

广口瓶旋盖机旋盖失效分析

张光明

(贵州师范大学, 贵阳 550014)

摘要: 分析了广口瓶旋盖机的工作原理,广口瓶包装容器的结构特点和封口原理,以及广口瓶旋盖机旋盖失效现象,结合试验寻找了导致旋盖失效的原因。在此基础之上,提出了具有一定柔性适应能力的创新性方案,以降低广口瓶旋盖机的旋盖失效率,从而使广口瓶旋盖机旋盖质量大大提高。

关键词: 旋盖机; 旋盖失效; 失效分析; 广口瓶

中图分类号: TB487 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2012)11-0066-05

Capping Failure Analysis of Jar Capping Machine

ZHANG Guang-ming

(Guizhou Normal University, Guiyang 550014, China)

Abstract: Working principle of jar capping machine, structure characteristics of jar packaging container, sealing principle, and failure of jar capping machine capping were analyzed. The cause of capping failure was analyzed thorough tests. A solution with certain flexible adaptability and feedback ability was proposed to reduce failure rate and improve capping quality of jar capping machine.

Key words: capping machines; capping failure; failure analysis; jar

广口玻璃瓶包装容器主要用于罐头、果酱、油辣椒酱等食品领域的包装,其封口形式主要采用螺旋封口。为了提高广口瓶包装容器的封口效率,目前国内该类包装容器的封口已经实现了自动化,但是这些自动化旋盖装备在可靠性、稳定性及旋盖质量等方面还存在很大问题^[1],从而影响旋盖机生产效率和自动化水平。因此,对影响广口瓶旋盖机旋盖质量的因素进行分析,找出导致旋盖失效的原因,对提高广口瓶旋盖机旋盖可靠性、旋盖质量及效率有着十分重要的意义。

1 回转式旋盖机工作原理

1.1 广口瓶旋盖机工作原理

如图 1 所示,目前国内使用的广口瓶旋盖机与普通螺纹包装容器旋盖机的工作原理基本相同,主要由进瓶星轮、进盖星轮、中心星轮、出瓶星轮、旋盖头等机构组成。在旋盖过程中,装满内容物的广口瓶经供送螺杆等距分开后,在螺杆的末端进入进瓶星轮,与

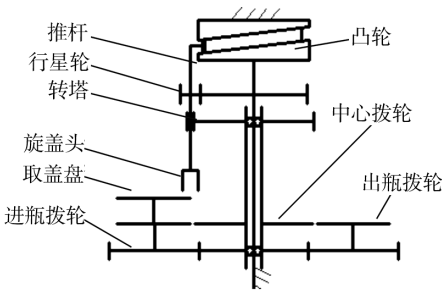


图 1 广口瓶旋盖机工作原理

Fig. 1 Work principle of jar capping machine

此同时,进盖星轮上的取盖盘也将瓶盖从释放装置中取出,之后进瓶星轮将瓶子送至中心拨轮接瓶工位处,盖子也在进盖星轮的作用下进入旋盖头取盖工位,当进瓶拨轮与中心拨轮完成瓶子交接时,旋盖头也正好下降到瓶盖的正上方,并迅速下降抓取瓶盖,之后旋盖头与瓶子同步转至旋盖工位,旋盖头在凸轮的控制作用下迅速下降到瓶口处并开始旋盖,瓶盖旋紧后,旋盖头迅速上升脱离瓶盖,随后封好盖子的瓶子由出瓶星轮拨出并送至输送带,旋盖头短暂停歇后

收稿日期: 2012-04-07

作者简介: 张光明(1956—),女,重庆人,贵州师范大学职业技术学院副教授,主要研究方向为机械产品的创新设计。

进入下一个工作循环。

1.2 广口瓶旋盖机存在的主要问题

从广口瓶旋盖机的工作原理可知,旋盖机在抓取瓶盖及夹紧广口瓶后就直接进入旋盖工位开始旋盖,而并未对瓶盖与瓶子的相对位置进行调整。但是由于广口瓶子结构的特殊性,盖子与瓶子在旋盖前的相对初始位置至关重要,对旋盖成功与否起着决定性作用。因此,直接将普通螺纹包装容器的旋盖设备用于广口瓶的旋盖封装会存在一些问题,主要为:旋盖机抓瓶、抓盖后各自处于刚性状态,瓶子、瓶盖的位置不能再作调整,以至于盖凸爪不能正确置于引导螺纹之上,从而导致旋盖机在旋盖过中将瓶盖拧斜或者拧翘等现象。

2 广口瓶包装容器结构及封口原理

2.1 结构特点

广口瓶包装容器的封口结构为螺纹结构,在包装容器瓶的瓶口处有多段(一般为3段或者4段)导向性较好的连接螺纹,这些螺纹导程较大,螺纹长度为瓶口周长的1/4。包装容器盖有用于与瓶口螺纹相旋合的3个或4个凸爪,另外为了增加包装容器的密封性,包装容器盖上加有弹性密封垫圈。其结构见图2。该类包装容器具有结构强度高、易于生产制造、密

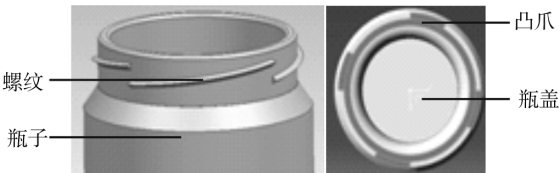


图2 螺纹式封口容器的局部结构

Fig. 2 Local structure of thread sealing container

封性好、便于开启等特点。

2.2 封口原理

由广口瓶包装容器的结构特点可知,广口瓶包装容器封口的过程实质为螺纹旋合过程。要使瓶盖能够顺利旋入螺纹,瓶口螺纹的中心轴线必须与盖子上几个凸爪的中心轴线同轴,另外,为了保证盖子上的凸爪能够顺利进入瓶口螺纹并与螺纹良好旋合,除了保证同轴度外,还必须是凸爪与螺纹正确接触。

广口瓶包装容器在进行封口时,瓶盖相对于瓶子做螺旋运动,随着螺旋运动的进行,瓶盖凸爪沿瓶子

螺纹不断滑动,二者之间的相对轴向位置也会不断发生变化,当凸爪滑至下道螺纹并反扣在该道螺纹的下端面上时,盖子顶部的弹性垫圈将会与瓶口上端面接触并发生挤压变形,从而达到密封的目的,并且二者相对位置变化越大,挤压变形越大,密封越严密。

3 广口瓶旋盖机旋盖失效分析

3.1 旋盖失效现象

广口瓶旋盖失效是指瓶盖上4个凸爪未能全部正确进入4段引导螺纹,以至于其中部分凸爪已正确旋合而另外部分凸爪未能正确旋合,从而导致未旋合的凸爪斜翘,或是未旋合的凸爪在轴向强作用力的作用下与瓶口螺纹下端面扣合。另外一种旋盖失效现象是指,旋盖头自转圈数不合适或是旋盖头中离合器能够传递的力矩太小,调整不当而导致的旋盖过紧或过松现象。

翘盖、扣盖以及旋盖过松3种失效现象会导致内容物因密封问题而泄漏和变质,还会影响包装容器的外观,甚至会因为旋盖过程中强行拧盖而破坏包装容器。旋盖过紧失效现象则会使瓶盖不易开启,或在旋盖过程中抱紧环因阻力矩过大而打滑擦伤瓶盖。

与普通塑料包装容器瓶旋盖失效相比较,广口瓶旋盖失效主要表现为瓶盖翘斜而引起密封不严,以至内容物泄漏或变质。普通塑料瓶由于材料刚度较低,瓶盖变形能力较强,在旋盖过程中,即使瓶盖有斜翘,瓶盖螺纹也会在旋盖头轴向压力的作用下发生变形,从而使螺纹扣合在一起。因此普通塑料包装容器旋盖失效不会引起密封不严等问题,但是瓶盖螺纹可能遭到破坏,在开启后难以再次旋合。

3.2 旋盖失效原因分析

广口瓶旋盖失效的主要原因是在旋盖过程中,瓶盖上凸爪中心轴线与瓶口螺纹中心轴线不同轴,以至于瓶盖凸爪不能与瓶口引导螺纹正确接触^[1]。因此,分析广口瓶旋盖机旋盖失效主要原因,其实质为分析造成瓶盖凸爪中心轴线与瓶口螺纹中心轴线不同轴的主要原因。

3.2.1 气动稳定性对旋盖失效的影响

1)迫使抱紧环径向变形的机动压力不稳定而导致抱紧环对瓶盖施加的夹紧力不对称,从而使瓶盖空间位置发生倾斜。为了便于分析,将抱紧环施加在盖子上的压力分解为无数对空间力偶,当气动压力沿抱

紧环周向不对称时,其中一对空间力偶作用在盖子上的力的示意图见图 3,设该对力偶为 (F,F') ,其对空

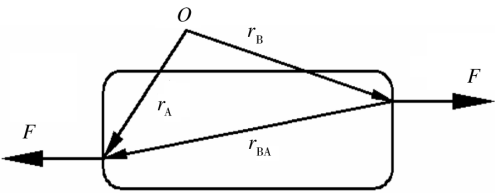


图 3 硅圈作用在瓶盖径向的空间力偶
Fig. 3 Space force couple of silicon ring acting on radial direction of bottle cap

间某一点 O 的力矩为 $M_O(F,F')$,作用在盖子上的所有空间力偶对空间任意一点的合力矩为 M ,则:

$$M_O(F,F')=M_O(F)+M_O(F')=r_BF+r_AF'$$

由于 $F'=-F$,故 $M_O(F,F')=(r_B-r_A)F=r_{BA}F\neq 0$,所以 $M=M_1+M_2+\cdots+M_n=\sum_{i=1}^nM_i\neq 0$ 。

根据以上分析可知,当气动压力沿抱紧环周向不对称时,作用在盖子上的空间力偶的合力矩大小不为零,盖子就会在该力矩的作用下发生倾斜,从而使盖子上凸爪的轴线与瓶子不同轴。

3.2.2 设计精度对旋盖失效的影响

旋盖头抓盖动作控制精度不准确或者取盖点设计不合理,会导致旋盖头不能在设计所要求的位置和时刻完成取盖动作。当盖子与旋盖头转到同轴的位置时,抓盖效果最佳,如图 4 中虚线所示。但是通常

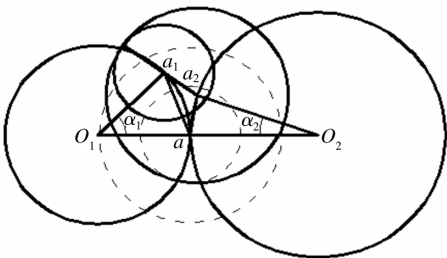


图 4 旋盖头抓盖分析示意图
Fig. 4 Sketch map of catching cap analysis of capping head

情况下,由于执行机构运动精度控制不高等原因,导致旋盖头抓盖时的位置不在二者的同轴位置,从而影响抓盖质量,如果两轴线偏离距离超过允许距离,则会导致抓盖动作失败。

如图 3 和 4,设进盖拨轮节圆半径为 R_1 、转速为 ω_1 ,旋盖头轴线到转塔中心轴线之间的距离为 R_2 、旋

盖头转速为 ω_2 ,盖子半径为 r ,抓盖头中抱紧环半径为 R ,当盖子圆心转到极限位置 a_1 时,进盖盘转动的角度为 α_1 ,旋盖头中心转到极限位置 a_2 时,旋盖头公转角度为 α_2 ,二者轴线偏离距离为 $R-r$,因此,要使抓盖动作不失败,则进盖拨轮在转动 α_1 角度内,旋盖头必须在角度 α_2 下降到给定的轴向位置,否则抓盖失败。则由图 4 中几何关系可知:

$$\cos \angle a_1 a a_2 = [2R_1^2(1-\cos \alpha_1) + 2R_2^2(1-\cos \alpha_2) - (R-r)^2] / (4R_1R_2\sqrt{1-\cos \alpha_1}\sqrt{1-\cos \alpha_2})$$

$$\angle a_1 a a_2 = \alpha_1 + \alpha_2$$

故:

$$\alpha_1 + \alpha_2 = \arccos \{ [2R_1^2(1-\cos \alpha_1) + 2R_2^2(1-\cos \alpha_2) - (R-r)^2] / (4R_1R_2\sqrt{1-\cos \alpha_1}\sqrt{1-\cos \alpha_2}) \}$$

由运动学关系可知:

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

当设计参数 $R,R_1,R_2,r,\omega_1,\omega_2$ 确定后,将其代入式(1)、(2),可计算出 α_1 和 α_2 ,从而确定极限位置。

旋盖头在抓盖成功时,进盖拨轮所转动的角度为抓盖角 α 。通过以上分析,要使抓盖动作不失败,则抓盖角 α 必须小于进盖拨轮转动极限 α_1 ,并且 α 越小,抓盖平稳度及成功率越高。

3.2.3 抓盖与抱瓶周向位置随机性对旋盖失效的影响

旋盖头抓盖时,盖子与瓶子相对周向位置的随机性使盖子凸爪不能与瓶子螺纹正确接触,会导致凸爪无法正确进入引导螺纹,从而引起旋盖动作失败。当旋盖头公转至瓶子正上方时,旋盖头在轴向方向上正好下降给定的位移,如图 5 所示,螺纹螺距为 P ,导程

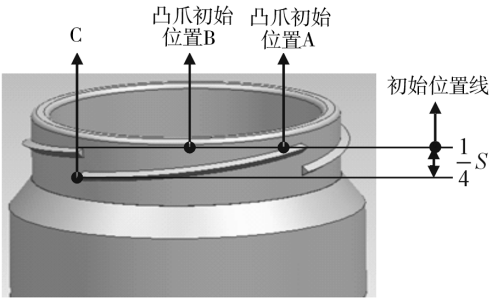


图 5 旋盖头旋盖时的轴向位置点
Fig. 5 Axial position of capping head during operation

为 S ,A 点为旋盖时瓶盖凸爪与瓶子螺纹正确接触

点,在此位置旋盖,旋盖头自转 $\pi/2$ 后,凸爪沿螺纹线运动到 C 点,在轴向将下降 $S/4$,该距离等于相邻两段螺纹之间的螺距 P ,凸爪正好进入下段螺纹下端面,并随着旋盖头自转而紧扣在下段螺纹的下端面上,顺利完成旋盖动作。假若瓶盖凸爪恰好处于瓶口其中一段螺纹中间位置的正上方 B 点处,旋盖头自转后,瓶盖凸爪下降距离为 $S/8$,该下降距离小于两段相邻螺纹之间的螺距 P ,则凸爪不能顺利进入下段螺纹的下端面,从而会导致旋盖动作失败。

3.2.4 包装容器制造误差对旋盖失效的影响

该类型包装容器都是采用模具进行生产,部分瓶子由于冷却收缩不均匀等因素,存在螺纹误差、瓶口端面相对于瓶子轴线的垂直度误差、瓶子高度误差,这些都会影响螺纹的可旋合。其中的螺纹误差主要是螺纹内外径误差、螺纹侧向角误差、螺纹分度误差。

在旋盖过程中,瓶盖除受到旋转力矩外,还受到由于旋盖头下降而产生的轴向力,当瓶盖与瓶子瓶口处的螺纹接触后,可建立如图 6 所示的静力学分析模

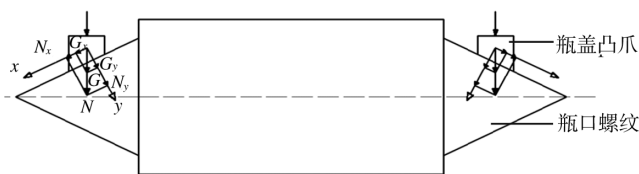


图 6 旋盖机失效分析静力学模型

Fig. 6 Statics model of capping machine failure analysis

型,设旋盖头作用在瓶盖上每个凸爪上的轴向力大小为 N ,则 N 可以分解为沿螺纹侧面方向的一个分力 N_x 和垂直螺纹侧面的压力 N_y 。在 N_x 的作用下瓶盖产生沿着螺纹侧面下滑的趋势,那么瓶盖螺纹将产生一个阻止瓶盖凸爪下滑的静摩擦力 f ,设瓶盖凸爪沿螺纹侧面方向到螺纹顶端的距离为 l ,瓶盖在下滑力 N_x 的作用下沿螺纹侧面方向下滑距离为 S ,下滑距离 S 由轴向力 N 和螺纹侧向角 β 决定, l 由螺纹外径及制造误差决定。由图 6 力学模型可得:

$$N_x = N \sin \beta \quad (5)$$

$$f_{\max} = \mu N \cos \beta \quad (6)$$

式(5)中: N 为旋盖头施加在瓶盖凸爪上的轴向力; β 为螺纹牙侧角。式(6)中: $f_{\max}$ 为螺纹侧面对瓶盖凸爪的最大静摩擦阻力; μ 为螺纹侧面与瓶盖凸爪之间的摩擦因子。

当 $N_x < f_{\max}$,即 $N \sin \beta < \mu N \cos \beta$,可得 $\beta < \arctan \mu$ 。由此可知,只要螺纹牙侧角 $\beta < \arctan \mu$,瓶盖凸爪与瓶口螺纹之间的最大静摩擦力总是大于下滑力 N_x ,凸爪将在螺纹侧面上处于自锁状态,此时无论轴向压力多大,瓶盖都不会沿着螺纹斜面下滑。但是实际上,轴向压力过大会导致盖子沿径向方向变形,如果盖子变形量过大使盖子凸爪内边缘到盖子中心的距离大于螺纹外半径,在轴向力作用下,凸爪还是会反扣在螺纹下端面,发生旋盖失效现象。

当 $N_x = f_{\max}$,即 $N \sin \beta = \mu N \cos \beta$,可得 $\beta = \arctan \mu$ 。此时,盖子在径向方向处于平衡状态。如果由于瓶子制造误差而导致瓶子螺纹牙侧角 β 增大,则会使 $\beta > \arctan \mu$,即 $N_x > f_{\max}$,此时,由于下滑力 N_x 大于最大静摩擦力 $f_{\max}$ 以及盖子变形量的存在,瓶盖将在 N_x 的作用下沿螺纹侧面下滑,并且 β 越大,下滑加速度越大,在旋盖时间内下滑的位移 S 也越大。若下滑位移 S 过大,则会使 S 大于 l ,那么盖子凸爪会反扣在螺纹下侧面,产生旋盖失效现象。另外,如果由于瓶子制造误差而导致螺纹半径减小,则瓶盖凸爪沿螺纹侧面方向到螺纹顶端的距离 l 减小,此时也会因为 l 过小而导致下滑位移 S 大于 l ,从而引起扣盖或翘盖的旋盖失效现象。

瓶子螺纹的分度误差也会导致广口瓶旋盖失效。如图 5 所示,如果瓶子螺纹无分度误差,盖子的 4 个凸爪可以同时处于 4 段螺纹上的 A 点位置,由 3.2.3 节中的分析可知,瓶盖凸爪可以顺利进入下段螺纹下端面,如果由于瓶子制造误差而导致瓶子存在螺纹分度误差,那么盖子上的 4 个凸爪就不可能同时处于 A 位置,假若其中一个凸爪处于 B 点位置,由 3.2.3 节中的分析可知,瓶盖将无法正确进入下段螺纹的下端面,从而产生旋盖失效现象。

4 降低旋盖失效的方案

根据对失效的分析,认为可以通过减小包装容器的螺纹牙侧角、增大螺纹高度和螺距来增强旋盖稳定性,同时通过增加抓盖辅助工序和柔性定位工序来调整盖子相对瓶盖的初始位置,从而增强旋盖机柔性,以达到降低旋盖失效率的目的。另外,为了增加旋盖机的可靠性和适应性,设计了如图 7 所示的柔性旋盖工艺路线,该工艺路线解决了以往旋盖机抓盖不稳以及抓盖后盖子在旋盖头中不可以调整的缺陷。该工

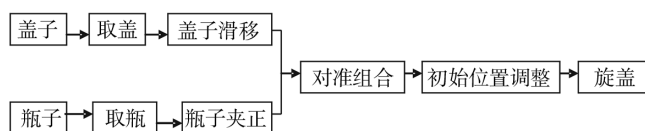


图7 旋盖工艺流程

Fig. 7 Process flow of capping operation

艺路线中的抓盖辅助工序以及盖子与瓶子相对初始位置调整工序,是由自主设计的新型高适应性旋盖头来完成的。

5 结语

通过理论与实验相结合,分析了影响广口瓶旋盖机旋盖失效的主要原因,并在此基础上,提出了降低广口瓶旋盖机旋盖失效率的创新性解决方案。该方案可以减少由于盖子和瓶子在旋盖过程中不同轴而造成的翘盖、扣盖等旋盖失效现象,从而大大提高旋盖成功率和质量。根据该方案设计的新型广口瓶旋盖机,通过企业实际使用测试,可以将广口瓶旋盖失效率从原来的5%降到1%以下。

参考文献:

- [1] 郑涛,康利梅,梁萍.旋盖机旋盖失效分析[J].包装工程,2011,32(19):8-10.
ZHENG Tao,KANG Li-mei,LIANG Ping. Capping Machine Screw Cap Failure Analysis[J]. Packaging Engineering,2011,32(19):8-10.
- [2] 李诗龙. XF12 型旋盖机的设计[J]. 包装工程,2000,21(3):24-26.
LI Shi-long. XF12 Type Capping Machines Design[J]. Packaging Engineering,2000,21(3):24-26.
- [3] 刘守谦. 改进包装机械设计方法的新思路[J]. 轻工机械,2005,23(4):1-3.
LIU Shou-qian. New Ideas of Improve the Packing Machine Design Method [J]. Light Industry Machinery, 2005,23(4):1-3.
- [4] 刘守谦. 连续回转式柠盖机的创新设计[J]. 包装工程,2011,32(1):47-50.
LIU Shou-qian. Innovation Design of Continuous Rotary Type Capping Machine [J]. Packaging Engineering, 2011,32(1):47-50.
- [5] 李诗龙. 高速输瓶系统的可靠性保护技术[J]. 包装工程,2003,24(1):52-55.
LI Shi-long. Reliability Protection Technology of the Bottle Conveying System [J]. Packaging Engineering, 2003,24(1):52-55.
- [6] 哈尔滨工业大学理论力学教研室. 理论力学(1)[M]. 北京:高等教育出版社,2002.
Harbin Industrial University Theoretical Mechanics Staff Room. Theoretical Mechanics (1) [M]. Beijing: Higher Education Press,2002.
- [7] 张伟安,王建勤. 全自动回转式旋盖机[J]. 轻工机械,2002(2):44-45.
ZHANG Wei-an, WANG Jian-qin. Automatic Rotary Capping Machines [J]. Light Industry Machinery, 2002(2):44-45.
- [8] 贺陵. 饮料灌装线设计应考虑的因素[J]. 轻工机械,2000(3):20-23.
HE Ling. Factors of Beverage Manufacture Line Design [J]. Light Industry Machinery,2000(3):20-23.

(上接第56页)

- [5] 关鑫,郭明辉. 木材纹理强化技术[J]. 家具,2009(5):42-45.
GUAN Xin, GUO Ming-hui. The Technology of Wood Veneer Imitation by Texture Intensify [J]. Furniture, 2009(5):42-45.
- [6] 贾翀,徐信武,秦毅,等. 芳香型纤维板制造工艺[J]. 林业科技开发,2011,25(4):93-95.
JIA Chong, XU Xin-wu, QIN Yi, et al. Study on Manufacturing Process of Aromatic Fiberboard[J]. China Forestry Science and Technology,2011,25(4):93-95.
- [7] 庞金兴,黄可知,李曦,等. 常温固化耐高温酚醛树脂胶黏剂的研制[J]. 武汉工业大学学报,2000,22(3):6-8.
PANG Jin-xing, HUANG Ke-zhi, LI Xi, et al. Study on Resisting High Temperature Ba-phenolic Resin Adhesive Curing at Room-temperature[J]. Journal of University of Technology,2000,22(3):6-8.
- [8] 林巧佳,杨桂娣,刘景宏. 纳米二氧化硅改性脲醛树脂的应用及机理研究[J]. 福建林学院学报,2005,25(2):97-102.
LIN Qiao-jia, YANG Gui-di, LIU Jing-hong. Application and Mechanism Principium Research on Nano-SiO₂/Urea Formaldehyde Resin[J]. Journal of Fujian College of Forestry,2005,25(2):97-102.