

天然气长输管道经济运行分析

廖 珂 (中国石油工程建设有限公司西南分公司, 四川 成都 610095)

摘 要: 本文针对天然气长输管道运行经济性问题进行研究, 首先明确管道建设的主要经济性指标, 包括管道直径、作业压力、压气站参数等方面, 然后创建长输管道的经济模型, 对管路、场站、运维等成本汇总分析, 最后提出提高管道运输经济性的有效措施。力求通过增强管道输气能力、促进管道储气功能发挥、注重管道安全防护等方式, 使管道运行更加安全高效, 助力天然气行业稳健发展。

关键词: 天然气; 长输管道; 经济分析; 调度运行

天然气作为重要资源之一, 通过长输管道的方式运送到全国各地, 与数千万人们的生产生活息息相关, 如若在运输期间发生安全事故, 将会造成巨大经济损失, 如何使长输管道安全、经济、稳定运行成为重要课题。对此, 先要明确天然气管道建设的主要经济指标, 通过调节管道直径、作业压力、压气站参数等方式, 促进管道输送能力提升, 达到降本增效的目标。

1 天然气管道建设的经济性指标

天然气管道一般距离较长, 与其他运输方式相比, 长输管道运输具有运量大、成本低等特点, 十分经济合理。在管道建设过程中, 因合理选择各项工艺参数, 使其经济性始终处于最佳范围。该管道运行的经济性受影响因素较多, 如管径、压力、输气量等等, 具体如下。

1.1 管道直径

在输气管道通行能力计算中, 公式如下:

$$Q_b = 5033.11d[(p_1^2 - p_2^2)/GTZL]$$

式中, Q_b 代表的是管道通行能力; d 代表的是管道内部直径; P_1 代表的是起点压力; P_2 代表终点压力; G 代表气体相对密度; Z 代表气体压缩系数; T 代表气体绝对温度的平均值; L 代表管道长度。在剩余指标固定, 只有输气管径改变的情况下, 输气量与管道直径之间存在紧密联系, 可用公式表示如下:

$$\frac{Q_1}{Q_2} \propto \frac{d_1}{d_2}$$

式中, Q_1 代表的是内径为 d_1 情况下的输气量; Q_2 代表的是内径为 d_2 情况下的输气量。同时, 每单位范围内的通过能力还与金属耗量存在密切关联, 可用公式表示为:

$$\frac{M_1}{M_2} \propto \frac{d_1}{d_2}$$

式中, M_1 代表的是内径为 d_1 情况下的金属耗量; M_2 代表的是内径为 d_2 情况下的金属耗量。根据以上

公式可知, 管径与输气量之间具有正比关系, 且在管径扩张 1 倍时, 输气量将会提高 5 倍, 但与金属耗量具有反比关系。可见, 可通过适当扩张管径的方式, 使输气量得以提升, 还可降低能耗, 节约成本。

1.2 作业压力

在输气管道运行中, 为使工作压力得以提升, 先要增加首站工作压力, 这对天然气参数改善具有关键影响。输气量和压力两项指标的关联较为紧密, 可用公式表示为:

$$Q_2 \propto P_1^2 - P_2^2$$

式中, Q_2 代表的是输气量; P_1 代表的是管道起点位置的壓力值; P_2 为终点处的壓力值。可见, 首站工作压力与输气管通过能力具有正比关系, 但与金属耗量成反比关系。当首站工作压力提高时, 管道内天然气的通过量提升, 金属耗量逐渐降低。

1.3 压气站参数

对于输气管道来说, 为提升长距离传输的经济性, 应按照气田压力变化、用气量增长情况, 创建压气站, 达到提高经营效率、降低成本的目标。在长距离天然气运输中, 压气站属于管道核心所在, 主要技术参数为压缩比、间距、单机功率等, 通过科学设定站与站之间的距离, 可减少输气管道压力损失, 促进管道通过能力提升, 当压缩比降低时, 管道能耗也会随之降低, 达到节约费用, 提高经济性的效果。在实际运营中, 压缩机作为压气站的主要设备之一, 通过关键参数优化, 可使输气量增加, 达到输气管道降本增效的运行目标, 排气量作为压缩机的重要参数, 计算公式如下:

$$V_d = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 \lambda_5 n$$

式中, V_d 代表的是排气量; λ_1 代表的是容积系数; λ_2 代表压力系数; λ_3 代表温度系数; λ_4 代表泄漏系数; λ_5 代表气缸行程容积; N 代表转速。在常规运行模式下, 排气量主要受吸气系数、行程容积

与转速的影响。当气缸尺寸固定时,压缩机排气量的影响因素分析如下。

1.3.1 排气压力

在进气压力固定的前提下,当排气压力提升时,排气量随之降低,而轴功率提升,说明二者与前者具有反比关系,与后者具有正比关系。

1.3.2 进气压力与温度

对于现有的压缩机来说,在排气压力固定前提下,排气量与进气压力之间具有正比关系,而轴功率与之具有反比关系,当排气量增加时,轴功率反而降低;当进气温度下降时,排气量随之增加,二者同样具有反比关系。

1.3.3 转速

在工艺条件一致情况下,如若转速加快,则排气量随之增加。要想使排气量增加,通过提高转速的方式可得到理想效果。可见,为使压缩机利用率得以提升,应促进压气站作用发挥,在轴功率满足规定的情况下,尽可能提高压缩机的排气量,增加转速,降低吸气温度,提高管道运行经济性。

2 天然气长输管道的经济模型构建

在天然气长输管道项目开展中,通过创建经济模型可对建设成本进行计算,包括初始成本、运行维护与其他成本。初始成本受管线工程、沿线站场资本成本的影响,一般可分为管材、管道安装、运维等方面,管材取决于运输距离、规模、管径等因素,运维成本包括设备、用电、管道维护等,其他成本由土地征用、水土工程保持等构成,具体如下。

2.1 管路总成本

管道建设根据实际情况合理选择征地、管路等构件,资本成本由材料、土地征用、路线勘探等部分构成,计算公式如下:

$$C=C_1+C_2+C_3$$

式中,C代表的是管线成本;C₁代表的是管道沿线的材料费用;C₂代表的是管道沿线的土地征用成本;C₃代表的是管线其他成本。在管线成本中,由防腐、保温、钢材等构成,其中钢材费用在总成本中占比最大,计算公式如下:

$$B=P \times W$$

$$W=P_1 \times (D^2 - d^2) \pi \times \frac{L}{4}$$

式中,B代表的是钢材总成本;W代表的钢材重量;P₁为钢材价格;D为管道外径;d代表管道内径;L代表管道总长度。在土地征用方面,根据使用时间长短,可分成永久和临时两种类型,前者价格为每亩30万,后者为每亩2万,结合天然气行业的预算标准,

土地征用计算公式如下:

$$W_1=W_2+W_3$$

式中,W₁代表的是土地征用成本;W₂代表永久征地的投资;W₃为临时征地投资。

2.2 运维成本

在天然气长输管道项目中,其成本包括管路与站场两个部分。但运维环节对管道运行状态、使用寿命具有较大影响,该项成本支出同样十分关键。在无风险的前提下,管道与站场年度运维成本较为固定,在管线运维方面,按照固定资产投资比例估算,占比为5%;站场运维按照站场的固定资产投资占比估算,即5%。在固定资产投资方面,由管线、站场和穿越工程构成,根据各项技术内容进行费用细分和计算,相加后即可得到整体运维成本。

2.3 站场工程总成本

该项成本在总成本中占比较大,由装机容量、输送站数量、运输条件等因素构成,资金成本构成众多,公式如下:

$$T=T_1+T_2+T_3+T_4$$

式中,T代表的是站场工程成本;T₁代表设备成本;T₂为材料花费;T₃代表征地成本;T₄为站场相关的其他成本投入,如水电费、工程保险费、勘察设计费等等^[3]。

2.4 平准化成本

天然气管道项目开展中,对于不同年份来说,平准化成本有所不同,主要受管道输送量、升级率等因素影响。其中,输送量是指由周围天然气资源输送到项目所在地的年输气量,也是设计年限中天然气管道目标市场的需求量,计算公式如下:

$$Cost = \frac{Cost_1}{M}$$

式中,Cost代表的是天然气管道项目中平准化成本;Cost₁代表的是项目总成本;M代表的是管道运输的天然气量。

3 天然气长输管道运行经济性的提升措施

3.1 基本情况

以某天然气输气线路为例,共计两条线路,一条是在上世纪90年代投产,长度为488km,因当时技术落后,资金短缺,设计管径为425mm,设计压力在4.0~5.8MPa之间,输气能力设定为5×10⁸m³/a。后续生产规模不断扩大,新建两座压气站,输气能力提升到10×10⁸m³/a。因当地居民数量不断增加,现有输气能力已经难以满足市场需求,在2005年创建第二条管道,管径为600mm,设计压力为6.4MPa,建设3座

压气站,输气能力提高到 $30 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。该项目为了提高管道的输气能力,通过提高压力、扩张管径、缩短压气站间距等方式来实现,还应加强管道储气能力,并注重管道安全维护,才可减少非必要的资金支出,促进管道运行经济性提升。

3.2 提升方法

3.2.1 增强管道输气能力

为了提高管道运输经济性,可采取以下措施提高管道输气能力。一是降低管道内阻力。输气性能受内壁平滑度的影响,因管道处于长期运行状态,天然气内在成分对管壁产生化学反应,生成 FeS ,附着在管壁上,逐渐使内壁变得粗糙,不利于整体运输效率提升。对此,在运行一段时间后,应开展清管工作,帮助减轻管道内部阻力,促进输气性能提升;二是降低管道末端压力。在管道直径与长度固定的情况下,因输气量、起点与终点的压力平方差存在对应关系,可通过降低末端压力的方式,促进输气性能提升。对此,先要满足下端用户的用气需求,不可低于最低压力值。在压力下降期间,天然气流速会加快,对内壁进行快速冲刷,应合理控制管内压力与流动速度,使冲刷频率降到最低;三是合理调控输送温度。在冬季运行中,天然气压力增加后温度会随之提升,采用多级压缩的方式,使压气站出口天然气温度骤增,应及时采取降温措施,以免影响管道通过性能,出现变形等情况,使管道安全、稳定的运行。为提高输气能力,还可采用压缩机加压的方式,通过上游气田供应压力资源,管道建设期间,综合考虑上下游的用量,合理设定压气站参数,以多级联动的方式,达到输气能力提升目标。

3.2.2 促进管道储气功能发挥

对于天然气长输管道来说,其主要功能在于输气,但因运输距离较长,且压力存在一定波动,故而具备一定储气能力。当输出气量低于输入量时,便要发挥管道的储气能力;反之,则要消耗管道储气量。通过现有管道储气能力发挥,可促进输气效率提升,降低能源消耗。因天然气长输管道与居民生产生活息息相关,要想确保下游用户用气正常,便要注重上游气田的运转监督。因用户的用气量不统一,下游公司尽管安装了调峰设施,但仍可能无法满足调峰需求,这就需要发挥长输管道的作用,帮助调峰任务达成。对于没有安装调峰设置的长输管道,当下游用气量发生较大改变时,则要发挥管道自身储气功能进行调节。

3.2.3 注重管道安全防护

在长距离管道运输中,很容易因管道腐蚀、管理

不当等,使管道安全受损,导致天然气泄漏问题发生,后续检查维修需要投入大量资金,不利于经济性提升。对此,应从防腐、巡护与管理制度等方面着手,使管道安全得到切实防护,尽可能减少维修造成的资金损失,具体如下。

3.2.3.1 加强管道防腐管理

针对内部腐蚀问题,应对上游处理设备全面升级改造,派遣专人负责定期设备检查与维护,使其长期处于稳定运行状态,如若介质内酸性物质含量过高,可注入适量的缓蚀剂,使内腐蚀风险得以降低。针对外部腐蚀问题,可涂抹一层防腐层,并对管沟底部土壤、回填土壤全面处理,禁止土壤内大体积石块存在,避免刮伤防腐层。在日常检测中注重观察防腐层状态,如若出现破损应及时修复,促进防腐作用发挥。

3.2.3.2 强化管道巡护

针对第三方入侵导致管道风险产生的问题,应强化管道巡护,先对巡护人员开展培训教育活动,结合周围居民生活习惯,确定巡检周期,使巡检工作贯彻落实,及时发现并制止风险问题,预防管道安全事故发生。该项目引入无人机巡检技术,搭载摄像机、红外热成像设备等,根据巡检需求合理选择设备类型,还采用大数据处理技术,使用管道沿线传感器全面采集参数,将数据输入大数据系统内,便可实时采集管道参数,及时识别风险并预警,有效预防管道安全事故发生。

3.2.3.3 健全管理制度

企业应结合实际情况,结合天然气管道安全需求,查找现有管理制度中的漏洞,并将其补充完善,提高管理制度的可行性。在制度完善后,加强职工培训,定期开展技能考核,增强全体职工的安全意识,能够自觉规范作业行为,为管道安全维护贡献力量;还应设置专门的监督岗位,全面监督运营管理工作,一旦发现管道管理缺陷应立即纠正,使天然气管道能够始终科学管理、稳健运行。

4 结语

综上所述,我国经济建设与国民生活离不开天然气资源的支持,该项能源普遍采用长输管道供应,保证能源供应安全,提高输送能力与经济性对国家发展、社会稳定具有重要意义。

参考文献:

- [1] 杨晓鸿. “西气东输”工程天然气长输管道内外涂层技术经济分析 [J]. 天然气工业, 2021, 21(002): 89-93.
- [2] 侯勇. 探析长输天然气管道输气瓶颈对管网运营的经济影响 [J]. 现代营销旬刊, 2020(05): 012-014.