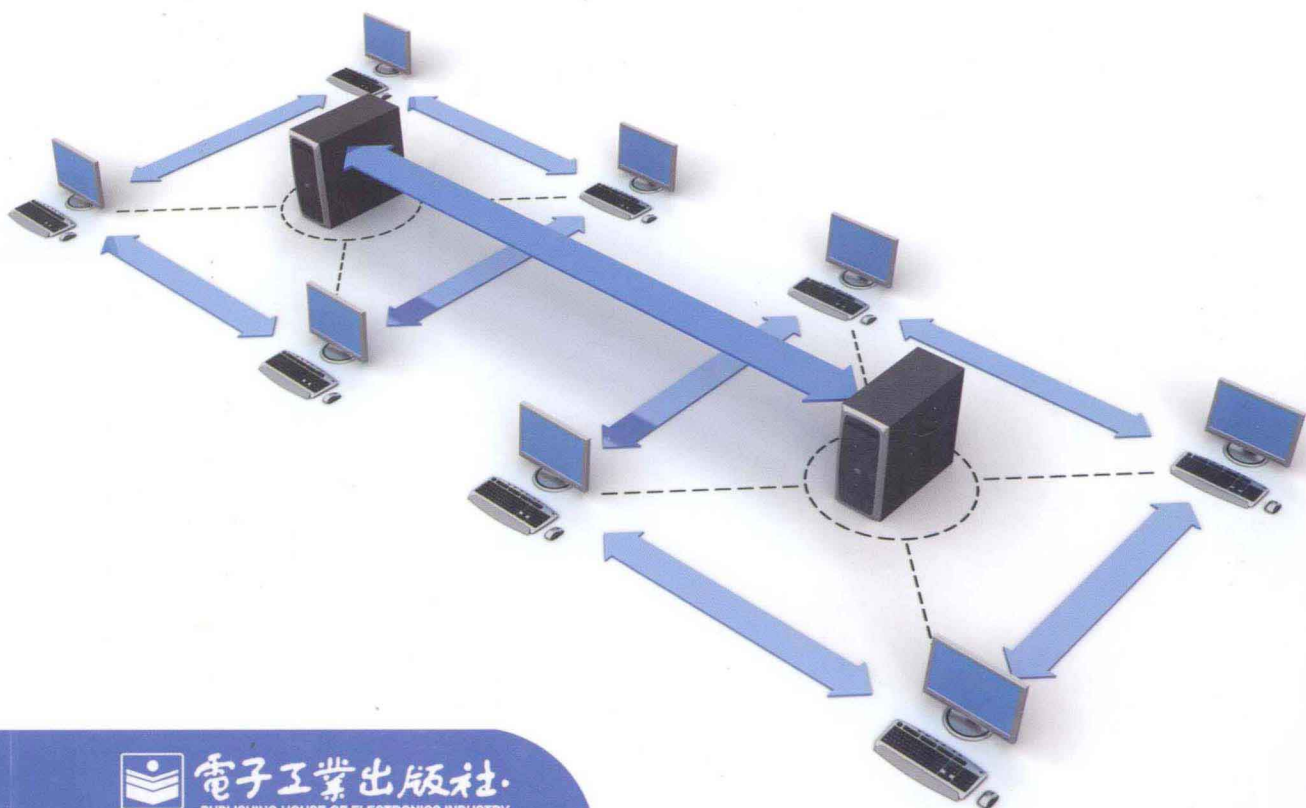


SHUJUHUIFUYUANLI
JIANLIPOUXI

数据恢复原理 及案例剖析

刘永刚 王晓海 白红军 于学荣 等编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

数据恢复原理及案例剖析

刘永刚 王晓海 白红军 于学荣 等编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是为数据爱好者而撰写的一本参考书，作者根据长期实际工作经验，由浅入深地介绍了数据的原理和技巧，其内容包括基础知识的介绍、原理内容的讲解、实战经验的剖析，内容丰富，通俗易懂，实用性和可操作性强。读者通过对本书的学习，可以很快地了解和掌握一些数据恢复的思路和技能，迅速成为本专业的行家里手。

本书适合数据恢复的从业人员、数据恢复爱好者，也可以作为数据恢复专业的教材。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

数据恢复原理及案例剖析 / 刘永刚等编著. —北京：电子工业出版社，2014.1
ISBN 978-7-121-22104-0

I. ①数… II. ①刘… III. ①数据管理—安全技术 IV. ①TP309.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 294915 号

策划编辑：祁玉芹

责任编辑：鄂卫华

印 刷：中国电影出版社印刷厂

装 订：中国电影出版社印刷厂

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×1092 1/16 印张：16 字数：389 千字

印 次：2014 年 1 月第 1 次印刷

定 价：35.00 元



凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：(010) 88258888。



前言

计算机技术的迅猛发展，把人们带入了全新的信息时代，大量信息的产生、存储、使用使得我们的生活发生了巨大的变化。如今各行各业都离不开计算机，大量的信息存储在各类计算机硬盘里，硬盘的记忆辅助了人脑的记忆，帮助我们使记忆成为永恒。

随着微电子、机械、制造技术和工艺的不断进步，磁盘的容量越来越大，读写速度越来越快，体积越来越小，样式也越来越多。人们希望不断提升计算机的性能，其中一项重要指标就是升级或扩充硬盘容量。任何事物都有两面性，在使用计算机并从中受益的同时，计算机也给我们带来一些问题。由于硬盘使用量的总体上升，再加上外在或硬盘内部的原因，硬盘故障台次呈逐年上升趋势，从而直接影响到其中的数据安全。有道是，硬盘有价，数据无价，人们不禁要问，硬盘坏了，存储在其中的数据怎么办？能否得以抢救？所以，数据恢复技术就应运而生。

近些年来，数据恢复行业异军突起，门面林立，各类资料也琳琅满目，但往往是讲原理的多，剖析实例的少，或者对各类故障虽有涉及但覆盖不够全面，代表性不够强。本书开篇详细介绍了硬盘结构基本知识和各类文件系统，不但为读者了解和掌握数据恢复技术奠定了基础，而且对数据恢复的定义、实现方式、流程方法进行了全面的介绍，进而对软件级、硬件级和固件级硬盘故障的分析、处理及一般流程进行了说明，对迈拓、希捷等主流硬盘的固件原理进行了介绍。随着硬盘技术的不断发展，近几年数据恢复技术发展也很快，本书也对一些最新发展动态进行了跟踪，特别是对固态硬盘数据修复等最新技术进行了实践和探索。全书通过大量实际案例对各类硬盘典型故障进行了深入剖析，使读者不但掌握原理，而且能够通过案例牵引进入故障处理的实战环节。

本书全面系统地介绍了数据恢复的基本原理，并提供了大量实际案例分析。全书分为三个部分，第一部分是基础篇，包括第1章～第3章，介绍了硬盘硬件结构、数据组织、固件等基础知识，以及FAT文件系统和NTFS文件系统。第二部分是原理篇，包括第4章～第8章，介绍了数据恢复的基本知识、业务运行的条件要求、操作流程等，以及软件级数据恢复、硬件级数据恢复、固件级数据恢复和固态硬盘数据修复。第三部分是实战篇，包

括第9章~第11章,分别介绍了软件级、硬件级和固件级数据故障恢复的常见现象和一般方法,以及一些典型故障的修复方法及案例分析。

本书适合数据恢复的从业人员、数据恢复爱好者,也可以作为数据恢复专业的教材。希望经过我们的努力,帮助大家全面地了解和掌握硬盘数据恢复的基本原理和方法,更有效地保护好硬盘中存储的数据。在硬盘出现故障或数据丢失时,能够成功地挽救数据,将损失降到最低。

本书主要由刘永刚、王晓海、白红军、于学荣等编著,参加编写的还有高岩、刘永强、管乐乐、林晨、刘泽辰、董贵祥、熊雪晖、李桂梅、李旭东、户媛等,在此特别感谢高岩主任对本书的关心和支持。由于编著水平有限,书中难免有不足之处,恳请广大读者批评指正。

编著者

2013年12月



目 录

基础篇

第 1 章 硬盘基础知识	1
1.1 硬盘结构	1
1.1.1 硬盘外部结构	1
1.1.2 硬盘内部结构	4
1.2 硬盘逻辑结构	6
1.2.1 盘片	6
1.2.2 磁道	7
1.2.3 柱面	7
1.2.4 扇区	7
1.2.5 容量	8
1.3 硬盘数据组织	9
1.3.1 低级格式化	9
1.3.2 分区	10
1.4 固件基础知识	14
1.4.1 固件的基本概念	14
1.4.2 固件结构	15
第 2 章 FAT 文件系统	17
2.1 FAT 文件系统组成	17
2.1.1 DBR 分析	17
2.1.2 文件分配表	19
2.1.3 文件目录表	21



2.2	FAT 系统对文件的管理	23
2.2.1	根目录下文件的查找	23
2.2.2	文件的删除	26
2.2.3	FAT 系统对长文件名的管理	28
2.3	FAT 系统对子目录的管理	30
2.4	FAT 系统子目录的删除	34

第 3 章 NTFS 文件系统39

3.1	NTFS 的优点	39
3.2	NTFS 文件系统的概念	40
3.3	NTFS 文件的引导扇区	42
3.4	NTFS 的元文件	43
3.4.1	与 NTFS 元文件相关的概念	43
3.4.2	NTFS 对磁盘及分区的区域划分	45
3.4.3	NTFS 访问卷的流程	46
3.4.4	NTFS 元数据文件及其功能	47

原 理 篇

第 4 章 数据恢复综述49

4.1	数据恢复的定义	49
4.2	硬盘数据恢复与硬盘修理的关系	50
4.3	数据丢失故障类型	50
4.4	数据恢复的实现方式	51
4.4.1	软件恢复	51
4.4.2	硬件恢复	52
4.4.3	固件恢复	52
4.4.4	数据恢复的原则	52
4.5	数据恢复业务运行的条件要求	54
4.5.1	洁净间的环境要求	54
4.5.2	数据恢复的硬件技术要求	55
4.5.3	数据恢复的软件技术要求	55

4.6	数据恢复业务运行流程	56
4.7	数据恢复操作流程	59
第 5 章	软件级数据恢复	61
5.1	软件级故障处理一般流程	61
5.1.1	软件级故障的判定	61
5.1.2	软件故障的一般处理流程	62
5.2	软件级恢复操作准备	62
5.2.1	数据镜像的用途	63
5.2.2	数据镜像的使用范围	63
5.2.3	常用数据镜像软件	64
5.3	软件级故障分析	67
5.3.1	分区表故障	67
5.3.2	FAT 表故障	69
5.3.3	MBR 故障	70
5.3.4	DBR 故障	71
5.3.5	NTFS 文件系统故障	72
5.4	软件级故障处理	73
5.4.1	修复手段选择	73
5.4.2	MBR 的修复方法	73
5.4.3	分区表的修复方法	74
5.4.4	DBR 的修复方法	78
5.4.5	FAT 与 FDT 的修复方法	82
第 6 章	硬件级数据恢复	83
6.1	硬件级故障处理的一般流程	83
6.1.1	硬件级故障的判定	83
6.1.2	硬件故障的一般处理流程	84
6.2	硬件故障分析	85
6.2.1	磁盘坏道	85
6.2.2	PCB 电路板故障	87
6.2.3	磁头故障	89
6.2.4	电动机故障	91



6.3 硬件级故障处理	92
6.3.1 坏道故障处理	92
6.3.2 PCB 电路板故障处理	94
6.3.3 磁头、电动机故障处理	96
6.3.4 磁头组件的更换过程	98
第 7 章 固件级数据恢复	103
7.1 迈拓硬盘固件原理分析	103
7.1.1 SA 伺服信息区	103
7.1.2 迈拓硬盘固件及其上电启动流程	105
7.1.3 迈拓硬盘固件构成要件与关键模块分析	107
7.1.4 迈拓硬盘固件故障成因	113
7.1.5 迈拓硬盘固件模块分析	113
7.1.6 迈拓固件修复方法	115
7.2 希捷硬盘固件原理分析	117
7.2.1 希捷硬盘固件结构	117
7.2.2 希捷硬盘各级指令	119
7.2.3 希捷硬盘固件故障的处理	120
第 8 章 固态硬盘数据修复初探	133
8.1 固态硬盘物理结构	133
8.1.1 固态硬盘简介	133
8.1.2 接口类型	135
8.1.3 存储介质	135
8.1.4 Nand Flash 存储管理	136
8.2 固态硬盘主控固件	138
8.2.1 固态硬盘主流主控介绍	139
8.2.2 主控体系架构	140
8.3 固态硬盘固件故障维修	144
8.3.1 Winhex 镜像法	145
8.3.2 主控自修复法	146
8.3.3 PC-3000 指令修复法	146
8.3.4 Flash 数据重组法	147

实 战 篇

第 9 章 软件级数据故障恢复实例	151
9.1 MBR 修复实例	151
9.1.1 MBR 损坏后的表现	152
9.1.2 手工恢复 MBR 实例	152
9.2 分区恢复实例	153
9.2.1 分区表损坏后的表现	153
9.2.2 分区恢复实例分析	154
9.2.3 使用 Diskgen 恢复分区表	156
9.2.4 手工恢复分区表	159
9.3 DBR 恢复实例	162
9.3.1 DBR 损坏后的表现	162
9.3.2 DBR 恢复实例	163
9.4 FAT 恢复实例	170
9.4.1 FAT 损坏后的表现	170
9.4.2 FAT 手工恢复实例	170
9.5 元文件恢复实例	171
9.6 硬盘逻辑锁的解锁实例	173
9.6.1 硬盘逻辑锁的故障表现	173
9.6.2 硬盘逻辑锁的解锁方法	174
第 10 章 硬件故障恢复实例	175
10.1 硬盘常见硬件故障修复	175
10.1.1 日立硬盘的数据恢复实例	175
10.1.2 希捷硬盘硬件故障实例	177
10.1.3 希捷硬盘数据恢复案例	180
10.2 硬盘电路板故障处理	182
10.2.1 硬盘电路板代换	182
10.2.2 硬盘电路板维修	191
10.3 磁道故障修复	198
10.3.1 磁道故障的操作流程	198



10.3.2	逻辑坏道修复实例	200
10.3.3	利用磁盘检测工具 Scandisk 修复磁道实例	202
10.3.4	分区格式化修复磁道实例	202
10.3.5	屏蔽坏道实例	203
10.3.6	使用 MHDD 修复磁道实例	205
10.3.7	使用 PC-3000 修复磁道	206
10.3.8	0 磁道修复实例	212
10.4	磁头组件故障分析及修复实例	217
10.4.1	前置放大器的更换问题	217
10.4.2	日立硬盘数据磁头更换案例一	217
10.4.3	日立硬盘数据磁头更换案例二	219
第 11 章 固件级数据故障恢复操作实例		221
11.1	迈拓硬盘固件维修实例	221
11.2	希捷酷鱼 10 代校准中途停电的处理	229
11.3	日立 NVRAM 故障的修复	230
11.4	三星硬盘 SMART 出错维修实例	232
11.5	西数硬盘 ATA overlay 与 ROM 不匹配的维修实例	235
11.6	富士通硬盘特殊版本 ROM 实例	239
11.7	东芝硬盘 P 表模块故障维修实例	241
附录 A 术语与缩略语		245

基础篇



第1章 硬盘基础知识

硬盘存储着大量的系统信息和用户数据，是计算机系统中重要的存储设备。随着微电子、物理和机械等各个领域的先进技术被不断地应用到硬盘的开发与生产过程中，硬盘性能和容量都发生了巨大的变化，作为主要存储设备的地位更加坚实。通过对硬盘结构和原理的学习认识，可以达到更好地使用和维护硬盘、保证数据完整和不丢失的目的。

1.1 硬盘结构

硬盘是一个工艺要求精密、内部密封的专业数据存储系统。它集机、电、磁技术于一身，对用户而言，各类硬盘之间除其品牌型号、家族系列、各类参数有所不同外，最直观明显的区别就是硬盘接口的不同。硬盘接口是指硬盘与主机系统间的连接部件，作用是在硬盘缓存和主机内存之间传输数据。目前常用硬盘可分为 IDE、SATA、SCSI、光纤通道和 SAS 五种。IDE 接口硬盘多用于家用产品中，也部分应用于服务器；SCSI 接口的硬盘则主要应用于服务器市场；而光纤通道只用在高端服务器上，价格昂贵；SAS 是并行 SCSI 接口之后开发出的全新接口，此接口的设计改善了存储系统的效能、可用性和扩充性，并且提供与 SATA 硬盘的兼容性。硬盘接口决定着硬盘与计算机之间的数据传输速度，接口不同，其数据传输速度也将不同；在整个系统中，硬盘接口的优劣直接影响着程序运行的速度和系统性能的好坏。

1.1.1 硬盘外部结构

硬盘的外部结构并不复杂，主要由盘体、电源接口、数据接口、控制电路板等几部分构成。



1. 盘体

硬盘的外壳与底板结合成一个密封的整体，简称盘体，如图 1-1 所示。

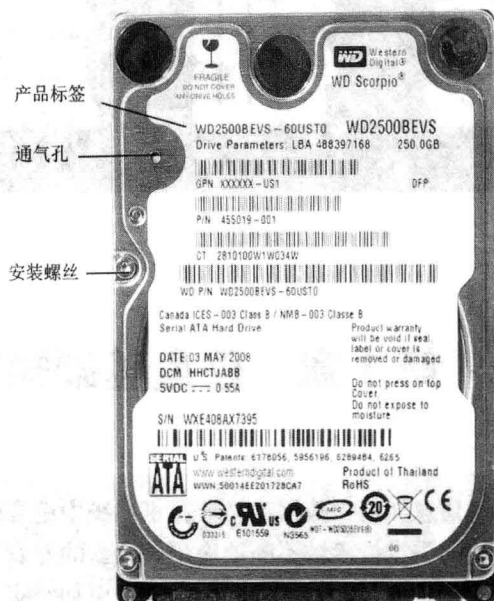


图 1-1 硬盘正面

硬盘正面外壳起到了保证硬盘盘片和机构稳定运行的作用，在其面板上印有产品标签，标明该产品的厂家信息和产品信息，例如商标、型号、容量、转速、序列号、产地及生产日期等信息。

图中标示了西部数据 WD2500BEVS 的产品标签。从型号上判断，这是一款容量为 250GB，转速为 5400r/min 的 SATA 高速硬盘，产品序列号为 WXE408AX7395，产地是泰国，出厂日期是 2008 年 5 月 3 日。

控制电路板位于硬盘的背面，如图 1-2 所示。硬盘外部的物理结构总体可以分为外壳和控制电路板两个部分。

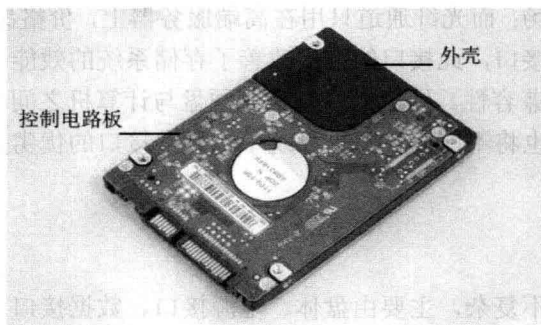


图 1-2 硬盘背面

2. 电源接口

电源接口通过与主机的电源连接,为硬盘工作提供电力支持。对于 5.25 英寸与 3.5 英寸的台式机硬盘,常见的接口类型有两种:一种是最为常见的 4 针 D 形电源接口;另一种为 Serial—ATA 硬盘使用的 SATA 专用电源接口,该接口的宽度与以前的电源相当,这种接口有 15 个插针。在购买 SATA 硬盘时,厂商一般会在其产品包装中提供必备的电源转接线。

对于 2.5 英寸的硬盘,可直接由数据口取电,不需要额外的电源接口。2.5 英寸的移动硬盘,由计算机外部的 USB 接口提供电力来源,而单个 USB 口供电约为 4~5V 500mA,若移动硬盘盒用电需求较高,则需要外接电源供电,否则,需接上两个 USB 口才能使用,但现今多数新型硬盘盒(使用 2.5 英寸以下之硬盘)已可方便地使用单个 USB 口供电。

3. 数据接口

数据接口是硬盘和主板控制器之间进行数据传输和信号交换的纽带,根据连接方式的差异,分为 IDE 接口、SCSI 接口、SATA 串口、光纤通道 FC 和 SAS 五种。

老式的 IDE 硬盘采用的是普通 40 针数据线,现已不常见,目前 IDE 硬盘采用的是 80 针数据线。IDE 接口技术不断发展,其性能也在不断提高,特点是价格低廉、兼容性强。

SCSI 硬盘数据线有 68 针接口和 80 针接口两种。SCSI 是一种广泛应用于小型机上的高速数据传输技术。SCSI 接口具有应用范围广、多任务、带宽宽、CPU 占用率低,以及热插拔等优点,但价格较高,因此 SCSI 硬盘主要应用于中、高端服务器和高档工作站中。

SATA 硬盘采用 7 芯的数据线,采用点对点传输协议,这样可以做到在减少数据线内部电缆数目的情况下提高抗干扰能力。每个 SATA 线缆(或通道)只能连接一块硬盘,因此不必考虑主、从跳线的设置。

光纤通道硬盘是为提高多硬盘存储系统的速度和灵活性才开发的,它的出现大大提高了多硬盘系统的通信速度。光纤通道的主要特性有:热插拔性、高速带宽、远程连接、连接设备数量大等。

SAS (Serial Attached SCSI) 即串行连接 SCSI,其技术特点是采用串行技术以获得更高的传输速度,并通过缩短连结线以改善内部空间等,是新一代的 SCSI 技术,和现在流行的 Serial ATA (SATA) 硬盘相同。SAS 是并行 SCSI 接口之后开发出来的全新接口。此接口的设计是为了改善存储系统的效能、可用性和扩充性,并且提供与 SATA 硬盘的兼容性。

4. 控制电路板

为加强散热,控制电路板一般裸露在硬盘下表面,但是也有少数硬盘将其完全封闭以更好地保护各种控制芯片,同时还能降低噪声。硬盘的控制电路板由主轴调速电路、磁头驱动与伺服定位电路、高速缓存,读/写控制电路、控制与接口电路等构成,如图 1-3 所示。

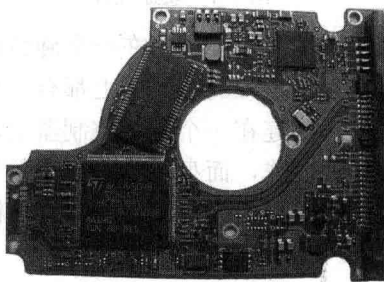


图 1-3 硬盘控制电路板



1.1.2 硬盘内部结构

从产品外观、产品特征及磁盘性能等方面可以认识和了解硬盘，而大多数计算机的使用者和非计算机硬件维护方面的技术人员也并不关心硬盘内部的构造，因此硬盘的内部结构很少被涉及到。此外，硬盘内部对空气洁净度的要求极高，需要打开盘腔时，必须在极为严格的超净环境中进行操作，不能沾染上一颗灰尘，否则立即报废，这样就使得真正了解硬盘内部结构的机会变少了。硬盘内部如电动机、磁头、盘片、接口等部件的外观是怎样的，它们又是如何工作的？可以通过对硬盘内部结构加以剖析，使用户能够更加了解硬盘的整体构造。

打开硬盘外壳之后，能够看到硬盘内部结构，如图 1-4 所示。

注意：千万不要随意打开硬盘的外壳，这样做很容易使整个硬盘报废。

硬盘内部结构主要包括：盘片、磁头、主轴电动机、控制电动机、磁头控制器、数据转换器、接口、缓存等几个部分。其中，磁头盘片组件是构成硬盘的核心，封装在硬盘的净化腔体内，包括浮动磁头组件、磁头驱动机构、主轴驱动装置及前置读写控制电路等几个部分，如图 1-5 所示。

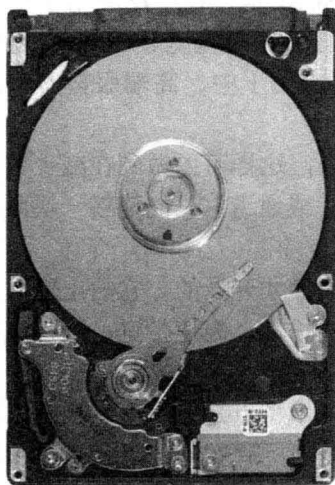


图 1-4 硬盘腔体

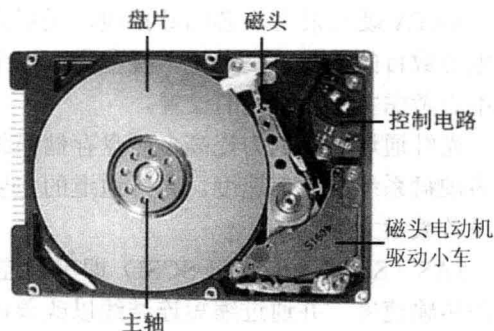


图 1-5 硬盘内部结构

所有的盘片都固定在一个旋转轴上，这个轴即盘片主轴。而所有盘片之间是绝对平行的，在每个盘片的存储面上都有一个磁头，磁头与盘片之间的距离比头发丝的直径还小。所有的磁头连在一个磁头控制器上，由磁头控制器负责各个磁头的运动。磁头可沿盘片的半径方向动作，而盘片以每分钟数千转的速度在高速旋转，这样磁头就能对盘片上的指定位置进行数据的读写操作。硬盘是精密设备，尘埃是其大敌，所以必须完全密封。

1. 磁头组件

磁头组件（Hard Disk Assembly, HDA）负责数据的最终存取，是硬盘中最精密的部件之一。它由三部分组成：读/写磁头、传动手臂、传动轴，如图 1-6 所示。



图 1-6 磁头组件

磁头采用了非接触式头、盘结构，加电后与盘片之间的间隙只有 $0.1\sim 0.3\mu\text{m}$ ，这样能够获得极高的数据传输率。转速为 5400rpm 的硬盘飞高都低于 $0.3\mu\text{m}$ ，以利于读取较大的高信噪比信号，提供数据传输存储的可靠性。

2. 磁头驱动机构

硬盘的寻道是靠移动磁头来实现的，而移动磁头需要驱动机构才能完成。磁头驱动机构由电磁线圈电动机、磁头驱动小车、防震动装置构成。高精度的轻型磁头驱动机构能够对磁头进行正确的驱动和定位，并能在很短的时间内精确定位系统指令指定的磁道，保证数据读写的可靠性。另外，还有防震动保护装置，当硬盘受到强烈震动时，对磁头和盘片起到一定的保护作用，以避免磁头将盘片刮伤等情况的发生。

3. 磁盘片

盘片是硬盘存储数据的载体，硬盘的盘片采用具有高密度、高剩磁、高矫顽力的金属薄膜工艺制成，而大家所熟悉的软盘盘片是一种不连续颗粒载体，所以硬盘盘片较之软磁盘具有更高的记录密度，如图 1-7 所示。

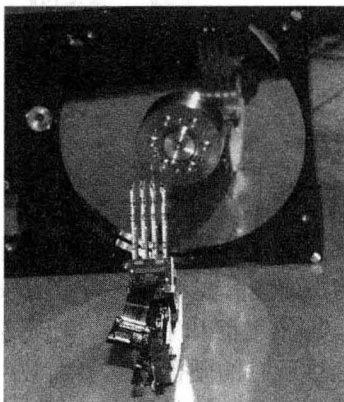


图 1-7 硬盘盘片

4. 主轴组件

主轴组件由主轴部件、轴承和驱动电动机等组成。由于硬盘技术不断发展，为了满足



用户对其容量和转速的更大期望,目前生产商采用了精密机械工业的液态轴承电动机技术,从而有效地降低硬盘工作噪声,提高了主轴电动机的转速。

5. 前置控制电路

前置控制电路的主要功能为以下几项:一是控制磁头感应的信号,二是用于磁头驱动,三是用于主轴电动机调速,四是用于伺服定位等。为了防止外来信号对磁头读取的微弱信号形成干扰,将放大电路密封在腔体内,从而提高操作指令的准确性。

1.2 硬盘逻辑结构

硬盘在逻辑上被划分为磁道、柱面以及扇区,如图 1-8 所示。

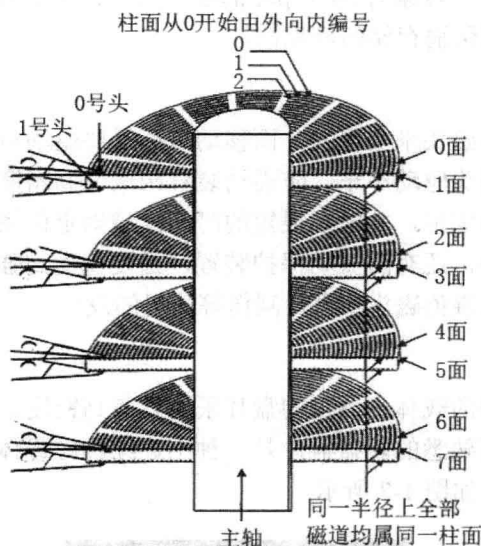


图 1-8 磁道、柱面、扇区

1.2.1 盘片

硬盘盘片作为一种磁表面存储器,是在非磁性的合金材料或玻璃基片表面涂上一层很薄的磁性材料,通过磁层的磁化方向来存储“1”、“0”信息。高速硬盘则使用玻璃作为基片,玻璃基片更容易达到所需的平面度和光洁度,且具有很高的硬度。

盘片都有两个盘面(Side),即上盘面和下盘面。通常情况下,两个盘面都是可以使用的,都可以存储数据;从理论上讲所有的硬盘,其盘面数应为偶数,但在实际工作中,使用者也能碰到有些硬盘的盘面数为单数。这是因为只有装有磁头的盘面,才能被称为有效盘面。每一个这样的有效盘面都有一个盘面号,按顺序从上至下由“0”开始依次编号。盘面号又叫磁头号,因为每一个有效盘面都有一个对应的读/写磁头。硬盘通常有 2~3 个盘片,故磁头号为 0~3 或 0~5。