

基于 SCDS 的载人航天器电缆网自动化设计

周 垚¹ 于 伟² 程天然¹ 吴京松¹ 武逸然¹

(1. 中国空间技术研究院载人航天总体部, 北京 100094;

2. 中国空间技术研究院总体部, 北京 100094)



摘要: 针对载人航天器电缆网设计中大量图纸、表格的正确性、一致性校核需要耗费大量时间, 以及设计和生产制造环节上存在数据传递不畅通、极大地制约了设计效率和产品质量的问题, 开发了载人航天器电缆网辅助设计系统 (SCDS), 将设计规范融入到软件中, 实现了设计过程的自动化。本文介绍了载人航天器电缆网设计模式, 重点描述了基于电缆网辅助设计系统 (SCDS) 的载人航天器电缆网自动化设计方法。

关键词: 载人航天器; 电缆网; SCDS; 自动化设计

Automatic Design of Manned Spacecraft Cables Based on SCDS

Zhou Yao¹ Yu Wei² Cheng Tianran¹ Wu Jingsong¹ Wu Yiran¹

(1. Institute of Manned Space System Engineering, China Academy of Space Technology, Beijing 100094;

2. Institute of Manned Space System Engineering, Institute of Spacecraft System Engineering, Beijing 100190)

Abstract: The manned spacecraft cable design system (SCDS) is developed to solve the problems of the long time needed to complete the correctness and consistency check of a lot of drawings and forms in manned spacecraft cables design, and the unsmooth data transmission existing in design and manufacturing links which greatly restricted the efficiency and quality. The specification is integrated into the software and the automation of the design process is achieved. The design mode is introduced and the automated design method of manned spacecraft cables based on SCDS is described in detail.

Key words: manned spacecraft; cable; SCDS; automatic design

1 引言

航天器电缆网由导线束、电连接器等几部分构成, 是各系统间的电气、信息交互传输的载体网络, 实现单舱或跨舱电子设备供配电和电信号的传输。电缆网研制耗时长, 历经设计、生产、验收、测试多个过程, 覆盖型号方案、初样、正样至发射各阶段, 对型号研制进度至关重要^[1, 2]。

载人航天器的特点在于能载人、多舱段、能返回。存在电子设备数量庞大、电连接器种类多, 电缆网规模庞大的问题 (单舱电缆导线根数超过上万根)。电缆网设计较一般卫星更为复杂, 主要体现为: 设计环

节复杂, 功能接口多、设计状态不易固化, 因此, 载人航天器传统依靠设计师人工设计电缆网的方式, 已不能适应当前需求。对于动辄几万个接点的电缆网, 其设计工作量十分巨大, 在进度紧张、人员有限的情况下极易由于人为疏忽造成电缆网设计文件错误, 影响载人航天器研制进度和产品质量。此外, 随着载人航天工程的蓬勃发展, 在研载人航天器越来越多, 传统的人工电缆网设计已不能满足多型号电缆网并行设计的需要, 因此, 在确保电缆网产品质量的前提下, 迫切需要寻找有效、高效的电缆网设计方式。

引入电缆网辅助设计系统 (SCDS) 的电缆网自动化设计模式, 将设计规范融入到软件中, 避免手工

作者简介: 周垚 (1985), 硕士, 电气工程专业; 研究方向: 航天器供配电设计。
收稿日期: 2017-06-29

操作，实现了设计过程的自动化。同时借助软件平台进行统一的数据管理，可实现设计与生产制造的数据共享和信息传递。

2 设计内容

载人航天器电缆网设计，需要完成从设备的接口数据单（IDS 系统）到设计文件接点信息的转换和再生成，根据接点表的信息绘制分支图，进行穿舱、转接部分接点分配，形成“舱段接点表”和“穿舱接点表”。将接点表分支计算后，转换成以单根电缆束为单位的设计文件“下厂接点表”，作为电缆生产制造的依据。

主要设计内容为：电缆束分支优化设计、穿舱电连接器及接点设计，以及根据导线工艺要求、屏绞要求、降额准则、供电电缆压降、热设计、EMC 设计等要求对每根线束进行线型线径、屏蔽接地设计^[1-3]。如果没有自动化的设计工具，电缆网设计只能依靠人工完成，各设计环节都要消耗大量的人力成本，低层次质量问题层出不穷。而电缆网设计输出文件多样，为了保证数据的正确性，必须对不同设计文件之间的

接口数据反复确认校对^[4]。
引入自动化工具之后，整个电缆网设计流程极大地降低了人工干预程度，提高了设计效率 and 设计质量；同时，将电缆网设计标准和规范融入到软件中，通过软件自动执行，提高了电缆网设计规范化、标准化程度；此外，借助统一的设计平台，实现了设计数据的自动获取和转换，使数据源头保持一致，变更可控，确保了设计状态的正确性。

3 SCDS 系统介绍

电缆网辅助设计系统（SCDS）能通过 WebService 在 IDS 系统内获取设备电连接器的分支和接点信息。作为具有自主知识产权的设计管理平台，辅助设计师完成电缆网的自动化设计。通过建立后台电缆网数据库，可进行数据自动校核、数据分析计算等工作，实现数据和设计技术状态的管理。采用自动化、自动化手段能很大程度上减少电缆网设计的工作量，提高设计效率，同时确保设计的正确性。SCDS 系统功能框架如图 1 所示。

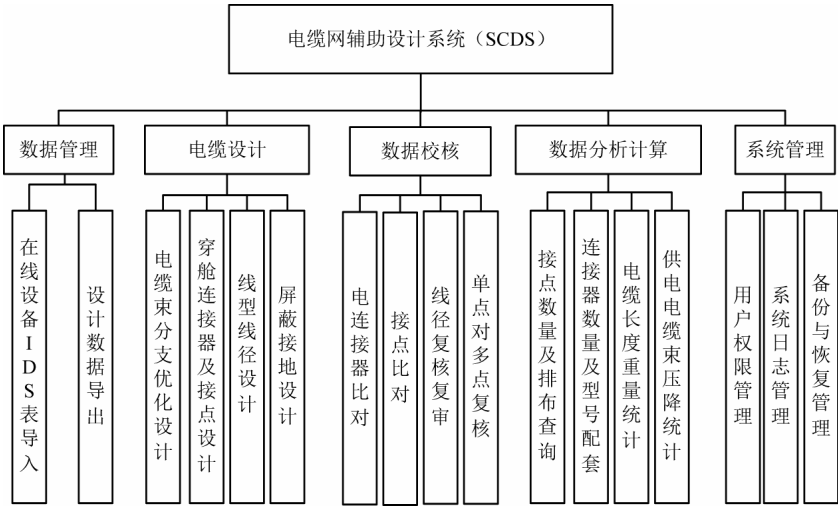


图 1 SCDS 系统功能框架图

4 电缆网自动化设计方法

- a. 将电缆网各类设计规范、标准、规则固化为软件算法，结合型号工程经验搭建电缆网设计知识库；
- b. 搭建电连接器、导线等元器件基础数据库，将

- 元器件电气属性、机械属性等信息数字化；
- c. 将电缆网设计结果优化为结构化数据，通过电缆网自动化设计平台（如图 2 所示）实施统一数据源管理，完成数据的计算分析和传递，保证数据唯一性和电气线路设计的正确性、完整性和可追溯性^[5]。

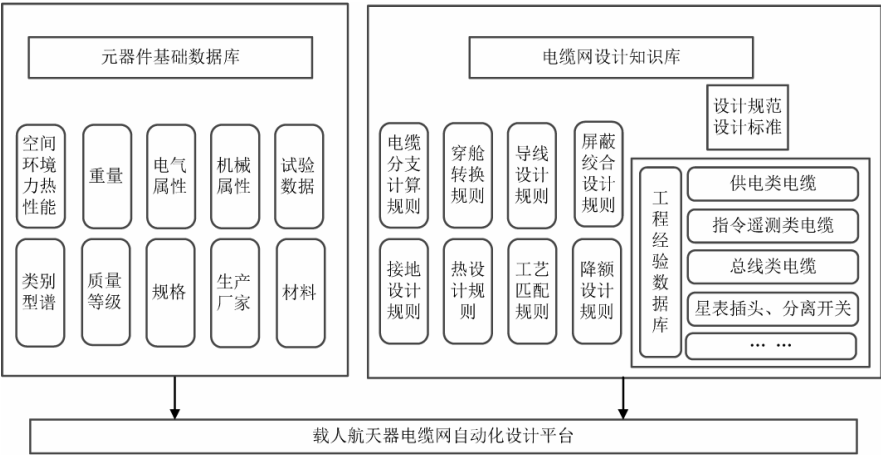


图 2 电缆网自动化设计平台

4.1 图形化电缆分支优化设计

4.1.1 跨舱段分支自动拆分计算

由于载人航天器具有多个穿舱环节和载人密封舱段特有的结构，设计电缆时应应对穿舱电缆进行拆分、接点合并等特殊设计。图 3 为含多个舱段的穿舱电缆分支拆分算法。

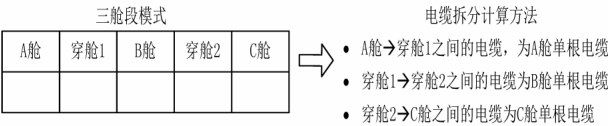


图 3 穿舱电缆拆分算法

4.1.2 图形化电缆束分支优化设计

设计师根据电缆走向布局、电缆通道的敷设能力等约束条件，设定电缆分支阈值。当电缆束超过设定阈值分支数时，软件系统可以图形化方式自动识别并绘制拓扑图，并按照不同的布局方案计算出分支分割点，设计师择优在分割点处加入转接连接器后，可将复杂大电缆拆分为满足敷设条件的多束小电缆，实现优化分支的目的。图 4 展示了某束复杂电缆 W001 的分支拓扑优化，通过软件计算出的两个分支优化分割点，可将该电缆拆分为图中所示 W001_1~W001_3 三束小电缆。

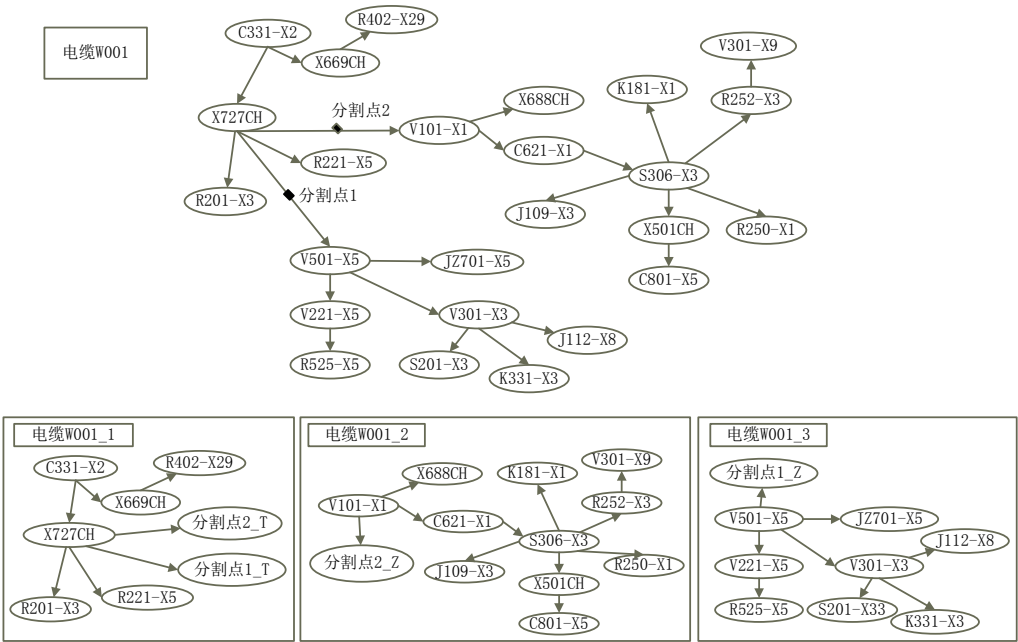


图 4 图形化电缆分支拓扑优化

4.2 线型线径自动化设计

导线选型含导线类型和线径规格两方面的设计。导线类型指屏蔽性能、双绞要求、单双层绝缘等,线径规格主要取决于导线的载流量^[1],如果一根导线需要承载的电流较大,则需要选择较粗的导线,以满足导线的载流、压降及散热需求,而小电流信号采用较细导线传输即可。因此线径的设计与导线载流量形成一种规律的规则。由设计师结合导线模型及元器件降额原则、EMC 要求和工艺匹配要求形成导线选型规则,软件按照该规则自动完成导线配置。

线型线径自动化设计流程如图 5 所示。首先根据屏绞要求确定导线类型,再依据导线两端连接器型号的工艺匹配原则初步确定线径范围,再进一步根据元器件降额准则,进行线径降额设计,最终实现导线线型及线规的配置^[6, 7]。

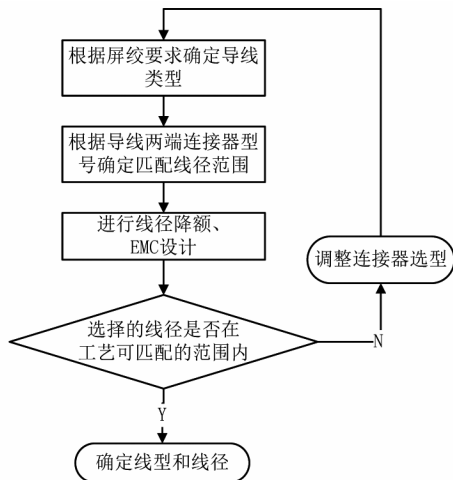


图 5 线型线径自动设计流程

4.3 电缆网自动校核方法

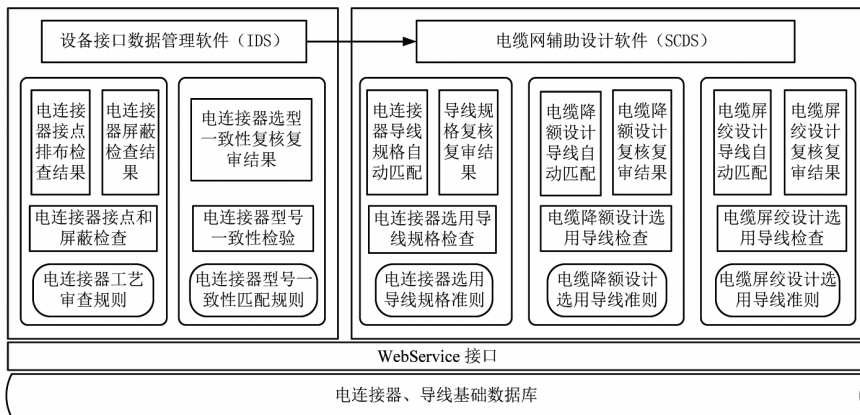


图 6 电缆网自动校核

基于电连接器、导线基础数据库之上,借助 SCDS 与 IDS 系统的数据接口,对电连接器工艺、导线规格、降额设计、屏绞设计正确性自动校核,如图 6 所示。同时,可对电缆网设计输入与输出数据、不同设计文件之间的接口数据、设计部门与生产制造部门数据的一致性与设计正确性自动校验和检查。

4.4 数据自动化管理

借助 SCDS 建立电缆网数据管理平台,对 IDS(设备接口与表单数据)、辅助设计数据、电缆网数据、更改控制数据、日常维护数据统一管理。利用与 IDS 系统的 WebService 接口,将设备电连接器、接点信息、接点连接关系自动识别、关联和匹配核对,同时自动识别设备布局位置,按航天器舱段结构,分段管理电缆网数据。

通过对电缆网数据的自动化管理,可以保证设计数据版本唯一,实现不同文件之间的数据共享。电缆网设计多份文件都基于共同的数据平台之上,接点数据发生更改时,只需要对其中的一份文件更改操作,然后通过软件的自动查询更新功能,可以将相关联的文件状态更新。通过对数据的自动化管理,可以确保电缆网数据状态的正确性。

4.5 数据分析与计算

为满足不同阶段的型号任务需求,将电缆网数据进行结构化处理,借助软件从不同经纬度获取重量、电连接器接点排布、电连接器数量及型号配套、电缆长度、供电电缆束压降等基础数据,并按照设计师提供的规则计算和分析。

电缆网辅助设计系统 - [电缆长度重量统计-详细]								
系统(S) 电缆设计(D) 查询统计(Q) 数据对比(C) 接点表打印(P) 数据复核复审(R) 电缆网布线(W) 系统管理(M) 帮助(H) 风格								
舱段	舱段	电缆号	始端代号	终端代号	线径	根数	长度(mm)	重量(g)
过滤 WZ24	货物舱前锥柱段	WZ24	X123CH(外)	TRh18	0822-24	1	7500	52.458315
	货物舱前锥柱段	WZ24	X123CH(外)	TRh27	0822-24	1	7500	52.458315
	货物舱前锥柱段	WZ24	X123CH(外)	TRh28	0822-24	1	7500	52.458315
	货物舱前锥柱段	WZ24	X123CH(外)	TRh29	0822-24	1	7500	52.458315
	货物舱前锥柱段	WZ24	X123CH(外)	TRh30	0822-24	1	7500	52.458315
	货物舱前锥柱段	WZ24	X123CH(外)	TRh31	0822-24	1	7500	52.458315
	货物舱前锥柱段	WZ24	X123CH(外)	TRh32	0822-24	1	7500	52.458315
	货物舱前锥柱段	WZ24	X123CH(外)	TRh33	0822-24	1	7500	52.458315

图 7 电缆长度重量数据分析

图 7 为通过元器件基础数据库中的重量信息获取的某型号单根电缆长度及重量数据。

4.6 技术优势

基于 SCDS 的载人航天器电缆网自动化设计方法与传统设计方法优势比较如表 1 所示。该方法充分利

用自动化、信息化、数字化手段，实现电缆分支优化设计，线型线径自动设计，数据自动校核、管理和分析计算等功能，在多个载人航天器上推广应用，准确、高效地实现了电缆网设计，具有传统电缆网设计方法无可比拟的优势。

表 1 基于 SCDS 电缆网自动化设计方法优势比较

比较内容	传统设计	SCDS 设计
设计规范及标准的实施	受限于设计师经验	具备电缆网设计知识库，不同设计师之间可实现无差异规范化、标准化设计
设计平台和工具	借助 word、excel 等工具	借助软件系统开展自动化设计
数据管理	人工进行大批量数据录入、拷贝和编辑	基于统一数据源，电缆网数据处理不需人工参与通过软件自动完成，并具有自动校核、计算分析等功能
技术状态管理	设计文件分散，无统一的管理平台，技术状态难以控制	借助设计平台，对电缆网数据进行统一管理，设计状态可追溯
设计出错率	出错率高，人工操作极易发生低层次问题	出错率低，数据处理由软件自动完成，有效减免人为操作
设计效率	耗费大量人力和时间，设计周期占产品全部研制周期的 22.85%	可有效节约人力和时间，设计周期缩短为产品全部研制周期的 8.52%

5 结束语

经多个载人航天器在轨飞行验证，基于 SCDS 的载人航天器电缆网自动化设计方法在提升设计效率的同时，能够极大程度地提高电缆网产品质量。技术优势明显，对于提升航天器电缆网总体设计水平，具有重要意义。

参考文献

1 王颖艳, 黄业平. 航天器低频电缆网的设计[J]. 航天器环境工程, 2013, 30(2): 200~202

2 谭维炽, 胡金刚. 航天器系统工程[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2009

3 王美靖. 基于 CHS 与 Pro/E_cabling 电气系统线缆束数字化设计[J]. 车辆与动力技术, 2013(3): 112~114

4 郝冬晶. 基于 CHS 软件的飞机线束设计应用[J]. 科技资讯, 2013, 16: 19~20

5 陈卓. 民用飞机电气线路的设计流程[J]. 航空科学技术, 2012(6): 101~103

6 NHB 5300. 4(3G) Requirements for interconnection cables, harnesses, and wiring [S]. 1985. 4

7 Q/W 1236—2010 航天器布线束设计、制造及验收技术要求[S]. 2010-04-30