

天然气加工过程先进控制的新进展

钱伯章*

(上海炼油厂)

摘 要 为了提高天然气处理和加工过程的经济效益,近年来,国外一些软件公司纷纷推出最新控制方案和模拟模型,列举用以提高 NGL 收率的低温油吸收、膨胀机致冷回收 NGL 装置的优化控制方案,介绍了用于脱硫装置、多股流换热器、甘醇脱水装置、乙二醇/甲醇注入设施、NGL 回收/稳定装置,以及脱氮装置的设计和过程控制优化模型。最后还列举了控制方案的一个应用实例。

主题词 天然气加工 自动控制 方案 模拟模型 实例 发展趋势

先进控制方案

近年来,国外一些软件公司推出了 4 种先进控制方案。

1. Setpoint 公司推出 NGL 回收控制方案

致冷贫油吸收装置可用于从 NGL(天然气凝缩液)中回收乙烷以上的组分。采用吸收 NGL 回收控制软件包,可控制粗 NGL 甲烷/乙烷比和贫油组成,提高效益,优化贫油分配,在约束条件下减少贫油损失和燃料气体消耗。控制模块包括 Setpoint SMCA(多变量控制系统)和先进调节算法及严谨的基于模型的在线优化。

控制方案见图 1。包括粗 NGL 的甲烷/乙烷比例组分控制,贫油分子量控制,贫油分配优化,贫油损失控制和最低压力约束控制。它使进料变化可平稳处理,同时使贫油分配到吸收塔和富油脱甲烷塔(ROD)优化,提高乙烷回收率。

过程操作模拟可运用鉴别软件包(采用动态试验数据)。多变量控制器的组态和仿真可采用基于(Microsoft Windows)软件包。软件的控制模块可在大量软、硬件平台上实现,包括主机、微机 and PC 机。

其经济效益为提高乙烷回收率 2%~5%,节能 5%~10%。已有两处采用,其中一套已操作 9 年;设有 CO₂ 蒸馏回收设施的另一套,则使 NGL 生产量提高了 32~64 m³/d。

2. 大陆控制公司(C. C)的致冷控制方案

在很低的温度下,可从进料中回收 NGL。采用

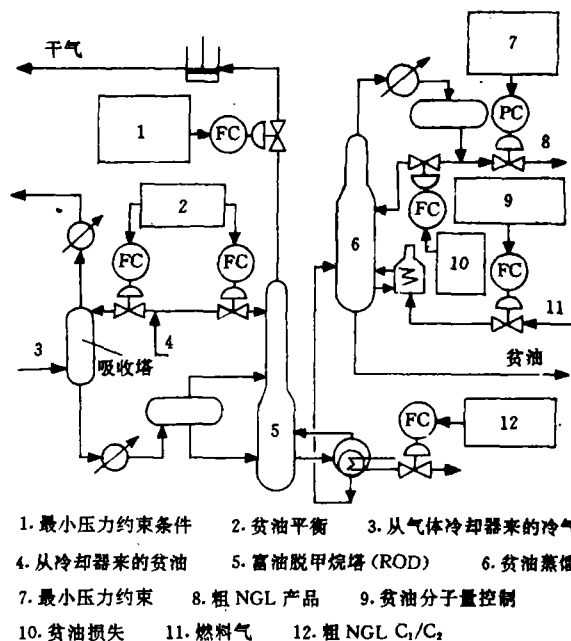


图 1 Setpoint 公司 NGL 回收控制方案

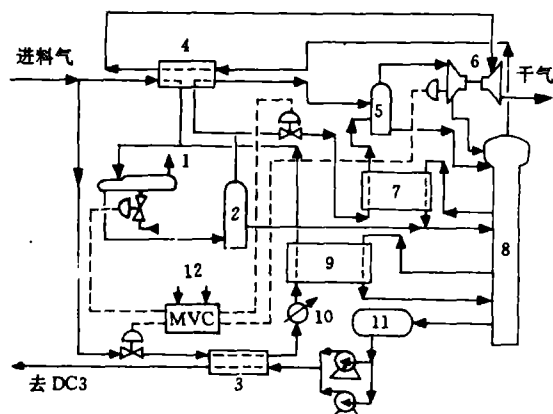
Fig. 1. Control plan for the NGL recovery of Setpoint Company.

该公司 MVC 致冷模块,可提高 NGL 回收率。

控制方案见图 2。在设备约束条件下,提高致冷负荷;用在线经济模型,平衡 NGL 回收,达节能要求;MVC C₁/C₂ 控制模型采用前馈技术控制 C₁/C₂ 比例。其经济效益为提高 C₂ 回收率等。偿还期仅几个月。GRI(气体研究院)已有 3 套气体加工装置

* 钱伯章,高级工程师,1939 年生;1963 年毕业于华东化工学院燃料化工系,一直从事炼油、石化等行业的情报调研工作,曾多次获得情报先进个人奖励,发表科技论文 120 余篇,其中多篇荣获各种情报成果奖。地址:(200127)上海浦东新区峨山路 180 弄 15 号 908 室。电话:(021)58819334。

被采用。



1. 丙烷 2. 进料气冷却器 3. 脱甲烷塔底部加热器
4. 热/冷气体换热器 5. 膨胀机进料分离器 6. 膨胀机、压缩机 7. 塔侧加热器 8. 脱甲烷塔
9. 脱甲烷塔重沸器 10. 水蒸汽 11. 产品缓冲罐
12. 进料前馈和反馈变量

图 2 大陆控制公司致冷装置控制方案

Fig. 2. Control plan for the refrigeration device of Continental Control Company.

3. Setpoint 公司推出致冷装置控制方案

用于致冷涡轮膨胀机装置回收 NGL。控制方案见图 3。致冷 NGL 回收控制软件包控制甲烷/乙烷

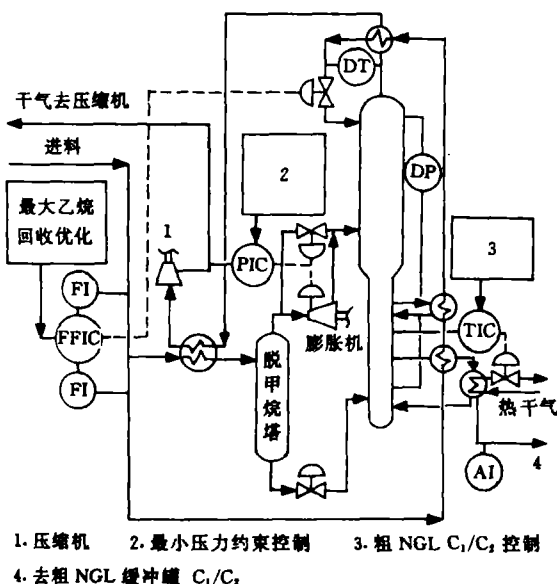


图 3 Setpoint 公司致冷装置控制

Fig. 3. Control plan for the refrigeration device of Setpoint Company.

比例,减小压缩机吸入压力,确定在线优化回收乙烷目标。软件包包括:Setpoint SMCA、先进调节算法和约束管理,以及在线过程优化。

其经济效益为提高乙烷回收率 2%~5%。已有两处采用,一处已应用 9 年之久。

4. C. C. 公司推出致冷贫油吸收装置控制方案

控制方案见图 4。采用多变量控制(MVC)技术,从天然气中优化回收乙烷以上的 NGL。MVC 系统提供自适应、在线装置优化。MVC 技术基于实际装置性能的过程仿真。计算前馈设定点,用预估的和表观的过程性能在线比较进行校正,再定出校正的设定点,控制调节变量。

使用该技术的投资偿还期为几个月。已在 3 套工业设施中被采用。

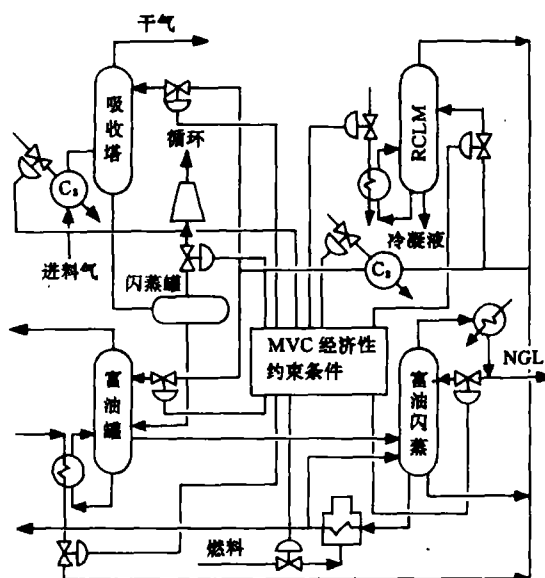


图 4 大陆控制公司致冷贫油吸收装置控制方案

Fig. 4. Control plan for the refrigeration lean oil absorption device of Continental Control Company.

模型

据统计,1994年6月已由Bryan研究和工程公司推出用于装置优化设计和控制的模型6种。现分述如下。

1. 胺法脱硫装置

胺可用于含 H_2S 和 CO_2 气体和 NGL 的脱硫。采用胺的优点是可增大选择胺的组合和改进操作条件。采用胺脱硫装置可安全地生产符合产品规格的气体。使用时,在给定的脱硫工况中,还必须考虑循环量酸气负荷(负荷过大会引起腐蚀和发泡)和热负荷。

该公司推出了用于新、老装置的 TSWEET 模拟程序。它可为优化上述参数等提供快速求解办法。

为选择性的脱除 H_2S , 可采用叔胺, 如甲基二乙

醇胺(MDEA)。使用 TSEET 动态模型颇为重要。在尾气净化单元中,它在很低压力、高气量下运行,精确的预测 CO_2 的塔顶损失和 H_2S 的脱除率是很重要的。采用精确的动态模型可以做到。

当进料气酸气含量高,可采取吸收塔多进料口方式,然而,采用多个吸收塔比单一吸收塔多个进料口有不少优点,尤其可增大设计灵活性。采用 TSEET 可模拟多个进料口,串联或并联的多个吸收塔脱硫以及液体脱硫。

通过优化过程类型和胺量,以及优化流程组合,可大大减小循环量、热负荷、腐蚀和能耗。

采用 TSWEET 的第一套胺洗脱硫装置建于 1976 年。70 年代中期以来,已有上百套胺洗装置被设计、安装和优化投运。

2. 多股流板式换热器

换热器(钎焊的铝板和翅片),由于传热面积大,可同时加热和冷却几种流体,因此常用于致冷(空气液化和高效气体加工)。

该公司推出 PROSIM 模型可方便地模拟这类换热器,从而提高效率,降低投资费用。

在致冷回路中,来自分离器的液体被冷却,借阀门节流膨胀,并在多股流换热器中换热,以液化来自分离器的气流。控制器调节致冷分离器的操作压力,使来自分离器的气、液达到适当流率,以平衡多股流换热器的负荷。

在脱乙烷塔中,进塔天然气流和凝缩液需要冷却,控制器调节致冷回路中的流量,可平衡多股流换热器的负荷。使用 PROSIM 模型的绘图特征可用于检查多股流换热器的窄点。

采用 PROSIM 可使设计优化,大大降低循环量,公司工程费用,不必要的加热和冷却以及投资消耗。

已有许多工程公司在使用多股流换热器的装置设计和优化中采用了 PROSIM 模型。

3. 脱水装置

天然气加工中常采用脱水装置脱水以降低水的露点,从而防止管道中产生凝液,防止致冷过程结冰和生成水合物。采用甲醇、乙二醇、二甘醇、三甘醇的脱水过程,可运用 PROSIM 软件,实现精确设计或优化操作。

PROSIM 模型可严谨地模拟整个乙二醇脱水设施,包括接触器、贫/富液换热器和再生器、气提气方案。固化物生成计算模块,显示水含量、水露点、冰点和水合物生成温度。

采用该程序可调节乙二醇循环量或喷注量、气

提气量或其它参数。PROSIM 可精确预测丁烷以上烃类排放物(BTEX)和挥发性有机化合物(VOC)被乙二醇吸收的量,以及来自乙二醇闪蒸罐和再生塔的 BTEX 逸散污染。通过 PROSIM 对 BTEX 逸散污染的预测,可满足美国得克萨斯州天然气资源节约委员会许可的限量。

PROSIM 可模拟乙二醇循环量或甲醇喷注量对气体水含量的影响。循环量减少,则重沸器负荷减少,可节省投资和操作费用,同时降低环境费用。PROSIM 已用于设计和优化了 7 套工业化设施。

4. 乙二醇/甲醇注入设施

设计 NGL 致冷装置,系利用低温法从天然气中回收液烃产品。如果气体不脱水,则通常注入乙二醇/甲醇,以降低气体的水露点,确保在管道、冷却器或稳定塔中不结冰或生成水合物。

PROSIM 可模拟乙二醇或甲醇的注入,以防止生成水合物,并可计算乙二醇或甲醇的注入量。为达到此目的,可将显示固化物生成温度的模块连接到过程气流中,该模块控制器可监控固化物生成温度,并调节乙二醇注入量。

为此,PROSIM 可预测乙二醇的最宜注入量。过量注入乙二醇会带来不必要的动力消耗。

PROSIM 已用于许多工业设施的设计和优化。

5. NGL 回收/稳定

烃回收和稳定装置用于从天然气中回收液烃,并在规定温度、压力下使其稳定。采用丙烷致冷、混合致冷剂或自致冷方法(等焓节流或涡轮膨胀法),将气体冷却到低温,以获取液态烃。

采用 PROSIM 程序可模拟宽范围的 NGL 和 LPG 回收及稳定装置的流程。可模拟的常用设计有致冷、涡轮膨胀、Ortloff 和 Rya-Holmes 装置。

涡轮膨胀装置无需外部致冷。采用 PROSIM 可使主换热器与来自其它换热器或冷却器或重沸器的负荷相连。在单一、交叉的多股流多塔侧换热器中,PROSIM 可检查内部窄点,并计算整个换热器的有效温差。PROSIM 的作图能力可绘制入口气体相图,用以确定冷分离器优化操作压力,获取最大的 LPG 收率。蒸气压力测试可计算 LPG 的雷特蒸气压和实际蒸气压,以确保满足产品规格。该程序可自动计算所需的致冷循环量和乙二醇或甲醇注入量。

通过 NGL 回收装置中设备操作参数的优化,可获得产品最大收率,减小公用工程费用。该 PROSIM 用于该公司客户的工业设计和优化中。

6. 脱氮装置

脱氮装置(Nitrogen Reject Unit)除去惰性氮,

可提高天然气的热值,也可进行氮—氮产品分离等。

采用 PROSIM 可仿真 NRU,生产纯度 99% 的甲烷产品。另外,可模拟氮—氮分离过程。PROSIM 还可仿真多塔侧换热器网络。研究人员通过将换热器中间传热作图,求出任一换热器的窄点,从而对装置进行分析。致冷量也可通过模拟致冷回路来确定。典型的致冷回路采用将丙烷、乙烯和甲烷单元进行串接组合的方式。PROSIM 可模拟混合致冷系统。因此,PROSIM 可用于研究影响甲烷产品热值的过程变化,操作条件的优化设定使装置效率达到最高。PROSIM 已用于该公司客户的工业设计和优化。

控制方案应用实例

大陆控制公司(C. C.)开发的多变量控制技术已应用于 ARCO 开发和生产技术公司气体加工装置中。据称投资偿还期仅 4 个月。

这种自适应、前馈、多变量控制技术可设计应用于宽范围的操作,包括装置间和分馏塔顶、塔底间控制的交互性,控制回路不会波动。为取得高性能模型的效益,可采用该公司开发的连续过程多变量控制求解方法(使参数的变化控制在允许范围内)。

1991 年进行的第一阶段气体加工优化项目旨在:①改进加工天然气凝缩液的投资偿还期;②就不同的加工装置开发一组控制算法;③得出低费用的解决办法,以应用于小—中型气体加工装置;④试验和验证优化在线控制的可行性。

根据上述目标,ARCO 公司 Willard CO₂ 气体回收加工装置完成了采用多变量在线优化控制的试验验证。实现了:①C₂ 和较重组分达到经济优化水平;②最大量回收 CO₂ 而操作无液位;③从酸性气 NGL 中回收 H₂S;④最大限度减少了热能和动力消耗;⑤在宽范围的输入流量和组成下,减少操作变化。

实践证明,该项目的实施为各种气体加工装置提供了标准的解决办法,它包括冷冻分离、脱甲烷、贫油吸收、分馏和气体处理。

该工艺流程见图 5。过程基本构成:两座蒸馏塔——乙烷回收塔(ERC)、添加剂回收塔(ARC)。多变量控制(MVC)的设定点在过程中有标出。

进入 ERC 和粗物料是来自工厂中几处的气体加上循环气。进料气体中含有 CO₂、烷烃(C₁—C₇)以及 H₂S。ERC 的目的是:①吸收烃类(进料气中 C₂—C₇)和 H₂S,送入含添加剂的贫油;②回收 CO₂。ARC 的目的是从添加剂中分离吸收的烃类和 H₂S(称为酸性 NGL)。

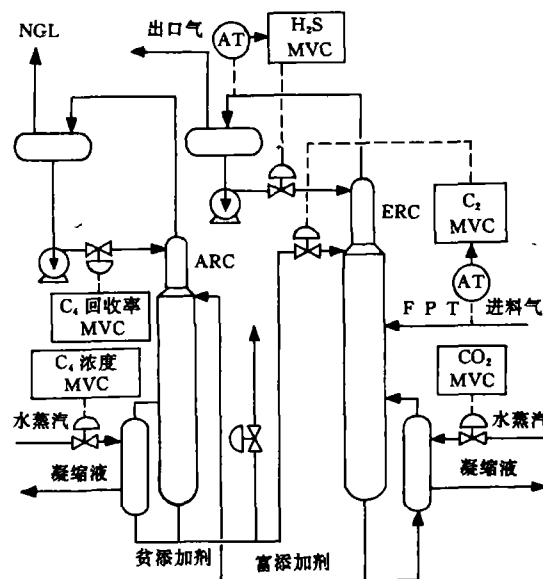


图 5 Ryan/Holmes 控制流程

Fig. 5. Ryan/Holmes control flowsheet.

ERC 常规控制系统包括贫油流量控制,回流量控制,重沸器水蒸气流量控制(与塔底温度控制器串接)。采用先进控制技术,不仅可满足规范要求还可优化过程操作。

该先进控制系统基于实际装置性能的严密过程模拟。操作时,该系统连续地得到许多现场变量,并将前馈预测的优化设定点输入,以控制调节变量(MV),但还必须采用反馈控制以保持控制参数约束条件,为补偿的过程和在线分析引起滞后,导出了多变量预估模型。过程变量如塔压、塔顶温度、贫油流量、回流量等都包含在模型中。预估控制的变量滞后,用测量结果的误差来校正,并送入反馈控制器。每次控制循环约 30~180 s。

如图 6 上部所示,贫油流量控制器初设点的改变,是基于所有前馈信息、规格和约束条件(包括来自以前计算的“整定因子”)进行计算确定的。这种由前馈得出的设定点的变化送入控制器之前,作出反馈关联(FBC)计算(见图 6)。受贫油流量、乙烷回收量影响的关键变量,作为来自在线气相色谱的乙烷含量,并用基于“漂浮因子”程序的算法来校正。这种经校正的乙烷值与适当滞后时间时计算的预估优化值加以比较。FBC 差值通过适当的压力指示数据(PID)算法应用于前馈计算的设定点。

该先进控制设计覆盖了整个范围的装置操作(通常为“平均”产量、组分、状态变量等的 25%)。许多变量算法是线性化的,对输入数据的识别也是广泛的。

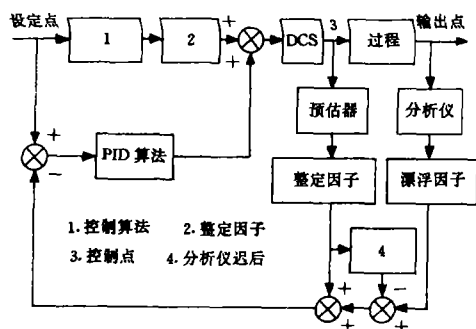


图 6 多变量控制逻辑

Fig. 6. Multi-variables control log.

控制软件用 C 语言编程,并与 SCADA 系统(监控和数据采集系统)相连。整个软件包设置在带有软件接口驱动器的 386/X25 个人计算机上,将 PC 机与装置 DCS(分散型控制系统)相连,见图 7。实时过程变量连续地从 DCS 取出送至 PC 机。还设计了大量画面显示,如带有先进控制参数的工艺流程图、控制显示、经济性显示、过程动态整定显示、控制器整定显示、设备约束条件显示等。在 PC 机上显示,便于操作人员掌握。

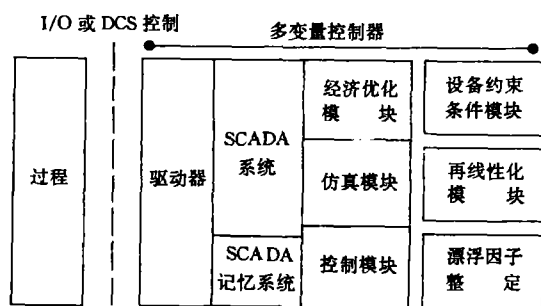


图 7 多变量控制系统

Fig. 7. Multi-variables control system.

注:MVC 驱动器通过来自过程的 PV 和 MV 进入 SCADA 系统。MVC 仿真过程控制和优化模块,基于 SCADA 的输入,连续选择优化的操作条件。适应性控制特征使系统整定

系统开环操作(倾向模式)的两周后,于 1991 年

9 月进入闭环(监控模式)控制。

由于进料气混合情况变化,入口气体流量和组成随季节和时间变化,按每分钟进行的宽范围开/闭环试验测出了 MVC 优化的影响。图 8 示出两天试验以来闭环控制的效益(入口气体流量和组成保持不变时)。试验前,调节控制的 C₂ 回收率仅约 50%,按闭环模式控制乙烷回收率提高了 8%,重沸器热能消耗同时降低了 12%。

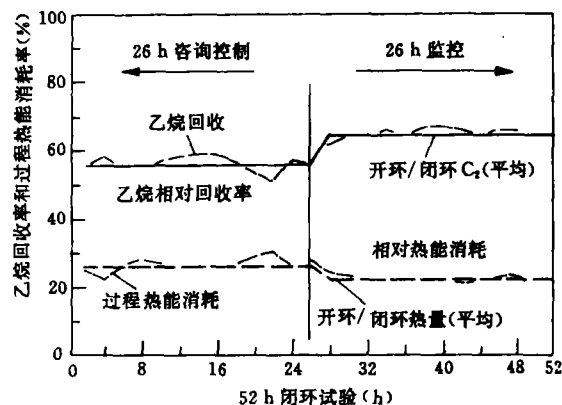


图 8 多变量开环和闭环控制

Fig. 8. Multi-variables open loop and close loop control.

结 束 语

在天然气加工装置中,美国 Setpoint 公司推出的 SMCA(多变量控制系统)和先进调节算法和基于模型的在线优化技术,以及大陆控制公司推出的多变量控制技术都已成熟应用。我国天然气加工工业采用先进的控制方案和先进的模拟模型尚在起步开发之中,应积极组织力量攻关吸收,建立我国的软件开发队伍,加快先进控制方案和先进模拟技术在我国天然气加工工业中的应用步伐。

审稿人 高级工程师 王协琴
收稿日期 1995-11-14 编辑 王瑞兰

1995 年美国发电用天然气量增加 8%

据美国气体协会(AGA)报道,1995 年美国发电用天然气量预计比 1994 年增加 8%,达到 4.4×10^{15} Btu,在工业市场中的应用量预计增加 5%,达到 8.7×10^{15} Btu,而民用及商业用量将依然保持在 1994 年 8×10^{15} Btu 左右的水平上。

本刊通联委员 肖锦堂 摘译自《Gas Industries》

ondarily developing it in China are expounded.

SUBJECT HEADINGS: Computer assisted design, Pipeline design, Development, Application.

Yang Mao, engineer, graduated in applied mathematics from Chengdu Science and Technology University in 1984; Now he is engaged in the development and application of computer softwares. Add: (610017) No. 28, Xiaoguanmiao Houjie, Chengdu, Sichuan. Tel: (028)6747700-252.

Liu Tingdou (*Chuanzhong Exploration and Development Company of Sichuan Petroleum Administration*), Xu Kefang; **AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF SH GAS DISTRIBUTION STATE**, NGI 16(3), 1996:64~68

ABSTRACT: The automatic control system developed by Chuanzhong Exploration and Development Company of Sichuan Petroleum Administration and Electron Science and Technology University has been applied successfully at SH gas distribution state. Combining computer technology with automatic technology, the system is applied to the stations of natural gas gathering and distributing to enhance the automatic level of production and management. Because the system is of the characteristics of complete functions, reliable and stable performances, good applicability and very cheap, it has a good popularization prospects.

SUBJECT HEADINGS: Natural gas, Gas distribution station, Automatic control, Computer application, Testing, Application.

Liu Tingdou, senior engineer, graduated in Developing Department from Beijing Petroleum Institute in 1966; He is long engaged in oil-gas field production, oil-gas storage and transport, gas gaging. Add: (629000) Suinin, Sichuan. Tel: (08252)224511-511391.

Yu Hancheng (*Survey and Design Research Institute of Sichuan Petroleum Administration*), Wang Yukang; **DEVELOPMENT OF HIGH-SULPHURE GAS FIELD AND PILOT TESTING OF WELL WO 63**, NGI 16(3), 1996:69~73

ABSTRACT: The general situation of developing the high-sulphure gas fields abroad is simply introduced. some technical problems in pilot testing of well Wo 63 in east Sichuan in the aspects of making plan, designing flowsheet, selecting material and operating are expounded. The corrosion situation of the well is also introduced and the problems of hydrate genesis and sulphure sedimentation are discussed.

SUBJECT HEADINGS: High Sulphure, Gas field development, H₂S corrosion. Control, East, Sichuan, Gas well, Pilot testing.

Qian Baizhang (*Shanghai Refinery*); **ADVANCED CONTROL NEW DEVELOPMENT OF NATURAL GAS PROCESSING**, NGI 16(3), 1996:74~78

ABSTRACT: In order to enhance the economic benefit of natural gas processing, the newest control project and analog are developed by oversea companies one after another in recent years. The optimal control project for enhancing NGL recovery ratio with the devices of low-temperature oil absorption and expansion refrigeration are enumerated. The design and process control optimal models of desulfurizing device, mult-stream heat exchanger, glycol dehydrating device, ethylene glycol/methanol injection facilities, NGL recovery/stable device and denitrogenation device are introduced. An example of control project is presented.

Qian Baizhang, senior engineer, graduated in fuel chemistry from East China Chemistry Institute in 1963; He has published over 120 papers and is engaged in information investigating of petrochemistry. Add: (200127) No. 15, Sec. 180, Eshan Rd, Pudong New District, Shanghai. Tel: (021)58819334.

Cheng Gengliang (*Natural Gas Research Institute of Sichuan Petroleum Administration*); **APPLICATION OF PHYSICAL SEPARATION PROCESS TO NATURAL GAS PURIFICATION**, NGI 16(3), 1996:79~85

ABSTRACT: At present, most of gas purification techniques are the patterns of chemical reaction. It is necessary developing new techniques to meet the needs of separating many kinds of special unstripped gas and to improve the indexes of equipment, investment, operation cost, purification rate and environmental protection etc. Since the 1980s, physical separation methods are in the accendent of gas purification. The applied situations of the three physical separation such as membrane separation low-temperature fractional distillation and pressure-swing adsorption are introduced.

SUBJECT HEADINGS: Natural gas, Membrane permeation, Low temperature, Fractional distillation, pressure-swing adsorption method. Application, Developing trend.