



THE ESSENTIAL HANDBOOK
FOR WELDING INSPECTION

焊接检验必备

简明焊接检验手册

JIANMING HANJIE JIANYAN SHOUC

◎ 主 编 雷 毅 何 峰

◎ 副主编 王志强 徐坤山

杨 轲 李思武



中国石油大学出版社
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS

简明焊接检验手册

主 编 雷 毅 何 峰

副主编 王志强 徐坤山

杨 轲 李思武

图书在版编目(CIP)数据

简明焊接检验手册 / 雷毅,何峰主编. —东营:
中国石油大学出版社,2016.9
ISBN 978-7-5636-5326-3

I. ①简… II. ①雷…②何… III. ①焊接—检验—
手册 IV. ①TG441.7-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 234355 号

书 名: 简明焊接检验手册
主 编: 雷 毅 何 峰

责任编辑: 方 娜(电话 0532—86983560)

封面设计: 赵志勇 雷 毅

出 版 者: 中国石油大学出版社

(地址: 山东省青岛市黄岛区长江西路 66 号 邮编: 266580)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子邮箱: fangna8933@126.com

排 版 者: 青岛天舒常青文化传媒有限公司

印 刷 者: 青岛国彩印刷有限公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0532—86983584, 86983437)

开 本: 185 mm×260 mm

印 张: 36

字 数: 892 千

版 印 次: 2017 年 5 月第 1 版 2017 年 5 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5636-5326-3

印 数: 1—2000 册

定 价: 138.00 元

简明焊接检验手册

编写人员

主 编

- 雷 毅 (中国石油大学(华东)教授)
何 峰 (中国石油大学(华东)副编审)

副 主 编

- 王志强 (大庆油田三维工程检测有限责任公司高级工程师)
徐坤山 (淄博市质量技术监督局工程师)
杨 轲 (山东省特种设备检验研究院淄博分院高级工程师)
李思武 (淄博金相无损检测有限公司高级工程师)

参编人员

- 王洪珍 (山东特安特种设备检验检测有限公司工程师)
宫奎源 (临朐正诺无损检测有限公司高级工程师)
孙 伟 (无锡市弘泰检测科技有限公司高级工程师)
李彦桦 (山东特种设备检验检测集团有限公司大数据中心工程师)
丁 刚 (山东省特种设备检验研究院日照分院高级工程师)
仲军民 (淄博沃克无损检测有限公司高级工程师)
黄海威 (大庆油田石油天然气工程质量监督站高级工程师)
李思华 (中国石化股份有限公司齐鲁分公司高级工程师)
马良义 (中国安装协会焊接分会委员、高级工程师)
孙 健 (山东省特种设备检验研究院淄博分院工程师)
史新宇 (淄博市产品质量监督检验所工程师)
李 波 (山东省东营市特种设备检验所工程师)
阚 勇 (山东义升环保设备有限公司工程师)

内 容 简 介

本手册以常用数据、公式和图表为主,简明扼要地叙述金属焊接检验问题,突出学科性和实用性。全书共七章,主要包括:焊接检验基础知识、焊接缺欠、非破坏性检验、焊缝无损检测、破坏性检验、焊接性评价及工艺评定、焊接过程质量控制等相关技术知识。本手册主要供从事与焊接制造技术相关的工程技术人员、高级技师、管理人员和质量检验人员使用,也可供高等院校相关专业的师生参考,同时可作为各类焊接检验人员培训学习的教材和解决工程实际问题的工具书。

前言

Preface



金属焊接作为机械设备制造与维修中一种基本的工艺方法,广泛应用于各工业部门。随着科学技术的发展,金属焊接已经从一种传统的热加工工艺发展到了集结构、材料、力学和电子等多门学科理论为一体的综合工程技术。焊接检验作为一项检测产品质量、保证产品安全和延长产品使用寿命所必要的技术手段,在各工业部门中的应用越来越受到重视。焊接检验的基本理论、检验方法已成为工程技术人员的必备知识。为了提高相关管理人员和工程技术人员的队伍素质,满足广大现场焊接检验技术工作人员的需要,特组织编写了《简明焊接检验手册》。该书主要依据人力资源和社会保障部颁布的《职业技能鉴定规范》和《工人技术等级标准》的要求,结合国内目前焊接检验技术的应用现状和发展方向编写,旨在进一步提高相关工作人员对焊接检验技术的认识和其基础理论的知识水平,促进我国焊接检验技术的发展。全书既突出了学科性的知识体系特点,同时也打破了传统专业手册的学科性编写模式。从实用工程应用角度出发,在内容上力求简单和明确,以常用数据和图表为主,简明扼要地叙述金属焊接检验的技术问题;在内容组织上突出实用性原则,以充分体现手册的全面性、新颖性、实践性和准确性等特点。

全书共7章。●第1章为焊接检验基础知识,主要涉及常用资料、焊接基本常识和焊接检验方法等方面的相关知识。●第2章为焊接缺欠,主要涉及焊接缺欠及其类型、焊接缺欠的特征、焊接缺欠的影响因素及防止措施、各种焊接方法的常见焊接缺欠、焊接缺欠对质量的影响、焊接接头缺欠评级、焊接接头缺欠返修等方面的相关知识。●第3章为非破坏性检验,主要涉及外观检查、密封性检验、强度试验、无损检测简介、声发射检验等方面的相关知识。●第4章为焊缝无损检测,主要涉及射线检测、超声波检测、磁力检测、涡流检测、渗透检测、无损检测新技术等方面的相关知识。●第5章为破坏性检验,主要涉及破坏性检验主要方法、焊接试板的力学性能试验、焊接接头的力学性能试验、化学成分分析和金相组织等方面的相关知识。●第6章为焊接性评价及工艺评定,主要涉及金属焊接性的评价、焊接材料质量评定、焊接裂纹试验、焊接工艺评定和焊接质量检验标准等方面的相关知识。●第7章为焊接过程质量控制,主要涉及焊接质量基本概念、焊接过程管理、焊接培训与资格认证等方面的相关知识。本书取材广泛,力求反映焊接检验领域中的各个方面和焊接检验应用中的最新标准。



该书由中国石油大学(华东)雷毅教授和何峰副编审担任主编,大庆油田三维工程检测有限责任公司王志强高级工程师、淄博市质量技术监督局徐坤山工程师、山东省特种设备检验研究院淄博分院杨轲高级工程师、淄博金相无损检测有限公司李思武高级工程师担任副主编,主要参编人员有山东特安特种设备检验检测有限公司王洪珍工程师、临朐正诺无损检测有限公司宫奎源高级工程师、无锡市弘泰检测科技有限公司孙伟高级工程师、山东特种设备检验检测集团有限公司大数据中心李彦桦工程师、山东省特种设备检验研究院日照分院丁刚高级工程师、淄博沃克无损检测有限公司仲军民高级工程师、大庆油田石油天然气工程质量监督站黄海威高级工程师、中国石化股份有限公司齐鲁分公司李思华高级工程师、中国安装协会焊接分会委员马良义高级工程师、山东省特种设备检验研究院淄博分院孙健工程师、淄博市产品质量监督检验所史新宇工程师、山东省东营市特种设备检验所李波工程师、山东义升环保设备有限公司阚勇工程师。本书在编写过程中先后得到了部分高等院校、科研单位和有关企业的大力支持,中国石油大学出版社对本书的出版工作给予了大力支持,在此表示深切的谢意!同时,对书中引用的参考文献作者表示感谢!

由于编者水平所限,书中难免存在不足和错误之处,敬请读者批评指正,以便在构架、内容和细节等方面进一步完善。

编 者

2017年3月于青岛

第 1 章 焊接检验基础知识	1
§ 1.1 常用资料	1
1.1.1 常用物理量	1
1.1.2 化学元素	16
1.1.3 金属及金属材料性能	22
§ 1.2 焊接基本常识	25
1.2.1 焊接图形常用符号	25
1.2.2 电焊机型号的说明	30
1.2.3 焊接材料型号和牌号的代号	30
1.2.4 焊接方法类型及英文缩写	33
1.2.5 坡口基本常识	41
1.2.6 焊缝基本常识	43
1.2.7 接头基本常识	44
1.2.8 焊接位置基本常识	46
§ 1.3 焊接检验方法	47
1.3.1 焊接检验方法分类	47
1.3.2 常用焊接检验方法比较	47
1.3.3 无损检测标准编号和名称	48
第 2 章 焊接缺欠	56
§ 2.1 焊接缺欠及其类型	56
2.1.1 焊接缺欠的定义	56
2.1.2 焊接缺欠的基本分类	56
§ 2.2 焊接缺欠的特征	57
2.2.1 成形缺欠	57
2.2.2 接合缺欠	63



2.2.3	性能缺欠	76
§ 2.3	焊接缺欠的影响因素及防止措施	77
2.3.1	焊接裂纹	77
2.3.2	气孔和夹杂	81
2.3.3	未熔合和未焊透	83
2.3.4	形状缺欠	83
§ 2.4	各种焊接方法的常见焊接缺欠	84
2.4.1	常用熔化焊方法	84
2.4.2	高能束焊	91
2.4.3	钎焊	93
2.4.4	碳弧气刨	94
2.4.5	其他焊接方法	95
§ 2.5	焊接缺欠对质量的影响	100
2.5.1	焊接缺欠对质量的影响	100
2.5.2	体积型缺欠的危害	101
2.5.3	面积型缺欠的危害	101
§ 2.6	焊接接头缺欠分级	102
2.6.1	缺欠分级	102
2.6.2	缺欠评级的依据	107
§ 2.7	焊接接头缺欠返修	107
第3章	非破坏性检验	108
§ 3.1	外观检验	108
§ 3.2	密封性检验	116
3.2.1	气密性试验	116
3.2.2	吹气试验	116
3.2.3	煤油渗漏试验	116
3.2.4	载水试验	116
3.2.5	水冲试验	117
3.2.6	沉水试验	117
3.2.7	氨渗漏试验	117
3.2.8	氨气检漏试验	117
3.2.9	真空试漏法	117
§ 3.3	强度试验	118
3.3.1	气压试验	118
3.3.2	水压试验	118
§ 3.4	无损检测	119
3.4.1	无损检测的方法	119
3.4.2	常用无损检测方法对比	120
3.4.3	常规无损检测方法的选择判据	122

3.4.4 无损检测的系统控制及质量控制	125
§ 3.5 声发射检验	127
3.5.1 声发射检验原理	127
3.5.2 声发射检验方法	128
3.5.3 声发射检测设备	129
第 4 章 焊缝无损检测	134
§ 4.1 射线检测	134
4.1.1 射线检测的物理基础	134
4.1.2 射线探伤设备	136
4.1.3 射线照相法探伤	150
4.1.4 焊缝射线检验的应用实例	161
4.1.5 射线安全防护	162
§ 4.2 超声波检测	164
4.2.1 超声波检测的物理基础	164
4.2.2 超声波探伤设备	166
4.2.3 超声波接触法探伤	195
4.2.4 超声波液浸法探伤	205
4.2.5 超声波检测的应用	207
§ 4.3 磁力检测	208
4.3.1 磁力检测的物理基础	208
4.3.2 磁力探伤设备	210
4.3.3 磁粉探伤工艺	220
4.3.4 磁粉探伤实例	226
§ 4.4 涡流检测	227
4.4.1 涡流检测的物理基础	227
4.4.2 涡流检测设备	229
4.4.3 涡流检测技术	239
4.4.4 涡流探伤的标记与记录	241
4.4.5 涡流探伤的应用实例	241
§ 4.5 渗透检测	242
4.5.1 渗透检测的物理化学基础	242
4.5.2 渗透检测剂	245
4.5.3 渗透检测设备和试块	250
4.5.4 渗透检测技术	253
4.5.5 渗透检测记录和报告	255
4.5.6 渗透检测的应用	256
§ 4.6 无损检测新技术	257
4.6.1 射线检测的新技术	257
4.6.2 超声波检测新技术	258



4.6.3	微波无损检测	260
4.6.4	红外线探伤	262
4.6.5	激光全息探伤	263
4.6.6	热中子探伤	264
4.6.7	液晶探伤	264
4.6.8	其他检测新技术	265
第5章 破坏性检验		267
§5.1	破坏性检验主要方法	267
5.1.1	力学性能试验	267
5.1.2	焊接金相检验	277
5.1.3	化学试验分析	279
§5.2	焊接试板的力学性能试验	283
5.2.1	焊接试板试样的制备	283
5.2.2	焊接试板的拉伸试验	284
5.2.3	焊接试板的弯曲试验	284
5.2.4	焊接试板的冲击试验	285
5.2.5	焊接试板焊接接头裂纹张开位移(COD)试验	287
§5.3	焊接接头的力学性能试验	294
5.3.1	焊接接头机械性能试验取样方法	294
5.3.2	焊接接头冲击试验	298
5.3.3	焊接接头拉伸试验	300
5.3.4	焊缝及熔敷金属拉伸试验	303
5.3.5	焊接接头弯曲试验	305
5.3.6	焊接接头四点弯曲疲劳试验	311
5.3.7	焊接接头硬度试验	313
5.3.8	焊接接头疲劳裂纹扩展速率侧槽试验	319
5.3.9	焊接接头的微型剪切试验	325
§5.4	化学成分分析和金相组织	325
5.4.1	焊接接头的金相检验	325
5.4.2	焊接接头不锈钢晶间腐蚀试验	329
5.4.3	焊接接头 ECO 试验	335
5.4.4	焊接接头的化学分析试验	337
5.4.5	焊缝含氢量测量	340
第6章 焊接性评价及工艺评定		345
§6.1	金属焊接性的评价	345
6.1.1	金属焊接性	345
6.1.2	金属焊接性的评价	346
6.1.3	金属焊接性试验	349

§ 6.2 焊接材料质量评定	359
6.2.1 焊条质量评定试验	359
6.2.2 焊剂质量评定试验	422
6.2.3 焊丝质量评定试验	429
§ 6.3 焊接裂纹试验	481
6.3.1 焊接冷裂纹试验	481
6.3.2 焊接热裂纹试验	485
6.3.3 焊接再热裂纹试验	486
6.3.4 焊接消除应力裂纹的直接试验	487
6.3.5 应力腐蚀性裂纹敏感性试验	487
6.3.6 层状撕裂的直接试验	488
§ 6.4 焊接工艺评定	490
6.4.1 焊接工艺评定基本内容	490
6.4.2 焊接工艺评定实验项目及其实验方法	498
§ 6.5 焊接质量检验标准	504
6.5.1 钢结构焊接外形尺寸	504
6.5.2 钢的弧焊接头缺欠质量分级	506
6.5.3 焊接接头射线照相质量分级	511
6.5.4 焊缝超声波探伤结果的质量分级	514
6.5.5 磁粉检测缺欠磁痕的分级	515
6.5.6 焊缝渗透检测缺欠痕迹的分级	515
第 7 章 焊接过程质量控制	516
§ 7.1 焊接质量基本概念	516
7.1.1 焊接产品质量	516
7.1.2 焊接质量检验和质量控制	520
7.1.3 焊接质量检验过程	533
§ 7.2 焊接过程管理	536
7.2.1 焊接过程管理及组织	536
7.2.2 焊接过程质量管理体系	539
7.2.3 焊接质量管理的原则	539
§ 7.3 焊接培训与资格认证	548
7.3.1 焊接培训与资格认证体系	548
7.3.2 质量体系建立与认证	555
参考文献	560

第1章

焊接检验基础知识

§ 1.1 常用资料

1.1.1 常用物理量

一、基本物理量单位(依据 GB 3100—1993)

1. 国际单位(SI)

表 1-1 国际单位(SI)

SI 基本单位	量的名称	单位名称	单位符号	SI 辅助单位	
	长 度	米	m		
	质 量	千克(公斤)	kg		
	时 间	秒	s		
	电 流	安[培]	A		
	热力学温度	开[尔文]	K		
	物质的量	摩[尔]	mol		
	发光强度	坎[德拉]	cd		
具有专门名称的 SI 导出单位					



具有专门名称的SI导出单位	量的名称	SI 导出单位		
		单位名称	单位符号	其他表示式
				用 SI 单位示例 用 SI 基本单位
	电 容	法[拉]	F	C/V $\text{m}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^4 \cdot \text{A}^2$
	电 阻	欧[姆]	Ω	V/A $\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-2}$
	电 导	西[门子]	S	A/V $\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^3 \cdot \text{A}^2$
	磁通[量]	韦[伯]	Wb	V · s $\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$
	磁通[量]密度,磁感应强度	特[斯拉]	T	Wb/m ² $\text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$
	电 感	亨[利]	H	Wb/A $\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-2}$
	摄氏温度	摄氏度	°C	— K
	光通量	流[明]	lm	— cd · sr
	[光]照度	勒[克斯]	lx	lm/m ² $\text{m}^{-2} \cdot \text{cd} \cdot \text{sr}$
	[放射性]活度	贝可[勒尔]	Bq	— s ⁻¹
SI 基本单位的倍数单位	吸收剂量[指数],比授[予]能	戈[瑞]	Gy	J/kg $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$
	剂量当量[指数]	希[沃特]	Sv	J/kg $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$
	因 数	词头名称		符号
		原文(法)	中 文	
	10 ¹⁸	exa	艾[可萨]	E
	10 ¹⁵	peta	拍[它]	P
	10 ¹²	téra	太[拉]	T
	10 ⁹	giga	吉[咖]	G
	10 ⁶	mèga	兆	M
	10 ³	kilo	千	k
	10 ²	hecto	百	h
	10 ¹	déca	十	da
	10 ⁻¹	déci	分	d
	10 ⁻²	centi	厘	c
	10 ⁻³	milli	毫	m
	10 ⁻⁶	micro	微	μ
	10 ⁻⁹	nano	纳[诺]	n
	10 ⁻¹²	pico	皮[可]	p
	10 ⁻¹⁵	femto	飞[母托]	f
	10 ⁻¹⁸	atto	阿[托]	a

2. 常用物理常数

表 1-2 常用物理常数

名 称	符号	数 值	单位符号
光速(在真空中)	c_0	$2.997\ 924\ 58\times 10^8$	m/s
电磁波速度(真空中)	c_0	$2.997\ 924\ 58\times 10^8$	m/s
电子电荷	e	$1.602\ 189\ 2\times 10^{-19}$	C
电子静止质量	m_e	$9.109\ 534\times 10^{-28}$	g
标准重力加速度	g	9.806 65	m/s ²
声速(在标准条件的空气中)	c	331.4	m/s
绝对零度	T_0	-273.15	°C
纯水三相的绝对温度	T	273.16	K
水的密度(4 °C时)		0.999 973	g/cm ³
水银的密度(0 °C时)		13.595 1	g/cm ³
干空气密度(标准条件下)		0.001 293	g/cm ³
摩尔气体常数	R	8.314 41	J/(mol·K)
理想气体摩尔体积(标准状态下)	V_m	$22.413\ 83\times 10^{-3}$	m ³ /mol
标准大气压	atm	101 325	Pa
热工当量	J	4.186 8	J/cal
真空磁导率	μ_0	$4\pi\times 10^{-7}$	H/m

二、力学物理量和单位

表 1-3 常用力学物理量和单位(依据 GB 3102.3—1993)

量的名称	符号	法定计量单位		非法定计量单位	
		单位名称	单位符号	单位名称	单位符号
质 量	m	千克(公斤)	kg	磅	lb
		吨	t	英担	cwt
		原子质量单位	u	英吨	ton
体 积 质 量, [质量] 密度	ρ	千克每立方米	kg/m ³	磅每立方英尺	lb/ft ³
		吨每立方米	t/m ³	磅每立方英寸	lb/in ³
		千克每升	kg/L		
相对体积质量, 相对 [质量]密度	d				
质量体积, 比体积	v	立方米每千克	m ³ /kg	立方英尺每磅 立方英寸每磅	ft ³ /lb in ³ /lb



续表 1-3

量的名称	符号	法定计量单位		非法定计量单位	
		单位名称	单位符号	单位名称	单位符号
线质量,线密度	ρ_l	千克每米 特[克斯]	kg/m tex	磅每英尺 磅每英寸	lb/ft lb/in
动量	p	千克米每秒	kg·m/s	达因秒 磅英尺每秒	dyn·s lb·ft/s
动量矩,角动量	L	千克二次方 米每秒	kg·m ² /s	尔格秒 磅二次方英尺每秒	erg·s lb·ft ² /s
转动惯量,(惯性矩)	$J, (I)$	千 克 二 次 方 米	kg·m ²	磅二次方英尺 磅二次方英寸	lb·ft ² lb·in ²
力 重量	F $W, (P, G)$	牛[顿]	N	达因 千克力 磅力	dyn kgf lbf
力矩 力偶矩 转矩	M M M, T	牛[顿]米	N·m	千克力米 磅力英尺 磅力英寸	kgf·m lbf·ft lbf·in
压力,压强 正应力 切应力	p σ τ	帕[斯卡]	Pa	巴 千克力每平方厘米 毫米水柱 毫米汞柱 托 工程大气压 磅力每平方英尺 磅力每平方英寸	bar kgf/cm ² mmH ₂ O mmHg Torr at lbf/ft ² lbf/in ²
线应变,(相对变形) 切应变 体应变	ϵ, e γ θ				
泊松比	μ, ν				
弹性模量 切变模量,刚量模量 体积模量,压缩模量	E G K	帕[斯卡]	Pa	达因每平方厘米	dyn/cm ²
[体积]压缩率	κ	每帕[斯卡]	Pa ⁻¹	每达因二次方秒	dyn ⁻¹ ·s ²

续表 1-3

量的名称	符号	法定计量单位		非法定计量单位	
		单位名称	单位符号	单位名称	单位符号
截面二次矩,截面二次轴矩,(惯性矩) 截面二次极矩,(极惯性)	$I_x, (I)$ I_p	四次方米	m^4	四次方英寸	in^4
截面系数	W, Z	三次方米	m^3	三次方英寸	in^3
动摩擦因数(摩擦系数) 静摩擦因素	$\mu, (f)$ $\mu_s, (f_s)$				
[动力]黏度	$\eta, (\mu)$	帕[斯卡]秒	$Pa \cdot s$	泊 厘泊 千克力秒每平方米 磅力秒每平方米 磅力秒每平方英寸	P, Po cP $kgf \cdot s/m^2$ $lbf \cdot s/ft^2$ $lbf \cdot s/in^2$
运动黏度	ν	二次方米每秒	m^2/s	斯[托克斯] 厘斯[托克斯] 二次方英尺每秒 二次方英寸每秒	St cSt ft^2/s in^2/s
表面张力	γ, σ	牛[顿]每米	N/m	达因每厘米	dyn/cm
能[量] 功 势能,位能 动能	E $W, (A)$ $E_p, (V)$ $E_k, (T)$	焦[耳] 瓦[特][小]时 电子伏	J $W \cdot h$ eV	尔格 千克力米 英尺磅力 卡 马力[小]时 英热单位	erg $kgf \cdot m$ $ft \cdot lbf$ cal psh Btu
功率	P	瓦[特]	W	千克力米每秒 英马力 英尺磅力每秒 千卡每[小]时	$kgf \cdot m/s$ hp $ft \cdot lbf/s$ $kcal/h$
质量流量	q_m	千克每秒	kg/s	磅每秒 磅每[小]时	lb/s lb/h
体积流量	q_v	立方米每秒	m^3/s	立方英尺每秒 立方英寸每[小]时	ft^3/s in^3/h