

天然气压缩机组配置优化设计

宋敏

(四川科宏石油天然气工程有限公司)

宋敏.天然气压缩机组配置优化设计.天然气工业,2008,28(1):122-124.

摘要 针对增压及气举工程压缩机组配置传统设计方案中,独立设置互不兼容的两套压缩机组存在冗余的问题进行了研究,以寻求一种消除冗余、大幅降低动力设备开销的优化方案。围绕气田压缩机组工程设计中的核心问题——多(变)工况条件下压缩机组工况适应性的改进和优化,把国内外压缩机工程领域的相关研究成果成功地应用于气田压缩机设计选型中;提出了“并联小气缸原理”这一解决问题的新概念,为解决类似问题打下基础。具有多(变)工况兼容性的优化方案与传统方案相比,具有可节约开发成本、减少隐患、方便管理、提高效益的优点。

主题词 天然气 开发后期 压缩机 工艺参数 优化设计

一、压缩机组工艺参数的确定

1. 压缩机组站场规模

气田集输系统中压缩机组站场的建设规模,是根据气田各期开发设计的要求确定的,每期工程适应期应与气田调整改造周期相协调一致,一般为5~10a。对后期排水开发的新气田,集输系统的建设规模应考虑足够的排水设施的建设规模。

2. 工艺最佳参数分析

(1) 工艺最佳参数的一般分析

目前影响增压集输系统建设的因素很多,不考虑外部因素,就其本身而言有管材质量、造价;压缩机的选型、效率;压缩机组的压比、布局;辅助设备的选择;施工安装质量的高低和经营管理水平等。如果把项目的总费用分成基建投资和经营管理费用两大部分,并把它折合成单位功率和单位输量每年所发生的费用即折合费用,那么利用压缩机组的压比与单台费用之间存在的内在关系,求取折合费用最低值时的这些参数即为最佳参数。

(2) 确定工艺最佳参数的方法

在工程实际中常用方案比较法,它可根据实际情况作几个可能的方案加以比较后取其最优者,这个过程要求应充分利用压缩机厂家开发出的对应于自身所产压缩机的专用性能计算软件算出各种组合的工况参数,即可实现参数优化。

(3) 压缩机组的主要设计参数。

1) 增压(气举)工艺条件:①进气压力逐年下降的预测趋势数据;②增压(气举)量及压力波动情况;③增压(气举)负荷变化等情况。

2) 导出的燃料消耗、电负荷等参数:①最大、最小耗气量预测;②循环水量、风机转速;③循环水泵、启动气空压机等设备的电负荷。

二、压缩机工况适应性及其按运行场合要求的优化选型

1. 各类压缩机工况适应性的总体情况

天然气工业用压缩机主要有往复式、离心式和轴流式,在特殊场合也使用回转式,气田常用的是离心式和往复式。往复式压缩机最适宜于低排量、高压比的情况,而离心式压缩机适宜于大排量、低压比的工作。气田增压集输、气举工艺等气田内部用压缩机大多采用往复式压缩机。各种类型压缩机的工作范围见图1。

2. 需针对下述问题对气田内部压缩机配置进行设计优化

(1) 问题一:需解决较长时期内两头兼顾,满足高、低负荷使用要求的矛盾。

压缩机与集输管道集输能力的核算标准按初期最大量为准,但要考虑集输量逐年减少的情况,既要求压缩机要满足头几年大流量要求,也要满足后期

作者简介 宋敏,1970年生;1993年毕业于原西南石油学院海洋工程系石油储运专业;现从事石油储运、地面建设工程设计及前期研究工作。地址:(646000)四川省泸州市江阳区江阳西路16号(民航宿舍)3-2-13室。电话:(0830)3921478。E-mail:168584588@qq.com

小流量的要求。由于压缩机具有高、低负荷适应性问题,必须对此进行优化设计。

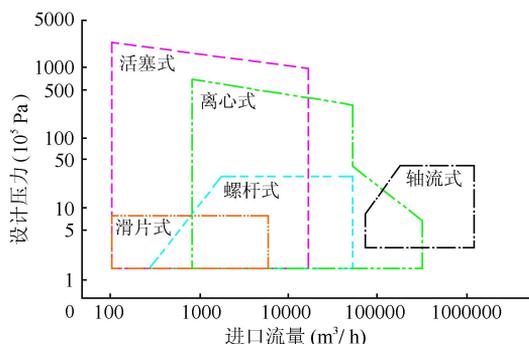


图1 压缩机的工作范围图

注:图中设计压力为绝对压力

(2)问题二:计算期(10 a)后一方面大功率机组过剩或功能闲置,而另一方面小功率机组需用量大增的后继问题和矛盾。

例如,苏理格气田天然气增压集输工艺技术采用“集气站分散增压可降低生产压力,延长气井生产周期,提高单井采收率,同时可降低管网投资,满足气田增压开采和天然气增压输送”这样的方案,根据系统压力,集气站采用一级增压,使天然气压力从1.0 MPa增压到3.5 MPa后输送到天然气处理厂^[1]。然而,若后期井口压力持续降低至0.5 MPa以下,势必要对压缩机组进一步分散或进行提高压比的换缸改造,并需采用2级压缩;靖边气田的开采也面临“集气系统压力不变的情况下,实施增压开采至少需要2级增压”^[2]的情况。也就是说上述两个气田的后期开发都将有可能会面临:一方面现在集中的单级大功率机组在计算期(10 a)后其功率相对过剩或闲置;另一方面后期分散化的小功率多级机组需用量大增的问题。

(3)问题三:无法兼容增压和气举两种工况,出于保护投资考虑,而不得不配备两组不同用途的单机压缩机组,使得压缩机组功率重复、利用率低。

气田开发后期多为带水生产,工艺上往往既要满足高压比、小排量气举,又要满足低压比、大排量增压外输,而这两种工况反差太大,若压缩机组配置不当,就难以兼容上述两种工况。气田开发后期连续气举和连续增压的带水开采模式中均存在这一问题。气田增压与气举工程比较而言,气量变化大(增压工况气量很大、气举工况气量较小),而进气压力的变化也很大(与气量的变化刚刚相反,增压时进气压力低、气举时进气压力高)。由于考虑到投资效

益,现场均选用多缸(一般为两缸双作用,可串联或并联)机组,以达到在不改缸前提下,扩展其使用功能的目的,但仅采用单机组不能很好地解决上述矛盾和问题,比如蜀南气矿的井26井、中3井、纳62井等气井,现场均已建或待建增压与气举两套系统来满足工艺要求,这个矛盾也有待解决。

3. 运用“并联小气缸原理”获得上述问题的优化解决方案

小气缸一般更适合于高压比的场合,而多个气缸并联又可解决进气量不足的问题,因此通常在同一级中并联多列气缸。但是利用工艺性能计算软件进行的模拟却表明:若仅采用单台双缸机组,其性能适用范围不能与现场低进气压、大排量的工况范围充分匹配。因此必须进一步并联多台带多列小气缸的压缩机组,从而增加并联小气缸的数量。显然采取这一措施后能拓展机组功能适应性,而带多列(常用2列)气缸的多台(常用2台)机组的布局在技术上又简便可行。按这个思路形成的机组配置方案通常可以满足所有要求^[3],这就是并联小气缸原理。

根据国内外压缩机选型的使用情况,并利用专门的性能软件进行模拟的结果也充分证明了这个原理的正确性和重要性:在增压前期,所有可串可并的两级缸设定在并联状态满负荷大排量工作,后期在某个时机,排量变小,压比增加后调整为级间串联,以适应进口(井口)压力持续下降的情况,消除问题一。

运用上述原理的另一个亮点是可利用最大功率和实际操作功率的差额(一般有20%~30%的储备)来提供备用功率,即在并联机组中有一台因故停止工作,可提高其余机组的转速(同时提高了轴功率)来达到机组功率与保证主力气井低回压大排量负荷的大体平衡,确保区块主力气井的连续生产,避免或推迟因气井出现水淹而需要上更多工艺措施的不利情况。并联小功率机组便于分散到各个更小的开发区块去,进一步降低气井废弃压力,可消除问题二。

气井井筒积液了,多数情况不得不考虑利用低压气采取气举工艺进行排水采气。这种情况下其机组工作的连续性非常重要,传统方案偏重于满足气举,而增压时却由于进气量随进气压力下降而下降,总负荷变小,压缩机机械效率急剧降低,甚至无法工作,故传统方案不能保障气举—增压的连续性。而兼容性较好,可满足变工况的多机组优化方案(总功率大致仅为传统方案的一半),消除了冗余后大幅降低动力设备的开销,完全消除问题三,若应用于海上气田的场合则可以大幅降低大型设备的重量并节约

宝贵的海洋平台空间,从而节约更大的投资。

4. 天然气压缩机的其他适应性问题

(1) 往复式压缩机的压比通常是1:2~1:6,在理论上往复式压缩机压比可以无限制,但太高的压比会使热效率和机械效率下降,而且会导致较高的机械应力和排气温度,一般排气温度都限制在180~205℃以下,实际运行中的压缩机排气温度更低。压缩机每级增压不超过7 MPa,小型压缩机最高出口压力不超过40 MPa,大型的不超过20 MPa^[3]。

(2) 级数的选择。考虑因素有3个:一是允许排气温度,二是固定余隙下气缸的压缩比;三是效率。显然,如果压缩时排气温度过高,就应该使用多级压缩。作为初步估算,可假定所有级中的压比都相同。但实际上,使低压级中的压比稍高,而高压级中的压比稍低对机组更有利^[3]。

(3) 确定了级数,就可以选择每级的气缸,常可从现有的气缸系列中选取或订制。

(4) 压缩机的转速和行程可依据所需功率来确定,低功率场合需要重量轻、行程短和速度高的压缩机,反之用重量重、行程长、速度慢的压缩机。

5. 原动机选型

由于大型压缩机都尽可能地直接与原动机相连,故原动机的速度也影响到对压缩机的选择。用来带动压缩机的原动机有蒸汽轮机、柴油机、燃气轮机、电动机和燃气发动机等几种。根据气田增压(气举)的工艺要求和现场条件,要求机组尽量减少现场的安装操作维护工作量,并能利用天然气作为燃料,以减少生产运行成本;应根据压缩机站所在地供电情况及天然气气质情况选用压缩机。

三、优化方案,实现带水气井低回压大排量连续生产,缓解井筒积液

首先应确定克服积液现象的方法,一般是提高流体的流速,减少滑脱,因此对凝析气田或含水气田在不更换油管的条件下,除按自喷带水井生产特点加强管理外,还应考虑采取克服积液现象的有效方法。采用增压开采降低井口背压,以及采用气举循环增加井筒内气体流速是两条主要途径,通常可用下述两个公式计算出克服井筒积液的最低允许产量。对于气举注气量的计算,如果水量较大,现场则一般采用图算法得出最低允许产量。

(1) Jones Park 公式:适用于凝析气田^[4]

$$Q_{\min} = 35.11 D^{2.5} \sqrt{p_{wf}} / (M_i T Z^2)$$

式中: Q_{\min} 为最低允许产量, $10^3 \text{ m}^3/\text{d}$; D 为油管内

径, m ; p_{wf} 为井底流动压力, MPa ; M_i 为井流物的相对分子量,无量纲; T 为井底温度, K ; Z 为井底条件下的气体压缩系数。

(2) Turner 公式:适用于含水气田^[4]

$$Q_{\min} = 3.6 \times 86.44 A (\Delta \rho g \sigma)^{1/4} \sqrt{\rho_c} / \rho_c$$

$$A = \pi D_i^2 / 4$$

$$\rho_c = 1.2255 p_{wf} \gamma_g / (p_{sc} Z)$$

式中: Q_{\min} 为最低允许产量, $10^3 \text{ m}^3/\text{d}$; D_i 为油管直径, m ; γ_g 为天然气相对密度; $p_{sc} = 0.10 \text{ MPa}$ 为标准条件下的压力; $\Delta \rho = 1000 - \rho_c$ 为水气密度差, kg/m^3 ; $\rho_c = 1.2255 \gamma_g$ 为标准条件下气体密度, kg/m^3 ; σ 为水气界面张力, N/m ; g 为重力加速度, m/s^2 。

在气田增压(气举)条件下,若能保障并超过上述两个最低允许产量进行连续生产,就可以大大缓解井筒积液现象,避免低压带水(主力)井被水淹。若配置方案的机组性能无法满足上述两个最低允许产量要求时,就必须调整机组配置方案。为保证气井连续生产,上气举压缩机的同时又很可能需要上增压压缩机,而如果采用上述小气缸多机组并联方案,配以可适应两种工况的流程,便可仅用一套兼容两种工况的压缩机组实现原先必须用两套不同用途的机组才能实现的功能。

四、结 论

小气缸多机组并联方案不失为一举三得的优化方案,它既可以基本满足气井生产的连续性,又可以克服增压和气举单用途机组产生的冗余,且在气田滚动开发的后期,其机组利用率将大大高于功率配置过于集中的传统方案,从而节约开发成本、减少隐患、方便管理、提高效益。

本文成文过程中,得到了金裕方教授的大力支持和热心帮助,在此表示衷心的感谢!

参 考 文 献

- [1] 刘祎,王登海. 苏里格气田天然气集输工艺技术的优化创新[J]. 天然气工业, 2007, 27(4): 139-141.
- [2] 尚万宁. 适合靖边气田特点的集气站增压工艺探讨[J]. 天然气工业, 2007, 27(2).
- [3] PAUL C. HANLON. 压缩机手册[M]. 郝点,等,译. 北京:中国石化出版社, 2003.
- [4] 石化斌. 油气集输设计规范与工程技术标准及集输安全规范实用手册[M]. 北京:中国科学文化出版社, 2005.

(修改回稿日期 2007-11-15 编辑 罗冬梅)