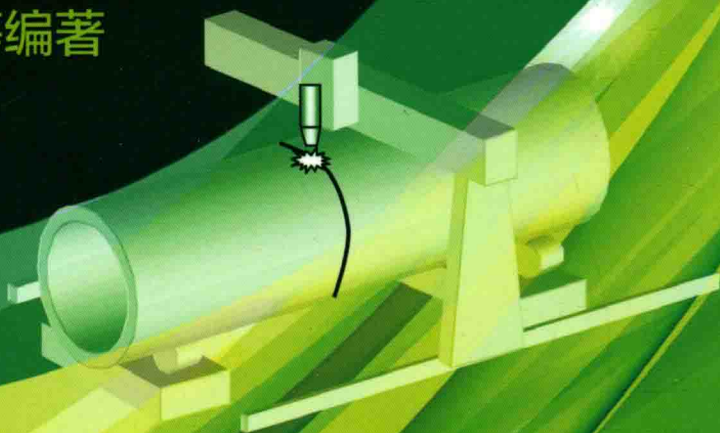


长输管道焊接从开工到验收，从技术到质量，焊接工程师干货分享

长输管道焊接工程师 培训教程

尹长华 等编著

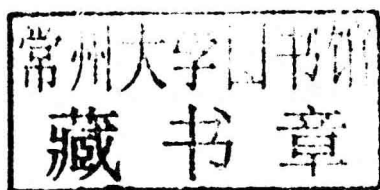


机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



长输管道焊接工程师培训教程

尹长华 宋 鹏 魏秦文 隋永莉 编著
闫 臣 李烨铮 杨柳青



机械工业出版社

本书结合长输管道工程实情,主要介绍了长输管道施工工艺、长输管道焊接方法与技术、长输管道工程用材料、管线钢焊接性分析、长输管道常用焊接工艺及工艺评定、长输管道工程焊工培训考试及管理、长输管道工程常见缺陷成因及控制、长输管道工程焊接质量检验、射线照相底片评定、长输管道工程现场焊接质量控制等内容。

本书可作为长输管道焊接工程技术人员、质控人员的继续教育培训教材,也可作为应用型本科、高职高专焊接专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

长输管道焊接工程师培训教程/尹长华等编著. —北京:机械工业出版社, 2016. 10

ISBN 978-7-111-54862-1

I. ①长… II. ①尹… III. ①长输管道—管道焊接—技术培训—教材 IV. ①TG457.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第222724号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:吕德齐 责任编辑:吕德齐 王彦青

责任校对:潘蕊 封面设计:陈沛

责任印制:常天培

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2016年10月第1版第1次印刷

169mm×239mm·16.5印张·330千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-54862-1

定价:49.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

前 言

随着经济的平稳快速增长,我国对能源的需求量也日益增加,继而进一步加快了我国管道工程建设的步伐。按照规划,预计到 2025 年前后,我国需新建油气长输管道里程约 10 万 km。

长输管道是由一根根钢管焊接而成的,焊接是长输管道工程施工中最重要的工序。随着长输管道向着大口径、高钢级、厚壁化的方向发展,一些新的焊接材料、焊接设备、焊接工艺和焊接技术也不断应用到长输管道焊接施工中。长输管道焊接质量控制涉及焊接性试验分析、焊接工艺评定、焊接作业工艺文件编制、焊工的培训考试及管理、焊接材料管理、焊接设备管理、焊接质量检验、焊接缺陷预防、现场焊接质量管理、施工标准和工艺文件的理解及执行情况等环节,这其中的每一环节都会对工程的质量和工期产生直接的影响,这就要求参加长输管道施工的焊接技术人员以及施工管理人员对上述内容要有深刻而全面的认识和掌握。

本书是为了适应长输管道焊接技术发展需要而编写的。编者在总结多年长输管道焊接技术实践经验的基础上,以必需和够用为原则进行了取材和撰写,主要介绍了长输管道施工工艺、长输管道焊接方法与技术、长输管道工程用材料、管线钢焊接性分析、长输管道常用焊接工艺及工艺评定、长输管道工程焊工培训考试及管理、长输管道工程常见缺陷成因及控制、长输管道工程焊接质量检验、射线照相底片评定、长输管道工程现场焊接质量控制等,共 10 章内容。

本书由中国石油天然气管道科学研究院尹长华高级工程师组织编写。第一章由宋鹏编写,第二章由隋永莉编写,第三、四、五、十章由尹长华撰写,第六章由李烨铮编写,第七章由闫臣编写,第八章由杨柳青编写,第九章由魏秦文编写。全书由尹长华、魏秦文进行统稿。

全书由中国石油天然气管道科学研究院王鲁军教授级高工、中国石油天然气管道局科技中心李彦民教授级高工分别审阅。

本书是从事长输管道工程施工的焊接技术人员的培训教材,还可作为长输管道工程施工管理人员、焊接质量控制人员 and 大专院校相关专业师生的参考用书。

由于编者水平有限,书中定有不当之处,敬请广大读者及同行专家批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 长输管道施工工艺简介	1
第一节 长输管道施工工艺流程	1
第二节 施工准备	2
一、公共关系准备	2
二、人员准备	3
三、设备及物资准备	3
四、编制施工进度计划及对施工任务进行划分	3
五、技术准备	4
六、对施工地区的自然状况进行调查	4
七、营地建设	4
第三节 测量放线及作业带清理	5
一、接桩	5
二、补桩	5
三、测量放线及设立标志桩	5
四、移桩	6
五、施工作业带的清理	6
六、施工便道的修筑	6
第四节 管道的组装焊接	7
一、布管	7
二、钢管的组装	7
三、钢管的焊接	7
四、表面的清理及外观检查	8
五、焊接接头的无损检测	9
六、焊缝的返修	9
第五节 管道的防腐补口	9
一、金属腐蚀的基本原理和分类	9
二、埋地管道的腐蚀	10
三、防腐前对钢管表面的处理	10
四、管道防腐的常用涂料	11
五、防腐涂层的主要特性	11
六、管道防腐补口的一般步骤	11
七、管道防腐的一般要求	11
第六节 管沟的开挖、管道的下沟回填及地貌恢复	12

一、管沟的开挖	12
二、管道的下沟	12
三、管道的回填及地貌的恢复	12
第七节 压力试验及通球扫线	12
一、压力试验	12
二、通球扫线	13
第二章 长输管道焊接方法与技术	14
第一节 长输管道工程常用焊接方法	14
一、焊条电弧焊	15
二、手工钨极氩弧焊	17
三、自保护药芯焊丝半自动焊	18
四、STT 技术气体保护实心焊丝半自动焊	20
五、CMT 技术熔化极气体保护半自动焊	21
六、RMD 技术熔化极气体保护半自动焊	22
七、管道自动焊	23
第二节 未来长输管道焊接技术展望	31
一、自保护药芯焊丝自动焊技术	31
二、单弧双丝焊接技术	32
三、激光/电弧复合焊技术	34
四、多焊嘴自动焊外焊技术	35
五、管道视觉焊接系统	36
六、搅拌摩擦焊技术	38
七、其他焊接技术	40
第三章 长输管道工程用材料	42
第一节 管道用材	42
一、管道工程的发展趋势及其对管线钢的要求	42
二、管线用钢	43
三、管线钢的发展趋势	47
四、管道工程常用材料	49
第二节 焊接材料	52
一、焊接材料分类	52
二、管道常用焊接材料	52
三、焊接材料牌号、型号	57
四、焊接材料质量管理	67
五、长输管道用焊接材料选用原则	70
第四章 管线钢焊接性分析	74
第一节 焊接性的概念	74
第二节 管线钢焊接性分析方法	75
一、利用管线钢的化学成分分析	75

二、利用管线钢的 CCT 图或 SHCCT 图分析	79
三、利用最高硬度 HV_{max} 公式法进行分析	81
四、利用管线钢焊接性试验方法分析	82
第三节 典型焊接性试验方法介绍	84
一、斜 Y 形坡口焊接裂纹试验法	84
二、插销试验	86
三、焊接热模拟试验	88
四、横向可调拘束裂纹试验法	89
五、微型剪切试验法	90
六、压板对接 (FISCO) 焊接裂纹试验法	92
七、焊接热影响区最高硬度试验法	93
八、其他焊接性试验方法	94
第四节 管线钢的焊接性问题表征	95
一、焊缝中的气孔	95
二、夹杂	97
三、热裂纹	98
四、冷裂纹	102
五、再热裂纹	104
六、应力腐蚀裂纹	105
七、氢致裂纹	106
八、焊接热影响区的性能变化	108
第五章 长输管道工程焊接工艺及工艺评定	112
第一节 国内外长输管道工程常用焊接工艺	112
第二节 长输管道环焊接头焊接工艺评定	122
一、焊接工艺评定的目的及要求	122
二、焊接工艺评定程序	122
三、焊接作业工艺文件编制	126
第三节 长输管道工程焊接工艺评定执行标准	127
第四节 国内外长输管道焊接施工及验收标准对比分析	128
第六章 长输管道工程焊工培训考试及管理	141
第一节 焊工培训	141
一、学历教育	141
二、对焊接专业毕业生的培训	141
三、对社会青年的焊工培训	144
四、对在职焊工的培训	147
第二节 焊工考试	149
一、焊工等级证考试	149
二、焊工安全证考试	150
三、焊工资格证考试	150

四、焊工上岗证考试	161
第三节 焊工管理	165
一、焊工资格证管理	165
二、焊工档案管理	165
第七章 长输管道工程常见缺陷成因及控制	167
第一节 焊接缺陷的危害	167
第二节 常见缺陷的成因及控制	167
一、裂纹	167
二、未焊透	169
三、边缘及层间未熔合	170
四、夹渣	170
五、气孔	171
六、咬边	172
七、背面凹陷（内凹）	173
八、焊瘤	173
九、弧坑	173
十、电弧擦伤	174
十一、焊缝尺寸不符合要求	174
十二、夹钨	175
十三、烧穿	175
十四、飞溅	175
第八章 长输管道工程焊接质量检验	177
第一节 焊缝外观及尺寸检验	177
一、焊缝的目视检验	177
二、对接焊缝尺寸的检验	178
第二节 管道的射线检测	179
一、射线检测的基本原理及特点	179
二、通用射线检测设备	180
三、管道爬行器	181
四、射线照相法	183
第三节 管道的超声波检测	189
一、超声波的发生及其性质	189
二、超声波探头的种类	191
三、试块	192
四、超声波检测原理	194
五、超声波检测方法的分类	195
六、检测仪的调节	197
七、缺陷位置的测定	197
八、缺陷大小的测定	199

九、中厚板对接焊缝超声波检测	200
十、管道的全自动超声波检测 (AUT)	201
第四节 焊缝的强度和严密性试验	206
一、一般规定	206
二、清管、测径	207
三、水压试验	207
四、气压试验	208
第五节 环焊接头破坏性试验	209
一、焊接接头抗应力腐蚀 (SSC) 试验	209
二、焊接接头抗氢致裂纹 (HIC) 试验	210
第九章 射线照相底片评定	213
第一节 评片工作的基本要求	213
一、底片质量要求	213
二、环境设备条件要求	215
三、评片人员要求	216
第二节 底片影像分析	216
一、焊接缺陷影像	217
二、常见伪缺陷影像及识别方法	218
三、表面几何影像的识别	219
四、底片影像分析要点	220
第三节 焊接接头的质量等级评定	222
一、质量分级规定	222
二、射线照相检验记录与报告	223
第四节 典型缺陷的射线底片影像	223
第十章 长输管道工程现场焊接质量控制	231
第一节 焊接质量控制体系文件的建立与实施	231
一、焊接质量控制体系文件建立要求	231
二、焊接质量控制体系文件构建	232
第二节 现场焊接质量控制	235
一、焊接工艺评定及焊接工艺规程	236
二、施工组织设计 (施工方案) 中焊接质量控制	237
三、现场焊接质量控制人员、设备的管理	237
四、现场焊接材料的管理	238
五、焊工上岗资格管理	240
六、焊接技术交底	240
七、现场焊接过程控制	241
八、焊后质量检查	242
第三节 现场焊接质量控制资料构建	243
一、资料整理的完整性	243

二、记录填写的符合性	244
三、资料生成的真实性	244
四、焊接质量控制交工资料	245
附录	246
附录 A 焊接工艺评定报告参考范例	246
附录 B 焊接工艺规程参考范例	250
参考文献	254

第一章

长输管道施工工艺简介

第一节 长输管道施工工艺流程

管道运输与公路运输、铁路运输、水路运输和空中运输称为五大运输方式。液态和气态的物质通常采用管道运输的方式。当运量大且运量又较为稳定的情况下，采用管道运输的方式运送液态和气态的物质，运输成本最低。但管道运输也存在如下缺点：一是，通常只能运输液态和气态的物质（经过改造后也可运输煤浆和矿浆等）；二是，运量必须足够大，而且运量也应比较稳定。随着人类对能源的需求量越来越大，特别是对石油和天然气需求量的增加，管道的建设也在迅速地增加。管道在向着大口径、长距离、高压力和高强度钢材的方向发展，对管道的建设质量和建设速度的要求越来越高。管道自动焊接机械化流水作业如图 1-1 所示。



图 1-1 管道自动焊接机械化流水作业

由于管道输送介质、施工方法、施工地形的不同，长输管道的施工工艺流程存在着一定的差异。长输管道一般地段的施工采用的工序是先进进行管道的组装焊接，后进行管沟的开挖；而石方地段、山区地段，由于管沟的爆破和管道整体下沟困难等原因，采用的是先开管沟，后组装焊接的工序；输送气体介质的管道，需对管道进行干燥处理；输送液体的管道一般不需要对管道进行干燥处理。长输管道施工工艺流程如图 1-2 所示。

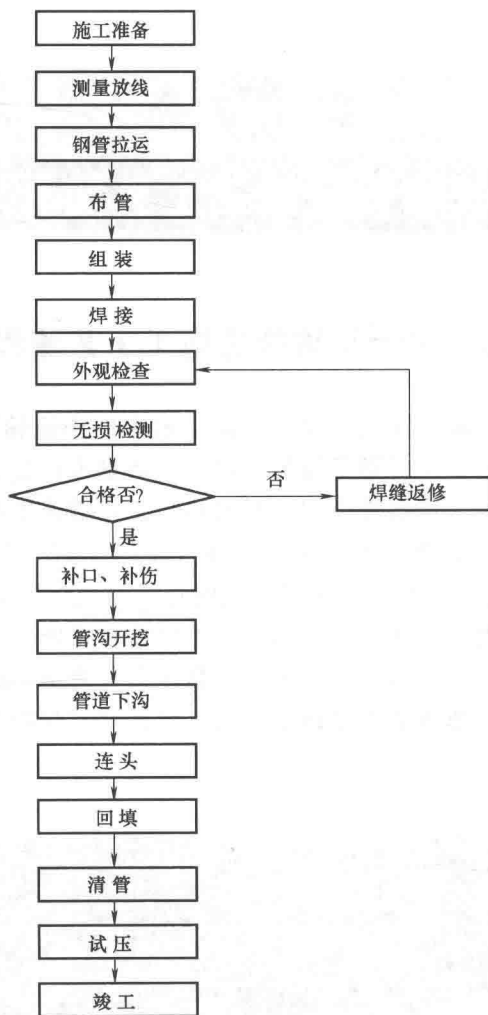


图 1-2 长输管道施工工艺流程

第二节 施 工 准 备

施工准备是指在工程开工前，为工程施工做的所有工作。施工准备是一项非常重要的工作，一定要认真细致地做好各项准备工作。施工准备工作直接影响着工程质量、施工安全和施工进度。

一、公共关系准备

1. 处理好与地方政府和上级主管部门的关系

调查地方政府和上级主管部门下发的与本工程施工有关的法规、文件等，并认

真阅读，将重要条款摘录下来严格遵守。

与地方政府和上级主管部门签订与工程施工有关的合同、协议。

积极与地方政府和上级主管部门进行沟通和联系，征求他们的意见和建议，争取他们的理解和支持。

2. 民俗民情调查

调查当地居民的风俗习惯、生活和生产情况，避免违背风俗习惯的事情发生。在施工过程中，尽量减轻对居民生活和生产的影响。

3. 当地资源调查

对劳动力资源和物资资源进行调查，以备工程需要时进行征用。

4. 办理水、电、路和通信使用证

水包括生活用水和施工用水，电包括生活用电和施工用电，道路的通行许可，通信的使用许可，都需要办理相应的手续和准用证。

5. 办理施工许可证

一个施工企业不论到哪里施工，都需到工程所在地办理施工许可证。无施工许可证，绝不允许施工。

6. 办理开工报告

工程开工前必须办理开工报告，并经有关部门批准后方可开工。

二、人员准备

1) 根据工程需要编制劳动力组织计划。

2) 对所有参加施工的人员进行身体检查。

3) 对施工人员进行培训：①对所有人员进行 HSE（Health Safety and Environment，健康、安全与环境）知识的培训；②对特种作业人员，进行安全技术的培训，并应取得相应的资格证书；③对焊工进行技术培训，并应经考试取得与工程焊接相适应的焊工资格证书。

三、设备及物资准备

1) 根据工程情况编制设备需用计划和物资供应计划。

2) 对设备进行维护、维修和保养。

3) 对计量器具、仪表等进行检定。

4) 采购急需用料及开工初期的工程用料。

5) 非标件的加工。

四、编制施工进度计划及对施工任务进行划分

1) 编制施工进度计划。

2) 设置里程碑事件。

- 3) 编制详细的施工准备计划。
- 4) 编制人力组织计划。
- 5) 编制设备采购及调遣计划。
- 6) 编制物料供应计划。
- 7) 对施工任务进行分解。
- 8) 编制横道图、网络计划。

五、技术准备

- 1) 编制施工组织设计。
- 2) 备齐施工用的各项法律、法规和施工标准。
- 3) 备齐施工用的各种表格。
- 4) 进行焊接试验和焊接工艺评定, 编制焊接工艺规程。
- 5) 对焊工进行培训和考试。
- 6) 对采用的新材料、新设备、新工艺进行试验、检定和人员培训。
- 7) 组织相关人员认真学习法规和标准, 学习设计说明和设计要求, 掌握本工程的技术要求和工程特点。
- 8) 对设计图样进行会审。
- 9) 对工程中重点、难点的施工方案进行讨论研究。

六、对施工地区的自然状况进行调查

(1) 对降雨情况进行调查 由于管道施工是野外作业, 所以降雨对工程的施工影响较大。应尽量避免在雨期施工, 特别应避免在雨期进行管道的焊接。

(2) 对风季进行调查 对一年中影响焊接作业的风季时间进行调查。尽量避开在大风天施工, 如果由于工期紧, 无法避免在风季施工, 则需采取防风措施。

(3) 对气温进行调查 高温季节会降低施工人员的劳动生产率。低温季节施工除降低施工人员的劳动生产率外, 还会对施工设备和焊接质量等产生不良影响。

(4) 对施工地形进行调查 施工地点是平原、山地、水网还是沙漠、戈壁, 各种不同的地形需采取不同的施工措施。

(5) 对交通条件进行调查 交通条件主要影响钢管和施工机械的运输。应根据交通条件的具体情况, 采取相应的运输措施。

(6) 对水源进行调查 主要是管道试压用水的水源。对水源的水质、储量和距用水点的距离及是否准许取用等情况进行调查。

七、营地建设

1) 根据工程量的大小和社会依托等条件, 一般设立一个主营地和几个分营地。营地距施工地点的最远距离不应超过 50km。

2) 主营地应设在施工管道的中间, 社会依托条件好、交通方便、通信条件好、供水供电条件好的位置。

3) 主营地应设立职工宿舍、食堂、卫生间、办公室、会议室、职工文体活动室、医务所、材料库(场)和停车场等。

4) 分营地一般设立职工宿舍、食堂、卫生间和简易办公室即可。分营地的生活用品和生产材料由主营地负责供应。

第三节 测量放线及作业带清理

测量放线是长输管道工程正式施工的第一道工序, 它决定着管道的敷设位置是否符合设计要求。为了方便管道工程的施工, 必须对作业带进行清理。

一、接桩

这里所说的“桩”是管道设计单位把管道的走向、管道特征、管道里程、管道所经过的地下障碍物等, 用木制、水泥、石制等的标志物将管道经过的实际位置标出, 这些标志物就是“桩”。

接桩就是施工单位从设计单位处接收管道的桩的位置、性质等信息。

二、补桩

1) 把设计上有, 但实际上由于各种原因而丢失的桩补齐。

2) 增设加密桩, 设计单位给的桩的距离一般比较远。施工单位为了方便管道的施工, 在原有的桩间增加加密桩。

3) 在管道转角处, 设计上一般只给一个转角桩。而管道在这里的实际走向是一个圆弧。这里的桩要增补得更密些; 以保证管道按正确的走向敷设。

三、测量放线及设立标志桩

1. 管道的中心线

管道的中心线, 即管道轴心所通过的线, 这是管道敷设的基准线。在管道的直线段, 管道的中心桩就是管道的中心线。而在管道的曲线段, 转角桩处并不是管道的中心线, 管道的中心线是在其内侧相距一个外矢距的位置。曲线段管道中心线的位置, 应根据设计的曲率半径确定曲线段的起点、顶点和终点三桩, 在三桩的中间加设间距不大于 10m 的中心桩。

2. 作业带边界线

施工作业带的宽度, 应根据敷设管径的大小、管道的埋设深度和施工方法等因素确定。作业带的边界线分为管沟堆土一侧和组装焊接一侧。堆土一侧的宽度, 以能堆放管沟挖出的土的宽度再加 1m。其余部分的宽度就是管道组装焊接一侧的

宽度。

另外，每隔 1~2km 应设一个回车场，回车场的占地宽度以车辆能顺利回车为准。

3. 管沟边线

应根据设计的沟底宽度、沟深以及不同的地质条件确定的边坡比来确定沟顶的宽度。从管道的中心线向两侧各加半个沟顶宽度，就是管沟的两条边线。管沟边线的直线段要直，曲线段要按曲率半径圆滑过渡。

4. 管道特征标志

管道根据通过地区不同的地质条件、人口居住区情况、穿越道路、河流及建筑物等情况，其钢管的材质、壁厚、防腐等级和焊缝检测等级等均可能有所不同。在这些发生变化的位置，要设置标志明确的特征桩。

5. 里程桩和测试桩

按设计要求确定里程桩和测试桩的位置。

6. 地下障碍物标志桩

根据设计图样和现场勘察到的要穿越的原有管道、电缆及其他障碍物等的管道，都应设标志桩，以便施工时采取相应的措施。

四、移桩

管沟在开挖前，应将管沟开挖范围内的管道中线桩、特征桩、里程桩、标志桩等平移到管沟的一侧，以便核对管道敷设的位置。

五、施工作业带的清理

(1) 作业带上附着物的清除 施工作业带上一切影响施工的农作物、树木、杂草和构筑物等均应清除。

(2) 作业带的平整 施工作业带的平整，是为了方便钢管和施工用料的运输及工程的施工。作业带平整得好，有利于提高管道工程的施工效率，保证工程的施工质量。

六、施工便道的修筑

施工便道是施工过程中为运输工程材料、设备及施工人员上下班修筑的临时性道路，其修筑原则是：

- 1) 尽量利用原有的道路，如果原有道路的宽度不够应对其进行加宽。
- 2) 施工便道应每 1km，加修一个回车道。
- 3) 施工便道应具有较强的承载能力。

4) 对道路原有的小桥，要进行承载能力核算和安全评估。对承载能力不足的应进行加固。

5) 施工便道通过小河、沟渠时, 应修筑临时的涵桥或涵管, 以满足水的流量为准。

6) 修筑施工便道还应考虑地下的构筑物, 不会因车辆的重压而造成破坏。应考虑到地上的构筑物 (如动力电缆、通信电缆、架空的管道等) 的高度是否影响车辆的通行。

第四节 管道的组装焊接

一、布管

将钢管以一定的距离放置在作业带上就是布管。

钢管要布成如图 1-3 所示的形式, 钢管的首尾间不能直接相连, 要错开钢管直径 $D + (200 \sim 300\text{mm})$ 的距离。这便于坡口的加工、管内杂物的清理、坡口的清理和修整。



图 1-3 布管示意图

二、钢管的组装

1. 组装前的清理

钢管组装前应将管内的杂物清理干净。坡口及两侧的油、锈及其他杂物清理干净, 坡口及两侧 20mm 范围内应见金属光泽。

2. 坡口的检查及修整

管口组装前应检查坡口角度、钝边等尺寸, 存在缺陷应进行修整。如果采用自动焊管机进行焊接, 建议采用坡口机现场加工坡口, 尽量做到当天加工的坡口当天焊接。这样可有效地保证坡口的质量。

3. 组装

管道的组装应采用对口器, 对口器分为内对口器和外对口器。当管径大于 300mm 时, 应采用内对口器组装管口; 当管径不大于 300mm 或连头的管口, 应采用外对口器进行组装。

钢管上的制管焊缝必须错开 100mm 以上。当采用直缝管时, 制管焊缝应放置在圆的上半周。

按焊接工艺规程的要求调整组装间隙。当管口存在不可避免的错边时, 应尽量将错边均布在整个圆周上。

三、钢管的焊接

1. 根焊焊道的焊接

管与管、管与管件及管件与管件间的第一层焊道称为根焊焊道。

当采用定位焊缝固定时, 定位焊缝的焊接应采用正式焊接所用的焊接设备、焊