

9-1-2020

## Construction of Virtual Atmospheric Environment Based on MM5 and SEDRIS

Lianlei Lin

*Dept. of Automatic Test and Control, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;*

Ding Wei

*Dept. of Automatic Test and Control, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;*

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

---

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

---

## Construction of Virtual Atmospheric Environment Based on MM5 and SEDRIS

### Abstract

**Abstract:** The new virtual test for virtual atmosphere environment puts forward higher requirements, such as providing complex atmospheric environment which includes a variety of atmospheric parameters and improving usability and reusability of atmospheric environment data. *A method to construct virtual atmospheric environment based on MM5 and SEDRIS was proposed which met the above demands. The original data of complex atmospheric environment in any region and scale was generated by using MM5 model. According to the characteristics as well as the dynamic relationship between time and space of grid of atmospheric data, SEDRIS was selected to regulate appropriate DRM class, SRF model and EDCS dictionary.* The normative of presentation of original data was realized, which generated the virtual atmospheric environment data of STF format conforming to SEDRIS standards, which guarantees high fidelity, usability and reusability.

### Keywords

virtual test, atmosphere environment, MM5, SEDRIS

### Recommended Citation

Lin Lianlei, Ding Wei. Construction of Virtual Atmospheric Environment Based on MM5 and SEDRIS[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(5): 1064-1070.

# 一种基于 MM5 和 SEDRIS 的虚拟大气环境构建方法

林连雷, 丁蔚

(哈尔滨工业大学自动化测试与控制系, 哈尔滨 150001)

**摘要:** 新型虚拟试验对虚拟大气环境提出了更高的要求, 例如提供包含多种大气参数的复合大气环境、提高大气环境数据的易用性及可重用性。针对这些需求, 提出了基于 MM5(The Fifth-Generation Mesoscale Model) 模式和 SEDRIS(Synthetic Environment Data Representation and Interchange Specification) 规范的虚拟大气环境构建方法。利用 MM5 模式, 生成任意地域、任意尺度的复合大气环境的原始数据。根据大气数据网格性的特点及其动态时空关系, 选取 SEDRIS 规范合适的 DRM(Data Representation Model) 类、SRM(Spatial Reference Model) 模板以及 EDCS(Environment Data Coding Specification) 词典, 对原始数据进行了表示方法的规范化, 生成了符合 SEDRIS 标准的 STF(SEDRIS Transmittal Format) 格式的虚拟大气环境数据, 具有逼真度高、易用性强和可重用性高等优点。

**关键词:** 虚拟试验; 大气环境; MM5; SEDRIS

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2015) 05-1064-08

## Construction of Virtual Atmospheric Environment Based on MM5 and SEDRIS

Lin Lianlei, Ding Wei

(Dept. of Automatic Test and Control, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

**Abstract:** The new virtual test for virtual atmosphere environment puts forward higher requirements, such as providing complex atmospheric environment which includes a variety of atmospheric parameters and improving usability and reusability of atmospheric environment data. A method to construct virtual atmospheric environment based on MM5 and SEDRIS was proposed which meets the above demands. The original data of complex atmospheric environment in any region and scale was generated by using MM5 model. According to the characteristics as well as the dynamic relationship between time and space of grid of atmospheric data, SEDRIS was selected to regulate appropriate DRM class, SRF model and EDCS dictionary. The normative of presentation of original data was realized, which generated the virtual atmospheric environment data of STF format conforming to SEDRIS standards, which guarantees high fidelity, usability and reusability.

**Keywords:** virtual test; atmosphere environment; MM5; SEDRIS

## 引言

虚拟试验技术是以建模与仿真技术、计算机网

络通讯技术、可视化与虚拟现实技术为基础, 在虚拟的条件下完成对被试品测试、试验的一类技术<sup>[1]</sup>。随着武器的发展, 大气环境对其影响增大, 制约作用更为突出。立足于此, 在虚拟试验中引入大气环境要素, 更加真实的模拟对大气敏感的试验成员在真实大气环境中的运行状态, 提高虚拟试验对真实作战情景模拟的逼真度和可信度。



收稿日期: 2014-05-05 修回日期: 2014-09-18;  
基金项目: 国家自然科学基金(61201305);  
作者简介: 林连雷(1980-), 男, 山东高唐人, 博士, 副教授, 硕导, 研究方向为虚拟环境建模技术; 丁蔚(1991-), 女, 浙江义乌人, 硕士生, 研究方向为虚拟大气环境建模。

<http://www.china-simulation.com>

• 1064 •

目前,对于单一场的大气环境建模已经有深入的研究,如对于风场的单独研究,有用于飞行实时仿真的微下击暴流建模研究<sup>[2-3]</sup>,大范围区域复杂地形风场建模<sup>[4]</sup>等。另外,还有 Stoelinga 和 Warner 提出来的大气能见度的建模研究<sup>[5]</sup>,沿海地表背景温度场建模<sup>[6]</sup>,土壤-植被混合地温度场建模等各类大气环境要素的建模<sup>[7]</sup>等,这些研究很好的满足了虚拟试验针对某一特定的大气环境因素的需求。随着虚拟试验的发展,对大气环境的仿真提出了更高的要求:(1)提供复合大气环境,许多新型的虚拟试验需要的并不只是单一场的支持,而是包括温度场、湿度场、风场、降水情况等多项因素在内的复合大气环境;(2)提高数据的规范性和可重用性,现在许多大气环境往往针对特定需求开发,其数据格式和访问方法多采用开发者自定义方式,这就使得已经构建好的大气环境很难在其他系统中重用。为此,需要提高大气环境数据表示与交互的规范性,提高大气环境的可重用性。

针对这些新的需求,本文提出一种基于 MM5 (The Fifth-Generation Mesoscale Model)中尺度模型的大气环境构建方法,可生成包括温度场、湿度场、风场和压力场等在内的复合大气环境。另外,为了提高大气环境的可重用性,研究了基于综合环境数据表示与交换规范(SEDRIS, Synthetic Environment Data Representation and Interchange Specification)的大气环境数据表示与交互方法,提高大气环境数据和模型的可信性、互操作性及可重用性。

## 1 基于 MM5 的大气环境建模

从目前国内外发展现状来看,应用较广泛的大气建模方法主要有 3 种方式:(1)理想化模型。建立在大气最基本的理论分析上,并进行数学简化而提出的理想化模型;(2)统计特征模型<sup>[8]</sup>。依循资料收集、资料质量控制和统计建模等过程,基于大量观测资料和观测事实而建立的统计特征模型。(3)数值模型。按照流体力学和热力学定律,进行数值模拟,模拟各类大气过程和现象。目前已研发出的

较为成熟的数值模式有 WRF(Weather Research and Forecast Model System), MM5, RAMS(Region Atmosphere Model System), UKMO(UK Meteorological Office Unified Model)和 ARPS (Advanced Regional Prediction System)等<sup>[9]</sup>。

本文选用 MM5V3.7 为建模工具,它是由美国宾州大学(PSU)和美国国家大气研究中心(NCAR)研制的中尺度非静力动力气象数值计算模式。MM5 基于大气动力学和大气辐射开发,可模拟在全球任意地域、任意尺度的大气环境参数,可模拟风场、湿度场、温度场、气压场、降水量等大气环境基本参数,甚至模拟风暴等强对流天气,广泛应用于多个学科领域<sup>[10-11]</sup>。

MM5 是采用模块化、结构化建模技术而开发的开源软件,具有标准化、模块化及系列化的优点。图给出了 MM5 模式的结构框图,MM5 由 10 个模块组成,其中可分为 3 大部分:(1)模式前处理,包括 TERRAIN, REGRID, RAWINS/LITTLE\_R, INTERPF 模块,进行对地形及气象数据的预处理、质量控制及客观分析,为 MM5 运行提供输入数据;(2)模式主体,即 MM5 模块,用于数值模拟气象过程并得到模拟结果;(3)模式后处理,包括 NESTDOWN, INTERPB, GRAPH, RIP 模块,对模拟结果进行进一步的分析 and 处理,包括诊断和图形输出等功能<sup>[12]</sup>。

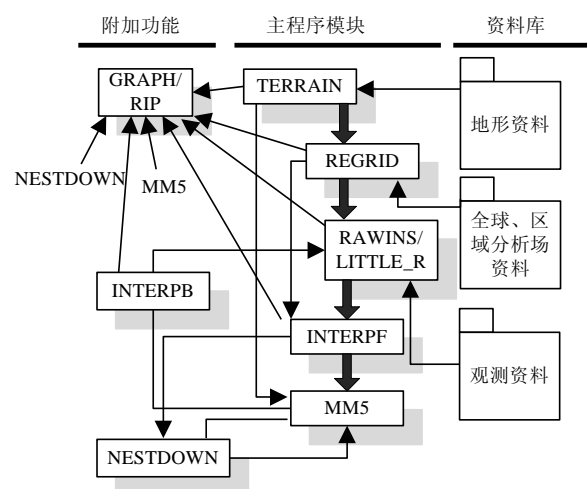


图 1 MM5 模式的组成结构框图

## 2 基于 SEDRIS 的大气环境数据表示和交换技术

针对虚拟仿真对大气环境资源的互操作性和可重用性的需求,依据 SEDRIS 规范进行大气环境数据的表示与交互研究。SEDRIS 作为一种完整有效的环境表述语言,已成为一种被 ISO/IEC 认可的国际化标准,同时成功应用于多中环境仿真系统与大型测试中<sup>[13]</sup>。SEDRIS 由数据表示模型(DRM)、环境数据编码规范(EDCS)、空间参考模型(SRM)、

SEDRIS 传输格式(STF)以及编程接口(API) 5 个核心技术组成,实现数据表示和数据交换两方面的目标功能<sup>[14]</sup>。

### 2.1 大气环境数据的 DRM 设计

基于 UML 类图的 DRM 定义了 SEDRIS 语法,为环境数据的表示提供了一个通用的机制。在研究 DRM 的基础上,考虑到大气环境数据的时空特性,提出了如图 2 所示的大气环境数据表示模型。

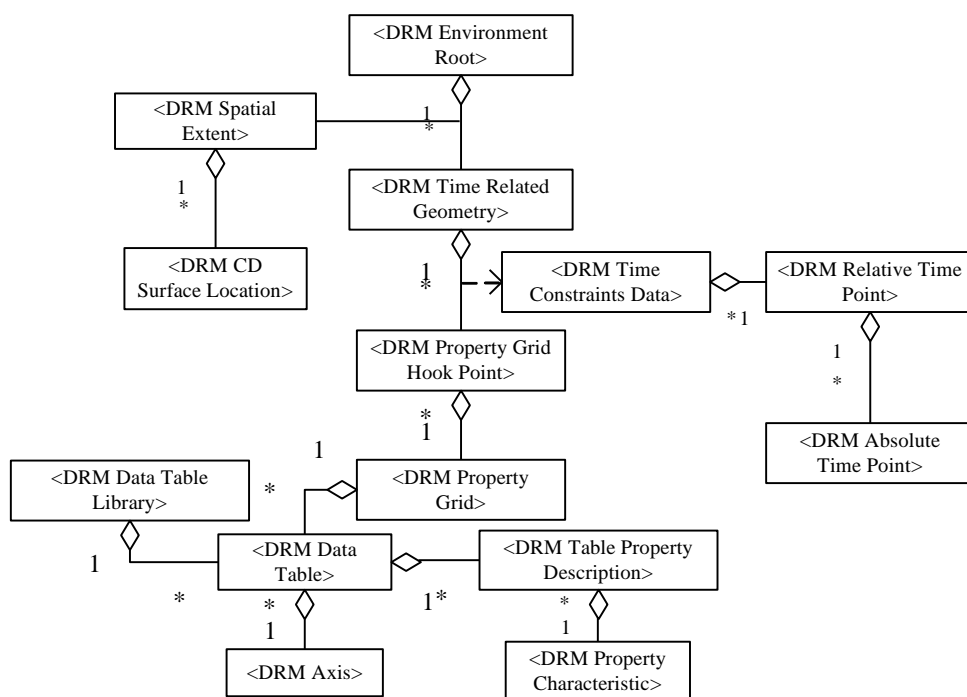


图 2 具有时空特性的大气环境数据表示模型

在根节点类(Environment Root)的基础上,采用时间相关几何类(Time Related Geometry)、子类绝对时点类(Absolute Time Point)和相对时点类(Relative Time Point)分别描述大气环境要素在初始基准时刻和某一相对时刻。在某一特定时刻,大气环境数据的分布具有网格特性,即大气环境数据在空间中分布于由经度、维度和高度组织而成的网格之中,所在的空间为地球大气层。根据这一典型特性,在时间相关几何类(Time Related Geometry)下采用 DRM 中属性网格类(Property Grid)方便清晰地表示网格型大气环境数据。属性网格句柄类

(Property Grid Hook Point)中定义的 Hook Point 用于标识经纬网信息。网格地形数据映射到属性网格类,并且每个属性网格类还须包含表格属性描述类(Table Property Description),用于标记这个网格数据所表示的大气环境的具体内容。

### 2.2 大气环境数据的 SRM 设计

SRM 提供了一种在不同坐标系统空间中进行转换的统一方式,保证摒除不同坐标系统和参照系统的影响,实现环境数据的无歧义表示交互。

每个属性网格类须包含至少一个或多个坐标

轴类(Axis), 有多种坐标轴子类用于标记网格的空间位置信息(见图 2)。属性网格类的“空间信息”属性值可根据 SRM 规范, 选用 SRM 模板 (SRF) 表示, 针对大气环境数据的特征进行 SRF 参数编码设计, 如表 1 所示。

表 1 大气环境数据的 SRF 参数编码设计

SRF 参数	参数编码
SRF 参数	SRM_SRFPARAMINFCOD_
信息编码	TEMPLATE
坐标系编码	SRM_RTCOD_WGS_1984_IDENTITY
SRF 模板编码	SRM_SRFTCOD_CELESTIODETIC
实体参考模型编码	SRM_SRFTCOD_CELESTIODETIC

### 2.3 大气环境数据的 EDCS 设计

EDCS 为 DRM 提供语义。在 DRM 中环境对象以类形式表示, EDCS 为类实例化的环境对象提供命名、标记和标识的方法, 同时规范环境对象属性间的关系。

大气环境要素包括压力、风、温度、湿度、水汽混合率和云层混合率, 都适合用由经度、维度和高度构成的三维网格描述。基于前述, 须实例化包含经度坐标、纬度坐标和高度坐标的 3 个坐标轴对象。大气环境成员属性的 EDCS 编码设计如表 2 所示, 须实例化 8 个表格属性描述对象, 由属性类(Property)下设的属性标识类(Property Characteristic)、属性描述类(Property Description)和属性值类(Property Value) 3 个子类对网格数据本身进行表示。

表 2 大气环境成员属性的 EDCS 编码设计

大气成员	成员属性	成员属性
风	风向	EAC_WIND_DIRECTION
	风速	EAC_WIND_SPEED
	垂直风速 $w$	EAC_WIND_SPEED_W
大气参数	大气压强	EAC_ATM_PRESSURE
	大气温度	EAC_AIR_TEMPERATURE
	相对湿度	EAC_RELATIVE_HUMIDITY
	水汽混合比	EAC_MIXING_RATIO
	云水混合比	EAC_CLOUD_WATER_MIXING_RATIO

### 2.4 基于 STF 和 API 进行大气环境数据交互

STF 是 SEDRIS 定义的一种高效和独立的中间物理数据存储和传输格式, 不依赖于任何平台。另外, SEDRIS 提供的功能集成 API 实现数据模型的存取和操纵。两者结合实现了对环境数据的交互。

在完成对大气环境数据的表示后, 通过调用 SEDRIS 的 API 函数, 将大气环境要素的数据值按照特定格式填入已经部署好的网格中, 生成 STF 格式的大气环境数据资源。

SEDRIS 中 C++版的 APIs 提供了多个用于数据交互的类及丰富的功能函数。本建模中用于大气环境数据交互的主要 API 函数如表 3 所示。

## 3 虚拟大气环境资源生成软件

### 3.1 高度层数据计算

MM5 模式采用气压地形追随坐标(坐标系)。这种垂直坐标系随地形起伏变化, 如图 3 所示。

表 3 大气环境数据交互所用的主要 API 函数

所属类	主要成员函数	函数功能
seWorkspace	createTransmittal	创建传输文件
	editTransmittal	编辑传输文件
seTransmittal	setRootObject	设置传输的根对象
seHelperDataTable	getTPDFields	获取数据属性
	getDataValue	获取数据值
	getCellIndex	获取网格坐标
	allocateExtents	分配网格单元范围
	allocateDataTableData	填充网格数据
seSearchIterator	start	设置搜索起始点和条件
	getNext	搜索下个满足条件目标

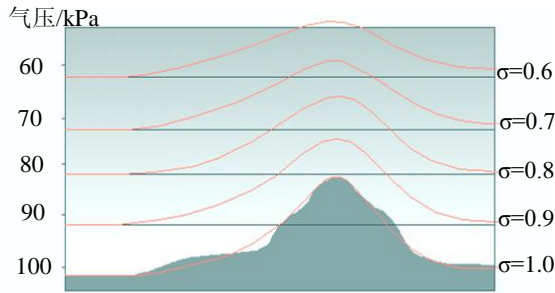


图 3 基于  $\sigma$  坐标系的 MM5 模式垂直结构示意图

$\sigma$  坐标系通过气压的比值来确定垂直方向上的位置，定义表达式为

$$\sigma = (P_0 - P_{TOP}) / (P_{S0} - P_{TOP}) \quad (1)$$

其中： $P_0$  是气压， $P_{TOP}$  是一指定的顶层气压（常数）， $P_{S0}$  是地面气压。结合图 5 和式(1)可以看出， $\sigma$  在顶层为 0，底层为 1，MM5 模式使用位于 0~1 的值的列表来定义模式的垂直分辨率。

为了对大气环境数据进行标准化表示，需要将  $\sigma$  层上的数据转化为对应的高度层上来表示。MM5 模式采用非静力模式，基于此点对模式  $\sigma$  层的高度进行计算得出。

地面的参考气压完全依赖于地形，这点可由静力关系导出

$$Z = -\frac{RA}{2g} \left( \ln \frac{P_0}{P_{00}} \right)^2 - \frac{RT_{S0}}{g} \left( \ln \frac{P_0}{P_{00}} \right) \quad (2)$$

式中： $R$  是气体参数； $A$  是参考温度递减率； $g$  是万有引力常数； $P_{00}$  是参考海平面气压； $P_{TOP}$  是模

式顶层参考气压； $T_{S0}$  是参考海平面温度。结合式(1)和(2)，得出垂直方向上为不均匀的高度层的大气环境数据。为了映射到以 SEDRIS 规范表示的均匀网格，对大气环境数据高度层上做插值计算。在本文中采用线性插值的方法，计算公式如下：

$$s = \frac{h - h_1}{h_2 - h_1} \times (s_2 - s_1) + s_1 \quad (3)$$

式中： $s$  是均匀高度层上某点待求的某项大气参数； $s_1$  和  $s_2$  是该点垂直上下 2 个非均匀层上的大气参数，是 MM5 模式计算的结果。 $h, h_1$  和  $h_2$  分别为均匀层和其上下 2 个非均匀层的高度值。

### 3.2 虚拟大气环境资源生成软件运作流程

MM5 输出的是 MMOUT\_DOMAINx 格式的大气环境数据，为了将这些原始的大气环境数据转换为可供虚拟试验使用的符合 SEDRIS 规范的大气环境资源，开发了 Windows 下的虚拟大气环境资源生成软件，实现对 MM5 输出进行数据提取，并生成基于 SEDRIS 规范的虚拟大气环境资源。

该软件支持用户灵活配置参数对 MM5 输出数据的选取，得到特定空间范围和时间范围的大气环境基本数据，并依据 SEDRIS 规范对其进行表示和存储。图 4 描述了虚拟大气环境资源生成软件的运作原理。

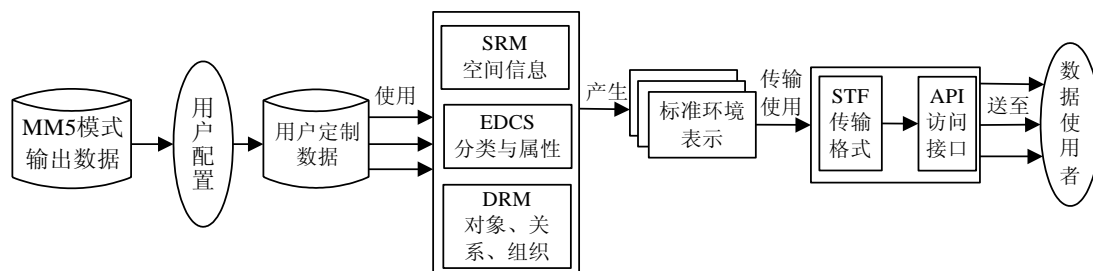


图 4 虚拟大气环境资源生成软件运作原理图

操作步骤如下：

(1) 选取原数据文件。用户自主选取 MM5 模式输出文件(MMOUT\_DOMAINx)作为大气环境原始数据文件；

(2) 配置大气环境全局参数。用户根据需求进一步定义区域范围，时间范围和层数范围，并以文本文件形式发布基本大气数据，同时大气环境配置文件被保存以供下次调用。



(3) 生成标准格式(STF)大气环境数据并保存。

为了确保大气环境资源的可重用性,其信息格式对用户而言应是透明的,不依赖于任何平台。SEDRIS STF 所提供的信息格式完美解决了此问题。STF 格式用于整合和获取完整的对象数据,同时结合所需的关联来完整对环境数据进行表示。

基于 SEDRIS 的 STF 格式,针对不同系统,不必根据不同的交互机制开发不同的转换程序,避免了多次数据转换造成的数据丢失或损坏,保证了大气环境数据交互的无歧义和无遗漏。一份大气环境资源可以多次且跨平台地使用,提高了大气环境资源生成效率,数据的可信性和重用性。

图 5 给出了虚拟大气环境资源生成软件的界面。

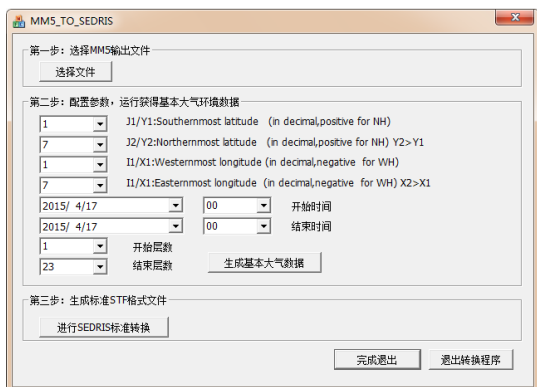
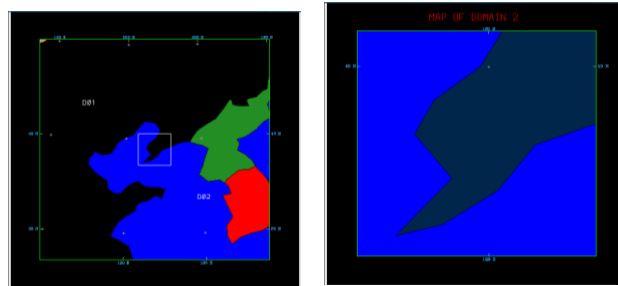


图 5 虚拟大气环境资源生成软件界面

## 4 结果分析与验证

### 4.1 MM5 模式运行结果分析

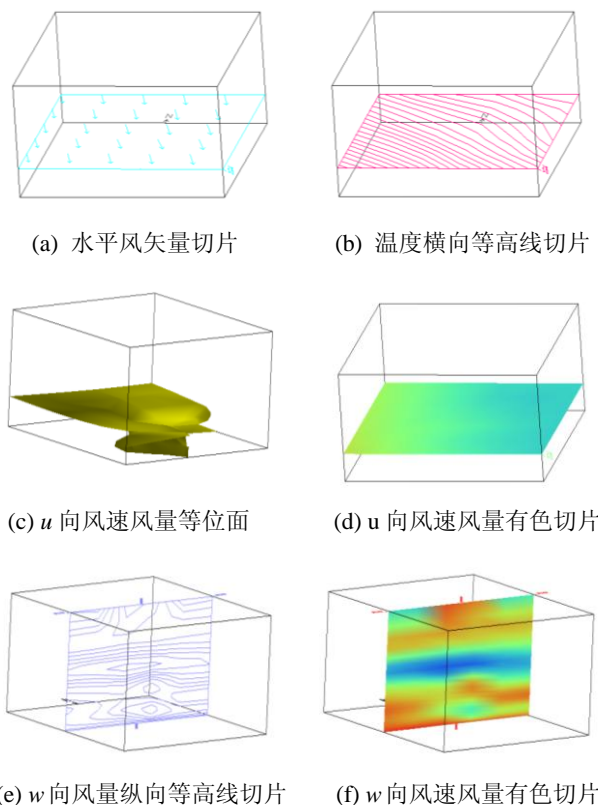
在 RedHat Enterprise Linux5 上完成了 MM5 模式的编译,对 2010-12-31T00:00:00~2011-01-01T00:00:00 的时间范围内的 24 小时进行数值模拟(时间范围标记为)。模拟区域在水平方向上采用双层嵌套(见图 6),网格中心位置是 39.43°N, 121.89°E,粗网格格点数取 15×15,水平格距 90×90 km,地形用 30 km 分辨率的地形拔海高度数据形成;网格 2 的格点数取 15×15,水平格距 30×30 km,地形用 10 km 分辨率的地形拔海高度数据形成,垂直层取 23 层。REGRID 模块使用了 NCEP FNL DATA 数据资料。



(a) 二重嵌套网格 (b) 模式细网格

图 6 模式网格

利用 Vis5d 软件对 MM5 输出结果进行可视化处理,某些大气环境参数可进行直观的图形显示。图 7(a)~(f)是利用 Vis5d 对一些大气环境要素进行了可视化表示。



(a) 水平风矢量切片 (b) 温度横向等高线切片

(c) u 向风速风量等位面 (d) u 向风速风量有色切片

(e) w 向风量纵向等高线切片 (f) w 向风速风量有色切片

图 7 Vis5d 对 MM5 数值模拟结果显示  
(位于 3.7 km 高, 39.43° N, 2010-12-31T06:00:00)

### 4.2 STF 格式大气环境数据验证

利用虚拟大气环境资源生成软件将 MM5 生成的大气环境数据进行 SEDRIS 格式转化。选取 2012-12-31T06:00:00~2012-12-31T12:00:00 的共 7



个整时刻时间点, 将 MM5 模式中 sigma1~23 层的全部数据进行了转化。利用 SEDRIS 标准的工具软件 FOCUS 访问生成的 STF 格式的大气环境资源, 以验证其是否符合 SEDRIS 规范, 结果如图 8 所示。

STF 采用树状的结构存储数据对象, 顶层根节点是 Transmittal Root, 作为 STF 中所有 DRM 类实例的根节点, 各种 DRM 类对象实例按照一定的逻辑层次存储于 STF。选取的 7 个时间点对应 7 个 Time Constraints Data 实例对象, 如图 9(a)。图 9(b) 给出了 Time Constraints Data 实例对象的属性, 描述了相对时间的属性。每个实例对象与 Property Grid 类实例对象相关联。每个 Property Grid 实例对象下有经度、维度和高度坐标轴实例对象和大气

压、温度、湿度、风速和风向等 8 个表示大气环境要素的实例对象, 如图 9(c)。

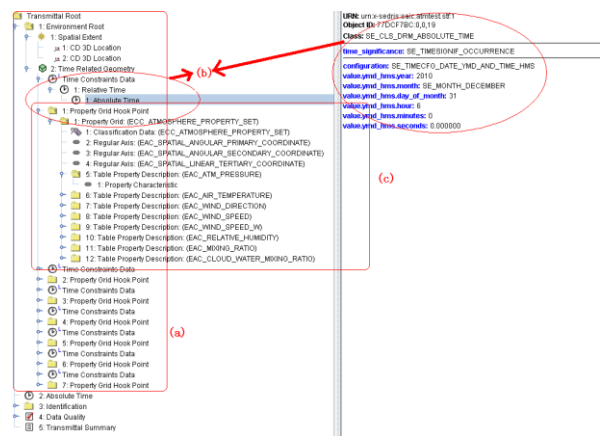
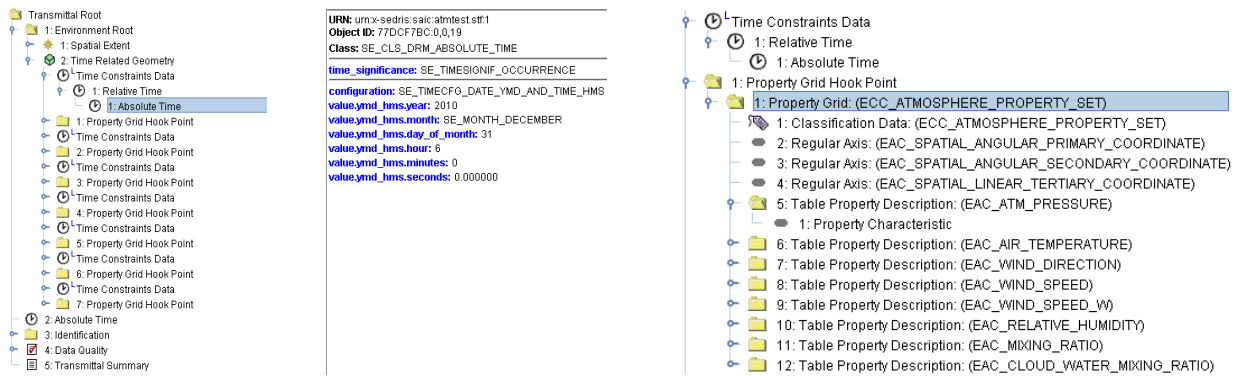


图 8 利用 FOCUS 软件读取 STF 格式的大气环境数据



(a) 7 个时间点对应 7 个 Time Constraints Data 实例对象 (b) Time Constraints Data 实例属性 (c) Property Grid 实例对象

图 9 大气环境标准文件 STF 数据结构细节举例

结果表明生成的 STF 格式的大气环境数据符合设计的 DRM 模型, 具有相应的时间节点和网格数据节点, 符合 SEDRIS 标准。

### 5 结论

提出了一种基于 MM5 模式和 SEDRIS 规范的虚拟大气环境构建方法。利用 MM5 模式可以生成全球任意地域、任意尺度的复合大气环境, 包括风场、湿度场、温度场、气压场、降水量等多种大气参数。通过大气数据的特点及其时空关系的研究, 利用 SEDRIS 规范对 MM5 模式输出的原始数据进行了表示方法的规范化, 开发了基于 MM5 输出数

据的虚拟大气环境生成软件。软件输出的 STF 格式的虚拟大气环境数据具有逼真度高、易用性强和可重用性高等优点, 适合为多种虚拟试验系统提供虚拟大气环境数据。

### 参考文献:

[1] 王蒙, 杜承烈, 尤涛, 等. 复杂虚拟试验运行支撑软件的性能测试研究[J]. 计算机测量与控制, 2010, 18(3): 632-634.  
 [2] 高振兴, 顾宏斌. 用于飞行实时仿真的微下击暴流建模研究[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(23): 6524-6534.  
 [3] 蒋立辉, 田百全. 基于多普勒激光雷达低空风切变的数值仿真. 红外与激光工程[J]. 2012, 41(7): 1761-1766.  
 [4] 周志勇, 肖亮. 大范围区域复杂地形风场数值模拟研究[J]. 力学季刊, 2010, 31(1): 101-107.