



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102881385 A

(43) 申请公布日 2013.01.16

(21) 申请号 201210375502.3

(22) 申请日 2012.09.29

(71) 申请人 北京空间飞行器总体设计部

地址 100094 北京市海淀区友谊路 104 号

(72) 发明人 孟恒辉 耿利寅 谭沧海 彭方汉  
李国强

(74) 专利代理机构 中国航天科技专利中心

11009

代理人 安丽

(51) Int. Cl.

H01B 13/012(2006.01)

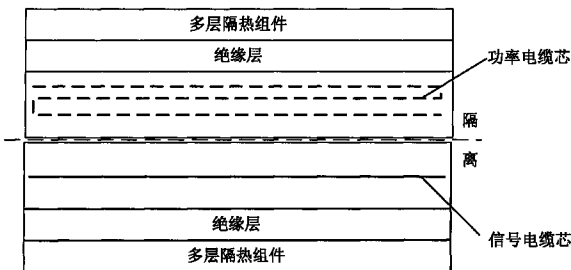
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 2 页

## (54) 发明名称

一种星外转动电缆束的热设计方法

## (57) 摘要

本发明涉及一种星外转动电缆束的热设计方法,尤其适用于星外对温度要求高的电缆,属于星外电缆技术领域。将功率电缆芯和信号电缆线芯进行隔离;通过数值仿真来确定星外电缆束所需的加热功率,从而设计功率电缆芯的长度,使得功率电缆自身上的发热量为所需的加热功率,充分合理利用热量;电缆束外表面包覆多层隔热组件。本发明的方法根据电缆自身情况,利用功率电缆芯发热,来保证电缆的温度要求,简单有效,同时也提高了可靠性;本发明的方法经过地面试验验证,比不采取任何措施的电缆束温度可提升 100℃左右,效果明显;本发明的方法设计的电缆结构简单,重量轻。



1. 一种星外转动电缆束的热设计方法,其特征在于该方法的具体步骤为:

1) 采用 Thermal Desktop 热分析软件和轨道参数对电缆束在轨模型进行数值模拟,计算出使每米电缆束温度设定温度时所需要的功率  $Q$ ;

2) 根据公式  $Q = L \cdot I^2 \cdot R$  计算出  $L$ ;

其中, $I$  为功率电缆芯的电流,单位为  $A$ , $R$  为每米功率电缆芯的阻值,单位为  $\Omega/m$ , $L$  为每米电缆束需要的功率电缆芯的长度,单位为  $m$ ;

3) 根据  $L$  来对功率电缆芯进行设计;

4) 分别在功率电缆芯和信号电缆芯外表面包覆内绝缘层,使功率电缆芯与信号电缆芯进行隔离;然后再用外绝缘层将功率电缆和信号电缆合成电缆束;

5) 在电缆束的外表面包覆隔热组件。

2. 根据权利要求 1 所述的一种星外转动电缆束的热设计方法,其特征在于:步骤 5) 中的隔热组件由反射屏和间隔层铺设而成;所述反射屏为双面镀铝聚酯膜或单面镀铝聚酰亚胺膜;所述间隔层为涤纶网。

3. 根据权利要求 2 所述的一种星外转动电缆束的热设计方法,其特征在于:所述双面镀铝聚酯膜的厚度为  $6\mu m$  或  $18 \sim 25\mu m$ ,单面镀铝聚酰亚胺膜的厚度为  $18 \sim 25\mu m$ 。

4. 根据权利要求 1 所述的一种星外转动电缆束的热设计方法,其特征在于:内绝缘层为交联乙烯-四氟乙烯共聚物材料。

5. 根据权利要求 1 所述的一种星外转动电缆束的热设计方法,其特征在于:外绝缘层外交联乙烯-四氟乙烯共聚物材料。

6. 根据权利要求 1 所述的一种星外转动电缆束的热设计方法,其特征在于:步骤 3) 中对功率电缆芯进行的设计为:功率电缆芯的两端分别位于电缆束的两端,中间部分成一条龙折叠。

## 一种星外转动电缆束的热设计方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种星外转动电缆束的热设计方法,尤其适用于星外对温度要求高的电缆,属于星外电缆技术领域。

### 背景技术

[0002] 星外电缆,目前选用的都是瑞侃导线,电缆的绝缘和护套都采用了辐照交联乙烯-四氟乙烯共聚物,并通过一定剂量高能电子辐照后使其产生交联而制成的产品。其能承受的温度范围为:-100~+200℃,一般不需要采取特殊的处理,直接裸露在星外就能适应复杂的外空间环境。而星外的活动电缆,由于有活动功能需求,长期的活动会对电缆转动和静止交界处产生应力积累效应,信号衰减严重。

[0003] 通过地面环境试验验证,例如当有些转动电缆在-25℃为一个临界点,电缆温度低于该值时,信号性能衰弱达50%,性能受到影响,功能无法实现。故为了更好的保证电缆功能实现,转动电缆温度需要突破常规的温度限制,根据性能特性突变区域特性,对温度提出了温度不能低于-25℃的要求,这就要求电缆需要有良好的鲁棒性,能适应在轨复杂空间环境。

[0004] 电缆直接暴露在超低温真空外环境,根据安装位置不同受到不同程度的外热流,温度变化剧烈。特殊电缆对温度的需求,采用常规的被动热控手段难以满足要求,而通用的主动热控手段在电缆线束上难以实施,尤其是对于在星外转动的电缆,无法在其上缠绕加热带,故必须针对电缆采用特殊的热控措施,来保证其温度。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的是为了一种星外转动电缆束的热设计方法。

[0006] 本发明的目的是通过以下技术方案实现的。

[0007] 本发明的一种星外转动电缆束的热设计方法,该方法从电缆束自身入手,找到能够有效利用的热量,来维持电缆束温度需求,同时还需要与外空间隔热处理,从而形成了一条通过功率电缆芯发热来实现温度维持的小封闭环境;该方法的设计思路为1)功率电缆芯和信号电缆芯需要隔离,以保证两者之间不会产生信号干扰;2)通过数值仿真来确定星外电缆束所需的加热功率;3)设计功率电缆芯的长度,使得功率电缆芯自身上的发热量为所需的加热功率,充分合理利用热量;4)电缆束外表面包覆多层隔热组件,减小与外空间的辐射换热;

[0008] 该方法的具体步骤为:

[0009] 1)采用Thermal Desktop热分析软件对电缆束在轨模型进行数值模拟,计算出使每米电缆束温度达到设定值时所需要的功率Q;

[0010] 2)已知I、R,根据公式 $Q = L \cdot I^2 \cdot R$ 计算出L;

[0011] 其中,I为功率电缆芯的电流,单位为A,R为每米功率电缆芯的阻值,单位为 $\Omega/m$ ,L为每米电缆束需要的功率电缆芯的长度,单位为m;

[0012] 3) 根据  $L$  来对功率电缆芯进行设计,设计成“S”形走线; $L$  仅为理论最小值,在实际走线时,可根据情况不低于这个长度即可;如  $L = 2.3$ ,在进行设计时,可按照  $L = 3$  来设计;

[0013] 4) 分别在功率电缆芯和信号电缆芯外表面包覆内绝缘层,使功率电缆芯与信号电缆芯进行隔离;然后再用外绝缘层将功率电缆和信号电缆合成电缆束;

[0014] 5) 在电缆束的外表面包覆隔热组件;

[0015] 隔热组件由反射屏和间隔层铺设而成;所述反射屏为厚度为  $6\mu\text{m}$  或  $18 \sim 25\mu\text{m}$  的双面镀铝聚酯膜,反射屏还包括厚度为  $18 \sim 25\mu\text{m}$  的单面镀铝聚酰亚胺膜;所述间隔层为涤纶网。

[0016] 有益效果

[0017] 本发明的方法根据电缆自身情况,利用功率电缆芯发热,来保证电缆束的温度要求,简化了电缆束的设计,该方法简单有效,同时也提高了可靠性;

[0018] 本发明的方法经过地面试验验证,该热控措施的电缆束比不采取任何措施的电缆温度可提升  $100^{\circ}\text{C}$  左右,效果明显;

[0019] 本发明的方法设计的电缆束结构简单,重量轻。

#### 附图说明

[0020] 图 1 为电缆束的设计结构示意图;

[0021] 图 2 为实施例 1 中功率电缆芯的走线方式示意图;

[0022] 图 3 为实施例 2 中功率电缆芯的走线方式示意图;

[0023] 图 4 为实施例 1 得到的电缆束的截面结构示意图。

#### 具体实施方式

[0024] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步说明。

[0025] 实施例 1

[0026] 星外活动电缆束,电缆束为 C55 系列导线,导线规格为 C55/012-22,功率电缆芯截面为  $0.35\text{mm}^2$ ,功率电缆芯的电阻率为  $50.5\Omega/\text{km}$ ;在电缆束工作时,通过电缆束的功率电流  $I = 2\text{A}$ ,近似认为通过功率电缆芯的电流为  $2\text{A}$ ;为了保证电缆束在冷空间 ( $-269^{\circ}\text{C}$ ) 的活动性能,需要把电缆束的温度保持在不低于  $-25^{\circ}\text{C}$  的水平;

[0027] 1) 首先对星外活动电缆束进行设计,即将功率电缆芯和信号电缆芯进行隔离并在两者的外面包覆绝缘层和多层隔热组件,如图 1 所示,采用 Thermal Desktop 软件并根据表 1 中的轨道参数建立电缆束的热分析模型;

[0028] 表 1 实施例 1 中轨道参数

[0029]

项目	参数
轨道平均高度(km)	963.592
轨道半长轴(km)	7341.732
偏心率	0.00117
轨道倾角(°)	99.34015
降交点地方时	6: 00am
交点周期(min)	104.4560min
每天运行圈数	13+11/14

[0030] 通过数值仿真,得到维持该电缆束温度为 $-25^{\circ}\text{C}$ 所需要的功率为 $0.4\text{W}/\text{米}$ ;

[0031] 2) 根据 $Q = L \cdot I^2 \cdot R$ ,即 $0.4 = L \cdot 2^2 \cdot 50.5 \cdot 10^{-3}$ ,得到 $L = 1.98$ ;

[0032] 对 $L$ 进行取整处理, $L = 2$ ,也即是说每米电缆束上,功率电缆芯的长度为 $2\text{米}$ ;功率电缆芯的走线方式如图2所示;

[0033] 3) 将功率电缆芯与信号电缆芯的外表面包覆内绝缘层,使信号电缆芯和功率电缆芯进行隔离;然后再用外绝缘层将功率电缆和信号电缆合成电缆束;所述的内绝缘层和外绝缘层的材料均为交联乙烯-四氟乙烯共聚物;

[0034] 4) 在电缆束的外表面包覆多层隔热组件,得到电缆束A,其截面示意图如图4所示。

[0035] 多层隔热组件由里到外依次为反射屏A、间隔层、反射屏B、间隔层、反射屏B、间隔层、反射屏B、间隔层、反射屏B、间隔层、反射屏A、反射屏C;

[0036] 所述的反射屏A为双面镀铝聚酯膜,其厚度为 $18\mu\text{m}$ ;

[0037] 所述的反射屏B为双面镀铝聚酯膜,其厚度为 $6\mu\text{m}$ ;

[0038] 所述的反射屏C为单面镀铝聚酰亚胺膜,其厚度为 $18\mu\text{m}$ ,非镀铝面在最外面;

[0039] 所述的间隔层为涤纶网。

[0040] 实施例2

[0041] 星外活动电缆束,电缆束为C55系列导线,导线规格为C55/011-20,功率电缆芯截面为 $0.5\text{mm}^2$ ,功率电缆芯的电阻率为 $30.2\Omega/\text{km}$ ;在电缆束工作时,通过电缆束的功率电流 $I = 3\text{A}$ ,近似认为通过功率电缆芯的电流为 $3\text{A}$ ;为了保证电缆束在冷空间( $-269^{\circ}\text{C}$ )的活动性能,需要把电缆束的温度保持在不低于 $-15^{\circ}\text{C}$ 的水平;

[0042] 1) 首先对星外活动电缆束进行设计,即将功率电缆芯和信号电缆芯进行隔离并在两者的外面包覆绝缘层和多层隔热组件,如图1所示,采用Thermal Desktop软件和表2中的轨道参数建立电缆束的热分析模型;

[0043] 表2实施例2中轨道参数

[0044]

项目	参数
轨道平均高度(km)	778
轨道半长轴(km)	7151.153
偏心率	0.001033
轨道倾角(°)	98.5055
降交点地方时	10: 30am
交点周期(min)	100.3802min
每天运行圈数	14+ 19/55

[0045] 通过数值仿真,得到维持该电缆束温度为  $-15^{\circ}\text{C}$  所需要的功率为  $0.75\text{W/米}$ ;

[0046] 2) 根据  $Q = L \cdot I^2 \cdot R$ , 即  $0.75 = L \cdot 3^2 \cdot 30.2 \times 10^{-3}$ , 得到  $L = 2.76$ ;

[0047] 对  $L$  进行取整处理,  $L = 3$ , 也即是说每米电缆束上, 功率电缆芯的长度为  $3$  米; 功率电缆芯的走线方式如图 3 所示;

[0048] 3) 将功率电缆芯与信号电缆芯的外表面包覆内绝缘层, 使信号电缆芯和功率电缆芯进行隔离; 然后再用外绝缘层将功率电缆和信号电缆合成电缆束; 所述的内绝缘层和外绝缘层的材料均为交联乙烯-四氟乙烯共聚物;

[0049] 4) 在电缆束的外表面包覆多层隔热组件, 得到电缆束 D;

[0050] 多层隔热组件由里到外依次为反射屏 A、间隔层、反射屏 B、间隔层、反射屏 B、间隔层、反射屏 B、间隔层、反射屏 B、间隔层、反射屏 A、反射屏 C;

[0051] 所述的反射屏 A 为双面镀铝聚酯膜, 其厚度为  $18\mu\text{m}$ ;

[0052] 所述的反射屏 B 为双面镀铝聚酯膜, 其厚度为  $6\mu\text{m}$ ;

[0053] 所述的反射屏 C 为单面镀铝聚酰亚胺膜, 其厚度为  $18\mu\text{m}$ , 非镀铝面在最外面;

[0054] 所述的间隔层为涤纶网。

[0055] 将实施例 1 中得到的电缆束 A、既没包覆隔热组件又无功率电缆芯的电缆束 B 和只包覆隔热组件但无功率电缆芯的电缆束 C 在地面真空罐内进行试验, 真空罐模拟在轨真空冷空间环境。在上述三束电缆上布置热电偶, 测量电缆的温度, 热电偶由真空环境系统来进行数据处理, 其采集精度为  $0.5^{\circ}\text{C}$ 。测试结果为: 电缆束 A 的温度为  $-17.29 \sim -16.88^{\circ}\text{C}$ , 电缆束 B 的温度为  $-120^{\circ}\text{C}$ , 电缆束 C 的温度为  $-75^{\circ}\text{C}$ ;

[0056] 所述电缆束 C 中包覆的隔热组件与电缆束 A 中的隔热组件一致;

[0057] 在实施例 1 中得到的电缆束 A 上布置 B6 型热敏电阻, 通过卫星上的 RTU 对热敏电阻采集到的阻值进行处理, 转化成电压量并发送到地面接收站, 通过地面配套设备从电压量解析出在轨电缆束 A 的温度。在轨测试结果为电缆束 A 的温度为  $-6.75 \sim -9.18^{\circ}\text{C}$ 。

[0058] 通过上述的测试可知: 未包覆隔热组件的电缆束 B 温度为  $-120^{\circ}\text{C}$ , 而包覆隔热组件后的电缆束 C 的温度可提升  $45^{\circ}\text{C}$ ; 电缆束 A 可提升到  $-17^{\circ}\text{C}$  左右; 电缆束 A 的温度比电缆束 C 的温度提升了  $103^{\circ}\text{C}$  左右, 电缆束 A 的温度提升效果明显; 通过在轨电缆温度的验证, 再次证明了该设计方法对提升星外电缆束的温度效果明显。

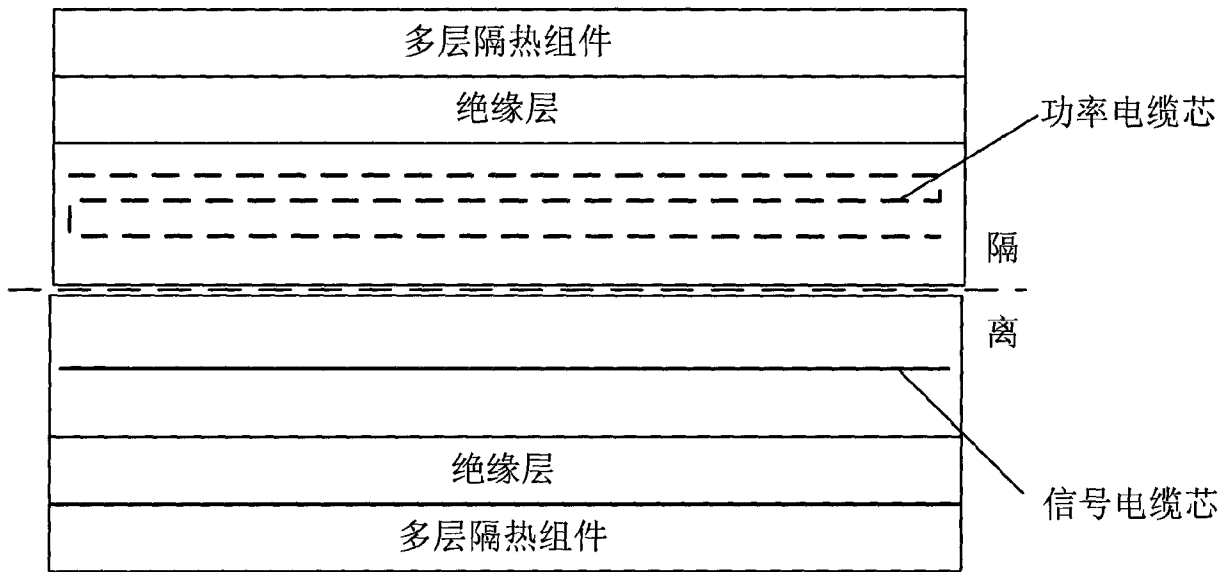


图 1

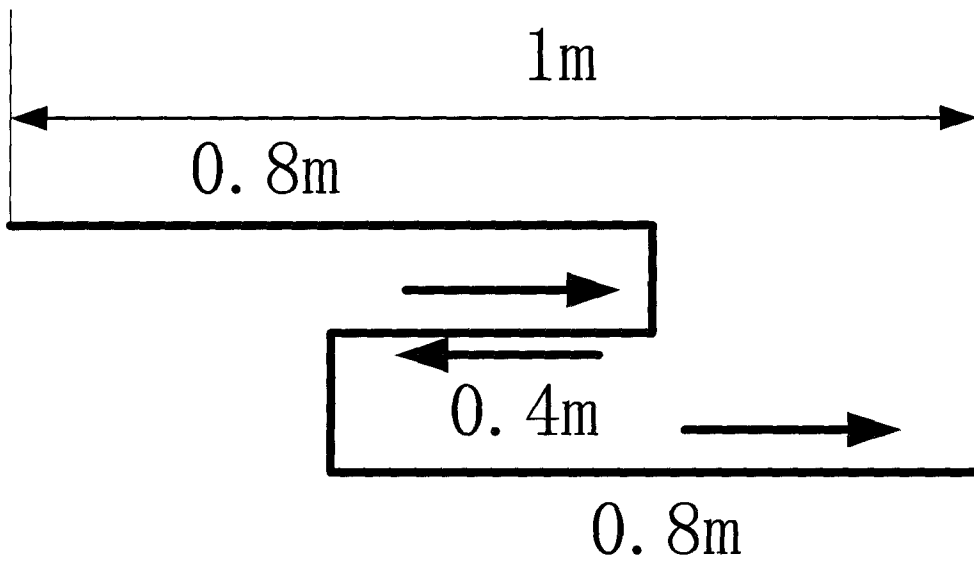


图 2

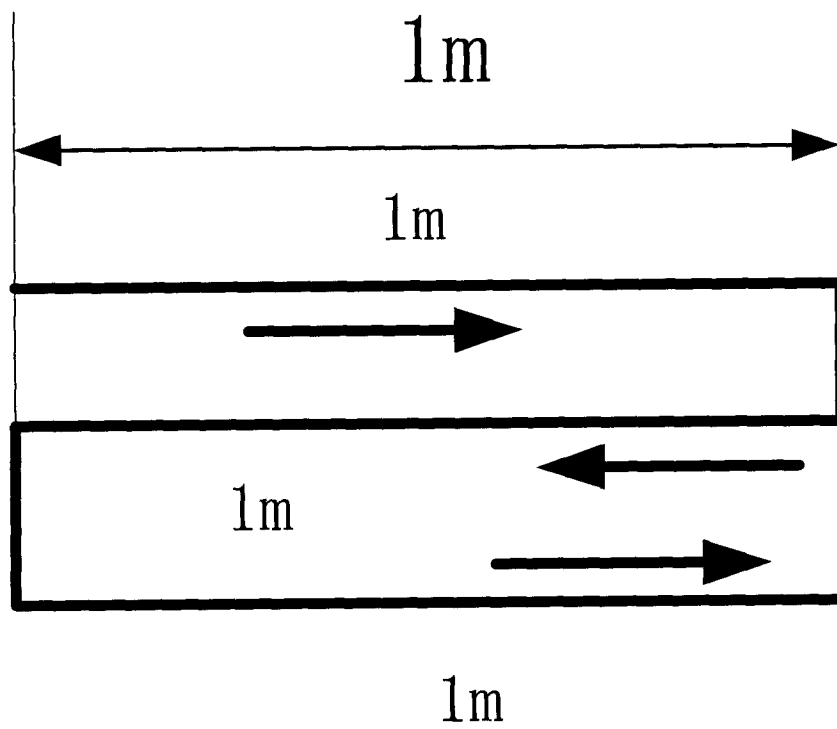


图 3

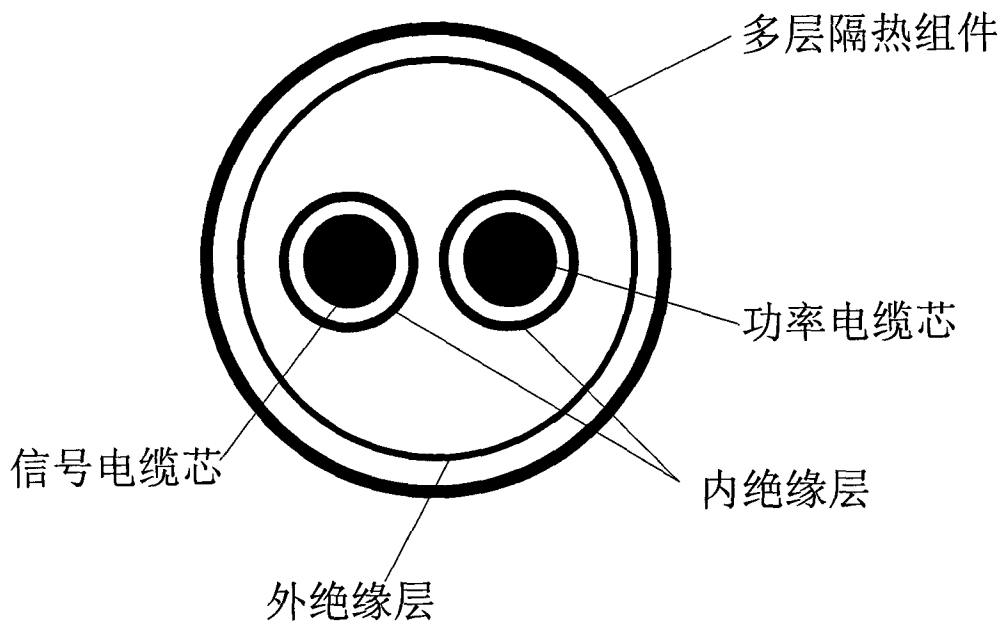


图 4