

传媒飞艇用系留综合缆制造技术探讨

宋杰, 辛秀东, 吉利, 鲁祥, 邹叶龙

(上海电缆研究所, 上海 200093)

摘要: 论述了传媒飞艇或气球用高强度系留综合缆制造的关键技术、应用领域和应用技术等。

关键词: 系留; 飞艇或气球; 综合缆; 制造技术

中图分类号: TM246.9; TN818

文献标识码: A

文章编号: 1672-6901(2010)02-0023-04

Investigation of the Manufacturing Technique for the Mooring Composite Cable for Medium Airship

SONG Jie, et al

(Shanghai Electric Cable Research Institute, Shanghai 200093, China)

Abstract: In this paper, the key technique, field of application and applied techniques for the high strength mooring composite cable for medium airship or balloon are presented.

Key words: mooring; airship or balloon; composite cable; manufacturing technique

1 概述

系留气球(或飞艇)作为一种理想的空中平台,自其诞生之日起,就受到了人们的青睐。它具有留空时间长,覆盖面积大,能源消耗低,便于拆收,机动性强的特点。通过将各种摄影、摄像设备,电(光)侦察设备以及电(光)干扰设备等安装在吊舱中,可对电磁波辐射范围内的地物和地貌、人员和设施等自动完成摄影、摄像、信息侦察和干扰,以及远距离通信等任务;亦可用于大气和环境监测、缉私、应急通讯系统等民用领域。作为一种升空平台,系留气球可为球载设备提供较大的对地视界范围,其滞空高度越高,覆盖范围越大。

系留气球下端悬挂一个吊舱,借助于气球浮力漂浮在空中。倘若在吊舱中安装上各种无线电台,它就可构成一座无人升空通信平台,相当于将无线电波接力站从地面搬到高空,将地面电台发出的无线电波经过它的接收、放大就可自动地转发到另一地区,完成远距离电波中转任务。

根据登高望远的道理,系留气球升得愈高,升空通信平台辐射出无线电波的范围就愈广,通信距离也就愈远。试验和统计表明,当系留气球携带 1 kW

通信设备升至 50 m 时,通信距离可达 80 km;升至 2 000 m,通信距离可达 160 km;升至 6 000 m,通信距离可达 320 km。

1.1 系留气球和飞艇的发展简况

系留气球和飞艇的应用最早可以追溯到 18 世纪末期,当时主要用于观察战场和战区军队的配备和运动情况。在第一次世界大战期间,系留气球用于大炮炮弹弹着点的观测;在第二次世界大战时,除了战场观测和炮弹弹着点的校正观测外,还用于城市的防空,拦截低空突防的轰炸机,起到保卫城市、舰船和军事目标的作用。

和平年代,系留气球和飞艇更多的用于气象预报、飞行器监测、广播通讯、地形测绘、城市警务、应急通讯业务等,此外,系留气球还可以进行低空预警,特别是作为边防、海防的空中监测平台以及对反恐的监测都是一种极好的选择。尤其可用于灾(如地震)后通讯、勘测应急系统的建立,具有极强的实际意义和应用价值。

1.2 系留气球和飞艇系统的结构和功能

系留气球和飞艇的基本结构是由头锥、囊体、尾翼、设备或吊舱以及缆绳等组成。头锥是系留气球或飞艇与地面系留时的重要承重部件;囊体则用于充注升力的气体(本文介绍的是充注氦气);尾翼(包括舵面)为气球或飞艇提供稳定和操纵;设备或吊舱为飞行员及系统设备提供搭载空间;缆绳(本文又称为系缆或系留综合缆)是为气球定点系留提供约束力,还可以为气球球载设备传输电能,以及提

收稿日期:2009-11-10

基金项目:上海市科学技术委员会资助(08QB1401000)

作者简介:宋杰(1977-),男,工程师。

作者地址:上海市军工路 1000 号[200093]。

供数据传输的光纤线路。

1.3 充氦气球用系缆

系缆也是充氦气球系统中重要的组成部分,也是本文主要论述的主题,以往采用钢缆,由于重量很重,直接影响到了系留气球的有效载荷,已逐渐被淘汰。近年来,充氦气球和飞艇的缆绳,已逐渐被汇集铜导体电力电缆、光缆和保护层于一体的多功能综合缆取代,并有以芳纶(Kevlar)纤维受力构体代替钢绞线的趋势。

系缆作为系留气球与地面设施的连接线,用于发放、回收气球,并具有传输信号和供电功能。系缆中心是导线,导线包以Kevlar纤维,最外层为金属编织套,用于避雷作用。地面上还有机械转台、系留塔、绞盘、操作控制室等设施。

高强度系留综合缆正是气球与地面设备之间始终保持连接的缆,是保证系留飞艇正常可靠工作的关键器件,是其升空高度的决定因素。由于国内尚未开发该类产品,因此也是气球飞艇系留系统在国内不能得到广泛应用的关键所在。

2 根据使用特点提出产品的技术要求

由于该产品作为高空飞艇系留系统的“生命线”,因此必须认真根据产品的使用特点及用户的要求,提出产品的技术要求:

- (1) 可同时具备抗拉、传电、通光三大功能;
- (2) 具备超高、高可靠的抗拉性能;
- (3) 具备超轻的单位重量;
- (4) 具有较好的柔软性,可满足反复收放及反复弯曲的性能要求;
- (5) 综合缆中电单元发热时应对光纤性能以及综合缆的机械强度均无影响;
- (6) 考虑小重量、大长度要求下综合缆电单元压降温升问题;
- (7) 考虑光纤在大拉力、强压力作用下的附加衰减控制;
- (8) 允许的最小破断力不小于120 kN;
- (9) 允许的最小压扁力不小于10 kN;
- (10) 试验装置(设备)及试验方法选择和确定;
- (11) 满足避雷、防蚀、防紫外等环境其他要求。

3 产品结构设计和材料的选用

3.1 结构的考虑

该综合缆的电单元要求一般为三相四线制,如果按照传统的电缆结构考虑应为三个动力线和一根

地线组成,四根通电单元的导体直径和绝缘厚度均相等。出于通信容量和保密等方面的考虑,采用光纤通信。也就是说,整根综合缆至少有五个单元,即四个电单元和一根光单元,而这几个单元的外径大小基本相当,这样需在中心增加一根填芯,并形成1+5成缆后的缆芯结构。为了减少综合缆的外径及单位长度重量,考虑到缆芯结构较小,且在各个单元之间尚有一定的空隙,故最终结构是将地线单元拆分为四个小的单元,分别放置于四个大单元的空隙之中。

3.2 绝缘单线

由于该综合缆要给终端的设备供电,电缆中将通过很大的电流和较高的电压,因此绝缘线芯必须为连续的单线,既无接头和击穿点,也无竹节和鼓包,并应进行全程火花检测和测径仪监控。

在选择绝缘材料及确定绝缘厚度时,要综合考虑以下几方面因素:绝缘材料的加工工艺、绝缘材料的耐压等级、导体发热对缆的影响、综合缆的单位重量及外径限制等。表1为三种绝缘材料的性能比较,经综合考虑,确定采用聚四氟乙烯作为绝缘材料。

表1 三种绝缘材料的性能比较

材料	性能特点	加工性	介电常数	密度 /(g/cm ³)
聚氯乙烯	耐电压和绝缘电阻较高,阻燃、耐油、耐寒、耐药品、耐电晕和耐水性等较好;但介电常数和介质损耗较大,耐寒性较差	好	6~8	1.25
聚乙烯	耐电压和绝缘电阻高,介电常数和损耗很小,且受温度和频率的影响小;有良好的力学性能,耐水、耐溶剂、耐药品性能优	好	2.3	0.96
聚四氟乙烯	耐高温,连续工作温度可达250℃,电气特性、极低温可绕性、耐水、耐药品、阻燃等性能都好;但高温不熔融,须用特殊加工方法	好	2.0	2.1

3.3 光单元

3.3.1 光单元的设计

光单元作为传输信号的载体是在整根综合缆中最薄弱的单元,因为在不小于120 kN的拉力及10 kN压扁力的作用下,综合缆光单元受到很大的纵向拉力及径向的侧压力,如果不采取完善的保护措施,光单元将会产生明显的附加衰减甚至于使光纤断裂。为了有效地保护光单元,考虑几种措施:一

是采用聚对苯二甲酸丁二醇酯(PBT)松套结构,并在松套管外再挤包一层聚乙烯护层,起保护作用,或者是松套管采用钢管,并在钢套管外再挤包一层聚乙烯护层,起保护作用;二是采用芳纶纤维增强。

3.3.2 光纤在大拉力、强压力作用下的附加衰减

光纤在受到外力作用时,无论是拉力还是压力都将产生光传输衰减的增大,使光通信传输性能受到影响。通过控制光纤在套管中的合理余长,以及缆芯在成缆绞合时的合理节距,使光纤在0~60 kN拉力时光传输衰减不受影响;在60~120 kN拉力时仅受到轻微的影响,但产生的附加衰减控制在合理的范围之内。

3.3.3 考虑能承受10 kN压扁力的光单元设计

普通型光缆通常要求承受3 kN压扁力,而本产品要求承受10 kN压扁力,因此,光单元必须有足够的防护措施才能承受住如此大的侧压力。

常规的通信光缆是将光纤套入由高模量的聚酯(PBT)材料做成的松套管中,套管内填充防水化合物,以确保良好的阻水防潮性能。松套管的优点是比较柔软,有较小的弯曲半径;其主要缺点是抗侧压能力较差。另外一种方式是采用激光焊接不锈钢管对光纤进行保护。用这种技术生产的光单元,光纤余长得到很好控制,内填充防水化合物,确保了良好的阻水防潮性能。该结构的最大特点是抗侧压能力强,不足之处是柔软性较差。当缆绳应用要求侧压力达到10 kN以上,持续时间1 min,光纤附加衰减小于1 dB,以及在压力去除后光纤应无显示残余附加衰减时,考虑选用抗侧压性能较好的钢管作光单元的“保护衣”。

3.4 护套

无论是光缆还是电缆或是光电综合缆,护套的作用都是相同的,那就是保护缆芯免受伤害,确保内部核心部件能够长期安全、稳定的运行。常用的护套材料有PVC、PE及其为基础材料的一些衍生材料,近年来聚醚型热塑性聚氨酯(TPU)材料逐渐被广泛的应用。

综合缆要长期在空中工作,并且要反复进行收放,且在收放的过程中极有可能和其他物体相互摩擦碰撞。基于以上这些考虑,护套的材质就需要具有较高的机械强度,且耐磨。由于PVC材质的护套机械强度低,耐磨性能差,因此被排除在外。TPU具有以下几个主要特性:与橡胶一样为极好弹性体(伸长率为300%~600%);耐磨;耐寒(-40~70℃);耐油性(耐酸碱);耐水解;耐抗菌性;环保(可自然分解),因此该材料是最佳的选择。

3.5 加强件

3.5.1 加强单元的设计

系留综合缆要实现抗拉力不小于120 kN的要求,以及在此拉力下,应满足相应的电气性能和通信性能的要求。这就需要大量的芳纶纤维,即使选用目前市场上最高强度及模量的芳纶纤维,芳纶纤维的截面也须高达120 mm²,而且要想让如此多的芳纶纤维发挥到最大的效力,则必须注意如下两点:(1)当芳纶纤维绕包(或绞合)时,绕包角即绕包的纤维与被包的线芯轴线之间夹角 α 要尽可能小,这不同于常规的绕包带绕包,更像金属丝的绞合,因此有时也可称其为绞合;(2)必须使各芳纶纤维的张力尽可能均匀一致,这样才可满足设计的要求。

3.5.2 加强单元的试制

大量的试验数据表明,首先必须确保单根芳纶纤维性能均匀和稳定,拉力应达到预期要求;其次要求绕包机的绕包头张力均匀,使各盘放线张力均匀一致。在芳纶纤维绕包及护层挤制后,进行拉力性能试验,试验结果见图1。从图中可知,综合缆的抗拉力可达120 kN及以上,光纤附加衰减不大于0.05 dB,完全符合设计要求。

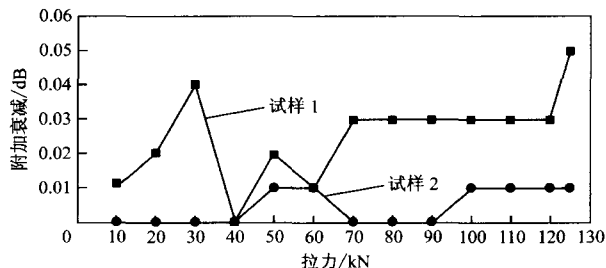


图1 综合缆拉伸试验

3.6 单位重量

综合缆作为承力单元,拉住悬浮在空中的氦气球,缆绳基本处在垂直状态,因此,要求缆绳总重量不要过重,在满足气球浮力允许范围内,缆体越轻越好。因此必须选用芳纶纤维加强以及密度相对较小的各种绝缘及护套材料,同时在结构和工艺上要使产品稳定和紧凑。

3.7 电缆压降研究

地面控制中心的电源设备发送一定的功率,经综合缆传输到终端设备——气球或飞艇中相关设备,在传输的过程中将产生一定的压降。如果压降很大的同时要使终端设备正常工作,则始端所施加的电压就要升高,这样就需要在始端增设增压设备,使成本提高;其次,线路电压越高,则要采用更高的安全措施。因此,宜在输电线上采取相应的措施;如

果要降低电压损失,则要增大导体线径,这就会使系留综合缆变粗、变重。因此,必须合理选择导体的截面积,并在选定导体截面积后验证电压压降能否满足使用的要求,为此进行了如下工作:针对终端设备是感性还是容性确定对线路可能产生的压降影响,分别用电炉、灯泡和电扇作为终端负载,经过大量的模拟试验得出电线的压降不仅与终端负载有关,而且与线缆的电感、长度、电阻有关,因此,设计时控制好电感、电阻,可以获得合理的线路压降。根据传输线理论,可由下式求得线路传播常数 γ 和线路波阻抗 Z_0 :

$$\gamma = \sqrt{(R_0 + j\omega L_0)(G_0 + j\omega C_0)}$$
$$Z_0 = \sqrt{(R_0 + j\omega L_0)/(G_0 + j\omega C_0)}$$

由设计条件已知终端负载及终端电压 U_2 及电流 I_2 的条件下,可由下式计算电路始端的电压 U_1 及电流 I_1 为:

$$\begin{cases} U_1 = U_2 \operatorname{ch} \gamma L + I_2 Z_0 \operatorname{sh} \gamma L \\ I_1 = \frac{U_2}{Z_0} \operatorname{ch} \gamma L + I_2 \operatorname{sh} \gamma L \end{cases}$$

式中, R_0 为导线回路直流电阻 (Ω/km); L_0 为导线回路上的电感 (H/km); C_0 为导线之间的电容 (F/km); G_0 为导线之间的电导 (S/km); L 为导线长度 (km)。

以上公式仅适用于线缆直线状态传输,当线缆

处于成圈状态时,应考虑其感性效应对线路的压降影响并另行计算。

3.8 环境性能考虑

综合缆长期停滞在空中,需要应对各种自然天气条件,同时还要反复的进行收放工作,因此要有很好的耐环境能力及很好的反复弯曲能力,其次附件装置应具备防雨和三防(防潮、防霉菌、防盐雾)的能力。

4 结束语

和固有信号平台相比,系留气球(或飞艇)平台系统具有卓越的灵活性、适应性、隐蔽性。随着科技的迅猛发展,其应用领域将获得进一步的拓展,并将在国民经济和国防建设中发挥重要作用。

系留电缆的成功研制和技术普及,将会解决高空系留系统的通用技术,对线缆行业的发展起到推动的作用,并将在气象、侦测、通讯等领域得到广泛应用,因此具有一定的技术及经济价值。

参考文献:

- [1] 吴希再,熊信银,张国强. 电力工程[M]. 华中科技大学出版社,2001.
- [2] 秋关源. 电路[M]. 高等教育出版社,2003.

(上接第11页)

计算的载流量数据与手册中的数据相差不大于0%~3%;其余温度下,相差为0%~6%。在50/30规格以下时,本计算所得的载流量数据比手册中的数据小,相差为4%~8%。铝/钢线根数12/7结构的铝/钢截面为70/40、95/55、120/70三个规格,本计算所得的载流量比手册中的数据大,相差1%~18%。

由上述可知,对交流电阻的计算作了简化后,载流量的计算便变得简单。当然,铝/钢截面为70/40、95/55、120/70三个规格载流量计算比手册中的数据大,应值得进一步的分析。

4 结束语

进行导线载流量计算时,必须先计算出导线的交流电阻值。交流电阻随交流电的频率、平均电流密度和温度而变化,计算十分复杂。本文参考了一

些文献,设定了交直流电阻比,简化了计算过程。用简化计算所得的交流电阻值进行了载流量计算。结果表明,在计算条件相同时,大部的计算数据与《电线电缆手册》第1册表1-2-50对比,误差较小,少量规格的计算数据相差较大,值得进一步的探讨。

参考文献:

- [1] 刘士璋. 铝绞线交直流电阻及载流量计算[J]. 电线电缆,1988(6):6-12.
- [2] GB/T 1179—2008 圆线同心绞架空导线[S].
- [3] DL/T 5092—1999 110~500 kV 架空送电线路设计技术规程[S].
- [4] IEC 61597—1995 Technical Report-Type 3 Overhead electrical conductors-Calculation methods for stranded bare conductors[S].
- [5] IEEE Std 738—2006 IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature of Bare Overhead Conductors[S].
- [6] 王春江主编. 电线电缆手册第1册[M]. 北京:机械工业出版社,2001.