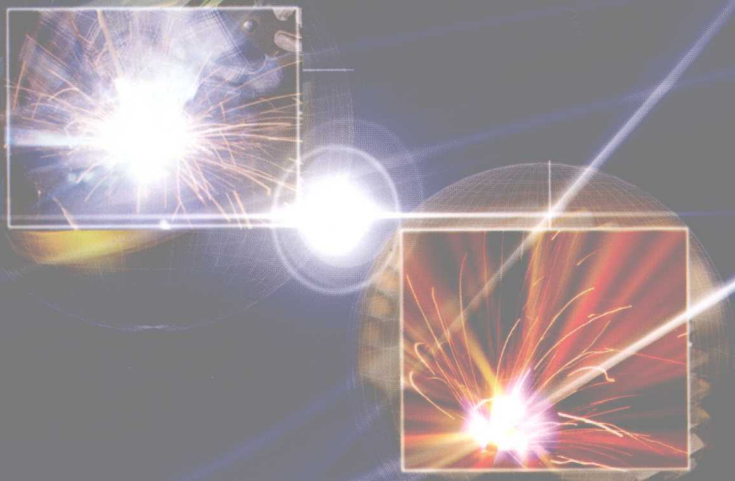
焊接工程质量评定方法及检测技术

刘胜新　　主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

焊接工程质量评定方法及检测技术

主　编　刘胜新

副主编　苗晋琦　潘继民

参　编　卢广玺　夏　静　李杏瑞　孙玉福

陈　永　龙伟民　王乐军　鲁科明

主　审　邬冠华

机械工业出版社

本书全面系统地介绍了焊接工程质量评定的方法、检测技术及应用。内容包括焊接工程质量评定、焊接工程质量工艺评定、焊接缺欠的等级评定、焊接工程质量检测方法、焊接工程质量理化检验、焊接工程质量常规检测、焊接工程质量的无损检测、焊接工程质量控制与管理。全书语言通俗易懂，内容简明扼要，采用了最新国家标准及行业标准中的相关内容，实用性和针对性强。

本书适合从事焊接工程质量评定及检测的工程技术人员、焊接工人使用，也可供相关专业在校师生参考。

图书在版编目（CIP）数据

焊接工程质量评定方法及检测技术/刘胜新主编．—北京：机械工业出版社，2009.6

ISBN 978-7-111-26993-9

Ⅰ.焊… Ⅱ.刘… Ⅲ.焊接—质量检验 Ⅳ.TG441.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2009）第 066856 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

责任编辑：陈保华 版式设计：霍永明 责任校对：陈延翔

封面设计：赵颖喆 责任印制：李 妍

北京振兴源印务有限公司印刷厂印刷

2009 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

148mm × 210mm · 8.125 印张 · 230 千字

0001 – 3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-26993-9

定价：25.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

销售服务热线电话：（010）68326294

购书热线电话：（010）88379639 88379641 88379643

编辑热线电话：（010）88379734

封面无防伪标均为盗版

前　言

工业生产上应用最广泛的连接方法是焊接技术，2008 年全球焊接结构的总量已占钢铁总产量的 50% 以上。从三峡水利工程到西气东输，从“神舟”号载人飞船到奥运场馆，焊接结构在我国经济建设中占有举足轻重的地位。对焊接结构进行理化检验和常规检测，以及对焊接工程质量进行综合评定，是保证焊接工程安全运行的重要手段。

目前，社会上对掌握焊接工程质量评定和检测技能的工程技术人员需求量越来越大。各类院校大多设置了质量检测专业，或在相关专业中设置了质量检测课程，同时各种关于工程质量评定及检测技术的培训也日益增多，焊接工人在生产中也需要自评自检。但市场上供使用的此类图书大多是比较单一的内容，与工程实践结合极少，很大程度上限制了各类院校的教学和广大工程技术人员解决实际问题的能力。

为了促进焊接工程质量评定及检测技术的应用和发展，我们综合自身多年的教学、科研和工作实践，广泛收集了焊接工程质量评定及检测技术方面的有关资料，并调查了评定机构的大量实例，编写了这本《焊接工程质量评定方法及检测技术》，全面系统地介绍了焊接工程质量评定的方法、检测技术及应用。内容包括焊接工程质量评定、焊接工程质量工艺评定、焊接缺欠的等级评定、焊接工程质量检测方法、焊接工程质量理化检验、焊接工程质量常规检测、焊接工程质量的无损检测、焊接工程质量控制与管理。全书语言通俗易懂，内容简明扼要，采用了最新国家标准及行业标准中的相关内容，实用性和针对性强。

本书适合从事焊接工程质量评定及检测的工程技术人员阅读，也可供焊接工人自检自评使用，还可作为中等职业技术学校、各类培训学校相关专业的教材。通过本书的学习，读者可以掌握焊接质量评定

和检测的基本知识，做到正确选择焊接检测方法，拟定检测工艺，进行焊接缺欠识别和焊接工程质量评定，并有效地进行质量管理及控制。

本书由郑州大学的刘胜新任主编，苗晋琦、潘继民任副主编，参加编写的人员还有卢广玺、夏静、李杏瑞、孙玉福、陈永、龙伟民、王乐军、鲁科明。中国无损检测学会射线委员会副主任、南昌航空大学无损检测技术教育部重点实验室的邬冠华教授对全书进行了详细审阅。

在本书的编写过程中，参考了国内外同行大量的文献和相关标准。另外，邓晶、包瑞辉、孙华为、张冠宇、杨娟、赵丹提供了部分相关资料和试验数据，在此谨向有关人员表示衷心的感谢！

由于我们水平有限，错误之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编　者

试读结束，需要全本PDF请购买 www.ertongbook.com

目　录

前言
第1章　焊接工程质量评定 …… 1
1.1　焊接工程质量评定的目的和意义 …… 2
1.1.1　焊接工程质量概述 …… 2
1.1.2　焊接工程质量评定的目的和意义 …… 3
1.2　焊接工程质量评定的依据 …… 4
1.2.1　焊接工程质量控制标准 …… 4
1.2.2　焊接工程质量合于使用标准 …… 5
1.2.3　焊接工程质量评定标准对比 …… 6
1.2.4　在役压力容器质量评定标准 …… 6
1.2.5　在役压力容器质量评定等级 …… 7
1.3　焊接工程质量评定的条件和时机 …… 8
1.3.1　焊接工程质量评定的条件 …… 8
1.3.2　焊接工程质量评定的时机 …… 9
1.4　焊接工程质量评定程序 …… 10
1.5　焊接工程质量评定内容 …… 14
1.5.1　焊接工程质量评定项目和分类 …… 14
1.5.2　焊接工程质量评定方法的选择 …… 14
1.5.3　焊接工程质量评定内容 …… 14
1.6　焊接工程质量的等级评定 …… 26
1.6.1　焊接工程表面质量等级评定 …… 26
1.6.2　焊接工程质量理化检验及无损检测等级评定 …… 26
1.7　焊接工程综合质量的评定 …… 26
1.8　焊接工程质量评定示例 …… 27
第2章　焊接工程质量工艺评定 …… 30
2.1　焊接结构制造工艺概述 …… 30

2.1.1 焊接结构的特点 …… 30
2.1.2 焊接结构的分类 …… 31
2.1.3 焊接结构的制造过程 …… 32
2.1.4 焊接结构工艺过程设计 …… 33
2.2 焊接结构工艺审查 …… 34
2.2.1 焊接结构工艺性审查的目的 …… 34
2.2.2 焊接结构工艺性审查的内容 …… 34
2.2.3 焊接结构工艺性审查的程序 …… 35
2.2.4 焊接结构工艺性审查注意事项 …… 35
2.3 焊接工艺评定 …… 39
2.3.1 焊接工艺评定的目的 …… 39
2.3.2 焊接工艺评定的方式 …… 40
2.3.3 焊接工艺评定的条件 …… 40
2.3.4 焊接工艺评定的规则 …… 40
2.3.5 焊接工艺评定的程序 …… 41
2.3.6 焊接工艺评定报告 …… 41
第3章 焊接缺欠的等级评定 …… 47
3.1 焊接缺欠的分类和特点 …… 47
3.1.1 焊接缺欠的概念 …… 47
3.1.2 焊接缺欠的分类和代号 …… 47
3.1.3 不同焊接方法易产生的各种焊接缺欠 …… 49
3.2 焊接缺欠的危害 …… 60
3.3 焊接缺欠的等级评定 …… 64
3.3.1 焊接缺欠的评级依据 …… 64
3.3.2 焊接缺欠的评级标准 …… 65
3.3.3 常用焊接结构类型及其焊缝质量等级评定 …… 70
3.4 在役压力容器焊接缺欠评定 …… 71
3.4.1 平面缺欠的评定 …… 72
3.4.2 体积缺欠的评定 …… 74
3.5 DL标准与BS标准中焊接缺欠的评定对比 …… 78
第4章 焊接工程质量检测方法 …… 84

4.1　焊接工程质量检测概述 …… 84
4.1.1　焊接工程质量检测的作用和程序 …… 84
4.1.2　焊接工程质量检测方法的分类 …… 86
4.1.3　焊接工程质量检测的依据 …… 88
4.2　焊接工程质量检测的实施 …… 90
4.2.1　焊前检测 …… 90
4.2.2　焊接过程中的检测 …… 93
4.2.3　焊后成品的检测 …… 96
4.3　焊接工程安装调试质量的检测 …… 99
4.4　焊接工程服役质量的检测 …… 100
第5章　焊接工程质量理化检验 …… 103
5.1　焊接接头力学性能试验 …… 103
5.1.1　焊接接头拉伸试验 …… 104
5.1.2　焊缝及熔敷金属拉伸试验 …… 106
5.1.3　焊接接头弯曲试验 …… 107
5.1.4　焊接接头冲击试验 …… 108
5.1.5　焊接接头硬度试验 …… 111
5.2　焊接接头的金相试验 …… 114
5.2.1　焊接接头金相试样的制备 …… 114
5.2.2　焊接接头金相组织检测的内容 …… 118
5.3　焊接接头的化学分析试验 …… 121
5.3.1　焊接接头化学成分分析 …… 121
5.3.2　焊接接头扩散氢的测定 …… 124
5.3.3　焊接接头腐蚀试验 …… 125
第6章　焊接工程质量常规检测 …… 126
6.1　外观检测 …… 126
6.1.1　外观检测工具 …… 126
6.1.2　外观检查方法的分类及内容 …… 132
6.1.3　焊缝外观形状及尺寸的评定 …… 133
6.2　压力试验 …… 135
6.2.1　水压试验 …… 135

6.2.2 气压试验 …… 139
6.3 致密性检测 …… 142
6.3.1 致密性检测方法概述 …… 142
6.3.2 气密性试验 …… 144
6.3.3 煤油渗漏试验 …… 146
6.3.4 氦泄漏试验 …… 147
第7章 焊接工程质量的无损检测 …… 151
7.1 焊接无损检测概述 …… 151
7.2 无损检测符号表示方法 …… 151
7.2.1 无损检测符号要素 …… 152
7.2.2 无损检测方法字母标识代码位置的含义 …… 153
7.2.3 辅助符号的表示方法 …… 154
7.2.4 技术条件及引用标准的表示方法 …… 156
7.2.5 无损检测长度的表示方法 …… 156
7.2.6 无损检测区域的表示方法 …… 157
7.3 无损检测工艺规程 …… 157
7.3.1 无损检测通用工艺规程 …… 157
7.3.2 无损检测工艺卡 …… 158
7.4 射线检测 …… 159
7.4.1 射线检测基本原理 …… 159
7.4.2 射线检测设备 …… 160
7.4.3 射线照相法检测 …… 163
7.4.4 射线检测条件和时机 …… 166
7.4.5 射线检测技术等级选择 …… 166
7.4.6 射线检测评片要求 …… 166
7.4.7 射线检测缺欠识别基础 …… 167
7.4.8 焊接接头常见缺欠及识别特征 …… 169
7.4.9 钢、镍、铜熔焊对接焊接接头射线检测质量等级评定 …… 173
7.4.10 钢、镍、铜制压力管道熔焊环向对接焊接接头射线检测质量等级评定 …… 175

7.4.11　铝、钛及其合金熔焊对接焊接接头射线检测质量等级评定 …… 178
7.4.12　先进射线检测技术 …… 179
7.4.13　射线检测对人体的危害和安全防护 …… 181
7.5　超声波检测 …… 183
7.5.1　超声波检测的基本原理 …… 183
7.5.2　超声波检测设备 …… 183
7.5.3　超声波检测方法 …… 185
7.5.4　超声波检测技术等级 …… 186
7.5.5　超声波检测缺欠的定位、定性和定量 …… 187
7.5.6　超声波检测缺欠的测定与记录 …… 191
7.5.7　超声波检测缺欠等级评定 …… 192
7.6　磁粉检测 …… 193
7.6.1　磁粉检测基本原理 …… 193
7.6.2　磁粉检测材料 …… 195
7.6.3　磁粉检测方法 …… 196
7.6.4　磁粉检测时机 …… 197
7.6.5　磁粉检测条件 …… 197
7.6.6　磁化和退磁 …… 198
7.6.7　磁粉显示的分类和记录 …… 202
7.6.8　磁粉检测质量分级 …… 202
7.7　渗透检测 …… 203
7.7.1　渗透检测基本原理 …… 203
7.7.2　渗透检测材料 …… 203
7.7.3　渗透检测方法 …… 204
7.7.4　渗透检测时机 …… 205
7.7.5　渗透检测条件 …… 205
7.7.6　渗透检测工艺流程 …… 205
7.7.7　渗透显示的分类和记录 …… 208
7.7.8　渗透检测质量评定分级 …… 209
第8章　焊接工程质量控制与管理 …… 210

8.1　焊接工程质量控制概述 …… 210
8.1.1　焊接工程质量控制的内容 …… 210
8.1.2　焊接工程质量控制体系的建立 …… 211
8.2　焊接工程质量的焊前控制 …… 213
8.2.1　焊接工程质量的人员要素控制 …… 213
8.2.2　焊接工程质量的设备要素控制 …… 215
8.3　焊接工程质量的过程控制 …… 217
8.3.1　焊接工程质量的工艺控制 …… 217
8.3.2　焊接工程质量的操作技能控制 …… 218
8.4　焊接工程质量管理 …… 218
8.4.1　焊接工程质量管理的概念 …… 218
8.4.2　焊接工程质量管理的主要环节 …… 219
8.4.3　程控文件的编制 …… 220
附录 …… 221
附录A　金属熔焊接头缺欠的代号、分类及说明（GB/T 6417.1—2005） …… 221
附录B　金属压焊接头缺欠的代号、分类及说明（GB/T 6417.2—2005） …… 232
附录C　金属钎焊接头缺欠的代号、分类及说明［ISO 18279：2003（E）］ …… 240
参考文献 …… 245

试读结束，需要全本PDF请购买 www.ertongbook.com

第1章 焊接工程质量评定

所谓工程质量，就是指企业为了保证生产出合格的产品而具备的全部条件和手段的水平。一般包括人、机器、材料、方法、环境五个方面，简称为“4M1E”。人（Man）是指人的素质，包括人的文化技术水平、操作熟练程度、组织管理能力；机器（Machine）是指机器设备和工艺技术装备的精度、适应程度和维护保养质量；材料（Material）是指原材料、辅助材料、燃料动力、毛坯、外购件、标准件的质量；方法（Method）是指工艺方法、试验检测手段、操作规程和组织管理方法；环境（Environment）是指环境的温度、湿度、清洁度、振动、噪声、美化程度等。

焊接是通过适当的手段使两个分离的固态物体产生原子或分子间结合而成为一体的连接方法。所有涉及到利用焊接技术实现连接成形的过程都可以称为焊接工程。随着科学技术的发展以及焊接技术在各行业中的广泛应用，焊接工程涉及到材料、结构、设计、工艺、生产、质量检测与控制、失效分析、安全卫生和环境保护等众多领域。将焊接工程作为一个系统来研究，可以反应焊接技术综合化发展趋势，推动焊接工程技术的进步。

从近年来我国完成的一些标志性工程可以看出，焊接技术发挥了重要作用。例如：2008 年北京奥运会主会场鸟巢（见图 1-1），就是全部用钢结构焊接而成。三峡水利枢纽的水电装备是一套庞大的焊接系统，包括导水管、蜗壳、转轮、大轴、发电机机座等，其中马氏体不锈钢转轮直径 10.7m、高 5.4m、重

440t，是目前世界上最大的铸—焊结构转轮。“神舟”号飞船的返回舱和轨道舱都是铝合金的焊接结构，其气密性和变形控制是焊接制造的关键。上海泸浦大桥（见图1-2）是世界上最长的全焊钢拱桥。国家大剧院的椭球型穹顶是世界最重的钢结构穹顶。这些大型结构都是我国最新且具有代表性的重要焊接工程。由此可见，焊接技术在国民经济建设中具有重要的作用和地位。

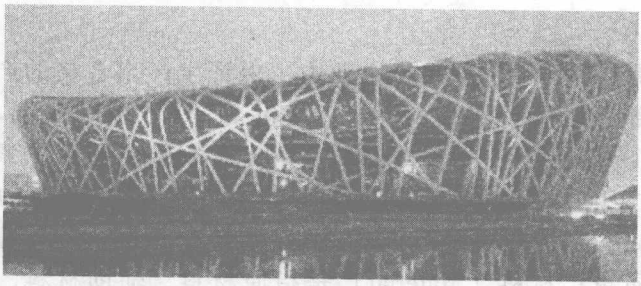


图1-1　鸟巢

图1-2　上海泸浦全焊钢拱桥

1.1　焊接工程质量评定的目的和意义

1.1.1　焊接工程质量概述

直观的焊接工程质量是指焊接产品符合设计技术要求的程度。焊接工程质量不仅影响焊接产品的使用性能和寿命，更重要的是影响人身和财产安全。焊接工程质量通常由产品的设计质量、加工质量、焊

后处理和质量检测等环节来保证。

1）设计质量是指焊接产品所选用的接头类型及其计算强度应满足实际应用的承载能力，焊接方法应适合构件的特点。焊接工艺过程应尽量减小焊后变形和应力集中，同时减少生产耗时和材料消耗，接头设计还要考虑焊后检测的方便易行。

2）加工质量是指所采用的母材、焊丝、焊剂或焊条等焊接材料的性能应符合设计要求，焊机、辅助机具和检测仪器的性能良好。焊前，焊接材料应按规定烘干，工件的焊接坡口要符合要求并清除切割残渣、龟裂和污物。焊接过程中应严格按照工艺规定进行操作。

3）焊后处理包括焊接后工件变形的矫正、余高的打磨处理、接头清洗、构件焊后局部或整体热处理等。

4）质量检测贯穿在产品从设计到成品的整个过程中，应确保所用检测方法的合理性、检测仪器的可靠性和检测人员的技术水平。焊后产品要运用各种检测方法检查接头的外表尺寸、焊接缺欠、致密性、物理性能、力学性能、金相组织、化学成分和耐腐蚀性能。

1.1.2　焊接工程质量评定的目的和意义

影响焊接工程质量的因素很多，一般包括以下几方面：

1）焊接结构的设计因素。

2）金属材料的焊接性。

3）焊前的备料加工质量。

4）填充材料的成分及力学性能。

5）焊接工艺规范选择的合理性。

6）焊工的操作技术水平和焊接设备的状态。

7）焊后热处理。

8）焊后检测人员、手段、原理、对结果的判断。

这些因素贯穿在整个焊接成形过程中。由于焊接结构自身的特点，在成形过程中容易产生焊接缺欠。焊接缺欠中危害性最大的是裂纹，其次是未焊透、未熔合和夹渣、气孔等缺欠。有的缺欠是允许存在的，其数量、性质依产品的使用条件和质量评定标准确定。如焊缝

余高值过大，对受静载荷的产品是允许的，但对受频率较高的循环疲劳载荷的产品则是不允许的。

只有通过正确合理的焊接工艺制定、精确的操作和对焊接前、中、后的每一个工作环节进行细致的检测，才能确保焊接工程质量达到技术标准的量化要求，对焊接工程质量的优劣最终作出准确的评价。

当某分项焊接工程或整个焊接工程完成时，经大量的焊接检测工作后，应准确作出评价，从而确定其焊接工程的质量，决定是否转入下道工序或投入使用，这是焊接工程质量评定的主要内容。焊接工程质量评定是焊接工程检测和工程验收的连接枢纽，是焊接工程质量控制的重要环节，是对焊接工程质量进行最终量化评价的一项重要工作。

焊接工程质量评定工作应结合质量检查与工程验收同时进行。评定时，要坚持实事求是的基本原则，严格按照相应的标准进行评定，最终评出的质量等级应具有可靠性和可比性，可以准确地反映焊接工程的真实质量状况。

1.2　焊接工程质量评定的依据

焊接工程质量评定标准是进行焊接工程质量评定的依据，进行焊接工程质量评定是确保焊接结构安全运行的有效措施。目前应用较多的是根据 GB/T 12467.1～4—1998《焊接质量要求　金属材料的熔化焊》的相关规定，总结出焊接工程质量评定的总体依据和评定标准。从不同的角度出发，焊接工程质量评定标准分为两类：一类是焊接工程质量控制标准；另一类是适合于焊接产品使用要求的标准。这两类标准的出发点、原理、评定方法以及对检测的具体要求都有较大的差别。

1.2.1　焊接工程质量控制标准

焊接工程质量控制标准是从保证焊接产品的制造质量角度出发，把焊后存在的所有焊接缺欠，看成是对焊缝强度的削弱和对结构安全的隐患，不考虑具体使用情况的差别，而要求把焊接缺欠降到最低限度。以焊接产品制造质量为目的而制定的国家级、部级以

及企业内部焊接工程质量验收标准，都属于质量控制标准，例如：GB/T 12467.1～4—1998《焊接质量要求　金属材料的熔化焊》、GB/T 3323—2005《金属熔化焊焊接接头射线照相》等。建立焊接质量控制标准的目的是确保焊接结构的质量保持在某一水平，标准所包含的条文及控制要素是焊接生产实践中经验的总结。采用这类标准进行工程质量评定后的焊接结构，在使用过程中的安全系数大；但因为安全裕度大、评定结果偏于保守，经济性较差。

1.2.2　焊接工程质量合于使用标准

适合于使用要求的标准简称“合于使用”，这种要求是相对“完美无缺”原则而言的。在焊接结构的发展初期，要求其在制造和使用过程中不能有任何缺欠存在，即结构应完美无缺，否则就要返修或报废。后来英国焊接研究所通过大量试验证明，在有大量气孔存在的铝合金焊接接头中，气孔缺欠并没有对接头强度产生任何不良的影响。如果进行返修反而会造成结构使用性能的降低。基于这一研究，英国焊接研究所首先提出了“合于使用”的概念。现已逐渐发展成为国内外通用的一条原则，其内容也逐步得到充实，并且有了明确的定义、原理和具体要求。

在役压力容器基本上都存在各种各样的焊接缺欠，在对其定期检修中，常发现一些在质量控制标准中不允许存在的缺欠，其中一些缺欠是当前制造标准所不允许的“超标”缺欠。如果将所有的“超标缺欠”一律返修或将容器判为废品，是很不经济的；而且过多的缺欠修复，往往会产生更有害的或不易检测的缺欠。工程实践证明，按质量控制标准检测合格的压力容器，无疑可以投入使用；但按质量控制标准检测不合格的压力容器，仍有不少还在使用且具有一定的安全性，说明质量不合格并不等于使用不合格。

随着断裂力学的发展和应用，科技工作者提出了“合于使用”的原则，用以取代“制造标准”中对在役容器中缺欠的过分要求。在工程实践中从“合于使用”的角度出发，对“超标缺欠”加以区

别对待，只返修对安全运行造成威胁的危险性缺欠，而保留对安全运行不构成威胁的缺欠。以合于使用为目的而制定的这一类规定，即所谓的“合于使用”标准。这类规范是指导性文件，并不是强制性标准。

“合于使用”标准的主要作用是对制造和使用中发现的缺欠进行评定，确定它们对容器使用性能的影响，计算许用应力。

1.2.3　焊接工程质量评定标准对比

质量控制是一个努力目标，标准的安全系数大，评定结果偏于保守，经济性差。合于使用的标准，则充分考虑存在缺欠焊接结构的使用条件，以合于使用为目的，以断裂力学为基础，在综合分析影响安全的各种因素后，努力减少过大的安全裕度。这类标准是在大量的试验和理论分析基础上提出的，是一种经济性好而又可靠可信的评定标准。

两类质量评定标准在类别、目的、基础、使用难易程度、检测要求、经济性和保守性方面的对比见表 1-1。

表 1-1　两类质量评定标准的对比

对比内容 / 标准	标准类别	目的	基础	使用难易程度	检测要求	经济性	保守性
质量控制标准	质量控制	质量合格	经验	很容易	常规	差	大
合于使用标准	合于使用	使用合格	断裂力学	较难	对缺欠定量要求高	好	小

1.2.4　在役压力容器质量评定标准

众所周知，在锅炉、压力容器、压力管道制造和安装过程中，焊接工程的质量非常重要。焊接部位最容易产生焊裂、未熔合、未焊透、咬边、夹杂物和晶界开裂等缺欠。锅炉、压力容器由于其特殊的工作环境，在设计、制造、安装、使用、检测、改造和维修过程中都要接受 TSG R0002—2005《超高压容器安全技术监察规程》和 TSG R0003—2007《简单压力容器安全技术监察规程》的监察。在用锅

试读结束，需要全本PDF请购买 www.ertongbook.com