

钢分析化学 与物理检测

主 编 朱志强 许玉宇 顾 伟
副主编 王国新 王卫忠 王 慧 卢书媛

GANG FENXI HUAXUE YU WULI JIANCE



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

钢分析化学与物理检测

主 编 朱志强 许玉宇 顾 伟

副主编 王国新 王卫忠 王 慧 卢书媛

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

内 容 提 要

本书介绍了钢分析化学与物理检测技术。全书分 10 章,涵盖了钢分析常用的样品处理方法、分析仪器、测量不确定度及其评定、力学性能、工艺性能、金相等基础知识,不仅介绍了钢化学与物理检测实用分析方法,还对国内外 20 年来钢铁化学分析进展作了评述。

本书内容丰富,实用性强,可供从事钢及其制品生产加工及贸易、商品质量、检验检疫、环境保护、材料等相关行业的技术人员阅读,也可供大学、职业院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

钢分析化学与物理检测/朱志强,许玉宇,顾伟主编. —北京:
冶金工业出版社, 2013. 6

ISBN 978-7-5024-5954-3

I. ①钢… II. ①朱… ②许… ③顾… III. ①钢—分析化学
②钢—物理性质—检测 IV. ①TG142

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 107290 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 张 晶 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 王永欣 责任印制 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-5954-3

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2013 年 6 月第 1 版, 2013 年 6 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 22.25 印张; 468 千字; 335 页

65.00 元

冶金工业出版社投稿电话: (010)64027932 投稿邮箱: tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号(100010) 电话: (010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

《钢分析化学与物理检测》

编委会

主 任 卢艳光

副 主 任 陶宏锦 李建军 蔡建和 赵 新 张 侠
顾巧元

主 编 朱志强 许玉宇 顾 伟

副 主 编 王国新 王卫忠 王 慧 卢书媛

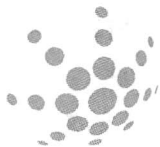
委 员 (按姓氏汉语拼音排序)

卜耀进 陈立新 胡庆生 李信军 马建华
潘 键 石 洁 孙 英 唐 雁 王 权
王一梅 颜 军 杨志峰 张建刚

编写人员 (按姓氏汉语拼音排序)

卞茂华 陈英杰 胡 清 黄宗平 刘崇华
李大庆 刘 烽 彭 凌 钱 伟 时 伟
沈 星 吴 骋 吴广宇 徐海斌 易海清
俞 璐 应崎东 游维松 殷晓明 张 波
朱嘉宇 张克顺 周利英 赵 泉 朱玉燕

顾 问 曹宏燕 徐盘明 王 滨 应海松 周锦帆



前 言

钢及其制品广泛用于国民经济各部门和人民生活各个方面，是社会生产和公众生活所必需的基本材料。分析检验技术在钢产品的生产、加工、贸易、消费等过程中发挥了质量监督、控制和评价的重要作用，并为产品研发、工艺分析提供成分和结构分布等关键信息。近年来，钢的生产和加工工艺不断进步，钢分析化学和物理检测技术也取得了长足发展，现代分析测试仪器在钢及其制品的分析检验中占有越来越重要的地位，痕量成分分析和仪器分析方法得到迅速发展，大大提高了分析测试效率和分析精度。同时常规化学分析方法在常量元素测定方面仍然广泛应用，且作为经典方法被规定为仲裁分析方法。

近年来国内出版了不少有关冶金分析技术和方法的著作及标准汇编，推动了冶金分析事业的发展。在此基础上，我们以钢及其制品的分析化学和物理检测技术为主要内容，结合分析技术的发展状况，撰写了有关钢分析实验室工作中常用的基础性知识和分析方法，编著了本书。

本书编著的内容紧密围绕钢及其制品的分析实践，有近三分之二的內容涉及钢的分析化学技术。结合目前钢分析化学的现状，重点介绍了目前应用较广的原子吸收光谱、电感耦合等离子体原子发射光谱、直读光谱、X射线荧光光谱、电感耦合等离子体质谱、高频红外碳硫分析、氧氮分析等仪器的应用方法。同时本书还对钢中常见化学元素分析方法逐一进行了介绍，并对多数分析方法加有注释，以使分析者加深对方法的认识并更好地掌握分析方法。在保证可靠性、先进性的前提下，尽量选取了对环境污染小、可操作性强的方法，强调实用价值。另有约三分之一的篇幅是有关钢的力学性能、工艺性能和金相分析的内容，这些内容作者认为具有很好的实用价值，并将对从事相关检测工作的人员具有较好的指导作用。

本书还介绍了有关测量不确定度评定、能力验证等方面的内容，



这是分析实验室质量管理中必不可少的知识。本书还对近 20 年来国内外钢铁分析进展进行了综述,特别是对 20 年来 AA 收录的文摘进行了详细介绍,目的是让有关分析、研究人员了解国内外的研究现状。

钢及其制品的检验技术涉及多种专业,专业跨度大、学科交叉多,撰写本书的目的在于让从事钢及其制品生产加工及贸易、商品质量、检验检疫等行业的技术人员对钢的分析化学和物理检测技术有更深入的了解,从而更好地胜任相关工作。本书亦可供大学、职业院校有关专业师生参考。

本书的编著是在有关专家的帮助下,由常熟出入境检验检疫局完成的。本书作者都是来自检验一线的工作人员,由于时间有限,加上各自的经历和写作风格有异,难免有这样或那样的不足和缺点,敬请读者批评指正。

本书第 1 章由许玉宇、王慧编写;第 2 章由刘烽、王国新、王慧编写;第 3 章由刘崇华、王国新、赵泉、游维松、卞茂华、黄宗平、李大庆、张克顺编写;第 4 章由俞璐、吴骋编写;第 5 章由许玉宇、王慧、周利英、胡清、周锦帆编写;第 6 章由顾伟、王卫忠、卢书媛、钱伟编写;第 7 章由顾伟、易海清、张波、徐海斌编写;第 8 章由卢书媛、时伟、张波编写;第 9 章由彭凌、沈星、钱伟编写;第 10 章由王慧、卢书媛编写。

本书在编写过程中,引用了国内外公开发表的文献,在此向文献的作者表示感谢。并感谢冶金工业出版社的支持和责任编辑为本书的出版所付出的辛勤劳动。

编 者

2013 年 3 月

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	作 者	定价(元)
高性能低碳贝氏体钢 ——成分、工艺、组织、性能与应用	贺信莱	56.00
材料微观结构的电子显微学分析	黄孝瑛	110.00
电子背散射衍射技术及其应用	杨 平	59.00
材料的晶体结构原理	毛卫民	26.00
无机非金属材料科学基础	马爱琼 等	45.00
钒钛材料	杨绍利 等	35.00
动力与能源用高温结构材料 ——第十一届中国高温合金年会论文集	中国金属学会高温材料分会	149.00
有序金属间化合物结构材料物理金属学 基础	陈国良(院士) 等	28.00
材料的结构	余永宁 毛卫民	49.00
泡沫金属设计指南	刘培生 等译	25.00
多孔材料检测方法	刘培生 马晓明	45.00
超细晶钢 ——钢的组织细化理论与控制技术	翁宇庆 等	188.00
功能陶瓷显微结构、性能与制备技术	殷庆瑞 祝炳和	58.00
超强永磁体 ——稀土铁系永磁材料(第2版)	周寿增 董清飞	56.00
材料评价的分析电子显微方法	[日]进藤大辅 及川哲夫 著 刘安生 译	38.00
材料评价的高分辨电子显微方法	[日]进藤大辅 平贺贤二 著 刘安生 译	68.00
耐磨高锰钢	张增志	45.00
材料组织结构转变原理	刘宗昌 等	32.00
金属材料工程概论	刘宗昌 等	26.00
材料腐蚀与防护	孙秋霞	25.00
铝阳极氧化膜电解着色及其功能膜的应用	[日]川合慧 著 朱祖芳 译	20.00
合金相与相变(第2版)	肖纪美 主编	37.00
薄膜材料制备原理、技术及应用(第2版)	唐伟忠	28.00
金属材料学(第2版)	吴承建	52.00
现代材料表面技术科学	戴达煌	99.00
材料加工新技术与新工艺	谢建新 等	26.00
金属固态相变教程(第2版)	刘宗昌	30.00
	[日]长崎诚三 平林真 著 刘安生 译	38.00



目 录

1 钢铁概论	1
1.1 钢的基本知识	1
1.1.1 基本概念	1
1.1.2 金属和合金的结构及结构缺陷	1
1.1.3 铁碳相图	3
1.2 钢的基本性能及其表征	6
1.2.1 物理性能	6
1.2.2 力学性能	7
1.2.3 化学性能	7
1.2.4 工艺性能	8
1.3 合金元素在钢中的作用	8
1.3.1 碳在钢中的作用	8
1.3.2 硅在钢中的作用	9
1.3.3 锰在钢中的作用	9
1.3.4 硫在钢中的作用	9
1.3.5 磷在钢中的作用	10
1.3.6 氧在钢中的作用	10
1.3.7 氢在钢中的作用	10
1.3.8 氮在钢中的作用	11
1.3.9 镍在钢中的作用	11
1.3.10 铬在钢中的作用	12
1.3.11 铝在钢中的作用	12
1.3.12 钨在钢中的作用	12
1.3.13 钼在钢中的作用	13
1.3.14 钒在钢中的作用	13
1.3.15 钛在钢中的作用	13
1.3.16 铌和钽在钢中的作用	14
1.3.17 砷在钢中的作用	14
1.3.18 锆在钢中的作用	14



1.3.19	铜在钢中的作用	15
1.3.20	钴在钢中的作用	15
1.3.21	硼在钢中的作用	15
1.3.22	锡在钢中的作用	15
1.3.23	铈在钢中的作用	16
1.3.24	铅在钢中的作用	16
1.3.25	锌在钢中的作用	16
1.3.26	稀土元素在钢中的作用	16
1.4	钢的主要热处理工艺	16
1.5	废钢铁的回收与利用	17
1.5.1	严格按照国家环控标准检验和放行	18
1.5.2	严格执行国家有关政策和法规	18
1.5.3	进口废钢铁中夹杂危险废物的检验鉴定	18
参考文献		18
2	样品处理与分离富集技术	20
2.1	样品处理	20
2.1.1	湿法消解	20
2.1.2	熔融技术	22
2.1.3	微波消解	23
2.2	分离技术	25
2.2.1	沉淀分离法	25
2.2.2	萃取分离法	30
2.2.3	离子交换分离	32
2.2.4	其他重要的分离方法	37
参考文献		38
3	仪器分析	39
3.1	原子吸收光谱仪	39
3.1.1	概述	39
3.1.2	仪器工作原理	40
3.1.3	仪器结构	41
3.1.4	原子吸收光谱仪的类型	44
3.1.5	应用	44
3.2	电感耦合等离子体原子发射光谱仪	45
3.2.1	概述	45

3.2.2 仪器工作原理	46
3.2.3 仪器结构	47
3.2.4 应用	50
3.3 光电直读光谱仪	51
3.3.1 光电直读光谱仪的发展	51
3.3.2 发射光谱分析的理论基础	51
3.3.3 仪器组成	52
3.3.4 应用	54
3.4 高频红外碳硫分析仪	55
3.4.1 概述	55
3.4.2 仪器组件及其原理	55
3.4.3 应用	57
3.5 氧氮联测仪	57
3.5.1 概述	57
3.5.2 仪器组件及原理	58
3.5.3 应用	60
3.6 X射线荧光光谱仪	60
3.6.1 概述	60
3.6.2 工作原理	61
3.6.3 仪器结构	62
3.6.4 应用	65
3.7 电感耦合等离子体质谱仪	66
3.7.1 概述	66
3.7.2 仪器原理	66
3.7.3 仪器主要性能	71
3.7.4 应用	71
3.8 放射性检测	71
3.8.1 放射性的来源	71
3.8.2 废旧钢铁金属中放射性的检测	72
3.8.3 便携式辐射测量仪表简介	75
3.8.4 铀的分光光度法分析及分离	76
参考文献	78
4 钢铁材料元素分析	80
4.1 碳、硫含量的测定	80
4.1.1 高频感应炉燃烧红外吸收法测定碳、硫含量	80



4.1.2 非化合碳含量的测定	82
4.2 硅含量的测定	84
4.2.1 硅钼蓝光度法测定酸溶性硅和全硅含量	84
4.2.2 高氯酸脱水重量法测定硅含量	87
4.3 磷含量的测定	89
4.3.1 氟化钠-氯化亚锡磷钼蓝光度法测定磷含量	89
4.3.2 钼磷钼蓝光度法测定磷含量	91
4.4 锰含量的测定	93
4.4.1 过硫酸铵氧化光度法测定锰含量	93
4.4.2 高氯酸氧化亚铁滴定法测定锰含量	94
4.5 铬含量的测定	95
4.5.1 过硫酸铵银盐氧化-亚铁滴定法测定铬含量	95
4.5.2 碳酸钠分离-二苯碳酰二肼光度法测定铬含量	99
4.6 镍含量的测定	101
4.6.1 丁二酮肟直接光度法测定镍含量	101
4.6.2 EDTA 直接滴定法测定镍含量	102
4.7 铜含量的测定	103
4.7.1 双环己酮草酰二脘光度法测定铜含量	103
4.7.2 硫代硫酸钠沉淀分离碘量法测定铜含量	105
4.8 钒含量的测定	108
4.8.1 过硫酸铵氧化-亚铁滴定法测定钒(和铬)含量	108
4.8.2 3,5-二溴-PADAP 过氧化氢光度法测定钒含量	109
4.9 钼含量的测定	111
4.9.1 硫氰酸盐氯化亚锡还原光度法测定钼含量	111
4.9.2 α -安息香肟重量法测定钼含量	112
4.10 钛含量的测定	116
4.10.1 二安替比林甲烷分光光度法	116
4.10.2 MIBK 萃取分离-邻硝基苯基荧光酮光度法测定钛含量	119
4.11 铝含量的测定	120
4.11.1 锌-EDTA 掩蔽铬天青 S 光度法测定铝含量	120
4.11.2 铬天青 S 光度法测定酸不溶铝含量	122
4.12 钨含量的测定——硫氰酸盐光度法	124
4.12.1 方法提要	124
4.12.2 试剂	124
4.12.3 分析步骤	124
4.12.4 注释	125



4.13 钴含量的测定——5 - Cl - PADAB 光度法	126
4.13.1 方法提要	126
4.13.2 试剂	126
4.13.3 分析步骤	126
4.13.4 注释	127
4.14 铈含量的测定——氯磺酚 S 光度法	128
4.14.1 方法提要	128
4.14.2 试剂	129
4.14.3 分析步骤	129
4.14.4 注释	130
4.15 钆含量的测定——对 - 溴苦杏仁酸沉淀分离 - 偶氮胂 III 光度法	130
4.15.1 方法提要	130
4.15.2 试剂	130
4.15.3 分析步骤	131
4.15.4 注释	132
4.16 稀土总量的测定——偶氮氯膦 mA 光度法	132
4.16.1 方法提要	132
4.16.2 试剂	133
4.16.3 分析步骤	133
4.16.4 注释	133
4.17 铈含量的测定——次磷酸钠还原 - 碘量法	134
4.17.1 方法提要	134
4.17.2 试剂	134
4.17.3 分析步骤	134
4.17.4 分析结果的计算	136
4.18 镁含量的测定——铜试剂分离 - 二甲苯胺蓝 II 光度法	136
4.18.1 方法提要	136
4.18.2 试剂	136
4.18.3 分析步骤	137
4.18.4 注释	137
4.19 锡含量的测定——苯基荧光酮 - CTMAB 光度法	138
4.19.1 方法提要	138
4.19.2 试剂	138
4.19.3 分析步骤	138
4.20 硼含量的测定——姜黄素直接光度法	139
4.20.1 方法提要	139



4. 20. 2	试剂	140
4. 20. 3	分析步骤	140
4. 20. 4	注释	141
4. 21	铈含量的测定——载体沉淀 - 钼蓝光度法	142
4. 21. 1	方法提要	142
4. 21. 2	试剂	142
4. 21. 3	分析步骤	142
4. 22	氮含量的测定——脉冲加热惰性气体熔融热导法	144
4. 22. 1	方法提要	144
4. 22. 2	试剂	144
4. 22. 3	仪器和材料	144
4. 22. 4	分析步骤	145
4. 23	氧和氢的测定	146
4. 23. 1	脉冲加热惰性气体熔融红外吸收法测定氧含量	146
4. 23. 2	脉冲加热惰性气体熔融热导法 (或红外法) 测定氢含量	148
4. 24	钢和铌含量的测定——电感耦合等离子体质谱法	150
4. 24. 1	方法提要	150
4. 24. 2	试剂	150
4. 24. 3	仪器与设备	151
4. 24. 4	分析步骤	151
4. 24. 5	结果计算	151
4. 25	铋和砷含量的测定——氢化物发生 - 原子荧光光谱法	152
4. 25. 1	方法提要	152
4. 25. 2	试剂	152
4. 25. 3	仪器	152
4. 25. 4	分析步骤	152
4. 26	硒含量的测定——氢化物发生 - 原子荧光光谱法	154
4. 26. 1	方法提要	154
4. 26. 2	试剂	154
4. 26. 3	仪器	154
4. 26. 4	分析步骤	154
4. 26. 5	结果计算	155
4. 27	银含量的测定——石墨炉原子吸收光谱法	156
4. 27. 1	方法提要	156
4. 27. 2	试剂	156
4. 27. 3	仪器与设备	156



4. 27. 4 分析步骤	156
4. 27. 5 结果计算	158
4. 28 原子吸收光谱法、原子荧光光谱法、火花放电原子发射光谱法、 ICP - AES 法、X 荧光光谱法等分析方法	158
4. 28. 1 原子吸收光谱法测定锰、镍、铜、钴含量	158
4. 28. 2 火焰原子吸收光谱法测定钒量	160
4. 28. 3 氢化物发生 - 原子荧光光谱法测定锑含量	161
4. 28. 4 火花放电原子发射光谱法测定碳素钢、低合金钢、 铸铁及不锈钢中多元素含量	163
4. 28. 5 电感耦合等离子体发射光谱法测定低合金钢中多元素含量	168
4. 28. 6 电感耦合等离子体原子发射光谱法测定生铸铁中多元素含量	172
4. 28. 7 电感耦合等离子体原子发射光谱法测定不锈钢中多元素含量	173
4. 28. 8 X 射线荧光光谱法测定钢铁中多元素含量	175
4. 28. 9 钢铁及合金总铝和总硼含量的测定——微波消解 - 电感耦合 等离子体质谱法	178
4. 28. 10 辉光放电原子发射光谱法测定低合金钢中多元素的含量	180
参考文献	183
5 分析进展	185
5. 1 我国钢铁分析近况	185
5. 1. 1 钢铁化学分析方法概述	186
5. 1. 2 评论	190
5. 2 国外钢铁分析近况	190
5. 2. 1 20 年来国外发表的钢铁分析文献综述	190
5. 2. 2 钢铁分析方法标准	190
5. 2. 3 原子光谱分析法	191
5. 2. 4 分子光谱分析法	196
5. 2. 5 电化学分析法	198
5. 2. 6 中子活化法	200
5. 2. 7 质谱分析法	200
5. 2. 8 色谱分析法	201
5. 2. 9 评论	201
参考文献	201
6 钢材质量的一般要求	215
6. 1 钢材的力学性能要求	215



6.1.1	强度和塑性	215
6.1.2	硬度的要求	217
6.1.3	冲击韧性的要求	217
6.2	钢材的工艺性能要求	218
6.2.1	冷态成型性	218
6.2.2	焊接性	220
6.2.3	铸造性	221
6.2.4	可锻性	221
6.2.5	切削加工性	222
6.2.6	热处理工艺性	223
6.3	钢材的组织表征要求	225
6.3.1	低倍组织	225
6.3.2	微观组织	231
	参考文献	236
7	钢材力学性能试验	237
7.1	拉伸试验	237
7.1.1	拉伸试验原理及拉伸力学性能的测定	237
7.1.2	拉伸试验试样要求	243
7.2	压缩试验	246
7.2.1	压缩试验的工程应用及特点	246
7.2.2	压缩试验时的力学分析	247
7.2.3	压缩试样	248
7.2.4	试验设备	248
7.2.5	试验条件	248
7.2.6	性能测定	249
7.2.7	试验结果处理	252
7.2.8	试验报告	252
7.3	硬度试验	253
7.3.1	布氏硬度试验	253
7.3.2	洛氏硬度试验	258
7.3.3	维氏硬度试验	264
7.4	冲击试验	269
7.4.1	夏比摆锤冲击试验原理	269
7.4.2	夏比冲击试样与试验设备	270
7.4.3	常温冲击试验	273



7.4.4 低温冲击试验	275
参考文献	276
8 钢材工艺性能试验	277
8.1 金属弯曲试验	277
8.1.1 试样	278
8.1.2 试验设备	280
8.1.3 试验程序	281
8.1.4 试验报告	282
8.2 反复弯曲试验	282
8.2.1 试样	282
8.2.2 试验设备	282
8.2.3 试验程序	284
8.2.4 试验报告	285
8.3 金属杯突试验	285
8.3.1 试样	285
8.3.2 试验设备	285
8.3.3 试验程序	286
8.3.4 试验报告	287
8.4 金属顶锻试验	287
8.4.1 试样	287
8.4.2 试验设备	287
8.4.3 试验程序	287
8.4.4 试验报告	288
8.5 管材工艺试验	288
8.5.1 金属管弯曲试验	288
8.5.2 金属管压扁试验	289
8.5.3 金属管扩口试验	290
8.5.4 金属管卷边试验	291
参考文献	293
9 金相检验	294
9.1 低倍组织检验	294
9.1.1 样品的制备	294
9.1.2 酸蚀试验	295
9.2 非金属夹杂物检验	299



9.2.1	非金属夹杂物的形成	299
9.2.2	样品的截取和制备	299
9.2.3	非金属夹杂物显微测定及评定	300
9.2.4	非金属夹杂物检验中应注意的问题	302
9.3	晶粒度检验	304
9.3.1	标准的使用范围及使用概述	304
9.3.2	试样的选取及制备(晶粒显示)	305
9.3.3	晶粒度的测定方法	307
9.3.4	晶粒度测定过程中应注意的技术问题	310
9.4	显微组织	311
	参考文献	312
10	分析结果测量不确定度及评定	313
10.1	测量的基本术语及其概念	313
10.1.1	测量结果	313
10.1.2	测量准确度	313
10.1.3	接受参照值	314
10.1.4	精密度	314
10.1.5	重复性	314
10.1.6	重复性限	314
10.1.7	再现性	314
10.1.8	再现性限	315
10.1.9	测量误差	315
10.1.10	允许差	315
10.1.11	修正值	315
10.1.12	溯源性	315
10.1.13	有证标准物质/标准样品	316
10.1.14	校准与检定	316
10.2	测量不确定度	316
10.2.1	测量不确定度的定义	316
10.2.2	测量误差与测量不确定度	317
10.2.3	分析测试中常见的不确定度因素	318
10.3	不确定度的名称和定义	319
10.4	测量不确定度评定的基本程序	320
10.4.1	测量方法概述	320