

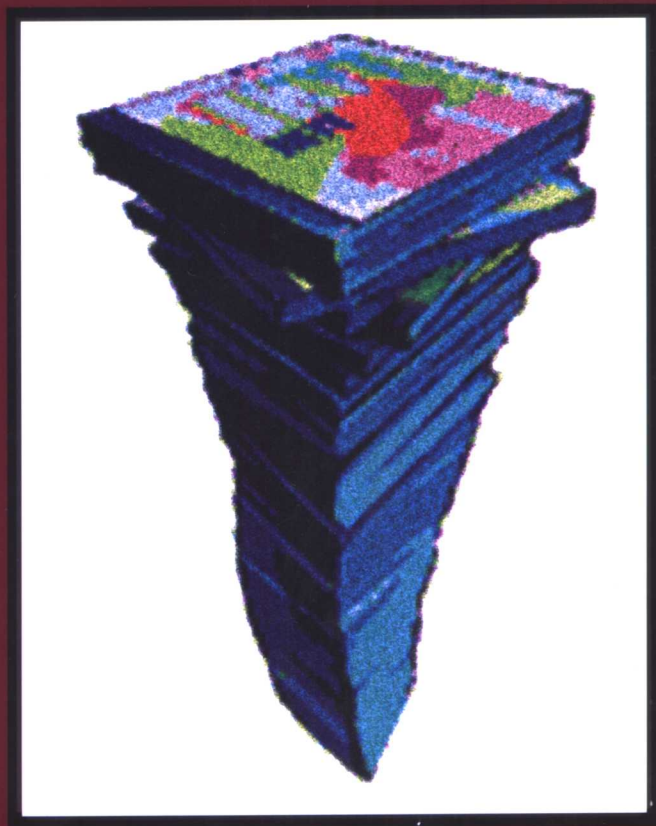
数字化音乐教育系列丛书

自己动手做声音

——声音合成与制作基础

程伊兵著

DIGITAL
Series



中央音乐学院出版社

数字化音乐教育系列丛书

自己动手做声音

——声音合成与制作基础

程伊兵著

中央音乐学院出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

自己动手做声音——声音合成与制作基础/程伊兵著. —北京:中央音乐学院出版社,2004. 8
(数字化音乐教育系统丛书)

ISBN 7 - 81096 - 053 - 9

I. 自… II. 程… III. 音乐—声音合成—应用软件—基本知识 IV. J614. 8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 078504 号

自己动手做声音——声音合成与制作基础

程伊兵 著

出版发行: 中央音乐学院出版社

经 销: 新华书店

开 本: 787×1092 毫米 1/16 开 印张: 21.75 字数: 543 千字

印 刷: 北京市白帆印务有限公司

版 次: 2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 1 - 3000 册

书 号: ISBN 7 - 81096 - 053 - 9

定 价: 36.00 元

中央音乐学院出版社 北京市西城区鲍家街 43 号 邮编: 100031

发行部: 010 - 66415712 传真: 010 - 66415711

自序

三年前的某个下午，偶然听一个朋友介绍起一款模拟音源，当时正是采样声源来势汹汹、铺天盖地的时候，这个叫做 Nord Modular 的模拟音源却忽然牵动我的神经，让我想到，这也许能提供一个进行声音合成与制作教学的最好平台。之前，我一直在玩儿 Csound，虽然乐在其中，但我很清楚，要让大多数音乐家们以此为基础进行创作，根本就是一件不可能的任务。音乐家与现代技术之间的桥梁构建一直都没有成型，能够从声音元素的底层去寻求创作灵感的中国音乐家更是寥寥无几。当我更多了解了 Nord Modular 之后，我意识到机会来了，这很可能将是我们把声音合成技术应用于创作的一个开端，于是乎，写这本《声音合成与制作基础》的念头就此萌生。

两年多以来，因为工作和生活的种种，一直停停写写，其间蒙赵易天老友几度催促，才不至完全停笔。以前写任何文章也没有过这样的经历，自己梳理出的理性逻辑数次险些被打乱，因为激动于一些全新的声音而屡屡跑题，更在制作这些声音的同时，恍然意识到创作上的更多可能而陷入另一番追索……这样来来去去，虽然慢了进度，却收获颇丰，成为一次难得的写作之旅。

本书在声音合成方面，有比较全面和详实的理论介绍；也有从实践入手，比较清晰简练的制作方法推演；还有将声音合成手段应用于创作的种种参考意见；更有我在写作期间，听闻一些用传统音乐概念来理解计算机“音色”、“声音”的诸多谬见之后，忍不住要发、也不能不发的一些“杂音”……总之，内容还算得是丰富，就不在这里一一赘述了，希望所有读者能在这本书当中获得声音合成领域的理论构建、技术基础，同时希望大家也能和我一样，在其中获得更多超越知识范畴的概念拓展，当然，由于水平有限，本书难免有疏漏，甚至偏误，请专家、读者们批评指正，也敬请广大读者谅解。

本书还得到许多朋友的支持，特别要感谢李西安老师的指导；感谢赵易天、于波、赵易山先生的鼎力支持和中央音乐学院出版社的出版；感谢我的女友，如果没有她其间许多尖锐犀利的意见，书中诸多概念恐怕不能如此成形；希望本书的出版也是对他们一贯支持的回馈。

程伊兵

二零零四年六月

目 录

第一章 音色基础理论

第 1 讲 静止的音色	1
一 声谱	1
1 基频与分音	1
2 声谱——音色的相片	2
A 声谱图	3
B 声谱包络图	3
二 声谱类型	3
1 谐和声谱	3
A 正弦波	3
B 锯齿波	4
C 方波	5
D 三角波	5
2 不谐和声谱	6
A 中国磬	6
B 三角钢琴	7
C 军鼓	7
D 白噪声	7
第 2 讲 动态的音色(之一)	9
一 音色的声波振动模式	9
1 波形	9
2 形形色色的波形	10
A 简单波形	10
a) 锯齿波	10
b) 方波	11
c) 三角波	11
B 复杂波形	11
a) 周期性	11
b) 半周期性与非周期性	12
二 音色的力度变化	13
1 音色力度变化的多样性	13
2 随时间变化的力度对音色的影响	13
3 振幅包络——描述音色力度随时间变化模式的方法	16
第 3 讲 动态的音色(之二)	18
一 音色的音高变化	18
1 结构性音高变化——影响音色感知的音高变化	18
2 修饰性音高变化——对音色感知无影响的音高变化	19
A 装饰性周期音高变化	19
B 装饰性非周期音高变化	19

2 自己动手做声音——声音合成与制作基础

二 音色的声谱变化.....	19
1 随时间变化的声谱.....	19
A 声谱随时间的变化.....	19
B 记录声谱随时间的变化.....	20
2 随其它因素变化的声谱.....	21
A 随演奏音高变化.....	21
B 随演奏力度变化.....	22
3 变化中的稳定因素——共振峰.....	23

第二章 合成基础

第1讲 获得静态声谱 26

一 概念与方法.....	26
1 合成的含义.....	26
2 傅立叶理论.....	29
3 合成方法.....	30
A 音色构想与分析.....	30
B 确定算法及绘制框图.....	30
二 获得声源.....	31
1 电子振荡.....	31
A 振荡器及其图形符号表示方法.....	31
B 振荡器类型.....	32
a) 简单波形振荡器.....	32
b) 复杂波形振荡器.....	33
c) 特殊功能振荡器.....	33
C 主振荡器与属振荡器.....	34
2 数字音频.....	34
3 实时音频.....	35

第2讲 静态声谱的修饰 36

一 滤波器类型.....	36
1 频率成份的分类.....	36
A 频率段.....	36
B 频率带.....	37
2 滤波器的类型.....	38
二 滤波器的控制.....	39
1 斜率.....	39
2 O值.....	39
三 滤波器的图形符号表示方法.....	42
四 专门化的滤波器.....	43

第3讲 获得动态声谱的内容与工具 45

一 内容.....	45
二 包络发生器.....	45
1 包络发生器的类型.....	45
A 标准包络发生器.....	45
B 参数包络发生器.....	46

C 特殊包络发生器.....	46
2 包络发生器的图形符号表示方法.....	46
三 低频振荡器.....	47
1 低频振荡器的类型.....	47
A 标准低频振荡器.....	47
B 特殊低频振荡器.....	48
2 低频振荡器的图形符号表示方法.....	48
第4讲 获得音色动态的力度及音高变化	50
一 获得动态的音色力度变化.....	50
1 随时间因素改变音色力度.....	50
2 随其它因素改变音色力度.....	51
A 演奏力度.....	51
B 演奏音高.....	52
二 获得音色动态的音高变化.....	53
1 周期性.....	53
2 非周期性.....	54
第5讲 获得音色动态的声谱内容变化	56
一 随时间因素改变声谱内容.....	56
1 随时间因素改变分音频率.....	56
2 随时间因素改变分音振幅.....	57
二 随演奏力度改变声谱内容.....	57
1 随演奏力度改变分音频率.....	57
2 随演奏力度改变分音振幅.....	59
三 随演奏音高改变声谱内容.....	59
1 随演奏音高改变分音频率.....	59
2 随演奏音高改变分音振幅.....	61
第6讲 后音色修饰	62
一 演奏控制.....	62
1 自定义演奏控制.....	62
A 颤音.....	62
B 震音.....	64
2 预置演奏控制.....	65
二 声音效果.....	66
1 信号处理.....	66
A 声谱内容.....	66
a) 参数均衡器.....	66
b) 图示均衡器.....	66
B 音色力度.....	67
a) 压限.....	67
b) 扩展.....	67
2 信号修饰.....	68
A “丑化”的修饰.....	68
a) 失真.....	68
b) 过载.....	68
B “美化”的修饰.....	69

a) 延迟.....	69
b) 合唱.....	69
c) 混响.....	69

第三章 加法合成

第1讲 加法合成理论音色 71

一 音色分析.....	71
1 音色特征描述.....	71
2 绘制算法框图.....	71
3 算法分析.....	71
二 获得静态声谱.....	72
步骤1	73
步骤2	73
步骤3	74
三 获得动态声谱.....	75
1 获得音色力度随时间变化.....	75
步骤4	75
步骤5	76
2 获得音色力度随演奏力度变化.....	77
步骤6	77
四 音色讨论建议.....	77
1 理解声谱内容与音色感知的关系.....	78
2 理解本例中控制音色力度随演奏力度变化的方法.....	78

第2讲 加法合成钟声音色 79

一 音色分析.....	79
1 音色特征描述.....	79
2 绘制算法框图.....	79
3 算法分析.....	79
二 获得静态声谱.....	80
步骤1	81
三 获得动态声谱.....	82
1 获得音色力度随时间及演奏力度变化.....	82
步骤2	82
2 获得声谱内容随时间变化.....	83
步骤3	84
步骤4	85
四 音色讨论建议.....	86
1 理解音色力度随时间的变化对音色的影响.....	86
2 理解本例中的键盘跟踪功能.....	86

第3讲 加法合成中国磬音色 88

一 音色分析.....	88
1 音色特征描述.....	88
2 绘制算法框图.....	88
3 算法分析.....	88

二	获得静态声谱.....	90
	步骤 1	90
三	获得动态声谱.....	92
	1 获得音色力度随时间及演奏力度变化.....	92
	步骤 2	92
	2 获得声谱内容随时间变化.....	93
	步骤 3	93
	步骤 4	94
四	音色讨论建议.....	96
	1 理解声谱内容随时间的变化对音色的影响.....	96
	2 理解本例中主振荡器对属振荡器的控制.....	96
第 4 讲 加法合成电钢琴音色		98
一	音色分析.....	98
	1 音色特征描述.....	99
	2 绘制算法框图.....	99
	3 算法分析.....	99
二	获得静态声谱.....	99
	步骤 1	99
三	获得动态声谱.....	101
	1 获得音色力度随时间及演奏力度变化.....	101
	步骤 2	101
	2 获得声谱内容随时间变化.....	102
	步骤 3	102
	步骤 4	103
	3 获得声谱内容随演奏音高变化.....	104
	步骤 5	105
	步骤 6	105
四	音色讨论建议.....	106
	1 理解声谱内容随音高的变化对音色的影响.....	106
	2 理解本例包络发生器中的衰减曲线.....	107
第 5 讲 加法合成风琴音色		109
一	音色分析.....	109
	1 音色特征描述.....	109
	2 绘制算法框图.....	109
	3 算法分析.....	109
二	获得静态声谱.....	110
	步骤 1	111
三	获得动态声谱.....	112
	步骤 2	112
四	后音色修饰.....	113
	步骤 3	113
五	音色讨论建议.....	114
	1 理解声谱内容对音色的影响.....	114
	2 理解本例中获得自然颤音的方法.....	115

第6讲 加法合成宇宙飞船音色	117
一 音色分析.....	117
1 音色特征描述.....	117
2 绘制算法框图.....	117
3 算法分析.....	117
二 获得静态声谱.....	118
步骤1	119
三 获得动态声谱.....	120
1 获得音色力度随时间及演奏力度变化.....	120
步骤2	120
2 获得声谱内容随时间变化.....	121
步骤3	121
四 音色讨论建议.....	123
1 理解声谱内容随时间的变化对音色的影响.....	123
2 理解本例中低频振荡器的相位.....	124

第7讲 加法合成“合成领奏”音色(之一)	125
一 音色分析.....	125
1 音色特征描述.....	125
2 绘制算法框图.....	125
3 算法分析.....	125
二 获得静态声谱.....	127
步骤1	127
三 获得动态声谱.....	128
步骤2	128
四 后音色修饰——获得颤音并通过调制轮控制颤音深度.....	129
步骤3	129
步骤4	130

第8讲 加法合成“合成领奏”音色(之二)	132
一 后音色修饰.....	132
1 获得延时效果.....	132
步骤5	132
步骤6	133
步骤7	135
2 获得过载效果.....	136
步骤8	136
二 音色讨论建议.....	138
1 理解后音色修饰对音色的影响.....	138
2 理解本例中获得延时效果的方法.....	139

第四章 减法合成

第1讲 减法合成双簧管音色	142
一 音色分析.....	142
1 音色特征描述.....	142
2 绘制算法框图.....	142

3	算法分析.....	144
二	获得静态声谱.....	144
1	获得声源.....	144
步骤 1	.....	144
2	修饰声谱.....	146
步骤 2	.....	146
三	获得动态声谱.....	147
步骤 3	.....	147
四	后音色修饰.....	149
步骤 4	.....	149
步骤 5	.....	150
五	音色讨论建议.....	151
1	理解声谱修饰对音色的影响.....	151
2	理解本例中实现颤音延时的方法.....	152
第 2 讲 减法合成“风声”音色		154
一	音色分析.....	154
1	音色特征描述.....	154
2	绘制算法框图.....	154
3	算法分析.....	154
二	获得静态声谱.....	155
1	获得声源.....	155
步骤 1	.....	155
2	修饰声谱.....	156
步骤 2	.....	156
三	获得动态声谱.....	157
1	获得音色力度随时间及演奏力度的变化.....	157
步骤 3	.....	157
2	获得声谱内容随演奏音高及时间变化.....	158
步骤 4	.....	158
步骤 5	.....	160
四	音色讨论建议.....	160
1	理解滤波器对声谱修饰的作用.....	161
2	理解本例中噪声振荡器的波形.....	161
第 3 讲 减法合成电贝司音色		163
一	音色分析.....	163
1	音色特征描述.....	163
2	绘制算法框图.....	163
3	算法分析.....	163
二	获得静态声谱.....	164
1	获得声源.....	164
步骤 1	.....	165
2	修饰声谱.....	165
步骤 2	.....	165
三	获得动态声谱.....	167
1	获得音色力度随时间及演奏力度的变化.....	167
步骤 3	.....	167
2	获得声谱内容随时间、演奏力度及演奏音高的变化.....	168
步骤 4	.....	168

步骤 5	169
四 音色讨论建议.....	170
1 理解动态声谱内容对音色的影响.....	170
2 理解本例中获得分音频率随演奏力度变化的方法.....	171
第 4 讲 减法合成弦乐音色	172
一 音色分析.....	172
1 音色特征描述.....	172
2 绘制算法框图.....	172
3 算法分析.....	172
二 获得静态声谱.....	173
1 获得声源.....	174
步骤 1	174
2 修饰声谱.....	175
步骤 2	175
三 获得动态声谱.....	176
1 获得音色力度随时间及演奏力度的变化.....	176
步骤 3	176
步骤 4	177
2 获得声谱内容随演奏力度的变化.....	178
步骤 5	178
四 后音色修饰.....	179
步骤 6	179
五 音色讨论建议.....	180
1 理解动态声谱内容对音色的影响.....	180
2 理解本例中包络发生器的时间调制.....	181
第 5 讲 减法合成风琴音色	182
一 音色分析.....	182
1 音色特征描述.....	182
2 绘制算法框图.....	182
3 算法分析.....	182
二 获得静态声谱.....	183
1 获得声源.....	184
步骤 1	184
2 修饰声谱.....	185
步骤 2	185
三 获得动态声谱.....	186
1 获得音色力度随时间及演奏力度的变化.....	186
步骤 3	186
2 获得声谱内容随时间的变化.....	187
步骤 4	188
四 后音色修饰.....	189
步骤 5	189
五 音色讨论建议.....	190
1 理解动态声谱内容对音色的影响.....	190
2 理解本例中声谱振荡器的波形.....	191

第 6 讲 减法合成铜管音色	192
一 音色分析.....	192
1 音色特征描述.....	192
2 绘制算法框图.....	192
3 算法分析.....	192
二 获得静态声谱.....	194
1 获得声源.....	194
步骤 1	194
2 修饰声谱.....	195
步骤 2	195
三 获得动态声谱.....	196
1 获得音色力度随时间及演奏力度的变化.....	197
步骤 3	197
2 获得动态的声谱内容变化.....	198
步骤 4	198
3 获得音色的结构性音高变化.....	199
步骤 5	199
四 后音色修饰.....	200
步骤 6	200
五 音色讨论建议.....	201
1 理解结构性音高变化对音色的影响.....	202
2 理解本例滤波器 KBT 功能的作用.....	202
第 7 讲 减法合成电钢琴音色(之一)	204
一 音色分析.....	204
1 音色特征描述.....	204
2 绘制算法框图.....	204
3 算法分析.....	204
二 获得静态声谱.....	206
1 获得声源.....	206
步骤 1	206
2 修饰声谱.....	207
步骤 2	207
三 获得动态声谱——获得音色力度随演奏时间、力度、音高变化.....	209
步骤 3	209
步骤 4	211
第 8 讲 减法合成电钢琴音色(之二)	213
一 获得动态声谱——获得动态的声谱内容变化.....	213
步骤 5	213
步骤 6	214
步骤 7	216
步骤 8	217
二 后音色修饰.....	218
步骤 9	219
三 音色讨论建议.....	220
1 理解音色力度和分音振幅随演奏力度的变化对音色的不同影响.....	220
2 理解本例中矫正电钢琴音色低音区音高误差的不同方法.....	221

第五章 频率调制

第1讲 FM合成(之一)	223
第一节 FM合成“水滴声”音色	226
一 合成方案.....	226
1 算法框图.....	226
2 算法分析.....	226
二 获得静态声谱.....	227
步骤1	227
三 获得动态声谱.....	228
1 获得音色力度随时间及演奏力度的变化.....	228
步骤2	228
2 获得动态声谱内容.....	229
步骤3	230
第二节 FM合成军鼓音色	231
一 合成方案.....	231
1 算法框图.....	231
2 算法分析.....	231
二 获得静态声谱.....	232
步骤1	232
三 获得动态声谱.....	233
1 获得音色力度随时间及演奏力度的变化.....	233
步骤2	233
2 获得军鼓音色中弹簧振动的声音.....	234
步骤3	234
第2讲 FM合成(之二)	236
第一节 FM合成铃声音色	236
一 合成方案.....	236
1 算法框图.....	236
2 算法分析.....	236
二 获得静态声谱.....	237
步骤1	237
三 获得动态声谱.....	238
1 获得音色力度随时间及演奏力度的变化.....	238
步骤2	238
2 获得声谱内容随时间的变化.....	240
步骤3	240
第二节 FM合成木鼓音色	241
一 合成方案.....	241
1 算法框图.....	241
2 算法分析.....	241
二 获得静态声谱.....	242

步骤 1	242
三 获得动态声谱	244
1 获得音色力度随时间及演奏力度的变化	244
步骤 2	244
2 获得声谱内容随时间的变化	245
步骤 3	245
第 3 讲 FM 合成(之三)	247
第一节 FM 合成铜管音色	247
一 合成方案	247
1 算法框图	247
2 算法分析	247
二 获得静态声谱	248
步骤 1	248
三 获得动态声谱	249
1 获得音色力度随时间及演奏力度的变化	249
步骤 2	249
2 获得声谱内容随时间的变化	251
步骤 3	251
第二节 FM 合成单簧管音色	252
一 合成方案	252
1 算法框图	252
2 算法分析	252
二 获得静态声谱	253
步骤 1	254
三 获得动态声谱	255
1 获得音色力度随时间及演奏力度的变化	255
步骤 2	255
2 获得声谱内容随时间的变化	256
步骤 3	256

第六章 其它合成方法

第 1 讲 振幅调制合成铃声音色	259
一 合成方案	261
1 算法框图	261
2 算法分析	261
二 获得静态声谱	262
步骤 1	262
三 获得动态声谱	264
步骤 2	264
第 2 讲 环形调制合成风琴音色	266
一 合成方案	268

1	算法框图.....	268
2	算法分析.....	268
二	获得静态声谱.....	269
步骤 1	.....	269
三	获得动态声谱.....	271
1	获得音色力度随时间及演奏力度的变化.....	271
步骤 2	.....	271
2	获得声谱内容随时间的变化.....	272
步骤 3	.....	272
四	后音色修饰.....	273
步骤 4	.....	273

第 3 讲 共振峰合成合唱音色 275

一	合成方案.....	275
1	算法框图.....	275
2	算法分析.....	275
二	获得静态声谱.....	276
1	获得声源.....	276
步骤 1	.....	277
2	修饰声谱.....	278
步骤 2	.....	278
三	获得动态声谱.....	279
1	获得音色力度随时间及演奏力度的变化.....	279
步骤 3	.....	279
2	获得结构性音高变化.....	280
步骤 4	.....	280

第 4 讲 声码器合成及其它 282

第一节 声码器合成“魔鬼音色” 282

一	声码器.....	282
二	声码器合成“魔鬼”音色.....	283
步骤 1	.....	283
步骤 2	.....	284

第二节 其它合成方法 286

一	波形塑型.....	286
二	颗粒合成.....	287
三	物理模型.....	288

第七章 合成方法的综合应用及其特性

第 1 讲 合成原理综述 289

一	合成原理总结.....	289
1	获得静态声谱.....	289
A	获得声源.....	289
B	修饰声谱.....	291

2	获得动态声谱.....	291
A	获得动态的音色力度变化.....	291
B	获得音色动态的音高变化.....	292
C	随时间因素改变声谱内容.....	292
D	随演奏力度和音高改变声谱内容.....	293
3	后音色修饰.....	294
A	演奏控制.....	294
B	声音效果.....	294
二	合成原理的应用.....	295
1	独立应用.....	295
A	获得静态声谱.....	295
B	获得动态声谱.....	295
2	综合应用.....	295
A	获得静态声谱.....	295
B	获得动态声谱.....	297
C	后音色修饰.....	297
第 2 讲	发挥音色想象力	299
一	在常规音色合成方法中发挥想象力.....	299
二	创造性的音色想象力.....	301
第 3 讲	音色认知讨论	303
第一节	制作使用个性化的音色	303
一	不同作品中个性化音色的体现.....	303
1	同类音色的个性化体现.....	303
2	相同音色的个性化体现.....	304
二	相同作品中不同阶段个性化音色的体现	304
1	同类音色的个性化体现.....	304
2	相同音色的个性化体现.....	304
第二节	音色认知的拓展	307
一	全新的演奏法.....	307
1	拓展常规乐器的演奏法.....	307
A	演奏工具和方法的拓展.....	307
B	演奏内容的拓展.....	307
2	演奏法自身定义的拓展.....	308
A	自然乐器.....	308
B	电子乐器.....	308
二	音色认知的拓展.....	309
1	音色认知上的误区.....	309
2	音色认知的拓展.....	310
第 4 讲	电子合成音色的审美特征	311
一	“无乐器”法则.....	311
二	电子合成音色的审美标准.....	311
结 语		312