

石油工业部

知识丛书

石油钻采专用管材 及焊接材料

石油工业部物资供应管理局编

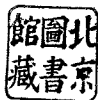
石油工业出版社

石油工业常用材料知识丛书

石油钻采专用管材 及焊接材料

石油工业部物资供应管理局 编

1977/1/26



石油工业出版社

A76.102

内 容 提 要

本书主要介绍了各种石油专用管材的品种、性能、规格、用途、检验方法和仓库管理,同时介绍了有关焊接材料的基本知识。

本书可作为各石油院校物资专业的教学用书,也可供各石油企业物资工作人员业务学习用。

本书由钱璧之同志执笔,参加第一章“石油钻采专用管材”编写工作的还有阎家正、吴永泽、曲万芳等同志。

石油工业常用材料知识丛书
石油钻采专用管材及焊接材料
石油工业部物资供应管理局 编

石油工业出版社出版发行
(北京安定门外外馆东后街甲36号)
轻工出版社印刷厂排版
北京顺义燕华印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 5¹/₄印张 127千字 印1—19,000
1982年11月北京第1版 1982年11月北京第1次印刷
书号: 15037·2343 定价: 0.65元

前 言

《石油工业常用材料知识丛书》是为适应石油中等专业学校物资管理专业教学和各石油企业物资管理人员业务学习的需要而组织编写的。内容主要介绍石油工业专用器材和有关物资的性能、规范、用途、计算、检验、保管等基础知识。丛书共分《金属材料》、《非金属材料》、《石油钻采专用管材及焊接材料》等三册，将陆续出版。

这套丛书由夏培清、刘子明同志主编。由于时间仓促，水平有限，还存在许多不足之处，谨请广大读者提出批评和意见，以便修正补充，使之逐步完善。

石油工业部物资供应管理局

目 录

第一章 石油钻采专用管材	(1)
第一节 石油钻采专用管材的种类和用途	(1)
第二节 石油专用管材的连接结构	(2)
第三节 石油专用管材的材质	(5)
第四节 方钻杆	(14)
第五节 钻杆	(20)
第六节 钻杆接箍、接头和短节	(42)
第七节 钻铤	(59)
第八节 钻具的选配	(67)
第九节 套管	(69)
第十节 油管	(79)
第十一节 石油钻采专用管材的质量检验	(84)
第十二节 专用管材的仓库管理	(96)
第十三节 国外石油钻采专用管发展方向	(101)
第二章 焊接材料	(108)
第一节 几种熔化焊接的方法	(106)
第二节 手工电弧焊条	(107)
第三节 埋弧自动焊及电渣焊用的焊剂与焊丝	(142)
第四节 有色金属焊丝、气焊粉、钎料和钎料熔剂	(147)
附 录 全国焊接材料统一牌号对照表	(156)

第一章 石油钻采专用管材

第一节 石油钻采专用管材 的种类和用途

在石油工业中，专用管材是钻探和开发油、气田的一种主要物资。从钻井到采油之间的各个工序，都离不开专用管材。按照主要用途，石油钻采专用管材可以分为钻具、套管和油管三类。

所谓钻具就是由备有接头的钻杆所组成的钻柱和其它附件，如：方钻杆、配合接头、钻铤、扶正器、减震器、扩眼器，以及在特定的钻井条件下常用的或不常用的其它工具所组成。在转盘钻井中，柴油机（或电动机）发出的动力要通过钻柱传给钻头，带动钻头旋转，并借助钻铤的重量加压破碎岩石，泥浆泵输送的洗井液要通过钻柱送到井底，从钻头水眼中喷出，辅助钻头破碎岩石，携带岩屑和冷却钻头，以改善钻头的工作条件。在涡轮钻井中，泥浆泵所打出的高压液流也是通过钻柱传递给涡轮，驱动涡轮转动，从而带动钻头旋转，以破碎岩石。钻井时司钻所加钻压的大小、井内出现的各种复杂情况，如钻具折断、井喷、井漏等都可以通过钻柱反映到地面上来。此外，在钻井过程中其它作业，如取心，处理复杂情况，挤水泥，中途测试等都要靠钻柱来进行。所以，钻柱是联通地而与地下的枢纽，处在十分重要的地位。

在钻进过程中，常遇到井漏、井喷、井塌等复杂情况，

严重时会造成各种事故，影响继续钻进，甚至使井报废。为了优质快速钻达目的层，分隔不同的油、气、水层，避免串通，保证开采油、气，需要下套管固井。所以，套管是油、气井固井专用的钢管。

油管主要用于采取油、气。油、气井中的油、气通过油管导出井外，并由于采油时的技术需要，油管还可用于向油层注入高压水或气体，和洗井、压井、压裂、酸化等措施。

石油工业专用管材在世界市场上，除上述各种钢管外，还包括输油管，但在我国，为了便于管理，一般将方钻杆、钻杆、钻铤、套管和油管统称为石油钻采专用管材，简称石油专用管材。随着石油工业的发展，石油专用管材的需要量越来越大。如资本主义国家按API标准交货的石油专用管材产量，1973年为273万吨，预计1985年将为653万吨，增长约2.39倍。

现代世界石油工业中，绝大部分管材，都是按照美国石油学会（API）批准的规范生产的。这些规范包括钢材的最小抗拉强度与抗拉屈服极限，制造的细节以及管材的几何尺寸。几何尺寸包括各种名义尺寸、管材的内径、外径、壁厚、加厚部位、重量、钢级和接头长度。

第二节 石油专用管材的联接结构

石油专用管材，无论是钻铤、方钻杆、钻杆，还是套管和油管，除钻杆与工具接头目前已广泛地采用了对焊接头连接外，它们都采用丝扣连接。丝扣形状一般为三角形60度（即V-60度）的圆形扣，这种扣形加工修理和装卸都比较方便，但其连接强度比管体强度低30~35%。为了提高连接强度，又采用了三角形90度的H90扣型和各种型式的梯形

扣，以及无接箍连接。

三角形扣和梯形扣的断面形状，如图1-1所示。油管、套管、钻杆与接箍的丝扣，大多为三角形细扣，有四种基本类型，见表1-1，第一种为我国、苏联和美国的通用标准；第二种仅用于油管和国产地质钻杆；第三、四种仅用于国产和苏联的套管。钻杆接头的丝扣，多为三角形粗扣，其扣型又分好多种，见表1-2。其中H-90扣型，丝扣的齿尖角为 90° ，优点是不易碰坏。梯形扣又有多种型式，除用于钻铤和钻杆者外，在套管中又分有EL型螺纹、奥米加螺纹、H型螺纹和勃脱雷斯螺纹，在套管和油管中还有CS-CB双级柱状梯形扣螺纹和GST螺纹等。这些螺纹基本上都是梯形扣，唯角度、锥度、螺距等尺寸规格有所不同而已，其螺纹精度和加工

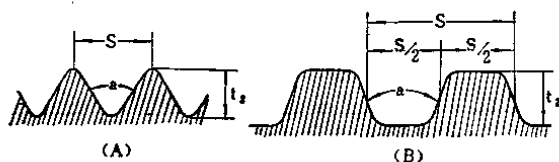


图 1-1 螺纹断面图

表 1-1 油管、套管、钻杆与接箍的丝扣（三角形扣）类型

种 类	一	二	三	四
每英寸扣数 n	8	10	8	6
工作齿高 t_2 (毫米)	1.734	1.336	2.033	2.711
齿形角 a	60°	60°	55°	55°
锥 度 $k=2\tan\phi$	1:16	1:16	1:32① 1:16②	1:32① 1:16②

①用于 $4\frac{1}{2}"/6\frac{5}{8}"$ 套管；②用于 $7\frac{5}{8}"/16\frac{3}{4}"$ 套管。

表 1-2

钻杆接头各种扣型

扣型及适用的接头	每英寸扣数	齿形角 a	工作齿高 t ₂ (毫米)	锥度 k=2tgφ
V-.038R	4	60°	3.099	1:6
所有数字型接头	4	60°	3.073	1:4
V-.040	5	60°	2.997	1:4
2 ³ / ₈ , 2 ⁷ / ₈ , 3 ¹ / ₂ , 4 ¹ / ₂ 正规				
2 ⁷ / ₈ , 3 ¹ / ₂ , 4 ¹ / ₂ 贯眼				
V-.050	4	60°	3.759	1:6
5 ¹ / ₂ , 6 ³ / ₈ , 7 ⁵ / ₈ , 8 ⁵ / ₈ 正规				
5 ¹ / ₂ , 6 ³ / ₈ 贯眼	4	60°	3.734	1:4
V-.065	4	60°	2.819	1:6
2 ³ / ₈ , 2 ⁷ / ₈ , 3 ¹ / ₂ , 4, 4 ¹ / ₂ , 5 ¹ / ₂ , 6 ³ / ₈ 内平				
NC40 (4贯眼)				
HH-90 (90°V-.050)	3 ¹ / ₂	90°	2.54	1:6
SLH-90 (90°V-.084)	3	90°	2.286	1:9.6
V-.076	4	60°	2.302	1:8
PAC, OH				

注：为改进钻具接头和钻铤使用性能，在API1970年5月颁布s+d标准中确定v-0.065丝扣标准，即从标准中废除掉。

要求都比三角形扣为高，连接强度也高，为加强了的套管扣型，如国外常用于套管的勃脱雷斯螺纹，其连接强度达到管体强度的90~95%；EL型螺纹用于无接箍的套管连接，具有与管体相等的强度，并且在600大气压下密封性能很好；CS-CB型是美国“Hydril”生产的双级柱状梯形螺纹，其连接处带有“CB”防腐密封环，主要优点为，容易联接，上扣快，可重复使用，它是非锥形的双级螺纹丝扣，可减少联结时的张应力。

第三节 石油专用管材的材质

一、石油专用管材的钢级标准

钻井时，各种钻具分别受到不同的拉、压、扭转、弯曲等应力，而钻杆更是钻具中承受复杂应力的部件，钻头的冲击还引起钻杆柱强烈的振动；此外，其内壁还受高压高速泥浆的冲刷，外壁也常和岩屑及井壁剧烈磨擦。固井时，套管也处于拉伸、外挤、内压和弯曲等非常复杂的应力状态下工作。所以，对石油专用管材的材质要求是很高的。

石油专用管材在一般的技术条件中，对钢的化学成分除硫和磷以外，都不作具体规定（但对钢管有特殊要求时，其主要成分仍须严格控制，如抗硫、抗二氧化碳的管材等）、硫和磷的最大含量，决定于所使用的原料和冶炼方法。一般硫的含量，在我国“冶标”和苏联 ГОСТ 标准规定不大于 0.045%，美国 API 标准规定不大于 0.06%。磷的含量我国和苏联标准规定不大于 0.045%，API 标准规定不大于 0.04%。碳、锰和其他合金元素的含量则由钢管制造厂根据所要求的机械性能自行掌握。因此对于同一种牌号的钢，在不同的钢管制造厂里所采用的化学成分都不完全一致。因为每一个厂所规定的化学成分的范围，都要使其尽量适应于自己厂的实际条件，这就是：炼钢方法，残存的合金元素，氮气含量，轧制质量，终轧温度，定径方法，热处理工艺及条件等。以常用的 E 级钻杆和 J-55、N-80、C-75、P-110 钢级套管为例，从表 1-3 中可看到它们化学成分的差异。

石油专用管材的材质主要按照其屈服强度分为不同的强度级（钢级），钢管的牌号代表着不同的钢级，而且不同的标准有不同的表示方法。

表 1-3 同一牌号钢管的化学成分差异举例

钢管名称	国别	化 学 成 分 (%)						热处理方法
		碳	锰	硅	磷	硫	铜	
钻杆	西德	0.40	1.20	0.35	—	—	—	常化+回火
	日本	0.18~0.24	1.25~1.47	0.30~0.33	—	—	—	—
	捷克	0.44~0.47	1.40~1.58	0.23~0.31	—	—	—	—
	捷克	0.36~0.41	1.15~1.30	0.32~0.38	—	—	—	常化+回火
I-55	美国	0.30~0.35	0.8~1.1	0.30	—	—	—	常化
	西德	0.36	0.90	0.25	—	—	—	常化
	日本	0.43~0.50	0.78~0.95	0.18~0.30	—	—	—	—
	日本	0.43~0.50	0.78~0.95	0.18~0.30	—	—	—	—
N-80	美国	0.40~0.46	1.60~1.70	0.15~0.25	—	—	—	常化
	西德	0.28~0.35	1.00~1.35	0.15~0.25	—	—	—	常化+回火
	西德	0.40~0.45	1.20~1.70	0.20~0.35	—	—	—	常化+回火
	英国	0.40	0.60	0.25	—	—	—	常化+回火
	捷克	0.38~0.45	0.80~1.05	0.32~0.38	—	—	—	常化+回火
	波兰	0.40~0.50	1.25~1.65	0.17~0.37	—	—	—	常化+回火
C-75	美国	<0.4	<1.5	<0.35	—	—	—	常化+回火
	日本	0.18~0.24	1.20~1.48	0.25~0.31	—	—	—	—
P-110	美国	0.40~0.46	0.90~1.20	0.25	0.45~0.65	0.30~0.35	0.1~0.15	—
	西德	0.28~0.33	1.35~1.65	0.15~0.26	—	—	—	常化+回火
	日本	0.25~0.30	1.58~1.71	0.29~0.37	0.35~0.41	0.08~0.09	—	常化+回火
	捷克	0.34~0.39	1.40~1.55	0.32~0.38	—	—	—	常化+回火

冶金部标准规定，国产石油专用管材的牌号用 $D \times \times$ 表示。 $\times \times$ 即为钢级屈服强度的两位数字，如：“D40”即表示屈服强度为40公斤/毫米²的石油专用钢管的牌号，可用以制造套管和油管。

苏联“ГОСТ”标准规定，用一定的俄文字母表示钢管牌号，分别表示不同的钢级屈服强度，如“Д”表示屈服强度为38公斤/毫米²，“Е”表示屈服强度为55公斤/毫米²等。

美国API标准，即美国石油学会制定的标准。这种标准目前已在世界大多数国家内被采用。这种标准规定，用一定的英文字母和最小屈服强度的英制单位的千分数表示。如：

“J-55”表示最小屈服强度为55000磅/英寸²（或38.7公斤/毫米²）的钢级，“P-110”表示最小屈服强度为110000磅/英寸²（或77.3公斤/毫米²）的钢级等。

以上三种标准的钢级对照可见表1-4。对于屈服强度在50公斤/毫米²以下的石油专用管材，一般使用含锰和硅的钢来生产，屈服强度高于50公斤/毫米²的石油管，一般都用低合金钢经热处理来获得，采用正火（常化）处理或者正火（常化）加回火的热处理，或者进行淬火加回火调质处理来生产。

这是由于用合金钢来生产高强度的石油管在经济上是不合算的。因此，使用碳钢或者低合金钢经调质处理的工艺，在世界上得到了广泛应用。

二、石油专用管材的腐蚀及其防止

在实际生产中几乎所有的钻井作业都有腐蚀性，只不过是有些井轻些，有些井重些罢了。钻井中对石油专用管材起腐蚀作用的腐蚀介质，主要有：氧气、二氧化碳、硫化氢、盐水和各种酸类，甚至细菌也会助长腐蚀的进行。而影响腐

表 1-4

钢 级 对 照 表

标 准		中 国 YB	美 国 API	苏 联 ГОСТ	
钢 级	屈 服 强 度 (公斤/毫米 ²)	25	—	—	A
		32	—	H-40	C
		38	D40	D, J-55, K-55	Д
		45	—	AISI-4150	45 Y
		50	D50	—	K=EM, 36Г ₂ C
		55	D55	E, N-80, (C-75, L-80)*	E
		60	D60	—	40XH
		65	D65	X-95, (C-95)*	Л
		70	35CrMo	AISI-3140	35 X
		75	D75	G-105, P-105, P-110	M
		80	—	AISI-4140	—
		85	D85	—	—
		95	D95	S-135	P
		105	—	V-150	—

* 为限制屈服强度的石油专用管材。

蚀速率的因素，最重要的是以下几种：

(1) 井内溶液的pH值

pH值是一种表示氢离子活动的测定标准。当pH值小于7，即从中性变成酸性时，腐蚀的速率会迅速增加；而当pH值大于7，从中性变成碱性时，腐蚀的速率会缓慢降低（但是对于铝合金，pH值大于8.5~9.0，会显示出腐蚀速率增加）。

低pH值的水基泥浆，会降低钻具的疲劳寿命。pH值是控制腐蚀疲劳的主要因素，但是如何精确测定出足以预防疲劳破坏的最低pH值是困难的，国外许多使用者认为，泥浆pH值低于9.5，会降低钻具的疲劳寿命。

（2）井内温度

绝大多数的腐蚀速率，会随井内温度的增加而加快。

（3）泥浆流速

一般来说，随着泥浆流速的增加会加快腐蚀的速率。

（4）钢材的不均匀性

由于钢材组成或微观结构的局部差异，会增加腐蚀速率。如在接近钻杆加厚部位，往往会发现圆周腐蚀现象，这就是因为钢材粒状结构不均匀性所造成的腐蚀例证。

（5）高应力

一般在承受高应力的部位，要比低应力部位的腐蚀速率快。紧接在钻铤上部的钻杆，往往会出现不寻常的腐蚀损坏，就是因为它要承受较高的应力和弯矩。

腐蚀的形式，有均匀腐蚀、局部腐蚀、金属锈蚀、电化学腐蚀、腐蚀疲劳和硫化应力破裂等。有时几种腐蚀形式会同时发生，但是一般说来，总是有一种腐蚀形式成为主要破坏原因。如在钻井过程中，钻具由于工作时需要连续旋转，因而在腐蚀介质中工作的钻具，腐蚀疲劳是钻具发生提前损坏的普遍原因之一。套管破坏的主要原因多为电化学腐蚀，也有厌氧菌的腐蚀。钻杆和套管均会产生应力腐蚀破裂的情况，即氢脆破裂，而硫化氢是氢脆的一个主要因素，这类腐蚀叫硫化应力破裂。油管则碰到三种主要型式的腐蚀，即环状腐蚀、金属锈蚀和麻坑，属电化学腐蚀类型。电化学腐蚀象蓄电池液中存在电解液一样，在井筒内的钻井液也可产生类

似蓄电池的导电反应。这种导电现象存在于：(1)钢材内具有电位差的区域，如油管端部加厚处的过渡区段；(2)不同钢级的管材；(3)不同金属之间，如铝合金钻杆和套管之间。只要钢材化学成分有极微小差异，热处理后部分组织稍不均匀，或者加工质量和表面状况有脱碳或不平整等状况，都会引起导电作用，从而产生电化学腐蚀。

在各种腐蚀形式中，氢脆或硫化应力破裂，是一种主要的腐蚀形式。硫化应力破裂是怎样产生的呢？我们知道氢原子(H)，是所有原子中最小的一种，也是大多数腐蚀反应产生物中的一种。氢原子能渗入钢材或其它金属材料中并扩散到材料内部。一般情况下，氢原子会快速地组合成氢分子(H_2)，氢分子很大，它被吸收到金属晶格中，会象气体一样起泡。在有硫化物时，氢会在相当长的时间里以氢原子的状态存在，因而就有被金属吸收的更大可能性。氢被吸收后，趋向于积聚在材料的最大应力处，当达到临界浓度时，就会发生各种微小的裂纹。氢原子继续积聚于裂纹尖端并使裂纹发展，一直到钢材不能承受外界负荷时，就会突然发生脆断性破坏。引起氢脆的氢原子来源，主要来自硫化氢，这是由于：(1)“含硫”地层流体的入侵；(2)钻井液中细菌对硫酸盐的分解作用；(3)钻井液中某种含硫处理剂（如木质素磺酸盐）的热分解；(4)含有硫化化合物的泥浆添加水。此外，二氧化碳与水反应后形成的碳酸，也是钻具发生氢脆破裂的氢源。

一般认为钢材的强度越高，越容易产生硫化应力破坏。当屈服强度低于63公斤/毫米²，硬度低于HRC22的钢材，能抵抗硫化应力破裂的发生。据目前研究结果表明，若对钢材进行适当的淬火和回火，上述限度可以提高到70~77公斤/毫米²，硬度为HRC26。对于强度较高的钻具接头等，其材

料热处理的强度不应超过上述规定。因为强度较高的钢材，在硫化氢环境中确实会降低其承载能力。另外，即使钢材强度是在规定范围内，采用淬火和完全回火的材料，要比正火或退火的材料更能抵抗氢脆破坏。

防止管子腐蚀，应根据腐蚀破坏的主要原因，对症下药，如采用阳极保护，或在管壁涂上塑料保护层等措施，可防止电化学腐蚀，但根本的解决办法，要求从钢管厂出厂的管子本身就具有一定的耐蚀性。为了得到耐蚀管材，其措施有三：一是改变钢的化学成分，如减少含碳量和加入适量的铬或铝等提高耐蚀性元素，使屈服强度受到限制；二是保证钢管热处理后各部分组织均匀，特别是加厚端与管身的交界处，以减少微电作用，并使屈服强度的下限降低极少，上限降低较多；三是提高轧管质量，防止表面脱碳，内部裂纹等缺陷的出现，以减少微电作用。此外在管材的运输和操作中，还要避免碰撞，勿使产生伤疤或局部变形，从而引起的腐蚀。

国外限制屈服强度的抗硫化氢钢管，有美国的C-75、L-80、C-95，法国的APS10M4和一种低锰硼钢等。前者的性能、成分和热处理方法可参阅表1-5，后两种的强度级别相当于N-80。

美国石油学会标准中的C-75钢，根据其化学成分和热处理的不同，主要可分为如表3-5所示的四个类型。在0.5%硫化氢饱和醋酸中的试验结果，以C75-2型的腐蚀敏感性最低，C75-3、C75-4、C75-1型依次增高。

法国的APS10M4是一种铬铝铝钢，其主要化学成分为：碳0.12%、铬2.2%、钼0.35%、铝0.50%，硅<0.5%、锰0.40%。为了得到碳化物弥散分布的索氏体组织，淬火前首

表 1-5 美国限制屈服强度的抗硫化氢钢管材质

钢 级	机 械 性 能		化 学 成 分 (%)						热 处 理				
			碳		锰	硅	磷	硫					
	屈服强度 (公斤/毫米 ²)	抗拉强度 (公斤/毫米 ²)	最 小	最 大	最 大	最 大	最 大	最 大					
C75-1	52.7	63.3	66.8	<0.5	<1.9	0.15~0.30	—	—	0.5	0.35	0.04	0.06	正火+回火
C75-2	52.7	63.3	66.8	<0.4	<1.5	—	—	—	—	0.35	0.04	0.06	正火+回火
C75-3	52.7	63.3	66.8	0.33~0.48	0.75~1.00	0.15~0.25	0.8~1.0	—	—	—	0.04	0.04	正火+回火
C75-4	52.7	63.3	66.8	0.03~0.48	0.75~1.00	0.15~0.25	0.8~1.0	—	—	—	0.04	0.04	正火+回火
L80	56.2	66.8	66.8	<0.4	<1.9	—	—	—	0.25	0.35	0.04	0.06	正火+回火
C95	66.8	77.3	73.8	<0.45	<1.9	—	—	—	—	0.35	0.04	0.06	正火+回火