

中国科技核心期刊
国家新闻出版广电总局首批认定学术期刊
全国石油和化工行业优秀期刊评比一等奖
全国石油和化工行业百强期刊

ISSN 1005-9598
CN 14-1142/TQ

煤化工

®

MEI HUAGONG
COAL CHEMICAL INDUSTRY



热烈祝贺

中国科技核心期刊《煤化工》创刊50周年

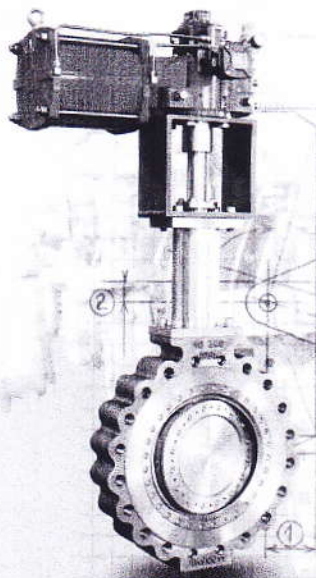


更先进核心技术高品质 三/四偏心阀门

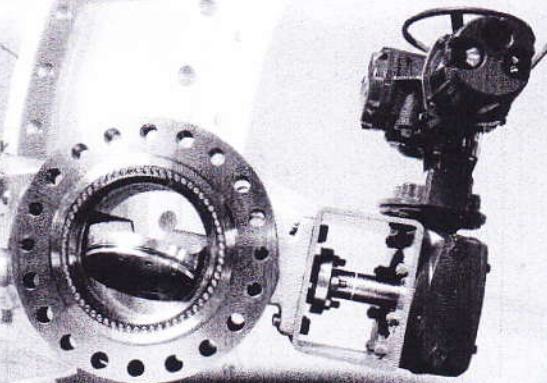


扫码了解更多

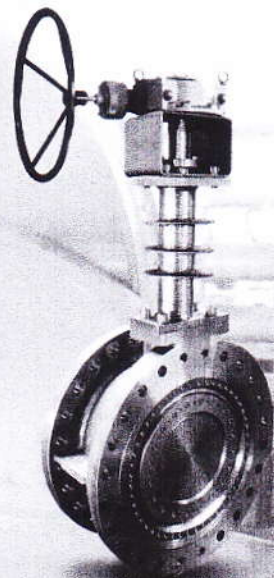
DN80~DN6000(3"~240")
Class150~Class2500(PN6~PN420)
-254°C~+820°C (-425°F~+1508°F)



深冷型/Cryogenic



标准型/Basic



高温型/High Temperature

法国·罗伯阀门 FRANCE · ROBVALVE SAS

电话Tel: +33(0)472392774 网址Website: www.robvalve.com

邮箱E-mail: sales.china@robvalve.com info@robvalve.com

法国地址Add: Parc Eyris 85, chemin des Platières Lot 4 et 5 38670 Chasse sur Rhône - France

法国·罗伯阀门(天津)公司 FRANCE · ROBVALVE (TIANJIN) CO., LTD.

电话Tel: +86-(0)22-28730977 +86-(0)22-28730996

邮箱E-mail: info@robvalve.cn 网址Website: www.robvalve.cn

地址Add: 天津市津南区泰达科技园区科达三路5号增1号

ISSN 1005-9598



10>

9 771005 959228

主办: 赛鼎工程有限公司

5

2022年10月 第50卷

1973 年创刊

国内外公开发行人 双月刊

煤化工

MEI HUAGONG

第 50 卷 2022 年第 5 期

(总第 222 期)

2022 年 10 月 30 日出版

刊号: ISSN 1005-9598
CN 14-1142/TQ

国内邮发代号: 22-176 (全国各地邮局)

国外发行代号: BM8241

广告发布登记号: 晋综示市监广登字
2020002 号

刊名商标注册号: 3175989

主 管:

赛鼎工程有限公司

主 办:

赛鼎工程有限公司

主 编: 施福富

执行主编: 李好管

副 主 编: 张 琰 尚建选 孙启文

丁明公 李 峰 郭庆杰

本期执行编辑: 朱琼芳 胡冉冉

编辑出版: 《煤化工》编辑部

地址: 山西综改示范区太原学府园区

晋阳街赛鼎路 1 号

邮编: 030032

E-mail: mhgk@126.com

meihgk@vip.126.com

编辑部主任: 张 琰(0351)2179577

投稿咨询: (0351)2179582

广告合作: (0351)2179578; 2179579

期刊订阅: (0351)2179580

印刷: 太原日报传媒集团有限公司

国内定价: 120 元/年, 20 元/册

目 次

研究与探讨

淮南矿业强黏结性 1/3 焦煤在配煤结构中的应用研究

···刘国斌 马 岩 陆启均 李琰庆 孟庆波 唐 帅 徐秀丽(1)

基于煤岩学探讨兰炭在炼焦配煤的适合度

···张宇博 马青华 郝静远 李 东(8)

煤炭地下气化和地面化工协同发展探索

···解政鼎 夏 洁 王秋枫 张婉照 林 灿(12)

煤化工装置非正常工况碳减排的智能化研究

···韩振飞(17)

神木兰炭产业现状分析与高质量发展研究

···王 廷(21)

不同浓度硝酸水溶液的氧化性和火灾危险性分类探究

···白晓军(25)

山西炼焦煤与俄罗斯炼焦煤配煤炼焦应用探索

···王春华(31)

溶剂法生产煤系针状焦预处理工序质量控制分析方法探讨

···晏 兵(35)

纸房勘查区西山窑组不同煤层煤质指标相关性分析

···王 康(38)

曹家滩煤灰分和水分对发热量影响的理论与实验研究

···刘佳祺 李治霖 侯玲梅(42)

开发与应用

绕管水冷甲醇合成反应器技术的应用

···王雨瑶 廖友军 曾 伟(45)

静压成型高密度型煤协同处置焦化危废炼焦技术研究

···岳伟明 燕 慧 崔长青 姚润生 牛志龙(48)

无磷灰水分散剂在煤气化灰水装置上的应用研究

···孙金忠 曾祥军(52)

利用气化渣制备多孔材料及其在含酚半焦废水处理中的应用

···郭 磊 杨永林 王还真 王亚俐 许云华(56)

炼油循环水系统的泄漏分析及处理

···刘向朝 王 强 佟爱武 王 亮 刘 艺 陈卫通(61)

基于防爆 CPE 的通信系统在煤化工园区的设计应用

···连昶锦 康守信 连龙飞 姜玉峰 张立亚(65)

CEMS 预处理运行预警装置设计及测试

···高 远 许国强 余国全 肖明成 孙荣岳(69)

引用格式:王雨瑶,廖友军,曾 伟. 绕管水冷甲醇合成反应器技术的应用[J]. 煤化工, 2022, 50(5): 45-47.

绕管水冷甲醇合成反应器技术的应用

王雨瑶¹, 廖友军², 曾 伟²

(1. 杭州林达化工技术工程有限公司, 浙江 杭州 310000;

2. 浙江石油化工有限公司, 浙江 舟山 316000)

摘 要 介绍了浙江石油化工有限公司 40 万 t/a 甲醇合成装置中绕管水冷甲醇合成反应器的结构, 及甲醇合成装置运行 48 h 性能考核情况。结果表明: 在 100% 满负荷运行状态下, 装置粗甲醇产量约 1 317 t/d, 各项技术指标均优于保证值; 催化剂床层同平面多点温差 $< 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、反应器平均传热系数高于 $883\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 、反应器压降控制在 $60\text{ kPa}\sim 80\text{ kPa}$ 、催化剂 CO 单程转化率高达 90% (前期活性)、碳效率 $> 99\%$, 说明绕管水冷甲醇合成反应器技术具有床层均温、移热高效、压降低、催化生产能力良好等工艺特点, 可适配国内甲醇催化剂技术。

关键词 甲醇合成; 绕管水冷反应器; 床层温度分布; 移热能力; 性能考核

文章编号: 1005-9598(2022)-05-0045-03 中图分类号: TQ223.121 文献标识码: B

近年来, 随着甲醇合成大产能项目的不断兴建和投运, 国内甲醇合成技术得到了飞速的进步和发展。目前我国大型甲醇合成主要以煤制甲醇路线为主, 其核心合成催化剂和甲醇合成反应器处于国内外技术同台竞技现状。如何让国产甲醇合成反应器与国产催化剂更好的配合, 实现大型甲醇装置长期稳定、高效的运行, 是国产甲醇合成技术提高竞争力亟待解决的问题。

浙江石油化工有限公司 (简称浙石化) 40 万 t/a 甲醇合成项目用于工程氢气和燃料气的阶段性调峰, 甲醇合成原料气采用水煤浆气化技术制取, 经过变换和净化工序后, 将合格的原料气送至甲醇合成装置进行生产。其整体工艺由中石化宁波工程有限公司设计, 合成塔采用杭州林达化工技术工程有限公司 (简称林达化工) 的绕管水冷反应器专利设备, 催化剂选用四川天一科技股份有限公司 (简称四川天一) XNC-98 催化剂。该项目从 2017 年底开始设计, 2019 年建成安装, 2020 年初开车运行, 受原料气调峰的影响, 合成系统多次开停车, 但甲醇装置生产情况仍能保持平稳, 取得了良好的运行效果。本文介绍了绕管水冷甲醇合成反应器技术在浙石化的投运生产情况,

可为国产甲醇合成装置高效化、大型化提供思路。

1 甲醇合成工艺流程

浙石化甲醇合成工艺流程示意图如图 1 所示。来自净化单元的原料气与提压后的循环气混合, 混合后的合成气经入塔换热器预热后, 从甲醇合成塔顶部进入反应器进行甲醇合成反应。甲醇合成塔出塔气温度约 $225\text{ }^{\circ}\text{C}$, 经过入塔换热器换热后进入除蜡器分离部分冷凝的高沸点副产物, 再进入循环水冷却器冷却至 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, 此时粗甲醇冷却成液相并进入甲醇分离器分离出粗甲醇产品。合成反应热由绕管水冷甲醇合成塔换热管内的饱和锅炉水汽化移出, 汽包副产 $> 2.1\text{ MPa (G)}$ 饱和蒸汽。工艺中的高温除蜡环节能够有效避免循环水冷却器积蜡, 减少循环水冷却器除蜡频率, 缩短停车检修时间。

甲醇合成工艺中的主要设备规格: 甲醇合成反应器内径 $\phi 3\ 400\text{ mm}$, 换热管规格为 $\phi 19\text{ mm}$ 的不锈钢无缝管; 甲醇合成反应器装填 XNC-98 铜基催化剂, 催化剂粒径 $\phi 6\text{ mm}\times 4\text{ mm}$, 设计装填量 64 m^3 , 考虑到催化剂还原收缩, 实际装填量 67 m^3 ; 甲醇合成反应器壳体

收稿日期: 2022-07-09

作者简介: 王雨瑶 (1995—), 女, 汉族, 甘肃定西, 工程师, 学士, 2015 年本科毕业于浙江工业大学化学工程专业, 现从事煤化工工程设计方面的工作, E-mail: ldxm@lindar.net。

DOI: 10.19889/j.cnki.10059598.2022.05.011

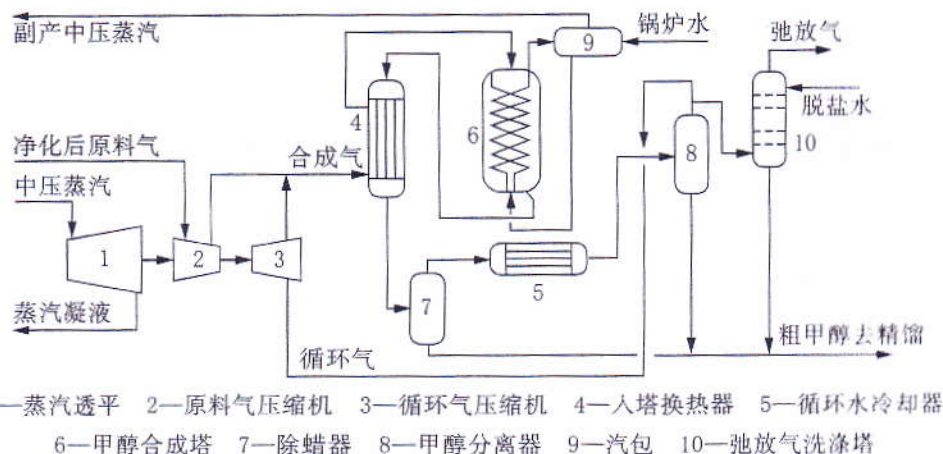


图1 浙石化甲醇合成工艺流程示意图

材质为 15CrMoR, 内件材质为 S30408, 换热内件为绕管式结构, 换热管内走锅炉水, 管外装填催化剂; 除蜡器壳体材质为 Q345R+S30403, 内径 $\phi 1\ 600\text{ mm}$, 切线高度 $6\ 300\text{ mm}$, 上部设有除沫装置, 下部为机械分离结构; 甲醇分离器内径 $\phi 1\ 900\text{ mm}$, 切线高度 $8\ 500\text{ mm}$ 。

2 绕管水冷甲醇合成反应器结构

绕管水冷甲醇合成反应器不仅可以避免原有冷管型甲醇合成反应器工艺上移热效率较低的不足, 同时可以解决直管型内件热应力难以自行消除、内件易泄漏、检修困难等方面的问题, 可实现设备的本质安全, 是一代高效可靠的新型反应器。

该结构形式的合成反应器采用小规格换热管, 在保证换热面积足够的前提下, 可以大幅提高设备催化剂装填率 ($>70\%$)、减小反应器规模。反应器移热内件的比冷面大小可调整, 适用于多种原料气头, 移热能

力强, 能够充分发挥催化剂的活性, 保证产能。催化剂设计裕量足, 能够更好地满足生产负荷和保证检修周期。催化剂装填在管外, 工程设计上可以设置多支、多点热电偶温度计, 多平面监测床层轴向温度分布, 便于更好地调节生产操作参数。反应器设备规格适中, 设备投资和工程占地都较小。换热管内锅炉水完全实现自然循环, 生产中催化剂床层温度均匀, 同平面温差小于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。反应器经过多台设备的投运生产验证, 催化剂装卸均一次顺利完成。

3 甲醇合成装置运行考核情况

2020 年 11 月初, 浙石化对甲醇合成装置进行了 48 h 性能考核, 期间甲醇合成装置处于 100% 满负荷运行状态, 实际运行数据见表 1。由表 1 可知, 在生产考核期间, 粗甲醇小时平均产量约 54.9 t , 日产量约 $1\ 317\text{ t}$ 。

表1 48 h 性能考核实际运行数据

时刻	入塔气组成 / %			新鲜气流量 / $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$	循环气流量 / $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$	入塔气 温度 / $^{\circ}\text{C}$	入塔气压力 /MPa	系统压降 /kPa	粗甲醇产量 / $\text{t}\cdot\text{h}^{-1}$
	$\varphi(\text{H}_2)$	$\varphi(\text{CO})$	$\varphi(\text{CO}_2)$						
2020-11-03T08:00:00	82.8	6.6	0.9	112800	306580	185	6.16	170	52.56
2020-11-03T13:00:00	81.6	6.6	0.9	114300	326140	186	6.24	180	53.47
2020-11-04T08:00:00	78.0	7.3	1.1	121360	339230	186	5.97	195	55.70
2020-11-04T11:00:00	78.1	7.1	1.1	120000	342330	186	6.00	200	54.54
2020-11-05T08:00:00	78.0	7.5	1.2	123500	336760	188	5.86	200	58.14

在生产考核期间, 甲醇合成装置运行平稳, 床层温度均匀, 粗甲醇质量好, 副产物低, 性能考核结果见表 2。由表 2 可知: 粗甲醇质量分数约 96%, 净甲醇产量 $1\ 288\text{ t/d}$, 净甲醇新鲜气耗 $2\ 193\text{ m}^3/\text{t}$, 副产物中杂醇质量分数 $<2\ 000\times 10^{-6}$ (其中乙醇质量分数 $<500\times 10^{-6}$), 各项技术指标均优于保证值。

甲醇合成装置在 100% 负荷运行时, 循环比为 2.7~2.9, 催化剂床层热点温度 $252\text{ }^{\circ}\text{C}$, 位于催化剂平面下方约 $1\ 040\text{ mm}$ 深度位置。催化剂床层 DCS 温度分布示意图见图 2。

由图 2 可知, 催化剂床层同平面多点温差均 $<4\text{ }^{\circ}\text{C}$, 体现了绕管反应器先进的控温水平。

表 2 性能考核结果

	净甲醇产量 / $\text{t} \cdot \text{d}^{-1}$	净甲醇新鲜气耗 / $\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$	循环比	合成塔压降 /kPa	吨甲醇副产蒸汽 /t	粗甲醇质量分数 /%	乙醇质量分数 / $\times 10^{-6}$	杂醇质量分数 / $\times 10^{-6}$
保证值	1216.8	2320	3.2	<200	1.10	>95		≤ 2500
考核结果	1288.3	2193	2.7~2.9	<80	1.15	~96	<500	<2000

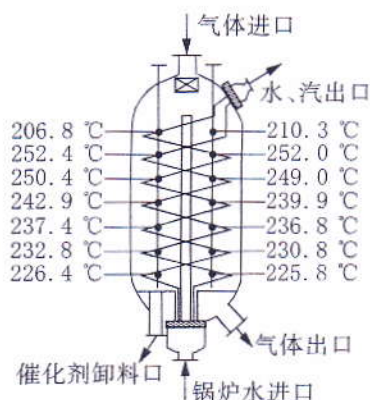


图 2 催化剂床层 DCS 温度分布示意图

根据现场运行的催化剂床层 DCS 温度数据和反应器模型模拟出床层温度分布曲线, 见图 3。从图 3 可以看出: 模拟校核出的床层温度分布曲线贴近床层温度 DCS 分布曲线, 表明绕管反应器数学模型中传热计算和催化剂动力学模拟计算的准确性较高。经过分析, 绕管水冷反应器换热内件的移热能力优于设计要求(要求同平面温差 $<5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 床层热点温度 $\leq 270\text{ }^{\circ}\text{C}$), 反应器的平均传热系数高于 $883\text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 较常规直管水冷反应器的平均传热系数 [$450\text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \sim 550\text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$] 高得多, 床层热点温度较出口温度仅高 $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右, 体现出绕管水冷反应器高效的移热优势。

由于绕管水冷反应器的催化剂装填在管外, 合成

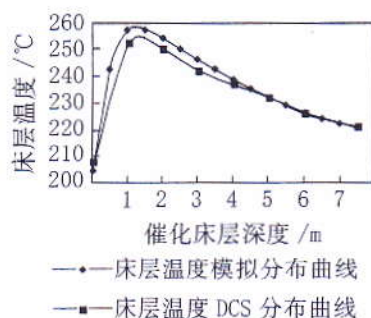


图 3 床层温度分布曲线图

气流通截面大, 反应器压降控制在 $60\text{ kPa} \sim 80\text{ kPa}$, 这一阻力降水平较国内外其他轴向流型甲醇反应器优势明显。催化剂的 CO 单程转化率高达 90% (前期活性)、碳效率 $>99\%$, 表现出良好的催化生产能力, 表明绕管水冷反应器可适配国内甲醇催化剂技术。

4 结 语

浙石化 40 万 t/a 甲醇合成项目自 2020 年初开车运行以来, 甲醇装置生产情况平稳, 甲醇合成反应器能在最佳工艺水平运行, 甲醇产量和关键工艺参数均达到设计指标, 反应器表现出先进的控温水平, 表明其可适配国内甲醇催化剂技术, 多层次多角度论证了反应器的安全可靠和催化剂的高性能水平。

Application of spiral-wound water-cooled methanol synthesis reactor technology

Wang Yuyao¹, Liao Youjun² and Zeng Wei²

(1. Hangzhou Linda Chemical Technology Engineering Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang 310000, China;

2. Zhejiang Petroleum & Chemical Co., Ltd., Zhoushan Zhejiang 316000, China)

Abstract The structure of spiral-wound water-cooled methanol synthesis reactor of 400,000 t/a methanol synthesis project in Zhejiang Petroleum & Chemical Co., Ltd. was introduced. During the 48 h performance test, under 100% full load operation, the crude methanol output of the unit was about 1,317 t/d, and all technical indicators were better than the guaranteed values. The multipoint temperature difference within the same plane of the catalyst bed was less than $4\text{ }^{\circ}\text{C}$. The average heat transfer coefficient of reactor was higher than $883\text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. The reactor pressure drop was controlled at $60\text{ kPa} \sim 80\text{ kPa}$. The CO single-pass conversion was up to 90% (start of run). The carbon efficiency was higher than 99%. This showed that the spiral-wound water-cooled methanol synthesis reactor had the characteristics of uniform bed temperature, efficient heat transfer, low pressure drop and good catalytic production, suitable for domestic methanol catalyst technology.

Key words methanol synthesis; spiral-wound water-cooled reactor; bed temperature distribution; heat transfer capacity; performance test