

Wiscalloy25-35Nb 炉管的使用及分析

张廷才

(中国石油化工股份有限公司广州分公司, 广州 510726)

摘要:回顾了转化炉原 HK-40 炉管的使用情况, 介绍了 Wiscalloy25-35Nb 炉管的应用及对炉管支撑方式的改造, 结合 Wiscalloy25-35Nb 炉管材质特点, 从炉管更换记录、操作参数监测、无损检测等方面对炉管现状做出评价, 并对今后炉管的操作和维护提出了建议。

关键词:转化炉; 25-35Nb 炉管; 无损检测; 高温蠕变

中图分类号:TE963 **文献标识码:**B **文章编号:**1006-8805(2004)01-0036-05

1 引言

广州分公司炼油四部制氢转化炉由原年产 300kt 合成氨装置的一段转化炉局部改造而成。原炉是 70 年代引进丹麦托普索技术, 由法国赫蒂蒂公司制造的双排侧烧式竖琴管工业炉, 290 根转化管原为进口的 HK-40 合金管, 1990 年炉管全部更换为美国 Wisconsin Centrifugal 生产的 Wiscalloy25-35Nb(HP-Nb) 离心铸造高温合金管。至 2000 年由化肥转产为制氢时, Wiscalloy25-35Nb 炉管已满负荷服役 9 年。转化炉为制氢装置的龙头设备, 转化管长期运行在苛刻的高温高压环境中, 服役过程中会发生蠕变、渗碳、热疲劳、过度氧化、腐蚀等现象, 这些因素使材料性能劣化, 再加上开停车的热冲击、疲劳及可能超温引起的损伤, 往往使炉管的实际使用寿命小于设计寿命而出现早期失效。因此, 客观科学的评价分析炉管的使用情况及现状, 对炉管今后的服役管理是非常必要的。

2 原 HK-40 炉管使用情况

1978 年 12 月我公司合成氨一段转化炉正式投产, 290 根转化管为 HK-40, 其化学成分见表 1; 规格为 $\phi 143 \text{ mm} \times 20.5 \text{ mm}$, 使用七年后即 1984 年, 部分炉管弯曲变形严重, 86 根炉管管口焊缝及母材发现微裂纹, 而且裂纹趋势是由内向外发展, 炉管底部有两处出现宏观裂纹。

经分析, 法型侧烧炉由于采用双排炉管, 使转化管向火面和背火面之间产生较大的温差, 最大达 $70^\circ\text{C}^{[1]}$, 瞬时最大的热应力高达 $74 \sim 85 \text{ MPa}$ 。炉管运行时, 其向火面的轴向膨胀远比背火面大,

从而使炉管产生弯曲。管壁温差产生的热应力在炉管高温长时间运行中会使炉管逐渐“松弛”, 因此停炉冷却后, 炉管不能复直。如此反复循环作用, 使炉管最终因弯曲而失效。失效炉管弯曲情况见图 1。



图 1 被换下的原 HK-40 弯曲失效炉管

3 Wiscalloy25-35Nb 炉管使用及支撑方式改造

3.1 换用 Wiscalloy25-35Nb 炉管

1990 年 12 月, 290 根转化管全部更换成 Wiscalloy25-35Nb(HP-Nb) 离心铸造高温合金管, 其化学成分见表 1。从表 1 可以看出 HK-40 及 HP-Nb 炉管属奥氏体钢, 都含有较高的 C、Cr、Ni 元素, 但 Wiscalloy25-35Nb 中含有更多的 Cr、Ni、Nb 元素, 这增强了 HP-Nb 管的高温力学性能^[2]。

收稿日期:2003-05-20

作者简介:张廷才(1972—), 男, 甘肃人。1995 年毕业于兰州石油学校机械专业, 毕业后一直在广州石化分公司生产装置上从事设备管理工作。现为炼油四部制氢装置设备工程师。2000 年现场攻关成果《延长高压蒸汽转化炉 F1203 炉墙使用寿命》获广东省重化厅一等奖; 已发表科技论文 4 篇。

Wiscalloy25-35Nb 管的机械性能见表 2。由于大大提高了炉管的高温强度,所以在同样压力条件下,可以减小炉管的壁厚,Wiscalloy25-35Nb 炉管的规格为 $\phi 140\text{ mm}\times 15\text{ mm}$,这样不仅将炉管壁厚由原来的 20 mm 减小到 15 mm,还增加了炉管的内径,从而增加了触媒的装填量,这样有利于减小炉管壁厚温差,降低热应力,防止炉管局部超温。

表 1 HK-40 及 HP-Nb 炉管化学成分

钢号		C	Mn	Si	Cr	Ni	Nb	P	S	Pb
HK-40	最大含量	0.38			23.00	19.00				
	最小含量	0.48	1.75	1.75	27.00	22.00		0.04	0.04	
HP-Nb	最大含量	0.35			23.00	32.00	0.60			
	最小含量	0.45	0.70	1.50	27.00	37.00	1.00	0.03	0.03	0.01

表 2 Wiscalloy25-35Nb 炉管设计条件及机械性能

设计温度	900℃
设计压力	3.8MPa
水压试验	30MPa
制造验收标准	ASTM A351/A351M-1986
室温机械性能	$\sigma_b>450\text{MPa}$, $\sigma_{0.2}>230\text{MPa}$, $\delta_5>8\%$
900℃机械性能	蠕变断裂应力大于 40MPa 时,断裂时间大于 1000 小时

3.2 改造炉管支撑方式

转化管的质量原设计全部由炉管底部的支撑座独立支撑,如图 2 所示。

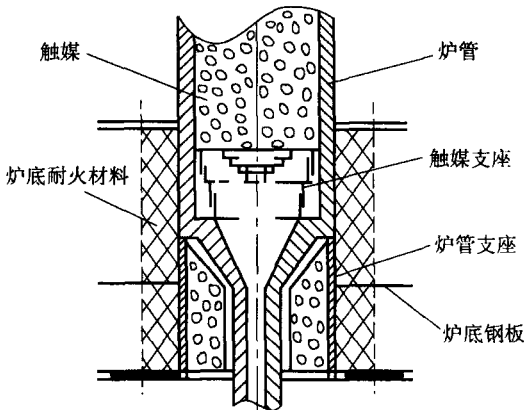


图 2 炉管支撑示意

每根炉管含触媒的质量为 657kg (炉管 557kg+触媒 100kg),再加上管内介质的冲击压力,炉管在高温下极易产生弯曲应力及振动,致使炉管弯曲,触媒振碎,管内气流阻力增大,使炉管超温。1990 年在炉管更换为 Wiscalloy25-35Nb 管时,改用立式恒力弹簧吊架(型号 LH15),从炉顶吊着炉管的上法兰,详见图 3。LH15 立式恒力吊架按照 JB 2654-1981 技术条件制造,每组 29

根炉管有 14 个载荷为 1228kg 及一个载荷为 591kg 的恒力弹簧吊架。Wiscalloy25-35Nb 管的热态伸长量约为 170mm,而每个弹簧吊架最大的允许垂直位移为 190mm,弹簧吊架按炉管及触媒总质量的 90%~95%选型,不会将炉管吊离下支撑座,约 5%的质量仍由下支撑座承受。这样的改造大大减小了炉管自重及介质冲击引起的炉管弯曲应力及振动,对延长炉管寿命起到了很好的作用。

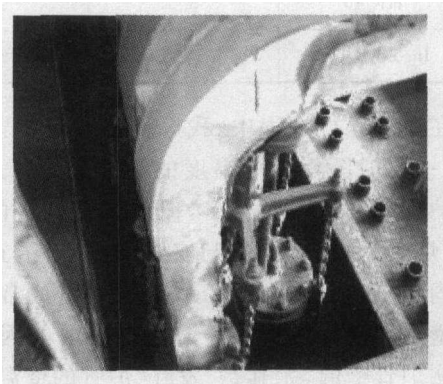


图 3 恒力弹簧吊架吊着炉管上法兰

4 Wiscalloy25-35Nb 炉管服役情况

更换后的 Wiscalloy25-35Nb 转化管服役 9 年来,未发生过炉管开裂失效和弯管现象,没有因炉管寿命原因而造成非计划停车及换管。2000 年金相检查及超声波检查结果表明,炉管状况良好,仍有一定时间的剩余使用寿命,这与炉管良好的操作条件及维护管理有着密不可分的关系。

4.1 炉管更换记录

转化管服役 9 年来的更换情况详见表 3。经分析,2003 年需更换的两根炉管上的凹坑,是 1999 年大修时在炉管表面附着的污物未清除干净,导致高温氧化腐蚀所造成的,属于炉管非正常

的事故损伤,不代表该批炉管寿命的长短。但同时也说明了炉管维护的重要性,历年来我们都要求炉膛大修时先用薄膜塑料包住炉管,然后才允许在炉内施工。

4.2 操作参数监测

新转化炉运行过程中,严格监测炉管管壁温度是十分重要的,从权威的 API 530 标准提供的计算应力曲线可知,即使对于高铬镍合金炉管,在高温区管壁温度每增加 10℃,设计寿命也有可能缩短 20000h,参见表 4。对于 HP-Nb 这样“高级”

的材料,情况也是一样的^[4]。

因为转化反应是吸热反应,所以提高温度有利于加快反应速度,有利于提高氢气产量;但是为了延长炉管的使用寿命,管壁金属温度又应该越低越好,两者是矛盾的,这意味着必须全面合理地决定炉温(包括烟气、管壁金属、管内流体的温度)的总体水平。为了延长炉管使用寿命,应使管壁金属最高温度的计算值不超过 930℃,设计值最好控制在 900℃以下。我厂操作规程对管内流体出口温度,要求控制在 750~790℃。

表 3 炉管更换记录

换管时间	管号	换管原因
1998 年	B ₂ ⁶ 号, B ₄ ⁶ 号	转化管内触媒托架变形,因托架已无法取出,不得已换管
2003 年	A ₁ ⁷ 号, B ₄ ² 号	距炉底 1.6~1.8m 处各发现 1 个直径 2~3mm、深度约 3mm 的凹坑

表 4 管壁最高温度与设计寿命

材料	应力/MPa	在下述设计寿命下的管壁最高温度/℃			
		100000h	60000h	40000h	20000h
HK-40	8.0	932	952	963	982
Incoloy800H	11.3	858	872	882	900

在炉管运行过程中,我厂严格控制工艺操作指标,一段炉历年操作温度的记录见图 4。虽然影响炉管寿命的因素很多,但对一台特定的炉子而言,炉管的设计、制造与安装质量已定,正常情况下内压、管内介质的组成、流量可看成常量,因而管壁温度成为影响炉管寿命最主要的因素,所以检测炉管壁温,尤其是“发红”炉管的壁温,了解炉管使用状况是一个重要的信息。

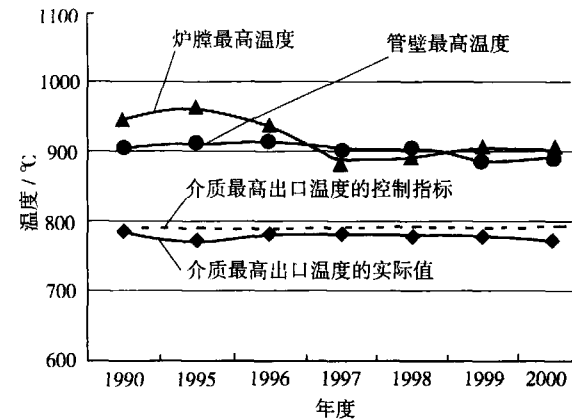


图 4 转化炉历年操作温度曲线

管内压力记录见图 5。由图 4、图 5 可以看出,转化炉的使用条件是符合设计要求的,100%达到了我厂控制指标及设计指标的要求,没有超温、超压的历史记录。

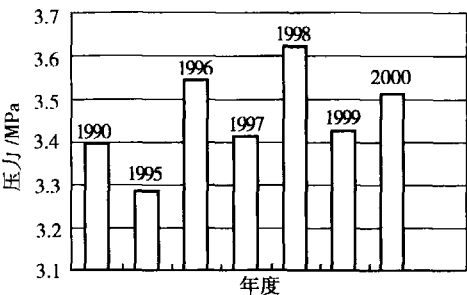


图 5 转化炉历年进气压力曲线

4.3 无损检测情况

4.3.1 超声监测

目前工厂中广泛应用的是衰减法,其原理为材料蠕变损伤产生的微小缺陷使超声波发生散射,从而使超声波能量发生衰减。应用此法评定时要考虑超声波透射能量大小还与晶粒形状以及晶粒大小相关。此法缺点是灵敏度不高,小于

2mm 的裂纹检查不出来,另外只能作定性评价,将检测的结果分为四个级别:

- A 级:寿命损伤 0%,无晶状形蠕变空隙;
- B 级:寿命损伤 30%,空隙分散,未形成队列;
- C 级:寿命损耗 50%,空隙形成队列,但未形成链;
- D 级:寿命损耗 75%,空隙形成链状,相互连接成为微裂纹,但微裂纹是分布在有限的区域内,尚未达到管壁壁厚的 $\frac{1}{2}$ ^[5]。

我厂一段转化炉于 1996 年及 1999 年对炉管进行了全面超声波“爬管”检测,检测结果见表 5,炉管的状况良好。但 1999 年时,A 级管已经明显减少,B 级管明显增加,炉管随着服役时间的延长,渐渐在老化。没有出现 C 级管和 D 级管,炉管仍有剩余的使用寿命,至少可以再使用一个大修周期。

表 5 超声波检测结果

检测时间	受检炉管数	A 级管	B 级管	C 级管	D 级管
1996 年	290 根	135 根 占炉管总数 46.5%	155 根 占炉管总数 53.5%	0	0
1999 年	286 根	29 根占 炉管总数 10.1%	257 根 占炉管总数 89.9%	0	0

4.3.2 金相分析

炉管长期在高温、应力和介质共同作用下服役,材料的微观组织会发生变化,如碳化物的析出、蠕变空洞的增殖等等。金属组织变化测定法就是通过测定组织的变化来评价炉管的剩余寿命。1999 年大修时,根据测温监视记录,对于运行中的 3 根“发红”管,从中下部选点进行了金相复膜分析。其焊缝组织为铸态奥氏体,见图 6。母材组织为奥氏体加沿晶网状碳化物及晶内球状碳化物,见图 7。热影响区组织为奥氏体加沿晶网状碳化物及晶内球状碳化物,见图 8。

炉管在高温受压状况下,不稳定的 M_7C_3 碳化物转变成 $M_{23}C_6$ 碳化物并沿晶分布,仍呈骨架状。从奥氏体析出的二次碳化物弥散于基体高能晶面,能够提高材料的持久强度。随着高温时效的增长,弥散于基体高能晶面的 $M_{23}C_6$ 碳化物合并长大,形成球状或粒状体,晶界碳化物呈链状。图 6~图 8 是正常的中晚期高温时效组织图。

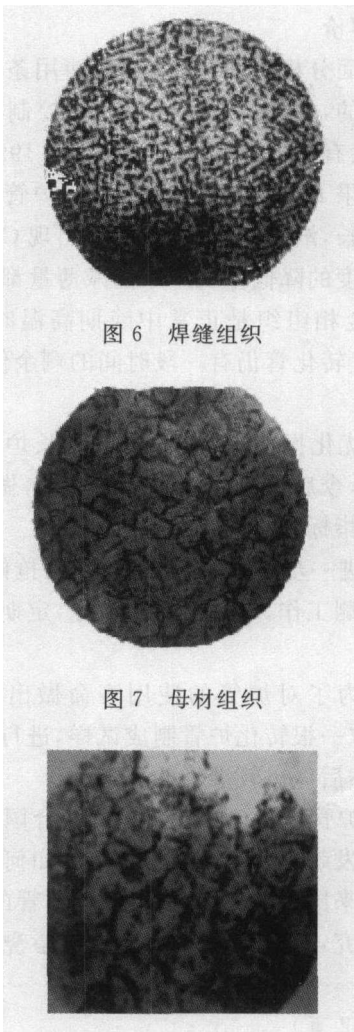


图 6 焊缝组织

图 7 母材组织

图 8 热影响区组织

4.3.3 硬度及壁厚监测

硬度的测定能够反映二次碳化物晶间粗化的程度,从而间接反映蠕变损伤的变化趋势。厚度的测定能够直接反映炉管的减薄量,判定壁厚能否满足设计强度的要求。转化炉管硬度和厚度的测定值见表 6。

表 6 炉管硬度、厚度测定值

测定时间	管号	硬度/HB		厚度/mm	设计厚度/mm
		焊缝	母材		
1990 年	B ₂ ^{6号} , B ₄ ^{6号}	160	155	15.7	14
2000 年	A ₁ ^{7号} , B ₄ ^{2号}	154	149	14.9	14

注:表中所列数值为 35 个测量点的平均值。

由表 6 可以看出,硬度的降低量及壁厚的减薄量都在安全范围内,仅从硬度和厚度来看,炉管仍能安全运行。

5 现状评价

从上面分析可知,转化炉的使用条件是符合设计要求的,并 100% 执行了我厂控制指标及设计指标,没有超温超压的历史记录。1999 年超声波监测结果 B 级管明显增加,说明炉管随着服役时间的延长,渐渐在老化,但没有出现 C 级管和 D 级管。硬度的降低量及壁厚的减薄量都在安全的范围内,金相组织是正常中晚期高温时效组织。所以,我厂转化管仍有一段时间的剩余使用寿命。

6 建议

(1) 优化操作、精心维护是延长炉管使用寿命的基础,今后要严格控制工艺参数,做到 100% 贯彻控制指标,杜绝超温超压。

(2) 进一步加强转化炉的日常、抢修、大修时的监视检测工作,掌握第一手数据,定期对转化管做出评价。

(3) 为了对炉管的使用寿命做出定量的评价,应抽取一根转化炉管制成试样,进行定量的寿命分析,然后做出较准确的评测。

(4) 炉管已处于中晚期,应结合国内外高温炉管的研发趋势,着手考虑下一步如何换管的问题。近年来国内许多文献对国产炉管的质量、寿命进行研究,普遍认为国产高温离心浇铸炉管质

量已经过关,如文献[7]、[8]认为:国产 ZG4Cr25Ni35WNb 离心铸管的高温持久性明显好于进口的 KHR35-CW 离心铸管,尤其国内某些合资厂生产的离心铸管有较好的综合性能。

参考文献

- 1 于永泗等. 安庆化肥厂 HK40 转化炉管组织与性能的研究:侧烧炉炉管弯曲原因和矫直可行性的分析研究报告[R]. 大连:大连工学院工程系高温材料研究室, 1987
- 2 大连工学院金相专业编. 金属材料[M]. 北京:石油化学工业出版社,1985
- 3 陈彦泽. 温度分布不均匀对炉管弯曲变形影响[J]. 石油化工设备,2000,9(5)
- 4 侯德民. Kellogg 型一段转化炉管理 22 年[J]. 泸天化科技,1999(2)
- 5 潘文越. 高温炉管剩余寿命评价技术最新进展[J]. 江苏化工,1985(2)
- 6 季新生. 乙烯装置裂解炉管高温断裂失效分析[J]. 乙烯工业,1999(2):34~37
- 7 王卫东. 乙烯裂解炉管高温组织与持久性能的试验研究[J]. 石油化工设备技术,1996,17(5):41
- 8 王卫东等. ZG4Cr25Ni35WNb 离心浇铸管剩余寿命预测[J]. 石油化工设备技术,1996,17(2):27

(上接第 22 页)

针对以上情况,如图 5 所示,在管箱端面,可采用较大面积的板材分块密封,通过螺栓把紧垫片,容易保证密封质量。也便于设备检修中的管子疏通或堵漏施工,即便发生堵漏堵头失效的情况,也可利用宽裕的空间,拔除堵头重堵或直接焊死,彻底解决管子泄漏问题。

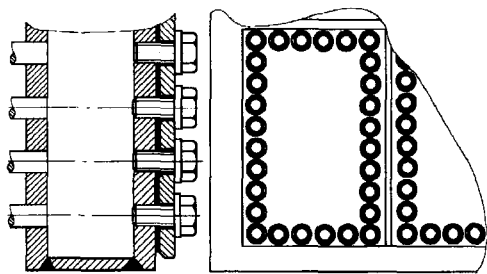


图 5 管箱端面盖板封堵形式

此外,对于光管、翅片管形成的复合结构空冷器,即同一台空冷器中,下部为光管喷淋形式,上部为翅片管箱形式的干空冷器,若上部翅片管子

发生泄漏,生产中难以进行在线查漏、堵漏,故障影响极大。若改用分块密封,则可充分利用两端空间进行单根管子试漏、堵漏处理。

5 结束语

管式空气冷却器的失效形式和原因是多种多样的,与冷却器的设计、制造、防腐、介质环境、冷却水质量等许多方面有关。在设备设计与应用选型中,必须综合考虑生产实际条件,考虑到设备材质和防腐要求,优化设备结构,才能更好地在工业应用中发挥设备的效能。

参考文献

- 1 萧前. 化工机械制造工艺学[M]. 北京:轻工业出版社,1990
- 2 高护生. 腐蚀与防护学[M]. 陕西科学技术出版社, 1994
- 3 卢绮敏等. 石油工业中的腐蚀与防护[M]. 北京:化学工业出版社,工业装备与信息工程出版中心,2001

pany, P. C 471012

Abstract In combination with the common failure shape of concentrated type air cooler tube bundle in the application on Industry, the reason of tube bundle failure leakage was analyzed. The improvements were proposed from the fields of design, fabrication, application and maintenance. The improving thought of structure design was given.

Keywords Air cooler, Failure analysis, Counter-measure, Improvement

TRANSFORMATION OF MAIN BEARING SHOE FOR DOMESTIC VACUUM FILTER

Wang Ruijin. CNPC Da Lian petrochemical company, P. C 1160321

Abstract The transformation of main bearing shoe material for domestic vacuum filter was carried out directly. The bearing shoe material, been suited for use in the operation working condition of filter, was developed. The service life of equipment components was prolonged, and the requirement of equipment operation was satisfied.

Keywords Vacuum filter, Main bearing shoe, New material

DISCUSSION ON DRYING AND PURIFICATION OF COMPRESSED—AIR IN REFINERY

Mu Ping. SINOPEC engineering incorporation, P. C 100011

Abstract The purification requirement and purification method of compressed—air in refinery was mentioned in this article. The comparisons of technical economic between several adsorptive. Dryer were made. The results of comparisons denoted that the inner micro—heat regeneration type dryer was the best in energy—saving. The matters needing attention in design of compressed—air drying and purification were discussed.

Keywords Compressed—air, Dryer, Micro—

heat regeneration type dryer

FINITE ELEMENT METHOD SOLVING THE DYNAMIC RESPONSE OF CANTERLIVER AGITATION SHAFT

THE SECOND PART: INFLUENCE OF EVERY KIND PARAMETER ON DYNAMIC RESPONSE

Li Jianfeng, et al. Bei Jing chemical engineering university electromechanical engineering institute, P. C 100029

Abstract On the basis of finite element method solving the dynamic response for cantilever agitation shaft, the influence of agitation structure parameters on shaft dynamic response was analyzed in this article. The relationship between agitation shaft rotation speed and dynamic response was researched. The working rotation speed location, been suited for the existent load—bearing agitation shaft was grasped.

Keywords Agitation shaft, Dynamic response, Finite element method, Parameter discussion

ANALYSIS OF WATER ADMMISSION DAMAGE ON Cr5Mo FURNACE TUBE AND ITS HANDLING METHOD

Zhu Ruisong, et al. Yang Zi petrochemical company aromatic plant, P. C 210048

Abstract The damage and inspection situation of reboiler furnace firebox after water admission were recommended. The damage degree of Cr5Mo furnace tube was analyzed. The reasonable handling method was made. This experience could be used for reference to similar problems.

Keywords Cr5Mo, Furnace tube, Nondestructive examination

APPLICATION OF Wiscalloy25 — 35Nb FURNACE TUBE AND ANALYSIS

Zhang Tingcai. SINOPEC Guang Zhou branch company, P. C 510726

Abstract The application situation of original HK40 furnace tube of conversion furnace was re-

viewed. The Wiscalloy 25—35Nb application and the transformation of furnace tube supporting method were recommended. In combination with the features of Wiscalloy 25—35Nb furnace tube material, the evaluation of present furnace tube situation was conducted from the fields of record of changing furnace tube, operation parameters monitor and nondestructive examination. A suggestion of furnace tube operation and maintenance from now on was made.

Keywords Conversion furnace, 25—35Nb furnace tube, Nondestructive examination, High temperature creep deformation

REASON ANALYSIS ON TUBE BLAST OF WATER COOLING WALL TUBE FOR CO BOILER

Chen Yingfeng. SINOPEC Fu Jian branch company, P. C 362800

Abstract The tube blast of CO boiler water—cooling wall tube affected seriously the normal safe production. By means of macroscopic and microscopic examination, the tube blast reason was found out. The corresponding measure was proposed. Some basis of safe operation of CO boiler from now on was suggested.

Keywords Boiler, Tube blast, Safety analysis

REASON ANALYSIS ON COMMON FAILURE OF LARGE—SCALE CENTRIFUGAL COMPRESSOR SET AND ITS HANDLING

Chen Zonghua, et al. Tian Hua chemical machine and automation research design institute, P. C 730060

Abstract The category, name, reason, analysis and handling on common failure of large—scale centrifugal compressor set were recommended in this article. The corresponding failure reason analysis and handling program were compiled. So the useful help to diagnosis, reason analysis and handling of common failure for large—scale centrifugal compressor set was proposed.

Keywords Large—scale centrifugal compressor set, Failure, Reason, Analysis, Handling

CORROSION ANALYSIS AND PROTECTION ON PROCESS EQUIPMENT IN HYDROCRACKING UNIT

Yu Guoqing, et al. Zhen Hai refined chemical company, P. C 315207

Abstract The corrosion situations of process equipments in processing high—sulphur oil for the first set domestic hydrocracking unit were analyzed. The protection was discussed. The suggestion of safe operation for that unit was proposed.

Keywords Hydrocracking unit, High temperature sulphur corrosion, H₂S stress corrosion, Protection

APPLICATION OF STEEL PLASTIC CLAD PIPE FITTINGS ON NAPHTHENIC ACID UNIT

Song Quanxi. SINOPEC Luo Yang branch company, P. C 471012

Abstract In accordance with the medium property of naphthenic acid unit for Luo Yang Branch Company, the difficulty of equipment material selection for naphthenic acid unit was analyzed. The application effectiveness of steel plastic clad pipe fittings at that unit was recommended.

Keywords Steel plastic clad pipe fittings, Naphthenic acid unit, Application

DEFACT ANALYSIS ON WELDING JOINT FOR MARINE PLATFORM

Xiao Wengong. SINDPEC Sheng Li oil fields capital construction department, P. C 257001

Abstract The defects of welding joint for marine platform structure, the harm and the cause of every defect were analyzed.

Keywords Marine platform, Welding, Defect, Analysis

FAILURE ANALYSIS ON SHAFT SEAL