燃气系统法兰密封垫片的选用

吴树济

（广州市东山南方密封件有限公司）

垫片密封件是工业装置最为一般的静密封形式，因此垫片密封件又是工业生产应用最广的配件之一。一般工业生产企业所使用的密封件数量数以千计，对大型石油化工、电力等企业则数以万计，而泄漏又是很多工业生产过程中生产装置最为常见的失效形式。据统计，在石油化工企业非计划维修工作量有 60-80%是用来维修密封装置的，也就是说石油化工装置中非计划事故维修工作大部分是由于泄漏造成的。泄漏不仅造成生产损失、物料流失、污染环境，而且会造成人员的重大伤亡，这方面的事例很多、不胜枚举，即使在宇航部门这样高技术领域也不例外，八十年代中美国航天飞机“挑战者”号就是因为密封件泄漏而造成机毁人亡的。92 年 10 月日本某石油公司炼油厂加氢脱硫装置的一台换热器的法兰连接处泄漏引起爆炸，造成 9 人死亡、8 人受伤的悲剧就是石油化工企业因泄漏而产生重大事故的较为突出的例子之一。因此，垫片作为法兰连接的密封件已愈来愈为人们所重视。随着现代工业生产的发展，各工业部门，尤其是大型石油化工企业，火力发电厂，核电站和其它工业企业对垫片的密封性能提出愈来愈高的要求。燃气系统也不例外，由于燃气易燃、易爆和有毒等特性使得燃气系统对在其中使用的垫片密封要求也提出更高的要求，本文针对目前在燃气系统中常用石棉橡胶垫、聚四氟乙烯垫、缠绕垫、高强石墨垫、波齿复合垫等垫片，介绍其性能特点并结合燃气系统的情况提出选用时值得注意的问题。

一. 燃气系统中常有垫片及其特性

1. 石棉橡胶板垫片

这是应用最早的传统密封材料，包括普通型和耐油型二大类。其中又分高压、中压和低压各种牌号。石棉橡胶板系由石棉纤维、胶料及其它填充材料经混炼加热和辊压而成，其中耐油板还要加热硫化处理。由于石棉纤维强度较高，又能耐较高的温度（石棉耐温性能通常在 480℃以内，高于此温度时石棉纤维内的结晶水会分解而失去强度），材料来源广泛、制造上便于工业化生产，能根据需要在现场做成各种形状和规格的垫片，使用较为方便，价格便宜，因此，一直以来是应用较广的传统密封材料。但这种材料密封性能并不高（其密封性通常在 1×10^{-2}~$1\times10^{-3}$$Cm^3N/S$ 左右），特别是这种垫片的橡胶等组份容易受温度和介质（如溶剂）的作用而损坏，而且在使用时很容易发生应力松弛现象，影响它的密封性能和寿命，此外由于石棉系人们公认的致癌物，从七十年代起，世界上不少国家已陆续制订法律将其列入禁用范围，随着人们对设备密封要求的提高以及密封技术的发展，石棉橡胶材料已逐步为其他新材料所代替，使用量正逐渐减少。一般只应用于温度、压力不高的非重要设备场合。

2. 聚四氟乙烯垫片

聚四氟乙烯材料具有非常优秀化学耐蚀性和宽广的耐温特性，它能耐包括酸、碱、溶剂等各种化学介质的腐蚀、其耐温可以从-250℃~+250℃，而且具有洁净不污染等特点，因此常用于化工、食品、医药等企业作为密封垫片，但这种材料最大缺点是其冷流性能，即使在常温下，也会随着时间的推移其接触应力会减少，即容易产生应力松弛，从而影响垫片的密封寿命。

3. 柔性石墨缠绕式垫片

缠绕式垫片在 30 年代国外就已有采用，我国六十年代以后开始大量生产和推广使用。早期缠绕式垫片系以石棉作为填充材料，由于石棉填充的缠绕式垫片密封性不如柔性石墨，而且石棉系致癌物质，因此现在的缠绕式垫片多以柔性石墨作为填充材料。柔性石墨缠绕式垫片具有良好的密封性能，能适应高温高压参数的要求，其回弹性也较好，在温度和压力变化的场合仍能保持较好的密封性（其密封性能指标通常可达 $1X10^{-4}$ Cm^3N/S）系以往石油、化工、电力等系统使用较为普通的垫片。但是，由于结构和制造上的原因，缠绕式垫片的缺陷也是很明显的。

广州市东山南方密封件公司

正如有的行家所指出的“这种垫片目前用得最多，但问题也出得最多”，这就是人们通常所说的“散架”和压溃（或称“失稳”）问题。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形成，使垫片无法形成整体牢固的结构，因而很容易散开损坏，给垫片的运输和安装造成困难，这种情况尤以大规格垫片（如冷换设备上的垫片）为甚。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。由于周向应力的大小与直径成正比，垫片的规格越大，拉脱损坏就越易。所谓“压溃”（或“失稳”）是垫片在使用时受很大的压紧比压，填充物（柔性石墨）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，导致密封失效。压紧力越高，垫片尺寸越大就越容易发生“压溃”。从现场调查看，不少用于冷换设备的缠绕式垫片经使用后拆开法兰时发现垫片已被压“散架”或“压溃”，因而泄漏往往就从这些部位发生。因此为了克服其“散架”和“压溃”的缺陷，可在缠绕垫的内外径处加装内、外加强环，做成带内环、外环或内外环的缠绕垫。

缠绕式垫片属于半金属垫片，其压缩刚性比较大，因此要求在足够的螺栓力下才能达到其良好的密封性和寿命。缠绕式垫片应用范围广，既能用于高、低温也能用于高、低压场合，是目前应用较为广泛的垫片材料之一。

3. 高强石墨复合垫

高强石墨复合垫片是以经冲刺的金属薄板为骨架，在其表面复合柔性石墨构成的。作为骨架的金属薄板仅起增加强度和整体刚性的作用，以便制作和使用较为方便，但起密封作用的仍然是柔性石墨材料本身。柔性石墨材料是 60 年代美国联碳公司发明的新型密封材料、它有极其优秀耐温性（从-260~+1500℃）、耐腐蚀性（能耐绝大部分化学介质）有很低的摩擦系数，能自润滑、导热性极好，耐辐射，应力松弛率小，做成密封件有很好的密封性能。因此，它的出现被认为是密封材料领域的一次革命。柔性石墨的缺点是其机械强度还不够高，因而在单独使用时受到限制。为此，在开发应用上更多的是与其它材料复合做成复合型密封件，前面所述的柔性石墨缠绕垫就是以柔性石墨作为填充材料，与金属带通过缠绕方式做成的复合型垫片。高强石墨垫片也是柔性石墨与金属骨架复合而成的垫片。因此，它具有柔性石墨材料所具有的密封性能好，耐温范围广，能耐大多数化学介质多种溶剂的侵蚀，是性能较好的密封垫片，但由于材料强度不高，在高压情况下使用其安全性不够，因此，国内外一般系作为非石棉密封材料用于取代传统的石棉橡胶板，用于介质压力较低的场合。

4. 波齿复合垫片

波齿复合垫片是九十年代以来才发展起来的新一代法兰密封垫片，它是广州市东山南方密封件有限公司根据作者本人发明的专利技术而开发研制的新型法兰密封垫片。波齿复合垫片自九十年代推向市场以来已在石油、化工（包括燃气）、电力等各工业部门获得广泛应用并取得很好的效益。它为用户解决了不少过去采用其它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。作为全新的密封垫片，2003 年在国家质监总局标准化委员会的支持下由我公司参与制订的波齿复合垫片的国家标准已制订完成并由国家质监总局标准化委员会批准正式颁布实施。

波齿复合垫片系由特殊构造的金属骨架与柔性石墨材料复合而成。金属骨架的上、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柔性石墨材料，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的进一步压紧下产生弹性变性、使柔性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，

广州市东山南方密封件公司

一道道金属骨架的尖齿峰连同被高度压缩的柔性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柔性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。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。

（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骨架产生、不必担心使用时会产生应力松弛，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℃+700℃）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、蒸气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。

二. 燃气系统密封垫片选用的一般建议

燃气系统介质的工况比较特殊，虽然燃气系统的实际操作参数如温度、压力等不高，但燃气系统的不少介质本身属于易燃、易爆甚至有毒的气体，如果密封不良会引起严重的后果。因此必须从安全角度对密封垫片的选择给予足够的重视。

传统的石棉橡胶板尽管有一定的密封性，材料来源广泛，价格便宜，又便于现场制作。因而过去在各工业部门的很多场合，包括燃气系统曾大量使用。随着现代工业的发展，各工业部门尤其是石油化工系统（包括燃气系统）对密封垫片的性能提出了更高要求。由于石棉橡胶板的材料容易受到石油化工系统燃气系统介质的侵蚀而损坏最终影响密封的使用寿命，因此在密封领域新材料不断涌现的情况下，以往的石棉橡胶板在石油化工及燃气系统中的应用已愈来愈少，所以在燃气系统中使用石棉橡胶作为垫片应综合考虑谨慎选用。

聚四氟乙烯作为密封垫片，其对介质的稳定性是它最突出的优点，而且在通常的情况下密封性也是很好。问题是因其固有的冷流性在很大程度上影响它的使用。特别在温度较高、

广州市东山南方密封件公司

压力较高的场合或压力、温度波动或管道配置情况较为复杂的时候，因冷流性而导致应力松弛最终会影响它的密封寿命。因此这种垫片通常可在常温下、压力不高或温度、压力稳定的场合视其对密封的要求高低综合考虑后使用。

理论上柔性石墨缠绕式垫片在材料及性能上均能满足燃气系统的使用要求，尤其是在压力、温度较高的及参数波动情况下采用柔性石墨缠绕垫片效果也比较好，但是正如前面所述由于缠绕式垫片存在容易“散架”和“压溃”的缺陷，在选用时应根据法兰的型式选择相应的垫片型式，平面型和凸面型法兰一定要选用带内、外环型或外环型缠绕垫，凹凸面型法兰应选用带内环型缠绕垫。基本型缠绕垫片只适用于榫槽法兰，还要特别注意的是在低压管道系统中选用缠绕式垫片必要考虑法兰螺栓应力能否满足垫片压缩的要求，因为缠绕式垫片属于半金属型垫片，它要求较高的螺栓力，因此，缠绕式垫片一般只适用于中压以上的法兰，如在低压法兰上使用可能因螺栓力不足而无法获得应有的密封效果。

高强石墨垫具有较好的密封性。因其柔性石墨层较厚，对法兰面的加工要求不高，适用于低压场合使用，特别是可用来取代过去一般参数场合下使用的石棉橡胶板。

波齿复合垫片是 90 年代初才由我公司研制的专利产品。正如前面所述，波齿复合垫片具有一系列与众不同的特性使它具有广泛的适应性，它既适用于高温场合，也能适用于低温甚至超低温场合，既能在高压达 25.0MPa 下使用,也可以在低压和真空下使用,因为它的双重密封机理中含有纯石墨的非金属材料密封层,这些石墨层使它在法兰表面加工要求不高时也能达到良好的密封,而且它在压缩应力很低的情况即能保持很高的密封性.因此在燃气系统中使用时不论其参数如何均能获得满意的效果。波齿复合垫片自 90 年代初进入市场以来，已在石油、化工、电力、轻纺等各工业部门获得广泛的应用。实际应用的工况参数已从低压至 26MPa 高压，温度从—196℃的空分系统至 700℃的高温裂解系统。垫片规格从 DN10 的管道法兰至 DN2500 的容器法兰，波齿复合垫片在这些领域的应用均获得用户的高度评价。在石油、化工系统，我公司的波齿复合垫片的应用也几乎涵盖了中国石化总公司及中国石油天然气总公司下属的各石化企业。近几年，我公司的波齿复合垫片亦已在燃气系统获得推广应用，如佛山燃气总公司从 1999 年开始采用波齿复合垫取得很好效果，[见参考文献（3）]目前已有省内包括广州、佛山、韶关、东莞、中山、白云新机场等 10 多家燃气系统的单位系用波齿复合垫片作为燃气系统的法兰垫片，效果都很好。

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》
中国石油学会炼制委员会、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主办《第六届石化设备密封学术讨论会论文（1994 年）》

（2） 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》
中国石油学会炼制委员会、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工室《第七届石化设备密封学术讨论会论文（1996）》

（3） 陈德兴、梁远、雷洪:《扶西气站储罐注水抡险方案及防堵漏措施》
《广东燃气》2000 年第 1 卷　第 3 期 35~38。

广州市华川密封件公司