

沁水盆地郑村区块煤层气集输系统的优化调整

陈洪明 梅永贵 薛占新 郭简 王景悦

中国石油华北油田煤层气勘探开发分公司

陈洪明等. 沁水盆地郑村区块煤层气集输系统的优化调整. 天然气工业, 2014, 34(8): 108-112.

摘 要 沁水盆地煤层气田郑村区块 2010 年建成投产, 采用的是同步建设的开发模式, 因气井产量受构造、含气量、压裂及排采工艺等因素的影响, 存在着单井产量差异大, 区域产能不均, 煤层气井井口压力低, 产量对管网压力敏感等问题。为此, 首先优选适合煤层气集输系统的水力计算方法, 利用 TGnet 软件对郑村区块集输管网系统进行建模(状态方程选用 BWRS 方程, 流动方程选用 Colebrook-White 方程), 通过模拟计算分析了集输系统的运行现状。针对输气量超负荷、管线变径较大导致有明显节流现象的问题, 在理论分析的基础上, 提出了集输管网系统优化调整措施: ①集气站扩容; ②集气站进口管线节流优化改造; ③安装粉尘过滤器; ④采气管线安装凝水器; ⑤增建复线。优化调整实施后, 解决了郑村区块集输系统管压过高、管线积水、粉煤灰影响集输效率等问题, 系统降压明显, 管线输送能力大大提高, 释放了区域煤层气产能, 取得了良好的效果。

关键词 沁水盆地 煤层气田 郑村区块 集输系统 优化调整 集输效率 措施 降压 增产

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2014.08.017

Optimization and adjustment of the CBM gas gathering and transportation system in the Zhengcun Block, Qinshui Basin

Chen Hongming, Mei Yonggui, Xue Zhanxin, Guo Jian, Wang Jingyue

(Coalbed Methane Exploration and Development Company of Huabei China Oilfield Company, PetroChina, Jincheng, Shanxi 048000, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 34, ISSUE 8, pp.108-112, 8/25/2014. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

Abstract: Commercial production started in 2010 in the Zhengcun Block of the Qinshui Coalbed Methane Gas Field, where the synchronous construction development mode was adopted. However, due to many factors such as the geological structure, gas volume, fracturing, production means, single well productivity varied differently with a rather low wellhead pressure and posed an impact on the stress sensitivity of pipelines. In view of this, we first selected a proper hydraulic calculation method fit for a CBM gathering and transportation system, then adopted the simulator TGnet to build up a model in this case, for which the BWRS Equation of State and the Colebrook-White Equation of Flow were chosen. Thus, the present operating status of the gathering and transportation system in the Zhengcun was simulated and analyzed simultaneously. On this basis, finding that the partial throttle transformation was resulted from the overload of gas transmission volume or pipe diameters change, we also put forward the following countermeasures: capacity expansion of gathering stations, throttling optimization of the inlet piping of each gathering station, installation of a fly ash filter, a water condenser on each production line, and implementation of more double gathering lines to be built. Through the above optimization and adjustment measures, the previous problems like the over-high pipe pressure, pipeline effusion, low piping efficiency caused by coal ashes, etc. were solved in the Zhengcun CBM gathering and flow lines with good results achieved.

Keywords: Qinshui Basin, CBM, Zhengcun Block, gathering and transportation system, optimization and adjustment, piping efficiency, countermeasure, depressurization

基金项目: 国家科技重大专项项目“山西沁水盆地煤层气水平井开发示范工程”(编号:2008ZX05061)。

作者简介: 陈洪明, 1960 年生, 高级工程师, 硕士; 主要从事煤层气开勘探开发研究工作。地址: (048000) 山西省晋城市文博路 969 号。电话: (0356) 2286669, 15135686780。E-mail: mcq_chm@petrochina.com.cn

沁水盆地煤层气田郑村区块(简称郑村区块,下同)2010年建成投产,采用单井—阀组—集气站集输工艺,集气半径为10 km,现有单井166口,阀组11座,产气量为 $25 \times 10^4 \sim 30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,集气站额定输气能力为 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}^{[1-4]}$ 。郑村区块现有集输系统主要存在以下问题。

1)单井产量差异大,低效井不产气,高效井气量为 $0.8 \times 10^4 \sim 1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,有50%的井产气量超过单井设计产气量。

2)区域煤层气产气量不均,郑村区块南部产量明显高于北部。

3)单井套压差异大,井口压力低,产气量对管网压力敏感。

4)煤层气中含有饱和水,随着输送距离和温度变化会产生冷凝水,由于井口压力低,气体携液能力差,冷凝水聚集在采气管线中,使管输能力降低。

5)煤层气特有的储层条件导致煤层气中含有大量的粉煤灰,由于粉煤灰颗粒极其细微,不易分离,对压缩机、流量计稳定运行影响大,容易造成压缩机磨损速率加快,流量计计量误差较大、准确率低等问题,不仅造成集输系统运行不稳定,而且大大增加了运行成本。

6)集气站压缩机已满负荷运转,现有输气管线已超出集输管网设计输送能力,管网平均运行压力已达 $0.21 \sim 0.23 \text{ MPa}$,局部管网运行压力达 $0.31 \sim 0.33 \text{ MPa}$,远高于 0.2 MPa 的设计压力,管网负荷严重不平衡,严重制约井口压力,影响单井上产。

1 集输系统优化调整思路

1)优选出适合煤层气特点的水力计算方法^[5]。

2)利用优选的水力计算方法模拟分析集输系统存在的问题。

3)结合生产过程中存在的实际问题制订优化调整措施。

4)现场实施阶段。

5)理论和实际实施效果对比分析。

2 水力计算方法优选

2.1 Weymouth 经验公式

按照 GB 50350—2005《油气集输设计规范》,目前气田集输采气和集气管道流量采取的计算公式是美国威莫斯(Weymouth)经验公式^[6-7]。

$$q_v = 5033.11d^{8/3} \sqrt{\frac{p_1^2 - p_2^2}{\Delta ZTL}}$$

式中 q_v 为管道计算流量, m^3/d ; d 为管道内径, cm ; p_1

为管道起点压力(绝对压力), MPa ; p_2 为管道终点压力(绝对压力), MPa ; Δ 为气体的相对密度(对空气); Z 为气体在计算管段压缩因子; T 为气体的平均热力学温度, K ; L 为管道计算长度, km 。

目前制管技术的进步已使钢管内表面的粗糙度较威莫斯经验公式提出时有较大改善,集气站的气液分离效果、气体输送过程的清管和腐蚀控制技术也有了很大的提高,这使得威莫斯公式的流量计算值常常比实际值低。因此不推荐使用威莫斯公式。

2.2 TGnet 软件

TGnet 软件可以模拟简单的单管输送模型,也可以模拟包括多个气源和用户、多个复杂循环管网、多台压缩机和冷却器,以及其他影响管网操作和运行参数的设备阀门等在内的大型区域性技术系统。该软件提供了“Sarem”“BWRS”“Peng”3种状态方程可供选择,同时提供了“Aga”“Colebrook”“Pan(A)”“Pan(B)”“Weymouth”5种管线沿线压降计算公式。通过分析3种状态方程下的5种管线压降计算公式在同一气质条件下的计算结果,得到适合煤层气的状态方程和气体流动方程。

2.2.1 状态方程

1)Sarem 方程主要用于简单流体(气体组分未知,仅输入气体相对密度、热值和 CO_2 含量)的计算,而 BWRS 和 Peng 方程则适用于复杂流体(气体组分已知)的计算。

2)Sarem、Peng 和 BWRS 方程有更宽的适用范围,它们甚至还可用于液态烃和气、液平衡计算。它们常常是模拟计算使用的公式。

3)从复杂性方面来说,BWRS 方程最复杂,Sarem 方程最简单;从计算速度方面来说,BWRS 方程最慢,Sarem 方程最快。

4)从适用范围方面来说,Sarem 方程适用于干气,通常应用于净化气的长输管道;BWRS 方程适用于湿气,Peng-Robinson 方程适用范围更宽。

因此,在煤层气的集输计算中推荐采用 BWRS 方程和 Peng-Robinson 方程。

2.2.2 管道内气体流动方程

1)推荐采用 Colebrook-White 方程,它将光滑管道规律和粗糙管道规律相结合,对宽范围的流量条件提供了优良的精度。

2)Pan(A)方程对全紊流是不真实的,不适用于设计目的,因为有效系数只能从操作数据里获得。不推荐在煤层气集输中采用该公式。

3)Pan(B)方程用于天然气、煤层气长输管道和管

径大于 600 mm 的工程设计。

4) Weymouth 公式适用于全紊流的管径大于 900 mm 的管线。

3 集输系统现状分析

利用 TGnet 软件对郑村区块管网进行建模计算, 状态方程选用 BWRS 方程, 流动方程选用 Colebrook-White 方程。

经模拟计算可知 1 号阀组经 2 号阀组、3 号阀组、4 号阀组、节点 1、节点 2、9 号阀组至 11 号阀组管线现有输气量均已超出各段管线设计输气量, 尤其从 1 号阀组至节点 2 段管线, 现有输气量均已超出管线设计输气量 2 倍之多。11 号阀组至集气站管线负荷率已达到 90%, 至集气站进口处由于管线变径较大, 有明显节流现象。

4 集输系统优化调整措施

4.1 集气站扩容

根据产量预测, 郑村区块总产气量预计可达 $28 \times 10^4 \sim 31 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 现有 3 台压缩机将无法要求, 集气站需扩建压缩机。经过对比分析, 选用橇装式螺杆压缩机, 其占地面积小, 移动灵活方便, 只需要简易基础即可。

4.2 集气站进口管线节流优化

充分利用预留管线和与其他进站管线合并来增加有效过气面积^[8], 由原来 1 个进口增加至 3 个进口, 彻底解决局部管网节流问题。

4.3 安装粉尘过滤器

在煤层气生产过程中, 煤粉和液滴会进入集输系统内, 现场研究结果表明, 大于 $5 \mu\text{m}$ 的颗粒和液滴主要造成压缩机、流量计以及仪表的磨损, 且颗粒粒径越大、浓度越高, 磨损会越严重, 而 $2 \sim 5 \mu\text{m}$ 的颗粒则主要引起颗粒沉积在压缩机叶片、阀门以及流量计等部位, 严重影响压缩机的运行效率以及流量计的准确性^[9]。为了解决煤粉对系统的影响, 研制了新型粉煤灰过滤器, 集气站安装了 2 套处理能力为 $17.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的粉煤灰过滤器。

4.4 采气管线安装凝水器

采气管线输送介质为湿气, 容易在管线内积液, 由于采气管线为聚乙烯管材, 且采用多阀组串接方式, 无法采用通球方式进行管网维护, 为了提高管网输送效率, 在采气管线上安装凝水器, 定期人工放水, 该方法排水简单、实用、操作性强^[10-13]。

凝水器的布置原则和方法如下。

1) 优化给出管线中水含量的计算公式: $W = 101.325A/p + B$ 。其中 p 为压力, A 、 B 为系数。

2) 根据温降曲线、压降曲线以及管线起点含饱和水情况, 做出管道沿线气体含水量变化曲线。

3) 确定凝水器数量的计算公式: $n = K \Delta W T / \rho V$ 。其中 n 为凝水器个数; ΔW 为管道沿线凝析水量, kg/m^3 ; T 为排放周期(凝水器的排放次数不宜过于频繁, 一般来说间隔应不小于 7 d), h ; ρ 为水的密度, kg/m^3 ; V 为凝水器的有效容积, m^3 ; K 为考虑析水量变化和排放周期延误的备用系数。

4) 在管线高差较大时, 还需要充分考虑地形条件增加一些凝水器, 如果确定的凝水器位置刚好处于低洼点, 则宜将凝水器布置在低洼点的上坡起点处。

凝水器的设置见图 1。

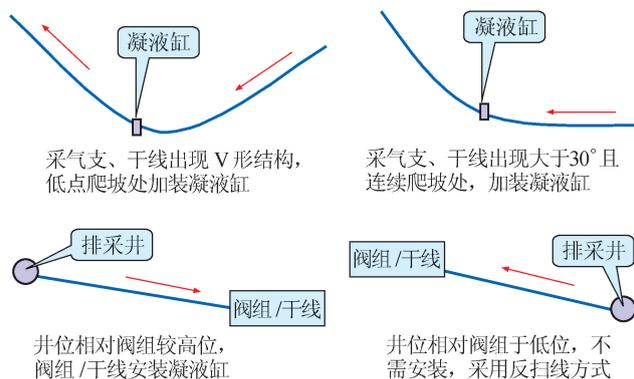


图 1 凝水器的设置示意图

4.5 建复线

2 号阀组—4 号阀组—节点 2—11 号阀组建复线(图 2), 管网优化前后压力预测情况见表 1。

由以上计算可知, 在 2 号阀组经 3 号阀组、4 号阀组、节点 1、节点 2、9 号阀组至 11 号阀组新建一条采气干线作为复线, 该复线建设后, 管网起点 1 号阀组压力进行对比, 压力将从 0.32 MPa 降低至 0.22 MPa, 终端 3 号站进站压力可从 0.09 MPa 降至 0.07 MPa, 系统运行压力不均衡状况得到大大的缓解。

5 集输系统优化调整效果

郑村区块管网压力降低的效果很明显, 最远端的 1 号阀组压力从 0.32 MPa 降至 0.16 MPa。阀组平均压力由 0.23 MPa 降至 0.14 MPa, 降压幅度达到 39.9%。且实际降压效果优于模拟值(表 2)。

优化调整后郑村区块煤层气井日产气量明显上升, 平均日增产气量 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3$, 集气站进站压力明显下降, 由 0.09 MPa 降至 0.06~0.07 MPa(图 3)。



图 2 建复线示意图

6 结论

1) 随着开采时间延长,煤层气井井口压力持续降低,而低压集输系统不可能无限地降低管压来满足单井生产需要,在单井或阀组局部增压也是集输系统优

表 1 管网优化前后压力预测表

名称	输气量/ ($10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	原系统压力/ MPa	优化后压力/ MPa
1号阀组	6.3	0.32	0.22
2号阀组	3.6	0.25	0.21
3号阀组	3.1	0.24	0.19
4号阀组	3.4	0.26	0.19
5号阀组	2.4	0.25	0.16
6号阀组	2.3	0.25	0.17
7号阀组	2.6	0.19	0.15
8号阀组	2.3	0.22	0.16
9号阀组	1.6	0.21	0.14
10号阀组	0.2	0.18	0.15
11号阀组	1.8	0.15	0.12
3号集气站	29.6	0.09	0.07

表 2 集输系统优化前后阀组压力对比表 MPa

名称	优化前压力	优化后压力	实施后压力
1号阀组	0.32	0.20	0.16
2号阀组	0.25	0.18	0.15
3号阀组	0.24	0.18	0.14
4号阀组	0.26	0.17	0.16
5号阀组	0.25	0.17	0.15
6号阀组	0.25	0.16	0.14
7号阀组	0.19	0.15	0.13
8号阀组	0.22	0.15	0.14
9号阀组	0.21	0.13	0.12
10号阀组	0.18	0.14	0.13
11号阀组	0.15	0.11	0.11
平均值	0.32	0.16	0.14

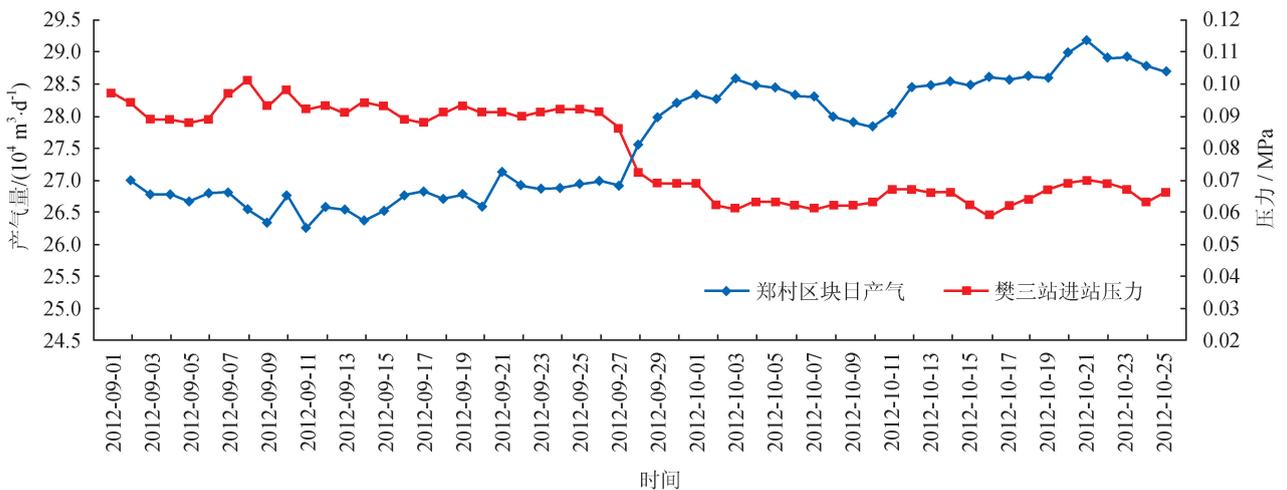


图 3 优化前后郑村区块煤层气井日产气量与进站压力曲线图

化调整方向。

2)煤层气井产量成为关注焦点,而忽略了集输系统的经济性,有必要开展集输系统经济运行评价研究,明确压力等级,制订经济的运行参数。

3)煤层气集气管线内积水严重,清管作业是煤层气生产过程中去除集气管线积水的主要措施,而清管作业频繁成为生产中的弊病。研究冷凝水在管线内聚集规律,制订有效的排水方法是今后的研究方向。

参 考 文 献

- [1] 薛岗,许茜,王红霞,等.沁水盆地煤层气田樊庄区块地面集输工艺优化[J].天然气工业,2010,30(6):87-90.
XUE Gang, XU Qian, WANG Hongxia, et al. Process optimization of surface gathering system: Case history of the Fanzhuang Block in the coalbed methane gas fields, Qinshui Basin[J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(6): 87-90.
- [2] 田炜,陈洪明,梅永贵,等.沁水盆地南部樊庄区块地面集输工艺优化与思考[J].天然气工业,2011,31(11):30-33.
TIAN Wei, CHEN Hongming, MEI Yonggui, et al. Optimization and thinking of ground surface gathering process in the Fanzhuang Block, southern Qinshui Basin[J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(11): 30-33.
- [3] 李晓平,李杰,宫敬,等.煤层气采气管道压降特性试验[J].油气储运,2013,32(12):1276-1279.
LI Xiaoping, LI Jie, GONG Jing, et al. Tests on pressure drop characteristics of coalbed gas flowline[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2013, 32(12): 1276-1279.
- [4] 徐源,艾慕阳,刘武,等.基于天然气处理厂气质指标的集输管网调度优化[J].油气储运,2013,32(8):818-823.
XU Yuan, AI Muyang, LIU Wu, et al. Dispatch optimization of gathering pipeline network based on quality indices of natural gas processing plant[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2013, 32(8): 818-823.
- [5] 江奇倬,金光彬.集输系统优化调整方法[J].油气田地面工程,2010,29(11):39-40.
JIANG Qidi, JIN Guangbin. Optimization adjustment methods of gathering and transferring system[J]. Oil-Gas-field Surface Engineering, 2010, 29(11): 39-40.
- [6] 赵钰,惠熙祥,巴玺立,等.煤层气低压集输计算软件差异性浅析[J].石油规划设计,2013,24(4):32-34.
ZHAO Yu, HUI Xixiang, BA Xili, et al. Difference between Pipephase and TGnet in the simulation of the low pressure gathering system in the coalbed methane field[J]. Petroleum Planning & Engineering, 2013, 24(4): 32-34.
- [7] 杨庚桂,朱继红,高云峰,等.油田开发后期集输系统优化调整技术研究与实践[J].中外能源,2007,12(5):65-67.
YANG Genggui, ZHU Jihong, GAO Yunfeng, et al. Research and practice on optimization and adjustment technology of oil and gas gathering and delivering system in latter development stage[J]. Sion-Global Energy, 2007, 12(5): 65-67.
- [8] 刘吉云,李玉青.朝阳沟油田集输油系统的优化调整[J].石油规划设计,2008,19(2):15-17.
LIU Ji Yun, LI Yuqing. Optimization and adjustment of oil system in Chaoyanggou Oilfield[J]. Petroleum Planning & Engineering, 2008, 19(2): 15-17.
- [9] 王红霞,刘祎,王登海,等.沁水盆地煤层气地面工艺技术[J].天然气工业,2008,28(3):109-110.
WANG Hongxia, LIU Yi, WANG Denghai, et al. CBM ground technology in Qinshui Basin[J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(3): 109-110.
- [10] 刘焯,巴玺立,刘忠付,等.煤层气地面工程工艺技术和优化分析[J].石油规划设计,2008,19(4):34-37.
LIU Ye, BA Xili, LIU Zhongfu, et al. Analysis of coal seam gas surface engineering technology and optimization [J]. Petroleum Planning & Engineering, 2008, 19(4): 34-37.
- [11] 许茜,薛岗,王红霞,等.沁水盆地煤层气田樊庄区块采气管网的优化[J].天然气工业,2010,30(6):91-93.
XU Qian, XUE Gang, WANG Hongxia, et al. Optimization of flow line network: Case history of the Fanzhuang Block in the coalbed methane gas fields, Qinshui Basin[J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(6): 91-93.
- [12] 惠熙祥,田炜,巴玺立,等.我国煤层气田地面工程存在的问题及对策[J].石油规划设计,2012,23(2):14-16.
HUI Xixiang, TIAN Wei, BA Xili, et al. Problems and countermeasures of coal seam gas field surface engineering in China[J]. Petroleum Planning & Engineering, 2012, 23(2): 14-16.
- [13] 吴建光,据宜文,裴红,等.我国煤层气田地面集输工艺与监测技术研究进展[J].中国工程科学,2012,14(2):30-37.
WU Jianguang, JU Yiwen, PEI Hong, et al. Research progress in China's coalbed methane surface gathering process and monitoring technology [J]. Engineering Sciences, 2012, 14(2): 30-37.

(修改回稿日期 2014-05-03 编辑 何明)