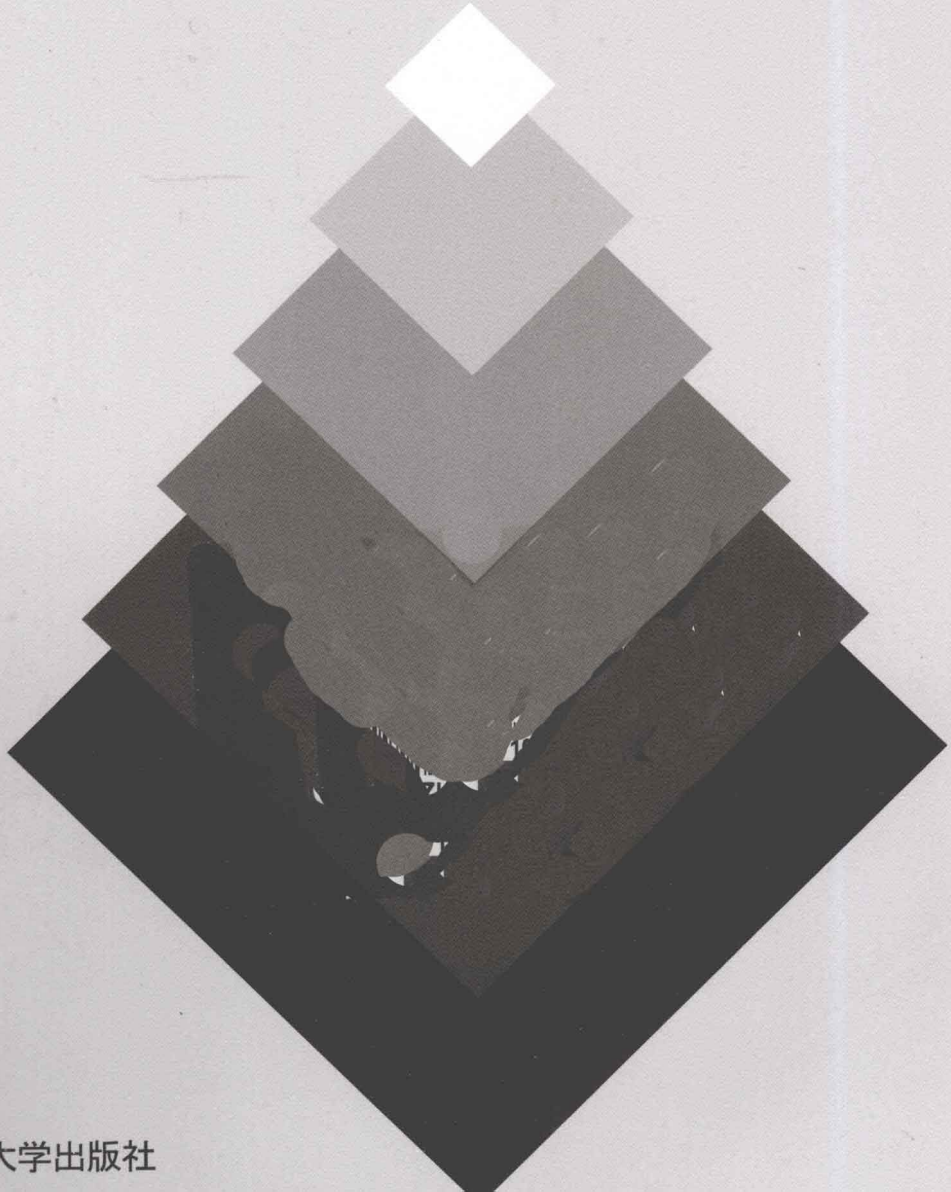
陕西师范大学优秀研究生教材资助项目

灰色理论及其在图像工程中的应用

马苗　张艳宁　赵健　著



清华大学出版社

陕西师范大学优秀研究生教材资助项目

灰色理论及其在图像工程中的应用

马苗　张艳宁　赵健　著

清华大学出版社
北京

序

PREFACE

灰色系统理论是1982年由我国著名学者邓聚龙教授创立的一门交叉学科，它将“部分信息已知，部分信息未知”的系统看作灰色系统，通过对已知信息的生成与开发，求解灰色系统中的各类小样本、贫信息不确定问题。

贫信息不确定系统的普遍存在使得灰色系统理论具有十分广阔的发展前景。在国内外研究人员的不懈探索下，灰色系统理论经过30年的发展，不仅在理论上日臻完善，产生了一系列重大成果，带动了很多交叉学科的发展，而且带来了巨大的经济效益和社会价值。尤其随着GSIS等一系列重要国际会议的举行和IEEE灰色系统委员会的建立，灰色系统理论在国际上正在被越来越多的研究人员所关注和了解。

马苗博士自2002年初开始运用灰色系统理论对数字图像处理中的问题进行深入研究，在图像增强、图像匹配、图像分割，以及图像处理算法性能评价等方面取得了可喜的成绩，其主要成果集中体现在她和张艳宁、赵健同志共同完成的这本专著中。我有机会了解了这本书的主要内容，与传统的基于概率统计等理论的图像处理技术相比，该书把待处理图像看作部分信息已知和部分信息未知的灰色系统，利用灰色系统理论的“小样本建模和数据分析”优势，研究解决图像处理中的诸多难题，充分展示了灰色系统理论在图像工程领域中的应用成果、发展前景和旺盛生命力。该书取材广泛，内容新颖，不仅凝练了作者多年来的研究成果，而且反映了近20年来灰色理论在图像工程中的研究动态和最新进展。相信这部实践与理论兼备的著作出版，不仅能为图像处理、信号处理方向的研究生和科技工作者提供更多的创新思路，也将为“灰色图像学”的形成和发展做出重要贡献。

国家有突出贡献的专家
IEEE灰色系统委员会主席
Emerald《灰色系统理论与应用》主编

刘思峰

2011年7月30日

前言

FOREWORD

随着计算机能力的提高和现代数学的发展，基于数理统计、傅里叶变换等传统方法的图像信息处理技术日趋成熟。寻求基于新理论和新思想的图像信息处理技术，对于拓展图像发展空间有着十分重要的科学意义和应用价值。

灰色系统理论，简称灰色理论，是我国学者邓聚龙于1982年创立的。贫信息不确定系统的普遍存在使得灰色理论逐渐成为一个辐射面大、渗透力强的新兴领域。目前，灰色理论已经广泛应用于工业、农业、经济、军事等领域，带来了显著的社会效益和经济效益，而且由此带动产生了一系列交叉学科，如灰色水文学、灰色历史学、灰色地质学等。

1993年，Huang等人首次将灰色模型用于图像压缩，把灰色理论引入到图像处理技术中。在以后的近20年里，基于灰色理论的图像增强、图像隐藏等新方法和新技术如雨后春笋般出现，并迅速渗透到图像工程中的三个层次，充分体现出灰色理论在图像信息处理中的可行性、有效性和旺盛的生命力。然而，同任何新生事物一样，灰色理论在图像工作中的应用还刚刚起步，很多问题有待于进一步研究解决。主要体现在：①结合图像特点的理论创新成果不多，关于强噪声干扰图像、含有复杂噪声的SAR图像，以及图像处理算法性能评价技术等更多应用中的研究还非常少；②现有应用局限在图像压缩、边缘检测等若干点，没有形成公认的模型或方法，持续进展和报道少，至今没有相关著作和图书；③在理论基础方面，基于灰色模型的应用研究相对成熟，而基于灰色关联分析、灰色聚类等其他灰色理论的应用研究较少；④灰色理论的理论框架、研究方法、研究范式还没有被国际学术界广泛认知和认同，灰色理论在图像处理方面的文章不少，但学术影响力较小，引用频次高且有国际影响力的论文更是凤毛麟角。

为了将“小样本数据建模与分析”特色的灰色理论更好地应用到图像处理技术中，拓展数字图像处理技术的发展空间，作者之一从博士阶段即开始致力于灰色理论在图像信息处理与分析方面的应用研究，本书正集合了其攻读博士学位、从事博士后工作，以及指导研究生从事灰色理论在图像信息处理中的课题取得的一些研究成果。这些成果先后得到航空基金委航空基金、中国博士后科学基金、陕西省自然科学基金和国家自然科学基金等多项基金的支持与资助，在此表示衷心的感谢！

本书以数字图像处理为应用背景，总结归纳灰色预测和灰色关联分析的基本理论和方法，同时吸收灰色理论及其方法的新发展，给出灰色理论在一系列数字图像信息处理技术中

的应用实例。本书的特色是把图像看作一个“部分信息已知、部分信息未知”的灰色系统，噪声抑制、图像增强、图像融合、图像匹配、边缘检测、图像分割以及图像处理算法性能评价都是“小样本、贫信息不确定”问题，是灰色系统中某些“灰色信息”逐步“白化”的灰色过程。利用灰色理论的“小样本建模和数据分析”优势，解决图像工程中多种典型应用的若干问题。本书取材广泛，内容新颖，叙述通俗易懂，充分反映了近年来灰色理论在图像工程中应用的最新研究动态，展示了灰色理论潜在的旺盛生命力，是作者进行的一次跨学科合作的有益尝试。

由于个人时间和精力有限，在博大精深且发展日新月异的数字图像处理技术中的应用不可能一一深入钻研。作者的研究初衷是验证灰色理论在图像更多应用中的有效性与先进性，但作者所建议的方法可能难免不够精细完善。作者在研究过程中也常常觉得对某些方法的研究意犹未尽，希望本书能对图像工程领域的科技工作者、研究生、生产人员推动该方向的发展起到抛砖引玉的作用。只有在更多研究人员的共同参与和努力下，才能有力推动具有我国特色的灰色理论在图像工程中的显著发展，形成“灰色图像学”，扩大图像灰色处理技术的国际影响力，在科学研究的全球学术界占有一席之地。

目前，本书大部分内容已在我校硕士研究生“灰色理论及其应用”和“图像处理技术”等课程的讲授中试用多届，收到了良好效果。作为一本特色鲜明的研究生教材，本著作反映了我校研究生课程与教学改革的成效，是我校在高等师范院校课程建设与教学改革中的成果，为陕西师范大学优秀研究生教材资助项目(GERP-11-03)。此外，本书的编写和出版还得到了国家自然科学基金(60803088)和陕西省青年科技新星项目(2011kjxx17)的资助，特此致谢！清华大学出版社的领导、编辑和工作人员为本书的出版付出了辛勤的劳动，在此表示衷心感谢！

因作者水平有限，书中难免存在疏漏和不足之处，敬请读者批评指正。

作　者

2011 年 10 月

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

目录

CONTENTS

第一部分 灰色理论

第1章 灰色理论概述 …… 3

1.1 灰色理论的产生及发展 …… 3
1.2 灰色理论的研究内容及特点 …… 5
1.3 灰色理论的基本原理 …… 6
1.4 代表著作及带动产生的交叉学科 …… 8
参考文献 …… 9

第2章 灰色预测理论 …… 11

2.1 基本概念 …… 11
2.2 GM(1,1)预测模型 …… 12
2.2.1 GM(1,1)预测模型的建立 …… 13
2.2.2 GM(1,1)预测模型的性质及优点 …… 15
2.2.3 GM(1,1)预测模型的适用范围 …… 15
2.3 GM(1,1)预测模型的精度检验与提高 …… 16
2.3.1 常用的模型精度检验法 …… 16
2.3.2 提高预测精度的方法 …… 18
2.4 应用GM(1,1)预测模型的关键技术 …… 22
参考文献 …… 22

第3章 灰色关联分析理论 …… 24

3.1 灰色关联分析 …… 24
3.1.1 灰色关联分析的含义 …… 24
3.1.2 灰色关联分析的主要步骤 …… 25
3.1.3 灰色关联分析前的准备工作 …… 26

3.2 邓氏关联度 …… 28
3.2.1 数学模型 …… 28
3.2.2 性质和特点 …… 29
3.2.3 邓氏关联度与相关系数的区别 …… 29
3.2.4 关于分辨系数的讨论 …… 30
3.3 新型灰色关联度 …… 31
3.4 灰色关联度之间的比较 …… 36
3.4.1 性能分析的内容 …… 37
3.4.2 关联度存在的问题 …… 37
3.4.3 部分关联度比较实例 …… 38
3.5 灰色关联矩阵 …… 39
参考文献 …… 40

第4章 在图像工程中应用灰色理论的可行性与研究进展 …… 41

4.1 可行性分析 …… 41
4.1.1 数字图像是灰色系统 …… 41
4.1.2 二维图像数据的降维方法 …… 42
4.2 灰色理论在图像工程中的应用 …… 44
4.2.1 图像处理层次 …… 44
4.2.2 图像分析层次 …… 46
4.2.3 图像理解层次 …… 49
4.3 文献分布与相关专利 …… 50
参考文献 …… 53

第二部分 灰色理论在图像处理中的应用

第5章 基于简化B型关联度的近似二值图像抑噪技术 …… 63

5.1 图像抑噪概述 …… 63
5.1.1 噪声的分类 …… 63
5.1.2 常见的图像抑噪方法 …… 64
5.2 近似二值图像 …… 66
5.2.1 近似二值图像的定义 …… 66
5.2.2 近似二值图像抑噪的意义 …… 67
5.3 基于简化B型关联度的近似二值图像抑噪算法 …… 67
5.3.1 选取GRA模型 …… 67

5.3.2 算法描述 …… 68
5.3.3 实验与结果分析 …… 71
参考文献 …… 77

第6章 基于空间域小样本灰关联的SAR图像增强技术 …… 79

6.1 SAR图像概述 …… 79
6.2 现有的SAR图像增强方法 …… 81
6.2.1 多视处理技术 …… 81
6.2.2 基于数字图像处理技术的增强 …… 82
6.3 灰色理论在图像增强中的应用 …… 83
6.3.1 基于GM(1,1)预测模型的图像增强 …… 84
6.3.2 基于灰色关联分析模型的图像增强 …… 84
6.4 基于邓氏关联度的SAR图像增强方法 …… 86
6.4.1 选取GRA模型 …… 86
6.4.2 算法描述 …… 86
6.4.3 实验与结果分析 …… 88
6.5 基于速率关联度的SAR图像增强改进方法 …… 90
6.5.1 选取GRA模型 …… 90
6.5.2 算法描述 …… 90
6.5.3 实验与结果分析 …… 91
参考文献 …… 93

第7章 基于小波域结构灰关联的强噪声图像增强技术 …… 95

7.1 小波变换 …… 95
7.2 图像小波分解 …… 96
7.3 现有的小波域图像增强技术 …… 97
7.3.1 小波抑噪技术的发展 …… 98
7.3.2 常用的小波抑噪方法 …… 99
7.4 小波域图像结构分析 …… 100
7.5 基于小波域结构灰关联的强噪声图像增强算法 …… 101
7.5.1 选择GRA模型 …… 101
7.5.2 算法描述 …… 102
7.5.3 实验与结果分析 …… 104
参考文献 …… 107

第 8 章 基于灰色关联矩阵的图像质量多尺度评价 …… 110

8.1 图像质量评价概述 …… 110
8.1.1 图像质量评价的研究意义 …… 110
8.1.2 现有的评价方法与特点 …… 111
8.2 HVS 特性 …… 114
8.3 小波域图像质量多尺度灰评价算法 …… 115
8.3.1 小波域图像特征 …… 115
8.3.2 选取 GRA 模型 …… 116
8.3.3 算法描述 …… 116
8.3.4 实验与结果分析 …… 120
8.4 Curvelet 变换 …… 123
8.4.1 主要步骤 …… 123
8.4.2 图像 Curvelet 变换实例 …… 124
8.5 Curvelet 域的图像质量多尺度灰评价算法 …… 126
8.5.1 选取 GRA 模型 …… 126
8.5.2 算法描述 …… 126
8.5.3 实验与结果分析 …… 128
参考文献 …… 132

第 9 章 基于灰色关联度的水印透明性评价 …… 134

9.1 水印透明性概述 …… 134
9.2 现有的水印透明性评价方法 …… 135
9.2.1 主观评价法 …… 135
9.2.2 客观评价法 …… 135
9.2.3 主客观结合的评价方法 …… 138
9.3 基于改进型关联度的水印透明性评价算法 …… 140
9.3.1 选取 GRA 模型 …… 140
9.3.2 算法描述 …… 141
9.3.3 实验与结果分析 …… 141
9.4 基于差分信息灰关联的水印透明性评价算法 …… 145
9.4.1 选取 GRA 模型 …… 145
9.4.2 算法描述 …… 145
9.4.3 实验与结果分析 …… 147
参考文献 …… 150

第 10 章 基于分块特征灰关联的图像置乱效果评估 …… 153

10.1 图像置乱概述 …… 153
10.2 现有的图像置乱效果评价方法 …… 155
10.2.1 直接评价图像置乱效果 …… 155
10.2.2 间接评价图像置乱效果 …… 158
10.2.3 其他方法 …… 159
10.3 最优置乱图像的定义与分析 …… 160
10.3.1 最优置乱图像的定义及效果 …… 160
10.3.2 最优置乱图像特征分析 …… 161
10.4 基于子图直方图灰关联的图像置乱效果盲评价 …… 162
10.4.1 选择 GRA 模型 …… 163
10.4.2 算法描述 …… 163
10.4.3 实验与结果分析 …… 164
10.5 基于子图均值灰关联的图像置乱效果盲评价 …… 166
10.5.1 选择 GRA 模型 …… 166
10.5.2 算法描述 …… 166
10.5.3 实验与结果分析 …… 167
参考文献 …… 168

第三部分 灰色理论在图像分析中的应用

第 11 章 基于变权关联度的图像边缘检测技术 …… 173

11.1 边缘检测概述 …… 173
11.2 常见的边缘检测方法 …… 174
11.2.1 几种边缘检测算子 …… 174
11.2.2 性能分析 …… 175
11.3 灰色理论在图像边缘检测中的应用现状 …… 176
11.3.1 利用 GM(1,1)预测模型检测图像边缘 …… 176
11.3.2 利用灰色关联分析模型检测图像边缘 …… 177
11.4 基于变权关联度的图像边缘检测算子 …… 179
11.4.1 选取 GRA 模型 …… 179
11.4.2 算法描述 …… 180
11.4.3 实验与结果分析 …… 182
参考文献 …… 187

第 12 章 小样本灰关联在空间域图像分割中的应用 …… 190

12.1 图像分割概述 …… 190
12.1.1 图像分割的定义 …… 190
12.1.2 图像分割的分类 …… 191
12.1.3 阈值分割方法简述 …… 191
12.1.4 常见的阈值分割方法 …… 192
12.2 模糊理论 …… 196
12.2.1 模糊理论概述 …… 196
12.2.2 模糊理论在图像分割中的应用 …… 197
12.3 基于灰色模糊熵的快速图像分割方法 …… 198
12.3.1 模糊熵阈值分割 …… 198
12.3.2 灰色模糊熵 …… 199
12.3.3 算法描述 …… 200
12.3.4 实验与结果分析 …… 201
12.4 图论 …… 202
12.4.1 图的定义与表示 …… 202
12.4.2 图的划分 …… 203
12.4.3 图论在图像分割中的应用 …… 205
12.5 基于灰色图割的图像分割方法 …… 205
12.5.1 选取 GRA 模型 …… 206
12.5.2 算法描述 …… 206
12.5.3 实验与结果分析 …… 208
参考文献 …… 212

第 13 章 灰概念及灰熵模型在快速图像分割中的应用 …… 215

13.1 熵在图像阈值分割中的应用 …… 215
13.2 小波域二维最大条件灰熵模型 …… 217
13.2.1 二维最大条件熵 …… 217
13.2.2 灰熵模型的建立 …… 218
13.3 基于灰熵模型和 GA 的快速图像分割方法 …… 219
13.3.1 GA 简介 …… 219
13.3.2 算法描述 …… 220
13.3.3 实验与结果分析 …… 221
13.4 基于灰熵模型和 PSO 算法的快速图像分割方法 …… 223

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

13.4.1 PSO 算法简介 …… 223
13.4.2 算法描述 …… 224
13.4.3 实验与结果分析 …… 225
13.5 基于改进灰熵模型和 BFA 的快速图像分割方法 …… 227
13.5.1 BFA 简介 …… 227
13.5.2 算法描述 …… 229
13.5.3 实验与结果分析 …… 230
参考文献 …… 235

第 14 章 灰色聚类与 FD 灰关联在图像分割性能评价中的应用 …… 237

14.1 图像分割性能评价概述 …… 237
14.2 图像分割性能评价技术 …… 238
14.2.1 分析法准则 …… 238
14.2.2 优度实验法准则 …… 239
14.2.3 差异实验法准则 …… 241
14.3 图像分割性能综合评价 …… 243
14.4 基于灰色聚类的图像分割性能评价 …… 244
14.4.1 灰色聚类 …… 244
14.4.2 算法描述 …… 246
14.4.3 实验与结果分析 …… 247
14.5 基于 FD 灰关联的图像分割性能评价 …… 251
14.5.1 FD 灰关联模型 …… 251
14.5.2 算法描述 …… 252
14.5.3 实验与结果分析 …… 253
参考文献 …… 255

第四部分 灰色理论在图像理解中的应用

第 15 章 直方图灰关联在图像匹配中的应用 …… 259

15.1 图像匹配概述 …… 259
15.1.1 图像匹配的分类 …… 259
15.1.2 图像匹配的关键技术 …… 260
15.1.3 图像匹配的性能评价 …… 261
15.2 基于直方图灰关联的匹配目标函数设计 …… 262
15.3 基于 ABC 算法和空间域直方图灰关联的图像匹配方法 …… 262

15.3.1 ABC算法简介 …… 263
15.3.2 算法描述 …… 264
15.3.3 实验与结果分析 …… 265
15.4 基于AFS算法和小波域直方图灰关联的图像匹配方法 …… 267
15.4.1 AFS算法简介 …… 268
15.4.2 改进的AFS算法 …… 271
15.4.3 算法描述 …… 271
15.4.4 实验与结果分析 …… 272
参考文献 …… 276

第16章 基于灰色评价与目标灰提取的图像融合技术 …… 278

16.1 图像融合概述 …… 278
16.1.1 图像融合的定义 …… 278
16.1.2 图像融合的分类 …… 279
16.2 现有的像素级图像融合方法 …… 281
16.3 协同机制下灰色竞争的图像融合方法 …… 283
16.3.1 问题的提出与基本设想 …… 283
16.3.2 算法描述 …… 283
16.3.3 实验与结果分析 …… 284
16.4 基于目标灰提取的红外与可见光图像融合方法 …… 288
16.4.1 问题的提出与基本设想 …… 288
16.4.2 红外目标灰提取技术 …… 288
16.4.3 算法描述 …… 290
16.4.4 实验与结果分析 …… 291
参考文献 …… 293

第17章 定权关联度在图像融合性能评价中的应用 …… 295

17.1 图像融合性能评价概述 …… 295
17.2 融合性能指标的选择 …… 296
17.3 现有的融合性能评价指标 …… 297
17.4 基于定权关联度的图像融合性能评价方法 …… 300
17.4.1 问题的提出与基本设想 …… 300
17.4.2 选取GRA模型 …… 300
17.4.3 方法描述 …… 301
17.4.4 实验与结果分析 …… 302

17.5 新方法在 SAR 图像融合评价中的应用实例 …… 308
17.5.1 SAR 图像融合方式 …… 309
17.5.2 SAR 图像融合效果评价实例 …… 309
参考文献 …… 317

第五部分 总结与展望

第 18 章 总结与展望 …… 321

18.1 总结 …… 321
18.2 灰色理论用于图像信息处理时的关键技术 …… 323
18.2.1 灰色关联分析模型应用关键技术 …… 323
18.2.2 GM(1,1)预测模型应用关键技术 …… 325
18.2.3 灰色聚类应用关键技术 …… 326
18.3 展望 …… 327
18.4 结束语 …… 328
参考文献 …… 329

附录 按年度排序的调研文献 …… 330

第一部分

灰色理论

第1章

灰色理论概述

人类对未来世界进行探索的过程中，总是经历着完全未知、部分已知和完全已知三个状态，灰色系统指包含部分已知信息和部分未知信息的系统。显然，灰色系统普遍存在于宇宙万物之间。灰色理论就是探究客观世界中普遍存在的灰色系统的一种新兴理论和方法。

本章首先简介灰色理论的产生和发展；然后论述灰色理论的方法、内容和特点，介绍灰色理论的基本原理，并区分灰色理论与模糊数学等相关学科及概念；最后论述灰色理论的一些代表著作以及由灰色理论带动产生的交叉学科与新技术。

1.1 灰色理论的产生及发展

1981年，在上海召开的中美控制系统学术会议上，邓聚龙教授做了题为《含未知数系统的控制问题》的学术报告，首次使用了“灰色系统”一词。次年，在北荷兰出版公司出版的国际杂志《系统与控制通信》上，邓聚龙发表了第一篇灰色系统论文“灰色系统的控制问题”[1,2]，在第三期《华中工学院学报》上发表第一篇中文灰色系统论文“灰色控制系统”。这一系列成果标志着灰色理论经过其创始人多年卓有成效的努力，开始问世。

灰色理论刚一诞生就受到学术界和广大实际工作者的极大关注，不少著名学者和专家对其给予充分肯定和支持，《系统与控制通信》杂志主编、美国哈佛大学教授 Brockett 给予灰色理论高度评价，认为“灰色系统一词是首创”、“灰色系统的所有结果都是新的”[1]。

在国际上，英国科技信息服务中心和万国学术出版社于1989年联合创办了国际性刊物《灰色系统学报》(the Journal of Grey System)。该刊由邓聚龙教授担任主编，并被英国科学文摘(SA)等权威性检索机构列为核心期刊。IEEE、《控制论与系统》、《国际控制》等杂志和国际模糊数学会议等国际会议也开始接受灰色系统的论文，甚至把灰色系统列为讨论专题。

据不完全统计，截至2003年，科学引文索引(SCI)、工程索引(EI)、科技会议索引(ISTP)以及SA、美国数学评论(MR)、德国数学文摘(MA)等国际权威性检索杂志跟踪、检索灰色系统论著500多次，其中邓聚龙教授的论著被检索、摘录100多次[1]。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com