

中国金属学会

冶金工业出版社

铁水预处理

赵荣玖 编著

1988年12月

PDG

《冶金继续工程教育丛书》

铁水预处理

赵荣玖 编著

中国金属学会

序

中国金属学会组织编写了《冶金继续工程教育丛书》，为大家办了一件好事。积极开展继续教育，对于提高冶金科技人员水平，促进冶金工业的发展，具有重要意义。希望冶金战线各级领导重视这项工作，努力创造条件，为科技人员在职自学提供方便；同时也殷切希望广大冶金科技工作者坚持学习，不断吸收新知识，学习新技术，为实现四化，振兴中华做出更大贡献。

中国继续工程教育协会理事
冶金工业部副部长

徐大铨

一九八八年十二月

目 录

序

- 1 铁水处理技术发展历程····· (1)
- 2 KR搅拌法铁水脱硫····· (7)
- 3 喷吹法铁水炉外脱硫····· (10)
 - 3.1 喷吹法铁水脱硫的效果····· (10)
 - 3.2 脱硫剂及发展····· (12)
 - 3.3 石灰脱硫剂····· (13)
 - 3.4 石灰粉脱硫剂的成分和粒度····· (16)
 - 3.5 石灰石质脱硫剂····· (18)
 - 3.6 铁水脱硫喷吹工艺····· (19)
 - 3.7 运载气体····· (22)
 - 3.8 铁水脱硫率····· (22)
 - 3.9 微细石灰粉脱硫的主要优点····· (24)
- 4 铁水炉外脱硅····· (26)
 - 4.1 投入法脱硅····· (26)
 - 4.2 顶喷法脱硅····· (27)
 - 4.3 脱硅剂及抑制渣子起泡····· (30)
 - 4.4 起始硅和目标硅····· (33)
 - 4.5 脱硅剂喷吹控制····· (33)
 - 4.6 快速测硅仪····· (34)
 - 4.7 命中率与调整脱硅····· (34)
- 5 喷吹法铁水炉外脱磷····· (37)
 - 5.1 用苏打灰处理铁水····· (38)

5.2	用石灰质熔剂铁水脱磷	(40)
5.2.1	分期法铁水脱除磷、硫	(40)
5.2.2	脱磷铁水含硅要求	(42)
5.2.3	气氧提温补偿热量	(43)
5.2.4	脱磷剂与喷吹控制	(48)
6	开口罐处理铁水的发展趋势	(56)
7	炉内法处理铁水的发展	(62)
8	转炉吹炼预处理铁水	(67)
8.1	吹炼过程特征	(67)
8.2	间断使用和连续使用预处理铁水	(67)
8.3	吹炼预处理铁水的合适渣量	(68)
8.4	锰矿和铬矿的使用	(69)
8.5	吹炼预处理铁水的热量问题	(70)
8.6	经济效益	(71)
9	铁水预处理设备	(74)
9.1	粉剂喷吹罐	(74)
9.1.1	粉剂喷吹罐的类型与特点	(75)
9.1.2	几种喷粉罐简介	(78)
9.2	除渣设备	(81)
9.2.1	机械型除渣器	(82)
9.2.2	真空吸渣器	(83)
9.3	铁水处理用喷枪	(85)
	参考文献	(86)

1 铁水处理技术发展历程

硫作为有害元素必须在精炼过程中加以去除。在炼铁过程中去除硫要比在炼钢过程中容易得多。因此，较为一致的看法是把去硫的任务尽量交给炼铁。但在高炉中去硫也是要花出一定代价的，它意味着必须提高渣碱度增加渣量，从而引起焦耗的增多。因此，在高炉铁水中一般均含有炼钢过程所能接受的硫含量，约0.05%左右。

炼钢过程是个氧化过程。即便是脱除并不算多的硫，也要花费很大气力，使指标受影响。

基于上述这些原因，早在十八世纪末转炉底吹空气时代，就有人提出进行铁水炉外脱硫的设想。不久便出现Kalling转鼓脱硫方法。转鼓脱硫是通过绕水平轴线旋转的直筒炉体，使熔剂与铁水良好混合接触，可以在15 min内脱除大约90%的硫。然而这种方法由于容积比太大($V/t=0.5 \text{ m}^3/\text{t}$)，温损过大以及由于衬壁寿命等问题没有得到广泛采用。

60年代中期又出现了以水平偏心摇动包体，实现铁水与脱硫剂混合来达到脱硫目的的所谓摇包法脱硫(SHAKING PIT)。此种方法是靠水平偏心摇动(见图1-1)借助达到某一临界速度值时所产生的海浪击岸现象，使脱硫剂与铁水达到良好接触而起到脱硫作用。典型的处理举例详见表1-1，摇包装置的构造示于图1-1。

摇包法脱硫较之转鼓法有了一定进展，最主要点是变容器转动为容器摇动，并且反应的容积比也明显减少，降为 $0.25 \text{ m}^3/\text{t}$ 。因而温损变小，罐壁寿命也有所提高。70年代

表1-1 摇包脱硫

脱硫剂	硫含量, %		脱硫率 %	脱硫剂消耗 kg/t	温降 ℃
	脱硫前	脱硫后			
碳化钙	0.185	0.018	90.8	10	50
	0.122	0.012	90.2	6	30
	0.071	0.010	86.0	4	25
	0.036	0.005	86.2	8	40
烧石灰	1.31	0.012	90.8	8	40
	0.068	0.110	83.9	5	30
苏打	0.129	0.012	90.7	7	30
	0.084	0.011	87.0	4	20

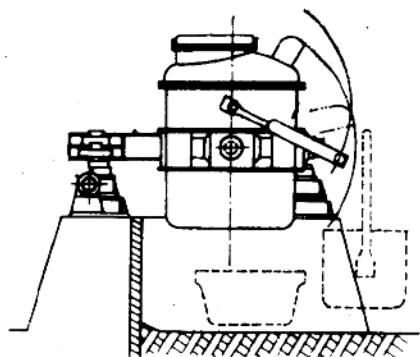


图1-1 摇包结构

曾在工业中得到应用。处理包容一般在30 t以下，最大的一个是日本洞岗的50 t摇包。

转鼓和摇包都是属于容器运动法。这种方法动力消耗大，并且容量也受到一定限制。

继摇包法出现不久，在联邦德国莱茵钢厂和日本广畑厂相继开发成功搅拌法脱硫装置。这种方法的特点是无需容器运动，靠插入铁水内部的搅拌器，使铁水转动与脱硫剂混合接触，来实现脱硫目的。由容器运动法演变发展成搅拌法是铁水脱硫技术的一个很大进步。

搅拌法分为两种形式即莱茵法和KR法（见图1-2）。两

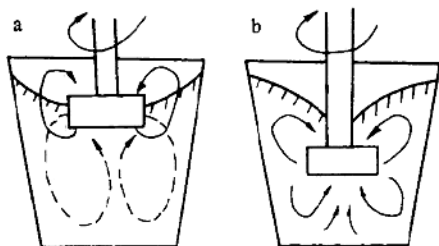


图1-2 搅拌法脱硫

a—莱茵法； b—KR法

种方法的最大区别点是搅拌器插入铁水深度不同。莱茵法搅拌器只是部分地插入铁水内部，通过搅拌使罐上部的铁水和脱硫剂形成涡流搅动，互相混合接触，同时通过循环流动使整个包内铁水都能到达上层脱硫区段以实现脱硫。KR法是将搅拌器沉浸到铁水内部，而不是在铁水和脱硫剂之间的界面上通过搅拌形成铁水运动旋涡使脱硫剂撒开并混入铁水内部，加速脱硫过程。

由于搅拌法是利用机械搅拌作用使脱硫剂与铁水混匀达到脱硫目的。因此，脱硫剂利用率高，消耗较低。按照日本广畑厂经验，达到90%脱硫率的碳化钙消耗为3 kg/t左右。搅拌器的寿命可达80~100炉、耐材消耗约0.34 kg/t铁水。

主要缺点是设备比较复杂，需要二次扒渣（处理前必需扒除铁水浮渣，否则效果会变坏），铁水温度损失较大，一般要温降 50°C 左右。另外铁水罐寿命也偏低。基于这些缺点，虽然在工业中得到一定范围内的应用，但是，其发展仍然受到限制。目前在日本，已经建起搅拌法的厂仍然在生产中使用。但新建厂却是很少见了。我国武钢于1976年从日本引进KR法，至今仍在生产中使用，但未能在国内推广应用。

进入70年代以来，喷射冶金技术有了飞速发展。采用深吹注入法处理钢水的成功，使人们逐渐想到将该技术移植用于铁水处理的可能性和合理性。由于鱼雷形混铁车不利于喷吹铁液，在金属运行以及喷吹过程中，往往发生喷溅抛洒，致使该项技术直到1975年后才被广泛用于工业规模铁水脱硫和后来的脱硅、脱磷。在这期间主要是解决防溅措施和搅拌问题。

由于喷吹法处理铁水是靠向液体深部喷吹注入脱硫粉剂的办法来达到搅动熔池，使粉剂与液体金属混合以脱除铁水中硫等杂质的作用，因而设备比较简单并且可以取得几乎和容器运动、搅拌法相同的脱除效果。

由容器运动法发展到搅拌法是一个不小的进展，然而，由搅拌法进而发展为喷吹法则是一个更大更具有革命性的进展。由于喷吹法设备简单易得、建造容易、投资省，并且可以适应较大范围的处理罐容，因而它已经和正在代替所有工业中已经采用的处理方法。成为今后的主流处理方法。

炼钢的氧化过程特点，决定其对铁水磷含量具有比较大的适应性。托马斯转炉能吹炼含磷高达 $1.8-2.2\%$ 或含磷更高的铁水；氧气底吹转炉（OBM、LWS）也以能吹炼相同

含磷量铁水而著称；氧气底吹转炉配上底喷石灰粉（Q-BOP法）可以拉碳精炼含0.2 %P的铁水。对于一般的顶吹氧气转炉炼钢方法，冶炼含0.15 %P的铁水是经济的，并被公认为是较佳的含磷量。

然而，近些年来这些观点有了改变。首先，认为转炉冶炼含高磷铁水会引起过于高的消耗，以致即使外卖磷渣也不足以补偿其损失。因此，现今世界以高磷铁为原料的转炉已经寥寥无几。

其次，超低磷、硫钢越来越增长的需要以及出于经济目的旨在分离转炉冶炼机能的各种所谓最佳工艺流程的出现，促使对入炉铁水的含磷限制更趋严格，以致低到不需精炼就已达到合格要求的程度。

铁水炉外脱磷技术是在喷吹法铁水脱硫基础上发展起来的。大约始于70年代的后半期，首先在日本的几家大公司相继开发成功，目前已开始推广到西欧和北美一些国家中。

铁水炉外脱磷法，以所用脱磷剂来分，有两种类别，即石灰质脱磷剂和苏打灰脱磷剂。两种类型的共同点是①均采用喷吹注入法；②都要求比较低的初始铁水含硅量，石灰法要求 $\leq 0.15\% \text{ Si}$ ，苏打灰法要求 $\leq 0.10\% \text{ Si}$ ；③两者都可以在脱磷处理过程中产生脱硫反应，大约可以除去50 %的硫。

由于脱磷必须先脱硅，因而近年各国特别是日本均在大力进行降硅的研究工作。已开发出如高炉炼低硅铁技术、高炉出铁场脱硅技术以及铁水罐预脱硅技术等。

时至今日，铁水炉外处理已发展成为当代钢铁生产中的重大技术。它不仅包含的技术内容十分广泛，而且，它关系

到炼钢品种质量的提高、经济效益的改善，以及冶炼工艺流程的重要变革。

受篇幅所限，本书仅对喷吹法铁水脱硫、铁水脱硅以及铁水的预脱磷、硫技术予以简单扼要的介绍。

2 KR搅拌法铁水脱硫

搅拌法的出现是铁水脱硫技术的重要进展，它放弃了传统的容器运动方式，通过搅动来使液体金属与脱硫剂混合接触达到脱硫目的。

以KR为代表的搅拌法，目前在国外仍有一些厂在使用。我国武钢从日本引进的KR装置于1979年投产，迄今一直在使用并取得以石灰粉代替电石粉作脱硫剂的成功。

KR脱硫装置的构造示于图2-1中。搅拌法处理铁水的最大允许数量受铁水面至罐口高度限制，最小处理量受搅拌器的最低插入深度限制。对于100 t铁水罐来说，液面至罐口距离应不小于620 mm（因插入搅拌器会引起液面升高约50 mm，搅拌器旋转会使液面升高300 mm，铁水液面波动100 mm，预留170 mm富余量）。搅拌器插入深度的确定，应注意使搅拌头与罐底距离大致相等于叶片外缘与罐壁的距离。

在处理之前，铁水内的渣子必须充分扒除，否则会严重影响脱硫效果。处理完毕，还需仔细地扒除脱硫渣。在处理过程中搅拌器的转数一般为90—120r/min，搅动力矩，对于100 t罐为 $\leq 820 \text{ kg}\cdot\text{m}$ ，搅动功率为1.0—1.5 kW/t。在搅动1~1.5 min后，开始加入脱硫剂，搅动时间约13 min左右。搅拌头为高铝质耐火材料，寿命为90—110次，每使用3—4次后需要用塑性耐火材料进行局部修补。脱硫率取决于原始铁水含硫，一般均可达到90%左右。

武钢KR装置的设备重量（不包括铁水罐车和渣罐车）

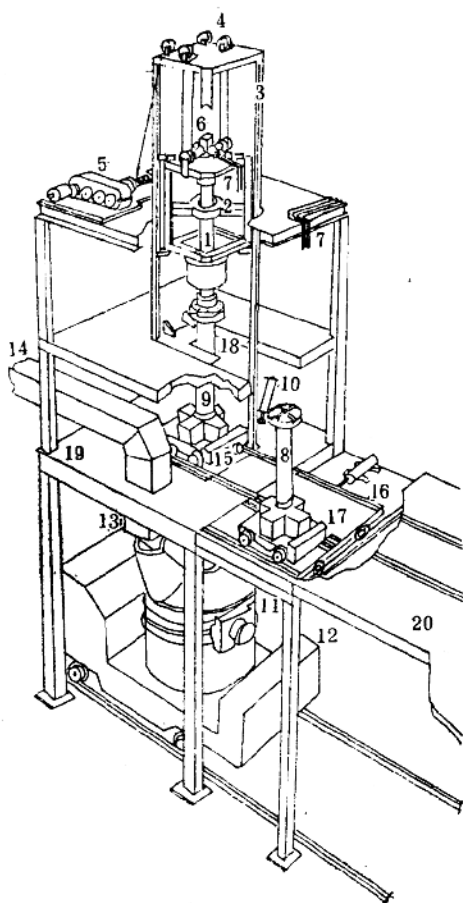


图2-1 KR搅拌法脱硫装置

1—搅拌器主轴；2—搅拌器小车；3—搅拌器导轨；4—搅拌器提升滑轮；
 5—搅拌器提升装置；6—液压马达；7—液压挠性管；8—新搅拌器；9—
 旧搅拌器；10—溜槽伸缩装置；11—铁水罐；12—铁水罐车；13—废气
 烟罩；14—废气烟道；15—搅拌器更换小车；16—移动转置；17—新搅
 拌器更换小车；18—更换搅拌器活动平台；19—平台；20—搅拌器修理间；

为650 t。其中，国外引进量为270 t，占41.5%，其余为国内配套。投资费在当时价格条件下为1152万元(包括土建费)，约相当目前价1800万元左右。其中KR装置本身780.86万元，相当目前价1200万元左右，引进费为49亿日元。

3 喷吹法铁水炉外脱硫

喷射冶金技术的出现，起源于向转炉熔池喷吹石灰粉精炼高磷铁水。用于处理铁水目的，首先从脱硫开始，现在已经扩展到铁水脱硅和同时脱除磷、硫领域。

人们早就认识到，要想提高精炼效果，增加反应性，需要将熔剂制成粉末状借以增大反应的比表面积。但是，如何能使比重相差悬殊的粉剂与液体金属达到良好的混合，则是多年来一直致力研究的课题。各种转动的、摇动的容器运动法的出现，尽管在某种程度上实现了这一混合目的，但由于过于笨拙，最终还是未能广为发展，而被放弃使用。

向熔池底部喷吹石灰粉冶炼高磷铁水方法（Q-BOP法）的出现，以及在工业中的成功应用，使人们迅速认识到埋入喷吹法或者也称注入喷吹法的伟大意义和重要性。于是引起了众多冶金工作者的极大研究兴趣，出现了以深部喷吹为特征的各种铁水、钢水处理方法。

现今喷吹法处理铁水、钢水技术已经得到世界范围内的广为发展，究其发展原因，在理论上，赖以支承的是注入粉剂的分散上浮以及气泡泵搅拌熔池。在硬件设备上，一是喷吹粉剂设备完善化，二是高寿命耐火材料喷枪的开发成功。

3.1 喷吹法铁水脱硫的效果

发展铁水处理技术，各国都首先从脱硫开始。在转炉氧化精炼前提下，任何铁水硫负荷的减少，都将导致精炼工艺的重大改善和转炉冶炼负担的显著减轻。1978年日本加

古川厂通过铁水脱硫处理，将入炉硫减至0.015 %后使炼钢石灰消耗量由50 kg/t降为33 kg/t。带来的效果是：

- (1) 废弃物减少 40 kg/t；
- (2) 热损失减少 8.15 MJ/t；
- (3) 锰铁减少 0.55 kg/t；
- (4) 铁收得率提高 0.8 %；
- (5) 氧耗减少 2.7 m³/t；
- (6) 吹炼时间缩短 1.1 min/炉。

在联邦德国蒂森厂转炉采用脱硫铁水炼钢，可使炉渣碱度由4.5降到3.5，渣量由150 kg/t降到110 kg/t，金属收得率由95.2 %提高到96.2 %。

我国天津二钢转炉采用脱硫铁水获得的效果是：

- (1) 冶炼含低硫品种一次倒炉硫合格率达100 %；
- (2) 据38炉统计，石灰耗量平均减少28.16 kg/t；
- (3) 由于热效率提高，废钢量每吨增加29 kg；
- (4) 冶炼普碳钢成品，硫比过去平均低0.012 %。

铁水炉外脱硫不仅对炼钢有利，而且也会给炼铁带来好处。人们普遍认为高炉炼铁具有很高的脱硫能力。但是尽管如此，在高炉中脱硫也是要花出很大代价的。因此，近些年来在美国、加拿大和联邦德国都由高炉采用炉外脱硫措施来提高冶炼效率。诸如，加拿大Dofask厂高炉由于采用炉外脱硫措施，放宽出炉铁水硫含量，带来好处：

- (1) 石灰用量由73.9 kg降至46.7 kg；
- (2) 焦炭消耗每吨铁减少34.4 kg；
- (3) 高炉日产铁量增加13 %，由日产1904 t增至2165 t。

联邦德国Thyssen厂高炉冶炼, 碱度减少0.2, 铁水硫增加0.025%, 高炉产量提高6—7%, 焦炭消耗降低20 kg/t。

3.2 脱硫剂及发展

实际工业中采用的铁水脱硫剂种类很多。有钙系、钠系以及镁系等。使用复合脱硫剂的比较多, 单纯用一种的较少。单纯使用金属质脱硫剂如金属镁、盐包镁、镁焦等日趋减少。

任何脱硫剂的脱硫能力首先是由它的热力学特征, 其次就是动力学条件来决定的。尽管对硫在铁水中的存在状态看法不一, 但硫总是以单原子参加反应的, 因为实际反应是在恒温恒压下进行, 利用化学反应的自由能变化可以判断出各种脱硫剂的脱硫能力。各种脱硫剂的自由能变化与温度关系示于图3-1中。从单纯的热力学角度分析, 对于含碳较高的铁水来说, 它们的脱硫能力, 顺序应该是Ge、Ca、 CaC_2 、 Na_2O 、Mg、 Na_2CO_3 、Mn、MnO、CaO、MgO。根据对各种脱硫剂的脱硫限度分析, 其中电石粉、苏打灰、石灰粉以及镁焦等都是属于可以把铁水硫脱至0.005%以下的脱硫剂, 关键在于所创造的铁水脱硫反应的动力学条件。

将镁浸入焦内, 沉没于铁水内部的所谓镁焦法脱硫, 曾延续相当长时间, 60年代初开始, 在欧洲一些国家特别是美国, 使用复合脱硫剂。诸如, Amco厂用石灰-镁(4:1)脱硫, 在Younstown厂使用盐包镁(含88—92% Mg, 用54% NaCl、20% MgCl_2 、13% CaCl_2 、13% KCl作盐外衣)为脱硫剂, 还有的使用75% Mg和25% Al来作脱硫剂, 以及石灰-