

核电厂用电电缆敷设软件的应用研究及改进建议

以核电厂电缆敷设为例，介绍了应用国产化电缆敷设软件进行核电厂电缆敷设的设计过程及方法，研究了电缆敷设软件的功能和特点，并提出了软件的改进建议，对提高电缆敷设的合理性和准确性、确保核电厂安全及降低工程造价有着很重要的意义，以期更好地应用在核电厂的建设中。

宋晓伟 曹连兵/中国移动通信集团设计院有限公司

0 引言



宋晓伟/工程师

在核电厂设计过程中，电缆敷设是一项较为庞大而复杂的系统工程，主要是依据核电厂的规范和要求将发电设备、供电设备和用电设备之间的电缆进行可靠连接。核电厂电缆敷设的主要特点和难点是：电缆要分成A、B安全序列和不同的防火区进行敷设；电缆类型多、数量大；核电厂电缆敷设安全可靠要求高；电缆孔洞封堵复杂等。所以，如用传统平面图的方式进行电缆敷设弊端很多，不能满足核电厂的安全要求。主要原因有：①A、B序列核级电缆很难区分；②不同防火分区电缆很难区分；③各种不同类型的电缆信息难以表达；④无法统计各托盘中电缆的填充率。因此，将计算机辅助技术应用到核电厂电缆敷设设计工作中，弥补了传统敷设方式的诸多弊端，保证了电缆敷设的安全、准确和可靠，同时可以将设计人员从繁重的工作中解脱出来，提高了工作效率，加快了设计进度。

1 核电厂选用的国产电缆敷设软件

电缆敷设设计工作在核电厂的设计

中占有很大的份额，其涉及到的电缆多达数万根，而且按电缆功能类型分为中压（A类）、低压（B类）、控制（C类）、测量（M类）和公用设施电缆。按安全系列可分为A、B列电缆，保护组（IP、IIP、IIIP和IVP），事故后处理电缆（PAMS1、PAMS2）。因此电缆敷设设计必须要满足相关设计规范、准则的要求。

核电厂电缆敷设设计具有电缆数量多、分类复杂和要求严格的特点，这导致了核电厂特别是核岛的电缆敷设从设计过程到完成形式都与一般民用工程有很大的差别，如果采用传统的人员绘制方式来完成电缆敷设设计，其工作量大，不能保证设计质量和查找设计错误。同时，传统方式敷设的电缆难以准确计算电缆长度，也难以获取桥架准确的填充率等信息，容易造成有些桥架电缆过多，而相邻层的同类桥架电缆过少等不合理现象。在秦山二期扩建工程电缆敷设设计工作中，通过借鉴国外核电厂电缆敷设设计的先进经验，采用法国的电缆敷设设计软件（PERICLES III），顺利完成秦山二期扩建工程的电缆敷设的设计工作。目前国外软件无汉化操作界面，阻碍设计人员正常使用，而且维护不便，成本也比较高，使其应用有一定的局限性。因此，在核电厂建设中，有待应用国产化软件进行电缆敷设设计。

通过电缆敷设人员与国内软件开发商共同努力，联合研制了满足核电厂电缆敷设需要，功能强大的电缆敷设设计

关键词/Keywords

核电厂·
电缆敷设·
软件·
设计过程·

和管理软件，电缆敷设设计管理系统软件（以下简称软件）采用计算机辅助设计，实现了电缆桥架布置设计、电缆敷设路径设计、现场施工管理和防火分析等多方面的功能。软件应包括工程设计模块、任务管理、查询模块、数据接口、防火模块、现场模块和系统管理等部分。在核电厂电缆敷设设计中，主要使用的是该软件的工程设计

模块。该模块通过预先定义敷设电缆涉及到的机组、厂房、区域、设备以及安全准则等信息，然后生成电缆路径，通过网络传输到现场模块，并利用现场模块进行现场电缆敷设管理。图1为软件的电缆敷设界面。从图1中可直观地看到该软件各部分模块。图2为电缆敷设设计软件的工作流程。

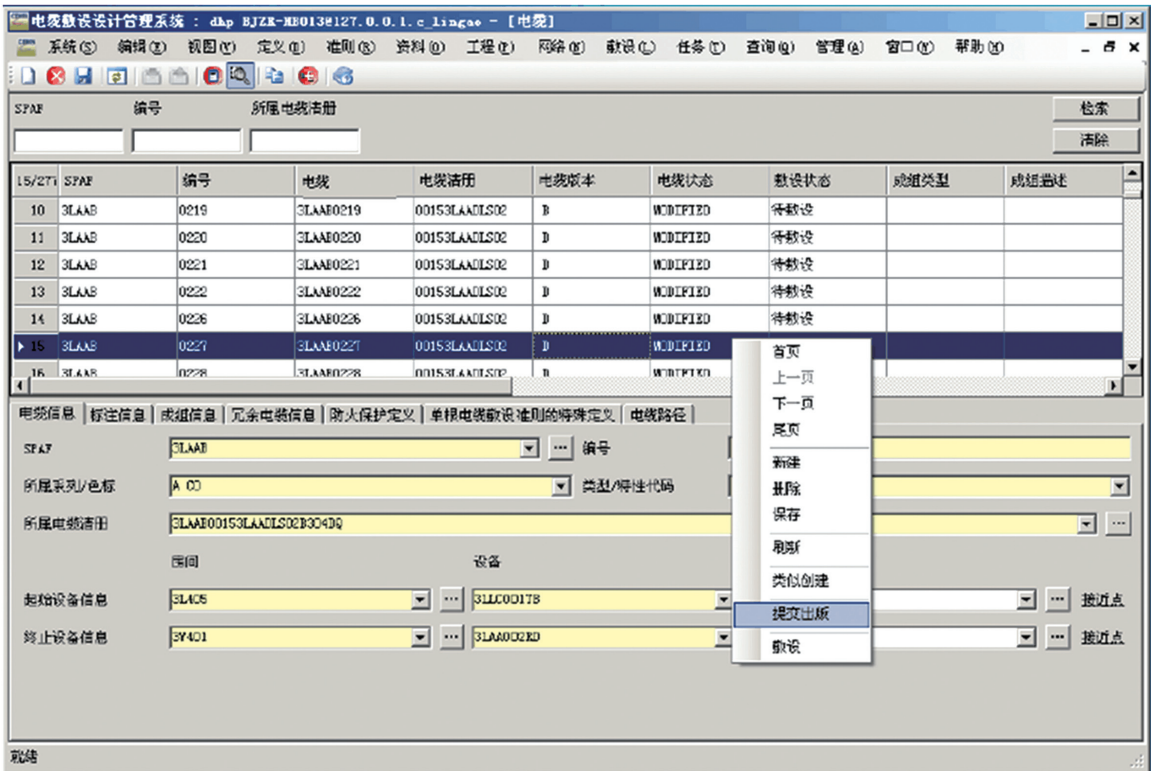


图1 电缆敷设软件界面和各功能模块

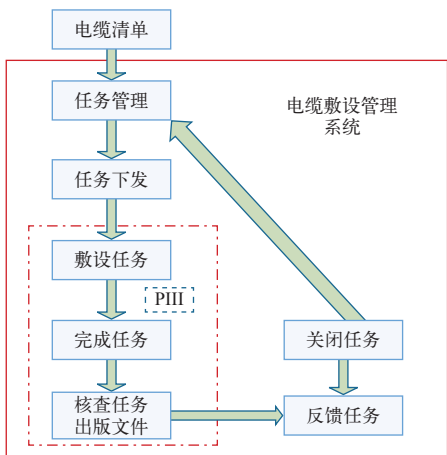


图2 电缆敷设设计软件的工作流程

2 应用软件敷设电缆过程及方法

在应用软件进行敷设设计中，涉及到如下几个核电厂电缆敷设的基本概念。

- 1) 桥架。为了使电缆有序安装和保护电缆而制造的一种槽型钢结构，所有电缆都安装在其中。
- 2) 节点。在设备比较集中的桥架处或其转折处定义的一个特征点。
- 3) 缆道。两个节点之间的桥架称为缆道，具有长、宽和高的几何特性。
- 4) 网络。以节点作为定点、缆道作为边所形成的网状结构称为桥架网络，简称网络。

在进行核电厂电缆敷设设计工作时，结合以往核电设计的经验，首先对采用法国的电缆敷设软件的秦山二期扩建核电厂的相关资料进行整理和吸收，然后有针对性地开展工作的。

2.1 资料收集及消化

在敷设计之前，首先了解敷设计过程中各个阶段相关的标准文件，并收集、消化秦山二期扩建工程电缆敷设设计的相关资料，明确核电厂电缆敷设设计的具体要求、工作内容及设计方法等，为开展后期设计工作做好技术准备。同时要掌握秦山二期工程和福清核电厂在布置上的差异，进而考虑可能引起的电缆桥架和设备布置的一些相关变化。

2.2 电缆桥架网络建模

电缆敷设于电缆通道上，核电厂的电缆通道主要是由电缆主、次桥架（包括梯架和托盘）组成。创建电缆敷设网络的第一步就是在软件数据库中建立电缆桥架通道的数据模型。在实际中，电缆桥架通道是由若干桥架段部件组成，这些桥架段包括：直通、平面弯通、立面弯通、三通、四通、变径、调高片和调角片等。首先建立一个桥架段部件表，桥架段部件表中每一条记录代表一段桥架，其中记录了这段桥架的类型、尺寸等信息。桥架段表作为一个桥架段数据库供组成桥架通道时使用。电缆桥架通道的网络模型包括两部分信息：第一部分记录了桥架通道网络中包含的桥架段；第二部分记录桥架段之间的连接顺序。桥架段之间的连接是用代表端面的桥架段节点表示的，每个桥架段有两个端面节点，端面节点之间的连接代表了桥架段之间的连接，每个桥架段分别命名，例如直通弯通需连接两个端面，三通互连三个端面，四通互连四个端面。

电缆敷设人员首先在数据库中定义机组号、厂房、楼层、房间号、桥架起终点坐标、桥架规格排列方式及孔洞等桥架段的基本数据，然后按照主、次电缆桥架图和全厂区坐标图，将桥架各段的坐标、标高、宽度和连接关系等信息输入软件数据库后，软件可以模拟建立起整个核电厂

的电缆桥架网络，包括厂房内部、全厂区工艺廊道及电缆沟内的电缆桥架网络。核电厂BOP厂房节点、轴线和桥架段示意图如图3所示。

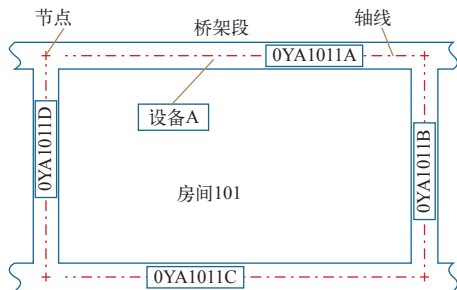


图3 核电厂BOP厂房节点、轴线和桥架段示意图

2.3 电缆清册文件

在电缆路径设计开始前，系统设计人员应向电缆敷设设计人员提供系统的电缆清册文件，清册文件提供参与敷设电缆的基本数据。在电缆清册文件中，基本的电缆数据应包括电缆编号、系列、颜色、型号规格、起终点设备及部件、房间号和电缆路径等信息。此外，对于电缆不经过电缆通道布线的自由电缆，需要直接给出该电缆具体长度。

2.4 电缆路径设计

在建立电缆主桥架和次桥架的网络数据库模型及完成系统电缆清册文件编制的基础上，就可以由电缆敷设设计人员依据系统电缆清册使用软件进行电缆路径设计，这是电缆敷设设计的核心内容。使用该软件进行电缆路径设计的一般步骤如下：

1) 根据电缆敷设的准则，在软件数据库设计软件中输入各系统的基本电缆参数，主要包括电缆的系统号、编号、安全列、颜色、电缆特性代码、起始设备、起始部件、终点设备、终点部件、电缆路径、电缆长度和当前版本等信息。

2) 利用软件中已完成的电缆主桥架和次桥架的网络数据库模型，依据主电缆桥架和次电缆桥架电气施工图及设备布置图，在设计软件中对各系统设备进行定位，即输入各设备的坐标，并设置设备的接近点（距离设备最近桥架的节点），即建立电缆路径中起（终）点设备与最初（最

末)一段主、次桥架之间的连接关系(可以多点连接)。

3) 用自动敷设或半自动敷设进行电缆路径设计。由于自动敷设功能所受局限较大,一般使用半自动敷设功能。

4) 软件可以生成Word格式的电缆敷设文件,

该文件包含电缆的所有基本信息,打印电缆路径清单,该清单和电子文档均需发往现场。

图4所示为使用电缆敷设软件完成电缆敷设的流程,包括电缆桥架网络建模、设备布置和电缆敷设路径设计三部分以及它们之间的相互逻辑关系。

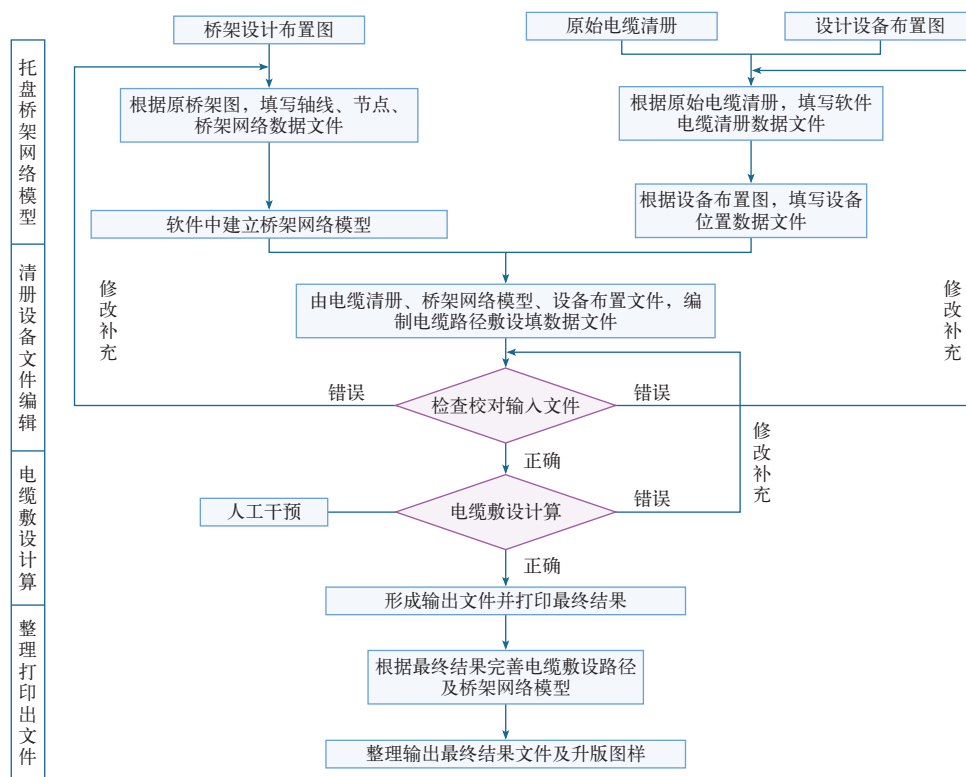


图4 软件敷设电缆工作流程图

3 应用经验及改进建议

核电厂电缆敷设应用的国产化电缆敷设软件借鉴了国外先进的核电厂电缆敷设技术,并总结了我国核电厂电缆敷设经验,由国内软件开发商与中国移动通信集团设计院有限公司联合开发,其适合我国核电厂电缆敷设的现状,经过在核电厂的推广和持续完善,基本满足了我国核电厂电缆敷设需要。通过敷设实践,提出如下经验及改进建议。

3.1 应用经验

1) 准确的信息是桥架网络正确建模及电缆合理敷设的基础。在取得核电厂某子项的电缆清单

和相应的电气施工图样后,迅速、准确及完整地从中提取建立桥架网络模型及电缆敷设所需要的信息,并在此基础上完成符合软件格式要求的节点、轴线、设备及电缆等Excel数据表格编制。这是敷设前期的图样消化、数据准备工作,也是准确进行电缆敷设的关键。

2) 电缆敷设管理人员要有丰富的电缆敷设知识和全局意识,发生问题时要把所有相关方关系梳理清楚。例如施工图进度调整,应征求各个相关方的意见,同时要能主导这些意见,找到折中点,才能确定一个令各方都能接受的进度,在不违反程序的原则条件下,适当增加处理问题的灵活性。

3) 电缆敷设工作要求沟通协作和紧密配合,同时对电缆敷设工作的有效管理也是非常重要的。核电厂电缆敷设设计工作包含很多方面,而且福清核电厂电缆敷设设计工作由几个单位共同承担,这一特殊性更是要求各个设计单位和各专业设计人员的协作与配合。在设计工作中,各专业人员与主管部门紧密配合,同时与业主和总承包单位积极合作,确保了工作的顺利展开和按时完成工作进度。因此,及时掌握各设计院和各工种的设计进度,有效梳理工作流程,简化操作,缩短管理引起的流程过长,推动电缆敷设工作的开展。

4) 要求软件应维护方便,更新及时。核电厂电缆敷设软件是我国自主设计研发的核电厂专用电缆敷设软件,而且其在福清核电厂电缆敷设的应用是试运行,根据设计人员以往的敷设工作经验,要求开发商专门派驻了软件维护人员,以便于设计人员在电缆敷设过程中遇到的问题能够积极与软件开发商讨论协商,及时得到解决,满足了设计工作的需要。同时设计人员总结提出的一些软件合理的改进意见,软件开发商也会听取并及时更新升级软件,以减轻设计人员的数据处理量和工作量,提高了工作效率,实现电缆敷设的最优化、标准化。

5) 根据核电厂电缆敷设实际情况,要求在软件中增加了联网功能。该软件基于服务器/客户端工作方式,所有的数据处理在服务器上运行,各台客户端计算机可作为多用户和服务器交互的界面,并且随着计算机网络飞速发展,开发商把各设计人员的客户端通过网络与服务器连接在一起,形成一个电缆敷设的局域网,极大方便了设计人员的工作,提高了管理水平。

6) 降低工程成本,满足工程需要。电缆敷设软件是基于核电厂设计需要,与国内专业软件公司联合开发的,极大地减少了购买及维护软件上的成本,并且通过福清核电厂电缆敷设的试运行,使整个电缆敷设工作更顺利,符合核电厂设计要求。

3.2 改进建议

该软件毕竟是我国首款核电厂电缆敷设软件,存在不足之处是在所难免的,针对软件在实际电缆敷设应用中的不足,今后该软件的发展方向是:

1) 根据设计人员的需要增加一些必要的检错、报警等提示信息,以便提醒设计者及时注意。

2) 如果条件允许可增加还原功能,此功能能使电缆敷设设计中的每一步修改操作可撤销,而且一旦发生误操作,可以恢复到原来的状态,避免不必要的工作。

3) 根据现场的施工,增加相似路径电缆筛选的功能,从而有利于提高施工中安装电缆的效率。

4) 目前该软件为二维软件,把软件升级为三维软件能使设计人员从空间上更加形象感受到桥架网络及电缆路径,也可避免设计中出现的不同桥架之间交叉及电缆敷设路径设计中的跃层现象。因此,集敷设、采购和施工调试等于一体的大型综合三维电缆敷设软件将是今后核电厂电缆敷设的发展方向。

4 结束语

通过该软件在核电厂的电缆敷设设计实践,完成了电缆敷设设计工作,并且验证了我国自主研发的电缆敷设设计软件是满足我国核电厂电缆敷设需要的。今后通过软件开发公司的积极合作,必将能更加完善该软件功能,提高效率及数据处理能力,从而更好地为我国的核电厂设计服务。

参考文献

- [1] 陈智,游建伟.秦山核电二期工程核岛电缆敷设设计实践[J].核动力工程,2003,24(S1):201-203.
- [2] 马相坤.电站电缆敷设模拟系统软件介绍[J].电力建设,2002,23(5):53-55.
- [3] 董宇,白歌乐,曹晓宇.三维电缆敷设软件的开发与应用[J].内蒙古电力技术,2008,26(2):39-42.

(收稿日期:2017-05-08) EA