

石油、化工实用防腐蚀技术

第 4 册

金属镀层与衬里

兰州化学工业公司
化工机械研究所组织编写

内 容 简 介

“石油、化工实用防腐蚀技术”一书共包括金属腐蚀基本理论;电化学保护和缓蚀剂;耐腐蚀金属材料;金属镀层与衬里;金属与非金属材料试验方法;表面处理技术与涂料;树脂与玻璃钢;塑料;橡胶衬里;不透性石墨;耐酸砖板衬里;陶瓷、玻璃、搪瓷和木材;建筑结构防腐蚀等部分。并分册出版。

本册为“金属镀层与衬里”部分,由大连化工厂、北京化工学院和兰州化学工业公司化工机械研究所等单位编写。本册书主要介绍金属喷镀、电镀、衬里的施工方法并简要地介绍了复合钢板性能和焊接技术。

本书可供从事石油、化工防腐蚀工作的工人、技术人员参考,也可供大专院校有关专业的师生参考。

石油、化工实用防腐蚀技术

第 4 册

金属镀层与衬里

(只限国内发行)

兰州化学工业公司
化工机械研究所组织编写

燃料化学工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

北京印刷八厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

* * *

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ 印张 $5^{2/16}$

字数 131 千字 印数 1—19,250

1973年5月第1版 1973年5月第1次印刷

* * *

书号 15063·内507(化-75) 定价 0.67 元

前 言

建国二十三年来,石油、化工战线上的广大革命职工在毛主席的无产阶级革命路线指引下,高举“工业学大庆”光辉旗帜,团结战斗,使石油、化学工业迅速改变了旧社会遗留下来的极端落后的面貌,并以飞快的速度向前发展。

随着石油、化学工业的发展,石油、化工设备的防腐蚀工作得到了重视,近年来发展很快,成绩很大。从事石油、化工防腐蚀工作的广大职工,发扬“自力更生”、“艰苦奋斗”的革命精神,使防腐蚀工作从无到有,从小到大,至今已形成比较完整的体系。特别是无产阶级文化大革命以来出现了设备防腐和材质革新相结合、设备防腐和设备维修相结合、群众性防腐和专业队伍防腐相结合的新局面。

工程塑料、玻璃钢、不透性石墨、硅酸盐材料等非金属材料,已经广泛并有效地用来制作各种石油、化工设备,这大大地扩大了耐腐蚀材料的来源,并成为我国防腐蚀工作的一个特色。

我国冶金工业部门研制了一系列适合我国资源条件的耐腐蚀钢种,并在石油、化工生产上有成效地应用;喷、镀、渗、涂、衬等防腐蚀施工方法已为广大防腐蚀工作人员所掌握,并广泛运用;近年来,电化学保护和缓蚀剂等防腐技术也得到了相应的发展。所有这些,解决了现场许多设备腐蚀问题,有力地促进了石油、化工生产的发展。

防腐蚀工作是杜绝生产中的跑、冒、滴、漏和保证设备连续运转、安全生产的重要手段之一,也是贯彻执行建设社会主义总路线多快好省地发展石油、化学工业的一项有力措施。防腐蚀工作由于其重要性愈益受到重视,防腐蚀群众运动正以更大的规模向深度和广度发展。

为适应石油、化学工业防腐蚀工作的进一步发展,为满足广大防腐蚀工人、技术人员学习、掌握腐蚀基础理论和防腐蚀技术

知识的要求，我们受燃料化学工业出版社的委托，组织有关生产厂矿、科研设计部门和高等院校等28个单位编写了本书。本书旨在全面地总结二十多年来我国石油化工战线防腐蚀施工技术经验，力求内容适合国情、简明实用。在编写过程中，我们遵照毛主席“群众是真正的英雄”的教导，分赴全国各地100多个单位进行了调查，并带稿下厂，组织以工人为主体的三结合审查，虚心向工人同志请教，充分听取各方面的意见。编审工作得到了各个单位广大工人、干部和技术人员的大力支持和帮助，在此我们谨向有关单位和同志表示感谢！

由于防腐蚀技术涉及的范围比较广泛，我们编写这样一本综合性的科技图书，经验不足，水平有限，一定存在缺点和错误，希望广大读者批评指正。

〈石油、化工实用防腐蚀技术〉编审组

参加编写单位：

兰州化学工业公司化工机械研究所	沈阳化工机械实验厂
太原化工厂	北京化工设备厂
大连化工厂	宜兴非金属化工机械厂
大连工学院	四平市玻璃厂
吉林染料厂	上海第六制药厂
锦西化工厂	广州市化工研究所
北京化工学院	广州氮肥厂
北京化工厂	重庆塑料厂
兰州炼油厂	甘肃涂料工业研究所
天津染化五厂	兰州化肥厂
吉林化工研究院	兰州合成橡胶厂
吉林省应用化学研究所	兰州化学工业公司化工建设公司
四川省第一化工设计院	锦州石油六厂
上海焦化厂	兰州化工厂

目 录

前言

绪论	4-1
----	-----

第一章 金属喷镀	4-3
----------	-----

第一节 概述	4-3
--------	-----

一、金属喷镀的方法	4-3
-----------	-----

二、金属喷镀层的组织结构和特性	4-4
-----------------	-----

第二节 金属的气喷镀	4-5
------------	-----

一、气喷镀工艺流程	4-6
-----------	-----

二、主要设备简介	4-6
----------	-----

三、气喷镀工序及操作	4-14
------------	------

四、金属喷镀层的质量要求及检验方法	4-17
-------------------	------

五、安全注意事项和劳动保护	4-18
---------------	------

第三节 金属的电喷镀	4-19
------------	------

一、电喷镀工艺流程	4-20
-----------	------

二、电喷镀设备简介	4-20
-----------	------

三、电喷镀工艺	4-24
---------	------

第四节 喷镀扩散渗铝	4-34
------------	------

一、概述	4-34
------	------

二、对喷镀扩散渗铝的影响因素	4-35
----------------	------

三、喷镀扩散渗铝工艺	4-36
------------	------

第五节 金属喷镀的应用	4-38
-------------	------

第二章 金属的电镀与化学镀	4-42
---------------	------

第一节 电镀的基本知识	4-42
-------------	------

一、电镀基本原理	4-42
----------	------

二、电镀层的用途和分类	4-44
-------------	------

三、影响电镀层质量的主要因素	4-45
----------------	------

四、电镀工序	4-46
--------	------

五、电镀设备	4-50
--------	------

第二节 电镀锌	4-52
一、概述	4-52
二、镀锌工艺	4-53
第三节 电镀镉	4-58
一、概述	4-58
二、电镀工艺	4-58
第四节 电镀铜	4-62
一、概述	4-62
二、镀铜工艺	4-63
第五节 电镀镍	4-66
一、概述	4-66
二、电镀工艺	4-67
第六节 电镀铬	4-69
一、概述	4-69
二、镀铬工艺	4-70
第七节 电镀银	4-73
一、概述	4-73
二、镀银工艺	4-74
第八节 电镀铜锡合金	4-75
一、概述	4-75
二、电镀铜锡合金工艺	4-76
第九节 无氰电镀(无毒电镀)	4-76
一、概述	4-76
二、几种常用电镀金属的无氰电镀工艺	4-77
第十节 电镀层的质量检验	4-80
第十一节 电镀工作的安全	4-81
第十二节 电镀在石油、化工防腐上的应用	4-84
第十三节 化学镀镍	4-86
一、概述	4-86
二、化学镀镍工艺	4-86
三、化学镀镍材料用量计算	4-88
四、镀后处理	4-88

五、化学镀镍应用实例	4-89
第十四节 电镀、化学镀溶液分析	4-89
一、镀锌溶液的分析	4-89
二、镀锡溶液的分析	4-92
三、镀铜溶液的分析	4-92
四、酸性镀镍溶液的分析	4-94
五、镀铬溶液的分析	4-96
六、化学镀镍溶液的分析	4-99
第三章 金属衬里	4-101
第一节 衬铅与搪铅	4-101
一、铅衬里	4-102
二、搪铅	4-124
三、铅中毒及其防护法	4-136
第二节 不锈钢衬里与不锈钢复合钢板	4-137
一、不锈钢衬里	4-138
二、不锈钢复合钢板	4-143
第三节 铝衬里	4-149
一、衬里方法	4-150
二、衬里层的检查	4-152
第四节 钛衬里	4-153
一、衬里方法	4-153
二、钛衬里设备的焊接接头	4-156

緒 論

在石油、化学工业中常用耐蚀性较强的金属和合金来覆盖耐蚀性较弱的金属以达到防腐蚀的目的，称此为金属覆盖层。它除具有较好的耐腐蚀性能外，主要能节约大量的贵金属和合金，而且不同的覆盖层，能够满足不同的工艺要求，如抗氧化、抗磨蚀、强度高、传热好等。因而它在石油、化工的防腐工程中得到了一定的应用。如某炼油厂焦化系统的焦化釜和加热炉管高温氧化严重，采用喷镀扩散渗铝后，延长了使用周期。金属覆盖层由于施工工艺比较复杂，施工质量不易保证（如镀层多孔性，焊接质量不好等），使其应用受到一定限制。

金属覆盖层按施工方法不同可分为多种，如下表所列：

金属覆盖层	喷 镀 法	气 喷 镀
		电 喷 镀
	电 镀 法	氰化电镀
		无氰电镀
	化 学 镀 法	
	扩散渗透法	
	热 敷 法 辗 压 法 衬 里	机械固定法
		粘贴固定法
		活套胀紧法
		铆接固定法
		爆炸复合法
		焊接固定法
		塞 焊
		条 焊
		钎 焊
		熔透焊

在石油、化工防腐蚀工程中，金属喷镀、电镀和衬里的施工方法应用较多，而且较有效。所以对它们作重点介绍。并以“金

属镀层与衬里”作为本部分的名称。扩散渗透法只介绍了渗铝，而渗铬和渗硅与热敷法中镀锌、镀锡等因在石油、化工防腐蚀工作中很少采用而不作介绍。辗压法，本章只介绍了不锈钢的复合钢板。化学镀法只介绍了镀镍。

选择金属镀层与衬里的方法应考虑到：

1. 被镀（衬）设备的使用条件（如介质的浓度、杂质、温度和压力等）和镀层（衬里）金属的耐蚀性，如设备需要抗高温氧化的可进行喷镀扩散渗铝，需要耐硫酸及硫酸气的腐蚀的可进行衬铅等；

2. 被镀（衬）设备的结构形状及尺寸大小，如对结构较为复杂的零件、衬里不太适合，可进行喷镀，如对尺寸较大的设备，喷镀不方便时可进行衬里；

3. 施工工艺简单可靠、操作安全、生产周期较短、投资节省为好。

第一章 金属喷镀

第一节 概 述

金属喷镀是用压缩空气将熔融状态的金属雾化成微粒，喷射在预先准备好的工件表面上，形成一完整的金属覆盖层。这种方法的工艺和设备较简单，能用来喷镀绝大多数的金属与合金，而且基本上不受设备零件形状的限制，可根据需要得到良好的金属或合金的镀层。因而在石油、化工上成功地解决了一些腐蚀或磨损问题。但由于所喷镀的金属与基体金属的结合力不如电镀牢固，喷镀层孔隙率大，部份金属制丝困难等原因，所以限制了它的应用。目前金属喷镀主要应用于下列三方面：

1. 在碳钢设备上喷镀金属可以防止腐蚀性介质（工业废水、海水、大气、酸、碱、盐、有机物等）的腐蚀和高温氧化；
2. 修复由于磨蚀，铸造缺陷或机械加工错误而报废的物件；
3. 用喷镀金属的非金属材料来代替金属材料制造设备。

一、金属喷镀的方法

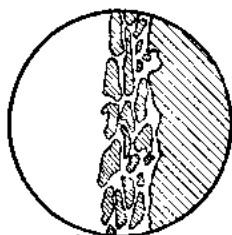
金属喷镀的方法可分为下列四种：

1. 坩埚喷镀法 将熔化了金属装在坩埚喷枪内，借用压缩空气的压力慢慢喷出。此法使用极不方便，现已不采用。
2. 粉末喷镀法 喷镀用的金属是粉末，用送粉器送入粉末喷枪被可燃气焰熔化，由压缩空气喷出。但因用金属粉末不如用金属丝方便，故也很少采用。
3. 金属丝喷镀法 以金属丝为喷镀材料进行喷镀，按熔化金属丝的热源不同，又可分为气喷镀和电喷镀两种。此法适用于喷镀不难熔化而且熔化后基本性能改变不大，又可拉成丝的金属。所以这是普通应用的一种方法。
4. 电弧等离子喷镀法 将所需要喷镀的粉末，送入电弧等

离子喷枪的喷嘴孔道内,被高温的等离子焰流迅速熔化,并以极高的速度打在工件表面上形成镀层。此法可用来喷镀难熔的金属及其氧化物、碳化物、硅化物和硼化物等(如钨、钼、钛、三氧化二铝、二氧化锆等)。目前国内已开始小批生产 DDP-I 型和 DDP-II 型硅整流电弧等离子喷镀全套设备,为电弧等离子新技术应用于我国工业打下了良好的基础。

二、金属喷镀层的组织结构和特性

在喷镀过程中,熔融金属微粒喷散撞击被保护的物件,在其



表面形成鳞片状,互相重叠成为多层的喷镀层,见图4—1。微粒在运行中被气流迅速冷却,外表氧化成膜,在此同时,已覆盖上的金属继续被氧化。这样金属微粒及其氧化物连续不断的楔入并不规则地堆积,从而在金属表面上形成了金属喷镀层。喷镀层金属的物理机械

性能和化学性能与原来的金属比均有所改变。

1. 喷镀层的比重比原来金属的比重减少 20% 左右(见表 4—1)。

表 4—1 比 重 比 较 表

金 属 名 称	原 金 属 比 重	喷 镀 层 金 属 比 重
锌	7.14	5.5~6.8
铝	2.7	2.2~2.56
铜	8.90	6.8~7.7
黄 铜	8.50	7.1~7.7
铅	11.34	10.5~10.7
钢(0.7% C)	7.85	6.3

2. 喷镀层的硬度一般高于原来金属(见表4—2)。

表 4-2 硬 度 比 较 表

金 属 名 称	硬 度 (HB)	
	原 金 属	喷 镀 层 金 属
锌	24	32
铝	21	26~40
铜	50	61~97
钢(0.8% C)	230	318

3. 喷镀层的金属抗拉强度和延伸率比原来金属小(见表4-3)。

表 4-3 抗拉强度、延伸率比较表

金 属 名 称	抗 拉 强 度 (公斤/毫米 ²)		延 伸 率 (%)	
	原 金 属	喷 镀 金 属	原 金 属	喷 镀 金 属
锌	12~14	3.24	40~50	1.3
铝(软的)	7~10	3.45	30~40	1.1
铜	21~24	3.1	50	0
黄 铜	30	2.64	40	0
铅	1.6~1.8	1.57	40~50	1.5

注: 原金属的抗拉强度、延伸率均为退火后的数值。

4. 由于金属喷镀层的硬度高和孔隙率大,所以在有润滑剂的情况下,具有较好的耐磨性,一般喷镀层摩擦系数要比原来的金属低5~20%。

5. 一般喷镀层金属的耐腐蚀性能要比原来的金属差。

第二节 金属的气喷镀

金属气喷镀是用可燃性气体——乙炔(或丙烷、丁烷、天然气等)氧焰燃烧时发出的热量将金属丝熔化、再用压缩空气流将熔融金属喷镀于工件或设备上。这种方法成本低、操作方便。在我国用乙炔氧焰进行喷镀已有成熟的经验,近年来也开始采用丙烷

氧焰进行喷镀。气喷镀一般用于喷镀熔点较低的金属如铝、锌、铜、铅、锡等，也可以喷镀高熔点的金属如高碳钢、不锈钢等，但喷镀速度较慢。

一、气喷镀工艺流程

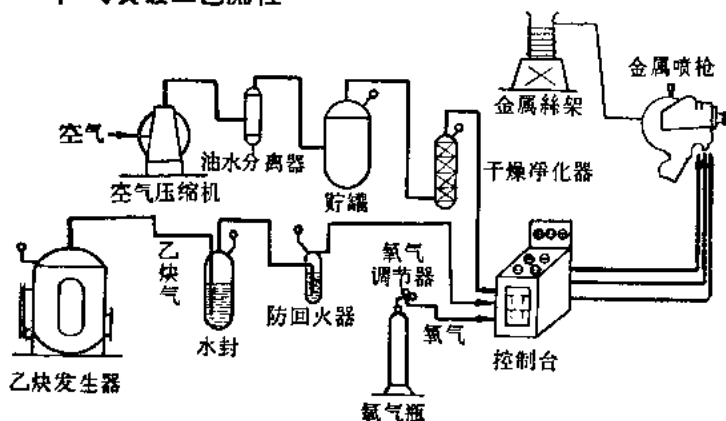


图 4-2 气喷镀工艺流程简图

1. 在有条件的地方，可采用乙炔钢瓶代替乙炔发生器（瓶装乙炔比较纯净，纯度达96~98%）。

2. 丙烷-氧焰气喷镀时，丙烷气由丙烷液化气钢瓶供给。丙烷调压器（由氧气调压器改制）的橡胶膜片应用耐油橡胶制成，丙烷气管亦应是耐压、耐油胶管或聚氯乙烯塑料软管制成。

二、主要设备简介

1. 喷枪 通常采用国产中速自动调节气体金属喷枪。见图4-3。重2.5公斤，外形尺寸为16.5×12.2×22.5厘米。消耗气量：氧气 1.0~1.55 米³/小时；乙炔 0.8~1.0 米³/小时；压缩空气 0.6~0.7米³/小时。使用金属丝直径1.47~3.17

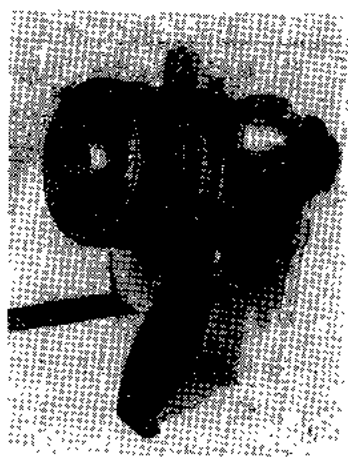


图 4-3 气体金属喷枪

毫米。气喷枪工作原理可用图 4—4 示意说明。

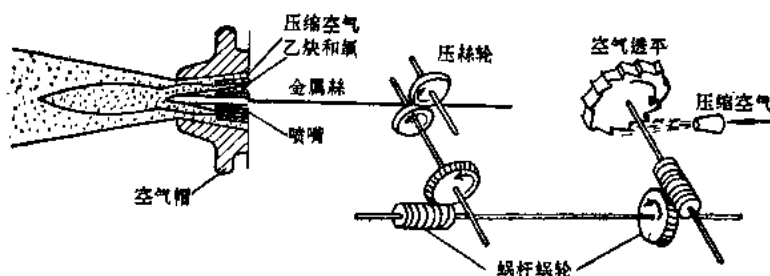


图 4—4 气喷枪传动原理示意图

当喷枪的总阀开启后，部份压缩空气推动透平转动，借蜗轮蜗杆的作用转动压丝轮，推进金属丝，当金属丝引至喷枪头时被可燃性气体火焰熔融，另一部份压缩空气把熔融的金属吹离喷嘴成雾状喷出喷枪口，并附着在工件表面上形成金属镀层。

(1) 喷枪的构造

(a) 乙炔—氧焰喷枪的喷嘴 喷枪主要由混合头、喷头、动力机构和自动调节器四大部份组成。

【混合头】主管氧气、乙炔的混合及空气之开关。它具有一个混合室，氧气乙炔从两个进口进入混合室的环形凹槽内发生混合。混合室中间有一个 $\phi 3.9 \sim 4.0$ 毫米孔，为金属丝通道，通道中有 $\phi 0.79$ 毫米（ $1/32$ 吋）的小孔三个或 $\phi 1.3$ 毫米孔一个，作通空气来冷却金属丝用。总阀（也为混合头的一部份）是一个铜质锥形阀，专管乙炔、氧、空气的开闭，三种气体的通道上，在顺转的边沿上部，各有一个小槽，使总阀开启 45° 左右时，有较多乙炔和微量的氧气通过，以便点火（此时空气只有极少输出，否则将火焰熄灭）。

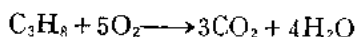
【喷头】喷头由喷嘴和空气帽组成。喷嘴中间有孔，镶有耐磨套管，为金属丝通道。周围有六个小孔（ $\phi 0.8$ 毫米），为混合气体的通道，混合气体经此通道在喷嘴前部燃烧。金属丝由喷嘴中

间孔送出被逐渐熔化。在喷嘴的外围有空气帽，使压缩空气流一方面将熔融金属喷成雾点，另一方面将冷却喷嘴。

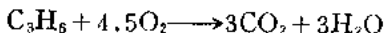
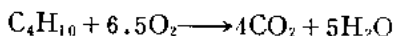
【动力机构】 动力机构主要有空气透平(约4,000转/分)和两对蜗轮蜗杆组成(减速比 $1/27 \times 1/27 = 1/729$)，以压缩空气为动力，推动空气透平，转动蜗轮蜗杆，经自动调节机构的调节，使压丝轮以一定速度(5.4转/分)输送金属丝。

【自动调节器】 自动调节器包括惯性锤、刹车片及三角制动盘，它们的作用是满足各种熔点和直径的金属丝以不同速度喷镀的需要。当喷枪以一定送丝速度进行喷镀，因某些阻碍使金属丝行进费力时，透平轮速度有降低的趋势，这时惯性锤向内萎缩，联在一起的刹车片自动离开制动盘。此时透平轮因负荷减轻，速度立即增加。增加到一定程度时，因离心力的作用，惯性锤又复张开，将刹车片推向制动盘增加摩擦力，因而透平轮负荷增加，速度降低，如此往复自动调节，保持金属丝具有适当的均匀速度前进。在操作中，旋转调节器外壳实质上是调节制动盘与刹车片之间的距离，以达到所需的速度。

(b) 丙烷-氧焰喷枪的喷嘴 采用丙烷液化气代替乙炔气进行气喷镀时，丙烷气的燃烧需氧量比乙炔需氧量多一倍，



此外，液化气中丙烷纯度较低，其中含有大量的丁烷、丙烯等其他气体，这些气体在燃烧时需氧量也较多，



因此，采用丙烷液化气喷镀时需较多的氧气，从而增加了丙烷、氧混合气的流量。为了使较多的混合气顺利地通过喷嘴必须降低喷嘴的阻力，为此将乙炔-氧所用的喷嘴加以改造以适应丙烷-氧混合气的燃烧，见图4—5，图中1.原孔径为 $\phi 1.5$ 毫米，现改为 $\phi 2$ 毫米；2.原孔径为 $\phi 0.8$ 毫米，现改为 $\phi 1$ 毫米。

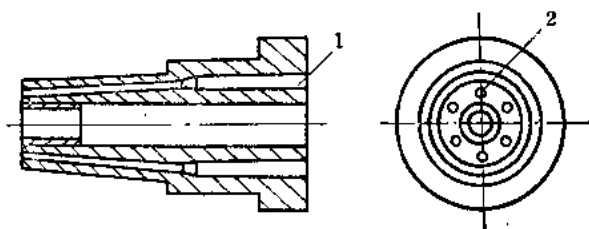


图 4—5 丙烷-氧焰喷枪的喷嘴

丙烷的燃烧范围狭窄其数值为 $2\sim 9.5\%$ （以气体在混合物中的体积表示）而乙炔为 $2.5\sim 80.5\%$ ，这就使得丙烷难于点火，火焰难调，但丙烷的安全度高、爆炸范围小。

（c）喷枪延长头 在较小设备内部喷镀时，由于受设备尺寸限制，喷枪不能伸入设备内部，有的单位利用“延长头”与国产乙炔-氧焰喷枪相配合的方法进行操作。这种“延长头”的主要构造是用三层套管将气体喷口延长800毫米，并在火焰喷口前安置一个横向空气吹管，其空气流量可用阀门控制（见图4—6）。需要直喷时关闭横向喷管，开启横向喷管时，喷镀气流可转向 45° 。

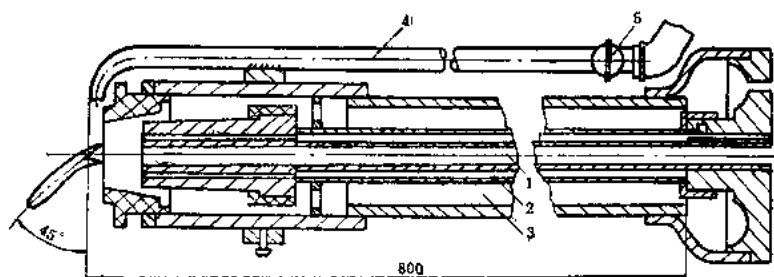


图 4—6 延长头结构图

1—金属丝通道；2—氧-乙炔混合气通道；3—压缩空气通道；

4—侧向压缩空气通道；5—控制阀门

(2) 喷枪的使用方法

【调节金属丝输送速度】将氧气、乙炔、压缩空气的胶管放空吹净后，与喷枪连接，并将金属丝从后面进口处通入喷嘴，伸出空气帽外约10毫米左右，拧紧压盖螺丝（用力不宜过大）。开启总阀视金属丝能否顺利前进，若顺利前进再转动调节环，使金属丝以一定速度前进。一般为1.5~3米/分。

【点火前粗略调节三气体压力】由控制台操作人员将乙炔气、氧气、空气调节控制在操作时的压力范围。再由持枪者点火。

【点火】将总阀开启45度（此时应有乙炔，少量的氧气和极少量空气，透平轮尚未发出尖锐的转动声），凑近火种，火焰呈红色，这时由控制台慢慢加大氧气。持枪者见火焰变白徐徐将总阀全开。金属丝逐渐被熔融成红色火花喷出。

【细调乙炔和氧气的混合比例】持枪者根据火焰的颜色，增加或减小氧气的压力。若火焰非常明亮或淡蓝色，则氧太多，须降低氧的压力。若火焰呈纯红色或软弱无力为缺氧气，则应增加氧气压力。这样多次反复调节直至成中性火焰——空气帽前3~5毫米处形成白色焰心，周围有白色而且带极微的淡红蓝色，火焰呈狭隘的锥形辐射状。

【再次调节金属丝输送速度】根据金属丝熔化和雾化的情况，调整调节环和压丝轮或增加、减少压缩空气的压力及调节金属丝的输送速度，以形成正常的喷雾带和合适的细度。

【熄火】首先关闭氧气和乙炔阀灭火，等压缩空气吹净喷嘴后再关闭压缩空气阀、停止输送金属丝。最后按实际情况拆卸和清洗喷枪，清洗后涂润滑油羊毛脂。并按喷枪保养方法保存。

(3) 气喷枪操作故障及其原因和消除方法。

(4) 气喷枪的维护保养

气喷枪工作时在传动机构及气体通道等部位不可避免地会积聚许多尘垢和回火后的燃烧物质。为使喷镀工作顺利进行和延长