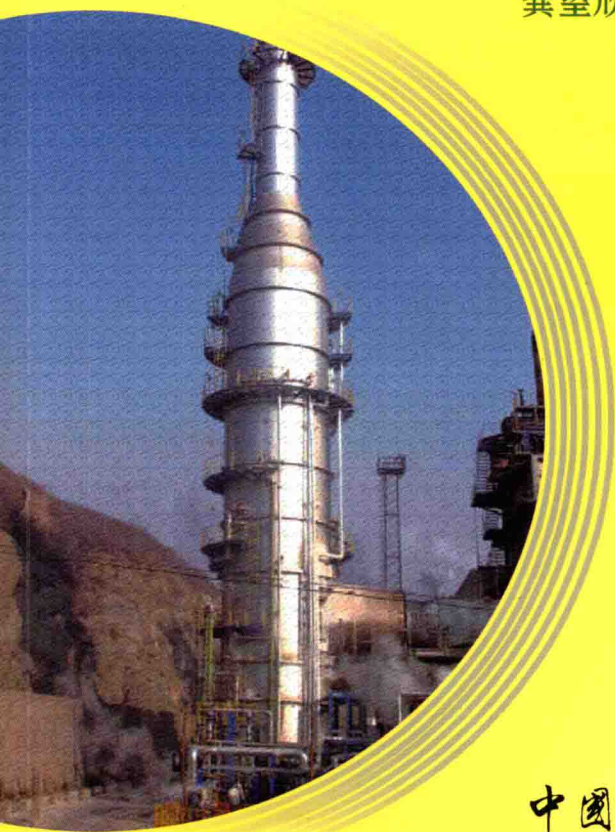


炼油装置技术问答丛书

# 催化裂化烟气脱硫除尘脱硝 技术问答

龚望欣 主编



中国石化出版社

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

炼油装置技术问答丛书

# 催化裂化烟气脱硫 除尘脱硝技术问答

龚望欣 主编

中国石化出版社

## 内 容 提 要

本书以问答的形式详细介绍了以催化裂化装置为主的烟气脱硫除尘脱硝技术。主要内容包括了和该技术相关的环保知识、可影响和改善该技术的上下游配套工艺、各种催化裂化烟气脱硫除尘脱硝的优缺点比较、已工业化的主要烟气脱硫除尘脱硝技术的操作要点、各种烟气脱硫除尘脱硝技术的通用设备。

本书主要供催化裂化烟气脱硫除尘脱硝装置工人阅读，也可供从事烟气脱硫除尘脱硝的设计、建设、科研和管理人员以及石油化工类院校相关专业的师生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

催化裂化烟气脱硫除尘脱硝技术问答 / 龚望欣主编.  
—北京: 中国石化出版社, 2015. 4  
(炼油装置技术问答丛书)  
ISBN 978-7-5114-3140-0

I. ①催… II. ①龚… III. ①催化裂化-烟气脱硫-  
问题解答②催化裂化-烟气-脱硝-问题解答  
IV. ①X701-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 002836 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](mailto:press@sinopec.com)

北京富泰印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经销

\*

850×1168 毫米 32 开本 9.5 印张 231 千字

2015 年 4 月第 1 版 2015 年 4 月第 1 次印刷

定价: 36.00 元

# 前 言

随着国家环保要求的迅速提高，催化裂化烟气脱硫除尘脱硝成为炼油厂必将要采取的环保技术。

目前国内已经工业化的催化裂化烟气脱硫除尘脱硝技术较少，曾应用于各种烟气的脱硫除尘脱硝技术又多种多样，因此，部分企业就在催化裂化烟气脱硫除尘脱硝技术选择上借鉴了较多的电厂烟气脱硫除尘脱硝经验，这恰恰使企业走了技术上的弯路，也大大地增加了装置技术人员和操作工人的劳动强度。由于国家和地区性的环保要求是逐步提高的，一般先要求烟气脱硫除尘，再要求烟气脱硝。因此，本书先侧重于介绍烟气脱硫除尘，再侧重于介绍烟气脱硝或脱硫除尘脱硝组合技术。

电厂的脱硫除尘技术很成熟，但如果直接用于催化裂化的烟气脱硫除尘，却不完全适用。催化裂化烟气脱硫除尘的难点在于除尘，不在于脱硫。催化裂化催化剂的高硬度、强磨损性、强吸附性、易沉淀、高表面积、粒径极小、含有大量杂质和重金属、遇水后质地更硬和更具韧性以及烟气中催化剂含量和粒度分布多变的特点使其远远有

别于电厂锅炉的灰分。高硬度、强磨损性几乎使所有内衬材料和玻璃钢都不宜使用；强吸附性、易沉淀、高表面积很快会使装置内接触到催化剂的仪表被催化剂覆盖而失灵或被催化剂磨坏；烟气中含有的杂质和催化裂化催化剂粉尘上的重金属可能会使其他应用于烟气脱硫除尘工艺的助剂和催化剂过早的失效；遇水后质地更硬和具有韧性的特点使技术人员在遇到麻烦时，即使是拆开设备后都很难处理沉积或已经结垢的催化剂，往往需要用高压水或更强的外力才能将堵塞在设备和管路中的催化剂清理出来。

脱硝技术也面临类似情况，如果把应用于电厂的脱硝技术直接应用于催化裂化，也会使应用效果大打折扣，甚至是影响催化裂化装置的运行安全。国内催化裂化装置的原料普遍较差，部分装置的蜡油和渣油也未经过加氢处理，因此，采用 SCR 选择性催化还原法技术的使用效果也会有别于国外。另外，由于催化裂化装置的原料较差，国内很多催化裂化装置有着强大的热工系统，如果在烟道上采取了很能产生阻力的过滤器或固定床催化剂，一旦烟道前部的取热器、内取热器、高温取热器等热工设备发生“爆管”，泄漏的水变为蒸汽，体积瞬间膨胀上千倍，就会严重影响催化裂化装置的运行安全。

上述这些问题普遍是由于催化裂化催化剂的特点所决定的，因此，在催化裂化装置选择脱硫除尘脱硝技术时首先要考虑的就是催化剂会给技术带来什么不良的后果。本书在介绍了各种可能和已经应用在催化裂化装置的脱硫除尘脱硝技术的同时，对各种技术进行了分析和比较，以期能为企业决策者提高技术思路、能为设计人员提供实践经验、能为管理者提供改进方向、能为操作者提供操作技巧。

由于编者水平有限，经验不足，知识的涵盖面不很全面，书中难免存在错误，不妥之处敬请读者批评指正。

编者

2014年12月

# 目 录

第一章 相关环保知识 .....	( 1 )
1. 石化工业废气的主要来源有哪些? .....	( 1 )
2. 空气污染指数是怎样界定空气质量的? .....	( 2 )
3. 如何计算空气污染指数? .....	( 4 )
4. 什么是大气气溶胶? .....	( 5 )
5. 什么是悬浮颗粒? .....	( 5 )
6. 什么是 PM 2.5? 各主要国家的 PM 2.5 标准是怎样的? .....	( 6 )
7. 大气中的 PM 2.5 来源有哪些? 其主要成分是什么? ...	( 7 )
8. 如何测量 PM 2.5? .....	( 8 )
9. 不同工作原理的 PM 2.5 测量仪对测量结果有何 影响? .....	( 9 )
10. PM 2.5 对人体健康和大气环境质量有哪些影响? .....	( 10 )
11. PM 2.5 对天气气候有哪些影响? .....	( 11 )
12. PM 2.5 对农业和生态系统有哪些影响? .....	( 12 )
13. “霾”天气是如何分类的? .....	( 12 )
14. 什么是总溶解性固体(TDS)? TDS 是如何 测量的? .....	( 13 )
15. 什么是总悬浮固体(TSS)? TSS 是如何测量的? ...	( 14 )
16. 能否采用催化裂化油浆固含量的分析方法 替代 TSS 分析方法? .....	( 15 )
17. 国外石化行业常用标准有哪些? 各自对应什么 标准代码? .....	( 16 )

18. 国内石化行业常用标准有哪些？各自对应什么标准代码？ ..... ( 16 )
19. 目前国内石油炼制行业催化裂化再生烟气污染物排放主要有哪些控制标准？其控制标准的排放限制是多少？ ..... ( 16 )
20. 目前我国针对催化裂化烟气连续性技术检测主要有哪些检测标准？ ..... ( 17 )
21. HJ/T 76—2007 中对烟气脱后采样平台有哪些设计要求？ ..... ( 17 )

## 第二章 催化裂化烟气污染物特性 ..... ( 19 )

1. 炼油厂催化裂化装置的烟气有哪些特点？ ..... ( 19 )
2. 催化裂化烟气中可能含有哪些气体？ ..... ( 20 )
3. 如何根据烟气中  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CO}$  和  $\text{O}_2$  的含量来判断烟气采样是否合格？ ..... ( 20 )
4. 烟气中影响二氧化硫含量的主要因素有哪些？ ..... ( 21 )
5. 烟气中的氮氧化物有哪几种来源？其产生过程如何？ ..... ( 21 )
6. 通过燃料燃烧过程控制  $\text{NO}_x$  排量的策略有哪些？ ..... ( 24 )
7. 在催化裂化再生器里面发生的影响氮氧化物产生的主要化学反应有哪些？为什么在烟气中一氧化碳含量高的情况下，氮氧化合物反而偏低？ ..... ( 25 )
8. 为什么在完全再生情况下催化裂化烟气中含有较多的氮氧化物？ ..... ( 25 )
9. 烟气中的  $\text{CO}$  如何实现燃烧转化？ $\text{CO}$  燃烧的主要影响因素是什么？ ..... ( 27 )
10. 如何降低催化裂化烟气中的氮氧化物？ ..... ( 27 )
11. 催化裂化使用降低烟气中  $\text{SO}_x$  助剂对降低氮氧



化物有何影响? .....	( 28 )
12. 富氧再生对烟气中的氮氧化物有何影响? .....	( 28 )
13. 逆流形式的再生器设计形式对烟气中的氮氧化物 有何影响? .....	( 28 )
14. CO 助燃剂对烟气中的氮氧化物有何影响? .....	( 29 )
<b>第三章 烟气脱硫除尘脱硝技术</b> .....	<b>( 31 )</b>
<b>第一节 烟气脱硫除尘技术</b> .....	<b>( 31 )</b>
1. 催化裂化装置的烟气脱硫技术的选择原则是什么? ...	( 31 )
2. 如何评价烟气脱硫除尘技术的优劣? .....	( 32 )
3. 降低催化裂化烟气 $SO_x$ 技术有哪些? .....	( 33 )
4. 催化裂化原料中的硫发生催化裂化反应后的 转化情况如何? .....	( 35 )
5. 什么是 $SO_x$ 转移剂? 各阶段 $SO_x$ 转移剂在组成上 有哪些特点? .....	( 36 )
6. $SO_x$ 转移剂的作用机理是什么? .....	( 37 )
7. 按脱硫剂的类型如何对烟气脱硫方法进行分类? 这些方法各有哪些优缺点? .....	( 39 )
8. 干法烟气脱硫主要有哪些方法? 各种方法的适用性 如何? .....	( 41 )
9. 钠法、石灰石/石灰-石膏法、镁法脱硫技术各有什么 优缺点? .....	( 45 )
10. 用 NaOH 脱除烟气中的酸性物质的反应机理是 什么? .....	( 47 )
11. SNAP 二氧化硫和氮氧化物吸收工艺的净化原理是 什么? 该工艺有哪些优缺点? .....	( 47 )
12. Mitsui-BF 活性炭法烟气净化技术的原理是什么? .....	( 49 )
13. 在电厂已成熟应用的烟气循环流化床(CFB-FGD) 半干法脱硫技术原理是什么? 该技术在催化裂化	

- 烟气脱硫除尘方面的适用性如何? ..... ( 49 )
14. THIOPAQ 生物脱硫技术的基本原理是什么? 该工艺有哪些优缺点? ..... ( 55 )
15. 湿烟气制硫酸工艺(WSA)脱硫除尘的基本原理是什么? 该工艺有哪些优缺点? ..... ( 56 )
16. 填料吸收塔海水脱硫技术的工作原理是什么? ..... ( 57 )
17. 填料吸收塔海水脱硫技术有哪些优缺点? ..... ( 58 )
18. 德国 GRE Bischoff 公司的 EP-Absorber 脱硫除尘一体化技术是怎样实现除尘脱硫的? ..... ( 59 )
19. 催化裂化烟气采用静电除尘器有哪些注意事项? ..... ( 61 )
20. WGS 湿法洗涤工艺脱除颗粒和  $SO_x$  的工作原理是什么? ..... ( 62 )
21. 美国诺顿(Norton)公司的文丘里洗涤系统 VSS 经历了怎样的发展过程? 其作用原理是什么? ..... ( 66 )
22. EDV 湿法烟气净化技术如何实现催化裂化烟气脱硫除尘? ..... ( 70 )
23. EDV 湿法烟气净化技术有哪些特点? ..... ( 73 )
24. 可再生湿法脱  $SO_2$  工艺的原理是什么? 有哪些典型的代表工艺? 这些工艺的优缺点有哪些? ..... ( 74 )
25. 可再生循环吸收法的工艺流程主要由哪几部分组成? ..... ( 81 )
26. 氨法烟气脱硫技术的脱硫原理是什么? 工艺流程是怎样的? 该技术的工艺适用性如何? ..... ( 81 )
27. 可再生烟气脱硫技术路线的化肥法应用在催化裂化装置会面临哪些问题? ..... ( 84 )
28. 双循环新型湍冲文丘里除尘脱硫技术工艺流程是怎样的? ..... ( 84 )

29. 双碱法气动再生脱硫技术如何实现催化裂化烟气脱硫除尘? ..... (85)
30. 双碱法气动再生脱硫技术中补充  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液的作用是什么? ..... (88)
31. 双碱法气动再生脱硫技术中气动脱硫段的工作原理是什么? 气动脱硫技术有何技术特点? ..... (89)
32. 近期催化裂化湿法烟气脱硫技术有哪些主要研究方向? ..... (89)
- 第二节 烟气脱硝技术 ..... (90)
1. 炼油企业传统的降低各类燃料的烟气中氮氧化物的方法是怎样的? 该处理方式有哪些优缺点? ..... (90)
2. 烟气再循环技术降低烟气中  $\text{NO}_x$  排放量的基本过程是怎样的? ..... (91)
3. 催化裂化烟气脱硝主要有哪一些技术? ..... (92)
4. 选择性催化还原法(SCR)脱硝技术的原理是什么? 该技术有哪些优缺点? ..... (92)
5. SCR 催化剂的应用有哪些技术要点? ..... (96)
6. 催化剂在气固体系分类中属于哪一类颗粒, 各类颗粒在气固环境中有哪些特性? ..... (98)
7. 选择性非催化还原法脱硝工艺(SNCR)的原理是什么? 该技术有哪些优缺点? ..... (100)
8. SNCR 和 SCR 脱硝技术相比有哪些不同之处? ..... (101)
9. SNCR 在操作温度超出合理的反应温度时会出现什么问题? ..... (102)
10. 炼油企业生产的液氨用于烟气脱硫和脱硝可能会遇到哪些问题? 烟气脱硫和脱硝用液氨在质量方面有哪些要求? ..... (102)
11. SCR 和 SNCR 脱硝工艺中的还原剂(尿素、

液氨和氨水)各有什么优缺点? 还原剂的选择要注意哪些问题? .....	(103)
12. 无水氨有哪些特性? .....	(104)
13. 有水氨有哪些特性? .....	(105)
14. 尿素有哪些特性? .....	(105)
15. 尿素法 SCR 有哪些技术要点? .....	(106)
16. SNCR 脱硝工艺系统采用尿素作为还原剂时的主要设备设计原则是怎样的? .....	(107)
17. SNCR 脱硝工艺的溶液喷射系统喷射器有哪些类型? 其适用性如何? .....	(108)
18. 在实际生产中, 影响 SNCR 脱硝效果的主要因素有哪些? .....	(109)
19. SCR 和 SNCR 脱硝工艺在什么情况下容易产生铵盐腐蚀和堵塞后续设备? .....	(109)
20. SCR 如何实现注氨的自动控制? .....	(110)
21. 采用 SCR 的烟气脱硝项目工艺设计基本原则有哪些? .....	(111)
22. 如何确定 SCR 脱硝装置的性能考核? .....	(112)
23. 氨站区域布置要注意哪些问题? .....	(114)
24. 什么是铵盐? 铵盐受热分解分哪几种情况? .....	(114)
25. SCR 反应器的设计要点有哪些? .....	(115)
26. 采取了模块式设计的蜂窝式催化剂装载系统的催化剂安装过程是怎样的? .....	(116)
27. SCR 采用的吹灰器有哪些设计要点? .....	(117)
28. SCR 的 AIG(氨喷射)系统有哪些设计要点? .....	(118)
29. SCR 的氨供应系统设备在设计方面有哪些要点? .....	(118)
30. 氨站区域投用前需仔细检查哪些事项? .....	(120)
31. SCR 区域开工过程中需仔细检查的事项有哪些? .....	(121)

32. SCR 系统在什么情况下应该停止喷氨? ..... (121)
33. SCR 系统启动时在温度控制上要注意哪些问题? ..... (121)
34. 采用 SCR 技术时, 在催化裂化装置停工情况下,  
液氨或氨水应该如何处理? ..... (122)
35. SNCR 和 SCR 混合脱硝工艺有哪些技术特点? ..... (122)
36. SNCR 和 SCR 混合脱硝工艺具备哪些特征? ..... (122)
37. 在催化裂化装置采用 SCR 脱硝技术要充分考虑哪  
些问题? ..... (123)
38. 臭氧氧化法脱硝技术如何实现氮氧化物的脱除?  
该技术有哪些优缺点? ..... (126)
39. LoTO<sub>x</sub> 技术的脱硝原理是什么? ..... (128)
40. 臭氧的氧化特性如何? ..... (129)
41. 臭氧在烟气中的停留时间对脱 NO 有何影响? ..... (129)
42. 臭氧脱硝过程的主要影响因素有哪些? ..... (130)
43. 为什么臭氧在烟气中含有 CO 和 SO<sub>2</sub> 的情况下  
可较好地降低氮氧化物? ..... (132)
44. 一般工业制氧气的原理是什么? ..... (132)
45. 一般工业制臭氧的原理是什么? ..... (133)
46. 液体氧化脱硝技术的原理是什么? 该技术有  
哪些优缺点? ..... (133)
47. 烟气的过氧化氢氧化吸收技术原理是什么?  
常用的氧化剂有哪些? ..... (134)
48. EDV 湿法脱硫技术的排出液处理系统(PTU)  
流程是怎样的? ..... (134)
49. 导致废液处理单元 PTU 外排水 COD 增加的因素  
有哪些? ..... (135)

#### 第四章 操作和设计经验 ..... (137)

1. 余热锅炉后新增烟气净化装置后, 在余热锅炉出口的

- 压力不大于 4kPa 的情况下，余热锅炉可进行哪些适应性改造？ ..... (137)
2. 贝尔格 EDV 湿法洗涤技术的洗涤系统由哪几部分构成？各部分如何实现洗涤功能？ ..... (137)
  3. EDV 湿法脱硫技术的滤清模块部分的净化原理是什么？ ..... (138)
  4. EDV 湿法脱硫技术的水平衡包括哪几部分？ ..... (138)
  5. EDV 湿法脱硫技术正常补水的方式是怎样的？正常补水有何作用？ ..... (139)
  6. EDV 湿法脱硫技术事故紧急补水的作用是什么？ ..... (139)
  7. EDV 湿法脱硫技术滤清模块的水循环回路是怎样的？ ..... (139)
  8. EDV 湿法脱硫技术脱硫塔的外排浆液是怎样进行操作控制的？ ..... (139)
  9. EDV 湿法脱硫技术脱硫塔的基本回路控制有哪些？ ..... (140)
  10. 脱硫塔液位低-低液位控制是怎样的？ ..... (140)
  11. 脱硫塔如何实现塔的高温保护和催化剂跑损处理？ ..... (140)
  12. 脱硫塔底浆液的 pH 值如何控制？ ..... (141)
  13. 滤清模块循环水箱低-低液位控制如何实现滤清模块循环水泵的保护？ ..... (141)
  14. 安装泵出入口的橡胶膨胀节有哪些注意事项？ ..... (141)
  15. 烟气脱硫塔在开工前，何时封闭人孔？ ..... (142)
  16. 烟气脱硫塔底循环浆液 pH 值偏低的可能故障原因有哪些？ ..... (142)
  17. 烟气脱硫塔底浆液循环水泵出口压力偏低的

- 可能故障原因是什么? ..... (142)
18. 脱硫塔内温度超高的可能原因是什么? ..... (143)
19. 烟气脱硫主要的分析项目有哪些? ..... (143)
20. 如何通过泵出口电流状况来判断贝尔格 G 型和 F 型喷嘴更换的条件? ..... (143)
21. 如果用蒸汽吹扫烟气脱硫装置的管线要注意哪些问题? ..... (143)
22. 可否采用观测沉淀器水面颜色的办法判断沉淀器出口的 TSS 是否合格? ..... (143)
23. 当沉淀器和氧化罐内的 TDS 浓度持续大于 15% 时会  
出现什么操作状况? ..... (144)
24. 烟气脱硫装置开工的主要检查和操作步骤有哪些?  
..... (144)
25. 烟气脱硫装置的开工注意事项有哪些? ..... (145)
26. 烟气脱硫的具体开工步骤有哪些? ..... (146)
27. 带密封气的单轴双挡板烟气挡板门是如何实现  
密封的? ..... (150)
28. 烟囱出口处的烟气流速一般设计为多少? ..... (150)
29. 烟气脱硫的脱硫塔要注意哪些设计要点? ..... (151)
30. 烟气脱硫的氧化系统有什么特点? ..... (151)
31. 烟气脱硫装置入口的烟道挡板门和脱硫塔之间  
为什么要设计人孔? ..... (151)
32. 雨水和雪水可否作为烟气脱硫除尘的工艺补充水?  
..... (151)
33. 烟气脱硫除尘塔的塔底浆液泵在操作和设计上有  
哪些注意事项? ..... (152)
33. 含催化剂颗粒流体在管线放空设计上有哪些  
技巧? ..... (152)

34. 烟气脱硫塔入口管线的设计形状有何特征? ..... (152)
35. 对于不具备全塔水压试验的脱硫塔应该如何进行检测? ..... (152)
36. 为降低投资, 烟气脱硫装置的管壁厚度可进行怎样的设计? ..... (153)
37. 烟气脱硫装置的 pH 计有哪些设计和使用要点? ..... (153)
38. 烟气脱硫塔的塔体和烟囱的选材有哪些指导意见? ..... (153)
39. 烟气脱硫塔采用复合板时的制造要点有哪些? ..... (153)
40. 烟气脱硫气溶胶是怎样形成的? ..... (154)
41. 避免烟气脱硫产生气溶胶的措施有哪些? ..... (156)
42. 如果烟气脱硫装置周围有防洪沟, 如何巧妙地利用防洪沟避免一系列的 EDV 烟气脱硫除尘装置非计划停工事故? ..... (156)
43. EDV 湿法脱硫除尘技术的设计和要点有哪些? ..... (157)
44. 如何设计烟气脱硫装置能够较好地降低职工劳动强度? ..... (160)
45. 催化裂化湿法烟气脱硫装置脱硫塔的浆液外甩管线内壁在何种情况下容易出现结垢? 举例说明。 ..... (161)
46. 如何用空气分级燃烧理论解释等高并列式两段再生催化裂化装置的烟气中  $\text{NO}_x$  含量较低的现象? 举例说明。 ..... (163)
47. EDV5000 烟气脱硫除尘技术的公用工程消耗情况如何? 采用该技术对催化裂化装置的能耗有何影响? 举例说明。 ..... (166)
48. 对于烟气入口二氧化硫含量较高的装置应该如何考虑装置建设时的基础投资? 举例说明。 ..... (167)



第五章 基础设备 .....	(168)
第一节 余热锅炉 .....	(168)
1. 余热锅炉变为微正压有何优缺点? .....	(168)
2. 余热锅炉的辅助燃烧器对烟气脱硝有何影响? .....	(168)
3. 为什么有辅助燃烧器的余热锅炉一般不设置空气 预热器? .....	(169)
4. 为什么余热锅炉系统常设置水封罐? .....	(169)
5. 余热锅炉常用的防爆门有哪几种? 各有哪些 优缺点? .....	(170)
6. 为什么有的薄膜式防爆门的密封面是倾斜的? .....	(172)
第二节 三级旋风分离器和四级旋风分离器 .....	(172)
1. 三级旋风分离器在催化裂化装置中的作用? .....	(172)
2. 催化裂化装置常用的三级旋风分离器有哪些种类? 各自具有哪些结构特点? .....	(173)
3. 催化裂化装置增上四级旋风分离器有何作用? .....	(175)
4. 弯锥形四级旋风分离器有哪些技术特点? .....	(176)
5. 催化裂化装置增上临界流速免维护系统式的第四级 旋风分离器有什么好处? .....	(178)
第三节 脱硫除尘塔相关设备 .....	(179)
1. EDV 湿法烟气净化技术的水珠分离器的分离原理 是什么? .....	(179)
2. EDV 湿法脱硫的水珠分离器结构是怎样的? 该设备 有哪些技术特点? .....	(180)
3. 什么是除雾效率? 影响除雾效率的因素有哪些? ...	(181)
4. 如何衡量除雾器性能的好坏? .....	(181)
5. 什么是除雾器的压力降? 监控除雾器的压力降对生产 有何指导意义? .....	(182)
6. 如何实现除雾器差压值的监测? .....	(182)