

天然气净化生产管理丛书



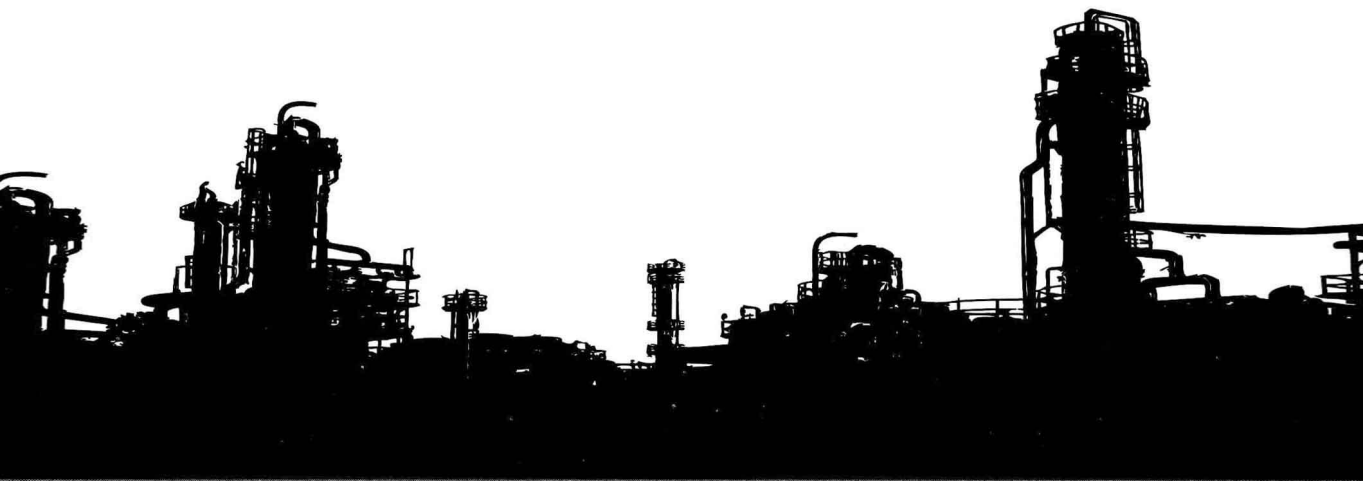
天然气净化工艺技术手册

THE PROCESS AND TECHNOLOGY MANUAL OF NATURAL GAS PURIFICATION

傅敬强 ● 主编

石油工业出版社

天然气净化生产管理丛书



天然气净化工艺技术手册

THE PROCESS AND TECHNOLOGY MANUAL OF NATURAL GAS PURIFICATION

藏书章

傅敬强 ◎ 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书主要介绍了天然气净化厂主体单元、辅助装置和公用系统的工艺技术,涉及原料气预处理、脱硫脱碳、脱水、脱炔、硫黄回收、尾气处理、酸水汽提、凝析油稳定、硫黄成型、污水处理、火炬及放空、循环冷却水、锅炉及蒸汽、空气氮气等各个工艺环节,实用性强,适合天然气净化厂工程技术人员和管理人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

天然气净化工艺技术手册/傅敬强 主编.
北京:石油工业出版社,2013.3
(天然气净化生产管理丛书)
ISBN 978-7-5021-9260-0

I.天…
II.傅…
III.天然气净化-工业企业管理-技术管理-手册
IV.F407.226.3-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第203545号

出版发行:石油工业出版社
(北京安定门外安华里2区1号 100011)
网 址: <http://pip.cnpc.com.cn>
编辑部:(010) 64523613 发行部:(010) 64523620
经 销:全国新华书店
印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2013年3月第1版 2013年3月第1次印刷
787×1092毫米 开本:1/16 印张:19.75
字数:383千字

定价:22.00元
(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)
版权所有,翻印必究

《天然气净化生产管理丛书》 编委会

主任：傅敬强

副主任：杨培昌 唐荣武 岑 嶺

委员：王晓东 陈邦海 江利民 张廷洲 熊川铤

郑 民 肖中成 苟兴中 万义秀 苏荣跃

熊 勇 宋文中 梁尚海

《天然气净化工艺技术手册》 编写组

主 编：傅敬强

副主编：岑 嶺 万义秀

审 稿：傅敬强 岑 嶺 王晓东 万义秀 张廷洲

岑永虎 黄朝齐 彭维茂 徐仕利 王 毅

编写人员：王 毅 张廷洲 黄朝齐 张有军 林丽梅

宋文中 沈荣华 张小兵 何琳琳



丛书序

中国是世界上最早发现和利用天然气的国家之一，早在东汉末年，在川西地区钻获了世界上的第一口天然气井——临邛火井。四川自流井气田，是中国最早开发利用的大气田，其开发历程和工艺技术，远远走在当时世界的前列。

新中国成立后，我国天然气勘探开发步入了快车道，2010年全国开发天然气近千亿立方米，比建国前天然气产量增长了8400余倍。有关专家认为，到2020年，我国的天然气产量有望与石油产量相当，将达2000亿立方米，我国天然气勘探开发步入黄金期。作为全国大型天然气产销基地之一的川渝油气田，经过几代川渝石油人的不懈努力，于2006年油气当量突破1000万吨，成为我国首个以天然气生产为主的千万吨级大油气田。

天然气的气质多种多样，大部分含有硫化氢、有机硫、二氧化碳及水等成分，特别是四川气田，含硫天然气占65%以上，需要脱除其中有害组分，使之达到商品天然气标准。我国为适应四川气田开发的要求，于20世纪60年代起开始天然气净化工艺的研究开发工作，1965年，四川石油管理局川东气矿东溪化工车间（现中国石油西南油气田公司重庆天然气净化总厂綦江分厂）建成国内第一套胺法脱硫装置，开创了中国天然气净化的先河。

重庆天然气净化总厂作为我国天然气净化工业的“摇篮”，经过40多年的发展壮大，现拥有天然气净化装置12套，年处理天然气能力超过100亿立方米，是综合配套齐全、技术先进的大型天然气净化基地；同时形成了一整套先进的天然气净化生产及管理理论，先后编制了《职业资格等级标准 天然气加工》中天然气净化分析工、天然气净化操作工的内容和中国石油高技能人才培养丛书的《天然气净化操作技师培训教程》、《天然气净化分析技师培训教程》及石油石化职业技能鉴定试题集的《天然气净化分析工》、《天然气净化操作工》，建成了具有仿真软件、仿真装置、实际培训装置的天然气净化培训基地，为天然气净化行业发展作出了突出贡献。

《天然气净化生产管理丛书》适时总结了我国天然气净化管理、技术经验和理论成果，这对提高净化厂员工技术水平、提高净化厂管理水平，促进天然气工业的

发展是非常必要的。本套书在近50名管理人员、科技工作者的辛勤努力下，历时一年半的时间，以大量的图、表形式比较全面、系统、科学地总结了天然气净化专业方面的知识、技术和管理经验，具有广泛的适用性，是一套很好的工具书。

这套书的出版，填补了我国此类书籍的空白，加强了天然气净化厂基础建设，很有意义，值得庆贺。

中国石油西南油气田分公司副总经理



2011年8月



丛书前言

随着天然气工业步入高速发展的黄金期，作为天然气开发利用重要环节的天然气净化也在飞速发展。天然气净化技术在改善经济性、实践新课题、适应环保要求等方面开发了越来越多的新工艺，天然气净化厂管理在历经几十年的沉淀后积累了丰富的经验。

为适应天然气净化厂发展需要，2010年初，中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司重庆天然气净化总厂（以下简称总厂）傅敬强，在广泛调研、认真分析的基础上提出了编纂《天然气净化生产管理丛书》（以下简称《丛书》）的建议，用以总结提炼天然气净化厂生产运行、装置检维修、HSE管理经验和汇编天然气净化工艺技术。此建议很快得到了西南油气田分公司领导和总厂全体员工的大力支持，2010年3月，总厂成立了包括高级工程师、技能专家、专业技术人员、管理人员近50人组成的《丛书》编委会，召开了第一次编委全体会议，标志着《丛书》编纂工作全面展开。

《丛书》编纂工作伊始，编委会就明确提出要努力把《丛书》编纂成一套高质量、适用性强的工具书。参加《丛书》编写和审稿的近50名人员是长期坚守在生产一线的技能专家、管理人员、科技工作者，他们多数是第一次从事图书编写工作，大家克服了重重困难，反复推敲内容，大到篇章结构、小到释文条目，不断完善内容，努力提高质量。特别是在校审阶段，总厂组织人员集中攻关，严格按照“规范、科学、实用”的要求，审核人员逐条逐句，反复修改，精益求精，力求做到语言精练，数字准确。

经过编审人员的辛勤劳动，通力合作，历时一年半的时间，圆满地完成了《丛书》的编纂。《丛书》分为《天然气净化生产运行管理手册》、《天然气净化检维修管理手册》、《天然气净化HSE管理手册》、《天然气净化工艺技术手册》四本，涵盖了天然气净化工艺技术、生产管理多方面的知识，具有较强的系统性、适用性。《天然气净化生产运行管理手册》包括了生产计划、生产运行组织、工艺技术、设备、装置开停产、生产应急、生产运行保障、防洪防汛防震减灾等管理内容；《天然气净化工艺技术手册》包括原料气预处理、脱硫脱碳、脱水、脱烃、硫

黄回收、尾气处理、酸水汽提、凝析油稳定等主体单元，硫黄成型、消防、污水处理、火炬及放空等辅助装置，以及新鲜水处理、循环冷却水、锅炉及蒸汽、空气氮气、燃料气等公用系统的工艺技术；《天然气净化检维修管理手册》包括日常检维修、系统性检维修、临时停产检维修等管理内容；《天然气净化HSE管理手册》包括综合管理、日常管理、检维修HSE管理等内容。本套书可作为天然气净化厂工程技术人员、管理人员的参考书。

《丛书》编纂工作始终得到了西南油气田公司各有关部门的大力支持和热情帮助，在此表示诚挚的感谢。在编写《丛书》过程中参考了大量的资料文献，特别是《天然气净化工艺技术手册》引用了大量的技术数据，借此机会，谨向原著作者表示衷心的感谢！《丛书》涉及内容较广，参编人员较多，由于编者学识及认知水平有限，书中不当及疏漏之处敬请业内专家及读者赐正。

《天然气净化生产管理丛书》编委会
2011年8月

目 录

第一章 天然气净化厂概述	1
第二章 原料气预处理	5
第三章 脱硫脱碳	8
第一节 简介	8
第二节 醇胺法	11
第三节 热碳酸钾法	30
第四节 直接氧化法	32
第五节 其他化学吸收法	39
第六节 物理溶剂法	41
第七节 分子筛法	45
第八节 膜分离法	47
第九节 低温分离法	50
第十节 化学—物理溶剂法	51
第十一节 生化法	58
第四章 脱水	60
第一节 简介	60
第二节 溶剂吸收法	62
第三节 固体吸附法	71
第四节 冷却法	74
第五节 膜分离法	75
第五章 脱烃	77
第一节 简介	77
第二节 低温分离法	79
第三节 油吸收法	103

第六章 硫黄回收	107
第一节 简介	107
第二节 常规克劳斯硫黄回收工艺	108
第三节 延伸克劳斯硫黄回收工艺	119
第四节 直接氧化硫黄回收工艺	140
第七章 尾气处理	147
第一节 简介	147
第二节 直接灼烧	148
第三节 还原类工艺	151
第四节 氧化类工艺	163
第五节 催化低温克劳斯工艺	165
第八章 酸水汽提	171
第九章 凝析油稳定	174
第一节 简介	174
第二节 负压闪蒸稳定	174
第三节 正压闪蒸稳定	176
第四节 分馏稳定	179
第十章 硫黄成型	183
第一节 简介	183
第二节 液硫脱气	184
第三节 成型造粒工艺	186
第四节 成型结片工艺	189
第十一章 火炬及放空	192
第十二章 污水处理	194
第十三章 给水处理	207

第十四章 循环冷却水	217
第十五章 锅炉及蒸汽凝结水	224
第一节 锅炉给水处理工艺	224
第二节 锅炉炉水处理	232
第三节 锅炉及蒸汽系统	235
第十六章 空气氮气站	239
附录	250
附录1 天然气工业常用术语与定义	250
附录2 天然气净化常用术语与定义	257
附录3 天然气物理化学性质	264
附录4 甲烷物理化学性质	269
附录5 二氧化碳物理化学性质	271
附录6 硫化氢物理化学性质	275
附录7 天然气中有机硫物理化学性质	277
附录8 二氧化硫物理化学性质	278
附录9 二硫化碳物理化学性质	280
附录10 羰基硫物理化学性质	282
附录11 一氧化碳物理化学性质	283
附录12 硫的物理化学性质	285
附录13 饱和湿空气含水量	287
附录14 常用化工原材料物理化学性质	288
附录15 水及水蒸气的物理化学性质	291
参考文献	302

第一章

天然气净化厂概述

天然气工业由地下工程和地面工程两部分构成，涉及勘探、开发、采气、净化、管输等环节。天然气净化是指脱除原料天然气中有害组分，使之达到商品天然气标准的过程，通常含天然气预处理、脱硫脱碳、脱水、脱烃、硫黄回收及尾气处理等工艺过程。在为数众多的净化工艺中，脱硫是核心，其次是脱水。尽管对某些气田采出的天然气而言，必须先脱除部分氮气，但此类工艺为数较少，不在本手册讨论范围之内。为达到气质标准要求，有时二氧化碳也是应部分脱除的组分，但一般均与脱硫过程结合考虑。

一、天然气净化工艺的发展

从20世纪30年代发表第一个醇胺法脱硫专利以来，天然气净化工艺已经历了70多年的发展历程。在20世纪80年代前，天然气净化工艺发展的主要推动力是改善经济性以及解决实践新课题。此后，环保要求也成为技术发展的重要推动力。

我国为适应四川气田开发的要求，于20世纪60年代起开始天然气净化工艺的研究开发工作，1965年，四川石油管理局川东气矿东溪化工车间（现中国石油西南油气田公司重庆天然气净化总厂綦江分厂）建成国内第一套胺法脱硫装置，开创了我国天然气净化的先河。20世纪70年代末，卧引装置（现重庆天然气净化总厂引进分厂）成套引进萨非诺（Sulfinol-D）脱硫、三甘醇（TEG）脱水、克劳斯（Claus）硫黄回收、斯科特（SCOT）尾气处理及酸水汽提装置，使我国天然气净化工艺基本赶上国外的先进水平。21世纪初，重庆天然气净化总厂陆续引进了具有国际先进水平的超级克劳斯（Super Claus）、等温亚露点（Clinsulf-SDP）、冷床吸附（CBA）硫黄回收技术，硫黄收率达99.2%。通过对引进技术不断消化吸收加上自主研发，2009年，具有自主知识产权的中国石油硫黄回收工艺（CPS）成功开发，并在重庆天然气净化总厂万州分厂首次工业应用，硫黄收率达到99.25%，实现了天然气净化脱硫、脱水、硫黄回收等技术全面国产化，我国天然气净化技术具备国际一流水平。

二、天然气净化厂的分布

我国目前天然气净化厂主要集中在长庆、塔里木、川渝地区。

长庆油气田天然气主要为低含硫天然气， H_2S 含量一般低于 $1g/m^3$ ，有的天然气甚至不含硫，但 CO_2 含量较高，一般在5%（体积分数）左右。长庆油气田第一、二、三天然气净化厂主要是脱硫脱碳、脱水、硫黄回收。脱硫脱碳采用甲基二乙醇胺（MDEA）水溶液化学吸收工艺，脱水采用TEG工艺，硫黄回收采用直接氧化（Clinsulf-DO）工艺，设计年处理能力为 $80 \times 10^8 m^3$ 。榆林、长北、米脂及苏里格天然气处理厂设计年处理能力为 $145 \times 10^8 m^3$ ，原料气不含 H_2S ，主要是脱烃、脱水，多数采用丙烷制冷工艺。

塔里木盆地天然气资源十分丰富，天然气资源量达 $8.93 \times 10^{12} m^3$ ，占全国天然气总资源量的22%。塔中气田第一处理厂设计年处理能力 $10 \times 10^8 m^3$ ，原料气含 H_2S 约 $12g/m^3$ ，脱硫脱碳采用MDEA法，脱水脱烃采用丙烷制冷工艺，硫黄回收采用CPS工艺。桑南净化厂原料气中 H_2S 含量较少，低于 $1g/m^3$ ，脱硫脱碳仍采用MDEA法，脱水脱烃采用丙烷和节流阀（J-T阀）联合工艺。克拉2处理厂设计年处理能力为 $100 \times 10^8 m^3$ ，原料气不含 H_2S ，主要是脱烃、脱水，采用J-T阀工艺。其他如迪那、牙哈、英买、塔中六等天然气处理场站原料气均不含硫，脱水脱烃多数采用J-T阀工艺。

川渝气田天然气主要为含硫天然气，必须经过净化处理后才能外输，所属天然气净化厂主要分布在重庆长寿、垫江、忠县、万州、江津、綦江及四川渠县、大竹、江油、遂宁、仪陇、隆昌、荣县等地，截至2011年5月底，有天然气净化厂14座共22套净化装置，设计年处理能力达 $150 \times 10^8 m^3$ ，主要采用MDEA、Sulfinol-D、CT8-5等化学吸收法脱硫，TEG法脱水，Claus及其延伸工艺回收硫黄，SCOT法处理尾气。

三、天然气净化装置简介

一座完整的天然气净化装置通常包括原料气预处理、脱硫脱碳、脱水、脱烃、硫黄回收、尾气处理、酸水汽提、凝析油稳定等主体单元和硫黄成型、消防、污水处理、火炬及放空等辅助装置及新鲜水处理、循环冷却水、锅炉及蒸汽、空气氮气、燃料气等公用系统。为了使天然气净化装置正常运转，自动化控制、化验分析、供配电和维修等配套设施也必须设置。

（一）主体单元

1. 原料气预处理单元

采用重力分离和过滤分离等方法去除原料天然气中夹带的化学药剂、游离水、

固体杂质等物质。

2. 脱硫脱碳单元

通过气液吸收、气固吸附和直接转化等途径除去天然气中的含硫化合物和部分 CO_2 ，使其达到商品天然气标准。天然气脱硫脱碳工艺类别较多，但主要是化学吸收法。

3. 脱水单元

通过甘醇、分子筛和其他如压缩、冷却、氯化钙吸收及膜分离等方法，脱除天然气中水分，使其达到商品天然气标准中水露点要求。

4. 脱烃单元

通过吸附、油吸收、低温分离等方法脱除天然气中轻烃组分。

5. 硫黄回收单元

对脱硫、尾气处理和酸水汽提单元产生的酸气进行处理，回收硫黄。目前工业上普遍采用的是各种形式的克劳斯工艺。

6. 尾气处理单元

尾气处理是20世纪70年代后为保护环境而发展起来的净化工艺，其目的是对硫黄回收装置的尾气作进一步处理，使大气污染物 SO_2 达到规定的排放要求。其工艺通常有还原类和氧化类。

7. 酸水汽提单元

对各单元来的酸水主要采用蒸汽加热汽提的方法将酸水中的 H_2S 、 CO_2 、 NH_3 等少量易挥发组分汽提出来，汽提出的酸气返回硫黄回收单元，处理后的酸水进入污水处理装置。

8. 凝析油稳定单元

凝析油稳定是通过一定的工艺方法把轻组分（主要是 $\text{C}_1\sim\text{C}_5$ 轻烃）从凝析油中分离出来，得到乙烷、丙烷、丁烷等烃类的过程。

（二）辅助装置和公用系统

1. 硫黄成型装置

对来自硫黄回收单元的液硫进行脱气、储存、冷却、成型、计量与包装，主要采用转鼓和钢带冷却成型。

2. 消防装置

根据生产特点，在全厂范围内设置消防水池、消防水泵、消防水管网，配备各种消防器材及设施，以备发生火灾时使用。

3. 污水处理装置

污水处理装置对生产过程中排出的污水集中进行综合处理，使之达到国家排放

标准，并力争满足中水回用的要求。

4. 火炬及放空系统

火炬及放空系统处理工厂开车、停车及紧急事故情况下排出的原料气、湿净化气、不合格净化气、酸气等，通过火炬燃烧排放，有效减少对环境的污染。

5. 新鲜水处理系统

新鲜水处理系统对原水进行处理，使水质、水量、水压满足生产需要。

6. 循环冷却水系统

循环冷却水系统为整个净化装置提供合格的冷却用水。

7. 锅炉及蒸汽系统

锅炉及蒸汽系统负责供给全装置生产所需的蒸汽，并回收蒸汽凝结水。

8. 空气氮气系统

空气氮气系统为全装置提供工厂风、仪表风和氮气。工厂风主要用于装置开停工吹扫及其他用风；仪表风主要用于驱动各气动调节阀；氮气主要用于装置设备及管线置换、溶液保护、火焰监测保护等。

9. 燃料气系统

燃料气系统为全装置提供燃料气，用于锅炉、燃烧炉、放空火炬等。

第二章

原料气预处理

原料天然气在开采过程中，添加有发泡剂、防冻剂、缓蚀剂及酸化液等化学药剂，同时，开采出来的原料天然气还含有液态烃、游离水、泥砂等杂质。夹带的上述物质伴随原料天然气进入脱硫溶液系统之后，会污染脱硫溶液，引起脱硫系统溶液发泡、拦液、变质和设备堵塞等现象发生，不但会影响商品天然气质量，还会对脱硫系统的安全平稳运行构成威胁。因此，从井场开采出来的原料天然气在脱硫之前，要对原料天然气中夹带的化学药剂、液态烃、游离水、固体杂质等进行预处理，即将原料天然气中夹带的有害物质分离出来，为天然气脱硫提供良好的气质保障。

一、工艺原理

用于实现气体和液体或气体和固体的物理分离原理有三种，即动量分离、沉降分离和聚结分离，见表2-1。任何一种分离器都是应用了这三种原理中的一种或几种，但被分离的流体中的各相之间必须是“不相溶的”，并且它们的密度必须是不相同的。

表2-1 分离原理

序号	分离原理	应用举例
1	动量分离	如重力分离器内气流进口折流挡板
2	沉降分离	如重力分离器、旋风分离器
3	聚结分离	如重力分离器内气流出口捕雾网、过滤分离器、气液聚结器

（一）动量分离

流体中密度不同的各相之间有着不同的动量。如果一个含有两相物质的流体突然改变了方向，其中颗粒较重的粒子由于具有较大动量而使其不能像颗粒较轻的粒子那样迅速地改变运动方向，于是分离就发生了。动量分离通常被用在对流体中的两相物质进行粗分离上。

（二）沉降分离

沉降是指在某种力场中利用分散相和连续相之间的密度差异，使之发生相对运动而实现分离的过程。实现沉降的作用力可以是重力，也可以是惯性离心力。因此沉降过程有重力沉降和离心沉降两种方式。

受地球引力场的作用而发生的沉降过程称为重力沉降。

依靠惯性离心力的作用而实现的沉降过程称为离心沉降。对于两相密度差异较小、颗粒粒度较细的非均相物系，在重力场中的沉降效率很低甚至完全不能分离，若改用离心沉降则可大大提高沉降速度，设备尺寸也可缩小很多。通常，原料气的离心沉降是在旋风分离器中进行的。

（三）聚结分离

类似呈雾态那样小的液滴实际上是不能被重力分离的。这些小液滴被聚结成较大的液滴后才可重力沉降。分离器中的聚结设备将迫使气流沿着一个曲折的通道行进。小液滴所具有的动量使得它们或是相互之间发生碰撞，或是与聚结设备发生碰撞，由此而形成较大的液滴。这些较大的液滴随后即被分离出气流。丝网、叶片、筒式过滤器等是典型的聚结设备实例。

二、工艺流程

原料天然气预处理工艺流程简图见图2-1。

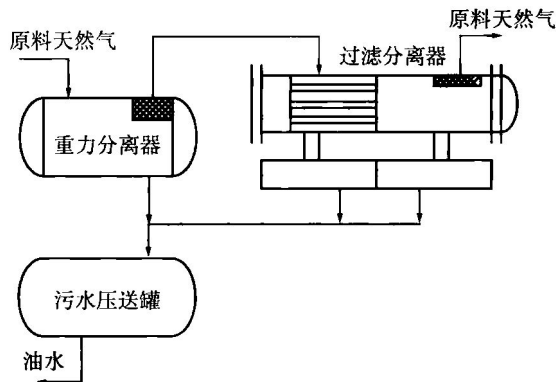


图2-1 原料天然气预处理工艺流程简图

三、主要设备

原料天然气预处理流程中一般设置有重力分离器、过滤分离器、污水压送罐，根据流程不同，还可能设置有旋风分离器、三相分离器或其他形式的分离器，见表2-2。