

经编柔性金属网研究现状及发展趋势

李楠¹, 蒋金华^{1,2}, 陈南梁^{1,2}

(1. 东华大学 纺织学院, 上海 201620;

2. 产业用纺织品教育部工程研究中心, 上海 201620)

摘要:随着卫星通信技术的不断发展, 经编柔性金属网在卫星天线上得到了广泛应用, 基于此, 对经编柔性金属网的研究现状及发展趋势展开研究。介绍了经编柔性金属网的概念, 从金属网的设计要求、编织材料和生产工艺等方面阐述了近年来经编柔性金属网的研究现状, 并对其单向拉伸性能进行了测试。最后对经编柔性金属网的发展趋势进行了展望, 为空间可展开网状天线的研究提供参考。

关键词:经编柔性金属网; 设计要求; 生产工艺; 单向拉伸

中图分类号: TS 186.1

文献标志码: A

文章编号: 1000-4033(2015)10-0027-04

Current Research and Development Trend of Warp-knitted Flexible Metal Mesh

Li Nan¹, Jiang Jinhua^{1,2}, Chen Nanliang^{1,2}

(1. College of Textile, Donghua University, Shanghai 201620, China;

2. Engineering Research Center of Textile Technical Education Ministry, Shanghai 201620, China)

Abstract: With the rapid development of the satellite communication techniques, the warp-knitted flexible warp metal mesh has been used widely for large deployable antenna for space application. Based on this, this paper studies current research and developing trend of warp-knitted flexible metal mesh. Firstly, it introduces the concept. Secondly it describes the current research in terms of the design requirements, materials and knitting process. Thirdly, it tests the uniaxial tensile properties. Finally, some future directions are pointed out. Furthermore, it analyzes the development trend of this kind mesh, which can provide some references for development of spatial deployable mesh antenna.

Key words: Warp-knitted Flexible Metal Mesh; Design Requirements; Knitting Process; Uniaxial Tension

经编柔性金属网是指采用超细金属丝和经编技术生产的经编柔性网格材料, 其具有质量轻、纵横向均有一定延展性、网格尺寸可设计等特点。随着经编技术的发展, 经编产品的应用领域不断拓展, 目前, 经编柔性金属网广泛用作屏蔽网、催化网、过滤网等, 甚至在国防军工和航空航天领域也得

到了广泛应用。

现代卫星天线的尺寸要求越来越大, 以提高其信号传输能力, 减小地面接收装置。由于受到航天运载工具运载能力的限制, 一般将天线折叠起来固定在运载工具内, 待航天器进入轨道后, 再展开进入工作状态^[1]。美、俄、欧、日等已将经编金属网广泛应用于网状可展

开天线, 其口径也从几米到几十米不等^[2]。我国由东华大学陈南梁教授设计生产的经编柔性金属网也已达到国际先进水平^[3]。

可收展卫星天线金属网的性能决定着星载天线的性能、效率和寿命。本文重点从金属网的设计、材料、编织、测试等几个方面阐述近年来经编柔性金属网的研究现

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2232015D3-01); 东华大学研究生创新基金项目(EG2015003)。

作者简介: 李楠(1989—), 男, 硕士研究生。主要从事产业用纺织品设计与开发。

通讯作者: 陈南梁(1962—), 男, 教授。E-mail: nlch@dhu.edu.cn。

状,并对经编柔性金属网的发展趋势进行了总结。

1 金属网的设计要求

设计卫星天线经编柔性金属网时,要保证其力学性能、电学性能和反射性能均符合要求。不同编织工艺的经编金属网的各种性能差异很大,因此设计时要充分考虑到以下几方面的要求。

1.1 力学性能要求

各向同性,即金属网的横向和纵向延伸性与强力趋势相同,这有利于网面的成形与保持以及曲面精度和电学性能的提高。

卫星在发射升空之前,网面需要进行多次展开与收拢试验,这将会使金属网的某些部位产生折叠,并对网面产生较大的挤压力,所以要求网面材料要具有良好的可折叠性和抗皱性^[4]。

金属丝网的拉伸断裂载荷一般不小于 1 kg/cm,断裂伸长率不超过 50%^[5]。

1.2 电学性能要求

金属网编织结构形成的网孔尺寸与波长之间必须有一个特定的关系,以实现在反射时具有较小的漏射。一般网状反射面的网孔边长尺寸 a 与波长 λ 之间的比值 a/λ 通常在 0.1 数量级上,以满足其工作频段具有 90% 以上的反射系数^[6]。

一般要求镀层金属丝生产的金属网的接触电阻不大于 5 Ω 。目前金属丝的镀层一般为金或镍,这样可使金属网面具有很好的电接触稳定性。

高频段多载波技术的应用使金属网天线产生较高的无源互调(PIM),输入功率每增加 1 dB,无源互调就会增加 3 dB^[7],因此在使用过程中要降低其无源互调。金属材料纯度不够导致的非线性,天线的部件连接区域应力接触不均匀

导致的电流密度分布改变,工艺处理引起的非线性,如金属表面的电镀层不均匀,金属材料本身的磁滞特性导致的非线性等都会导致天线无源互调而干扰信号^[8]。

1.3 其他性能要求

较低的金属网密度有利于降低反射体质量和工作预紧力。下机后金属网克质量应尽量小,一般不超过 100 g/m²。

此外,金属网中的线圈形态、线圈长度、延展线长度及形态对金属网的性能影响很大,因此要利用经编针织物线圈几何结构模型来研究所设计的金属网的线圈及延展线形态。

2 金属网材料的研究

在太空中,金属网的材料要求耐冷热交变性能并且具有较低的热膨胀系数。美国金属网天线采用镀金钼丝居多,而俄罗斯金属网采用镀金钨丝和镀镍不锈钢丝居多,我国金属网主要采用镀金钼丝和镀镍不锈钢丝。

镀金钼丝具有高比强度、高比模量、低热膨胀系数等一系列优异性能,我国使用的镀金钼丝直径一般在 0.015~0.050 mm,编织金属网的纱线除了材料自身的性质和直径外,每根纱线中单丝的根数对金属网的性质也有重要影响。研究发现超细金属丝在并捻过程中容易产生较大的残余扭矩,东华大学陈南梁等人使用同心绞平衡方法,极大地降低了超细金属丝的残余扭矩,得到了既具有足够的机械强度,又具有良好柔性和弹性的镀金钼丝纱线^[9]。如图 1 所示为管式绞线所得镀金钼丝外观。

用于制作网状天线的镀金钼丝网是研制大型可展开空间天线的关键基础材料之一,其使用量很大,一般每台天线的网布毛坯消耗

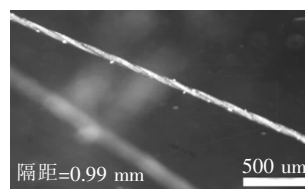


图 1 管式绞线所得镀金钼丝外观

面积接近网面口径的 10 倍^[10],因此镀金钼丝金属网的试验成本相当昂贵。文献[11]介绍了日本宇航机构采用由锦纶和聚亚胺酯合成的化纤丝编织而成的网面材料进行地面机械性能测试试验可降低研究成本的案例。我国借鉴国外研究经验,采用化纤丝仿制了国外不同频段的网面材料,研制出高频段低成本的锦纶丝网面替代材料,满足了地面试验需求^[12]。

3 金属网的编织

金属网的编织方式对成网后材料的性能有很大的影响。纬编针织物的编织特点导致其纵向延伸性差异大,各向同性差,因此金属网较多采用经编结构。美国和俄罗斯金属网的编织结构都是采用经编工艺编织而成,但是两者编织结构的网孔花型不同,编织工艺过程中的难易程度略有不同^[13]。我国也开发了经绒平、经平绒、开口经缎、经绒缎等不同组织结构的金属网,如图 2 所示为正在经编机上编织的星载天线经编金属网,图 3 为其下机实物图。



图 2 正在经编机上编织的星载天线经编金属网

经编金属网编织工艺参数主

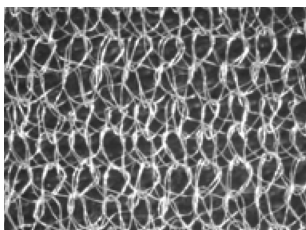


图3 经编金属网下机实物图

要包括网孔大小、横密、纵密、幅宽、送经量、送经比、牵拉密度、梳栉横移量等。整经质量对金属网的编织也有较大的影响。

研究发现不同组织结构的经编网格织物随着编织梳栉数和纱线数量的增多,网格织物的强力会不断增加,织物克质量也会增加。随着织物密度的增大,织物横、纵向拉伸断裂伸长率也逐渐增加,衬纬纱线能提高织物的均匀性和强力,降低织物断裂伸长率^[14],因此要得到强力高、质量轻的金属网必须选择适当的组织结构。

经编网格织物的纵向强力始终比横向强力大,而且两者与牵拉密度和送经量呈二次函数关系;织物的纵、横向伸长与牵拉密度和送经量呈一次函数关系^[15]。研究还发现送经比的变化主要是由于拉伸过程中不同纱线的应力分配不均所导致,送经比适中的织物断裂峰数少、断裂强力大^[16]。因此要通过计算优化选取最佳的牵拉密度、送经量和送经比,使得金属网的纵横向力学性能差异最小,即经编金属网的各向同性最好。

镀金钼丝本身的脆性和高强度低伸的特性,使其纱线在编织过程中极易因弯曲、拉伸、摩擦等外力的作用与成圈机件产生摩擦,使得金属丝在加工过程中被损伤破坏^[17]。因此经编机机号的选择,金属丝编织过程中张力的大小以及编织速度对金属网的成网质量影响较大。

4 金属网的性能测试

经编柔性金属网的力学性能和电学性能是设计加工和使用的主要因素,为此要对金属网的各项指标进行试验研究。

4.1 力学性能测试

目前,我国还没有相关的经编网格织物的测试标准,为了取得相对规范的测试结果,现参照 GB/T 4925—2008《渔网 合成纤维网片 强力与断裂伸长率试验方法》标准进行力学性能测试。单向拉伸试验时,将经编金属网试样平整地夹入上下夹具,然后进行试验,测试断裂强力与断裂伸长率。试样在夹具间的有效长度为 100 mm,宽度为 10 或 20 目(目指网眼个数),拉伸速度为 50 mm/min。对于单向拉伸每组试验取 5 个试样,最终取平均值作为分析用数据。图 4 为所裁剪试样单向拉伸示意图。

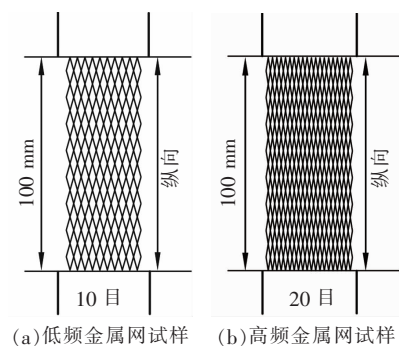


图4 单向拉伸示意图

图 5 为镀金钼丝金属网单向拉伸曲线。从图 5 可以看出,在纵向拉伸曲线的初始阶段,拉伸强力变化不大,且位移量很小,继续拉伸,拉伸强力迅速增大,直至断裂;横向拉伸时,拉伸强力同样要经历初始阶段的伸长稳定区、迅速变形区以及断裂区,不同的是横向拉伸的拉伸稳定区要远远大于纵向拉伸。造成这种现象的原因是由于织物在编织过程中,纵向受到牵拉力作用、横向受到严重挤压,因此当

金属网下机后横向受到拉伸时,线圈变小导致延展线伸直变长,所以金属网横向断裂伸长率较大。此外,由图 5 还可以看出,金属网纵横向拉伸强力相差不大。

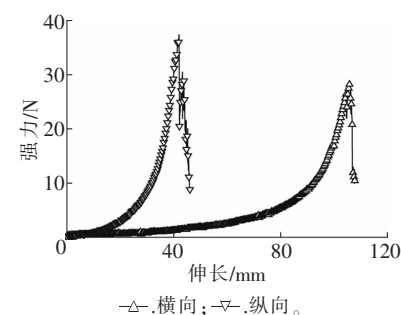


图5 高频金属网单向拉伸曲线

4.2 电学性能测试

研究发现,金属网的断头数量、丝网材料的编织结构、网孔形状与尺寸大小、网面各向均匀性、金属丝的直径和表面镀层、网面铺设工艺方法都直接影响着天线的电学性能。采用经缎组织形成的金属网电学性能好^[18];横菱形网孔结构的电学性能优于竖菱形网孔结构^[19]。国外对金属网的无源互调现象研究起步较早,目前对无源互调的测试与控制已经非常成熟,而我国对金属网无源互调研究才刚起步,此后必须加强这方面的研究。

5 发展趋势

随着卫星通讯技术的不断发展,高频段多载波不断增加,对天线反射器精度及经编金属网的质量要求越来越高。具体表现如下:

- a. 经编金属网向着柔软、超薄、超轻量化发展,编织结构应具有良好的各向同性、可折叠性、抗皱性和抗松散性;
- b. 大功率多载波的收发天线要求降低和消除金属网无源互调特性;
- c. 随着材料科学的不断发展,高分子复合材料在金属网中的应用会不断增加;

d. 随着新型结构的研究,多结构、多网型不断得到发展以适应不同频段的要求。

参考文献

- [1] GARCIA E, DELGADO C, GONZALEZ I. Analizing large reflectors antennas built with complex knitted meshes [C]//AP-S/URSI 2011. Washington, 2011 IEEE AP-S/URSI Conference, 2011: 934-937.
- [2] RAHMAT-SAMII Y, ZAGHLOUL A I, WILLIAMS A E. Large deployable antennas for satellite communications [C]//2000 IEEE AP-S Int Symp Dig. Salt Lake City: Proc IEEE AP-S Int Symp Dig, 2000: 528-529.
- [3] 陈南梁. 经编网眼织物在高科技纺织品中的应用[J]. 纺织导报, 2013(9): 68-70.
- [4] 赛兴鹏, 秦庆彦. 可收展卫星天线用金属网技术研究进展[J]. 贵金属, 2011, 32(1): 82-87.
- [5] 郑建生, 李东伟. 空间可展开网状天线网面材料的性能研究[J]. 电子机械工程, 2005, 21(3): 49-55.
- [6] RAHMAT-SAMII Y, LEE S W. Vector diffraction analysis of reflector antennas with mesh surfaces[J]. IEEE Trans. Antennas Propagat, 1985, 33(2): 76-90.
- [7] LUBRANO V, MIZZONI R, SILVESTRUCCI F, et al. Pim characteristics of the large deployable reflector antenna mesh [C]//Proceeding of 4th International Workshop on Multipactor, Coronal and Passive Intermodulation in Space RF Hardware. Noordwijk: ESA/ESTEC, 2003: 1-8.
- [8] BOLLI P. Passive intermodulation on large reflector antennas[J]. Antennas and Propagation Magazine, 2002, 44(5): 13-19.
- [9] 贾伟, 陈南梁. 金属钼丝并线过程中残余扭矩的研究[J]. 产业用纺织品, 2011(6): 22-25.
- [10] MEGURO A, HARADA S, WATANABE M. Key technologies for high-ac-

- curacy large mesh antenna reflectors [J]. Acta Astronautica, 2003, 53(11): 899-908.
- [11] 王援朝. 大型网状反射器机械性能的地面验证[J]. 通信与测控, 2001(4): 30-40.
- [12] 郑建生, 李东伟. 高频段网状天线金属丝网替代材料的研制[J]. 产业用纺织品, 2011(6): 22-25.
- [13] 郑建生, 李东伟, 张建福. Ka 频段网状天线镀金钼丝网的研制[J]. 电子机械工程, 2014, 30(2): 40-42.
- [14] 刘晓明, 陈南梁, 冯勋伟. 经编网格织物工艺参数对强力的影响[J]. 针织工业, 2007(6): 20-22.
- [15] 肖伟发, 张磊, 蒋金华, 等. 经编网眼织物工艺参数对力学性能的影响[J]. 产业用纺织品, 2013(12): 17-19.

- [16] 刘晓明, 蒋金华, 陈南梁. 玻璃纤维网格织物的编织与性能分析[J]. 东华大学学报: 自然科学版, 2008, 34(4): 392-395.
- [17] 魏贺, 蒋金华, 陈南梁. 经编过程中金属丝耐磨性能的研究[J]. 产业用纺织品, 2012(4): 18-21.
- [18] AMANE M, MASATO T. A mesh reflecting surface with electrical characteristics independent on direction of electric field of incident wave [J]. Antennas and Propagation Society International Symposium, 2004(1): 33-36.
- [19] 李德芳. 网状反射面结构形式对天线电性能的影响分析[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2008.

收稿日期 2015年4月23日

信息直通车

《针织工业》官方微信邀您访问!

《针织工业》微信公众平台是针织行业重要的资讯与技术平台。登陆微信加关注, 您即可以通过微信与我们进行互动交流, 并可以每天获得即时的行业新闻、企业动态、技术知识、经营管理等信息资讯, 提前了解每期《针织工业》刊登内容, 而且微信平台特别开设印花、圆机、面料、检测等专栏, 让您关注一个微信号可知行业技术动态, 学习行业知识。

关注方法: 微信搜索针织工业官方微信“zzgy1973”或扫描二维码加关注。

关注微信后, 本刊作者输入“3”并按提示回复, 即可成为微信会员, 享有随时查询稿件信息和发表进度, 反馈文章信息等权益。普通读者也可申请微信会员, 回复“申请+姓名”, 并按照回复提示输入信息, 即可享有微信会员权益, 并享有加入针织工业微信会员精英QQ群(432483194)与大家互动交流的权益。

