

序

旋转接头是造纸、印刷、纺织、橡胶、塑料、化工、建材、食品、炼钢轧钢、合金制品、车辆交通和机器制造等工业中的一个常用部件。旋转接头的正常运行是设备安全正常运转和文明生产的必要条件之一。正确选择、设计、制造、安装、使用和维修旋转接头对于节能是一项很有价值的工作，当前还不是所有的工厂企业能很好地了解它对节能的意义。

张家鑫同志在长期的生产实践和技术管理工作中，对旋转接头进行了大量的试验研究工作，收集了国内外许多技术资料，并以其本人的生产实践经验编写了本书，旨在介绍旋转接头的设计、制造与安装、使用方面的知识，供有关工业部门和设计研究单位的工程技术人员以及有关专业院校在教学中参考阅读。

本书是一本理论同实际相结合的好书，书中，对旋转接头的工作原理、结构分析、零件设计、材质选择、设计计算等方面均作了详细的讨论，并举实例作了说明，便于读者掌握应用。对旋转接头的安装、使用、维修保养和泄漏处理措施等也作了详细的介绍。

张家鑫同志对旋转接头作过大量的研究工作，同时还进行了许多生产实验。旋转接头这一课题通过了国家科委组织的有关专家、学者的鉴定，为我国填补了空白，并已在许多企业中推广，取得了良好效果。

山东化工学院 张美娟 蒙仁泽

一九八七年八月十日

编者的话

旋转接头是机器上的非功能性部件，但是其作用和对整台机器设备，甚至整个工厂的影响都很大，特别是随着塑料、化纤、食品、橡胶、造纸、机械制造等工业的发展，旋转接头将得到越来越广泛的应用。为了杜绝流体的“跑”、“冒”、“滴”、“漏”，防止对环境的污染，节约能源和物料，改进设备运转状况和操作条件，减轻工人的劳动强度，自二十世纪七十年代初约翰逊旋转接头问世以来发展很快。在工业发达国家其应用已十分普遍，并已于七十年代中期将常用类型、规格标准化、系列化了。编者在十年前就开始研究设计、改造、试制，并倡导成立了旋转接头专业生产制造厂和研究所。为满足国内工业生产的需要，使国产常用类型、规格旋转接头早日实现标准化、系列化奠定了良好的基础。

本书是根据编者的试验研究成果和设计、制造、使用的经验，在吸取前人的有关理论基础之上写成的。本书主要介绍了旋转接头的基本原理、分类、摩擦磨损理论、设计计算、泄漏损失及其影响因素，以及材料、摩擦与磨损的机理，摩擦损耗功率、安装使用注意事项及其寿命和工作可靠性等问题。此外，还介绍了大量常用类型旋转接头的结构及其规格尺寸。

此书经山东化工学院张美娟、蒙仁泽教授审阅，并提出了不少宝贵意见。作者希望此书出版后能对旋转接头研究、发展和国产常用类型规格旋转接头早日标准化、系列化起到积极的作用。

编者

目 录

第一章 概述.....	(1)
第一节 旋转接头发展概况.....	(1)
第二节 旋转接头的应用范围.....	(2)
第三节 旋转接头的优缺点比较.....	(3)
第二章 旋转接头的结构原理和分类.....	(5)
第一节 旋转接头的结构和工作原理.....	(5)
第二节 密封参数.....	(10)
第三节 旋转接头的分类、结构特点及其使用条件.....	(10)
一、填料密封与机械密封的旋转接头.....	(10)
二、端面摩擦与球面摩擦运动副结构的旋转接头.....	(18)
三、内装式与外装式旋转接头.....	(76)
四、平衡型与非平衡型旋转接头.....	(76)
五、按主要参数分类的旋转接头.....	(78)
第三章 影响泄漏的因素及其泄漏量.....	(80)
第一节 工艺上可能达到的密封缝隙.....	(80)
第二节 泄漏的影响因素.....	(81)
一、密封缝隙的机械变形.....	(81)
二、密封缝隙的热变形.....	(83)
三、各种变形的叠加.....	(84)
四、摩擦副表面粗糙度的影响.....	(85)
五、密封面上的比压.....	(85)
第三节 泄漏量.....	(86)
一、密封缝隙变形对泄漏量的影响.....	(86)
二、边界摩擦状态下的泄漏量.....	(88)
三、混合摩擦状态下的泄漏量.....	(92)
四、液体摩擦状态下的泄漏量.....	(93)
五、经验设计中的预测.....	(94)
第四节 通过其他不密封通路的泄漏量.....	(95)
第四章 摩擦副的磨合和平衡粗糙度.....	(96)
第一节 固体表面的几何特性.....	(96)
第二节 摩擦副接触面积.....	(98)
第三节 摩擦副磨合的基本过程.....	(101)

第四节 磨合时表面微观几何形状的变化	(101)
第五节 石墨耐磨材料摩擦副环的工作情况和磨合	(102)
第六节 摩擦副磨合效果的影响因素	(104)
一、载荷	(104)
二、原始粗糙度	(104)
三、材料的机械性能和流体介质	(105)
第五章 摩擦副的磨损	(106)
第一节 磨损过程的特性	(107)
第二节 磨粒形成机理	(109)
第三节 疲劳磨损	(109)
第四节 影响磨损的因素	(110)
一、磨损与材料摩擦性能和状态的关系	(111)
二、比压对磨损的影响	(113)
三、磨损与材料弹性-强度性能的关系	(114)
四、滑动速度的影响	(115)
五、温度的影响	(116)
六、介质润滑性能的影响	(116)
七、介质中固体物质的影响	(118)
八、表面粗糙度的影响	(118)
九、振动的影响	(120)
第五节 各种石墨材料的耐磨性能	(120)
第六节 磨粒磨损	(124)
第七节 氧化磨损	(126)
第八节 冲刷磨损	(126)
第九节 密封环的温度	(127)
第十节 热应力破裂	(127)
一、单一材料的评定	(128)
二、密封结构的评定	(129)
第十一节 旋转接头寿命的预测	(130)
第十二节 泄漏量、寿命和摩擦状态之间的关系	(131)
第六章 材料	(133)
第一节 摩擦副的材料	(133)
一、非金属材料	(134)
(一) 石墨和人造碳	(134)
(二) 聚四氟乙烯	(145)
(三) 酚醛塑料	(151)
二、金属材料	(152)
(一) 铸铁	(152)

(二) 碳钢、铬钢、铬镍钢.....	(155)
(三) 青铜.....	(155)
三、金属碳化物.....	(155)
(一) 金属碳化钨.....	(156)
(二) WC-Ni-Cr-Mo型硬质合金.....	(157)
(三) 碳化硅.....	(160)
四、金属氧化物.....	(161)
第二节 摩擦副材料的选配.....	(165)
第三节 弹性元件材料.....	(167)
一、弹簧.....	(167)
(一) 弹簧材料的种类.....	(168)
(二) 弹簧材料的选择.....	(183)
(三) 弹簧的防腐蚀.....	(187)
二、波纹管.....	(189)
第四节 辅助密封材料.....	(190)
一、橡胶.....	(190)
二、塑料.....	(191)
三、柔性石墨(膨胀石墨).....	(193)
第五节 结构材料.....	(194)
第七章 零件设计	(195)
第一节 摩擦副.....	(195)
一、摩擦副的设计.....	(195)
(一) 摩擦副端面 and 球面在垂直于轴线投影面上的直径.....	(195)
(二) 端面 and 球带面宽度.....	(195)
(三) 端面密封凸台高度.....	(196)
(四) 间隙.....	(196)
(五) 形状对称.....	(196)
(六) 导热.....	(197)
(七) 补偿环两面共用.....	(197)
(八) 堆焊和镶嵌.....	(197)
二、摩擦副环的技术要求.....	(197)
(一) 摩擦副环的表面质量.....	(197)
(二) 与辅助密封圈配合的粗糙度.....	(198)
三、摩擦副环的零件结构.....	(198)
(一) 动环.....	(198)
(二) 静环和游动环.....	(198)
第二节 弹性元件.....	(202)
一、弹簧设计.....	(202)

(一) 弹簧的端部结构	(202)
(二) 弹簧直径	(202)
(三) 弹簧的旋绕比(弹簧指数)	(203)
(四) 弹簧的圈数	(203)
(五) 弹簧的螺旋角和节距	(204)
(六) 弹簧的自由高度	(204)
(七) 弹簧工作压缩量	(204)
(八) 弹簧的工作变形	(204)
(九) 圆柱形螺旋弹簧的技术条件	(204)
二、波纹管的设计与选择	(205)
第三节 辅助密封	(208)
一、填料密封	(208)
二、辅助密封圈	(211)
(一) 辅助密封圈的作用和型式	(211)
(二) 辅助密封圈的设计	(211)
第四节 其他零件	(213)
一、壳体	(213)
二、端盖、中间压盖、底盖等盖类零件	(213)
三、空心轴和内管	(216)
第八章 设计计算	(218)
第一节 摩擦副接触面的比压	(218)
一、摩擦副接触面比压的计算	(219)
(一) 弹簧力及其弹簧比压	(219)
(二) 流体压力引起的比压	(220)
(三) 密封缝隙的压力	(220)
(四) 辅助密封所产生的摩擦力	(223)
(五) 摩擦副接触面比压的计算	(224)
二、平衡系数 β 的确定	(224)
第二节 端面尺寸 D_1 和 D_2 的计算	(225)
一、内装式密封结构	(225)
二、外装式密封结构	(226)
第三节 弹簧的计算	(226)
一、圆柱螺旋弹簧的许用应力	(228)
二、圆柱压缩螺旋弹簧的设计计算	(228)
第四节 波纹管的计算	(234)
一、波纹管计算的数值法	(235)
二、无缝波纹管的刚度及其应力的分析	(235)

三、设计计算无缝波纹管用的曲线图	(238)
四、波纹管特性的非线性	(253)
五、波纹管有效面积及其有关性质	(253)
六、工程设计波纹管校核的简便算法	(255)
七、波纹管密封平衡系数	(257)
第五节 密封环壁厚的计算	(258)
第六节 PV 值的计算	(260)
第七节 壳体壁厚的计算	(262)
第八节 旋转接头耗损功率	(263)
第九节 旋转接头流量的计算和规定	(266)
第十节 计算举例	(266)
第九章 旋转接头的性能及主要选型条件	(276)
第一节 评述旋转接头性能的项目	(276)
一、泄漏量	(276)
二、寿命	(276)
第二节 旋转接头的主要选型条件	(277)
一、最大使用转速和最高使用压力	(277)
二、最高和最低使用温度	(277)
三、流体介质的选用与耐腐蚀性能	(277)
四、旋转接头的流量	(283)
五、耐振性能	(283)
第三节 空心轴(管)径和类型结构的选择	(284)
一、空心轴公称尺寸的选择	(284)
二、旋转接头结构设计和类型选择的步骤	(284)
第十章 旋转接头的安装和使用	(285)
第一节 旋转接头泄漏通道和装配注意事项	(285)
一、旋转接头泄漏通道	(285)
二、装配注意事项	(285)
三、保管仓库的环境	(286)
第二节 旋转接头的安装和使用	(287)
一、安装前的准备工作及注意事项	(287)
二、安装顺序	(287)
三、安装使用注意事项	(288)
四、附件的安装及结构简介	(288)
五、运转使用	(297)
第三节 旋转接头工作的可靠性	(300)
一、密封面的脱离	(300)
二、不允许的温升	(301)

三、断裂的危险.....	(301)
四、波纹管失效及其可靠性.....	(301)
(一) 波纹管失效特性.....	(302)
(二) 波纹管的强度可靠性.....	(303)
第四节 故障的产生和预防措施.....	(303)
附录一 金属波纹管 (JB2388-78)	(304)
附录二 O型辅助密封圈尺寸.....	(312)
附录三 骨架式橡胶油封的规格.....	(313)
附录四 J形无骨架橡胶油封 (HG4-338-66)	(315)
附录五 饱和水蒸气压.....	(316)
附录六 国产亚东旋转接头厂的旋转接头型号表示法.....	(317)
参考文献.....	(320)

第一章 概 述

旋转接头的作用是将流体介质输送管道与旋转、往复运动或摆（转）动某角度的设备相连接，既保证连续不断向运转的设备、管道传递流体，又要防止流体介质互相串通、泄漏和外界杂物进入工作介质，从而消除污染，节省能源。

第一节 旋转接头发展概况

在二十世纪五十年代以前，流体（气体和液体）由输送管道向运动设备传递的接头部位绝大多数采用填料密封结构。这种结构通常在填料室中围绕运动的空心轴压填上数圈填料（如盘根），然后用调节压紧填料的压盖来达到密封的目的（见图1-1和图1-2）。

这类结构在流体压力较低，配用设备转速和往复运动次数较小，工人经常定期压紧和更换填料的情况下，基本上适用于工业生产，但这种密封结构，在流体压力较高，或维护不当时，流体的泄漏现象相当严重，而且，填料密封摩擦损耗功率将超过机械密封结构旋转接头的2~10倍。

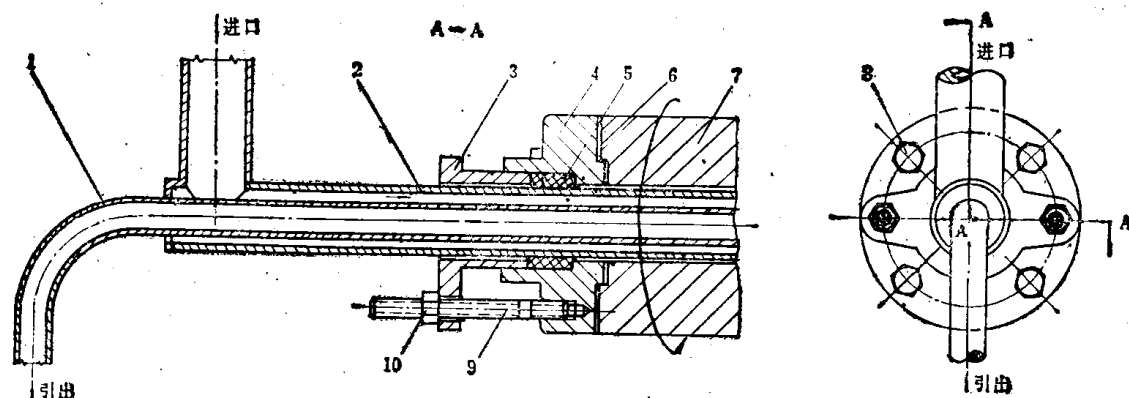


图1-1 填料密封结构

1—内管 2—外管 3—压盖 4—填料箱 5—填料（盘根） 6—垫圈 7—辊筒轴端 8—六角头螺栓
9—双头螺栓 10—压紧螺母

随着化学工业，特别是高分子有机合成材料的出现和应用，填料密封结构愈来愈不适应流体压力、温度的增高和设备转速增大的要求，继而出现了带衬套、冷却水套、带油环及衬套或冷却水套填料箱、双层填料箱等结构形式。在印染行业出现了与机体不可分割的橡胶端面密封圈结构。

六十年代初，在工业发达国家开始出现了填料和端面密封相结合的过渡结构形式，并向独立的单体部件发展。这种结构虽比填料密封结构前进了一步，但流体的跑、冒、滴、漏现象没有解决。而且寿命短，维修工作量大。

到了七十年代，由于西方世界能源紧张和适应工业自动化的要求，于1970~1971年，在美国约翰逊橡胶塑料公司生产了以机械密封结构为主和机械密封结构，单体的“约翰逊旋转接头”，这一技术情报迅速传到日本和联邦德国等国家，很快得到了发展和应用。从塑料、橡胶行业扩大到造纸、印染、纺织、食品、金属及合金制品和机械制造等工业部门，逐渐发展成为定型产品，并将常用类型、规格系列化了。

编者在长期工作实践中，发现国产和有些引进设备的旋转接头流体泄漏相当严重，于是，在七十年代初开始研究、设计和改造旋转接头。经改制的Q₂SXF型旋转接头，自装机使用至今，密封性能良好（仅更换几次易损件——补偿环）。在同行业类似设备中得到了推广使用^[1]，并在有关部门的关怀和支持下，相继成立了旋转接头研究所和制造厂。几年来，旋转接头在国内已得到比较普遍的应用。

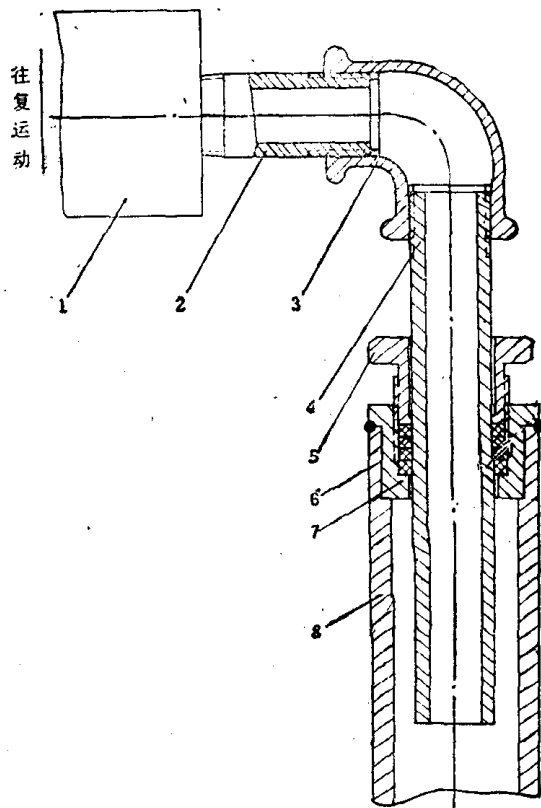


图1-2 用于往复运动的填料密封结构

1—往复运动的平板 2—接管 3—90°弯头 4—内套管 5—填料压盖 6—填料 7—填料箱 8—外套管

第二节 旋转接头的应用范围

旋转接头主要应用于下列各工业部门：

(1) 造纸 各种纸张的加工设备，如造纸机的烘缸、蒸球、涂布机、压光机等。

(2) 纤维制品 纺织、化纤及印染、麻纺工业。如床单炼漂机、丝光机、平洗机、真空干燥机、精压设备、毛巾烫平机、调节器、纺织品印染烘干设备。各种化学纤维制品有关加工设备等。

(3) 橡胶及塑料 压延机、螺旋挤出机、混合搅拌机、捏合机、旋转和层压机、橡胶用鼓式自动硫化机和平板硫化机等、注射成型机、密炼机、发泡机、薄片制造机、开炼机、干燥机、漆布机、漆纸机等。

(4) 皮革、人造革及合成革 制革、人造革和合成革的加工制造设备：涂覆机、原

布机、精洗机、热辊压力机、辊筒干燥设备等。

(5) 印刷 旋转式胶版和照相凹版印刷机、分层干燥设备、混料器等。

(6) 化工及药品 圆筒形、圆台形和类似鼓形的干燥机、滚压试验设备、球磨机、层压机、电石炉的电极提升、压放装置、煤焦油分馏用工业萘转鼓结晶机。

(7) 食品 粮食、食品烘干设备、捏和机、泄放器、滚压粉碎设备、旋转烘干设备。

(8) 炼钢、金属及合金制品 连续铸造机、热钢板矫直机、拉丝、轧钢机、精度较高的滚压设备、挤压机、滚压机、盘管机、线和管的滚压设备、装卸机械、制造硬质合金的湿磨机。

(9) 车辆 机动车辆发动机的试验设备。

(10) 电器 双水内冷发电机转子冷却、电线电缆的加工制造设备。

(11) 卷烟 烘丝机、烘筋机。

(12) 建材 塑料壁纸的加工设备、试验设备、印花机、压花机、沟底印花机、木材加工的热压机、石棉制品的制板机、软木制品的加工设备。

(13) 机械制造 油压机、水压机、气液动有关设备、冷却用螺旋压力机、冲和锻设备的夹紧和抓牢装置、缩径设备、挠性软管的卷取设备、回转台机构、磨矿设备、机床、真空设备、镗床、组合机床润滑及冷却装置。

(14) 玻璃工业 滚筒式投料机。

(15) 地质 石油或其他矿产钻探用的钻机。

(16) 军工 雷达、防化防原器材的加工设备等。

总之，凡用蒸气、水、油、煤气、空气、盐水、氨等气体和液体用于加热、干燥和冷却的圆筒形、鼓形、圆台形、球形转动设备和往复运动或摆（转）动任意一个角度的设备，以及用于夹紧、制动、抓牢的气、液动有关设备均可配用旋转接头。

第三节 旋转接头的优缺点比较

与填料密封结构的旋转接头相比，机械密封结构的旋转接头具有如下优点：

首先，由于设备的振动和空心轴的摆动使惯用的软填料密封效果降低；其次，工业生产中使用条件变得越来越苛刻，为了满足安全可靠的生产要求，愈来愈趋向采用机械密封结构的旋转接头。另外，生产自动化的范围迅速地扩展，采用机械密封结构的旋转接头不用维护，旋转接头所承受的压力、温度和转速等参数均高于填料密封结构，而泄漏损失非常小。所以，它的密封性能超过了填料密封结构。

填料密封结构的购置费用低于旋转接头，但在安装和使用之后，填料密封的维修费用很高（约高20倍左右），尽管旋转接头一次性购置费用较高，但是，由于它的使用寿命长，摩擦损耗的功率小（一般约为填料密封的10~50%），节省维护管理人员，减少或消除因此部位泄漏严重被迫停机的次数和时间，因此，总费用仍然低于填料密封结构。

旋转接头还以体积小、重量轻、安装使用和检修方便；对配用设备的强烈振动和摇摆不敏感（泛指球面摩擦副结构的旋转接头）；防止和减少流体泄漏；节约能源（节煤、电、油等）和流体介质而引人注目。在改善环境卫生，提高劳动生产率方面也具有重要意义。

但是，目前旋转接头也存在一些缺点，如结构比填料密封复杂。目前超过350℃高温和载荷（PV值）要求苛刻条件下使用还不能满足。但是，随着科学技术的不断发展和新材料的出现，不久将会逐步得到解决。表1-1列出了旋转接头与填料函密封的优、缺点比较。

表1-1 机械密封结构的旋转接头与填料函密封优、缺点比较

种 类 项 目	机械密封结构的旋转接头		填 料 函 密 封	
	优 点		缺 点	
泄漏量	几乎没有	极少，一般每小时泄漏量 $Q \leq 3 \sim 0.01 \text{ ml}$	多	一般每小时的渗漏量 $Q \geq 300 \sim 1200 \text{ ml}$ 是不可避免的
寿命	长	*通常能连续使用1~2年特殊情况连续工作6~12年或更长时间	短	要经常定期更换填料函内的填料和密封元件，更换空心轴
空心轴磨损	无	通常空心轴和壳体不摩擦，所以没有磨损或磨损很微	有	空心轴外径和箱体内径有摩擦，所以有磨损
调整	不用	自动调整	要	磨损增到一定程度后，泄漏量增大
摩擦损失	小	摩擦面积小，摩擦系数小，故消耗的动力小	大	摩擦面积大，摩擦系数大，故消耗动力大
PV值	大	不平衡型 $PV \leq 40 \sim 60 (\text{kgf/cm}^2 \cdot \text{m/s})$ 平衡型 $PV \leq 900 \sim 1500 (\text{kgf/cm}^2 \cdot \text{m/s})$	小	虽然有的 $PV \leq 300 \sim 1000 (\text{kgf/cm}^2 \cdot \text{m/s})$ ，但如果需要减小泄漏量，PV值就要大大下降
抗震性	好	比填料密封好得多	差	一般交变振幅大于0.07~0.08mm后，泄漏量增加
装配特点		旋转接头一般在机体端部外装配，独立配件		一般在机件端部设计加工有填料空间与机件不可分割的结构较多，辊筒需加长
价格	便宜者居多	设备价格高，但运转费用低	价高的居多	设备价格低，但运转费用高

种 类 项 目	机械密封结构的旋转接头		填 料 函 密 封	
	缺 点		优 点	
构造	复杂	零部件多且精度高，所以复杂	简单	零部件少且精度低，所以简单
安装	稍难		容易	
更换	不便	更换易损件—补偿环，需部分或全部拆卸旋转接头	简单	不需拆卸机器，更换方便

*寿命泛指易损件的寿命，如摩擦副补偿环、波纹管等。

第二章 旋转接头的结构原理和分类

第一节 旋转接头的结构和工作原理

机械密封结构旋转接头（简称旋转接头）的工作原理，是通过轴向力将动环压在补偿静环或浮动环上，或者反过来将补偿静环或浮动环（中间环）压在非补偿的动环上，使其保持密封。动环（空心轴）和壳体、端盖、底盖之间的轴向不密封通路靠O形圈和各种断面的弹性密封圈等加以密封，其结构见图2-4、2-5和2-6。

在一般情况下，每种旋转接头都是由固定、浮动或游动的径向密封元件和旋转的动环（空心轴、球面弹簧座等）以及轴向密封元件一起构成的。它具有密封面加工精确、费用少和消除空心轴磨损的优点。为了调整和补偿摩擦副本身的轴向热膨胀以及摩擦副端面、球面的磨损而造成的不良状态，旋转接头内至少要包含一个弹性元件，例如，弹簧、波纹管。

图2-1为球面或球面和端面组合型密封结构，双向内管旋转式旋转接头。

为什么把密封面做成球面？这是因为球面摩擦运动副结构在间隙允许的范围内自由度较多，能适应配用设备的强烈振动和摇摆。

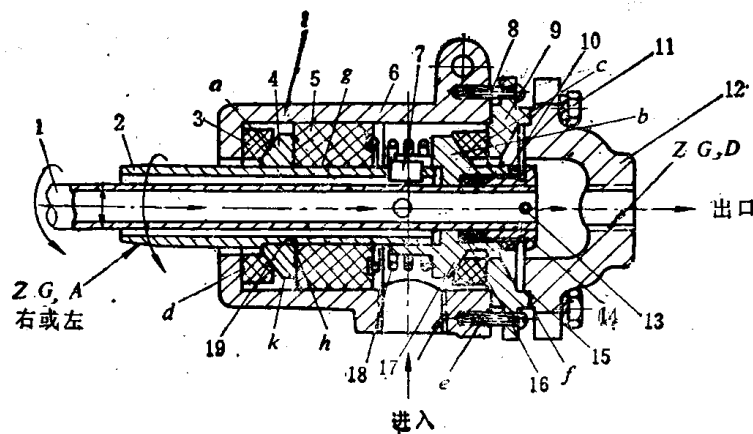


图2-1 Q₃SX型（球面摩擦运动副、双向、内管旋转式）旋转接头结构图

1—内管 2—外管 3—补偿环 4—球面体 5—无油滑动轴承 6—壳体 7—键 8—半圆头螺钉 9—中盖
10—销紧螺承 11—六角头螺栓 12—端盖 13—销 14—压盖 15—密封垫圈 16—填料 17—球面弹簧座
18—弹簧 19—固定销

从图2-1中看出，动环是固定于外管2上的球面体4和由它带动一起旋转并能轴向移动的球面弹簧座17；补偿环是两个静止或游动的凹形环3、5是无油滑动轴承。

这一结构有六个密封点（面），即a、b、c、d、e、f。

a、b点(面)相对转动密封,是靠弹簧18和被密封的流体压力在相对运动的球面体(动环)4和17(球面弹簧座)与补偿环(静环或游动环)3接触面(球面)上产生一合适的压紧力,使这两个光洁的球面紧密贴合而达到密封的目的。两球面之所以必须光洁,零件的同心率,球面度要求较高,是为了给球面创造完全或接近完全贴合和压紧力均匀的条件。

c、d点(面),是两个端面密封。当配用设备振动和摇摆不大,压紧力合适时,两个补偿环3一般处于静止状态,属于静密封情况。当配用设备振动和摇摆强烈,压紧力较大时,由于补偿环3的外径与壳体6的内径之间因留有较大的间隙,它将随球面体(动环)4和17不同步地在相应的端面上作相对游动,但相匹配的接触端面必须光洁、平直。由于轴向力的作用,使补偿环3的端面与壳体6的内端面以及中盖9端面紧密贴紧,使c、d两端面不容易泄漏。

e、f点(面),是密封垫圈15与壳体6、中盖9和端盖12端面之间四个静密封点(面),这种静密封比较容易处理,一般不发生泄漏或很少发生泄漏。

配置的无油石墨轴承5的作用主要是用于支承。考虑热态使用膨胀情况和能轴向移动以补偿补偿环3轴向磨损减薄量,使球面a、端面d、h始终保持贴紧状态,它与空心轴(外管)2、壳体6之间留有适当间隙(间隙配合范围)。由于缝隙i、g很小,进入空腔k的流体是微不足道的。只有当旋转接头空心轴与配用设备安装同心度较差,或经运转使用一段时间后,由于安装的偏斜,无油轴承5的内、外径被磨偏与相配零件间隙较大时,空腔k将进入流体,但此流体通过a、d两密封面进行密封也不易泄漏。

内、外管随配机同角速度转动(壳体是静止的),也就是说内管1、外管2和球面弹簧座17之间保持着相对静止状态。为防止进入和引出流体之间通过零件14与内管1之间的间隙互相串通,在球面弹簧座17与内管1之间设计配置了一小段填料密封,用压盖14压紧后再用锁紧螺母10锁紧。此段填料密封处于相对静止的运动零件14和1之间,属于静密封情况,这样就不易泄漏,也不耗费摩擦功。

当摩擦副补偿环在运转使用过程中磨损时,其磨损减薄量,由弹性元件和被密封的流体介质所产生的轴向压力将随时推动球面弹簧座17轴向移动(外管2与球面弹簧座17之间,配有既能传递扭矩,又能沿轴向滑动的导向键7),使密封面b、c始终保持紧贴。固定于外管2上的球面体4,在弹性元件和被密封介质所产生的轴向力的作用下,将推动无油轴承5向左(壳体底端方向)移动,而球面体4刚性连接在外管2上,外管2又与配用设备固定(刚性)连接,无法轴向向左移动以补偿左边(壳体底端)摩擦运动副(如补偿环3)的磨损减薄量。在壳体6内端面与补偿环3接触端面d上,由于补偿环3给壳体6内底端面一个轴向向左的力,壳体6内底端面d给补偿环3端面d'一个大小相等、方向相反的一个向右的轴向力,在轴向力的作用下,由于外管2和球面体4无法轴向向左移动,壳体将自动向右移动以补偿这一磨损减薄量。这是旋转接头安装使用时,流体进入和引出管道连接应配置一段挠性软管的原因。也是它的支承、吊挂和止转结构轴向不能刚性固定的原因所在。

对于球面摩擦运动副结构,双向内管固定式和单向旋转接头,其结构和密封工作原理与这种结构双向内管旋转式相同(见图2-2和图2-3),其不同点:双向内管固定式,

内管10与端盖2固定连接，不随机转动，而是静止状态，仅外管转动，因此，内、外管之间不存在密封问题。单向旋转接头，仅有一个随配机转动的空心轴（管）。

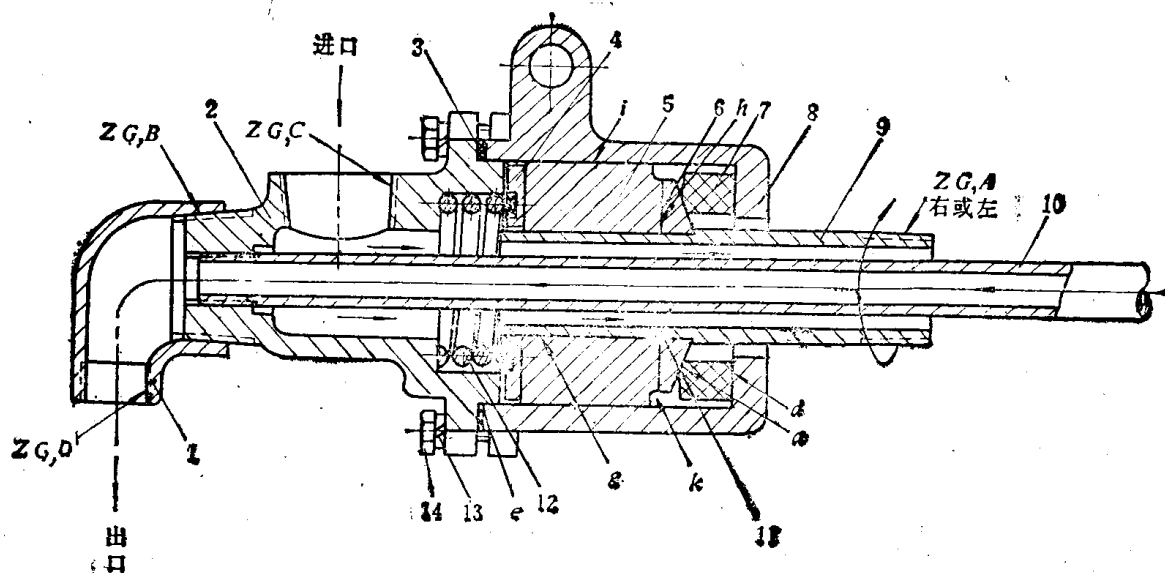


图2-2 Q₁S型（球面摩擦运动副，双向，内管固定式）旋转接头结构图

1—90°弯头 2—端盖 3—密封垫圈 4—垫圈 5—无油轴承 6—球面体 7—补偿环 8—壳体 9—外管
10—内管 11—固定销 12—弹簧 13—弹簧垫圈 14—六角头螺栓

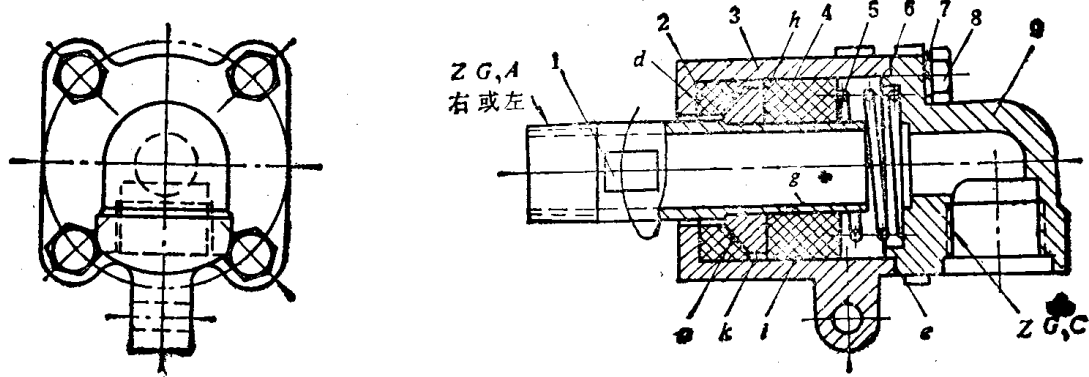


图2-3 Q₁D型（球面摩擦运动副，单向）旋转接头结构图

1—空心轴 2—补偿环 3—壳体 4—无油轴承 5—弹簧 6—密封垫圈 7—六角头螺栓 8—弹簧垫圈 9—端盖

图2-4和图2-5是端面密封结构的旋转接头。

从图2-4中清楚地看出，这类旋转接头动、静环间仅有一个端面摩擦密封面 a ，是靠弹簧和流体介质所产生的轴向力将补偿环12与外管、（动环）9的端面贴合、压紧，而达到密封的。保护管11对流体介质起导向和节流作用，所谓节流是避免和减少流体进入弹簧空腔 k 内。补偿环12与壳体2之间的密封采用了O型密封圈5，它被装配在补偿环12锥面端部，由垫圈4靠弹簧3压紧密封。为了防止补偿环的转动，在其上设计有止转销。

图2-5BS型结构动环是空心轴（外管）11，其匹配端面密封补偿环5是可以浮动（游动）的中间环，它的两端面 a 、 b 均为密封面，是靠弹簧、波纹管组合弹性元件4所

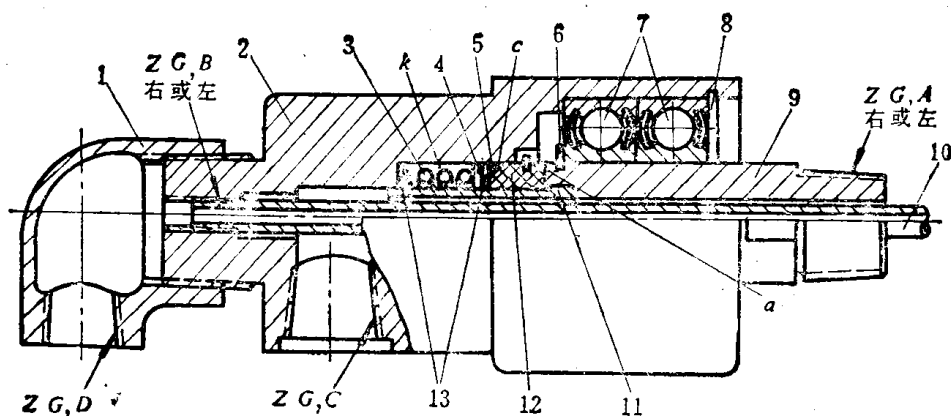


图2-4 DS型（双向、内管固定式）旋转接头

1—90°弯头 2—壳体 3—弹簧 4—垫圈 5—“O”型密封圈 6—轴用弹簧挡圈 7—滚珠轴承 8—孔用弹簧挡圈 9—外管 10—内管 11—保护管 12—补偿环 13—聚四氟乙烯垫圈

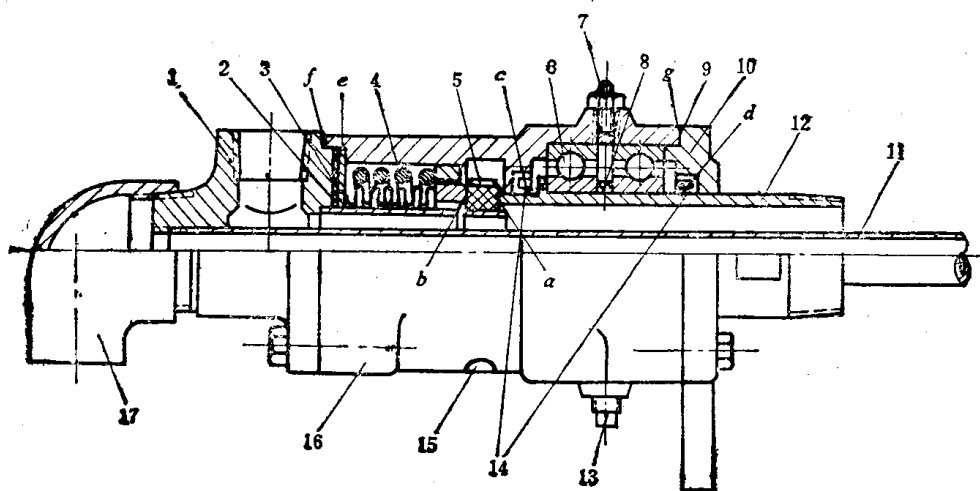


图2-5 BS型（双向、内管固定式）旋转接头

1—端盖 2—密封垫圈 3—法兰座 4—弹性组合元件 5—补偿环 6—滚珠轴承 7—润滑脂注油嘴 8—挡环 9—垫圈 10—底盖 11—外管 12—内管 13—泄油丝堵 14—档油密封圈 15—检视孔 16—壳体 17—90°弯头

施给的轴向力压紧、贴合。外管11与壳体16、底盖10之间的轴向密封c、d处是由两个档油密封圈14完成的。e、f、g是静密封点，多采用较软的材料做成密封垫圈，压紧后就不容易泄漏。

为防止当流体压力 p_1 升高时，摩擦面会脱离贴合。多数类型旋转接头都是这样来设计的：就是随着内压 P_1 的增高，作用在密封面上的流体载荷力也增大（ $k \approx 1$ 的情况除外）。

图2-6给出了作用在补偿静环上的轴向力 P_G ，它使密封面贴紧。轴向力 P_G 由四部分组成，即使在没有内压力的情况下，弹簧力 P_f 也应该使摩擦副密封面保持接触。为了起到这种作用，可以采用各种各样的弹簧，例如锥形的，圆柱形的和碟形的，也可以使用金属波纹管。在通常情况下，弹簧和金属波纹管一起使用。弹簧力可以由一个大弹簧

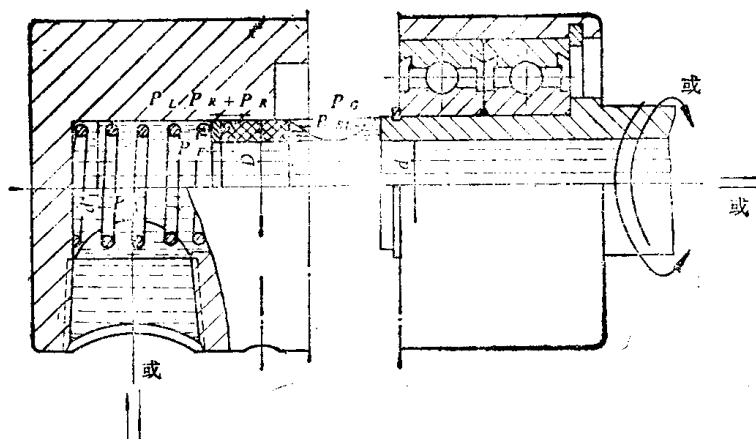


图2-6 作用在补偿静环（或浮动环）上的轴向力

P_L —流体载荷力 P_{SL} —密封缝隙中液体压力造成的力 P_G —作用在密封面上的轴向密封力 P_f —弹簧力
 P_R —辅助密封圈的摩擦力

或者几个小弹簧联合形成。旋转接头中通常采用一个大弹簧结构。作用在摩擦副密封面上的平均弹簧压力 $P_f = 0.5 \sim 2.5 \text{ kgf/cm}^2$ 。

液体载荷 P_L 可以由液体压力的作用面积求出：

$$P_L = A_L P_1 \quad (2-1)$$

根据图2-6，得到

$$A_L = \frac{\pi}{4} (d_L^2 - d^2) \quad (2-2a)$$

从图2-6中看出 $D = d_L$ ，得

$$A_L = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \quad (2-2b)$$

精确地确定辅助密封圈的摩擦力 P_R 几乎是不可能的，这是因为随着液体压力的增高，密封面的磨损和温度上升，这个力的大小和方向都会发生变化。

密封缝隙中液体压力造成的力 P_{SL} 是非常重要的因素，它与轴向密封力的作用方向相反。 P_{SL} 取决于密封缝隙的几何形状、粗糙度和载荷系数。作用在摩擦副密封面上的轴向力的合力 P_G 一般可用下面公式计算：

$$P_G = P_f + P_L - P_{SL} \pm P_R \quad (2-3)$$

旋转接头在使用过程中，其摩擦副处于边界摩擦状态较多，这时 $P_{SL} = 0$ 。由于辅助密封圈所产生的摩擦力 P_R 较小，且其大小和方向根据具体情况发生变化，在计算时通常取 $P_R \approx 0$ 。那么，公式 (2-3) 可写成：

$$P_G = P_f + P_L \quad (2-4a)$$

液体载荷 P_L 与摩擦副的接触面积和液力载荷面积比值有关。这里引入载荷系数 K ，其表示式为：