

V₂ 024

化肥催化剂实用手册

向德辉 刘惠云 主编

化学工业出版社

62

化肥催化剂实用手册

向德辉 刘惠云 主编

化学工业出版社

(京)新登字039号

化肥催化剂实用手册

(限国内发行)

向德辉 刘惠云 主编

责任编辑: 孙绥中

封面设计: 徐蔚为

化学工业出版社出版发行

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

开本 787×1092 1/16印张31 字数768千字

1992年7月第1版 1992年7月北京第1次印刷

印 数 1—15,000

● ISBN 7-5025-0977-1/TQ·572

定 价19.60元

内 容 提 要

本手册主要介绍化肥生产用(包括硫酸、甲醇、硝酸)国产的各种催化剂和净化剂,共9大类22个品种80多个型号。分别介绍其分类、命名、有关催化名词术语解释、催化机理、催化剂性能、装填、硫化、还原、再生、使用条件、事故判断及处理方法等。还介绍了化肥厂使用实例。手册中有大量数据、图表。附录中介绍了国外化肥催化剂的型号及有关数据,国内优质品生产厂家等。是一本技术性和实用性强的工具书。

本手册可供从事化肥工业科研、设计、教学尤其是化肥企业的广大工程技术人员,管理干部和操作工人使用。

本手册由向德辉、刘惠云主编。参加编写的有刘惠云(第1、4章、附录2),裘培铭(第2、12章),向德辉(第3、14章和第8章的6~9节),励杜生(第8章1~5节),赵骤(第5、16章、附录1、3、4),冯孝庭(第6章),郝树仁(第7章),方华星(第9章),孔渝华、陈劲松(第10章),薛磊(第11、13章),吴成华、刘铭建(第15章),徐蔚为(附录5)。梁淑媛、邱福群参加了全书初稿的审查工作。

前 言

催化剂是改变化学反应的媒介，是打开许多化学工艺过程的钥匙，因而也是实现化工技术进步的關鍵所在。

本书所涉及的化肥催化剂，包括合成氨、硫酸、硝酸等化肥前加工工业所用的各种催化剂、固体净化剂，以及在工艺上与之紧密相关的制氢、合成甲醇等生产过程所用的催化剂。虽然化肥催化剂的产量并不大，仅相当于化肥、硫酸等主产品产量的1%左右，但它的社会效益远远大于其本身的经济价值。催化剂品种的增加，性能的改进，都会给化肥生产的节能、降耗、增产带来显著的效益。因此，化肥催化剂在化肥生产中占有极其重要的地位。

由于催化剂是一种特殊的精细化工产品，其性能不断改进，产品更新换代频繁。我国的化肥催化剂工业于建国初期从零起步，经过40年的艰苦奋斗，现已形成品种齐全配套、型号繁多、能全面满足需要的独立行业。全国现有催化剂生产厂家40多个，遍布于19个省、市、自治区，可生产9大类20多个品种，80多个型号的催化剂产品。

由于化肥催化剂品种型号繁多，有关的资料又较零散，这就使得遍及全国各地的大、中、小化肥企业及有关的管理部門难于全面了解催化剂的技术性能及使用要求等情况。我们感到编写一本《化肥催化剂实用手册》（简称《手册》），使其面向化肥生产，较全面地、系统地介绍和指导催化剂的科学使用是十分必要的。为此，化工部化肥司组织了有关专家和工程技术人员，历时一年多时间，终于使这本书同广大读者见面了。衷心希望《手册》能帮助化肥行业的广大管理、技术、供销人员、骨干操作工人及科研、设计单位有关人员更好地了解 and 运用催化剂，为发展化肥生产服务。

《手册》所涉及的催化剂产品，主要是1989年底前经过化工部部级鉴定的，并经正式命名的各种型号的催化剂；此外，经省、市、自治区级鉴定的品种（或型号），也作了简单的介绍。《手册》的附录中，包括与催化剂和化肥生产工艺有关的常用数据、全国化肥催化剂生产企业目录及化肥催化剂优质产品名单，同时还附有国外化肥催化剂性能简介及与催化剂有关的书刊介绍，以供使用时参考。

为了读者使用方便，《手册》按化肥催化剂的类别，并参照合成氨流程顺序进行编写。每章还对同品种、不同型号的催化剂进行了横向比较和说明。各章都有应用实例，以供使用厂家参考。我们热切希望通过大家的共同努力与开拓，使催化技术为推动化肥工业的发展及技术进步发挥更大的作用。

由于我们水平有限，加之时间仓促，收集的资料可能也不够齐全。因此，书中难免有错误和不妥之处，热诚欢迎广大读者予以批评指正。

《手册》在编写过程中，得到了全国很多化肥厂、科研单位及催化剂生产厂的支持和帮助，在此一并致以衷心的感谢！

目 录

第1章 化肥催化剂分类及命名..... 1	第3章 化肥催化剂使用过程常用专业用语.....30
1.1. 化肥催化剂的类别 3	3.1. 催化剂和催化作用30
1.2. 化肥催化剂产品的名称 3	3.1.1. 催化剂 触媒 接触剂30
1.2.1. 型号 4	3.1.2. 催化作用30
1.2.2. 化肥催化剂型号的构成 4	3.1.3. 多相催化和均相催化30
1.2.3. 化肥催化剂型号的其它说明 4	3.1.4. 活性中心30
1.2.4. 化肥催化剂的基本名称 4	3.1.5. 化学吸附30
1.3. 正式命名手续 4	3.1.6. 络合催化 中间络合物30
1.3.1. 命名范围 4	3.1.7. 活化能 频率因子 指前因子.....30
1.3.2. 命名需提供的技术资料 4	3.2. 催化剂的化学组分31
1.3.3. 正式命名 5	3.2.1. 化学组分31
第2章 化肥生产及制氢过程典型工艺流程..... 6	3.2.2. 主催化剂 助催化剂 (促进剂)31
2.1. 概述 6	3.2.3. 载体 担体31
2.2. 合成氨工艺流程简介 7	3.2.4. 粘结剂32
2.2.1. 烃类原料的蒸汽转化法 7	3.2.5. 润滑剂32
2.2.1.1. 气态烃的蒸汽转化工艺..... 7	3.2.6. 造孔剂32
2.2.1.2. 轻油蒸汽转化工艺 8	3.3. 催化剂的物理结构32
2.2.2. 烃类原料的部分氧化法 9	3.3.1. 堆积密度32
2.2.3. 煤制氨工艺11	3.3.2. 颗粒密度 表观密度 假密度.....32
2.2.4. 焦炉气制氨13	3.3.3. 骨架密度“真密度”32
2.2.5. 节能工艺流程13	3.3.4. 孔隙率和比孔体积(孔容)32
2.2.5.1. AMV工艺14	3.3.5. 比表面积(比表面)32
2.2.5.2. LCA工艺17	3.3.6. 孔半径分布与平均孔半径33
2.3. 制氢工艺流程简介19	3.3.7. 床层空隙率(床层自由空间率)33
2.4. 甲醇工艺流程简介21	3.3.8. 颗粒当量直径34
2.4.1. 联醇生产工艺21	3.3.9. 晶体 空间晶格34
2.4.2. 单醇生产工艺23	3.3.10. 固溶体.....34
2.4.3. 低压甲醇工艺24	3.3.11. 晶体缺陷.....34
2.4.3.1. 低压法冷激式甲醇合成流程.....24	3.3.12. 晶粒大小.....34
2.4.3.2. 低压法副产蒸汽甲醇合成流程.....25	3.3.13. 表面相 体相 表面结构.....35
2.5. 硫酸工艺流程简介27	3.4. 催化剂性能36
2.6. 硝酸工艺流程简介28	3.4.1. 催化剂活性 本征活性36
参考文献.....29	3.4.2. 催化剂的选择性36

3.4.3. 活化 预活化 钝化	37
3.4.4. 催化剂使用寿命和使用 时间	37
3.4.5. 抗破碎强度及其稳定性	37
3.4.5.1. 轴向抗压碎强度	37
3.4.5.2. 径向抗压碎强度	37
3.4.5.3. 点压碎强度	38
3.4.5.4. 磨耗率 耐磨强度或破 碎率	38
3.4.5.5. 低强度颗粒百分数	38
3.4.5.6. 变异系数	38
3.4.5.7. 容积抗压碎强度	38
3.4.6. 催化剂的中毒和抗毒性	38
3.5. 催化反应工程	39
3.5.1. 化学反应动力学 (本征动力学) 和动力学方程式	39
3.5.2. 宏观动力学 工程动力学	39
3.5.3. 工业催化反应器的数学模型和数 学模拟方法	39
3.5.4. 空间速度	40
3.5.5. 催化剂内表面利用率 扩散效率 因子 效率因子 活性效率 因子	40
3.5.6. 反应速率常数校正因子 寿命因子 (TF)	40
3.5.7. 最快反应温度点和最快反应 温度线	40
3.5.8. 催化剂利用率	41
3.5.9. 容积利用系数和装填定额	41
3.5.10. 绝热段催化剂的最佳进气 温度	41
3.5.11. 最佳使用温度范围	42
3.5.12. 最低活性温度和工业起燃温度 (起活温度)	42
3.5.13. 平衡温距	42
参考文献	42
第4章 化肥催化剂的包装、贮存、装卸、 活化和废催化剂的回收	43
4.1. 催化剂的包装与贮存	43
4.2. 催化剂的装填、活化与卸出	43
4.2.1. 装填	43
4.2.2. 活化	44
4.2.3. 卸出	44
4.3. 废催化剂的回收	44

第5章 脱毒催化剂	45
5.1. 加氢转化催化剂	45
5.1.1. 化学反应方程式及热力学 数据	45
5.1.1.1. 有机硫的热解	45
5.1.1.2. 有机硫的氢解	46
5.1.1.3. 氢解时的副反应	46
5.1.1.4. 催化剂的硫化	46
5.1.1.5. 催化剂的再生	47
5.1.2. 催化剂的物化性质	47
5.1.3. 质量指标及检验方法	47
5.1.4. 动力学数据	48
5.1.5. 催化剂选用原则	49
5.1.5.1. 制气原料的影响	49
5.1.5.2. 催化剂活性组分的 影响	50
5.1.6. 催化剂的装填、硫化利 再生	50
5.1.6.1. 催化剂的装填	50
5.1.6.2. 催化剂的硫化	51
5.1.6.3. 催化剂的再生	51
5.1.7. 正常使用条件	51
5.1.8. 常见事故原因判断及处理	51
5.1.9. 典型应用实例	52
5.1.10. 铁钼加氢转化催化剂	52
5.1.11. 硫氧碳水解催化剂	52
5.1.11.1. 851型COS水解催化剂物化 性质	53
5.1.11.2. 质量指标及检验方法	53
5.1.11.3. 装填与开停车	53
5.1.11.4. 正常使用条件	53
5.1.11.5. 典型应用实例	53
5.2. 氧化锌脱硫剂	54
5.2.1. 化学反应方程式及热力学 数据	54
5.2.2. 脱硫剂的物化性质	55
5.2.3. 质量指标及检验方法	55
5.2.3.1. 堆密度	55
5.2.3.2. 烧失重	55
5.2.3.3. 氧化锌含量	55
5.2.3.4. 径向抗压碎强度	56
5.2.3.5. 穿透硫容	56
5.2.4. 动力学数据	56
5.2.5. 脱硫剂选用原则	56

5.2.5.1. 型号选择	56	5.6.6. 正常使用条件	67
5.2.5.2. 使用场合的选择	57	5.6.7. 常见事故原因判断及处理	67
5.2.6. 脱硫剂的装填	57	5.6.8. 典型应用实例	67
5.2.6.1. 装填量计算	57	5.7. 脱砷剂	67
5.2.6.2. 脱硫槽设计要求	58	5.7.1. 化学反应方程式	68
5.2.6.3. 脱硫剂寿命预测	58	5.7.2. 脱砷剂的物化性质	68
5.2.7. 正常使用条件	58	5.7.3. 质量指标及检验方法	68
5.2.8. 常见事故原因判断及处理	58	5.7.4. 脱砷剂的选用原则	68
5.2.9. 典型应用实例	58	5.7.5. 脱砷剂的装填与再生	69
5.2.9.1. 用于烃类原料脱硫保护转化 催化剂	58	5.7.5.1. 装填	69
5.2.9.2. 用于焦炉气脱硫保护低变 催化剂	59	5.7.5.2. 再生	69
5.2.9.3. 用于甲醇合成气脱硫保护铜 催化剂	59	5.7.6. 正常使用条件	69
5.3. 氧化铁脱硫剂	59	5.7.7. 典型应用实例	69
5.3.1. 化学反应方程式及热力学 数据	59	参考文献	70
5.3.2. 脱硫剂的物化性质	60	第6章 气态烃蒸汽转化催化剂	71
5.3.3. 动力学数据	60	6.1. 气态烃蒸汽转化反应	72
5.3.4. 正常使用条件	61	6.1.1. 气态烃蒸汽转化反应和反 应热	72
5.3.5. 典型应用实例	61	6.1.2. 甲烷蒸汽转化反应的平衡	72
5.4. 铁锰脱硫剂	61	6.1.3. 甲烷蒸汽转化反应动力学	72
5.4.1. 化学反应方程式	61	6.1.4. 二段转化反应	75
5.4.2. 铁锰脱硫剂的物化性质	62	6.1.5. 气态烃催化部分氧化	75
5.4.3. 质量指标及检验方法	62	6.2. 气态烃转化催化剂的设计及 特点	77
5.4.4. 装填和活化	62	6.2.1. 镍作为气态烃转化催化剂的主催 化剂	77
5.4.5. 正常使用条件	63	6.2.2. 助催化剂的选择	78
5.4.6. 典型应用实例	63	6.2.3. 添加稀土氧化物是转化催化剂的 助催化剂的重要发展	79
5.5. 其他脱硫剂	63	6.2.4. 载体设计	81
5.5.1. 活性炭脱硫剂	63	6.2.5. 对天然气转化催化剂中有害杂质 的要求	81
5.5.1.1. 化学反应方程式	63	6.2.6. 转化催化剂的物理结构	83
5.5.1.2. 常用活性炭的物化性质	64	6.2.7. 转化催化剂的外形及尺寸的 设计	84
5.5.1.3. 正常使用条件	64	6.2.8. 转化催化剂应当具有的机械 强度	86
5.5.1.4. 典型应用实例	64	6.3. 二段转化催化剂的设计	88
5.5.2. 天然锰矿	64	6.4. 气态烃转化催化剂主要型号及 性能	89
5.5.3. 锌锰脱硫剂	65	6.4.1. 转化催化剂的主要化学 组成	89
5.5.4. 锌镍脱硫剂	65	6.4.2. 转化催化剂的主要物性	89
5.6. 脱氯剂	65	6.4.3. 转化催化剂的质量指标	89
5.6.1. 化学反应方程式	65		
5.6.2. 脱氯剂的物化性质	65		
5.6.3. 质量指标及检验方法	66		
5.6.4. 脱氯剂的选用原则	66		
5.6.5. 脱氯剂的装填	66		

6.4.4. 对催化剂垫层、覆盖层 Al_2O_3 的要求	91	7.5.1. 基本原则	127
6.5. 转化催化剂的使用技术	92	7.5.2. 原料、工艺条件和炉型	128
6.5.1. 选用原则	92	7.5.3. 从催化剂的综合性能考虑挑选 催化剂	128
6.5.2. 转化催化剂的装填	94	7.5.4. 两类典型的液态烃转化催 化剂	129
6.5.3. 转化催化剂的还原	95	7.6. 催化剂的装填、还原	130
6.5.4. 转化催化剂的钝化	98	7.6.1. 装填	130
6.5.5. 转化催化剂的正常操作	100	7.6.1.1. Z402、Z409、Z405催化 剂装填	130
6.5.6. 运转中转化催化剂性能的 判断	104	7.6.1.2. Z403H催化剂装填	130
6.6. 运转中的几个关键问题	106	7.6.2. 还原	130
6.6.1. 结炭	106	7.6.2.1. 催化剂还原反应的 特点	130
6.6.2. 催化剂中毒	108	7.6.2.2. Z402、Z409、Z405催化 剂的升温还原	131
6.6.3. 转化催化剂的寿命	110	7.6.2.3. Z403H催化剂升温 开车	132
6.7. 常见事故及处理	112	7.6.3. 停车时的还原气氛保护	132
6.8. 蒸汽转化法氨厂运转实例	115	7.6.4. 还原性气体	133
参考文献	115	7.6.4.1. 氢气	133
第7章 液态烃蒸汽转化催化剂	117	7.6.4.2. 富氢气体	133
7.1. 液态烃蒸汽转化反应热力学	117	7.6.4.3. 氨	133
7.1.1. 液态烃蒸汽转化	117	7.6.4.4. 甲醇	133
7.1.2. 液态烃蒸汽转化热力学	117	7.7. 催化剂的正常使用条件	133
7.2. 催化剂的主要物化性质	119	7.7.1. Z402/Z405、Z409/Z405催 化剂	133
7.2.1. 液态烃转化催化剂的基本 性能	119	7.7.1.1. 原料规格	133
7.2.2. 国产液态烃转化催化剂的物化 性质	121	7.7.1.2. 制氮合成气的操作 条件	133
7.3. 催化剂质量指标及检验方法	122	7.7.1.3. 制氢气的操作条件	134
7.3.1. Z402、Z404、Z405、Z409催 化剂	122	7.7.2. Z403H催化剂适用条件	134
7.3.1.1. 质量指标	122	7.8. 常见事故原因判断及处理	134
7.3.1.2. 检验方法	122	7.8.1. 积炭和烧炭	134
7.3.2. Z403H、Z410催化剂	122	7.8.1.1. 积炭	134
7.3.2.1. 质量指标	122	7.8.1.2. 烧炭	135
7.3.2.2. 检验方法	122	7.8.2. 钝化和重新还原	135
7.4. 液态烃蒸汽转化反应动力学	122	7.8.2.1. 钝化(氧化)	135
7.4.1. 典型烃类的蒸汽转化反应动 力学	122	7.8.2.2. 重新还原	136
7.4.2. 液态烃蒸汽转化反应和结炭 机理	125	7.8.3. 中毒和再生	136
7.4.2.1. 床层温度低于600℃	125	7.8.3.1. 中毒	136
7.4.2.2. 床层温度高于600℃	126	7.8.3.2. 再生	137
7.4.3. 液态烃蒸汽转化上段催 化剂	126	7.8.4. 热斑、热带和热管	137
7.5. 催化剂的选择依据	127	7.9. 典型应用实例	137

7.9.1. Z402/Z405催化剂应用				8.6.2. 还原	152
实例	137			8.6.2.1. 还原过程中的主要反应和可	
7.9.2. Z409/Z405催化剂应用				能发生的其他反应	153
实例	138			8.6.2.2. 还原方法和工艺条件	154
7.9.3. Z403H催化剂应用实例	138			8.6.2.3. 还原过程中超温事故的	
7.10. 液态烃预转化催化剂	139			分析	155
7.10.1. 液态烃预转化制取富甲				8.6.3. 放硫	157
烷气	139			8.6.3.1. 催化剂中硫化物的主要	
7.10.2. 预转化催化剂的物化性质	139			形态	157
7.10.3. 预转化催化剂的技术指标	139			8.6.3.2. 放硫过程的动力学	157
7.10.4. 预转化催化剂检验方法	139			8.6.3.3. 怎样加快工业放硫	
7.10.5. CN-14催化剂使用方法	139			过程	160
7.10.5.1. 催化剂适用工艺条件	139			8.6.4. 钝化	161
7.10.5.2. 催化剂的装填	140			8.6.4.1. 钝化后的催化剂还要	
7.10.5.3. 催化剂的还原	140			再用	161
7.10.5.4. 投油运行	140			8.6.4.2. 钝化后的催化剂不再用、	
参考文献	141			报废	162
第8章 一氧化碳中(高)温变换				8.7. 正常操作条件	163
催化剂	142			8.7.1. 温度	163
8.1. 化学反应方程和热力学数据	142			8.7.2. 压力	164
8.1.1. 反应热的计算	142			8.7.3. 蒸汽/干气比值	165
8.1.2. 平衡常数的计算	142			8.7.4. 短期或长期停车	166
8.1.3. CO的变换率和平衡变换率	142			8.8. 某些事故的原因和处理	167
8.2. 主要物化性质	143			8.8.1. 热水饱和塔放出红水和红色沉	
8.2.1. 主要化学组分及其作用	143			淀物	167
8.2.2. 我国主要中变催化剂的物化				8.8.2. 催化剂床层通气压力降异常	
性质	144			快速增长,同时床层活性异常	
8.3. 催化剂的质量指标及检验方法	144			快速下降	167
8.3.1. 质量指标和检测条件	144			8.8.2.1. 大型氨厂的情况	167
8.3.2. 几点应注意的问题	145			8.8.2.2. 中、小型氨厂	170
8.4. 动力学数据	146			8.8.3. 催化剂破碎和粉化	171
8.4.1. 反应机理	146			8.8.3.1. 进气中O ₂ 和H ₂ S大幅度	
8.4.2. 动力学方程和反应速率				波动	171
常数	146			8.8.3.2. 升、降压速度太快	172
8.5. 选用原则	148			8.8.3.3. 冷凝水使催化剂粉化	172
8.5.1. 颗粒当量直径和催化剂床层				8.8.4. 催化剂中毒	173
活性	148			8.8.4.1. 硫化合物	173
8.5.2. 颗粒当量直径和通气压				8.8.4.2. 氯化合物	174
力降	149			8.8.4.3. 砷和磷化合物	175
8.5.3. 催化剂的本体含硫量	151			8.9. 典型应用实例	175
8.5.4. 原料气净化情况	152			8.9.1. 烃类蒸汽转化的大型氨厂	175
8.6. 中变催化剂的装填、还原、放硫和				8.9.2. 以煤为原料的中、小型	
钝化	152			氨厂	176
8.6.1. 装填	152			参考文献	178

第9章 CO低温变换催化剂	179
9.1. CO低温变换反应方程式及热力学	
数据	179
9.1.1. CO低温变换反应方程式和热	
效应	179
9.1.2. 变换反应的平衡常数和变	
换率	179
9.1.2.1. 根据气体中CO%计算	180
9.1.2.2. 根据气体中CO₂%计算	180
9.2. 低温变换催化剂的组成和主要物化	
性质	180
9.2.1. 化学组成和主要组分的	
作用	180
9.2.1.1. 铜基低变催化剂的化学	
组成	180
9.2.1.2. 铜基低变催化剂主要组分的	
作用	180
9.2.1.3. 低变催化剂的配方	182
9.2.2. 铜基低变催化剂的物理结构	
简况与特性	183
9.2.2.1. 物理结构简况	183
9.2.2.2. 低变催化剂的特性	184
9.3. 低变催化剂的质量指标及检测	
方法	184
9.3.1. 质量指标	184
9.3.2. 检测方法	184
9.4. CO低温变换反应动力学	185
9.4.1. 低变动力学发展概括	185
9.4.2. 低变反应机理	186
9.4.3. 低变反应动力学	
方程	186
9.5. 低变催化剂的选用原则与低变炉的	
设计	187
9.5.1. 低变催化剂的选用原则	187
9.5.2. 低变炉的设计	188
9.5.2.1. 进出口气体温度的	
确定	188
9.5.2.2. 催化剂用量的确定	188
9.6. 催化剂的装填和还原	190
9.6.1. 催化剂的装填	190
9.6.1.1. 装填准备工作	190
9.6.1.2. 按顺序均匀装填	190
9.6.2. 低变催化剂的还原	190
9.6.2.1. 升温还原过程的化学反 应	

与热效应	191
9.6.2.2. 还原动力学性质	192
9.6.2.3. 还原条件的选择	193
9.6.2.4. 还原方案	196
9.7. 低变催化剂的适宜使用条件和使用	
寿命	197
9.7.1. 操作温度	197
9.7.1.1. 副反应	197
9.7.1.2. 烧结老化	198
9.7.1.3. 露点	198
9.7.2. 操作压力和空速	198
9.7.3. 低变催化剂的使用寿命	199
9.7.3.1. 影响使用寿命的主要	
因素	199
9.7.3.2. 低变催化剂活性衰退的	
标志	199
9.7.3.3. 低变催化剂活性衰退的	
后果	200
9.7.3.4. 损害低变催化剂活 性的主要	
因素	200
9.7.4. 延长催化剂使用寿命的措施 ...	205
9.7.4.1. 选用优质低变催化剂	205
9.7.4.2. 防硫	205
9.7.4.3. 防卤素	206
9.7.4.4. 防水汽冷凝	206
9.7.4.5. 防床层超温烧结	207
9.7.4.6. 防脱碳碱液浸泡	207
9.7.4.7. 防床层污染堵塞	207
9.7.4.8. 稳定工艺操作条件	208
9.7.4.9. 优化催化剂的装填	
工作	208
9.7.4.10. 催化剂的再生	208
9.7.5. 低变催化剂的更换	
原则	209
9.7.5.1. 要从全系统作经济效益	
分析	209
9.7.5.2. 及时估算催化剂的使用	
寿命	209
9.7.6. 催化剂的钝化、停车、开车、	
卸出	209
9.7.6.1. 催化剂的钝化	209
9.7.6.2. 低变炉的停车	210
9.7.6.3. 低变炉的开车	210
9.7.6.4. 催化剂的卸出	210

9.8. 常见事故的原因判断及预防			
处理	210		
9.8.1. 低变催化剂还原时床温			
骤升	210		
9.8.1.1. 还原时床层超温的可能			
原因	210		
9.8.1.2. 预防处理措施	211		
9.8.2. 低变出口CO含量偏高	211		
9.8.2.1. 出口CO含量偏高的可能			
原因	211		
9.8.2.2. 预防处理措施	212		
9.8.3. 床层阻力大增	212		
9.8.3.1. 床层阻力大增的可能			
原因	212		
9.8.3.2. 预防处理措施	212		
9.9. 典型应用实例	212		
9.9.1. B204型低变催化剂在A厂使用情			
况	212		
9.9.1.1. B204型催化剂的装填	212		
9.9.1.2. 升温还原	212		
9.9.1.3. 导气升压	213		
9.9.1.4. 4年半的使用情况	213		
9.9.2. B204型催化剂在B厂使用情			
况 ⁽⁴¹⁾	213		
9.9.3. B205型低变催化剂在大型氨厂的			
使用情况	215		
9.9.3.1. 组合装填、使用效果			
良好	215		
9.9.3.2. 升温脱水期短而还原			
容易	215		
9.9.3.3. 性能稳定, 增产节能效果			
明显	215		
参考文献	216		
第10章 宽温(耐硫)变换催化剂	218		
10.1. 宽变催化剂的组成和特性	218		
10.2. 宽变催化剂的主要物化性质	219		
10.3. 质量标准与检验方法	219		
10.4. 宽变催化剂的动力学方程	220		
10.5. 宽变催化剂的选用原则	221		
10.5.1. 中变串低变	221		
10.5.2. 双低变流程	221		
10.5.3. 全低变流程	222		
10.6. 宽变催化剂的装填、硫化、停车、			
钝化与再生	222		
10.6.1. 催化剂的装填与开车前的			
准备	223		
10.6.2. 催化剂的硫化	224		
10.6.2.1. 硫化反应与热效应	224		
10.6.2.2. 硫化条件	225		
10.6.2.3. 硫化方法	225		
10.6.2.4. 硫化过程中不正常情况			
的处理	227		
10.6.3. 停车与再开车操作	227		
10.6.4. 催化剂的钝化与卸出	227		
10.6.5. 催化剂的再生	228		
10.7. 宽变催化剂的正常使用条件	228		
10.7.1. 温度、汽气比等对宽变催化剂			
变换率的影响	228		
10.7.2. 反硫化与最低H ₂ S含量	229		
10.7.3. 正常操作注意事项	230		
10.8. 常见事故的原因、判断及其			
处理	231		
10.8.1. 宽变催化剂的失活	231		
10.8.2. 铜洗带液	232		
10.9. 宽变催化剂的典型应用实例	232		
参考文献	234		
第11章 甲烷化催化剂	236		
11.1. 化学反应方程式及热力学数据	236		
11.1.1. 甲烷化反应的热效应	236		
11.1.2. 平衡浓度的计算	236		
11.2. 主要物化性质	237		
11.3. 质量指标及检验方法	238		
11.4. 反应动力学	239		
11.4.1. 反应速率	239		
11.4.2. 扩散阻滞作用	239		
11.4.3. CO与CO ₂ 的甲烷化	240		
11.5. 选用原则	240		
11.5.1. 选择催化剂的基本原则	240		
11.5.2. 甲烷化反应器	241		
11.5.3. 催化剂的选择	241		
11.6. 装填、活化与停车	241		
11.6.1. 催化剂的装填	241		
11.6.2. 催化剂的活化(还原)	241		
11.6.2.1. 温度、压力等因素对还原的			
影响	242		
11.6.2.2. 升温还原的操作	242		
11.6.2.3. 加快还原过程的方法	243		
11.6.3. 停车与再活化	244		

11.7. 正常使用条件.....	245	工艺.....	257
11.7.1. 温度、压力等操作条件对催化剂性能的影响.....	245	11.10.4.2. 常压耐高温煤气甲烷化工艺.....	258
11.7.1.1. 操作温度.....	245	11.10.4.3. 耐硫甲烷化制城市煤气.....	258
11.7.1.2. 操作压力.....	245	参考文献.....	259
11.7.1.3. 操作空速.....	246	第12章 氨合成催化剂.....	260
11.7.1.4. 气体组成.....	246	12.1. 氨合成热力学基础.....	260
11.7.2. 催化剂中毒.....	247	12.1.1. 氨合成反应的化学平衡.....	260
11.7.2.1. 硫中毒机理.....	247	12.1.2. 氨合成反应热效应.....	261
11.7.2.2. 硫等毒物对催化剂性能的影响.....	247	12.2. 氨合成催化剂化学组成及主要特性.....	263
11.7.2.3. 对入口气中 H_2S 浓度的要求.....	248	12.2.1. 化学组成.....	263
11.7.2.4. 预防硫中毒的一些措施.....	249	12.2.2. 主要特性.....	265
11.7.3. 正常操作条件.....	249	12.3. 氨合成催化剂质量标准及检验方法.....	266
11.8. 常见事故原因判断及处理.....	251	12.3.1. 氨合成催化剂质量标准.....	266
11.8.1. 飞温事故.....	251	12.3.2. 氨合成催化剂检验方法.....	267
11.8.2. 催化剂床层温度突然降低下来.....	251	12.4. 氨合成动力学特征.....	268
11.8.3. 甲烷化炉温升高于正常值.....	251	12.4.1. 本征动力学.....	268
11.8.4. 催化剂床层热点迅速下移, 催化剂使用寿命仅几个月.....	251	12.4.2. 宏观动力学.....	269
11.8.5. 甲烷化炉出口微量非正常地上涨.....	251	12.5. 氨合成催化剂选用原则.....	271
11.9. 使用实例.....	252	12.5.1. 型号选择.....	271
11.9.1. 催化剂装填.....	252	12.5.2. 粒度选择.....	273
11.9.2. 催化剂升温还原.....	252	12.6. 装填、还原和钝化.....	275
11.9.3. 使用情况.....	253	12.6.1. 装填.....	275
11.10. 代用天然气和城市煤气.....	253	12.6.2. 还原.....	278
11.10.1. 反应特点.....	253	12.6.2.1. 催化剂在还原过程中的物理化学变化.....	278
11.10.2. 以油为原料制取代用天然气.....	254	12.6.2.2. 还原过程动力学.....	279
11.10.3. 以煤为原料制取代用天然气及城市煤气.....	254	12.6.2.3. 还原过程影响因素.....	281
11.10.3.1. Lurgi煤制代用天然气工艺.....	254	12.6.2.4. 升温还原操作.....	285
11.10.3.2. ICI一次通过甲烷化的工艺过程.....	255	12.6.2.5. 预还原氨合成催化剂升温活化.....	287
11.10.3.3. 直接甲烷化制中热值城市煤气.....	255	12.6.3. 停车与卸出.....	289
11.10.4. 国内煤气甲烷化研究概况.....	257	12.6.3.1. 低压钝化操作实例.....	289
11.10.4.1. 常压水煤气部分甲烷化		12.6.3.2. 中压钝化操作实例.....	289
		12.7. 使用操作.....	290
		12.7.1. 催化剂热稳定性的维护.....	290
		12.7.1.1. 进口温度的控制.....	290
		12.7.1.2. 热点温度的维护.....	291
		12.7.1.3. 绝热层温升的监测与保护.....	292
		12.7.2. 防止催化剂中毒.....	292

12.7.3. 氢氮比和惰性气含量的控制.....	294	13.5.2. 催化剂的选择.....	314
12.7.4. 催化剂寿命.....	295	13.6. 装填、活化与停车.....	315
12.8. 事故判断及处理.....	297	13.6.1. 催化剂的装填.....	315
12.8.1. 还原操作中一些故障的判断与处理.....	297	13.6.2. 催化剂的活化.....	315
12.8.1.1. 电加热炉、开工加热炉故障.....	297	13.6.3. 停车.....	315
12.8.1.2. 温度计指示失灵.....	297	13.7. 正常使用条件.....	317
12.8.1.3. 催化剂床层同平面温差大.....	297	13.7.1. 操作条件对催化剂性能的影响.....	317
12.8.1.4. 循环机故障.....	298	13.7.1.1. 温度的影响.....	317
12.8.2. 日常操作中事故判断及处理.....	298	13.7.1.2. 压力的影响.....	317
12.8.2.1. 催化剂层同平面温差过大.....	298	13.7.1.3. 空速的影响.....	318
12.8.2.2. 塔温大幅度波动.....	298	13.7.1.4. 气体组成的影响.....	318
12.8.2.3. 催化剂层温度急剧下降.....	298	13.7.2. 催化剂的选择性.....	319
12.8.2.4. 含氧毒物超标引起催化剂暂时中毒.....	299	13.7.2.1. 烃(主要是甲烷与石蜡)的生成.....	319
12.8.2.5. 液氨带入合成塔.....	299	13.7.2.2. 高级醇的生成.....	320
12.8.2.6. 铜液带入催化剂层.....	299	13.7.2.3. 酯的生成.....	320
12.8.2.7. 冷管换热轴向合成塔内件损坏而出现的不正常现象.....	299	13.7.2.4. 醚的生成.....	321
12.9. 应用实例.....	300	13.7.2.5. 醛酮的生成.....	321
12.9.1. A厂.....	301	13.7.3. 催化剂的使用寿命.....	321
12.9.2. B厂.....	301	13.7.3.1. 催化剂中毒.....	321
12.9.3. C厂.....	302	13.7.3.2. 热老化.....	323
12.9.4. D厂.....	302	13.7.3.3. 催化剂的强度.....	324
12.9.5. E厂.....	304	13.7.3.4. 开停车频繁.....	324
12.9.6. F厂.....	306	13.8. 常见事故原因判断及处理.....	325
参考文献.....	306	13.8.1. 合成塔温度急剧上升.....	325
第13章 甲醇合成催化剂.....	308	13.8.2. 合成塔温度急剧下降.....	325
13.1. 化学反应方程式及热力学数据.....	308	13.9. 使用实例.....	325
13.1.1. 可能发生的反应.....	308	13.9.1. C207催化剂在A厂中的使用.....	325
13.1.2. 平衡常数.....	308	13.9.1.1. 合成塔的结构(1号联醇塔).....	325
13.1.3. 反应热效应.....	310	13.9.1.2. 催化剂装填.....	326
13.2. 主要物化性质.....	310	13.9.1.3. 催化剂还原.....	326
13.3. 质量指标及检验方法.....	311	13.9.1.4. 催化剂使用情况.....	326
13.4. 动力学数据.....	312	13.9.2. C301催化剂在B厂中的使用.....	326
13.4.1. 反应速率.....	312	13.9.2.1. 工艺流程及塔结构.....	326
13.4.2. 扩散阻滞效应.....	313	13.9.2.2. 催化剂的升温还原.....	327
13.4.3. CO ₂ 的作用.....	313	13.9.2.3. 生产操作情况.....	327
13.5. 选用原则.....	313	13.9.2.4. 技术经济效果.....	328
13.5.1. 甲醇合成塔.....	313	13.9.3. C301-1催化剂在C厂中的使用.....	329
		13.9.3.1. 催化剂的装填.....	329
		13.9.3.2. 升温还原.....	329

13.9.3.3. 生产运行情况	329
13.9.3.4. 使用效果比较	330
13.9.4. CN1202催化剂在D厂中的使用	331
13.9.4.1. 催化剂的装填	331
13.9.4.2. 催化剂的升温还原	332
13.9.4.3. 催化剂的运行	332
参考文献	333
第14章 硫酸生产用钒催化剂	335
14.1. 化学反应方程和热力学数据	335
14.1.1. 反应热的计算	335
14.1.2. 平衡常数	335
14.1.3. 平衡转化率	335
14.2. 钒催化剂主要物化性质	337
14.2.1. SO_2 氧化催化剂的发展和现状	337
14.2.2. 我国钒催化剂主要物化性质	339
14.3. 质量指标及检验方法	339
14.3.1. 质量指标和检验条件	339
14.3.2. 活性检验方法及应注意的几点	339
14.4. 动力学数据	340
14.4.1. 反应机理	340
14.4.2. 动力学方程和反应速率常数	341
14.4.3. 最快反应温度线	341
14.4.4. 工业反应器工艺设计	343
14.5. 选用原则	344
14.5.1. 低温钒催化剂	344
14.5.2. 环形钒催化剂	345
14.5.3. 球形和“梅花”或“雏菊”形催化剂	346
14.5.4. 通气压力降	347
14.6. 装填、活化和再生	349
14.6.1. 催化剂的装填	349
14.6.2. 活化和开车	349
14.6.3. 催化剂再生和废催化剂处理	350
14.7. 正常使用条件	350
14.7.1. 操作温度	350
14.7.2. 操作压力	351
14.7.3. 停车和卸出催化剂	351
14.7.4. 卸出催化剂的颜色问题	351
14.8. 常见不正常情况的原因及处理	352
14.8.1. 转化率远低于设计值或本厂通常	

正常操作的数值	352
14.8.1.1. 焙烧含碳硫铁矿的影响	352
14.8.1.2. 各反应段 Δx_i 均下降	353
14.8.1.3. 某一段 Δx_i 低但 Δt 高	353
14.8.2. 有害毒物的影响	354
14.8.2.1. 砷及其化合物	354
14.8.2.2. 氟及其化合物	354
14.8.2.3. 酸雾与矿尘	355
14.9. 典型应用实例	356
14.9.1. 两转两吸流程	356
14.9.2. 一转一吸流程	358
参考文献	360
第15章 钨氧化制硝酸催化剂	361
15.1. 铂催化剂	361
15.1.1. 化学反应方程式及热力学数据	361
15.1.2. 主要物化性质	361
15.1.3. 质量指标及检验方法	362
15.1.3.1. 质量指标	362
15.1.3.2. 检验方法	362
15.1.4. 动力学数据	364
15.1.5. 选用原则	365
15.1.6. 装填、活化和再生	366
15.1.6.1. 铂网的安装	366
15.1.6.2. 铂网的活化	366
15.1.6.3. 铂网的再生	367
15.1.6.4. 铂网的判定标准	367
15.1.7. 正常使用条件	367
15.1.7.1. 反应温度	367
15.1.7.2. 反应压力	368
15.1.7.3. 气体组成	368
15.1.7.4. 气流速度	368
15.1.8. 常见事故原因判断及处理	368
15.1.9. 典型应用实例	369
15.2. 非铂催化剂	370
15.2.1. 化学反应方程式及热力学数据	370
15.2.2. 催化剂的物化性质	370
15.2.3. 质量指标及检验方法	371
15.2.3.1. 催化剂的质量指标	371
15.2.3.2. 催化剂质量检验方法	371
15.2.4. 催化剂选用原则	371
15.2.5. 装填、活化和再生	371

15.2.5.1. 催化剂的装填.....	371	回收.....	384
15.2.5.2. 催化剂的起燃.....	372	16.1.6. 正常使用条件.....	384
15.2.5.3. 催化剂的再生.....	372	16.1.7. 常见事故原因判断及处理.....	384
15.2.6. 正常使用条件.....	372	16.1.8. 典型应用实例.....	384
15.2.7. 常见事故原因判断及 处理.....	373	16.2. 一氧化碳选择性氧化催化剂.....	385
15.2.8. 典型应用实例.....	373	16.2.1. 化学反应方程式及热力学 数据.....	385
15.3. 铂尘捕集网.....	373	16.2.2. 催化剂的物化性质.....	386
15.3.1. 铂损失机理及钯捕集铂尘 原理.....	374	16.2.3. 质量指标及检验方法.....	387
15.3.1.1. 铂损失机理.....	374	16.2.3.1. Y101型催化剂质量 指标.....	387
15.3.1.2. 钯捕集铂尘原理.....	376	16.2.3.2. Y101型催化剂质量检 验方法.....	387
15.3.2. 铂尘捕集网的物化性质.....	377	16.2.4. 动力学数据.....	387
15.3.3. 质量指标及检验方法.....	377	16.2.5. 装填、活化和再生.....	388
15.3.3.1. 质量指标.....	377	16.2.5.1. 催化剂的装填.....	388
15.3.3.2. 检验方法.....	378	16.2.5.2. 催化剂的还原活化.....	388
15.3.4. 选用原则.....	378	16.2.5.3. 催化剂的再生.....	388
15.3.4.1. 综合法生产流程的 选择.....	378	16.2.6. 正常使用条件.....	389
15.3.4.2. 中压法生产流程的 选择.....	378	16.2.6.1. 反应温度.....	389
15.3.5. 装填和钝化.....	378	16.2.6.2. 反应压力.....	389
15.3.5.1. 捕集网的安装.....	378	16.2.6.3. 反应空速.....	389
15.3.5.2. 捕集网的钝化.....	378	16.2.6.4. 反应氧比.....	389
15.3.6. 正常使用条件.....	379	16.2.6.5. 原料气含水量.....	390
15.3.7. 常见事故原因判断及处理.....	379	16.2.7. 常见事故原因判断及处理.....	390
15.3.8. 典型应用实例.....	379	16.2.7.1. 气流分布不均.....	390
参考文献.....	380	16.2.7.2. 系统积水.....	390
第16章 其他化肥生产用催化剂.....	381	16.2.7.3. 氧比控制不当.....	390
16.1. 制氮催化剂.....	381	16.2.8. 典型应用实例.....	390
16.1.1. 化学反应方程式及热力学 数据.....	382	16.3. 硫回收催化剂.....	391
16.1.2. 催化剂的物化性质.....	382	16.3.1. 化学反应方程式及热力学 数据.....	391
16.1.3. 质量指标及检验方法.....	382	16.3.2. 催化剂的物化性质.....	391
16.1.3.1. D101Q制氮催化剂企业 标准.....	383	16.3.3. 质量指标及检验方法.....	391
16.1.3.2. D201Q制氮催化剂企业 标准.....	383	16.3.4. 动力学数据.....	391
16.1.4. 催化剂选用原则.....	383	16.3.5. 催化剂选用原则.....	392
16.1.5. 装填、活化和再生.....	384	16.3.6. 装填、活化和再生.....	393
16.1.5.1. 一段炉催化剂的装填.....	384	16.3.6.1. 催化剂的装填.....	393
16.1.5.2. 二段炉与脱氧器催化剂 的装填.....	384	16.3.6.2. 催化剂的升温活化.....	393
16.1.5.3. 催化剂的活化、再生与		16.3.6.3. 催化剂的再生.....	393
		16.3.7. 正常使用条件.....	393
		16.3.8. 常见事故原因判断及处理.....	394
		16.3.9. 典型应用实例.....	394
		16.4. 硝酸尾气处理催化剂.....	394

16.4.1. 化学反应方程式及热力学数据	395	16.6.6.1. 分子筛的装填	404
16.4.2. 催化剂的物化性质	395	16.6.6.2. 分子筛的活化与再生	405
16.4.3. 质量指标及检验方法	395	16.6.7. 正常使用条件	405
16.4.3.1. 质量指标	395	16.6.7.1. 空气的干燥	405
16.4.3.2. 检验方法	395	16.6.7.2. 天然气的干燥	405
16.4.4. 动力学数据	396	16.6.7.3. 石油裂解气的干燥	405
16.4.5. 装填与活化	397	16.6.7.4. 氢及稀有气体干燥	406
16.4.5.1. 催化剂的装填	397	参考文献	406
16.4.5.2. 催化剂的升温活化	397	附录1 有关数据附表	407
16.4.6. 正常使用条件	397	附表1-1 常见元素原子量	407
16.4.6.1. 操作压力	397	附表1-2 298.15K时某些元素及化合物的热力学性质	407
16.4.6.2. 操作温度	397	附表1-3 某些气体在不同压力下的逸度系数	408
16.4.6.3. 尾气空速	397	附表1-4 氨厂催化剂比热	409
16.4.6.4. 燃料比	397	附表1-5 催化剂还原时所释放的热	409
16.4.7. 常见事故原因判断及处理	398	附表1-6 催化剂氧化时所释放的热	410
16.4.7.1. 设备故障	398	附表1-7 氨及甲醇制造中各反应之平衡常数	410
16.4.7.2. 气体中杂质影响	398	附表1-8 羰基硫水解反应平衡常数	410
16.4.8. 典型应用实例	398	附表1-9 有机硫水解与氢解平衡常数	411
16.5. 二氧化碳脱氢催化剂	399	附表1-10 氧化锌吸收硫反应平衡常数	411
16.5.1. 化学反应方程式及热力学数据	399	附表1-11 甲烷蒸汽转化反应平衡常数	411
16.5.2. 催化剂的物化性质	399	附表1-12(1) 一氧化碳变换反应平衡常数	414
16.5.3. 质量指标及检验方法	399	附表1-12(2) 一氧化碳歧化反应平衡常数	416
16.5.3.1. 活性检验方法	400	附表1-13 甲烷化反应平衡常数	416
16.5.3.2. 点压碎强度测定	400	附表1-14 氨合成反应平衡常数	417
16.5.4. 装填、活化和再生	400	附表1-15 甲醇合成反应平衡常数	418
16.5.4.1. 催化剂的装填	400	附表1-16 不同压力与汽/干气比时的露点	418
16.5.4.2. 催化剂的开车活化	400	附表1-17 以天然气为原料时不同温度与汽气比下变换反应的CO平衡含量	419
16.5.4.3. 催化剂的再生	400	附表1-18 以重油为原料时不同温度与汽气比下变换反应的CO平衡含量	421
16.5.5. 正常使用条件	401	附表1-19 以块煤为原料时不同温度	
16.5.5.1. 操作压力	401		
16.5.5.2. 操作温度	401		
16.5.5.3. 气体空速	401		
16.5.5.4. 原料二氧化碳气组成要求	401		
16.5.6. 典型应用实例	401		
16.6. 分子筛干燥剂	401		
16.6.1. 分子筛的晶种与特性	402		
16.6.2. 干燥用分子筛的物化性质	402		
16.6.3. 质量指标及检验方法	403		
16.6.4. 动力学数据	404		
16.6.5. 分子筛的选用原则	404		
16.6.6. 装填、活化和再生	404		