

文章编号:1674-2869(2012)04-0047-06

齿轮泵装配过程的综合评价

曹鹏彬,曹立峰

(武汉工程大学机电工程学院,湖北 武汉 430074)

摘要:对齿轮泵的装配过程评价进行研究,旨在实现齿轮泵装配序列及装配操作工艺的综合评价.构建了装配操作方便性、装配精度保证性、装配工艺简单性和装配可行性 4 个一级指标下的 16 个二级评价指标,采用层次分析法确定了各指标的权重.此外,利用最优参考集和定量计算相结合的方法,得到待评价序列在各指标下的隶属度,实现了装配过程的模糊综合评价.最后,以 CB 型齿轮泵的装配过程为例,验证了评价方法的可行性和实用性.可为工程实际中齿轮泵的装配规划提供依据和参考.

关键词:装配过程评价;装配序列;综合评价指标;最优参考集;模糊评价

中图分类号:TH164

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2012.04.012

0 引言

齿轮泵结构紧凑,是化工机械中比较常用的流体介质传递工具.由于传输介质的特点,齿轮泵本身必须能适应化工过程中经常会遇到的高、低压和高、低转速以及强腐蚀性等特殊条件,此外齿轮泵的易损零件较多.由于装配方案和装配质量对于齿轮泵的功能、性能以及可靠性有着较大影响,这对齿轮泵的装配规划提出了较高要求.

装配评价可为齿轮泵的装配规划提供依据,从而得到较优的装配序列.关于装配序列的评价方法很多,如周开俊等^[1]提出了一种基于熵权与模糊集的综合评价方法, HU 等^[2]阐述了一种支持可视化评价装配顺序的方法,李磊等^[3]提出了针对装配序列的模糊综合评价过程的实现方法,张嘉易等^[4]阐述了最优有序参考集确定隶属度计算的方法,王孝义等^[5]给出了一种基于有向图的活动序列相似度的计算方法.大多数装配评价方法主要对产品的装配序列进行评价,而对装配操作工艺考虑不够全面.

针对齿轮泵的装配过程,建立了装配操作方便性、装配精度保证性、装配工艺简单性和装配可行性 4 个一级指标下的 16 个二级评价指标,对齿轮泵的装配序列及装配操作工艺进行综合评价.采用层次分析法确定各指标的权重,利用最优参考集和定量计算相结合的方法,得到待评价序列在各指标下的隶属度,实现了装配过程的模糊综

合评价.以 CB 型齿轮泵的装配过程为例,验证了评价方法的可行性和实用性.对齿轮泵的装配过程评价进行研究,旨在为齿轮泵的装配规划和自动化装配提供依据和参考.

1 装配过程综合评价指标

在文献[6]的基础上,根据齿轮泵装配过程的特点,综合考虑装配工艺方面的因素,构建了装配操作方便性、装配精度保证性、装配工艺简单性和装配可行性 4 个一级指标下的 16 个二级指标,如图 1 所示.

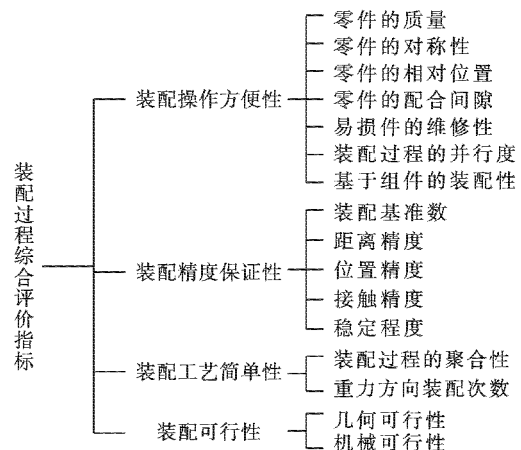


图 1 装配过程综合评价指标

Fig. 1 Comprehensive evaluation index of assembly process

1.1 装配操作方便性

装配操作方便性主要考虑单个零件的特征是

收稿日期:2011-01-11

基金项目:湖北省自然科学基金项目(2008CDB292);湖北省教育厅优秀中青年人才项目(Q20091506);武汉工程大学青年科学基金资助项目(Q200910)

作者简介:曹鹏彬(1974-),女,湖北武汉人,副教授,博士.研究方向:智能设计、智能装配技术等.

否便于装配操作的顺利进行,包括零件的质量、零件的对称性、零件的相对位置、零件的配合间隙、易损件的维修性、装配过程的并行度和基于组件的装配性等7个二级指标。

(1) 零件的质量 u_{11}

在齿轮泵的诸多零件中,各零件大小和质量不尽相同,一般按照零件质量的大小来规划装配顺序.质量越大的零件越应该先行装配,各零件的质量大小可以从 PRO/E 中进行提取。

(2) 零件的对称性 u_{12}

具有结构对称性的零件在任意状态下不需重定向,而结构不对称的零件在装配时需要进行重定向,越往后装配就越困难.因此,结构不对称的零件越应该先行装配。

(3) 零件的相对位置 u_{13}

根据零件在装配体中的位置,从装配操作方便性考虑,在一般的装配过程中,应该遵循从里到外的装配原则。

(4) 零件的配合间隙 u_{14}

配合间隙由该单元体与其他相关装配件之间的配合间隙下偏差来确定的.当存在多个装配关系时,取间隙下偏差最小的.配合间隙的大小决定

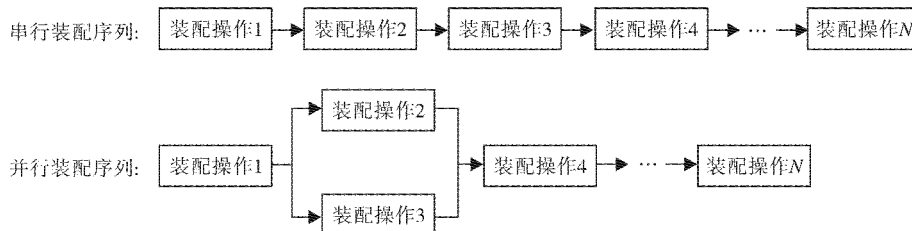


图2 串行装配序列和并行装配序列

Fig.2 Serial and parallel assembly sequence

1.2 装配精度保证性

装配精度保证性主要考察装配序列是否便于装配精度的检查和调整.装配精度的影响因素很多,主要包括装配基准数、距离精度、位置精度、接触精度和稳定程度等5个二级指标。

(1) 装配基准数 u_{21}

表示一个零件作为其他零件装配基准的数量,基准数越多的零件应先行装配。

(2) 距离精度 u_{22}

如果空间两点之间的距离误差在某个范围内,称这两点之间的距离满足距离精度要求.距离精度越高的零件应先行装配。

(3) 位置精度 u_{23}

影响装配精度的相关位置精度主要有直线位移度、轴线位移与倾斜度、平面位置和平行度.位置精度越高的零件应先行装配。

(4) 接触精度 u_{24}

了装配力的大小和装配方法的选择,配合间隙越小的零件越应先行装配。

(5) 易损件的维修性 u_{15}

齿轮泵的易损件主要有机械密封(如密封圈和密封环)和轴套等.由于易损件经常需要维修或者更换,从而需要进行频繁的拆卸和装配,因此易损件的拆卸和装配操作应该尽量简便,并使得为了拆除易损件而需要拆卸的零件数目尽可能少,以提高维修性。

(6) 装配过程的并行度 u_{16}

装配过程的并行度是指将整个产品的装配过程分为几个部分同时进行装配的能力,即装配序列能够并行完成的程度.图2表示了串行装配序列和并行装配序列.显然,并行装配的零件数越多,装配时间就越短,装配效率就越高。

(7) 基于组件的装配性 u_{17}

在不同型号的齿轮泵中,某些装配组件结构相似,隐含了可重复利用的装配知识.评价装配序列时,可将基于组件的装配作为一个评价指标.例如在齿轮泵中,将主动轴、主动齿轮键和主动齿轮作为一个主轴组件进行装配,可以提高装配效率。

接触精度直接影响传动质量和承载能力.齿轮泵中零件间接触主要包括键与键槽之间的接触、齿轮与齿轮之间接触.为了保证接触精度要求,一般先对接触精度要求较高的装配件进行装配。

(5) 稳定程度 u_{25}

稳定程度指已装配零件在重力和装配力的作用下保持稳定的能力.零件的稳定程度越高,装配的精度越容易得到保证,此外还可以减少辅助夹具的使用,从而减少装配时间和装配成本。

1.3 装配工艺简单性

装配工艺简单性主要考虑连续的装配操作过程中装配工艺的复杂程度,它直接影响装配效率,包括装配过程的聚合性和重力方向装配次数2个二级指标。

(1) 装配过程的聚合性 u_{31}

装配过程的聚合性是指在装配序列规划时应该使装配过程中相似的装配操作集中完成,以减

少装夹次数和更换装配工具的次数,节省装配时间.通常以装配工具的改变次数和使用辅助工具的种类衡量聚合性.

(2)重力方向装配次数 u_{32}

装配方向如果不沿着重力方向,则需要调整装配零件以适应装配方向,还可能会需要辅助夹具和装配工具.为了避免重定向,装配方向应尽量沿着重力的方向.重力方向的装配次数越多,产品的装配效率就越高.

1.4 装配可行性

装配可行性包括几何可行性 u_{41} 和机械可行性 u_{42} 2个二级指标,其目的是排除无法装配的序列,从而得到可行装配序列.

机械可行性是指机械手、装配工具等是否有足够的作业空间.一般将机械手和装配工具等也看作为组成装配体的“虚零件”,并将其与被作用零部件间的关系看成“装配关系”.因此,机械可行性和几何可行性一样,可以利用 PRO/E 装配模块中的干涉检查功能进行判断.

2 综合评价指标的计算

装配序列指装配体在一定约束条件下的装配顺序,是装配工艺规划的重要内容^[7].如何在多个可行装配序列中筛选得到符合装配工艺约束条件的最佳装配方案是装配序列评价的主要目的之一^[4].为此,需要对装配过程综合评价指标进行定量计算.首先给出装配过程的并行度、装配过程的聚合性和装配可行性(包括几何可行性和机械可行性)这4个评价指标的隶属度计算方法,然后基于最优参考集计算其余评价指标下的装配序列相似度,最后采用层次分析法计算各指标的权重,进而实现装配过程的模糊综合评价.

2.1 并行度和聚合性及可行性的隶属度

2.1.1 并行度的隶属度 并行装配的零件数越多,并行装配的时间就越短,装配序列的并行度就越好.本文在文献[8]的基础上,将并行度的隶属度定义为

$$\begin{cases} f_{16} = \frac{PD}{N} \\ PD = \sum_{i=1}^p \frac{(PP_{i1} + PP_{i2})}{\max(t_{i1}, t_{i2})} \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中 P 表示装配序列中可进行并行操作的次数; t_{i1}, t_{i2} 分别表示第 i 个并行操作中,并行分支 1 和 2 所用的装配时间 ($i = 1, 2, 3, \dots, p$); PP_{i1}, PP_{i2} 分别表示第 i 个并行操作中,并行分支 1 和 2 的零件数量; PD 为单位时间并行操作的零件数; N 为零件的总数.

2.1.2 聚合性的隶属度 在文献[4]的基础上,将聚合性的隶属度定义为

$$f_{31} = \frac{x}{N_{\text{all}}}, x = \sum_{i=1}^r N_i \quad (2)$$

式(2)中 N_{all} 为装配序列中装配操作的总数, N_i 为序列中第 i 种装配操作连续完成的次数, r 为序列中装配操作类型的数量.

2.1.3 可行性的隶属度 可行性评价主要是针对装配过程中干涉的零件个数进行统计,干涉零件个数越少表明装配可行性越好.将几何可行性的隶属度定义为

$$f_{41} = 1 - \frac{x}{N} \quad (3)$$

式(3)中 x 为装配过程中发生干涉的零件个数, N 为装配零件的总数.

机械可行性的隶属度 f_{42} 的定义与式(3)相同.

2.2 装配序列相似度的计算

装配序列相似度是指在每个单独评价指标下,按照各自的评价标准,分别建立在该指标下的最优参考序列(称为最优参考集),然后判断待评价装配序列与最优参考集的相似程度.为了便于比较最后的评价结果,将评价价值设定在 0~1 之间.由此可以分别得到待评价装配序列在除并行度、聚合性、几何可行性和机械可行性 4 个评价指标外的其余 12 个评价指标下的相似度 f_{ij} ($i = 1, 2, 3, 4; j = 1, 2, \dots, n$),其中 n 为 4 个一级指标下分别对应的二级指标数目.

2.3 装配过程的综合评价

采用层次分析法确定各评价指标的权重.综合评价法是指将多个评价指标转化为一个反映综合情况的评定值从而对评价对象作出评价^[9].设二级评价指标的权重为 w_{ij} ($i = 1, 2, 3, 4; j = 1, 2, \dots, n$),其中 n 为 4 个一级指标下分别对应的二级指标数目;设一级评价指标的权重为 w_i ($i = 1, 2, 3, 4$),则装配序列的模糊综合评价可用式(4)、(5)计算:

$$M = \sum_{i=1}^4 w_i M_i \quad (4)$$

$$M_i = \sum_{j=1}^n w_{ij} \cdot f_{ij} \quad (i = 1, 2, 3, 4; j = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

式(5)中 f_{ij} 的计算见 2.1 节和 2.2 节.

由于最优参考集都是按照有利于评价的方向进行,评价价值 M 越大,表明该装配序列越好,故选择排序值最大的装配序列作为最优方案.

3 应用实例

以 CB 型齿轮泵为例,对其 4 条装配序列进行

评价. 齿轮泵的装配模型和装配序列分别如图 3、图 4 所示.

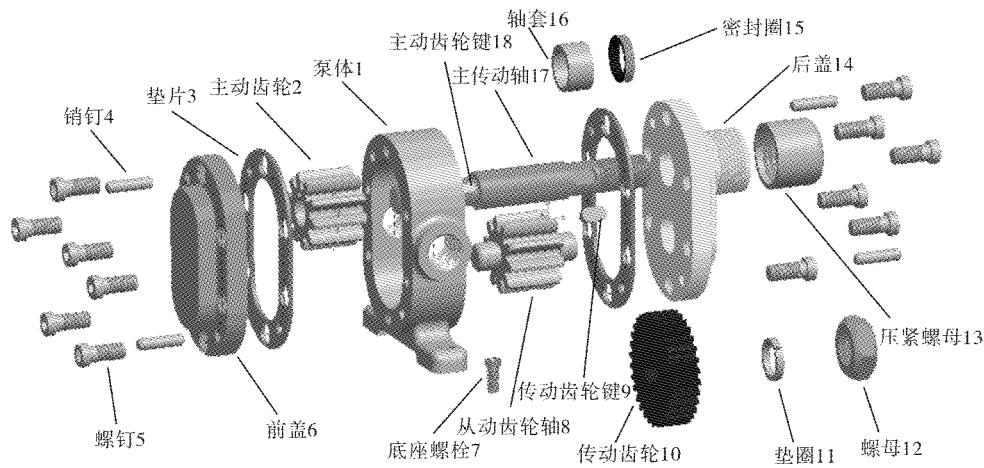
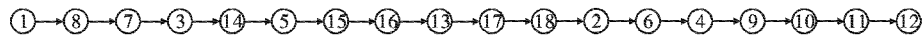


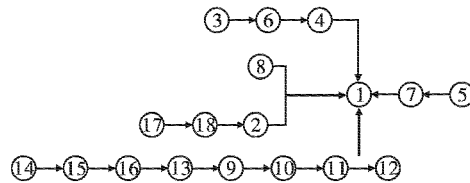
图 3 CB 型齿轮泵的装配模型

Fig. 3 Assembly model of the CB gear pump

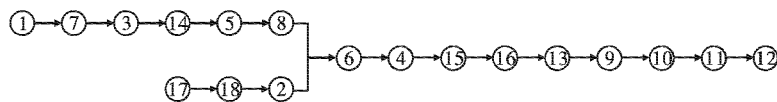
装配序列(a):



装配序列(b):



装配序列(c):



装配序列(d):

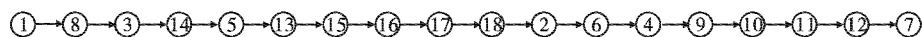


图 4 CB 型齿轮泵的装配序列

Fig. 4 Assembly sequences of the CB gear pump

3.1 评价指标的权重评判

在给定的 4 条装配序列中, 首先对装配可行性进行判断, 排除不可行的装配序列. 通过装配可行性分析, 可以得出: 装配序列(a)、(b)和(c)满足可行性条件; 而装配序列(d)中, 由于先装零件 13, 使得零件 15 和 16 这两个零件无法装配, 也就是说零件 15 和 16 应该先于零件 13 装配, 所以装配序列(d)为不可行装配序列, 在后续评价中不予以考虑.

根据各级指标对装配质量影响的重要程度, 利用层次分析法分别确定一级评价指标和二级评价指标的权重.

一级指标包括装配操作方便性、装配精度保证性、装配工艺简单性和装配可行性 4 个指标, 其权重为

$$A = (A_1, A_2, A_3, A_4) = (0.3, 0.3, 0.2, 0.2)$$

二级指标权重分别为

$$w_{1j} = (0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 0.2, 0.2, 0.2, 0.1)$$

$$w_{2j} = (0.16, 0.16, 0.16, 0.16, 0.32); w_{3j} = (0.5, 0.5)$$

$$w_{4j} = (0.5, 0.5)$$

3.2 装配序列相似度的计算

根据 2.2 节的计算方法, 在“零件的质量”评价指标下, 装配序列(a)的相似度为

$$f_{11} = \frac{\sum_{n=1}^{18} Y_n}{N} = \frac{11}{18} = 0.61111$$

按照上述方法, 同理可得到装配序列(a)、(b)、(c)在各评价指标下的相似度 $f_{ij} (i=1, 2, 3, 4; j=1, 2, \dots, n)$, 如表 1 所示.

表1 装配序列(a),(b),(c)的相似度
Table 1 Similarity evaluation of the assembly sequence (a),(b),(c)

一级评价 指标	一级 指标 权重 w_i	二级评价 指标	二级指标 权重 w_{ij}	各评价指标下的 最优参考集 S	装配序列的相似度 f_{ij}		
					(S_a, S)	(S_b, S)	(S_c, S)
装配操作 方便性	0.3	零件的质量	0.1	1,14,(2,18,17),6,10,8,3,13, 12,16,5,15,4,11,7,9	0.611 11	0.666 67	0.611 11
		零件的对称性	0.1	1,6,16,13,9,10,3,8,14,(2,18, 17),4,15,11,12,5,7	0.555 56	0.722 22	0.666 67
		零件的相对位置	0.1	1,8,(2,18,17),3,14,15,16,13, 5,6,4,9,10,11,12,7	0.833 33	0.888 89	0.888 89
		零件的配合间隙	0.2	{(2,18,17),9},{(2,18,17), 10},{(2,18,17),1},{8,1}, {17,18},{17,2}	0.444 44	0.555 56	0.500 00
		易损件的维修性	0.2	3,11,15,16,9,18,2,8,7,4,5,10, 17,12,13,6,14,1	0.61111	0.722 22	0.666 67
		装配过程的并行度	0.2	按公式(1)计算	0	1.000 00	0.500 00
		基于组件的装配性	0.1	(2,18,17)	0.444 44	0.888 89	0.888 89
装配精度 保证性	0.3	装配基准数	0.16	(2,18,17),1,13,14,6,10,8,3, 15,16,9,11,4,5,12,7	0.722 22	0.833 33	0.777 78
		距离精度	0.16	{8,(2,18,17)},{6,(2,18, 17)},{6,8},{1,10}	0.61111	0.666 67	0.666 67
		位置精度	0.16	{8,(2,18,17)},{(2,18,17), 10},{4,6},{4,1}	0.500 00	0.555 56	0.555 56
		接触精度	0.16	{8,(2,18,17)},{9,(2,18, 17)},{18,17},{2,17}	0.666 67	0.722 22	0.722 22
		稳定程度	0.32	1,8,7,(2,18,17),6,14	0.833 33	0.944 44	0.888 89
装配工 艺简单 性	0.2	装配过程的 聚合性	0.5	按公式(2)计算	0.555 56	0.833 33	0.777 78
		重力方向 装配次数	0.5	1,7,6,9,8,(2,18,17),3,15,16, 13,5,4,10,11,12,14	0.222 22	0.333 33	0.277 78
装配 可行性	0.2	几何可行性	0.5	按公式(3)计算	0.666 67	0.722 22	0.722 22
		机械 可行性	0.5	按公式(3)计算	0.722 22	0.777 78	0.777 78

3.3 评价结果及分析

由式(4)和式(5)可得装配序列(a)的模糊综合评价结果为0.553 33,装配序列(b)和(c)的模糊综合评价分别为0.722 33和0.663 22.

由评价结果可知: $M_a < M_b < M_c$,即装配序列(b)优于装配序列(c),且装配序列(c)优于装配序列(a).这主要是因为并行度方面,(b)和(c)比(a)能以更多的分支并行地进行装配,提高了装配效率.另外,序列(b)与(c)相比,具有较好的稳定性和聚合性,所以装配质量相对较高.

上述评价结果比较符合实际装配情况,于是选择装配序列(b)作为最优装配序列.

4 结 语

以上所述针对齿轮泵的装配过程,建立了装

配操作方便性、装配精度保证性、装配工艺简单性和装配可行性4个一级指标下的16个二级评价指标,采用层次分析法确定各指标的权重.

此外,利用最优参考集和定量计算相结合的方法,得到待评价序列在各指标下的隶属度,实现了装配序列的模糊综合评价.最后,通过CB型齿轮泵的装配过程实例,验证了该评价方法具有较强的可行性和实用性.

对齿轮泵的装配过程评价进行的研究,可为齿轮泵装配规划过程中优选装配序列,从而保证装配质量和降低装配成本提供可靠支持.

参考文献:

[1] 周开俊,李东波.基于熵权与模糊集的产品可装配性综合评价方法[J].机械设计,2006,23(3):15-18.

- [2] HU D, HU Y, LI C. Mechanical product disassembly sequence and path planning based on knowledge and geometric reasoning [J]. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2002 (19): 688 - 696.
- [3] 李磊, 魏生民, 张军波, 等. 装配序列的模糊综合评价[J]. *中国机械工程*, 2003, 14(18): 1606 - 1609.
- [4] 张嘉易, 王成恩, 马明旭, 等. 产品装配序列评价方法建模[J]. *机械工程学报*, 2009, 45(11): 218 - 224.
- [5] 王孝义, 张友良. 基于有向图的活动序列比较及其在装配序列评判中的应用[J]. *中国机械工程*, 2005, 16(19): 1733 - 1737.
- [6] 王孝义, 张友良, 张帆, 等. 装配序列评价研究[J]. *中国机械工程*, 2005, 16(13): 1165 - 1169.
- [7] 周开俊, 李东波, 许焕敏, 等. 一种产品装配序列的评价方法[J]. *计算机集成制造系统*, 2006, 12(4): 563 - 567.
- [8] 张刚, 侯强, 李火生, 等. 复杂结构产品装配序列评价方法研究[J]. *机械设计与制造*, 2007(1): 132 - 134.
- [9] 柴修伟, 郭强, 车爱兰, 等. 综合评判法在混凝土密度检测中的应用[J]. *武汉工程大学学报*, 2012, 34(3): 32 - 37.

Comprehensive evaluation of assembly process of gear pump based on optimal reference set

CAO Peng-bin, CAO Li-feng

(School of Mechanical & Electrical Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: This paper studies the assembly process evaluation of the gear pump, with the aim to achieve comprehensive evaluation of assembly sequences and assembly operation processes of the gear pump. 4 first-grade indexes which include the convenience of assembly operations, the assurance of assembly accuracy, the simplicity of assembly processes and the feasibility of assembly, and a total of 16 second-grade indexes were established. The analytic hierarchy process method was applied to determine the weights of each index. In addition, optimal reference sets and the method of quantitative calculation were used to attain the membership grades of the assembly sequences to be evaluated under each index, thus fuzzy comprehensive evaluation of the assembly process was achieved. Finally, the assembly process evaluation of CB-type gear pump was taken as an example to verify the feasibility and practicability of the proposed evaluation method. This study can be served as a basis and reference to the assembly planning of the gear pump in engineering practice.

Key words: assembly process evaluation; assembly sequence; comprehensive evaluation indexes; optimal reference set; fuzzy evaluation

本文编辑: 陈小平



(上接第10页)

Analysis of corrosion causes of lubricating oil refining device

TANG Li-na^{1,2}, YOU Bi-long³, LIU Yi³, CHENG Jian^{1,2}, YUAN Jun^{1,2}

(1. Hubei Key Laboratory of Novel Chemical Reactor and Green Chemical Technology, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China; 2. Key Laboratory for Green Chemical Process of Ministry of Education, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China; 3. China Petroleum Chemical Industry Co., LTD Jingmen Branch, Jingmen 448000, China)

Abstract: In order to find out the material caused serious corrosion in the operation of lubricating oil refining device, the raw oil of refining unit was analyzed. Firstly, the active component was extracted with sodium hydroxide-ethanol solution from the raw oil, then corrosion experiment was proceeded, and infrared spectrum was used to detect the change of properties between raw oil with the active component before and after extracted and the composition of the active component. The result shows that the active component is demonstrated the main material causing the serious corrosion only at high temperature. By comparing infrared spectrum with furfural acid and the naphthenic acid, the active component is proved the naphthenic acid.

Key words: lubricating oil refining device; corrosion; extract; naphthenic acid

本文编辑: 张 瑞