



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107317395 B

(45)授权公告日 2020.08.14

(21)申请号 201710566664.8

(22)申请日 2017.07.12

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107317395 A

(43)申请公布日 2017.11.03

(73)专利权人 中国空间技术研究院
地址 100194 北京市海淀区友谊路104号

(72)发明人 杜栩扬 毕然 赵健伍 程海峰
李乾宇 盛北飞

(74)专利代理机构 中国航天科技专利中心
11009

代理人 庞静

(51) Int. Cl.
H02J 13/00(2006.01)

(56)对比文件

CN 106294929 A, 2017.01.04

JP H04207796 A, 1992.07.29

王颖艳等. 航天器低频电缆网的设计. 《航天器环境工程》. 2013, 第30卷(第2期), 200-202.

审查员 闫朝

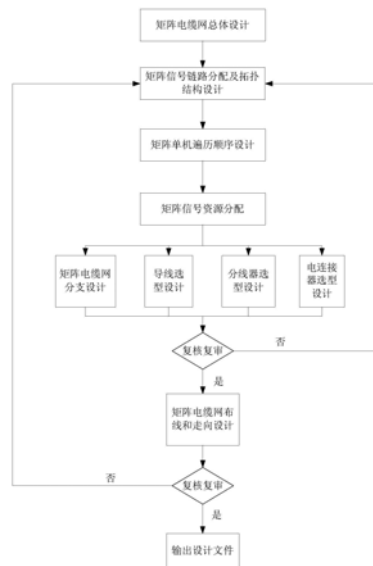
权利要求书1页 说明书21页 附图9页

(54)发明名称

一种卫星矩阵电缆网设计方法

(57)摘要

本发明提供了一种卫星矩阵电缆网设计方法,步骤如下:(1)确定矩阵信号链路组成;(2)确定该矩阵链路的拓扑结构;(3)确定矩阵链路的矩阵信号遍历顺序;(4)进行矩阵信号资源分配,建立待分配矩阵用户设备与矩阵控制端的接口电路连接关系,形成矩阵接点分配表;(5)电缆分支设计、导线选型、电连接器选型、分线器选型设计,形成电缆网传输通道表;(6)根据电缆网传输通道表完成电缆走向设计,形成可指导电缆生产、绑扎、敷设的文件。该方法将矩阵电缆的结构设计与电气设计有机结合在一起,通过选取最优电缆路径,确定单机遍历顺序,以此为依据进行电气信号设计,能有效减少同一信号导线在舱板上下设备之间来回穿梭,减轻电缆重量。



1. 一种卫星矩阵电缆网设计方法,其特征在于包括如下步骤:

(1)、根据卫星上的矩阵控制器个数、每个矩阵控制器的矩阵控制端资源容量、矩阵控制器和矩阵用户设备在卫星舱板的布局、矩阵电缆跨舱方案,确定矩阵链路组成;

(2)、根据矩阵链路组成和每个矩阵链路所包含矩阵用户设备的接口形式,确定该矩阵链路的拓扑结构;

(3)、根据每条矩阵链路中矩阵用户设备所在位置和矩阵电缆跨舱方案,确定矩阵链路的矩阵信号遍历顺序;

(4)、根据矩阵链路中矩阵用户设备所在位置,矩阵链路的矩阵信号遍历顺序,按照矩阵资源利用最大化的原则,进行矩阵信号资源分配,建立待分配矩阵用户设备与矩阵控制端的接口电路连接关系,形成矩阵接点分配表;

具体的矩阵信号资源分配的分配原则为:

(a)、分区原则:根据矩阵用户设备所在舱板位置的不同,将矩阵用户设备分区,且两个区域共用“列”资源,但“行”资源不混用;

(b)收拢原则:遍历顺序相邻设备尽可能多共用行或列,保证电缆遍历完相邻设备后尽快收拢;

(c)、少“1”原则:尽量减少 $1_{\text{行}} \times N_{\text{列}}$ 或 $M_{\text{行}} \times 1_{\text{列}}$ 矩阵资源;

(5)、根据矩阵接点分配表,进行矩阵信号传输通道设计形成电缆网传输通道表;

(6)、根据电缆网传输通道表完成电缆走向设计,形成可指导电缆生产、绑扎、敷设的文件。

2. 根据权利要求1所述的一种卫星矩阵电缆网设计方法,其特征在于:所述步骤(1)确定各矩阵链路组成的原则是:在保证矩阵控制器的矩阵控制端资源容量能够满足划拨用户设备的资源需求的条件下,将相邻的矩阵用户设备划拨至同一个矩阵控制器,如果配备多台矩阵控制器,则将与矩阵控制器相邻的矩阵用户设备划拨至相应的矩阵控制器。

3. 根据权利要求1所述的一种卫星矩阵电缆网设计方法,其特征在于:所述拓扑结构包括菊花链、类总线或两者混合式;菊花链式结构适用于用户设备设有矩阵信号输入、输出两个接口的情况;类总线式结构适用于用户设备只设有一个矩阵信号接口的情况;如果矩阵链路包含上述两种类型的设备,则为两者混合式结构。

4. 根据权利要求1所述的一种卫星矩阵电缆网设计方法,其特征在于所述步骤(3)的确定矩阵信号遍历顺序的具体方法为:在矩阵链路中,以距离矩阵控制器最远的设备作为起始点,由远及近逐次遍历各用户设备或以距离矩阵控制器最近的用户设备作为起始点,按照由近及远的顺序遍历各用户设备,确定该用户设备遍历顺序,保证矩阵信号为前行,避免前后反复穿梭、形成环形电缆。

5. 根据权利要求1所述的一种卫星矩阵电缆网设计方法,其特征在于所述矩阵信号传输通道设计包括:电缆分支设计、导线选型、电连接器选型、分线器选型设计。

一种卫星矩阵电缆网设计方法

技术领域

[0001] 本发明提供了一种卫星矩阵电缆网设计方法,应用于卫星矩阵电缆网设计,属于电子电路技术领域。

背景技术

[0002] 卫星矩阵电缆网是低频电缆网的一部分,它是连接矩阵控制器与矩阵用户设备之间的低频电缆网。矩阵电缆网与普通低频电缆网的区别在于其拓扑结构为菊花链式或类总线式或两者的组合方式,电缆形式为收拢式,电缆前行过程中,电缆束直径呈现逐渐减小的趋势,同时,电缆的重量与用户设备的遍历顺序、矩阵信号分配关系、电缆走向息息相关。

[0003] 目前,普通低频电缆网的接点连接关系是一对一明确的,电缆连接关系是电子设备设计完成后即已经确定的,因此低频电缆设计的工作重点是进行信号接点的匹配,完成电气信号传输通道的设计,然后根据传输通道表、仪器设备布局进行电缆走向设计。该设计方法不需要提前考虑遍历顺序、控制信号分配对电缆重量、安装敷设等影响,只适用于点对点的设计,不适用于一点对多点的矩阵电缆设计。而且,现有的电缆网设计技术是将结构设计 with 电气设计归为彼此独立的设计阶段,不能适应矩阵电缆这种特殊拓扑、收拢式电缆的要求。

发明内容

[0004] 本发明的技术解决问题是:克服现有低频电缆网设计方法不足,提供一种适用于卫星矩阵电缆网的设计方法,该方法使卫星矩阵电缆网设计合理高效,有效降低矩阵电缆网的重量,保证矩阵电缆网的可移植和可敷设性。

[0005] 本发明的技术解决方案是:一种卫星矩阵电缆网设计方法,该方法包括如下步骤:

[0006] (1)、根据卫星上的矩阵控制器个数、每个矩阵控制器的矩阵控制端资源容量、矩阵控制器和矩阵用户设备在卫星舱板的布局、矩阵电缆跨舱方案,确定矩阵信号链路组成;

[0007] (2)、根据矩阵链路组成和每个矩阵链路所包含矩阵用户设备的接口形式,确定该矩阵链路的拓扑结构;

[0008] (3)、根据每条矩阵链路中矩阵用户设备所在位置和矩阵电缆跨舱方案,确定矩阵链路的矩阵信号遍历顺序;

[0009] (4)、根据矩阵链路中矩阵用户设备所在位置,矩阵链路的矩阵信号遍历顺序,按照矩阵资源利用最大化的原则,进行矩阵信号资源分配,建立待分配矩阵用户设备与矩阵控制端的接口电路连接关系,形成矩阵接点分配表;

[0010] (5)、根据矩阵接点分配表,进行矩阵信号传输通道设计形成电缆网传输通道表;

[0011] (6)、根据电缆网传输通道表完成电缆走向设计,形成可指导电缆生产、绑扎、敷设的文件。

[0012] 所述步骤(1)确定各矩阵信号链路组成的原则是:在保证矩阵控制器的矩阵控制端资源容量能够满足划拨用户设备的资源需求的条件下,将相邻的矩阵用户设备划拨至同

一个矩阵控制器,如果配备多台矩阵控制器,则将与控制器相邻的矩阵用户设备划拨至相应的矩阵控制器。

[0013] 所述拓扑结构包括菊花链、类总线或两者混合式;菊花链式结构适用于用户设备设有矩阵信号输入、输出两个接口的情况;类总线式结构适用于用户设备只设有一个矩阵信号接口的情况;如果矩阵链路包含上述两种类型的设备,则为两者混合式结构。

[0014] 所述步骤(3)的确定矩阵信号遍历顺序的具体方法为:在矩阵链路中,以距离矩阵控制器最远的设备作为起始点,由远及近逐次遍历各用户设备或以距离控制器最近的用户设备作为起始点,按照由近及远的顺序遍历各用户设备,确定该用户设备遍历顺序,保证矩阵信号为前行,避免前后反复穿梭、形成环形电缆。

[0015] 所述信号资源分配的分配原则为:

[0016] (a)、分区原则:根据矩阵用户设备所在舱板位置的不同,将矩阵用户设备分区,且两个区域共用“列”资源,但“行”资源不混用;

[0017] (b)收拢原则:遍历顺序相邻设备尽可能多共用行或列,保证电缆遍历完相邻设备后尽快收拢;

[0018] (c)、少“1”原则:尽量减少 $1_{行} \times N_{列}$ 或 $M_{行} \times 1_{列}$ 矩阵资源。

[0019] 传输通道设计包括:电缆分支设计、导线选型、电连接器选型、分线器选型设计。

[0020] 本发明与现有技术相比的优点在于:

[0021] (1)、本发明通过选取最优电缆路径,首先确定单机遍历顺序,再以此为依据进行电气信号设计,能有效减少信号同一信号导线在舱板上下设备之间来回穿梭,减轻电缆重量;同时,遍历顺序的确定能提前避免电缆设计出现环形结构,确保电缆移植上星的可行性;

[0022] (2)、本发明矩阵资源分配按照信号资源最大化的形式分配,且遍历顺序相邻的单机尽量共用“行”“列”资源,能进一步减轻电缆重量。

[0023] (3)、本发明将电气设计与机械走向设计有机结合在一起,合理规划电缆走向,实现电缆优化减重,同时便于提前规划电缆的移植操作、舱体的对接工作,保证了电缆设计的有效性。

附图说明

[0024] 图1为矩阵控制器中的矩阵信号控制简图;

[0025] 图2为本发明卫星矩阵电缆网设计方法流程图;

[0026] 图3(a)为菊花链式拓扑结构示意图;

[0027] 图3(b)为类总线式拓扑结构示意图;

[0028] 图4为本发明矩阵电缆网连接关系图;

[0029] 图5(a)本发明实施例矩阵电缆主树第一种遍历顺序示意图;

[0030] 图5(b)本发明实施例矩阵电缆主树第二种遍历顺序示意图;

[0031] 图6(a)为对地板跨舱电缆跨舱效果图;

[0032] 图6(b)为中板跨舱电缆跨舱效果图;

[0033] 图7为本发明实施例矩阵设备布局图;

[0034] 图8为本发明实施例分线器结构图;

[0035] 图9为本发明实施例矩阵电缆走向图。

具体实施方式

[0036] 以下结合具体实施例和附图对本发明进行详细的描述。

[0037] 航天器矩阵信号链路一般由矩阵主控制器、电连接器、传输导线、矩阵负载、矩阵备控制器五部分组成,如图1所示。矩阵电缆网为图中粗线部分,包括电连接器、传输导线(含分线器)以及其他辅料。

[0038] 矩阵信号由矩阵控制器产生,一行被拉高,一列被拉低,则有一个设备被驱动。航天器矩阵信号利用了矩阵纵横排布,行列相交的特点,将用户设备配置于行、列信号的交点,将控制设备配置于行列信号的源端与尾端,源、尾端控制器互为备份,提高了矩阵网络的可靠性。通过行列组合的扩容特性,提高了单位数量导线传输信号的容量,有效降低了电缆网的重量。

[0039] 矩阵电缆从控制器出发,依次访问各矩阵设备的顺序称为矩阵设备的遍历顺序。遍历顺序体现了矩阵电缆的布线方式,优化的矩阵设备遍历顺序,可以避免行、列导线在矩阵设备之间的来回穿梭,有效减轻电缆重量,同时,遍历顺序的优化,便于电缆的安装和敷设,避免出现环形的电缆结构,保证电缆从地面移植到航天器的可行性,即可移植性。本发明在吸收多个型号矩阵电缆网研制经验的基础上,提供了一种卫星矩阵电缆网设计方法。在电缆设计初期建立矩阵电缆遍历顺序的概念,结合卫星仪器、设备布局充分考虑电缆的走向、装配,在确定遍历顺序之后,充分考虑矩阵电缆的收拢特性和矩阵扩容特性来进行矩阵接点的编排。

[0040] 如图2所示,该方法包括如下步骤:

[0041] (1)、根据卫星上的矩阵控制器个数、每个矩阵控制器的矩阵控制端资源容量、矩阵控制器和矩阵用户设备在卫星舱板的布局、电缆跨舱方案,确定矩阵信号链路组成;

[0042] 矩阵控制器一般包含若干个矩阵控制端,例如 16×8 , 24×16 等大小不一的矩阵控制端,各控制端容量有限,只能驱动部分矩阵用户设备。因此,确定各矩阵信号链路组成的原则是:在保证矩阵控制器的矩阵控制端资源容量能够满足划拨用户设备的资源需求的条件下,将相邻的矩阵用户设备划拨至同一个矩阵控制器,如果配备多台矩阵控制器,则将与控制器相邻的矩阵用户设备划拨至相应的矩阵控制器。

[0043] (2)、根据矩阵链路组成和每个矩阵链路所包含矩阵用户设备的接口形式,确定该矩阵链路的拓扑结构;3(a)为菊花链式拓扑结构;图3(b)为类总线式拓扑结构。菊花链式结构适用于用户设备设有矩阵信号输入、输出两个接口的情况;类总线式结构适用于用户设备只设有一个矩阵信号接口的情况;如果矩阵链路包含上述两种类型的设备,则为两者混合式结构,如图4所示。

[0044] (3)、根据每条矩阵链路中矩阵用户设备所在位置和电缆跨舱方案,确定矩阵链路的矩阵信号遍历顺序,综合考虑电缆结构设计与电气设计的相互关系,从电缆的可实施性、轻量化的角度,确定电缆的最优路径。

[0045] 具体方法为:以距离矩阵控制器最远的设备作为起始点,由远及近逐次遍历各用户设备或以距离控制器最近的用户设备作为起始点,按照由近及远的顺序遍历各用户设备,确定该用户设备遍历顺序,保证矩阵信号为前行,避免前后反复穿梭、形成环形电缆。

[0046] 如果设备分布在隔板两侧,且设备大致平铺于两侧舱板自上而下的空间,为便于电缆安装,则遍历顺序优选图5(a)所示;如果设备分布于隔板两侧,且隔板一侧设备位于舱板上半部分,则遍历顺序优选图5(b)所示。

[0047] (4)、根据矩阵链路中矩阵用户设备所在位置,矩阵链路的矩阵信号遍历顺序,按照矩阵资源利用最大化的原则,进行矩阵信号资源分配,建立待分配矩阵用户设备与矩阵控制端的接口电路连接关系,形成矩阵资源分配表。

[0048] 矩阵信号资源分配的方法为:根据被分配矩阵控制器中的控制模块相应的矩阵资源,生成分配表格,采用二维网格图形化方式显示,网格上的每个单元格行号、列号分别与分配矩阵控制器中的控制模块的正线序号和回线序号对应;然后将分配表格进行分区;将矩阵用户设备的共正线和/或共回线的遥测或者遥控参数组成可视化参数等效模型;所述可视化参数等效模型为与分配页面相同形式的二维网格;通过外部指令将可视化参数等效模型嵌入到分配页面中;将遥控参数等效模型和分配页面相应位置的每个单元格进行关联,形成矩阵资源分配表;按照星上设备遍历顺序,生成矩阵的矩阵节点分配表并输出。

[0049] 矩阵信号资源分配的分配原则为:

[0050] (a)、分区原则:根据矩阵用户设备所在舱板位置的不同,将矩阵用户设备分区,例如分为+X区设备、-X区设备,则矩阵控制器的大矩阵也对应划分为+X区资源、-X区资源,为减少线缆交叉共用,两个区域共用“列”资源,但“行”资源不混用;

[0051] (b)、收拢原则:遍历顺序相邻设备尽可能多共用行或列,保证电缆遍历完相邻设备后尽快收拢;

[0052] (c)、少“1”原则:为扩大矩阵资源的利用率,应尽量减少 $1_{\text{行}} \times N_{\text{列}}$ 或 $M_{\text{行}} \times 1_{\text{列}}$ 矩阵资源。例如用户设备的资源需求为5条,则矩阵控制器为其分配 $2_{\text{行}} \times 3_{\text{列}}$ 或 $3_{\text{行}} \times 2_{\text{列}}$ 矩阵资源。

[0053] (5)、根据矩阵资源分配表,进行矩阵信号传输通道设计形成电缆网传输通道表,所述信号传输通道设计包括:电缆分支设计、导线选型、电连接器选型、分线器选型设计;所述信号传输通道设计包含电缆分支设计,导线选型、电连接器选型、分线器选型设计。

[0054] (6)、根据电缆网传输通道表完成电缆走向设计,形成可指导电缆生产、绑扎、敷设的文件。

[0055] 卫星矩阵电缆网设计的关键点为设计步骤和各步骤内方案的选取原则,以中心承力筒式卫星为例,矩阵电缆设计工作开展之前,存在以下几个总体输入条件:

[0056] (1)、矩阵电缆跨舱方案

[0057] 矩阵电缆跨舱方案是卫星总体在矩阵电缆设计初期综合评估卫星对矩阵电缆网重量、总装操作便利性的需求确定的。

[0058] 矩阵电缆跨舱方案一般包括两种:

[0059] ①对地板跨舱便于电缆敷设与总装操作,但电缆重量一般不是最优,如图6(a)所示。

[0060] ②中板跨舱重量优化,但通常会增加卫星总装操作的复杂性,如图6(b)所示。以承力筒式卫星为例,本实施例选择对地板跨舱方案。

[0061] (2)、卫星配置

[0062] 矩阵设备包含一台矩阵控制器,设备代号为CM,6台矩阵终端,分别为终端1~终端6,设备代号为M1~M6。

[0063] (3)、用户设备布局

[0064] A板用户设备为终端4~6 (M4~M6), +X侧为终端4、5, -X侧为终端6, 如图7 (a) 所示。

[0065] B板用户设备为矩阵控制器 (CM)、终端1~3 (M1~M3), +X侧为矩阵控制器、终端1, -X侧为终端2、3。如图7 (b) 所示。

[0066] (4)、矩阵控制器 (CM) 及其功能配置

[0067] 矩阵控制器包含两个控制模块:

[0068] (4.1) 矩阵1 (MA1): 矩阵资源容量为8行×4列, 共32条容量。包含接插件 (主份) 和接插件 (备份), 主份接插件代号为MA1-X1, 备份接插件代号为MA1-X2, 电连接器类型均为J36A-17ZJ;

[0069] (4.2) 矩阵2 (MA2): 矩阵资源容量为6行×3列, 共18条容量。包含接插件 (主份) 和接插件 (备份), 主份接插件代号为MA2-X1, 备份接插件代号为MA2-X2, 电连接器类型均为J36A-17ZK;

[0070] 矩阵控制器4只矩阵插头为MA1-X1、MA1-X2、MA2-X1、MA2-X1, 其接口数据单分别为表1-1、表1-2、表1-3、表1-4, 如下:

[0071] 表1-1矩阵控制器MA1-X1接口数据单

[0072]

设备名称:	矩阵控制器	设备代号:	CM
电连接器代号	MA1-X1	电连接器类型	J36A-17ZJ
信号接点	信号名称	电压/V	电流/A
1	空	/	/
2	矩阵指令行1主份 (MA1)	28	0.5
3	矩阵指令行2主份 (MA1)	28	0.5
4	矩阵指令行3主份 (MA1)	28	0.5
5	矩阵指令行4主份 (MA1)	28	0.5
6	矩阵指令行5主份 (MA1)	28	0.5
7	矩阵指令行6主份 (MA1)	28	0.5
8	矩阵指令行7主份 (MA1)	28	0.5
9	空	/	/
10	矩阵指令行8主份 (MA1)	28	0.5
11	矩阵指令列1主份 (MA1)	0	0.5
12	矩阵指令列2主份 (MA1)	0	0.5
13	矩阵指令列3主份 (MA1)	0	0.5
14	矩阵指令列4主份 (MA1)	0	0.5
15	空	/	/
16	空	/	/
17	空	/	/

[0073] 表1-2矩阵控制器MA1-X2接口数据单

[0074]	电连接器代号	MA1-X2	电连接器类型	J36A-17ZJ
	信号接点	信号名称	电压/V	电流/A
	1	空	/	/
	2	矩阵指令行 1 备份 (MA1)	28	0.5
	3	矩阵指令行 2 备份 (MA1)	28	0.5
	4	矩阵指令行 3 备份 (MA1)	28	0.5
	5	矩阵指令行 4 备份 (MA1)	28	0.5

[0075]	设备名称:	矩阵控制器	设备代号:	CM
	电连接器代号	MA1-X1	电连接器类型	J36A-17ZJ
	信号接点	信号名称	电压/V	电流/A
	6	矩阵指令行 5 备份 (MA1)	28	0.5
	7	矩阵指令行 6 备份 (MA1)	28	0.5
	8	矩阵指令行 7 备份 (MA1)	28	0.5
	9	空	/	/
	10	矩阵指令行 8 备份 (MA1)	28	0.5
	11	矩阵指令列 1 备份 (MA1)	0	0.5
	12	矩阵指令列 2 备份 (MA1)	0	0.5
	13	矩阵指令列 3 备份 (MA1)	0	0.5
	14	矩阵指令列 4 备份 (MA1)	0	0.5
	15	空	/	/
	16	空	/	/
	17	空	/	/

[0076] 表1-3矩阵控制器MA2-X1接口数据单

[0077]

电连接器代号	MA2-X1	电连接器类型	J36A-17ZK
信号接点	信号名称	电压/V	电流/A
1	空	/	/
2	矩阵指令行 1 主份 (MA2)	28	0.5
3	矩阵指令行 2 主份 (MA2)	28	0.5
4	矩阵指令行 3 主份 (MA2)	28	0.5
5	矩阵指令行 4 主份 (MA2)	28	0.5
6	矩阵指令行 5 主份 (MA2)	28	0.5
7	矩阵指令行 6 主份 (MA2)	28	0.5
8	空	/	/
9	空	/	/
10	空	/	/
11	矩阵指令列 1 主份 (MA2)	0	0.5
12	矩阵指令列 2 主份 (MA2)	0	0.5

[0078]

设备名称:	矩阵控制器	设备代号:	CM
电连接器代号	MA1-X1	电连接器类型	J36A-17ZJ
信号接点	信号名称	电压/V	电流/A
13	矩阵指令列 3 主份 (MA2)	0	0.5
14	空	/	/
15	空	/	/
16	空	/	/
17	空	/	/

[0079] 表1-4矩阵控制器MA2-X2接口数据单

[0080]

电连接器代号	MA2-X2	电连接器类型	J36A-17ZK
信号接点	信号名称	电压/V	电流/A
1	空	/	/
2	矩阵指令行1备份 (MA2)	28	0.5
3	矩阵指令行2备份 (MA2)	28	0.5
4	矩阵指令行3备份 (MA2)	28	0.5
5	矩阵指令行4备份 (MA2)	28	0.5
6	矩阵指令行5备份 (MA2)	28	0.5

7	矩阵指令行6备份 (MA2)	28	0.5
8	空	/	/
9	空	/	/
10	空	/	/
11	矩阵指令列1备份 (MA2)	0	0.5
12	矩阵指令列2备份 (MA2)	0	0.5
13	矩阵指令列3备份 (MA2)	0	0.5
14	空	/	/
15	空	/	/
16	空	/	/
17	空	/	/

[0081] 终端1、终端5的接口数据单相同,对指令信号需求为5条,信号接口包含输入接口、输出接口,适用于菊花链形式的拓扑类型,接点定义如下表2所示。

[0082] 表2终端1、5接口数据单

[0083]

设备名称:	终端 1/终端 5	设备代号:	M1/M5
电连接器代号	M1-X2/M5-X2	电连接器类型	J36A-26ZJ
信号接点	信号名称	电压/V	电流/A
1	空	/	/
2	开机指令 (主份) R	28	0.5
3	关机指令 (主份) R	28	0.5
4	增益加指令 (主份) R	28	0.5
5	增益减指令 (主份) R	28	0.5
6	主份切备份指令 (主份) R	28	0.5
7	开机指令地 (主份) C	0	0.5
8	关机指令地 (主份) C	0	0.5
9	增益加指令地 (主份) C	0	0.5
10	增益减指令地 (主份) C	0	0.5
11	主切备指令地 (主份) C	0	0.5
12	空	/	/
13	空	/	/
14	空	/	/
15	开机指令 (备份) R	28	0.5
16	关机指令 (备份) R	28	0.5
17	增益加指令 (备份) R	28	0.5
18	增益减指令 (备份) R	28	0.5
19	主份切备份指令 (备份) R	28	0.5
20	开机指令地 (备份) C	0	0.5
21	关机指令地 (备份) C	0	0.5
22	增益加指令地 (备份) C	0	0.5
23	增益减指令地 (备份) C	0	0.5
24	主切备指令地 (备份) C	0	0.5
25	空	/	/

[0084]	设备名称:	终端 1/终端 5	设备代号:	M1/M5
	电连接器代号	M1-X2/M5-X2	电连接器类型	J36A-26ZJ
	信号接点	信号名称	电压/V	电流/A
	26	空	/	/

[0085] 终端2、终端4接口数据单相同,对指令信号需求为2条,信号接口为单份,适用于类总线形式的拓扑类型,接点定义如下表3所示。

[0086] 表3终端2、4接口数据单

[0087]	设备名称:	终端2/终端4	设备代号:	M2/M4
	电连接器代号	M2-X2/M4-X2	电连接器类型	J36A-17ZJ
	信号接点	信号名称	电压/V	电流/A
	1	空	/	/
	2	切换开关J1-J2指令R(输入)	28	0.5
	3	切换开关J2-J3指令R(输入)	28	0.5
	4	切换开关J1-J2指令地C(输入)	0	0.5
	5	切换开关J2-J3指令地C(输入)	0	0.5
	6	空	/	/
7~17	预留接点为非矩阵指令信号	/	/	

[0088] 终端3、终端6接口数据单相同,对指令信号需求为3条,信号接口为单份,适用于类总线形式的拓扑类型,接点定义如下表4所示。

[0089] 表4终端3、6接口数据单

[0090]	设备名称:	终端 3/终端 6	设备代号:	M3/M6
	电连接器代号	M3-X2/M6-X2/M8-X2/M9-X2/M10-X2	电连接器类型	J36A-17ZJ
	信号接点	信号名称	电压/V	电流/A
	1	空	/	/
	2	切换开关 J1-J2 指令 R	28	0.5
	3	切换开关 J2-J3 指令 R	28	0.5
	4	切换开关 J3-J4 指令 R	28	0.5
	5	空	/	/
	6	空	/	/
	7	切换开关 J1-J2 指令地 C	0	0.5
8	切换开关 J2-J3 指令地 C	0	0.5	

[0091]	设备名称:	终端 3/终端 6	设备代号:	M3/M6
	电连接器代号	M3-X2/M6-X2/M8-X2/M9-X2/M10-X2	电连接器类型	J36A-17ZJ
	信号接点	信号名称	电压/V	电流/A
	9	切换开关 J3-J4 指令地 C	0	0.5
	10	空	/	/
	11~17	预留接点为非矩阵指令信号	/	/

[0092] 以该中心承力筒式卫星为例,相应的电缆设计步骤如下:

[0093] (1)、确定矩阵信号链路组成

[0094] 分析矩阵控制器包含两个控制模块,MA1包含32条控制资源,MA2包含18条控制资源。A板终端设备的指令需求为 $2+5+3=10$ 条,B板终端为设备的指令需求为 $5+2+3=10$ 条。

[0095] 考虑到A板设备布局相邻,矩阵资源需求数量可以由MA1来满足,则构建MA1矩阵链,包含终端设备4~6;

[0096] B板设备布局相邻,矩阵资源需求数量可以由MA2来满足,则构建MA2矩阵链,包含终端设备1~3。

[0097] (2)、确定矩阵链路的拓扑结构

[0098] 终端1、5适用于菊花链式拓扑,终端2~4、6适用于类总线式拓扑。MA1矩阵链路包含终端4~6,应为菊花链与类总线混合式拓扑;MA2矩阵链路包含终端1~3,应为菊花链与类总线混合式拓扑。

[0099] (3)、确定矩阵链路的矩阵信号遍历顺序

[0100] 为便于电缆的安装敷设,矩阵电缆走向应避免围绕隔板形成环形,因此+X侧与-X侧之间互联的电缆应注意电缆的往返路径相同,便于敷设。

[0101] 考虑到矩阵终端设备的遍历顺序是从控制器出发,依次遍历各终端设备,结构布局相邻的设备,遍历顺序应临近,遍历顺序按照终端设备距离矩阵控制器由近及远的顺序排列,如下:

[0102] (1) MA1矩阵链位于A板,矩阵控制器位于B板+X侧,MA1的矩阵电缆从B板+X侧出发,穿越中板,首先访问A板+X侧设备,再访问A板-X侧设备,最后返回B板+X侧。遍历顺序为:矩阵控制器、终端4、终端5、终端6。

[0103] (2) MA2矩阵链位于B板,遍历顺序为:矩阵控制器、终端1、终端2、终端3。

[0104] (3)、矩阵信号资源分配

[0105] (3.1) MA1矩阵资源分配

[0106] 为尽量减少信号线长度,矩阵资源根据终端设备所在卫星舱板的位置进行分配,R1~R3为A板+X区,R5~R6为A板-X区,两个区域共用“列”,不共用“行”;+X区遍历顺序相邻的设备尽量共用行或列,减少多余信号线从矩阵控制器传输。MA1矩阵资源分配。如表5所示:

[0107] 表5 MA1矩阵资源分配表

[0108]

设备名称	矩阵控制器		C1	C2	C3	C4	
设备代号	CM	R1	M4-X2	M4-X2	M5-X2	M5-X2	*R1
矩阵代号	MA1	R2			M5-X2	M5-X2	*R2
指令/遥测	矩阵指令分配	R3			M5-X2	M5-X2	*R3
分区名称	划分结果	R4					*R4
A板+X区	【R1~R3,C1~C4】	R5	M6-X2	M6-X2			*R5
A板-X区	【R5~R6,C1~C2】	R6	M6-X2	M6-X2			*R6
		R7					*R7
		R8					*R8
			*C1	*C2	*C3	*C4	

[0109] 根据上述资源分配表,以及各设备的接口数据单,将矩阵控制器与终端设备资源进行一对一分配,形成矩阵接点表,如表6所示:

[0110] 6 MA1矩阵接点分配表

矩阵设备	CM	终端设备代号		M4		终端设备代号		M5		终端设备代号		M6			
		接插件代号	M4-X2	接插件型号	J36A-17ZJ	接插件代号	M5-X2	接插件型号	J36A-26ZJ	接插件代号	M6-X2	接插件型号	J36A-17ZJ		
矩阵接口 (主)	MA1-X1	接插件代号	M4-X2	接插件型号	J36A-17ZJ	接插件代号	M5-X2	接插件型号	J36A-26ZJ	接插件代号	M6-X2	接插件型号	J36A-17ZJ	矩阵接口 (备)	MA1-X2
接插件型号	J36A-17ZJ	输入接口		输出接口		输入接口		输出接口		输入接口		输出接口		接插件型号	J36A-17ZJ
接点号	行列编号	接点号		接点号		接点号		接点号		接点号		接点号		行列编号	接点号
2	R1	2				2		15						*R1	2
		3				4		17							
3	R2					3		16						*R2	3
						5		18							
4	R3					6		19						*R3	4
5	R4													*R4	5
6	R5									2				*R5	6
										3					
7	R6									4				*R6	7
8	R7													*R7	8
10	R8													*R8	10
11	C1	47				7		20		7				*C1	11
						8		21							
12	C2	5				9		22		8				*C2	12
						10		23		9					
						11		24							

[0111]

矩阵设备	CM	终端设备代号		M4		终端设备代号		M5		终端设备代号		M6			
矩阵接口 (主)	MA1-X1	接插件代号	M4-X2	接插件型号	J36A-17ZJ	接插件代号	M5-X2	接插件型号	J36A-26ZJ	接插件代号	M6-X2	接插件型号	J36A-17ZJ		
[0112] 接插件型号	J36A-17ZJ	输入接口		输出接口		输入接口		输出接口		输入接口		输出接口		接插件型号	J36A-17ZJ
接点号	行列编号	接点号	接点号	接点号	接点号	接点号	接点号	接点号	接点号	接点号	接点号	接点号	接点号	行列编号	接点号
13	C3													*C3	13
14	C4													*C4	14

[0113] (3.2)、MA2矩阵资源分配

[0114] 为尽量减少信号线长度,矩阵资源根据终端设备所在卫星舱板的位置进行分配,R1~R3为B板+X区,R4~R5为A板-X区,两个区域共用“列”,不共用“行”;+X区遍历顺序相邻的设备尽量共用行或列,减少多余信号线从矩阵控制器传输。MA2矩阵资源分配如表7所示:

[0115] 表7 MA2矩阵资源分配表

[0116] 设备名称	矩阵控制器		C1	C2	C3	
设备代号	CM	R1	M1-X2	M1-X2		*R1
矩阵代号	MA2	R2	M1-X2	M1-X2		*R2
指令/遥测	矩阵指令分配	R3	M1-X2	M1-X2		*R3
分区名称	划分结果	R4	M2-X2	M3-X2	M3-X2	*R4
A板+X区	【R1~R3,C1~C2】	R5	M2-X2	M3-X2	M3-X2	*R5
A板-X区	【R4~R5,C1~C3】	R6				*R6
			*C1	*C2	*C3	

[0117] 根据上述资源分配表,以及各设备的接口数据单,将矩阵控制器与终端设备资源进行一对一分配,形成矩阵接点表,如表8所示:

[0118] 表8 MA2矩阵接点分配表

矩阵设备	CM	终端设备代号		M1		终端设备代号		M2		终端设备代号		M3			
		接插件代号	M1-X2	接插件型号	J36A-2 6ZJ	接插件代号	M2-X2	接插件型号	J36A-1 7ZJ	接插件代号	M3-X2	接插件型号	J36A-1 7ZJ		
矩阵接口(主)	MA2-X1	接插件代号	M1-X2	接插件型号	J36A-2 6ZJ	接插件代号	M2-X2	接插件型号	J36A-1 7ZJ	接插件代号	M3-X2	接插件型号	J36A-1 7ZJ	矩阵接口(备)	MA2-X2
接插件型号	J36A-17ZK	输入接口		输出接口		输入接口		输出接口		输入接口		输出接口		接插件型号	J36A-17ZK
接点号	行列编号	接点号		接点号		接点号		接点号		接点号		接点号		行列编号	接点号
2	R1	2	15											*R1	2
		4	17												
3	R2	3	16											*R2	3
		5	18												
4	R3	6	19											*R3	4
5	R4					2				2				*R4	5
6	R5					3				3				*R5	6
										4					
7	R6													*R6	7
11	C1	7	20			4								*C1	11
		8	21			5									
12	C2	9	22							7				*C2	12
		10	23							8					

[0119]

矩阵设备	CM	终端设备代号		M1		终端设备代号		M2		终端设备代号		M3			
		接插件代号	M1-X2	接插件型号	J36A-2 6ZJ	接插件代号	M2-X2	接插件型号	J36A-1 7ZJ	接插件代号	M3-X2	接插件型号	J36A-1 7ZJ		
矩阵接口(主)	MA2-X1	接插件代号	M1-X2	接插件型号	J36A-2 6ZJ	接插件代号	M2-X2	接插件型号	J36A-1 7ZJ	接插件代号	M3-X2	接插件型号	J36A-1 7ZJ	矩阵接口(备)	MA2-X2
[0120] 接插件型号	J36A-17ZK	输入接口	输出接口	输入接口	输出接口	输入接口	输出接口	输入接口	输出接口	输入接口	输出接口	接插件型号	J36A-17ZK	接插件型号	MA2-X2
接点号	行列编号	接点号	接点号	接点号	接点号	接点号	接点号	接点号	接点号	接点号	接点号	行列编号	接点号	行列编号	接点号
		11	24												
13	C3									9				*C3	13

[0121] (4) 矩阵信号传输通道设计

[0122] 传输通道设计是矩阵电缆的电气设计,传输通道指矩阵信号传递的物理通道,包含电缆分支设计,导线选型、电连接器选型、分线器选型设计等。

[0123] 矩阵信号传输通道设计根据上述单机遍历顺序、跨舱方案、拓扑结构、矩阵资源分配进行。一个矩阵采用一根电缆,一个用户设备对应一个电缆分支。

[0124] MA1矩阵链路构成1根大电缆,电缆分支包含W01、W01-1、W01-2;

[0125] MA2矩阵链路构成1根大电缆,电缆分支包含W02、W02-1、W02-2;

[0126] 导线负载电缆为0.5A,电流较小,考虑电流一级降额。

[0127] 电连接器类型选择矩阵设备端电连接器匹配的类型,导线、分线器的选用应满足航天器在轨环境需求,元器件的电流、温度降额应满足I级降额。针对矩阵信号传输要求,一般选用标准密度电连接器传输信号,如J14A、D-SUB、J6W等类型。分线器是类总线式电缆结构的扩线元器件,实现信号线1进2出的扩线功能,结构如图8所示。

[0128] 具体的传输通道表如下,表中包含了:分支信息、信号名称、导线规格、分线器标识等,其中,分线器标识栏注明了所需设置分线器的位置及分线器标识。根据上述输入条件设计了该实例卫星的矩阵信号传输通道表,见表9。

[0129] 表9矩阵信号传输通道表

[0130]

电缆号:				W01				
始端	分支 1	分支 2	分支 3	信号名称	接点负荷		导线	分线器 标识
MA1-X1	M4-X2				电压 (V)	电流 (A)	规格 (mm ²)	
J36A-17TK	J36A-17TK							
2	2			矩阵指令第 1 行 (MA1)	28	0.5	AWG26	MA1(2 /1)
2	3			矩阵指令第 1 行 (MA1)	28	0.5	AWG26	MA1(2 /2)
11	4			矩阵指令第 1 列 (MA1)	28	0.5	AWG26	MA1(1 1/1)
12	5			矩阵指令第 2 列 (MA1)	28	0.5	AWG26	MA1(1 2/1)
电缆号:				W01-1				
始端	分支 1	分支 2	分支 3	信号名称	接点负荷		导线	分线器 标识
MA1-X1	M5-X2	MA1-X2			电压 (V)	电流 (A)	规格 (mm ²)	
J36A-17TK	J36A-26TK	J36A-17TK						
2	2			矩阵指令第 1 行 (MA1)	28	0.5	AWG26	MA1(2 /3)
2	4			矩阵指令第 1 行 (MA1)	28	0.5	AWG26	MA1(2 /3)
3	3			矩阵指令第 2 行 (MA1)	28	0.5	AWG26	MA1(3 /1)
3	5			矩阵指令第 2	28	0.5	AWG26	MA1(3)

[0131]

				行 (MA1)				/1)
4	6			矩阵指令第 3 行 (MA1)	28	0.5	AWG26	
11	7			矩阵指令第 1 列 (MA1)	28	0.5	AWG26	MA1(1/2)
11	8			矩阵指令第 1 列 (MA1)	28	0.5	AWG26	MA1(1/2)
12	9			矩阵指令第 2 列 (MA1)	28	0.5	AWG26	MA1(1/2)
12	10			矩阵指令第 2 列 (MA1)	28	0.5	AWG26	MA1(1/2)
12	11			矩阵指令第 2 列 (MA1)	28	0.5	AWG26	MA1(1/2)
	15,17			矩阵指令第 1 行 (MA1)	28	0.5	AWG26	M5X2(15/1)
	15	2		矩阵指令第 1 行 (MA1)	28	0.5	AWG26	M5X2(15/1)
	16,18			矩阵指令第 2 行 (MA1)	28	0.5	AWG26	M5X2(16/1)
	16	3		矩阵指令第 2 行 (MA1)	28	0.5	AWG26	M5X2(16/1)
	19	4		矩阵指令第 3 行 (MA1)	28	0.5	AWG26	
电缆号:				W01-2				
始端	分支 1	分支 2	分支 3	信号名称	接点负荷		导线	分线器标识
MA1-X1	M5-X2	M6-X2	MA1-X2		电压	电流	规格	
J36A-17TK	J36A-26TK	J36A-17TK	J36A-17TK		(V)	(A)	(mm ²)	
6		2		矩阵指令第 5 行 (MA1)	28	0.5	AWG26	MA1(6/1)
6		3		矩阵指令第 5 行 (MA1)	28	0.5	AWG26	MA1(6/1)

[0132]

				行 (MA1)				/2)
7		4		矩阵指令第 6 行 (MA1)	28	0.5	AWG26	MA1(7 /1)
	20,21			矩阵指令第 1 列 (MA1)	28	0.5	AWG26	M5X2(20/1)
	20	7		矩阵指令第 1 列 (MA1)	28	0.5	AWG26	M5X2(20/2)
	22,23			矩阵指令第 2 列 (MA1)	28	0.5	AWG26	M5X2(22/1)
	22,24			矩阵指令第 2 列 (MA1)	28	0.5	AWG26	M5X2(22/2)
	22	8		矩阵指令第 2 列 (MA1)	28	0.5	AWG26	M5X2(22/3)
	22	9		矩阵指令第 2 列 (MA1)	28	0.5	AWG26	M5X2(22/4)
6			6	矩阵指令第 5 行 (MA1)	28	0.5	AWG26	MA1(6 /2)
7			7	矩阵指令第 6 行 (MA1)	28	0.5	AWG26	MA1(7 /1)
	20		11	矩阵指令第 1 列 (MA1)	28	0.5	AWG26	M5X2(20/2)
	22		12	矩阵指令第 2 列 (MA1)	28	0.5	AWG26	M5X2(22/4)
电缆号:				W02				
始端	分支 1	分支 2	分支 3	信号名称	接点负荷		导线	分线器标识
MA2-X1	M1-X2				电压	电流	规格	
J36A-17TJ	J36A-26TK				(V)	(A)	(mm ²)	
2	2			矩阵指令第 1 行 (MA2)	28	0.5	AWG26	MA2(2 /1)
2	4			矩阵指令第 1 行 (MA2)	28	0.5	AWG26	MA2(2 /1)

[0133]

				行 (MA2)				/1)
3	3			矩阵指令第 2 行 (MA1)	28	0.5	AWG26	MA2(3 /1)
3	5			矩阵指令第 2 行 (MA1)	28	0.5	AWG26	MA2(3 /1)
4	6			矩阵指令第 3 行 (MA1)	28	0.5	AWG26	
11	7			矩阵指令第 1 列 (MA1)	28	0.5	AWG26	MA2(1 1/1)
11	8			矩阵指令第 1 列 (MA1)	28	0.5	AWG26	MA2(1 1/1)
12	9			矩阵指令第 2 列 (MA1)	28	0.5	AWG26	MA2(1 2/1)
12	10			矩阵指令第 2 列 (MA1)	28	0.5	AWG26	MA2(1 2/2)
12	11			矩阵指令第 2 列 (MA1)	28	0.5	AWG26	MA2(1 2/2)
电缆号:				W02-1				
始端	分支 1	分支 2	分支 3	信号名称	接点负荷		导线	分线器标识
MA2-X1	M1-X2	M2-X2	MA2-X2		电压	电流	规格	
J36A-17TJ	J36A-26TK	J36A-17TK	J36A-17TJ		(V)	(A)	(mm ²)	
	15,17			矩阵指令第 1 行 (MA2)	28	0.5	AWG26	M1X2(15/1)
	15		2	矩阵指令第 1 行 (MA2)	28	0.5	AWG26	M1X2(15/1)
	16,18			矩阵指令第 2 行 (MA2)	28	0.5	AWG26	M1X2(16/1)
	16		3	矩阵指令第 2 行 (MA2)	28	0.5	AWG26	M1X2(16/1)
	19		4	矩阵指令第 3 行 (MA2)	28	0.5	AWG26	

[0134]

				行 (MA2)				
5		2		矩阵指令第 4 行 (MA2)	28	0.5	AWG26	MA2(5 /1)
6		3		矩阵指令第 5 行 (MA2)	28	0.5	AWG26	MA2(6 /1)
	20	4		矩阵指令第 1 列 (MA2)	28	0.5	AWG26	M1X2(20/1)
	21	5		矩阵指令第 1 列 (MA2)	28	0.5	AWG26	
	20		11	矩阵指令第 1 列 (MA1)	28	0.5	AWG26	M1X2(20/1)
电缆号:				W02-2				
始端	分支 1	分支 2	分支 3	信号名称	接点负荷		导线	分线器标识
MA2-X1	M1-X2	M3-X2	MA2-X2		电压	电流	规格	
J36A-17TJ	J36A-26TK	J36A-17TK	J36A-17TJ		(V)	(A)	(mm ²)	
5		2		矩阵指令第 4 行 (MA2)	28	0.5	AWG26	MA2(5 /2)
6		3		矩阵指令第 5 行 (MA2)	28	0.5	AWG26	MA2(6 /2)
5		4		矩阵指令第 5 行 (MA2)	28	0.5	AWG26	MA2(6 /3)
5			5	矩阵指令第 4 行 (MA2)	28	0.5	AWG26	MA2(5 /2)
6			6	矩阵指令第 5 行 (MA2)	28	0.5	AWG26	MA2(6 /3)
	22	7		矩阵指令第 2 行 (MA2)	28	0.5	AWG26	M1X2(16/1)
	23	8		矩阵指令第 3 行 (MA2)	28	0.5	AWG26	
	24		12	矩阵指令第 2 行 (MA2)	0	0.5	AWG26	

				列 (MA2)				
[0135]	13		9	矩阵指令第 3 列 (MA2)	0	0.5	AWG26	MA2(1 3/1)
	13		13	矩阵指令第 3 列 (MA2)	0	0.5	AWG26	MA2(1 3/1)

[0136] 这个步骤完成后,可以将遍历顺序、矩阵资源分配为输入条件,电缆网传输通道表为输出文件,核对输入与输出的一致性,重新评估遍历、拓扑、矩阵资源分配的可行性,如果存在很大优化空间,将返回前面的步骤进行反复设计。

[0137] (5) 矩阵电缆走向设计

[0138] 根据电缆网传输通道表完成电缆走向设计,形成可指导电缆生产、绑扎、敷设的文件。所述可指导电缆生产的文件可以是两种形式,一种是电缆分支长度表,分别标注各分支电缆上相关联电连接器之间的电缆长度;一种是电缆走向模板图,如图9所示。

[0139] 实际设计中,电缆走向设计图信息会更丰富,包含接插件信息、分线器标识所在位置等。卫星仪器设备布局、电缆网走向设计应方便设备安装和电缆网的安装及拆卸,矩阵电缆网布局应方便连接器插拔与紧固,布应有足够的灵活度和合适长度。矩阵电缆网与高频电缆分束布线,且远离辐射源。

[0140] 矩阵电缆布线上,通常采用不同颜色的绑线,对不同的矩阵链路进行绑扎区分,便于识别检测。同一矩阵链路内的矩阵指令导线与矩阵遥测导线应单独绑扎,无法拆分时,合为一束。为便于矩阵电缆的安装敷设,矩阵主树电缆应为单向前行,严禁成环。矩阵电缆网从分叉点至用户设备接插件的距离原则上小于300mm。矩阵电缆走线应满足走线最短、电磁兼容性最好的条件,通常电缆束直径不超过5cm。线缆每隔一定长度用尼龙扎带箍紧在结构上,避免走线经过尖锐、粗糙和坚硬的边缘。矩阵电缆在成形、布局、绑扎和固定过程中应避免使导线、端子和电连接器承受过应力。

[0141] 同样,这个步骤完成之后,根据矩阵设备遍历顺序,矩阵电缆传输通道表,卫星仪器设备布局,复核矩阵电缆走向图,确保电缆走向不成环,电缆走向与遍历顺序相符,接插件、分线器标识与传输通道表标识一致。如果复核结果正确,则该电缆设计完成。如果复核结果存在错误,则返回前面的步骤,开展修正设计。还可以根据电缆布线结果预估电缆的重量及可移植性,如果存在很大优化空间,将返回第2步进行反复设计。

[0142] 在本发明设计思想的指导下,已经顺利完成了多颗卫星的矩阵电缆网设计研制工作,设计效率高,产品重量轻,电缆移植可行,信号通道传输无误,已得到充分验证。在后续航天器研制中矩阵电缆网也将得到广泛应用,例如在DFH-4E平台、东五平台、全电推平台上矩阵电缆网将大量使用。

[0143] 本发明说明书中未进行详细描述部分属于本领域技术人员公知常识。

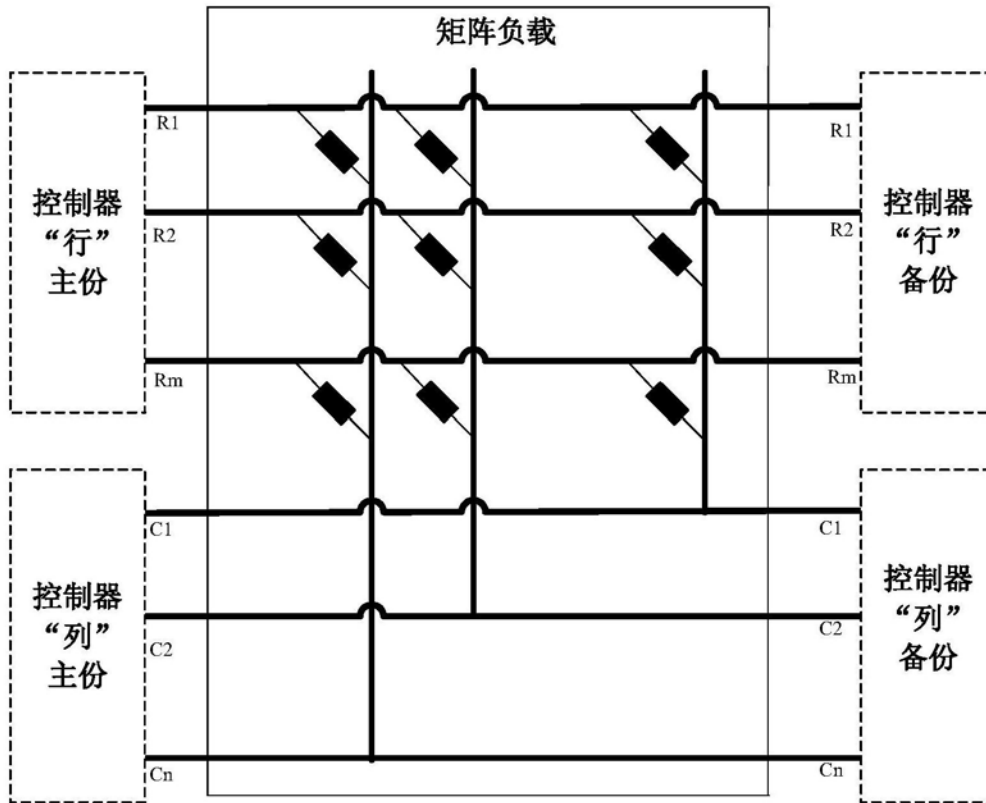


图1

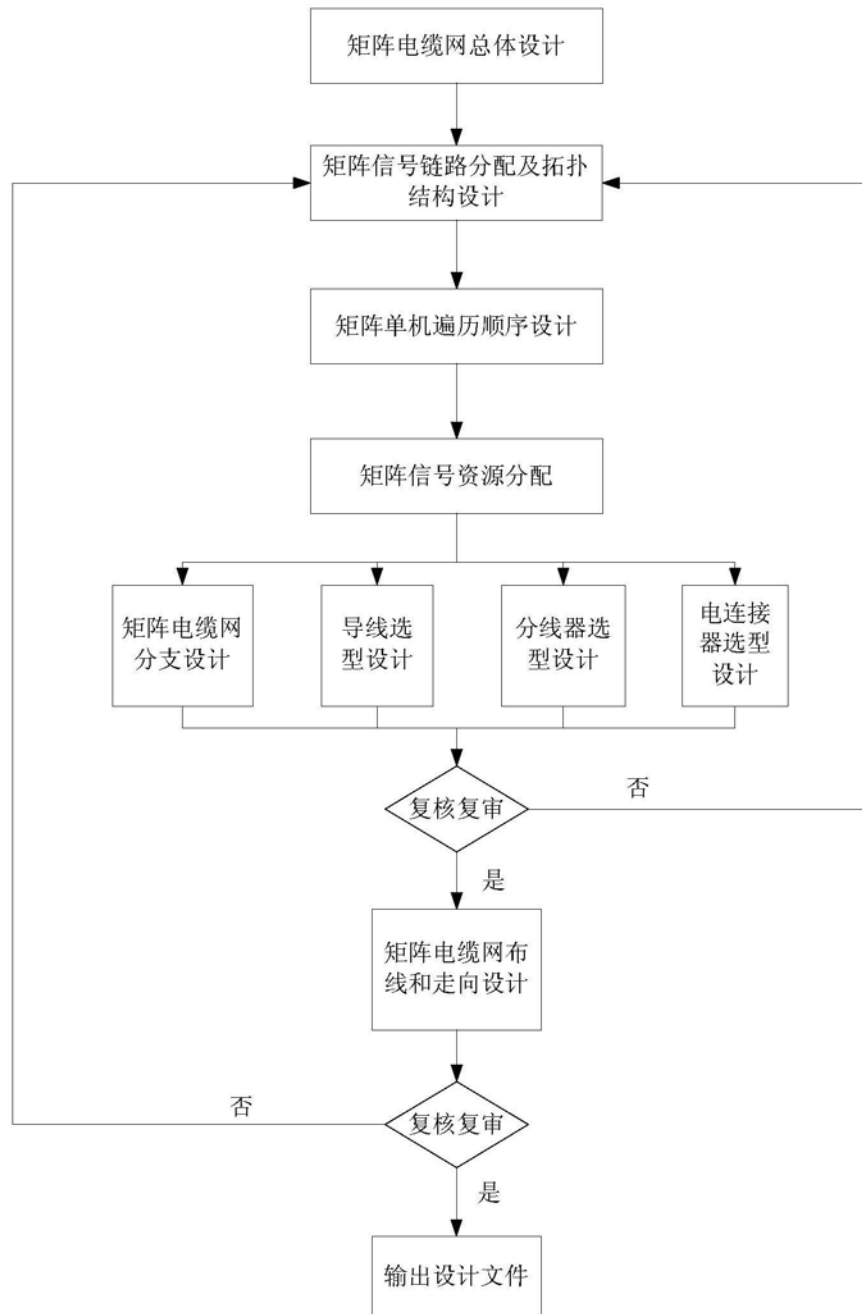


图2

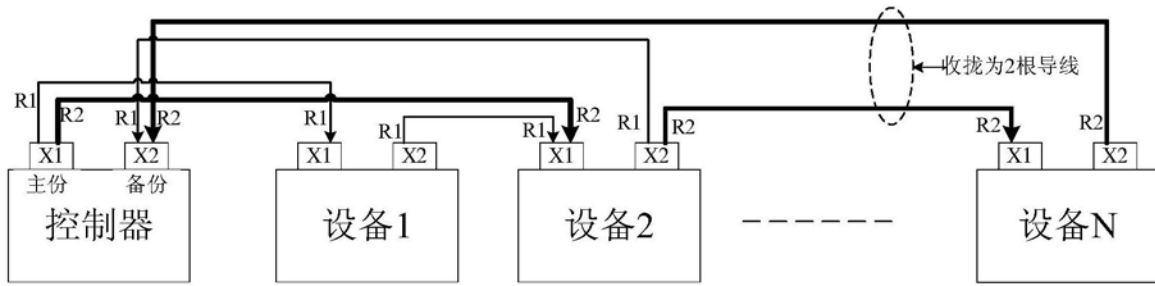


图3 (a)

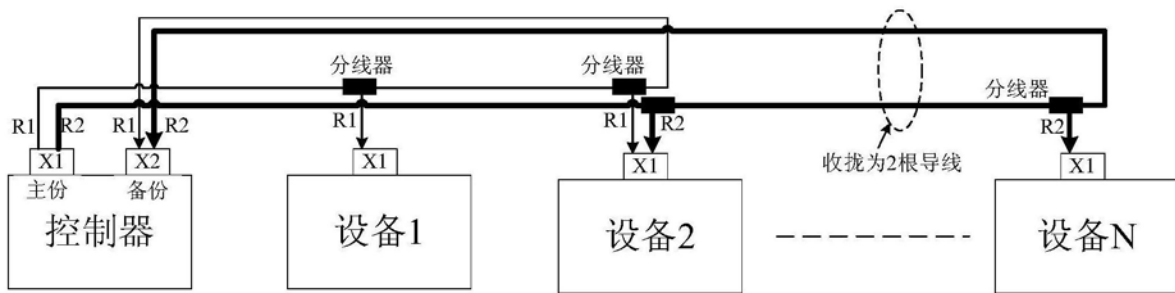


图3 (b)

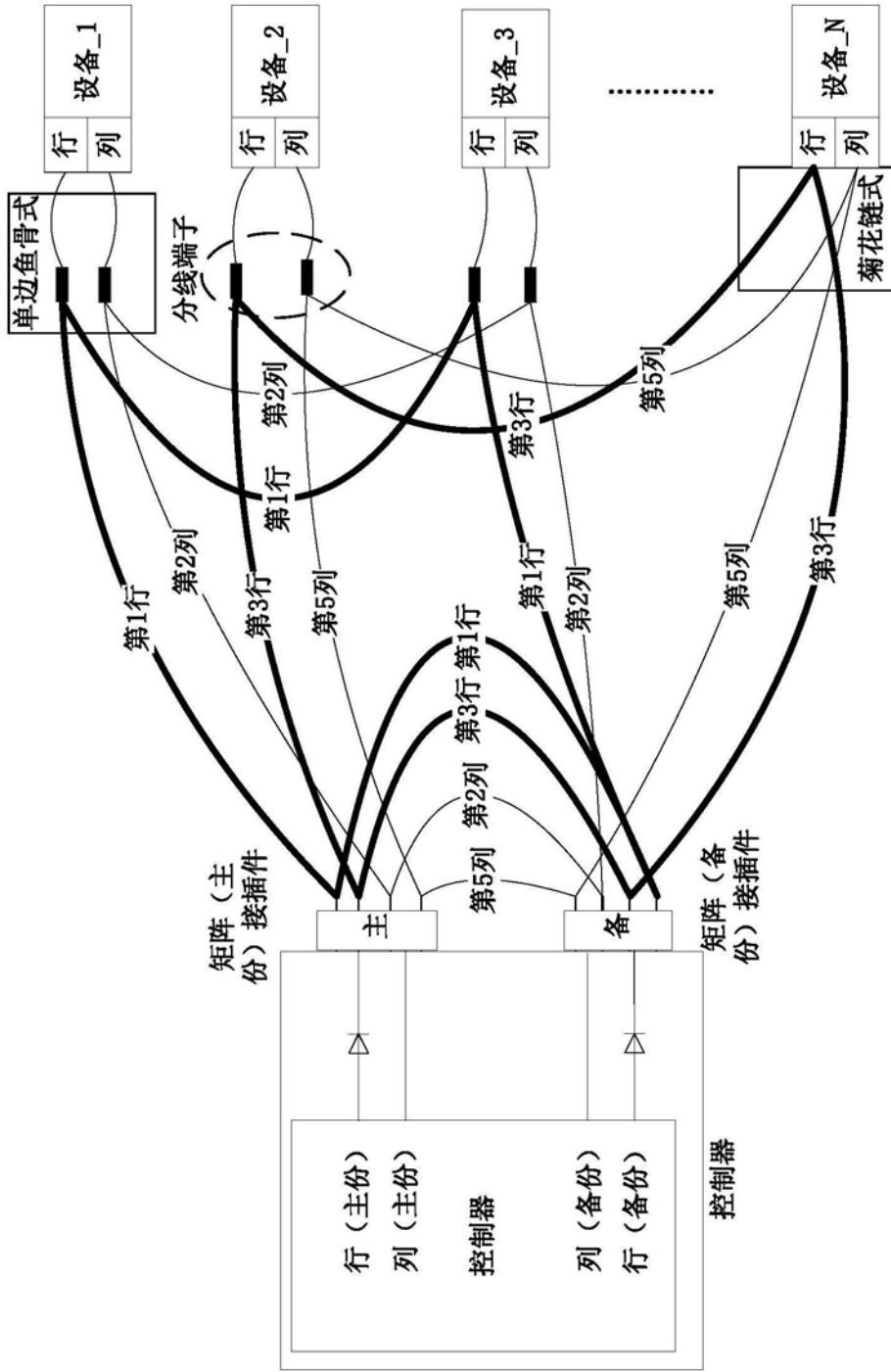


图4

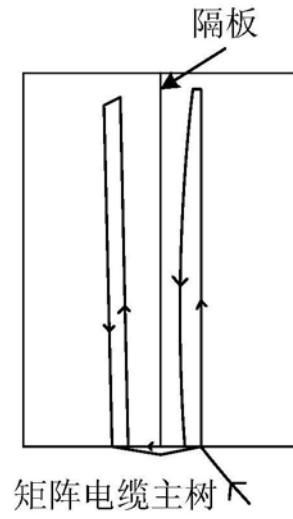


图5 (a)

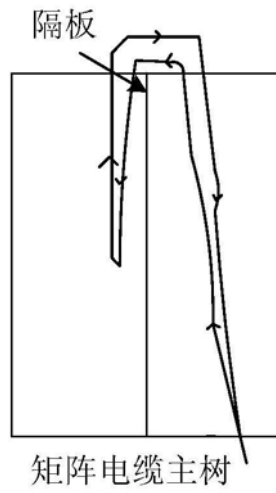


图5 (b)

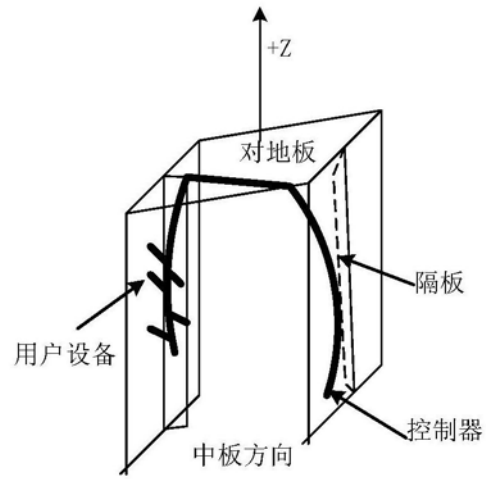


图6 (a)

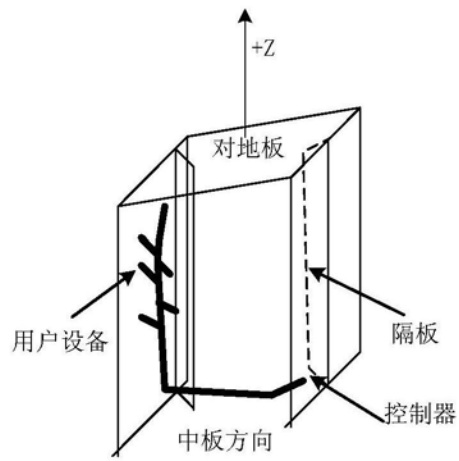


图6 (b)

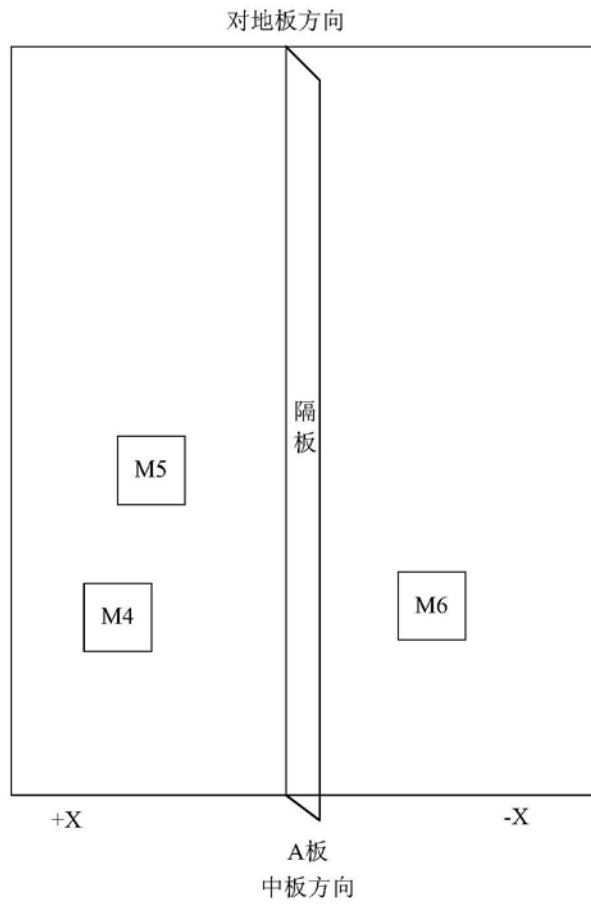


图7 (a)

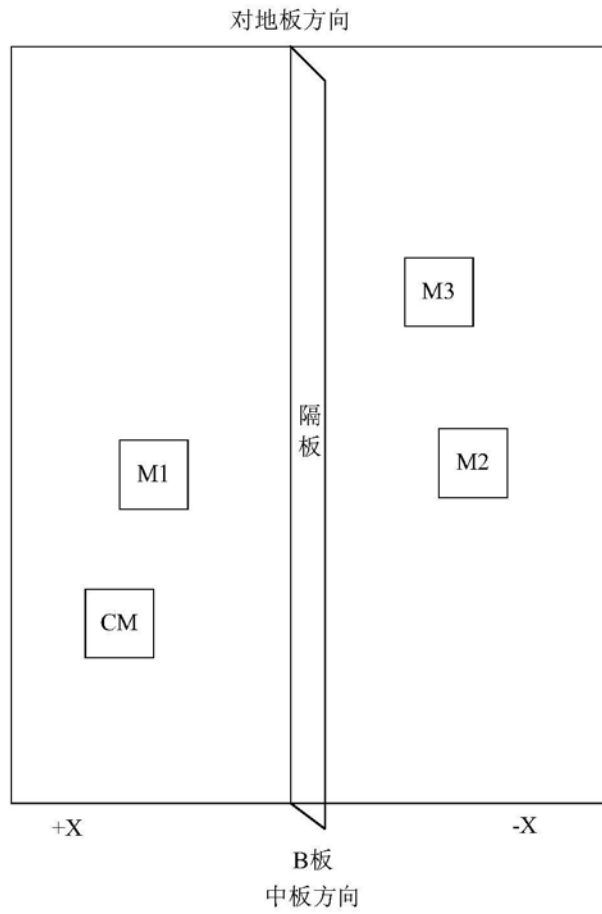


图7 (b)

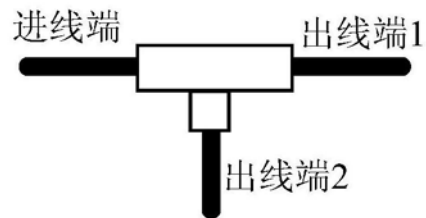


图8

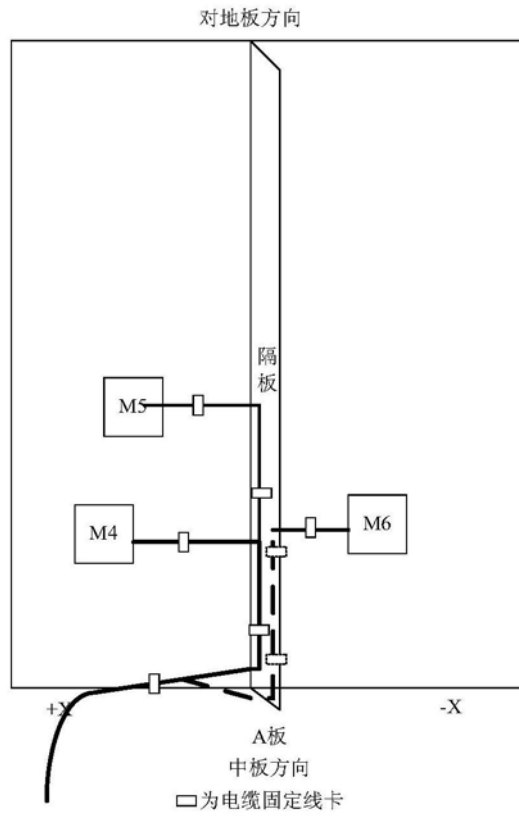


图9