

通用电缆计算机辅助设计系统的研究与开发

朱 敏

(上海电缆研究所有限公司特种电缆技术国家重点实验室)

摘要：为了提升电线电缆的设计效率和设计能力，对电缆的计算机辅助设计系统进行研究，分析定义系统的功能框架和设计流程。在此基础上开发了通用电缆计算机辅助设计系统软件，能够快速智能完成电缆设计计算和数据管理，自动生成电缆的 CAD 结构图以及结构、物料和性能报表，从而极大地缩短设计周期，节约设计成本，具有很强的行业应用价值。

关键词：电缆；计算机辅助设计；功能框架；设计流程；自由设计；标准库

2024.02.docx
32

0 引言

电线电缆作为我国国民经济的“血管”和“神经”，发挥着重要的基础配套作用。近年来，新能源、特高压、海洋工业、航空航天以及核电等领域的发展对电线电缆的设计提出极高的需求与要求^[1]。

目前国内外电缆行业中，电缆设计的主流方法还是延续多年积累的传统，采用 Excel 表格计算的方式进行电缆结构性能计算，并根据计算后得到的结构尺寸表采用通用 CAD 制图软件进行图形绘制。虽然通过上述两种方法的结合能够制作出电缆设计规格书，但同时也存在以下不足：一是电缆的结构和性能计算与图形绘制是两个独立的过程，两个过程分别都要消耗设计时间，规格书确认定型前一般会经历反复修改，那么设计计算和图形绘制的许多具体环节就会被迫反复执行，导致电缆设计的效率降低；二是对于结构功能复杂的电缆进行设计时，需要计算、校核的参数和公式大大增多，许多参数会存在关联计算和迭代计算的情形；这种情况下，采用表格设计方法对表格

软件的应用能力也提出了极高的要求，一般要求具有一定的编程能力；计算过程不够直观智能，倘若中间环节出错也不易被发现，导致设计效率和设计能力都降低。因此，电缆行业在设计端如何应用先进技术提高设计能力和效率成为行业智能化能力提升的一个重要环节。

电缆的设计方法，随着计算机技术的发展，经过了长期的演化，从最初手工计算手工绘图，到现在广泛应用的表格计算和通用制图软件绘图。随着计算机辅助技术的发展和日益成熟，将其应用于电缆设计领域会成为改进电缆设计方法的有效手段。而目前在国内的电线电缆设计领域，几乎没有成熟的电缆计算机辅助设计软件。计算机辅助设计软件作为研发类工业软件的一个分类，直接关乎工业领域创新的源头，因此研发一款通用计算机辅助设计系统软件具有重要意义^[2-3]。

本文根据电缆的结构特点，结合先进的计算机辅助设计技术，研究和开发一套通用电缆计算机辅助设计系统，提升电缆设计的效率和能力。

1 总体功能框架

本文研发的通用电缆计算机辅助设计系统的总体思路是 CAD（计算机辅助设计）与 CAE（计算机辅助工程）的一体化，并与电线电缆行业属性紧密结合，辅助电缆设计从经验设计到计算机辅助智能设计的转变。

系统总体功能框架如图 1 所示，划分为五大模块，分别是设计信息模块、电缆属性模块、图形交互模块、库模块和报表模块。

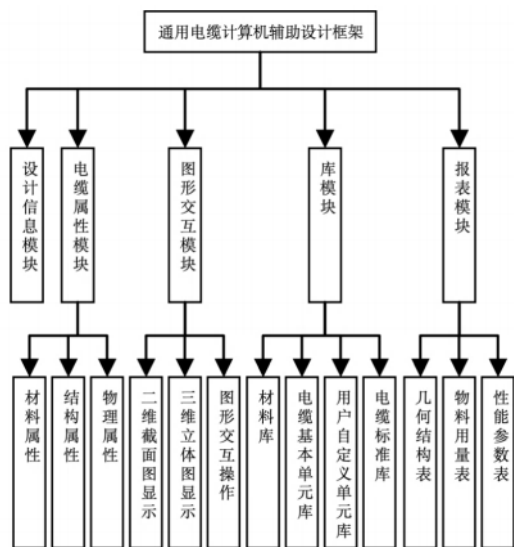


图 1 系统整体框架

1) 设计信息模块：按照由内向外、逐层设计的规则，以树形表达的方式管理电缆设计过程的层次和结构信息。

2) 电缆属性模块：用于管理电缆具体结构单元的属性信息。电缆属性模块按类别具体包括材料属性、结构属性和物理属性。

3) 图形交互模块：用于显示设计电缆或设计过程结构单元的二维截面图、三维立体图，以及管理在图形上的交互操作功能。其中图形的交互操作功能包括图形移动、旋转、缩放、删除、复制、粘贴以及图形标注等功能。

4) 库模块：用于管理和描述电缆设计过程所需的基础结构单元、材料，以及组合单元、标准产品等被重复使用，具有一定功能和特征的信息。具体包括材料库、电缆基本单元库、用户自定义单元库和电缆标准库。库的定义的提出使复杂电缆的设计变得方便快捷，并增强了设计的可复用性。

材料库用于管理电缆设计过程中应用的具体材料，包括材料的公共参数和特有参数，以便完成电缆基本的重量计算、电学分析、力学分析等。材料库分为基础材料库和扩展材料库，基础材料库给出常规应用的材料列表，扩展材料库通过提供增加、删除、修改操作功能为用户提供维护满足需求的材料的接口。扩展材料库的设计使电缆计算机辅助设计系统在基础材料数据的计算环节具有了良好的可扩展性。

电缆基本单元库管理抽象定义的电缆基本功能单元模型，具体包括导体单元、绝缘单元、屏蔽单元、护套单元、包带单元、铠装单元、填充单元等。

用户自定义单元库用于管理具有可重复使用的典型组合结构生成的自定义单元模型。用户自定义单元库的设计提高了电缆设计建模的灵活性和可扩展性。

电缆标准库用于管理国家标准定义的电缆产品模型，从而进行快速智能设计，并提供对标准库产品模型的修改功能，以满足设计的具体需求。

5) 报表模块：用于管理和输出电缆的设计结果数据，包括几何结构表、物料用量表、性能参数表。

2 设计流程

基于上述功能框架，综合考虑到不同用户的具体需求，本文提出两种设计流程：一种是自由设计流程，另一种是基于标准库的设计流程。

1) 自由设计流程：遵循从内到外，逐层设计

的基本设计原则，基于电缆基本单元库和用户自定义单元库，进行单元自由组合与迭代。采用此种方法可以设计出各种各样复杂结构的电缆。如图2所示为自由设计流程图。

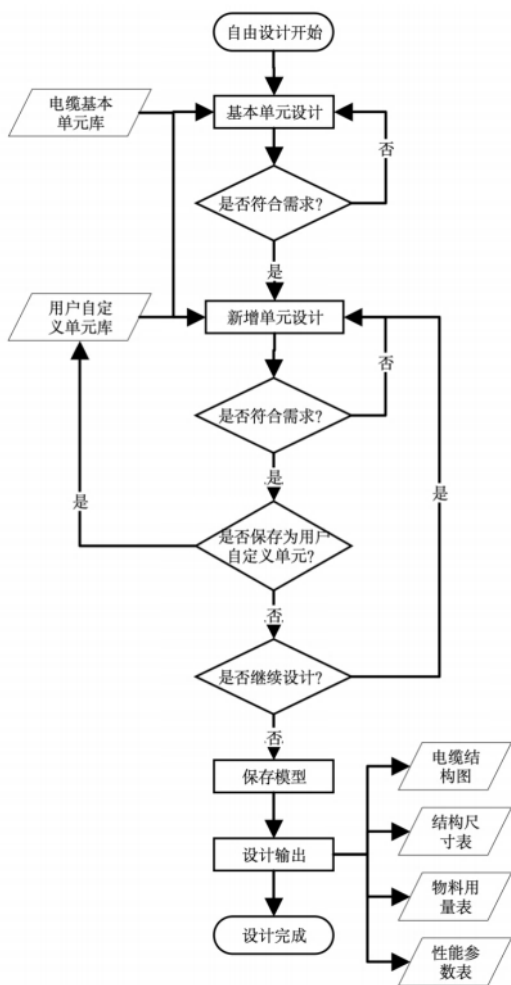


图2 自由设计流程图

2) 基于标准库的设计流程：通过对电缆标准产品库的智能检索，选择所需电缆型号模板，并可根据用户对电缆的结构尺寸、材料等参数进行修改，直到满足用户需求。采用此种设计方法可以为用户提供满足国家标准电缆产品的快速设计。如图3所示为基于标准库的设计流程图。

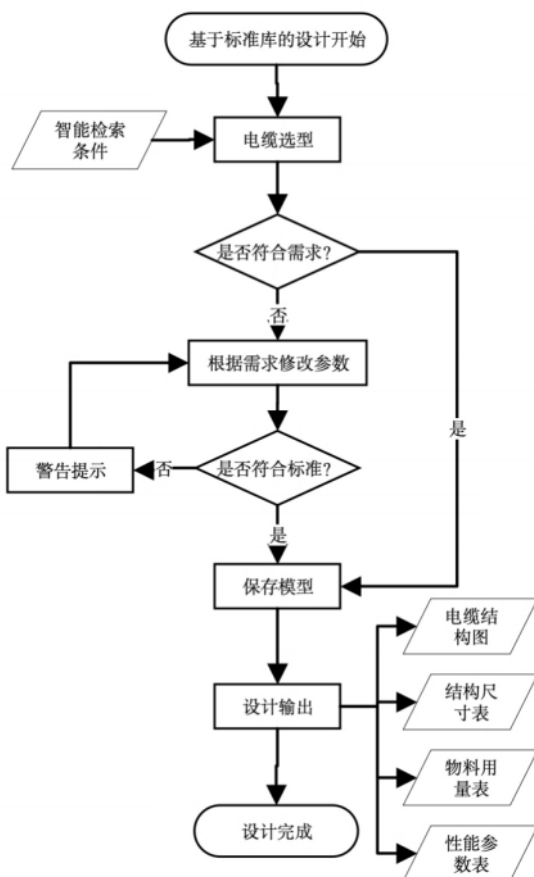


图3 基于标准库的流程图

3 软件实现

根据上述功能框架和设计流程的详细需求，采用面向对象的计算机技术开发了通用电缆计算机辅助设计系统软件。软件集电缆的设计与分析计算于一体，智能快速完成通用电缆产品设计、数据管理、图形绘制、报表输出等功能，以下对软件的主要功能进行介绍。

1) 整体界面：如图4所示软件的整体界面包括以下主要功能区：工具栏、树形导航栏、属性信息栏和图形窗口。工具栏放置了常用文件操作功能、电缆设计操作功能、图形操作功能等图标，便于用户快捷操作使用。树形导航栏对于电缆设计过程所涉及的功能模型进行分类和分层管理，帮助用户快速访问所需功能。属性信息栏用来显示电缆或单元的树形层次

结构信息和当前选择状态的单元或层的属性信息。图形窗口区域可以自动绘制电缆设计过程的结构图，并包括图形标注、复制、删除、平移、旋转、缩放等各种图形编辑功能。

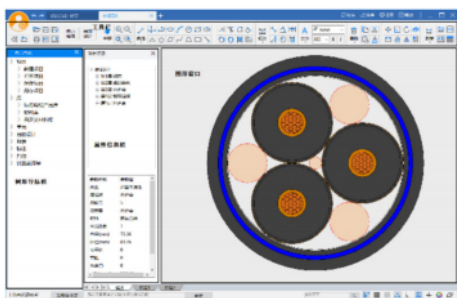


图 4 软件的整体界面

2) 电缆的自由设计功能：基于前述的自由设计需求流程，实现了电缆自由设计功能模块，将电缆结构设计、工艺设计、计算分析和图形自动绘制相结合，即 CAD/CAE 技术融合一体化。使用操作过程如图 5 示例所示所见即所得的设计方式。应用自由设计流程，能够帮助用户缩短设计流程，提高设计效率，并提高设计复杂电缆的能力。

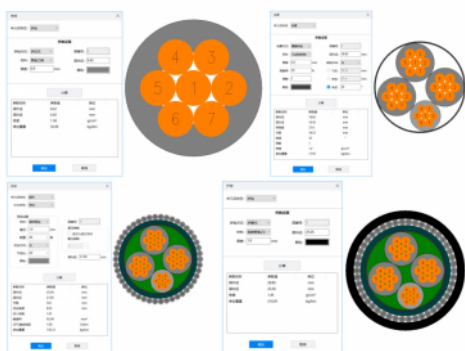


图 5 自由设计功能示例

3) 电缆基于标准库的设计功能：基于前述的标准库的设计需求流程，实现了电缆的基于标准库的设计功能模块。如图 6 所示，通过智能检索功能，用户查询定位到所需的标准库电缆产品模板，加载模块后可根据用户自身需求进行参数修改，从而实现标准电

缆产品的快速设计。

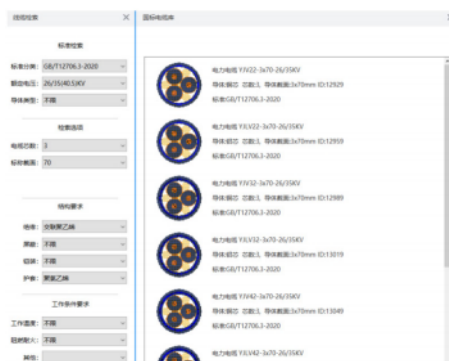


图 6 基于标准库的设计功能示例

4) 一键标注功能：实现了一键快速标注，以及文字标注和编号标注两种标注形式自由切换功能，满足不同用户的不同标注展示需求。

5) 载流量计算功能：电缆的载流量计算因为影响因素较多，计算公式复杂，因而不易掌握^[4]。如图 7 所示，实现的载流量计算功能模块依据国家标准，将结构模型自动导入，选择或输入影响因素条件参数，从而快速计算电缆载流量；该模块还实现了计算过程公式可见，步骤可控、过程参数可修改、中间结果可验证的功能，从而方便用户对电缆的载流量进行计算和检验。



图 7 载流量计算功能模块示例

6) 通用报表功能：为了方便电缆设计工程师的数据交互和文件交互，实现了通用报表功能模块，包括输出通用 Excel 格式的结构尺寸报表和物料用量表，输出 Word 格式的载流量计算书等。

4 测试案例

应用本文开发的通用电缆计算机辅助设计系统软件，设计一个满足 GB/T12706.3—2020 标准的 3 芯电缆产品，具体需求是额定电压为 26/35kV，导体为标称截面 50mm² 的铜导体，交联聚乙烯绝缘，聚氯乙烯护套。根据本设计需求，采用软件基于标准库的设计功能模块进行快速设计，并自动生成如图 8 所示的 CAD 结构图和结构尺寸表（见表 1）、物料用量表（见表 2）、主要性能参数表（见表 3）。

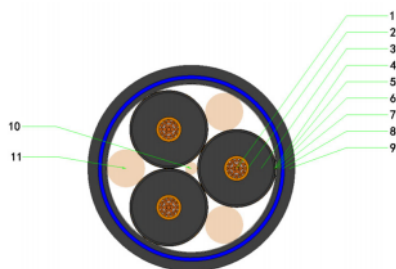


图 8 设计电缆的 CAD 结构图

表 1 结构尺寸表

电缆型号：YJV22-3×50-26/35kV			
序号	结构	材料	外径/直径 (mm)
1	导体	铜	8.46
2	导体屏蔽	半导体材料	10.86
3	绝缘	交联聚乙烯	31.86
4	绝缘屏蔽	半导体材料	33.46
5	金属屏蔽	铜带	33.86
6	成缆绕包	阻燃带	73.53
7	内护套	聚氯乙烯	77.53
8	铠装	钢带	80.73
9	外护套	聚氯乙烯	89.53
10	中心填充	无卤阻燃填充绳	5.21
11	边隙填充	无卤阻燃填充绳	16.32

表 2 物料用量表

电缆型号：YJV22-3×50-26/35kV			
序号	结构	材料	重量 (kg/km)
1	导体	铜	1451.06
2	导体屏蔽	半导体材料	104.73
3	绝缘	交联聚乙烯	2071.51
4	绝缘屏蔽	半导体材料	295.5
5	金属屏蔽	铜带	351.48
6	成缆绕包	阻燃带	68.93
7	内护套	聚氯乙烯	654.64
8	铠装	钢带	1919.54
9	外护套	聚氯乙烯	1624
10	中心填充	无卤阻燃填充绳	29.9
11	边隙填充	无卤阻燃填充绳	879.69
总计 (kg/km)			9450.98

表 3 主要性能参数表

序号	参数名称	单位	数值
1	导体 20℃ 直流电阻	Ω/m	0.00034
2	导体交流电阻	Ω/m	0.0004337
3	载流量	A	193.8

5 结束语

本文介绍了研发通用电缆计算机辅助设计系统的关键方法，并基于该方法成功开发了一套通用电缆计算机辅助设计系统软件。软件能够快速完成电缆的结构设计、材料选用、物料用量计算、性能参数计算，并自动生成电缆的 CAD 结构图、结构尺寸表、物料用量表和性能参数表，从而大大提高电线电缆的设计效率，具有重要的工程应用价值和应用前景。

参考文献

- [1] 高欢, 郭宏, 孙科沸, 等. 水下生产系统脐带缆初步结构设计 [J]. 电线电缆, 2011 (6): 12-16.
- [2] 张厚明. 提升中国高端工业软件发展水平 [J]. 高科技与产业化, 2014 (4): 30-34.
- [3] 李清, 瞿盟津, 于超. 面向新型工业化的国产工业软件架构 [J]. 新型工业化, 2023, 13 (9): 31-38.
- [4] 孟凡凤, 张兵, 方晓明, 等. 影响直埋电缆载流量的因素的研究 [J]. 绝缘材料, 2007, 40 (3): 64-66.

(收稿日期：2023-11-17)