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
（1996 年）

第七届石化设备密封学术讨论会论文

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

广州市东山南方密封件有限公司（广州市南方密封件厂） 吴树济 钟海强

摘要：本文在简单论述新型专利产品——波齿复合垫片结构特性以及与其他常用垫片特性比较的基础上着重介绍近两年多来该产品在石油化工装置上的应用情况。

正如很多文章所指出的垫片密封件性能好坏对现代工业生产的重要性已不容置疑，尤其是石油化工企业的大型化和高参数更对密封件提出愈来愈高的要求，不仅新建工程项目要求装置一次开车成功，进入正常生产的装置也要求不断减少大修次数，延长其生产周期。过去不少装置一年检修一次的，现在往往要求一年半，二年甚至更长时间才检修，以便提高企业的经济效益。为此，必然对设备密封垫片的性能和使用寿命提出更高的要求，才能实现企业的“安、稳、长、满、优”生产。近十年来，随着密封技术的不断进步，垫片材料和结构都有很大发展，尤其是膨胀石墨材料的出现可称得上是密封技术领域的一次革命。从材料的特性来看，它是目前最为优秀的密封材料，问题是这种材料强度较低，使它的应用特别是在高参数、大尺寸的场合的应用受到限制。因此，如何根据设备对密封垫片的要求，结合材料的特性，研究开发能满足使用要求的高性能垫片，一直是人们翘首以待的事情。近几年，我们研究开发的新型垫片——波齿复合垫片专利产品正是这样一种高性能垫片。

波齿复合垫片是九十年代以来才面世的新一代法兰密封垫片[1]。它是我厂根据吴树济高级工程师发明的专利技术而开发的一种结构独特，由金属弹性骨架与膨胀石墨材料相复合而成的新型密封垫片。这种垫片主体系特殊设计的波齿状金属骨架，在其上复合一层适当厚度的膨胀石墨材料，最终构成整体结构的垫片。由于整个金属骨架系波纹状，

广州市东山南方密封件公司

又带尖齿，故名为波齿复合垫片。使用时通过法兰的压紧，其上复合的石墨材料被压入沟槽，金属骨架上下表面的环形齿峰与法兰面紧密接触并在法兰的进一步压紧下产生弹性变形，石墨被高度压缩和封闭在金属骨架与法兰面之间所形成的环形封闭空间里，由此形成了多道金属线密封和膨胀石墨密封的双重密封作用。因此，可以说，波齿复合垫片综合了波形金属垫片的弹性．齿形金属垫片的金属线密封和膨胀石墨材料的优良密封性，因而具有密封性能优异，回弹性好，密封寿命长，安全可靠性高，使用安装方便，适应性广和经济性好等一系列特点而成为综合性能非常优异的新一代法兰垫片。本文在简单介绍波齿复合垫片特性以及与其他常用垫片特性进行比较的基础上，着重介绍近两年多来波齿复合垫片在石油化工上应用的新情况，以供大用户了解和参考。

一、新型波齿复合垫与常用垫片的特性比较

在波齿复合垫片出现以前，石化没备上使用最多的仍然是石棉橡胶板、铁包垫，齿形垫，缠饶式垫片和高强石墨垫等，这些垫片由于材料构成和结构不同，其性能各异。

石棉橡胶板作为垫片是应用最早的传统密封材料，由于石棉纤维具有较高的强度，又能耐较高的温度(通常在480℃以内，高于此温度时石棉纤维内的结晶水会分解而损坏)，用于中温以下场合也有一定密封性，但这种材料在使用中会发生较大的应力松弛，影响它的密封性能和寿命，而且耐高温性能不理想，难以满足现代化工业生产中设备高参数的要求。

铁包垫是在石棉橡胶板的基础上发展起来的一种较早使用于高温场合的垫片。由于石橡橡胶板为金属薄板所包覆，不直接与高温介质接触，在一定程度上捉高了垫片耐温耐压性能，但从密封机理看，它已属于金属对金属的宽面接触密封，这种密封形式要达到良好的密封性能就必须有相当高的压紧比压，而若在这样高的比压下工作，铁包垫所包覆的石棉橡胶板往往被压坏而失去作用，再加上作为填充材料的石棉橡胶板在高温下发生较大应力松驰，导致铁包垫压紧比压减少而容易丧失其密封性。因此，不论是密封性试验或实际使用效果均已证明，铁包垫的性能并不好，密封性也较差。

齿形垫是过去高温高压场合应用较多的一种垫片。它由整体金属构成，安全可靠性高，它利用压紧时齿尖部分产生很高的应力，形成金属线密封。近些年来还在齿形垫表面贴上膨胀石墨材料，因而可以达到较高的密封性。但齿形垫的最大缺点是没有什么弹

广州市东山南方密封件公司

性，在装置运行不稳定或其他原因使温度，压力变化的场合就往往会发生泄漏。

缠绕式垫片，尤其是以膨胀石墨填充的缠绕式垫片，其密封性能好，有较好的回弹性，能适应温度，压力变化，系目前使用较为普遍的一种垫片。但这种垫片由于结构和制造上的原因，其缺陷也很明显。以至被认为是“目前用得最多，但问题也出得最多”的势片。问题最多最突出的就是“散架”和“压溃”（或称“失稳”）。所谓“散架”包括两种情况：一是在制造、运输和安装过程中垫片发生散开而损坏。这是由于缠绕式垫片结构上只是通过缠绕互相咬合成形，无法使垫片形成整体牢固的结构，因而很容易散开损坏，给垫片的制作、运输、使用安装造成困难。尤其是大规格垫片，在装运到厂，用户开箱时就已发现有“散架”的。二是缠绕式垫片在使用过程中受到很大的压紧力，外层用以固定的焊点在周向力的作用下很容易发生拉脱损坏，使整个垫片“散架”，最终导致密封失效。所谓“压溃” （或“失稳”）是垫片在使用时受到很大的压紧比压，填充物受压产生的内应力向内径方向作用于内层钢带，使钢带受到外压力作用，当外压力超过一定值时，由钢带围成的钢带圈犹如薄壁容器受过分外压力作用而失去稳定性，局部地方向内凹陷，使垫片发生损坏，最终导致密封失效。缠绕式垫片的压紧比压愈高，规格尺寸愈大就愈容 易发生“压溃”。从现场调查看，不少用于换热设备和容器的缠绕式垫片经使用后拆开法兰时发现垫片已经被压“散架”或“压溃”，因而泄漏往往就从这些部位发生。

柔性石墨复合垫（高强石墨垫）是在解决纯膨胀石墨材料强度低，难于单独使用的基础上发展起来的。它利用金属冲刺板作骨架，对石墨材料起到增强强度和本体刚性的作用，以便制作和使用较为方便，而起密封作用的仍然是石墨材料本身。这种材料可作为非石棉密封材料代替石棉橡胶板，但在高温高压场合使用其安全性不够。

波齿垫齿复合垫的结构特性与上述的几种垫片完全不同。由于波齿复合垫片在结构和材料使用上的特殊性，使它与以往其他垫片相比更具特色。正如本文前面所介绍，首先它是以一波齿状金属板作骨架，这样它保持了如齿形垫一样的整体金属结构，金属骨架的强度很高，因而保持了与齿形垫在高温高压下使用时同样的安全可靠性。整体结构的波齿状构架能承受很高的压力，不会出现像缠绕垫片那样“散架”和“压溃”的情况，因而安装方便，使用可靠。它具有齿形垫同样的齿状尖峰，可以形成良好的金属线密封，

广州市东山南方密封件公司

这使它能适合高参数场合使用。由于它具有波形结构骨架，使它具有像金属波形垫片那样的弹性，因而克服了齿形垫无弹性的缺点，这使它能适合压力和温度变化的场合使用。其次，它的多道环形凹槽充满高度压缩的膨胀石墨，不但使密封性能比单纯齿形垫的金属线密封更为优异，而且能对法兰表面的缺陷起到很好的补偿作用。因而能适合在法兰表面有一定缺陷，如不平度或局部小凹坑等场合下使用。这方面它比缠绕垫更为优越，因为缠绕垫的表面石墨层较薄，补偿能力有限。它与石棉橡胶板和以其作为填充物的铁包垫不同，波齿复合垫是由于耐高温的金属和膨胀石墨材料构成的，因此不仅能用于高温场合，而且其压缩弹性是由特殊构造的金属骨架变形而产生的，从而不像石棉橡胶板和铁包垫那样容易发生应力松驰现象，因此能长时间保持良好的密到性能。

二、波齿复合垫片在石油化工设备上应用的新进展

波齿复合垫自九十年代初由广州市南方密封件厂研制生产以来已在石油、化工、电力等部门推广并获得广泛应用，取得很好的效果。在1994年**第六届石化设备密封学术讨论会**的论文上我们曾介绍过波齿复合垫片在广州石化总厂炼油厂常减压装置的原油——减渣换热器(温度370℃，压力2.3Mpa)，原油--常二中换热器(温度300℃，压力0.92MPa)，减粘裂化装置的原料--渣油换热器(温度350℃，压力3.1MPa)以及高压加氢精制装置的反应生成冷却器和换热器(温度370℃，压力9.0MPa)的应用情况。此后波齿复合垫在石化装置上的应用愈来愈广泛。它以其独特的优异性能为广大用户，特别是石油化工系统的用户解决了不少过去采用其他垫片而不能解决的长期存在的泄漏难题，因而受到广大用户的高度好评和欢迎。在石油化工系统内，包括广石化炼油厂，茂石化炼油厂、长岭炼化总厂、武汉石化厂、北京燕山石化化工三厂、荆门石化总厂，九江石化炼油厂等，不少大型石化企业都在大力推广和应用这种新型垫片。应用的范围几乎包括所有装置，诸如常减压、催化裂化、重整、减粘裂化、芳烃、加氢精制、制氢、气体分离，焦化、丙烷脱沥青、制硫、轻质润滑油、第一、二顶分离、糠醛等各种炼油装置，使用的设备包括容器、换热器、阀门管道等，尤其是在大型换热设备上应用很多。实际应用的最高参数温度达600℃，压力达9.0MPa，实际应用的垫片直径已近Φ1900mm。**下面我们将波齿复合垫片在部分石化装置上使用的情况以列表方式作一介绍，以供广大石化用户参考(见“波齿复合垫片使用情况调查表”)。**

广州市东山南方密封件公司

参考文献：

1．吴树济《波齿复合垫片及其在石化设备上的应用》
第六届石化设备密封学术讨论会论文1994年

2．周炎青《几种常用垫片的性能与比较》
武汉石油化工厂设备管理协会《设备通汛》1994～1995

3．陈大秋《金属石墨波齿复合垫片》
茂名石化公司炼油厂机动处《机动通讯》1995.10 4.

4. 罗水坚《波齿复合垫片在制氢装置的试用》
茂名石化公司炼汕厂机动处《机动通讯》1995.10 6.

5. 赖盛刚，奚晖编《膨胀石墨密封材料及其制品》
中石化出版社1994年

附表“波齿复合垫片使用情况调查表”（见后）

广州市东山南方密封件公司

波齿复合垫片使用情况调查表

使用单位	装置及设备名称 工况参数	波齿复合垫片 型号规格	使用前后情况
茂名石油公司炼油厂	**一，(三)蒸馏装** 1．换13/1，A，B(渣油一次)(EB700-120-40-2)，T壳374℃，管272℃，p壳1.53MPa，p管2.0MPa，介质：渣油，拔头油 2．换13/5，C,D(渣油五次)(FB700-125-25-2)，T壳195℃，管165℃，p壳=1.6MPa，管0.7MPa，介质：渣油，原油 3．常压塔底吹气阀前法兰 t=370℃，p=0.5MPa，介质：蒸气 4．换13/1，A,B初底入口法兰 t=245℃，p=1.43MPa，介质：拔头油	BCD-O-886x846x3.8-4.0-III BCD-O-786x750x3.8-4.0-III BCH-O-786x750x3.8-4.0-III BCD-O-690x666x3.8-2.5-I BCH-O-764x728x3.8-2.5-I BCD-O-864x824x3.8-2.5-I BCD-O-764x728x3.8-2.5-I BCD-O-150x2-2.5-I BCD-O-150x2-4.0-I	过去在这些渣油线系统和拔头油系统等高温高压部位使用缠绕式垫片，在投产后不长的一段时间内能密封，但随着装置运行周期的延长和多次开停车，这些部位容易发生泄漏，如渣油换热器(换13/1，A，B)，管程入口法兰多次泄漏，螺栓越拧紧泄漏越大，拆开时发现金属缠绕垫片已被压溃。93年7月份装置大修，在该装置渣油一次换热器等15台设备的高温高压部位安装了波齿复合垫片，投入使用后作了跟踪检查，至今已运行了两年多近三年，密封效果很好。在装置几次发生渣油线逼压的情况下。无一处发生泄漏，表明波齿复合垫片不但解决了这些部位长期泄漏的难题，而且完全能保证装置长周期运行。

广州市东山南方密封件公司

	二、制氢装置 1. 粗氢/中变气换热器(换4) t=407℃，p=1.8MPa(4台)介质：氢气，中变气 2. 碱液重沸器(换6)t=200℃，p=1.4MPa 介质：氢气 3. 液态烃蒸发器(换1)t=230℃，p=1.0MPa 介质：蒸气 4. 锅炉给水加热器(换5) t=399℃，p=2.75～3.3MPa 介质：底变气(75%H_2，水)	BCD—O—678x628x3.8—I BCD—O—1260x1215x4—I BCD—O—505x477x3.8—I BCD—O—320x295x3.8—I BCD—O—678x628x3.8—I	这四种换热器由于工况条件较恶劣，装置生产调整较为频繁，温度压力波动大，泄漏情况经常发生，曾采用包括缠绕式垫片和齿形垫等各种垫片，并多次热紧均无法解决其泄漏，严重影响生产安全。特别是换6设备法兰尺寸大，以前什么垫片都用过均不能彻底解决问题，曾在95年3月由于生产调整，压力升高，氢气(H_2)从垫片泄漏出来，差点引起一次大火，事故查明是采用缠绕式垫片受压后失稳损坏。而换5设备因直接与高压泵联接，压力稍有波动就发生泄漏。 95年6月份大修改用波齿复合垫后，6月18日开汽至今装置运行近一年，期间经多次负荷升降及一次开停汽考验，不仅不必热紧，而一点泄漏迹象也没有，始终保持良好的密封。

广州市东山南方密封件有限公司

	三、二重整装置 1. 预加氢反应器(换202)进出口法兰 t=300℃，p=1.8MPa， 介质：含H2较多 2. 换108/1～6(YA800—275—28.7—2)，管135～370℃，壳94～327℃，p=2.87MPa，介质：汽油，氢 3. 重整产物水冷器， 管30～50℃，壳30～80℃，p=1.4MPa，介质：含H_2较多	BCD—O—312x263x3.8—I BCD—O—885x835x3.8—I BCH—O—885x835x3.8—I BCD—O—1458x1412x4.2—I BCH—O—1458x1412x4.2—I BCH—O—1382x1347x4.2—I BCD—O—1558X1512x4.2—I	换202的进出口法兰以前采用缠绕式垫片（带内外环)时只要温度、压力波动，即使经几次热紧，仍然或多或少发生泄漏。 换108，6台换热设备是串联在一起的，以前采用铁包垫、缠绕式垫片、齿形垫和铝垫等，经常是在温度波动大时泄漏非常厉害，经多次热紧也无济于事，是整套装置最头痛的问题。 重整产物水冷器以前采用石棉铁包垫，虽然温度，压力不高，但法兰尺寸大，表面有一定不平度，因而也是经常易漏的部位。 以上换热器和重油部位管法兰于96年初全部换上波齿复合垫后均达到前所未有的良好密封效果，而且无需热紧。

广州市东山南方密封件公司

	四、轻质润滑油装置 1. 换212/1～6，换256(4台)(F700—132—40—4Ⅱ)， t=80℃(波动0～200℃)，p=4.0MPa，介质：丁酮、甲苯、润滑油混合液 2. 车间物料管线套管法兰，t=-20～+80℃，p=4.0MPa，(总共有276个)	BCD—0—752x712x3.8—I BCH—0—752x712X3.8—I BCH—0—690x665x3.8—I BCD—0—853x813x3.8—I BCD—0—272x253x3.8—I	换212由于温度调整波动大，经常在短时间内(2～3分钟)从0～200℃变化，急冷急热，过去采用铁包垫和进口石棉垫，经常发生泄漏，不得不一次次带压热紧，但最多亦只是用了一个月后即完全失效，只能停车更换垫片，一年大概因垫片泄漏而停车有10多次，因而造成很大损失。 物料管线套管法兰垫片开始用国产石棉垫，由于温度波动大，泄漏严重，后曾改用进口高压石棉垫，情况有所好转，但仍或多或少有泄漏。 以上换热设备和管线套法兰于96年初改用波齿复合垫片后，至目前为止均未发现有泄漏的地方，从根本上解决了车间的老大难问题，因而保证了装置的长周期正常生产。
	五，丙烷脱沥青装置 1. YB800—180—64/64—2Ⅱ， t=96℃，p=4.2MPa(8台)，介质：丙烷、脱沥青油 2. FB500—65—64—2Ⅱ(4台)(同上)	BCD—0—918x870x3.8—I BCH—0—918x870x3.8—I BCD—0—554x514x3.8—I BCH—0—554x514x3.8—I BCD—0—676x636x3.8—I BCD—0—490x465x3.8—I	此两种换热器(12台)一直是炼油厂密封方面老大难问题，由于丙烷等介质渗透性较强，很容易泄漏，而泄漏后无论怎样拧紧螺栓往往都无济于事，过去用铁包石棉垫从开汽后就一直漏到装置停汽检修。 自96年初全部改用波齿复合垫片后一次安装不需热紧，即达到良好的密封状况。 至目前为止未发现有任何泄漏现象，彻底解决了以前的老大难问题，使车间的设备管理和维护达到新的水平。

广州市东山南方密封件有限公司

	六，制硫装置 废热锅炉法兰 DN1600 t=260～300℃，p=0.4MPa	BCD—0—1680x1620x4.2—I（4 件）	此法兰垫曾采用铁包垫和高强石墨垫，但都或多或少发生泄漏，95 年底改用波齿复合垫后密封效果很好，再无泄漏现象。
武汉石油化工厂	**催化装置** 1. 油浆蒸汽发生器(换 202/1.2)BHS1100—25/16—280—6/32—4Ⅱ，t 管 350℃，t 壳 230℃，p 管 2.0Mpa，p 壳 1.2MPa，介质：油浆蒸汽 2. 原料与一中换热器(换 205/3)BES700—40—130—6/25—41,t 管 150℃，t 壳 230℃，p 管 3.0MPa,p 壳 1.5MPa，介质：原料油，轻柴油 3. 二中与顶循换热器(换 206)AES700—25—130—6/25—4—I，t 管 300℃，t 壳 200℃，p 管 2.0MPa,p 壳 1.7MPa，介质：二中、顶循	BCD—0—1198x1158x3.8—I BCH—0—1198x1118x3.8—I BCH—0—1088x1064x3.8—I BCD—0—1258x1208x3.8—I BCD—0—750x710x3.8—I BCH—0—750x710x3.8—I BCH—0—688x662x3.8—I BCD—0—850x800x3.8—I BCD—0—750x710x3.8—I BCH—0—750x710x3.8—I BCH—0—690x662x3.8—I BCD—0—850x800x3.8—I	这四种换热器过去使用耐油石棉橡胶板，在上一生产周期中曾多次出现泄漏，经多次带压热紧处理，效果不太明显，法兰周围冒烟，结焦，挂油，威协着装置安全生产，严重污染环境。 95 年初装置大修改用波齿复合垫后，效果相当明显，到目前为止未发现泄漏，而且在 6 月中旬经受了一次因切断进料，引起操作波动的冲击，仍然保持良好的密封。当时因主风机自保停机，引起装置紧急停车，2 小时后又恢复生产，装置操作波动较大，不少选用其他垫片的换热器都相继出现不同程度的泄漏，但使用了波齿复台垫片的四台换热器未发现有泄漏痕迹，仍保持非常良好的密封性能。
北京燕山石化公司化工三厂	**烷基苯装置** 导热油系统换热器和进出口法兰 t=400℃，p=0.5MPa	BCH—0—1045x1005x3.8—I BCH—0—990x965x3.8—I BCH—0—654x613x3.8—I BCH—0—590x565x3.8—I BCD—0—100x2.8—I	由于导热油温度高，渗透性强，系统的换热器和管法兰等，过去使用包括缠绕式垫片在内的其他垫片时，在开车后随着系统逐渐升温，各静密封点就出现不同程度泄漏，使设备长期“带病”工作。 1995 年 10 月装置大修，这四种换热器及进出口法兰上全部换成波齿复合垫片，开车后跟踪观察，发现采用了波齿复合垫的地方从开车全今保持很好的密封状态，

广州市东山南方密封件公司

			而且无需热紧，解决了该装置长期存在的难题，受到厂方的高度赞扬。而旁边未用波齿复合垫的换热设备却不同程度发生泄漏、结焦、冒烟。

注：在调查了解上述使用情况过程中得到各单位设备管理部门和车间（装置）领导和技术人员的大力支持和帮助，在此表示衷心感谢。

广州市东山南方密封件公司