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
(1994年)

第六届石化设备密封学术讨论会论文

《波齿复合垫片及其在石化设备上的应用》

广州市南方密封件厂（广州市东山南方密封件有限公司）吴树济 高级工程师

摘要：

本文介绍由金属与膨胀石墨材料复合构成的最新垫片专利产品——波齿复合垫片的结构，性能特点以及在石油化工等部门的实际应用情况。

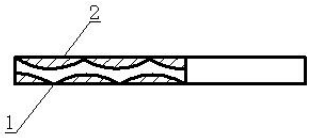
现代工业生产的大型化、高参数，尤其是大型石化企业和火力发电站、核电站等对密封垫片的性能提出了愈来愈高的要求，人们不仅千方百计要求性能更为优良的密封材料，而且力图从结构上加以革新，以获得高性能的密封件。近些年来，在不断涌现的密封新材料中，. 膨胀石墨无疑是其中佼佼者，它有很好的耐高、低温和耐腐蚀性能，有很低的摩擦系数、能自润滑，导热性能极好，耐辐射，小的应力松弛率，做成密封件有很好的密封性。但膨胀石墨强度不高，使它的应用特别是在高参数、大尺寸场合下的应用受到限制。因此在开发应用上人们更多地注意将它与其它材料复合做成复合型垫片。在复合型垫片中，以往以石棉填充的缠绕式垫片一直系高参数场合下使用较为广泛的密封件，膨胀石墨材料出现后，人们很快又发展了以膨胀石墨材料作为填充的缠绕式垫片。由于膨胀石墨本身的优异性能，使膨胀石墨缠绕式垫片在解决高参数设备法兰联接密封方面获得普遍的应用。但是在实际使用中，不管是石棉填充的缠绕式垫片还是膨胀石墨填充的缠绕式垫片都存在两个致命的弱点，就是人们众所周知的所谓“散架”和“压溃”(或称“失稳”)。这些缺陷在很大程度上影响了缠绕式垫片使用时的密封效果和安全可靠性，特别是大规格的缠绕式垫片问题更突出，而且运输和安装都困难。根据不少用户反映，大规格缠绕垫片在装运到厂开箱时就经常发现有“散架”的，因此关于缠绕垫片的使用，正如一些密封专家所指出的，这种缠绕式垫片“目前用得最多，但问题也出得最多”。

广州市东山南方密封件公司

本文介绍的**波齿复合垫片**系根据作者本人发明的最新专利技术开发的金属与膨胀石墨材料相　复合的新型密封件。它综合了金属密封件与非金属密封件的优点，因而具有非常优异的综合性能。　**波齿复合垫片**包括两种类型的复合垫片，即**普通型波齿复合垫**(简称 BCD 复合垫)，适用于普通联接法兰，另一类型是**波齿复合换热器垫片**(简称 BCH 复合垫)，它根据不同管程带各种隔条，适用于多管程换热器联接法兰。上述两类**波齿复合垫**均已由广州市南方密封件厂系列生产，可按国内　外各种管法兰或容器法兰标准制造，也可按非标准法兰和换热器设计标准制造。波齿复合垫片的金属骨架材料有多种、通常包括低碳钢和不锈钢，按介质和使用温度等条件选定。目前该垫片已在石油化工，电力、轻纺等工业部门推广使用，均获得很好的效果，为用户解决了不少长期存在的泄漏难题，受到各用户单位的高度评价和欢迎。下面介绍**波齿复合垫**的结构性能特点以及在石油化工系统中的实际使用情况。

一，　波齿复合垫的结构特点

波齿复合垫片系由特殊构造的金属骨架与膨胀石墨材料复合而成。金属骨架上、下表面开有相互错开的特殊形状的同心园沟槽，其上复合上一层适当厚度的膨胀石墨材料，最终构成整体结构的垫片。由于复合垫片的金属骨架既系带尖齿、又是波纹状的，故名为**波齿复合垫片**。使用时由于法兰的压紧，复合在垫片上的石墨材料被压缩进入沟槽，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进一步压紧下产生弹性变形、使膨胀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密闭空间里。由此形成了**波齿复合垫片**的特有性能，一道道金属骨架的尖齿峰连同被高度压缩的膨胀石墨材料构成一道道严密的密封，整个复合垫片实际上具有多道金属密封与膨胀石墨材料密封的联合作用。而特殊构造的金属骨架就像弹性元件一样使复合垫片具有良好的弹性。



1. 膨胀石墨材料　　2. 特殊构造的金属骨架

波齿复合垫断面结构图

二，波齿复合垫片的性能特点

由于**波齿复合垫片**的特殊构造使之与其他垫片相比具有一系列更为优异的性能特点。

广州市东山南方密封件公司

(1)**优异的密封性。**由于**波齿复合垫片**具有齿形金属密封和非金属膨胀石墨密封的双重作用而且它的密封带是完全隔开的(这有别于缠绕式垫片的螺旋形带)，因此使它具有特别优良的密封性。气密性试验表明，**波齿复合垫**不仅在35MPa压紧下能达到极高的密封性(泄漏率可达10^{-5} cm^3/s级)，而且在低比压下仍有优异的密封性，在15MPa比压下气密性仍达到$10^{-3}cm^3/s$级指标（石棉橡胶板标准规定仅为$10^{-2}cm^3/S$)。

(2)**回弹性能优良，密封寿命长。**由于**波齿复合垫片**具有特殊构造的波齿状弹性骨架，而且构成复合垫片的金属和膨胀石墨材料具有极好的耐高温，耐流体侵蚀的性能，不会老化，垫片的弹性主要由特殊构造的金属弹性骨架产生、不必担心使用时会发生应力松驰，因此能长期保持优异的密封性能。

(3)**安全可靠性高。波齿复合垫片**使用时金属骨架的环形齿峰与法兰面紧密接触，其膨胀石墨材料为坚固的金属骨架和法兰面所封闭，因此不必担心膨胀石墨材料会被高压流体冲走，也不必担心会像缠绕式垫片那样被压“散架’或“压溃”(“失稳”)，**波齿复合垫片**实际上具有与金属垫片同样的安全可靠性。

(4)**使用安装方便。波齿复合垫**系带金属骨架的整体结构，在运输和使用安装中不必担心像缠绕式垫片那样会“散架’。此外，**波齿复合垫片**厚度较薄(通常2～4mm)，在用于凸凹型或榫槽型法兰时可以留出足够深度作为凸型法兰安装时定位用，因而安装方便，能确保安装质量，避免缠绕式垫片通常因厚度较大，影响定位而容易产生压偏的现象。

(5)**适应性广。波齿复合垫片**几乎可以适用于绝大多场合，包括高、低温(-200～600℃)和高、低压(真空-25MPa)，由相应的金属骨架材料制造的**波齿复合垫片**可用于包括大多数腐蚀性流体在内的各种场合。

(6)**经济性。波齿复合垫片**是一种经济型垫片。尤其是在石油化工和电厂中各种油品，蒸汽等非腐蚀性流体场合，采用由碳钢材构成的**波齿复合垫**代替缠绕式垫片或齿形垫等可为用户节省费用。

三、波齿复合垫片的实际应用

由于**波齿复合垫片**具有一系列非常优异的性能，特别是作为高参数的法兰联接密封件，它克服了目前广泛使用的缠绕式垫片容易“散架”和“压溃”而给使用者带来的设

广州市东山南方密封件有限公司

备泄漏和安全上的隐患。它的安全可靠性与使用金属垫片如齿形垫等无异，但密封性能好得多，寿命长，能适应生产工艺参数变化的场合，因此系高参数场使用的综合性能最好的密封垫片之一，可广泛用于石油化工、电力等部门。目前，波齿复合垫片已在石油化工，电力等大中型企业中逐步推广使用并获得很好的效果。已经使用的最高参数，温度达600-700℃、压力达20MPa、最大规格为直径达Φ1580，其中部分典型使用事例简介如下。

1.**波齿复合垫**最先使用于炼油厂常减压装置上来解决高温高压换热器长期存在的泄漏问题。

广州石化总厂炼油厂常减压装置(二)的换热器从92年4月开始逐渐改用**波齿复合垫片**代替原来的铁包垫和石墨缠绕式垫片均取得很好的效果。

a．**波齿复合垫**在高温高压换热器上的应用效果。

原油一减渣换热器(换24／1、2、3)(进口设备)头盖垫；　1087X1033X4，管侧垫982x916x4；介质：闪底油；温度：303℃；压力：2.27MPa。管箱垫：　982x916X4；介质：渣油；温度：370℃；压力：2.3MPa，

原油一常二中换热器（换21/3.4)(进口设备)；头盖垫：1216X1162X4，管箱垫：1087X1033X4，介质：重柴油，温度：300℃，压力：0.92MPa。

上述5台换热器的法兰垫片过去都使用石墨缠绕垫或铁包石棉垫，在上个生产周期中出现泄漏较大、而且经多次带压压紧仍然泄漏，影响装置的安全生产。在92年4月大修中改用**波齿复合垫**后一直保持密封不漏。尤其是在使用期间该装置曾因其他装置出现事故而突然紧急停车及再紧急开车恢复生产，在此情况下，这5台换热器仍能保持非常良好的密封性，而有些设备使用其他形式垫片的已发生泄漏。由于波齿复合垫成功地解决了该装置上最难密封的几台换热器的问题，因此该装置的90多台换热器已大部分采用**波齿复合垫**作为密封件。茂名石化炼油厂蒸馏(三)装置在各种参数设备上使用**波齿复合垫**同样获得很好的效果。

b．**波齿复合垫**用于法兰表面有缺陷的换热器上，解决了设备的密封问题。

在上述装置中有部分进口换热器，其法兰表面原设计有凸台线(0.5X 3mm)，以图增加密封性，有部分管板和管箱法兰密封面因长期使用而产生成片状的大小和深度不同的

广州市东山南方密封件公司

坑点，以前使用铁包垫均发生泄漏，94年大修后改用石墨缠绕式垫片。投入使用一个月未漏，但这时因其它装置事故引起紧急停工和重新迅速开工，即发生小漏，10天后即大漏而不得不停工更换垫片。为此决定采用**波齿复合垫**，安装后在不预热不热紧的情况下投入使用，密封不漏。在后来装置曾因供电系统晃电而导致操作出现大波动情况下仍能保持良好的密封。这说明**波齿复合垫**用于法兰面存在一定缺陷的情况下仍能够获得很好的密封性能。

2．用**波齿复合垫**解决减粘裂化装置上高温渣油等介质的密封。

广州石化总厂炼油厂减粘裂化装置上有部分换热设备使用温度达350℃、压力3.1MPa、介质为渣油、原料油等、是较难密封的部位。过去用石墨缠绕垫片，但仍然发生泄漏。92年8月临时检修更换垫片时在二台原料—渣油换热器上用**波齿复合垫**代替原来的石墨缠绕垫，具体参数如下：

原料—渣油换热器(EA — 1/A-D，2台)

(FB1200-375-40-6)

管箱侧垫：　1304x1268x4

介质：粘料，温度：322℃，压力：3.1MPa

管箱垫：　1290x1246x4

介质：减渣　温度：350℃　压力：1.3MPa

改用**波齿复合垫**后一直保持密封不漏的良好状况，因此该装置在93年3月份大修时有28台　换热设备全部采用**波齿复合垫**代替原用的石墨缠绕垫，使各设备一直处于良好运行状态。

3．**波齿复合垫片**解决了加氢精制装置的高温高压含氢生成油换热器的密封难题。

炼油厂加氢精制装置上有部分换热器由于承受高温高压介质的作用(温度300℃以上、压力达9.0MPa)而且介质系含氢的生成油等，因而设备法兰联接处很容易泄漏，而如果一旦发生泄漏将是非常危险的。据了解，92年10月份日本一炼油厂的加氢脱硫装置的一台换热器就曾发生泄漏而引起爆炸，造成9人死亡，8人受伤的重大事故。93年初广州石化炼油厂将我厂的**波齿复合垫**用于加氢精制(二)装置的换热器上，解决了该类

广州市东山南方密封件公司

设备以往存在的泄漏难题，收到很好的效果。

设备名称：反应生成冷却器和换热器(E102/1.2、E104/1-4)

(YB800-180-100-2，YB700-205-100-2)

温度：壳程：～277℃

管程：～370℃

压力：壳程：9.05MPa

管程：7.85MPa

介质：含氢原料油及反应生成物等

波齿复合垫片规格：BCH-O-918X868X3.8-100-III　2件

BCD-〇-918X863X3.8-100-III　2件

BCH-O-818X758X3.8-100-III　4件

BCD-〇-818X785X3.8-100-III　4件

以上6台换热器原设计使用齿型垫，因泄漏而改用石墨缠绕式垫片，但仍不能解决问题。在92年4月份大修开车后其中E102一直泄漏，至7月份不得不停车更换垫片，当时使用了某厂提供的柔性石墨复合垫（高强石墨垫片），但开车后仍不能密封。在这种情况下又不能停车，为了安全只好用高压蒸汽吹扫泄漏部位，以驱散易燃易爆介质，从而使设备长期“带病”工作。93年初装置大修，开始采用南方密封件厂的专利产品**波齿复合垫**。为了适应高温高压含氢油品的氢腐蚀，该垫片采用SUS304不锈钢作为弹性波齿骨架材料。垫片安装投入使用后，装置开车过程即表现出与其他垫片不同的特性。使用其他垫片时即使在正常操作时能密封不漏，但在开车初期因温度和压力的波动会或多或少出现泄漏，为此要进行热紧。但采用**波齿复合垫片**却能始终保持密封，并且不需要热紧。以往其他垫片在操作稳定情况下虽然不漏，但不能对法兰联接部位进行保温，因为保温会引起法兰温度场的重新分布，由此造成变形协调发生变化而导致密封的破坏。该装置曾发生过因保温而使法兰联接发生严重泄漏的情况。但采用**波齿复合垫片**后经过开车和初期进行的多次事故开停车和参数波动，其密封性能一直很好。后来又进一步对法兰联接部位进行保温，保温后该部位仍保持良好的密封状况，因而使**波齿复合垫**在该装置获得很高的评价，除此之外，**波齿复合垫**还在炼油厂的催化装置、重催装置及动力发电装置等上推广使用，均获得很好的效果。目前一些装置其设备参数即使不很高，但

广州市东山南方密封件公司

仍然采用**波齿复合垫**，以求安全可靠、“一劳永逸”。

参考资料：

（1） 《新型波齿复合垫片在我厂加氢车间高温高压换热器上的使用情况》

广州石化总厂 炼油厂 加氢精制车间

（2） 《关于BCD复合垫片在蒸馏（二）车间部分换热设备试用情况报告》

广州石化总厂 炼油厂 蒸馏（二）车间

注： “波齿复合垫片”是我厂（公司）在90年代时的产品名称，2003年制订国家标准时正式改名为“柔性石墨金属波齿复合垫片”。

广州市东山南方密封件公司