

现代传媒技术实验教材系列

数字声学设计

张莹 编著

02-39

复旦大学出版社

现代传媒技术实验教材系列

数字声学设计

张莹 编著

复旦大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数字声学设计 / 张莹编著. —上海: 复旦大学出版社, 2010. 7

(现代传媒技术实验教材系列)

ISBN 978- 7- 309- 07351- 5

I. 数… II. 张… III. 数字技术—声学设计—高等学校—教材 IV. TN912. 202- 39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 113336 号

数字声学设计

张 莹 编著

出品人/贺圣遂 责任编辑/白国信

复旦大学出版社有限公司出版发行

上海市国权路 579 号 邮编: 200433

网址: fupnet@fudanpress.com <http://www.fudanpress.com>

门市零售: 86-21-65642857 团体订购: 86-21-65118853

外埠邮购: 86-21-65109143

江苏省句容市排印厂

开本 787×1092 1/16 印张 27 字数 439 千

2010 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

ISBN 978- 7- 309- 07351- 5/T · 374

定价: 39.00 元

如有印装质量问题, 请向复旦大学出版社有限公司发行部调换。

版权所有 侵权必究

建筑声学是声学领域中应用广泛的一门学科,无论是录音场所的建造还是扩声系统的设计都离不开建筑声学理论。传统的声学设计过程依赖精确的测量、计算和复杂的测量仪器,但是随着计算机技术的发展和普及,已经有越来越多的声学设计案例主要通过计算机来辅助完成。EASE 软件作为当今国际上最具盛名的声学设计软件,被广泛地应用于声学工程设计和指导。然而,目前关于数字声学设计和 EASE 软件应用的中文书籍并不多见,工程师们往往是通过软件说明书和多年的设计经验来完成计算机设计的过程,这成了当今数字声学设计发展的一个突出问题。针对这些情况,作者产生了编著本书的想法。

本书以数字声学设计软件 EASE 4.1 为平台,对其设计方式进行了研究和探讨。同一般软件教学书籍不同的是,本书并非单纯地讲授软件的使用方法,而是从声学设计的理论和要求出发,研究数字声学设计的一般方法,这些理论和方法可以延伸到其他软件和设计实例中去,具有广泛的适用性和可发展性。从这个理念出发,本书各章节的编排也遵循声学设计的一般要求,循序渐进,力求使读者得以快速入门,迅速提高。

本书涉及的大部分实例浅显易懂,插图和说明详尽有序,即使缺乏软件设计基础的人员也能轻松阅读。另外,针对有一定软件基础的读者,本书也运用了较大的篇幅对较为复杂、详细的设计实例和设计方法进行了阐述和说明。

本书有配套的教学多媒体资料包,内容包括“数字声学设计教学用 PPT”、“EASE 实例模型”和“EASE 资料库”三大部分,为多媒体教学、补充阅读和数据查阅提供了方便。本书可作为大学、大专院校建筑、声学、影视工程等相关专业的实验教材,同时对相关从业人员具有很好的使用和参考价值。



在本书的编写过程中,得到了上海大学影视艺术技术学院刘日宇老师的无私帮助,他为此书提出了非常宝贵的意见;还得到和参考了其他同行的资料与图书,在此笔者向他们表示由衷的感谢。

由于水平有限,本书不当之处在所难免,还望广大读者批评指正。

编者

2010年5月

目/录

CONTENTS

第一章 数字声学设计软件	1
1.1 数字声学软件概述	1
1.1.1 数字声学软件的类型	1
1.1.2 数字声学设计软件的发展历史	8
1.1.3 数字声学设计软件的主要功能	9
1.2 EASE 软件概述	10
第二章 EASE 4.1 软件概述	12
2.1 程序文件组成	12
2.1.1 EASE 4.1 的程序模块组成	12
2.1.2 程序模块连接	12
2.2 EASE 4.1 与 EASE 3.0 的比较	14
2.3 EASE 4.1 操作命令	16
2.3.1 EASE 4.1 主程序菜单	16
2.3.2 EASE 4.1 工程编辑菜单	23
2.3.3 EASE 4.1 标准绘图菜单	35
2.3.4 EASE 4.1 三维绘图菜单	43
2.3.5 EASE 4.1 声线追踪菜单	49
2.3.6 EASE 4.1 探针菜单	53
2.3.7 EASE 4.1 模拟试听菜单	60
2.3.8 EASE 4.1 文件导入/导出菜单	64



第三章 厅堂音质设计与建模	73
3.1 厅堂音质设计的一般要求	73
3.1.1 合适的响度	74
3.1.2 均匀的声场分布	74
3.1.3 合适的混响时间	74
3.1.4 较高的清晰度和足够的丰满度	75
3.1.5 避免出现音质缺陷	76
3.2 厅堂模型的设计	77
3.2.1 厅堂的容积确定	77
3.2.2 厅堂的体型设计	78
3.2.3 各类厅堂体型设计的具体要求	79
3.3 厅堂模型的建立	80
3.3.1 建立模型的一般方法	81
3.3.2 实例一：多功能厅建模	87
3.3.3 实例二：演播室建模	94
3.3.4 实例三：弧顶厅堂建模	105
3.3.5 实例四：尖顶厅堂建模	113
3.3.6 需注意的问题	126
第四章 常用吸声材料与混响时间	131
4.1 常用吸声材料和结构	131
4.1.1 吸声系数与平均吸声系数	131
4.1.2 吸声材料与结构的类型	132
4.1.3 吸声材料与结构的选用原则	134
4.2 吸声材料的铺设与设置	135
4.2.1 铺设吸声材料	135
4.2.2 修改吸声材料	139
4.2.3 添加坐席区	139

4.3 混响时间.....	142
4.3.1 混响时间.....	142
4.3.2 最佳混响时间.....	143
4.3.3 混响时间的设置与优化.....	146
4.3.4 房间的其他设置.....	155
4.4 噪声控制.....	160
4.4.1 噪声控制的一般要求.....	160
4.4.2 观众厅内的噪声限值.....	160
4.4.3 噪声模拟设置.....	162
 第五章 扬声器与扬声器系统	165
5.1 扬声器.....	165
5.1.1 扬声器的分类.....	165
5.1.2 扬声器的基本技术指标和特性.....	166
5.1.3 扩声扬声器的选用.....	168
5.1.4 常用扬声器的性能和特点.....	168
5.1.5 线阵列扬声器.....	170
5.2 扬声器声场的布局.....	175
5.2.1 扬声器声场.....	175
5.2.2 扬声器系统的布局.....	180
5.3 扬声器与音箱系统在 EASE 中的应用	182
5.3.1 EASE 中的声源	182
5.3.2 扬声器的布置.....	186
5.3.3 簇的构建.....	196
5.3.4 创建扬声器箱体.....	212
 第六章 房间声学特性研究	216
6.1 声场声压级.....	216



6.1.1	直达声声压级	216
6.1.2	总声压级	229
6.2	C 测量	235
6.2.1	C_7	235
6.2.2	C_{50}	236
6.2.3	C_{80}	237
6.2.4	C_t	239
6.3	L 测量	242
6.3.1	L_7	242
6.3.2	L_{50}	243
6.3.3	L_{80}	243
6.3.4	L_t	245
6.4	清晰度测量	247
6.4.1	辅音清晰度损失率	247
6.4.2	快速语言传输指数	248
6.5	其他声学特性	252
6.5.1	直达声/混响声比率	252
6.5.2	临界距离	252
6.5.3	到达时间	254
6.5.4	扬声器覆盖重叠	254
6.5.5	初始时延差	255
6.5.6	扬声器瞄准	255
6.5.7	定点衰减时间	257
6.5.8	带反射的标准绘图(二维绘图)	260
6.5.9	房间绘图(三维绘图)	260
6.5.10	直达声模拟试听	261
6.5.11	声学探针	263
6.5.12	定点声线追踪	263

第七章 声线追踪	265
7.1 声线追踪概述.....	265
7.2 声线追踪.....	266
7.2.1 声线追踪设置.....	266
7.2.2 查看声线追踪.....	268
7.3 声线追踪命中.....	274
7.3.1 声线追踪命中设置.....	274
7.3.2 声线追踪命中文件分析.....	277
7.4 镜像命中.....	285
7.5 分割命中文件.....	286
7.6 更新追踪文件.....	287
 第八章 模拟试听	 288
8.1 模拟试听概述.....	288
8.2 模拟试听步骤.....	289
8.2.1 创建反射图.....	289
8.2.2 为反射图加上一个拖尾.....	292
8.2.3 将反射图与人类听觉特性相结合.....	296
8.2.4 最终的卷积.....	299
8.2.5 实时试听.....	306
8.3 实时立体声卷积器.....	309
 第九章 AURA	 311
9.1 AURA 概述	311
9.2 AURA 在房间声学研究中的应用	312
9.2.1 新建模型.....	312
9.2.2 查看房间特性.....	317
9.2.3 AURA 绘图	320



9.2.4 AURA 响应	341
9.2.5 墙面材料数散射系数计算	344
第十章 IR	347
10.1 IR 概述	347
10.2 IR 分析	348
10.2.1 添加 IR 设备	348
10.2.2 IR 计算与分析	352
10.3 创建新的 IR 设备	354
10.3.1 创建新的 IR 辐射器	355
10.3.2 创建新的 IR 调制器	357
第十一章 扬声器与吸声材料数据库	359
11.1 EASE 4.1 扬声器设备文件格式	359
11.1.1 概述	359
11.1.2 扬声器数据输入	363
11.2 EASE 4.1 吸声材料数据库	368
11.2.1 查看吸声材料数据	369
11.2.2 添加新的吸声材料	369
第十二章 工程设计应用实例	374
12.1 数字式立体声电影院的设计要求	374
12.1.1 一般要求	374
12.1.2 数字式立体声电影院观众厅的设计要求	374
12.1.3 数字式立体声电影院观众厅建筑声学	375
12.1.4 数字式立体声电影院观众厅电声技术特性	376
12.2 所研究电影院之概述	378
12.2.1 观众厅设计	378

12.2.2 建筑声学要求	378
12.3 运用 EASE 软件进行 500 座数字立体声电影院的声学设计	380
12.3.1 建立模型	380
12.3.2 铺设吸声材料	380
12.3.3 混响时间的设置与优化	384
12.3.4 噪声控制	390
12.3.5 房间的其他设置	391
12.4 运用 EASE 软件进行 500 座数字立体声电影院的声学分析	392
12.4.1 扬声器的选择	392
12.4.2 簇的构建	396
12.4.3 扬声器的布置	403
12.4.4 稳态声场分析	404
参考文献	414
附录 教学多媒体资料包使用说明	417

第一章

数字声学设计软件

1.1 数字声学软件概述

在 20 世纪 90 年代以前,伴随着声学领域设计和测试工作的往往是复杂的测试仪器、繁多的计算公式和繁复的演算工作。随着计算机技术的发展,越来越多的辅助软件逐渐进入声学领域,为从业者们完成了海量的定量计算、测试和工程模拟工作,节省了大量的人力、物力和财力,而现代声学也越来越离不开这些声学软件的辅助了。

1.1.1 数字声学软件的类型

目前声学领域的应用软件种类繁多,根据用途和应用领域的不同,可以将它们大致分为声学分析软件、扬声器设计和测试软件、建筑声学分析软件,以及声学设计软件四类。这四类软件在声学领域的侧重点各有不同,并且在某些方面的功能又有交叉。

1. 声学分析软件

声学分析软件的主要作用是进行声学测试,它被广泛运用于环境声学、检测声学、水声学、声频工程和物理声学等领域的研究。

德国 M+P 公司的 Smart Office 软件^①。这是一个用于声学 and 振动测试、在线或离线分析和报告自动生成的开放式软件环境系统。它可以完成多通道动态信号分析

^① 关于 Smart Office 软件,详见 M+P 公司官方网站 www.mpihome.com。



(DSA)、冲击试验、声学分析和振动控制分析等多项任务。该软件的特点是,可以用文件输入转换器输入以各种格式记录的数据,也可以直接与前端相连获得在线数据,具有很好的灵活性和开放性。

丹麦 B&K 公司的 PULSE 3560C SSR 电声测试系统^①。该软件可以用于电声和振动传感器的开发和质量控制试验,如:扬声器、电话、耳机、麦克风、助听器、听力计、水听器、加速度计等,并且可以进行线性和非线性系统分析。

丹麦 B&K 公司的 LimaTM 环境噪声计算及绘图软件^②。Lima 是世界上第一种被权威噪声图谱绘制机构广泛采用的专门用于大规模噪声图谱绘制的软件,它提供了强大的数据处理及分析工具,这使得它可以根据各个国家的标准以及国际标准,以高分辨率绘制大规模的噪声图谱。图 1-1 显示了 Lima 软件的设计界面。

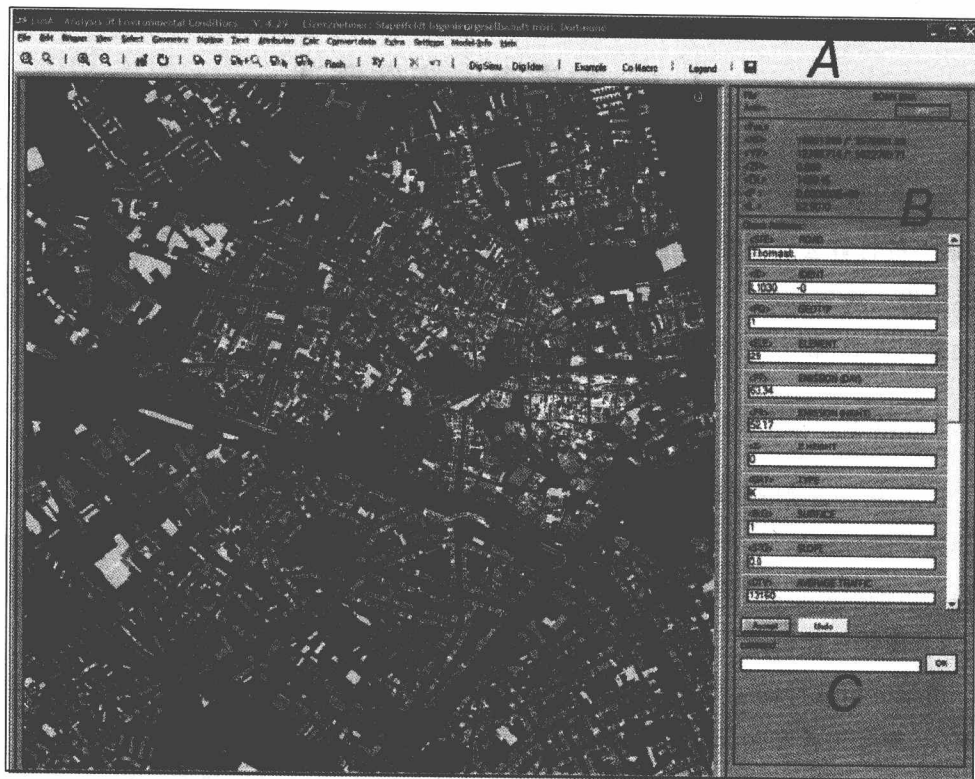


图 1-1 Lima 软件设计界面

① 关于 PULSE 3560C SSR 软件,详见 B&K 公司官方网站 www.bksv.com。

② 关于 Lima 软件,详见 B&K 公司官方网站 www.bksv.com。

ESI Group 公司的 AutoSEA2 软件^①。这是首套真正应用在噪音设计上的计算机辅助工程软件。其目的是给测试工程师、产品开发工程师以及噪音研究单位提供一套更有效的噪声预测方法。它的核心技术是采用统计能量分析法(Statistical Energy Analysis, SEA),因此在噪声模块上拥有一些重要优势。

2. 扬声器设计和测试软件

扬声器设计和测试软件主要用于设计各类扬声器单元、箱体模型和扬声器系统,测试各类扬声器的频响特性和阻抗特性等。

丹麦 IJData 公司开发的扬声器计算机辅助设计软件 LspCAD^②。该软件可以由扬声器单元的数据出发,进行箱体模型和扬声器系统的设计;可以进行有源及无源分频网络的设计,并具有优化功能;可以用于测量扬声器参数、音箱参数及设计制作 HI-FI 音箱;可以进行分频器设计,建立音箱、被动分频器、主动数字和模拟分频器模型。这是目前比较受欢迎的扬声器设计软件之一。

美国 LINEARX 公司开发的 LEAP 声学设计软件系统^③。该软件现在有两个独立的应用程序: EnclosureShop 和 CrossoverShop。其中 EnclosureShop 主要用于处理喇叭模型和箱体设计,如图 1-2(a)所示;而 CrossoverShop 则用于在已测得的响应数据基础上进行滤波器的电路结构设计,如图 1-2(b)所示。同时,这两个程序通过箱体以及其分频器的开发来形成一个完整的设计和分析打包。事实上,它们提供了当今音频市场所需求的扬声器系统设计所必需的全部工具。

JustMLS 扬声器系统测试软件^④。这是由世界知名扬声器系统 CAD 软件 LspCAD 的作者英格玛·约翰森(Ingemar Johansson)开发的。该软件将常用的两大测试功能,即频率响应特性和阻抗特性的测试集于一身,是 DIY 爱好者不可或缺的工具之一。

音箱频率响应测试软件 AIRR(Anechoic and In-Room Response)^⑤。该软件不需要专门的测试卡,只要计算机满足附带 AIRR 所兼容的 16 位声卡、驻极电容以及有源多媒体音箱等要求就能够使用。

3. 建筑声学分析软件

建筑声学分析软件主要用于测试各类建筑内部的声学特性,它被广泛运用于现场

① 关于 AutoSEA2 软件,详见 ESI Group 公司官方网站 www.esi-group.com。

② 关于 LspCAD 软件,详见 IJData 公司官方网站 www.ijdata.com。

③ 关于 LEAP 软件,详见 LINEARX 公司官方网站 www.linearx.com。

④ 关于 JustMLS 软件,详见 IJData 公司官方网站 www.ijdata.com。

⑤ 关于 AIRR 软件,详见网站 www.bofinit.com。

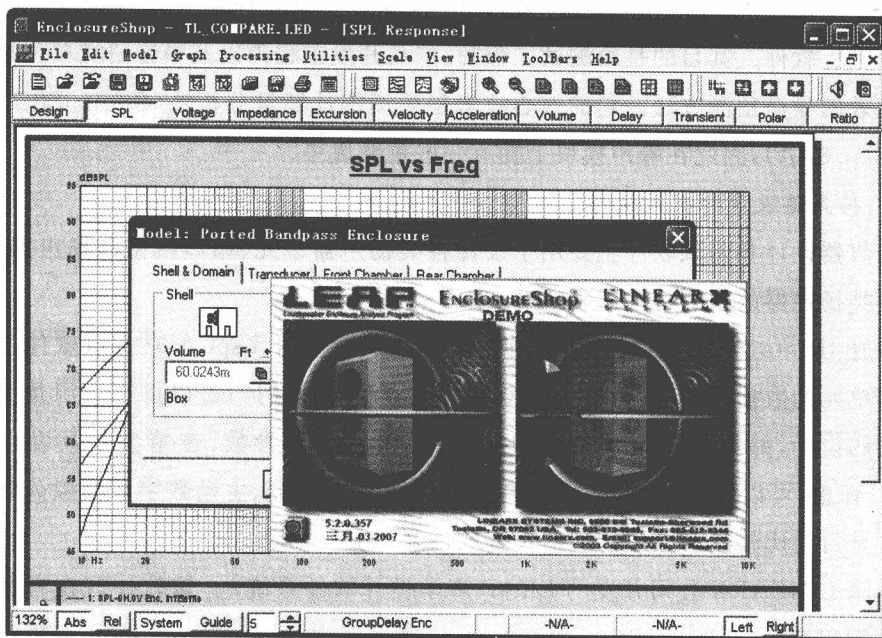


图 1-2(a) LEAP 的喇叭模型和箱体设计界面

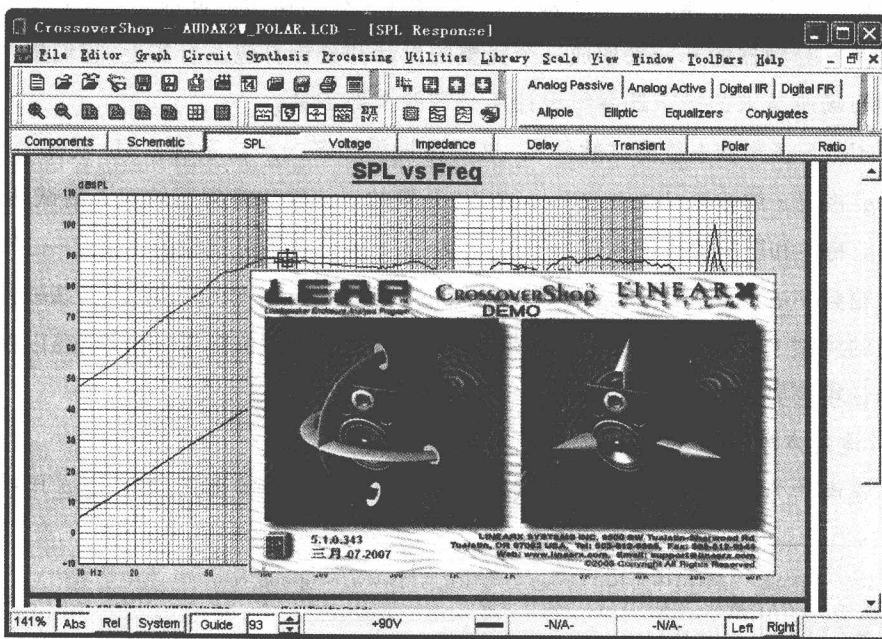


图 1-2(b) LEAP 的分频器预先模拟和分析界面

测试和声学工程实验。

丹麦 B&K 公司的 DIRAC 软件^①,主要用于测量各种室内声学参数。它基于脉冲响应测量和分析,支持各种不同测量配置。它可以利用内置的最大长度序列 MLS 或者扫描正弦信号来驱动扬声器,并根据 ISO 3382 标准进行精密测量。它也可以利用小型脉冲声源、发令枪和气球等,进行室内声学调查。它还可以利用人工嘴,或者直接通过声学系统,根据 IEC 60268-16 标准进行男性和女性语音测量。同时,它还考虑了背景噪声的影响。DIRAC 软件不仅是现场工作和实验室声学工程师的理想工具,同时也是研究者和教育部门的理想工具。

丹麦 B&K 公司的 ODEON 软件^②。这是用来进行建筑内部声学建模的专用软件。软件可以根据建筑形状和表面特性,计算建筑的声学特性,加以显示,并且测试者还能亲耳聆听结果。ODEON 的算法是声像源法加上声线法,它们能够在短时间内计算出可靠的预测结果。ODEON 是预测音乐厅、歌剧院、礼堂、休息大厅、地下车站、机场大厅、工厂车间等大型建筑的理想软件工具。图 1-3 为 ODEON 软件设计界面。

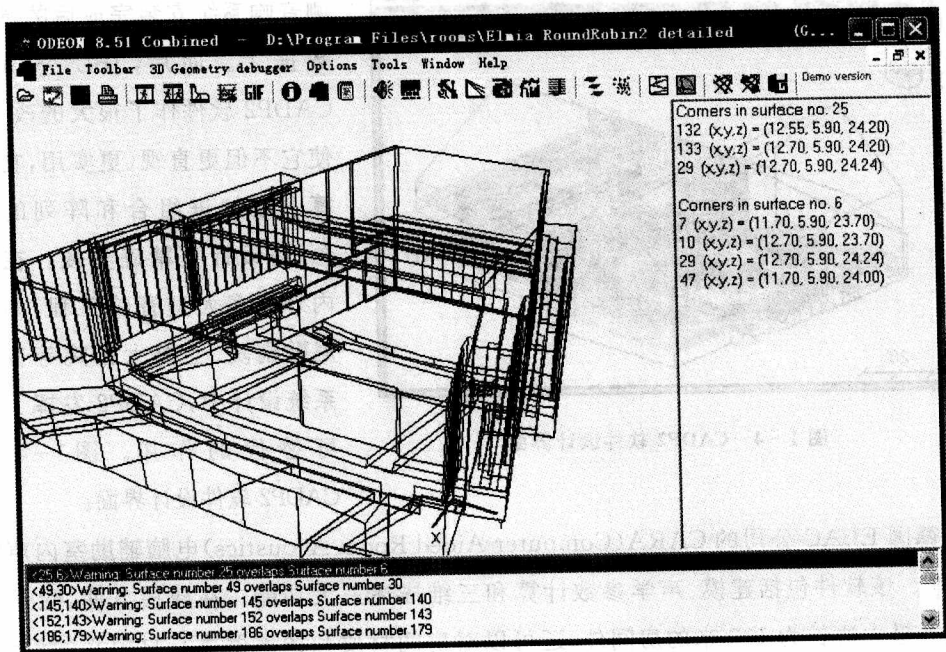


图 1-3 ODEON 软件设计界面

① 关于 DIRAC 软件,详见 B&K 公司官方网站 www.bksv.com。

② 关于 ODEON 软件,详见 B&K 公司官方网站 www.bksv.com。