

关于长距离输气干管 经济管径的研究

朱 琦

(四川石油管理局勘察规划设计院)

一、经济管径的概念

在油气储运工艺设计中,国内一般是根据输量并取经验流速来确定管径及压缩机工艺方案的,但这样计算出的管径是否经济、压缩机的投资和经营费用是否合算,都没有经过严格的考证。而国外处理这样的工艺设计是在掌握了大量经济信息和数据之后,通过电子计算机的演算来解决的。

近年来国内在工程技术中如何提高经济效益、工程设计中如何节约投资、降低成本等方面越来越多地受到了人们的重视。下面就经济管径的概念阐述如下。

在输量、距离、压力、管材一定的条件下,管道方面的投资及经营费用(主要指管道折旧)随管径增大而增加;而输气所需的压缩机设备投资、经营费用及管道设站数量却随管径增大而减少。因此,这就产生两个问题需要研究:

第一个问题是从投资及年经营费用的角度考虑如何确定最经济的管径。显然从投资的观点看,管径越大,管线投资越大,压缩机站的投资越小,因此,两者之间的最优点即是总投资最小的管径。从经营费用的观点,管径越大,管道的经营费用越大,而且压缩机站的经营费用越小,因此,两者之间的最优点即是总经营费用最小的管径。从文献[1]及已往的研究表明,这两种方法选出的管径总是不一致的,最经济的管径介于二者之间。

第二个问题是投资为一次性的而经营费用是逐年支出的,所以在选择方案时必须综合考虑投资及经营费用两个因素,因此必须找出一个标准来衡量所选择的管径是否是经济管径。这就引出了“折合费用”的概念。

所谓“折合费用”就是把一次投资按一定标准(%)折合成每年的费用然后加上年经营费用(也可以把年经营费用乘以“标准”的投资回收年限,然后加上投资费用),这里应该指出:这个“标准”不同于折旧率或折旧年限(即“折合费用”不同于成本),它是考虑了投资最大经济效益在内的政策性的标准。这个“标准”在各个国家是不一样的,在资本主义国家通常用MARR(最低投资回收率)表示,一般按15%计;在苏联用“标准投资效果系数”表示,它规定为12%;在我国就此还没作出过具体规定,我们暂称之为“标准利润率”(也有人称社会折现率),暂按15%计算。

按一定的“标准”折合计算出折合费用最小的管径即称为经济管径。

二、经济数学模型的建立及程序框图

有关基本公式

$$Q^2 = 493.58 D^{5/3} \left(\frac{P_1^2 + P_2^2}{\gamma \cdot T \cdot L \cdot Z} \right)^{1/2} \quad (1)$$

$$N = 0.0052 Q \cdot \lg R \quad (2)$$

$$t = \frac{P_1 D}{2\sigma} \quad (3)$$

$$M = I \cdot K + E \quad (4)$$

式中 Q ——输气量, (标) m^3/d ;
 D ——输气干管外径, cm ;
 γ ——天然气比重, 常数 (一般取0.6);
 T ——输气温度, $^{\circ}\text{C}$ (一般取 20°C);
 L ——输送距离, km ;
 Z ——压缩系数, 常数 (一般取0.9);
 P_1 ——起点压力, kgf/cm^2 ;
 P_2 ——终点压力, kgf/cm^2 ;
 N ——压缩机功率, kW ;
 R ——压比, 常数;
 t ——壁厚, cm ;
 σ ——管材屈服极限, kgf/cm^2 ;
 M ——折合费用, Y_0/km ;
 K ——基建投资, Y_0/km ;
 E ——年经营费用, $\text{Y}_0/\text{a} \cdot \text{km}$;
 I ——标准利润率, 常数。

现把式(1), (2), (3)分别与式(4)建立起关系式如下:

$$M = I(K_1 + K_2) + E$$

$$= I \left[(a_1 + b_1 D + b_3 C_1 D^2) + \left(\frac{a_2 + b_2 C_2 \lg R}{L} \right) \right] + \frac{C_3 H q h \lg R}{L} \quad (5)$$

式中 K_1 ——输气管道投资, Y_0/km ;
 K_2 ——每座压气站投资, Y_0/km ;
 a_1 ——与管径无关的敷设费用, Y_0/km ;
 a_2 ——与功率无关的每座压气站投资, Y_0 ;
 b_1 ——与管道成正比例的敷设费用, $\text{Y}_0/\text{km} \cdot \text{cm}$;
 b_2 ——与功率成正比例的压气站投资, Y_0/kW ;
 b_3 ——与管重成正比例的投资, Y_0/t ;
 C_1 ——管重计算系数;

注: Y_0 为元的单位符号, 下同。

$$C_1 = 1.234 \frac{P_1}{\sigma} \left(1 + \frac{P_1}{2\sigma} \right)$$

C_2 ——功率计算系数, $C_2 = 0.0052Q \cdot F$,

F ——压缩机安装功率与计算功率之比, 取 F 为1.2,

H ——年操作工时, h,

h ——天然气销售价格, $Y_0/(\text{标})\text{m}^3$;

q ——自耗气量, $(\text{标})\text{m}^3/\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

令 $C_3 = \frac{Q^2 \cdot Z \cdot L}{37.3^2 \times P_1^2}$ 代入式(5), 则得最后数学模型如下:

$$M = I \left(a_1 + \frac{a_2}{L} + b_1 D + b_2 C_1 D^2 \right) + \left(\frac{I b_2 C_2}{L} + \frac{H q h C_2}{L} \right) \times \times \lg \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{C_1}{D^{14/3}}}} \quad (6)$$

从数学观点看, 所谓经济管径的问题就是求极小值的问题, 目标函数 M 值最小时的管径即为经济的管径。因此, 我们根据螺旋钢管的不同规格(从 $\phi 219 \sim 1020\text{mm}$)、不同材质(A3F, 16Mn, 并考虑可能引进API X60)、不同管径的出厂价、安装费用及燃气轮机的压缩机站的建造和安装费建立了一个数据库(见表1~表4), 用BASIC语言编制了程序, 并在PC-1500微型计算机上, 对各种变量进行了相互关系的研究, 其计算框图见图1。

不同管材屈服极限

表 1

材 质	A3F	16Mn	X60
$\sigma (\text{kgf/cm}^2)$	2400	3600	4200

与管径成正比的敷设费用

表 2

管径 $\phi (\text{mm})$	219	245	273	325	377	426	529	630	720	820	920	1020
$b_1 (Y_0/\text{km} \cdot \text{cm})$	1355	1396	1439	1387	1286	1377	1253	1208	1163	1163	1163	1163

与管重成比例的费用

表 3

管径 $\phi (\text{mm})$	A3F			
	219~273	325	377~426	529~1020
$b_2 (Y_0/\text{t})$	1040	980	900	960

16Mn, 每吨加120Y₀; X60, 每吨加540Y₀。

有关经济数据及费用

表 4

序	项 目	单 位	数 值
1	与管径成正比的敷设费用 a_1	Y_0/km	15000
2	与功率无关的每座压气站投资 a_2	Y_0	48×10^4
3	与功率成正比的压气站投资 b_2	Y_0/kW	707
4	年操作工时H	h	8760
5	压气站自耗气q	$(\text{标})\text{m}^3/\text{kW} \cdot \text{h}$	0.476
6	天然气销售价格h	Y_0/m^3	0.13
7	标准利润率II		0.15

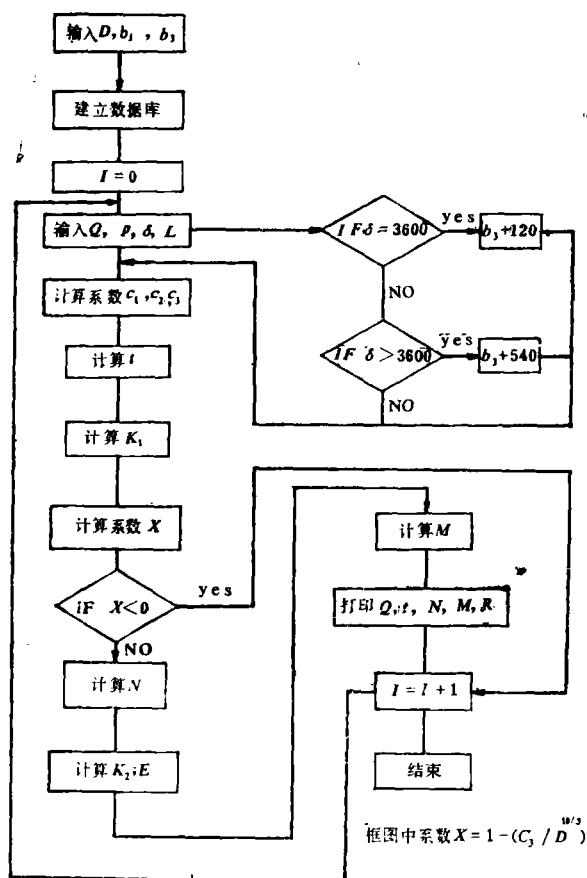


图 1 计算框图

三、研究结果及几点看法

1. 输气量对经济管径的影响

由魏慕斯气体流量公式可知：在其它参数一定的条件下，天然气输量与管径的2.7次方成正比，因此，决定管径大小的主要因素是输量，输量多时则铺的管径要大，输量小时铺的管径要小。从图2上可看出，在起点压力为40kgf/cm²时，压气站间距为100km，当天然气销售价格为0.13Y₀/(标)m³日输气量为500×10⁴(标)m³时，则以∅720的管径为最小，用较大一级或较小一级的管径都会使折合费用增加。当然理论计算的经济管径尺寸并不一定和选定的规格管径完全一致，而是指一定范围内最靠近的规格管径；同样(其它参数不变情况下)，一定规格管径的经济输量不一定是给定的输气量，往往大于该给定的输气量。例如上述∅720mm管径的最经济日输量则是689×10⁴(标)m³。又如当日输量为460×10⁴(标)m³时，折合费用以∅630mm的管径为最小，用较大一级或较小一级的管径都会使折合费用增加，但是∅630mm的最经济输量却是日输量491×10⁴(标)m³，也就是该管径的经济临界输气量。

2. 输气压力对经济管径的影响

天然气输送压力的影响主要指起点压力,在输送距离一定,终点压力一定时,起点压力的大小(实质上是压比的大小)通过对管道壁厚及压缩机功率的影响而间接影响管道及压缩机站的投资及经营费用。从图4可看出,在日输气量为 460×10^4 (标) m^3 、压气站距为100km、天然气价格为 $0.13 \text{Y}_\circ/\text{m}^3$ 时,起点压力为 $70 \text{kgf}/\text{cm}^2$ 和起点压力为 $60 \text{kgf}/\text{cm}^2$ 的输气方案,均以 $\phi 519 \text{mm}$ 管径的折合费用为最小(这时压比为1.17);起点压力为 $50 \text{kgf}/\text{cm}^2$ 和起点压力为 $40 \text{kgf}/\text{cm}^2$ 的输气方案则以 $\phi 630 \text{mm}$ 管径的折合费用为最小,但是当起点压力为 $37 \text{kgf}/\text{cm}^2$ 时却以 $\phi 720 \text{mm}$ 管径的折合费用为最小(这时压比为1.07)。当然,上例 $\phi 720 \text{mm}$ 管径的最优输送压力并不一定就是 $37 \text{kgf}/\text{cm}^2$,而是低于 $37 \text{kgf}/\text{cm}^2$ 的经济临界输送压力。

从图2和图3的比较中又可以看出:压力等级对经济管径的影响程度对各种输气量是不一样的,例如在日输 700×10^4 (标) m^3 时, $40 \text{kgf}/\text{cm}^2$ 等级的经济管径是 $\phi 820 \text{mm}$,而 $60 \text{kgf}/\text{cm}^2$ 等级的经济管径为 $\phi 630 \text{mm}$,减少了两级;而日输气 500×10^4 (标) m^3 时, $40 \text{kgf}/\text{cm}^2$ 等级的经济管径是 $\phi 720 \text{mm}$,而 $60 \text{kgf}/\text{cm}^2$ 等级的经济管径为 $\phi 630 \text{mm}$,减少一级。由此可见,输气量越大时,提高压力等级越有利,这就要求设计人员在考虑压力、输量和管径时一定要从经济效益出发找出最优方案。

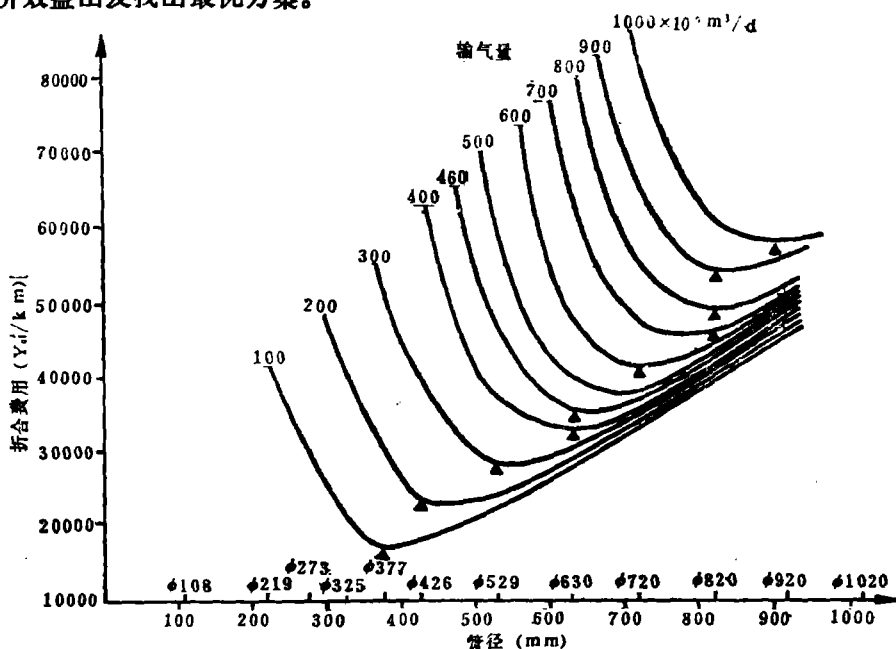


图2 输气量与经济管径的关系

压力 = $40 \text{kgf}/\text{cm}^2$, 气价 = $0.13 \text{Y}_\circ/\text{m}^3$

3. 天然气价格对经济管径的影响

天然气销售价格通过压缩机站中自耗气(即燃气轮机的燃料)的动力费用的增减使经营费用随之增减,从而影响折合费用及经济管径的大小(当然,由于天然气涨价给企业带来的销售利润的降低从而影响经济管径的问题,应另作专题研究)。

例如在日输气量为 460×10^4 (标) m^3 ,压力为 $40 \text{kgf}/\text{cm}^2$ 的条件下,天然气由 $0.13 \text{Y}_\circ/\text{m}^3$ 涨到 $0.2 \text{Y}_\circ/\text{m}^3$,则经济管径由 $\phi 630 \text{mm}$ 提高到 $\phi 720 \text{mm}$ (见图4、图5)。

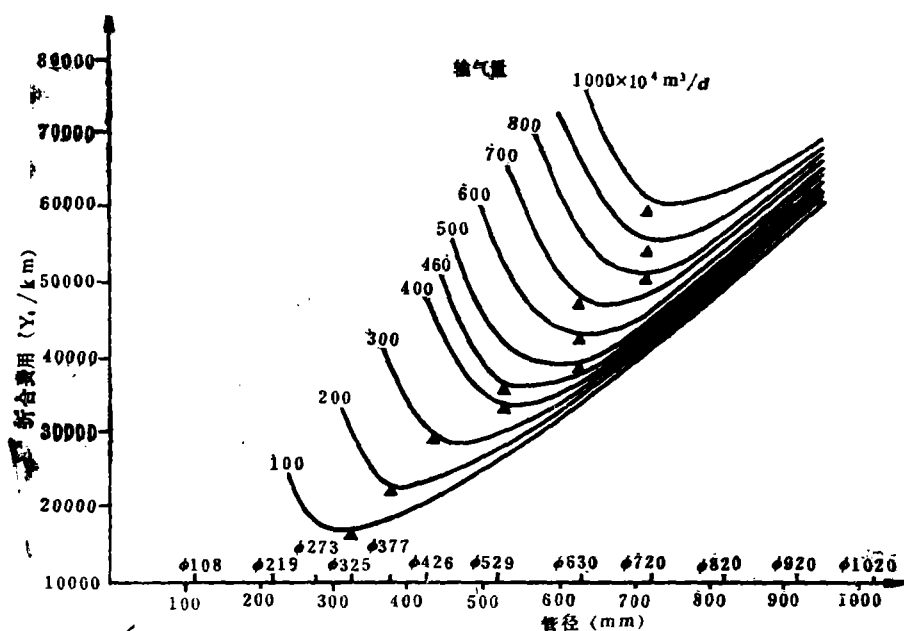


图 3 输气量与经济管径的关系
压力 = 60 kgf/cm^2 , 气价 = $0.13 \text{ Y}_0/\text{m}^3$

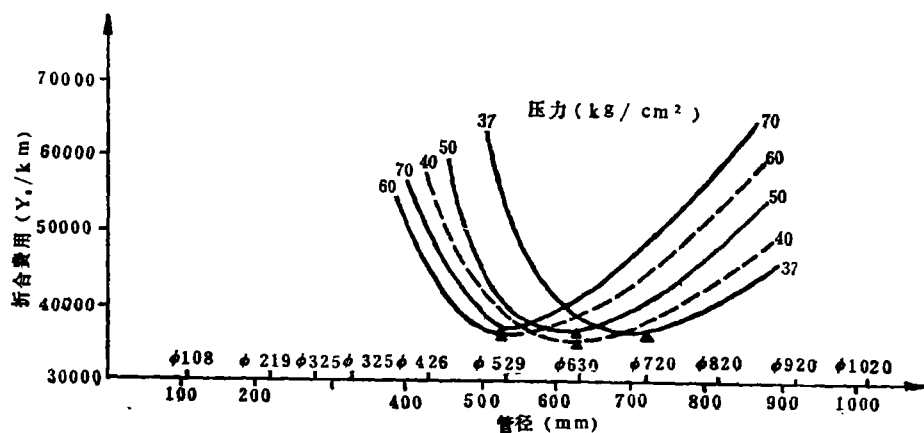


图 4 输气量为 $460 \times 10^4 (\text{标}) \text{ m}^3/\text{d}$ 在各种压力下的经济管径
气价 = $0.13 \text{ Y}_0/\text{m}^3$

看来问题的实质是权衡能源价格与钢材价格在经济效益上的利弊来决定取舍。在输气量及输气压力一定的条件下, 究竟是多上压缩机好? 还是增大管径好呢? 根据美国某公司介绍从1961年到1981年20年内, 管道建造费用增加到2.81倍, 而压气站天然气消耗的动力费用却增加到39倍⁽²⁾, 这说明大量的天然气被消耗在管道自身的动力上。作者建议加大埋地管道的钢材费用这比增大压气站的动力费用要合算的多。由此可见, 高强度、薄管壁、大管径仍是当今世界天然气管道工业的技术发展方向。

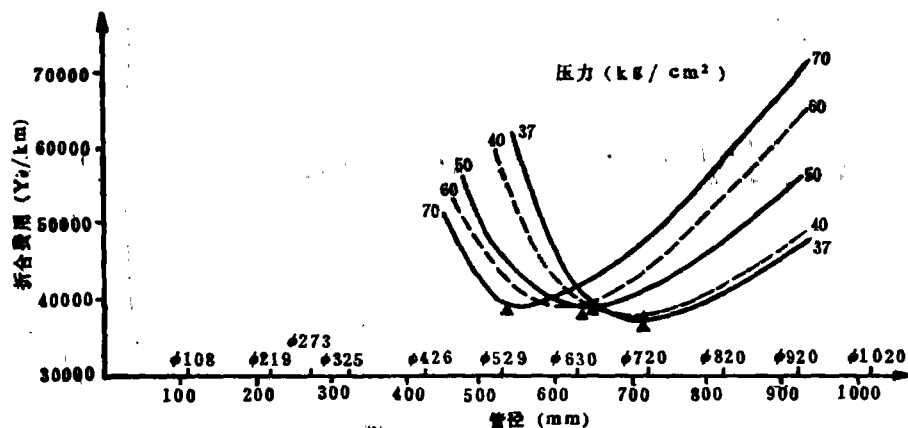


图5 输气量为 460×10^4 (标) m^3/d 在各种压力下的经济管径
气价 $=0.2Y_0/\text{m}^3$

四、探讨的问题

1. 本文探讨的经济管径是指输量一定的条件下的理论经济管径, 在实际中输量往往是不确定的, 因此不仅考虑按不同时期的不同输量进行分期建设的多种管径的方案比较 (包括异径管和铺设副管), 而且还应该考虑包括金钱、时间因素在内的动态经济比较。决不能草率地作出决定。

2. 长输干线是天然气产、供、销总系统中的一个子系统, 它的经济管径应该与采气、集气、脱硫脱水、配气等系统作为一个整体来考虑, 总经济效益最高时的长输干线的管径即为经济管径。

参 考 文 献

- (1) 北京石油学院储运教研室编:《石油与天然气储存与运输》, 1961年
- (2) 经济因素的改变影响管道设计变量,《Pipeline and Gas Journal (美国管道和气体杂志)》, 1983.7

更 正

一、1985年第2期“减阻添加剂的历史和现状”一文中, 更正内容如下:

①表2, 粘度栏中4.55改为4.45; ②表9, 粘度栏中0.9改为0.6; ③P.5倒8行, ARCD改为ARCO; ④文中Orlands均改为Orlando, California均改为California; ⑤P.12, 倒3行, “按添加10ppm估算, ……”。该句前增加一句话“为提高某管道输量, 在某卡脖子段使用减阻添加剂, ”。

二、1985年第3期“有限单元法讲座(一)”一文中, 希腊字母 ϕ 均改为大写希腊字母 Φ 。