

**HJ**

**环境保护技术文件**

**HJ/JSDZ00x-2009**

---

**钢铁行业污染防治最佳可行技术导则**  
**——炼钢工艺**

**(征求意见稿)**

**中华人民共和国环境保护部**

**二零零九年十月**

# 目 录

前 言	1
<b>1 总 则</b>	<b>2</b>
1.1 适用范围	2
1.2 术语和定义	2
1.2.1 最佳可行技术（BAT, Best Available Technology）	2
1.2.2 最佳环境管理实践（BEMP, Best Environmental Management Practice）	2
1.2.3 新技术（New Technology）	2
<b>2 炼钢生产技术现状及主要环境问题</b>	<b>4</b>
2.1 生产工艺简介	4
2.1.1 转炉炼钢生产工艺	4
2.1.2 电炉炼钢生产工艺	5
2.1.3 钢水炉外精炼生产工艺	6
2.1.4 连铸生产工艺	7
2.2 资源、能源消耗水平	8
2.2.1 炼钢工艺资源消耗	8
2.2.2 炼钢工艺能源消耗	10
2.3 主要污染物的产生与排放	11
2.4 炼钢工艺的主要环境问题	14
<b>3 炼钢工艺污染防治技术</b>	<b>16</b>
3.1 生产工艺节能减排技术	16
3.2 末端治理技术	18
3.2.1 废气末端治理技术	18
3.2.2 废水末端治理技术	20
3.2.3 固体废弃物末端治理技术	21
3.2.4 噪声控制技术	22
<b>4 炼钢工艺污染防治最佳可行技术</b>	<b>24</b>
4.1 炼钢工艺污染防治最佳可行技术工艺流程	24
4.1.1 最佳可行技术工艺流程图	24
4.1.2 最佳可行技术工艺环境影响	24
4.2 炼钢工艺最佳可行节能减排技术	26
4.3 炼钢工艺最佳可行末端治理技术	31
4.4 炼钢工艺污染防治最佳环境管理实践	44
4.4.1 炼钢废气最佳环境管理实践	44
4.4.2 炼钢废水处理最佳环境管理实践	45
4.4.3 炼钢固体废弃物处理最佳环境管理实践	45
4.4.4 最佳环境管理体系	46
<b>5 新技术动态</b>	<b>I</b>
5.1 清洁生产技术	I
5.2 污染治理技术	III

## 前 言

为贯彻执行《中华人民共和国环境保护法》，加快建立环境技术管理体系，确保环境管理目标的技术可达性和增强环境管理决策的科学性，提供环境管理政策制定和实施的技术依据，引导污染防治技术的发展，根据《国家环境技术管理体系建设规划》，环境保护部组织制定污染防治技术政策、污染防治最佳可行技术导则、环境工程技术规范等系列技术指导文件。

污染防治最佳可行技术导则是按行业或重点污染源对污染防治全过程所应采用的技术经济可行的污染防治技术及管理措施所作的技术参考。

本导则可作为燃煤电厂项目环境影响评价、工程设计、工程验收和运营管理等环节管理的参考依据，是各级环境保护部门、设计单位以及用户的指导性技术参考文件。

本导则为首次发布，将根据环境管理要求及技术发展适时修订。我部同期出版《钢铁航务污染防治最佳可行技术——炼钢工艺研究报告》，供使用导则时参考。

本导则由中冶建筑研究总院有限公司、北京市环境保护科学研究院、中钢集团天澄环保科技股份有限公司起草。

# 1 总 则

## 1.1 适用范围

本导则适用于钢铁行业炼钢厂或炼钢工序。

本导则旨在为钢铁行业炼钢生产相关管理人员和用户选择污染防治最佳可行技术提供参考，同时为环境保护相关管理部门在进行环境影响评价、工程设计、工程验收以及运营管理等环节提供技术依据。

## 1.2 术语和定义

### 1.2.1 最佳可行技术（BAT， Best Available Technology）

**最佳可行技术：**是针对各种生产活动工艺生产全过程产生的各种环境问题，采用在公共基础设施和工业部门得到应用的最有效、先进、经济和可行的污染防治工艺和技术，特别是通过生产过程的清洁生产管理提高资源利用效果、预防和减少污染物的排放，从整体上减少对环境的影响。

钢铁行业炼钢工艺污染防治“最佳可行技术”是针对炼钢厂或炼钢工序生产全过程可能产生的污染，在技术和经济可行的条件下，采用在国内炼钢厂或炼钢工序得到应用的且有效、先进、可行的污染防治技术、节能和资源有效利用技术，二次污染防治技术，从整体上减少对环境的负面影响。

### 1.2.2 最佳环境管理实践（BEMP， Best Environmental Management Practice）

**最佳环境管理实践：**是指运用行政、经济、技术等手段，减少生活、生产活动可能对环境造成的潜在污染和危害，确保实现最佳污染防治效果，从整体上达到高水平环境保护所采用的管理活动。

### 1.2.3 新技术（New Technology）

**新技术：**是指正处于研究或试验阶段的新的技术原理、工艺装备及新的管理理念。新技术对提高生产效率、降低生产成本、改善生产环境、提高产品质量以及节能降耗等某一方面较原技术有明显改进，经过实验研究和工程示范后将达到

实用程度并对提高经济效益具有一定作用的技术。

#### **1.2.4 其它相关定义**

**现有企业：**指在本标准实施之日前已建成投产或环境影响报告书（表）或登记表已通过审批的炼钢生产企业或设施。

**新建企业：**指在本标准实施之日起环境影响报告书（表）或登记表通过审批的新建、改建和扩建的炼钢生产企业或设施。

## 2 炼钢生产技术现状及主要环境问题

### 2.1 生产工艺简介

根据原料种类和氧的供给方式，炼钢生产方法目前主要有转炉炼钢和电炉炼钢两大类，过去使用的平炉炼钢和化铁炉炼钢国内已经全部淘汰。

#### 2.1.1 转炉炼钢生产工艺

转炉炼钢是以铁水和少量废钢等为原料，以石灰（活性石灰）、萤石等为熔剂，在转炉内用氧气进行吹炼的炼钢方法。根据冶炼期间向炉内喷吹氧气、惰性气体部位的不同，转炉炼钢又可分为顶吹、底吹和顶底复吹转炉炼钢。顶吹是从炉顶吹氧，底吹是从炉底吹氧，顶底复吹是从炉顶吹氧、炉底吹惰性气体（如 Ar 或 N<sub>2</sub>）。熔剂等辅料由炉顶料仓加入炉内。

转炉炼钢工艺流程：铁水预处理→转炉复合吹炼→炉外精炼→连铸。液体铁水由炼铁厂用铁水罐或鱼雷罐车送到炼钢厂，采用铁水罐车运送铁水时，铁水进入炼钢工序无需倒罐，直接将铁水罐吊到脱硫台车上进行脱硫作业；采用鱼雷罐运送铁水时，铁水需要倒入预处理罐进行脱硫。为了提高钢种质量和转炉炼钢的技术经济指标，需要脱硅的铁水先在高炉炉前脱硅，之后兑入转炉进行炼钢。需要脱磷的设置脱磷转炉。转炉吹炼时，由于氧气和铁水中碳发生化学反应，产生大量含 CO 的炉气（转炉煤气）；同时铁水中其它杂质的氧化物和少量的氧化铁与熔剂相结合生成钢渣。当吹炼结束时，倾倒炉体排渣出钢。出钢时向钢包中加入少量铁合金料，使钢水脱氧和合金化。为了冶炼优质钢种，将钢包中钢水再送至炉外精炼装置（根据钢的品种，选择如 LF 钢包精炼炉、RH、VOD 真空处理炉等）中进行精炼，对钢水进行升温、化学成分调节、真空脱气和去除杂质等处理，最后在连铸机上浇铸成连铸坯。

转炉炼钢生产工艺流程见图 2.1-1。



氧去除金属中的杂质，然后用铁合金、铝等使钢水脱氧和合金化。精炼和连铸工艺同转炉炼钢。有些电炉炼钢工艺还对废钢进行预热处理，处理方式有利用电炉烟气在炉外预热，或直接在电炉上方设预热罐预热。

电炉炼钢生产工艺流程见图 2.1-2。

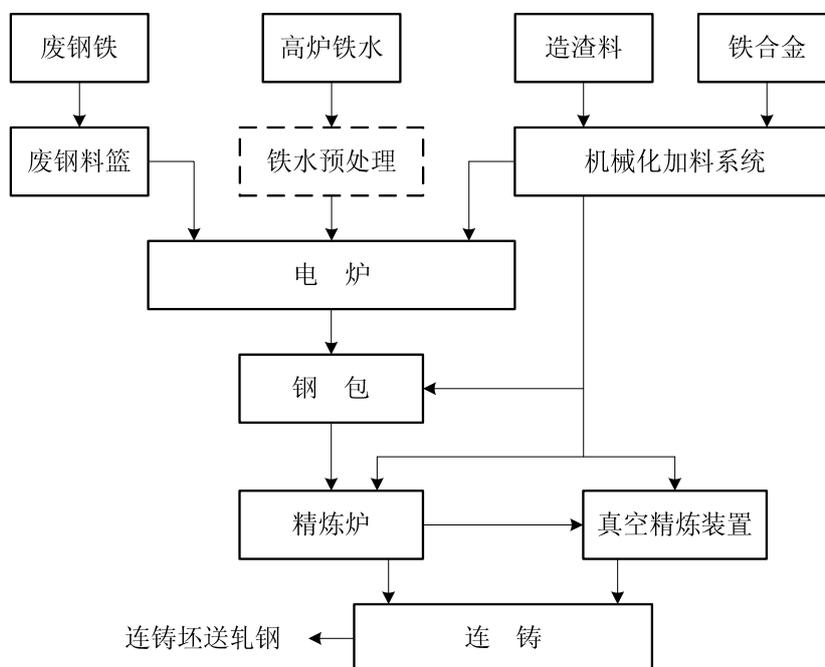


图 2.1-2 电炉炼钢生产工艺流程

### 2.1.3 钢水炉外精炼生产工艺

钢水的炉外精炼是将原来在转炉和电炉中完成的精炼任务，移到炉外的钢包或专用容器中进行，以便获得多品种更优质的钢水。炉外精炼又称二次炼钢，在不同的炉外精炼设施中，可以分别对钢水进行脱硫、脱碳、脱氧、脱气、去除夹杂物或改变形态等处理，调整钢水成分和温度，使其分布均匀、晶粒细化，还可向其中加入特殊元素。

炉外处理工艺大体可以分为：钢包精炼加吹氩搅拌、真空脱气、真空吹氧脱碳、以及喷粉或喂丝等类型，即：

LF 炉——通过电弧加热、炉内还原、造白渣精炼和气体搅拌等手段，使钢水在短时间内完成脱氧、脱硫、合金化和升温等综合精炼过程，达到钢水成分精确、温度均匀、夹杂物充分上浮、从而净化钢水的目的，同时很好地协调炼钢和连铸工序，保证多炉连浇工艺的顺利进行。

真空脱气处理装置（VD）与真空吹氧脱碳装置（VOD）——用于对钢液进行真空脱气处理和真空吹氧脱碳处理，生产低气体含量钢、低碳钢和不锈钢等。

真空循环脱气装置（RH）与 RH-KTB/PB 装置——当大中型转炉车间主要生产低碳与超低碳的薄板钢种时，应选用 RH 真空循环脱气法与增设顶氧枪的 RH-KTB 真空精炼装置。

喷粉处理——通过喷射惰性气体经粉状材料吹入铁水或钢液深处，进行脱磷、脱硫、脱氧及非金属夹杂物变性处理，生产超清洁钢。

喂丝处理——向钢液喂入铝线或不同芯料的包芯线，达到脱氧、脱硫、非金属夹杂物变性处理和合金成分微调等效果。

钢水炉外精炼对于提高钢的品种质量，生产新钢种以及生产过程合理化，满足连铸对钢水成分、温度、纯净度和时间等衔接的严格要求，是不可缺少的工序，已成为现代炼钢-连铸生产中的重要环节。转炉和电炉则只承担熔化、脱磷、脱碳及升温的任务，既减轻了负荷，技术经济指标也得到了显著改善。在实际生产中，可根据不同的目的选用一种或几种手段组合的炉外精炼技术来完成所要求的精炼任务，如电炉后配置 LF+VD、转炉后配置 LF+RH-KTB 等。

#### 2.1.4 连铸生产工艺

连铸生产就是将钢水连续铸坯，简化了加工钢材的程序，可以省掉过去采用的钢锭模将钢水铸锭和初轧开坯等工序，可以实现钢坯热送热轧，减少金属损耗、节约能源。

连铸生产工艺过程：把引锭头送入结晶器，将结晶器壁与引锭头之间的缝隙填塞紧密，调好中间包水口的位置，并与结晶器对位，将钢包内钢水注入中间包。当中间包内的钢液高度达到 400mm 左右时，打开中间包水口将钢液注入结晶器。由于结晶器壁的强致冷效果，钢水冷凝形成坯壳；坯壳达到一定厚度时启动拉坯机，夹持引锭杆将铸坯从结晶器中缓缓拉出；与此同时，开动结晶器振动装置，铸坯在二冷区经喷水进一步冷却，使液芯全部凝固；铸坯进入拉矫机后，脱去引锭装置，矫直，由切割机切成所需尺寸，再经去毛刺和喷号，成为可用于轧钢的连铸坯。浇注过程连续进行，直至一炉或数炉钢水全部浇完。

铸坯运送到轧机的方式有冷送、热送和直接轧制等三种。热送和直接轧制都需要高温无缺陷的铸坯，在工艺和设备上必须采取一系列措施，以保证大部分铸

坯不需精整清理，并有足够的温度；对一些质量要求高的钢种，如不锈钢、弹簧钢和轴承钢等高碳钢需要缓冷或表面清理后冷送。

连铸的一般生产工艺流程见图 2.1-3。

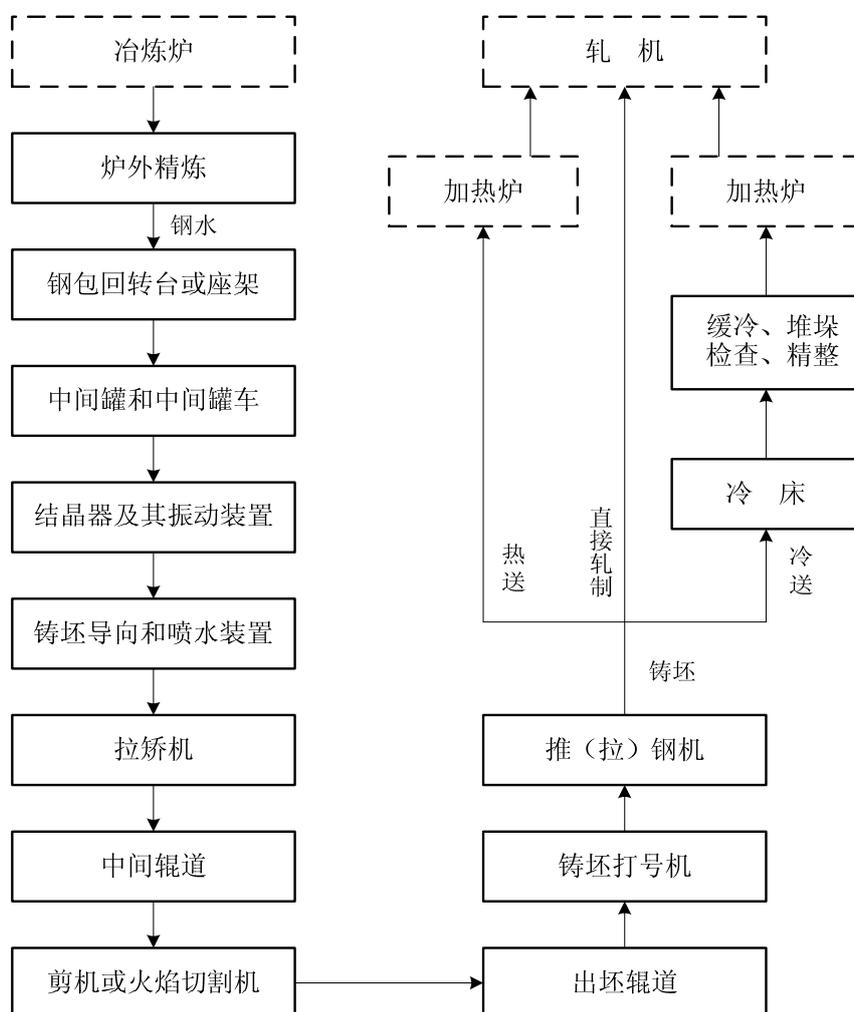


图 2.1-3 连铸生产工艺流程

## 2.2 资源、能源消耗水平

### 2.2.1 炼钢工艺资源消耗

转炉炼钢生产的主要原料是铁水和废钢，主要产品是连铸坯和转炉煤气，有的炼钢厂还回收余热蒸汽；电炉炼钢的主要原料是废钢，在废钢原料紧张和价格攀升时，不少企业开始用直接还原铁（DRI）和生铁块代替部分废钢，或采用铁水热装工艺。我国炼钢工艺吨产品原料消耗及主要产品见表 2.2-1 和表 2.2-2，因具体生产工艺、装备水平、生产规模以及管理水平的不同，物料消耗将有很大差

异。

表 2.2-1 炼钢工艺吨钢资源消耗及主要产品产量

工序	品 种	单 位	数 量	备 注
转 炉 炼 钢	主要产品			
	钢 水	t	1.0	
	转炉煤气	m <sup>3</sup>	80~120	
	蒸 汽	kg	60~90	
	主要原辅料消耗			
	钢铁料	kg	1056~1100	铁水约占80%，废钢占20%。
	铁合金	kg	10~20	
	造渣材料	kg	70~80	白云石、石灰、萤石等
	耐火材料	kg	0.2~2	
电 炉 炼 钢	主要产品			
	钢 水	t	1.0	
	蒸 汽	kg	60~90	
	主要原辅料消耗			
	废钢、生铁块	kg	1050~1080	一些钢厂直接加入热铁水
	铁合金	kg	10~60	
	造渣材料	kg	50~70	白云石、石灰、萤石
	碳 粉	kg	4~8	
	耐火材料	kg	2~3	
电极消耗	kg	1.0~2.5		
连 铸	主要产品			
	连铸坯	t	1.0	
	主要原辅料消耗			
	钢 水	kg	1030~1045	
	保护渣	kg	1.0~1.5	
耐火材料	kg	3~5		

表 2.2-2 炉外精炼装置主要物料指标（每吨钢水消耗）

项目	SL,TN	VD	DH,RH	VOD	AOD	LF/VD ASEA-SKF VHD	LF	CAS-OB
				(生产不锈钢)				
每吨精炼 钢水消耗 钢水/kg				生 产 不锈 钢 1020	生 产 不锈 钢 1080			
铁合金/kg	视钢种	视钢种	视钢种	Cr 以外 10	Cr 以外 25~30	视钢种	视钢种	Al 1~2
石灰/kg	5~10			10~20	20~30	10~20	10~30	
萤石/kg	1			1	2	1~2	1~2	
钢包耐火 材料/kg	6~10	6~8	6~8	10~15	炉子 40	8~10	8~10	6~10

注：表中数据来源《冶金工程设计 第2册工艺设计》，冶金工业出版社，2006年。

## 2.2.2 炼钢工艺能源消耗

炼钢工艺能源消耗主要包括副产煤气、水、电、蒸汽、氧气、压缩空气等，具体能耗指标见表 2.2-3 和表 2.2-4。

表 2.2-3 炼钢工序吨产品能源消耗统计

能源介质	单位	转炉炼钢	电炉炼钢	连 铸
煤 气	GJ	~0.12	0.1~0.2	0.1~0.15
电	kWh	15~20*	310~430（冶炼用电） 20~30（动力用电）*	
蒸 汽	kg	3~15		
循环水量	t	~15	~20	~15
氧 气	m <sup>3</sup>	42~60	25~40	2.5~3.5
氮 气	m <sup>3</sup>	20~25		
氩 气	m <sup>3</sup>	0.5~1.0		
乙 炔	m <sup>3</sup>			3~5
压缩空气	m <sup>3</sup>	15	10~15	5~15

注：\*均不含除尘用电。

表 2.2-4 炉外精炼装置主要能耗指标（每吨钢水消耗）

项目	SL,TN	VD	DH,RH	VOD	AOD	LF/VD ASEA-SKF VHD	LF	CAS-OB
				(生产不锈钢)				
蒸汽/kg		50~100	30~130	150~200		50~150		
氧气/kg				10~20	15~25			
氩气/kg	0.1~0.3	0.1~0.3	RH1~2	0.1~0.3	10~17	0.1~0.3	0.2~0.4	0.1
氮气/kg			电加热 2.5~5		10~15			0.1~0.2
加热钢水 电耗/kWh						20~70	20~70	
电极消耗/kg			0.1			0.2~0.6	0.2~0.6	

注：表中数据来源《冶金工程设计 第2册工艺设计》，冶金工业出版社，2006年。

因生产工艺、装备水平、生产规模以及管理水平的不同，各生产企业工序能耗有较大差异，炼钢工艺工序能耗统计见表2.2-5。由表可知，2000年以来随着国内节能环保技术的发展，吨钢综合能耗和电炉工序能耗逐年降低。但是，与国内外先进水平（2007年，武钢3#250t转炉工序能耗达-21.51kgce，太钢炼钢厂工序能耗为-13.65kgce）相比，仍有较大差距，说明国内转炉工序尚有较大的节能空间。

表 2.2-5 国内炼钢工序每吨钢水能耗统计

单位：kgce

年份	综合能耗	转炉工序能耗	电炉工序能耗
2000	920	28.88	265.59
2001	876	28.03	230.09
2002	815	24.01	228.94
2003	780	23.56	213.73
2004	761	26.57	209.89
2005	747	36.34	201.02
2006	645	10.11	108.91

注：表中数据来源：殷瑞钰《我国炼钢-连铸技术发展和2010年展望》，炼钢，2008，24（6）；2006年数据按新公布的电折算系数统计。

## 2.3 主要污染物的产生与排放

炼钢工艺生产过程及主要污染物产生环节见图 2.3-1 和图 2.3-2，各污染物排放来源详见表 2.3-1~表 2.3-4。

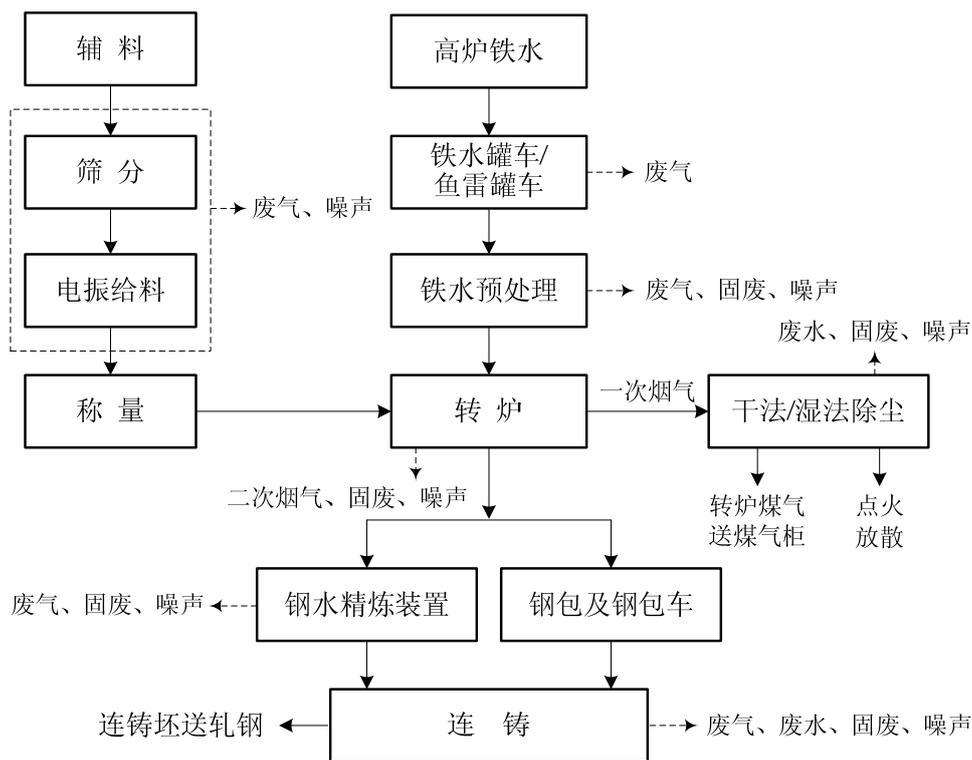


图 2.3-1 转炉炼钢-连铸工艺流程与排污节点示意图

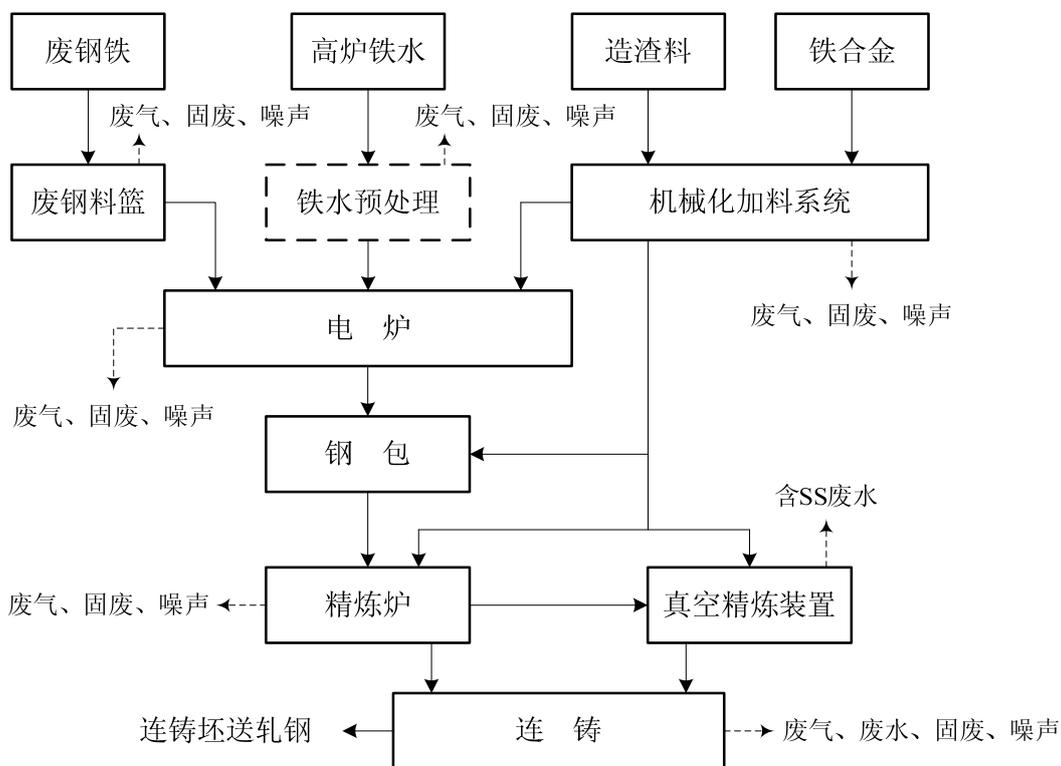


图 2.3-2 电炉炼钢-连铸工艺流程与排污节点示意图

表 2.3-1 炼钢工艺大气污染源及主要污染物

生产工序	污染源	主要污染物	备注
铁水预处理	铁水倒罐、前扒渣、后扒渣、清罐、预处理作业	含尘烟气	
转炉炼钢	转炉吹炼过程	含 CO、氧化铁粉尘、少量氟化物（主要成分为 CaF <sub>2</sub> ）的高温烟气。	有些转炉冶炼时不加萤石，则产生的烟气中不含氟化物。
	兑铁水、加入废钢、加入辅料、出渣、出钢过程	含尘烟气	
电炉炼钢	加入废钢、加入辅料、吹氧冶炼、出渣、出钢过程	含尘烟气、CO、CO <sub>2</sub> 、氧化铁粉尘、少量的氟化物(主要成分为 CaF <sub>2</sub> )及二噁英。	严格控制废钢入炉清洁度，可最大限度地减少二噁英产生量。
精 炼	LF 精炼炉等	含尘烟气、CO、氧化铁粉尘、氟化物（主要成分为 CaF <sub>2</sub> ）。	LF 精炼时加萤石，故废气中可能含有氟化物气体。
连 铸	中间罐倾翻和修砌、连铸结晶器浇注及添加保护渣、火焰清理机作业过程、二冷段铸坯冷却过程。	含尘烟气、水蒸气	
其 它	原辅料输送、地下料仓、上料系统	含尘废气	
	中间罐和钢包烘烤	含 SO <sub>2</sub> 烟气	燃用清洁煤气，以减少 SO <sub>2</sub> 排放。
	钢渣处理过程	含尘废气、水蒸气	

表 2.3-2 炼钢工艺水污染源及主要污染物

废水种类	排水来源	主要污染物	备注
间接冷却软水循环系统	转炉吹氧管、氧枪、烟罩和位于烟罩部位的氧枪孔及连铸结晶器等设备冷却。	热污染	冷却后密闭循环使用。
间接冷却水循环系统	转炉下料溜槽、炉口、耳轴、转炉前后挡板；精炼炉等设备的间接冷却排水；电炉、电磁搅拌器、变压器油冷却器以及排烟管道套管冷却水。	热污染	冷却后循环使用，少量水外排以保持水质稳定。
直接冷却油环水系统	二冷区连铸坯冷却废水、连铸设备冷却废水、钢坯火焰切割渣冲洗废水。	氧化铁皮、油脂	沉淀、过滤、冷却、除油后回用，少量外排。
湿式除尘油环水系统	转炉烟气湿式除尘废水	SS、热污染	沉淀、冷却后循环使用，少量外排。电炉烟气一般采用干法除尘，无废水产生。

表 2.3-3 炼钢工艺固废来源及主要污染物

固废名称	固废来源	主要污染物	备注
冶炼渣	铁水预处理脱硫站作业过程中产生的脱硫渣；转炉、电炉和精炼炉冶炼过程中转炉渣、电炉渣和精炼渣。	钢渣	一般工业固废
转炉污泥	转炉一次烟气湿法除尘（OG法）产生的转炉污泥，也称OG泥。	氧化铁、油类等	一般工业固废
除尘灰	转炉一次烟气干法除尘（LT法）产生的LT除尘灰；转炉二次烟气和电炉一、二次烟气除尘系统收集的除尘灰；其它除尘系统收集的除尘灰。	氧化铁等	一般工业固废
氧化铁皮	浊环水处理系统	氧化铁等	一般工业固废
废油	浊环水处理系统中清除的废油；生产设备集油部分收集的废油。	乳化油、润滑油等	危险废物
水处理污泥	浊环水处理系统	氧化铁、油类等	一般工业固废
废耐火材料	转炉、电炉、精炼炉、钢水罐、铁水罐、连铸中间罐等的修砌过程。	耐火砖等	一般工业固废
其它	连铸过程产生注余渣、残钢、漏钢、切头切尾废钢	废钢等	一般工业固废

表 2.3-4 炼钢工艺主要噪声源及噪声声级

单位：dB(A)

噪声源	噪声级	排放规律	噪声源	噪声级	排放规律
转炉	~105	连续式	余热锅炉 汽包排气	~120	连续式
电炉	~105	连续式	汽化冷却 装置放散	110~120	间歇式
精炼炉	~105	连续式	火焰清理机	~90	间歇式
主要液压站	97~100	连续式	铸坯切割机	~90	连续式
煤气加压机	~100	连续式	风机	92~96	连续式
真空泵	~100	连续式	水泵	85~92	连续式
空压机	~95	连续式	冷却塔	~95	连续式

## 2.4 炼钢工艺的主要环境问题

目前炼钢工艺需要特别关注的主要环境污染问题有：

- (1) 转炉一次烟气净化和转炉煤气回收利用问题；

- (2) 转炉二次烟气和电炉烟气的治理问题；
- (3) 转炉烟气和电炉烟气余热回收利用、高温钢渣的显热回收利用问题；
- (4) 电炉炼钢工序二噁英的减排和污染治理问题；
- (5) 使用氟系熔渣进行重熔冶炼的特钢企业氟化物控制问题；
- (6) 转炉煤气洗涤废水和连铸直接冷却浊环水的处理和回用问题；
- (7) 钢渣（转炉渣、电炉渣、精炼渣、脱硫渣等）的处理和综合利用问题；
- (8) 含铅、锌等重金属电炉粉尘的处理和综合利用问题；
- (9) 各种炼钢、连铸设备的噪声控制问题。

## 3 炼钢工艺污染防治技术

### 3.1 生产工艺节能减排技术

#### (1) 生产设备大型化

炼钢设备大型化，采用先进的生产工艺，单炉出钢量大，减少冶炼炉次，既减少大量产生污染物的兑铁水、加料和出钢等生产过程，因此可大幅降低产生污染物的可能性；同时也降低了吹损，还达到节约金属料的目的。

#### (2) 精料和少渣冶炼技术

采用铁水预处理、“双联”冶炼、挡渣出钢、溅渣护炉等技术，有利于缩短冶炼周期，降低石灰、白云石、铁合金、耐火材料等原材料消耗，减少渣量，降低出钢温度，提高金属回收率，达到提高炼钢生产效率，节能降耗的目的，同时还可以有效减少末端污染物的产生。

#### (3) 蓄热式钢包烘烤技术

钢水罐和中间罐烘烤是炼钢系统各厂的煤气消耗大户。蓄热式钢包烘烤器采用封闭式烘烤方式，利用高频换向阀使高温烟气与助燃空气和煤气在蓄热体内交替通过，相互间进行充分的热交换，从而使助燃空气和煤气预热到1000℃左右、排烟温度降低到150℃左右。

相对普通钢包烘烤器而言，蓄热式钢包烘烤器具有以下优点：可大幅度节约燃料；提高钢包温度，降低炼钢能耗；缩短烘烤时间；可以燃烧劣质燃料；提高包衬寿命；降低CO、NO<sub>x</sub>等有害气体的排放量。

#### (4) 转炉负能炼钢

转炉工序负能炼钢是指从转炉兑铁加料到出钢过程，转炉消耗的氧气、氮气、焦炉煤气、水、电和蒸汽等能源，与回收的转炉煤气、蒸汽之差为负值。炼钢厂全工序负能炼钢是指炼钢厂从高炉热铁水进厂到生产出合格钢坯涉及的所有生产工序（包括铁水预处理、转炉炼钢、精炼、连铸、除尘及水处理等所有炼钢辅助工序）消耗的能源与回收的转炉煤气、蒸汽之差为负值。

#### (5) 转炉煤气回收利用

转炉炼钢周期中从把氧气吹入转炉熔池到停止吹氧的过程为吹炼期，在转炉吹炼开始前煤气回收罩下降盖住炉口，将抽出的烟气全部送煤气回收系统除尘，

吹炼结束后，烟罩提起，风机进入低速待机状态。烟罩收集的烟气温度约 1450℃，烟气成分在吹炼过程中是不同的，CO 含量最高时为：CO 72.5%、H<sub>2</sub> 3.3%、CO<sub>2</sub>16.2%，此时为转炉煤气回收期，回收的煤气经除尘后通过煤气管网送往煤气柜，经煤气加压机送往各用户。非回收期的烟气由切换阀切换至烟囱，点火放散排放。转炉煤气回收，不仅可以大幅降低炼钢能耗，而且可以大大减少炼钢的污染物排放（包括温室气体）的排放。

#### （6）余热回收利用

转炉烟气余热回收——转炉一次烟气为高温烟气，在与二次烟气混合降温进入除尘系统前，采用汽化冷却装置对烟气进行降温，同时产生大量蒸汽，利用余热锅炉回收这部分蒸汽的物理热。由于余热锅炉产生的饱和蒸汽压力普遍波动在 1.0~2.6MPa，炼钢厂内部使用蒸汽的压力可达到 3.5MPa，余热锅炉回收的蒸汽不能满足要求，造成蒸汽放散。为了充分利用炼钢转炉回收的蒸汽，采用优化转炉设计、提高蒸汽压力、同时将剩余蒸汽送电厂等措施，以保证转炉炼钢回收的蒸汽得到全部利用。

电炉烟气余热回收——电炉冶炼所产生的一次高温烟气进入除尘系统前，采用汽化冷却装置对烟气进行降温时产生大量蒸汽，利用余热锅炉回收这部分蒸汽的物理热。由于汽化冷却烟道各段电炉烟气温度不同，故设置不同的换热面，以充分回收高、低温烟气的热量。

#### （7）废钢分拣预处理技术

通过对废钢进行分选，最大限度地减少含油脂、油漆、涂料、塑料等有机物废钢的入炉量，并对分选出的含有机物废钢另行加工处理，即可从源头减少电炉工序二噁英的生成量。

#### （8）废钢预热

在电弧熔化废钢前，利用电炉废气的显热和化学热能预热废钢，从而节省了能量。结合废钢预热的竖炉电弧炉是将传统的炉外废钢预热装置移到炉子上部，进行炉内废钢预热，充分进行二次燃烧化学能的转换和高温炉气的物理余热回收并过滤烟尘。

该技术有以下优点：废钢熔化前得到预热，缩短了熔化时间；降低了输入功率，提高了炉子的生产率；金属收得率有所提高；节省了电极和耐火材料；减少了环境污染。

### （9）连铸坯热送热装技术

连铸坯热送热装工艺是把连铸机生产出的热铸坯切割成一定尺寸后，在高温状态下，直接保温送轧钢厂或直接送加热炉加热后轧制的一种生产工艺。连铸坯热送热装分为热送装炉轧制和直接装炉轧制两种，现阶段以前者为主。

该技术充分利用连铸坯的显热，实现了节约能源、降低生产成本、提高成材率、缩短生产周期和优化产品性能的目的。

### （10）串级用水技术

串级用水是指根据用户对水温、水质的不同要求，将上一工序的废水转送到可以接受的生产过程或系统中使用的串联供水技术。该技术可以减少水处理设施、节省占地、节约能源、减少或消除污染，是水处理中最简洁、最经济、最科学的一种技术。

## 3.2 末端治理技术

### 3.2.1 废气末端治理技术

#### （1）铁水倒罐站和铁水预处理系统

铁水从铁水罐车或鱼雷罐车倒入预处理罐时会产生大量高温烟气，由倒罐站上部设置的排烟罩进行烟气捕集，通过管道送铁水预处理系统布袋除尘器进行除尘。

铁水预处理系统粉尘主要来源于前扒渣、后扒渣、清罐、铁水脱硫等处。设置多个除尘点，采用布袋除尘器，同时对铁水预处理和辅料输送烟粉尘进行收集和净化处理。

#### （2）转炉一次烟气除尘系统

转炉吹炼过程产生的约 1450℃ 的高温烟气（即转炉一次烟气），CO 含量可高达 80% 以上，可经除尘处理后，回收煤气。除尘方式分为湿法和干法两大类，目前最具代表性的是高效喷雾洗涤塔加新型 RD 文氏管流程（第四代 OG 系统）和 LT 干法除尘工艺。

#### （3）转炉二次烟气除尘系统

转炉二次烟气主要来源于兑铁水、加废钢和出钢等过程，此外还有吹炼过程的少量外逸烟气，修炉时炉内烟尘、氧枪切割时产生的烟尘以及铁合金输送、给料过程中产生的烟气。

通常采用在转炉前和炉后分别设置抽风罩的方法进行烟气捕集，系统按变风量设计：转炉兑铁水时产生的烟气体积最大，而且温度高，此刻烟罩抽风量也最大，同时还抽入空气作为混风，使进入除尘器的烟气温度降低到 120℃ 以下；转炉出钢的烟气温度低于兑铁水，无需混风降温，进入除尘系统的风量也小许多；在炼钢周期的其它时间（包括吹炼、静置等过程中），烟罩的抽风量小，进入二次烟气除尘系统的风量也很小；当生产系统处于工作间歇期，抽风机进入低速运转。有的钢厂将精炼、散料仓和上料系统的除尘都并入二次烟气处理系统，系统采用布袋除尘器除尘。

#### （4）电炉烟气除尘系统

电炉在加料、冶炼和出钢过程中会产生大量一次烟气和二次烟气，且烟尘量随冶炼阶段的不同而波动较大。电炉烟气除尘系统包括两大部分：烟气捕集系统和烟气净化系统。对于烟气净化系统，国内外绝大部分采用袋式除尘器，其技术已经成熟。电炉烟气治理的关键是烟气的捕集率，捕集率越高，除尘效果越好。目前国内外电炉烟气的捕集方式主要有以下几种：① 炉内排烟——也称第四孔排烟（直流电炉称第二孔排烟），即在电炉炉盖上开一个专用排烟孔，直接将炉内烟气抽入除尘系统；② 炉外排烟捕集方式（单一集烟方式）——炉外排烟是将电炉的电极孔和炉门等不严密处逸散于炉外的烟气加以捕集的排烟方式，即在电炉炉顶、出钢、出渣口上方安装各种形式的集烟罩，如炉盖罩、钳形罩、侧吸罩等，另外还有屋顶罩集烟、大围罩集烟（半密闭罩与之类似）等集烟方式；③ 为了提高烟气的捕集率，将炉内排烟和炉外排烟组合，或将炉外排烟的两种集烟方式组合起来，形成以下几种组合方式：第四孔排烟+屋顶罩、第四孔排烟+大围罩、第四孔排烟+大围罩+屋顶罩、导流罩+顶吸罩（也称天车通过式捕集罩）等。

#### （5）精炼系统烟气

精炼系统烟气主要包括精炼炉（如 AOD 炉、LF 炉等）烟气和上料系统烟气（包括料仓及料仓下振动给料器、皮带受料点等）。

精炼系统烟气处理方式一般有两种：① 从炉盖侧吸口接通排烟管（也称炉盖侧吸罩），烟气经排烟管进入除尘器；② 对 LF 炉设置半密闭罩，烟气由罩顶排烟口、排烟管进入除尘器。目前，国内大中型 LF 炉烟气排放量较大，现多采用“半密闭罩+布袋除尘器”的净化方式。

#### （6）连铸烟气

### ① 连铸结晶器浇注烟气

主要是钢水从中间罐向结晶器浇注过程产生的烟气，采用结晶器排烟装置，将烟尘排至连铸二冷室内，利用连铸二次冷却产生的大量水蒸气将其净化后经烟囱排放。

### ② 连铸二冷段水蒸汽

主要是水蒸汽，含有少量悬浮颗粒物，采用离心风机通过高于厂房 3m 以上的排气筒排出车间。

### ③ 连铸切割和烘烤烟气

主要是连铸火焰切割及烘烤过程产生的烟气，连铸切割普通钢时产生的烟量较少，烘烤采用经过脱硫的焦炉煤气，燃烧废气  $\text{SO}_2$  排放浓度小于  $100\text{mg}/\text{m}^3$ ，燃烧废气和连铸切割废气由导风机经车间天窗排放。

### ④ 连铸中间罐拆包、倾翻时产生的粉尘采用洒水抑尘。

## (7) 氟化物末端治理技术

① 部分钢铁企业，转炉、电炉、精炼炉冶炼过程中会加入少量的萤石（主要成分  $\text{CaF}_2$ ），氟化物作为造渣剂大部分进入钢渣中，主要以  $\text{CaF}_2$  形式存在，理论上并不产生气态氟化物（如  $\text{HF}$  等），通过控制颗粒物的排放即可达到控制氟化物的目的，氟化物和转炉烟尘一起通过布袋除尘器回收，一般不会排入大气环境中。

② 特钢企业用来冶炼优质合金钢或超级合金钢的电渣炉等与转炉、电炉、精炼炉有很大不同，多使用氟系熔渣进行重熔冶炼，生产过程中由于萤石（ $\text{CaF}_2$ ）的水解而容易产生气态氟化物。控制气态氟化物的方法主要有湿法、干法和半干法三大类，目前国内特钢企业主要采用干法净化，即向烟气中喷入石灰粉等吸附剂，效果良好，一般氟化物排放浓度可达到  $5\text{mg}/\text{m}^3$  以下，甚至低于  $1\text{mg}/\text{m}^3$ 。

## 3.2.2 废水末端治理技术

### (1) 设备间接冷却水

设备间接冷却水包括转炉、电炉、精炼炉、连铸机的间接冷却净环水。间接冷却净环水使用后仅水温升高，经冷却塔冷却后回到吸水井，再根据用户要求供给用户。为保证循环水的水质稳定，系统设有旁滤设施并进行水质稳定处理。

### (2) 转炉煤气洗涤废水

转炉煤气洗涤废水是指采用湿法系统（OG法）净化转炉煤气产生的废水。

大、中型转炉煤气洗涤废水处理流程为：粗颗粒分离器→沉淀池→经冷却塔冷却后回用（视烟气净化工艺对供水温度的要求，确定是否设置冷却塔）；小型转炉煤气洗涤废水直接进入沉淀池，沉淀池可采用圆形沉淀浓缩池或斜板沉淀器，斜板沉淀器前设磁聚凝装置。

转炉煤气洗涤废水中碳酸钙有析出倾向，系统中应投加防垢分散剂，少量排水或定期排水可串接供炉渣处理系统使用。

### （3）真空精炼浊环水

钢水真空精炼浊环水主要是RH冷凝器排水，其处理方法主要为混凝沉淀+过滤。

### （4）连铸废水

连铸废水主要指连铸设备和铸坯喷淋冷却、切割渣粒化和冲氧化铁皮废水，一般有三级处理和两级处理两种方式。为了保证循环水的水质稳定，净化系统设有旁滤设施并进行水质稳定处理。

三级处理流程为：旋流井→一次铁皮沉淀池→二次平流沉淀池→高速过滤器→冷却塔冷却后回用；两级处理流程为：旋流井→重力旋流沉淀池→高速过滤器（或化学除油器）→冷却塔冷却后回用。

三级处理对出水水质较好，但与两级处理相比，占地面积较大，投资较高。化学除油器占地面积小，除油效果好，但需要加除油剂和絮凝剂，费用较高；当连铸机要求水质较严、化学除油器出水水质不能满足要求时，还需过滤处理。

## 3.2.3 固体废弃物末端治理技术

炼钢生产过程中产生的固体废弃物末端治理技术见表3.2-1。

表 3.2-1 炼钢工艺固体废弃物末端治理技术

固废名称	末端治理技术	综合利用技术
钢 渣	热泼法、浅盘淬冷法、风淬法、水淬法、余热自解法、热闷法、滚筒法	回收钢渣中的废钢铁、作烧结矿原料、作冶炼熔剂、生产水泥、经处理后用于铺路和生产建材。
转炉尘泥	混合法、小球法、喷浆法、碳化球团法	作为含铁原来和熔剂返烧结生产、配加在竖炉球团中、作为炼钢造渣剂、冷却剂和助熔剂的原料、生产氧化铁红、制备还原铁粉、生产聚合硫酸铁。
电炉粉尘		替代生铁作电炉炼钢增碳造渣剂、用作水泥原料。
氧化铁皮	干烧法、低温蒸馏法	烧结辅助含铁原料、生产粉末冶金铁粉、作转炉炼钢化渣剂、生产直接还原铁、生产化工产品。
废耐火材料	拣选、分类、特殊工艺处理，加工成再生颗粒料。	部分替代天然原料制成优质的不定型或定型耐材产品返生产系统利用；部分用作冶金辅料，如溅渣护炉料、造渣剂等；其余作为工业垃圾堆放于垃圾填埋场（铬镁耐火砖除外）。
废 油	再生处理	再生净化油产品返生产系统按油质分级加以利用，废油残渣和废滤材作为危废交有资质的单位进行处理。

### 3.2.4 噪声控制技术

炼钢工程产生的噪声为由于机械的撞击、摩擦、转动等运动而引起的机械噪声以及由于气流的起伏运动或气动力引起的空气动力性噪声，主要噪声源有：转炉、电炉、精炼炉、转炉煤气余热回收锅炉及蓄热器、空压机、火焰切割机、火焰清理机、二冷区排蒸汽风机、各类除尘风机、各类水泵、真空泵等。

炼钢工程噪声源较多，噪声类型也不尽相同，应针对具体情况，主要从三个环节进行考虑：根治声源噪声、在传播途径上控制噪声、在接受点进行个体防护。

① 根治噪声源，是一种最积极最彻底的措施。在满足工艺设计的前提下，尽可能选用低噪声设备，采用发声小或基本不发声的装置，在工艺路线上为尽早治理打下良好的基础。

② 在传播途径上控制噪声，是目前工厂常用且最有效的噪声控制技术。在设计中，着重从消声、隔声、隔振、减振及吸声上进行考虑，结合合理布置厂内

设施，采取绿化等措施，可降低噪声 35dB(A)左右，使噪声得到综合性治理。如：在工程设计施工中，排气筒直径要与废气量相匹配，同时确保烟气通过风机与排气筒时顺利排出，而不反复折叠和产生湍流；除尘风机与排气筒之间设置为软连接；在各类风机进、出口处加装管道消声器；煤气鼓风机和空气压缩机内衬泡沫吸声材料、外罩钢板封闭结构；煤气鼓风机、空气鼓风机、离心机、泵类设置单独基础或减振措施，设备与管道间采用金属软管柔性联接。

③ 在其它措施不能实现时，个人防护也是一种经济有效的噪声控制方法。主要措施有在工段中设置必要的隔声操作间、控制室等，使室内的噪声符合有关卫生标准。

## 4 炼钢工艺污染防治最佳可行技术

### 4.1 炼钢工艺污染防治最佳可行技术工艺流程

#### 4.1.1 最佳可行技术工艺流程图

技术筛选采用层次分析法。筛选出的钢铁行业炼钢工序污染防治最佳可行工艺流程见图 4.1-1。

#### 4.1.2 最佳可行技术工艺环境影响

在采用图 4.1-1 推荐的最佳可行技术后，① 可以达到有效回收各类副产物，转炉炼钢钢铁料消耗 $\leq 1070\text{kg/t}$  钢、电炉炼钢金属料消耗 $\leq 1050\text{kg/t}$  钢，转炉煤气回收量 $\geq 50\text{m}^3/\text{t}$  钢，转炉工序蒸汽回收量 $\geq 60\text{kg/t}$  钢、电炉工序蒸汽回收量 $\geq 50\text{kg/t}$  钢，转炉煤气和蒸汽利用率 100%，电炉工序二噁英排放浓度 $< 0.2\text{ng-TEQ}/\text{m}^3$  的节能减排目标。② 可以达到废气捕集率大于 95%、除尘效率大于 99.5%；除转炉一次烟气采用第四代 OG 系统除尘时，烟（粉）尘排放浓度 $\leq 80\text{mg}/\text{m}^3$  外，其余工段烟（粉）尘排放浓度 $\leq 30\text{mg}/\text{m}^3$ ；特钢企业含氟废气（以总氟计）排放浓度 $\leq 5\text{mg}/\text{m}^3$ ；废水处理达标后在工序内全部回用不外排；各类固体废物全部利用不外排的环境目标。

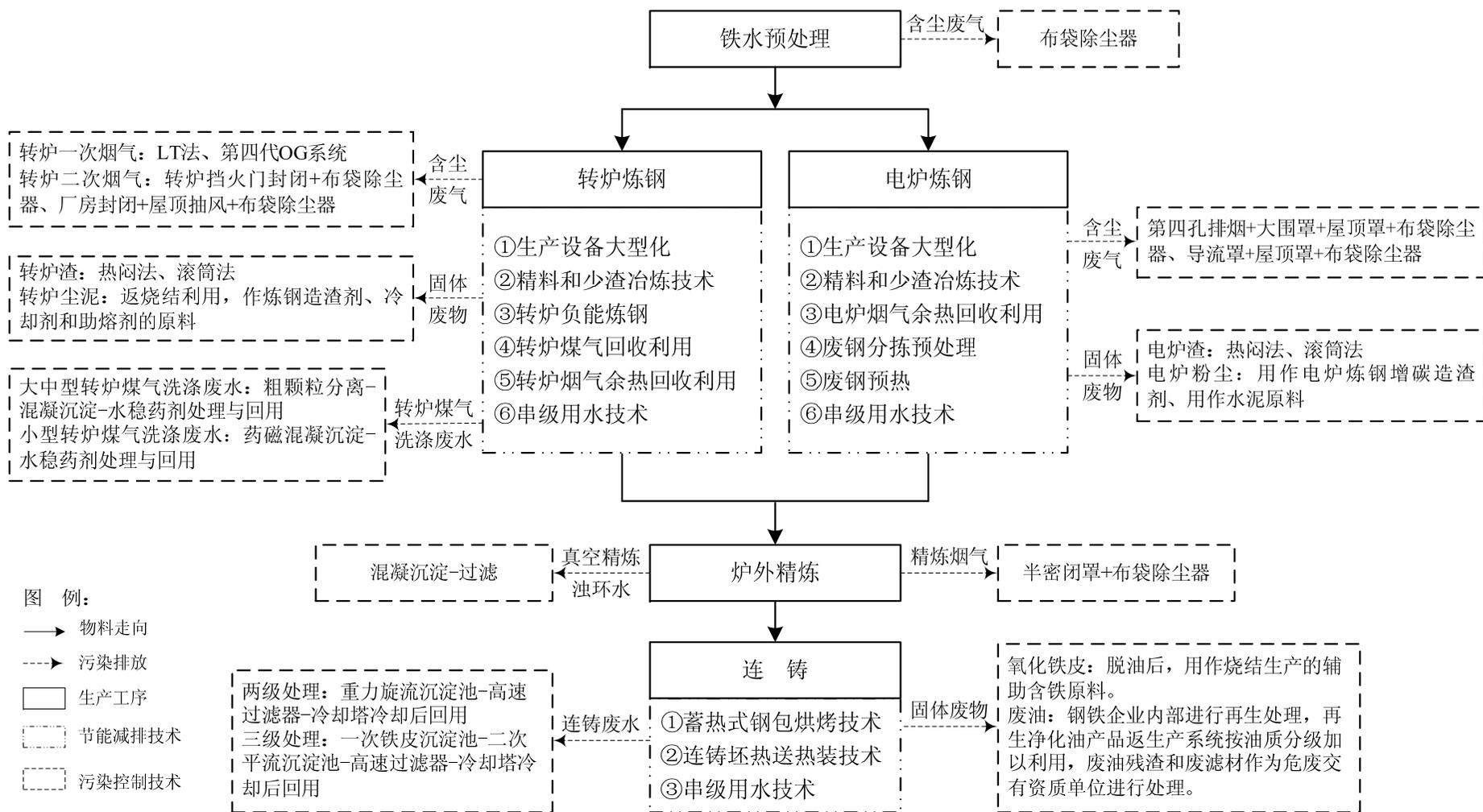


图 4.1-1 钢铁行业炼钢工序最佳可行工艺流程简图

## 4.2 炼钢工艺最佳可行节能减排技术

### (1) 生产设备大型化

炼钢设备大型化，采用先进的生产工艺，单炉出钢量大，减少冶炼炉次，即减少大量产生污染物的兑铁水、加料和出钢等生产过程，因此可大幅降低产生污染物的可能性，同时也降低了吹损，达到节约金属料的目的。

**工程实例:**近年来,国内大中型钢铁联合企业建成投产的转炉和电炉分别在 150t 和 100t 以上,其中宝钢和包钢拥有国内容量最大的 300t 转炉,宝钢、太钢、沙钢、南钢拥有容量为 100t 及以上的电炉。

### (2) 精料和少渣冶炼技术

采用铁水预处理、“双联”冶炼、挡渣出钢、溅渣护炉等技术,有利于缩短冶炼周期,降低石灰、白云石、铁合金、耐火材料等原材料消耗,减少渣量,降低出钢温度,提高金属回收率,达到提高炼钢生产效率和节能降耗的目的,同时也可以有效减少末端污染物的产生。

**工程实例:**太钢不锈钢股份有限公司 180t 转炉和宝钢 300t 转炉采用了顶底复合吹炼、100%铁水预处理、双联少渣冶炼、挡渣出钢、溅渣护炉等一系列技术,以缩短冶炼周期、提高钢水质量、降低耐材消耗、减少钢渣产生量等。

### (3) 蓄热式钢包烘烤技术

蓄热式烘烤是采用高温空气燃烧技术,燃料在高温低氧气氛中燃烧,火焰体积成倍增大,炉气充满钢包,包内温度均匀;同时,平均温度的提高使炉气辐射能力显著增强,热换效率提高,钢包受热均匀,升温速度加快,从而缩短了加热时间,节约了煤气,钢包烘烤温度提高了200~300℃,达到1000℃以上,煤气利用率提高30%~40%左右,降低了煤气消耗。

蓄热式钢包烘烤器主要由燃烧系统和控制系统组成,包括:蓄热烧嘴(含蓄热体)、包盖、两位四通换向阀、供风系统、排烟系统、空/煤气管路系统、钢结构支架、自控仪表系统以及相关辅助设备。

**工程实例：**太钢二炼钢将钢包烘烤器由普通型改造为蓄热式，2006 年对 6 台 85t 钢包的统计数据显示，包衬温度由 700℃提高到 1100℃，钢水在钢包中的温度降低 25℃，因而使出钢温度降低 20~30℃；85t 在线钢包温度的监测表明，烘烤时间缩短到原来的 20%~40%，离线钢包的烘烤时间可缩短到原来的 30%~50%；钢包炉衬寿命至少可以提高 15%，按 85t 钢包衬寿命 30 炉次计算，采用蓄热式燃烧技术后可达 34 炉次；钢包烘烤器周围煤气浓度由改造前的  $220 \times 10^{-6}$  降低到  $20 \times 10^{-6}$ ，由于燃烧充分，大大降低了 CO 和 NO<sub>x</sub> 等有害气体的浓度，明显改善现场生产环境；按每年工作 7000h 计算，单台 85t 蓄热式钢包烘烤器年节能效益为 52.92 万元。

唐钢一炼钢以低热值的高炉煤气（热值为  $3.34\text{MJ}/\text{m}^3$ ）为燃料，采用蓄热式燃烧技术，可在 10min 左右将 160t 在线钢包包温从 800℃烘至 1100℃以上。

#### （4）转炉负能炼钢

炼钢主要工艺流程为：高炉热铁水→铁水预处理→转炉→精炼→连铸→热装热送，消耗的主要能源介质包括氧气、氮气、氩气、蒸汽、转炉煤气、焦炉煤气、高炉煤气、水、电等，回收的二次能源有转炉煤气和蒸汽，转炉负能炼钢主要取决于二次能源的回收利用水平。

为实现炼钢工序负能炼钢或炼钢厂全工序负能炼钢，钢铁企业要从以下几方面采取措施：降低能源消耗（包括综合电耗）、提高转炉煤气和蒸汽回收利用水平、实施节水技术和强化能源管理等。

**工程实例：**宝钢是国内最早实现“负能炼钢”的炼钢厂，1989 年宝钢 300t 转炉实现转炉工序负能炼钢，转炉工序能耗达到  $-11\text{kgce}/\text{t}$  钢的世界领先水平；1996 年宝钢实现全工序（包括连铸）负能炼钢，能耗为  $-1.12\text{kgce}/\text{t}$  钢。

武钢三炼钢于 1999 年实现转炉工序（包括铁水脱硫、鱼雷罐维修、转炉冶炼、钢水吹氩、LF 炉）负能炼钢，2007 年全年转炉工序能耗达  $-6.75\text{kgce}/\text{t}$  钢，其中 3<sup>#</sup> 250t 转炉工序能耗达  $-21.51\text{kgce}/\text{t}$  钢的世界领先水平。

#### （5）转炉煤气回收利用

转炉煤气回收是转炉负能炼钢的关键，是炼钢节能降耗的重要途径。目前，转炉煤气净化回收技术主要有两种：湿法（OG 法）技术和干法（LT 法）技术，转炉煤气净化回收技术的关键是在保证煤气回收量（ $50\sim 110\text{m}^3/\text{t}$  钢）的同时，

保证回收煤气的热值，主要技术措施：控制炉口微差压波动范围在 $\pm 20\text{Pa}$ ，提高炉口处压力或改进烟道设计，将炉口压力控制在 $+5\text{Pa}$ 左右，以减少空气的吸入量，使空气燃烧系数小于0.1，煤气热量回收率可达到91%。

**工程实例：**太钢不锈钢股份有限公司 180t 顶底复吹转炉一次烟气采用 LT 电除尘净化和冷却高温烟气等方法后，转炉煤气回收量达  $110\text{m}^3/\text{t}$  钢水。

#### (6) 转炉烟气余热回收利用

转炉一次烟气为高温烟气，在与二次烟气混合降温进入除尘系统前，采用汽化冷却装置对烟气进行降温，同时产生大量蒸汽，利用余热锅炉回收这部分蒸汽的物理热，蒸汽回收量  $60\sim 100\text{kg}/\text{t}$  钢。由于余热锅炉产生的饱和蒸汽压力普遍波动在  $1.0\sim 2.6\text{MPa}$ ，炼钢厂内部使用蒸汽的压力需达到  $3.5\text{MPa}$ ，余热锅炉回收的蒸汽不能满足要求，造成蒸汽放散。为了充分利用炼钢转炉回收的蒸汽，采用优化转炉设计、提高蒸汽压力、同时将无法利用的蒸汽送电厂等措施，以保证转炉炼钢回收的蒸汽得到全部利用。目前，国内钢铁企业为了有效利用转炉炼钢回收的余热，普遍采用将供热蒸汽与余热回收蒸汽并网，实现转炉回收蒸汽并全部利用，不再由外部锅炉向炼钢厂供蒸汽。

**工程实例：**唐山不锈钢有限责任公司 110t AOD 转炉烟气采用汽化冷却技术回收烟气余热，该技术利用辐射型汽化冷却烟道及对流换热型气-水换热器吸收烟气余热，产生的蒸汽供生产、生活使用。该技术的成功应用，每年可生产蒸汽约 900 万 t，节约用水约 2700 万 t、电能约  $2.3 \times 10^6\text{kWh}$ 、标煤约 36 万 t，减排  $\text{CO}$ 、 $\text{SO}_2$  和粉尘分别为 281.5 万 t、7200t 和 10 万 t。

太钢不锈钢股份有限公司 180t 转炉烟气采用复合冷却型（强制冷却和自然冷却相结合）的汽化冷却系统回收烟气余热，蒸汽回收量为  $100\text{kg}/\text{t}$  钢水。

#### (7) 电炉烟气余热回收利用

电炉冶炼所产生的一次高温烟气进入除尘系统前，采用汽化冷却装置对烟气进行降温时产生大量蒸汽，利用余热锅炉回收这部分蒸汽的物理热，蒸汽回收量  $50\sim 90\text{kg}/\text{t}$  钢。

由于汽化冷却烟道各段电炉烟气温度不同，故设置不同的换热面，以充分回

收高、低温烟气的热量。

**工程实例：**江阴兴澄特种钢铁有限公司一炼钢车间 100t 直流电弧炉烟气余热回收工程，其烟道冷却方式由水冷改造为汽化冷却，采用辐射换热器和热管换热器回收烟气中的余热。

#### (8) 废钢分拣预处理技术

根据PCDD/Fs的性质和生成机理，其减排途径首先应从减少可生成PCDD/Fs的反应物入手，即减少含有苯环结构的化合物和氯源。首先对加入电炉的原料废钢挑选和预处理，尽量减少使用含油漆、涂料、塑料、残油等的废钢，以最大限度地降低入炉的有机物和氯的总量。另外，国外废旧汽车的废钢中含有较高氯化物和油类碳氢化合物，冶炼这种废钢极易产生二噁英，故在进口国外废钢时，除考虑价格外，还须考虑其清洁度。

**工程实例：**太钢不锈钢股份有限公司电炉炼钢工序配有严格的废钢预处理工艺：首先进行人工分拣，将含有油漆等的废钢选出后进行再加工处理；同时安装有废钢在线检测仪，不合格废钢入炉前经过检测仪时，会自动报警，从而避免其混入炉内。

#### (9) 废钢预热

利用超高功率电炉废炉气的物理热，在密闭容器内预热废钢，预热后温度可达 300~500℃。同时，烟气中含大量高含铁量的烟尘，在烟气上升过程中烟尘大部分被废钢阻留在电炉内成为原料的一部分。

新建电炉均需具备用烟气预热废钢的功能，这对于环境保护、节能降耗、提高电炉工艺的竞争力都具有重要意义。

**工程实例：**2002 年舞钢率先采用 DP 系列环保节能型电炉废钢预热连续高效炼钢国产化设备，该设备采用废钢预热连续给料、余热回收、全封闭烟气净化等一系列先进技术，实现了电炉生产“四连续”、短流程、转炉化生产，每炉钢的冶炼周期由 48min 降至 39min，每天可多出 3 炉钢，日增产 300t，每年可提高产量 10 万 t 左右。

### (10) 连铸坯热送热装技术

连铸坯热送热装分为热送装炉轧制和直接装炉轧制两种。由于直接装炉轧制涉及钢材的品种、规格、连续化生产、交货期等一系列因素，生产组织难度较大，现阶段，我国连铸坯热送热装主要以热送装炉轧制为主。

相对于连铸坯冷装工艺而言，采用连铸坯热送热装技术（入炉铸坯温度400~700℃）后，可节能约35%（资料表明，连铸坯入炉温度为500℃时，可节能 $0.25 \times 10^6$ kJ/t；入炉温度为600℃时，可节能 $0.34 \times 10^6$ kJ/t；温度为800℃时，可节能 $0.514 \times 10^6$ kJ/t），加热炉产量可提高约20%~30%，金属收得率可提高0.5%~1.0%，缩短生产周期在80%以上，同时可改进产品质量，提高成材率0.5%~1.5%，其节能降耗、增产提质等对钢铁企业降本增效的效果十分显著。

**工程实例：**2009年3月1日，宝钢重组宁钢后，为解决宁钢焦炉煤气紧张的状态，将连铸坯直接热装作为一项重要措施。截至5月20日，直装率达到35.1%，直装温度达到680℃以上，采取连铸坯直接热装后，钢坯在炉时间缩短了20min，吨钢煤气消耗下降了20.7%，成材率提高了0.56%，置换出的焦炉煤气用作石灰焙烧燃料，有效降低了宁钢的能源成本。

攀钢新钢钒轨梁厂2009年1~3月份生产数据显示，轨梁950线1~3月份方坯热装率分别为29.5%、50.6%和45.37%，一季度方坯平均热装率达42.2%，加热炉煤气单耗从2008年四季度的1.44GJ/t坯降至2009年一季度的1.168GJ/t坯，降低了18.9%。

### (11) 串级用水技术

串级用水是指根据用户对水温、水质的不同要求，将上一工序的废水转送到可以接受的生产过程或系统中使用的串联供水使用技术。该技术可以减少水处理设施、节省占地、节约能源、减少或消除污染，是水处理中最简洁、最经济、最科学的一种技术。

炼钢工艺最佳可行清洁生产技术（污染控制）见表 4.1-1。

表 4.1-1 炼钢工艺最佳可行污染控制技术

技术名称	主要技术指标	适用性
生产设备大型化	转炉公称容量 120t 及以上，电炉公称容量 70t 及以上；沿海深水港地区建设钢铁项目，转炉公称容量大于 200t。	所有新、改、扩建炼钢企业
精料和少渣冶炼技术	采用 100% 铁水预处理、顶底复合吹炼、双联少渣冶炼、挡渣出钢、溅渣护炉技术。	新、改、扩建大中型转炉炼钢企业
蓄热式钢包烘烤技术	采用蓄热式燃烧技术，与普通型钢包烘烤技术相比，钢包烘烤温度可提高 200~300℃，煤气利用率可提高 30%~40%。	所有新、改、扩建炼钢企业
转炉负能炼钢	最大限度地回收利用转炉煤气和蒸汽，同时节约整个工序的能源介质消耗。	所有新、改、扩建转炉炼钢企业
转炉煤气回收利用	采用湿法（OG 法）或干法（LT 法）煤气净化技术，转炉煤气回收量 $\geq 50\text{m}^3/\text{t}$ 钢。	所有转炉炼钢企业
转炉烟气余热回收利用	采用汽化冷却装置，蒸汽回收量 $\geq 60\text{kg}/\text{t}$ 钢。	所有转炉炼钢企业
电炉烟气余热回收利用	采用汽化冷却装置，蒸汽回收量 $\geq 50\text{kg}/\text{t}$ 钢。	新、改、扩建大中型电炉炼钢企业
废钢分拣预处理	最大限度地减少含油漆、涂料、塑料、残油等的废钢入炉，电炉工序二噁英排放浓度小于 $0.2\text{ng-TEQ}/\text{m}^3$ 。	以废钢为原料的所有电炉炼钢企业
废钢预热	预热废钢量 $\geq 60\%$	新、改、扩建电炉炼钢企业
连铸坯热送热装技术	热装温度 $\geq 400^\circ\text{C}$ ，热装比 $\geq 50\%$ 。	所有大中型炼钢企业
串级用水技术	生产水复用率 $\geq 95\%$	所有新、改、扩建炼钢企业

### 4.3 炼钢工艺最佳可行末端治理技术

#### (1) 废气污染治理技术

##### ① 铁水倒罐站和铁水预处理系统

铁水倒罐站产生的大量高温烟气由其上部设置的排烟罩捕集，通过管道送铁水预处理系统布袋除尘器进行除尘。铁水倒罐站为间歇操作，倒罐瞬时产生大量烟气，抽风罩在倒罐开始前启动、倒罐完成后关闭，减少除尘系统的处理风量，节约电能和运行费用。

铁水预处理系统采用大型脉冲布袋除尘器，同时设置多个除尘点对铁水预处理和辅料输送系统的烟粉尘进行收集和净化处理，除尘效率大于 99.5%，外排废气含尘浓度 $\leq 30\text{mg}/\text{m}^3$ 。各抽尘点设有电动阀门，阀门启闭与各工位操作进行联

锁，没有废气产生时，停止抽风，以减少系统抽风量，降低系统的处理负荷，节省电能。

**工程实例：**太钢 180t 转炉使用鱼雷罐运输铁水，转炉车间设有 2 个铁水倒罐站，交替工作，设一个除尘系统，风道上设置气动阀门进行切换，使用覆膜布袋除尘器除尘，外排废气含尘浓度 $\leq 20\text{mg}/\text{m}^3$ 。

本钢 180t 转炉铁水预处理站主要工艺设备和控制系统从加拿大 HOOONENS 公司和美国 ROSSBOROUGH 公司引进，含尘废气采用正压反吹清灰布袋除尘器处理，设置有多个抽尘点，总排气量  $310000\text{m}^3/\text{h}$ ，除尘效率大于 99.5%，粉尘排放浓度 $\leq 30\text{mg}/\text{m}^3$ ，除尘后的烟气经 30m 高烟囱排放。

## ② 转炉一次烟气除尘系统

转炉一次烟气除尘分为湿法和干法两大类，最具代表性的是高效喷雾洗涤塔加新型 RD 文氏管流程（第四代 OG 系统）和 LT 干法除尘工艺。

### a) 高效喷雾洗涤塔加新型 RD 文氏管流程系统（第四代 OG 系统）

第四代 OG 系统的主要设备组成为除尘塔+RD 文氏管。转炉一次烟气通过汽化冷却烟道冷却后，温度由  $1450^\circ\text{C}$  左右降至  $800^\circ\text{C}$  左右，然后经过高温非金属膨胀节依次进入高效喷雾洗涤塔和新型 RD 文氏管进行精除尘，然后进入漩流脱水器脱水，最后进入风机加压，合格煤气进入回收系统，不合格煤气经放散塔点火放散，外排废气含尘浓度 $\leq 80\text{mg}/\text{m}^3$ 。

**工程实例：**2001 年马钢 70t 转炉采用日本新日铁和川崎重工共同开发、改进和发展的第四代 OG 系统，随后，莱钢 80t 转炉、太钢 80t 转炉、攀钢 120t 转炉、上海一钢和三钢的 150t 转炉、南钢 150t 转炉也相继从国外引进了第四代转炉煤气回收系统。2007 年 4 月，承钢 4#转炉（40t）煤气回收净化系统改造工程也采用第四代 OG 系统，其中二文喉口（RSW）和液压伺服装置为国产，由中国京冶工程技术有限公司提供。

### b) LT 干法除尘工艺

高温烟气经汽化冷却烟道间接冷却后，再用蒸发冷却器进行直接冷却——冷却过程是向通过蒸发冷却器内的烟气喷入雾化水。喷入的水量，要准确地随炼钢

生产过程中产生的热气流的热焓而定，将烟气冷却到 150~200℃后，经由煤气管道引入静电除尘器进入煤气切换站，合格煤气经进一步冷却后进入煤气回收系统，不合格煤气经放散塔点火放散，外排废气含尘浓度 $\leq 20\text{mg}/\text{m}^3$ 。

LT 干法除尘工艺的主要设备组成是喷雾塔+干式静电除尘器+冷却塔。

**工程实例：**1994 年宝钢首次全套引进转炉煤气干法除尘技术，1997 年投产使用；2003 年 8 月莱钢以中外合作的方式建成了 3 套 120t 转炉煤气干法除尘系统，包钢、太钢、天铁等钢厂也以同样的方式新建了 LT 系统；2006 年 6 月实现转炉煤气干法除尘设备国产化（莱钢）和干法除尘技术在国内小转炉上的首次应用（唐山贝氏体钢厂 35t 转炉）。

### ③ 转炉二次烟气除尘系统

转炉二次烟气尘源分散，阵发性强，烟气量大，温度高，捕集难度较大。通常采用在转炉前、后分别设置抽风罩的方法进行烟气捕集，并通过布袋除尘器进行除尘净化。

由于布袋除尘器已是比较成熟的技术，收尘罩的形式则成为二次除尘的核心技术，收尘罩的合理设计可以提高无组织废气的捕集率，减少无组织废气的排放量。目前国内炼钢企业采用的烟气捕集形式主要有炉前挡火门封闭、顶吸罩和转炉厂房屋顶除尘系统等，采用的布袋除尘器主要有脉冲清灰布袋除尘器和大室大灰斗脉冲布袋除尘器，净化后的外排废气含尘浓度 $\leq 30\text{mg}/\text{m}^3$ 。

**工程实例：**国内炼钢厂普遍使用转炉车间二次除尘，即炉前挡火门和顶吸罩，废气捕集率达 95%以上；宝钢、太钢、首钢等大中型企业则设置了转炉厂房屋顶除尘系统（即三次除尘），基本可以消除无组织废气排放。

宝钢和攀钢转炉二次烟气除尘采用大室大灰斗脉冲袋式除尘器，外排废气粉尘浓度达  $10\text{mg}/\text{m}^3$ 。

### ④ 电炉烟气除尘系统

目前，电炉烟气（一次烟气和二次烟气）捕集形式通常采用炉内排烟和炉外排烟组合方式，或将炉外排烟的两种集烟方式组合起来，主要有以下几种方式：第四孔排烟+屋顶罩、第四孔排烟+大围罩、第四孔排烟+大围罩+屋顶罩、导流

罩+屋顶罩（也称天车通过式捕集罩）等，最后经布袋除尘器净化处理，外排废气含尘浓度 $\leq 30\text{mg}/\text{m}^3$ 。

**工程实例：**宝钢和太钢 150t 电炉均采用三级排烟（即第四孔+密闭罩+屋顶罩），使电炉车间成为无烟车间，外排废气含尘浓度小于  $20\text{mg}/\text{m}^3$ ，并利用炉顶第二孔排出的高温废气预热废钢。

攀钢四川长城特钢有限责任公司炼钢车间 2 座 70t 电炉一次烟气采用第四孔+低压脉冲布袋除尘器除尘，电炉二次烟气采用导流罩+屋顶罩（天车通过式捕集罩）+脉冲袋式除尘器除尘，烟气捕集率大于 95%，除尘效率大于 99.5%，外排废气含尘浓度 $\leq 20\text{mg}/\text{m}^3$ 。

#### ⑤ 精炼系统烟气除尘系统

精炼系统烟气除尘系统包括烟气捕集系统和烟气净化系统两部分。烟气捕集系统一般有炉盖侧吸罩和半密闭罩两种，烟气净化系统绝大部分采用袋式除尘器，现多采用“半密闭罩+布袋除尘器”的组合方式，其技术优点是：① 精炼逸散烟气和泄漏烟气均能捕集；② 能够屏蔽或阻挡炉前冶炼噪声和热辐射，可减轻对炉前操作环境的影响。该烟气净化方式已在国内广泛采用，外排废气含尘浓度 $\leq 30\text{mg}/\text{m}^3$ ，且在技术上可行、经济上合理。

**工程实例：**攀钢四川长城特钢有限责任公司炼钢车间 2 座 70t 精炼炉和 1 座 70t AOD 炉烟气采用合并处理工艺，2 座 70t 精炼炉烟气采用炉盖排烟罩收集+大密闭罩+屋顶导流罩捕集，1 座 70t AOD 炉烟气采用导流罩+屋顶罩（天车通过式捕集罩）捕集，3 座精炼炉烟气合并后由一套脉冲袋式除尘器净化，除尘效率大于 99.5%，外排废气含尘浓度小于  $20\text{mg}/\text{m}^3$ 。

#### ⑥ 连铸烟气

a) 连铸结晶器浇注烟气——采用结晶器排烟装置，将烟尘排至连铸二冷室内，利用连铸二次冷却产生的大量水蒸气将其净化后经烟囱排放。

b) 连铸二冷段水蒸汽——采用离心风机通过高于厂房 3m 以上的排气筒排出车间。

c) 连铸切割和烘烤烟气——连铸火焰切割及铸坯修磨时产生的含氧化铁粉

尘经捕集后，由袋式除尘器净化，除尘效率大于 99.5%，外排废气的含尘浓度 $\leq 30\text{mg}/\text{m}^3$ ；烘烤采用脱硫后的焦炉煤气，燃烧废气由导风机经车间天窗排放。

d) 连铸中间罐拆包、倾翻时产生的粉尘——采用洒水抑尘。

**工程实例：**本钢 2 台单流宽幅板坯连铸机、1 台双流板坯连铸机和 1 台矩形坯连铸机生产过程中连铸结晶器浇注烟气采用排烟装置，将烟尘排至连铸二冷室内，利用连铸二次冷却产生的大量水蒸气将其净化后经烟囱排放；产生的连铸二冷段水蒸汽由 40m 高排气筒经离心风机排至室外；连铸火焰切割及烘烤等采用脱硫后的焦炉煤气为燃料，燃烧废气由导风机经 15m 高车间天窗排放；另外，连铸中间罐拆包和倾翻时产生的瞬时性粉尘，采用洒水抑尘装置净化。

### ⑦ 特钢企业氟化物的治理技术

国内特钢企业气态氟化物的控制方法主要采用干法净化，即向烟气中喷入石灰粉等吸附剂，然后用布袋除尘器净化，控制效果良好，一般氟化物浓度可达到 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 以下，甚至低于 $1\text{mg}/\text{m}^3$ 。

**工程实例：**太钢锻钢厂电渣炉采用  $\text{CaF}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  渣系重熔冶炼，炉口氟化物最高浓度达 $130\text{mg}/\text{m}^3$ 、烟尘浓度为 $305\text{mg}/\text{m}^3$ ，采用喷  $\text{CaO}$ +布袋除尘器净化后，排放废气中的氟化物浓度降至 $0.62\text{mg}/\text{m}^3$ 、烟尘浓度降至 $1.64\text{mg}/\text{m}^3$ 。

## (2) 废水污染治理技术

### ① 设备间接冷却水

设备间接冷却水经冷却塔冷却后回到吸水井，再根据用户要求供给用户。为保证循环水的水质稳定，系统设有旁滤设施并进行水质稳定处理。

**工程实例：**太钢不锈钢股份有限公司 180t 顶底复吹转炉炉体、转炉氧枪、副枪、180t LF 炉、180t RH 炉、连铸结晶器、LF 炉变压器、转炉液压站、连铸液压站、通风除尘装置等设备冷却过程产生的冷却废水仅水温升高，水质基本未受污染，回水利用余压经管道送至冷却塔降温，为保证循环水水质要求，设有高效纤维过滤器旁滤，并加药剂防止结垢和产生藻类，降温后的回水自流到泵房吸水井，再经各泵组加压后，分别送至用户使用。

## ② 转炉煤气洗涤废水（湿式除尘浊环水系统）

转炉煤气洗涤废水的处理工序主要包括去除悬浮物、稳定水质、污泥的脱水和回收。目前，转炉煤气洗涤废水处理与回用主要有两类工艺流程：

### a) 混凝沉淀-水稳药剂处理与回用工艺流程

大中型转炉煤气洗涤废水中含尘量及尘粒径相对较大，粒径 $\geq 60\mu\text{m}$ 的占15%~23%，洗涤废水经明渠流入粗粒分离器（槽），在其中将含量约15%，粒径大于 $60\mu\text{m}$ 的粗颗粒通过分离机分离出来，沉渣送烧结厂回收利用；其余含细颗粒的废水流入沉淀池，加入凝聚剂和助凝剂进行混凝沉淀处理，根据烟气净化工艺对供水温度的要求，确定是否需设置冷却塔冷却沉淀池出水；沉淀池或冷却塔出水由循环水泵送二级文氏管使用；二级文氏管的排水经水泵加压，再送一级文氏管串联使用，为防止设备、管道结垢，在循环水泵的出水管内注入水质稳定剂。沉淀池下部尘泥经脱水后送往烧结配料使用。

### b) 药磁混凝沉淀-永磁除垢处理与回用工艺流程

小型转炉煤气洗涤废水中含尘量及尘粒径相对较小，洗涤废水直接进入沉淀池，沉淀池若采用斜板沉淀器，则在其前设磁凝聚装置，起凝聚作用。沉淀池出水经冷却塔降温后进入集水池，然后由循环水泵送用户串联使用，为防止设备、管道结垢，在循环水泵的出水管内注入水质稳定剂。沉淀池下部尘泥经脱水后送往烧结配料使用。

**工程实例：**福建省三钢闽光股份有限公司转炉煤气洗涤废水采用粗颗粒预分离、磁凝聚（电磁絮凝器）与药凝聚（立式沉淀池）复合处理，为确保水质稳定，在调节池内投加水质稳定剂和缓蚀阻垢剂，出水经冷却塔降温后自流入清水池，再经各泵组加压后分别送至用户使用。

上钢一厂 $2\times 150\text{t}$ 转炉煤气洗涤废水采用絮凝沉淀的物理化学方法进行处理，即废水经粗颗粒分离设备将大于 $60\mu\text{m}$ 的悬浮粗颗粒分离出来，然后再进入沉淀池。在进入沉淀池前的分配槽内，加入高分子絮凝剂（PAM）及pH水质调整剂（ $\text{H}_2\text{SO}_4$ ）使其在池内实现悬浮物和成垢物的共同絮凝沉淀。最后在沉淀池的溢流水中，加入水质稳定剂（分散剂）。这样，不但解决了废水中SS的问题，同时也解决了循环水的结垢问题，达到了较理想的处理效果。采用这种方法处理的转炉除尘废水，其出水SS含量在 $50\text{mg/L}$ 左右。

### ③ 真空精炼浊环水

RH 真空脱气冷凝废水处理工艺流程为混凝沉淀+过滤，其中混凝沉淀多采用多流向强化澄清池，过滤多采用高梯度电磁过滤器。

#### a) 高梯度电磁过滤

冷凝器排出污水先进入温水池，一部分经冷却塔冷却到小于 33℃，另一部分提升并在压送管上加过滤助凝剂，通过反应槽进入高梯度电磁过滤器净化处理，然后借助水的余压送冷却塔冷却，以保证循环系统中水的 SS 含量小于 100mg/L。电磁过滤器冲洗出来的污水，经过污泥槽后提升至搅拌槽，在搅拌槽内投加药剂、搅拌、混合、反应；在浓缩槽内沉淀，澄清后废水返回温水池，冷却、循环使用，浓缩泥浆由泵压送至转炉烟气净化水处理系统中的污泥压缩机脱水，一同送至造球机造球，供烧结用。

**工程实例：**宝钢 RH 冷凝器排水处理系统采用高梯度电磁过滤设备。

#### b) 多流向强化澄清池

根据 RH 浊环水系统水质、水温波动大，变化无规律的特点，采用多流向强化澄清池效果较好。多流向强化澄清池是集反应、澄清、浓缩及污泥回流为一体的高效水处理系统，分为絮凝反应区、预沉浓缩区、斜管分离区等几部分，污水中的胶体、悬浮物及乳化油等在此得到有效的去除。絮凝反应区中的污水在助凝剂和回流污泥的作用下生成比较致密的矾花，通过预沉区均匀流速和碰撞浓缩后进入分离区，分离区的上部活性污泥通过回流系统回到絮凝反应区，与来水进行充分混合，底部浓缩的污泥被浓缩区底部的刮泥机刮入泥斗，由排泥泵送至污泥处理系统进行脱水处理。沉淀后的清水由集水槽收集后进入后混凝池，进一步完成混合反应，调节 pH 后，进入砂滤池进行过滤处理。

**工程实例：**新余钢铁有限责任公司真空精炼浊环水处理系统和全厂污水处理厂采用多流向强化澄清池。

### ④ 连铸废水（直接冷却浊环水）

连铸废水处理工艺流程一般有两种方式：三级处理和二级处理。

三级处理流程为：旋流井→一次铁皮沉淀池→二次平流沉淀池→高速过滤器

→冷却塔冷却后回用；

两级处理流程为：旋流井→重力旋流沉淀池→高速过滤器→经冷却塔冷却后回用。

旋流井和三级处理中的一次铁皮沉淀池或两级处理中的重力旋流沉淀池后增设拖袋式除油系统，将上层浮油刮入除油袋内，以减轻后续过滤器的负荷。收集的浮油运往废油处理车间。

**工程实例：**首钢连铸废水处理系统中有应用。

### (3) 固体废物治理技术

#### ① 钢渣的处理与综合利用

目前，国内先进的钢渣处理方法主要有两种：热闷法和滚筒法。

##### a) 热闷法

热闷法是将热融钢渣冷却至 800~300℃，装入热闷装置中，水雾遇热渣产生的饱和蒸汽与钢渣中的 fCaO、fMgO 发生反应，使钢渣自解粉化。

其特点是：利用钢渣本身的余热产生蒸汽，消解钢渣中的游离氧化钙和氧化铁，而不需外供蒸汽，节约能源；适用于处理任何种类和各种流动性的钢渣；金属回收率高；处理后的钢渣稳定性好，为实现钢渣 100% 利用创造了条件。

**工程实例：**由中国京冶工程技术有限公司自主研发的热态钢渣热闷处理方法已被中国钢铁工业协会列为钢铁工业可持续发展支持技术之一，应用在鞍钢鲅鱼圈钢铁项目 80 万 t/a 钢渣处理生产线、本溪北营钢铁公司 46 万 t/a 钢渣处理生产线等。

##### b) 滚筒法

滚筒法是将高温液态钢渣（1500~1600℃）从液罐倒入溜槽，由溜槽进入旋转且通水冷却的特殊结构的滚筒内急冷，液态钢渣在滚筒内同时完成冷却、固化、破碎及钢/渣分离，产生的蒸汽通过风机由烟囱集中排放，排出的钢与渣互不包融，呈混合状态，易磁选分离，分离出的钢渣可直接利用。

其特点是：工艺流程短，占地面积小，设备简单；基建投资、设备维护和运行费用低；处理后的钢渣稳定性好，可直接回收利用；大大减轻了对环境的污染；

但金属回收率相对较低。

**工程实例：**宝钢三期工程 250t 转炉炼钢产生的钢渣采用滚筒法处理。

钢渣经热闷法或滚筒法处理后，通过破碎、磁选、筛分等过程回收钢渣中的废钢铁，并返回炼钢或炼铁工序作为原料加以利用；其余尾渣可用作烧结原料、冶炼熔剂、水泥原料、建筑材料和铺路材料等。

## ② 转炉尘泥的处理和综合利用

转炉尘泥具有含铁高（主要以氧化物形式存在）、含水高、颗粒细、化学成分波动大等特点。目前，国内转炉尘泥的处理和综合利用途径主要有以下几种：

### a) 作为含铁原料和熔剂返烧结工序

混合法——将 OG 泥浆浓缩、过滤成 OG 泥滤饼后，与其它干粉尘和烧结返矿等配料、混合等，作为烧结原料予以利用；小球法——将转炉尘泥滤饼送烧结厂小球工段进行烧结利用；喷浆法——将炼钢厂的 OG 泥原浆用渣浆泵直接送烧结厂，经催化处理、浓缩后，浓度为 30% 的 OG 泥浆喷入烧结厂一次混合机；碳化球团法——转炉一次烟气湿法除尘收集的泥浆经过滤得到泥饼，滤饼与活性石灰粉、白云石粉混合，经堆置消化、碾碎混匀、堆置、压球，生球送碳化罐与  $\text{CO}_2$  反应成碳化球。

**工程实例：**首钢将湿法除尘泥与生石灰按 1: 0.3 ~ 0.7 的配比进行破碎混匀，经消化后，使其产生松散的、无扬尘的粉状物料直接配入烧结拌和料中。

宝钢、济钢将湿尘泥加水制成浓度为 15% ~ 20% 的泥浆，作为烧结配料水在一次混料工序中直接加入到圆筒混料机的料面上。

上钢一厂将炼钢粗尘泥通过螺旋给料机与钢渣、高炉灰、烧结灰、轧钢氧化铁皮、白云石等按一定比例混合、搅拌后，作为烧结料。

马钢自行开发出烧结配用炼钢尘泥系统，使转炉湿尘泥无需处理而直接用于烧结生产。其工艺过程为：采用自卸汽车把转炉尘泥拉到烧结混匀料场尘泥专用矿槽，由行车抓斗将其从矿槽装入滚筒给料机；在电气设备控制下，湿尘泥由滚筒给料机缓缓给出，经胶带运输机连续地到达对辊打碎机，高速运转的对辊将其打碎后撒落在移动的配料皮带料面上，进入烧结混匀系统供烧结生产使用。

b) 作为炼钢造渣剂、冷却剂和助熔剂的原料

将转炉尘泥与其它含铁尘泥混合，并配入 8% 的水泥，再经研磨、造球、筛分、自然干燥等，制成 8~12mm 的冷固球团，供高炉和转炉使用；小于 8mm 的冷固球团供烧结利用。

**工程实例：**宝钢采用冷固结工艺将转炉尘泥制成冷固球团返回转炉，作为冷却剂和化渣剂来替代部分铁矿石和氧化铁皮，使用量为 5~10kg/t 钢水，具有化渣速度快、冷却效果较好、改善渣料结构、防止“返干”、提高金属收得率等效果。

### ③ 电炉粉尘的处理和综合利用

电炉粉尘粒度很细，除含 Fe 外，还含 Zn、Pb、Cr 等金属，其化学成分及含量与冶炼钢种有关，通常冶炼碳钢和低合金钢的粉尘含较多的 Zn 和 Pb，冶炼不锈钢和特种钢的粉尘含 Cr、Ni、Mo 等。目前，国内电炉粉尘的处理和综合利用途径主要有两种：

a) 替代生铁作电炉炼钢增碳造渣剂

电炉粉尘替代生铁作电炉炼钢的增碳造渣剂，增碳准确率达 94%，并有一定脱磷效果；同时，在节电、缩短冶炼时间、延长炉龄等方面也具有明显效果。其工艺为：粉尘+碳素→配料→混合→轮碾→成型→烘干→成品。

**工程实例：**首钢将电炉粉尘加工成炼钢增碳造渣剂，以替代生铁。

b) 用作水泥原料

电炉除尘灰替代铁矿粉生产水泥，可降低生产成本，节约含铁资源，防止二次污染。但电炉除尘灰中含有 MnO、ZnO、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等成分，这些矿物成分对水泥质量及水泥混凝的影响还有待进一步探讨。

**工程实例：**上钢五厂将电炉除尘灰作为铁质原料生产 425# 矿渣硅酸盐水泥，出厂水泥质量符合 GB 1344-92 水泥标准，取得了良好的技术经济效果。

### ④ 氧化铁皮的处理和综合利用

连铸工序水处理系统回收的氧化铁皮在进行高附加值利用之前，首先对铁鳞

做脱油脱脂脱水预处理，所得洁净氧化铁皮用作烧结生产的辅助含铁原料。

氧化铁皮粒度相对较为粗大，烧结混合料中配加氧化铁皮后，一方面可改善烧结料层的透气性；另一方面，烧结过程充分，温度高，氧化铁皮在烧结过程中氧化放热，因此烧结矿转鼓指数提高，固体燃料消耗下降，生产率提高。

**工程实例：**宝钢在混匀矿中配加一定比例的氧化铁皮，作烧结辅助含铁原料。

#### ⑤ 废油的处理和综合利用

连铸废水处理系统产生的废油属于危险废物，用专用密闭容器收集，在企业内部进行再生处理后，按油质分级返生产系统加以利用，废油残渣和废滤材作为危废交有专门资质的单位进行处理。

#### ⑥ 废耐火材料的处理和综合利用

废耐火材料经拣选、分类和特殊工艺处理后，加工成为再生颗粒料，部分替代天然原料制成优质的不定型或定型耐材产品返生产系统利用；部分用作冶金辅料，如溅渣护炉料、造渣剂等；其余作为工业垃圾堆放于垃圾填埋场（铬镁耐火砖除外）。

炼钢工艺最佳可行污染治理技术见表 4.2-2。

表 4.2-2 炼钢工艺最佳污染治理技术

类别	最佳可行治理技术	技术指标	适合性		
废气	转炉一次烟 气	LT 法	烟尘排放浓度 $\leq 20\text{mg}/\text{m}^3$	所有新、改、扩建转炉炼钢厂	
		第四代 OG 系统	烟尘排放浓度 $\leq 80\text{mg}/\text{m}^3$	所有新、改、扩建转炉炼钢厂	
	转炉二次烟 气	厂房封闭+屋顶抽风+布袋除尘器	废气捕集率约 100%，除尘效率 $>99.5\%$ ，外排废气粉尘浓度 $\leq 20\text{mg}/\text{m}^3$ 。	转炉二次烟气罩捕集不完全的所有新、改、扩建转炉炼钢厂	
		转炉挡火门封闭+布袋除尘器	废气捕集率 $>95\%$ ，除尘效率 $>99.5\%$ ，外排废气粉尘浓度 $\leq 30\text{mg}/\text{m}^3$ 。	适用于 250℃ 以下的干燥含尘废气	
	电炉烟气	第四孔排烟+大围罩+屋顶罩+布袋除尘器	废气捕集率 $>95\%$ ，除尘效率 $>99.5\%$ ，外排废气粉尘浓度 $\leq 20\text{mg}/\text{m}^3$ 。	所有新、改、扩建电炉炼钢厂	
		导流罩+屋顶罩+布袋除尘器	废气捕集率 $>95\%$ ，除尘效率 $>99\%$ ，外排废气粉尘浓度 $\leq 20\text{mg}/\text{m}^3$ 。	所有新、改、扩建电炉炼钢厂	
	精炼烟气	半密闭罩+布袋除尘器	废气捕集率 $>95\%$ ，除尘效率 $>99\%$ ，外排废气粉尘浓度 $\leq 30\text{mg}/\text{m}^3$ 。	精炼系统烟气	
	氟化物	干法净化（喷吹石灰粉等吸附剂）	外排废气中氟化物浓度 $\leq 5\text{mg}/\text{m}^3$	使用氟系熔渣进行重熔冶炼的特钢企业	
	废水	转炉煤气 洗涤废水	混凝沉淀-水稳药剂处理与回用、 药磁混凝沉淀-水稳药剂处理与回用	水循环率 $\geq 95\%$ ，水温 $\leq 50^\circ\text{C}$ ，排水 SS $\leq 200\text{mg}/\text{L}$ 。	采用湿法净化转炉煤气洗涤水的处理系统
		连铸废水	三级处理：一次铁皮沉淀池-二次 平流沉淀池-高速过滤器 两级处理：重力旋流沉淀池-高速 过滤器	水循环率 $\geq 95\%$ ，水温 $\leq 40^\circ\text{C}$ ，排水 SS $\leq 20\text{mg}/\text{L}$ ，油 $\leq 5\text{mg}/\text{L}$ 。	所有炼钢企业连铸含油废水处理系统
固废	钢 渣	热闷法	处理后粒度小于 10mm 钢渣约占总量的 60%以上，尾渣中金属含量小于 1%。	全部钢渣	
		滚筒法	处理后粒度小于 15mm 钢渣约占总量的 97%，钢渣中的 f-CaO 含量 3%~10%。	流动性好的钢渣	

转炉尘泥	返烧结利用	铅、锌含量低的转炉尘泥，或经过脱铅、锌后的转炉尘泥。
	作炼钢造渣剂、冷却剂和助熔剂的原料	全部转炉尘泥
电炉粉尘	替代生铁作电炉炼钢增碳造渣剂	全部电炉粉尘
	用作水泥原料	铅、锌等重金属含量低的电炉粉尘

## 4.4 炼钢工艺污染防治最佳环境管理实践

### 4.4.1 炼钢废气最佳环境管理实践

#### (1) 除尘系统设计运行管理

① 除尘器安装后，应对漏风率、阻力、过滤风速、除尘效率和运行噪声等进行检查。

② 各尘源抽风点应设手动调节阀便于调节风量，必要时设阻力平衡器。

③ 除尘系统投运时应进行全系统风量平衡和调试工作，使各抽风点处于合理的风量范围。根据除尘系统的实际使用情况，定期对除尘系统进行风量平衡调节或测试工作，使除尘系统持续处于最佳工况运行状态。

④ 除尘风管内流速合理，一般取 16~18m/s，不应低于 15m/s，以免管内积灰，弯头及三通等异形管件应适当增加耐磨措施。

⑤ 除尘系统采用全自动控制。

⑥ 粉尘车载回用可采用吸引压送罐车密闭输送技术，避免粉尘在输送过程中泄漏飞扬。

#### (2) 安全风险管管理

##### ① 转炉煤气回收

转炉烟气具有高温、有毒、易燃易爆、含尘量高等特点，故对转炉烟气放散烟囱应采取以下安全措施：

a) 一座转炉设置一个专用放散烟囱。

b) 采用钢质结构烟囱，抗震性能好，又便于施工，北方高寒地区还应采取冬季防冻措施。

c) 烟囱标高应根据与附近居民区的距离和卫生标准来确定。调查数据显示：国内转炉煤气放散烟囱标高均比厂房最高点高出 3~6m。

d) 烟囱出口处应设有点火装置，以使煤气燃烧后放散。

e) 为防止煤气发生回火，煤气在烟道内流动的最低速度应大于回火速度，在 12~18m/s 为宜，以确保安全。

f) 无论是放散还是回收，炉口烟罩处应保持微正压状态，关键是提高放散系统阻力，并与回收系统阻力相平衡。为此，可在放散系统管路上安装水封器，

既可增加阻力，又可防止回火。

#### ② 布袋清灰

有关布袋清灰气源处理的安全措施主要有：

a) 在提供的洁净压缩空气基础上，进一步去除气包过饱和水分和油。

b) 控制气包加热过程和加热温度，温控仪采用比例调温控制，利用通断频率保证恒温。温度达到超温上限后自动切断加热器。

c) 每个仓体的脉冲分气包需要进行保温处理：与除尘器同温或敷设保温材料。有的系统可考虑采用特殊的冷冻干燥机进行干燥处理。

### 4.4.2 炼钢废水处理最佳环境管理实践

(1) 所有净环水处理系统采用旁滤及水质稳定加药措施，同时采用合理的串级给水方式，以节约水资源和减少系统排污。

(2) 纯水冷却系统采用纯水闭路循环系统，节水节能。

(3) 炼钢排水做到清污分流，按排水水质设置独立的处理系统，并采用不同的处理方法，以减轻废水的处理负荷。

### 4.4.3 炼钢固体废弃物处理最佳环境管理实践

(1) 炼钢生产过程产生的各类尘、泥和冶炼渣，全部回收利用。

(2) 控制送烧结用的尘泥中的铅、锌含量（Pb 含量 $\leq 0.1\%$ ，Zn $\leq 0.1\% \sim 0.2\%$ ），避免铅、锌在原料和产品中的富集，以免影响生产设备的正常运行和产品质量。

(3) 采用先进的技术和设备，提高固体废物再利用产品的附加值，实现资源利用效率的最大化，如利用含铁尘泥生产金属化球团、返转炉做冷却剂、生产铁粉等。

(4) 经过处理的钢渣成分应达到《用于水泥和混凝土中的钢渣粉》（GB/T 20491-2006）的标准要求，以保证其作为建筑材料时的稳定性。

(5) 钢渣临时堆存场地需采取防风抑尘措施，钢渣处理和加工设备需配套除尘设施，外排废气中含尘浓度 $\leq 20\text{mg}/\text{m}^3$ 。

(6) 废油的贮存和运输必须严格按照《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2001）和《危险废物污染防治技术政策》（环法[2001]199号文）中的有关

规定执行。

#### **4.4.4 最佳环境管理体系**

(1) 应建立完善环境管理机构，按照 ISO14001 建立并运行环境管理体系、环境管理手册、程序文件及作业文件齐备，保障环境管理原始记录及统计数据齐全有效，实现企业管理工作的国际化标准，明确各项环境管理职责。

(2) 执行国家和地方各项法规、规范、规章、标准，满足地方考核总量要求，取得排污许可证。

(3) 按照《钢铁企业清洁生产审核指南》要求进行炼钢企业内部的清洁生产审计。

(4) 对生产中各重要操作参数进行严格管理，主要工序运行无故障，生产消耗实行计量管理，岗位进行严格培训。

(5) 建立环境监测体系，配套完善监测设备和人员，建立监控档案，接受地方环保系统指导和监督。

(6) 制定、实施、管理项目污染物排放和环境保护设施运转计划，并做好考核和统计工作。

(7) 加强对环保设施的运行管理，制定环境事故风险预案，如出现运行故障，应立即进行检修，严禁非正常排放。

## 5 新技术动态

国内外目前炼钢生产工艺污染防治中出现一些新技术动态,包括未进行生产实践的技术和研究、试验阶段的技术等。

### 5.1 清洁生产技术

#### (1) 新型炼钢炉

世界各国冶金企业争相开发新型冶炼技术,试图以最小的成本产生最佳的经济效益。冶炼新技术及各种能源回收再利用方法,不仅代表了冶金业的发展方向,还可以产生良好的环保效益。此外,各企业还试图从工业废气中回收能源进行再循环,以期取得生产和环保双重效益。

新型复合炼钢炉采用吹氧脱碳与电弧精炼交替进行的方法,充分发挥两种冶炼方式的优势,达到最佳的冶炼效果。在冶炼初期采用高吹氧率进行迅速脱碳,可降低生产费用;在冶炼后期采用电弧冶炼方法对钢水进行精炼,优化钢水的各项指标。同时,可用从炼钢炉回收的废气(CO、VOCs和H<sub>2</sub>)对废钢进行预热,以保证炉内气体的温度,大幅度提高产量。

目前国外冶金业出现的封闭式炼钢炉体现了一种全新的概念。该技术将炼钢炉设计成封闭型,用以实现完全控制炉内的各种反应;同时,由于进入密闭式炼钢炉中的空气最少,故炉内烟气量保持在最小,因而可减少炼钢厂废气处理系统的处理量,且烟气中的H<sub>2</sub>、CO的含量升高,热值增加。

#### (2) 近终型连铸技术

近年来,随着钢铁冶金生产工艺的优化组合和冶金技术的飞速发展,近终型连铸技术已成为连铸技术的前沿领域和研究热点。所谓近终型连铸是指浇注成接近最终产品尺寸和形状的浇注方式。如采用连铸方(圆)坯生产条形产品和采用厚度为150~250mm连铸板坯生产板材的技术已渐成熟,但存在着从铸坯到最终产品加工量较大、能耗大、生产周期长、成本较高的问题,故条形产品有进一步缩小断面或直接连铸成异型坯的趋势,板坯有进一步减薄的必要。近终型连铸主要包括:① 薄板坯连铸,即浇注厚度为40~80mm的薄板铸坯,直接进入热精轧机成材;② 带坯连铸,即浇注厚度小于10mm的薄带坯,可直接作为冷轧坯料;③ 异型连铸机直接连铸H型钢坯料。

#### (3) 低温烟气的热量回收

一般钢铁企业只回收利用烟气温度较高的部分，例如对高温烟气进行汽化冷却回收蒸汽，通过余热锅炉的烟气仍有1000℃，兑铁水时产生的二次烟气温度300~400℃，需要混入大量冷风降低烟气温度后再进入除尘器，这部分热量都没有利用。国外已经有新技术利用300℃以下的低温烟气。

#### (4) 二噁英减排技术

##### ① 废钢预热（高温氧化技术）

分选出的含有机物废钢可单独进行预热，但应对预热废气采用“3T+E”技术进行焚烧处理：焚烧炉膛温度应控制在850℃以上，烟气在炉内高温区的停留时间应在2s以上，高温区应有适量的空气、充分的紊流强度，99%以上的PCDD/Fs会被高温分解。

##### ② 烟气急冷技术

对由烟道排出的烟气进行急冷，使其快速冷却至200℃以下，PCDD/Fs的生成量可减少60%~95%。目前，喷雾蒸发冷却技术已大量用于高温烟气的冷却降温，喷入塔内的水雾可使高温烟气快速冷却，而且还能改善电炉烟尘的比电阻，使部分细烟尘颗粒凝聚成大颗粒更易于去除。

##### ③ 喷入吸附剂

向焚烧炉内喷入碱性物质（如石灰石、生石灰、活性炭等），与烟气中的氯生成CaCl<sub>2</sub>，从而减少可生成PCDD/Fs的氯源。炉内喷氨也可达到类似的效果。

##### ④ 废钢缓慢加入

分选出的含有机物废钢在电炉加料时应缓慢连续加入。研究资料表明：这类废钢缓慢地连续加入可使废气达到较高的氧化程度（提高氧化程度可降低未燃有机化合物成分）和较低的氯苯产生量，PCDD/Fs的生成量要比快速加入少得多。

##### ⑤ 新型电弧炉炼钢工艺

日本开发的环保型高效电弧炉ECOARC（Ecological and Economical Arc Furnace）已通过5t试验炉试验，并成功地进行了小规模商业化生产。该电炉本体由废钢熔化室和与熔化室直接连接的预热竖炉组成（可一起倾动），后段设有热分解燃烧室、直接喷雾冷却室和除尘装置。热分解燃烧室可将包括PCDD/Fs在内的有机废气全部分解并能够满足高温区烟气的滞留时间，喷雾冷却室可将高温烟气快速降温防止PCDD/Fs的再合成。实测结果表明，废气中的PCDD/Fs<0.5ng-TEQ/m<sup>3</sup>，烟尘颗粒物中的PCDD/Fs<3.0ng-TEQ/g。不仅如此，该电炉与常规传统电弧炉相比，每生产1t钢的电耗、烟气量、烟尘产生量可分别降低40%、40%和50%以上，生产率可提高50%以上；ECOARC电炉属平缓负荷脉冲操作，闪

炼和高次谐波可减少50%以上，噪声也要比常规电炉低得多。

#### (5) 高温钢渣的显热回收技术

高温液态钢渣的温度高达 1500℃以上，冷却到固态钢渣放出的大量热量尚未加以利用，目前已经发明了新技术利用惰性气体回收这部分热量去生产蒸汽或发电。

## 5.2 污染治理技术

### (1) 电炉粉尘处理技术

#### ① 火法工艺

火法工艺是在高温下对电弧炉粉尘进行处理的一种工艺，包括日本的火法工艺、澳斯麦特工艺（近 20 年发展起来的强化冶炼技术）和威尔兹工艺。其中威尔兹工艺是世界上应用最广泛、工艺最成熟的处理电弧炉粉尘的方法，在欧洲、美国和日本有 100 多万吨电弧炉粉尘用此方法进行处理。威尔兹工艺分为一段威尔兹和二段威尔兹法。

一段威尔兹工艺由德国 BUS 公司开发，主要是将电炉粉尘、煤粉以及返回焦制成湿球团，湿球团通过稍微倾斜的料槽进入大回转窑。球团在回转窑里经过高温还原，得到富锌的粗级氧化锌产品，锌产品送往锌公司进行处理，窑渣经过磁选过滤后，可用资源作为返回料，剩余部分经水淬处理后，用于铺路和做建筑骨料。

二段威尔兹工艺由美国 HR 发展公司研发，其中第一段工艺与一段威尔兹工艺类似，在一段工艺里，主要目的是将铁与锌、铬等金属元素分离。一般处理后铁的品位都能超过 50%，可以送变电炉厂再次利用；含有锌、铬等元素的蒸汽通过二段威尔兹工艺，得到的粗锌产品送往锌厂再次利用。

#### ② 湿法工艺

湿法工艺是将电炉粉尘在常温下或非高温下通过酸、碱、盐等溶液的浸出及电解，回收电炉粉尘中 useful 物质，使渣料达到排放标准。其中最成熟的工艺有起源于西班牙的 Zincex 工艺和意大利 Engitech Impianti 公司开发的 Ezinex 工艺。

##### a) Zincex 工艺

在处理电炉粉尘时，Zincex 工艺包括 3 个步骤：浸出、萃取及反萃。浸出一般是在 40℃和常压下用稀硫酸处理，金属被稀硫酸溶解进入溶液中，而剩余的残渣过滤后酌情处理。浸出液一般采用石灰等碱性物质中和、净化回收铝和铁等金属，然后调整中和后浸出液的 pH 值，在 pH=2.5 时，用有机溶剂进行萃取，金属锌进入萃取液中，剩余的萃取液返回浸出液，整个过程一般都循环进行，直至达到理想效果为止。萃取后的锌液送往电解

锌工厂进行处理。

其特点是流程简单，操作方便，可应用性很强，而且投资小，处理能力强。国外一些锌工厂和钢铁企业正着手建设此工艺的生产线。

#### b) Ezinex 工艺

该工艺主要包括浸出、渣分离、净化、电解及结晶等步骤。电炉粉尘浸出采用以氯化铵为主要成分的废电解液与氯化钠混合液为浸出剂，浸出温度为 70~80℃，时间为 1 小时，锌、铅、铜、镉、镍和银以离子形式进入溶液，而氧化铁、铁酸盐和 SiO<sub>2</sub> 留在渣中。浸渣含锌 8%~12%、氧化铁 50%~60%，固液分离后，浸渣与作为还原剂的碳混合，磨匀后再返回电炉中使用；过滤后的浸出液由于富含锌，故采用金属锌置换溶液中的其它金属，如铅、铜、镉、镍和银等。净化后的溶液进行电解，以回收锌；置换渣送精炼厂以回收其它金属。

目前，处理电炉粉尘能力为 1 万 t/a 的 Ezinex 设备已在 Pittini 集团的 Osoppode Ferriere 公司投入使用。

#### ③ 火-湿联合工艺

有先火后水法和先水后火法两种。用转底炉对电炉粉尘等物料进行直接还原焙烧（火法工艺），使 Fe 与 Zn、Pb、Cd 分离，得到的直接还原铁产品返回电炉中回收利用；含 Pb 等金属的粗级氧化锌经热氯化铵浸出净化沉淀（湿法工艺），干燥后得到高纯氧化锌产品。

其特点是可同时获得直接还原铁、高纯氧化锌、铅、镉、银等产品，金属回收率很高。

#### (2) 转炉尘泥处理技术

##### ① 直接还原金属化球团法

直接还原金属化球团法是将混合料直接送入转底炉进行焙烧，制取金属化球团。其特点是可避免将转炉尘泥直接返烧结利用而造成的原料重金属富集，进而影响炼铁工序的顺利进行。

##### ② 直接还原海绵铁 SPM 法

直接还原海绵铁 SPM 法是将混合料直接送入回转窑进行还原焙烧，制取海绵铁。

##### ③ LT 系统粉尘热压块法

LT 系统粉尘热压块法是将 LT 系统蒸发冷却器收集的粗灰和除尘器收集的细灰先按一定比例混合，然后送回转窑加热到压块温度，再送入压块机压成块状，经过筛分和冷却后直接送转炉利用。

### (3) 二噁英末端治理工艺

#### ① 高效过滤技术

电炉系统产生的 PCDD/Fs 主要附着在细颗粒粉尘表面，采用高效除尘器可去除大部分。为进一步降低其排放量，可以通过降低排烟温度，使气相中的 PCDD/Fs 冷凝，附着在烟气中细小颗粒上，再用袋滤器净化。若在袋滤器后增设活性炭吸附塔，可使 PCDD/Fs 排放浓度控制在  $0.05\text{mg}/\text{m}^3$  以下。当烟尘排放浓度降低至一定水平（如  $5\text{mg}/\text{m}^3$  以下）时，颗粒物上附着的 PCDD/Fs 已很难再用除尘的方法去除了。

#### ② 物理吸附技术

利用 PCDD/Fs 可被多孔介质（如活性炭、焦炭、褐煤等）吸附的特性对其进行物理吸附（国外已广泛采用），欧洲多家钢厂实测结果显示，PCDD/Fs 减排效果在 70% 以上；使用焦炉褐煤粉末作吸附剂和袋式除尘器结合，PCDD/Fs 排放量可减少 98% 左右，排放浓度可低至  $0.1\text{ng-TEQ}/\text{m}^3$ 。该技术要求吸附剂有高比表面积、喷入时分散均匀性好，但要防止火灾和爆炸。由于煤粉吸附剂和石灰粉的喷入，增加了后续除尘器的负荷，设计时应考虑对除尘系统进行优化。喷入活性炭可能会比喷褐煤减排效果更好，因为活性炭的比表面积更大。

#### ③ 其它技术

控制烟气中铜、铅等金属对生成 PCDD/Fs 的催化作用，减少 PCDD/Fs 生产量。有些电炉烟气中含有铜、铅等金属，这些金属是生成 PCDD/Fs 的有效催化剂，而氨对铜等金属是最好的催化毒化剂，可使铜等金属催化剂失去催化作用。因此，向炉内吹氨可减少 PCDD/Fs 的产生量。

### (4) 炼钢废水处理工艺——DynaSand 水处理系统

该技术由瑞典 Nordic 水厂和 Mesto 矿产公司开发，几乎可以百分之百去除粒径在  $100\mu\text{m}$  以上的氧化铁皮，排量高达  $10\text{t}/\text{h}$ ，且不需另设铁皮坑来收集，减少了灰尘排放，可用于炼钢废水氧化铁皮的去除。

目前在 Ovako 钢铁厂、Fundia、SSAB 以及德国、奥地利和法国的数家钢厂都采用了该技术。

# 钢铁行业污染防治最佳可行技术导则

## ——炼钢工艺

（征求意见稿）

### 编制说明

中华人民共和国环境保护部

## 目 录

1 任务来源.....	8
2 导则编制的必要性和意义.....	8
3 导则编制的原则、方法和技术依据.....	10
4 导则编制过程.....	12
5 关于生产工艺、污染源及备选技术.....	14
6 BAT 技术的确定原则和评估、筛选.....	15
7 导则主要内容.....	16
8 导则应用范围.....	16
9 导则与其它政策文件的关系.....	17
10 导则中有关问题的必要说明.....	18

# 钢铁行业污染防治最佳可行技术导则 炼钢工艺

## 编制说明

### 1 任务来源

为贯彻执行《中华人民共和国环境保护法》，加快建立环境技术管理体系，确保环境管理目标的技术可达性和增强环境管理决策的科学性，提供环境管理政策制定和实施的技术支持，引导污染防治技术的发展，根据《国家环境技术管理体系建设规划》，环境保护部组织制定污染防治技术政策、污染防治最佳可行技术导则、环境工程技术规范等系列技术指导文件。

本导则是污染防治最佳可行技术导则系列中的《钢铁行业污染防治最佳可行技术导则》分项导则之一。《钢铁行业污染防治最佳可行技术导则》共分采选、烧结、炼铁、炼钢、轧钢和焦化六个分项，由北京市环境科学研究院牵头负责，其中“炼钢”分项导则由中冶建筑研究总院有限公司承担。

### 2 导则编制的必要性和意义

近年来，我国炼钢行业得到了突飞猛进的发展，特别是 21 世纪以来，我国粗钢产量更是以年均 4477.4 万 t 的创纪录速度递增。据 2006 年统计数据显示，我国重点大中型钢铁企业共有转炉 376 座和电炉 156 座，全国粗钢总产量为 42102.36 万 t（其中转炉钢 37671.44 万 t、电炉钢 4420.23 万 t），约占世界粗钢总产量的 40%，我国已成为世界第一产钢大国。

炼钢生产过程中有大量污染物排放。炼钢厂的大气污染物有烟粉尘、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 等常规污染物和二噁英、氟化物、重金属等特征污染物，其中烟粉尘是炼钢厂的主要大气污染物，按照长流程钢铁联合企业统计，炼钢工序烟粉尘排放量约占钢铁企业总排放量的 10%；炼钢工序废水的主要特点是水量大、排放点多，废水中主要污染物有 SS、石油类和 COD<sub>Cr</sub>，分别占钢铁企业总排放量的 10%、9.8% 和 7.8%；另外，炼钢生产过程中还产生大量钢渣（转炉渣产生量约 110kg/t 钢，电炉渣产生量约 100kg/t 钢），这些钢渣如不加以有效的综合利用，既占用大量土地，又会造成严重的环境污染。因此，做好炼钢厂的污染防治工作是钢铁企业整体污染防治工作的重点之一。

温家宝总理在第六次全国环境保护大会上强调：做好新形势下的环保工作，要加快实现三个转变，其中之一是“从主要用行政办法保护环境转变为综合运用法律、经济、技术和必要的行政办法解决环境问题，自觉遵循经济规律和自然规律，提高环境保护工作水平”。为加快环境保护管理工作的转变，原国家环保总局通过实施环境科技创新、环保标准体系建设和环保技术管理体系建设三大工程，组建环境领域国家实验室和实施国家水体污染控制与治理科技重大专项等，尽快突破长期制约经济、社会和环境发展的关键性科技难题，完成第六届全国科技大会和第六次全国环保大会的总体目标——到 2010 年，初步建立环境技术管理体系；到 2020 年，建立层次清晰、分工明确、运行高效、支撑有力的国家环境技术支撑体系。当前，环境保护部为了建设环境技术管理体系，实施了试点行业环境技术管理体系的建立和完善工作，组织了试点行业污染防治最佳可行技术导则的编制，其中钢铁行业为第一批试点行业之一。

编制本导则的主要目的就是帮助企业选择合理的污染防治技术，为钢铁行业全面提升环境保护水平、实现节能减排目标提供技术支撑，为环境技术管理体系的进一步完善提供技术保障。

本导则编制的意义在于：

(1) 炼钢企业的可持续发展必须对环境污染进行综合防治，而污染治理技术是其中的关键。污染综合防治技术，实际上是生产全过程中清洁生产及污染物末端治理技术的合理整合，即通过先进可行的环保技术、节能技术、生产工艺的合理配置和资源的合理利用，实现炼钢工序的可持续发展、三废治理，只有采用最佳可行技术，才能取得最佳效果。最佳可行技术需通过对污染综合防治技术的筛选、评估确定。

(2) 实现节能减排目标。对污染防治技术管理提出更高要求，国务院批准发布的《节能减排综合性工作方案》明确提出：“十一五”主要污染物排放量要减少 10%、城市污水处理率不低于 70%、固废综合利用率达到 60% 以上。加强污染防治技术管理是实现节能减排目标的重要支撑，污染防治最佳可行技术导则的编制是加强污染防治技术管理的重要内容。

(3) 循环经济的主要特征是废物的减量化、资源化和无害化。资源节约和有效利用，以减少资源投入，实现废物减量化，对废物进行综合利用达到资源化和循环利用。在钢铁联合企业中，炼钢生产污染物排放贡献量相对较小，但若不

采取污染防治措施或采取的措施不当，必将造成严重的环境污染，因此，筛选和评估污染物减排和治理技术对炼钢工艺可持续发展、加快循环经济发展、实现总量控制和污染物消减目标、减轻或消除环境污染等都具有重要意义。

(4) 近期国家将颁布系列《钢铁工业大气污染物排放标准》，炼钢工艺是其中分标准之一，这一行业标准较现行标准严格许多，因此，要满足该标准规定的排放限值，必须有相应的污染综合防治技术做支撑。

(5) 促进行业污染防治技术的推广应用和发展。通过技术筛选和评估，淘汰不能保证处理外排污染物达标的污染防治技术，淘汰落后的生产工艺，鼓励采用推荐的最佳可行污染防治技术，使先进成熟达标可行的污染防治技术得到推广应用。

### **3 导则编制的原则、方法和技术依据**

#### **3.1 编制原则**

(1) 立足我国实际，与国际接轨。

充分借鉴发达国家（如美国、欧盟等）钢铁行业污染防治管理体系的成功经验，并结合我国实际，编制适合我国国情的炼钢工艺污染防治最佳可行技术导则。

(2) 科学性与实用性相结合。

通过对炼钢生产现场调研，摸清炼钢工序污染防治技术工艺和设备水平、资源能源利用水平、污染物产生指标、废物回收利用指标和环境管理水平，并进行技术经济比较分析，筛选确定不同条件下炼钢工序污染防治最佳可行技术，使导则具有较强的科学性、指导性和可操作性。

(3) 以国家的环保技术政策为依据。

在污染物末端治理、清洁生产、发展循环经济和节能减排实施过程中，国家制订了一系列技术政策，编制污染防治最佳可行技术导则应以这些技术政策为依据。

(4) 确保污染物排放标准达标和清洁生产标准达标。

采用污染防治最佳可行技术的目的是为了排放达标和清洁生产达标，所以防治技术的设定、筛选和评估应满足上述两个标准的要求。

## 3.2 编制依据

本导则根据下列有关钢铁行业生产和环境保护的法律、法规、技术政策标准等制订。

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》；
- (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》；
- (3) 《中华人民共和国大气污染防治法》；
- (4) 《中华人民共和国水污染防治法》；
- (5) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》；
- (6) 《中华人民共和国环境噪声污染防治法》；
- (7) 《中华人民共和国清洁生产促进法》；
- (8) 《中华人民共和国循环经济促进法》；
- (9) 《中华人民共和国节约能源法》；
- (10) 《清洁生产标准 钢铁行业》；
- (11) 《全国生态环境保护纲要》；
- (12) 《钢铁产业发展政策》；
- (13) 《产业结构调整指导目录》；
- (14) 《国务院关于加快发展循环经济的若干意见》；
- (15) 《国家重点行业清洁生产技术导向目录》；
- (16) 《国务院关于印发节能减排综合性工作方案的通知》。

## 3.3 技术路线

本导则的主要研究路线为：编制工作计划及大纲——国内外资料调研——典型炼钢工序生产工艺污染防治技术现场考察和书面调研——召开座谈研讨会——调研数据、资料汇总和分析——编制导则初稿——经反复论证提出导则征求意见稿。具体工作步骤为：

- (1) 项目研究拟采用的方法为国内外资料调研、典型炼钢生产企业进行书面调研相结合的方式，以资料调研为主，书面调研为辅；
- (2) 项目承担单位组织国内外有关专家座谈研讨；
- (3) 我国典型钢铁企业炼钢生产污染防治技术的现场调研和测试，掌握炼钢工序生产工艺与设备水平、资源能源利用水平、污染物产生指标、废物回收利

用指标、生产工艺污染防治技术类型、运行参数、处理效果、经济性和环境管理水平等，并进行技术经济比较分析；

(4) 对调研结果进行综合评价分析，依靠系统科学的分析方法筛选确定不同条件下的炼钢工序工艺污染防治 BAT 技术；

(5) 对导则初稿进行反复论证后，提出最终研究报告。

本导则编制的技术路线见图 3-1。

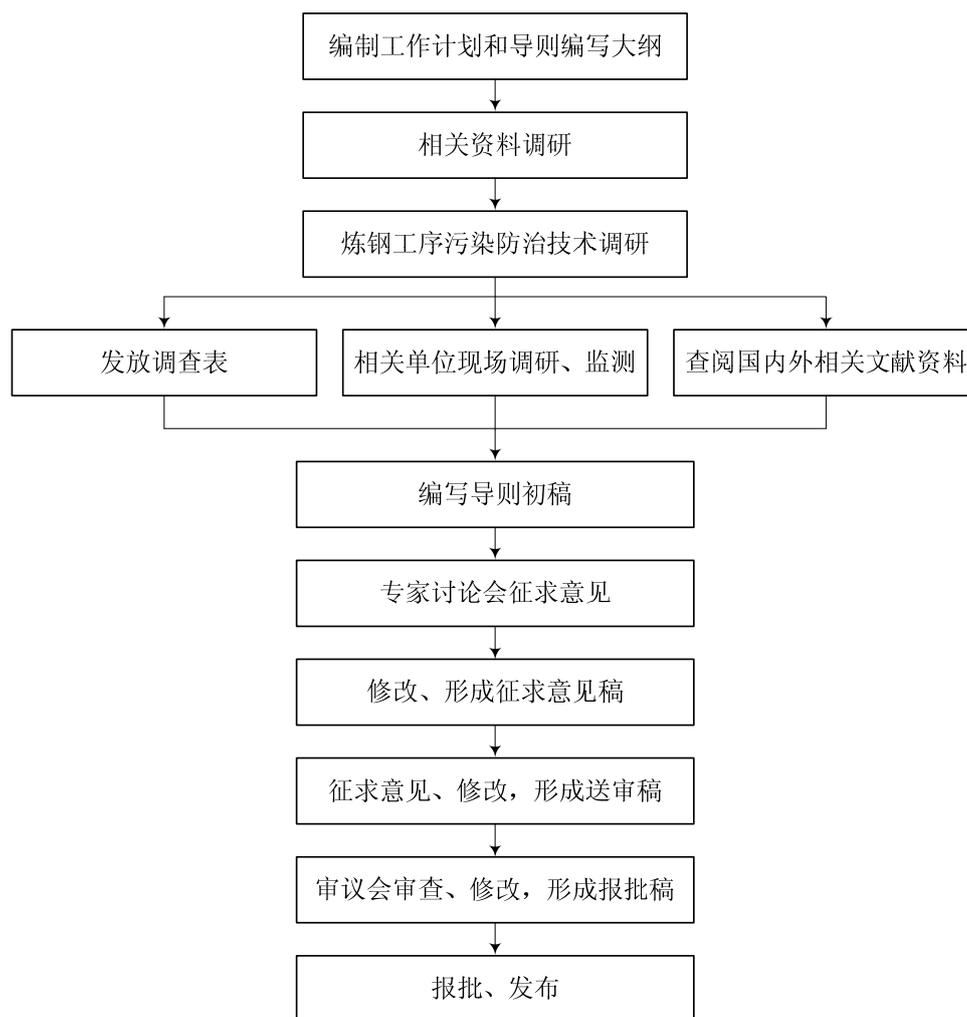


图 3-1 导则编制工作程序示意图

## 4 导则编制过程

### 4.1 资料查阅和调研

(1) 收集国内外有关导则编制的资料；检索国内外最新发布的相关技术指南和导则，对有关的内容进行学习，消化吸收；对编制的导则体例及内容进行研究，确

定导则编写大纲。

(2) 2007 年 12 月~2008 年 6 月, 对钢铁行业典型炼钢企业污染防治情况进行调研。

调研对象遵照以下内容进行选择:

① 企业的选取要覆盖到不同的发展水平: 由于历史原因及现实条件的限制, 国内钢铁企业的发展水平参差不齐, 因此选取的调研企业要覆盖不同的发展水平才能反映中国钢铁企业的发展全貌;

② 兼顾其产品和工艺具有特殊性的企业: 如生产不锈钢和特殊钢的企业等;

③ 要考虑企业所处的地理位置与气候条件: 由于南方与北方地理环境与气候条件的差异, 以及水资源条件不同导致工艺与技术使用上的差异, 因此我们选取的调研企业既有南方的企业又有北方的企业;

④ 调研采取现场考察、座谈、发调查表相结合方式;

⑤ 调研内容为炼钢企业生产工艺流程、资源、能源消耗及污染物产生情况、污染防治技术类型、效果、经济性等相关技术数据。

## 4.2 完成导则初稿

2008 年 6 月~2009 年 6 月完成导则初稿, 项目组主要工作过程为:

- (1) 整理调研资料, 组织编写人员编写导则初稿;
- (2) 内部自查; 组织参编单位讨论, 整理参编单位意见;
- (3) 编制组修改、完善导则初稿。

项目组分别于 2008 年 9 月和 12 月两次召开有关专家讨论会, 对编制的导则征求意见稿(初稿)进行讨论和提出修改意见。

## 4.3 完成征求意见稿

2009 年 8 月~10 月上旬完成导则征求意见稿讨论稿:

- (1) 组织专家对征求意见稿提出修改意见;
- (2) 搜集、整理专家意见;
- (3) 完成导则征求意见稿, 向社会发布, 广泛征求意见。

2009 年 11 月完成导则送审稿

- (1) 召开专家审查会;

(2) 整理专家进行审查;

(3) 完成导则送审稿。

2009 年 12 月完成导则报批稿

(1) 完成导则报批稿;

(2) 课题验收。

## 5 关于生产工艺、污染源及备选技术

### 5.1 生产工艺及污染源

本导则中对现阶段我国钢铁企业炼钢工序的生产工艺流程、污染物产生环节及污染物情况进行了较为详细的介绍, 以方便导则按照污染物种类有针对性地提出污染防治备选技术。

另外, 本导则还对现阶段我国钢铁企业炼钢生产中存在的一些难点及尚待解决的主要环境问题进行了介绍, 以便在导则应用过程中引起使用人员的足够重视。

### 5.2 备选技术

本导则提供的备选技术, 均为目前国内钢铁企业在生产实践中已有使用, 技术成熟可靠, 治理效果基本在国内平均水平以上、且基本能够达到国内现行污染物排放标准要求的技术。

在编制过程中, 全面检索、收集了国内外有关资料, 主要包括: 国内外环境政策和方针、可参考的 BAT 范本、《冶金工程设计丛书》、《钢铁工业大气污染物排放标准—炼钢》(送审稿)、《钢铁工业水污染物排放标准》(送审稿)、《钢铁工业给水排水设计手册》、炼钢技术管理规程以及相关专著和论文、必要的专题研究和技术交流研讨材料等等。展开了广泛的企业实际情况调研, 对武钢、太钢、首钢、攀钢、柳钢、宝钢、酒钢、本钢、鞍钢、日钢等钢铁企业进行了实地调研和考察, 基本掌握了企业生产工艺、环保治理技术和管理措施等实际情况, 同时向有代表性的钢铁企业发放炼钢工艺技术和环保治理技术调查表, 以获取企业生产过程中的第一手材料。对调研和实地调查情况进行了全面分析、整理, 根据炼钢工序可能产生的污染物情况及其危害程度, 考虑多数企业环保治理现状(目前

所采取的防治技术所能达到的环境绩效), 在广泛参阅国内外现有政策、规范和标准及有关污染防治技术资料, 对主要问题和疑难问题进行了反复的研讨和论证的基础上, 确定炼钢污染防治备选技术。

## 6 BAT技术的确定原则和评估、筛选

在对钢铁行业, 特别是炼钢生产现状调查分析的基础上, 广泛搜集资料信息, 包括生产规模、产量质量、工艺流程、技术装备、能耗物耗、产污排污、控制措施、运行管理等, 在对技术特点、经济效益等进行综合分析和专家评估的基础上, 形成炼钢工艺污染防治最佳可行技术体系。

### 6.1 BAT技术的确定原则

#### (1) 综合防治原则

本导则贯彻清洁生产和循环经济的理念和指导思想, 钢铁行业炼钢厂环境污染治理应尽量从源头控制, 以防为主, 防治结合的原则, 实施全过程清洁生产, 从源头上减少污染物的产生, 从而降低和减轻污染物末端治理对环境造成的压力, 提高环境污染防治和管理水平。

#### (2) 全过程管理原则

本导则始终体现全过程控制和管理的原则, 规定了从钢铁行业炼钢厂配料、运输至成品的污染防治最佳可行技术及其环境管理实践要求, 从而实现对环境的高水平整体保护。

#### (3) 因地制宜的原则

我国幅员辽阔, 能源资源分布不均, 因此在选择最佳可行技术时, 一定要紧密结合钢铁行业所在地的地域条件、资源条件和炼钢厂的具体情况, 因地制宜地选择污染防治的最佳可行技术。

#### (4) 节能减排的原则

根据国务院颁布的《国家环境保护“十一五”规划》以及《节能减排综合性工作方案》的指导思想和方针, 钢铁行业炼钢厂技术的选择和管理也应全面体现节能减排的思想。

#### (5) 循环经济的原则

本导则对炼钢工艺及防治技术都做了概要性的描述, 并对其环境效果、二

次污染、经济成本、综合利用途径等做了详细分析，目的在于通过技术的环境效果和经济分析，确定最佳可行技术，促进产业循环经济发展，提高产业经济效益。

本导则没有将所有的炼钢工艺污染防治技术编制进来，主要是基于以下两点考虑：

- 一是选取的技术必须环保、可行，且体现导则编制的总体原则；
- 二是编入本导则中的技术充分考虑目前的状况和世界发展的趋势。

本导则针对不同处理技术都做了概要性的描述，并对不同工艺的环境效益、跨介质影响、运行数据等做了简要分析，目的在于通过技术的环境问题和消耗等，确定最佳可行污染防治技术。

## 6.2 BAT技术的筛选

从资源消耗、能源消耗、污染物排放、经济成本四大方面入手，广泛征求专家意见，综合评定、筛选各项技术，最终确定本导则推荐的最佳可行技术。

## 7 导则主要内容

本导则的内容共六部分。0 前言：介绍导则的定位、制定部门和起草单位、发布、实施日期等信息；1 总则：介绍导则的适用范围、术语及定义；2 炼钢生产技术现状及主要环境问题：简要描述目前我国炼钢生产的工艺状况，生产过程中的资源、能源消耗情况，主要污染物的产生、排放和控制措施及现阶段需特别关注的主要环境问题；3 炼钢工艺污染防治技术：主要从防与治两个方面阐述国内外实用有效的各项控制技术，着重于工作原理、技术特点及技术指标等；4 炼钢工艺污染防治最佳可行技术：在上述内容的基础上立足于四个层面确定并推荐若干项最佳可行的控制技术，贯彻国家有关政策、法规，遵循清洁生产和循环经济理念，满足环保排放标准要求，瞄准先进、高效、经济和高水平，并提供了各种技术应用中的系统组成、处理工艺流程及工程实例等；5 新技术动态：介绍了现阶段正处于研究或试验阶段、有着良好发展前景的新的技术原理、设计构思、工艺装备及管理理念等。

## 8 导则应用范围

本导则制定的宗旨是为钢铁行业炼钢工艺相关管理人员选择最佳可行技术

提供参考，以利控制炼钢生产过程中的环境污染和实行有效环境管理，达到保护环境的目的。本导则的核心内容，是为设施的运营者提供可以实现炼钢生产污染物减排和有效治理的技术，以及技术应用过程中防止污染和二次污染问题的适当措施，在安全、环保的原则下，实现污染物减排及能源和资源循环利用；通过实行炼钢工艺污染防治最佳环境管理，提高设施运营者的管理和操作水平。

本导则适用于钢铁企业炼钢厂或炼钢工序。

本导则也为环境保护相关管理部门在环境影响评价、工程设计、工程施工以及竣工验收等方面提供技术依据。

#### （1）规划阶段

本导则为规划管理部门对炼钢厂实行统筹规划，在炼钢厂制订建设计划、选址和确定技术路线时提供依据。

#### （2）立项审批阶段

本导则规定了炼钢工艺从生产工艺到末端治理全过程污染防治最佳可行技术，为用户和相关管理部门在环境影响评价报告编制和审批等方面提供技术依据，以便选择适当的污染防治最佳可行技术。

#### （3）设计施工阶段

本导则为设计和施工单位提供相应的污染防治最佳可行技术及关键技术参数选择，从而实现对炼钢厂污染的有效防治。

#### （4）运营管理阶段

本导则为炼钢厂竣工验收和运营管理提供参考依据，并督促炼钢厂在运营管理中实现污染防治的最佳环境管理。

## 9 导则与其它政策文件的关系

本导则是依据国家环境法规和污染物排放标准，按钢铁行业炼钢工艺污染防治全过程所应采用的清洁生产工艺、达标排放的污染控制技术等技术规定。其基本内容包括：行业生产工艺和设备的描述；污染物来源、发生量与特征分析；源头控制和污染物减排的工艺和方法；废气中各类污染物控制技术及效果；废水处理与循环利用技术、常规污染物和有毒污染物的控制技术及效果；固废综合利用与处置技术；环境效益与技术经济分析等。

制订污染防治最佳可行技术导则是环境技术管理体系建设的重点任务之一。

通过制定和发布污染防治技术导则，使其成为企业和环保部门选择清洁生产工艺、污染物达标排放技术和工艺方法的主要依据，成为环保管理、技术部门开展环境影响评价、项目可行性研究、环境监督执法、环境标准制修订等工作的技术依据。

## 10 导则中有关问题的必要说明

（1）炼钢生产过程产生的污染物主要以颗粒物和气态污染物、转炉煤气洗涤废水和钢渣为主，因此，本导则以废气、废水和固体废物污染控制技术为主，噪声控制技术只进行简要评述。

（2）本导则力求做到帮助企业选择合理的污染防治技术，为钢铁行业炼钢生产全面提升环境保护水平、实现节能减排目标提供技术支撑。因此，现有钢铁企业应对企业内的所有污染防治设施、采取的技术、实际排放情况进行全面的分析，与新标准对标，发现问题并及时采取合理有效的技术措施，寻找适合自身企业的技术才是最佳可行的技术。

（3）本导则确定的 BAT 技术仅为现阶段推荐的最佳可行技术，鼓励采用导则推荐的 BAT 技术的同时，也应鼓励引进国外先进的污染防治技术以及应用国内自主研发的成熟、可靠的新技术，并应根据国内钢铁企业污染防治水平的提高，适时修订导则推荐的 BAT 技术。

（4）本导则作为国家环保部推出的第一批污染防治最佳可行技术导则，其体例问题一直是历次审查会专家较为关注的问题之一。本稿导则体例经多次征求有关专家意见修改最终确定。