



**ERNEST ORLANDO LAWRENCE
BERKELEY NATIONAL LABORATORY**
劳伦斯伯克利国家实验室

GREAT 能源分析工具

柯晶、周南

劳伦斯伯克利国家实验室
环境能源技术部
能源分析与环境影响处
中国能源研究室

2012 年 7 月

本项工作通过美国能源部，由能源基金会中国可持续能源项目所资助，
合同编号为 DE-AC02-05CH11231。

免责声明

本文件编写工作由美国政府资助。同时，虽然本文件中的信息被认为是准确的，但是无论是美国政府及其机构，加州大学董事会或是其雇员都既不对文件的准确性，完整性，信息的有用性，仪器，产品，以及披露的过程，或是其使用不侵犯私有权进行明示或暗示的保障，也不负法律责任。此处提到的任何具体商业产品，过程或有商标名称，商标，制造商名的服务，并不一定构成或暗示美国政府或其机构，加州大学董事会的认可，推荐，或偏袒其使用。作者在这里表达的观点和意见，并不一定代表美国政府及其机构，或加州大学董事会。

劳伦斯伯克利国家实验室是一个机会均等的雇主。

目录

摘要	1
1. 简介	1
2. GREAT 软件安装与设置	1
2.1. LEAP 软件安装	1
2.2. GREAT 的安装	2
2.3. LEAP 使用界面简介	3
3. GREAT 结构及基本使用方法	6
3.1. GREAT 的基本结构	6
3.2. 数据录入及与 EXCEL 的交互操作	7
3.3. GREAT 主要分支结构	11
3.3.1. 主要假设条件	11
3.3.2. 需求	13
3.3.3. 转换	16
3.3.4. 资源	18
4. GREAT 能源需求建模	18
4.1. 能源需求简介	18
4.2. 技术（TECHNOLOGY）与类别（CATEGORY）的概念	19
4.3. 社会经济活动划分与 GREAT 结构设计	21
5. GREAT 能源需求情景分析	24
5.1. 情景分析简介	24
5.2. 情景管理与分析	26
6. GREAT 排放分析	29
6.1. 排放分析简介	29
6.2 添加排放因子（环境负荷因子）	29
6.3. 排放（环境负荷）分析	31
7. 结语	33
致谢	33
参考文献	34

GREAT 能源分析工具

柯晶、周南

劳伦斯伯克利国家实验室

环境能源技术部

能源分析与环境影响处

中国能源研究室

摘要

GREAT (Green Resources and Energy Analysis Tool, 绿色资源与能源分析工具) 是一个基于 LEAP (Long range Energy Alternatives Planning, 长期能源替代规划系统) 软件的应用框架。本文介绍 GREAT 的设计思想及其使用方法, 主要包括以下内容: 系统安装与设置、GREAT 的结构及基本使用方法、GREAT 能源需求建模、能源需求情景分析以及排放分析。

1. 简介

GREAT (Green Resources and Energy Analysis Tool, 绿色资源与能源分析工具) 是由劳伦斯伯克利国家实验室中国能源研究室设计的一个基于 LEAP (Long range Energy Alternatives Planning, 长期能源替代规划系统) 软件^[1]的应用框架。

LEAP 软件是由瑞典斯德哥尔摩环境研究所 (Stockholm Environment Institute, SEI) 美国中心的 Charlie Heaps 为主开发的一个用于能源政策分析和减缓气候变化评估的有效工具。LEAP 软件已经在全世界 150 多个国家中得到了广泛应用^[1, 2]。GREAT 是专门针对中国省市一级的能源政策分析和排放评估而设计的一个 LEAP 应用框架。

2. GREAT 软件安装与设置

2.1. LEAP 软件安装

由于 GREAT 是一个基于 LEAP 软件的应用框架，因此使用 GREAT 需要首先安装 LEAP 软件。LEAP 软件对于发展中国家的用户是免费的，因此中国用户可以直接登录 LEAP 软件的网站（<http://www.sei-us.org/leap>）注册和下载 LEAP 软件^[3]。按照 LEAP 说明书^[1,2]正确安装 LEAP 软件系统，确认 LEAP 软件运行正常。

2.2. GREAT 的安装

可以通过以下两种方式安装 GEART:

(1) 首先运行 LEAP 软件，点击 LEAP 区域菜单，选择“安装”选项中的“安装文件”，然后定位和打开 GREAT 工具安装文件（文件名后缀是.leap）。

(2) 将 GREAT 的压缩文件（文件后缀通常是.zip）直接解压缩到 LEAP 软件的区域（Area）目录中，然后启动 LEAP 软件，点击 LEAP 区域菜单，选择“打开”，GREAT 应该显示在区域列表中。需要注意的是，根据系统和 LEAP 版本的不同，LEAP 软件的区域目录可能是“\$LEAP Areas”或是“\$LEAP2011 Areas”，其中“\$”代表路径，随操作系统不同而不同。对于多数 Windows 用户而言，LEAP 软件的区域目录一般在用户的“文档”目录中。

GREAT 正确安装并打开后，会显示类似图 1 的视图。

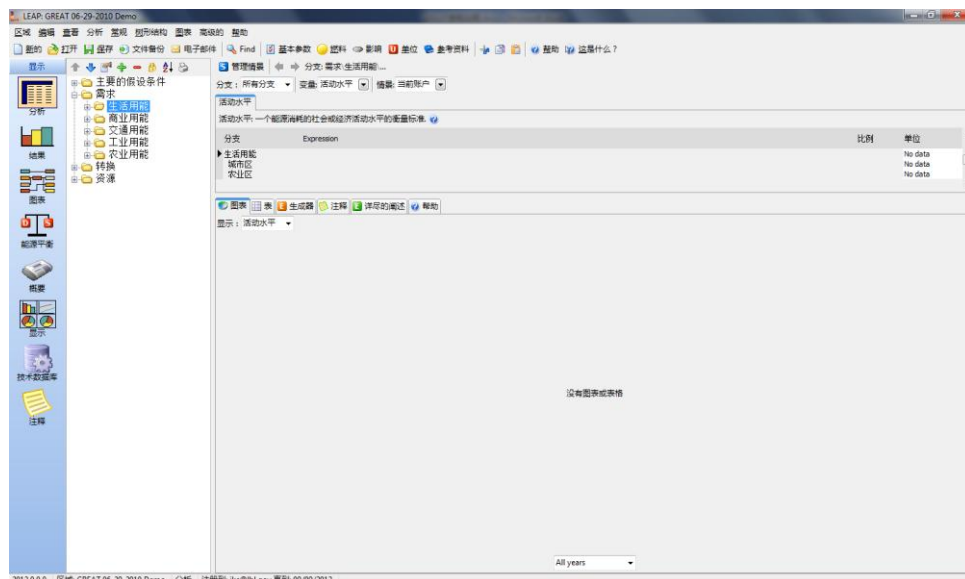


图 1. GREAT 初始视图

为了便于非英语国家的用户使用 LEAP，最新版本的 LEAP 支持多语言显示（如图 1 所示的中文界面）。如果初始操作界面（例如各个选单、选项等）不是中文的话，用户可以通过区域（Area）选单中的语言（Language）选项将操作界面改为中文（Chinese），

如图 2 所示。需要说明的是，LEAP 是基于英语开发的，其他语言的翻译是由 LEAP 用户和志愿者提供的，目前还不是很完善，很多内容没有翻译，部分内容的翻译也不是很恰当，使用中需要注意。如果对翻译后的某些内容的具体含义不是很确定，建议切换到英文界面查看其英文原文。

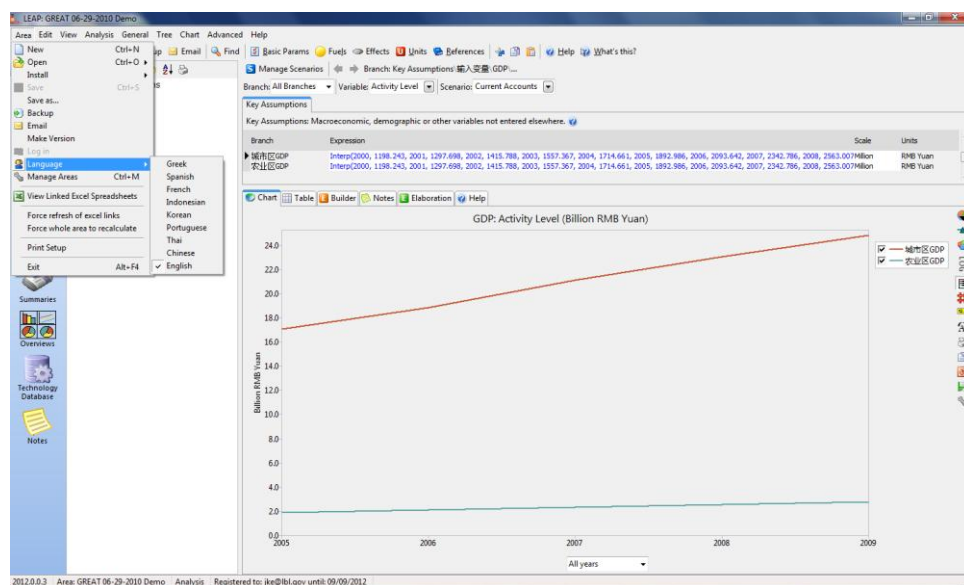


图 2. 更改 LEAP 操作界面语言

2.3. LEAP 使用界面简介

LEAP 提供了清晰而紧凑的使用界面，如下图所示。LEAP 的使用界面非常友好，多数界面元素的意义是非常清楚的，因此下面只对其最重要的一些界面元素进行简介（如图 3 所示）。

(1) 视图选择：位于界面最左面，可以选择在分析（Analysis）、结果（Results）、图表（Diagram）、能源平衡（Energy Balance）、概要（Summaries）、显示（Overviews）、技术数据库（Technology Database）以及注释（Notes）这 8 个视图之间切换。分析视图和最常用的两个视图。分析视图主要用于建立模型、输入各种表达式及数据录入。结果视图主要显示各种计算结果。其他视图的含义参见 LEAP 用户手册。

(2) 分支选择：LEAP 采用树状结构，分支就是这一结构的基本元素。例如，“需求”分支按照能源需求部门分为“生活用能”、“商业用能”、“交通用能”、“工业用能”和“农业用能”这 5 个分支，“生活用能”分支按照区域分为“城市区”生活用能和“农业区”生活用能这 2 个分支，“城市区”生活用能按照能源类型分为“电力”和“天然气”等分支，“电力”分支又按照终端用途分为“照明”和“家电”这两个分支，而

“家电”分支按照用能设备分为“电视”和“冰箱”等。分支的展开和合并的操作与一般的 Windows 应用程序一样。

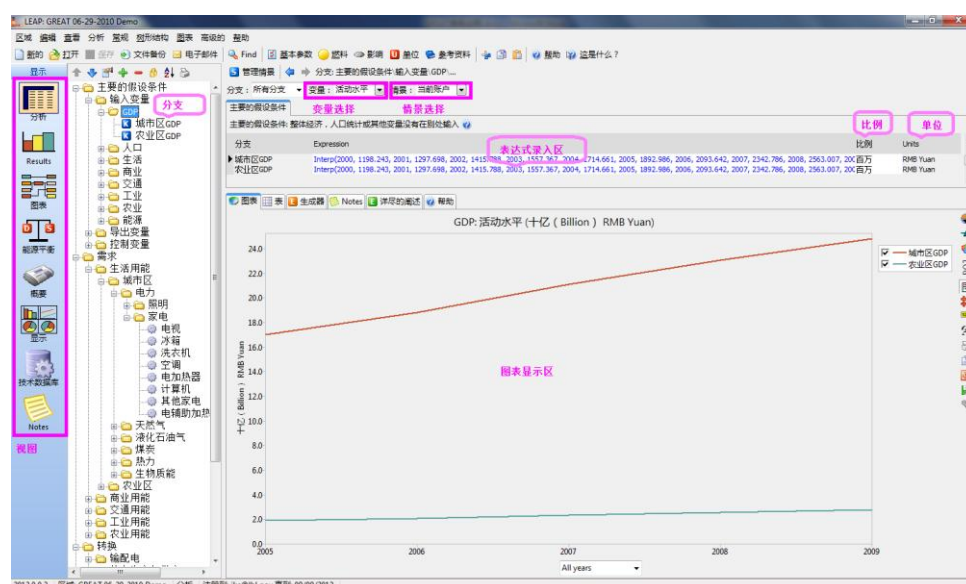


图 3. LEAP 的操作界面

(3) 变量选择：变量与分支紧密关联，分支的含义和作用是由变量决定的，一个分支可以关联多个变量。需要指出的是，此处“变量”是一个特定的 LEAP 术语，其含义可以理解为与 LEAP 分支相关联的 LEAP 参数，与 GREAT 中“主要假设条件”部分的“输入变量”、“输出变量”以及“控制变量”的含义并不相同。

(4) 情景选择：情景分析是一种非常有用的分析方法。用户可以建立多种情景，以分析在不同情景下可能出现的结果，研究相应的对策。需要说明的是，每个 LEAP 应用（例如 GREAT）都有一个“当前账户（Current Accounts）”。这个“当前账户”通常是“历史情景”，即这个情景通常是根据已有历史数据建立的。更准确地说，用户需要设置一个情景分析的“起始年”（在“常规”选单中“基本参数”中设置），起始年之前 LEAP 是根据这个“当前账户”进行计算的，从起始年开始，LEAP 对不同情景分别进行分析和计算。

(5) 表达式录入区：录入每个变量所需的数据或计算表达式。通常是先选定分支，再选择变量，然后在表达式录入区中输入数据或表达式。LEAP 对于表达式录入有简单的查错功能，错误的表达式会显示为红色以提示用户改正。建议每次输入完毕确认一下输入的表达式是否已经被 LEAP 接受。

(6) 比例：为了便于用户输入数值上非常大（例如 GDP）或非常小（例如大气中二氧化硫浓度）的数据，LEAP 提供了比例选择。例如，选择“比例”为“百万”，则表达

式录入区中输入“1”即表示数值为 1 百万。在输入数据和写表达式时，一定要注意变量的比例是否正确。比例错误可能会导致计算最终结果出现巨大偏差。

(7) 单位：输入每个 LEAP 变量的单位，这不仅使数据的物理含义更加明确，还有助于 LEAP 检查可能存在的错误。

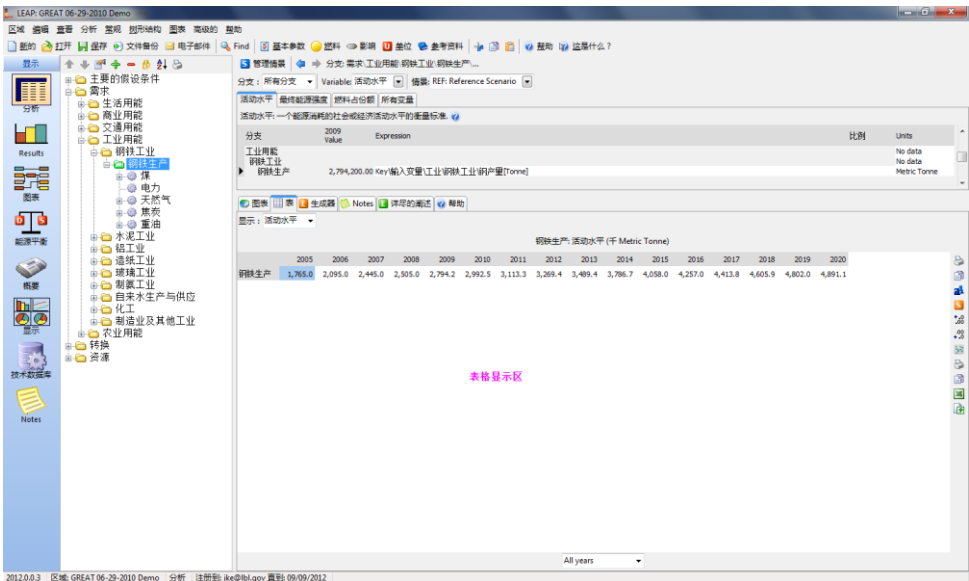


图 4. LEAP 表格显示区

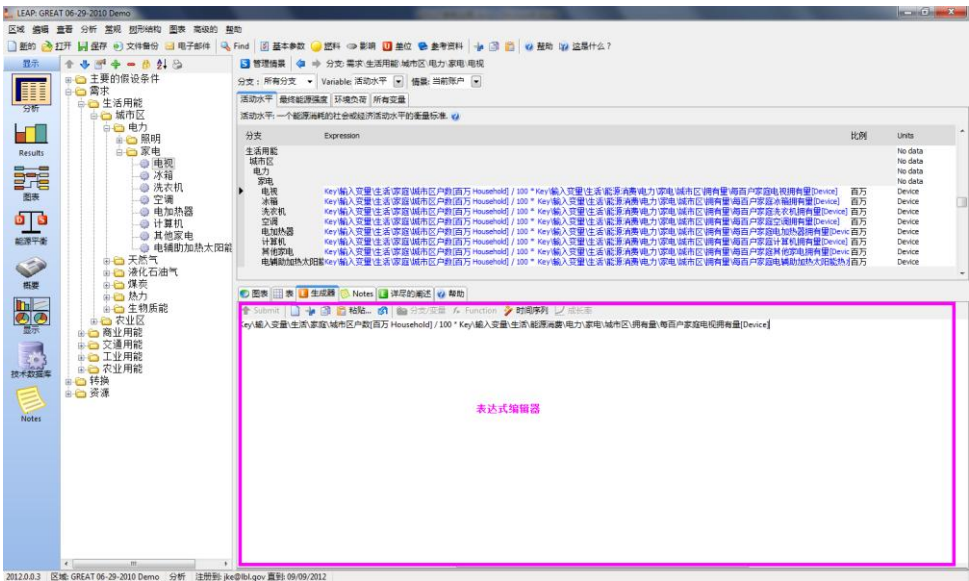


图 5. LEAP 表达式编辑器

(8) 图表显示区：用于查看变量（分析视图中）或结果（结果视图中）的图形表示。建议初学者在完成数据输入后，在图表显示区中检查一下输入表达式结果的数量级和图形是否合理，尤其是表达式非常复杂的情况下。一般来说，图表的直观性有助于迅速发现一些错误。

(9) 表格显示区：用于查看变量（分析视图中）或结果（结果视图中）具体的数值（见图 4）。图表显示区和表格显示区可以通过点击区域上方的选项卡来切换。点击表格显示区右边工具条中 Excel 图标，可以将当前显示的数据序列导出至 Excel 表格。

(10) 表达式编辑器：用于生成和编辑比较复杂的表达式（见图 5）。对于较短的表达式，可以直接在表达式录入区直接输入，但对于比较复杂的表达式，由于表达式录入区长度有限，不便于查看表达式，建议使用表达式编辑器。表达式编辑器的功能与简单的源程序编辑器类似，并且有简单的查错功能，错误的表达式会显示为红色以提示用户改正。

3. GREAT 结构及基本使用方法

3.1. GREAT 的基本结构

GREAT 是针对中国省市一级的能源政策分析和排放（温室气体和其他污染物）评估而设计的，其系统结构如图 6 所示：

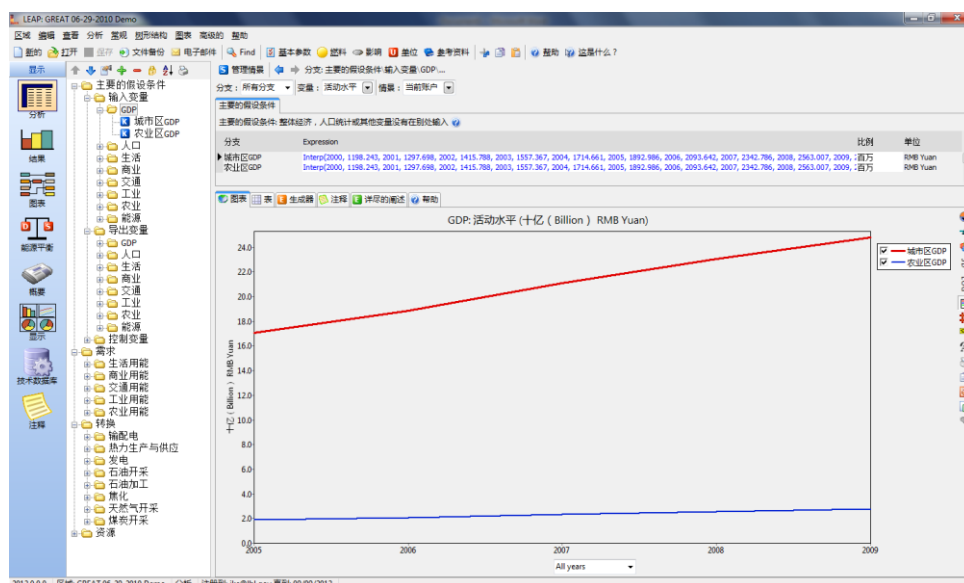


图 6. GREAT 工具的结构

(1) 与多数 LEAP 应用一样，GREAT 采用树状结构，分为 4 大部分（分支）：主要的假设条件、需求、转换和资源，提供了一个基于层次分析和终端应用建模的省市级能源消费和碳排放分析的应用框架。

(2) 针对城市区和农业区分别进行建模。一般来说，城市区和农业区的能源消费特点差别较大，需要分开建模，尤其是对于省级的能源分析和规划。由于现在许多城市已经没有传统的农业区，对于这些城市就不需要考虑农业区，即农业区所有数据清零即可。

后面的章节会对 GREAT 的结构及其使用进行详细介绍。

3.2. 数据录入及与 Excel 的交互操作

作为一个基于 LEAP 的应用程序框架，GREAT 中的数据输入遵循 LEAP 的规定，用户可以查阅 LEAP 用户手册。此处只简介常用的数据录入方式。

一般来说，如果用户已经有历年数据，可以手动录入 GREAT，或从 Excel 表格拷贝。对于需要处理大量数据的情况，熟悉 LEAP 操作的用户可以采用 LEAP 与 Excel 的交互功能直接导入（import）导出（export）数据。

表 1 某城市 2002 年至 2009 年人均收入

年份	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
人均收入（元）	6502	6231	7146	8312	9455	11236	13000	14170

例如表 1 列出了某城市 2002 年至 2009 年的人均收入数据，则可以在 GREAT 中“城市区人均收入”分支对应的数据录入区或表达式生成器中直接键入：

Interp(2002, 6502, 2003, 6231, 2004, 7146, 2005, 8312, 2006, 9455, 2007, 11236, 2008, 13000, 2009, 14170)

其中 Interp 是 LEAP 提供的插值函数，也是最常用的数据输入格式。需要说明的是，Interp 函数有插值功能，因此并不需要数据是连续年份的。例如，假定表 1 中只有 2002 年、2005 和 2009 的数据是已知的，则表达式写成：

Interp(2002, 6502, 2005, 8312, 2009, 14170)

LEAP 会自动插值生成未知年份的数据。LEAP 的函数有很强的功能，可以帮助简化表达式并使表达式的含义更加容易理解。例如，如果已经预测 2009 年以后人均收入以 8% 的速度提高，可以采用表达式：

Interp(2002, 6502, 2003, 6231, 2004, 7146, 2005, 8312, 2006, 9455, 2007, 11236, 2008, 13000, 2009, 14170, 0.08)

其中表达式最后的 0.08 即代表 2009 年以后增长率为 8%，具体输入可以参见图 7。

LEAP 数据输入支持多种计算功能。例如，假定已知 2002 年农业区人均收入是城市区人均收入的 10%，2005 年为 15%，2009 年为 20%，2009 年后保持不变，则可以用以下表达式计算农业区人均收入：

$\text{Interp}(2002, 0.1, 2005, 0.15, 2009, 0.2) * \text{Interp}(2002, 6502, 2003, 6231, 2004, 7146, 2005, 8312, 2006, 9455, 2007, 11236, 2008, 13000, 2009, 14170, 0.08)$

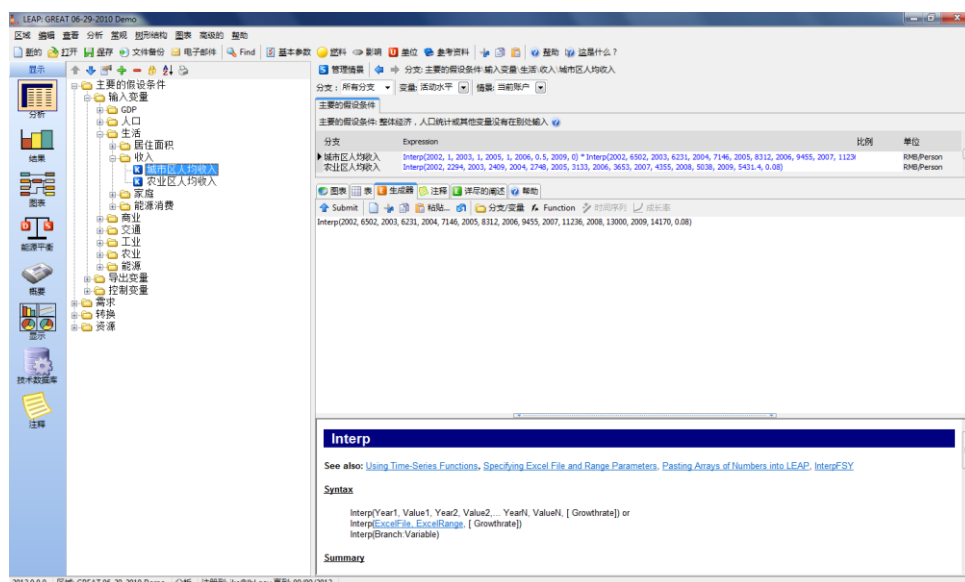


图 7. LEAP 表达式输入

年份	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
人均收入 (元)	6502	6231	7146	8312	9455	11236	13000	14170

图 8. Excel 数据表格

如果用户数据已经录入 Excel 表格，则可以直接拷贝使用。例如图 8 所示 Excel 表格，先选定单元格 C5 至 J5，点鼠标右键选择“复制”，然后切换至 GREAT 工具中的“城市区人均收入”的表达式录入区，点击鼠标右键，选择“粘贴”，在弹出的参数设置窗口中（见图 9）设定欲使用的函数（此处为 Interp）、起始年份（此处为 2002 年）和年份间隔（此处为 1 年），点击确定后，LEAP 会自动使用 Interp 函数生成表达式，如图 10 所示。

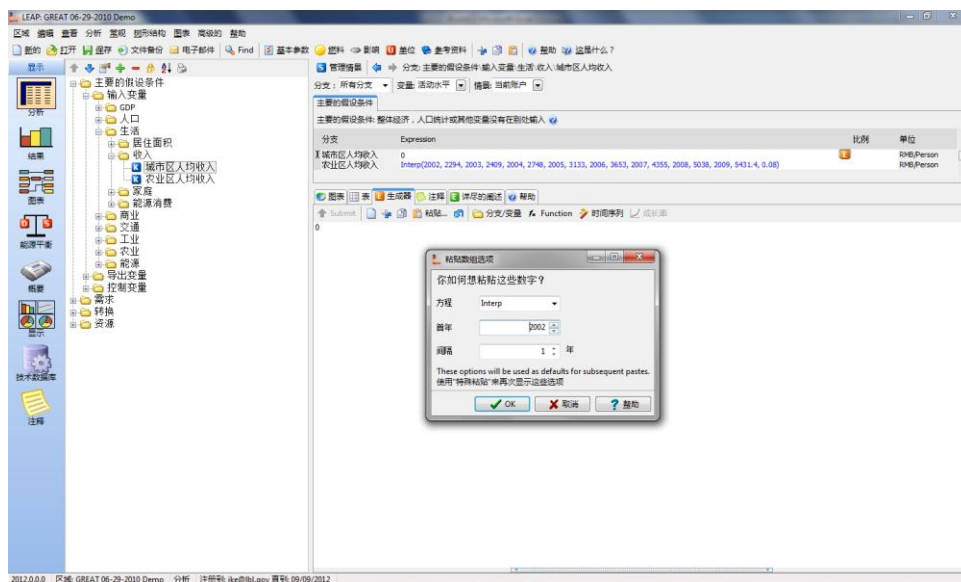


图 9. 从 Excel 表格中复制数据

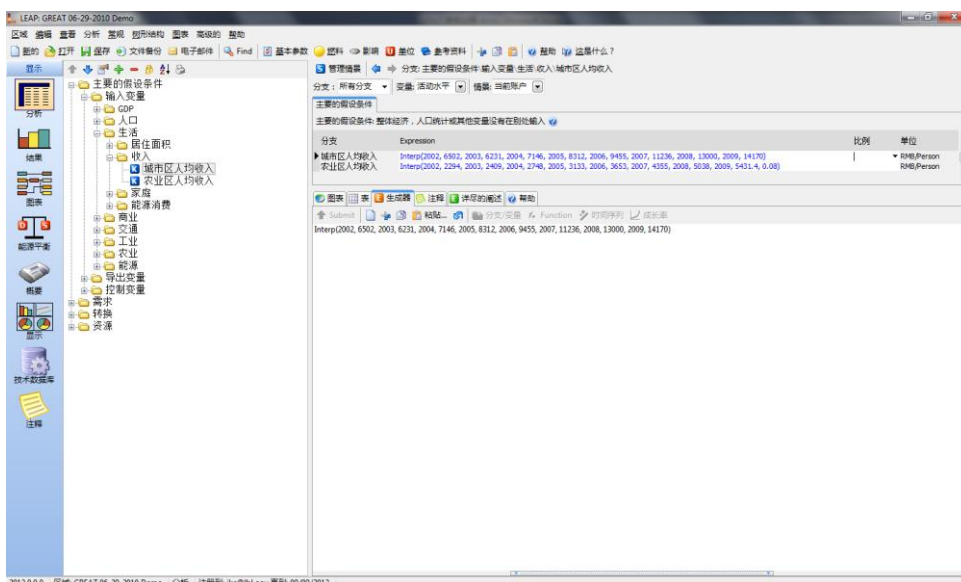


图 10. LEAP 自动生成表达式

特别需要注意的是如果是直接在表达式输入区中输入数据，最后要按回车键确认。如果是在表达式生成器中输入数据，最后要点击提交(Submit)按钮，否则 LEAP 不会保存数据。

如果需要在 Excel 与 GREAT 之间大量交换数据，则可以采用 LEAP 提供的 Excel 导出导入功能（见图 11）。

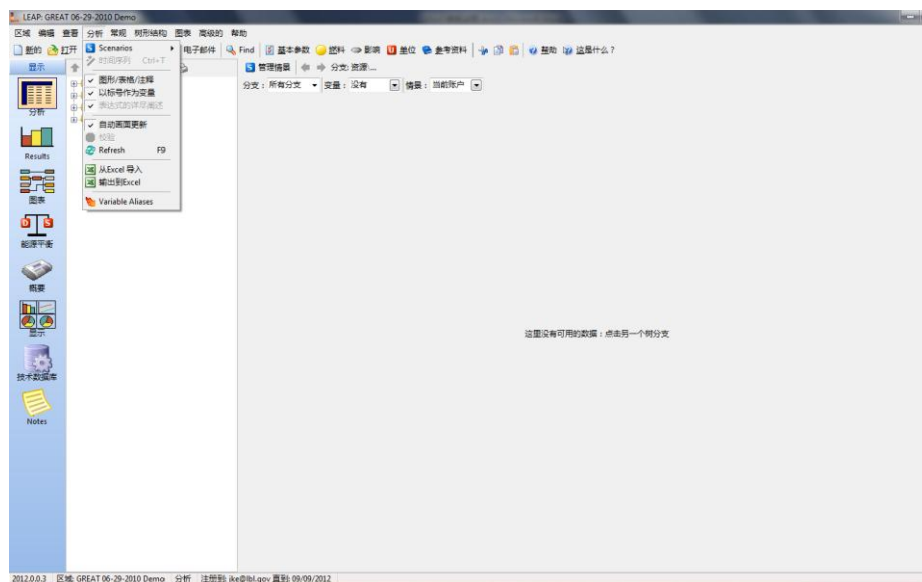


图 11. LEAP 提供的 Excel 导出导入功能

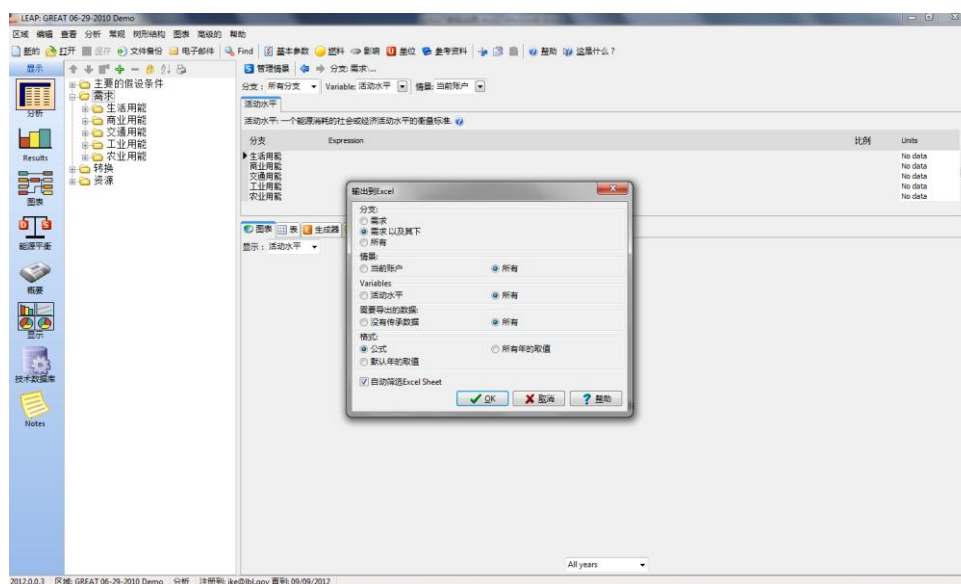


图 12. 设置 LEAP 提供的 Excel 导出导入功能

选定分支，可以将该分支及其以下所有分支结构及表达式输出到 Excel 工作表，如图 12 所示。将分支结构及表达式输出到 Excel 工作表后，即可以直接修改 Excel 表格，然后再利用 LEAP 提供的 Excel 导入功能将修改后的表达式和数据导入。

需要说明的是，用于导入数据的 Excel 工作表的结构应该是用 LEAP 的 Excel 导出功能生成的。用户不要修改 LEAP 的 Excel 导出功能生成的工作表的结构，而只能修改其比例、单位或数据（表达式）部分（参见图 13 自动生成的 Excel 工作表中高亮显示的特别说明）。由于使用 Excel 导入导出功能需要用户深入了解 GREAT 的结构以及 Excel 的各种操作，对于简单应用而言，建议使用前面介绍的直接录入或是从 Excel 工作表拷贝。事实上，由于 LEAP 对表达式输入有基本的查错功能，针对每个分支或数据项单独进行数据录入有助于用户深入理解 GREAT 的结构并减少出错的可能性。

Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Variable	Scenario	Region	Scale	Units	Expression
需求	生活用能	活动水平	当前用户	All Regions	No data	0			
需求	生活用能	城市区	活动水平	当前用户	All Regions	No data			
需求	生活用能	城市区电力	活动水平	当前用户	All Regions	No data			
需求	生活用能	城市区电力照明	活动水平	当前用户	All Regions	%	Share	100	Key\输入变量\生活\居住面积\城市区居住总面积(百万 m2)
需求	生活用能	城市区电力照明	最终能源强度	当前用户	All Regions	Kilowatt-Hour			Key\输入变量\生活\能源消费\电力\照明\城市区\单位居住
需求	生活用能	城市区电力家电	活动水平	当前用户	All Regions	No data			
需求	生活用能	城市区电力家电电视	活动水平	当前用户	All Regions	百万	Device		Key\输入变量\生活\家庭\城市区户数(百万 Household) / 10
需求	生活用能	城市区电力家电电视	最终能源强度	当前用户	All Regions	Kilowatt-Hour			Key\输入变量\生活\能源消费\电力\家电\城市区\单位能耗
需求	生活用能	城市区电力家电冰箱	活动水平	当前用户	All Regions	百万	Device		Key\输入变量\生活\家庭\城市区户数(百万 Household) / 10
需求	生活用能	城市区电力家电冰箱	最终能源强度	当前用户	All Regions	Kilowatt-Hour			Key\输入变量\生活\能源消费\电力\家电\城市区\单位能耗
需求	生活用能	城市区电力家电洗衣机	活动水平	当前用户	All Regions	百万	Device		Key\输入变量\生活\家庭\城市区户数(百万 Household) / 10
需求	生活用能	城市区电力家电洗衣机	最终能源强度	当前用户	All Regions	Kilowatt-Hour			Key\输入变量\生活\能源消费\电力\家电\城市区\单位能耗
需求	生活用能	城市区电力家电空调	活动水平	当前用户	All Regions	百万	Device		Key\输入变量\生活\家庭\城市区户数(百万 Household) / 10
需求	生活用能	城市区电力家电空调	最终能源强度	当前用户	All Regions	Kilowatt-Hour			Key\输入变量\生活\能源消费\电力\家电\城市区\单位能耗
需求	生活用能	城市区电力家电电加热器	活动水平	当前用户	All Regions	百万	Device		Key\输入变量\生活\家庭\城市区户数(百万 Household) / 10
需求	生活用能	城市区电力家电电加热器	最终能源强度	当前用户	All Regions	Kilowatt-Hour			Key\输入变量\生活\能源消费\电力\家电\城市区\单位能耗
需求	生活用能	城市区电力家电计算机	活动水平	当前用户	All Regions	百万	Device		Key\输入变量\生活\家庭\城市区户数(百万 Household) / 10
需求	生活用能	城市区电力家电计算机	最终能源强度	当前用户	All Regions	Kilowatt-Hour			Key\输入变量\生活\能源消费\电力\家电\城市区\单位能耗
需求	生活用能	城市区电力家电其他家电	活动水平	当前用户	All Regions	百万	Device		Key\输入变量\生活\家庭\城市区户数(百万 Household) / 10
需求	生活用能	城市区电力家电其他家电	最终能源强度	当前用户	All Regions	Kilowatt-Hour			Key\输入变量\生活\能源消费\电力\家电\城市区\单位能耗
需求	生活用能	城市区电力家电辅助加热	活动水平	当前用户	All Regions	百万	Device		Key\输入变量\生活\家庭\城市区户数(百万 Household) / 10
需求	生活用能	城市区电力家电辅助加热	最终能源强度	当前用户	All Regions	Kilowatt-Hour			Key\输入变量\生活\能源消费\电力\家电\城市区\单位能耗
需求	生活用能	城市区天然气	活动水平	当前用户	All Regions	百万	Square Meter		Key\输入变量\生活\居住面积\城市区居住总面积(百万 m2)
需求	生活用能	城市区天然气	最终能源强度	当前用户	All Regions	%	Share	100	Key\输入变量\生活\能源消费\天然气\城市区\单位居住
需求	生活用能	城市区天然气	最终能源强度	当前用户	All Regions	Tonnes of Coal Equivalent			Key\输入变量\生活\能源消费\天然气\城市区\单位居住
需求	生活用能	城市区天然气	最终能源强度	当前用户	All Regions	Metric Tonne			15.3 * FractionOxidized * (CO2/c)
需求	生活用能	城市区天然气	最终能源强度	当前用户	All Regions	Kilogramme			50
需求	生活用能	城市区天然气	最终能源强度	当前用户	All Regions	Kilogramme			5

图 13. LEAP 导出的 Excel 数据表格

3.3. GREAT 主要分支结构

GREAT 分为 4 大部分（分支）：主要假设条件、需求、转换和资源，下面分别介绍每一部分的具体结构。

3.3.1. 主要假设条件

“主要假设条件”部分通常包括系统分析和建模所需的假设和重要数据。GREAT 工具设计了三类主要假设条件：输入变量、导出变量以及控制变量。其中，输入变量和控制变量对于建立一个能源和排放情景分析的模型通常是必须的，而导出变量是由输入变量计算

出来的，通常不需要额外操作。需要说明的是，尽管 GREAT 包含了常用的变量，但用户可以自行增加各种类型的变量并利用表达式对它们进行关联。

(1) 输入变量：包括各种基础数据，主要有：国内生产总值（GDP）、人口数量等重要社会经济指标以及生活、商业、交通、工业、农业、能源等各行业的基础数据。输入变量的总体结构如图 14 所示。

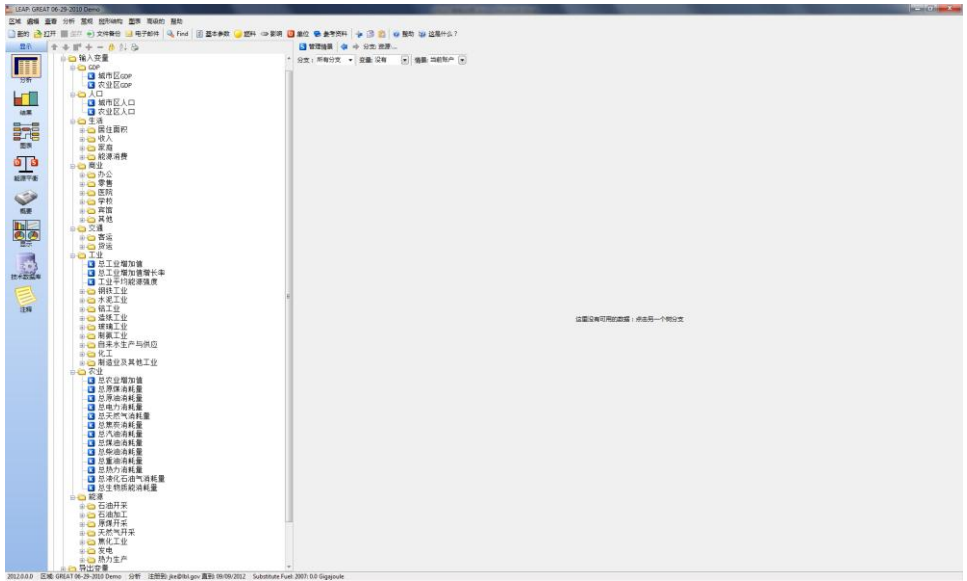


图 14. GREAT 的输入变量

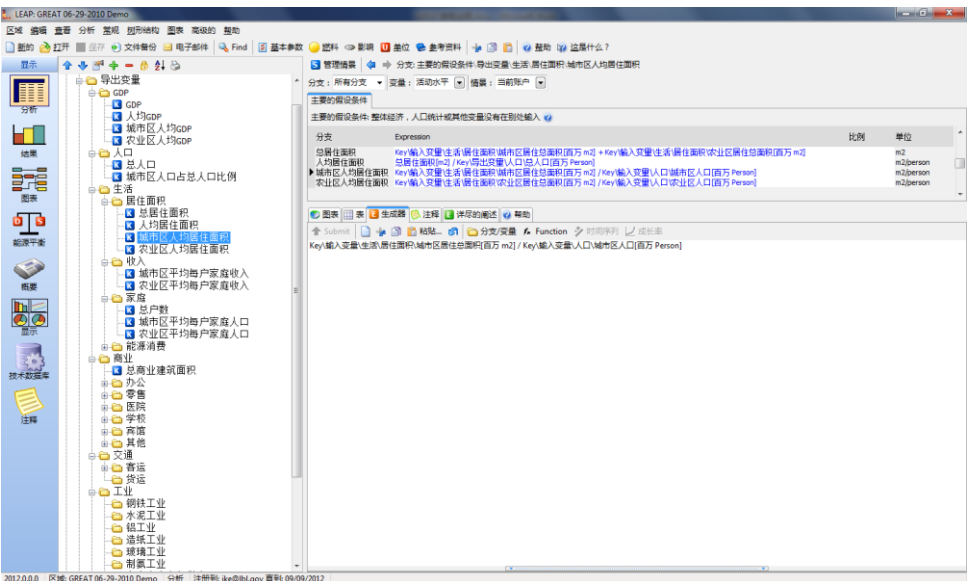


图 15. GREAT 的导出变量

(2) 导出变量：通过输入变量推导和计算出的变量。由于 LEAP 支持复杂的表达式，因此可以把那些通过运算得出的变量集中在这一部分，以减少不必要的输入。例如在已知城市区总居住面积和城市区总人口的情况下，城市区人均居住面积可以通过以下公式计算得出（如图 15 所示）：

城市区人均居住面积 = 城市区总居住面积 / 城市区总人口

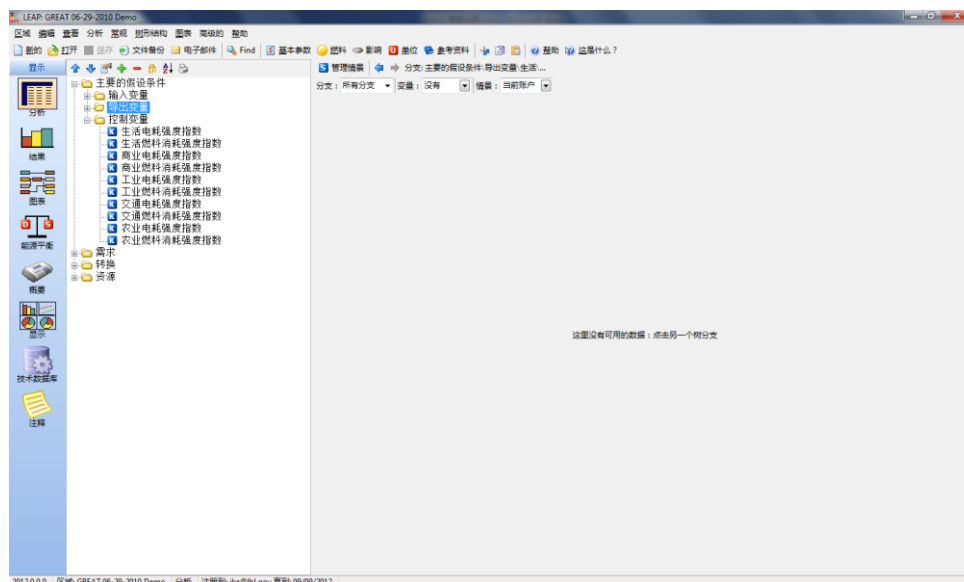


图 16. GREAT 的控制变量

(3) 控制变量：这些变量主要用于预测和情景分析中，控制能源消费、能源强度、排放等各种关键量的变化。图 16 是一些控制变量的例子。

3.3.2. 需求

“需求”部分主要对各种终端应用的能源需求和排放进行建模和分析，对于多数简单应用而言这是最重要的一部分。针对中国的省市的实际情况，GREAT 设计了以下主要分支：生活用能、商业用能、交通用能、工业用能、农业用能。

(1) 生活用能

对城市区和农业区分别建模，然后按照能源类型进行分类，再按照终端应用分类，如图 17 所示。对于生活用能建模来说，电力消耗通常是重点，其他种类的能源一般根据用户掌握的数据情况而定。

(2) 商业用能

根据商业（公共）建筑类型分为 6 类：办公、零售、医院、学校、宾馆、和其他。针对每一种建筑类型，先按照能源类型进行分类，然后再按照终端应用分类，如图 18 所示。

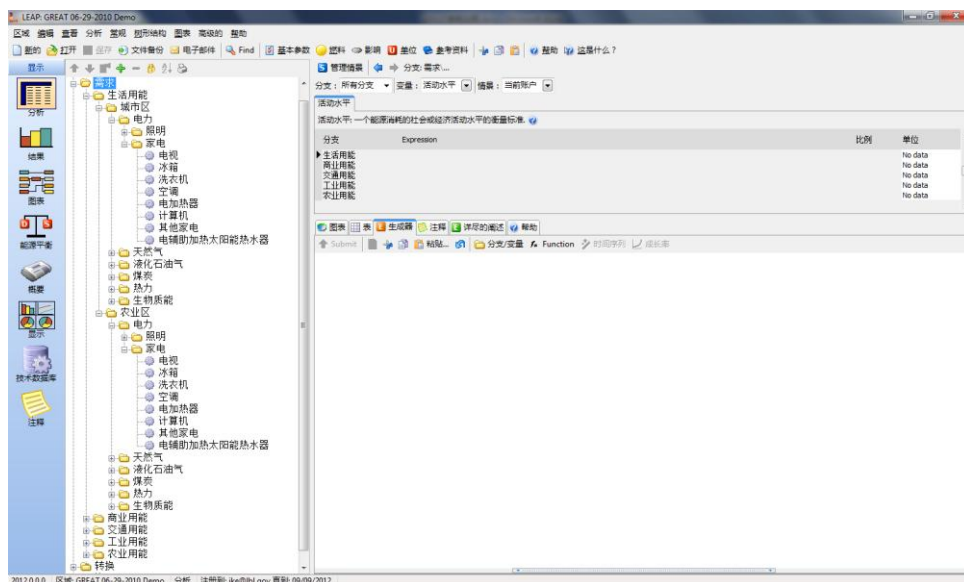


图 17. GREAT 中的生活用能

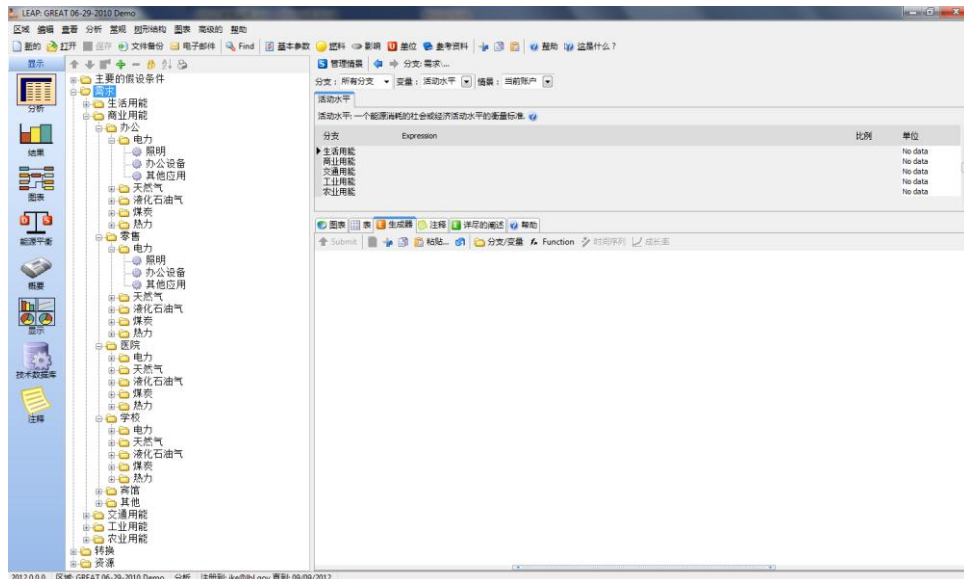


图 18. GREAT 中的商业用能

(3) 交通用能

GREAT 工具的设计充分考虑了中国城市交通用能快速增长的情况，尽可能包括各种常见的运输方式（见图 19）。交通一般分为客运和货运。考虑到多数城市的实际情况，

GREAT 把客运作为重点。由图可知，客运又进一步分为公共汽电车、轨道交通以及轻型载客车辆。各种用途的车辆进一步按照技术（消费能源种类）进行分类，例如私人汽车根据消费能源类型进一步分为汽油、柴油、混合动力、酒精、天然气、液化石油气、电力等类型。

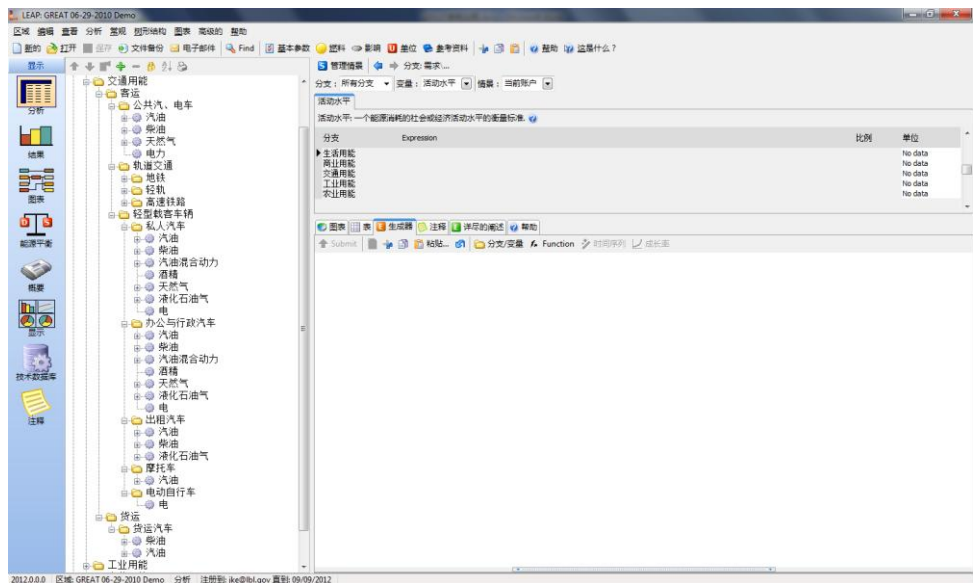


图 19. GREAT 中的交通用能

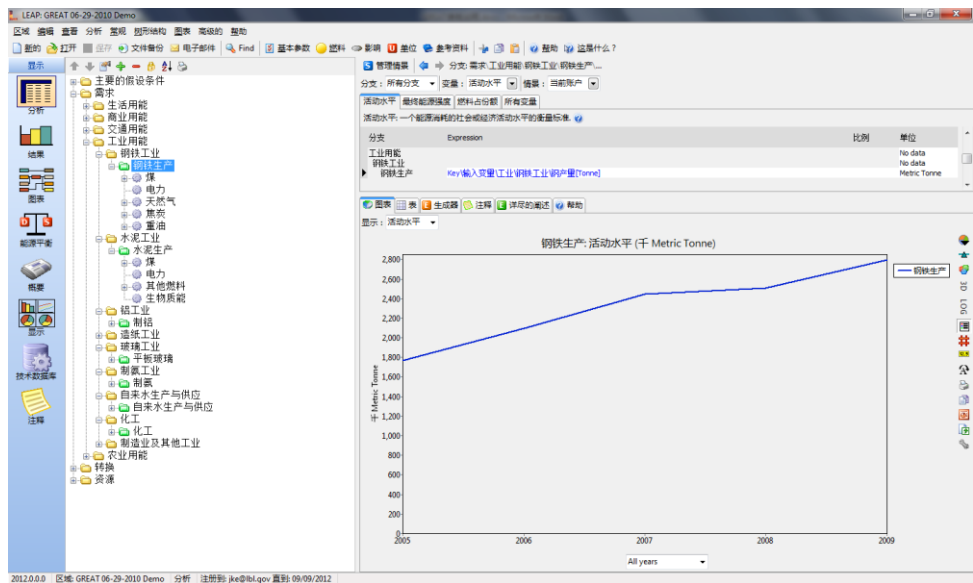


图 20. GREAT 中的工业用能

(4) 工业用能

工业用能在中国能源消耗总量中占据很大一部分。工业节能一直是各个省市非常关心的问题。GREAT 根据中国工业的特点，采用主要高能耗产品和工业行业相结合的建模方法（见图 20）。具体来说，GREAT 将工业分为：钢铁工业、水泥工业、制铝（有色金属）工业、造纸工业、玻璃工业、制氨工业、自来水生产与供应、化工、制造业及其他工业。其中，除了化工和制造业及其他工业由于产品种类众多而采用经济能源强度（例如，单位工业增加值能耗）外，其他工业基于主要产品的物理能源强度（例如，吨钢综合能耗）计算能耗。这样做的一个好处是便于直接参考针对高能耗产品的能耗限制值、能效标识等国家和行业标准。

（5）农业用能

中国目前正处于快速城市化进程中，许多原来是农村的地区成为城市或城市范围内的农业区。GREAT 中的农业用能主要是指农村地区或是城市范围内的农业区的农业生产用能。考虑到多数农业地区一般缺少完善的能源统计，但对于总能源消费量及其能源种类有大致了解，因此 GREAT 中的农业用能部分是建立宏观经济建模基础上的（见图 21）。

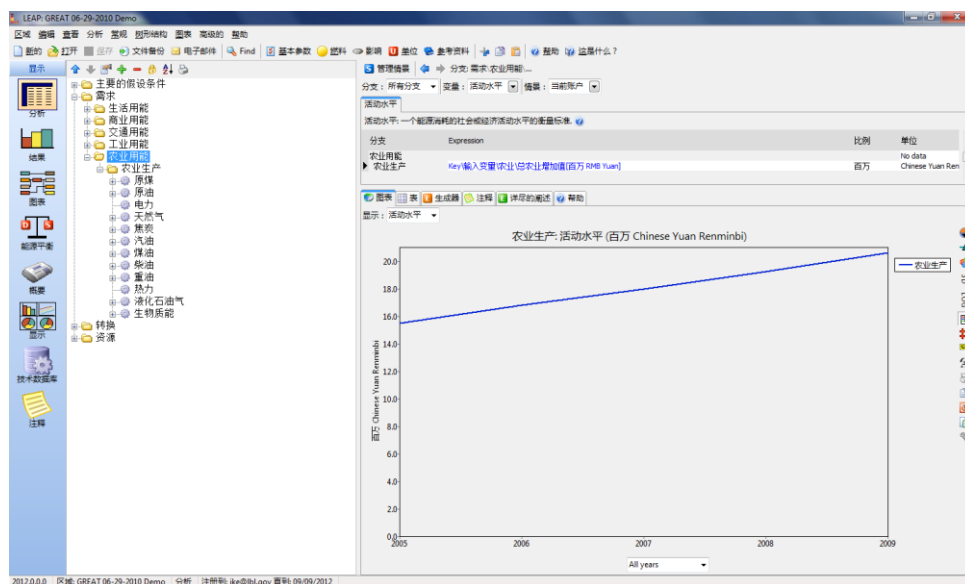


图 21. GREAT 中的农业用能

3.3.3. 转换

“转换”部分主要处理各种能源之间的转换，例如利用煤等一次能源发电。这一部分和省市的具体能源需求与供应情况有很大的关系，一般需要具体问题具体分析。对不同省市

而言，繁简程度可能相差很大。GREAT 包括多数常见的能源生产和转换部门（见图 22），一般来说稍加修改即可以满足多数省市规模的能源系统建模需求。

值得指出的是，对于多数省市而言，电力生产可能是转换分支中最重要的部分。GREAT 的电力生产部分的结构见下图。由图 23 可知，GREAT 的发电环节基本包括目前常用的传统化石能源和可再生以及新能源发电方式，可以满足一般省市发电部分的建模需求。如果 GREAT 的发电环节还不能满足用户的建模需求，用户可以自行添加、删除或是修改发电环节。

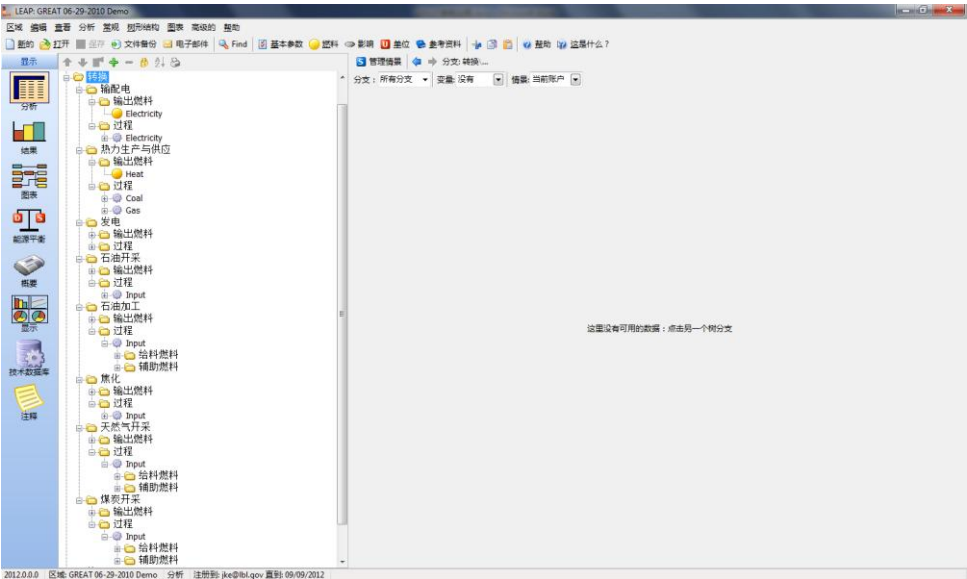


图 22. GREAT 中能源转换部分结构示意图

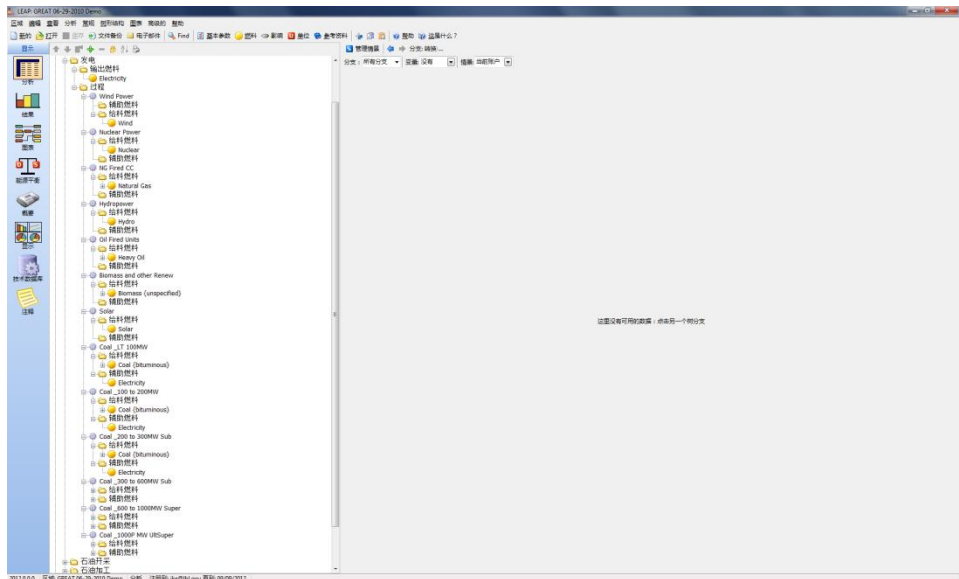


图 23. GREAT 中的发电环节

3.3.4. 资源

资源部分主要用于分析系统涉及的各种一次和二次资源储量、产量以及进出口之间的关系。对于多数应用而言，用户可以跳过此部分。

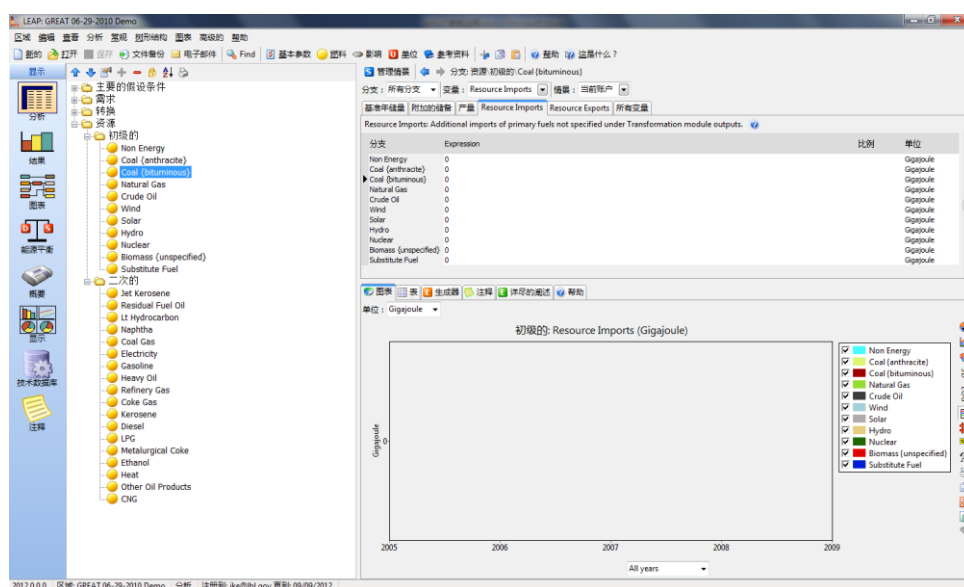


图 24. GREAT 中的资源部分

4. GREAT 能源需求建模

4.1. 能源需求简介

GREAT 作为 LEAP 应用框架，其能源需求建模本质上是一个核算（Accounting）模型，其基本假设是某一终端应用的能源消费可以用活动水平和能源强度表示：

能源消费 = 活动水平（Activity level）* 能源强度

活动水平是一个广义概念，例如对于钢铁生产，可以用物理指标（例如粗钢产量）衡量活动水平，也可以用经济指标（例如工业增加值）来衡量活动水平，其选择并没有统一原则，但一般要求能够充分反映建模对象的动态变化并与能源消费直接相关，而且便于度量或估计。例如对于钢铁行业，总产能指标在一定程度上反映了钢铁行业的规模，但是并不与能源消费直接相关（例如大部分生产线处于停工状态），因而不如总钢铁产量或总工业增加值等指标更能反映钢铁行业的活动情况。

能源强度通常定义为单位活动或产出所需的能源消费量，例如单位国民生产总值（GDP）能耗、吨钢生产综合能耗、汽车的百公里行驶油耗等。能源强度在一定程度上反映能源利用的效率，是能源经济中一个非常重要的指标。与国家节能目标类似，省市的节能目标通常也表示为能源强度的降低，例如单位 GDP 能耗下降 20%，吨钢生产能耗降低 10%等。值得指出的是，能源强度的概念本身虽然简单，实际应用时需要考虑很多因素，例如能源消费的统计范围、不同活动或生产能源强度的可比性、国家或工业标准的具体规定等。举例来说，对于吨钢综合能耗指标，只有在说明产品类型、生产工艺、能源统计范围、一次能源（例如煤）和二次能源（例如电力）的计算和折合方法等具体情况下的才有实际意义。

一般来说，在能源强度一定的情况下，活动或生产越多，能源消耗越多；在活动或生产一定的情况下，能源强度越高，能源消耗越多。例如钢铁生产，在钢铁生产能源强度一定的情况下，钢铁产量越大，消耗的能源就越多；在钢铁产量一定的情况下，钢铁生产能源强度越高，消耗的能源就越多。当然，实际建模涉及的问题可能会非常复杂，用户经常需要对问题进行深入分析，必要时进行合理简化。

从以上简要论述可以看出，如果想减少某一具体终端应用的能源消耗，可以从两方面入手：（1）降低活动水平或减少生产；（2）降低能源强度（即提高能效）。由于中国目前仍处于快速发展阶段，有时减少生产比较困难，因此降低能源强度就成了减缓某一终端应用能源消费增长的主要手段。需要指出的是，由于技术等限制，某些生产活动的物理能源强度降到一定程度后就很难再继续显著下降，例如钢铁的生产，吨钢综合能耗降低到一定程度后就很难继续显著下降。此时，应该考虑生产转型或结构调整，例如减少低附加值产品的生产，增加高利润或高附加值产品的生产，从而降低钢铁生产的经济能源强度（例如单位增加值能耗）。

由于统计和计算上的复杂性，目前中国省市的总的节能目标通常表示为单位 GDP 或工业增加值的能耗的下降，即多数采用经济能源强度。

作为终端应用建模工具，GREAT 除了可以直接对各个终端应用的能源消耗进行建模外，还可以用于节能目标设定分析，结构调整分析等。从能源分析与建模的角度说，GREAT 结合了“自下而上”的终端应用建模和“自上向下”的宏观建模。

尽管 GREAT 针对中国省市级别的能源分析与建模提供了一个详尽的应用框架，但是也不可能满足所有应用。用户在实际使用 GREAT 时，需要在 GREAT 提供的框架的基础上，设计适合于本省市的能源分析模型。

4.2. 技术（technology）与类别（category）的概念

GREAT 作为基于 LEAP 的程序框架，其分支结构的建立需要经常使用类别（category）与技术（technology）的概念，下面对这两个概念进行简介。

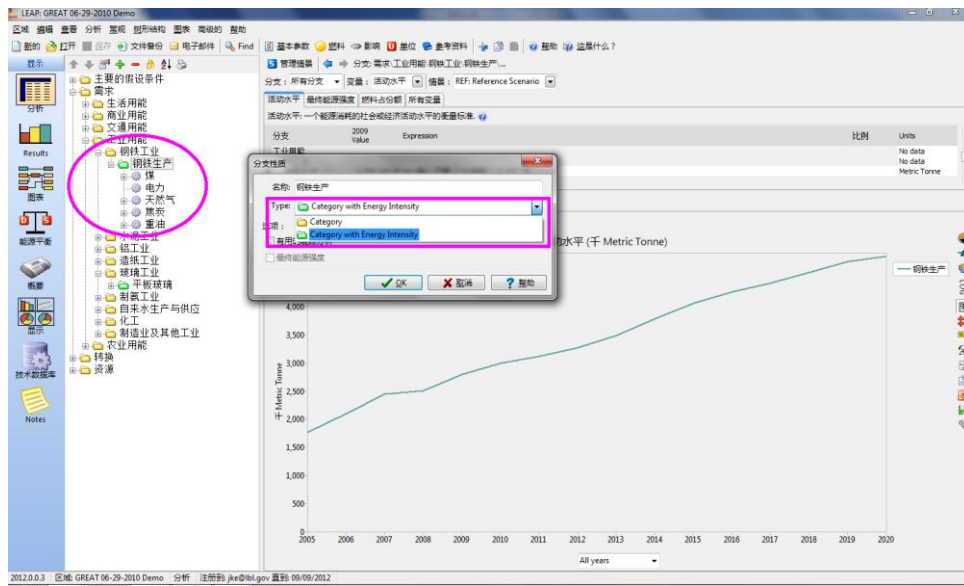


图 25. GREAT 中的“类别”

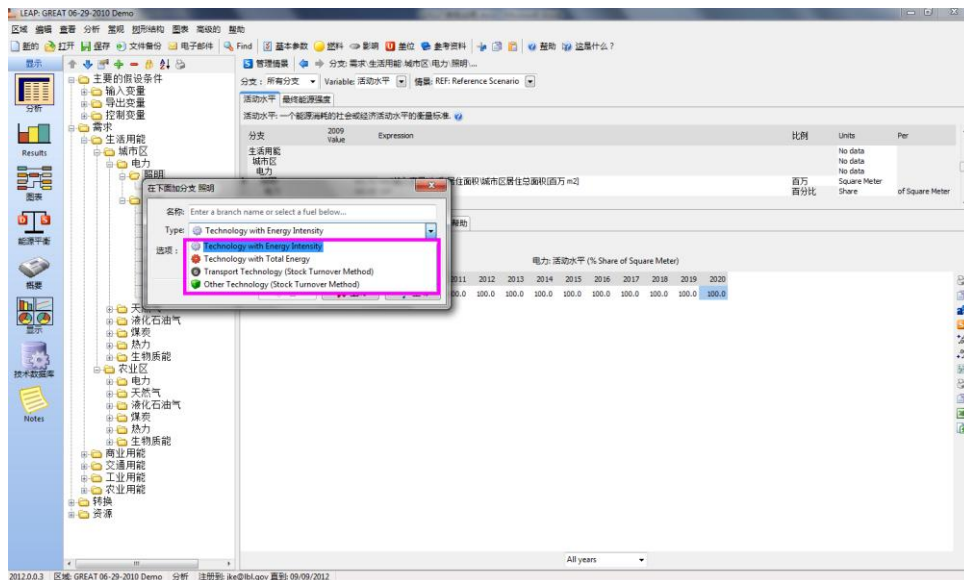


图 26. GREAT 中的“技术”

(1) “类别”顾名思义是指某一类应用或活动。类别分 2 种：“类别 (category)”和“具有能源强度属性的类别 (category with energy intensity)” (见图 25)。类别在 GREAT 中通常用于表示某一大类终端应用，在分支树中用黄色的文件夹图标表示，例如“工业用能”；具有能源强度属性的类别一般是某一大类的一个子类，例如“铝工业”下面的“制铝”，在分支树中用绿色的文件夹图标表示 (见图 25)。需要注意的是，只有具有能源强度属性的类别才能指定能源强度、修改能源消费类型和比例等属性。对于行业

或部门（例如钢铁工业、水泥工业）的建模，经常采用类别建模。从便于结构分析的角度讲，可以对于每一大行业建立一个“类别”，在此大的类别下再针对每一具体行业建立“具有能源强度属性的类别”。例如可以建立“钢铁工业”类别，在此类别下再建立“钢铁生产”、“黑色金属延压和加工”等具有能源强度属性的类别，然后针对这两类不同的生产类型修改能源消耗类型和比例等属性。

（2）“技术”在 GREAT 中是指使用某种特定能源的某个具体应用，例如消耗汽油的小型载客汽车，消耗电力的电视、冰箱、空调等。技术分为 4 种（见图 26）：“具有能源强度属性的技术（Technology with Energy Intensity）”，“具有总能源消费属性的技术（Technology with Total Energy）”，“交通技术（存量周转分析方法）（Transport Technology（Stock Turnover Method））”，“其他技术（存量周转分析方法）（Other Technology（Stock Turnover Method））”。对于简单应用而言，“具有能源强度属性的技术”使用比较多。值得指出的是，“技术”通常用于分析某一类别下消耗不同能源的具体设备或应用。与“类别”不同，“技术”只能指定一种消耗能源，例如电热水器和燃气热水器由于消耗能源不同，需要用不同的“技术”建模。一种做法是先生成一个热水器类别，然后在此类别下建立“电热水器”和“燃气热水器”两个“技术”分支。此外，“技术”可以进行“存量周转分析”，而类别则不具备这一特性。

4.3. 社会经济活动划分与 GREAT 结构设计

GREAT 根据终端用能需求特点将省市划分为“生活”、“商业”、“交通”、“工业”和“农业”这 5 类社会经济活动，从 GREAT 建模的角度讲，即需求分支下又分为“生活用能”、“商业用能”、“交通用能”、“工业用能”和“农业用能”这 5 个分支。需要指出的是，由于 GREAT 的这种分类与多数国家和省市经济与能源统计的口径相吻合，便于用户建模和收集数据，因此建议用户直接使用。即使对于已经没有农业的城市而言，“农业用能”分支仍然可以保留，只要将关键数据清零即可。

对于需求分支下的每一个大的分支，建议用户结合本省市实际特点对照 GREAT 的分支结构，分析 GREAT 现有分支结构是否已经满足需要。如果 GREAT 分支结构已经满足需要，则建议直接使用，如果 GREAT 的分支结构不能满足需要，则需要修改 GREAT 分支结构。

下面举例简要介绍分支属性的修改、增加和删除分支。

（1）分支属性的修改

例如某市没有制铝工业，但有乙烯工业需要分析，此时可以将“工业用能”分支下面的“制铝工业”修改为“乙烯工业”使用。鼠标右键点击需要修改的分支，此处即“工业用能”分支下面的“制铝工业”，则出现如图 27 所示选单，选择“属性”，然后在弹出的窗口中（见图 28）修改分支的名称为“乙烯工业”。用类似的方法修改“制铝工

业”下面的“制铝”分支为“乙烯”。需要说明的是，由于乙烯工业的能源消耗种类与制铝工业有很大不同，因此用户在修改完名称后需要进一步修改新增加的“乙烯”分支下面的能源消费种类、百分比等属性，包括“增加”、“删除”和“属性”修改等步骤。

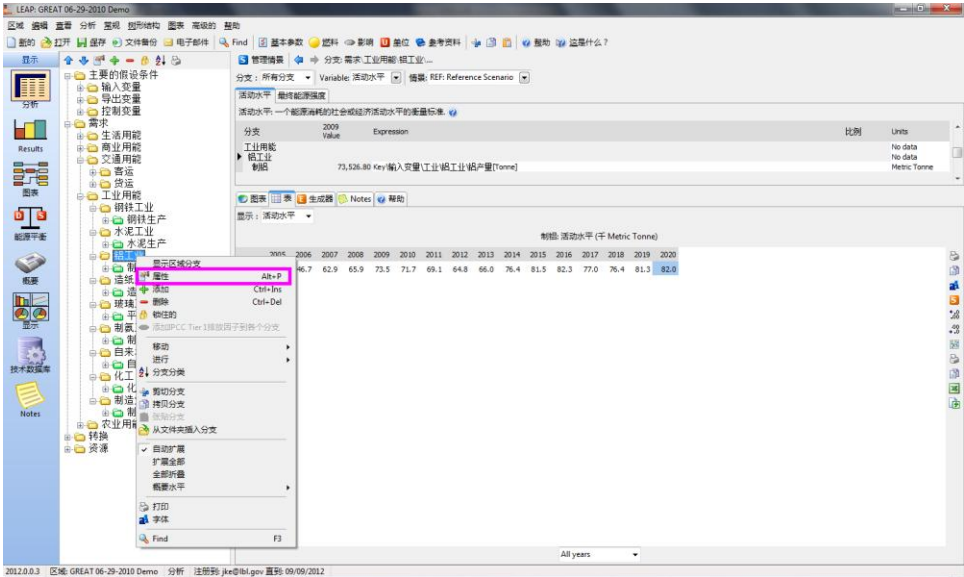


图 27. 分支的“属性”

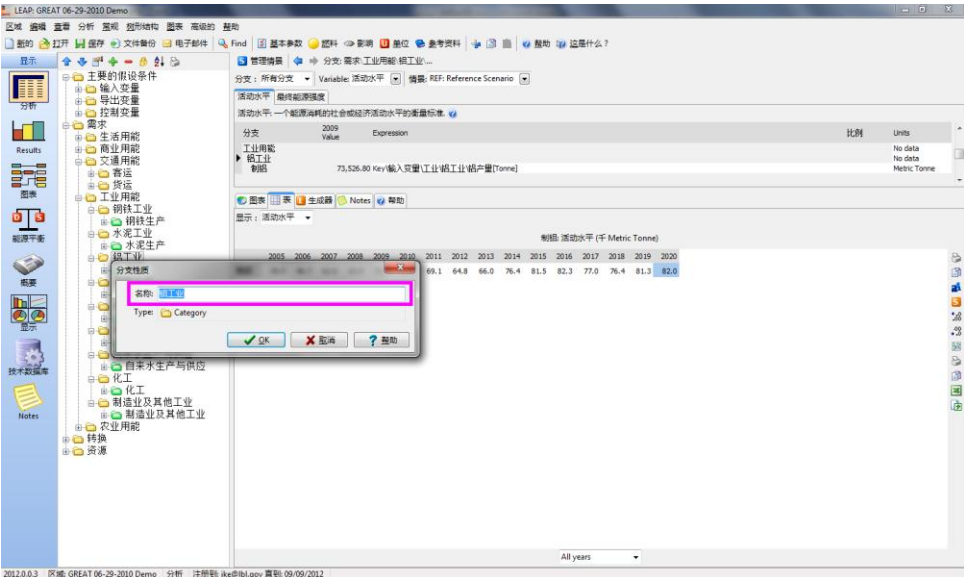


图 28. 分支属性的修改

(2) 添加分支

例如某市需要单独分析乙烯工业，而 GREAT 没有乙烯工业分支。此时可以在“工业用能”分支下面增加一个“乙烯工业”分支。鼠标右键点击预增加分支的上一级分支，此

处即“工业用能”分支，则出现如图 29 所示选单，选择“增加”选项（见图），在弹出的窗口中（见图 30）输入需要增加的分支的名称（此处即“乙烯工业”），点击确定增加一个分支。然后用类似的方法在“乙烯工业”分支下面增加“乙烯生产”分支（带能源强度的类别），然后根据乙烯生产的能源消耗修改新增加的“乙烯生产”分支下面的能源消耗种类、百分比等属性，包括“增加”、“删除”和“属性”修改等步骤。

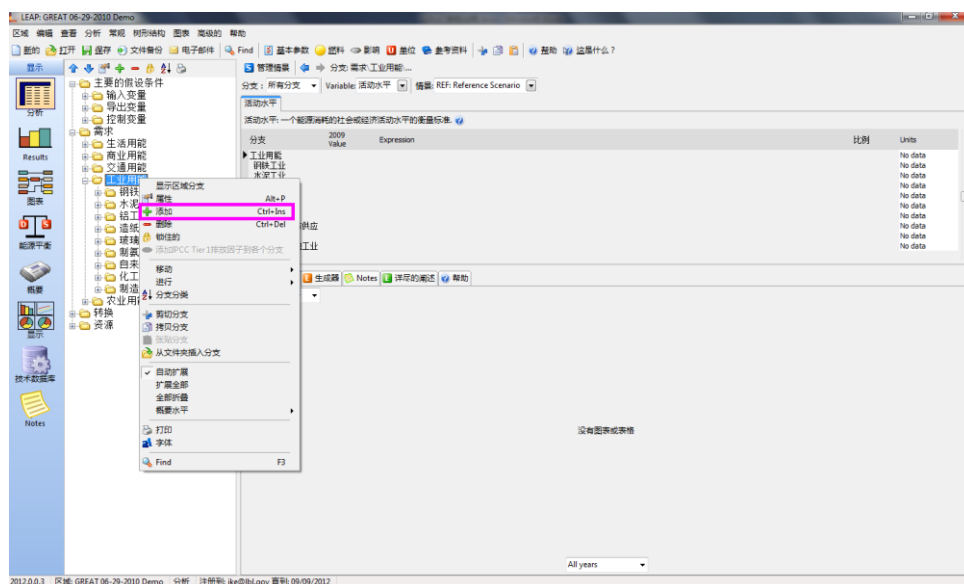


图 29. 添加分支

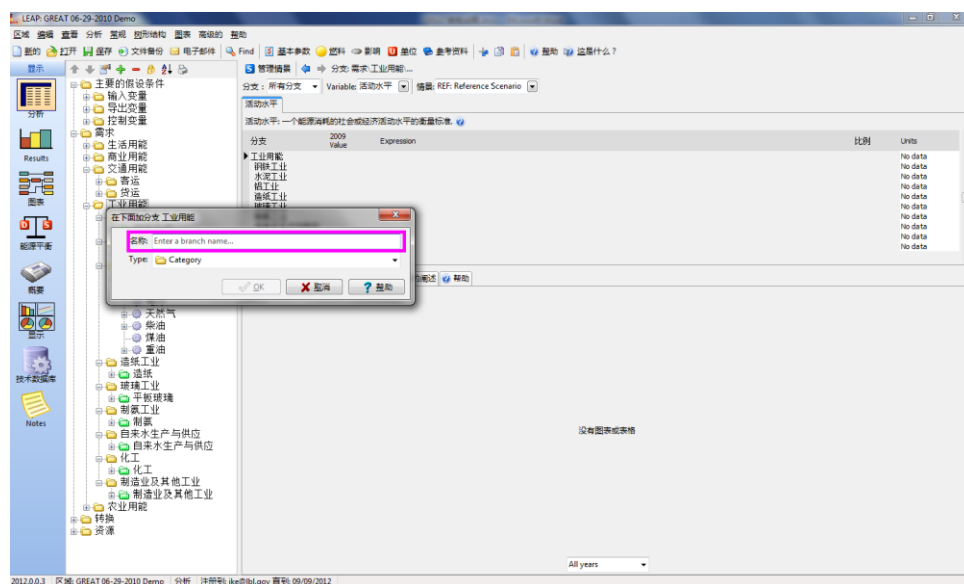


图 30. 修改新添加的分支属性

(3) 删除分支

GREAT 提供了十分详尽的程序框架，有时并不是所有的能源分析建模需要详尽的分支结构。用户可以删除不需要的分支以简化模型。例如某市没有制氨工业，可以删除制氨工业分支。删除一个分支非常容易，鼠标右键点击要删除的分支，在弹出的关联选单中选择“删除”选项（见图 31），即可以删除选定分支及其以下各级分支。需要注意的是，基于 LEAP 的 GREAT 没有“后退”功能，一旦确定删除某一分支则无法恢复，因此用户需要确认是否真的要删除某一分支。需要指出的是，对于不需要的分支，也可以采取保留分支而关键数据清零的方式消除其影响。

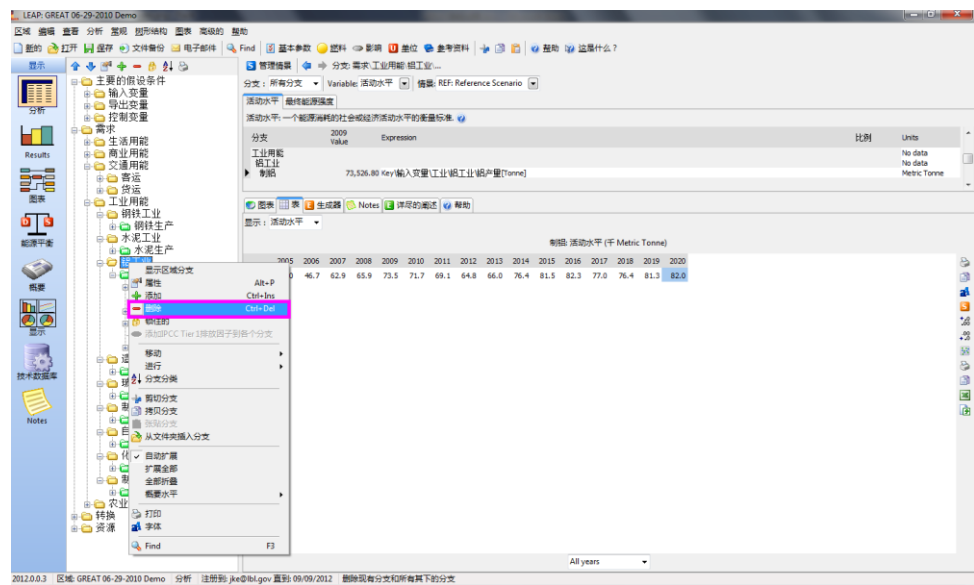


图 31. 删除分支

5. GREAT 能源需求情景分析

5.1. 情景分析简介

很多情况下，能源需求分析的目的是对中长期能源开发与使用进行预测和规划，制定节能减排目标。作为 LEAP 应用程序框架，GREAT 也是通过各种情景的假设和模拟，对中长期能源的开发与使用进行合理的规划，估计节能减排潜力，制定合理的节能减排目标。

一般来说，未来是无法准确预测的，但是我们可以通过一系列对未来政策、技术、经济与社会发展的合理假设，分析未来在不同假设条件下的可能结果，进而为能源规划和目标设定提供直观的参考。

对于 GREAT 而言，当前情景的名称显示在数据录入区上方（如图 32 所示），通过下拉选框可以很方便的更改当前情景。因为数据和结果都是与情景关联的，所以在分析

视图下查看输入数据时要注意当前是在哪个情景下。用户也可以查看某一支在所有情景下的数值（如图 33），这对于比较各个情景的输入数据是非常方便的。

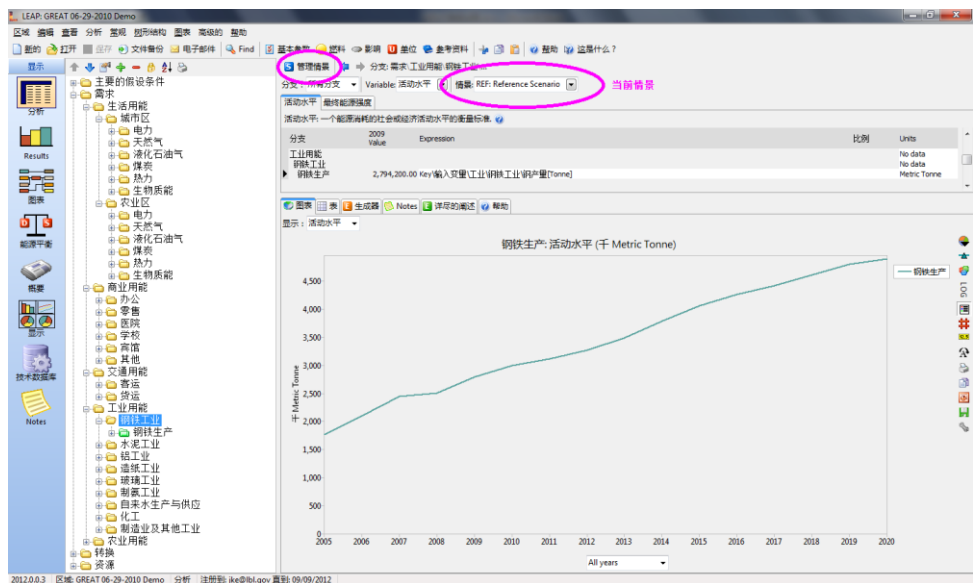


图 32. 情景及情景管理器

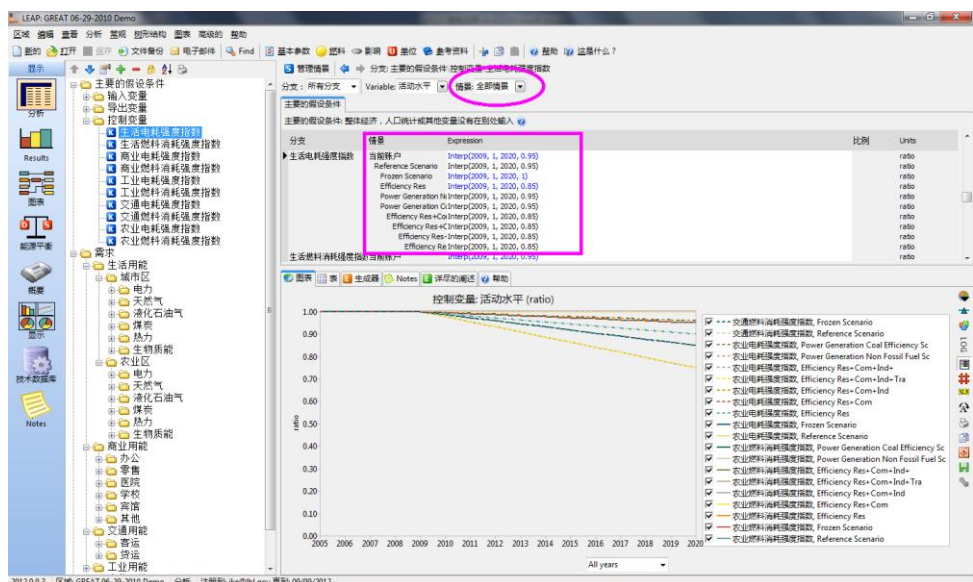


图 33. 查看不同情景的数值

在分析视图下，点击“管理情景”按钮可以打开情景管理器，如图 34 所示。在此例中，有 4 个情景继承自基准（参考）情景（REF）：FRO（冻结）、E_R、PGNF 和 PGCE。此处继承的含义是某一情景是用上一级情景作为模板生成的。通过继承，用户可以极大简化建模过程。通常，用户通过继承某一已经建立的情景（即父情景）生成新情景

（即子情景），则子情景就会从父情景继承所有结构和数据，只要修改子情景与父情景不同的数据即可，从而可以极大简化新情景的开发。用户应该充分利用这种面向对象的设计技术简化和加快建模过程。

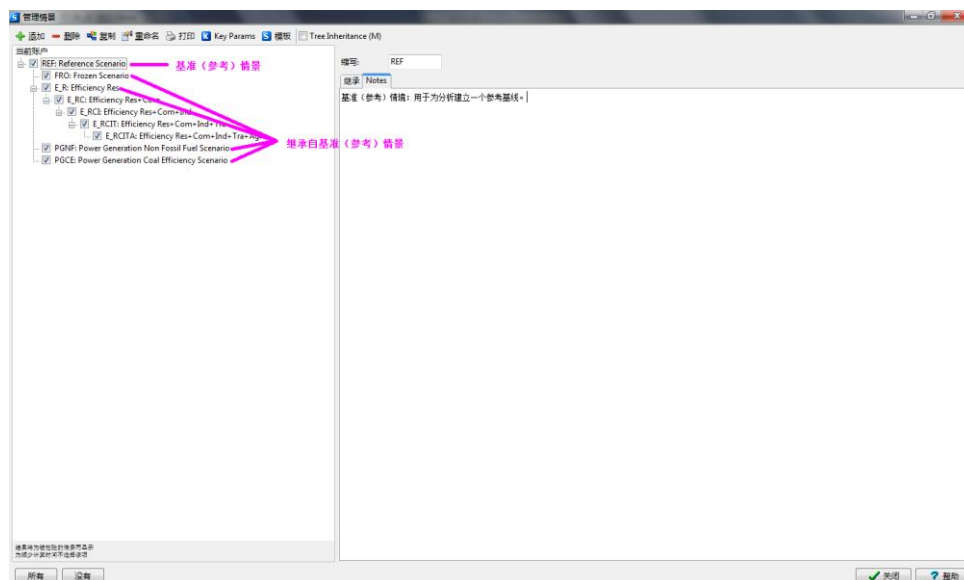


图 34. 情景管理器

5.2. 情景管理与分析

GREAT 的情景管理主要包括新建、修改和删除情景等操作，下面简要介绍最常用的新建和删除这两个常用的操作，修改情景等操作由于涉及多重继承等概念请参考 LEAP 使用说明。

（1）新建情景

用户在分析的基础上确定新情景与已有情景之间关系，合理利用继承。例如，用户已经对 2010-2020 的钢产量进行了预测，但用户同时希望知道如果 2015-2020 年实际钢产量只有目前预测（参考情景）的 80%时会对钢铁工业的能源消耗和碳排放产生什么影响时，可以在参考情景的基础上生成一个新情景（例如命名为“钢铁工业低产量情景”）。其操作十分简单，在“分析”视图打开情景管理器，鼠标点击参考情景（REF）将参考情景选为当前父情景，然后点击“+添加”图标，在弹出窗口中输入“钢铁工业低产量情景”（如图 35 所示），确认后就会以参考情景为父情景生成一个子情景。在“缩写”文本框中输入缩减后的情景名称（例如“钢铁低产量”）。鼠标点击“关闭”按钮退出情景管理器。

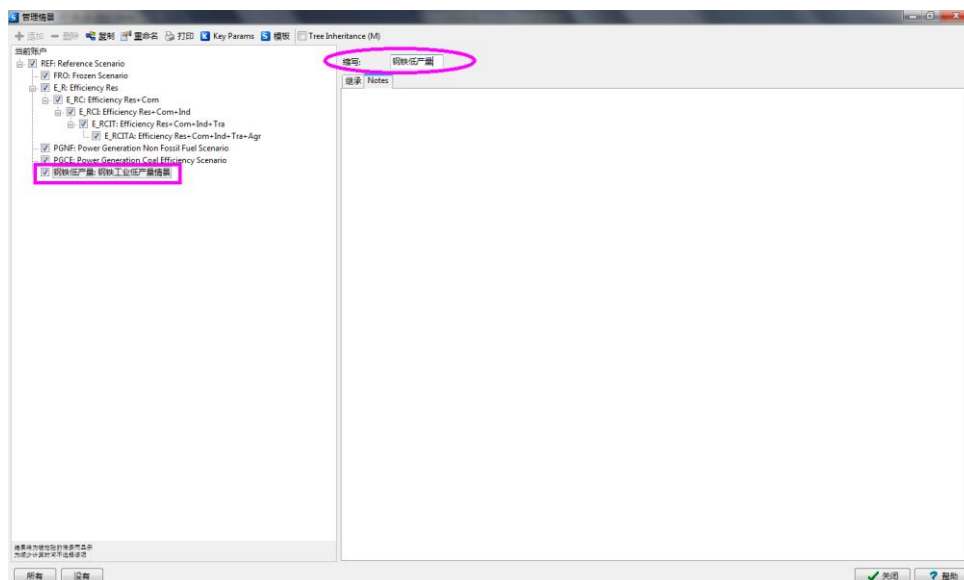


图 35. 新建情景

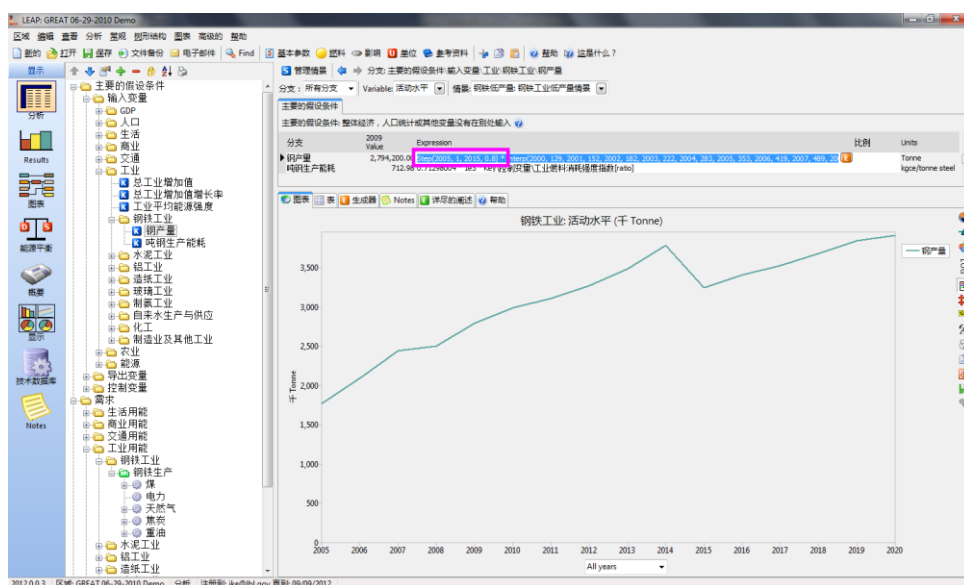


图 36. 修改情景对应的表达式

确认“钢铁低产量”为当前情景，定位到输入变量中的“钢产量”分支，在原“活动水平”表达式前面加入表达式（如图 36 所示）：“Step(2005, 1, 2015, 0.8) *”。注意观察活动水平曲线的变化。选择显示“全部情景”，可以查看各个情景下某一变量的不同表达式及其数值，如图 37 所示。

运行程序，然后转到“结果”视图，定位到“需求”分支下的“钢铁生产”，选择希望显示的结果（例如选择显示终端能源消费），可以比较不同情景下的能源消耗和排放情况，如图 38 所示。

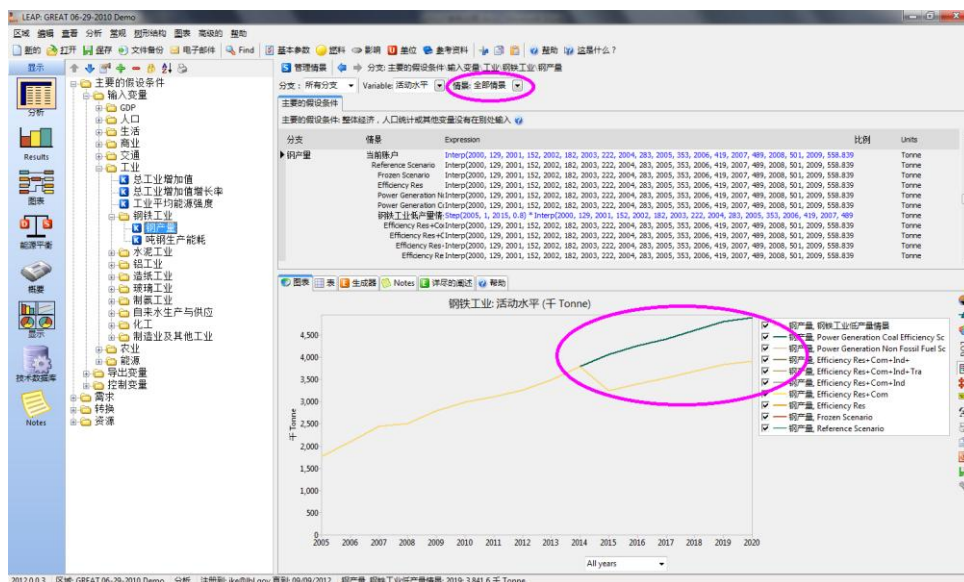


图 37. 查看不同情景对应的表达式的值

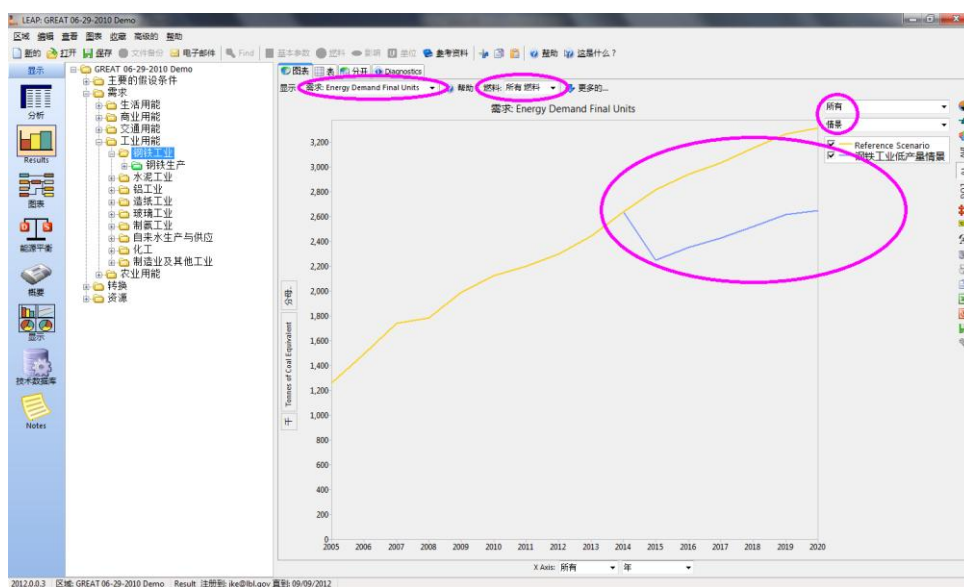


图 38. 查看不同情景对应的运行结果

(2) 删除情景

删除情景比较简单。用鼠标选定需要删除的情景，点击“一删除”按钮即可（见图 39）。需要注意的是，由于情景管理器没有“恢复”操作，因此删除情景前需要确认。此外，必须删除某一父情景的所有子情景才能删除该父情景。如果需要删除某一父情景但希望保留某一子情景，可能就需要改变继承关系。

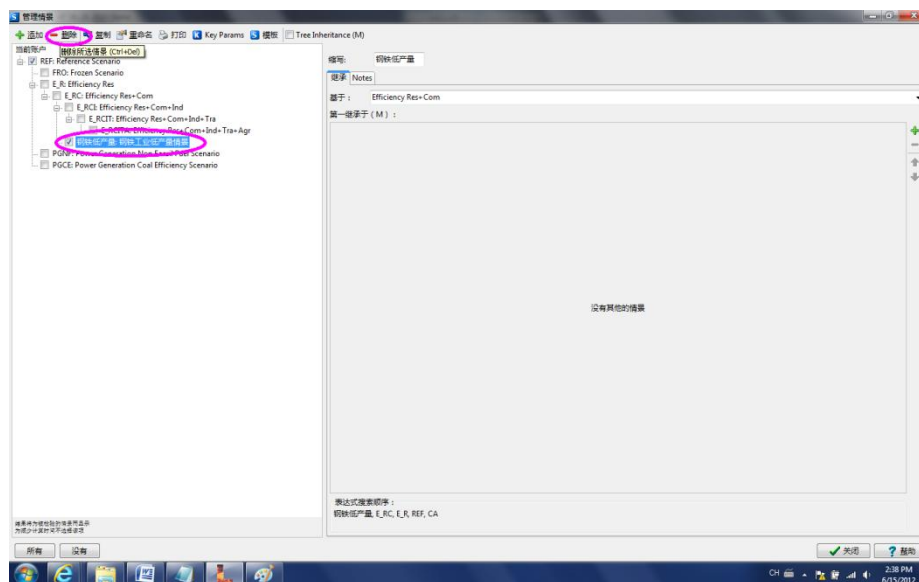


图 39. 删除情景

6. GREAT 排放分析

6.1. 排放分析简介

随着能源使用的急剧增加，煤炭、石油等化石能源燃烧导致的二氧化碳等温室气体排放已经对全球的气候造成巨大影响。为了控制温室气体排放，减缓气候变化，有必要对各种温室气体排放进行统计和分析。基于 LEAP 的 GREAT 可以用于省市级的温室气体排放估计及排放清单编制。此外，二氧化硫等排放严重危害自然环境并对人类健康造成损害，也是重点监控内容。

6.2 添加排放因子（环境负荷因子）

在完成 GREAT 结构及各分支建模后，就可以给各种能源加上排放因子以计算能源消耗的环境负荷（温室气体以及有害气体排放等）。添加排放因子后的模型如图 40 和 41 所示。由图可知，每种化石能源的分支下面增加了许多分支以用于计算各种有害排放。例如对于煤，需要分析统计的主要排放包括：非生物源产生的二氧化碳（Carbon Dioxide Non Biogenic）、一氧化碳（Carbon Monoxide）、甲烷（Methane）、非甲烷挥发性有机化合物（Non Methane Volatile Organic Compounds）、氮氧化物（Nitrogen Oxides, NO_x）、一氧化二氮（Nitrous Oxide）、二氧化硫（Sulfur Dioxide）。在右边的数据输入区，如果选择“环境负荷”选项卡，可以看到各种排放因子（环境负荷因子），用户可以根据当地实际数据进行修改。

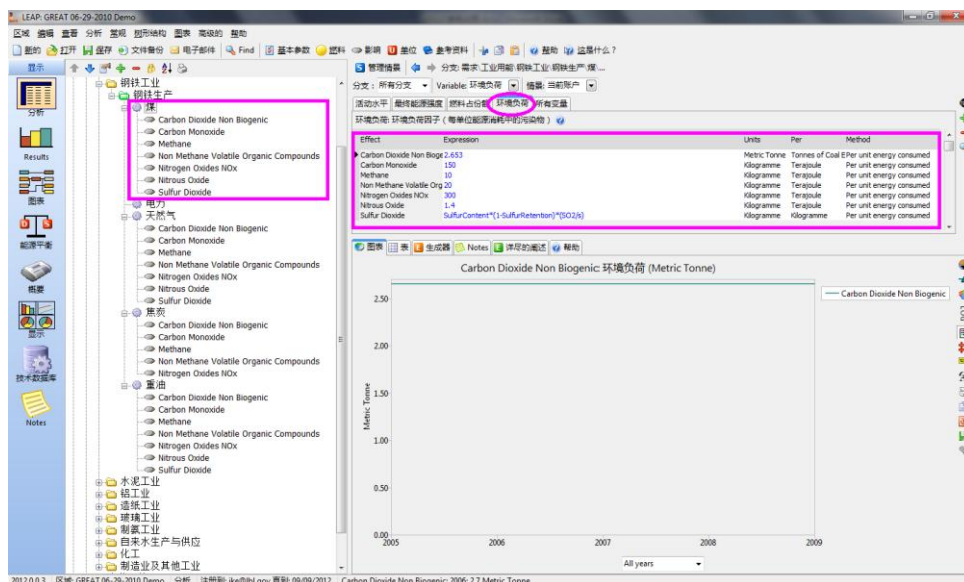


图 40. 添加排放因子后的能源分支（能源需求）

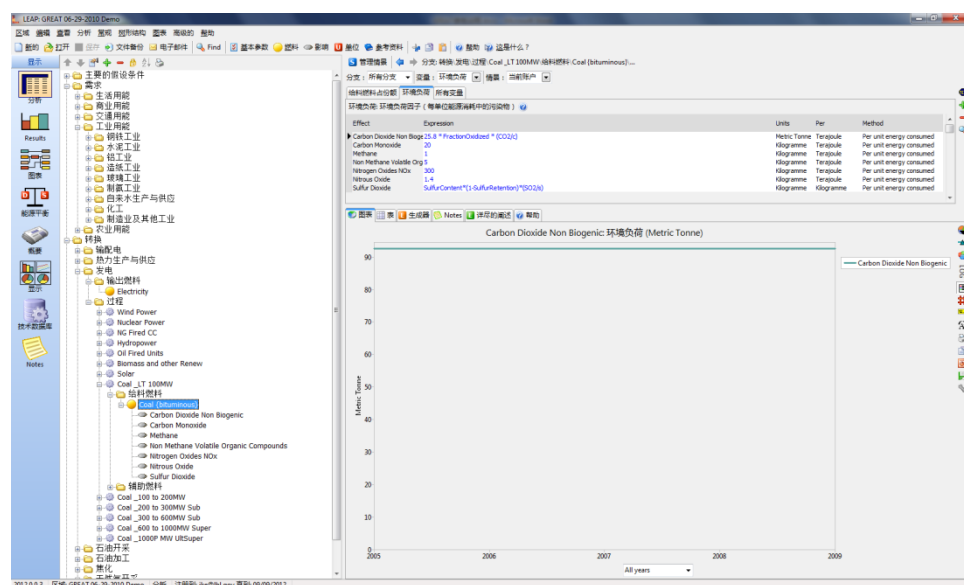


图 41. 添加排放因子后的能源转换部分

如果用户没有更好的数据，则应使用系统提供的缺省值（IPCC Tier 1 排放因子），如图 41 和 42 所示。IPCC 是 Intergovernmental Panel on Climate Change（政府间气候变化合作组织）的简称。IPCC 长期致力于全球气候变化及其对策的研究，对于减缓全球气候变化做出了突出贡献，IPCC 也因此于 2007 年获得了诺贝尔和平奖。IPCC 对于各种能源的排放进行了大量研究，对于各种能源消耗的排放因子提出了适用于不同场合和要求的参考值。IPCC Tier 1 排放因子是精度最低的一级排放因子，但是由于其简单性和权威性，

因而在全世界得到了广泛应用。当然，在有条件的情况下，建议用户尽量采用基于本地区实际情况的排放因子。

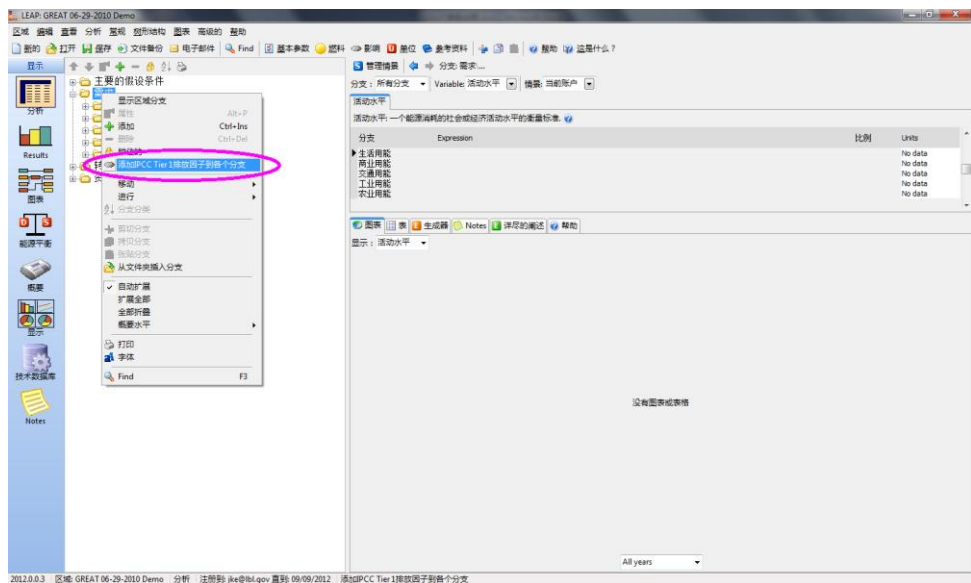


图 42. 添加 IPCC Tier 1 排放因子

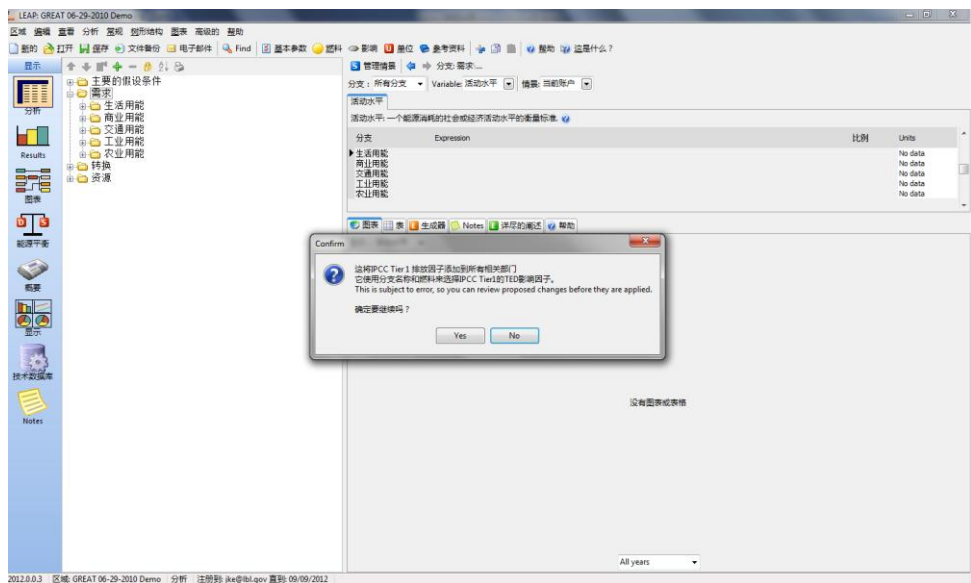


图 43. 确认添加排放因子

6.3. 排放（环境负荷）分析

用户对每种能源建立起详细的排放因子后，即可以计算各个终端应用的排放量，并用于排放清单的编制以及设定减排目标等。使用下面的简例演示如何通过降低能源强度而

实现减排。例如用户对于截至 2020 年的钢产量进行了预测，且已知目前本地钢铁厂的吨钢生产综合能耗，假定到 2020 年吨钢生产综合能耗可以降低 5%且各种能源消费的比例不变，则可以建立两个情景：一个冻结情景（Frozen，即假定吨钢生产综合能耗不变化）和一个参考情景（Reference，即假定到 2020 年吨钢生产综合能耗可以降低 5%），见图 44 所示。程序运行后，查看“结果”视图，则可以比较两种情景下排放情况，如图 45 所示。注意：此处程序界面转为英文是因为本说明写作时使用的 LEAP 版本是一个内部测试版，在中文界面下环境负荷部分的显示还有些问题。

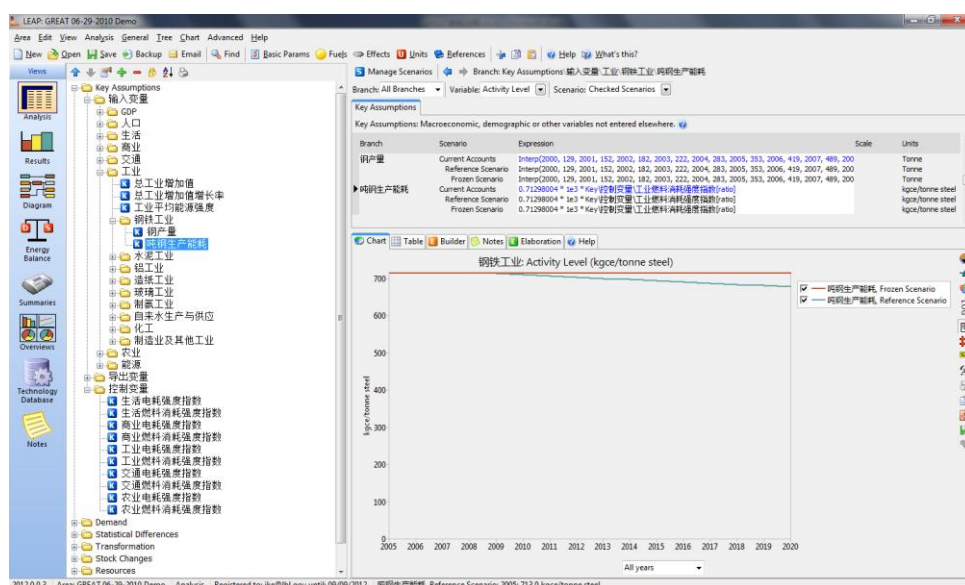


图 44. 排放分析示例

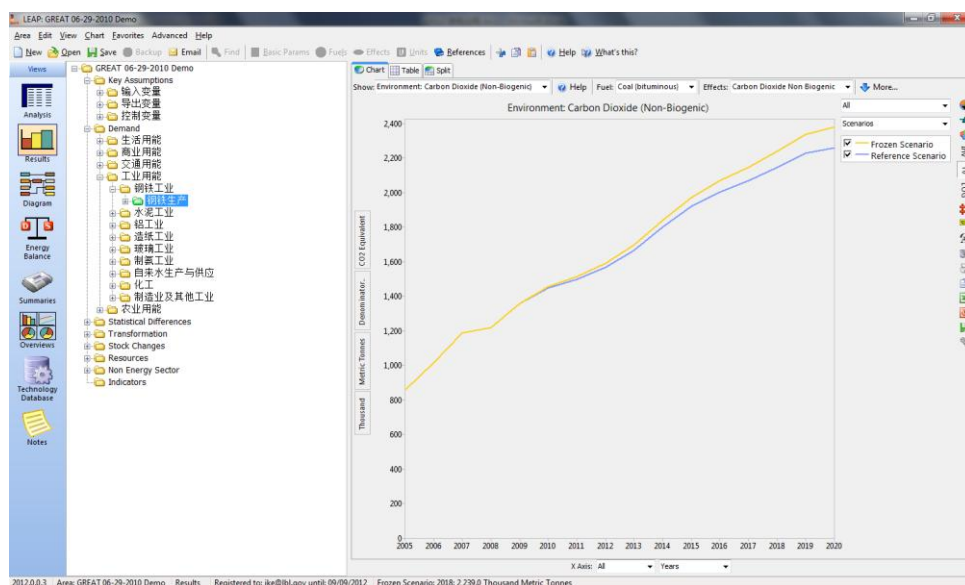


图 45. 排放分析示例运行结果

需要指明的是：

(1) 电力生产消耗大量的煤炭、天然气等一次能源，其二氧化碳、二氧化硫、粉尘等有害物质的排放量是十分巨大的，但电力消费本身并不直接排放。因此一般认为电力生产直接排放，而电力消费间接排放。在 LEAP 中，电力的消费没有直接排放，与电力相关的排在能源转换部门，如图 46 所示为发电行业的二氧化碳排放情况。

(2) 如果需要考虑电力消费间接排放，可以通过计算电力生产排放强度以及终端应用的电力消费来计算的：

电力消费间接排放 = 电力生产排放强度 * 终端应用的电力消费

此外，最新版本的 LEAP 也提供有限的将能源转换部门的排放重新分配到终端应用部门的功能。

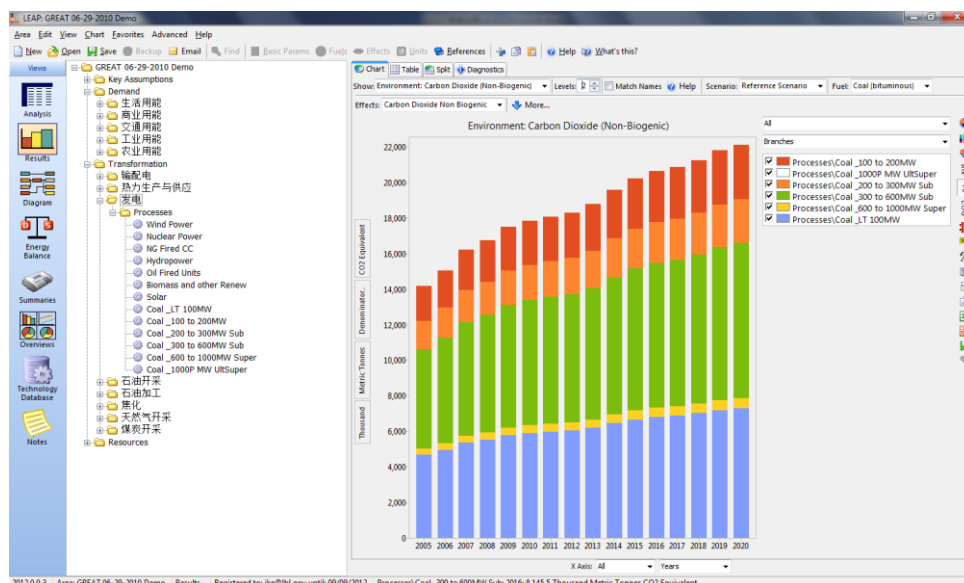


图 46. 电力生产排放

7. 结语

作为 LEAP 的中文应用程序框架，GREAT 工具的使用和二次开发需要对 LEAP 软件有比较深入的了解。本说明只是提供一个初步的参考，建议用户在此基础上进一步阅读 LEAP 软件的说明书并经常浏览 LEAP 网站。

致谢

在本说明的写作过程中，劳伦斯伯克利国家实验室的 Hongyou Lu 以及 Lixuan Hong 等同事阅读了初稿，并提出了许多很好的建议，在此表示谢意。如读者发现有不当甚至错误之处，请指正，在此一并致谢。

参考文献

- [1] Heaps, C.G., 2012. Long-range Energy Alternatives Planning (LEAP) system. Stockholm Environment Institute. Somerville, MA, USA. < www.energycommunity.org >
- [2] Heaps, C.G., 2008. An Introduction to LEAP. < <http://www.energycommunity.org/documents/LEAPIntro.pdf> >
- [3] Heaps, C.G., 2012. Long-range Energy Alternatives Planning (LEAP) software. < <http://www.energycommunity.org/default.asp?action=40> >