

科技部国际科技合作与交流计划项目(2007DFB70200) 资助

有限元地下水流和 溶质运移模拟系统 FEFLOW6 用户指南

张保祥 王明森 田景宏 卢志华/编译

中国环境科学出版社

有限元地下水流程和
模拟系统

FEFLOW
用户指南 **6**

张保祥 王明森 田景宏 卢志华/编译

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

有限元地下水流和溶质运移模拟系统 FEFLOW 6用户指南 / 张保祥编译. —北京: 中国环境科学出版社, 2011.12
ISBN 978-7-5111-0815-9

I. ①有… II. ①张… III. ①地下水运动—有限元法—模拟系统—指南 IV. ①P641.2-39

中国版本图书馆CIP数据核字 (2011) 第258737号

版权声明

未经软件开发者和DHI-WASY公司同意, 本书内容严禁任何形式的复制、翻译。

DHI-WASY[®]、FEFLOW[®]和WGEO[®]是DHI-WASY公司注册的保护商标。

责任编辑 周艳萍
责任校对 扣志红
封面设计 彭 杉
版式设计 彭 杉

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京东城区广渠门内大街16号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
联系电话: 010-67112756 (总编室)
010-67112738 (图书出版中心)
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)
印装质量热线: 010-67113404

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2012年1月第一版
印 次 2012年1月第一次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 10
字 数 160千字
定 价 50.00元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究】
如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

前 言

水是人类宝贵的自然资源。经济发展、人口增长及气候变迁等，均能引发水资源从量到质的变化。目前，全世界有近11亿的人口无法获得安全的饮用水，这使得发展中国家和欠发达国家面临更加严重的贫困、疾病和死亡的威胁。同样，很多地区地下水资源也受到严重污染，人类生存的最后一道防线面临严峻考验，研究保护地下水资源已成为人类繁衍生存的一场战争。

地下水埋藏于地下，地质结构复杂，使人们在利用地下水资源、防止地下水污染方面面临着诸多科学问题。在如何有效地防止海水入侵、如何科学地探索地下水中污染物的运移、如何合理地限制地下水超采并实现采补平衡、如何对地下水长期利用进行科学合理的规划等方面均需要有一套基于科研基础的软件系统来支持。FEFLOW有限元地下水流和溶质运移模拟系统软件正是顺应这一潮流发展的有效工具。从20世纪70年代末该软件问世以来，在理论研究和实际问题的处理上，经过了不断地发展、修改、扩充和提高，并日臻完善，成功地解决了一系列与地下水有关的实质性问题，已成为世界上功能最齐全、技术最为先进的三维地下水模拟分析软件之一。

FEFLOW软件具有齐全的地下水模拟功能，包括：三维空间模拟；二维平面、剖面及轴对称模拟；非稳定流或稳定流模拟；多层自由表面含水系统(包括上层滞水)模拟；包括温度盐分在内的化学物质运移及热传递模拟；海(咸)水入侵等可变密度流场模拟；非饱和带流场及物质运移模拟等。FEFLOW软件已经在下列领域得到广泛应用：地下水区域流场及地下水资源规划和管理方案模拟；矿区露天开采或地下开采对区域地下水的影响及其最优对策方案模拟；近海岸地下水开采或者矿

区抽排地下水引起的海水或深部盐水入侵问题模拟；非饱和带以及饱和带地下水水流及其温度分布问题模拟；污染物在地下水中运移过程及其时间、空间分布规律模拟；结合降水—径流模型进行“降雨—地表水—地下水”联合动态模拟等。

FEFLOW 6最新版发布于2010年5月，在基于原有限元分析的基础上，对软件操作界面进行了彻底的改变，以WINDOWS全新界面正式亮相；用户使用软件组件FEFLOW Viewer可对前后处理文件实现可视化；新增Command-Line模块加强了软件批处理能力；WGEO模块使软件图形处理功能进一步优化；FEPLOT内置打印模块使用户可根据个性需求完成图形、地图信息和文字信息的综合打印；FE-LM2工具增强了软件的适线功能。

自德国WASY水资源规划与系统研究所于2008年正式加盟DHI公司以来，DHI-WASY公司在水资源模型方面的研究实力不断壮大，公司以地下水模拟软件FEFLOW为中心，融合了MIKE-SHE软件的精华，形成了世界上一流的地下水研究团队。FEFLOW 6 的正式发布将对全世界地下水的研究提供最科学和便利的工具。结合计算机技术的发展，软件也将不断升级，帮助广大用户解决地下水研究中遇到的新问题。

FEFLOW软件在国际上及中国境内均拥有大量用户，该书的出版，对于引进国外先进技术方法、加强我国相关领域技术手段和装备能力，促进地下水科研水平的提高和提升政府对地下水资源管理的现代化水平，都具有重要的意义。

本书主要包括两部分内容，第一部分（第1～14章）为用户手册，主要介绍FEFLOW软件的功能、安装及使用方法；第二部分（第15章）是演示练习及具体操作步骤。有关模型的物理基础和基本理论部分，可参见FEFLOW软件随盘所带的参考手册（FEFLOW_REFERENCE_MANUAL）。

本书的出版得到科技部国际科技合作与交流计划项目“滨海地区水资源综合管理技术研究(2007DFB70200)”的大力资助，同时本书的顺利完成与项目组相关人员的共同努力也是分不开的。在此，向项目组和参与编、译、校的所有人员表示衷心的感谢。

由于编译人员水平所限，书中难免会有疏漏或错误，欢迎各位专家、读者批评指正。

编译者

2011年10月

序 言 PREFACE

FEFLOW是专业的地下水流与溶质运移及地热传导过程模拟软件包。它包含预处理、后处理及运行模拟引擎，用户界面友好、菜单操作方便。FEFLOW是一个包括从模拟引擎到用户界面及用户代码公共程序界面的完整综合系统。

FEFLOW用户通常为世界各地的咨询公司、研究机构、大学及政府部门，它的适用范围为从局部的简单模拟到大型的复杂模拟。

FEFLOW的标准语言是英语。目前，FEFLOW在中国的用户越来越多，为了进一步开发和改善FEFLOW在中国的应用前景，出版中文用户指南是很有必要的。

我们非常高兴地看到，在中德国际科技合作与交流项目“滨海地区水资源综合管理技术研究”\的资助下，山东省水利科学研究院和德国DHI-WASY水资源规划与系统研究所作为双方牵头单位，成功地将FEFLOW软件应用到解决复杂的海水入侵问题中，并准备出版FEFLOW中文版用户指南。

本书为新版软件FEFLOW6用户指南，该版本以使用全新界面、尖端可视化技术及编辑选项为特征，可被用于众多的物理过程模拟中，包括经典的地下水问题、非饱和流、变密度流和地热等方面。

在实用性和特色方面，FEFLOW一贯处于领先地位。有关该软件的详细信息，可以登录公司网站www.feflow.com获取。

如有任何问题，可通过联系软件客户服务邮箱MIKEbyDHI.DE@dhigroup.com获得支持。

非常感谢张保祥研究员组织了本书的编译出版工作。

IV

FEFLOW is a professional software package for modeling fluid flow and transport of dissolved constituents and/or heat transport processes in the subsurface.

FEFLOW contains pre- and post-processing functionality and an efficient simulation engine. A user-friendly graphical interface provides easy access to the extensive modeling options.

FEFLOW is a completely integrated system from simulation engine to graphical user interface. It also includes a public programming interface for user code.

FEFLOW is used by leading consulting firms, research institutes, universities and government organizations all over the world. Its scope of application ranges from simple local-scale to complex large-scale simulations.

FEFLOW has become more and more popular in China as well. The FEFLOW standard language is English. In order to further develop and improve the FEFLOW application in China, Chinese descriptions are helpful.

We are very glad, that in the framework of the Chinese-German Research Project "Overall-effective measures for sustainable water resources management in the coastal area of Shandong Province, PR China", with the Water Resources Institute of Shandong Province and DHI-WASY as leading partners FEFLOW could be applied for complex problems of saltwater intrusion and, to prepare this Chinese version of the FEFLOW guidebook.

We highly acknowledge the excellent work by Prof. Zhang Baoxiang to lead the translation.

The guidebook refers to FEFLOW version 6.0. This release features a completely new user interface with cutting-edge visualisation and editing options. With the broad range of physical processes it covers, it is broadly applied in the fields of classic groundwater modelling, unsaturated flow, density-dependent flow and geothermics.

FEFLOW is consistently advanced in terms of usability and features. More detailed information is available on our web-page www.feflow.com.

In case of questions do not hesitate contact our support team via MIKEbyDHI.DE@dhigroup.com.

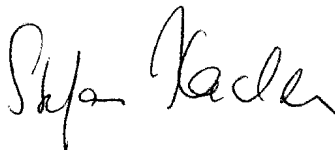
德国DHI-WASY公司
地下水模型中心主任
Director
Groundwater Modeling Center
DHI-WASY GmbH



Hans-Jörg Diersch 教授

V

德国DHI-WASY公司
总经理
Managing Director
DHI- WASY GmbH



Stefan Kaden 教授

柏林/Berlin

2011年10月24日

目 录

1

FEFLOW介绍/1

- 1.1 关于FEFLOW/1
- 1.2 FEFLOW软件包/2
- 1.3 FEFLOW文档/2
- 1.4 应用范围和结构/2
- 1.5 术语和符号/3
- 1.6 注释/3

2

安装指导/5

- 2.1 介绍/5
- 2.2 安装FEFLOW 6(Windows)/6
- 2.3 安装FEFLOW 6(Linux)/10
- 2.4 软件包安装/10

3

用户界面/13

- 3.1 原理/13
- 3.2 图形驱动/13
- 3.3 定制界面/14
- 3.4 视图窗口/14
- 3.5 教程/15

4

地图应用/17

- 4.1 地图的用途/17
- 4.2 坐标系/18
- 4.3 地图配准/18
- 4.4 地图处理/19
- 4.5 导出地图/20
- 4.6 教程/20

5

超级网格设计/23

- 5.1 超级网格介绍/23
- 5.2 编辑超级网格特征/24
- 5.3 把地图特征转换为超级网格特征/24
- 5.4 教程/25

6

有限单元网格/29

- 6.1 空间离散/29
- 6.2 网格生成过程/29
- 6.3 网格生成算法/30
- 6.4 网格编辑/30
- 6.5 3D离散/30
- 6.6 教程/31

7

问题设定/37

- 7.1 问题类型/37
- 7.2 求解方法/42
- 7.3 教程/43

8

选择工具应用/47

- 8.1 介绍/47
- 8.2 选择工具/47
- 8.3 存储选择/49
- 8.4 教程/49

9

参数可视化/53

- 9.1 介绍/53
- 9.2 视图窗口/53
- 9.3 模型几何体和数据绘图/53
- 9.4 可视化选项/54
- 9.5 裁剪与切割/54
- 9.6 查看/55
- 9.7 教程/55

10

参数赋值/61

- 10.1 介绍/61
- 10.2 输入参数/61
- 10.3 赋常数/64
- 10.4 时间序列数据赋值/65
- 10.5 地图数据赋值/66

10.6 查找表赋值/68

10.7 复制数据值/69

10.8 单位/69

10.9 教程/69

11

模拟/77

- 11.1 介绍/77
- 11.2 模型检查/77
- 11.3 结果输出/77
- 11.4 模拟运行/78
- 11.5 收敛/78
- 11.6 教程/78

12

结果评价/81

- 12.1 介绍/81
- 12.2 观测点/81
- 12.3 均衡分析/81
- 12.4 含量分析/82
- 12.5 流线和迹线/82
- 12.6 输出/83
- 12.7 教程/83

13

动画和视频输出/89

- 13.1 介绍/89
- 13.2 创建演示/89
- 13.3 影片输出/90
- 13.4 教程/91

14

插件和界面管理器/93

- 14.1 介绍/93
- 14.2 用户插件/93
- 14.3 技术/94
- 14.4 界面管理器/94
- 14.5 教程/95

15

FEFLOW 6演示练习/101

- 15.1 研究区概况/101
- 15.2 开始/102
- 15.3 几何形态/103
- 15.4 问题设置/117
- 15.5 模型参数/119
- 15.6 模拟/130
- 15.7 水流和运移模型/132

附录

英中对照/143

FEFLOW介绍

全面介绍FEFLOW软件的模拟功能

1.1 关于FEFLOW

FEFLOW是交互式有限元模拟软件系统，主要用于地下水、渗流介质的二维和三维流量、溶质运移和热传递模拟。FEFLOW可建立和模拟以下内容：

- 三维和二维模型；
- 水平、垂直和轴对称模型；
- 可变密度流场及温盐模拟；
- 变饱和模型；
- 稳定流和非稳定流；
- 流量、溶质运移和热交换问题；
- 化学物质运移反应模型。

FEFLOW可有效描述与时间空间分布相关的地下水污染物质及其反应过程、模拟地热过程、评估化学污染物质在含水层中的运移时间和持续时间，可用于规划设计地下水恢复计划和设计方案，还可以帮助设计有效的地下水监测方案。

FEFLOW提供了先进的可连接ARC-GIS、CAD数据和简单文本数据的用户界面。它可通过Plug-ins工具实现用户自主开发程序的调用。

自1979年发布以来，FEFLOW软件不断被扩展和完善，目前DHI-WASY公司专业团队负责进行软件开发和维护。FEFLOW软件现今已被大学、研究机构、管理部门和咨询公司广泛用于地下水的模拟研究中。

FEFLOW适用于WINDOWS操作系统和LINUX操作系统。

1.2 FEFLOW软件包

FEFLOW软件用户界面支持从预处理、模拟到后处理的整个工作流程。此外，软件还有一些支持特定用途的功能模块，如：

FEFLOW Viewer：免费的FEFLOW文件可视化和后处理工具。

Command-Line Mode：在命令行模式，FEFLOW软件可在没有任何图形用户界面的环境下运行，这对于运行批处理或整合到其它模拟环境非常有用。

FEFLOW Classic：标准的用户界面可以提供典型应用所需的大多数功能。但是，一些具体的任务仍要求使用以前的用户界面。

WGEO：是一个地理图像处理软件，其与FEFLOW软件可模拟相关的最重要的应用领域是栅格地图的影像配准和坐标变换。

FEPLOT：由于FEFLOW软件本身不提供打印功能，FEPLOT可用于创建绘图布局和打印由矢量地图、图形元素和文字组成的地图。

FE-LM2：此工具提供了曲线拟合功能，例如，使用它可以获取不饱和流或吸附等温线等的参数关系中的参数值。

1.3 FEFLOW文档

FEFLOW文档不仅提供了软件实际应用的介绍，还详细描述了软件所用到的基本概念和方法。在用户获得印刷的安装指南和用户手册的同时，安装盘中还包含了PDF格式的参考手册和白皮书。根据要求，厂家也可以向客户提供印刷版本。

参考手册包含了FEFLOW的物理和数学基础以及许多基准案例介绍，这些基准案例用来验证FEFLOW软件对各种物理过程的适用性。

白皮书是有关FEFLOW软件的论文汇编，这些论文的主题涉及了从理论概念到特殊应用等各种领域。

本用户指南和DVD中的循序渐进学习教程是偏重实用方面的用户文档。在实际操作过程中，图形界面帮助系统可以提供对用户界面单元的详细介绍。

1.4 应用范围和结构

本指南作为利用FEFLOW 6 进行地下水模拟的实用指导，它旨在解释模型建立、模拟和后处理的基本工作步骤，并提出针对某些具体应用的替代方案和设置以及其优势和劣势。因此，用户指南可以作为针对FEFLOW“新手”的介绍，也可以为经验丰富的用户提供参考。它在整套完整的用户文档中的定位是介于参考手册和白皮书的理论基础以及帮

助系统中用户界面单元和工作流程的详细描述之间。

本指南采用典型的模拟流程，从基本的地图开始，以模型后处理结束，并扩展了FEFLOW的功能。第一部分的每一章首先介绍主题，然后介绍相关的FEFLOW工具，接着描述基本概念和工作流程，最后以教程指导结束。

本指南基于FEFLOW 6 软件标准用户界面，但有些章节可能要参考FEFLOW 6 经典界面的某些功能。经典界面请参见单独的FEFLOW 6 经典用户手册，FEFLOW安装盘中有其电子版本。

1.5 术语和符号

除了窗口操作的文字描述，演示练习中还使用了一些图标，目的是对FEFLOW的某些图形信息进行相应描述操作，这些图标代表需进行相应的设置，主要包括：

-  主菜单；
-  快捷菜单；
-  工具栏；
-  面板；
-  按钮；
-  文本或数字输入框；
-  切换开关；
-  播放按钮；
-  复选框。

演示练习的原英文文档中所有文件名用粗体红色印刷，地图名用红色，数字为粗体绿色，键盘键引用斜体风格，所需文件都可以在FEFLOW演示数据包中找到。符号表示中间阶段，或加载一个准备的文件，或重新做练习。如果软件有许可证，则模型生成的文件可以保存，因此，练习不必一次完成，对于演示练习同样如此。

1.6 注释

大部分教程指导都基于已有文件，因此需要安装FEFLOW演示数据包。<FEFLOW Demo>的文件路径请参考演示数据的安装文件夹。不同操作系统默认的安装位置可能有所不同。在微软的Windows操作系统中，典型的安装位置为：

Windows XP: C:\Documents and Settings\All Users\Documents\WASY FEFLOW 6.0\Demo

Windows Vista/Windows 7: C:\Users\Public\Documents\WASY

FEFLOW 6.0\Demo

安装FEFLOW软件包括演示数据包，无许可证时，只能在Demo模式下使用。

有关FEFLOW软件的其它信息，用户可同当地的DHI分支机构、FEFLOW分销商或DHI-WASY公司直接联系。最新的FEFLOW版本可以从网站www.feflow.info获取，如有问题请和FEFLOW技术支持联系，Email: support@dhi-wasy.de。

2

安装指导

将FEFLOW6安装到计算机

2.1 介绍

FEFLOW 6 模拟软件包安装包括以下内容。

(1) FEFLOW 6

FEFLOW DVD安装盘 运行平台如下：

32-bit 操作系统

Windows XP、Vista、Windows 7、Server 2003、Server 2008,

Linux: CentOS 4.6(RedHat family)、OpenSUSE 11.0(SUSE family)、Ubuntu 8.04(Debian family)。

64-bit 操作系统

Windows XP × 64 Edition、Vista × 64 Edition、Windows 7 × 64 Edition、Server 2003 × 64 Edition、Server 2008 × 64 Edition,

Linux: CentOS 4.4(RedHat family)、OpenSUSE 11.0(SUSE family)、Ubuntu 8.04 (Debian family)。

对于其它Linux用户，可从FEFLOW网站www.feflow.info获取相关信息。

(2) FEFLOW Viewer

FEFLOW Viewer 为免费软件，主要用于FEFLOW结果的可视化及后处理。FEFLOW Viewer同FEFLOW软件一起安装在用户的系统中。

(3) WGEO 6.0

WGEO是DHI-WASY公司开发的用于图形数字化和地理坐标变换的专业软件。WGEO Basis和任意Windows 7参数转换的许可证同FEFLOW一起自动安装。WGEO只能运行在Windows平台中。

2.2 安装FEFLOW6(Windows)

2.2.1 基本介绍

FEFLOW 6 标准版为客户提供了强大先进的编辑和可视化工具，方便客户实际应用。目前，一些较少使用的数据输入功能还未整合到 FEFLOW 标准版中，因此在标准版中提供返回经典版功能，通过方便的工具键，可实现两种界面的转换。

为准确操作运行，FEFLOW 6 经典版要求 X server 运行在显示数 10。DHI-WASY 公司推荐使用 Hummingbird Exceed 2006，定制的版本包括在 FEFLOW 6 DVD 安装盘中，但它只能在 FEFLOW 中使用。

当运行 FEFLOW 6 单机版时，DHI-WASY 的许可证管理器 NetLM 需要安装在当前系统中。如果网络版许可证 NetLM 安装在服务器上，则可向网络中的 FEFLOW 用户提供许可证。

对于 WINDOWS 操作系统，FEFLOW 典型安装包括下面四步：

- ① 安装 FEFLOW 和其它软件；
- ② 安装演示数据包；
- ③ 安装 X server Exceed 2006（对应于 FEFLOW 6 经典版）；
- ④ 安装 DHI-WASY 许可证管理器 NetLM。

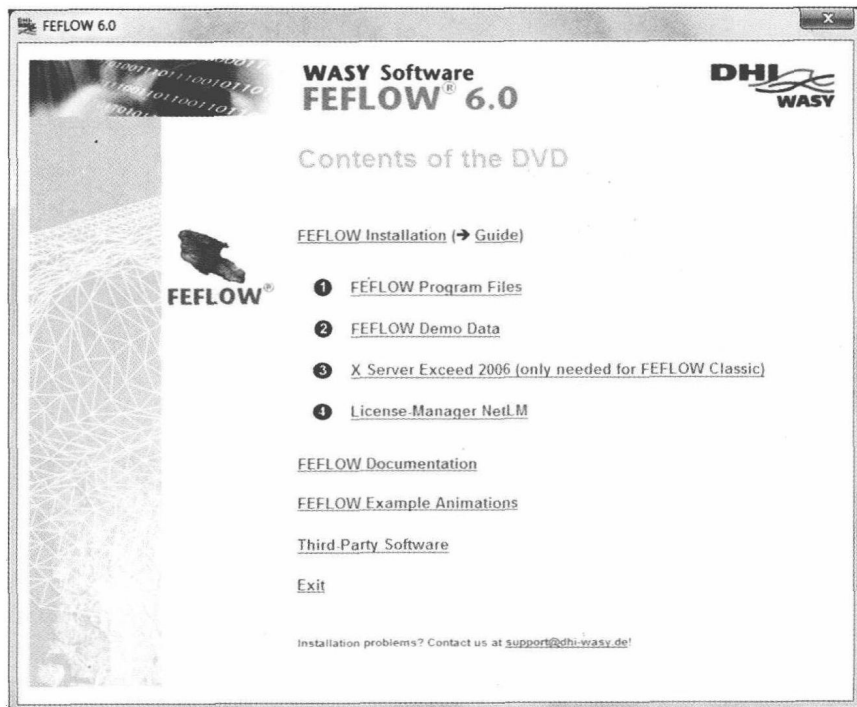


图2.1
FEFLOW 6
安装界面