

国内外天然气管道绝对当量粗糙度的设计取值

王喜安*

(新疆石油管理局销售公司北京公司)

张世斌

(新疆石油管理局销售公司北京公司)

刘 雯

(中国石油管道公司管道科技研究中心)

刘广文

(中国石油管道公司管道科技研究中心)

王喜安 刘 雯等:国内外天然气管道绝对当量粗糙度的设计取值,油气储运,2000,19(10) 8~10,48。

摘 要 天然气管道的绝对当量粗糙度是工艺计算和评价管道涂敷内涂层经济效益的一个重要参数,目前,国内外输气管道绝对当量粗糙度的设计取值差异较大,介绍了管道工业发达国家输气管道绝对当量粗糙度的取值范围及有关绝对当量粗糙度的一些最新研究成果。针对我国的具体情况,以陕京和中原两条输气管道为例,进行实算反推运行管道的绝对当量粗糙度值,对长输大口径天然气管道绝对当量粗糙度的设计取值提出了建设性的意见。

主题词 天然气管道 设计 粗糙度 取值 方法 研究

目前,天然气管道内涂层减阻技术在欧美等国家,特别是西欧受到普遍重视并得到广泛应用。在计算新建管道内涂层经济效益时,通常要涉及到一个非常重要的参数就是管道的绝对当量粗糙度。天然气管道工艺设计时所选取的粗糙度,一般是指绝对当量粗糙度(也叫有效粗糙度),它包括管子的内表面粗糙度、焊缝、弯头以及内部沉积物引起的粗糙度,因而绝对当量粗糙度应该是管道运行时的平均粗糙度。绝对当量粗糙度指管内壁凸起高度统计的平均值,由于制管、焊接以及安装过程中的种种原因,管壁凹凸不平,其凸起的程度、形式及分布具有随机性。目前文献发表的粗糙度数值都是用水力方法测得的粗糙度的当量值,系指用等直径的沙砾粘在光滑的管内壁上,制成人工粗糙面,取沙砾的直径作为粗糙度高度,以此为标准将实际的管道与之相比较,水力摩阻系数相同者即具有相同的粗糙度。国外对各种管材、管径的管路摩阻数据进行了整理和研究,结果表明,对于新的、洁净的管壁,其绝对当量粗糙度仅取决于管材和制管方法。而使用后的管道则随流体的性质、腐蚀程度、运行年限、清管方法等

的不同会有很大变化,需要进行实际测量。目前,各种文献推荐的钢管内表面绝对当量粗糙度的估计值相差较大^[1]。

一种管子的粗糙度一般是根据试验和工程实践经验确定的。在国内输气管道工程设计中,钢管内绝对粗糙度一般根据经验选取。而国外管道绝对当量粗糙度的取值是根据不同类型的管子和存放期而定,管内壁的粗糙度实际上是一种管子综合概念的当量粗糙度。

一、国外钢管内壁绝对当量粗糙度的取值范围(估计值)

1990年由中国石油天然气四川石油管理局编写的《天然气工程手册》介绍了美国和俄罗斯输气管道绝对当量粗糙度的取值(见表1、表2)。

表3为1975年第一届国际管子内外保护会议资料中介绍的钢管内壁绝对当量粗糙度的取值范围。

* 100013,北京市朝阳区和平街11区37号楼2层;电话:(010)84252058。

表 1 俄罗斯气体管道绝对粗糙度的估计值^[1]

管子种类	管子状况	绝对粗糙度 (μm)	绝对粗糙度平均值 (μm)
无缝钢管	新而清洁	10~20	14
无缝钢管	使用数年后	15~30	20
焊接钢管	新而清洁	30~100	50
焊接钢管	轻微腐蚀经清理	100~200	150
焊接钢管	中等锈蚀	300~700	500
焊接钢管	旧而生锈	800~1 500	1 000
焊接钢管	严重生锈	2 000~4 000	3 000

表 2 美国气体管道绝对粗糙度的估计值^[1]

管子条件	粗糙度 (μm)
新的干净裸管	12.7~19.0
在大气中暴露 6 个月后	25.4~31.8
12 个月后	31.8
24 个月后	44.4~50.8
喷砂处理过的钢管	7.6~12.7
用清管器清过的钢管	5.1~7.6
用环氧或丙烯酸内涂后的钢管	7.6~12.7

表 3 涂敷和未涂敷管道的绝对粗糙度选择^[2]

管子条件	粗糙度 (μm)
涂敷沥青后的新管	10~20
新管裸管	40~100
沥青、较松散	80~100
轻微结壳	100~200
用过的管子清扫后	100~200
全部锈蚀	150~400
中度结壳	500~1 000
重度结壳	1 000~3 000
氯化橡胶涂层	7
双组分聚氨酯	1

表 4 为目前欧美较通用的 Moody 公式给出的绝对当量粗糙度值以及原苏联几种管材的绝对当量粗糙度值。

1985~1992 年,努发天然气输送有限公司系统设计部门对涂敷和未涂敷的新管绝对当量粗糙度的取值分别为 $10.2 \mu\text{m}$ 和 $16.5 \mu\text{m}$ 。1993 年,努发公司对天然气管道的进一步研究结果表明,涂敷内涂层后的管子绝对当量粗糙度为 $6.4 \mu\text{m}$,新的裸管绝对当量粗糙度的代表值为 $19.1 \mu\text{m}$,没有内涂层的

管道在铺设前内表面即发生严重的恶化,暴露一年后粗糙度达到 $36 \mu\text{m}$ 。早在 1956 年和 1965 年 Theis, W. T 和 Uhl, A. E 的研究就发现,裸管在运行期间每年绝对当量粗糙度还要增加 $1\sim 4 \mu\text{m}$,但加内涂层后管道的绝对当量粗糙度基本不变。因此,努发公司在管径 406 mm 以上的干线管道中有 76% 使用了内涂层^[1]。

表 4 欧美及原苏联输油管道的绝对粗糙度^[3]

管道种类及状态	绝对当量粗糙度 (μm)	
	欧美数据	原苏联数据
玻璃管、冷拔铜管、铅管	1.5	
钢管、熟铁管	45.7	
镀锌铁管	150	
铸铁管	260	
水泥管	300~3 000	
新的、清洁的无缝钢管		14
使用几年后的无缝钢管		200
新的焊接管		50
轻度腐蚀的焊接管		150
中度锈蚀的焊接管		500
旧的锈蚀焊接管		1 000
严重锈蚀焊接管		3 000

美国伯克特管道工程公司 (BECHTEL) 在以往的输气管道工程设计中,管道的绝对粗糙度一般取值为 $46 \mu\text{m}$ 。

新加坡 Bredero Price 有限公司的资料表明,新直缝管的内表面粗糙度实测值为 $30\sim 45 \mu\text{m}$ (螺旋管更大),在相对湿度为 80% 情况下存放一段时间后,其表面粗糙度超过 $75 \mu\text{m}$,并伴有轻度的腐蚀剥离物。

意大利 Snamprogetti 公司给出的钢管内表面粗糙度的预计值为 $40\sim 60 \mu\text{m}$ 。

英国 PLT 工程有限公司在其 1988 年的资料中介绍,国外商用管道的绝对粗糙度典型值为 $45 \mu\text{m}$ ^[6]。

二、有关国内管道管内表面粗糙度的取值

1、国内一些管厂的钢管内表面粗糙度

由于过去国内天然气长输管道一直没有大规模应用内涂层减阻技术,因此,国内各管厂的质量技术

检验部门也就没有检测管内壁表面粗糙度这一指标。各管厂的管内壁粗糙度(见表 5)大多数是指制管用钢板板材的表面粗糙度,与真正意义的管内壁有一定的差距,需要实测验证。

2、 陕京和中沧输气管道的粗糙度实际反推值

(1)陕京输气管道的数据取 2000 年 1 月 15 日和 25 日的现场实际数据,管段为靖边至榆林段,有关数据见表 6 和表 7。

表 5 国内各管厂钢管内表面粗糙度

钢管厂名称	内表面粗糙度(μm)	
	新管裸管	搁置半年管
宝鸡石油钢管厂	25.0	50(气候干燥有浮锈) 100(气候潮湿有锈斑、麻坑)
辽阳石油钢管厂	12.5	25
沙市石油钢管厂	25.0	有浮锈,粗糙度无明显变化
资阳石油钢管厂	参照 GB14164-93	

表 6 陕京输气管道靖边至榆林段运行数据

时 间	管段长度 (km)	输 量 (10 ⁴ m ³)	靖边出站压力 (MPa)	榆林进站压力 (MPa)	地温 (°C)
2000-01-15	100	496.162	4.42	4.09	3~5
2000-01-15	100	538.844 8	4.38	4.09	

靖边进口温度 (°C)	榆林进口温度 (°C)	靖边至榆林段标高(m)		
		靖边	脑海	榆林
16.8	2.26	1 324	1 036	1 185
12.9	1.60			

表 7 陕京输气管道气体成分和含量

气体成分	含量 %	气体成分	含量 %
CH ₄	94.8	IC ₄	0.01
C ₂ H ₆	0.77	nC ₄	0.01
CO ₂	4.14	nC ₅	0.01
N ₂	0.13	C ₆ ⁺	0.01

表 9 中沧输气管道气体成分和含量

气体成分	含量 %	气体成分	含量 %
甲烷	95.62	异戊烷	0.03
乙烷	1.97	正戊烷	0.02
丙烷	0.27	二氧化碳	0.87
异丁烷	0.05	氮气	1.08
正丁烷	0.09		

注 气体比密度为 0.72 kg/m³,水露点为-20°C。

注 气体密度为 0.581 9 kg/m³,水露点为-27°C。

(2)中原输气管道有关数据见表 8 和表 9。

(3)计算原则为,把下游进站压力设为未知数,通过代入不同的粗糙度计算下游的进站压力,当计算的下游进站压力与实际相吻合时的粗糙度即为实际的管道绝对当量粗糙度。模拟软件为 TGNET 软件。

表 8 中沧输气管道数据

时 间	濮阳出站 压力 (MPa)	沧州进站 压力 (MPa)	濮阳出站 温度 (°C)	沧州进站 温度 (°C)
2000-01-04	2.23	0.9	7.1	7.3

(4)取陕京输气管道 2000 年 1 月 15 日的的数据,当代入粗糙度为 40 μm 时,下游进站压力的计算值为 4.076 MPa,与实际的 4.09 MPa 基本吻合,此时的绝对当量粗糙度应为 40 μm 左右。取陕京管道 1 月 25 日的的数据,当代入粗糙度为 40 μm 时,下游进站压力的计算值为 3.957 MPa,与实际的 3.96 MPa 基本吻合,此时的粗糙度应为 40 μm。

中沧输气管道的计算粗糙度应为 25 μm。

计算结果表明,陕京输气管道在冬季输量较大,接近设计输量时,基本处于阻力平方区,因此,绝对粗糙度较大。而中沧输气管道输量较小,且流体流态处于水力光滑区,粗糙度很小。(下转第 48 页)

为 0.18 MPa,末站进站压力为 0.1 MPa;随启动时间延长和流量的增加,中间站进站压力不断回升,末站进站压力缓慢变化。

从表 3 和图 3 可以看出,计算结果与现场实测结果基本一致,说明该模拟软件的计算是可靠的,可以用于彩石输油管道停输再启动的预测,对输油生产和安全运行管理具有指导意义。

四、几点建议

(1)由于彩南原油结构恢复性较强,彩石输油管道冬季气温和管道埋深处地温低,冬季彩石输油管道最低进站温度应控制在 25.5~28℃左右。

(2)彩石输油管道距离长,管道应力状态不好,在目前输油条件(输量 120 m³/h 和出站温度 50℃)下,冬季 4 个月(12 月~3 月)中间站需要加热,其它季节可以实现热力越站。如果输量为 200 m³/h,冬季出站温度高于 50℃,可以实现冬季热力越站。

(3)由于新疆地区冬季气温低,架空段降温幅度大及彩南原油静态降温恢复性强,冬季停输时,对架

空段应引起重视。

(4)根据新的运行方案,与 1998 年冬季运行参数相比,全线平均减少温升 16℃,按加热炉效率为 0.8,输量为 120 m³/h 计算,冬季 4 个月可以减少燃油消耗 290 t。

(5)根据试验结果与模拟计算结果的对比情况,说明采用这种原油流变性研究加数值模拟计算的方法进行热输原油管道停输再启动的预测是成功的。从而为确定热油管道的最低安全输油温度,制订管道运行规程,提供了可靠的依据。

参 考 文 献

- 1, 张国忠等:东黄复线停输再启动过程研究,油气储运,1996,15(9)。
- 2, 罗哲鸣等:原油流变性及测量,石油大学出版社(北京),1994。
- 3, 安家荣等:热油管道停输与再启动过程模拟计算软件,油气储运,1998,17(3)。

(收稿日期:2000-04-25)

编辑:孟凡强

(上接第 10 页)

纵观国外天然气管道绝对粗糙度的取值发现,原苏联在其《干线输气管道设计规范》中,无内涂层整体管子绝对粗糙度的取值为 0.03 mm,输油管道绝对粗糙度的取值分别为,管径 377 mm 以下的管道为 0.125 mm,377 mm 以上为 0.1 mm。全苏气体研究所在早期(50~60 年代)输气管道的摩阻计算中,通常取绝对当量粗糙度为 0.04 mm,现在取值为 0.03 mm^[7]。美国和加拿大输气管道新管取 0.02 mm,存放一年后其粗糙度达到 0.031 8 mm 以上。我国《输气管道工程设计规范》中没有给出绝对粗糙度的取值规定,而在《输油管道设计规范》中,管径在 400 mm 以上的螺旋焊管绝对粗糙度取 0.10 mm。

通过实际计算发现,陕京输气管道在接近设计输量时,管道的绝对粗糙度为 40 μm 左右,当达到设计输量时,管道的绝对当量粗糙度应比 40 μm 略大。此值与国外有关资料中的绝对粗糙度取值为 45 μm 基本吻合。而国外介绍的绝对当量粗糙度范围多数在 30~45 μm 之间。考虑到我国西气东输管道

主要以螺旋焊缝管为主,为此,管道的绝对当量粗糙度的取值在 40 μm 左右较为适宜。

参 考 文 献

- 1, 四川石油管理局:天然气工程手册,1990。
- 2, Kut, S. etc:Internal and External Coating of Pipelines, First Internal Conference on the Internal and External Protection of Pipes,1975。
- 3, 杨筱蘅:输油管道设计与管理,石油大学出版社(东营),1996。
- 4, Ben Asante, P. Eng: Justification for Internal Coating of Natural Gas Pipeline, Pipeline Technology ASME,1995。
- 5, Robert, G. Worthingham etc: Cost Study Justifies Internal Coating on 48-in Gas Line, Oil & Gas Journal,1994(5)。
- 6, Gurdial Singh etc: Internal Coating Justified by Operating Costs, Oil & Gas Journal,1988(4)。
- 7, 王志昌:输气管道工程,石油工业出版社(北京),1997。

(收稿日期:2000-05-31)

编辑:刘春阳