

O.C. 哈巴洛夫 著
游敬熙 译
徐连臣 校

冶金工业 污水净化

冶金工业出版社
北京

冶金工业污水净化

(磁场的应用)

O. C. 哈巴洛夫 著

游敬熙 译 徐连臣 校

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书系根据苏联冶金出版社(МЕТАЛЛУРГИЯ)1976年出版的
O.C.Хабаров著“Очистка сточных вод в металлургии (ис-
пользование магнитных полей)”一书译出的。

本书阐明了应用磁场净化冶金污水的试验及理论研究的结果。详
尽地研讨了粒子在沉降过程中磁凝聚的理论基础和在滤铁过程的多梯
度球介质中粒子的磁相互作用。叙述了泥渣净选、泥渣干燥、获得各
种高质量粉末和从泥渣中得到铁素体的各种磁处理方法。书中所研制
的应用磁场的新工艺,不仅对改进污水净化方法和净化水平具有重要的
意义,而且对获得高频金属也具有的重要意义。

本书适于黑色冶金企业的工程技术人员之用,对于高等学校相应
专业的大学生也能有所裨益。

冶金工业污水净化

(磁场的应用)

O.C.哈巴洛夫 著

游敬熙 译 徐连臣 校

*

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

天津新华印刷二厂印刷

*

787×1092 1/32 印张 6 7/8 字数 150千字

1981年12月第一版 1981年12月第一次印刷

印数00,001~3,500册

统一书号: 15062·3655 定价0.73元

目 录

前 言	1
序	4
第一篇 磁场净化污水的试验和理论研究	14
第一章 水净化的物理基础	14
第一节 铁磁材料的磁性	14
第二节 泥渣磁性	18
第三节 磁法净化的实质和根据	24
第二章 粒子在其沉降过程中的磁化和磁凝聚	27
第一节 研究方法	27
第二节 研究结果	30
第三节 粒子在磁场中运动时作用在粒子上的力	32
第四节 在均匀磁场中作用在粒子上的磁力	35
第五节 在非均匀磁场中作用在粒子上的力	43
第六节 沉淀池中凝聚物和粒子碰撞时相互作用力的确定	50
第三章 污水磁滤净化过程动力学	63
第一节 磁过滤器的特点	63
第二节 试验方法	64
第三节 研究结果	66
第四节 磁滤器中铁磁性悬浮物聚集过程的实质	68
第五节 磁滤器的物理基础理论和计算	73

第四章	磁离子交换剂	98
第一节	用颗粒聚合法合成铁磁性离子交换剂	98
第二节	用成品吸附剂的化学变体法获得铁磁性离子交换剂	100
第三节	设备形式	107
第五章	污水磁净化设备和装置	109
第一节	磁凝聚器	109
第二节	磁滤器	114
第三节	磁滤沉淀池	116
第四节	磁滤旋流器	119
第五节	磁网捕集器	119
第六节	全苏黑色冶金能源净化科学研究设计院的磁处理设备	120
第七节	磁吸(离子交换)过滤器	121
第八节	使用与维护	123
第二篇	利用磁场处理泥渣的研究	125
第六章	泥渣磁选	125
第一节	泥渣的化学成分和岩相组成	125
第二节	泥渣磁选基础	132
第三节	泥渣湿磁选	136
第四节	泥渣干磁选	149
第五节	多梯度介质中的磁选	154
第七章	利用磁场干燥泥渣	159
第一节	在工频磁场中泥渣的辐射传导干燥	159
第二节	在高频磁场中的泥渣干燥	166
第三节	泥渣的热物理性质及其导电性	172
第四节	关于电磁干燥器设计的介绍	177

第八章 泥渣在沸腾层中的干燥和还原	181
第一节 试验研究	182
第二节 磁层的水力学基础	186
第九章 泥渣的利用	192
第一节 从酸洗生产的泥渣中提取铁素体	192
参考文献	212

前 言

苏联正在继续发展黑色冶金工业。高速度地改造旧的工艺过程，并推广新的先进工艺。黑色冶金厂生产能力的增加，水的使用量也随之增大。用水量增加，又使冶金生产过程污水净化的任务复杂化。目前，黑色冶金厂水的单位消耗量已达到了可观的数字：250~300米³/吨钢。

随着钢铁产量的增加，夹在污水泥渣中的铁、镍、铬、钴以及其它贵重元素的损失也相应增多。倘若回收这些泥渣，可使每年钢产量增加600~800万吨。

由于没有合理利用很有价值的泥渣，除给国民经济造成损失之外，各种元素随污水中的泥渣排至江河、湖泊、海洋等水体而带来的巨大损失，更是不可估量。因此，研究污水净化和泥渣利用的新方法，便成了一个重要的国民经济问题。

本书总结了作者十年来在运用磁场净化冶金工业污水和污泥利用方面的研究。

作者在科学技术博士Я.А.卡列林教授指导下，在以“B.B.古比雪夫”命名的莫斯科建筑工程学院排水工程教研室，第一次进行了这方面的研究。

而科学技术博士B.И.卡尔马金教授、科学技术博士C.B.亚科夫列夫教授、科学技术博士B.И.科拉辛教授和科学技术博士B.B.卡尔马金等人的工作，又为理论和实验研究的发展奠定了基础。

众所周知，从冶金设备排出的并使排水污染的悬浮物均

属铁磁质类金属的衍生物。因此，在污水澄清过程中采用磁场，对现有污水净化方法将产生巨大的影响。由于处于磁场中的粒子之间产生动力学上力的相互作用，造成粒子状态的变化并引起了各种新的现象，这些变化和现象，在污水处理和泥渣利用过程中都是非常重要的。

应该指出，由于作者和他的全苏黑色冶金能源净化科学研究设计院（ВНИПИчерметэнергоочистк）的同事早期研究的结果，因而在冶金工业污水净化过程中开始采用钢质磁场。但因缺乏深入的理论研究，又没有计算磁处理设备的方法，故为此项技术在工业上推广受到了严重障碍。

鉴于这点，作者在本书中特别注意污水净化及泥渣利用的磁处理理论问题。因为边界区磁场具有复杂的形式（尤其在多梯度介质中），污水和泥渣物理性质不同，粒子磁荷相互作用规律复杂，因而采用一种电磁场来净化不同过程所产生的各种污水，在一般情况下，是难以解决的。业已完成的实验研究表明，作者提出的理论计算方法对于实际计算已足够精确。

如果泥渣在厂内密闭循环利用是必不可少的话，那就需要研究泥渣富集和从其中去除有害杂质及废石的再生方法。已经做过的泥渣磁选研究便能很好地完成该项任务。

书中阐明了电磁法干燥含铁泥渣的实验问题。研究方法是根据电磁感应定律，在能量传递（从感应器向泥渣）基础上建立起来的。由于同一机组兼有泥渣电磁干燥和沸腾磁层干燥，因此这个方法在工业上的应用，基本上为解决此项重要的工艺过程开辟了一种新的可能性。研究证明，从污水泥渣中能获得高质量的铁素体，这种铁素体在现代技术所用的磁性材料中占有重要的地位。

必须指出，由于工业废物逐年增加，世界上许多学者把未来地球的前景描写得非常悲观。尽管要认识到大气和水体污染威胁的各种严重性，但我们不能赞同这些学者的观点，而且应认为，只要在我们力所能及的范围内，利用已经掌握的知识 and 手段，这种日益迫近的危机是能够防止的。

每个环保学者的义务是，在本世纪内卓有成效地解决减小行将到来的生态危机。各位学者有责任在其具体的实验和报告中令人信服地指明，他们能够担负起为下一代保全地球的使命。

如果本书内所提供的利用磁场的新工艺能在冶金污水净化和有价值的冶金泥渣干燥中获得广泛的应用，作者将认为自己的目的已经达到。

作者对积极参加各项研究工作的科学技术副博士И.С.雷巴秋克、工程师Г.А.拉波杰夫和И.В.卡尔马季娜亚表示谢意。

序

铁磁性污染源和污水净化

为了要研究关于应用磁场净化冶金污水的问题，必须清楚地知道污染物的来源、物理化学成分和矿物组成。通常，污染物（泥渣）都保存着形成它的物质所具有的化学性质和矿物组成。在各种工艺操作，如在熔炼前矿石准备——矿石破碎及选矿、除尘，轧钢及钢坯清理，直接炼铁等过程中，水都会受到铁磁性杂质的污染。

下面就污水中铁磁性污染物的形成和污水净化方法作一简短的评述：

平炉车间 生成平炉铁磁尘的有矿石、炉渣、金属炉料、白云石和用以氧化金属炉料杂质的铁鳞。吹氧强化平炉过程，使熔化时间大为缩短，但同时也使从炉内带出的烟尘量增加。业已查明，从炉内带出的烟尘由两个部分组成：1. 铁矿石、石灰石和炉渣的细小颗粒；2. 金属蒸气的冷凝物。矿石和石灰石小颗粒的带出，是因为这些材料在炉料加热和熔化期内受到热负荷作用而发生破裂（碎裂）的结果。当渣层覆盖炉料之后，矿石和石灰石颗粒的带出就完全停止了。在平炉沸腾期，从炉内排出而随炉气带走的金属小颗粒，有一部分在炉膛内同空气和炉渣接触时而燃烧。与此同时，有金属蒸气从炉气中析出。当金属蒸气和气流一起运动时，金属蒸气被氧化而转变为氧化物。当炉渣和火焰接触时，

金属氧化物从渣内蒸发并带出炉外。

在平炉废气中，尘含量达到很大的数值，平均约为5.6克/米³，而最高含量为15克/米³。废气中的尘含量和烟尘的粒度组成，在很大的程度上取决于炉料及燃料的组成和氧气的使用情况。当平炉采用重油加热时，废气中的尘含量达4.8克/米³。在兑铁、沸腾期，但主要是在向平炉供氧期内，炉尘带出量增大。

大型平炉每小时带出炉尘约100公斤，而平炉在用氧强化过程的条件下工作时，炉尘带出量增至每小时400公斤。表1列出了从平炉中带出炉尘的粒级组成。

表 1 从平炉排出的炉气中铁磁性尘的粒级组成

熔池吹氧时，4000米 ³ /时		熔池不吹氧时	
粒度，微米	粒子含量，%	粒度，微米	粒子含量，%
1	43	1	11
1—2	17	2—3	15
3—4	8	3—4	10
4—5	6	4—5	8
5—6	3	5—6	4
6—7	1	6—7	6
7—8	1	7—8	4
8—9	1	8—9	3
9—10	1	9—10	2
10以上	9	10—15	6
		15—20	3
		20—25	1

在炉子出口处附近，温度降低，金属氧化物凝结而为炉尘微粒。从炉内带出的尘中，金属氧化物占主要部分。根据大量的资料来看，炉尘中金属氧化物的含量如下，%：

Fe ₂	66.0	MgO	0.9
Al ₂ O ₃	9.2	MnO	0.01
CaO	1.67		

随后，含铁磁性炉尘的废气进入除尘系统。除尘器的耗水量为0.3~0.8升/米³炉气，这相当于每吨钢耗水1.6~4.2米³。在熔炼过程中，污水里的污染物含量变化很大，且和废气含尘量成直线关系。固体悬浮物的平均浓度为3克/升，最大浓度为17克/升。

从除尘系统排出的污水中，粒径从0.1至0.07毫米的粒子大体上占80%左右，而粒径从0.07至0.01毫米的粒子大体上占20%左右。铁磁尘基本上由粒径为0.002毫米的粒子组成。显然，尘粒在除尘系统中润湿时，发生凝聚作用，因而在污水中呈粗大的聚集体。

随着炉子熔炼时间的不同，污水中悬浮粒子的沉清时间是不同的。在装料、加热、兑铁各期内，粒子沉降缓慢。沉降45分钟，净化效率为40%。

在熔化、补加生铁和精炼期内，此时从炉内带出的炉尘量最多，污水中粒子沉降较快。但是，在30分钟内的净化效率也不超过85%。

平炉车间的污水净化主要采用辐射式沉淀池。为强化沉淀池的污水沉降，采用药剂絮凝和磁凝聚。采用聚丙烯酰胺作为絮凝剂，其剂量为1毫克/升（按基本产品计），结果使辐射式沉淀池的单位水力负荷增加到1.5米³/时·米²。磁场凝聚的实践指出，沉淀池的单位水力负荷可以增加到1.5米³/时·米²以上。此时，沉淀物的体积并没有比药剂絮凝时沉淀物的体积增加，而且也没有引起污泥下一步处理的附加困难。

转炉车间 用工业纯氧吹炼生铁时，在主反应区造成很高的温度（2300~2400°C），这个温度促使了铁的蒸发。当转炉炉内反应生成的炉气离开高温区时，铁蒸气冷却，同时被氧化和凝固而生成尺寸约为0.1微米的烟尘微粒。

研究从转炉炉口随炉气带出的烟尘组成指出，烟尘的主要成分为金属的氧化物，%：

Fe ₂ O ₃	65.04	MnO	4.44
CaO	0.38	Al ₂ O ₃	0.98
SiO ₂	0.80	MgO	0.60

含有胶体组分的烟气在反应燃烧区形成，胶体粒子在上述冷却区内凝固。这就是烟尘粒子尺寸非常小且成球形的原因。从炉口上面取出的炉气中所测得的烟尘含量波动在20~60克/米³的范围内。炉容量为200吨的转炉，每秒排气量为1.5米³①，折算小时排气量为5400米³/时②。对于炉容量为250吨的转炉，当吹炼时间为25分钟时，每炉生成20000米³的炉气，每分钟炉气量为800米³。供给转炉车间的大约70%的水受到了铁磁性烟尘的污染。

污染物的成分和数量与废气排放和净化流程、冶炼工艺过程（炼钢或炼半钢）有关。而且污水中铁磁性悬浮物的含量在整个吹炼过程中变化在2.8~20克/升的范围内。

在转炉炼钢的整个过程中，污水中悬浮物浓度变化如下：吹炼之初（在1.5~2分钟内），悬浮物浓度迅速增至最大值20克/升，而后在整个吹炼时间内逐渐下降，直至200~300毫克/升。污水中粒子的粒度，从0.1变到0.04毫米

① 原文此数据显然是错误的，对于吹炼一般制钢生铁的200吨转炉，此值不应小于5.5米³/秒。——译者注

② 此数据同样是错误的，其值不应低于19800米³/时。——译者注

(约30%) 和从0.05变至0.01毫米(约70%)。

转炉车间的污水净化，主要采用辐射式沉淀池来沉降悬浮物。当单位负荷不超过 $0.8\text{米}^3/\text{时} \cdot \text{米}^2$ 时，辐射式沉淀池的工作是令人满意的，也就是说，澄清水中悬浮物含量不超过300毫克/升。为强化辐射式沉淀池的工作，一般采用药剂法来处理污水。当聚丙烯酰胺的溶液剂量为1毫克/升（按有效产品计）时，每一平米沉淀池的水力负荷可增加到 $1.4\text{米}^3/\text{时}$ 。在这种情况下，沉淀池中沉淀物的体积将大大增加。

在循环供水时，根据全苏黑色冶金能源净化科学研究设计院的推荐，采用敞开式水力旋流器来净化污水。用无压水力旋流器对这些污水进行的实验室和工业性试验表明，在被净化后的水中，悬浮物含量波动在600~900毫克/升的范围内。此时，水力旋流器的单位负荷达到 $6 \sim 7\text{米}^3/\text{时} \cdot \text{米}^2$ 。加入聚丙烯酰胺1毫克/升，水力旋流器的单位负荷可提高到 $12 \sim 15\text{米}^3/\text{时} \cdot \text{米}^2$ 。

由于水力旋流器后污水中的悬浮物含量高，因而管路、文氏管和洗涤器的积泥强度增大，结果使烟气净化设备的循环供水系统复杂起来。

利用磁凝聚作用可以达到强化污水净化过程的目的。这个方法在很多工厂进行工业性试验的结果表明，磁凝聚法使辐射式沉淀池的净化效果提高。磁凝聚法不仅可使沉淀池的单位负荷提高到 $1.5\text{米}^3/\text{时} \cdot \text{米}^2$ ，而且同时使悬浮物含量较之未经处理的污水降低40~60%，也就是说，澄清水中的悬浮物含量可以达到80~120毫克/升。

电炉车间 从电炉中排出的炉气量为 $250 \sim 500\text{米}^3/\text{时}$ ·吨炉容。吹氧时，废气量显著增加。譬如说，装有排烟罩的

60吨电炉，由于吹氧的结果，废气量从85000米³/时增加到120000米³/时，即增大了40%。从炉内带出的铁磁性烟尘一般为2.5~10公斤/吨钢，而此值的大小和炉子的容量无关。烟尘的密度约为4吨/米³。在未净化的炉气中，尘含量波动在1至24克/米³之间。在熔化期内，从炉内排出的烟尘量是不均等的。大约有75%的烟尘量是在熔化前半期形成的。电炉烟尘主要由炉料、金属、细粒装入料和冷凝的气溶胶所组成。

在熔化期内，烟尘浓度变化在2~10克/米³的范围内。在沸腾过程中，烟尘浓度波动在3~7克/米³之间。在吹氧期间，烟尘浓度达到10~15克/米³。

从电炉中带出的铁磁性烟尘的化学组成如下^①：

Fe ₂	62.4	NiO	0.6
Al ₂ O ₃	10.8	SiO ₂	2.9
MnO	5.6	CaO	5.4
MgO	1.8	Cr ₂ O ₃	10.5

在电炉吹氧条件下，烟尘中铁氧化物的重量含量增加到70%。下面示出电炉烟尘的粒级组成：

粒子尺寸，

微米 2 2~4 4~6 6~8 8~10 10~20 20~44

含 量，

% 52.2 22.5 6.2 7.3 2.5 9.3 9.3

从电炉中带出的烟尘对水的浸润差，易粘结和具有很高的电阻。

电炉炼钢车间的除尘污水为细粒铁磁性悬浮物所污染。污水中约有70%的粒子，其粒度小于10微米。电炉炼钢车间

① 泥渣化学成分的变化和冶炼钢种有关。

的污水悬浮物是很难沉降的。例如，一个熔炼45%锰铁的电炉，其除尘污水在沉降两小时以后，它的净化效率为82%（当原水中悬浮粒子的含量为4克/升时），而沉淀三昼夜以后，净化效率才达到96%。

这种污水既可在平流式沉淀池中，也可在辐射式沉淀池中进行净化。但每一平米沉淀池的表面水力负荷不超过0.5~0.6米³/时。磁凝聚的采用能使单位负荷增加到1~1.2米³/时·米²。“红十月”冶金厂在辐射式沉淀池上采用开放磁路的磁凝聚装置，使被净化了的水悬浮物含量从450毫克/升降至150毫克/升。

烧结厂 烧结厂的粉尘发生在烧结机、烧结矿冷却机、破碎机 and 分筛机的吸尘系统以及烧结矿装车料仓各处。通过带式烧结机烧结料吸入的气体，每立方米带出粉尘2~6克。

表 2 铁磁性粉尘的化学成分及粒级组成

粒级（毫米），%					成分，%			
1+0.8	-0.8 +0.315	-0.315 +0.1	-0.1 +0.04	-0.04	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO
新 利 彼 斯 克 冶 金 厂								
0.5	9.2	50.8	32.5	7.4	24.05	65.1	7.77	2.73
卡 拉 干 达 冶 金 联 合 企 业								
1.2	0.15	11.92	83.4	4.4	26.4	58.2	8.5	1.3

烧结后的气体平均温度为120~150°C。在烧结机后的气体中，含有6.7公斤尘渣/吨烧结矿，在圆筒冷却机后的气体中，含有1.2公斤粉尘/吨烧结矿。每吨烧结矿带入烧结厂

大气中的总尘量为11.3公斤。烧结尘含铁50%。

每生产一吨烧结矿总的单位耗水量为3.5~7 米³。其中有3~5 米³的水为铁磁性杂质所污染。烧结厂污水中悬浮粒子的含量波动在12~20克/升之间。烧结厂污水的组成和烧结料成分、烧结机的湿式除尘系统、石灰石焙烧炉以及给水流程等有关。

在烧结厂的污水中，约有7%的铁磁性泥渣是矿石和石灰粉尘的混合物。这种泥渣的特点是粗粒分散。因此就决定了悬浮物有很高的沉降速度。水力粗度为0.7~1.0毫米/秒的粒子，在十分钟内便沉降出来；而剩下下来的水力粗度小于0.2毫米/秒的较细粒子，要80分钟方能沉出。

这种污水用辐射式沉淀池净化。辐射式沉淀池的单位负荷建议采用0.6~0.7米³/时·米²。当采用药剂絮凝和磁凝聚时，可以强化污水的净化。实验资料指出，采用剂量为2毫克/升的聚丙烯酰胺（按有效产品计），可使辐射式沉淀池的负荷增加到2~3米³/时·米²。烧结厂污水采用磁凝聚的工业研究尚未进行。

表 3 高炉煤气中所含铁磁性粉尘的粒级组成

冶 炼 材 料	瓦斯灰粒子尺寸，毫米					
	0.5	0.5~0.2	0.2~ 0.12	0.12~ 0.08	0.08~ 0.06	0.06
在下列压力下冶炼 制钢生铁						
一般压力	0.1	5.8	0.1	6.0	12.0	76.0
高 压	0.2	0.8	1.6	1.4	1.0	96.0
冶炼锰铁	0.1	0.2	0.1	0.2	1.6	97.8