

火管式 TEG 重沸器温度控制分析与优化

周明军 赖晓斌 于建林 史建华

中国石油集团工程设计有限责任公司西南分公司, 四川 成都 610041

摘 要:TEG(三甘醇)脱水是常用的天然气脱水工艺之一,TEG 再生一般采用火管式重沸器多火嘴加热方式。TEG 再生温度过高会使 TEG 分解变质,TEG 损耗加大;温度过低会导致 TEG 再生不完全,产品气水露点达不到要求,所以 TEG 重沸器加热控制是 TEG 再生的关键。在分析火管式 TEG 重沸器热负荷调节以及加热控制存在温度超调、火嘴切换可能会导致熄火等问题的基础上,对火管式 TEG 重沸器加热控制方案进行了优化,使再生后的 TEG 浓度满足工艺需求,并减少 TEG 损耗。

关键词:重沸器;加热控制方案;火嘴切换控制

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2016.06.019

0 前言

TEG 脱水工艺中,吸收水分后的 TEG 富液需加热提浓后才能循环使用,加热提浓最简便的方法就是采用直接加热 TEG 富液。脱水后天然气水露点通常可降 30 ~ 60 ℃,水露点降与再生提浓后的 TEG 贫液浓度相关,而 TEG 贫液最低浓度是由原料气温度和要求达到的露点降确定的^[1]。

重沸器一般在常压下操作,TEG 浓度会随重沸器温度的增加而增加,TEG 富液经重沸器再生提浓后浓度可达 98 % ~ 99 % (常压加热提浓 TEG 溶液,受热分解温度影响,一般只能提浓到 98.5 %,可使露点降达 35 ℃ 左右。如不能满足露点降要求,则通常采用燃料气进行汽提,降低饱和水蒸气分压,使更多水蒸气从重沸器和精馏柱中脱除,提高 TEG 贫液浓度)。TEG 重沸器温度一般控制在 190 ~ 204 ℃,温度过高会使 TEG 分解变质(常压下 TEG 开始热分解温度为 206 ℃ 左右),TEG 损耗加大,能耗增大;温度过低会使 TEG 再生不完全,TEG 贫液浓度低,导致产品气水露点达不到要求。所以,TEG 重沸器温度控制是 TEG 富液提浓的关键,关系到再生是否合格以及 TEG 溶液损耗量^[2-7]。

目前,国内天然气净化厂火管式 TEG 重沸器基本采

用多火嘴,但存在温度控制超调较大以及容易熄火等问题,为克服这些问题,本文对火管式 TEG 重沸器温度控制方案进行了分析,提出了解决办法。

1 温度控制常规方案

1.1 温度检测设置

火管式 TEG 重沸器的溶剂一般停留时间为 30 min,温度变化缓慢,根据对重沸器溶液温度场的分析,在接近重沸器内溢流堰处的溶液温度反应最灵敏,温度控制点可设在此处^[8]。

为保证温度检测的正确性和可靠性,可在同一水平线上靠近重沸器内溢流堰处设置 2 台温度变送器,比较 2 台温度变送器检测值差值,当差值 $\geq 5\%$ F.S 时报警,提醒操作维护人员检修^[9-10]。

1.2 热负荷可调范围分析

燃料气在火管式 TEG 重沸器燃烧室进行燃烧,以热辐射方式加热 TEG,燃烧后的高温烟气通过重沸器内烟管以对流方式将热量传递给重沸器的 TEG 富液。火管式 TEG 重沸器大多采用低噪声低压火嘴加热,火嘴前燃料气压力一般为 0.015 ~ 0.040 MPa,采用单火嘴时,热负荷可调范围较小,不大于 61 %^[11]。如果燃料气压力超

收稿日期:2016-05-26

基金项目:中国石油天然气集团公司重点工程资助项目(S 2010-14 E)

作者简介:周明军(1978-),男,重庆人,工程师,学士,主要从事自动控制设计工作。

高,当混合燃气从燃烧器流出速度大于燃气火焰传播速度时,将产生脱火现象,极易形成爆炸气团,导致事故发生;如果燃料气压力过低,当混合燃气从燃烧器流出速度小于燃气火焰传播速度时,将产生回火现象,火焰回缩至燃烧器内部燃烧,损坏燃烧设备^[12]。所以,需要对火嘴前燃料气调节阀进行限位控制,保证热负荷可调节,但由于可调范围窄,当 TEG 循环量增大或减少时,很难适应 TEG 再生热负荷可调需要。为解决热负荷可调节范围窄的问题,可采用多火嘴燃烧方式,当热负荷变化较大时,改变投入燃烧火嘴的数量可获得更大的调节范围^[13-14]。

1.3 火管式 TEG 重沸器温度控制

1.3.1 温度控制原理

火管式 TEG 重沸器中多火嘴式温度控制采用连续调节与二位式切换控制的组合方式。每个火嘴燃料气管线设置有燃料气调节阀、燃料气切断阀(也可以采用调节阀配置电磁阀,由调节阀兼切断功能),用于控制火嘴燃料气流量和火嘴切换。为了防止火嘴脱火或回火,对每个火嘴进行高、低限位控制。假设进入火管式 TEG 重沸器的火嘴有 3 支,1#火嘴为主火嘴,2#、3#火嘴为辅助火嘴,当热负荷需求小范围变化时,可由温度控制器的输出信号连续改变燃料气调节阀开度来满足热负荷调节;当操作热负荷大范围变化时,则切换火嘴,改变投入燃烧火嘴数量来适应热负荷调节的需要^[15]。火管式 TEG 重沸器火嘴切换及温度控制逻辑图见图 1。

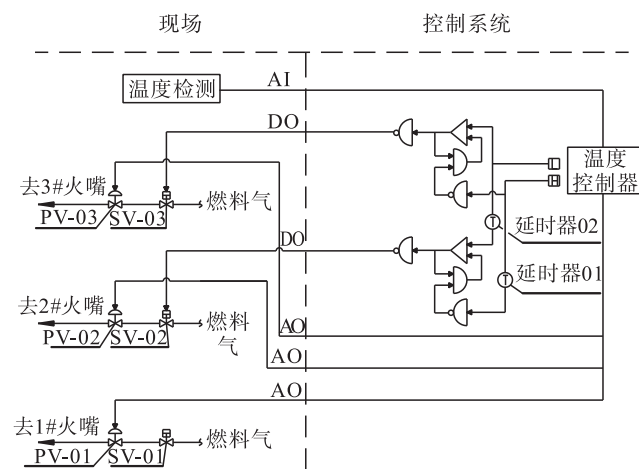


图 1 火管式 TEG 重沸器火嘴切换及温度控制逻辑图

1.3.2 火嘴切换控制过程

1.3.2.1 增加火嘴数量控制

假设初始状态为最小负荷运行,即只有 1#火嘴进行燃烧,随着实际热负荷需求增大,火嘴将按照 1#火嘴投入→1#、3#火嘴投入→1#、2#、3#火嘴投入的顺序进行火嘴切换控制。当热负荷需求增大,温度控制器输出增大到上限设定值(为保证火嘴在热负荷可调范围内,一般

上限设定值为 14 mA),3#火嘴电磁阀打开并自锁,投入燃烧,温度控制器同时控制 1#、3#火嘴,由于 3#火嘴投入燃烧,温度控制器输出值将降低,维持稳定燃烧控制;当热负荷需求继续增大,1#、3#火嘴控制信号达到上限设定值还达不到负荷需要时,经过延时,2#火嘴电磁阀打开并自锁,投入燃烧加热。在第 1 个辅助火嘴投入燃烧前,不需要延时,在第 2 个及以后的辅助火嘴投入燃烧前,均需要延时。

1.3.2.2 减少火嘴数量控制

假设初始状态为最大负荷运行,即 3 支火嘴均投入燃烧,随着实际热负荷需求减小,火嘴将按照 1#、2#、3#火嘴投入→1#、2#火嘴投入→1#火嘴投入的顺序进行火嘴切换控制。当热负荷需求减小,温度控制器输出减小到下限设定值(为保证火嘴在热负荷可调范围内,一般下限设定值为 8 mA),3#火嘴电磁阀关闭并自锁,温度控制器同时控制 1#、2#火嘴,由于 3#火嘴关闭,温度控制器输出值将增大,维持稳定燃烧控制;当热负荷需求继续减小,1#、2#火嘴控制信号达到下限设定值热负荷还高于需求时,经过延时,2#火嘴关闭,仅由 1#火嘴燃烧。在第 1 个辅助火嘴关闭前,不需要延时,在第 2 个及以后的辅助火嘴关闭前,均需要延时。

2 温度控制常规方案存在问题

上述火管式 TEG 重沸器温度控制常规方案虽然解决了单火嘴温度调节范围窄的问题,但存在增加火嘴时出现温度超调和可能导致熄火的问题。

2.1 温度控制超调

温度控制器同时向 1#、2#、3#火嘴输出相同的控制信号,当热负荷需求增大而增加火嘴燃烧时,温度控制器输出值为上限设定值,新增加的火嘴将以此上限设定值进行控制,由于火管式 TEG 重沸器加热具有惯性大、滞后的特点,新加入火嘴将对其温度控制造成较大超调,可能使其 TEG 短时间因高热强度造成分解变质^[16]、能量损耗^[17]。

当热负荷需求减少进而减少燃烧火嘴时,因为减少火嘴控制阀的开度已经到了下限设定值,故因减少火嘴数量引起的调节波动较小。

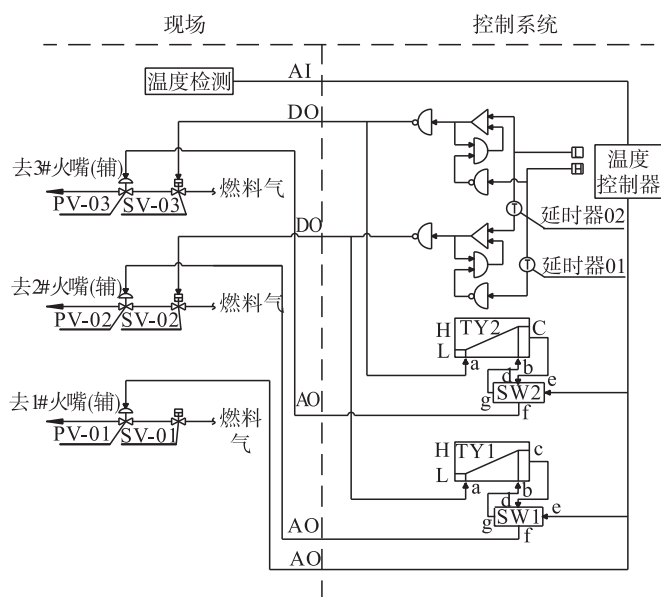
2.2 增加火嘴导致熄火

当热负荷需求增大而增加火嘴燃烧时,新增加火嘴按照温度控制器上限设定值的开度投入燃烧,投入时燃料气和空气混合气体从燃烧器流出速度很快,容易造成正在燃烧的火嘴吹熄,特别是由 1 支火嘴燃烧增加到 2 支火嘴燃烧时,更容易出现熄火现象^[18]。

3 温度控制常规方案优化

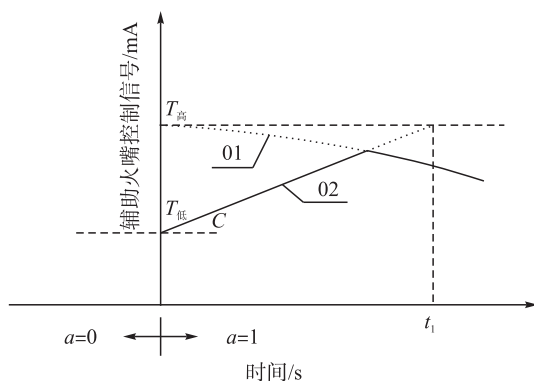
针对 TEG 溶液温度超调和火嘴切换可能导致熄火

的问题,对火管式 TEG 重沸器火嘴温度控制常规方案进行优化,优化后火管式 TEG 重沸器火嘴切换控制逻辑图见图 2,其中线性函数发生器输出信号曲线见图 3。



注:SW 1 和 SW 2 分别为 2#、3#辅助火嘴的切换开关;TY 1 和 TY 2 分别为 2#、3#辅助火嘴的线性函数发生器。

图2 优化后火管式 TEG 重沸器火嘴切换控制逻辑图



注:01 为温度控制器输出信号曲线;02 为线性函数发生器(TY 1 或 TY 2)输出信号曲线; a 为辅助火嘴投入标识($a=0$ 表示辅助火嘴未投入燃烧, $a=1$ 表示辅助火嘴投入燃烧); $T_{低}$ 为温度控制器输出值低限值; $T_{高}$ 为温度控制器输出值高限值; C 为斜率,根据火管式 TEG 重沸器容量和温度控制的惯性滞后进行选择,通常取 $C=0.02$ 。

图3 函数发生器输出信号曲线

图3 中 02 函数表达式为:

$$f(t) = \begin{cases} T_{低} & a = 0 \\ C \times t + T_{低} & a = 1 \end{cases} \quad (1)$$

控制系统 2#火嘴线性函数发生器 TY 1 和控制系统 2#火嘴切换开关 SW 1 的控制(控制系统 3#火嘴线性函数发生器 TY 2 和控制系统 3#火嘴切换开关 SW 2 的控制同此)如下:

1) 当 $a=1$ 时,2#火嘴投入燃烧,控制系统 2#火嘴线性函数发生器 TY 1 函数输出线性增加。

当 $d < e$ 时(函数 $f(t)$ 输出值 $<$ 温度控制器输出值),控制系统 2#火嘴切换开关 SW 1 切换通道为 $d \rightarrow f$,2#火嘴燃料气调节阀 PV-02 由控制系统 2#火嘴线性函数发生器 TY 1 输出信号控制;

当 $d \geq e$ 时(函数 $f(t)$ 输出值 $\geq$ 温度控制器输出值),控制系统 2#火嘴切换开关 SW 1 切换通道为 $e \rightarrow f$,2#火嘴燃料气调节阀 PV-02 由温度控制器控制;

2) 当 $a=0$ 时(即 2#火嘴未投入燃烧),控制系统 2#火嘴线性函数发生器 TY 1 函数输出为 $T_{低}$ 。

具体操作和控制过程:

温度控制器输出高限值为 $T_{高}$ (假定 14 mA),温度控制器输出值低限值为 $T_{低}$ (假定 8 mA)。当操作热负荷小范围变化时,由温度控制器连续调节 1#火嘴燃料气调节阀 PV-01 的开度来控制。当操作热负荷大范围变化时,2#、3#火嘴根据热负荷需要,逐一增加或减少投入燃烧火嘴数量,改变投入燃烧火嘴数量来适应热负荷调节的需要^[19-20]。

1) 热负荷需求增大,增加火嘴数量控制过程:假设初始状态为最小负荷运行,即只有 1#火嘴进行燃烧,随着实际加热负荷需求增大,火嘴将按照 1#火嘴投入 $\rightarrow$ 1#、3#火嘴投入 $\rightarrow$ 1#、2#、3#火嘴投入的顺序进行火嘴切换控制。

当热负荷需求增大,温度控制器输出增加到上限设定值时,3#火嘴燃料气切断阀 SV-03 开启,即 $a=1$,3#火嘴投入燃烧,3#火嘴控制信号按照函数缓慢增加输出进行控制。当函数 $f(t)$ 输出值 $\geq$ 温度控制器输出值时,3#火嘴切换为温度控制器进行控制。3#火嘴投入燃烧控制信号曲线为图 3 中实线部分。

当热负荷需求继续增大,1#、3#火嘴控制信号达到温度控制器上限设定值时,仍还达不到热负荷要求,经过控制系统 2#火嘴延时器 01 延时,2#火嘴燃料气切断阀 SV-02 开启,2#火嘴投入燃烧加热。

2) 热负荷需求减少,减少火嘴数量控制过程:假设初始状态为最大热负荷运行,即 3 支火嘴均投入燃烧,随着实际加热负荷需求减小,火嘴将按照 1#、2#、3#火嘴投入 $\rightarrow$ 1#、2#火嘴投入(即先切断 3#) $\rightarrow$ 1#火嘴投入(即再切断 2#)的顺序进行火嘴切换控制。

当热负荷需求减小,温度控制器输出值减小到下限设定值时,3#火嘴燃料气切断阀 SV-03 关闭,3#火嘴熄灭。由于 3#火嘴关闭,温度控制器输出值将增大,维持稳定燃烧控制。

当热负荷需求继续减小,温度控制器输出信号达到下限设定值热负荷时,仍还高于需求,经过控制系统 2#火嘴延时器 02 延时,2#火嘴关闭,仅 1#火嘴燃烧。

由于减少火嘴是在温度控制器输出为下限设定值

时进行切换,减少1支火嘴对火管式TEG重沸器的加热温度控制干扰小。

经过上述温度控制常规方案优化,新增加火嘴控制信号从8 mA缓慢增大,较好地解决了新加入火嘴导致的TEG溶液温度超调问题。

针对增加火嘴燃烧容易导致熄火问题,经过实践分析,发现合理设置火嘴位置能有效解决此问题。根据图2,1#火嘴始终接受温度控制器控制,不参与切换控制,即一直投入燃烧。将1#火嘴设置在火管式TEG重沸器最下层,新增火嘴投入燃烧时,对1#火嘴火焰稳定性影响最小。另外,使新增加投入火嘴控制信号(8 mA)缓慢增大,投入时火嘴控制调节阀开度较小,混合燃气从燃烧器流出速度也较慢,更有效地减小新投入火嘴对已燃烧火嘴火焰稳定性的影响,从根本上解决增加火嘴燃烧导致熄火的问题。

4 结论

火管式TEG重沸器温度控制常规方案,存在TEG溶液温度超调和易熄火等问题,通过对常规方案的优化并在中国石油万州天然气净化厂实践,采用该优化温度控制方案连续调节时,火管式TEG重沸器中TEG溶液温度控制精度为 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$,在切换火嘴时最大超调为 $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$,使TEG重沸器加热更加稳定,减少TEG超温分解变质损耗、节约了能耗,可在天然气净化厂推广应用。

参考文献:

- [1] 《石油和化工工程设计手册》编委会. 石油和化工工程设计工作手册(第三册):气田地面工程设计[M]. 东营:中国大学出版社,2010.
Petroleum and Chemical Engineering Design Manual Editorial Board. Petroleum and Chemical Engineering Design Manual (Book Three): Gas Field Surface Engineering Design [M]. Dongying: China University Press, 2010.
- [2] 李明国,徐立,张艳玲,等. 天然气脱水生产中三甘醇的使用情况[J]. 钻采工艺,2005,28(3):107-108.
Li Mingguo, Xu Li, Zhang Yanling, et al. TEG Usage in Nature Gas Dehydration Unit [J]. Drilling & Production Technology, 2005, 28 (3): 107-108.
- [3] 王文武,李永生,郭亚红,等. 三甘醇脱水装置的节能设计[J]. 天然气与石油,2012,30(6):22-25.
Wang Wenwu, Li Yongsheng, Guo Yahong, et al. TEG Dehydration Unit Energy Conservation Design [J]. Natural Gas and Oil, 2012, 30 (6): 22-25.
- [4] 卢满生,周红,罗艳,等. 脱水装置醇耗影响因素分析及应对措施[J]. 天然气与石油,2011,29(6):27-29.
Lu Mansheng, Zhou Hong, Luo Yan, et al. Analysis on Influence Factors of Methanol Consumption of Dehydration Unit and Countermeasures [J]. Natural Gas and Oil, 2011, 29 (6): 27-29.
- [5] 黄雪锋,李涛,李静,等. 天然气净化装置节能途径探讨[J]. 天然气与石油,2016,34(2):26-29.
Huang Xuefeng, Li Tao, Li Jing, et al. Discussion on Energy-Saving Methods of Natural Gas Purification Plant [J]. Natural Gas and Oil, 2016, 34 (2): 26-29.
- [6] 孟江,张其敏,张燕. 天然气脱水过程中三甘醇废弃指标体系研究进展[J]. 广东化工,2012,39(13):74-75.
Meng Jiang, Zhang Qimin, Zhang Yan. Research on the Abandoned Index System of TEG Gas Dehydration Process Progress [J]. Guangdong Chemical Industry, 2012, 39 (13): 74-75.
- [7] 孙雷,王峰,张欢. 海拔高度对三甘醇再生系统的影响研究[J]. 天然气与石油,2015,33(1):32-35.
Sun Lei, Wang Feng, Zhang Huan. Analysis on the Effect of Altitude on Triethylene Glycol Regeneration System [J]. Natural Gas and Oil, 2015, 33 (1): 32-35.
- [8] 陆德明,张振基,黄步余,等. 石油化工自动控制设计手册(第三版)[M]. 北京:化学工业出版社,2000.
Lu Demin, Zhang Zhenji, Huang Buyu, et al. Design Manual for Automatic Control in Petrochemical Industry (Third Edition) [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2000.
- [9] 周春晖. 过程控制工程手册[M]. 北京:化学工业出版社,1993.
Zhou Chunhui. Process Control Engineering Manual [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1993.
- [10] 王驥程,祝和云. 化工过程控制工程[M]. 北京:化学工业出版社,1996.
Wang Jingcheng, Zhu Heyun. Chemical Process Control Engineering [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1996.
- [11] 罗自学. 引入辐射能信号的锅炉燃烧检测及优化控制[D]. 武汉:华中科技大学,2007.
Luo Zixue. Detection and Optimization of Boiler Combustion Control Considering Radiation Energy Signal [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2007.
- [12] 张琴. 炉内火焰温度分析系统的研究[D]. 合肥:安徽大学,2010.
Zhang Qin. Research of the Furnace Flame Temperature Analysis System [D]. Hefei: Anhui University, 2009.
- [13] 赵连科. 多火嘴燃油加热炉火焰监控仪研制及应用[J]. 仪器仪表用户,2005,12(2):29-30.
Zhao Lianke. Development and Application of Fire Monitoring Apparatus of Multi-Burner Oil Heater [J]. Electronic Instrumentation Customer, 2005, 12 (2): 29-30.
- [14] 迟天阳. 基于火焰检测器的燃料识别和着火特性研究

- [D]. 杭州:浙江大学,2009.
- Chi Tianyang. Research on Ignition Characteristics and Fuel Recognition of Flame Detector [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2009.
- [15] 高琦. 加热炉控制系统设计及其炉温控制方法的研究 [D]. 沈阳:东北大学,2009.
- Gao Qi. Research and Design of Furnace Temperature Control System [D]. Shenyang: Northeastern University, 2009.
- [16] 董治国,刘虎,高艳清,等. 胺液再生塔重沸器控制方案的技术改进 [J]. 微计算机信息,2010,26(34):104-105.
- Dong Zhiguo, Liu Hu, Gao Yanqing, et al. Amine Regeneration Tower Reboiler Control Program for Technical Improvements [J]. Microcomputer Information, 2010, 26(34): 104-105.
- [17] 王发明. 浅谈石化行业仪表节能工作的开展 [J]. 自动化博览,2009,26(3):19-31.
- Wang Faming. Discussion on Energy Saving of Petrochemical Instrument [J]. Automation Panorama, 2009, 26(3): 19-31.
- [18] 徐艳冰. 燃烧火焰稳定性研究 [D]. 杭州:浙江大学,2014.
- Xu Yanbing. Combustion Flame Stability Study [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014.
- [19] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 油气田及管道工程仪表控制系统设计规范:GB/T 50892-2013 [S]. 北京:中国计划出版社,2013.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Code for Engineering Design of Instrument Control System for Oil/Gas Fields and Pipeline: GB/T 50892-2013 [S]. Beijing: China Planning Press, 2013.
- [20] American Petroleum Institute. Process Control Systems—Process Control System Design: API RP 554-2008, PART 2 [S]. Washington, D. C.: American Petroleum Institute, 2008.

中国石油第四次油气资源评价重大科技专项收官

2016年11月6日在北京召开的中国石油第四次油气资源评价重大科技专项验收会上获悉:近3年来,中国石油完成了全国范围101个盆地/拗陷/凹陷/地区常规油气资源评价,以及全国范围七类非常规油气资源评价,优选未来五大重点勘探领域,确定常规有利区带30个、非常规有利区带26个,为“十三五”上游业务规划编制提供重要依据,为公司低油价下进一步突出效益勘探提供了决策参考。

全国性的油气资源评价工作大致以10年为一个周期,目前已完成三轮。中国石油第三次油气资源评价完成于2003年。经过攻关,第四次评价取得五项主要创新成果,包括总结提升生烃、成藏及非常规方面的地质新理论、新认识,构建油气资源评价方法体系,创新6项关键评价技术,研发新一代油气资源评价软件和数据库,建立4个层次的常规与非常规资源评价参数体系,重点解剖218个刻度区,研究确定12项关键参数取值标准,建立关键参数预测模型,为类比等综合评价提供了条件。

专项应用效果显著,已向国家和公司提交8份决策建议材料。各油气田公司资源评价紧密结合生产,有效指导规划部署;非常规资源评价成果有效指导勘探选区和部署,页岩气资源分级评价结果明确I类资源分布,推动示范区建设;煤层气资源评价成果指导二连低煤阶煤层气勘探部署,效果显著。

这个专项由中国石油勘探开发研究院牵头,联合各油田和院校协作攻关。项目创新形成常规与非常规油气资源评价软件(HyRAS 2.0),获授权发明专利4件,登记软件著作权8项,发表论文166篇,专著10部,会议论文20余篇。

(曾妍 摘自中国石油新闻网)