

doi: 10.7690/bgzdh.2023.12.006

图形化网络图流程设计与计算软件

李岩, 程龙, 解维奇, 林骏茹

(航天工程大学宇航科学与技术系, 北京 101416)

摘要: 为实现便捷高效的工作流程辅助设计和参数优化, 针对双代号网络图, 设计箭线、节点等图形元素参数配置的面向对象类型和图形化编辑界面, 在用户编辑完成网络图形的同时自动生成图形元素相互关系模型。运用拓扑遍历方式自动判断网络图规范性, 计算关键路径和时间参数, 为用户优化工作流程提供便利工具。结果表明, 该设计能够为多领域工作流程优化提供辅助。

关键词: 双代号网络图; 关键路径; 网络计划

中图分类号: V41 **文献标志码:** A

Graphical Network Diagram Workflow Design and Calculation Software

Li Yan, Cheng Long, Xie Weiqi, Lin Junru

(Department of Aerospace Science and Technology, Space Engineering University, Beijing 101416, China)

Abstract: In order to realize convenient and efficient workflow aided design and parameter optimization, the object-oriented type and graphical editing interface for parameter configuration of graphic elements such as arrow lines and nodes are designed for the activity-on-arrow network diagram, which can automatically generate the relationship model of graphic elements while the user edits the network graph. Topology traversal is used to automatically determine the standardization of the network diagram, calculate the critical path and time parameters, and provide a convenient tool for users to optimize the workflow. The results show that the design can provide assistance for multi-domain workflow optimization.

Keywords: double-code network diagram; critical path; network planning

0 引言

用绘制网络图的方式进行流程设计已经成为多领域任务管理和优化的有效途径。计划评估和审查技术(program evaluation and review technique, PERT)网络分析法就是利用网络图分析制定计划以及对计划予以评价的技术^[1-3]。它能协调整个计划的各项工序, 合理安排人力、物力、时间、资金, 加速计划的完成。在现代计划的编制和分析手段上, PERT 被广泛使用, 是现代化管理的重要手段和方法^[2]。目前, AOE(activity on edge network)网络图(又可称为双代号网络图)是较为常用的 PERT 分析形式。它是用圆圈和有向箭线表达计划所要完成的工作及其先后顺序和相互关系而构成的网状图形^[4-5]。

现有技术中, AOE 网络图的计算和绘制理论比较成熟, 但缺乏有效的图形化编辑管理和自动化参数计算工具。常用图文编辑软件如 Microsoft Word、Excel、Visio 等, 能够绘制网络图的箭线、节点以及标注工序名称参数, 实现 AOE 网络的图形化展

示, 但不能根据图形结构自动计算关键路径、工序时间等参数, 也无法自动判断图形是否符合绘制规则; 也有部分网络图专用软件如亿图、梦龙等^[6-8], 提供了较为固定的图形化编辑界面, 可以实现部分参数的自动计算, 但图形编辑方式不够灵活, 表现形式不够直观, 操作过程较为复杂, 难以满足高效灵活的流程辅助设计需求。为满足航天测试发射、工业制造生产等系统组成复杂、工序关系多样的工作流程管理与优化需求, 笔者设计便捷的图形化编辑功能, 实现工序参数自动计算, 方便了工作流程设计与管理, 提高了工作效率。

1 图形化网络图软件关键功能设计

如图 1 所示, 在 AOE 图中, 有向箭线表示工作, 箭尾表示工作的开始, 箭头表示工作的结束。箭头和箭尾衔接的地方画上圆圈并编上号码, 用箭头与箭尾的号码 $i-j$ 作为这个工作的代号。



图 1 AOE 网络图(或称双代号网络图)

收稿日期: 2023-08-10; 修回日期: 2023-09-09

第一作者: 李岩(1981—), 男, 河南人, 博士。

为实现便捷高效的工作流程辅助设计和优化，设计一种针对 AOE 网络的图形化编辑方法和工具。针对 AOE 网络图，设计了箭线、节点等图形元素参数配置的面向对象类型和图形化编辑界面，在用户编辑完成网络图形的同时自动生成图形元素相互关系模型，自动判断网络图绘制是否规范，根据图形结构和工序配置自动计算关键路径和时间参数，为用户优化工作流程提供便捷高效的辅助手段。

为实现上述目的，笔者提出图形化网络图流程设计与参数计算方法，运用 C++ 语言实现，如图 2 所示。

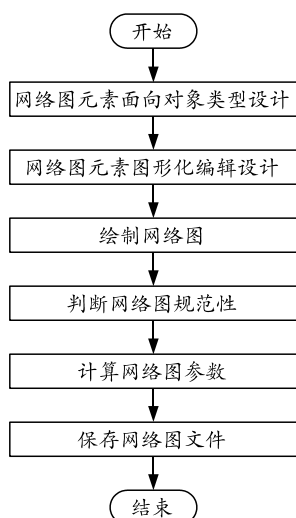


图 2 图形化网络图流程设计步骤

1.1 图形元素的面向对象类设计

设计 CGraphLine 类，表示和记录箭线参数及操作。主要参数包括：CGraphNode 类的箭线开始节点和终止节点，工序名称、负责人、操作人员、装备、地点等属性字符串，浮点型的工序工时、最早开工完工时间、最迟开工完工时间等时间参数，起始点位置、线型（实线表示实工序、虚线表示虚工序）、颜色、粗细等位置和状态的显示信息。主要操作函数包括：绘制箭线，属性设置和读取，箭线分段，起止点和中间点设置和读取，自身位置移动、设置和判断，箭线存取串行化操作等。

设计 CGraphNode 类，表示和记录节点参数及操作。主要参数包括：COBArray 集合类记录输入和输出该节点的箭线集合，节点名称属性字符串，节点 ID，浮点型的节点事件最早和最迟时间等参数，节点位置、线型、颜色、箭线连接点等显示位置和状态的信息。主要操作函数包括：绘制节点，属性设置和读取，自身位置移动、设置和判断，箭线连接位置判断和记录，节点存取串行化操作等。

1.2 箭线、节点的图形化编辑方法

如图 3 所示，运用鼠标光标绘制箭线和节点图形，鼠标状态包含：正常状态、节点绘制状态、实箭线绘制状态和虚箭线绘制状态。



图 3 菜单栏和工具栏鼠标状态选择

1) 正常绘制状态：鼠标指针正常完成点击、选择等功能。

2) 节点绘制状态：如图 4 所示，鼠标指针变为节点绘制状态，鼠标光标变为图中形状，此时点击绘图视图区，可直接绘制节点，节点编号自动递增，也可由用户按需设置。双击选中状态下的节点，弹出节点属性设置对话框，可进行参数设置，如图 5 所示。



图 4 节点绘制状态下的节点和光标

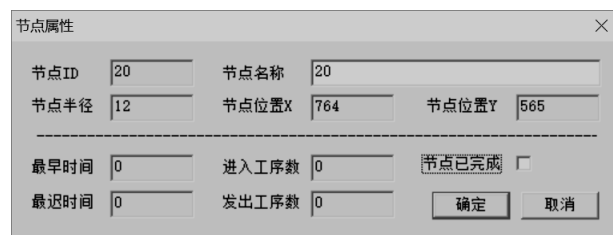


图 5 节点属性设置

3) 实箭线绘制状态：鼠标指针变为实箭线绘制状态，鼠标光标变为如图 6 所示实线箭线。此时单击鼠标左键点击绘图视图区，可首先绘制箭线起点；然后拖动鼠标光标至下一点并单击鼠标左键，可获得箭线分段点，如此往复，可获得多个箭线分段点；绘制终点时，拖动鼠标光标至所需箭线终点，双击鼠标左键，完成箭线终点绘制。可继续按照上述步骤绘制其他箭线。默认状态下，箭线上方和下方分别显示工序名称和时间，位于箭线中段。显示状态可由用户按需更改。当鼠标光标位于箭线直线部位时，按下鼠标左键，可整体拖动箭线。鼠标光标位于箭线分段端点部位时，按下鼠标左键可拖动端点移动，调整箭线形状。独立的箭线在选中状态下，起点和终点为绿色圆形点，中间分段点为绿色方形点。箭线连接至节点时，连接的起点或终点变为红色圆形点。双击选中状态下的箭线，弹出工序属性设置对话框，可进行参数设置，如图 7 所示。

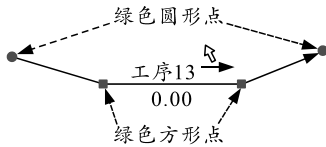


图 6 实箭线绘制状态下的实箭线和光标

图 7 箭线工序属性设置

4) 虚箭线绘制状态: 鼠标指针变为虚箭线绘制状态, 鼠标光标变为如图 8 所示虚线箭线。绘制方法、状态显示、拖动修改和属性设置操作与实箭线相同, 不同的是所绘制线型为虚线。

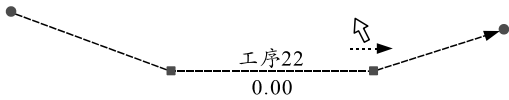


图 8 虚箭线绘制状态下的虚箭线和光标

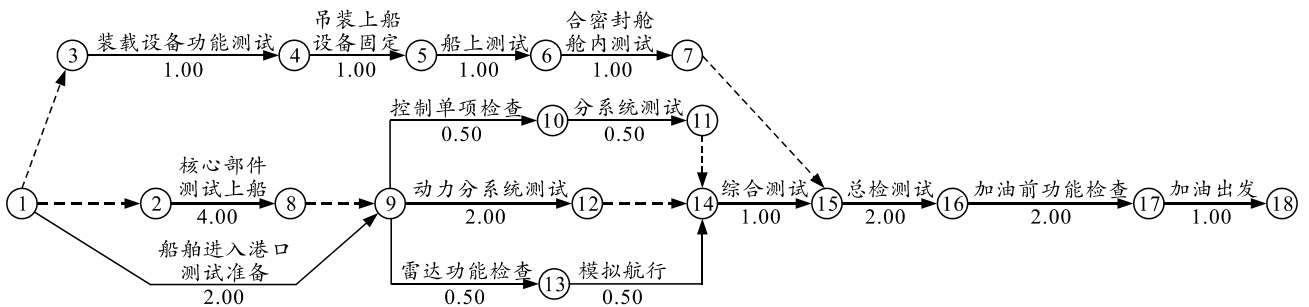


图 10 网络图流程设计实例截图

网络图绘制完毕后, 运用拓扑排序和算法对绘制好的网络图进行规范性检查。主要判断以下内容:

- 1) 节点和箭线都必须有相应箭线和节点与之连接, 不存在无任何连接的孤立节点和孤立箭线;
- 2) 网络图中不能出现环路;
- 3) 网络图中有且只有一个起点和一个终点;
- 4) 一条箭线不能连接同一节点;
- 5) 两节点间只能有一条箭线。

若不满足上述规范系统将给出提示, 并设置出

2 网络图规范性判断

绘制网络图, 判断网络图的规范性。绘制箭线和节点, 并将其组合为网络图。

网络图的绘制主要通过箭线起止点和相应节点的连接操作完成。用鼠标拖动箭线起止端点, 当到达节点圆周附近时, 箭线的绿色圆形端点变为红色时表示连接完成, 如图 9 所示。每个节点轮廓的一周(360°), 有 8 个相隔 45°的部位可以连接箭线。连接成功的箭线可以和节点一同拖动, 改变位置。

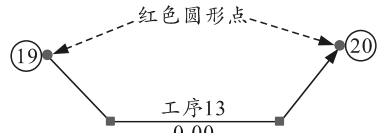


图 9 箭线与节点连接

连接所需箭线和节点构成网络图, 如图 10 所示。网络图中, 箭线和节点的连接关系记录在箭线类 CGraphLine 和节点类 CGraphNode 对象的相应参数中。箭线和节点连接的同时, 箭线类 CGraphLine 对象的节点类记录变量将保存箭线起始点和终止点连接的节点对象, 而节点类 CGraphNode 对象的箭线集合类将添加输入和输出该节点的箭线类对象。绘图连接操作完成的同时, 构建节点和箭线的连接关系, 生成网络图的结构模型。若断开连接, 则节点和箭线类对象中相应的连接关系记录参数值将被删除。

错图形元素显示为红色。判断全部合规后可进行网络参数计算。

3 网络图参数自动计算

根据规范的网络图计算关键路径和时间参数, 并生成报表。

计算时, 系统可自动生成网络图中的节点拓扑编号, 使箭线的终点节点编号大于起点节点编号。根据拓扑排序进行关键路径和时间参数计算。计算步骤如下:

参数设置：箭线工序开始的最早时间 $e(i)$ ，箭线工序开始的最晚时间 $l(i)$ ， $e(i)=l(i)$ 的工序为关键工序，节点事件开始的最早时间 $ve(i)$ ，节点事件开始的最晚时间 $vl(i)$ 。设箭线工序 ai 由 $\langle j, k \rangle$ (即从顶点 j 到 k) 表示，其持续时间记为 $dut(\langle j, k \rangle)$ ，则：

$$e(i)=ve(j); l(i)=vl(k)-dut(\langle j, k \rangle).$$

求 $ve(i)$ 和 $vl(j)$ 分 2 步：

1) 从 $ve(j)=0$ 开始向前递推。

$$ve(j)=\text{Max}\{ve(i)+dut(\langle i, j \rangle)\}; \langle i, j \rangle \in T, 2 \leq j \leq n.$$

式中 T 是所有以 j 为起点的箭线的集合。

2) 从 $vl(n)=ve(n)$ 开始向后递推。

表 1 工艺流程案例参数(总工时=12.00)

序号	起止节点	工序名	工时	最早开工	最迟开工	最早完工	最迟完工	总时差	单时差	关键工序
1	1...>2	工序 19	0	0	0	0	0	0	0	是
2	1...>3	工序 18	0	0	3	0	3	3	0	-
3	1...>9	船舶进入港口测试准备	2	0	2	2	4	2	2	-
.....										

3) 以文件形式保存网络图极其参数设置，便于调用、比对和优化。

如图 11 所示，网络图可存储为“*.cpm”文件，

$vl(i)=\text{Min}\{vl(j)-dut(\langle i, j \rangle)\}; \langle i, j \rangle \in S, 1 \leq i \leq n-1.$ 式中 S 是所有以 i 为终点的箭线的集合。

求关键路径：根据各顶点的 ve 和 vl 值，求每条箭线(活动)的最早开始时间 $e(s)$ 和最晚开始时间 $l(s)$ ，其中 $e(s)=l(s)$ 的为关键工序。关键路径上的箭线和节点在图中变为加粗线条显示。计算完成的各节点和箭线的时间参数保存至相应对象类的参数中，可通过节点和箭线属性对话框查看，也可生成报表查看。该方法实现了图形箭线与工序参数的自动关联，为工作流程管理与优化提供量化工具。

时间参数和关键路径计算结果生成如表 1 所示。

记录图形元素结构关系、显示状态等信息。采用多文档结构模板，可同时打开多个网络图文件开展比对和修改操作。

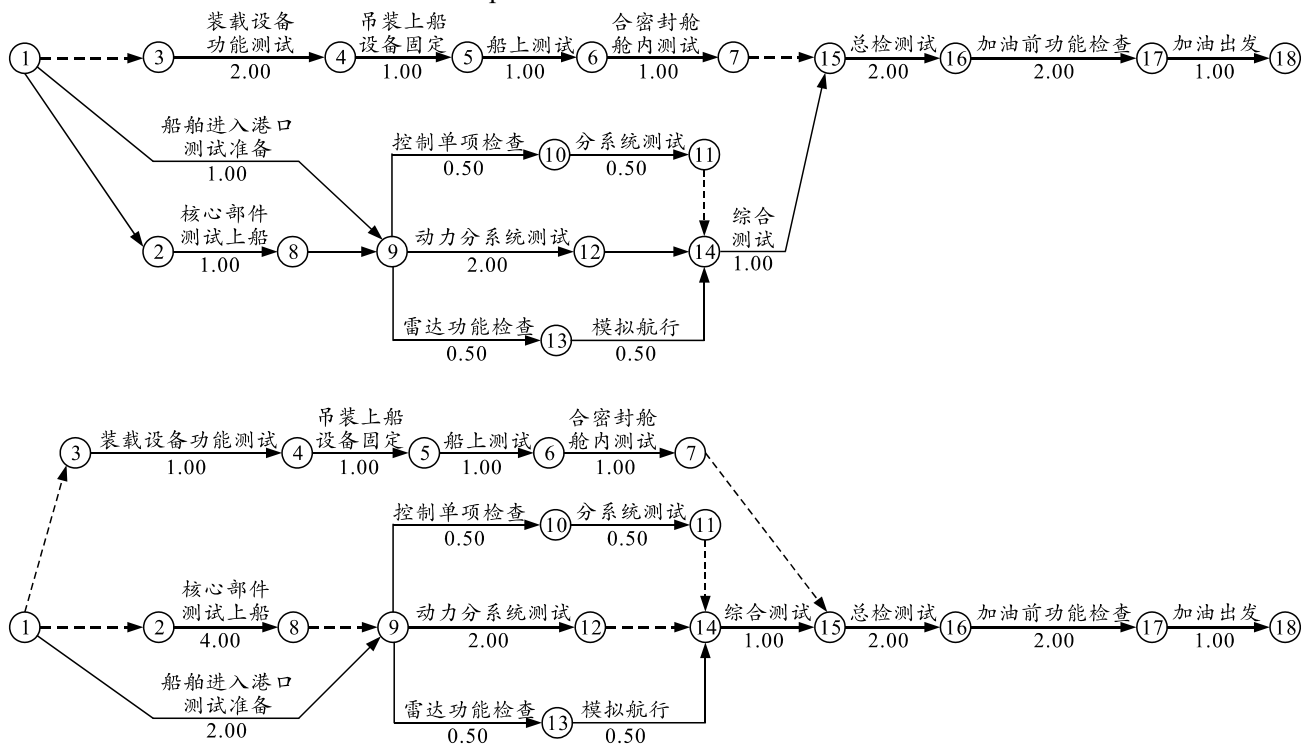


图 11 多网络图文件对比分析截图

4 具体应用举例

为使本文中的目的、技术方案和优点更清楚了，下面结合具体实施方式并参照附图进一步说明。

流程图绘制实例：自动化船舶出航前准备工作流程。

1) 创建节点。

双击程序文件 HTCPM.exe 打开，新建任务，单击鼠标右键弹出快捷菜单选择“节点”，点击空白处创建了 2 个节点 1、2，如图 12 所示，单击鼠标右键选择“正常”即可结束节点创建。

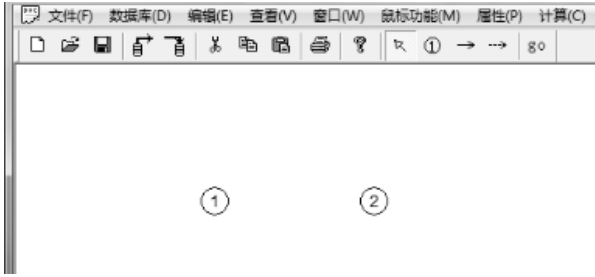


图 12 创建节点

2) 创建箭线工序。

单击右键，在快捷菜单中点击“实箭线”创建工序，在工序上双击鼠标左键弹出工序属性设置窗口，可以对工时、工序名称、显示位置等项目进行设置。单击鼠标右键选择“正常”即可结束工序创建。

3) 连接节点和箭线。

选择箭线出现 2 个端点，分别将 2 个端点拖至节点的连接点处进行连接，箭线端点变红表示连接成功。如图 13 所示。可以调节节点和工序的位置使流程图更加美观。

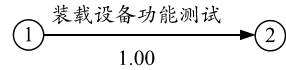


图 13 节点工序连接

4) 网络图绘制，规范性判断。

按照步骤 1)、2)、3) 的方法完成流程图的其他部分的绘制，如图 14 所示。

计算网络图参数前，进行网络图规范性判断。当出现未连接的工序或其他不规范现象时，系统给出提示并标明出错位置，如图 15 所示。

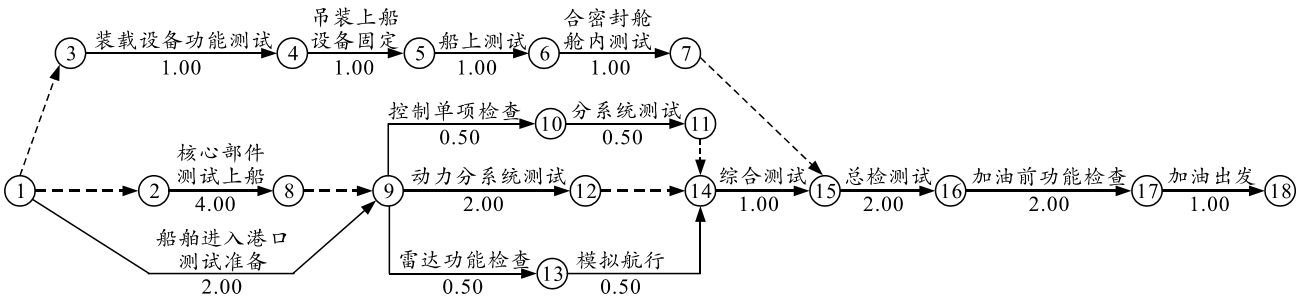


图 14 自动化船舶出航前准备工作流程网络图

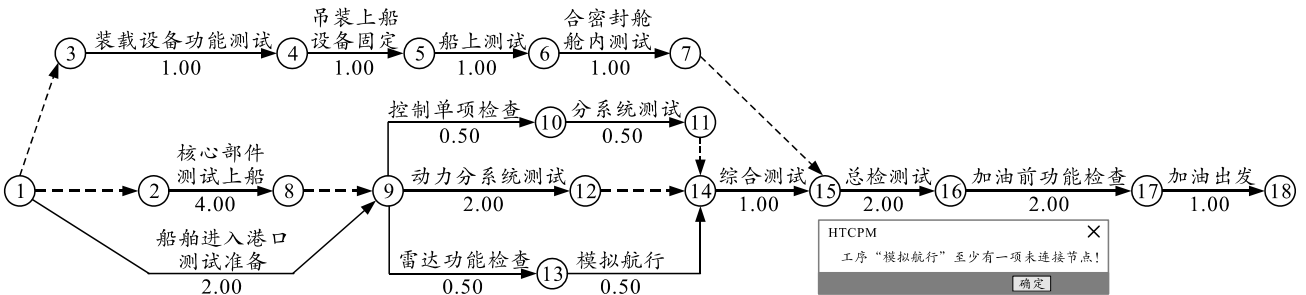


图 15 系统提示

5) 网络图关键路径和时间参数计算。

当流程图绘制完成后，单击“计算”菜单栏下属于的“AOE 时间参数计算”，若网络图不规范，系

统会自动提示；若网络图合规，则自动进行时间参数计算，并在原网络图中显示出关键路线，即粗线表示的路径，如图 16 所示。

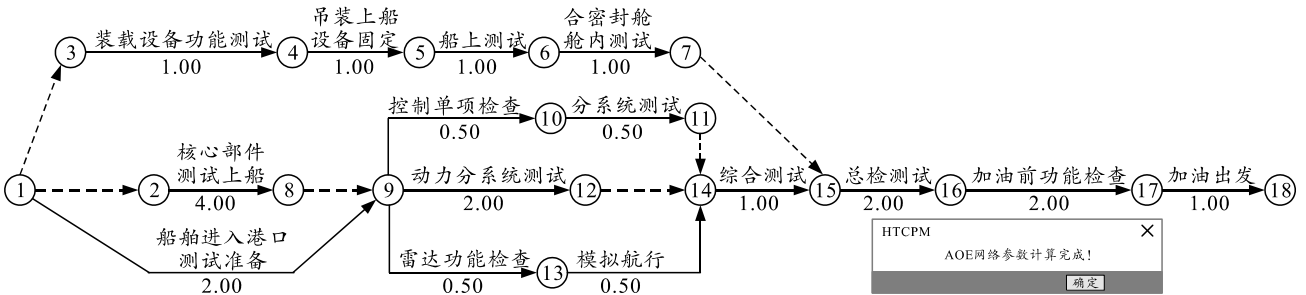


图 16 AOE 时间参数计算完成

计算完成的各节点和箭线的时间参数保存至相应对象类的参数中，可通过节点和箭线属性对话框

查看，也可生成报表查看，如表 2 所示。