

钢铁工业 环保技术手册

韩剑宏 主编



化学工业出版社
环境·能源出版中心

钢铁工业环保技术手册

韩剑宏 主编



化学工业出版社
环境·能源出版中心

·北京·

本书针对我国钢铁企业水、气、固严重污染的问题,从清洁生产和可持续发展的角度出发,分析和探讨了钢铁企业“三废”的处理技术、工艺流程及其发展等若干问题。

全书共分上、中、下三篇,分别介绍了废水污染及其处理工艺、废气污染及处理流程、固体废物的处理与利用。本书结合钢铁企业的生产特点,有针对性地逐章分述,具有较强的实用性和目的性。本书可供从事工业废物处理与利用的工程技术人员、科研设计人员、管理人员阅读使用,也可供高等院校相关专业的师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

钢铁工业环保技术手册/韩剑宏主编. —北京:化学工业出版社, 2006.5
ISBN 7-5025-8600-8

I. 钢… II. 韩… III. ①钢铁工业-废物处理-技术手册②钢铁工业-废物综合利用-技术手册 IV. X757-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 040779 号

钢铁工业环保技术手册

韩剑宏 主编

责任编辑:董琳

责任校对:郑捷

封面设计:胡艳玮

*

化学工业出版社 出版发行
环境·能源出版中心

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

购书咨询:(010)64982530

(010)64918013

购书传真:(010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市万龙印装有限公司装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 36½ 字数 987 千字

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8600-8

定 价: 98.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

前 言

钢铁材料是人类社会最重要的基础性、功能性材料，也是最易于回收和可再生的资源。我国钢铁生产的高速增长是伴随着流程优化与结构调整来实现的。钢铁企业依据国家《清洁生产促进法》及国家经贸委、环保总局和行业清洁生产中心对清洁生产工作的要求，结合产业结构调整 and 钢铁生产工艺、生产装备升级改造等工作，积极推进清洁生产工作。我国大中型钢铁企业的清洁生产水平有了很大提高，能够生产出更多性能好、使用寿命长和对环境影响符合要求的优质产品，有利于构筑钢铁产业链和非钢铁产业链的有机结合，推动相关行业向高效化、环境友好化、绿色化发展，清洁生产科技创新从原料、产品到二次资源回收利用，排放物无害化处理等各方面都有了重大进步。

但是钢铁工业也是高能耗、高水耗、高污染的产业，是能源、资源消耗和污染物排放的大户。目前，钢铁行业的能耗占全国总能耗的10%以上，钢铁行业水耗占全国工业水耗的9%左右。而且，我国钢铁工业的能耗、水耗指标大大高于国外的先进水平。生态环境问题已成为影响钢铁工业发展的根本性问题。

本书结合钢铁企业的水、气、固的污染问题及采取的处理方法进行了介绍，概述了水、气、固处理的基本理论与相关知识，分章、节说明了水、气、固处理各单元的原理、分类、适用范围和条件，从不同角度分析和探讨了污染特点、处理方法及工艺流程，阐明了新技术、新方法、新设备、技术发展方向及前沿研究。

在分析污染问题的基础上，进一步说明了钢铁工业发展循环经济的思路，即进一步拓展钢铁生产功能，使其不仅具有钢铁生产功能，而且还具有能源转换、社会部分大宗废物处理及为相关行业提供原料等功能，即实现物质和能源的大、中、小循环。对水系统可考虑建立工序内部、厂内、厂际多级用水循环思想，提高循环水的浓缩倍数，实现水资源消耗减量化，减少循环系统的工业废水排放量；对钢铁工业的废气治理必须实施综合治理措施，改革落后的生产工艺，采用先进的生产工艺，降低能源和物料的消耗，减少生产工艺废气的排放，强化废气的治理；对钢铁工业废物可进一步生产出附加值高的产品，使其得到合理的利用。通过清洁生产及循环经济不仅优化了整体物流链，发展产品深加工，延伸产品链，扩展物质的循环利用领域，还提高了资源和能源使用效率。并有针对性地阐述了钢铁企业清洁生产及其工艺流程，在介绍基础理论和技术的基础上，总结和汇编了目前我国钢铁企业生产中的新技术、新处理工艺

及清洁生产技术，文字深入浅出，内容丰富，具有很强的可操作性。

本书的主要内容结合了编者多年从事环境保护、科研及工程应用的经验，并注重吸收同行新的研究成果，以使读者能够在跟踪、运用处理的先进技术及工程方法方面起到积极的参考作用。

本书由内蒙古科技大学的韩剑宏教授（上篇第一、三、五章，中篇第九、十二章，下篇第十五章），北京科技大学倪文教授（下篇第十六章），安胜利教授（上篇第四章，中篇第八章）、刘中兴教授（中篇第十一章）、包头钢铁公司的林庚博士（下篇第十七、十八章）、济南大学的于衍真教授（中篇第十章），内蒙古科技大学的延克军教授（中篇第七章）、李卫平（下篇第十四章）、甄树聪（下篇第十九章）、张凯（上篇第二章）中国石油化工集团的付维享高工（下篇第二十二章）、内蒙古科技大学的胡彩霞（下篇第二十章）、欧梅塞尔（北京）膜技术有限公司的田文哲（下篇第二十一章）、北京科技大学的李天昕博士（中篇第十三章）、河北省环境科学研究院的孙京敏博士（上篇第六章，附录）编写；由韩剑宏统编了本书。书中的部分图表由酒泉钢铁公司的赵海云博士协助整理制作。

本书作者参考了大量的文献资料，对于他们的劳动成果，作者在此表示衷心的感谢。本书遵循少而精的原则，力求层次分明、重点突出、概念清晰、注重实用。但在日新月异的科技时代，有关钢铁工业水、气、固处理和应用的技术及钢铁工业清洁生产新技术层出不穷，因编写人员学术水平和经验有限，加之时间仓促，本书很难以一概全，有许多不妥之处，敬请读者、专家、同行批评指正。

编 者

2006 年 4 月

目 录

上篇 钢铁工业废水处理

第一章 总论	1
第一节 废水的种类、性质及其危害.....	1
第二节 废水的资源化.....	3
第三节 废水的基本处理原则及处理方法.....	6
第二章 烧结厂废水治理	10
第一节 概述	10
第二节 烧结厂水处理工艺	16
第三章 焦化厂废水治理	29
第一节 概述	29
第二节 煤焦除尘废水治理	43
第三节 古马隆树脂废水治理	45
第四节 酚氰废水治理	47
第四章 炼铁厂废水治理	67
第一节 概述	67
第二节 高炉煤气洗涤废水治理	78
第三节 高炉冲渣废水治理	89
第五章 炼钢厂废水治理	94
第一节 概述	94
第二节 转炉除尘废水治理	96
第三节 连铸机废水治理.....	110
第六章 轧钢厂废水治理	119
第一节 概述.....	119
第二节 热轧废水处理.....	128
第三节 冷轧废水处理.....	133
第四节 酸洗废液的再生.....	147

中篇 钢铁工业废气处理

第七章 总论	153
第一节 废气的种类、性质及其危害.....	153
第二节 废气的资源化.....	156
第三节 废气的基本处理方法及原则.....	157
第四节 废气治理技术发展趋势.....	167
第八章 烧结厂废气治理	169
第一节 概述.....	169
第二节 原料准备系统除尘.....	177

第三节	混合料系统除尘	180
第四节	烧结机烟气净化	181
第五节	烧结机尾除尘	183
第六节	整粒系统除尘	185
第七节	球团竖炉烟气净化	186
第九章	焦化厂废气治理	189
第一节	概述	189
第二节	焦炉炉体烟气控制	191
第三节	焦炉装煤烟尘治理	193
第四节	焦炉推焦烟尘治理	199
第五节	焦炉熄焦工段除尘	203
第六节	筛贮焦工段除尘	205
第七节	煤气净化及化学产品车间烟尘、废气治理	206
第八节	焦炉煤气脱硫	208
第十章	炼铁厂废气治理	213
第一节	概述	213
第二节	炉前矿槽除尘	214
第三节	高炉出铁场除尘	217
第四节	碾泥机室除尘	227
第五节	铸铁机室除尘	228
第十一章	炼钢厂废气治理	229
第一节	概述	229
第二节	吹氧转炉烟气净化与回收	237
第三节	电炉烟气净化	243
第四节	化铁炉(冲天炉)除尘	251
第十二章	轧钢厂及金属制品厂废气治理	257
第一节	概述	257
第二节	轧机排烟治理	262
第三节	火焰清理机废气治理	264
第四节	酸洗间酸雾治理	265
第五节	铅浴炉烟尘治理	268
第十三章	耐火材料厂废气治理	272
第一节	概述	272
第二节	竖窑烟气治理	274
第三节	回转窑废气治理	277
第四节	沥青烟气治理	280
第五节	耐火材料厂常温粉尘治理	282

下篇 钢铁工业废物处理

第十四章	总论	295
第一节	概述	295
第二节	钢铁工业废物的种类、性质	309
第三节	钢铁工业固体废物的污染及治理现状	309
第四节	固体废物处理的基本方法	311
第五节	钢铁工业固体废物处理的现状及问题	325

第十五章 炼铁厂固体废物治理	328
第一节 概述.....	328
第二节 高炉矿渣的处理及利用.....	328
第十六章 炼钢厂固体废物治理	354
第一节 概述.....	354
第二节 钢渣处理工艺和资源化的新动向.....	377
第十七章 轧钢厂废物处理	383
第一节 概述.....	383
第十八章 铁合金厂固体废物治理	391
第一节 概述.....	391
第二节 铁合金渣的综合利用.....	393
第三节 铬渣的处理.....	397
第十九章 选矿厂固体废物治理	421
第一节 尾矿的来源、组成与性质.....	421
第二节 尾矿的危害及治理现状.....	424
第三节 国内外尾矿治理技术发展趋势.....	431
第二十章 焦化厂固体废物治理	437
第一节 各类废物的来源、组成及性质.....	438
第二节 废物处理利用现状和技术措施.....	441
第三节 国内外利用技术发展趋势.....	448
第二十一章 烧结厂固体废物治理	450
第一节 概述.....	450
第二节 固体废物处理及利用.....	450
第二十二章 钢铁工业清洁生产	465
第一节 概述.....	465
第二节 钢铁工业生产.....	489
第三节 钢铁企业生产工艺过程中的污染特征.....	502
第四节 钢铁工业清洁生产技术.....	517
附录	543
附录一 钢铁工业烟气净化技术政策规定.....	543
附录二 钢铁工业废水净化技术政策规定.....	546
附录三 钢铁工业固体废物处理与综合利用技术政策规定.....	553
附录四 钢铁工业水污染物排放标准 (摘要).....	556
附录五 工业炉窑大气污染物排放标准 (摘要).....	560
附录六 车间空气中有毒物质的最高允许浓度 (摘要).....	563
附录七 用于水泥中的粒化高炉矿渣.....	564
附录八 石灰矿渣水泥标准.....	564
附录九 钢渣矿渣水泥标准 (摘要).....	565
附录十 关于钢渣水泥的钢渣技术条件.....	566
附录十一 石膏矿渣水泥标准.....	566
附录十二 GB 13271—2001 锅炉大气污染物排放标准 (摘要).....	567
附录十三 炼焦炉大气污染物排放标准 GB 9078—1996 (摘要).....	569
参考文献	572

上篇 钢铁工业废水处理

第一章 总 论

工业各行业生产过程中排出的废水，统称工业废水，其中包括生产工艺排水、机器设备冷却水、烟气洗涤水、设备和场地清洗水等。工业废水的成分复杂，性质各异，它们所含有的有机好氧物质、化学毒物、无机固体悬浮物、重金属离子、酸、碱、热、病原体、植物营养物等均可对环境造成污染。

水污染也是我国面临的主要环境问题之一。随着我国工业的发展，工业废水的排放量日益增加。环境保护作为我国的一项基本国策，我国的环境保护实行“防治结合，以防为主，综合治理”的方针，这一方针对防治水污染是同样有用的。另一方面，我国水资源不足，从长远看，这种局面今后还会加剧，因此保护水资源具有重大的战略意义，有效的办法是节约用水，减少排污，净化处理，合理利用。

在工业废水治理方面，需要注意抓好以下工作。

① 鼓励和组织相邻工厂建立联合废水处理及综合利用设施，以节约费用，提高管理水平，各工厂的废水经预处理达到集中处理要求的水质后，进入联合集中处理设施，避免分散重复兴建处理设施；

② 工厂企业可把经预处理后、水质符合市政部门规定排放标准的工业废水排入市政下水道，然后进入城市集中污水处理厂进行集中处理；

③ 工矿企业应实行清污分流，建立分流制下水道系统，对不同水质的水分别对待，实现一水多用，串联使用，以节约用水，减少排污量；

④ 在工业废水治理中，应重视污泥的处理、处置和综合利用，防止产生二次污染，对量少分散的污泥，应实行无害化处理。

各工业部门在积极推行技术改造和设备更新的同时，尽量发展无害少废工艺，使一种企业的废物作为另一种企业的原料，这样就能提高资源和能源的利用率，把污染减少并消除在生产过程中。从原料开始改革工艺路线，完善生产管理，严格控制物料流失，开展综合利用，加强回收，结合产品结构的调整，对一些消耗高、污染严重而又无治理条件的中小型企业，采取关、停、并、转等有效措施。总之，对工业废水应进行有效地治理，是水污染防治工作的重要方面。

随着系统工程学的发展，系统学逐步地应用于水污染治理，现代的水污染控制业已进入新的阶段，体现在从局部治理发展到区域整体性治理，从单项治理发展到综合治理，控制污染由点源转向非点源，把区域规划、资源利用、能源改造、有害污染物的净化处理、水体自然净化等多种因素进行综合考虑。这种多目标、多因素的综合规划，使得水污染治理能够实现以较少投资获得较大经济效果的理想要求。

第一节 废水的种类、性质及其危害

一、钢铁企业废水的分类

钢材是在严格的技术控制条件下生产的材料，与非金属材料相比，具有品质均匀稳定、

强度高、塑性韧性好、可焊接和铆接等优异性能。钢材主要的缺点是易锈蚀，维护费用大，耐火性差，生产能耗大。

当今钢材生产所采用的生产流程，经过长期的发展和选择，只剩下两种主要的生产流程，即传统钢铁联合企业的高炉-转炉-连铸-连轧的长流程，和电炉-连铸-连轧的短流程。图 1-1 展示了钢铁生产工艺流程。

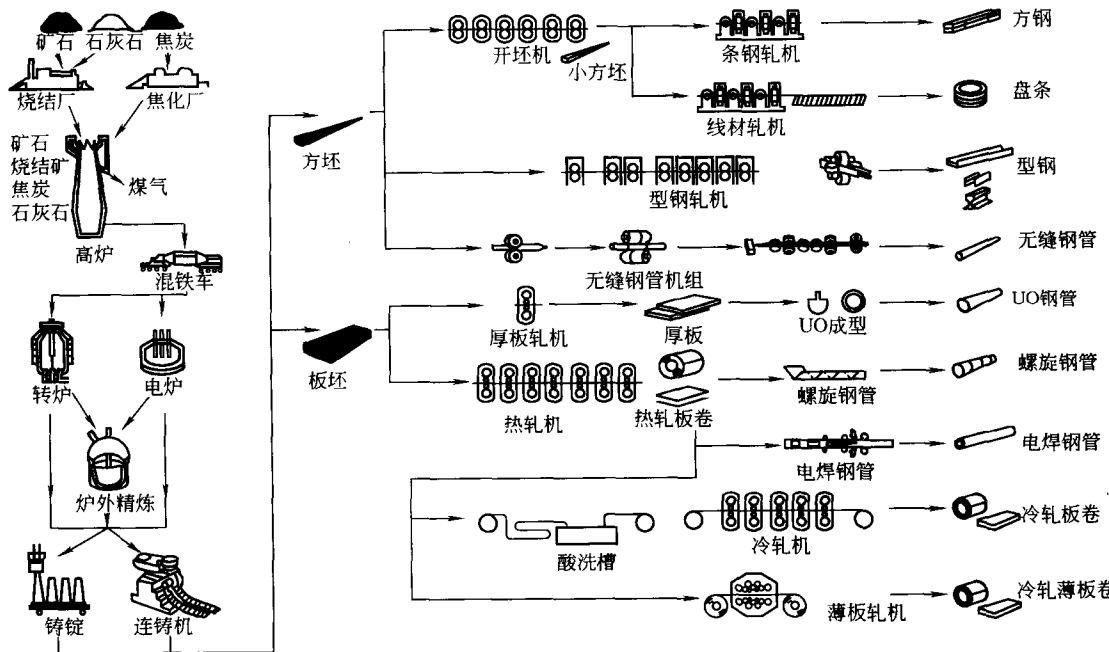


图 1-1 钢铁生产工艺流程

从生产工艺可以看出，钢铁工业生产的用水部门很多，水量很大，其生产过程包括采选、烧结、炼铁、炼钢等生产工艺，每炼 1t 钢，约用 200~250m³ 水。钢铁生产过程中排出的废水，主要来源于生产工艺过程用水、设备与产品冷却水、设备和场地清洗水等。70% 的废水来源于冷却用水，生产工艺过程排出的只占一小部分，废水中含有随水流失的生产用原料、中间产物和产品以及生产过程中产生的污染物。

2003 年我国钢铁企业排水总量为 35.9×10⁸m³，占全国工业废水排放总量的 14.5%，含有酸、碱、酚、氰、石油类及重金属等有害物质，如外排将造成严重的环境污染。钢铁行业是用水大户，根据 2002 年钢铁企业的有关资料统计，吨钢平均取水量为 15.58m³，总取水量约占全国工业用水量的 2.1%；吨钢平均排水量 10.79m³，总排水量约占全国工业废水量的 4.3%。此外，钢铁企业水的平均重复利用率为 90.5%，吨钢平均用水量为 158.5m³。作为我国国民经济基础产业和工业体系重要组成部分的钢铁工业，是用水和废水排放大户。据 2002 年钢铁企业环境保护统计，2002 年全国 85 家冶金企业新水用量为 25.1024 亿吨，占整个工业新水总量的 2.2% 左右，废水排放量为 17.188 亿吨，占工业废水排放总量的 2.19% 左右，新水用量大，加剧水资源消耗，废水排放量大加重了环境的污染。表 1-1 列出了 1996~2002 年冶金行业重点企业吨钢耗水和重复利用率情况。

在 2000~2002 年，中国钢铁工业用水总量在逐年增加，由 2235671.90 万吨增加到 2491840.98 万吨；外排废水量在逐渐减少，从 200804.81 万吨下降到 171882.69 万吨；水重复利用率逐年上升，由 87.04% 增加到 90.32%。

表 1-1 1996~2002 年冶金行业重点企业吨钢耗水和重复利用率

年份	钢产量/万吨	吨钢耗水/(m ³ /t)	吨钢新水/(m ³ /t)	重复利用率/%	重点企业用水总量情况/亿立方米
1996	8789	221.31	39.55	82.13	203.83(厂区 191.93, 矿区 11.9)
1997	9519.29	210.92	35.77	83.04	209.86(厂区 198.09, 矿区 11.77)
1998	10444.45	205.46	32.57	84.15	222.73(厂区 212.65, 矿区 10.08)
1999	11128.07	185.70	27.04	85.44	215(厂区 205, 矿区 10)
2000	11697.89	185.07	23.80	87.14	223.57(厂区 214.11, 矿区 9.46)
2001	14656.30	173.30	18.93	89.10	235.97(厂区 227.66, 矿区 8.31)
2002	16860	158.46	15.58	90.17	249.18(厂区 241.19, 矿区 7.99)

钢铁工业废水的分类有不同的方法:

① 按所含的主要污染物性质通常可分为含有机污染物为主的有机废水和含无机污染物(主要为悬浮物)为主的无机废水以及受热污染的冷却水;

② 按所含污染物的主要成分分类, 有含酚、氰废水、含油废水、含铬废水、酸性废水、碱性废水和含氮废水等;

③ 按生产和加工对象分类, 有烧结厂废水、焦化厂废水、炼钢厂废水、轧钢厂废水等。各厂又有几种主要废水以及这些废水处理工艺的选择, 列于表 1-2 中。

表 1-2 钢铁企业废水来源及主要处理工艺

生产厂	污水来源	主要污染物	主要处理方法及用途
烧结厂	气体除尘、冲洗地面	悬浮物	沉淀后循环使用或外排
焦化厂	煤气水封溢流水、车间排水 熄焦污水	酚、悬浮物、氰化物 大量悬浮物	生化处理后外排 沉淀后循环使用或抑尘
炼铁厂	煤气洗涤水、铸铁机排水	酚、氰、硫酸盐	生化处理后循环使用
炼钢厂	烟气洗涤污水、各种冷却水	悬浮物、各种可溶物	混凝后循环使用
轧钢厂	含酸、碱、油废水, 冷却水	酸、碱、油	间接冷却水可循环使用

本册即按生产和加工对象分类的方法, 分别加以介绍。

二、钢铁工业废水污染的特征

钢铁工业废水的水质因生产工艺和生产方式不同而有很大的差异, 有的即使采用同一种工艺, 水质也有很大变化, 如氧气顶吹转炉除尘污水, 在同一炉钢的不同吹炼期, 废水的 pH 值可在 4~13 之间, 悬浮物可在 250~25000mg/L 之间变化。间接冷却水在使用过程中仅受热污染, 经冷却后即可回用。

钢铁工业废水造成的污染主要有无机固体悬浮物污染、有机需氧物质污染、化学毒物污染、重金属污染、酸污染、热污染等。

钢铁工业在生产过程中, 从原料准备到钢铁冶炼以至成品轧制的全过程中, 几乎所有工序都要用水, 都有废水排放, 其特点是废水量大, 污染面广。

第二节 废水的资源化

一、治理现状及差距

钢铁工业的废水治理, 近十多年来, 经过老厂技术改造, 新厂同步建设, 废水污染问题有较大改善。据不完全统计, 重点企业的主要废水治理设施配套率已达到 80% 以上, 例如焦化厂酚氰污水的生物脱酚处理设施应有 22 套, 现已建成 21 套, 配套率达到 95%。但由于环境管理薄弱, 和一些治理技术尚不过关, 外排废水达标率仍不够好。2004 年统计资料表明, 废水治理率为 84.28%, 而达标率为 73.61%, 而且几种主要废水的达标率也不平衡, 相差较大, 如轧钢废水达标率为 81.07%, 而炼铁厂的高炉煤气洗涤废水的达标率仅

为 39.05%。

我国的钢铁企业因建设时间的不同，废水处理技术水平与国外先进水平比较，还有不同程度的差距，可从各自的吨钢用新水量及重复用水率来衡量。现把我国钢铁工业用水总量与重复用水率、国外的钢铁工业用水情况分别列于表 1-3、表 1-4 中。

表 1-3 我国重点钢铁企业的用水情况（2000~2003 年）

时间	钢产量/万吨	吨钢耗水/(m³/t)	吨钢耗新水/(m³/t)	重复利用率/%
2000 年	11697	185.07	23.8	87.14
2001 年	14056	173.70	18.93	89.10
2002 年	16860	158.46	15.58	90.17
2003 年	18571	—	12.9	—

表 1-4 美、日一些钢铁企业的用水情况

企业名称	钢产量/(万吨/年)	总用水量/(m³/t 钢)	其中海水所占比例/%	新用水量/(m³/t 钢)	重复利用率/%
美方塔那	327	132	0	4.1	96.9
美印第安那	599	106	0	51.0	51.9
美范费特	221	91	0	18.2	80.0
日八幡	684	132	23	7.8	91.2
日千叶	571	113	41	7.5	88.8
日扇岛	600	75	0	2.1	97.2

从废水回用方面，通过武钢和宝钢工程已经基本掌握了循环用水、串联用水等废水重复利用的技术，对烧结废水、高炉煤气洗涤水、转炉烟气除尘废水、焦化废水的处理及利用技术已经基本掌握，表 1-5、表 1-6 列出了环境保护考核指标及世界先进钢铁企业用水循环率的情况。但在絮凝剂、投加设备、流量及水质方面、各种水泵等设备的制造还存在一定的差距，对焦化废水的处理也存在差距；循环水利用过程中的关键在于水质稳定，在剂种及工艺方面还需要优化；轧钢乳化油废水的处理也需要进一步深入研究。

表 1-5 环境保护考核指标

序号	指 标 名 称	国内大钢厂水平	宝钢水平	国际水平
1	工业水重复利用率/%	82.5	96.8	94
2	吨钢新水耗量/t	40 以下	6.65	10 以下
3	吨钢可比能耗/t 标煤	1.2~1.5	0.798	0.77~1.1
4	冶炼渣利用率/%	80.6	100	—
5	含铁尘泥利用率/%	90.1	100	100
6	焦炉煤气利用率/%	95.1	100	>95
7	高炉煤气利用率/%	95.2	>95	>98
8	厂区大气降尘量/[t/(月·km²)]	52.76	22.6	>10

表 1-6 世界先进钢铁企业用水循环率

国名	西欧	澳大利亚	中国台湾	日本	墨西哥	南非	美国	中国宝钢设计	中国宝钢实际
项目									
用水循环率/%	92	89.5	99	91.3	96.8	96.6	42	95	96.8

二、资源化

随着社会的进步和经济的发展，工农业和城市的扩展，尤其是人口的增多，人类活动的失控，使世界水资源日趋匮乏。我国是一个水资源匮乏的国家，人均水资源占有仅为世界人均占有量的 1/4，而且时空分布极不均匀，开发利用有相当难度，致使许多地区和城市严重缺水，尤其是三北地区和沿海城市连年闹“水荒”。日益严重的水资源短缺不但严重困扰着

国民生产, 而且成为制约我国社会经济发展的重要因素。

我国的城市缺水现象更为严重, 在 300 多个大中城市中有 180 个城市缺水, 其中 50 多个城市严重缺水。以北京为例, 全市水资源人均占有量仅为全国人均占有量的 $1/6$, 而其年用水量已达 42 亿立方米, 每年大约缺水 7 亿~10 亿立方米。

与此同时, 我国还是用水量最多的国家。据有关资料, 2003 年我国总用水量 5498 亿立方米, 人均综合用水量为 430 亿立方米, 国内生产总值 (当年价) 万元用水量为 610 亿立方米。生活用水占总用水量的 10.5%, 其中城镇生活用水占 5.2%, 农村生活用水占 5.3%; 生产用水占总用水量的 89.5%, 其中工业用水占 20.7%, 农业用水占 63%, 其他用水占 5.8%。

中国的水资源问题是随着人口增长、经济发展、社会进步逐步显露并被人们逐步深化认识的。全国用水量从 1949 年的 1000 亿立方米增加到 2003 年的 5498 亿立方米, 人均综合用水量从不足 200m^3 增加到 430m^3 , 目前 600 多个中等以上城市, 不同程度缺水的达 400 多个。改革开放以来, 我国的国民经济得到了长足的发展, 但总用水量也成倍增加, 相比国内生产总值来说, 总用水量的年平均增长量和增长速度则大幅度减少, 工业用水量和工业增加值的情况也基本相同。

21 世纪, 我国的水资源矛盾会进一步加剧, 预计到 2010 年全国总用水量为 $(6400 \sim 6670) \times 10^9 \text{m}^3$, 总需水量达 $(6633 \sim 6988) \times 10^9 \text{m}^3$, 到 2010 年、2030 年和 2050 年, 城市需水量将分别达到 1290 亿立方米/年、1730 亿立方米/年和 2070 亿立方米/年, 供需缺水近 137 亿~318 亿立方米。我国在 2030~2040 年人口将增加到 16 亿~17 亿, 生活用水和工业需水量也将大幅度增加。预测用水高峰将在 2030 年前后出现, 全国总用水量达 7000 亿~8000 亿立方米, 人均综合用水量为 $400 \sim 500\text{m}^3$, 实际可能利用的水资源量约为 8000 亿~9500 亿立方米, 需求量基本接近可利用水量。

我国是一个发展中国家, 正处在工业化的过程中, 工业不可能不发展。专家预计, 到 2030 年我国工业用水将增加 1500 亿立方米。在水资源日益缺乏的今天, 既要注重水资源保护及水污染治理, 还要大力发展工业。解决矛盾的有效措施就是对现有的水资源进行综合评价, 对废水进行处理, 根据国家和企业的发展, 进行必要的循环利用, 实现废水的资源化。

在钢铁企业里常被采用的水处理工艺有沉淀、过滤、吸附、萃取、结晶、中和、膜分离、磁分离、离子交换、生化处理等。

1. 焦化厂含酚氰废水

高浓度含酚废水经回收后与低浓度含酚废水一起进入生化处理, 酚的回收可用溶剂萃取法和汽提法。萃取法的处理量大, 效率高达 90%, 萃取剂的选择是关键因素, 主要有苯、醋酸丁酯、苯乙酮、异丙醚等。蒸汽脱酚法用于挥发酚含量较高的废水, 处理量大, 回收酚的质量好, 但效果较差, 主要是利用水酚间的沸点差加热, 将废水中的挥发酚蒸发到蒸汽中, 再用氢氧化钠溶液与蒸汽中的酚作用生成酚钠而进入液相。国内含酚废水都进行二级生化处理, 主要采用活性污泥法, 由预处理、曝气池、二沉池、浓缩池工艺构成, 生化处理前采取调节措施, 如水量、水质、温度、沉淀、除油、稀释等。个别厂采用深度处理, 由过滤、活性炭吸附及其再生组成。

2. 高炉煤气洗涤污水

含大量悬浮物、少量酚氰等有毒物质, 还有较多的无机盐金属离子等, 经混凝沉淀、冷却沉淀后循环使用, 污泥脱水、浓缩等作为烧结原料使用。在循环过程中易结垢, 采取水质稳定措施。应与原料条件、工艺、洗涤工艺及操作条件相联系, 合理控制水质、水温、悬浮物含量、溶解盐含量、金属离子含量、碱度、硬度等, 有针对性地加缓蚀阻垢剂。

3. 转炉烟气污水

该污水含大量悬浮物, 一般为 $3000 \sim 20000\text{mg/L}$, 主要成分是铁、钙、硅、镁的氧化

物,可采用自然沉降、絮凝沉淀和磁力分离的处理处理方法。

4. 轧钢废水

包括热轧废水、冷轧废水。热轧废水排出的含油和氧化铁皮具有代表性,常由一次沉淀、二次沉淀(混凝沉淀)、过滤去除悬浮物和油类,冷却后循环使用,用物理法回收油,含油废水经破乳凝聚后用加压上浮进行处理,悬浮物 100mg/L 以下。细颗粒含油氧化铁皮经浓缩、过滤、脱水后的泥饼送冷却装置焚烧,残渣作为烧结原料。冷轧废水污染物是悬浮油和乳化油两类,前者采用刮油机去除,后者必须破乳后才可以去除,破乳方法有加热法、pH 值调节法、加药凝聚法及超声波法。

钢材酸洗过程中形成的酸洗污水含有酸和铁盐,其含量高时以回收为主,否则采用中和法处理。详见轧钢废水处理章节。

国内外对钢铁废水处理的发展趋势有以下几个方面。

(1) 减少外排废水量 生态学及毒理学的发展,检测技术的进步,导致对水质要求的提高,从而对地面水、渔业用水的水质标准也更加严格。如外排废水入天然水域,往往要花费比从前更多的费用去净化。因此,总的趋势是减少外排废水量,亦即减少水量,从而节省基建投资及运行费用。与主体技术改造配合,采用不用水或少用水的工艺及大型设备,做到源头用水减量化。

(2) 合理用水 钢铁工业生产工艺复杂,用水部门多,为减少外排废水量,通常是在清污分流的基础上,按照废水的水质情况,设置若干个循环(或串联)用水系统,并且对废水中所含的有用资源,在经济合理的条件下回收利用。

调查表明,某些用水系统做不到闭路循环的根本原因是对水资源的滥用。例如,冲洗用水的水量经常远远超过实际的需要量。因此,有些研究工作应着重于生产用水的合理化,如将支流冲洗改为多级逆流冲洗,改浸泡式冲洗为喷射冲洗等。总体目标是通过生产用水的合理化以减少用水量,从而减少废水的产生量及需要合理的利用废水量。

(3) 综合利用资源 在废水的治理过程中综合利用其中的资源,特别是就地及时回用于生产,非常必要。采用先进工艺对循环水系统的排污水及其他排水进行有效处理,使工业废水资源化,实现工业废水“零”排放。例如,从高炉煤气洗涤水中回收的瓦斯泥,从轧钢废水中回收的铁皮等,均可用于烧结工序,用作生产中的原料。

另一方面,考虑回收利用也取决于经济效益。例如,石油工业的发展已促使美、日等国不再从蒸氨废液中回收酚,而代之以将蒸氨废液稀释后直接用生物氧化法进行净化。

(4) 采用有效、经济、简便的技术净化措施 采用高效、安全、可靠的先进水处理技术和工艺,提高水的循环利用率,进一步降低吨钢耗新水量。钢铁工业废水的治理以循环回用为目标,在处理技术方面,各循环系统广泛采用的是自然沉淀、絮凝沉淀、过滤、压力过滤、加压上浮、曝气池、氧化塘等,各个循环系统多余的废水,可根据需要再送往废水处理站进一步净化而排出。废水处理的典型设备有格栅、初次沉淀池、除油池、曝气池、二次沉淀池、氧化塘等,有的还设有快滤池、活性炭吸附装置等。根据废水的具体情况有选择地采用合理的处理手段以保证净化效果。

建立工序内部、厂内、厂际多级用水循环思想,提高水循环的浓缩倍数,实现水资源消耗减量化,减少循环系统的工业废水排放量。

第三节 废水的基本处理原则及处理方法

一、废水的处理原则

为使废水治理简便易行且经济合理,应当实行各类废水清污分流,单独治理。但是,也应该注意到,有时可利用几种废水的各自矛盾的性质相互制约,实行以废治废,如酸碱中

和,也可达到节省费用的目的。对于高浓度的废水,在经济合理的条件下,应该优先采用回收利用的方法。

目前,钢铁工业的多数废水经适当处理后都可回用,但要大幅度提高企业的重复用水率仍不是件易事,需要解决一系列比较复杂的技术问题与管理问题,如高炉煤气洗涤循环水和转炉除尘循环水的水质稳定问题以及水处理过程的最优化控制问题。世界上工业发达的国家,经过几十年不懈努力之后,企业的重复用水率已高达95%左右。在提高重复用水率的同时,把废水中的主要污染物作为资源加以回收利用的方面也取得了显著的成效。一座年产600万吨钢的联合企业,可从废水处理过程中回收含铁尘泥约30万吨,相当于一座年产15万吨钢铁企业所需的矿。我国在这方面,尤其在近十多年里,通过大规模的实践,也积累了比较丰富的经验。经验证明,把钢铁工业废水及其主要污染物作为资源加以回收利用,不但可以办到的,而且已经取得了良好的经济效益与环境效益。

世界各国水污染防治的历史经验与教训证明,由于技术经济等种种条件的限制,单从技术上采取人工处理废水的做法,不能从根本上解决水污染问题。历史的经验与教训,把各行各业都引向综合防治之路,并正在沿着这个方向继续前进。所谓水污染综合防治,简单地说,即运用各种措施防治水体污染。一般地说,应遵循如下原则。

1. 预防为主,防止新污染源、新污染物的潜在污染危害,减少外排废水量

生态学及毒理学的发展,检测技术的进步,导致对水质要求的提高,从而对地面水、渔业用水的水质标准也更加严格。如外排废水入天然水域,往往要花费比从前更多的费用去净化。因此,总的趋势是减少外排废水量,亦即减少水量,从而节省基建投资及运行费用。为此,必须搞好环境预测和防治水污染的环境(或流域)规划。对于任何一个钢铁企业来说,都应当做到:

① 全面规划,合理布局,在此前提下,认真执行环境影响评价制度,为做好水污染防治规划提供依据;

② 企业本身水污染防治规划在技术经济上的合理性;

③ 企业本身的水污染防治规划,应当和它所从属的环境(或流域)相联系,既要科学利用环境容量与自净能力,又要达到保护环境的目的。

2. 综合治理是相对于传统的单一的采取人工处理废水而言的

综合治理要求针对不同情况,从多方面采取措施,如积极研究采用不排污或少排污的工艺,不排毒、少排毒的原则实施清浊分流。大力发展一水多用、重复利用和循环利用的技术,积极研究采用经济而又无害化的技术,结合人工处理废水和积极发展综合利用技术,科学利用环境容量及自净能力,以及加强生物防治等。

3. 加强科学管理,改善管理机构及制度,建立经济责任制和技术档案

加强对废水处理设施的运行、操作、维护的管理,把人为的浪费和资源利用不合理的部分,通过科学管理,提高资源的利用率,消除浪费,是提高经济效益、环境效益极为重要的方面。科学管理应从行政、法律、经济、技术等方面,结合近期和长远的环境目标,加以有机结合运用。

钢铁工业生产工艺复杂,用水部门多,为减少外排废水量,通常在清污分流的基础上,按照废水的水质状况,设置若干个循环(或串联)用水系统,并且对废水中所含的有用资源在经济合理的条件下回收利用。

重复利用是指循环用水。循环用水对于企业来说,是节约用水的主要措施。重复用水的前提条件是不改变水的用途,而只改变水的来源。调查表明,某些用水系统做不到闭路循环的根本原因,是对水资源的滥用。例如,冲洗用水的水量经常远远超过实际的需要量。因此,有些研究工作应着重在生产用水的合理化方面,如将支流冲洗改为多级逆流冲洗,改浸

泡式冲洗为喷射冲洗等。总的目标是通过生产用水的合理化来减少用水量，从而减少废水的产生量。节省水资源，保护水环境，是废水治理所要达到的主要目标，也是采取废水治理措施的主要依据。

由于水处理技术的进步，如今任何水源都可通过处理来达到所需的水质要求，所以水源的选择，主要取决于经济因素。如果实现废水重复利用所需的代价低于取用新鲜水时，那么废水就可作为水源。循环用水只是重复用水的特定方式，它能够最有效地利用废水。循环用水的实质是把废水转化为资源，实现再利用，把污染消除在工艺过程中，所以既是节水的良策，又是保护环境的积极措施。

对于钢铁企业来说，因为各生产过程对水质要求和用水情况是不相同的，所以废水受污染的程度也不相同。在现代化钢铁企业里，为了实现循环用水，废水都要按质分流，也就是说，把生产过程产生的污染性质与程度不同的废水，分别经过适当处理后又全部回到原来的生产过程使用。循序用水是指不回到原来的生产过程使用，而是转送到可以接受的生产过程或系统使用。如能统筹安排，设计合理的组合，可使企业所需补充的新鲜水量降到最小限度。如某铁厂把冷却高炉炉体的净循环水系统的“排污”水，作为炉缸喷淋冷却水系统的补充水；喷淋冷却水系统的“排污”水，作为高炉煤气洗涤循环水系统的补充水；煤气洗涤循环水系统的“排污”水，作为高炉水冲渣循环水系统的补充水；而高炉水冲渣循环水系统系密闭运行，借蒸发平衡，不向外界排水。这种多系统合理串联“排污”，最终实现无排水密闭运行的做法，可称是节省水资源、保护水环境的范例，是很值得借鉴的。如某轧钢厂的含油废水，经处理后，供原料场作为抑尘喷洒用水。因为原料场喷洒用水对含油要求不严，所以这种循序用水，既可降低含油废水处理的程度，节省新鲜水的需要量，又避免了对水环境可能造成的污染。

近些年来，我国在提高重复用水率方面做了大量工作。据 2004 年统计，全国钢铁工业的重复用水率已达 82.8%。少数大型钢铁联合企业的重复用水率已高达 94%~96%，与国际先进水平基本持平。

重复用水率是个综合指标。实现重复用水涉及多方面问题，如改革工艺，减少废水量，改善废水水质；合理规划，正确给定用水定额和水质条件；根据废水性质进行合理分流，选择恰当的处理工艺，综合平衡，实现最佳循环利用；从废水中回收有用的资源与处理废物，如循环水的冷却与水质稳定，选用高效而又少污染的药剂，以及科学管理和管理所必需的装备、监视、控制手段等，所有这些方面是互相联系，互相影响的，因而是复杂的。所以提高重复用水率或采取循环用水的措施也必须是综合的。

为了节省水资源，常采用如下技术：

① 发展和采用无废工艺、无废技术，如改湿法熄焦为干法熄焦，高炉煤气湿法除尘改为干法除尘；

② 开发适合钢铁工业特点的节能型的废水处理技术，并以此为条件来评价废水处理方法的优劣，是今后研究的重点；

③ 发展和采用成套的循环用水技术，在清污分流的基础上，根据废水的水质状况，设置若干个循环用水系统，把废水及其污染物都作为资源予以回收，并实现循环和闭路循环利用；

④ 发展和采用循环用水技术所必需的计量技术；

⑤ 发展生物工程和新材料利用技术。

综上所述，为了从根本上解决钢铁生产过程对水环境的污染与破坏，必须结合新厂建设和老厂技术改造引入循环用水技术。众所周知，大自然生物圈循环是无废料的生产过程。自然生态系统，只要它正常运转，所有输入系统的物质与能量都在循环中运动和转化，并且所

有物质又都在循环运动中被利用，它还有自动调节机能，可以说是真正的最优化过程。钢铁企业生产过程排出的废水及其污染物作为有用资源加以回收利用并实行高度循环或闭路循环，包括水和污染物的循环，减少外排水量，其实质是模拟自然生态的无废料生产过程，是最优化过程。因此，高度循环和闭路循环用水技术，必将成为控制钢铁企业水污染的最佳技术，并越来越受到全世界的重视，是今后发展的必然趋势。

二、废水的处理方法

向水体排放废水，排放之前需要治理到什么样的程度，是选择废水治理方法的重要依据。在确定治理程度的时候，首先应当考虑如何才能够防止水体受到污染，必须保证不发生公害，同时也要适当地考虑到水体的自净能力。通常采用有害物质和溶解氧两个指标来确定水体的允许负荷，即确定废水排入水体时的容许浓度，然后再进一步确定废水在排入水体前所需要的治理程度，并选择适当的治理方法。主要的处理方法有物理法、化学法、生物法。

(1) 物理法 这是最基本、最常用的一类净化治理工业废水的技术，常用作废水的一级治理或预处理。它既可作为单独的治理方法使用，也可用作化学处理法、生物处理法的预处理方法，甚至成为这些方法不可分割的一个组成部分。有时也还是三级处理的一种预处理手段。物理法主要用来分离或回收废水中的悬浮物质，它在处理过程中不改变污染物质的组成和化学性质。常用的物理处理方法主要有沉淀与气浮，隔截与过滤，离心分离与蒸发浓缩等。一般情况下，物理处理法所需的投资和运行费用较低，故常被优先考虑或采用，然而还需与其他的治理方法配合使用。

(2) 化学法 主要是利用化学反应来分离或回收废水中的胶体物质、溶解性物质等废物，以达到回收有用物质、降低废水中的酸碱度、去除金属离子、氧化某些有机物等目的。这种处理方法既可使污染物质与水分离，也能够改变污染物的性质，因此，可以达到比简单的物理处理方法更高的净化程度。常用的化学处理方法有化学沉淀与混凝法、中和法、氧化还原法等。由于化学处理法常需采用化学药剂或材料，故处理费用较高，运行管理的要求也较严格。通常，化学处理法还需与物理处理法配合起来使用。如化学法处理之前，往往需要用沉淀和过滤等手段作为预处理；在某些场合下，又需要采用沉淀和过滤等物理处理手段作为化学处理法的后处理等。

(3) 物理化学法 在工业废水的回收治理过程中，利用经常遇到的污染性物质由一相转移到另一相的过程，即传质过程来分离废水中的溶解性物质，回收其中的有用成分，以使废水得到深度治理。尤其当需要从废水中回收某种特定的物质时，或是当工业废水有毒、有害，且不易被微生物降解时，采用物理化学处理方法最为相宜。常用的物理化学处理法有吸附法、萃取法、电解法和膜分离方法等。

(4) 生物法 这种方法是利用自然界存在的大量微生物具有氧化分解有机物，并将其转化为无机物的功能，采用一定的人工设施，创造出有利于微生物生长的良好环境，从而分解有机物。