

石油科学进展 18

石油及天然气的 开采和输送

B 册

收集和输送

〔匈〕A. P. 西拉斯 著

学(北京)

3

37

石油工业出版社

内 容 提 要

石油科学进展丛书之三《石油及天然气的开采和输送》一书是根据1975年原文版翻译的。1985年原作者对该书进行了增补和修改，并列为石油科学进展丛书18，分A、B两册出版。为此，我社又根据该书第二版原文在第一版中译本的基础上进行了修订，也分为两册出版，A册为开采，B册为收集和输送。

B册论述了油气的集输储存和该领域内的新进展。给读者提供了有关地面收集、分离和计量的系统及设备，等温输送与非等温输送的技术及方法的新资料和信息。较1975年版增加了流量计量、油田综合采油系统的设计、压力波和水击、顺序输送、管道泄漏和断裂等内容，全面改写了原油等温输送等章节，并对原有图表作了部分修改。

本书可供从事油气集输的工程技术人员、大专院校有关专业师生阅读参考。

本书新增加的章节、段落及重新修改的章节由汤楷孙同志翻译，并对全书作了校订。

DP30/16

A. P. SZILAS

Developments in Petroleum Science, 18B

PRODUCTION AND TRANSPORT OF OIL AND GAS

Second edition

Gathering and transportation

ELSEVIER 1986

石油科学进展 18

石油及天然气的开采和输送

B册

收集和输送

〔匈〕 A. P. 西拉斯 著

汤楷孙 等译 汤楷孙 校

石油工业出版社出版

（北京安定门外安华里二区一号楼）

地质出版社印刷厂排版

北京顺义燕华营印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787 × 1092毫米 16开本 14¹/₂印张 351千字 印1—2,500

1989年11月北京第1版 1989年11月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-0342-2/TE·332

定价：3.85元

目 录

第六章 石油与天然气的收集和分离	(1)
6.1 管子	(1)
6.1.1 钢管	(1)
6.1.2 塑料管, 塑料衬里钢管	(5)
6.1.3 管子壁厚	(9)
6.2 阀, 压力调节器	(10)
6.2.1 阀	(10)
6.2.2 压力调节器	(17)
6.3 管道内部的维护	(20)
6.4 油气分离	(23)
6.4.1 平衡计算	(23)
6.4.2 影响分离回收的因素	(31)
6.4.3 分离器的基本类型	(36)
6.4.4 分离器的选择	(39)
6.4.5 特殊的分离器	(42)
6.4.6 低温分离	(48)
6.5 矿场原油储存	(49)
6.5.1 储存损耗	(49)
6.5.2 储油罐	(51)
6.6 流体容积计量	(57)
6.6.1 储罐中原油容积的计量	(57)
6.6.2 筒型流量计	(59)
6.6.3 孔板流量计测定流量	(60)
6.6.4 临界流校验计	(62)
6.6.5 容积式流量计	(63)
6.6.6 涡轮式流量计	(65)
6.6.7 其他测量	(66)
6.7 油气的收集和分离系统	(68)
6.7.1 对设计带有测试中心的集油系统的一些看法	(69)
6.7.2 手工操作的计量站	(70)
6.7.3 自动化系统	(72)
6.7.4 油田综合采油系统 (FIOPS) 的设计	(80)
第七章, 原油的管道输送	(86)
7.1 压力波, 水击	(86)

7.1.1	水击现象的原因及其数学表示	(86)
7.1.2	输送系统中的压力波	(89)
7.1.3	输油管中的压力波	(91)
7.2	段塞输送(顺序输送)	(95)
7.2.1	两液段的边界混合	(95)
7.2.2	顺序输送的规划	(98)
7.2.3	液段的边缘探测	(99)
7.3	管道的泄漏和断裂	(100)
7.3.1	探测大漏	(100)
7.3.2	探测小漏	(103)
7.4	原油等温输送	(104)
7.4.1	有或没有旁接油罐的原油输送	(104)
7.4.2	基础工艺设计	(105)
7.5	等温输油系统	(123)
7.6	非等温原油输送	(128)
7.6.1	土壤的热性能	(128)
7.6.2	油品在埋地管道中稳定流状态下的温度	(131)
7.6.3	传热系数	(133)
7.6.4	在稳定状态流动时的压头损失计算	(139)
7.6.5	在埋地管道中不稳定流动的油温	(144)
7.6.6	启动压力及其降低措施	(149)
7.6.7	输送热油的管道	(155)
7.7	改善流动性能的措施	(159)
7.7.1	热处理	(159)
7.7.2	溶剂添加剂	(162)
7.7.3	化学处理	(165)
7.7.4	伴水输油	(168)
第八章	天然气的管道输送	(171)
8.1	天然气的物理和物理-化学性质	(172)
8.1.1	状态方程, 压缩性, 密度, 重度	(172)
8.1.2	粘度	(177)
8.1.3	比热, 摩尔热, 气体绝热指数, 焦耳-汤姆孙效应	(177)
8.1.4	碳氢化合物的水合物	(180)
8.2	流动天然气的温度	(183)
8.3	管道系统中的稳定流动	(185)
8.3.1	基础流动方程	(185)
8.3.2	无环系统	(187)
8.3.3	环路系统	(189)
8.4	管道系统中的不稳定流动	(195)

8.4.1 单管流动关系式	(196)
8.4.2 管道系统中的流动	(199)
8.5 在管道系统中流动的计算机数字模拟	(201)
8.5.1 计算原理	(202)
8.5.2 输气系统模拟程序的评述	(205)
8.6 天然气管道输送的经济问题	(209)
参考文献	(213)
符号表与常用物理量单位	(222)

第六章 石油与天然气的收集和分离

6.1 管子

6.1.1 钢管

用于输送石油与天然气的钢管，不是热轧无缝管，就是螺旋缝或直缝的焊接管。根据 API 标准制造的管子，极广泛地应用于全世界的石油与天然气工业。基于 API 规范 5L—1978，表 6.1-1 列出了公称直径 1/8"~1 1/2" 平头管子的主要规格。大于这些尺寸管子的主要参数则示于表 6.1-2。编制此表系基于 API 规范 5L—1978、5LX—1978、5LS—1978 和 5LU—1972。表按管子外径 (OD) 列出下列数据：单位管长的最小和最大质量 (第 3 列)；壁厚 (第 4 列)；相应最小和最大内径 (ID) (第 5 列)；此外，表 6.1-2 中还列出在各该规范尺寸限度内所制得的标准尺寸管子的种类数目 (第 6~9 列)。外径的公差随管子尺寸和制造方式的不同而异，最大允许公差为 $\pm 1\%$ 。壁厚的公差同样也取决于管子尺寸和制造

表 6.1-1 外径 10.3~48.3mm 的 API 平头钢管主要参数 (依据 API 规范 5L—1978)

公称尺寸 in	外径 d_o mm	单位管长重量 G kg/m	壁厚, mm	内径 d_i mm	按钢材级别试压		
					A	B	A ₂₅
					bar ^①		
1	2	3	4	5	6	7	8
1/8	10.3	0.36	1.73	6.8	48	48	48
	10.3	0.46	2.41	5.5	59	59	59
1/4	13.7	0.63	2.24	9.2	48	48	48
	13.7	0.80	3.02	7.7	59	59	59
3/8	17.1	0.85	2.31	12.5	48	48	48
	17.1	1.10	3.20	10.7	59	59	59
1/2	21.3	1.27	2.77	15.8	48	48	48
	21.3	1.62	3.73	13.8	59	59	59
3/4	21.3	2.55	7.47	6.4	69	69	69
	26.7	1.68	2.87	21.0	48	48	48
	26.7	2.19	3.91	18.9	59	59	59
1	26.7	3.63	7.82	11.1	69	69	69
	33.4	2.50	3.38	26.6	48	48	48
	33.4	3.23	4.55	24.3	59	59	59
1 1/4	33.4	5.45	9.09	15.2	69	69	69
	42.2	3.28	3.56	35.1	83	90	69
	42.2	4.47	4.85	32.5	124	131	90
1 1/2	42.2	7.76	9.70	22.8	152	158	96
	48.3	4.05	3.68	40.9	83	90	69
	48.3	5.41	5.08	38.1	124	131	90
	48.3	9.55	10.15	28.0	152	158	96

① bar—10⁵Pa。

表 6.1-2 外径大于60.3mm的API钢管主要参数 (依据API
规范5L—1978, 5LX—1978, 5LS—1978和5LU—1972)

外 径 d_o		单位管长重量G	壁厚 s	内径 d_i	尺 寸 类 型 数			
in	mm	kg/m	mm	mm	5L	5LX	5LS	5LU
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2 ^{3/8}	60.3	3.02	2.11	56.1	11	11		
		13.45	11.07	38.2				
2 ^{7/8}	73.0	3.68	2.11	68.8	12	12		
		20.39	14.02	45.0				
3 ^{1/2}	88.9	4.51	2.11	84.7	12	12		
		27.67	15.24	58.4				
4	101.6	5.17	2.11	97.4	12	11		
		18.62	8.08	85.4				
4 ^{1/2}	114.3	5.84	2.11	110.1	17	16	17	
		41.02	17.12	80.1				
5 ^{3/8}	141.3	7.24	2.11	137.1	13		11	
		57.42	19.05	105.2				
6 ^{5/8}	168.3	8.64	2.11	164.1	20	19	19	19
		79.18	21.95	124.4				
8 ^{3/8}	219.1	16.91	3.18	212.7	16	16	16	16
		107.87	22.22	174.7				
10 ^{3/4}	273.0	26.29	3.96	265.1	14	14	15	14
		128.37	20.62	231.8				
12 ^{3/4}	323.8	34.42	4.37	315.1	17	19	19	19
		165.29	22.22	279.4				
14	355.6	41.30	4.78	346.0	16	19	20	19
		194.90	23.83	307.9				
16	406.4	47.29	4.78	396.8	20	22	22	22
		266.20	28.58	349.2				
18	457.2	53.26	4.78	447.6	21	23	23	23
		333.07	31.75	393.7				
20	508.0	68.92	5.56	496.9	22	24	24	24
		407.39	34.92	438.2				
22	558.8	75.88	5.56	547.7	24	26	26	26
		489.17	38.10	482.6				
24	609.6	94.45	6.35	596.9	24	26	26	26
		557.53	39.67	530.3				
26	660.4	102.40	6.35	647.7	15	17	17	17
		397.70	25.40	609.6				
28	711.2	110.36	6.35	698.5	14	17	17	17
		429.51	25.40	660.4				
30	762.0	118.31	6.35	749.3	18	21	21	17
		571.68	31.75	698.5				
32	812.8	126.26	6.35	800.1	18	21	21	17
		611.45	31.75	749.3				
34	863.6	134.22	6.35	850.9	18	21	21	17

续表

外径 d_o		单位管长重量 G	壁厚 s	内径 d_i	尺寸类型数			
in	mm	kg/m	mm	mm	5L	5LX	5LS	5LU
1	2	3	4	5	6	7	8	9
36	914.4	651.22	31.75	800.1	18	21	21	17
		142.17	6.35	901.7				
38	965.2	690.99	31.75	850.9	19	19	19	15
		187.05	7.92	949.4				
40	1016.0	730.76	31.75	901.7	19	19	19	15
		196.99	7.92	1000.2				
42	1066.8	770.53	31.75	952.5	18	18	18	14
		227.95	8.74	1049.3				
44	1117.6	810.30	31.75	1003.3	18	18	18	14
		238.90	8.74	1100.1				
46	1168.4	850.07	31.75	1054.1	18	18	18	14
		249.85	8.74	1150.9				
48	1219.2	889.84	31.75	1104.9	18	18	18	14
		260.78	8.74	1201.7				
52	1320.8	929.61	31.75	1155.7	15	15	17	
		307.97	9.53	1301.8				
56	1422.4	1009.15	31.75	1257.3	15	15	17	
		331.83	9.53	1402.4				
60	1524.0	1088.69	31.75	1358.9	13	13	17	
		355.69	9.53	1505.0				
64	1625.6	1168.23	31.75	1460.5	13	13	17	
		379.55	9.53	1606.6				
68	1727.2	1247.77	31.75	1562.1				
		503.84	11.91	1703.4				
72	1828.8	1327.31	31.75	1663.7			14	
		563.71	12.70	1803.4				
76	1930.4	1406.85	31.75	1765.3			13	
		600.52	12.70	1905.0				
80	2032.0	1486.39	31.75	1866.9			12	
		710.19	14.27	2003.5				
		1565.93	31.75	1968.5				

方式，其最大允许公差为+20%和-12.5%。为了便于进行对接焊，管端是斜切的，在没有特殊协议的情况下，从垂直于管轴的平面量起的斜切角为30°（公差+5°-0°）。垂直于管轴的未斜切管面高度为1.59mm，公差±0.79mm。

这些管子材料的某些特性数据及其强度列于表6.1-3，其中也有20in（508.0mm）或更小公称管径的管箍连接的丝扣头管子，但这类管子不用A25、A和B级钢材制造。

在过去的二十年中专家们尽力为油气工业制备最高可能强度的可焊钢材。图6.1-1引用Forst与Schuster（1975）资料，以一个简单的形式表示了新标准管材强度随年代的增长情况，在纵坐标轴的左边标注了标准钢材级别，右边是以MPa为单位的屈服强度值。图中第I时期的品质提高，主要是由于采用了微量合金；第II时期则利用了新型的管材热机械处理；第III时期又可以在制管前后对管材进行后继处理，这种品质的提高具有很大的

表 6.1-3 API钢管的强度和组分 (依据API规范
5L-1978, 5LX-1978, 5LS-1978, 5LU-1972)

钢材级别	API 规范	σ_F MPa	σ_B MPa	合金元素和杂质	备注
1	2	3	4	5	6
A25	5L	172	310	C, Mn, Ph, S	
A	5L, 5LS	207	331	C, Mn, Ph, S	
B	5L, 5LS	241	413	C, Mn, Ph, S	
X-42	5LX, 5LS	289	413	C, Mn, Ph, S	
X-46	5LX, 5LS	317	434	C, Mn, Ph, S	
X-52	5LX, 5LS	358	455 ^① 496 ^②	C, Mn, Ph, S	
X-56	5LX, 5LS	386	489 ^① 517 ^②	C, Mn, Ph, S, Nb, V, Ti	
X-60	5LX, 5LS	413	517 ^① 537 ^②	C, Mn, Ph, S, Nb, V, Ti	
X-65	5LX, 5LS	448	531 ^① 551 ^②	C, Mn, Ph, S, Nb, V	只用于焊接管 用于无缝管另备协议
X-70	5LX, 5LS	482	565	C, Mn, Ph, S	只用于焊接管 用于无缝管另备协议
X-80	5LU	552	655 862	C, Mn, Ph, S, Si	最小值 最大值
X-100	5LU	689	758 931	C, Mn, Ph, S, Si	最小值 最大值

①适用于管径 $d_o < 508\text{mm}$ 和 $d_o \geq 508\text{mm}$,而壁厚 $s > 9.5\text{mm}$ 。

②适用于管径 $d_o \geq 508\text{mm}$ 而壁厚 $s \leq 9.5\text{mm}$ 。在50.80mm长度中的最小伸长

$$e = 7.738 \times 10^3 \frac{A^{0.2}}{\sigma_B^{0.9}}$$

A—管壁的截面积, m^2 ; σ_B —抗拉强度Pa。

重要经济效益。如果用较高强度的钢材制成较薄壁厚的管子,使在同样内径的管道中能承受同样的允许工作压力,那当然便宜合算了。例如有一时期匈牙利管子钢材的单位重量价格在1~1.2的幅度范围,这些钢材的相应屈服强度值则在1~1.9的幅度范围。由于根据公式6.1-3允许工作压力正比于壁厚(基于 $G = d \pi s \rho$ 的原因,故亦可正比于单位长度的质量G)和屈服强度。因此采用较高质量的管材显然是更经济的。

单位石油和燃气的运价随着运输量的增加而降低,该液体或气体的给定输量是通过较大直径的优化尺寸管道输送的。螺旋焊缝钢管的应用,首先是有利于大直径管道的建设。表6.1-2中所示直径为1727.2~2032.0mm的管子。就是利用这种技术制造的。对于较小直径的情况,一方面因为只需要比热拉管小的壁厚,所以它们是经济的;另一方面当在同样几何参数情况下,它们的允许工作压力又比直焊缝管子要高。

由于越来越多的油气井在北极地区钻成,因此对管材质量的要求也越来越高。这些地区的低温特点,显著降低了管材的延展性能。基于这一观点,能用来评价钢材强度的参数,首先是临界温度或脆化温度。该参数可通过切口冲击弯曲试验得出。在钢中加入高达2%的锰元素,可以提高钢材的屈服强度并降低其脆化温度。又在任何锰含量下,再稍加

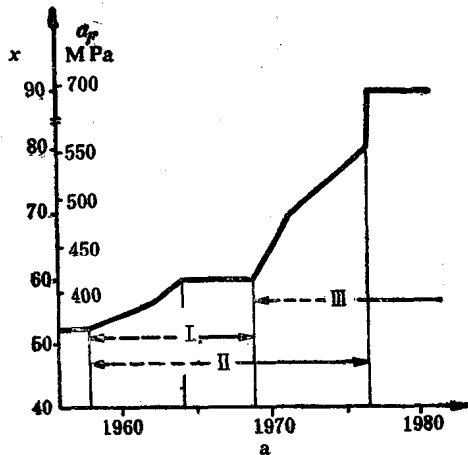


图 6.1-1 标准管材的强度(引自Forst与Schuster, 1975)

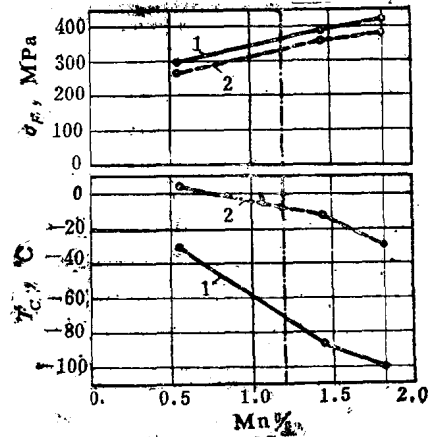


图 6.1-2 低温下铝元素含量为0.05% (曲线1)和0.01% (曲线2)时, 锰元素含量对于标准52.3号钢的强度和脆化温度的影响(引自Haarmann1970)

一点铝元素 (0.05%)，还可提高其屈服强度并显著降低其脆化温度 (见图6.1-2)。这就是在钢管中加入微量铝元素用以抗寒的道理。铝的存在还可使形成较细的颗粒结构。

为了降低材料消耗量并同时要求获得较高允许工作压力，因此在法国和德意志联邦共和国 (Botkilin and Majzel'1975) 开发了一些新技术。**多层管**。一根管子被拉入另一根内。内管用低屈服强度的较弱材质，外管使承有预应力。制造这种管子组合的一种方法，是在热态下把外管拉套上冷内管，并使在冷却过程中收缩。另一常用方法是在冷态下将外衬管拉套上内管，然后在内管施加足够大的压力，使造成永久变形。**钢缆加强管**。具有比那些滚轧钢板更高强度的钢缆是可以制得的。将厚度为 1/3 管壁尺寸的这类扁平钢缆围绕在管子上。还可使用屈服强度 $\sigma_p=1422\text{MPa}$ 的钢缆。由于这个预期外载荷可能造成大直径小壁厚管子的变形，因此为了避免这种变形发生，也可以采用加固环以代替加大壁厚。

6.1.2 塑料管，塑料衬里钢管

自从四十年代以来，石油和天然气工业使用塑料管的数量不断增长，首先用于低压输送原油、天然气和水。塑料管相对于钢质管具有若干优点：由于这种管材密度较小，因此它的装卸、储存、组合和运输都比较简便容易。并且塑料管能耐内外腐蚀。某些塑料具有憎蜡性质，故可防止管壁结蜡。用于输送含蜡原油，可显著降低清蜡费用。它们的导热率和导电率都比较小，因此这些管道的维护费用也就较低。塑料管内表面的相对粗糙度很小，足以认为是水力光滑的，故其摩擦损失在任何给定流量下都比钢管中低。塑料管的缺点如下：管材的抗拉强度相对较低，并随温度、时间与荷载方式（静态或内压波动）的改变，它受影响显著。其热膨胀系数相对较大，可比钢材高出15倍之多。它们容易变形，并对着火等物理影响的抗拒性是很低的。

用于制造管子的塑料分为两大类：(1) 加热软化的称作热塑性塑料；(2) 加热硬化的称作热固性树脂。热塑性材料是合成的聚合物，它们在聚合加工过程中，由短链的单体分子联结成具有相当长度的聚合分子。这种颗粒状或粉末状的塑料，然后用挤压机压制所需尺寸。在适当的溶剂中，甚至在重复热处理的情况下，它们仍然是可溶和可再造以及可重复使用的。

热固性塑料或模制树脂是经过单体缩聚加工过程制成的。在这样的单体联结过程中伴随着产生一些象水、二氧化碳或氨等副产品。管子是用与制造铸铁管相似的静止浇铸法或离心浇铸法制造的，然后用化学方法或热处理方法使管子熟化。管材配制成功后就不能再重复使用。对这种相对脆性的管材，可加入不同的添加剂以增其柔性，最常用的一种就是玻璃纤维。至于考虑热塑性管材，首先是从硬聚氯乙烯 PVC(HPVC)，耐震聚氯乙烯（一种聚氯乙烯与氯化了的聚乙烯的混合物，记为 PVC+CPE），以及从硬聚乙烯制造管子。聚氯乙烯是由乙炔的衍生物氯乙烯聚合而成。乙烯是聚乙烯 PE 的单体。制造所得的上述几类基本塑料，因其制造技术与使用添加剂的不同，所以它们的物理参数也各不相同。表 6.1-4（引自 Vida 1981）列出上述用于匈牙利的塑料的主要物理参数。它们已被广泛应用，首先是在天然气工业中，它们被用于低压配气作业。以硬聚氯乙烯 HPVC 制造的管子，仅在欧洲地区 1978 年敷设总长度就达 28500km，这就足以说明这种管子被应用的广泛性。以硬聚乙烯 HPE 制成气管的应用，在 70 年代有相当显著的增长，在西欧 7 国中由 1972 年的 2.7 百万吨增长到 1979 年的 25.8 百万吨。关于这些管道的参数与现存标准，Müller(1977)曾作了很好的回顾与总结。

表 6.1-4 匈牙利塑料管材的特性 (引自 Vida, 1981)

类 型	密 度 kg/m ³	抗拉强度 MPa	硬 度 MPa	HB弹性模数 MPa
	标 准			
	MSz1425	MSz5546	MSz1421	DIN53457
HPVC	1420	59.3	102.3	810.4
PVC+CPE	1340	44.7	103.3	636.6
HPE I	900	21.2	44.7	187.8
II	890	19.3	36.1	162.5

在热固性塑料中适合于制造管子的，首先是环氧树脂和聚酯。聚酯是多价醇（乙二醇、丙三醇等）与多价酸（邻苯二酸、顺丁烯二酸等）的缩聚物，环氧树脂是由二烯与氯甲代氧丙环，以苛性钠为催化剂缩合成的。通过不同技术和使用不同添加剂，已有好几类这种塑料问世。在 API 规范 5LR-1972 中列出了一些输送油、气和工业用水的管道，它们是由加强热固树脂 (RTR) 用离心浇铸 (CC) 或纤维缠绕 (FW) 方法制造的。玻璃纤维常被用作加强材料，以获得管材强度的升高，也同时降低了导热性与吸水性。

由于温度的变化，导致热塑性塑料和树脂的强度变化，其影响则各不相同。根据 Greathouse 和 McGlasson(1958) 资料，对于两种聚氯乙烯管材和两种玻璃纤维加强塑料管材的抗拉强度随温度的变化，示于图 6.1-3。可以清楚看出，这些后一类材料的抗拉强度，甚至在 120℃ 温度时也不小于其在室温时的数值。但是塑料管子的允许压力随时间的延长会出现特殊的变化。仍据 Greathouse 和 McGlasson 资料，在不同切向或环向应力作用下，聚氯乙烯管子随荷载施加时间而管径增大的关系，示于图 6.1-4。其环向应力为：

$$\sigma_r = \frac{p_i(r_i^2 + r_o^2)}{r_o^2 - r_i^2}$$

我们可以看到，与钢管相反，其由于内部超压而增大直径的过程是慢的，并且有一个临界环向应力，它如果足够小的话，则在一给定时间内停止了直径增大。但如 σ_t 超过其临界值，则管子会不断膨胀直到破裂。影响管子内部允许超压值的另一重要因素是压力为常数还是变数或是脉动等情况。由于这些特点，在有些国家的标准和规范中汇编了塑料管的合格条件。基于API规范5LR，表6.1-5列出了在23.0℃和65.6℃温度下不同级别塑料管材的最小强度特性。在这里各种情况下的强度是指环向应力。表头上R后面的数字代表

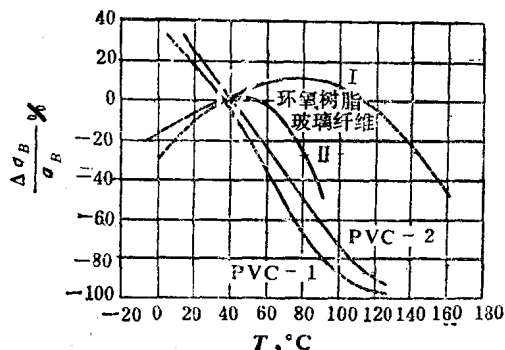


图 6.1-3 塑料的抗拉强度与温度的关系曲线 (引自Greathouse and McGlasson, 1958)

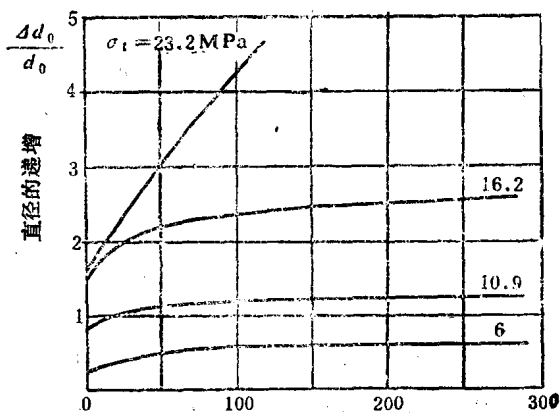


图 6.1-4 PVC-1 管径的增值随时间的变化 (引自Greathouse and McGlasson, 1958)

表 6.1-5 加强热固树脂管(RTRP)的最低物性指标, 引自API规范5LR

物性与测试方法	级 别							
	R-40		R-45		R-50		R-60	
	23.0	65.6	23.0	65.6	23.0	65.6	23.0	65.6
	℃							
长期循环施压 ^①								
强度, MPa ^①	27.6	27.6	31.0	31.0	34.5	34.5	41.4	41.4
短期循环施压								
强度, MPa	103	103	117	117	131	131	138	138
长期静压, MPa	75.8	75.8	89.6	89.6	103	103	138	138
短期破坏强度 (爆裂) MPa	207	207	241	241	276	276	345	345
极限轴向抗拉强度								
MPa	51.7	48.3	52.1	57.9	62.1	57.9	82.7	77.2
水压破坏强度								
MPa	40.0	35.2	40.0	35.2	40.0	35.2	40.0	35.2

①最小环向应力。

不同级别，它们是在长时间循环施加载荷的情况下以 psi 为单位的环向应力数值，也就是表中第一行以 MPa 为单位给出的数值。同样根据上述规范，各标准管子的大小尺寸列于表6.1-6。

表 6.1-6 加强热固树脂管(RTRP)的尺寸和质量引自API规范5LR

公称尺寸 d_o , in	外径OD d_o , mm	内径ID d_i , mm	总壁厚 s_t , mm	最小加强壁厚 s_{min} , mm	最大单位长度重量 G_{nom} , kg/m	制造方法
2 (2.375)	60.3	56.8	1.8	1.5	0.60	FW
		54.2	3.0	2.5	0.97	FW
		50.7	4.8	4.2	1.77	FW
		50.2	5.1	3.6	1.24	CC
		47.6	6.4	4.3	1.86	CC
2 ¹ / ₂ (2.875)	73.0	45.1	7.6	5.6	2.09	CC
		69.5	1.8	1.5	0.76	FW
		63.4	4.8	4.2	1.97	FW
		62.9	5.1	3.6	1.79	CC
		60.3	6.4	4.3	2.17	CC
3 (3.500)	88.9	57.8	7.6	5.6	2.53	CC
		85.3	1.8	1.5	0.89	FW
		84.8	2.0	1.8	0.97	FW
		82.8	3.0	2.5	1.49	FW
		78.7	5.1	3.6	2.09	CC
4 (4.500)	114.3	76.2	6.4	4.3	2.61	CC
		73.7	7.6	5.6	3.13	CC
		110.2	2.0	1.8	1.19	FW
		109.7	2.3	2.0	1.34	FW
		108.2	3.0	2.5	1.94	FW
6 (6.625)	168.3	104.1	5.1	3.6	2.64	CC
		101.6	6.4	4.3	3.57	CC
		99.1	7.6	5.6	4.82	CC
		162.7	2.8	2.5	2.53	FW
		160.2	4.1	3.6	3.87	FW
8 (8.625)	219.1	155.6	6.4	4.3	5.21	FW
		153.0	7.6	5.6	6.18	CC
		148.0	10.2	7.6	6.04	CC
		212.2	3.4	3.2	2.98	FW
		209.9	4.6	4.1	5.66	FW
10 (10.750)	273.1	206.4	6.4	4.3	6.70	CC
		203.8	7.6	5.6	8.04	CC
		198.8	10.2	7.6	10.43	CC
		264.4	4.3	3.8	6.26	FW
		261.9	5.6	5.1	8.68	FW
12 (12.750)	323.9	260.4	6.4	4.3	8.34	CC
		257.8	7.6	5.6	9.98	CC
		252.7	10.2	8.1	13.03	CC
		313.7	5.1	4.4	8.94	FW
		312.7	5.6	5.1	10.43	FW
		311.2	6.4	4.3	9.98	CC
		308.6	7.6	5.6	11.92	CC
		303.5	10.2	8.1	15.49	CC

在塑料衬里的钢管中部分兼备了钢管和塑料管的各有利性质。由于管子内壁的塑料衬里使它成为水力光滑，因而提高了输送能量。蜡不再沉结于管壁，或者如果有沉结的话，也只能是极小数量。内腐蚀消除了。没有锈渣进入液流，所以降低了计量工具和管子配件的磨损。管子的允许工作压力则决定于钢管的参数。聚乙烯和环氧树脂是最常被采用的衬料。衬里作业可在制管厂进行，现场旧管特别是输气管也可装备塑料内衬，但后一种作业须要特别当心 and 专门技术。抵抗管子外表面的外腐蚀也可涂用塑料。

6.1.3 管子的壁厚

虽然世界各国对用于计算油气输送管道壁厚的公式略有不同 (Csete 1980)，但这些公式的基础是相同的：

$$s = \frac{d_o \Delta p}{2e\sigma_{al}} + s_1 + s_2 \quad 6.1-1$$

式中， Δp 是遍布管子内外壁的压差。

对于钢管， e 是焊缝质量系数。无缝钢管 $e = 1$ ，轴向直缝焊接管 $e = 0.7 \sim 0.9$ 。

根据 Siebel 意见 (Stradtman 1961)，对于螺旋焊缝管 e 值应除以 σ_a/σ_p ，此处 σ_a 是垂直于焊缝的切向应力，而 σ_p 是垂直于管轴的管子横截面上的切向应力。对于普通应用的螺旋缝焊接管，其焊缝斜角 α 通常大于 40° ，故其 $\sigma_a/\sigma_p = 0.8 \sim 0.6$ ， α 角愈大，则 σ_a/σ_p 比值愈小。那么，如果 $\alpha \geq 40^\circ$ ，则 $\frac{e}{\sigma_a/\sigma_p} = 1$ 这意味着强度最弱的地方不是在焊缝而是在钢板本身。并可将 $e = 1$ 代入公式 6.1-1 中应用。

允许应力为

$$\sigma_{al} = \frac{\sigma_F}{k} \quad 6.1-2$$

式中 σ_F 为屈服强度， k 为安全系数，其值大于 1。根据匈牙利规范，应注意下列安全系数。输送原油和石油成品油的管道属于下面的 (1) 列，输送天然气和液化气的管道属于下面 (2) 列：

	(1)	(2)
a) 旷野、耕地、森林	1.3	1.4
b) 离居住区、铁路、公路干线等 100~200m	1.5	1.7
c) 上项间距在 100m 以内	1.7	2.0
d) 在工业区及稠密居住区，在铁路公路干线及河道下面	2.0	2.5

在有些国家不用上述安全系数而用其倒数，称它为设计系数。根据 12 个天然气发达国家的标准，Csete (1980) 总结了该设计系数是在 0.3~0.8 的范围。因此换算其倒数，安全系数便是 3.3~1.25。

公式 6.1-1 中的 s_1 是对壁厚负公差的补偿，如果考虑它的话，其值为计算该公式首项 s_0 值的 11~22%。 s_2 是对腐蚀和材料降质的补偿，其值最大为 1mm。在计算 s 的过程中各国对于 s_1 和 s_2 的考虑都不一样。在法国、德意志联邦共和国或美国都不规定这些数值，所以常用的一个较简单形式的 6.1-1 式变形为

$$s = \frac{d_o \Delta p}{2e\sigma_{al}} \quad 6.1-3$$

屈服强度 σ_F 是指产生永久变形时的应力，故在变形过程中荷载不增或不变。这种现

象并不是在每种金属和合金上都能观察到的。在此情况下属于0.2永久变形的应力即被认为为其屈服应力，并记作 $\sigma_{0.2}$ 以取代 σ_F 。

计算塑料管允许内部净压可用ISO公式：

$$\Delta p = \frac{2\sigma_r s}{d_i}$$

式中 σ_r 是由表6.1-5的相应栏中选取的环向应力值， d_i 是平均内径（ID）应由 $(d_o - 2s)$ 求得。

例6.1-1 一条输送天然气的螺旋焊缝管，公称直径 $d = 10^{3/4}$ in，材料为X52级钢，敷设穿过耕地，工作压力为60 bar，试求其所需壁厚。

解：从表6.1-2和所给管子的外径OD是0.273m，查表6.1-3， $\sigma_F = 358\text{MPa}$ ，据位置条件考虑 $k = 1.4$ ，螺旋焊缝管道 $e = 1$ 故由公式6.1-3，得壁厚为

$$s = \frac{0.273 \times 60 \times 10^5}{2 \times 1 \times \frac{358 \times 10^6}{1.4}} = 3.20 \times 10^{-3} = 3.20\text{mm}$$

由表6.1-2查得公称直径为 $10^{3/4}$ in，管子的最小壁厚为3.96mm，即此壁厚，应被选用。

6.2 阀，压力调节器

6.2.1 阀

油气管道上使用的阀门，可以是闸阀、旋塞阀或球阀。这几类阀又细分为多种型式。

(a) 闸阀

闸阀的阀芯为闸板。打开或关闭闸阀时，闸板的移动方向垂直于油气流的流入和流出方向。闸阀的分类有几种依据，下面按其关闭方式进行分类。典型的例子如图6.2-1~6.2-4所示。其中，图6.2-2和图6.2-3所示闸阀符合API标准6D-1971。闸阀的主要部件如下：手轮1，阀杆2，密封压盖3，阀杆密封4，阀盖5，阀盖螺栓6，阀体7，楔形闸板或盘形闸板8，以及阀座9。图6.2-1所示的阀的阀芯为楔形闸板8。此种阀的结构简单，价格低廉，但其关闭时仍有少量液体漏出。因为第一，要磨光楔形闸板达到精密配合是不容易的。其次，当阀关闭时，阀芯会在金属表面上滑动，固体颗粒的沉积物便在闸板表面上划出刻痕，从而引起漏失。这类阀从前应用十分普遍，但现在已很少使用了。

图6.2-2所示的阀，是一种双盘式暗杆闸阀，其密封性能比上面那种楔型闸阀好得多。因为该阀在刚要关闭之前或刚刚打开之后，两个圆盘不会在阀座上滑动，而是几乎成直角地相对于阀座移动。两个阀芯是分别进行机械加工的，比较容易磨光，以达到严密配合。图6.2-3所示为全开型明杆阀，带金属密封。其典型的结构特征是装有一阀杆升程指示器1。这种阀的优点之一，是即使流体中含有固相，阀的内壁也不容易被磨蚀。其阀芯不会被卡住。若阀中的压力过高，安全阀2可予自动释放。其缺点是由于采用金属对金属的密封，其密封性能有时达不到油气工业的要求。此外，圆盘的配合也会因固体颗粒产生的刻痕而招致破坏。现在在用的最大的全开型明杆阀的公称直径达1000mm，额定压力为66bar（Laabs1969年的资料）。

图6.2-4所示为全开型暗杆浮动阀座闸阀。所谓浮动阀座3可以沿管线中心线方向移动，并带有O型密封圈2，阀座靠弹簧1压紧闸板。关闭时形成的压差能对密封产生一压

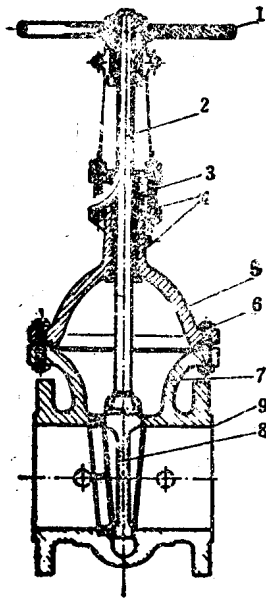


图 6.2-1 楔形明杆闸阀

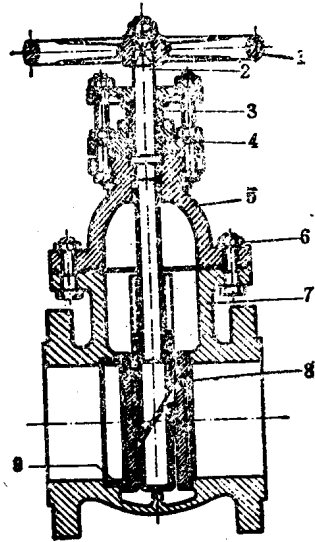


图 6.2-2 盘形暗杆闸阀 (引自API标准6D-1971)

紧力，从而提高密封性能（关于这种机理参看 6.2.1-(b) 节球阀一段）。微小的固体颗粒不会严重磨蚀密封面，但大的金属碎片则有这种可能。对于高压大口径管线，普遍采用这类闸阀的变型——钢板焊接的阀体。

上述各型闸阀，既有明杆式的，也有暗杆式的。明杆阀在竖直方向占的空间较大。明杆阀的阀杆上的螺纹在其上部，很可能外露于大气中。而暗杆阀的阀杆上的螺纹则在其下

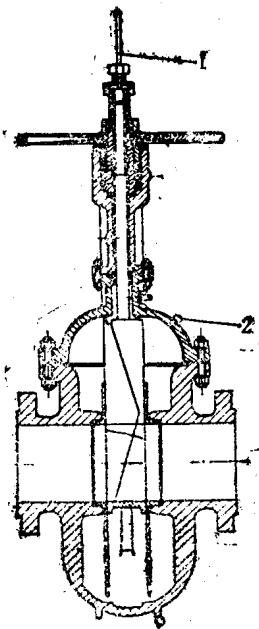


图 6.2-3 全开型明杆闸阀 (引自API标准6D-1971)

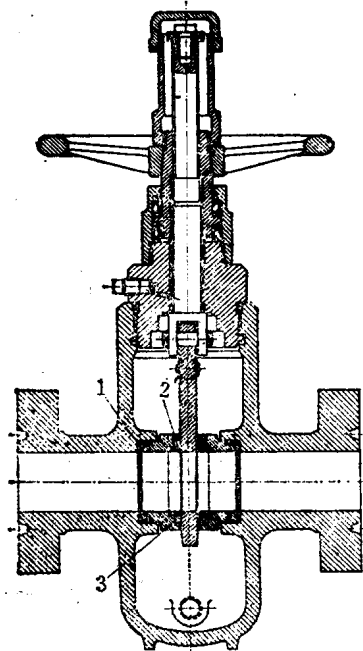


图 6.2-4 Grove G-2型全开浮动阀座闸阀

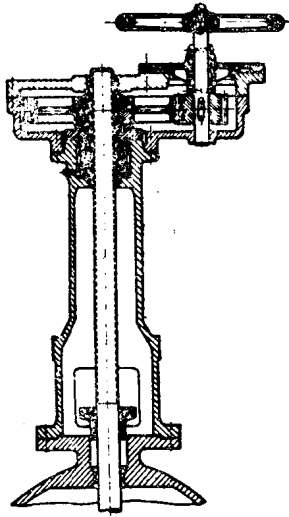


图 6.2-5 采用圆柱齿轮传动的闸阀阀杆

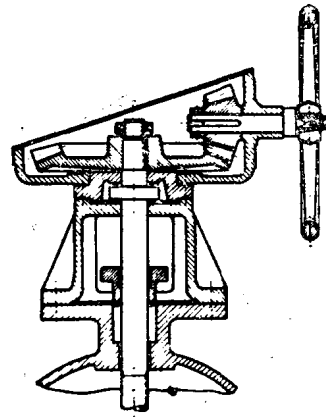


图 6.2-6 采用伞齿轮传动的闸阀阀杆

部，要与井内的流体接触。因此，可以根据具体使用条件，正确选用明杆阀或暗杆阀，以尽可能防止螺纹损坏。明杆闸阀的手轮可以随阀杆，也可以不随阀杆一同上升。新型明杆闸阀的手轮一般不随阀杆上、下移动（参看图6.2-3）。为了使阀杆转动，既把手轮装在阀杆上（如上面图示各种类型）直接转动之，也可通过一对圆柱齿轮或伞齿轮将扭矩传到阀杆上（图6.2-5和6.2-6）。

自然，也可以机动操作闸阀，即用气、液或电驱动闸阀。图6.2-7所示为电动机和伞齿轮驱动的明杆闸阀。用于油气输送管道的闸阀通常带有连接法兰，不过，有时也用平端阀体，两端带焊接法兰或连接螺纹。若工作压力较低，则法兰上与对置法兰相贴的外表面，可以是光滑表面，也可以是粗糙面，其间采用非金属环形垫片（例如石棉橡胶垫）。如

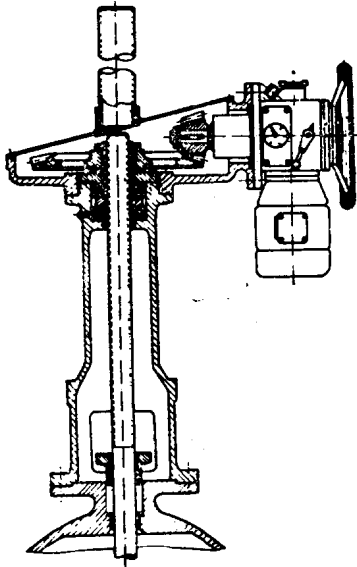


图 6.2-7 电动机驱动，伞齿轮传动的闸阀阀杆

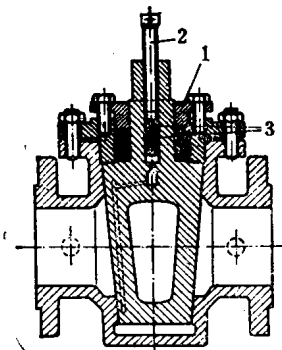


图 6.2-8 旋塞阀