

锌的腐蚀与电化学

[加] 章小鸽 (Xiaoge Gregory Zhang) 著
仲海峰 程东妹 等译

Zn



冶金工业出版社

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



英文原版的封底翻译:

美国宾夕法尼亚大学 Digby D. Macdonald 教授作序

“非常独特地融合了科学基础理论和工程中的各种实际问题……是我所知的唯一关于锌的腐蚀与电化学专著……写得非常好的具有里程碑般重要性著作”

——美国 Bethlehem 钢铁公司 Herbert Townsend 博士

“此书远比书题所意指的内容多……大全一般……将在保证锌的有效使用上起重要作用”

——加拿大 McMaster 大学 M. Brian Ives 教授

“作者对此书的处理展示了他对这一整个的确、非常宽广的领域的精通……里程碑般的彻底……此书无论从基础的还是技术的发展方向上都将成为锌的电化学、材料科学和腐蚀方面的权威和最主要的资料来源……强烈地推荐”

——加拿大渥太华大学 Brian E. Conway 教授

锌的广泛用途刺激了高度活跃的研究,产生了大量的极为分散的结果。在这一专著中章小鸽博士收集了来自学院和工业研究的关于锌的电化学和腐蚀的各个方面的所有的理论和实际的信息。

这一开创性的工作,以其最大量的电化学数据,系统地、批评地回顾了与锌的腐蚀、表面后处理、电沉积和电池有关的电化学过程。书中包括了四百多张图表和引自一千多个文献的科学和工程信息。

这是一本对在大学、钢铁工业、汽车工业、表面处理、电池工业、腐蚀服务涉及锌的性能和应用的工作的工程师和科学工作者独一无二的参考书。

需要强调的是,中文版中新加的一章关于锌电池电极的内容作为一个整体是对锌电极迄今最系统和深入的讨论,还没在国际上任何其他地方发表过,旨在使国内的读者比国外更早地了解这些内容。

ISBN 978-7-5024-4672-7



9 787502 446727 >

定价 59.00 元

销售分类建议: 材料科学

本书由加拿大泰克资源公司(Teck Resources)资助出版

锌的腐蚀与电化学

[加]章小鹤(Xiaoge Gregory Zhang) 著
仲海峰 程东妹 等译

北 京

冶金工业出版社

2008

北京市版权局著作权合同登记号 图字:01-2006-4166 号

Corrosion and Electrochemistry of Zinc

Xiaoge Gregory Zhang

© 1996 Plenum Press, New York A Division of Plenum Publishing Corporation

图书在版编目(CIP)数据

锌的腐蚀与电化学 / [加] 章小鸽著; 仲海峰等译. —北京: 冶金工业出版社, 2008. 9

书名原文: Corrosion and Electrochemistry of Zinc

ISBN 978-7-5024-4672-7

I. 锌… II. ①章… ②仲… III. ①锌—腐蚀 ②锌—
电化学分析 IV. TG146. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 141180 号

出版人 曹胜利

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 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 王雪涛 李 梅 美术编辑 张媛媛 版式设计 葛新霞

责任校对 刘 倩 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-4672-7

北京兴华印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2008 年 9 月第 1 版, 2008 年 9 月第 1 次印刷

148 mm × 210 mm; 19.5 印张; 574 千字; 591 页; 1-2000 册

59.00 元

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(100711) 电话: (010)65289081

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	定价(元)
现代锗冶金(精)	48.00
钼化学品导论	25.00
铝合金熔铸生产技术问答	49.00
铜加工生产技术问答	69.00
电炉炼锌	75.00
铜加工产品性能检测技术	36.00
稀有金属手册(上、下)	199.00(上)199.00(下)
铜合金管及不锈钢	20.00
铜及铜合金熔炼与铸造技术	28.00
钨钼冶金	79.00
铜和铜合金挤压生产技术	35.00
镁合金制备与加工技术	130.00
锗的提取方法	30.00
浸出	45.00
湿法冶金污染控制技术	38.00
湿法冶金原理	160.00
湿法提锌工艺与技术	26.00
铜加工技术实用手册	268.00
锆铪冶金	60.00
现代铜湿法冶金	29.50
铟冶金	56.00
钨合金及其制备新技术	65.00

献给

我的母亲张有留、父亲章洪涛

中文版序言

锌是人类社会生产活动中不可缺少的元素,广泛地应用于钢铁材料的防腐蚀镀层、压铸产品、电池阳极材料及电子器件等。近几十年来,为满足人们对锌使用特性的了解和性能的要求,科学工作者对锌的材料和工程性能做了大量的研究工作,并取得许多成果,扩大了锌的应用范围和层次。

《锌的腐蚀与电化学》是由加拿大 Teck Resources 公司技术中心著名华裔学者章小鹤博士编写的一本论述锌及其化合物的电化学、理化性能及其在腐蚀和电池等领域中应用的专著,是他多年工作的结晶。作者在专著中详尽地介绍了锌的电化学基础理论研究成果和实际应用领域的现状,全面地阐述了锌的特性和相关技术应用成果,特别是锌作为钢铁的防腐镀层在冶金工业领域的应用和作为储能材料在电池和能源领域的应用和发展。该书 1996 年一经出版,就受到国际同行的高度评价,美国宾夕法尼亚大学 Digby D. Macdonald 教授把章小鹤博士的专著称为“是我所知的唯一关于锌的腐蚀与电化学专著,非常独特地融合了科学基础理论和工程中的各种实际问题,是写得非常好的具有里程碑般重要性著作”。这是一部在锌的腐蚀与电化学方面具有全面系统性、有较强实用价值的唯一专著。

1998 年我去加拿大访问了位于密西沙迦市的 Teck Resources 公司技术中心,认识了章小鹤博士等华裔科学家。该技术中心在锌和锌的应用研究方面实力雄厚,许多研究处于国际领先水平,其中华裔科学家的贡献功不可没。在随后几年与章小鹤博士的合作交流中,我真正地感受到章小鹤博士不但是一个在国外享有盛誉的专家学者,还是一个具有拳拳赤子情怀的爱国科学家,他对祖国的建

设和发展非常关注,多年来一直积极与国内的大学、科研院所和相关企业进行交流。特别是他为了推动国内镀锌行业的技术进步,多次回国讲学,筹办学术交流会,用其所长为祖国的科技事业服务。

《锌的腐蚀与电化学》一书出版后,章小鸽博士在同国内同行进行长期深入的交流和合作中,感到国内对锌的特性及应用进行研究的论文和书籍非常少,还没有关于锌的腐蚀与电化学及锌应用方面的系统和全面的专著。这本书如果能翻译成中文在国内发行,将填补国内在这方面的空白。钢铁研究总院长期以来一直从事锌的特性及应用研究,认识到此书对中国的钢铁镀锌和电池行业的发展有特别的价值。鉴于此,我们决定合作,翻译出版此书的中文版,同时得到了冶金工业出版社的大力支持。

本专著中文版第1章~第7章、第12章~第15章由仲海峰翻译;第8章、第9章由程东妹翻译;第10章、第11章由刘晓丽翻译;章小鸽博士根据本领域的一些最新发展专门为中文版增写了第16、17两章内容,直接参与了这两章的翻译,并对译文全稿进行了最后的校审和修改。黄建中教授校阅了全书译稿。在此还要感谢高南博士、郝晓东博士、涂抚州博士在翻译和出版过程中给予的支持和帮助。

锌是最重要的电池材料之一,镀锌是保护钢铁腐蚀最有效的方法。在全球对能源和环境高度关注的今天,锌的性能和锌材料的进一步研究和开发对节能和环保都有实际的意义。我衷心希望《锌的腐蚀与电化学》的中文版,作为锌的性能和技术的重要基础文献,对国内的科研技术人员在未来锌材料技术的研发和应用中起到有效的作用。

钢铁研究总院 张启富

2008年8月

中文版前言

本书英文版于1996年出版发行取得了出乎预料的成功,得到了国际上许多专家、学者的高度评价(见封底),成为国际上锌的电化学方面的权威性的资料。现在看来,这可能主要是由于本书的全面性、系统性、针对性、实用性和唯一性。这也证实了当时在前言中所写的:**将所有关于一种金属的理论和实际的信息系统地汇集到单一文献里对使用者是最有益的。**其系统性和唯一性也使本书能够一直保持其使用价值。

在过去的十年间,有关锌的研究、技术和应用有许多新的进展。我有幸能在这期间继续从事锌镀层和电池用锌阳极材料的基础研究和技术开发,获得了许多最新的信息,对锌的科学知识和技术应用的各个方面有了更全面的了解和更深入的理解。在此次中文版里,在英文版内容基础上,我又新增加了两章内容第16章和第17章。第16章介绍与镀锌钢板实际应用有关的新近技术,是对原书的充实;第17章全面介绍了与各种锌电池有关的电化学和锌电极材料技术,是对原书的扩展。需要强调的是,新加的第16章关于锌电池电极的内容作为一个整体是对锌电极迄今最系统和深入的讨论,还没在国际上任何其他地方发表过,旨在使国内的读者比国外的更早地了解到这些内容。另外,我在第1章中添加了一些有关锌的历史、市场和矿冶的基本信息以及未来钢铁镀锌技术发展方向的一点展望。

近年来,我更多地参与锌材料产品的开发和市场应用工作,对知识和技术的针对性、实用性和价值实现有了特别的认识:科学和技术是为生产和应用服务的,其价值应该在实践中实现。这种认识在新添的两章中有明显的体现,其中的内容是按市场的需要和技术

中的问题有针对性地组织的。可以说,新加的两章内容使书中的其他信息与目前应用中的实际需要和问题更有机的结合起来了。

另外,在新加的两章中,我对材料科学和技术问题的考虑和视野也更注重本质和系统层次的行为,同时也更清楚地意识到我们目前对锌的许多电化学的基础研究还是相当粗糙的。这主要得益于撰写《硅及其氧化物的电化学》一书(已有中文版)。过去的几十年中,人们对硅材料研究的广度、深度和精度以及积累的知识是任何其他材料不能比拟的,大量研究工作是用纯度在 99.9999% 以上、平整度在纳米尺度、晶面取向小于 0.1 度的单晶硅上进行的。其他元素的材料包括锌还没有大范围地在像硅这样的电极条件下做实验。因此,对锌电极的行为,在电极条件控制在纳米和原子尺度下,我们还有许许多多的东西可以研究,还可发现许多我们今天还不知道的现象和规律。这些新的现象和规律的发现、理解一定会在更高的层次上促进锌材料技术和应用的发展。

我要特别感谢北京钢铁研究总院张启富博士,他看到了本书对目前中国钢铁和电池行业的科技创新的潜在价值,并与他的团队以极大的热情和付出的大量宝贵时间进行翻译工作。最后,我感谢冶金工业出版社在出版过程中付出的努力和劳动。

章小鸽

Xiaoge Gregory Zhang

xgzhang@interlog.com

序

人类使用锌的历史可回追至古代,锌是一些已知最早的合金系统中的组成之一。虽然金属锌直到 1746 年才被“发现”(被 Margral),锌矿石在《圣经》记载的时代已用于制造黄铜。在 Transylvania 史前的废墟中曾发现含 87% 锌合金。另外,锌作为金属早在十三世纪在印度就被大量生产,远早于作为一种单独的元素被认识。

锌具有多种用途,从作为镀层到压铸产品到电子器件。它还是一种特别适用于高能电池的阳极材料(比如锌/镍,锌/银,锌/空气电池)。因此,锌的电化学,特别是在碱性介质中的电化学,已被大量地研究。在钝化态,锌可因其钝化膜而呈光电化学活性。与作为电池阳极相同的原因,锌被作为牺牲阳极广泛地用于保护船体和管道的腐蚀。确实,除了人们熟知的合金元素的性质外,决定锌的广泛用途的主要因素是其电化学性能,这包括在电偶系列中的优越位置(适合于用来保护铁和钢在中性水环境中的腐蚀)和在碱溶液中可逆的溶解行为。

章小鸽博士从事了将锌的腐蚀和电化学写成专著的这一里程碑的工作。之所以称其为里程碑的原因是有关这一重要金属的文献的高度的分散和琐碎,无疑反映了其广泛的用途;还有,这些文献涉及的范围非常广,从最基础的延伸到非常实际的应用,其中一些是非常难得的有关此金属及其化合物性质的技术报告。将所有的相关信息以逻辑而易读的方式编写成一本专题著作就是章小鸽博士所做的工作。他取得了令人钦赞的成功。此书无疑会成为关于这一重要金属的电化学的权威的信息源。

Digby D. Macdonald
美国宾夕法尼亚大学
材料科学与工程系教授
先进材料中心主任

前 言

锌是用途最广的金属之一,其最重要的应用是保护钢铁的腐蚀。在过去的几十年里,人们在锌的腐蚀和电化学的各个方面做了大量的研究工作。此书是对这些研究中产生的无数结果的一个系统回顾,希望它不仅有益于对此专题有关信息感兴趣的人,而且能激发那些在此领域工作的人去做进一步的研究。

在此书里我尝试将电化学的基础理论与锌的实际腐蚀行为联系起来,把经常脱节的学术界的研究与工业界的需求结合起来。可以注意到那些出自大学的有关腐蚀的书通常将每种金属或合金作为例子或只作一般性的处理,而那些来自工业界的书一般涉及的基础理论很少,然而,从金属的使用者和研究者的角度来看,将所有的关于一种金属的理论和实际的腐蚀信息系统地撰写出来是最有益的。另外,在当今社会里只有十几种金属被大规模地使用,将每一种金属的所有的腐蚀和电化学信息撰写成专著对这些金属在今后的有效使用会起到非常有益的作用。

此书以腐蚀为重心,不涉及锌的其他实际应用电化学。不过,由于包含了大量的电化学信息,它也可作为电沉积、电冶金和电池的电化学过程的参考文献。书中的许多电化学信息是关于阳极溶解、析氢、氧还原和钝化等基本反应的,这些反应在其他的电化学过程中同样是重要的。

本书在选择和处理信息上着重注意了两点:第一是强调那些与锌材料本身相关的性质,而不是那些与锌产品相连的;与锌产品有关的各种行为在讨论特定的物理、化学因素的影响时加以考虑。第二是强调腐蚀数据与腐蚀环境联系的专一性。各种腐蚀现象都尽可能地以详细的数据和环境条件加以叙述。一般化的概括只有当不同的数据表示一致的结果时给出。同样,因为腐蚀环境在一腐蚀

过程中有和被腐蚀的材料相同的重要性,在每章的开头,都对腐蚀环境加以描述并对相关因素加以定义。

本书共分十五章,除第1章描述了锌的一些基本物理、化学性质外,前一部分涉及电化学,后一部分介绍了锌在各个腐蚀环境中的具体腐蚀行为。更明确地,第2章讨论了电化学热力学和动力学,第3章介绍了表面钝化和表面膜的生成,第4章叙述了氧化锌的半导体电化学,第5章是腐蚀电位和腐蚀电流,第6章涉及腐蚀产物,第7章讨论了腐蚀形态。5、6、7这三个综述性的章节,从不同的方面将前一部分中的基础电化学与后一部分中的实际腐蚀现象联系起来。

致谢

在此,我深深地感谢 COMINCO 公司的经理们特别是 E. M. Valeriote 博士和 S. R. Wilkinson 先生始终对我的这一极费时间的工作支持。作为 COMINCO 公司产品技术中心的经理,Valeriote 博士不仅在开始这一项目起了关键作用,而且总是热心地提供建议和各種人力、物力帮助。

我特别感激宾夕法尼亚大学的 D. D. Macdonald 教授,是他建议和鼓励我写这本书,而且在整个过程中给了我许多帮助。另外,我要表达对布鲁塞尔自由大学 M. Pourbaix 教授发自内心的感激,他在我专业上的发展起了很大作用,他的著作和他的精神在我写书的过程中一直激励和感悟着我。

如果没有许多同行的帮助,此书不能达到现在的形态,我衷心地感谢下列人士,他们帮助审阅了书中的各个章节:

美国彼得堡大学 T. D. Burleigh 教授

加拿大 COMINCO 公司 T. G. Chang 博士

加拿大 INCO 公司 B. R. Conard 博士

国际锌研究组织 F. E. Goodwin 博士

加拿大 COMINCO 公司 J. A. Gonzalez 博士

美国电报电话公司贝尔实验室 T. E. Graedel 博士

美国图尔萨大学 T. M. Harris 教授
加拿大麦克大学 B. Ives 教授
加拿大多伦多大学 D. W. Kirk 教授
加拿大路易斯咨询公司 G. P. Lewis 先生
瑞典皇家工程学院 C. Leygraf 教授
美国通用汽车公司研究所 J. H. Linsay 博士
美国宾夕法尼亚大学 D. D. Macdonald 教授
瑞典皇家工程学院 I. Odnevall 博士
美国约翰郝卜金大学 P. Searson 教授
美国白日汉钢铁公司 H. E. Townsend 博士
加拿大 COMINCO 公司 K. Tomantschger 博士
加拿大 COMINCO 公司 E. M. Valeriote 博士
法国居里大学 R. Wiart 教授

路易斯咨询公司的 Lewis 先生和白日汉钢铁公司的 Townsend 博士审阅了全书并提出了许多很有帮助的建议,在此我表示特别的谢意。

在书稿的不同阶段,我得到了 COMINCO 公司产品技术中心许多人的帮助,J. E. Valeriote 先生帮助了制做图表,J. Hwang 先生帮助阅读了第一稿,V. Rodic 和 P. L. Doyle 女士帮助寻找和整理文献,H. Laur 女士帮助邮寄,M. F. Haughton 女士帮助输入修改了的内容,对此我表示真心的感谢。

我想对多伦多登打士西街 292 号的咖啡馆致以谢意,在那里我度过了无数个周末的上午,阅读文献和修改稿子。

我对美国 Plenum 出版公司 Amelia McNamara, Arun Das, Kenneth Howell and Jacqueline Sedman 的工作表示真诚的谢意。

最后,我要表达对我的妻子张丽的感谢,感谢她在我写这本书所需的漫长期间的理解和支持。

章小鸽

于加拿大密西沙迦市

符号定义

符号	定 义	章节
A	surface area, 表面积	5. 2
a_{H^+}, a_{OH^-}	activity of hydrogen and hydroxy ions, 氢和氢氧离子的活度	2. 5
b	Tafel slope, 塔菲尔斜率	2. 5
B	Stern-Geary constant, 思特恩常数	5. 2
C	capacitance, 电容	2. 4
C_d	capacitance of double layer, 双电层电容	2. 6
C_{sc}	capacitance of space charge layer, 空间电荷层	4. 3
C_H	Capacitance of Helmholtz, double layer, 亥姆霍兹双电层电容	4. 3
c_0	bulk concentration, 本体浓度	3. 3
c_s	surface concentration, 表面浓度	3. 3
c_{crit}	critical concentration for passivation, 钝化临界浓度	3. 3
D	diffusion coefficient, 扩散系数	3. 3
E	electrode potential, 电极电位	2. 5
E_0	standard potential, 标准电位	2. 2
$E_{1/2}$	half wave potential, 半波电位	2. 5
E_a	potential of anode, 阳极电位	7. 2
E_b	breakdown potential, 破裂电位	3. 2
E_c	lower edge of conduction band, 导带底	4. 2
	potential of cathode, 阴极电位	7. 2
E_{corr}	corrosion potential, 腐蚀电位	5. 2
E_F	Fermi level, 费米能级	4. 2

E_D	decomposition potential, 分解电位	4.5
E_{fb}	flat band potential, 平带电位	4.3
E_g	voltage of band gap, 禁带电压	4.2
E_{gc}	potential of a galvanic couple, 电偶电位	7.2
E_p	passivation potential, 钝化电位	3.2
E_v	top edge of valance band, 价带顶	4.2
E_s	solution potential, 溶液电位	4.3
e, p	electron and hole, 电子和孔穴	4.3
e	electron charge, 电荷	4.3
F	Faraday constant, 法拉第常数	2.5
$h\nu$	photon, 光子	4.5
i	current density, 电流密度	2.5
$\overleftarrow{i}, \overrightarrow{i}$	oxidation and reduction current, 氧化和还原 电流	5.2
i_0	exchange current density, 交换电流密度	2.5
i_{0a}, i_{0c}	exchange current densities for anodic and cathod- ic reactions, 阳极反应的交换电流密度	7.2
i_a, i_c	anodic and cathodic current density, 阳极和阴极 电流密度	3.4
i_{corr}	corrosion current density, 腐蚀电流密度	5.2
i_g	galvanic current density, 电偶电流密度	7.2
i_{gt}	gravimetric corrosion rate, 失重腐蚀速度	5.7
i_l	limiting current density, 极限电流密度	2.5
i_p	passivation current, 钝化电流	3.2
i_{photo}	photo current density, 光电流密度	4.3
I_a	anodic current, 阳极电流	7.2
I_c	cathodic current, 阴极电流	7.2
I_g	galvanic current, 电偶电流	7.2
K_f	rate constant for forward reaction, 正向反应速度 常数	2.5
L	polarization parameter, 极化系数	7.1

L_s	width of space charge layer, 空间电荷层宽度	4.3
L_p	hole diffusion length, 孔穴扩散系数	4.3
M	molar concentration, 慕尔浓度	2.5
m	molar mass weight, 慕尔质量	5.2
N_c	effective density of states in conduction band, 导带的有效能态密度	4.3
N_D	dopant concentration, 掺杂浓度	4.3
n_0, p_0	bulk electron and hole density, 体相电子和孔穴浓度	4.3
n	charge per atom, 原子的电荷	5.2
n_{ox}, n_{red}	number of oxidizing and reducing species, 氧化和还原粒子数	4.3
n_s, p_s	surface electron and hole density, 表面电子和孔穴浓度	4.3
p_{H_2}, p_{O_2}	partial pressure of hydrogen and oxygen, 氢和氧的分压	5.2
Q_s	immobile charge of space charge layer, 空间电荷层的固定电荷	4.3
R	resistance, 电阻	7.1
	gas constant, 气体常数	2.5
	corrosion rate, 腐蚀速度	8.3
R_{ct}	charge transfer resistance, 电荷传输阻抗	2.6
R_e	electrolyte resistance, 溶液电阻	2.6
R_f	capacitance of corrosion product film, 腐蚀产物膜电容	2.6
R_m	metallic resistance, 金属电阻	7.2
R_p	polarization resistance, 极化阻抗	5.2
R_t	resistance of charge reaction transfer, 电荷传输阻抗	2.6
S	potential scanning rate, 电压扫描速度	3.3
t	time, 时间	3.3
t_+, t_-	transport number, 传送系数	2.3