

·光电器件与材料·

一种轴向磁驱动多通道光纤旋转连接器

王恩现, 周 丰

(中国电子科技集团公司第八研究所, 合肥 230000)

摘 要: 通过对现有的多通道光纤旋转连接器结构优缺点进行比较, 提出了一种轴向磁驱动多通道光纤旋转连接器结构。本光纤旋转连接器结构中旁轴通道光信号传输是通过主转动轴上光纤准直器与从动转轴中光纤准直器进行光路耦合, 其耦合实现是通过磁驱动机构及精密齿轮传动机构来保证, 中心通道光信号无间断传输是通过磁驱动机构实现。通过轴向尺寸的增加可实现通道数的增加。此光纤旋转连接器简单易行, 避免了传统结构的诸多缺陷, 简化了工艺、降低了成本。

关键词: 多通道光纤旋转连接器; 光纤准直器; 轴向; 磁驱动

中图分类号: TN919.1

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2015)-02-0045-04

An Axial Magnetic Driven Multi-channel Fiber Optic Rotary Joints

WANG En-xian, ZHOU Feng

(8th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation (CETC), Hefei 230000, China)

Abstract: The advantages and disadvantages of the existing structure of multi-channel fiber optic rotary joints are compared, a structure of axial magnetic driven multi-channel fiber optic rotary joints is proposed. In this structure, the paraxial optical signal is transmitted by optical coupling both optical fiber collimator of main rotational axis and optical fiber collimator of driven shaft, which relies on the magnetic driven structure and precision gear transmission mechanism. The continuous transmission of the center channel's optical signal is implemented by the magnetic driven structure. The channels increase with increase of the axial size. This fiber optic rotary joint is simple and easy, avoiding the drawbacks of traditional structure, simplifies the process, reduces the cost.

Key words: multi-channel fiber optic rotary joints; optical fiber collimator; axial; magnetic driven

光纤通信系统取代电传输系统有着通信容量大、中继距离长以及保密性能好等优点^[1], 而光纤旋转连接器是一种利用光纤作为媒介实现高速大容量数据信号从一个旋转平台到一个静止平台进行双向传输的旋转连接装置, 是光纤通信系统的核心关键元器件。而实现数据信号的旋转传输是整个数据信号传输过程中的重要环节^[2]。而多通道光纤旋转连接器^[3]不仅可以传输多路不同信号, 而且多个通道更增强了系统的稳定性, 因此它以其数据信号传输的独特优点受到人们的青睐。国外最早开始对光纤旋转连接器进行研制的单位是美国国防部, 并在20世纪80年代起草了光纤旋转连接器的相关规范, 之

后有美国MOOG公司、美国Princetel公司^[4]以及德国的Schleifring公司^[5]、德国的Spinner公司等均能制作出多达60通道的高性能的光纤旋转连接器。而国内开始对无源光纤旋转连接器技术的研究是从20世纪90年代起, 直到21世纪初国内一些研究所^[6]及企业单位取得了一些研究成果。到目前为止, 国内已公开使用的最多能制造出四通道的光纤旋转连接器。

1 传统多通道光纤旋转连接器种类

国内外多通道光纤旋转连接器的结构设计方案

有很多种,如直接耦合法、对称光学结构法、反射法和解旋棱镜法等。下面列举了其常见的几种类型。

1.1 对称光学结构的双通道光纤旋转连接器

21世纪初天津大学光学互联实验室提出了一种对称光学结构的双通道光纤旋转连接器^[7],如图1所示。通过采用两组光学透镜组成,其中每组透镜中包含一直径大的平凸透镜和一直径小的平凹透镜。当转子转动时,从光纤准直器入射的光会经过汇聚到固定位置的光纤准直器内,从而实现光信号的无间断传输。这样通过简单的两组透镜组合就可以实现光路的不间断传输,制作成本较低。存在的缺点是光信号耦合效率很低,系统损耗较大,光学元件的平稳转动需要超精密的机械传动机构来保证,而这种超精密机械传动机构在我国的加工水平还不能达到,故这种多通道光纤旋转连接器实现低损耗很困难。

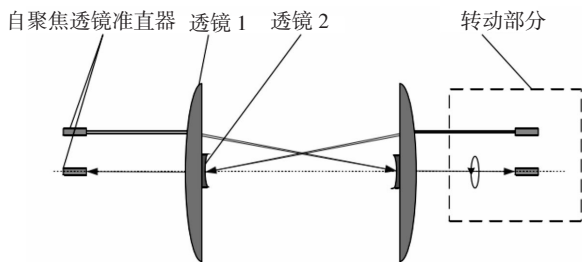


图1 对称光学结构的双通道光纤旋转连接器

1.2 道威棱镜结构的多通道光纤旋转连接器

图2为道威棱镜结构的多通道光纤旋转连接器^[8-9]。转子中的光纤准直器1和2、定子中的光纤准直器3和4都离中心轴放置,且与旋转轴平行。在平行光束中,当道威棱镜光学组件以旋转装置转速的一半转动时,通过道威棱镜所成图像的位置不发生改变,即准直器1和2出射的平行光束经道威棱镜所出射的平行光束分别能被准直器4和3始终接收。道威棱镜结构的光纤旋转连接器可以双向传输光信号,但要求棱镜的转速是旋转装置转速的一半,通道之间还需要有精确的安装位置,机械元件及精密齿轮传动机构的加工和装配精度等级要求很高,器件的成本比较高,并且不同波长的光信号在道威棱镜中光折射的路径不同,这样造成光信号射出棱镜的位置也会有偏差变化,发生散射,只有

部分光线能进入定子端的准直器,引起链路的光插入损耗值偏大。如果整个系统能容忍大的插入损耗值,成本要求不是很苛刻的情况下,该结构的多通道光纤旋转连接器还是较为实用的。

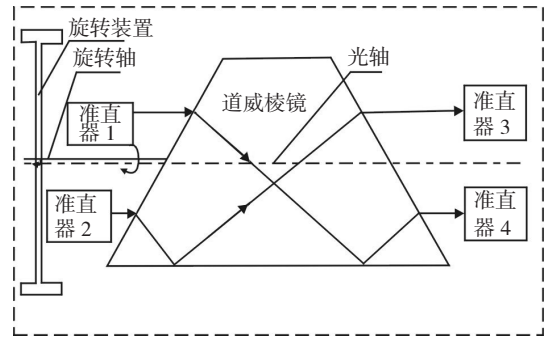


图2 DOVE棱镜结构的多通道光纤旋转连接器

1.3 菲涅尔透镜结构的多通道光纤旋转连接器

图3为菲涅尔透镜结构的多通道光纤旋转连接器^[3]。在精密机械机构辅助下,透镜的光轴和旋转连接器的转轴3重合,离轴的通道1、2射出的光线在菲涅耳透镜的汇聚作用下,汇聚到光轴的不同位置,在这些位置放置光纤,可接收透镜传过来的光信号。当1、2、3通道围绕光轴旋转时,轴上的光纤源源不断地接收到从1、2、3通道传来的光信号,从而保证光信号通过旋转面连续传输。从图3中可以看到,各路光信号在耦合过程中,外边的光信号有时与里面的光信号在光轴上发生冲突,信号的耦合损耗相应增大,在某些情况下,信号的连续传输中断。所以这种连接器的光学器件比较难加工,光纤在转动装置中的位置需要精确计算,装配时透镜的位置和焦点的位置比较难保证。因此,该结构的多通道光纤旋转连接器在实际使用中不推荐使用。

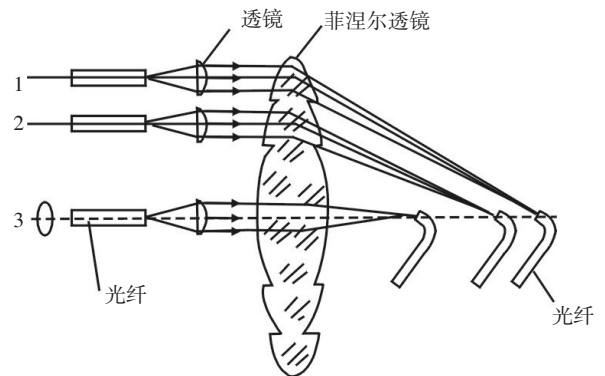


图3 菲涅尔透镜结构的多通道光纤旋转连接器

1.4 反射镜结构的多通道光纤旋转连接器

图4是一种采用反射装置的多通道光纤旋转连接器^[10]。Moog公司利用45°反射镜实现多路光纤信号的传输,在转台信号传输和空间目标扫描等领域有广泛应用^[11]。其原理是转子中入射光纤信号经过反射镜反射后,进入定子中的汇聚透镜,通光纤将光信号传出。反射镜则是通过磁耦合齿轮与转子连接,当转子转动时,在磁力作用下,保持反射镜不动,从而使光线始终与准直透镜相对。此结构的光纤旋转连接器可从任何一个方向传输信号,还可以同时双向传输光信号。其主要缺点是整体结构复杂,转动装置和反射镜之间的同步转动存在延迟,造成通道插入损耗增大。

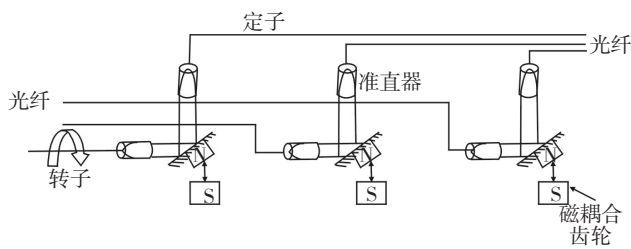


图4 反射镜结构的多通道光纤旋转连接器

综上所述,对于以上四种不同设计方法的多通道光纤旋转连接器,采用道威棱镜的方法具有设计使用方便,耦合精度高,在使用空间要求不大的情况下具有很大优势。但此类光纤旋转连接器制作过程需要借助精密的多维调整平台以及高精度的光学器件和精密的齿轮传动机构,结合成熟的特定工艺进行光路的调节才能保证光路信号耦合的效率,达到要求的插入损耗值和旋转变量值,制作周期比较长。为了能满足多路光信号在旋转和静止设备之间进行高效率的传输,且不需要高精度的光学器件,不需要进行复杂光路调节,采用常用标准件来制作多通道光纤旋转连接器,为此提出一种新型的多通道光纤旋转连接器结构。

2 轴向磁驱动多通道光纤旋转连接器结构的设计

为了实现多路光信号在旋转与静止设备之间的无间断传输,提出了一种轴向磁驱动多通道光纤旋转连接器,其结构简图如图5所示。

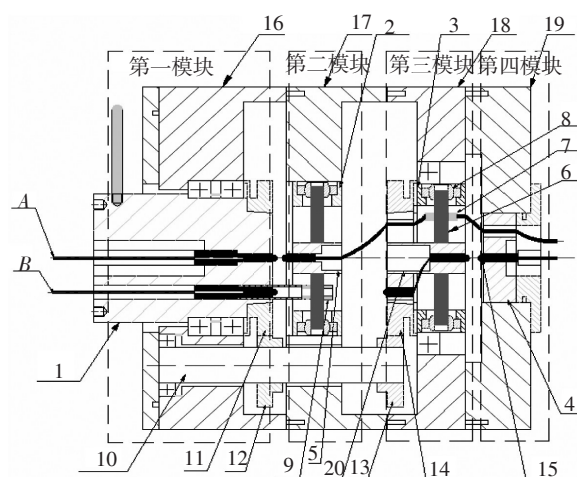


图5 轴向磁驱动多通道光纤旋转连接器结构简图

图5中A是中心通道光纤线。中心通道光路数据信号的传输是通过一对光纤准直器之间的光路耦合实现;B是旁轴通道阵列光纤线。旁轴通道光路数据信号的传输是通过两对光纤准直器之间的光路耦合实现;6是N35号磁铁,其竖直的两侧面有磁性,7和9是N40号磁铁,其横向的两侧面有磁性,磁铁6与7和9相遇侧面是同极,N40的磁力大于N35的磁力;11和12以及13和14是两对啮合齿轮组成精密传动齿轮组,保证转子1与第二过渡块3转速比为1:1;1是转子,用于中心通道光路信号传输支撑及与齿轮可靠连接;2、3、4分别是第一过渡块、第二过渡块、第三过渡块,第一过渡块和第二过渡块用于固定关节轴承以及与壳体连接,第三过渡块用于光路信号输出通道以及与壳体连接;8是关节轴承,用于固定磁铁6,磁铁6可以随关节轴作圆周摆动;5是中心通道定子,用于固定中心通道光纤准直器与转子1中的准直器进行光信号耦合;20是旁轴通道第二对光纤准直器耦合中的从动转轴,用于固定旁轴通道的光纤准直器;10是从动轴,用于支撑齿轮12和齿轮13;16、17、18、19为多通道光纤旋转连接器的第一、二、三、四模块,第三模块可进行系列化,每增加一组光纤线传输,即增加一组第三模块,这样就可以轴向增加光纤连接器的尺寸,而径向尺寸不变地进行多通道光纤旋转连接器的系列化设计。

图5结构的轴向磁驱动多通道光纤旋转连接器能实现多通道光纤数据信号传输的原理是:当旋转连接器转子1端与外部设备连通后,光信号从输入

端光纤线A、B分别进入中心通道和旁轴通道,中心通道光路信号传输是通过固定在转子1上的光纤准直器与第一模块中的中心通道定子5上的光纤准直器进行光路的耦合,中心通道光纤线上粘有磁铁7,当转子1转动时,通过精密齿轮传动组将转动由转子1传动到第二过渡块,磁铁6某一侧面与7相遇时,磁铁6在磁铁7的排斥磁力作用下将作摆动,并与第二过渡块中从动转轴20分离,当运动到磁铁6和磁铁7的另一侧面时,磁铁6在磁铁7的排斥磁力作用下,将往回摆动,磁铁6重新与从动转轴20连接。当磁铁6遇到下一个磁铁7时重复以上运动,中心通道光纤线在第二过渡块可以连续地将光路信号传输到第三过渡块,从第三过渡块出来的光路信号将传输到外部设备,这样就能够实现在旋转体与固定体之间中心通道光路信号的的无间断传输。而旁轴通道光路信号从B光纤线进入时,旁轴通道光纤线上粘有磁铁9,其随转子1一起转动,当磁铁9的一侧面与磁铁6某一侧面相遇时,在磁铁9排斥磁力作用下磁铁6作摆动,与第一过渡块中的中心通道定子5实现分离,当运动到磁铁9和磁铁6的另一侧面时,磁铁6在磁铁9的排斥磁力作用下往回作摆动,将实现与中心通道定子5的重新连接,第一模块中的转子1转速与第三模块中的第二过渡块转速比为1:1,保证了固定在转子1上的旁轴通道光纤准直器与固定在齿轮14上的光纤准直器进行光路耦合。当磁铁9遇到下一个磁铁6时重复以上运动,这样就可以将旁轴光路信号传输到第二过渡块中固定在从动转轴20上的光纤准直器中,与从动转轴20中光纤准直器进行光路耦合的光纤准直器是第三过渡块中的光纤准直器。通过两组光纤准直器的光路耦合,旁轴通道光路信号从第一模块不间断地传输到第四模块,从第四模块出来的光路信号将传输到外部设备,这样就能够实现在旋转体与固定体之间旁轴通道光路信号的的无间断传输。

3 结论

通过对轴向磁驱动多通道光纤旋转连接器结构的设计,主要难点及解决办法是:通过精密齿轮传动机构设计及现有加工精度^[12],能够保证从动转轴20转速与转子1转速一致;磁驱动机构的设计,

通过对支撑中心通道定子5和从动转轴20机构的磁铁受力分析,查询钕铁硼性能表查取满足机构使用要求的磁铁型号为N35,计算得出支撑磁铁的数量为6个,根据驱动力的计算选取另一种磁铁的型号为N40,两种磁力大小不同的磁铁,一种磁铁能可靠稳定地支撑过渡块,亦能被另一种磁铁进行驱动,保证无阻碍运动的实现;结合单通道光纤旋转连接器产品成熟的透镜耦合技术基础,可实现多通道光纤旋转连接器的低插入损耗值及高回波损耗值。文中提出了一种区别于传统结构多通道光纤旋转连接器的新型结构,元器件成本低,结构紧凑,装配制作简易,且此结构具有拓展性,能解决两通道及两通道以上的光纤旋转连接器的光信号传输问题。

参考文献

- [1] Keiser G. 光纤通信[M]. 浦涛,徐俊华,苏洋,译. 北京:电子工业出版社,2015:3-4.
- [2] 韩红霞,耿爱辉,曹立华,等. 光纤旋转连接器技术在光电跟踪设备中的应用[J]. 红外与激光工程,2009,38(增刊):202-205.
- [3] Mathias J, Hard S. Design, fabrication, and evaluation of a multi-channel diffractive optical rotary joint[J]. Appl Opt,1999,38(8):1302-1310.
- [4] FORJ catalog product selection guide. Princetel Inc:2009.
- [5] Gregor Popp. Optical rotary coupling.US 7,373,041 B2 (May.13,2008).
- [6] 徐明,李超. 四通道单模光纤旋转连接器的研制[J]. 光电工程,2013(1):90-93.
- [7] 邓玉秀,周革,刘卫,等. 对称光学结构的双信道旋转连接装置[J]. 光电子·激光,2001,12(8):396-398.
- [8] Gregory H Ames, Gales Ferry, Conn. Method providing optimum optical trains alignment in a passive multi-channel fiber optic rotary joint[P]. 1993,12:5271076.
- [9] 张镗,龚惠兴.消除45°旋转扫描反射镜像旋转系统的研究及应用[J]. 红外与毫米波学报,1998,28(2):125-132.
- [10] Shane H Woodside. In-line, two-pass, fiber optic rotary joint[P]. 1996,10: 5588.
- [11] William W Spencer. Multiple pass optical rotary joint[P].1998, 2:1725116.
- [12] 段正澄.光机电一体化手册[M]. 北京:机械工业出版社,2010,6:2-10-2-11.