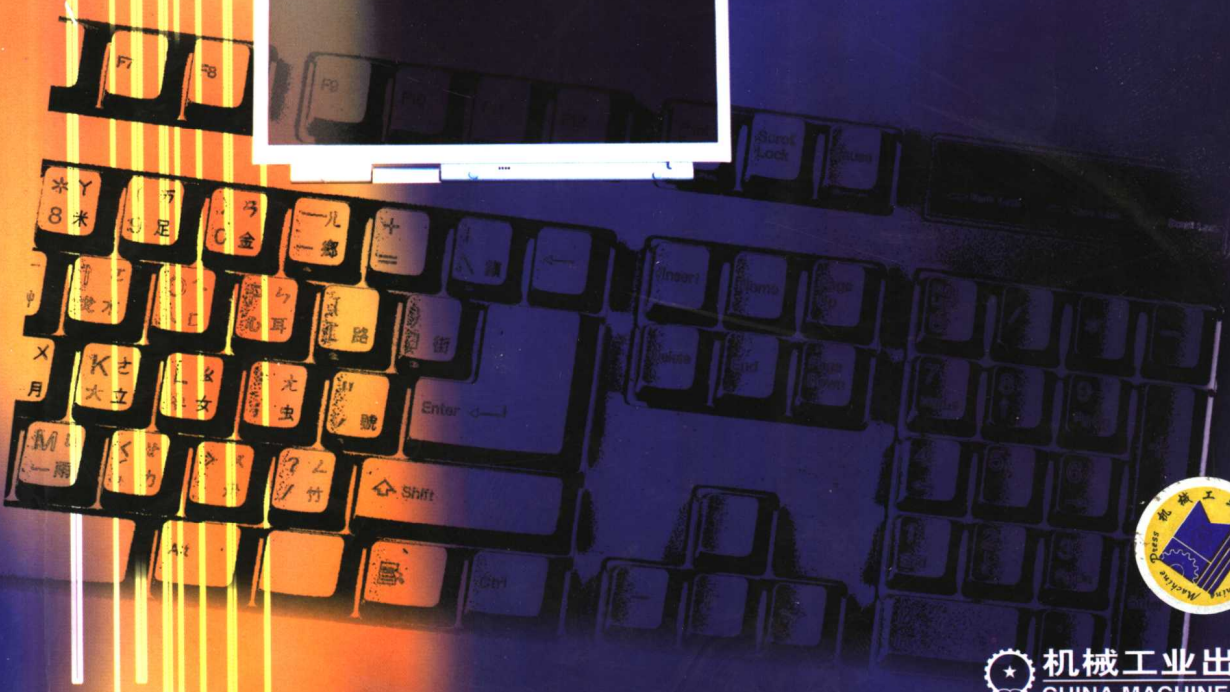


# 液晶显示器件 应用技术

李宏 张家田 等编著



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

# 液晶显示器件应用技术

李 宏 张家田 等编著



机械工业出版社

本书详细介绍了液晶显示器件(LCD),内容包括液晶显示器件的基本知识及应用中的基本问题,常用液晶显示器件的分类和工作机理,液晶显示器件的写入机理与驱动方法,点阵液晶显示控制器,点阵字符液晶显示模块,点阵图形液晶显示器件。书中不但介绍了这些液晶显示器件的引脚排列、功能、外形尺寸、工作原理、软件编程,还给出了应用程序实例。本书取材新颖,内容以实用技术为主,重点突出,通俗易懂,实用性强,可供从事电气工程、电子仪器仪表、计算机、通信设备、家用电器、核工业、航空航天、石油化工、纺织、机械等行业中电气控制设备设计、开发、研究和生产的工程技术人员以及从事上述产品生产、科研管理及元器件采购的工作人员使用,还可供高等院校以及中等专业学校的广大师生参考,也可供业余无线电爱好者阅读,是一本难得的实用工具书。

#### 图书在版编目(CIP)数据

液晶显示器件应用技术/李宏,张家田等编著. —北京:机械工业出版社, 2004.2

ISBN 7-111-13388-9

I. 液... II. ①李...②张... III. 液晶显示器—基本知识 IV. TN141.9

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第102248号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:牛新国 王 玫

责任编辑:牛新国 姚光明 版式设计:张世琴 责任校对:李秋荣

封面设计:陈 沛 责任印制:路 琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004年1月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·18.75印张·463千字

0 001—4 000册

定价:30.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

自从盘古开天地，三皇五帝到于今，眼睛作为人类观察周围事物的最直接工具，帮助人们获得感性知识，经大脑对感性知识的积累、分析和升华，从而得出正确的结论。世间万物中有的事物是眼睛可以直接观察到的，如天上的乌云、大海里的水、地上的石头、已建成的高楼等，有的事物却是眼睛无法直接观察的，如电压的高低、电流的大小、海水的深度、铁路的长度、飞机的飞行高度、一车货物的重量等。对这些无法直接用眼睛进行观察的事物，随着科学技术的不断进步，人们发明了各种各样的传感检测仪器来精确测量它们。通常传感检测仪器的输出是一个电压或者电流信号，对这些信号配以相应的仪表，人们便可以从仪表上方便地获得这类事物的定量描述。纵观仪表的发展历程，不外乎机械式仪表、电动式模拟仪表、电子式数字仪表、光学仪表等，人们对仪表的要求可以概括为这么几点：一是通用性强，同一仪表可以随着应用场合的不同而显示不同种类的物理量；二是工作耗能少；三是体积要小；四是显示精度要高；五是对环境的适应性要强。传统的机械式仪表和模拟式电子仪表都是难以胜任这些要求的。计算机技术的高度发达，促使了各种显示仪表的数字化，使人们可以得心应手地通过编程的方法，使同一种仪表显示不同的物理量。因而，以发光二极管作为主显示器件的数字式仪表发展极为迅猛，几乎覆盖了所有仪表行业，但以发光二极管为显示器件的仪表体积大，工作中电能消耗仍然不是最小，限制了它在超小型仪器仪表行业中的应用。

液晶显示器件的发明使显示技术又发生了一次革命，促使了过去许多难以解决的显示技术问题迎刃而解。液晶显示器件显示过程中消耗的功率极少、显示内容完全取决于用户的编程程序、重量轻、通过级联可使显示屏幕面积扩大而获得大屏幕显示、可用于超小型仪器仪表中等优越性能，使其从发明至今短短 20 多年的时间里已取代了众多领域中原应用的模拟式仪表、以发光二极管作为显示器件的仪表及依靠电子枪的计算机显示器、电视屏幕等显示器件。如今，以液晶作为显示器件的仪器仪表、家用电器、办公用具可以说无处不在，无处不用，如手机的显示屏，计算机的显示器，空调、电视、手表、仪器中的显示面板以及户外广告屏等，真是琳琅满目，不胜枚举。

我国开始液晶显示器件研究及应用的时间相对这一领域发达的国家较短，也就是不足 10 年的历史，如今，国内虽已有数家生产液晶显示器件的公司，但与模拟式仪表以及以发光二极管为主显示器件的仪表相比，液晶显示器件所占份额仍然相对较少，许多应用单位对液晶显示器件还比较陌生，有关液晶显示器件的使用说明资料多散见于生产液晶显示器件厂家的产品宣传资料中，系统地介绍液晶显示器件工作原理、内部结构、应用技术的书籍和专著，可以说少得可怜，无法满足国内专业技术人员的迫切需要，亦与国内对液晶显示器件的需求量不能适应。为了满足读者对了解液晶显示器件应用技术的迫切要求，也为了推动我国液晶显示器件应用技术的进步，我们经过收集有关资料、归纳整理和进行实验，结合几年来从事液晶显示器件应用的教训和体会总结，在较短时间内编写了本书，殷切希望该书的出版能起到抛砖引玉的作用。

本书第 1 章介绍了液晶的基本知识和物理特性、液晶显示器件应用的基本问题。

常用液晶显示器件的分类及各自的基本工作原理, 在本书的第 2 章中得到了较深入介绍。

本书第 3 章系统介绍了液晶显示器件的写入机理与驱动原理, 讨论了常用的驱动方法, 分析了静态驱动器的原理及电路构成, 不但介绍了动态驱动器的原理、动态驱动的实现方法、电路构成, 而且给出了动态驱动器的实例。作为这一章的重要内容, 还讨论了液晶显示驱动系统及辅助电路, 并给出了几种液晶显示驱动控制器的原理和应用技术。

点阵图形式液晶显示模块是人们常用的一种液晶显示器件, 所以在本书的第 4 章详尽介绍了点阵图形式液晶显示模块的结构和参数, 并以 MG12864、VLM12864、AT320240 三种点阵图形式液晶显示模块为例, 详细分析了它们的引脚排列、内部结构、工作原理、软件编程和应用技术, 给出了应用的程序实例。

在本书的第 5 章以几种常用的点阵字符型液晶显示器件为例, 深入讨论了点阵字符型液晶显示模块的电路特性、软件编程、接口技术, 并给出了实用软件。

内置控制器的点阵图形液晶显示模块作为工程中常用的显示模块在本书第 6 章中得以较详细的介绍。在该章中, 分别以内置 SED1520 和内置 HD61202U 和 HD61203U 两种液晶显示控制器集成电路的  $122 \times 32$  及  $128 \times 64$  点阵图形液晶显示模块为例, 探讨了点阵图形液晶显示模块及内置控制器的引脚功能和用法、内部结构和工作原理、电路特性、指令系统、软件编程技巧、使用接口技术等, 给出了详尽的经过实验验证的应用程序实例。

HD61830 点阵液晶显示控制器作为常用液晶显示器件的核心芯片之一, 在液晶显示器件中获得了极为广泛的应用, 其引脚功能, 应用方法、指令系统和软件编程举例, 以及内部结构和工作原理的分析安排在本书的第 7 章。

本书第 8 章为方便读者使用液晶显示器时查询及替换的需要, 给出了常用的 287 种液晶显示器件的型号、显示格式、外形尺寸、视域尺寸、用途及生产厂家的表格, 热望此表能给读者带来很大的方便。

最后, 在本书附录 A 给出了液晶显示器件使用中常用的几个软件程序, 附录 B 中给出了液晶显示器件常用的字符表。本书的附录 C 中给出了国内部分液晶显示器件的生产厂家之联系地址、电话、传真、网址及 Email 地址, 愿能给读者架起使用与购买器件之间的桥梁。

本书可作为家用电器、电力电子、电力工程、石油化工、电子、纺织、医疗卫生、金融保险、冶金、机械、核工业、航空航天、有色金属、科研院所、大专院校等各个领域从事液晶显示器件应用的工程技术人员、研究攻关人员、生产一线的技术工人和电气维修人员作为参考书, 亦适用于高等院校、中等专业学校的广大师生和业余无线电爱好者参考, 编者热切地希望本书的出版能给以上领域的同行们带来帮助, 有所裨益。

本书由西安石油大学电子工程学院李宏教授、闫苏莉副教授提出选题, 由李宏教授与张家田教授共同任主编并组织编写, 其中张家田教授编著了第 1 章与第 2 章; 李长星同志编著了第 3 章的 3.3~3.6 节与第 4 章; 第 3 章的 3.1 与 3.2 节由张家田教授与李长星同志共同编著; 秦义副教授编著了第 5 章与第 6 章; 西安交通大学电信工程学院的张鹏辉高级工程师编著了第 7 章和第 8 章、附录 A、附录 B 及附录 C。全书由李宏教授进行统稿。在本书的选题申报与编写过程中, 西安石油大学电子工程学院的闫苏莉副教授收集了大量的资料, 编写

了提纲，做了不少有益工作。

本书在编写过程中，列举许多厂家或公司提供的关于液晶显示器件的资料，参考与借鉴了许多科技工作者的研究成果，还直接引用了书末参考文献中的部分内容，在此一并致谢！本书在编写过程中受到了西安石油大学电子工程学院、机械工业出版社电工电子编辑室、陕西高科电力电子有限责任公司的众多帮助，西安石油大学电子工程学院汉泽西教授对本书的编写给予了热情的支持，编者在此表示衷心的感谢！

由于学识水平所限，收集资料又欠全面，加之编写时间甚为仓促，书中肯定有不足和谬误之处，热烈欢迎国内赏光阅读本书的专家、学者及工程技术人员斧正！恳切希望国内的同行不吝赐教！提出宝贵的指正意见，并恳请能把您的良好建议和指教，通过以下地址寄给我们！

“西安市电子二路东段 18 号西安石油大学电子工程学院，邮编：710065”

**编者**  
**于西安石油大学**

# 目 录

## 前言

## 第 1 章 液晶的基本原理及应用基础 ..... 1

- 1.1 液晶基本知识 ..... 1
  - 1.1.1 液晶的种类 ..... 2
  - 1.1.2 液晶的应用物理性质 ..... 4
- 1.2 液晶材料及其性质 ..... 7
  - 1.2.1 实用液晶材料的参数要求 ..... 8
  - 1.2.2 液晶的化学结构特性 ..... 8
  - 1.2.3 液晶的光电效应 ..... 9
- 1.3 液晶显示器件的基础知识 ..... 9
  - 1.3.1 液晶显示器件的优点 ..... 9
  - 1.3.2 液晶显示器件的分类 ..... 9

## 第 2 章 常用的液晶显示器件的基本结

### 构和工作原理 ..... 13

- 2.1 扭曲向列 (TN) 型液晶显示器件 ..... 13
- 2.2 超扭曲向列型 (STN) 液晶显示器件 ..... 15
  - 2.2.1 STN 型液晶的显示原理 ..... 16
  - 2.2.2 TFT 型液晶的显示原理 ..... 17
- 2.3 动态散射型液晶显示器件 (DS-LCD) ..... 17
- 2.4 宾主效应型液晶显示器件 (GH-LCD) ..... 18
- 2.5 电控双折射型液晶显示器件 (ECB-LCD) ..... 19
- 2.6 有源矩阵液晶显示器件 (AM-LCD) ..... 21
  - 2.6.1 a-Si TFT 液晶显示器件 ..... 22
  - 2.6.2 金属-绝缘体-金属二极管 (MIM) 二端有源液晶显示器件 ..... 24
- 2.7 液晶显示模块 ..... 25
  - 2.7.1 数显液晶显示模块 ..... 25

- 2.7.2 点阵字符型液晶显示模块 ..... 26

- 2.7.3 点阵图形液晶显示模块 ..... 27

## 2.8 液晶显示器件的简易故障查寻及

### 排除方法 ..... 28

- 2.8.1 简单实用的故障查寻方法 ..... 28

- 2.8.2 使用中的故障排除方法 ..... 28

## 第 3 章 液晶显示器件的写入机理及驱

### 动基础 ..... 30

## 3.1 液晶显示器件的写入机理 ..... 30

- 3.1.1 液晶显示器件写入的基本条件 ..... 30

- 3.1.2 液晶显示器件的写入机理 ..... 31

## 3.2 液晶显示器件的驱动方式 ..... 32

- 3.2.1 直接驱动法 ..... 32

- 3.2.2 有源矩阵驱动法 ..... 43

- 3.2.3 射束寻址驱动法 ..... 45

- 3.2.4 铁电液晶驱动法 ..... 45

- 3.2.5 彩色液晶显示器件的驱动 ..... 46

## 3.3 静态驱动器 ..... 47

- 3.3.1 静态驱动器原理 ..... 47

- 3.3.2 静态驱动器的电路构成 ..... 48

## 3.4 动态驱动器 ..... 49

- 3.4.1 动态驱动器原理 ..... 49

- 3.4.2 动态驱动器的实现 ..... 51

- 3.4.3 动态驱动器的电路构成 ..... 52

- 3.4.4 动态驱动器示例 ..... 54

## 3.5 液晶显示驱动系统及辅助

### 电路 ..... 57

- 3.5.1 驱动器的组合形式 ..... 57

- 3.5.2 偏压电路 ..... 58

- 3.5.3 液晶显示驱动系统的辅助电路 ..... 58

## 3.6 液晶显示控制器 ..... 59

- 3.6.1 液晶显示驱动控制器 ..... 60

- 3.6.2 液晶显示控制器的工作原理 ..... 66

- 3.6.3 液晶显示控制器的应用 ..... 71

**第4章 点阵图形式液晶显示模块的**

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 应用 .....                       | 74  |
| 4.1 点阵图形式液晶显示模块                |     |
| 综述 .....                       | 74  |
| 4.1.1 结构和参数 .....              | 74  |
| 4.1.2 基本特点 .....               | 75  |
| 4.2 MG12864 点阵图形式液晶显示          |     |
| 模块的原理与应用 .....                 | 76  |
| 4.2.1 基本性能特点 .....             | 76  |
| 4.2.2 内部结构、工作原理及操作             |     |
| 时序 .....                       | 79  |
| 4.2.3 寄存器及控制指令 .....           | 80  |
| 4.2.4 接口技术 .....               | 83  |
| 4.2.5 应用软件 .....               | 85  |
| 4.2.6 操作使用时的注意事项 .....         | 103 |
| 4.3 VLCM12864 可视化编程液           |     |
| 晶图文显示模块的原理与应                   |     |
| 用 .....                        | 104 |
| 4.3.1 基本性能简介 .....             | 104 |
| 4.3.2 设计特点和主要技术指标 .....        | 105 |
| 4.3.3 控制命令 .....               | 106 |
| 4.3.4 应用技术 .....               | 107 |
| 4.4 AT320240 点阵图形式液晶显示         |     |
| 模块的原理与应用 .....                 | 112 |
| 4.4.1 基本性能简介 .....             | 112 |
| 4.4.2 AT320240 所用 SED13305 控制器 |     |
| 的性能和特点 .....                   | 112 |
| 4.4.3 接口技术 .....               | 121 |
| 4.4.4 应用程序 .....               | 122 |

**第5章 字符型液晶显示模块的应**

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 用 .....            | 128 |
| 5.1 点阵字符型液晶显示模块的   |     |
| 应用 .....           | 128 |
| 5.1.1 点阵字符型液晶显示模块的 |     |
| 电路特性 .....         | 128 |
| 5.1.2 点阵字符型液晶显示模块的 |     |
| 软件特性 .....         | 131 |
| 5.1.3 点阵字符型液晶显示模块的 |     |
| 接口技术 .....         | 133 |
| 5.1.4 点阵字符型液晶显示模块的 |     |

|            |     |
|------------|-----|
| 应用实例 ..... | 134 |
|------------|-----|

**5.2 字符型液晶显示模块的 HD44780**

|             |     |
|-------------|-----|
| 驱动控制器 ..... | 137 |
|-------------|-----|

|                  |     |
|------------------|-----|
| 5.2.1 电路特性 ..... | 137 |
|------------------|-----|

|                  |     |
|------------------|-----|
| 5.2.2 指令系统 ..... | 141 |
|------------------|-----|

**5.3 内置 HD44780 驱动控制器的字**

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 符型液晶显示模块的应用 ..... | 144 |
|-------------------|-----|

|                  |     |
|------------------|-----|
| 5.3.1 电路特性 ..... | 144 |
|------------------|-----|

|                  |     |
|------------------|-----|
| 5.3.2 接口技术 ..... | 146 |
|------------------|-----|

|                  |     |
|------------------|-----|
| 5.3.3 应用实例 ..... | 152 |
|------------------|-----|

**第6章 内置控制器的点阵图形液晶显示模块的应用**

|                     |  |
|---------------------|--|
| 6.1 点阵图形液晶显示模块的 SED |  |
|---------------------|--|

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 1520 驱动控制器集成电路 ..... | 162 |
|----------------------|-----|

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 6.1.1 设计特点、引脚排列和各引脚的 |     |
| 功能及用法 .....          | 162 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 6.1.2 内部结构与工作原理 ..... | 166 |
|-----------------------|-----|

|                  |     |
|------------------|-----|
| 6.1.3 软件特性 ..... | 172 |
|------------------|-----|

**6.2 内置 SED1520 驱动控制器的点**

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 阵图形液晶显示模块的应用 ..... | 176 |
|--------------------|-----|

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 6.2.1 设计性能特点、引脚排列和各引 |     |
| 脚的功能及用法 .....        | 176 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 6.2.2 内部结构与工作原理 ..... | 178 |
|-----------------------|-----|

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 6.2.3 与微处理器之间的接口电路 ..... | 178 |
|--------------------------|-----|

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 6.2.4 实用子程序 ..... | 180 |
|-------------------|-----|

|                  |     |
|------------------|-----|
| 6.2.5 应用实例 ..... | 185 |
|------------------|-----|

**6.3 点阵图形液晶显示模块的**

|                     |  |
|---------------------|--|
| HD61202U 与 HD61203U |  |
|---------------------|--|

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 驱动控制器集成电路 ..... | 191 |
|-----------------|-----|

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 6.3.1 HD61203U 行驱动控制器集成 |     |
| 电路 .....                | 191 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 6.3.2 HD61202U 列驱动控制器集成 |     |
| 电路 .....                | 196 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 6.3.3 HD61202U 驱动控制器的软件 |     |
| 特性 .....                | 200 |

**6.4 内置 HD61202U 驱动控制器**

|              |  |
|--------------|--|
| 的点阵图形液晶显示模块的 |  |
|--------------|--|

|          |     |
|----------|-----|
| 应用 ..... | 203 |
|----------|-----|

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 6.4.1 引脚排列、各引脚的功能及 |     |
| 用法 .....           | 203 |

|                               |     |                            |     |
|-------------------------------|-----|----------------------------|-----|
| 6.4.2 内部结构及工作原理 .....         | 203 | 第 8 章 常用液晶显示器件 .....       | 265 |
| 6.4.3 接口技术 .....              | 209 | 8.1 专用液晶显示模块 .....         | 265 |
| 6.4.4 应用实例 .....              | 213 | 8.2 通用段式液晶显示模块 .....       | 266 |
| <b>第 7 章 HD61830 点阵液晶显示控制</b> |     | 8.3 通用段式液晶显示屏 .....        | 267 |
| 器的应用 .....                    | 219 | 8.4 点阵字符型液晶显示模块 .....      | 269 |
| 7.1 HD61830 点阵液晶显示控制器         |     | 8.5 点阵图形液晶显示模块 .....       | 272 |
| 的封装形式及电特性 .....               | 219 | <b>附录 A 绘图软件</b> .....     | 276 |
| 7.1.1 封装形式、引脚功能及用法 .....      | 219 | A.1 描点绘图及描点程序 .....        | 276 |
| 7.1.2 电特性参数 .....             | 223 | A.2 直线的算法及程序 .....         | 278 |
| 7.2 HD61830 点阵液晶显示控制器         |     | <b>附录 B 字符表</b> .....      | 284 |
| 内部工作原理分析 .....                | 224 | B.1 HD44780 内部字符发生器的       |     |
| 7.2.1 显示控制部分 .....            | 226 | 字符表 .....                  | 284 |
| 7.2.2 显示信号形成部分 .....          | 229 | B.2 HD61830 内部字符发生器的       |     |
| 7.2.3 微处理器接口部分 .....          | 231 | 字符表 .....                  | 285 |
| 7.3 HD61830 点阵液晶显示控制器         |     | B.3 SED1330/SED1335 内部字符   |     |
| 的指令系统 .....                   | 235 | 发生器的字符表 .....              | 286 |
| 7.3.1 指令系统 .....              | 236 | B.4 T6963C 内部字符发生器的        |     |
| 7.3.2 指令系统的详细分析 .....         | 236 | 字符表 .....                  | 286 |
| 7.4 HD61830 点阵液晶显示控制器         |     | <b>附录 C 部分生产厂家名录</b> ..... | 288 |
| 的接口技术及应用 .....                | 245 | <b>参考文献</b> .....          | 291 |
| 7.4.1 间接控制方式 .....            | 245 |                            |     |
| 7.4.2 直接访问方式 .....            | 247 |                            |     |
| 7.4.3 应用程序实例 .....            | 249 |                            |     |

# 第 1 章 液晶的基本原理及应用基础

20 世纪 60 年代初，人们发现给液晶充电会改变它的分子排列，继而造成光线的扭曲或折射。经过反复测试，1968 年美国无线电公司（RCA）海麦尔（G. H. Heilmeyer）发现给向列液晶的透明薄层通电时会出现混浊现象（即光电效应）以后，人们对液晶结构、特性和应用的认识得到了飞跃发展。目前，液晶被人们用来制作液晶显示器件（LCD）并被广泛地应用于许多新技术领域。

## 1.1 液晶基本知识

简单说，物质有三态：固态、液态和气态，也就是常说的固相、液相和气相。在自然界中，大部分材料随温度的变化只呈现固态、液态和气态三种状态。液晶（liquid crystal）是不同于通常的固态、液态和气态的一种新的物质状态，它是能在某个温度范围内兼有液体和晶体两者特性的物质状态，也叫做液晶相或中介相故又称为物质的第四态。

液晶最早是奥地利植物学家莱尼茨尔（F. Reinitzer）于 1888 年发现的。他在测定有机物的熔点时，发现某些有机物（胆甾醇的苯甲酸酯和醋酸酯）熔化后会经历一个透明的呈白色浑浊液体状态，并发出多彩而美丽的珍珠光泽，只有继续加热到某一温度才会变成透明清亮的液体，这是人们对液晶认识的开始。次年，德国物理学家莱曼（O. Lehmann）使用由他亲自设计，在当时作为最新式的附有加热装置的偏光显微镜对这些酯类化合物进行了观察，他发现这些白而浑浊的液体外观上虽然属于液体，但却显示出各相异性晶体特有的双折射性。于是莱曼将其命名为“液态晶体”，这就是“液晶”的由来。

液晶是一种介于固体与液体之间、具有规则性分子排列的有机化合物，一般最常用的液晶为向列相（nematic）液晶，分子形状为细长棒形，长宽约为 1~10nm，在不同电流电场作用下，液晶分子会做规则旋转 90°排列，产生透光度的差别，如此在电源接通与断开（ON/OFF）时产生明暗的区别，依此原理控制每个像素，便可构成所需图像。液晶显示的分子结构如图 1-1 所示。

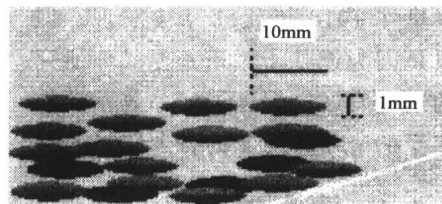


图 1-1 液晶显示的分子结构

液晶显示原理如图 1-2 所示。在两片玻璃基板上装有配向膜，所以液晶会沿着沟槽配向，由于玻璃基板配向膜沟槽偏离 90°，所以液晶分子成为扭转型，当玻璃基板没有加入电场时，光线透过偏光板跟着液晶做 90°扭转，通过下方偏光板，液晶面板显示白色（见图 1-2a）。当玻璃基板上加电场时，液晶分子产生配列变化，光线通过液晶分子空隙维持原方向，被下方偏光板遮蔽，光线被吸收无法透出，液晶面板显示黑色（见图 1-2b）。液晶显示器便是根据此电压有无，使面板达到显示效果的。

液晶显示器件（LCD，Liquid Crystal Display）的面板结构如图 1-3 所示。LCD 的面板厚度不到 1cm，十分轻薄短小，它由 20 多项材料及元件所构成，不同类型的 LCD 所需材料不

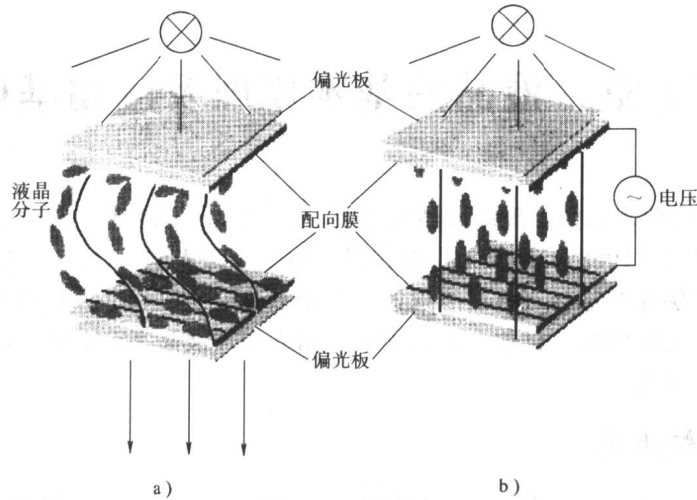


图 1-2 液晶配列显示原理图

a) 液晶面板显示白色 b) 液晶面板显示黑色

尽相同。基本上，LCD 结构如同三明治，一个液晶盒（包括玻璃基板、彩色滤光片、偏光板、配向膜、印制电路板等材料），当灌入液晶材料（液晶大小不到  $5\text{mm} \times 10 \sim 6\text{mm}$ ）后，一个液晶显示器件就形成了。

今天用于工业上的许多液晶的性质，如胆甾相液晶的颜色随温度的变化，以及向列相液晶在电场中的变浑浊的光电效应等，其现象本身早在 1910 年就已经被发现，但只是因为近几十年来室温晶体研究的迅速发展，促进了液晶显示器件广泛的应用于工业的各个领域。

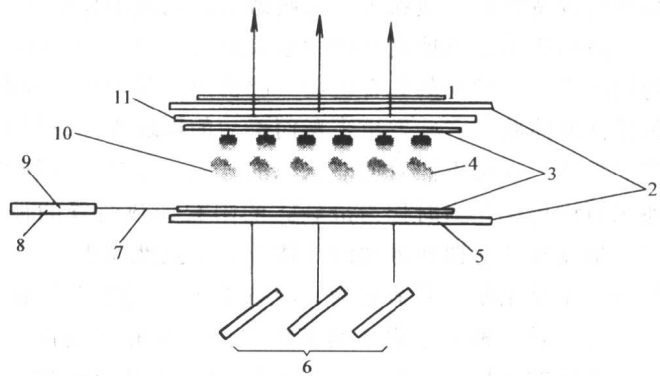


图 1-3 LCD 产品结构图

1、5—偏光板 2—玻璃基板 3—配向膜 4—液晶  
6—光源模组 7—启动 IC 8—印制电路板  
9—控制 IC 10—电极 11—彩色滤光片

### 1.1.1 液晶的种类<sup>[1]</sup>

液晶的种类<sup>[1]</sup>很多，自然存在的或人工合成的液晶多达数千种，但从成分和出现的液晶相的物理条件来看，归纳分类，液晶可以分为热致液晶和溶致液晶两大类。

把某些有机物加热熔解，由于加热破坏结晶晶格而形成的液晶称为热致液晶，就是由于温度变化而出现的液晶；把某些有机物放在一定的溶剂中，由于溶剂破坏结晶晶格而形成的液晶称为溶致液晶，它是由于液晶浓度发生变化而出现的液晶相，如小孩玩耍吹在空气中的肥皂水气泡，是最常见的溶致液晶示例。目前用于显示的液晶材料基本上都是热致液晶。

#### 1. 热致液晶

热致液晶因分子排列有序状态的不同，可以分为近晶相（smectic）液晶（又称层状液

晶)、向列相 (nematic) 液晶 (又称丝状液晶)、胆甾相 (cholesteric) 液晶 (也称螺旋状液晶)。smectic由希腊语而来,是肥皂状的意思,因这种类型的液晶在浓肥皂水溶液中,都显示特有的偏光显微镜像,因而命名为皂相。分子分层排列,有同一的方向,比较接近晶体,故译为近晶相。nematic也是由希腊语而来,是丝状之意,因这种液晶的薄层在偏光显微镜下观察时,呈现丝状结构,故称之为丝相。分子位置杂乱,但方向大致一致,故译向列相。胆甾相液晶则是由于此种液晶最早是从胆甾醇类物质中发现的,故称之为胆甾相。

图 1-4 是近晶相、向列相和胆甾相液晶分子的有序状态示意图。如图所示,它们的分子有序状态差别很大,这就决定了在应用上的不同性质。

热致液晶物质随温度变化而引发的物质形态变化过程中存在两种变化形式。

一种称之为互变性液晶,其变化过程:

晶体  $\xleftarrow{T_1}$  液晶相  $\xleftarrow{T_2}$  各相同性液体

其中,当温度为  $T_1$  和  $T_2$  时,相变可以互逆变化。

另一种称之为单变性液晶,其变化过程:

晶体  $\rightarrow$  各相同性液体  $\rightarrow$  液晶相  $\rightarrow$  晶体

一般用于液晶显示器件的多是互变性液晶。单变性液晶可以用作具有存储效应的液晶显示器件。液晶显示器件的液晶材料都是热致液晶物质,因此使用和存储都有其温度范围的,一旦超出规定的温度范围就会使液晶材料失去液晶态,不能正常工作,有时还会损坏器件,这一点用户必须十分注意。

## 2. 溶致液晶

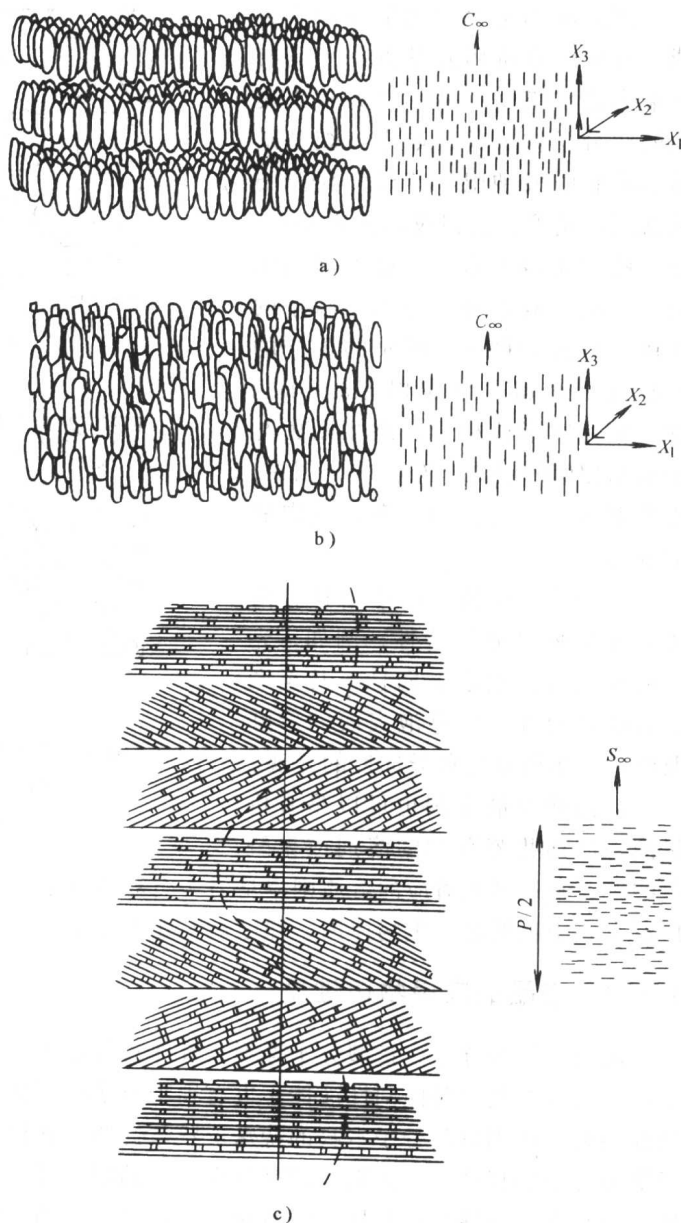


图 1-4 近晶相、向列相、胆甾相液晶分子排列

a) 近晶相液晶分子排布示意 b) 向列相液晶分子排布示意

c) 胆甾相液晶分子排布示意

这是一种双组分液晶，是将一种溶质溶于溶剂而形成的液晶物质。

溶致液晶至少由两部分物质组成。典型的溶质部分是由一个具有一端为亲水集团、另一端为疏水集团的双分子构成的，如十二烷基磺酸钠或脂肪酸钠肥皂等碱金属脂肪酸盐类物质等，它相应的溶剂是水。当这些溶质溶于水后，在不同的浓度下，由于双亲分子亲水、疏水的作用会形成如图 1-5 所示的不同的核心相 (middle) 和层相 (lamella)。核心相为球形或柱形。层相则由与近晶相相似的层式排布构成。图中，头为亲水基，尾为疏水基，空白的部分为水。

分子的有序排列必然给这种溶液带来某种晶体的特性，例如，光学的异向性，电学异向性，乃至亲和力的异向性，肥皂泡表面的彩虹及洗涤作用就是这种异向性的体现。

溶致液晶的溶剂也可以是有机溶液，如某些芳香类的溶剂或聚酰胺等，不过其相对应的溶质则应是另一类双亲分子。溶致液晶不同于热致液晶，溶致液晶广泛存在于自然界、生物体内，并已被不知不觉地应用于人类生活的各个领域。

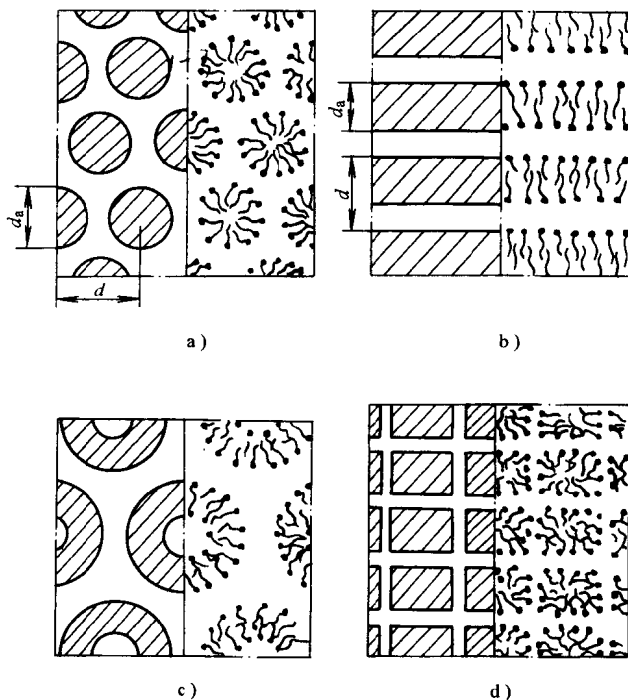


图 1-5 溶致液晶肥皂-水系统的液晶相分子有序排布示意图

a) 六方晶相 (圆柱状)    b) 片层相 (层状)  
c) 复合六方晶相    d) 矩形相

### 1.1.2 液晶的应用物理性质

液晶是杆型分子、盘型分子等不具有球对称性的分子组成的部分有序物质。它不同于分子排列完全混乱的各向同性液体，也有别于分子排列完全有序的晶体。这种介于晶体与液体之间的分子排列以及分子本身的特殊形状与性质，导致了液晶呈现出液体与晶体的特性，甚至更加复杂的特性。一方面，液晶具有流体的流动特性；另一方面，液晶又呈现出晶体的空间各向异性，包括介电特性、磁极化、光折射率等的空间各向异性。液晶分子的部分有序排列还使得液晶具有类似晶体的、能承受扰乱这种秩序的切变应力。也就是说，液晶具有切变弹性模量<sup>[1]</sup>。在实际应用中，液晶的流动性、介电与光学性能的各向异性以及液晶的弹性，都是很重要的，它们可控制液晶显示的参数。下面先对液晶的介电特性、光学性能、液晶的粘度等做一简单的介绍，然后再说明这些特性对于实际显示器件性能的影响。液晶材料有许多技术参数，包括光电参数与物性参数，主要有介电各向异性  $\Delta\epsilon$ 、双折射率  $\Delta n$ 、体积粘度  $\eta$ 、弹性常数  $K$ 、相变温度  $T_m$ 、 $T_c$  和液晶电阻率  $\rho$  等。

#### 1. 液晶的介电各向异性

液晶介电各向异性 (dielectric anisotropy) 是决定液晶分子在电场中行为的主要参数，

从分子极化度 ( $\alpha$ ) 分子中所含偶极矩以及它和分子长轴之间的夹角和方向的关系, 可以导出对各向同性液体推广应用用于各向异性的液晶物质的介电性质公式如下:

$$\epsilon_1 = 1 + 4\pi N h F \left\{ \bar{\alpha} + \frac{2}{3} \Delta \alpha s + F \frac{\mu^2}{3kT} [1 - (1 - 3\cos^2 \beta) s] \right\} \quad (1-1)$$

$$\epsilon_2 = 1 + 4\pi N h F \left\{ \bar{\alpha} - \frac{1}{3} \Delta \alpha s + F \frac{\mu^2}{3kT} \left[ 1 + \frac{1}{2} (1 - 3\cos^2 \beta) s \right] \right\} \quad (1-2)$$

$$\Delta \epsilon = \epsilon_1 - \epsilon_2 = 4\pi N h F \left\{ \Delta \alpha - F \frac{\mu^2}{2kT} [(1 - 3\cos^2 \beta) s] \right\} s \quad (1-3)$$

式中  $\epsilon_1$ ——平行于分子轴方向上的介电常数;

$\epsilon_2$ ——垂直于分子轴方向上的介电常数;

$\Delta \epsilon$ ——介电各向异性参数;

$\mu$ ——永久偶极矩;

$s$ ——有序参数;

$k$ ——玻耳兹曼常量;

$T$ ——热力学温度 (K);

$h, F$ ——惰性场的因子;

$\beta$ ——永久偶极矩和分子长轴之间的夹角;

$N$ ——单位体积中的分子数 ( $\text{mol}/\text{cm}^3$ );

$\bar{\alpha}$ —— $(\alpha_1 + 2\alpha_2) / 3$ ,  $\alpha_1$  和  $\alpha_2$  分别为沿分子轴和垂直分子轴向的极化度;

$\Delta \alpha$ ——极化各向异性,  $\Delta \alpha = \alpha_1 - \alpha_2$ 。

一般来说, 当液晶分子结构中不含永久偶极矩时, 那么在一定温度下, 液晶介电各向异性主要决定于分子的极化度, 其数值通常是比较小的, 该类液晶的  $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$  和  $\Delta \epsilon$  值都比较小。沿分子轴向含有强偶极矩的液晶分子, 具有比较大的介电各向异性。

当液晶分子含有两个以上偶极矩时, 其  $\Delta \epsilon$  决定于分子永久偶极矩的矢量和, 同向时,  $\Delta \epsilon$  值增大, 反向时,  $\Delta \epsilon$  值减小。

液晶分子中偶极矩和分子长轴夹角  $\beta$  值的大小是决定液晶分子呈现正介电各向异性, 还是负介电各向异性的关键数值。在垂直于分子轴向上引进强极性基团和分子轴形成约  $60^\circ$  的夹角, 平行于分子轴的偶极矩对  $\Delta \epsilon$  的贡献几乎互相抵消, 所以  $\Delta \epsilon$  较小。

在向列相液晶分子中, 通常都含有容易极化变形的苯环, 所以沿分子轴向的极化度大于垂直方向的极化度, 因此  $\epsilon_1 > \epsilon_2$  和  $\Delta \epsilon > 0$ 。对于某些系列的液晶, 其中  $\Delta \epsilon > 0$ , 而且数值比较小,  $\epsilon_1$ 、 $\epsilon_2$  都随末端烷基或烷氧基链的增长而降低, 随碳原子数增加,  $\Delta \epsilon$  表现出交替升降的规律, 即奇偶效应。

苯环含有共轭  $\pi$  电子体系, 在外电场作用下, 极易变形, 若在分子结构中, 用环己烷代替苯环,  $\pi$  电子体系减少, 极化度变弱, 从而使  $\Delta \epsilon$  变小。

液晶分子在电场中的取向行为取决于液晶材料的介电各向异性值, 当  $\Delta \epsilon$  为正值时, 液晶分子沿电场方向取向, 当  $\Delta \epsilon$  为负值时, 液晶分子在电场中垂直于电场取向。所以, 不同的显示途径, 可选用不同的液晶材料。另一方面, 介电常数与液晶显示的工作频率密切相关, 随着频率的不同, 平行于分子轴上的介电常数  $\epsilon_1$  与垂直于分子轴上的介电常数  $\epsilon_2$  会呈现如图 1-6 所示曲线的变化。这一特性正是双频驱动法的基础。

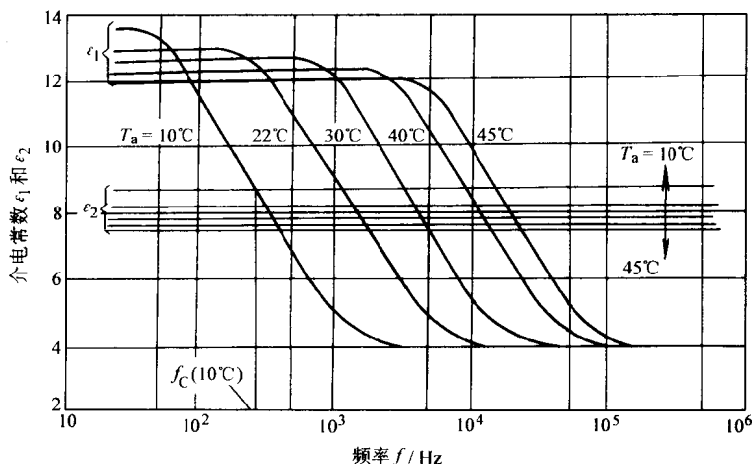


图 1-6 介电常数  $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$  与频率的关系

某些液晶混合物的介电各向异性参数  $\Delta\epsilon$  和各组成成分物质的介电各向异性参数  $\Delta\epsilon_i$  之间存在着线性相加的关系, 即

$$\Delta\epsilon = \sum_{i=1}^n x_i \Delta\epsilon_i \quad (1-4)$$

式中  $x_i$ ——混合物中成分的摩尔分数;

$\Delta\epsilon_i$ ——混合物中第  $i$  种组成成分的介电各向异性参数值。

这个关系为调节液晶混合物的介电各向异性参数  $\Delta\epsilon$  值提供了计算基础。再应看到, 影响液晶的介电各向异性参数的因素很多, 比如说: 中心基团和两侧芳环共轭的程度, 以及构型差异等因素都会使液晶的介电各向异性有所不同。

## 2. 液晶的电导各向异性

一般致热液晶具有非离子的结构, 所以它的电导率总是很低的 ( $\sigma < 10^{-11} \Omega \cdot \text{cm}$ )。若分别以  $\sigma_{//}$  与  $\sigma_{\perp}$  来表示平行于分子轴方向的电导率和垂直于分子轴方向的电导率, 则液晶电导各向异性可以用  $\sigma_{//}/\sigma_{\perp}$  来描述。在向列相液晶中,  $\sigma_{//}/\sigma_{\perp} > 1$ , 这反映了在向列相液晶中沿分子轴方向的运动比垂直于分子轴方向的运动要容易得多; 而在近晶相液晶中, 离子运动在分子层间隙比较容易, 所以  $\sigma_{//}/\sigma_{\perp} < 1$ 。因此可以从液晶电导各向异性的变化分析液晶状态所经历的变化。例如, 在烷氧基苄叉对丁基苯胺类液晶系中, 生成近晶相的倾向随着碳原子数的增加而增加, 测得的电导各向异性值从正值变为负值。

对于混合液晶体系, 随着组成变化可发生一系列相态变化, 通过测定混合物液晶的电导各向异性的变化, 可确定所形成的诱导近晶相。例如, 在上述液晶中加入质量为 0.01% 的四丁基铵苦味酸盐后, 在强度为 1.2T (特斯拉) 的磁场下, 使分子取向, 并测定其  $\sigma_{//}$ 、 $\sigma_{\perp}$  值。结果改变随着乙氧基苄叉、氨基苯腈和双正乙氧基氧化偶氮苯之间的比例不同, 其  $\sigma_{//}/\sigma_{\perp}$  值从大于 1 变为小于 1, 也即从正电导各向异性转变为负电导各向异性, 从而证实一定组成内, 有近晶相产生。电导各向异性随温度的增加而迅速降低, 至清亮点降为零, 电导各向异性消失。

## 3. 液晶的粘度

向列相液晶的粘度 (viscosity) 是相当复杂的, 存在着各种不同的粘度。通常只用体积粘度描述。向列相液晶的粘度与活化能、温度的关系式为

$$\eta = \eta_0 \exp(-E/kT) \quad (1-5)$$

式中  $\eta_0$ ——比例常数;

$E$ ——活化能;

$T$ ——热力学温度;

$k$ ——玻耳兹曼常量。

液晶材料的粘滞系数不但随温度降低而增加, 也与活化能相关。在相同温度下, 低活化能的液晶材料具有低的粘滞系数。并且粘滞系数随温度的变化也小。从结构上来看, 液晶分子的中心桥键, 末端取代基的极性、极化度, 分子中  $\pi$  电子体系, 都明显地影响液晶的粘滞系数。随着端基碳链增长, 分子间相互缠结程度和作用增加, 导致粘滞系数增加, 随着液晶分子中心基团性质的不同, 粘滞系数有着明显的差异。

粘滞系数对液晶的应用有着很大的影响。向列相液晶的最大缺点是响应速度不够快。响应时间与液晶的粘滞系数有直接的关系, 粘度小, 响应快。粘滞系数取决于分子的活化能、惯性动量、温度及分子间的吸引力。一般说来, 分子长、胖及重的粘度就大。由于温度对分子运动速度影响很大, 因而温度对粘度影响最大, 通常, 温度每增加  $10^\circ\text{C}$ , 粘度就降低一半。

#### 4. 液晶的光学性能

光是一种电磁波, 通常将其电场方向称为光的偏极方向。我们可用偏光器来选择某一特定方向的偏极光。已偏极化的光再经过一个偏光器时可全部通过或部分通过, 视第二个偏光器的方向而定。光经过物质时, 折射率与光偏极化的方向有关。在大部分向列相液晶中, 光偏极化方向与液晶晶体的排列方向平行时, 折射率 ( $n_{\parallel}$ ) 较大, 光偏极化方向与液晶晶体的排列方向垂直时, 折射率 ( $n_{\perp}$ ) 较小。一偏极光经过一液晶态晶体后, 其偏极化方向有时会改变。到底会不会改变则视液晶态晶体的排列而定 (见图 1-7)。所以我们通过改变液晶态晶体的排列方式即可改变通过光的偏极性。若在液晶态晶体后面再加一个偏光器, 则通过的光强度会有不同。

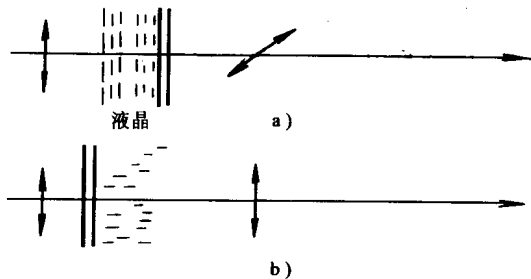


图 1-7 不同的液晶排列对光的偏极化有不同的影响

a) 偏极化方向改变 b) 偏极化方向不改变

## 1.2 液晶材料及其性质

液晶是液晶显示器件的基本材料<sup>[1,2]</sup>。为了满足液晶显示器件的各种性能参数的要求, 也为了适应液晶显示器件工艺要求, 需要液晶材料具有广泛的多种性能参数, 而任何一种液晶单体材料都不可能满足所有这些要求。所以, 实用的液晶材料都是混合液晶材料。有时, 为了达到某一特殊要求, 甚至还要混合添入某些非液晶的添加物。如动态散射型器件用的液晶中, 要添加一些离子型材料, 宾主效应型显示器件用液晶中, 要添加一些二色性染料等。

### 1.2.1 实用液晶材料的参数要求

液晶显示器件参数不等于液晶材料的参数，这一点必须注意。但是液晶材料的任何一项性能和参数都会影响甚至决定液晶显示器件的性能和参数，而且还会影响液晶显示器件的制造工艺。必须满足的液晶显示器件主要参数有：工作温度范围、响应特性、驱动特性、视角特性、可靠性等。而必须与其适应的器件工艺则主要是制盒的盒厚及取向工艺。图 1-8 是这些器件特性与其所要求的液晶材料的特性和参数的关系。

由于器件不同，所需液晶的特性、参数肯定也不同，而且任何一个液晶参数的改变又会影响器件的一些特性，所以实用液晶材料必须使用多元液晶单体混合配制，才能满足要求。混合液晶材料的配制是严格而复杂的。配制参数遵循加法原则，即其参数特性由混合各单元参数代数和决定。

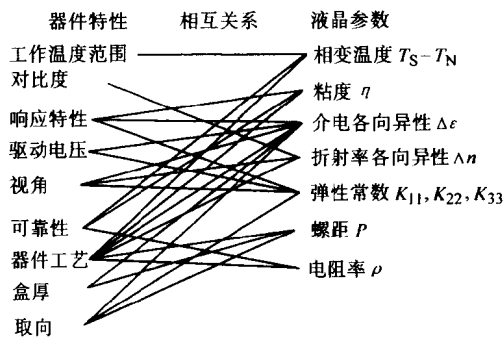


图 1-8 液晶显示器件特性与液晶材料参数之间的关系

### 1.2.2 液晶的化学结构特性

液晶化合物具有的物理、化学性质是与它的分子结构密切相关的。研究表明，分子的刚性、线形、反式构型，液晶分子中所含偶极矩的大小和方向，分子的极化各向异性和共轭作用等因素，都明显地影响液晶性质。

#### 1. 液晶分子的化学结构和要求

一般认为要呈现液晶相，化合物的分子结构必须满足下述要求：

1) 几何形状上，液晶分子应是各向异性的，分子的长度与直径之比  $L/D$  必须大于 4。

2) 液晶分子的长轴不易弯曲，要有一定的刚性。因此常在分子的中央部位引进双键或三键，形成共轭体系，得到刚性的线形结构，或者使分子保持反式结构，以获得线形结构。

3) 分子末端含有极性 or 可极化的基团。通过分子间电性力、色散力的作用，使分子保持取向有序。

分子的几何形状是液晶的必要条件。为使液晶分子长度比宽度大许多倍而成为棒状分子，合成时总是采用合适的化合物。反式构型也可以使分子呈线形结构，呈现液晶状态。顺式构型分子呈弯曲态，没有液晶相出现。片状分子不利于液晶态的形成，因此，只有极少数的化合物能形成单变液晶。

如果扩大中心部分成为刚性盘状或椭圆状核心，再同与之相适应的柔性侧链匹配，也可使其紧密堆叠起来形成新的盘状液晶。这些盘状分子二维有序，呈现向列相、胆甾相、柱状相，但是没有近晶相。

中心桥键是构成液晶的重要条件，但无中心桥键也能构成液晶。液晶分子中所含的环，可以是苯环、酯环、杂环和稠环。末端基团也是构成液晶不可缺少的部分，它是柔软易弯曲的基团。