

光伏电站阵列单元优化设计软件的开发与实现^①

王昊轶¹, 郭志彤², 王一波¹, 李健¹

¹(中国科学院电工研究所 可再生能源发电系统研究部, 北京 100190)

²(辽宁省电力有限公司 发展策划部, 沈阳 110006)

摘要: 针对我国光伏电站工程设计过程中如何提高阵列单元设计效率的实际问题, 研究了通过开发计算机软件来解决这一问题的方法, 并详细论述了该软件的设计与实现过程. 通过对光伏发电系统设计过程的分析, 确定了软件的功能定位及其主要功能, 采用面向对象的设计方法完成了软件设计, 在 Visual C++2010 环境下完成软件的开发. 该软件通过工程设计人员的试用, 具备较好的人机界面, 将设计人员从繁重的工程计算中解脱出来, 大大的提高了设计效率.

关键词: 光伏发电系统; 计算机辅助设计; 光伏电站设计

Developing of PV Plants Array Unit Optimization Design Software

WANG Hao-Yi¹, GUO Zhi-Tong², WANG Yi-Bo¹, LI Jian¹

¹(Institute of Electrical Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

²(Liaoning Electric Power Company Limited, Shenyang 110006, China)

Abstract: This paper discussed the design and implementation of PV array design software in detail. By the analysis of photovoltaic power generation system design process, it determined the function orientation and the main function of software. The software was designed with the help of the object-oriented design method. Under the environment of Visual c++2010, it was completed. The software has the good man-machine interface and greatly improves the design efficiency.

Key words: PV system; CAD; PV design

1 引言

随着光伏组件成本的下降及光伏上网电价的调整, 光伏发电在我国能源结构中的比例逐渐加大, 在我国西部太阳能资源一类地区正在建设容量在几十兆瓦及以上的大型光伏电站. 一个大型光伏电站通常由若干方阵组成, 每个方阵由若干阵列单元组成, 因此光伏阵列单元是光伏电站的基本组成单元, 也是工程设计人员进行电站设计时的基本设计单元^[1-3]. 光伏阵列单元的设计是否合理, 直接影响整个电站的运行性能. 但是光伏阵列单元的设计需要综合考虑天文、气象、电气、机械等多领域的计算, 因此完全凭借设计人员的经验很难达到满意的设计性能.

为了提高工程设计人员的设计效率和电站的设计

性能, 国外学者开发出了一些相关软件如 PVsys, PVsol 等, 文献[4,5]对这些软件的功能进行了介绍. 但是这些软件主要面向欧洲和美国的光伏电站设计, 采用的气象数据和设计规范与我国有所差异. 因此作者通过与我国电站设计工程人员交流沟通, 参考我国电气设计相关标准及文献[1-3,6-8], 完成了大型并网光伏电站工程设计与仿真分析软件. 本文详细论述了该软件中的一个子系统“光伏电站阵列单元优化设计软件”的设计方法和实现.

2 软件的功能定位

大型光伏电站工程设计与仿真分析系统是一套覆盖光伏电站工程设计全过程的大型工程设计软件, 其

① 基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)(2011AA05A303)

收稿时间: 2013-06-25; 收到修改稿时间: 2013-08-14

覆盖了电站设计中资源评估、电站设计、经济评估、运行仿真、建设施工等几个阶段。本文讨论的光伏阵列单元设计软件是该套软件的核心子系统，其在整个软件系统中的定位如图 1 所示。

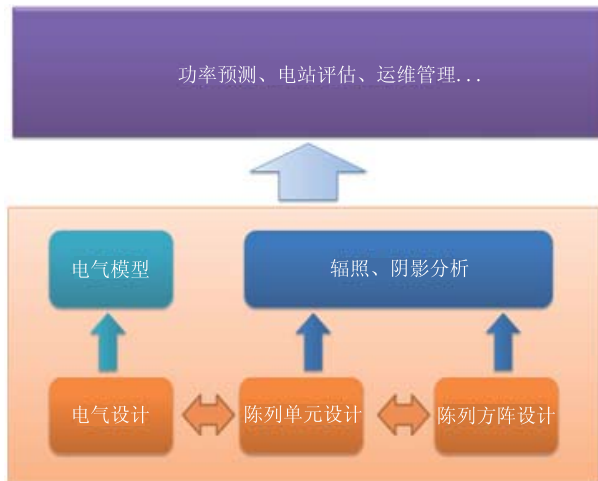


图 1 功能定位

软件为用户提供交互式的阵列单元设计界面和设备数据库访问接口，完成光伏电站阵列单元信息模型的建立。其它软件子系统，使用该软件完成的模型进行相关计算和分析。软件从电气设计软件子系统获得光伏组件与逆变器的组串匹配设计信息，基于此信息完成电气线路的设计；方阵设计软件子系统以该软件设计完成的信息模型为基础，进行电站方阵的设计。各个子系统之间相互指导，进而完成电站的优化设计，形成整个光伏发电系统信息模型。

3 软件功能分析

由 2 可知，光伏电站阵列单元设计软件主要功能是，使设计人员可以在一个交互式的图形环境下完成光伏电站阵列单元信息模型的建立，该模型应该符合电站设计的各种性能指标要求，能够为其它软件子系统的分析计算所使用。因此该软件应具备如下功能。

(1) 阵列采光表面的组件排布设计

在指定功率或面积的约束条件下，根据电气设计方案中选择的组件电气和结构特性，完成组件在采光表面的布局设计。进而得到布局方案、组件数量、采光面积等设计参数。

(2) 光伏组件的布线设计

在(1)的设计基础上，完成光伏组件电缆的连接及

延长线的布线设计。进而得到光伏组件接线方案、电缆长度、电缆型号、阵列单元接线盒位置等设计信息。

(3) 阵列支架的结构设计

结合选择地点的环境参数及支架材质、倾角结构的信息进行固定荷重、风压荷重、积雪荷重等分析，得出较为合理的设计方案。

(4) 阴影遮挡对阵列单元电气特性的影响分析

可对阵列单元采光表面，进行阴影设置，根据不同的阴影覆盖位置和面积，对阵列单元的电气特性进行分析。

(5) 阵列单元的 PV 及 IV 特性分析

根据选定的光伏组件型号和电缆接线方式，给出 PV 和 IV 特性曲线。

4 软件的总体设计

4.1 模块结构设计

本软件采用三层架构设计，将模块按照功能和类型划分为界面交互层、逻辑控制层和数据模型层，如图 2 所示。

界面交互层为用户提供了多样化的数据展示方式和友善易用的人机界面。

逻辑控制层包含了阵列单元设计的业务逻辑。

数据模型层负责保持和维护数据及阵列单元信息模型。

软件的模块结构如图 3 所示。

4.2 静态类图设计

在完成了软件的需求分析和系统的模块结构设计之后，容易采用面向对象的分析法识别出软件中存在的对象，随后通过对这些对象建模便得到了软件的静态结构模型。

图 4 是从本软件众多类中抽取的最能展现软件面貌的几个类，它们各自定义了某一类特定功能的统一接口，再由隐藏在这些类后面的一般类完成预定的功能任务。下面是其中几个类的简单描述：

CML_Manager 类为其他类提供中介服务，使存在关联的类之间能够方便的通信。

CML_ParamFeeder 类维护了电站的信息模型并负责在阵列模型发生变化时将这些变化通知到相关的对象。

CML_Chart/CML_Grid 及 **CML_GraphControl** 类实现了阵列单元

信息模型的可视化.

设计中需要的操作指令.

CML_GraphDesigner 类提供了阵列单元

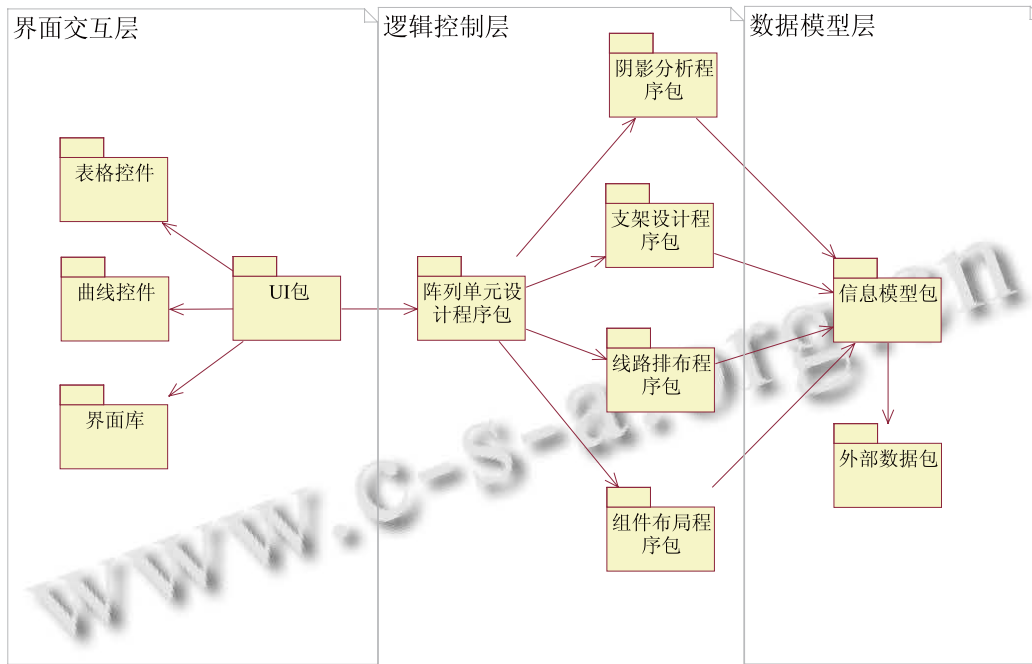


图 2 软件总体架构

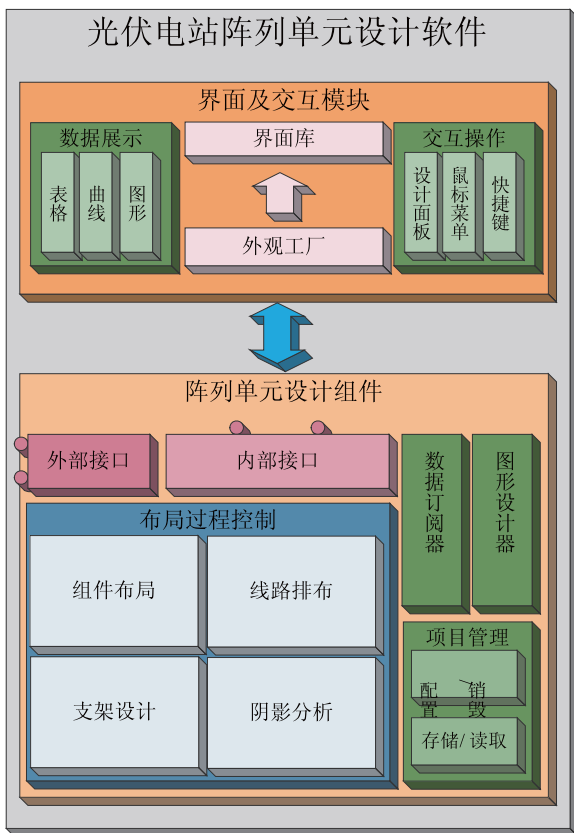


图 3 模块结构图

5 软件的详细设计

5.1 图形模块的状态

阵列单元的设计过程中, 需要根据设计器所处的状态来动态改变设计器的行为和外观. 而如何将设计器不同状态下的行为和外观局部化亦是软件实现的要点之一.

如图 5 所示, 本软件通过状态模式来解决上述问题, CML_GraphControl 类将与设计器状态有关的行为托付给接口类 CML_GraphCtrlState, 再通过实作 CML_GraphCtrlState 相应的子类来实现特定状态的行为, 当设计器状态改变时, 只需引用相应的 CML_GraphCtrlState 子类对象便可以改变设计器的行为和外观.

5.2 光伏组件对象原型

光伏组件的型号总是在运行时刻指定的. 而且一旦确定了组件的型号, 随后创建的组件对象都是根据此型号构造的.

本软件根据特定的组件型号实例化组件原型对象, 令所有的组件均由该原型对象克隆而来. 这样便能方便的创建新组件并且保证所有组件均是相同的.

以下是有关原型构造的代码片段, 任意对象只需

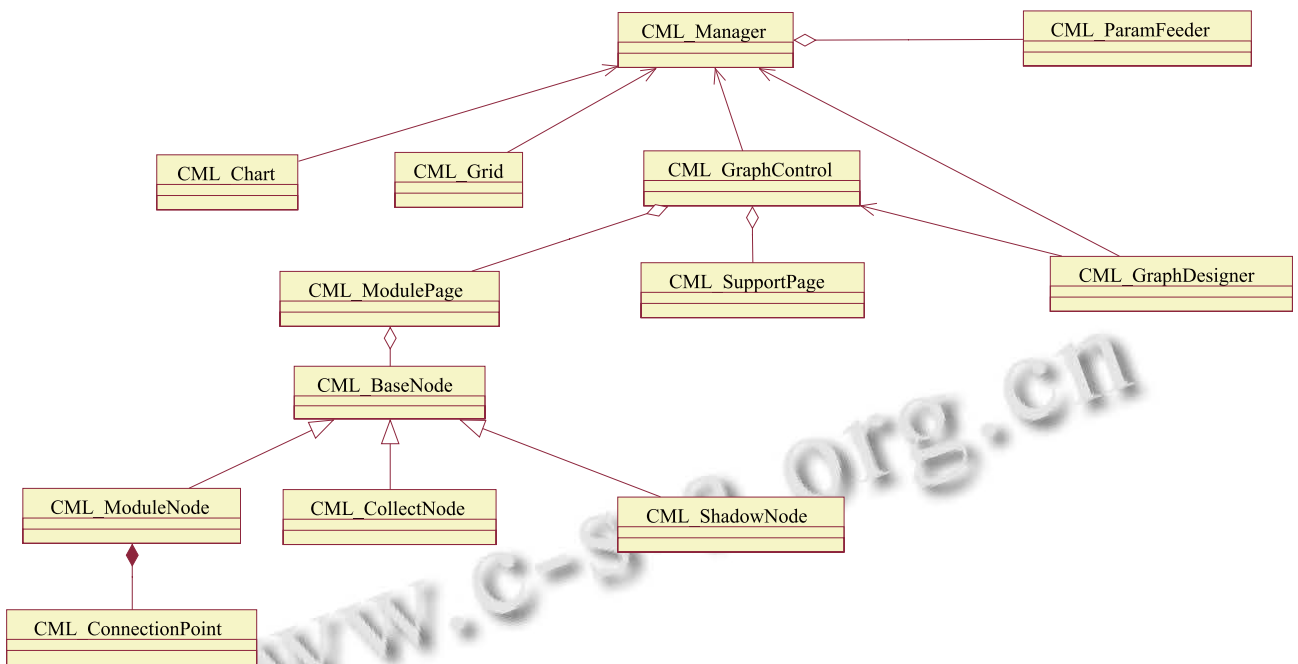


图 4 静态类图

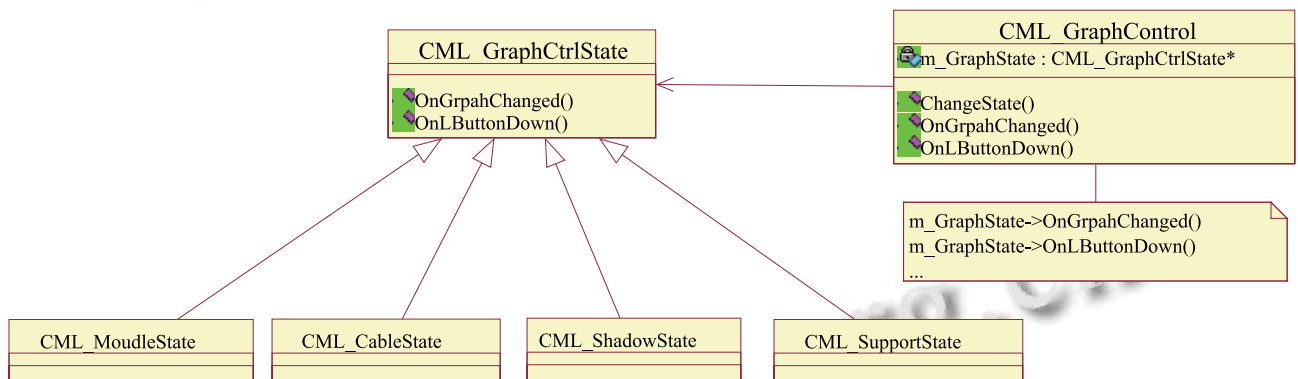


图 5 图形模块的状态模式

调用原型对象的 Clone 方法便能够得到一个和原型一模一样的对象。

```
class CML_ModuleNode{
    CML_ModuleNode(const CML_ModuleNode& Self){
        m_ptLocation = Self.m_ptLocation;
        m_szSize = Self.m_szSize;
        m_strCaption = Self.m_strCaption;
        ...
    }
    CML_ModuleNode* CML_ModuleNode::Clone(){
        return new CML_ModuleNode(*this);
    }
}
```

```
}
}
```

5.3 对象之间的交互设计

为方便分析系统行为，印证和修改系统的静态结构，还需要对系统的动态行为进行建模，限于篇幅本文仅通过时序图列举几个典型的对象动态行为。

为了保证各个子系统的数据一致性，同时节约内存开销。本软件仅为每一个数据维护一份副本，所有需要引用该数据的对象都需要向数据的持有者发出申请。此外，持有数据的对象也可以在所持数据发生变化时主动通知关心此变化的对象。图 6 便展示了数据持有者主动把数据分发给订阅对象的过程。

如图 6, Grid/Chart/GraphObserver 对象的主要任务是展示数据但它们自身并不持有数据, 即它们是数据的请求者, 它们需要向持有数据的 ParamFeeder 对象请求数据. 请求者通过 Attach 操作将自己添加到数据持有者的通知队列中, 当数据变化时(图中 GridObserver 对象调用

了 SetNewParam 方法), 持有者通过 Notify 方法以自身作为参数依次调用通知队列中每一个请求者的 Update 函数, 由 Update 函数完成更新显示内容等工作. 当请求者被析构或是不再需要数据时, 应当调用持有者的 Detach 方法将该名请求者从持有者的通知队列中移除.

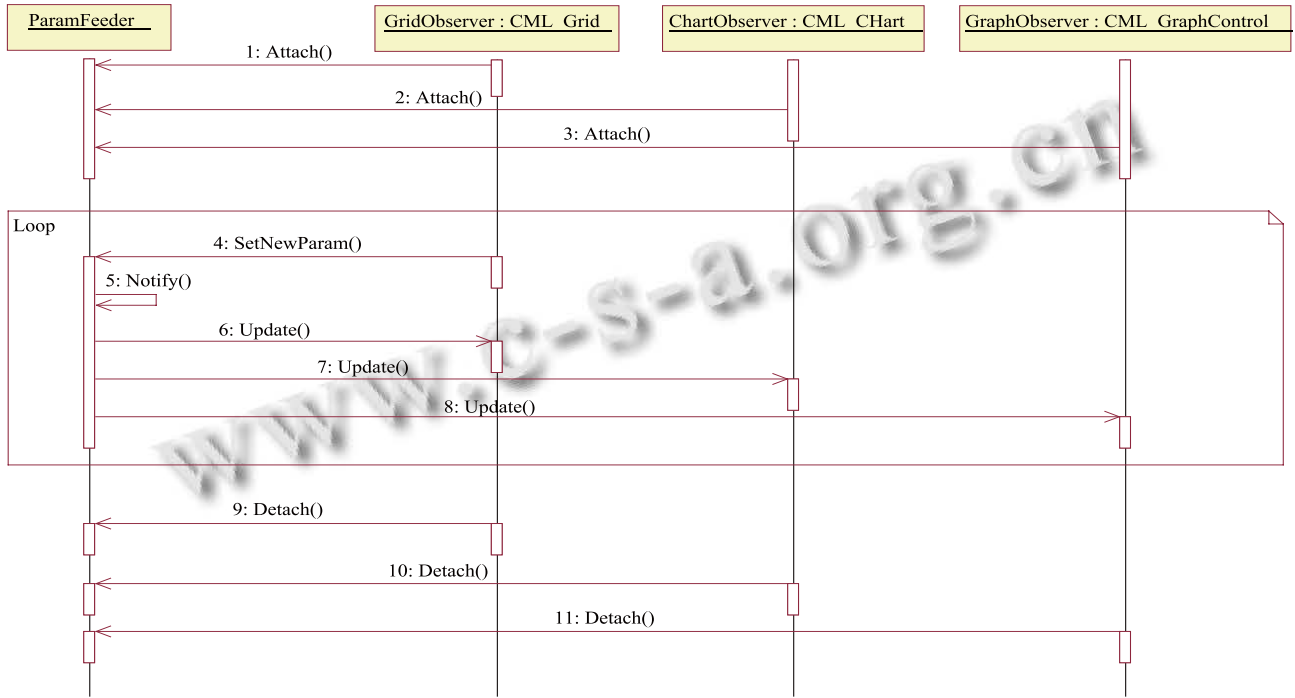


图 6 数据订阅分发时序图

图 7 是“添加组件”操作的时序图. 客户通过调用图形设计器的 AddModule 方法添加组件, 在 AddModule

方法内部经过一系列预定的构建过程后, 图形设计器将构建好的组件对象返回给客户.

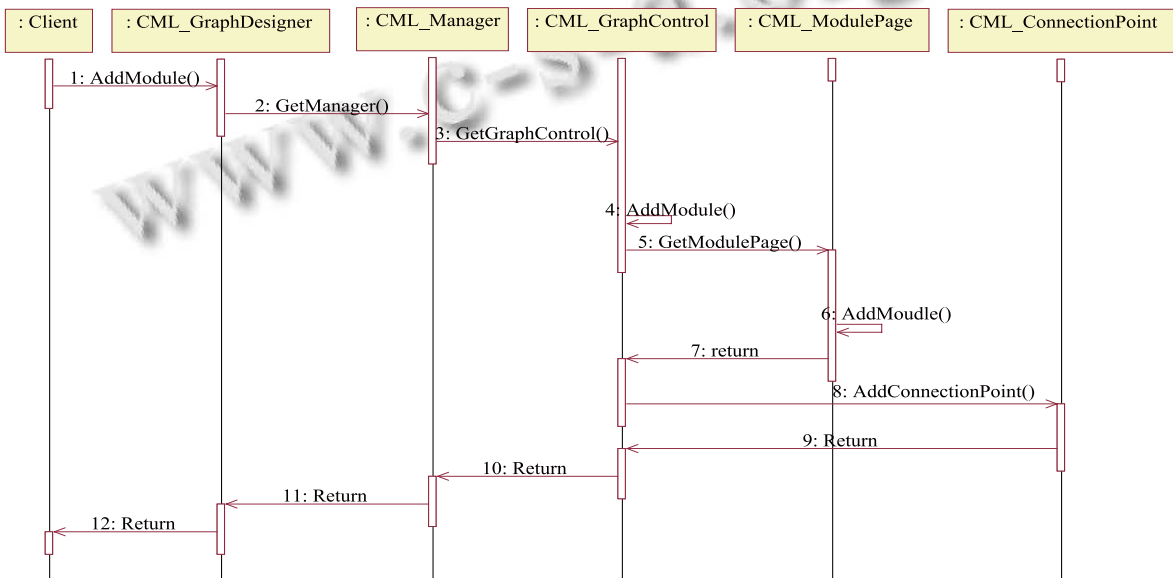


图 7 “添加组件”时序图

6 软件的实现

6.1 光伏组件布局的实现

输入采光面表面积或约束功率值后, 选定电池板的排布方向, 再点击自动布局按钮, 视图区即会显示

按约束排列完成的电池板. 倘若自动生成的布局不够理想, 还可以手动调节电池板的位置、方向、数量或是点击“移除所有”按钮将电池板全部移除再重新布局, 其运行界面如图 8 所示.

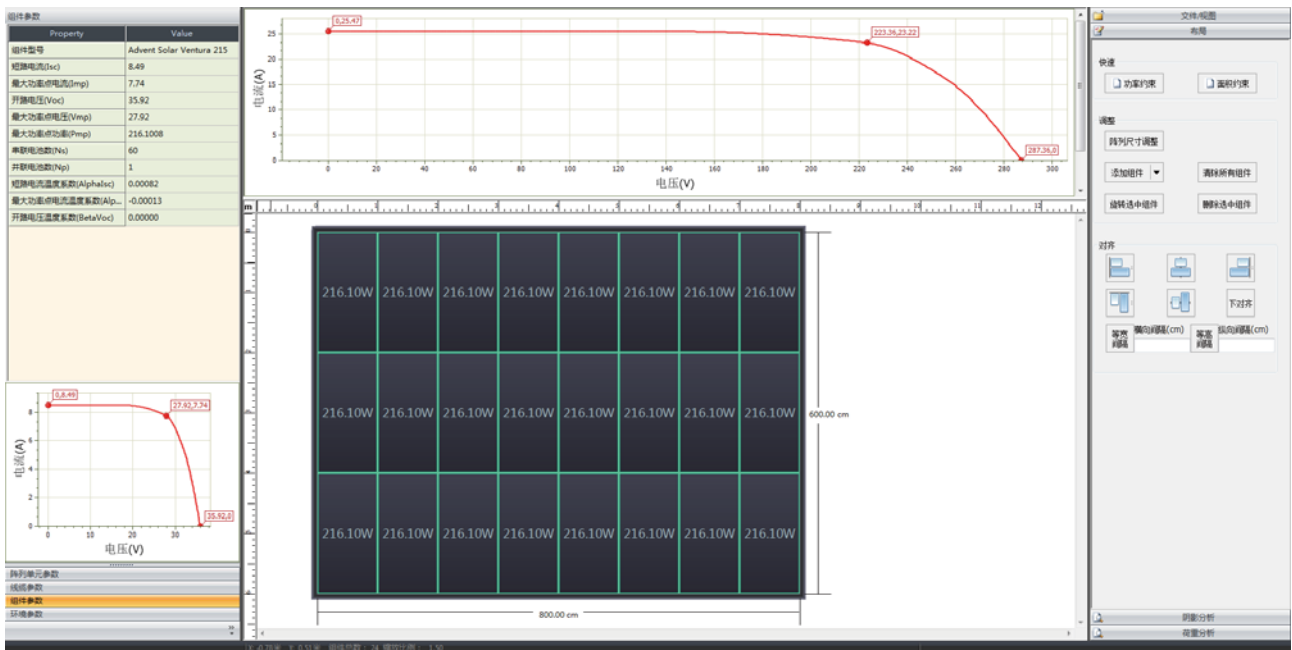


图 8 组件布局模块运行图

6.2 线路排布的实现

在线路排布模式下, 可以模拟真实的布线情景. 使用不同类型的电缆将任意组件互连, 对线端进行汇

扎, 并标记出各组串的正负端点. 左侧的表格中显示各种电缆的实时排布长度等参数, 其运行界面如图 9 所示.

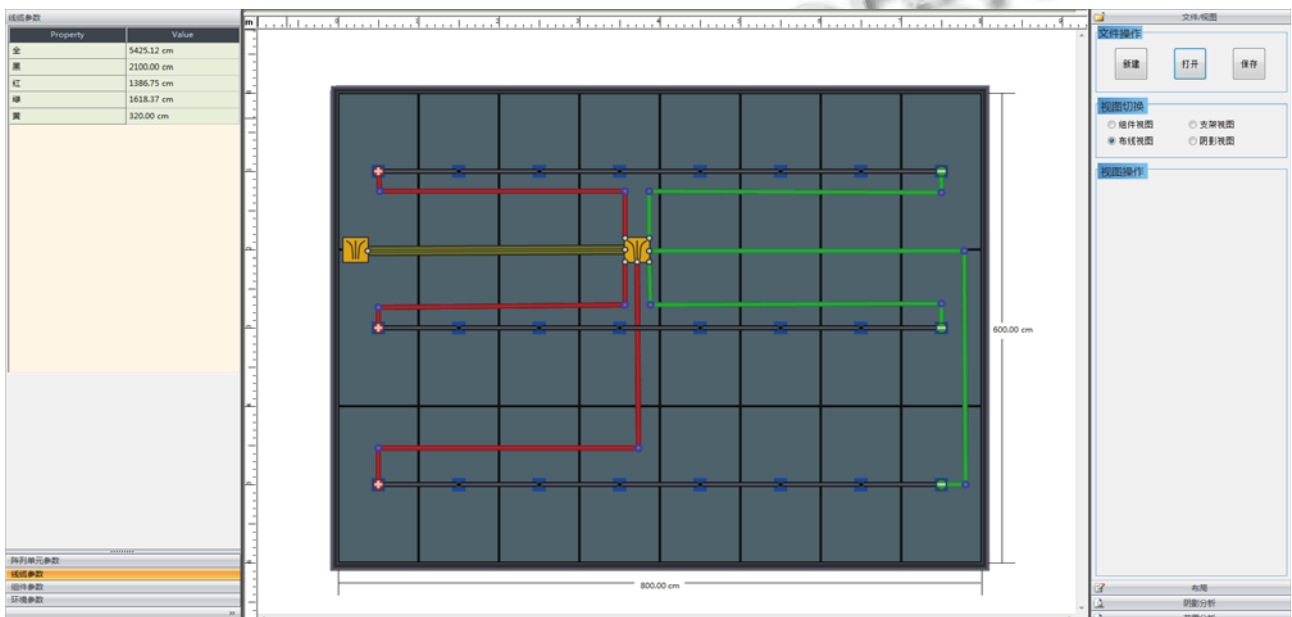


图 9 线路排布运行图

6.3 支架设计的实现

支架视图是模拟光伏阵列单元安放情况的视图, 其中阵列单元采光面的尺寸是由组件布局确定的. 在

支架设计中, 只要对支架的高度、宽度或倾角中的任意一个值进行约束, 便可以得到另外两个参数在此约束下的值, 其运行界面如图 10 所示.

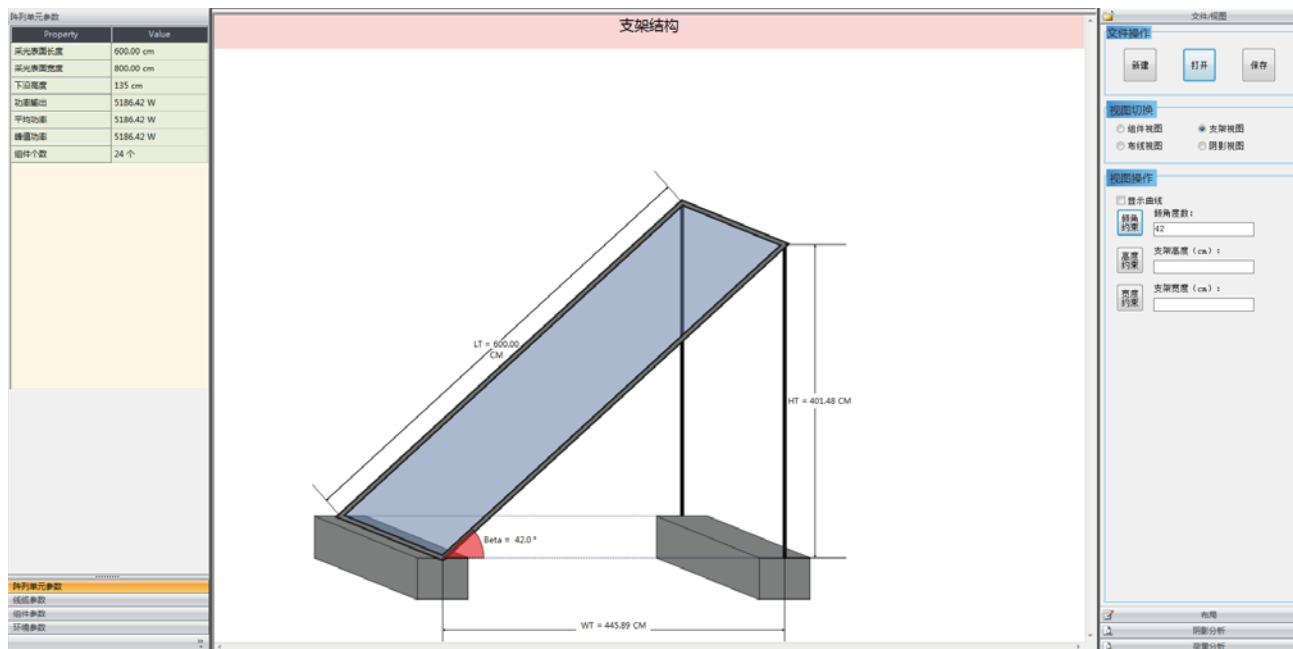


图 10 支架结构设计模块运行图

6.4 阴影遮挡分析的实现

通过鼠标调节阵列单元采光表面的阴影面积和位置,

并将实时的阴影覆盖情况和阵列单元电气特性显示在右侧的表格中, 供设计人员分析, 其运行界面如图 11 所示.

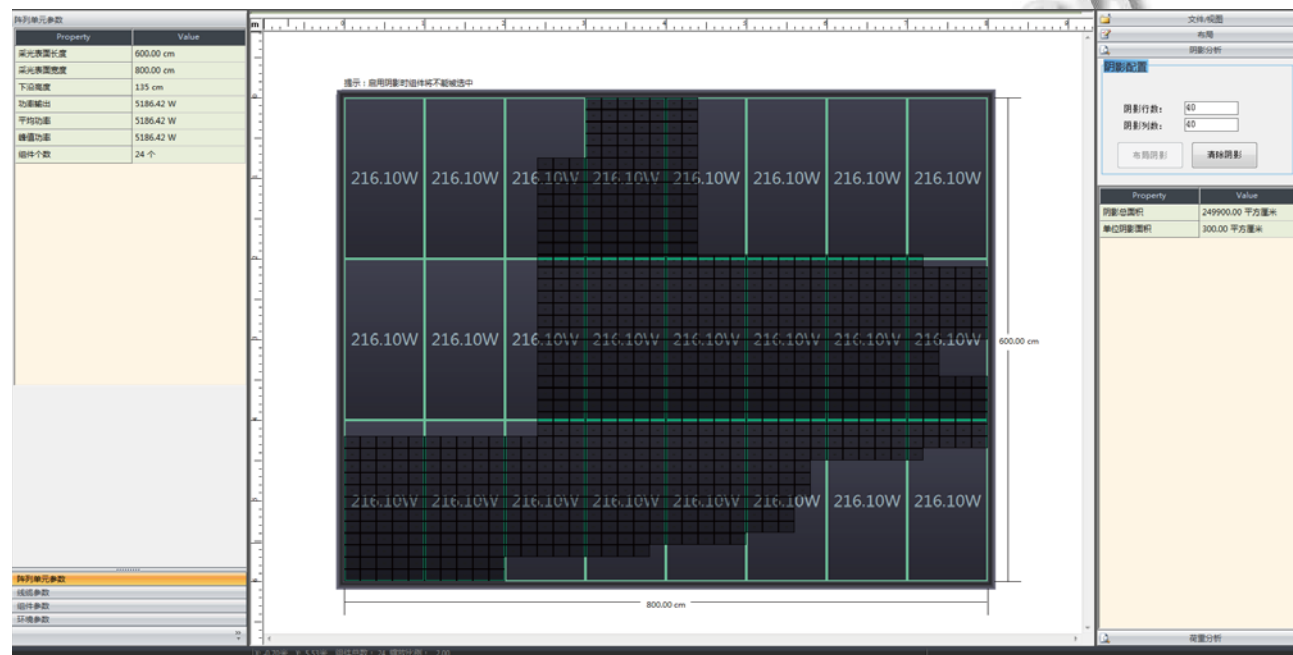


图 11 阴影分析运行图

(下转第 37 页)

RAID2/3/4/5 和 RAID0.

3) RAID+HotSpare 模式从概率角度来看,并不能增加系统的可靠性,只是减少了 RAID 系统平均故障维修时间,但是从运维角度来看,热备盘的增加,非常大的提高了系统的可用性.

4 结束语

本文研究的目的在于通过研究 RAID 系统工作原理,结合可靠性理论,比较系统的给出常见的各种技术方案的可靠性数学模型,并在相同条件下,进行了分析与对比,从可靠性角度出发,对系统的配置给出一定的建议,对 RAID 设备的采购、日常运维具有一定的意义;但是,系统的可靠性是一个非常复杂的问题,不仅仅涉及到硬盘及其组成方式,同时牵涉到 RAID 系统的控制器、操作系统等诸多方面,不同的系统级冗余容错结构具有不同的工作原理、工作特点和故障容忍特性.由于这些冗余结构通常都是与重组、恢复技术结合在一起构成动态冗余结构使用,因此针对具体的 RAID 系统的可靠性分析还应在通用性理论的基础上结合具体情况进行分析,使得其可靠性模型更符合实际情况.

参考文献

- 1 刘军平,周可,雷栋梁,庞丽萍.基于随机理论的 RAID 可靠性仿真方法.计算机研究与发展,2011,48(z1):12-16.
- 2 王新春,洪明.基于单物理硬盘的磁盘阵列研究.楚雄师范学院学报,2010,25(12):48-51.
- 3 葛杰.RAID 应用的性能及可靠性分析.南通职业大学学报,2007,21(4):87-91.
- 4 陈华英.磁盘阵列 RAID 可靠性分析.电子科技大学学报,2006,35(3):403-405.
- 5 章宏灿,薛巍.集群 RAID5 存储系统可靠性分析.计算机研究与发展,2010,47(4):727-735.
- 6 Chen PM, Lee EK, Gibson GA, et al. RAID: high-performance, reliable secondary storage. ACM Computing Surveys, 1994,26(2):145-185.
- 7 Gibson G, Patterson D. Designing disk arrays for high data reliability. Journal of Parallel and Distributed Computing, 1993, 17: 4-27.
- 8 李琼,汪审权,庞征斌,刘光明.高可靠磁盘阵列的设计.计算机研究与发展,2003,20(7):49-51.
- 9 赵亮.高性能磁盘阵列(RAID)关键技术的研究[硕士学位论文].长沙:国防科学技术大学,2002.

(上接第 92 页)

7 总结

光伏阵列单元的设计性能直接关系到整个光伏电站的整体性能.光伏电站阵列单元优化设计软件,为工程设计人员提供了一个交互式的设计平台.设计人员通过该软件完成阵列模型的建立及性能分析,进而实现优化设计,从而保证了整个电站的设计合理性.

参考文献

- 1 李安定,吕全亚.太阳能光伏发电系统工程.北京:化学工业出版社,2012.
- 2 太阳光发电协会.太阳能光伏发电系统的设计与施工.北京:科学出版社,2011.
- 3 Mayfield R. Photovoltaic design & Installation. WILEY Press, 2011.
- 4 周治,吕康,范小苗,等.光伏系统设计软件简介.西北水电,2009,(6):76-79.
- 5 Photovoltaic Power Systems Program-Me. Worldwide overview of design and simulation tools for hybrid PV systems, Report IEA-PVPS T11-01.2011.
- 6 Kerekes T, Koutroulis E. An Optimization Method for Designing Large PV Plants. IEEE Journal of Photovoltaics, 2013, (3).
- 7 Messenger RA, Ventre J. Photovoltaic Systems Engineering. 3rd Ed. CRC Press, 2010.
- 8 Habberlin H. Photovoltaics System Design and Practice. WILEY Press, 2012.