



中国石油天然气集团公司统编培训教材

工程建设业务分册

石油工程建设焊接技术

《石油工程建设焊接技术》编委会 编

石油工业出版社

中国石油天然气集团公司统编培训教材

工程建设业务分册

石油工程建设焊接技术

《石油工程建设焊接技术》编委会 编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书主要介绍了石油工程建设项目施工的焊接专业知识,包括焊接技术现状和发展趋势,石油工程建设焊接技术基础知识,油气田典型工程焊接技术、长输管道焊接技术、炼化建设焊接技术、特种焊接技术,焊接质量管理和焊接 HSE 管理等内容。

本书适合从事石油工程建设项目施工的中、高级焊接专业技术人员及相关的管理人员阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

石油工程建设焊接技术 / 《石油工程建设焊接技术》编委会编.
北京:石油工业出版社,2012.8

(中国石油天然气集团公司统编培训教材)

ISBN 978-7-5021-9173-3

I. 石…

II. 石…

III. 油田建设-焊接-技术培训-教材

IV. TE4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 158355 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

编辑部:(010) 64523562 发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月第 1 次印刷

787×960 毫米 开本:1/16 印张:20.25

字数:331 千字 印数:1—5000 册

定价:80.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

《中国石油天然气集团公司统编培训教材》

编 审 委 员 会

主 任 委 员：李万余

副主任委员：金 华 白泽生

委 员：王志刚 连建家 胡宝顺 马晓峰

卢丽平 杨大新 吴苏江 杨 果

方朝亮 王同良 刘江宁 卢 宏

周国芳 雷 平 马新华 戴 鑑

上官建新 陈健峰 秦文贵 杨时榜

何 京 张 镇

秘 书：张玉文 王子云

《石油工程建设焊接技术》编委会

主 任：白玉光

副主任：杨庆前 杨时榜

委 员：于国锋 孙 申 田创举 赵彦龙 辛荣国

刘春贵 朱广杰 李松柏 孟 博 李明华

陈中民 何凤轩 刘晓明 周 平 徐 鹰

陶 涛 王 立

《石油工程建设焊接技术》编审人员

主 编：李建军

执行主编：马 佳

副 主 编：于成科 郑立娟 刘光云

编写人员：于英姿 韩德辉 王 义 孙冬梅 张晓亮

李建波 张艳玲 袁吉伟 刘增峰 孙艳秋

张先龙 郭建明 倪来兴 都宏海 刘永庆

审定人员：刘家发 刘红坚 胡国江

序



企业发展靠人才，人才发展靠培训。当前，集团公司正处在加快转变增长方式，调整产业结构，全面建设综合性国际能源公司的关键时期。做好“发展”、“转变”、“和谐”三件大事，更深更广参与全球竞争，实现全面协调可持续，特别是海外油气作业产量“半壁江山”的目标，人才是根本。培训工作作为影响集团公司人才发展水平和实力的重要因素，肩负着艰巨而繁重的战略任务和历史使命，面临着前所未有的发展机遇。健全和完善员工培训教材体系，是加强培训基础建设，推进培训战略性和国际化转型升级的重要举措，是提升公司人力资源开发整体能力的一项重要基础工作。

集团公司始终高度重视培训教材开发等人力资源开发基础建设工作，明确提出要“由专家制定大纲、按大纲选编教材、按教材开展培训”的目标和要求。2009年以来，由人事部牵头，各部门和专业分公司参与，在分析优化公司现有部分专业培训教材、职业资格培训教材和培训课件的基础上，经反复研究论证，形成了比较系统、科学的教材编审目录、方案和编写计划，全面启动了《中国石油天然气集团公司统编培训教材》（以下简称“统编培训教材”）的开发和编审工作。“统编培训教材”以国内外知名专家学者、集团公司两级专家、现场管理技术骨干等力量为主体，充分发挥地区公司、研究院所、培训机构的作用，瞄准世界前沿及集团公司技术发展的最新进展，突出现场应用和实际操作，精心组织编写，由集团公司“统编培训教材”编审委员会审定，集团公司统一出版和发行。

根据集团公司员工队伍专业构成及业务布局，“统编培训教材”按“综合管理类、专业技术类、操作技能类、国际业务类”四类组织编写。综合管理类侧重中高级综合管理岗位员工的培训，具有石油石化管理特色的教材，以自编方式为主，行业适用或社会通用教材，可从社会选购，作为指定培训教材；专业技术类侧重中高级专业技术岗位员工的培训，是教材编审的主体，

按照《专业培训教材开发目录及编审规划》逐套编审，循序推进，计划编审300余门；操作技能类以国家制定的操作工种技能鉴定培训教材为基础，侧重主体专业（主要工种）骨干岗位的培训；国际业务类侧重海外项目中外员工的培训。

“统编培训教材”具有以下特点：

一是前瞻性。教材充分吸收各业务领域当前及今后一个时期世界前沿理论、先进技术和领先标准，以及集团公司技术发展的最新进展，并将其转化为员工培训的知识和技能要求，具有较强的前瞻性。

二是系统性。教材由“统编培训教材”编审委员会统一编制开发规划，统一确定专业目录，统一组织编写与审定，避免内容交叉重叠，具有较强的系统性、规范性和科学性。

三是实用性。教材内容侧重现场应用和实际操作，既有应用理论，又有实际案例和操作规程要求，具有较高的实用价值。

四是权威性。由集团公司总部组织各个领域的技术和管理权威，集中编写教材，体现了教材的权威性。

五是专业性。不仅教材的组织按照业务领域，根据专业目录进行开发，且教材的内容更加注重专业特色，强调各业务领域自身发展的特色技术、特色经验和做法，也是对公司各业务领域知识和经验的一次集中梳理，符合知识管理的要求和方向。

经过多方共同努力，集团公司首批39门“统编培训教材”已按计划编审出版，与各企事业单位和广大员工见面了，将成为首批集团公司统一组织开发和编审的中高级管理、技术、技能骨干人员培训的基本教材。首批“统编培训教材”的出版发行，对于完善建立起与综合性国际能源公司形象和任务相适应的系列培训教材，推进集团公司培训的标准化、国际化建设，具有划时代意义。希望各企事业单位和广大石油员工用好、用活本套教材，为持续推进人才培训工程，激发员工创新活力和创造智慧，加快建设综合性国际能源公司发挥更大作用。

《中国石油天然气集团公司统编培训教材》

编审委员会

2011年4月18日

前 言



在 21 世纪新能源、新材料层出不穷的时代里,焊接仍将是一种重要的、应用量大、适用面广的金属及非金属材料连接方法。自新中国成立以来,特别是改革开放后,我国焊接制造业通过快速发展已经形成相当大的规模,在各行各业都得到广泛应用。进入 21 世纪以后,焊接技术已经渗透到石油、石化、航空、航天、机械制造、交通运输、核能等多个领域,焊接技术的高低直接影响到产品的质量、可靠性、使用期以及生产的成本、效率等。而且随着新材料、新结构的出现,对焊接技术也提出了更高的要求。

在我们石油工程建设领域,焊接是极为重要的主要专业技术之一。如在油气田地面建设、长输管道建设、炼化装置建设以及配套设施的安装中,焊接技术是涉及的关键技术和关键工序,焊接工作量占到安装工程总工作量的 40% ~ 50%,焊接的质量和水平是评价工程质量的重要指标,焊接效率直接影响到工程建设的工期和建造成本。因此,焊接技术在石油工程建设中具有举足轻重的地位和作用。

本教材编写的目的和宗旨是通过编写本书,推进石油工程建设专业技术人员了解和掌握石油工程建设项目施工的焊接专业知识,掌握油气田地面工程、长输管道建设、炼化工程焊接技术、焊接工艺的设计以及焊接质量的控制方法。本教材通过大量的案例分析,有助于快速提升中、高级焊接专业技术人员解决现场实际问题的能力,实现对专业技术人员的继续教育,适应现代施工技术对高层次焊接专业人才的需求,为企业持续性发展提供有力保障。

本教材共分为八章,其中,前言和第一章绪论主要介绍焊接技术现状和发展趋势,由李建军编写;第二章和第三章主要介绍石油工程建设焊接技术基础知识和油气田典型工程焊接技术,由大庆油田工程建设有限公司培训中心郑立娟、张艳玲、袁吉伟、刘增峰、孙艳秋、张先龙、郭建明、倪来兴、

都宏海、刘永庆编写；第四章、第六章和第八章主要介绍长输管道焊接技术、特种焊接技术和焊接 HSE 管理，由中国石油管道焊接培训中心李建军、马佳、刘光云、于英姿、韩德辉、王义、孙冬梅编写；第五章和第七章主要介绍炼油化工建设焊接技术和焊接质量管理，由中国石油天然气第一建设公司丁成科、张晓亮、李建波编写。李建军、马佳、刘光云负责全书的统稿工作。

由于水平有限，难免有错误和不足之处，恳请读者批评指正。

《石油工程建设焊接技术》编委会

2012 年 6 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 世界焊接技术现状及发展趋势	1
第二节 我国焊接技术现状及发展趋势	3
第三节 我国石油工程建设焊接技术现状及发展趋势	4
第二章 石油工程建设焊接技术基础知识	8
第一节 焊接接头组成及形式	8
第二节 常用焊接材料	11
第三节 常用焊接设备	33
第四节 常用焊接方法	48
第五节 焊接应力与变形	76
第三章 油气田典型工程焊接技术	93
第一节 油气田工程常用金属材料	93
第二节 油气田工程常用焊接材料	105
第三节 油气田工程常用焊接设备	108
第四节 典型油气田焊接案例	111
第四章 长输管道焊接技术	122
第一节 管线钢	122
第二节 焊材	129
第三节 管道焊接设备及辅助设备	132
第四节 长输管道焊接方法及工艺	144
第五节 长输管道工程焊接案例	152
第五章 炼化建设焊接技术	160
第一节 炼油化工建设常用材料	160

第二节	专用焊接设备及辅助设备·····	165
第三节	炼油化工建设常用焊接方法及工艺·····	171
第四节	炼油化工建设焊接工程案例·····	194
第六章	特种焊接技术·····	219
第一节	摩擦焊·····	219
第二节	螺柱焊·····	224
第三节	电阻焊·····	231
第七章	焊接质量管理·····	237
第一节	焊接缺陷的产生机制及控制·····	237
第二节	焊接检验·····	252
第三节	焊接工程质量管理·····	269
第八章	焊接 HSE 管理 ·····	280
第一节	HSE 管理基础知识 ·····	280
第二节	石油工程建设 HSE 管理执行标准介绍 ·····	281
第三节	职业健康、安全和环境保护知识·····	284
参考文献 ·····		312

第一章 绪 论

焊接俗称“钢铁裁缝”，是一种应用量大、适用面广的金属及非金属连接技术，在 21 世纪的知识经济时代里，仍将是一种重要的金属材料成形加工方法。自新中国成立以来，特别是改革开放后，我国焊接制造业通过快速发展已经形成相当规模，在各行各业得到广泛应用。进入 21 世纪以后，焊接技术已经渗透到工程制造业的各个领域，焊接技术的高低直接影响到产品的质量、可靠性、使用期以及生产的成本、效率和市场反应速度等。

在石油工程建设技术领域，焊接也是极为重要的主要专业技术之一。如在油气田地面建设、长输管道建设、炼化装置建设以及配套设施的安装中，焊接技术是涉及到的关键技术和关键工序，焊接工作量占到安装工程总工作量的 40% ~ 50%，焊接的质量和水平是评价工程质量的重要指标，焊接效率直接影响到工程建设的工期和建造成本。因此，焊接技术在石油工程建设中具有举足轻重的地位和作用。

下面就石油工程建设常用的焊接技术进行简要阐述。

第一节 世界焊接技术现状及发展趋势

在科学技术飞速发展的今天，焊接已经从一种传统的热加工工艺发展到了集材料、冶金、结构、力学、电子等多门类科学为一体的工程工艺学科。近年来，随着相关学科技术的发展和进步，已经开始对能量束焊接、太阳能焊接等新的焊接方法进行研究，并在焊接工艺自动控制方面取得了很大的进展。采用电子计算机控制和工业电视监视焊接过程，使焊接过程便于控制，有助于实现焊接自动化。工业机器人的问世，使焊接工艺自动化达到一个崭新的阶段。

当前,焊接技术的先进水平已经成为衡量一个国家工业发达程度的重要指标。世界各工业发达国家都非常重视焊接技术的发展与创新,基本上形成了大学、研究所和企业的三级研究开发体系。各主要工业发达国家都成立了国家级的焊接研究机构,如英国的焊接研究所(TWI)、美国的爱迪生焊接研究所(EWI)、法国焊接研究所(FWI)、日本的连接与熔接研究所(JRWI)、德国亚琛大学的焊接研究所(ISF)和德国焊接学会(DVS)下属的分布在全国各地的焊接研究与培训中心(SLV)等。

剖析现代的焊接技术,我们可以发现其愈发显现出以下几大特征:

(1) 焊接已成为最流行的连接技术。

焊接,因其极具竞争力的性价比被普遍应用于各个领域。

(2) 焊接显现了极高的技术含量和附加值。

当今世界的许多最新科研成果、前沿技术和高新技术,例如,计算机、微电子、数字控制、信息处理、工业机器人、激光技术等,已经被广泛地应用于焊接领域,这使得焊接的技术含量得到了空前的提高,并在制造过程中创造了极高的附加值。

(3) 焊接已成为关键的制造技术。

焊接作为组装工艺之一,通常被安排在制造流程的后期或最终阶段,因而对产品质量具有决定性作用,也使其成为一种关键的制造技术。

(4) 焊接已成为现代工业不可分离的组成部分。

在工业化最发达的美国、日本等国家,焊接被视为“制造业的命脉,而且是未来竞争力的关键所在”。其主要根源就是基于这样一个事实:许多工业产品的制造已经无法离开焊接技术的使用。焊接已经深深地融入了现代工业经济中,并在其中显现了十分重要,甚至是不可替代的作用。

从世界范围看,焊接技术的发展趋势主要表现在以下两个方面。

(1) 从焊接工程观点出发,焊接方法可分为传统的焊接方法、高能束焊接方法和特种焊接方法三类。而这三大类焊接方法在今后都将有重大发展。

在传统的焊接方法中,熔化极气体保护焊的发展速度最快,其次是钨极氩弧焊和埋弧焊。焊条电弧焊将逐渐被熔化极惰性气体保护焊(MIG焊)、熔化极活性气体保护焊(MAG焊)和埋弧焊所淘汰。在国外,工业发达国家中80%以上的焊接工作量由MIG焊、MAG焊和埋弧焊所完成。

在工业生产中得到应用的等离子弧焊、电子束焊和激光束焊等高能束焊接方法在各行各业得到应用。这些焊接方法的共同特点是热源的能量密度高,可以一次穿透较厚的工件而无须预制坡口,而且束流的中心温度相

当高,可以熔化任何金属材料,因此具有较高的经济价值,工业应用前景广阔。

在工业发达国家,焊接机器人等特种焊接方法的发展也相当迅速,在工业生产中已实际应用的焊接机器人分为两大类:一类是接触点焊机器人;另一类是弧焊机器人。弧焊机器人中,除最常见的 MIG 焊机器人外,还有冷丝和热丝 TIG 焊机器人、等离子弧焊和等离子粉末喷焊机器人、半自动二氧化碳碳体保护焊(CO_2 焊)和 MAG 激光焊机器人。

(2) 从焊接结构生产过程的机械化和自动化方面看,随着焊接技术的发展,机械化和自动化程度会越来越高。世界工业发达国家焊接机械化和自动化的程度都已达 60% 以上,个别国家如日本和美国已超过 80%。

第二节 我国焊接技术现状和发展趋势

我国是世界上较早应用焊接技术的国家之一。远在商周时期的一些金属制品,就已采用了焊接技术。我国大致在 20 世纪 20 年代开始了电弧焊的应用。随着国民经济的迅速发展,焊接技术的应用已遍及国防、造船、航空航天、化工、石油、冶金、电力、建筑、桥梁、机车车辆、机械制造等各行各业,大量的焊接自动生产线投入生产,还设计制造了各种焊接设备,生产了 160 多种焊条和多种焊丝、焊剂等焊接材料。在焊接理论研究方面,建立了焊接研究所和焊接设备研究所;在许多高、中等职业院校设置了焊接专业,为发展焊接科学技术和培养焊接技术人才创造了良好的氛围。

近几年来, CO_2 气体保护焊使用量迅速增加, MIG 焊、MAG 焊和埋弧焊等自动化、半自动化焊接方法在一些场合也逐步代替手工焊。焊接机械化、自动化技术改造加快,焊接机器人的数量在汽车、汽车零部件、机车车辆等制造业中明显增多,使焊接自动化率有所提高。虽然我国在焊接理论研究的某些方面以及少数焊接技术研究方面达到了国外当代水平,但是我国焊接技术总体水平及其在传统产业中的应用情况与发达国家相比还存在相当大的差距,具体表现在以下几方面。

(1) 焊接机械化、自动化水平低。目前,我国整体焊接工作大部分还是用焊条电弧焊来完成的,自动焊比例只占到 20% 左右,与发达国家的 70% ~ 80% 还有很大差距。

(2) 焊接设备和焊接材料国产化研究不足。目前我国大多数新式焊机多是手工电弧焊焊机,一些企业使用的自动焊、半自动焊焊机多数依靠进口;另外,国产焊接材料品种不能满足当前各种材料的焊接,质量也不是太稳定。特别是专用焊接设备或材料,进口比例比较大,这些一方面增加了我国焊接结构的成本,另一方面也严重制约着我国焊接技术的发展。

(3) 焊接操作人员整体理论水平偏低,焊接专业技术人才缺口较大。据调查,目前焊接操作人员整体文化素质、理论水平和操作技能都偏低。而随着新材料、新技术、新工艺的不断出现,对焊接操作人员的要求越来越高,不但需要具有一定的文化知识,还要有一定的专业理论水平。一些自动焊、半自动焊设备的使用,要求焊工不仅需要掌握操作技能,还要懂得必要的电气、自动化控制方面的原理。在焊接管理和科研方面,焊接专业技术人员也相对缺少,特别是高学历、熟悉全套生产流程的焊接工程师、有经验的焊接结构设计师及焊接科研高技能人才缺口较大。这些因素也都严重制约着我国焊接技术的发展。

我国当前焊接技术的发展虽然存在一些制约发展的因素,但也面临着广大机遇。当前我们处在新兴技术迅速发展的时代,特别是我国加入世界贸易组织(WTO)后,能够把国际上最先进的焊接技术、焊接设备和焊接材料引进国内,同时也加大了与发达国家焊接技术的交流,这为快速提高我国焊接技术水平,实现机械化、自动化提供了很好的机会。

第三节 我国石油工程建设焊接技术 现状和发展趋势

我国石油工程建设行业的焊接技术水平与我国总体焊接水平相适应。下面从焊接工艺方法、焊接设备、焊接材料和工艺装备等方面阐述一下我国石油工程建设焊接技术的现状和发展趋势。

一、焊接工艺方法

下面介绍石油工程建设常用的几种焊接方法。

1. 焊条电弧焊

焊条电弧焊 (SMAW) 具有工艺灵活、适应性强、质量好、易于通过工艺调整来控制焊接变形和应力的优点, 设备简单、操作方便, 适用于各种材料、各种形状工件的焊接, 因此, 在石油工程建设现场应用较多。

2. 埋弧焊

埋弧焊 (SAW) 具有焊缝质量高、焊接速度快、生产率高和劳动条件好等优点, 是一种高效焊接方法。但埋弧焊有难以在空间位置焊接、难以焊接易氧化的金属材料、对焊件装配质量要求高等缺点, 因此, 也制约了它在石油工程建设焊接上的应用。

3. 熔化极气体保护焊

熔化极气体保护焊 (GMAW) 是一种高效的焊接方法, 生产率高, 并能焊接各种金属, 在石油工程建设上有着广阔的应用前景。目前在石油工程建设上应用的熔化极气体保护焊有 MIG 焊、MAG 焊, 特别是 CO_2 焊在近些年来得到广泛应用。另外, 近些年药芯焊丝气体保护焊也逐步得到推广。

4. 非熔化极气体保护焊

当前在石油工程建设上应用最多的非熔化极气体保护焊 (GTAW) 是钨极氩弧焊 (TIG 焊), 由于 TIG 焊具有良好的保护作用, 因此非常适合高合金钢、特殊性能钢和有色金属的焊接。

以上焊接方法在我国石油工程建设中, 应用最广泛的还是焊条电弧焊, 其次是埋弧焊, 再次是半自动 CO_2 焊、TIG 焊、MIG 焊、MAG 焊等气保护焊, 目前在一些项目上还会用到电阻焊、电渣焊和等离子弧焊等焊接方法。而特种焊接技术, 如真空电子束焊和激光焊等应用很少。

随着焊接机械化、自动化程度的提高, 近年来, 我国石油工程焊接技术有了长足进步, 球形储罐、立式储罐管道建设逐步推行了半自动焊、自动焊技术。但是, 目前自动焊的比例只占 20% 左右, 与发达国家的 70% ~ 80% 的水平还有较大差距。其中大型储罐自动焊技术应用较多, 在 80% 以上; 球罐自动焊技术还不成熟, 应用较少, 在 5% 左右; 长输管道自动焊技术自西气东输工程开始, 应用量在 20% 左右。炼化安装现场施工大部分采用焊条电弧焊或半自动焊; 海上石油设备的钢结构及管道现场焊接自动焊的比例几乎为零。