

高含硫气田职工培训教材

# 天然气净化装置工艺技术

焦玉清 编著



中國石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

高含硫气田职工培训教材

# 天然气净化装置工艺技术

焦玉清 编著

中国石化出版社

## 内容提要

本书涵盖全套联合装置内脱硫单元、脱水单元、硫黄回收单元、尾气单元、酸水单元（包括罐区）以及火炬单元等共计六个单元的知识，内容主要包括装置概况、工艺指标、装置开停工以及事故处理等四个方面的内容。内容详实、重点突出、实用性强，是高含硫气田从事净化作业职工技能培训的必备教材，对专业技术人员也具有一定的参考价值。

## 图书在版编目(CIP)数据

天然气净化装置工艺技术 / 焦玉清编著. —北京:  
中国石化出版社, 2014.9  
高含硫气田职工培训教材  
ISBN 978-7-5114-3038-0

I. ①天… II. ①焦… III. ①天然气净化-净化设备-职工培训-教材 IV. ①TE682

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 208813 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

\*

787×1092 毫米 16 开本 18.5 印张 276 千字

2014 年 10 月第 1 版 2014 年 10 月第 1 次印刷

定价:86.00 元



# 高含硫气田职工培训教材

## 编写委员会

主任:王寿平 陈惟国  
副主任:盛兆顺  
委员:郝景喜 刘地渊 张庆生 熊良淦 姜贻伟  
陶祖强 杨发平 朱德华 杨永钦 吴维德  
康永华 孔令启

## 编委会办公室

主任:陶祖强  
委员:马 洲 王金波 程 虎 孔自非 邵志勇  
李新畅 孙广义

## 教材编写组

组长:焦玉清 袁守民  
副组长:兰宦勤 曹英斌 马崇彦 于艳秋  
成员:潘 涛 肖 斌 黄子川 朱道庆 姚景武  
张立胜 张文斌 王拥军 刘 炜 解更存  
胡文明 张忠慧 张永红 王金波 裴永述  
张鲁平

# 序

2003年,中国石化在四川东北地区发现了迄今为止我国规模最大、丰度最高的特大型整装海相高含硫气田——普光气田。中原油田根据中国石化党组安排,毅然承担起了普光气田开发建设重任,抽调优秀技术管理人员,组织展开了进入新世纪后我国陆上油气田开发建设最大规模的一次“集团军会战”,建成了国内首座百亿立方米级的高含硫气田,并实现了安全平稳运行和科学高效开发。

普光气田主要包括普光主体、大湾区块(大湾气藏、毛坝气藏)、清溪场区块和双庙区块等,位于四川省宣汉县境内,具有高含硫化氢、高压、高产、埋藏深等特点。国内没有同类气田成功开发的经验可供借鉴,开发普光气田面临的是世界级难题,主要表现在三个方面:一是超深高含硫气田储层特征及渗流规律复杂,必须攻克少井高产高效开发的技术难题;二是高含硫化氢天然气腐蚀性极强,普通钢材几小时就会发生应力腐蚀开裂,必须攻克腐蚀防护技术难题;三是硫化氢浓度达1000ppm( $1\text{ppm}=1\times 10^{-6}$ )就会致人瞬间死亡,普光气田高达150000ppm,必须攻克高含硫气田安全控制难题。

经过近七年艰苦卓绝的探索实践,普光气田开发建设取得了重大突破,攻克了新中国成立以来几代石油人努力探索的高含硫气田安全高效开发技术,实现了普光气田的安全高效开发,创新形成了“特大型超深高含硫气田安全高效开发技术”成果,并在普光气田实现了工业化应用,成为我国天然气工业的一大创举,使我国成为世界上少数几个掌握开发特大型超深高含硫气田核心技术的国家,对国家天然气发展战略产生了重要影响。形成的理论、技术、标准对推动我国乃至世界天然气工业的发展作出了重要贡献。作为普光气田开发建设的实践者,感到由衷的自豪和骄傲。

在普光气田开发实践中,中原油田普光分公司在高含硫气田开发、生产、集输以及 HSE 管理等方面取得了宝贵的经验,也建立了一系列的生产、技术、操作标准及规范。为了提高开发建设人员技术素质,2007 年组织开发系统技术人员编制了高含硫气田职工培训实用教材。根据不断取得的新认识、新经验,先后于 2009 年、2010 年组织进行了修订,在职工培训中发挥了重要作用;2012 年组织进行了全面修订完善,形成了系列《高含硫气田职工培训教材》。这套教材是几年来普光气田开发、建设、攻关、探索、实践的总结,是广大技术工作者集体智慧的结晶,具有很强的实践性、实用性和一定的理论性、思想性。该教材的编著和出版,填补了国内高含硫气田职工培训教材的空白,对提高员工理论素养、知识水平和业务能力,进而保障、指导高含硫气田安全高效开发具有重要的意义。

随着气田开发的不断推进、深入,新的技术问题还会不断出现,高含硫气田开发和安全生产运行技术还需要不断完善、丰富,广大技术人员要紧密结合高含硫气田开发的新变化、新进展、新情况,不断探索新规律,不断解决新问题,不断积累新经验,进一步完善教材,丰富内涵,为提升职工整体素质奠定基础,为实现普光气田“安、稳、长、满、优”开发,中原油田持续有效和谐发展,中国石化打造上游“长板”作出新的、更大的贡献。



2013 年 3 月 30 日

# 前 言

在天然气工业中,为了将合格的商品天然气供应至用户,天然气净化是重要的一环。天然气净化通常是指脱硫脱碳、脱水、硫黄回收及尾气处理。脱硫脱碳与脱水是为了使天然气达到商品天然气或管输天然气的质量指标;硫黄回收与尾气处理是为了综合利用及满足环保要求。目前,天然气净化已形成一个独立的、系统的专业,其地位也越来越重要。

普光气田是我国已发现的最大规模海相整装高含硫气田,在国内没有成功开发同类气田的先例,在世界范围也属于难题。普光天然气净化厂是国内首座自主设计、建设的百亿方级高含硫净化厂,原料天然气高含硫化氢、二氧化碳与有机硫。中原油田普光分公司作为直接管理者和操作者,逐步积累了一套较为成熟的高含硫天然气开发、净化和 HSE 管理等方面的经验。为全面总结高含硫天然气净化管理与操作经验,固化、传承、推广好做法,夯实自身培训管理基础,同时也为同类天然气净化提供借鉴,我们组织了系统专业技术人员,以建立中国石化高含硫天然气净化职工培训示范教材为目标,在已有自编教材的基础上,编著、修订了系列《高含硫气田职工培训教材》。本套教材涵盖了净化装置、硫黄储运、分析化验和安全监控 4 个重要部分,突出高含硫净化装置的工艺特点,以反应典型性、针对性、实用性、先进性为原则,每个部分单独成册,总编陈惟国、朱德华。

《高含硫气田职工培训教材——天然气净化装置工艺技术》为专业技术培训类教材,侧重于实际操作技能培训。收集了普光分公司天然气净化厂六套联合装置投产、运行的成功经验,并结合装置工艺技术规程、岗位操作法等进行编制,包括脱硫、脱水、硫黄回收、尾气处理、酸水汽提、胺液净化、火炬系统共 7 个部分,每个部分又分为装置介绍、工艺指标、开停工操作、事故处理 4 个篇章,涵

盖了高含硫净化装置工作需要到现场掌握的专业知识和操作规程,内容具有较强的适用性、先进性和规范性。本册教材由焦玉清编著,副主编于艳秋。第1部分由王晓辉、肖真编写,第2部分由孔祥丹、吕红学、万勇编写,第3部分由郭强、胡景梅、张苏猛编写,第4部分由张青奇、李庆南、林秉方编写,第5部分由李杨涛、申清印、韦华天编写,第6部分由倪建东、石武斌、雷明军编写,第7部分由张苏猛、李庆男、金涛编写;参与编审的人员有潘涛、刘炜、陈德文、周健、孙广平、李煌、胡文明、赵景峰、王艳军、岳剑、张立胜、裴爱霞、陈刚等。

本套教材可作为高含硫天然气净化职工培训使用,也可作为天然气净化领域科研、设计、生产及管理技术人员的案头参考书,还可供从事炼厂气及其他气体净化的工艺技术人员参考。

在本套教材编著过程中,各级领导给予了高度重视和大力支持,陈惟国同志对做好教材编著工作多次作出指导,刘地渊、熊良淦、张庆生、尹琦岭、商剑峰、杨作海、王和琴、陶祖强对教材进行了审定,多位管理专家、技术骨干、技能操作能手为教材编审贡献了智慧、付出了辛勤的劳动,中国石化出版社对教材的编审和出版工作给予了宝贵的支持和指导,在此一并表示感谢!

普光天然气净化厂在管理经验方面还需要不断积累完善,恳请同志们在使用过程中提出宝贵意见,为进一步完善、修订提供借鉴。

书中不当及疏漏之处尚祈业内专家及同志们赐正。



# 目 录

第 1 章 脱硫单元 .....	( 1 )
1.1 装置概况 .....	( 1 )
1.2 工艺指标 .....	( 18 )
1.3 装置开停工 .....	( 22 )
1.4 事故处理 .....	( 36 )
第 2 章 脱水单元 .....	( 48 )
2.1 装置概况 .....	( 48 )
2.2 工艺指标 .....	( 55 )
2.3 装置开停工 .....	( 59 )
2.4 事故处理 .....	( 66 )
第 3 章 硫黄回收系统 .....	( 72 )
3.1 装置概况 .....	( 72 )
3.2 工艺指标 .....	( 97 )
3.3 装置开停工 .....	( 101 )
3.4 事故处理 .....	( 131 )
第 4 章 尾气处理单元 .....	( 143 )
4.1 装置概况 .....	( 143 )
4.2 工艺指标 .....	( 172 )
4.3 装置开停工 .....	( 175 )
4.4 事故处理 .....	( 187 )
第 5 章 酸水汽提单元 .....	( 198 )
5.1 装置概况 .....	( 198 )
5.2 工艺指标 .....	( 203 )
5.3 装置开停工 .....	( 208 )
5.4 事故处理 .....	( 213 )
第 6 章 胺液净化单元 .....	( 216 )
6.1 装置概况 .....	( 216 )

6.2	工艺指标 .....	(231)
6.3	装置开停工 .....	(235)
6.4	事故处理 .....	(244)
<b>第7章</b>	<b>火炬单元 .....</b>	<b>(248)</b>
7.1	装置概况 .....	(248)
7.2	工艺指标 .....	(262)
7.3	装置开停工 .....	(264)
7.4	事故处理 .....	(281)



## 1.1 装置概况

### 1.1.1 装置简介

普光天然气净化厂是中国石化建设的首个高含硫天然气净化厂，原料为普光气田高含硫天然气， $\text{H}_2\text{S}$  含量 13.0%~18.0%， $\text{CO}_2$  含量 8.0%~10.0%，有机硫含量  $340.6\text{mg}/\text{m}^3$ 。单套联合装置脱硫单元设计规模  $2\times 300\times 10^4\text{m}^3/\text{d}$ ，装置运行时间 8000h/年，操作弹性为 50%~110%。

普光天然气净化厂净化装置工艺包系从美国 B&V 公司引进，采用胺液法脱硫、催化水解脱 COS、三甘醇法脱水、常规 Claus 二级转化法硫黄回收、SCOT 法尾气处理、酸水汽提和液硫湿法成型的工艺技术路线，硫黄设计回收率达到 99.8% 以上。整个装置包括 6 个联合、12 个系列的天然气处理装置及配套工程，每个系列的天然气装置处理能力为  $300\times 10^4\text{m}^3/\text{d}$ ，每两个系列组成一套净化装置，主要工艺单元包括完全相同的两列天然气脱硫单元、硫黄回收单元及尾气处理单元，以及共用的一套天然气脱水单元和一套酸性水汽提单元。

该套装置中脱硫单元采用两级吸收的醇胺脱硫工艺。该工艺采用了 Black & Veatch 公司的专利级间冷却技术，用于加强对  $\text{CO}_2$  吸收的控制；采用固定床反应水解 COS 工艺，降低天然气中有机硫含量，以满足产品气对总硫含量的要求；胺液系统采用 50wt% MDEA 溶剂。全厂 6 个联合、12 系列净化装置，年处理能力  $120\times 10^8\text{m}^3$ 。

### 1.1.2 工艺流程

酸性天然气自厂外管道进入天然气进料过滤分离器 (SR-101A/B) 脱除携带的液体及固体颗粒, 然后进入天然气聚结分离器 (SR-101C) 以脱除液滴。过滤之后的酸性天然气进入两级胺液吸收塔, 即第一级主吸收塔和第二级主吸收塔 (C-101 和 C-102), 用 50wt% 的 MDEA 溶液吸收气体中的  $H_2S$  和  $CO_2$ 。

从天然气进料过滤聚结分离器出来的酸性天然气进入第一级主吸收塔 (C-101), 第一级主吸收塔内设七层塔板, 在塔中酸性天然气与胺液逆流接触。两级主吸收塔采用了 Black & Veatch 公司的专利级间冷却技术以加强对  $CO_2$  吸收的控制。在第二级主吸收塔 (C-102) 底部用泵抽出胺液, 经过中间胺液冷却器 (E-105), 然后返回第一级主吸收塔顶部。采用级间冷却技术可显著降低吸收塔的温度分布, 降低吸收温度可抑制  $CO_2$  受动力学影响的吸收过程, 同时加快  $H_2S$  受化学平衡影响的吸收过程。

来自尾气吸收塔 (C-402) 的半富液先由泵升压至第一级主吸收塔气体压力, 然后与中间胺液泵由第二级主吸收塔底部抽出的半富液混合, 全部胺液进入中间胺液冷却器, 冷却后送入第一级主吸收塔。利用尾气处理单元的半富液, 可显著减少送入胺液再生塔的胺液循环量。

经第一级主吸收塔部分脱硫后的天然气送入水解部分脱除 COS 以满足产品规格要求。气体首先通过水解反应器进出料换热器 (E-109A/B/C) 与水解反应器出口气体换热, 可减少水解反应器预热器 (E-107) 的蒸汽耗量及水解反应器出口空冷器 (A-103 A/B) 的热负荷。

换热升温后的气体进入水解反应器入口分离器 (D-106), 分离出携带的胺液, 分出的胺液排入胺液回收罐 (D-105)。低压凝结水升压后在入口分离器前作为水解反应物注入天然气中, 可促进反应器中发生的 COS 水解反应。分离胺液后的天然气在水解反应器预热器由  $110^\circ C$  被加热至  $141^\circ C$ , 预热器采用饱和高压蒸汽作为加热介质, 气体被加热后可防止在水解反应器中产生凝液。

加热后的天然气进入水解反应器 (R-101), COS 与  $\text{H}_2\text{O}$  反应生成  $\text{H}_2\text{S}$  和  $\text{CO}_2$ , 反应式如下:



该水解反应受化学平衡限制, 同时升温可促进反应进行。离开水解反应器的气体经水解反应器进出料换热器降温后进入水解反应器出口空冷器, 进一步冷却至  $50^\circ\text{C}$  后进入第二级主吸收塔, 第二级主吸收塔内设十一层塔板, 在塔中天然气与胺液逆流接触, 气体中所含的  $\text{H}_2\text{S}$  及  $\text{CO}_2$  被进一步吸收并达到产品规格的要求, 即  $\text{H}_2\text{S}$  含量低于  $6\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、 $\text{CO}_2$  含量低于 3%、硫化物含量 (以 S1 计) 低于  $200\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。脱硫后的天然气经脱硫气体分液罐分离出携带的胺液后进入天然气脱水单元。

从第一级主吸收塔底部出来的富胺液进入富胺液透平 (HT-101) 减压膨胀后进入富胺液闪蒸罐 (D-102), 在罐内闪蒸出所携带的轻烃, 并用补充胺液吸收闪蒸气中可能携带的  $\text{H}_2\text{S}$ 。之后闪蒸气经压力控制送入尾气焚烧炉, 焚烧所产生的热量通过发生高压蒸汽进行回收。

闪蒸后的富胺液与来自胺液再生塔底的贫胺液, 在贫富胺液换热器 (E-101) 内进行换热, 温度由  $59^\circ\text{C}$  升至  $105^\circ\text{C}$ , 通过调节贫富胺液换热器的富液出口流量来控制富胺液闪蒸罐内的液位。

在胺液再生塔内, 富胺液含有的  $\text{H}_2\text{S}$  和  $\text{CO}_2$  被重沸器内产生的汽提气解吸出来并从塔顶流出, 塔顶气经胺液再生塔顶空冷器 (A-102A~H) 冷却后进入胺液再生塔顶回流罐 (D-103) 分液, 分离出的酸性水回流至再生塔, 过量的酸性水定期送入酸水汽提单元。分液后的酸性气送入硫黄回收单元, 其操作条件为  $50^\circ\text{C}$  和  $0.07\text{MPa}$  (a)。

胺液从位于第一层塔板以下的集液箱进入胺液再生塔重沸器 (E-104A/B), 在重沸器内用  $0.45\text{MPa}$  的蒸汽对胺液进行加热, 胺液再生出来的再生气, 再生气从重沸器顶部返回再生塔底部的气相空间, 重沸器内未汽化的胺液从釜内溢流堰上部流出并返回再生塔底部。

胺液再生塔重沸器用低压蒸汽冷凝过程中释放的热量来汽化胺液, 蒸汽采用流量控制。从重沸器流出的凝结水进入凝结水罐 (D-104A/B), 经液位控制送

入凝结水回收罐 (D-702), 然后经泵送出单元界区。

再生塔底的高温贫胺液, 经再生塔底贫胺液泵 (P-102A/B) 升压后, 进入贫富胺液换热器与进入再生塔之前的富液换热, 温度由 124℃ 降至 70℃, 然后进入贫胺液空冷器 (A-101A~H), 进一步冷却至 55℃。冷却后的部分贫液 (总流量的 30%) 进入胺液过滤器 (SR-103A/B), 脱除携带的腐蚀产物及其他固体杂质, 以尽量降低胺液在吸收塔或再生塔发泡的可能性, 在需要更换过滤器时会有压差指示。在对过滤器的任何部件进行维修时, 都要注意尽量减少操作人员接触 H<sub>2</sub>S 的机会。经胺液过滤器过滤的贫液, 需依次经过胺液活性炭过滤器 (SR-104A/B)、胺液后过滤器 (SR-105A/B) 以脱除携带的烃类物质及热稳定性盐 (HSS)。

过滤后的贫液与其余未经过滤的胺液混合后, 进入贫胺液后冷器 (E-106), 贫胺液后冷器采用旁路温度控制来调节贫液的冷却量, 将冷却后贫液的温度控制在 39℃。冷却后的贫液一部分经贫胺液泵 (P-101A/B) 送入第二级主吸收塔, 其余部分送入尾气吸收塔。

胺液储罐 (T-101) 用于存储新鲜的补充胺液, 通过胺液补充泵将新鲜胺液送至各单元。用除盐水配置需要的浓度为 50wt% 的 MDEA 溶液。

取样及维修时排出的胺液都收集在胺液回收罐 (D-105) 中, 这部分胺液用胺液回收泵 (P-104) 抽出, 经回收胺液过滤器 (SR-102) 过滤后, 返回胺液循环系统使用。

### 1.1.3 工艺原理

普光天然气净化厂脱硫单元采用甲基二乙醇胺 (MDEA) 法脱硫, 该脱硫法属于湿法脱硫。MDEA 法具有选择性好、解析温度低、能耗低、腐蚀性弱、溶剂蒸汽压低、气相损失小、溶剂稳定性好等优点, 是目前天然气工业中普遍采用的脱硫方法。

MDEA 在 CO<sub>2</sub> 存在下对 H<sub>2</sub>S 具有选择性吸收的能力。从而将原料气中的 H<sub>2</sub>S 吸收, 而对 CO<sub>2</sub> 的吸收却很少, 该法 MDEA 溶剂在吸收塔内与天然气逆流接触进行脱硫, 在 8.3MPa (表)、35~45℃ 的条件下, 将天然气中的酸性组分吸收, 然

后在 0.08~0.1MPa (表)、124℃条件下, 将吸收的组分释放出来, 溶液循环再利用。

但该法基本上不能脱除有机硫, 针对普光气田天然气中有机硫主要为羰基硫, 采用 Black & Veatch 公司气相法脱除羰基硫的技术, 在气相固定床反应器中通过催化剂的作用使羰基硫水解为硫化氢和二氧化碳, 羰基硫反应转化率在 60%~90%。

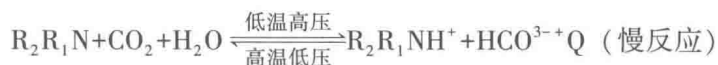
相关化学反应:

MDEA 水溶液在脱硫系统中的化学反应式如下:

主反应:



副反应:



其中  $R_2 = \text{“—C}_2\text{H}_4\text{HO”}$ ,  $R_1 = \text{“—CH}_3\text{”}$

醇胺与  $H_2S$ 、 $CO_2$  的主要反应均为可逆反应, 在吸收塔较低温度下反应向右进行, 原料气所含酸性气组分被脱除, 在再生塔较高温度下反应平衡向左移动, 溶剂释放出所吸收的酸性组分得以再生。

羰基硫在反应器中的化学反应式如下:



此外, 在上述条件下, 还产生微量的氨基甲酸盐和硫代氨基甲酸盐, 是不可逆反应, 二者由于分子内部聚合, 生成非再生恶唑烷酮累积起来, 在溶液中形成降解产物。





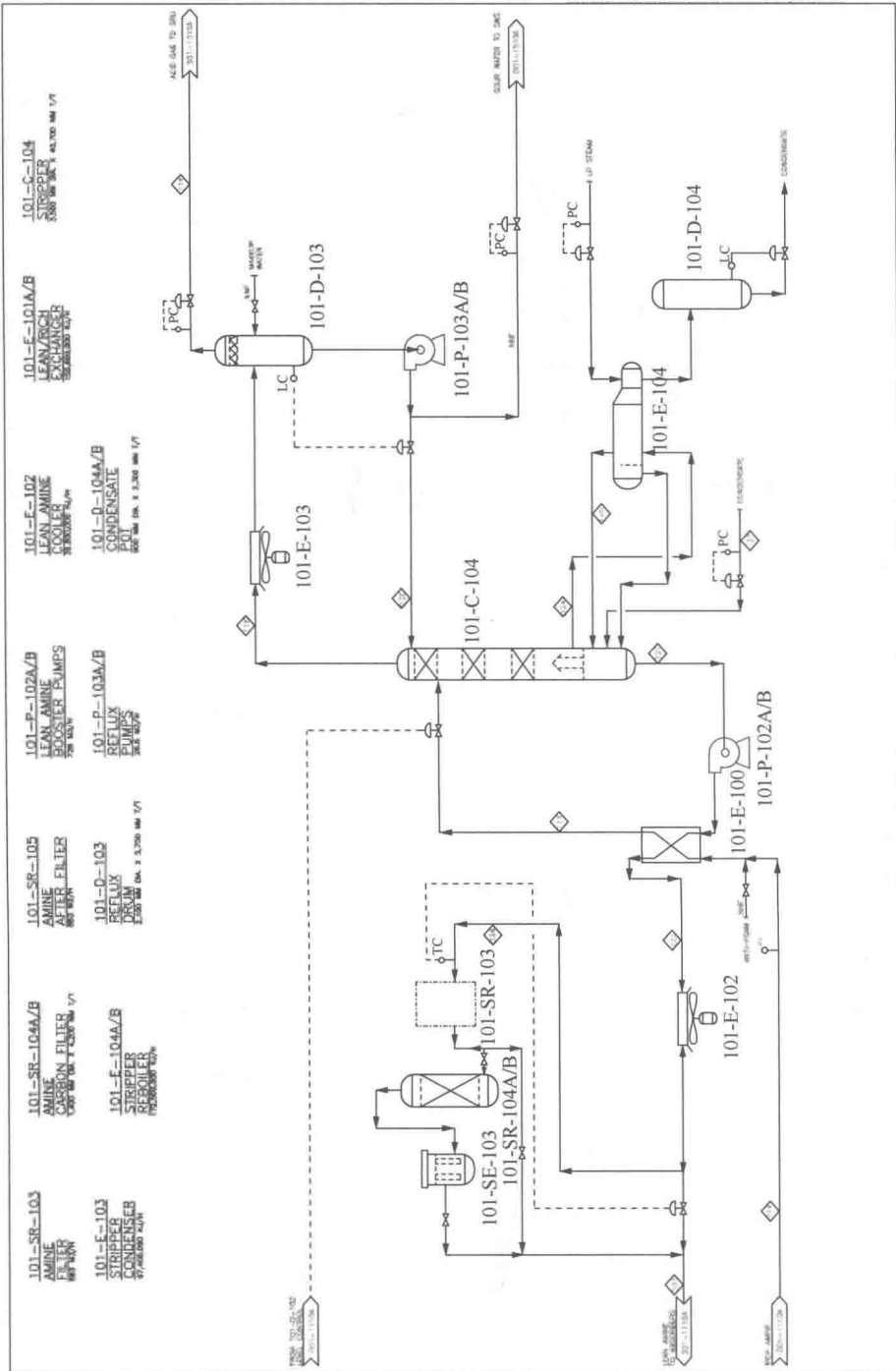


图 1-2 再生塔部分工艺流程图