广州市东山南方密封件有限公司
地址：广州市白云区北太路 1633 号民营科技园科兴路 9 号

波齿复合垫片及其应用

广州市东山南方密封件有限公司　　总工程师室　吴树济

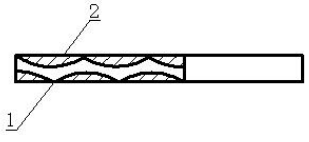
波齿复合垫片是广州市东山南方密封件有限公司（即原广州市东山区南方密封件厂，或简称广州市南方密封件厂）于 1992 年初根据公司董事长吴树济高级工程师发明的 2 项专利技术（“改进型金属－膨胀石墨复合垫片”，“换热设备复合垫片”）开发研制成功的专利产品。该专利产品曾被广州市科委列为研制项目和广州市经委列为新产品开发项目，并通过了由广州市科委和广州市经委联合组织的鉴定。波齿复合垫片研制项目荣获广州市人民政府颁发的广州市科技进步二等奖。1999 年波齿复合垫片被广东省科学技术委员会评为广东省级重点新产品。2000 年波齿复合垫片的专利实施项目被广州市专利管理局评为第四届广州市专利实施奖二等奖，并在第十届全国发明展览会上被评为新技术产品金奖。

波齿复合垫片于 1992 年初开发研制成功后因其结构独特，性能优异，已为广大用户一致认可和高度好评，并在石油化工、电力等部门获得广泛应用，因而成为新一代高性能法兰联接密封垫片。该垫片的国家标准“柔性石墨金属波齿复合垫片　分类”（GB/T19066.1－2003）、“柔性石墨金属波齿复合垫片　管法兰用垫片尺寸”（GB/T19066.2－2003）和“柔性石墨金属波齿复合垫片　技术条件”（GB/T19066.3－2003）已于 2003 年由我公司和机械科学研究院等单位制订并由国家质检总局发布实施。2008 年又由我公司和中机生产力促进中心负责对 GB/T19066.1－2003 和 GB/T19066.2－2003 标准进行了修订合并成为新国标“柔性石墨金属波齿复合垫片　尺寸”（GB/T19066.1－2008），同时将 DN650 以上的大通径波齿复合垫片纳入国标 GB/T 13403－2008“大直径钢制管法兰用垫片”，并由国家质检总局发布实施。

本文介绍波齿复合垫片的结构和性能特点以及它在石油化工等领域的应用。

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



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

广州市东山南方密封件有限公司

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波齿复合垫片具有良好的弹性。

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类型垫片相比具有一系列更为优异的性能特点：

(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，波齿复合垫片不仅在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。

广州市东山南方密封件公司

(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数场合，包括高、低温(-200～600℃)和高、低压(真空～25.0MPa)场合，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．波齿复合垫片的应用

波齿复合垫片自1992年研制开发成功后由于其独特的结构和优异的性能而很快在各工业部门获得了广泛应用。特别是，在波齿复合垫片的应用过程中，不论在推广应用阶段还是此后的广泛应用均能为广大用户解决了不少以往使用其他垫片所不能解决的密封难题，因而受到广大用户的一致认可和高度好评。波齿复合垫片不仅密封性能优异而且它的整体性好，完全克服了缠绕式垫片在生产制造、运输和安装时容易散架溃坏的缺点，特别适用于大通径法兰，如人孔法兰，设备法兰和换热器法兰上使用。目前，波齿复合垫片实际使用的最大通径已达 DN4000 mm。在设备（换热器）上实际使用的温度已高达440℃，压力高达18.8 MPa。

（一）波齿复合垫片的应用实例

波齿复合垫片的部分典型应用实例见下表。

	一，(三)蒸馏装置 1．换 13/1 ， A ， B(渣 油 一 次)	BCD-O-886x846x3.8-4.0-III	过去 在这些渣

广州市东山南方密封件公司

茂名石油公司炼油厂	(EB700-120-40-2) 温度：壳 374℃ ， 管 272℃， 压力：壳 1.53MPa， 管 2.0MPa， 介质：渣油，拔头油 2．换 13/5 ， C,D(渣 油 五 次) (FB700-125-25-2) 温度：壳 195℃， 管 165℃， 压力：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-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	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

广州市东山南方密封件公司

			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

广州市东山南方密封件公司

			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。
	二、制氢装置 1. 粗氢/中变气换热器（换4） t=407℃，p=1.8MPa 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—0—678x628x3.8—I BCD—0—1260x1215x4—I BCD—0—505x477x3.8—I BCD—0—320x295x3.8—I BCD—0—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

广州市东山南方密封件公司

			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

广州市东山南方密封件公司

			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

广州市东山南方密封件公司

			不必热紧，而一点泄漏迹象也没有，始终保持良好的密封。
	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)， 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—0—312x263x3.8—I BCD—0—885x835x3.8—I BCH—0—885x835x3.8—I BCD—0—1458x1412x4.2—I BCH—0—1458x1412x4.2—I BCH—0—1382x1347x4.2—I BCD—0—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，

广州市东山南方密封件公司

			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

广州市东山南方密封件公司

			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。**
	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 个垫片)	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℃

广州市东山南方密封件公司

			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

广州市东山南方密封件公司

			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

广州市东山南方密封件公司

			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， （8台） t=96℃，p=4.2MPa ， 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

广州市东山南方密封件公司

			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。
	六，制硫装置 废热锅炉法兰DN1600	BCD—0—1680x1620x4.2—I (4件)	此法兰垫曾采

广州市东山南方密封件公司

	t=260～300℃，p=0.4MPa		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	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

广州市东山南方密封件公司

		BCH—0—690x662x3.8—I BCD—0—850x800x3.8—I	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

广州市东山南方密封件公司

			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。

广州市东山南方密封件公司

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

广州市东山南方密封件公司

			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，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

广州市东山南方密封件公司

			程度发生泄漏、结焦、冒烟。
广州石化总厂炼油厂	（一）常减压装置（二） 1. 原油一减渣换热器（进口设备）换24/1,2,3（3台） 管侧：温度303 ℃，压力：2.27MPa，介质：闪底油 管箱：温度370 ℃，压力：2.3MPa，介质：渣油 2. 原油一常二中换热（进口设备）换21/3,4（2台） 温度303 ℃，压力：0.92MPa，介质：重柴油	Φ1087×1033×4.0 Φ982×916×4.0 Φ986×916×4.0 Φ1087×1033×4.0 Φ1216×1162×4.0	上述5台换热器的法兰垫片过去都使用石墨缠绕垫片或铁包石棉垫片，在生产周期中出现较大泄漏，而且经多次带压压紧仍然泄漏，影响装置的安全生产。1992年4月大修时改用波齿复合垫片后一直保持密

广州市东山南方密封件公司

			封不漏，尤其是在使用期间该装置曾因其他装置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，而使用其他型式垫片的则已发生泄漏。
	（二）减粘裂化装置 原料一渣油换热器（EA-1/A～D） (FB1200-375-40-6)(2台) 管箱侧：温度322℃，　　压力3.1MPa 介质：粘料 管箱：温度350℃	 Φ1304×1268×4.0 Φ1290×1246×4.0	原料一渣油换热器使用温度达350℃,压力

广州市东山南方密封件公司

	压力1.3MPa 介质：减渣		3.1MPa，介质为原料油、渣油等，一直是较难密封的部位。过去使用石墨缠绕垫片仍然发生泄漏。 1992年8月临时检修时，在2台换热器上改用波齿复合垫片，效果很好，一直保持密封不漏的良好状况。因此，该装置在1993年月大修时

广州市东山南方密封件公司

			将28台换热器设备全部改用波齿复合垫片代替原来的石墨缠绕垫片，从而使各换热器设备一直处于良好运行状态。
	（三）加氢精制装置 反应生成冷却器（E102/1～2） （YB800-180-100-2）（2台）换热器 （E104/1～4） (YB700-205-100-2)(4台) 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。	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

广州市东山南方密封件公司

			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”

广州市东山南方密封件公司

			工作。 1993年初装置大修，改用**波齿复合垫**。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

广州市东山南方密封件公司

			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

广州市东山南方密封件公司

			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。
中石	新建120万吨/年柴油加氢精制装置： 高温高压U型管换热器（3台）		该高温高压

广州市东山南方密封件公司

化金陵分公司南京炼油厂	通径：DN 1400 温度：400℃ 压力：8.0 MPa 介质：生成物	Φ1640×Φ1556×4.5 （3件）	换热器垫片原设计为金属平垫，在法兰表面加工有3mm宽，0.4mm高的凸台，用以提高垫片的局部应力来达到密封。但装置于2000年9月初开车时因泄漏而无法打压，即使加大上紧力也无法密封（螺

广州市东山南方密封件公司

			栓 M92，共 48 个）。后改用由广州市东山南方密封件公司设计和制造的波齿复合垫片，并于 9 月中旬安装使用，密封效果很好，解决了该设备的密封难题，使该装置很快正常开工投产。
新疆	加氢裂化装置： 加氢反应螺纹锁紧环 换热器 (DN1000)		新建装置的

广州市东山南方密封件公司

独山子石化公司	温度：440℃ 压力：18.8 MPa 介质：反应生成物	Φ1073×Φ1013×Φ997×4.5	高温高压加氢反应螺纹锁紧环换热器法兰垫片原设计选用波齿复合垫片，设备制造单位改用缠绕式垫片，使用时无法密封。2004年1月通过设计单位联系广州市东山南方密封件公司提供波齿复

广州市东山南方密封件公司

			合垫片。安装后一次打压开车成功，密封不漏，解决了该换热器的泄漏难题。
中石化股份天津	加氢裂化装置 1. 塔底重沸器（E202,E203） 温度：366℃, 压力：0.77MPa 介质：塔底油 2. 加热炉F201、F202进料线法兰 3. 3.5MPa边界阀和余热锅炉出口阀法兰 温度：345℃,压力：3.5MPa 介质：蒸汽	Φ665×625×3.8 Φ312×260×2.5 Φ259×211×2.5	在装置第一、二次开工中，由于塔底温度波动较大，造成塔底重沸器E202、E203管箱法兰和加热炉F201、F202进料线法兰等二十余点泄漏，

广州市东山南方密封件公司

分公司	4. 新氢机二级冷却器 温度：80℃,压力13.0MPa 介质：氢气	Φ691×631×3.8(管箱) Φ665×625×3.8（管箱侧）	并引发十几次着火事件。2000年5月装置检修期间将这些泄漏点法兰垫片全部更换为波齿复合垫，这些部位不仅在装置第三次开工期间没有发生泄漏，而且在开工后装置出现两次紧急停工，温度等参数急剧变化的情况下也没有发生泄漏，说明
	5. 单壳程螺纹锁紧环换器 （意大利引进）（E103） 管程：温度：341℃, 压力：17.38MPa 介质：反应生成物 壳程：温度：292℃ 压力：2.02MPa 介质：脱丁烷塔底油	Φ1140×1060×4.8(管箱侧）	

广州市东山南方密封件公司

			波齿复合垫适用温度波动较大的热油部位。 装置3.5 Mpa蒸汽线温度高，热膨胀大，加之管线分支较多，常使管线受力不均，法兰处受扭矩作用，使法兰处产生泄漏，开工期间泄漏问题尤为突出。原管线法兰垫片使用的是软铁八角垫，

广州市东山南方密封件公司

			该垫片的强度高，但补偿性差，管线法兰因受力而产生偏口或错口时易产生泄漏。装置第一次停工整改期间，对 3.5 Mpa 蒸汽系统垫片进行了更换，经过近一年的使用，效果很好，波齿复合垫密封处无一泄漏。 新氢机系统压力较

广州市东山南方密封件公司

			高，波动较大，在机组开停时，瞬时变化最大可达18.0Mpa左右，试运时多次发生泄漏。试运期间将级间冷却器法兰等部位的缠绕式垫片该为齿型复合垫，泄漏问题暂时得到解决。随着使用时间增加，垫片在多次加压降压过程中失去弹性，

广州市东山南方密封件公司

			泄漏问题又相继出现。为解决压力波动较大的部位泄漏，我们在2000年5月检修中改用了波齿复合垫。采用波齿复合垫后，经过近半年的使用，机组经过多次的开停，波齿复合垫密封部位未出现问题。 该换热器原设计的管箱侧垫为石

广州市东山南方密封件公司

			墨缠绕垫片，但由于该换热器的操作参数受 C201 底温波动的影响，管箱侧垫多次发生泄漏着火事故，又因为该换热器为高压临氢设备，一旦发生火灾将严重影响装置的安全，为重大的事故隐患。装置 2002 年停工检修时将 E103 管

广州市东山南方密封件公司

			箱侧垫更换为波齿复合垫片，装置开工后，在多次发生压力、温度波动的情况下，该垫片未发生泄漏，并一直安全运行至今，密封效果良好。
	6. 污水气提区酸性水边界阀和酸性气引出阀 法兰 温度：50～65℃ 压力：0.6～0.8MPa 介质：H2S，H2O等	Φ120×87×2.5	装置的污水气提区硫化氢含量较高，同时酸性水、酸性气中的腐蚀介质对密封垫片的腐

广州市东山南方密封件公司

			蚀较大，长期使用后缠绕垫会因腐蚀而“散架”，石棉板垫会因强度不高而破碎，而泄漏出高浓度的硫化氢又非常危险。装置自99年11月开始对硫化氢含量较高的部位进行垫片更换，泄漏率明显减少。
大庆石油	1. 空分装置液氮贮罐（1000M³） 温度：－196℃ 压力：0.2MPa 介质：液体氮		我厂第二空分装置液氮贮罐是较

广州市东山南方密封件公司

化工总厂水气厂	2. 液化装置管线阀门		大型低温液体贮罐。自1986年安装投用以来，因多处法兰严重泄漏，使其不但尚未得到充分有效利用，而且还存在安全隐患。为此，我们曾先后用过石棉，铁包石棉，及聚四氟乙烯等5种垫片，但效果均不理想，不泄漏时间不超过

广州市东山南方密封件公司

			20天。1994年10月，对该罐进行改造，法兰密封选用大小不同的不锈钢波齿复合垫片，共33个。改造试用过程中，密封面泄漏率为0.6%，进一步压紧后泄漏率为0。使用至今亦无泄漏。 液化装置管线阀门经常发生泄漏而导致装置非计划

广州市东山南方密封件公司

			停车。1996年9月在停车更换成不锈钢波齿复合垫片后，泄漏率为0，解决了泄漏问题。
大庆石化总厂化工厂	1．　苯乙烯装置烃化反应器人孔法兰： 温度：470℃，压力：1.5MPa 介质：苯，乙烯 2．　苯乙烯乙苯单元高压蒸汽系统： 温度：380℃，压力：4.0MPa		原人孔密封采用金属缠绕垫片，投产后的一段时间内金属缠绕垫确实具有较好的密封效果。但随着装置运行周期的延长和工艺参数的调整，垫片处便出

广州市东山南方密封件公司

	介质：蒸汽		现微量泄漏，此时越拧紧螺栓泄漏越大，只好“带病”坚持工作。1999年3月大检修时改用波齿复合垫片，安装后在不需要热紧的情况下投入使用，密封不漏。至2002年止仍未发现泄漏，并经受多次工艺参数的调整，引起温度、压力波动的

广州市东山南方密封件公司

			冲击，表现出波齿复合垫片良好的综合性能。 原管线法兰垫片采用金属缠绕垫片，每当冬季蒸汽的压力、温度波动，垫片处经常发生泄漏，多次进行带压热紧，效果不太明显，威胁着装置安全生产。1999年3月大检修时改用波齿复合热

广州市东山南方密封件公司

			紧垫片，投产后，在装置开工过程即表现出与缠绕垫片不同的特性。缠绕垫片在开工过程中因压力和温度的波动会或多或少出现泄漏，为此须进行；即使在稳定操作时不漏，有时也不能对法兰连接部位进行保温，因为保温会引起法兰温度场的

广州市东山南方密封件公司

			重新分布，由此造成垫片的压紧比压发生变化而导致密封的破坏。通过二年的运行，安装的73片波齿复合垫片仍保持良好的密封性能，尚未发生泄漏。
中石化股份茂名分公	联合三硫磺（三套）（10万吨/年）　硫冷器 温度：150～160℃ 压力：0.4 MPa 介质：过程气	Φ4060×4010×4.5	茂名分公司新建的硫磺装置（三套）（10万吨/年），其中的特大型设备硫冷

广州市东山南方密封件公司

司			器的法兰通径DN4000，原设计为齿形垫。设备制造单位考虑到这么大的齿形垫加工困难，质量难以保证，使用上也难以达到要求，为此改用由广州市东山南方密封件公司生产的波齿复合垫片。该装置于2009年9月开工投产，垫片的密封效

广州市东山南方密封件公司

			果很好，完全满足了设备的要求。
中海壳牌石油化工有限公司	苯乙烯/环氧丙烷装置： 1.碱洗提分离器（V4209） 温度：100℃， 压力：2.35MPa 2.碱洗提聚结器（V4210） 温度：100℃， 压力：2.35MPa 3.C-4605积液罐（V4612） 温度：260℃， 压力：0.45MPa 4.C-4605分相器（V4613） 温度：220℃， 压力：1.5MPa 5.闪蒸器（E-4201） 温度：260℃， 压力：0.58MPa 6.EBHP收集再沸器（E-4208） 温度：260℃， 压力：0.35MPa 7.闪蒸器（E-4218） 温度：220℃， 压力：1.85MPa	 Φ3908×Φ3858×4.5 Φ3008×Φ2958×4.5 Φ2723×Φ2680×Φ2628×4.5 Φ3520×Φ3468×4.5 Φ2993×Φ2941×4.5 Φ3799×Φ3745×4.5 Φ2729×Φ2677×4.5	我装置于2010年4月大修期间有7台特大型设备的法兰通径均在DN 2600以上，最大通径达到DN 3800。原来使用缠绕式等垫片。经与多家垫片生产厂家咨询，如按原来的缠绕垫订购，则从生产制造

广州市东山南方密封件公司

			到运输、安装过程其溃散问题都难以解决，特别是大型设备，在吊装过程中更是如此。为此，我们特与广州市东山南方密封件公司进行技术交流和咨询，了解到该公司生产的波齿石墨复合垫片不仅密封性能优异，而且克服了缠绕垫片在生产、运输、

广州市东山南方密封件公司

			安装时容易散架，在使用时容易“压溃”损坏而失效的缺点，特别适用于大型设备的法兰。经研究决定在这7台大型设备上采用波齿复合垫片来替代原来的缠绕垫。并委托广州市东山南方密封件公司根据设备的使用参数和要求进行设计和制造。垫

广州市东山南方密封件公司

			片的安装过程很顺利。在装置完成大修开汽后，密封效果很好，没有发现任何泄漏情况。这充分说明，在大型设备的大通径法兰上使用波齿复合垫片是成功的。它不仅密封性能好，而且运输方便，不会散

广州市东山南方密封件公司

			架，特别是安装要比缠绕式垫片容易得多，决不会被碰散，而且还因此而节省成本。因为如果仍采用缠绕垫的话，考虑到缠绕垫在运输、搬运过程中，特别是在安装过程中经常会溃散损坏而不得不在订

广州市东山南方密封件公司

			货时定购比需要的数量更多的垫片。例如这7台大型设备的垫片，按原计划采用缠绕垫垫时要定购21件，即每台要多备2件，而改用波齿复合垫片后，在安装过程中发现波齿复合垫片的安装非常方

广州市东山南方密封件公司

			便，根本不需要多备，因此只按设备的需要量定购了7件，因而为公司节省了**2/3**的费用。

（二）波齿复合垫片的实际应用情况

1．波齿复合垫片在工程项目中的应用

从上世纪90年代末起，波齿复合垫片开始在石油化工工程项目中获得广泛应用。下表仅为部分由我公司供货的工程项目中波齿复合垫片的应用实例。

序号	时间	建设单位（业主）名称	工程项目名称	承建单位名称	波齿复合垫片使用量（件）
1	1998～1999	茂名石油化工公司	渣油加氢，柴油加氢，制氢等项目。	洛阳石化工程公司	13296
2	1999～2000	洛阳石油化工公司	PX装置，PTA装置，芳烃联合装置。	洛阳石化工程公司	12476
3	2001	青岛石油化工公司	催化重整项目	洛阳石化工程公司	1610
4	2002～2003	新疆塔里木油气化工有限公司	大炼油改扩建项目（常减压，焦化，催化重整，加	洛阳石化工程公司	26939

广州市东山南方密封件公司

			氢，制氢，芳烃等装置）		
5	2004～2005	湛江东兴石油化工有限公司	500万吨炼油项目（常减压，催化，重整，加氢精制，苯抽提，氢提浓，制氢等装置）	洛阳石化工程公司	21095
6	2005～2006	海南实华石油化工有限公司	800万吨炼油项目（加氢，制氢装置）	洛阳石化工程公司	8023
7	2006～2007	广州石油化工有限公司	1350万吨炼油项目（常减压，加氢裂化，加氢精制，汽油加氢，柴油加氢，制氢，焦化，催化，气分等装置）	洛阳石化工程公司	17251
8	2006～2007	湛江东兴石油化工有限公司	1000万吨炼油项目（苯抽提，气分等装置）	洛阳石化工程公司	4641
9	2007～2009	福建炼油化工公司	乙烯炼油化工一体化项目（加氢裂化，柴油加氢，航煤加氢，加氢处理，催化裂化，溶剂脱沥青，制氢，气分等装置）	洛阳石化工程公司	6402
10	2007～2008	青岛炼油化工公司	1000万吨炼油项目（重整，柴油加氢，煤油加氢，加氢精制，酸性水汽提，制氢，硫磺，催化，气分等装置）	洛阳石化工程公司	17309
11	2007～2008	洛阳石油化工公司	油品提升炼油项目（延迟焦化，加氢精制，制氢，气分等装置）	洛阳石化工程公司	13579

广州市东山南方密封件公司

12	2008～2009	中海油惠州炼化公司	1200万吨炼油项目（芳烃联合，汽油加氢，柴油加氢，加氢裂化，催化裂化，MTBE，烷基化，制氢，气分，硫磺回收，酸性水汽提，脱硫联合，废酸处理等装置）	洛阳石化工程公司	14255
13	2008～2009	中石化广州分公司	催化重整联合装置	洛阳石化工程公司	29428
14	2008～2009	湛江东兴石油化工公司	1000万吨炼油二期扩建（重油催化裂化，常减压，制氢，汽油加氢，气分，产品精制，硫磺等装置）	洛阳石化工程公司	8872
15	2009～2010	中石油广西石油化工公司	1000万吨炼油项目（制氢，硫磺，催化裂化，汽油加氢，重整，蜡油加氢，制氢等装置）	洛阳石化工程公司	2837

2．在石油化工行业上应用波齿复合垫片的单位

现在波齿复合垫片在包括中石化、中石油和中海油等石油化工行业的各单位都获得广泛应用，据统计仅由我公司供货的使用单位就超过 43 家，其中包括：

中石化系统：

中石化股份公司茂名分公司，
中石化股份公司广州分公司，
中石化股份公司洛阳分公司，
中石化湛江东兴石油化工公司，
中石化股份公司天津分公司，
中石化股份公司九江分公司，
福建炼油化工有限公司，
中石化股份公司金陵分公司，
中石化青岛炼油化工公司，
中石化股份公司上海高桥分公司，

广州市东山南方密封件公司

中石化股份公司齐鲁分公司，　　中石化股份公司北京燕山分公司，
中石化海南炼油化工公司，　　中石化扬子石油化工股份公司，
中石化股份公司长岭分公司，　　中石化股份公司荆门分公司，
中石化股份公司武汉分公司，　　中石化青岛石油化工公司，
中石化股份公司石家庄炼化分公司，　　中石化股份公司沧州分公司，
中石化股份公司塔河分公司，　　中石化上海石油化工股份公司，
中石化集团洛阳石油化工工程公司，　　中石化工程建设公司 ，
中石化集团南京工程有限公司，　　中石化集团上海工程有限公司，
中石化集团宁波工程有限公司

中石油系统：

中石油股份公司大港石化分公司，　　中石油股份公司长庆石化分公司，
中石油股份公司华北石化分公司，　　中石油股份公司吉林石化分公司，
中石油股份公司大庆石化分公司，　　中石油股份公司广西石化分公司，
中石油工程建设公司华东设计分公司。　　中国寰球工程公司，

中海油系统：

海南中海油气有限公司，　　中海油炼化公司惠州炼油分公司，
中海壳牌石油化工有限公司

陕西延长石油（集团）有限责任公司：

陕西延长石油（集团）公司延安炼油厂，　　陕西延长石油（集团）公司永坪炼油厂，

其他：

宁夏宁鲁石化公司，　　咸阳天然气公司，
珠海BP化工有限公司

3．在石油化工领域中使用波齿复合垫片的装置

据粗略统计，在石油化工领域中使用波齿复合垫片的装置几乎涵盖石油化工的所有装置，其中包括：蒸馏、催化裂化，加氢、脱硫，硫磺，重整、气分、MTBE、焦化（延迟焦化），溶剂、减粘、芳烃，汽油加氢，航煤加氢、蜡油加氢，加氢处理、加氢精制、加氢裂化，制氢，烷基化，S-ZORB、裂解、汽加，酸性水汽提，苯抽提，氢提浓，丁二

广州市东山南方密封件公司

烯、芳烃、碳五，产品精制，聚乙烯、聚苯乙烯、苯乙烯、聚丙烯等等。

4．近10年来波齿复合垫片使用量

根据粗略统计，从2000年至2009年这10年中，仅由我公司生产销售的波齿复合垫片产品总量超过 120万 件。其中：

（1）用于工程项目建设的波齿复合垫片超过 20万 件。

（2)用于装置检修的波齿复合垫片超过 99.6万 件。其中石化行业 超过86.5 万件，电力和造纸行业超过10.6万件，机械制造行业配套超过2.5万件。

（3）用于容器和换热器的波齿复合垫片超过 81800 件。其中仅在中石化股份广州分公司和中石化股份茂名分公司应用并由我公司供货的直径DN 1500以上的波齿复合垫片数量已达近 8000 件。

由此可见，波齿复合垫片现在已成为在石油化工和其他领域获得广泛应用的法兰密封垫片产品。

广州市东山南方密封件有限公司　总工程师室　吴树济

2010年6月

参考文献

1. 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（1994年）

《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　吴树济

2. 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（1996年）

《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》

广州市南方密封件厂　吴树济　钟海强

广州市东山南方密封件公司

3.《新型金属－膨胀石墨复合垫片　波齿复合垫片》

广州市南方密封件厂　吴树济

《流体工程》　第21卷　第9期　1993年9月

4.《换热器用新型波齿复合垫片》

广州石油化工总厂炼油厂　梁建原　郑伟权

广州市南方密封件厂　吴树济

《压力容器》　第10卷　第4期　1993年4月

5.《波齿复合垫片在加氢装置高温高压换热器上的应用》

广州石化总厂　郭海东　李勇强

《压力容器》　第12卷　第6期　1995年6月

6.《波齿复合垫片在我厂的应用》

茂名石化公司炼油厂　陈大秋　程绍武

《石油化工设备技术》　第17卷　第3期　1996年5月

7.《波齿复合垫片及其应用》

大庆石油化工总厂水气厂　工程师　孙永杰

《石油化工设备》　第27卷　第1期　1998年1月

8.《几种常用垫片的性能与比较》

武汉石油化工厂　周炎清

《设备通讯》　武汉石油化工厂设备管理协会　1994～1995

9.《波齿复合垫片在加氢裂化装置上的应用》

中石化股份天津分公司　王学兵　宋兴武

《石油化工设备技术》　2004年　第6期

10.《波齿复合垫片在苯乙烯装置的应用》

大庆石化总厂化工厂　刘新国

《机械》　第30卷　第1期　2003年

广州市东山南方密封件公司

11.《中海壳牌石油化工公司苯乙烯/环氧丙烷装置　大直径波齿复合垫片的应用》　（使用报告）

中海壳牌石油化工公司苯乙烯/环氧丙烷装置　机械工程师：田松
2010年6月22日

12.《波齿复合垫片在中石化广州分公司的实际应用》

（使用报告）

中石化股份公司广州分公司　机械动力部　2010年6月2日

13.《中石化股份茂名分公司关于使用波齿复合垫片的情况说明》

（使用报告）

中石化股份公司茂名分公司　机动部　2010年6月23日

广州市东山南方密封件公司