

高效节能烟气除尘方案集锦

北京钢铁设计研究总院

技术情报室

一九八四年十二月一日

编 者 的 话

大量国内外资料说明，钢铁生产中的烟尘控制技术近十年来发展较快，其中某些虽然集尘效果不错，但能耗太高，影响在我国的推广使用。非常需要一些效果好又比较省能的烟尘控制方法。基于这种思想我收集并汇编了这份资料。在资料收集过程中尽量结合我院设计的特点，着重控制的方式方法，计算和技术经济指标这几个方面。希望这份资料对有关专业的设计工作有些裨益。但因本人水平所限，缺点错误在所难免，热诚欢迎同志们批评指正。

目 录

前言	4
1. 高炉出铁场通风除尘	8
1.1 概况	8
1.1.1 日本大型高炉出铁场通风除尘的特点	10
1.1.2 美国高炉出铁场的烟尘控制技术	20
1.1.3 苏联高炉出铁场排烟除尘的技术水平	21
1.1.4 西德高炉出铁场的烟尘控制	26
1.1.5 英国高炉出铁场烟尘控制简况	28
1.1.6 法国高炉出铁场烟尘控制水平	28
1.1.7 中国高炉出铁场烟尘治理现状	32
1.2 省能的高炉出铁场烟尘控制方案及措施	34
1.2.1 俯仰折叠式排烟罩	34
1.2.2 不设通风除尘设备的高炉出铁场烟尘控法	36
1.2.3 按出铁场实际情况调整抽气量	40
2 电炉烟尘的各种控制方法	43
2.1 综述	43
2.1.1 一次烟尘的排除	43
2.1.2 二次烟尘的排除方式	44
2.1.2.1 屋顶大罩	44
2.1.2.2 密封屋顶排烟和排烟量的确定	45
2.1.2.3 全密闭炉罩的应用	46
2.1.2.4 屋顶除尘器在二次排烟中的应用	49
2.1.2.5 世界各国一些电炉的排烟除尘系统一览表	51
2.2 炼钢电炉烟气除尘系统的节能措施	57

2.2.1	风机位置对系统节能的影响	57
2.2.2	滤料对节能的影响	57
2.2.3	调节风机转数节能	57
2.2.4	改进排烟管路的设计	59
2.2.5	采用节能风机	59
3	电炉排烟与废钢预热	60
3.1	电炉烟气预热废钢的发展概况	60
3.2	日本废钢预热装置的分类	66
3.3	日本最新型的电炉排烟废钢预热联合装置	74
4	转炉炼钢车间二次烟尘的有效控制方法	75
5	译文	84
5.1	送风机节能措施及实例 吕秉魁译, 尚德蕴校	84
5.1	电弧炉除尘装置的节能要点 吕秉魁译, 尚德蕴校	94

前 言

随着钢铁工业的发展和吹氧工艺在冶炼过程中的广泛应用, 烟尘排放量显著增加。同时各国环保部门对环境污染控制的要求也越来越严格, 所以污染控制技术得到了积极的开发。目前与冶炼过程直接相关的一次烟尘已经能够有效地进行控制, 也已有成熟的经验。问题是工艺排烟系统不能全部排除的所谓二次烟尘应该如何对付, 还是一个必须深入研究的问题。

从七十年代以来能源价格猛涨, 而环境污染控制设施的耗电量又极为可观。譬如炼铁车间通风除尘的总耗电量为车间全部耗电量的 50% 左右, 若以出铁场设有大垂幕的中国宝钢为例, 高炉出铁场一二次烟尘控制的耗电量为生产耗电量的 76%。如果连同通风冷却、空调和上料系统以及铸铁机室等处的通风除尘在内的全部耗电量则为生产用电的 1.28 倍, 为炼铁车间总耗电量的 57% (44)。

电炉炼钢车间排烟通风除尘的总耗电量约为生产用电的 8~10% (45), 而炼钢电炉的用电量又在工业用电中占极大的比重, 例如西德 1980 年此值约为 20%, 而西德 1980 年的电力产量只占总产钢量的 14.9%。据西德对 10 座电炉排烟除尘系统的调查, 每吨钢的除尘费用为 7-32 马克。从上列数字可以明显地看出, 排烟除尘系统如能有效地节能对降低生产成本具有很大的意义。

世界各国钢铁工业的财政状况不同, 烟尘控制水平相差很大, 各国的排放标准也都不统一, 甚至有的设有明确的规定。譬如英国空气污染控制法中规定应采用最好的实用方法 (best practicable means) 然而在规范中则对实用一词无任何具体说明和解释。据 1983 年资料报导, 英国人认为英国目前大多数钢铁厂赔钱生产的条件下, 难于实现诸如转炉车间二次烟尘和焦炉出焦侧的烟尘控制 (43)。

日本钢铁工业的经济情况较好，各种烟尘控制技术的发展也比较快。日本的一些污染控制技术引起世界钢铁界的重视，并得到广泛的应用。例如高炉出铁场渣铁沟、撇渣器、摆动流槽等密封罩排烟控制一次烟尘和大垂幕控制二次烟尘的方法在许多国家都已采用。日本电炉烟气用于预热废钢的技术已为西德采用。然而日本对环保设施的各项费用还是非常注意的。据我国曾到日本考察过的同志们报导，日本新日铁的几套高炉出铁场通风大垂幕平时在生产中也不大使用，往往是上级检查时才开起来。

在高炉出铁场二次烟尘控制方面，就日本14座日产万吨的大高炉而论，采用大垂幕的也不过四座。全世界4000米³以上的大高炉包括宝钢在内共计22座，而采用垂幕的也不过7座。日本1978年投产的如古川3号和1979年建成的名古屋新3号高炉都改用了屋顶电除尘的方式。西德施维尔根4870米³高炉的出铁场烟尘控制方案经厂方多方面的研究和比较决定采用各种沟槽设置罩盖的局部抽气法，并对沟盖的形状、结构和气沟的设计及耐火材料进行了深入的试验研究，决定不采用机械全面换气通风。苏联1983年切列波维茨钢铁厂建成的5580米³高炉，在出铁场也只限于设置渣铁沟局部抽气罩盖和出铁口、主沟上方的屋顶局部烟罩排烟系统，整个出铁场则采用自然换气通风法。我国首钢1327米³2号高炉上装上了大垂幕，然而在实际使用中因为厂房设有密封，风吹火烤垂幕已损坏，现在经过改建，将大垂幕的抽风机能力加到撇渣器、摆动流槽等处的局部抽气系统上⁽⁸⁾。

美国琼斯拉夫林公司为了能解决高炉出铁场烟尘控制费用高的问题，试验研究成功不用传统抽气除尘的方法，而使用渣铁面流动覆盖层，作为惰性污染控制的方法。它从根本上抑制了烟尘的产生及扩散。此法在该公司所属的三个工厂进行了试验，其污染排放量大大低于所在地区地

方政府的规定，而投资仅为抽气除尘法的百分之四十到六分之一左右。此法已为美国环保局的第三、第五分局所接受，并得到三个厂的所在州政府的批准，将惰性污染控制法作为高炉出铁场污染控制的另一可行方案。此法除效果好投资少外，操作费用低，维修工作量少，还能提高铁水温度和金属收得率，以 2500米^3 高炉为例每年可节约300万美元⁽¹⁴⁾。

川崎制铁公司为水岛厂 2857米^3 的2号高炉设置的俯仰折式出铁口主铁流的局部烟罩的设计构思也很新颖。它的排烟效果很高，比通常屋顶排烟方式低三分之一。这种烟罩在出铁口喷溅最激烈的时候只要按额定风量抽气，几乎无漏烟现象。它已得到许多厂家的赞许，并认为将来大风幕有被淘汰的趋势⁽¹⁵⁾。

电炉第四孔排烟结合屋顶大烟罩是七十年代中期广为采用的典型电炉烟尘控制法。在七十年代末期出现了全密封炉罩，它是高效省能的电炉烟尘控制法。如用以控制二次烟尘，比屋顶大罩的排烟量少50%，若用以控制一、二次烟尘，它的排烟量则是传统方法的三分之一。

电炉烟气温度高达 1050°C ，含有 0.837×10^5 千卡/吨钢的能量，如用于预热废钢则每吨钢可得到45~50千瓦时的节能效益⁽¹⁶⁾。日本对利用电炉烟气预热废钢的技术研究推广较快。据1983年底的资料，日本那时已有不同结构的废钢预热装置约31套。结构最新的是1983年8月份投产的藤泽公司仙台厂40吨电炉的烟气净化废钢预热系统，其特点是将废钢预热装置装在全密封炉罩内，把烟气除尘和废钢预热合于一体，其热效率高，废钢预热后不用倒运可直接入炉，因此热损失少，装炉时也无需打开炉罩，烟气很少外溢。罩内废钢槽上下升降等操作有专用台车，所以不用吊车参予，操作简便，炉前工即可，不用增加操作人员。

采用废钢预热后所节约的电能刚好抵消除尘系统的耗电量，同时冶炼周期缩短了7—8分钟。

转炉工艺烟尘的收集早已不成问题。二次烟尘的收集趋于局部化，并辅之以全面换气的自然通风。局部烟罩尽量靠近污染源。所以出现了许多结构新颖，构思巧妙的各种局部烟罩。

局部排烟罩中最重要的是，影响最大的是转炉兑铁水和出钢烟尘抽气用的全密封炉罩。它起源于美国为底吹转炉设计的全密封炉罩，后经过改进用于顶吹。这种炉罩现已被日本、西德、法国、加拿大等国的一些厂家所采用。

据现在收集到的99座大型转炉炼钢车间的二次烟尘控制方案分析，除采用局部烟罩外，配之以车间全面换气的机械通风的厂家很少，只有日本的六个车间，甚至日本1979年投产的技术装备比较精良的钢管公司横岛厂的制钢车间也只采用局部抽气，而没设全面换气的机械通风。

为了组织好自然通风许多厂家用隔板将炉子跨间与其它跨间分开。

纵观世界冶炼过程的烟尘控制技术的发展趋势大致可概括如下：

(1) 尽量将污染放散物质局部化，在污染源就地排除，如高炉出铁场的俯仰式烟罩，电炉、转炉的全密封炉罩，炼钢车间主跨和辅助跨间之间的隔板等；

(2) 积极抑制烟尘的产生，如高炉出铁场的惰性污染控制法；

(3) 利用烟气废热节能，如电炉烟气预热废钢；

(4) 选用和开发节能的风机和除尘设备；

(5) 系统设计考虑操作的灵活性，随烟尘放散量的多少控制排烟量，如风机的启和调速；

(6) 设备在系统中合理配置，管道及局部烟罩的设计合乎流体动力的特点，尽量减少阻力损失降低能耗。

1. 高炉出铁场通风除尘

1.1 概况

七十年代以来冶金机组向大型化发展， 2000米^3 以上的大高炉约110座，而已投产的 4000米^3 以上的大高炉约22座。其中日本就有14座(7)。

大型高炉一般有3~4个出铁口，2~3个出铁场，甚至有四个出铁场的，而苏联两座 5000米^3 以上的大高炉则是环形出铁场。出铁场上的铁、渣沟、撇渣器等占出铁场总面积的45%。

大高炉日产1万吨以上，每天出铁14.3次，每次出铁120分钟，每天出铁时间长达20小时以上，一个出铁口尚未出完铁水，另一个铁口又开始出铁。出铁场轮流出铁。

高炉大型化使得出铁场排烟除尘已成为生产操作中必不可少的一项技术措施。

根据新日铁的计算，每天大约产生25吨烟尘，平均每吨铁的产尘量为2.5公斤。烟尘粒度小于 10μ 的占66%，二次烟尘中小于 1μ 的占60%。 3μ 以下的烟尘在空气中呈悬浮状态，对人体的危害最大。

世界上 4000米^3 以上大型高炉出铁场的通风除尘措施大致如下表：

表1

世界大型高炉出铁场的通风除尘

国别厂名	炉号	炉容米 ³	投产日期	出铁口/场数	一次烟尘通风量米 ³ /分	二次排烟方式及风量米 ³ /分	备 註
日本新日铁 大分	1号	4158	72.4 79年大修	4/2	4800×2	垂幕, 6500×2	每个出铁场一个垂幕
大分	2号	5070	76.10	5/3	14500×2	垂幕, 10000×2	幕宽19.6米, 距出铁口16.8米
君津	3号	4063	71.9	4/2	7000+11000		
君津	4号	4930	75.10	4/2	12500×2, 温度110℃	垂幕 25000	
户畑	新1号	4140	75.3	4/2	15000	垂幕 15000	一、二次排烟风机互为备用
名古屋	新1号	4000	79.3	4/3	11000×2	屋顶除尘13000	屋顶除尘用正压袋式除尘器, 反吹清灰
钢管 福山	4号	4197	71.4	3/2	5400		
福山	5号	4617	73.11	3/2	15000	屋顶除尘10000	屋顶除尘用袋式除尘器, 反吹清灰
扇岛	1号	4050	76.11	4/3	20000	屋顶除尘10000	屋顶除尘, 反吹布袋
川崎 水岛	4号	4323	73.4				
千叶	6号	4540	72.6	4/2	10000×2	17000	屋顶除尘, 用正压袋式除尘, 反吹
住友 鹿岛	2号	4080	73.4	4/4	6600	屋顶除尘	
鹿岛	3号	5050	76.9	4/4	6600×2	屋顶除尘15000×2	屋顶用正压反吹布袋除尘
神户 加古川	3号	4500	78.7	4/2		屋顶电除尘25000	
苏联 克里沃罗格钢铁厂	9号	5026	74.12	4/环形	主沟7000	工作区空气淋浴	出铁场自然换气70次/时
切列波维茨钢铁公司	5号	5580	83年建成	4/环形			
西德 奥古斯蒂斯施维尔根	1号	4870	73.2	4/2	5750×2, 温度80℃		
意大利 塔兰托	5号	4128	74.11		11300 出铁口潮吸罩,	铁水沟排烟罩盖, 铁水流槽设局部烟罩	
法国 敦刻尔克	4号	4526	73.3	4/2	流嘴排烟量3000	垂幕15000	原来主要靠风幕效果不好, 1980年改建
荷兰 艾莫伊登	7号	4363	72.11	3/			
英国 雷特卡	1号	4573	79年初	4/2	6500×2	垂幕4800×2	
巴西 土巴罗	1号	4415	83.11.30	4/2	10000米 ³ /分×2(标准状态)		
中国 宝钢	1号	4063	计划85	4/2	17000	垂幕17000	两系统均用正压反吹布袋

1.1.1 日本大型高炉出铁场通风除尘的特点

日本近十年来对大型高炉出铁场除尘技术进行了反复研究，总结出一套较成熟的经验。

到1979年底日本所有高炉出铁场已不同程度地设置了局部排烟系统。

据统计出铁场各污染源配备局部除尘设施的情况大致如下：

污染源	配备情况%
铁水流嘴	100
出铁口	80
铁渣沟	60

所采用的烟气除尘设备83%为袋式除尘器，电除尘器8%，洗涤器6%，不同类型的除尘设备配合使用的占3%。出铁场二次烟尘基本上有两种收集处理方法，一种是屋顶除尘，另一种是设置大垂幕。出铁场局部排烟和二次排烟除尘系统总的换气量达到45~80次/时。

为了能有效地控制一次烟尘的污染，所有的铁渣沟、撇渣器、摆动流嘴等处都设置沟盖或局部抽气罩，进行有效地抽气和控制高温铁热的辐射。据新日铁4号高炉的经验，出铁场的散热强度仅有0.98千卡/米²·时，达到一般常温生产车间内的水平。各种罩盖的烟道敷设在平台楼板内。例如，名古屋新1号高炉和川崎的6号炉，出铁场平坦、宽敞，工人操作很方便。

从表1中可以看出，日本高炉出铁场一次烟尘的排烟量近年来加大了很多。例如1921年投产的福山4号高炉，一次除尘系统的抽气量为5400米³/分，而1973年投产的5号高炉增加到15000米³/分，虽然5号高炉的容积比4号高炉略大一些（大420米³），抽气量可是增大了2倍。大分厂1972年投产的1号高炉一次排烟除尘系统的

风量为 $4800 \times 2 \text{米}^3/\text{分}$ ，而1976年投产的2号高炉（炉容比1号加大了 812米^3 ，合18%）然而抽气量加大到 $14500 \times 2 \text{米}^3/\text{分}$ ，相当1号高炉的3倍。住友的2、3号高炉相比，3号高炉的一次排烟量也增长了2倍。

1975年以后建的高炉基本上都设置了二次排烟系统。

日本高炉出铁场一、二次烟尘控制的典型作法可以中国的宝钢为例全面介绍如下：

宝钢4063立方米的1号高炉是技术装备现代化的大型高炉。共有两个出铁场，四个出铁口，一次排烟除尘的总能力为 $17000 \text{米}^3/\text{分}$ ，采用正压反吹清灰布袋除尘器，各局部抽气点都设有电动和手动阀门可进行调整，风管都敷设在平台的楼板以内。为了适应抽气量的变化设有两台 $8500 \text{米}^3/\text{分}$ 的风机，风压650毫米水柱，转速1000转/分。一次排烟除尘系统各抽气点的风量如下：

表2 宝钢1号炉一次排烟除尘系统各处的吸风量

抽气点	抽风量 米 ³ /分		烟气温度 ℃	备 注
	2、3号出铁口	1、4号出铁口		
主沟	1110	1110	135	因主沟缩短, 将抽风量加到撒渣 器的抽气点上
撒渣器	1140	1140	168	
铁沟	320	320	200	
摆动流嘴 伞形罩	1900	1900	70	
侧吸罩	770×2	770×2		
渣沟	310	310	120	
残铁罐	400	400	120	
主沟修理场	200	200	40	
泥炮口	150	150	20	
炉顶	700	700	40	
漏风	730	730	40	
合 计	8500	8500	平均95℃	共计17000米 ³ /分

主铁沟和渣沟的单位排烟量见表3。

表3 主沟和渣、铁沟的抽气量

	沟长 (米)	沟宽 (米)	抽气量 (米 ³ /分)	每米沟长之抽气量 (米 ³ /分)
主沟	14	1.35	1110	8.0
铁沟	25	0.6	320	13
渣沟	44	0.6	310	7

宝钢原设计主沟有单独的抽气点后因主沟缩短，主沟旁有沟盖板悬臂吊车等原因，将主沟的抽气点取消，烟气由撇渣器处共总抽出，这样撇渣器处的抽气量加大到2250米³/分。

残铁罐是为减少渣中带铁量，保证冲水渣安全而设置的，实际上现在大型高炉都趋向不设残铁罐。宝钢是因为大分1高炉出铁场有残铁罐才设置的，然而大分厂2高炉已取消了。

一般高炉出铁场上都不装泥炮口排烟装置。泥炮堵完铁口后恢复到原来位置时，泥炮内因受高温铁水的烘烤产生烟气。宝钢专为此特设了排烟罩。

宝钢1号高炉采用活动主沟，其使用寿命为5~10万吨铁。一个月左右需更换一次。按四个铁口计，每星期都有修砌主沟的任务，换下的主沟用吊车吊到主沟修理场（每个出铁场端部都设有主沟修理场），在修理坑上设有类似槽边抽气的局部抽气装置。

炉顶上料系统的卸料点除尘与出铁场一次排烟共用一个系统。但担心烟尘中含CO有爆炸危险，但是因为其抽气量只占总抽气量的4%，CO完全被稀释，采用集中除尘系统简单可靠。

管道内的流速一般取15~25米/秒，最大不超过30米/秒。

最低不小于 10 米/秒。管壁厚度如下：

表 4 排烟管道的直径和壁厚

管 径 毫米	直管部份	弯管部份
Ø300 以下	螺旋焊管	9 毫米
Ø300~Ø800 以下	4.5 毫米	9 毫米
Ø800~Ø1500 以下	6 毫米	12 毫米
Ø1500~Ø3000 以下	9 毫米	16 毫米
Ø3000 以下	10 毫米	16 毫米

一次除尘系统的设备总重 1611 吨。

出铁场二次除尘系统

宝钢二次除尘系统主要处理开、堵出铁口时从出铁口突然冲出的大量烟气。二次排烟系统包括出铁口的烟罩和垂幕。开堵出铁口时将垂幕下降到距平台 4 米高处，烟气由出铁口局部烟罩和垂幕抽出。正常出铁时只用出铁口烟罩。

二次除尘系统的抽气量如下：

抽气点	开、堵出铁口时	正常出铁时
垂幕	11200 米 ³ /分	
出铁口罩	2900 米 ³ /分	2900 米 ³ /分
共 计	17000 米 ³ /分	

垂幕的进口风速约 0.83 米/秒。二次除尘系统风量相当于出铁场每小时换气约 40 次。烟气温度一般为 40~60℃，烟气初浓度为 0.35~1.0 克/标米³，净化后的残尘含量为 0.05 克/标米³。

大垂幕的幕帘高 15.6 米（侧幕高 13.6 米），幕帘上卷电动机功率正面为 11 千瓦，左右各为 5.5 千瓦。电机装在专用平台上，由泥炮

室进行操作，幕围顶部有两个 10×14 米矩形垂幕排烟罩，排出口设有电动阀门，排气管直径为 $\phi 2800$ 毫米。

新日铁垂幕式二次烟尘控制方案在应用中仍存在以下问题：

1. 新日铁各高炉在实际应用中也不经常升降，一般都不降下，因此不能达到预期效果。

2. 下垂的幕帘即便离出铁场平台还有4米高的距离，仍有可能被出铁口喷出的烟尘等烧毁，例如君津4号和大分厂的高炉都发生过。

3. 垂幕下降时挡住出铁场110吨行车的行程，容易碰撞，大分厂的垂幕就被行车撞坏，所以垂幕的升降必须与行车实行联锁控制。

4. 垂幕内的工作条件比较恶劣，垂幕易挂灰，升降时尘土飞扬。

5. 由于挂垂幕使出铁场厂房提高，负荷增大。

日本也只有新日铁的四座高炉采用垂幕，其它公司均未采用。新日铁1979年投产的名古屋新2号高炉虽是集中了日本的最新技术，但未采用大垂幕，而是屋顶除尘。

宝钢1号高炉通风除尘设备重量、投资和耗电指标详见下表。

表5 1号高炉设备重、投资及水、电耗指标

	重量	投资(万美元)		耗电量 千瓦	耗水量 米 ³ /分
		设备费	共计 (包括资 料、专利)		
全厂设备	77337	17035.4	18236.8	10940	
除尘全部设备	4672	1054.14	1126.98	5993.8	1.1
其中：出铁场一次除尘	1611	315.58	339.86	3228.85	0.44
二次除尘	1648	337.46	406.7	547.9	0.44
炉前原料除尘	1003	171.84	183.32	1832.45	0.22
铸铁机室除尘	218	39.02	41.66	366.1	
碾泥机室除尘	13	10.56	11.28	18.5	
除尘用其它材料	179	139.68	114.16		
通风冷却设备	8	21.54	22.86	210	3.2
空调设备	1.8	8.12	8.62	64.6	0.16
局部送风设备	34	缺		55	
除尘及通风设备总计	47158	1083.8	1158.46	6323.4	4.46

由上表可以看出，宝钢1号高炉出铁场一、二次排烟除尘系统的设备共重3259吨，共计耗电3776.75千瓦，1号高炉生产用电为：
 $10940 - 5993.8 = 4946.2$ 千瓦，一、二次除尘系统为生产用电的
 7.6%。

从表1中可以明显看出，日本14座大高炉中用大垂幕控制二次烟的只有新日铁的4座，而使用得更为广泛的是屋顶除尘。例如新日铁户