文章编号：1000-7466（2012）02-0000-00

新型双金属自密封波齿复合垫片自密封性能试验

吴树济

（广州市东山南方密封件有限公司，广东 广州 510030）

摘要：介绍了新型双金属自密封波齿复合垫片的基本结构、工作原理、特性及其自密封性能试验，与现有垫片进行比较的结果表明，该垫片具有与普通强制式密封垫片完全不同的压力自密封特性。

关键词：密封；垫片；压力自密封；双金属自密封波齿复合垫片。

中图分类号： TB42；TQ050.3 文献标志码：B

New invented pressure-energized sealing double wave-serrated metal combined gasket

sealability experiment

Wu Shu-ji

(Guangzhou Dongshan South Seals Company Ltd. Guangdong Guangzhou 510030)

Abstract: An introduction of the new invented Pressure-energized sealing double wave-serrated metal combined gasket is overviewed with its structure demonstration, working principle, features and sealability experiment. Experimented and compared with regular gaskets, Pressure-energized seal type double wave-serrated metal combined gasket surpasses the regular forced sealing type gaskets with a completely particular Pressure-energized seal capability and sealability.

Key words: Sealability； Sealing； Gasket； Pressure-energized seal； Pressure-energized sealing double wave-serrated metal combined gasket

近几十年来，随着材料科学和密封技术的发展，密封垫片的材料和结构均有了长足的进步。例如，上世纪90年代初问世的柔性石墨金属波齿复合垫片，因其结构新颖，性能优异，已广泛用于石油化工等部门并取得了很好的效果[1~5]。但现有的各种型式的垫片在密封原理上仍然是强制密封。也就是说，这些垫片在使用时都是通过螺栓将法兰拉紧，在垫片上形成足够的垫片应力来能达到密封的，一旦原有的垫片预紧应力降低至一定程度时就会发生泄漏。在工程实际中，对于操作状态下的法兰联接，由于压力的存在、垫片材料本身的蠕变松弛特性或温度变化时其变形的不协调性等都会使垫片预紧应力降低。因此，只要使用目前按强制密封原理设计制造的垫片，上述问题是不可避免的。

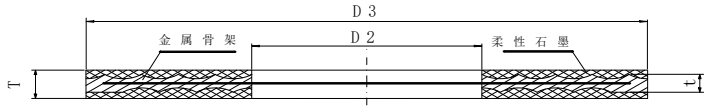
为此，笔者经研究提出一种新型复合垫片——双金属自密封复合垫片[6,7]。该垫片根据压力自密封原理设计，它的最大特点是利用被密封介质的压力来补偿和提高操作状态下垫片的预紧应力，从而使垫片能始终保持其密封性[8,9]。目前，广州市东山南方密封件公司已按文献[6，7]的专利技术研制开发了两个系列的双金属自密封复合垫片，一种是在双金属自密封骨架的外表面复合增强柔性石墨材料构成的双金属自密封复合平垫片，另一种是为了提高垫片的综合性能，将双金属自密封骨架的外表面设计加工成特殊的波齿状沟槽结构，然后在骨架外表面复合适当厚度的柔性石墨材料构成的双金属自密封波齿复合垫片。两种产品均适用于管法兰、容器法兰和换热器法兰等各种不同场合法兰的密封。文中介绍笔者对双金属自密封

广州市东山南方密封件公司

波齿复合垫片密封性能进行的比较试验情况。

1 结构介绍

双金属自密封波齿复合垫片在构造上与现有的其他复合垫片（诸如缠绕垫、高强石墨复合垫）完全不同，也不同于柔性石墨金属波齿复合垫片。该垫片由具有压力自密封特性的金属骨架及其外表面上复合的柔性石墨材料构成。其金属骨架由两片金属叠合后在其外圆周通过熔焊方法将两者熔合在一起形成整体结构，金属骨架的上、下表面加工有特殊设计的波齿状沟槽。双金属自密封波齿复合垫片的典型结构见图 1。



2 工作原理

在法兰联接中，垫片是通过联接螺栓的拉紧力在垫片上形成足够应力产生密封作用的。在操作状态时，垫片的初始预紧应力会因各种原因而下降。对按强制密封原理设计制造的垫片而言，预紧应力的减少必然导致垫片密封能力下降，垫片应力下降到一定程度时就会出现明显的泄漏。但对按压力自密封原理设计制造的双金属自密封复合垫片则不同，虽然由于各种原因其预紧应力同样会降低，但在压力介质进入系统后它同时会渗透进入金属骨架的两金属片之间的微观缝隙。由于叠合在一起的金属骨架上下两金属片外圆周
边已被完全紧密地融合在一起，介质不会从此处泄漏，因此，进入两金属片之间微观缝隙处的介质的压力会作用于两金属片的内表面，该压力通过两金属片及其外侧的柔性石墨分别作用于法兰密封面，在双金属自密封复合垫片的上下外表面与法兰面之间形成附加的垫片应力。此附加垫片应力随介质压力的存在而存在，其值可以达到介质的压力值（在介质压力波动的情况下，它也会随介质压力的升降而升降）。这种附加应力的存在使原来因压力升高或其他原因而减少的垫片应力得到了补偿和增加，因而使双金属自密封复合垫片具有与现有其他垫片相比更好的密封性能。甚至在双金属自密封复合垫片的预紧应力因各种原因而全部丧失的极端情况下，它仍然具有与介质压力相同的应力而使垫片仍能保持一定的密封性能。

双金属自密封复合垫片的附加垫片应力是由介质压力形成的，介质压力越高，所形成的附加垫片应力也越大，其密封也越容易得到保证，这就是双金属自密封复合垫片与其他所有垫片完全不同的压力自密封特性。

3 压力自密封性能试验

3.1 试验方案

为了验证双金属自密封复合垫片的密封特性，特别是它的压力自密封性能，选取双金属自密封波齿复合垫片和现有垫片中密封性能好而材料和结构类似的柔性石墨金属波齿复合垫片进行密封性能对比试验。为了能更好地观察垫片的压力自密封性能，试验采用低预紧应力方案，以便观察和测量随着内压升高预紧应力降低后垫片的密封性能。

试验介质为氮气。

广州市东山密封件公司

本试验是通过微压差计测量泄漏腔的微压力并将其换算成泄漏率来对两种垫片的密封性能进行比较。

试验用双金属自密封波齿复合垫片的直径为Φ152mm/Φ106mm，厚度3.0mm。试验用柔性石墨金属波齿复合垫片的直径为Φ149mm/Φ117mm，厚度3.0mm。

3.2 试验装置

试验是在本公司密封试验室的实际型法兰垫片密封性能试验装置上进行。试验装置是参照ASTM-F586－79《垫片泄漏率与预紧应力Y及操作系数m关系的标准试验方法》和GB/T12385-90《管法兰用垫片密封性能试验方法》中的B法建立[10, 11]，该装置通过8个螺栓进行加载，试验过程中可随机测量螺栓负荷的变化，并据此了解垫片应力的变化。所有加载螺栓均作了标定，确定了应变-负荷的关系。试验采用一台配有24点平衡箱的YJ－25静态电阻应变仪测量加载螺栓的应力；采用量程0～100kPa、精度10Pa的NS-I1压力传感器和NS-YB04-A-I压力显示仪测量泄漏腔的微压力；采用量程0～50℃、精度0.01℃的Pt100热电阻传感器和NS-YB04温度测量仪测量温度。

3.3 结果及分析

双金属自密封波齿复合垫片与普通柔性石墨金属波齿复合垫片密封性能对比试验参数及试验结果见表1。

表1　两种垫片密封性能对比试验结果

垫片名称	预紧螺栓负荷/N	预紧应力/MPa	试验压力/MPa	内压轴向力/N	升压后螺栓负荷/N	垫片残余预紧应力/MPa	垫片应力/MPa	泄漏率/ml·s^{-1}
双金属自密封波齿复合垫片	12838	1.4	2.0	25480	29753	0.47	2.47	0
普通柔性石墨波齿复合垫片	13926	2.1	2.0	27244	30635	0.52	0.52	0.121

从表1可知：

（1）在双金属自密封波齿复合垫片的预紧应力与普通柔性石墨金属波齿复合垫片的预紧应力相比低0.7MPa、试验压力相同的情况下，前者初始预紧应力的残余应力为0.47MPa，后者的初始预紧应力的残余应力为0.52MPa（略大于双金属自密封波齿复合垫片），此时，由于自密封特性的作用，双金属自密封波齿复合垫片的垫片应力达到了2.47MPa，为内压升高后其预紧力的残余应力与介质内压力的总和，垫片应力大于试验压力。而普通柔性石墨金属波齿复合垫片的垫片应力只有0.52MPa，与其内压升高后预紧力的残余应力相等，垫片应力远小于试验压力。因此，在表1的试验条件下，双金属自密封波齿复合垫片没有泄漏，普通柔性石墨金属波齿复合垫片已出现0.121　ml/s的泄漏率。

这说明双金属自密封波齿复合垫片不仅较之普通波齿复合垫片具有更为优异的密封性能，而且在极低的垫片预紧应力下即可能达到良好密封性。

（2）对按强制密封设计制造的普通密封垫片而言，不论何种原因导致垫片预紧应力降低后的残余应力小于被密封介质压力时，发生泄漏是正常的，也是必然的。但对按压力自密封

广州市东山南方密封件公司

原理设计制造的双金属自密封波齿复合垫片来说则不同，在介质压力存在的情况下这种垫片与法兰接触的表面产生了与介质压力相当的附加应力，从而使垫片残余应力低于介质压力时从此得到补偿，并可能使垫片应力提高到大于介质压力的水平。因此，与普通密封垫片的垫片应力和预紧应力密切相关不同，双金属自密封波齿复合垫片的垫片应力不仅取决于垫片的预紧应力，同时还取决于被密封介质的压力。

(3)双金属自密封波齿复合垫片即使在预紧应力降低的情况下依靠介质压力也能获得良好的密封性能。

4 性能特点

（1）优异的密封性　双金属自密封波齿复合垫片表面采用密封性能优异的柔性石墨作为复合层，因而其密封性能优异。垫片骨架采用波齿状结构，其金属齿峰具有多道金属线密封的作用，圆弧形沟槽上填充的柔性石墨材料不仅具有很好的密封贴合性而且能很好地补偿法兰表面的微观缺陷，因此，垫片具有金属线密封和柔性石墨密封的双重作用。此外，其压力自密封作用使介质内压形成的附加应力直接作用于密封表面的任何点，能使密封面上任何凹下部位的应力都能得到提高和补充，使密封面上的任何部位都得到良好的密封。

(2）能长期保持密封性能稳定　双金属自密封波齿复合垫片的压力自密封特性，使垫片能始终保持高的垫片应力，因而能长期保持稳定的密封性能，甚至在螺栓初始预紧应力接近消失的极端情况下，由于介质压力产生的附加垫片应力的存在，垫片仍能保持一定的密封能力。

（3）安全可靠性高　双金属自密封波齿复合垫片的骨架是整体金属结构，波齿状结构能使柔性石墨被紧密地封闭在金属骨架的凹槽与法兰面之间，从而使它具有像金属垫片一样的牢固、安全和可靠，不必担心在高应力时会像缠绕式垫片那样被压溃或因失稳而损坏。

(4)使用安装方便　双金属自密封波齿复合垫片的整体刚性结构使它在运输和安装过程中可以完全避免缠绕式垫片容易散架的缺点，这对大直径管法兰和容器、换热器法兰非常有利，它具有的多种定位方式使它安装极为方便。

（5）适应性广　双金属自密封波齿复合垫片既可用于低温（－196℃）和高温(600℃)，也可以用于低压和高压(42MPa)，而且特别适用于温度和压力波动的场合、大直径管法兰、容器和换热器法兰或者对密封性要求较高的重要场合。可用于几乎所有腐蚀性流体的各种场合。

5 实际应用

双金属自密封波齿复合垫片研制成功后现已在南京金陵石化 150 万 t/a 加氢裂化装置的循环油/第一分馏塔进料换热器(DN1200，管程压力 1.0MPa,壳程压力 0.82 MPa，管程温度 392℃,壳程温度 320℃)、广州石化 100 万 t/a 重油催化装置的油浆换热器(蒸发器)(DN1300，管程压力 0.8～1.0 MPa ，壳程压力 5.0，管程温度 300℃,壳程温度 250℃）等石化装置中应用，获得了良好的使用效果，验证了双金属自密封波齿复合垫片的优异性能。

双金属自密封波齿复合垫片独特而优异的性能将会在石油、化工、电力、轻纺、冶金等工业部门得到广泛应用。

参考文献：

[1] 吴树济. 改进型金属-膨胀石墨复合垫片：中国，90215559.8 [P].授权公告日期：1991

广州市泰山高方密封件公司

年 10 月 9 日
[2] 吴树济. 换热设备复合垫片：中国，92215173.3 [P]. 授权公告日期：1992 年 12 月 2 日
[3] 吴树济. 波齿复合垫片及其在石化设备上的应用[C]//中国石油学会石油炼制委员会，中国石化设备管理协会,中国石化总公司重大设备国产化办公室.第六届石化设备密封学术讨论会论文集. 1994.北京
[4] 吴树济，钟海强.新一代法兰垫片—波齿复合垫片在石油化工设备上应用的新进展[C]//中国石油学会石油炼制委员会,中国石化设备管理协会,中国石化总公司重大设备国产化办公室. 第七届石化设备密封学术讨论会论文集. 1996.成都
[5] 吴树济. 波齿复合垫片及其应用[EB/OL]. （2010-06）公司网址:http://www.southseals.com
[6] 吴树济，刘秀英.复合垫片：中国，ZL 200720053323.3 [P]. 授权公告日期：2008 年 6 月 4 日
[7] 吴树济，刘秀英.自紧式波齿复合垫片：中国，ZL 201020594151.1 [P].授权公告日期：2011 年 05 月 18 日
[8] 吴树济.双金属自密封波齿复合垫片的密封特性及与波齿复合垫片密封性能的对比试验与研究[Z]. 广州市东山南方密封件公司内部论文资料(2008-09-02)
[9] 吴树济.双金属自密封波齿复合垫片及其密封特性的试验研究[Z]. 广州市东山南方密封件公司内部论文资料（2008-09）
[10] ASTM-F586—79《垫片泄漏率与预紧应力 Y 及操作系数 m 关系的标准试验方法》
[11] GB/T12385-90《管法兰用垫片密封性能试验方法》

作者介绍

吴树济：广州市东山南方密封件有限公司 总工程师 高级工程师

广州市东山南方密封件公司