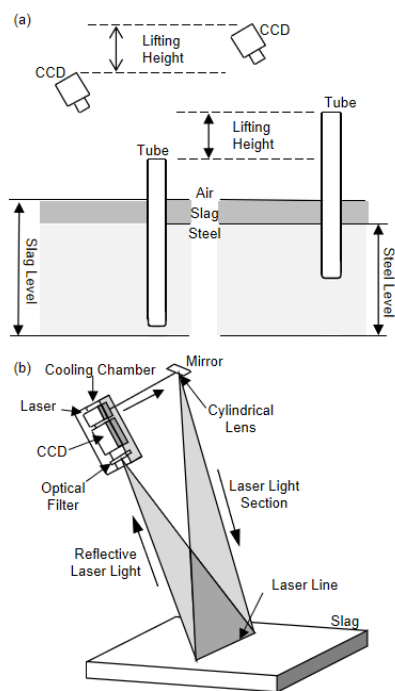


FIG. 1.Measuring system: (a) discontinuous molten steel level and slag thickness measurement and (b) continuous slag level measurement.

中间包冶金智能化控制可用于以下情况：

(1) 同浇次异钢种生产时，中间包液位太高则混钢区太长，中间废坯太高不利于成本控制；

(2) 中间包工作层耐材、涂抹材、引流砂等潮湿或环境潮湿会导致浇铸过程钢液增氢，严重恶化高品质钢材质量；

(3) 中间包的下渣检测、耐材熔损状态监测和识别、中间包浇注过程温度历程预测等都直接关系着生产安全和产品质量。

中间包液位和渣厚测试原理
(a) 非连续测量； (b) 连续测量

小结

- 中间包冶金的效果直接影响和决定着铸坯的质量，中间包中钢液及操作的信息是连铸坯质量评定的重要判据，也是连铸工艺调整的依据。因此，中间包冶金的智能化是重要发展方向；
- 中间包冶金技术的智能化发展趋势主要概括为以下几个方面：
 - (1) 中间包成分、温度、气体含量的实施在线监/检测技术；
 - (2) 中间包钢液洁净度指数的动态监测技术；
 - (3) 中间包长寿技术；
 - (4) 中间包生命周期安全性评估技术；
 - (5) 中间包下渣和渣厚的实时动态监测技术；
 - (6) 中间包智能浇注技术；
 - (7) 基于智能判断的混钢模型和铸坯判级系统。



6 几点结论

- (1) 在洁净钢生产过程中，中间包起到了净化、稳定钢液质量的关键作用；
- (2) 充分重视中间包气雾挡墙去除夹杂物的技术，气雾挡墙不能完全代替挡墙，但是可以起到气泡清洗钢液的目的，是一项有利于去除钢中夹杂物的技术。同时中间包中原位生成微小异相净化钢水技术值得关注；
- (3) 中间包加热技术是一项非常有前途的中间包冶金新技术，要充分重视其在降低、稳定中间包过热度，改善凝固偏析，去除钢中夹杂物方面的作用。优特钢厂更应该大力发展；
- (4) 注重中间包整体优化的概念：从炼钢流程中考虑中间包的冶金作用。
- (5) 中间包冶金的智能技术需要充分重视。





谢谢！ 请批评指正！

