

大话 传送网

贺春雨 易 宇 编著



- 本书改编于“**通信人家园**”2015年同名热帖，作者小雨哥
- 该贴的点击量已经突破**400000**次
- 从最简单的机房勘察一直到网络规划，总有你想要的



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

大话 传送网

贺春雨 易 宇 编著



人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

大话传送网 / 贺春雨, 易宇编著. -- 北京: 人民邮电出版社, 2016. 2
ISBN 978-7-115-41168-6

I. ①大… II. ①贺… ②易… III. ①通信网 IV.
①TN915

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第006707号

内 容 提 要

本书是一本介绍光传送网的基础知识读物, 用通俗易懂的语言解读了传送网的每一个主流技术, 诸如 MSTP、OTN、分组传送网。本书介绍了各种技术的产生背景、基本原理、组网应用等, 读者可以深入了解其中的工作原理, 也可以选择跳跃式地读完这本传送网的历史。

本书以通信相关专业的在校大学生、通信行业入职新员工、从事传输专业的人员为主要读者对象, 也可作为通信领域其他非专业人员了解传送网知识的入门读物。

-
- ◆ 编 著 贺春雨 易 宇
责任编辑 李 强
责任印制 彭志环
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京昌平百善印刷厂印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 13.25 2016 年 2 月第 1 版
字数: 280 千字 2016 年 2 月北京第 1 次印刷
-

定价: 49.00 元

读者服务热线: (010)81055488 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京崇工商广字第 0021 号

致谢

Acknowledgement

其实原本并没有打算出书，毕竟我充其量就是一个资历老一点的设计人员，并没有太深的技术造诣，本着写一点东西能够造福大家，就算挨骂也值了的心态，试着在 C114 上去发表，期间也有一些出版社询问是否可以约稿，我都是“叔叔我们不约”的回复，感觉写书离我太遥远，从来不曾也不敢有这个梦想。

然而经历了几百个难眠的日日夜夜，这本书最终还是与大家见面了，这要缘于众多领导、同事、亲朋好友、热心网友们的鼓励和支持，无以为报，只能感谢！不管这个致谢有多么俗套，但我还是要发自内心地说出来，每一句感谢都是：没有你们，就没有这本书的面世。

首先，我要感谢我的东家——北京中网华通设计咨询有限公司的大力支持，公司重视技术提升、人才培养，在写作过程中给予了我各方面的资源支持。我还要感谢我的同事们，你们给我的书稿提出了很多宝贵的意见，帮我收集了大量的资料。

其次，我要感谢两位帅哥，本书的编辑也是我的师兄李强以及 C114 管理员高昂，两个相见恨晚的朋友为我解决了很多的疑惑和迷茫，给了我很多的精神上的鼓励和资源上的支持，介绍了很多写作、出版方面的经验！

我还要感谢刘本诚、袁男、刘洋、李颖栋、耍利娜等朋友对我的支持和鼓励，感谢梁大鹏为本书提供了很多技术上的支持，还要感谢朱明明、林秀安、潇湘雨竹、陈业政 189、通信小草等热情的网友们，你们的每一句话、每一个回复，让我能够坚定地在无数个夜里奋笔疾书，你们告诉我只许成功不能失败，我要感谢你们！

我还要特别感谢本书的插画师——于赛花，整本书的插画经历了反复大量的修改。

最后，感谢我的妻子梁丽文和女儿贺静楠，只为那些我应该给予却没能实现的陪伴！

序 PREFACE



人类总是在不断创新、不断进步，与之相伴，科技的发展也日新月异，为跟上时代的步伐，每一个人都需要不断地学习新的知识，但对于科学技术方面知识的学习，很多人往往会觉得枯燥乏味，看过《大话传送网》这本书后，眼前一亮，这里简单谈谈对这本书几点深刻的印象。

首先，作者在工作之余能够完成这样的作品，可以说，这是一个有心人，是一个热爱工作和痴迷于专业技术的人，也一定是一个热爱生活的人。

这是一本有情感的书，书中没有堆叠大量术语，整本书读起来的感觉，就好像作者坐在你对面讲故事，声情并茂，娓娓道来，书中大量的举例、类比通俗易懂且点到为止，随处可见的幽默和情怀使此书的趣味性十足，吸引读者把整本书一口气读完。

这是一本有思想的书，作者将他多年来的工作经验、对于技术的理解做了提炼和总结，很多地方没有人云亦云，而是表达了自己独特的看法，这种精神难能可贵。

这本书定位于大话入门系列，书的定位和主线都很明确，按照传送网发展的时间顺序展开介绍，将传送网发展几十年中新旧技术之间的时间关系和因果关系清晰展现，将复杂的知识点编织成一个紧密的整体，这很有利于初学者的理解吸收。

正如作者前言中说的那样，对于技术学习的困惑我想绝大多数人都会有，这正是一本帮助读者迅速入门而写的书，是经作者精心整理的一本有血有肉的学习笔记。

总之，这是很适合初入行业的人士及通信行业在校生的好书。

北京中网华通设计咨询有限公司总经理 朱志勇

2015年12月

前言

PREFACE



记得刚参加工作时，我有一个很大的关于技术学习的困惑。按说我也是一个好学上进的好孩子，在办公室搜集了很多通信技术资料、书籍、设计文件拿回宿舍看，可是每次看起来就觉得非常晦涩难懂，看上几页就昏昏欲睡，睡醒了之后继续看。就这样在看了又睡、睡醒了又看之间徘徊、煎熬，坚持了一段时间后，收效甚微，充其量也就是达到一些专业术语眼熟的水平，后来经过我详细分析，学习效果不好的原因可能是睡觉时间占比偏高。

实际上这不是我们的错，那问题在哪儿呢？有些专业书籍能看懂的人没必要去看，而不懂的人看完依然不懂，这些书籍、资料都成了摆设。我们多年以后再去翻看时才恍然大悟，明白其中的所以然，但这不是我们想要的，我们迫切想要扑在属于我们的那一块面包上。

直到数年前，网上很火的“大话”系列丛书（如《大话通信》等）让我如获至宝，醍醐灌顶，我心里默默地点了一万个赞，但是本人从事的是传输专业的工作，作为一个一直在技术门槛之外徘徊了十几年的通信人，一直翘首期盼着《大话通信之传送网》的诞生，但多年过去，却连个发布会也没有盼来。

于是我冒出一个激进的想法，何不自己试着写一点？我马上就被自己这个不靠谱的想法吓到了。万事开头难，酝酿了一段时间之后开始动笔，我试着把我做传输这些年的一些理解和经验一点一点写下来，碰到不懂的就放一放，找一些资料再重新学习一番。就这样，经过了半年时间，不知不觉也写了几万字。

写这本书最初的想法是想给新入职的员工看，可以节省很多培训的时间，但是因为不知道写的对不对，怕误导别人，就到 C114 论坛上发表连载，边写边发，让一些专家帮忙提一提意见。结果有些超出自己的预期，帖子受到了很多热情网友的肯定和支持，几个月已经突破了 30 万点击量，这给了我很多自信和力量，让我能把这本书坚持写完。

《大话传送网》分“大话”和“传送网”两部分。传送网部分，哎，说多了都是眼泪，但一个门外汉能有这个勇气着实可嘉，好在“大话”这部分，对于一个浪迹职场数十年的资深“忽悠”，问题不大。本书旨在通过深入浅出的介绍，让初入传输的不幸的“小白”们能够迅速晋升至“小白+”，同时也希望专家们能够不遗余力地拍砖，只要拍不死，我就继续修改完善，释放我的光和热。



本书经常拿快递打比方，但我们并没有相关的从业经验，最多就是个某宝剁手党，常言说“不会送快递的厨子不是好司机”，所以，有关物流领域的内容说得不对的还请谅解。

本书按照传送网的发展主线展开叙述，希望读者能够顺着这条主线，一步一步由浅入深地掌握传送网的知识结构，了解一些重要概念。整个传送网的知识点就像一棵枝繁叶茂的大树一样，每个树枝都向上延伸出数不清的小树枝和树叶，整个知识体系中每一个节点都可以展开很多内容，各种协议、概念、专用术语让人眼花缭乱。

本书定位于“大话”入门系列，力求将大树变成树干和一些重要的树枝。对于很多深入的技术细节，本书没有过多挖掘深度，而是点到即止，一方面是市面上有深度的技术书从来都不缺，另外一方面也是由于本人技术水平有限，充其量就是工作年头多了，有了一点经验和体会，在面对这棵大树时仍有很多不能参透的技术细节。作者也就相当于一个园艺师，希望能帮助大家将这一团乱麻梳理清楚，呈现一个清晰的脉络。

希望大家读这本书就像读小说一样，把整本书看完一遍之后，哪怕从中只学到了“ $1+1=2$ ”，入了这个门，并具备了自学的能力，这都是进步。能看懂一些以前看不懂的东西，有能力去继续追求技术上的细节，就是你我的缘分，也是本书的初衷。

闲言少叙，开卷有益。

作者

目录

Contents

第 1 章 ■ 传送网是干啥的	1
1.1 通信是干啥的	1
1.1.1 古代通信的智慧——烽火台	1
1.1.2 通信就是信息交互	3
1.2 理想和现实的差距——模拟通信	4
1.2.1 “模拟”和“数字”	4
1.2.2 什么是模拟通信	6
1.3 “0”和“1”的世界——数字通信	7
1.3.1 时间和空间的离散——抽样	7
1.3.2 退而求其次——量化	8
1.3.3 信息翻译官——编码	11
1.3.4 题外话——数字通信，断喙重生	12
1.4 把信息交给网络	13
1.4.1 业务网是啥	13
1.4.2 数字移动通信——GSM	14
1.4.3 我们需要一个接口	17
1.4.4 一个重要接口——E1	20
1.4.5 E1 的特点	22
1.5 初识传送网	24
1.5.1 传送网是干啥的	24
1.5.2 你是光，你是唯一的神话	25
1.5.3 “收发快递”和“运送快递”	27
1.5.4 资源要共享——复用	28
1.6 不得不说的一些事	32
1.6.1 层面很重要	32
1.6.2 标准和协议	35



目录

Contents

第2章 ■ 刚性通道时代	38
2.1 光通信的开端——PDH	38
2.1.1 大箱子和小箱子	38
2.1.2 “TM”组网很麻烦	40
2.1.3 公交车和机场巴士	42
2.1.4 为什么叫“准”同步	43
2.1.5 PDH问题多多	45
2.2 SDH——长江后浪	46
2.2.1 什么是SDH	46
2.2.2 SDH的复用	47
2.2.3 箱子很忙——交叉	49
2.2.4 打开箱子看一看——帧结构	51
2.2.5 SDH分层结构	54
2.3 MSTP与时俱进	55
2.3.1 数据风暴来袭——3G移动网	55
2.3.2 又一个重要接口——以太网	57
2.3.3 修车还是换车	59
2.4 东方不亮西方亮——保护	61
2.4.1 保护的前提是冗余	61
2.4.2 双管齐下——通道保护	64
2.4.3 择路绕行——复用段保护	65
2.4.4 八仙过海——子网连接保护	66
2.5 与MSTP的亲密接触	67
2.5.1 读懂设备的名片	67
2.5.2 环和链的世界	70
2.5.3 能传多远——传送距离的计算	72
2.5.4 走进机房看一看	75
2.5.5 接入工程，小试牛刀	80
2.6 网络大了会出问题	81
2.6.1 容量不够怎么办	81
2.6.2 分层建设，发展壮大	83
2.6.3 我给网络当医生	85
2.6.4 基础架构很重要	87



目录

Contents

第3章 ■ 光通信高速干道	91
3.1 多层巴士——波分复用	91
3.1.1 波分的妈妈是彩虹	91
3.1.2 波分的零部件	95
3.1.3 又是“TM”的接力	98
3.1.4 七分成绩，三分不足	99
3.2 高速互通立交——OTN	101
3.2.1 OTN 做了几件事	101
3.2.2 舶来之品——电交叉	102
3.2.3 高速立交——光交叉	104
3.2.4 论 OTN 和 MSTP 的关系	106
3.3 OTN 的保护	107
3.3.1 OTN 网络保护	108
3.3.2 关于保护的度	110
3.4 走近 OTN	112
3.4.1 了解 OTN 设备	112
3.4.2 资源合理预留	116
第4章 ■ 走进 IP 世界	118
4.1 IP vs MSTP	118
4.1.1 计算机通信王国	118
4.1.2 MSTP OUT (落伍) 了	120
4.2 二层交换	122
4.2.1 计算机网络分层	122
4.2.2 从最底层说起——物理层	124
4.2.3 通信基本靠吼	126
4.2.4 局域网也要隔离——VLAN	128
4.3 三层路由	130
4.3.1 IP 地址	130
4.3.2 走出国门第一步——网关	133
4.3.3 智能导航系统——路由	135
4.4 动态路由协议	137
4.4.1 路由协议分类	137



目录

Contents

4.4.2	RIP	139
4.4.3	OSPF 和 ISIS	140
4.4.4	BGP	144
4.5	IP 不是万能的	145
4.5.1	IP 任重道远	145
4.5.2	一劳永逸——MPLS	146
4.6	VPN	149
4.6.1	业务需要隔离	149
4.6.2	MPLS VPN	150
4.6.3	通往彼岸的传送门——L2 VPN	152
4.6.4	复杂问题简单化——L3 VPN	154
第 5 章	■ 分组传送网	158
5.1	分组网概述	158
5.1.1	PTN 和 IPRAN	158
5.1.2	需要什么样的分组网	160
5.2	海纳百川——分组网业务承载	162
5.2.1	LTE 的挑战	162
5.2.2	E1 业务还得有	163
5.2.3	数据业务是老本行	164
5.3	缓堵保畅——流量工程	167
5.3.1	什么是流量工程	167
5.3.2	RSVP-TE	169
5.4	看人下菜碟——QoS	170
5.4.1	什么是 QoS	170
5.4.2	QoS 能做些什么	172
5.5	说说 OAM	174
5.6	分组网保护	176
5.6.1	网络侧保护	176
5.6.2	业务侧保护	178
5.6.3	典型保护应用	180
5.7	分组网同步技术	181
5.7.1	时钟同步和时间同步	181
5.7.2	同步以太网	183



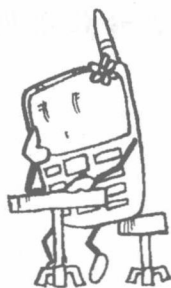
目录

Contents

5.7.3 1588v2 时间同步	184
5.8 走近分组网	185
5.8.1 分组网设备	185
5.8.2 分组网结构	185
小结	187
第 6 章 ■ SDN	188
6.1 简单的总是好的	188
6.1.1 用户的困扰	188
6.1.2 把大象关进冰箱分几步	189
6.1.3 什么是 SDN	190
6.1.4 从分组网到 SDN	192
6.2 SDN 的发展	192
6.2.1 SDN 标准化组织	192
6.2.2 Open Flow	193
6.2.3 NFV	194
6.3 SDN 可能会带来什么	195
6.3.1 设备简单化、同质化	195
6.3.2 关于理想的课堂作文	196
后记 ■ 理论与实践相结合	197

第 1 章

Chapter 1



传送网是干啥的



1.1 通信是干啥的

考虑到本书的读者可能是零基础的初入通信专业的新人，在介绍传送网之前，我们有必要对传送网之外的一些基本概念做一下介绍。

传送网是整个通信网的一部分。通信网在做什么？模拟通信和数字通信有什么区别？为什么模拟通信会被数字通信取代？业务网和传送网的职能分别是什么？为什么每种技术都有这个层，那个层，把人搞得晕头转向，这个协议，那个标准，让人无所适从？

本章从古代通信说到了 E1 和传送网，希望能够无缝地衔接到下一章我们要说的 PDH 和 SDH，让读者不会感觉到突兀。德国哲学家黑格尔说过，存在的就是合理的。任何技术的产生和更替都是有其背景和诱因的。在本书中，作者并不着急去空降一些理论，而是让一切发展都水到渠成。

1.1.1 古代通信的智慧——烽火台

在即将学习一门技术之前，站在技术大门的高高的门槛前的一刻，我们总是希望有一些通俗易懂的比喻、耳熟能详的故事和传说来带着我们轻松愉悦地跨进这个“神圣”的大门。那么，在学习传送网之前，为了便于大家理解，我们先来说一个老祖宗留给我们的东西——烽火台。

在很久很久以前，大概在周朝吧，我们的老祖宗苦于各路敌军的滋扰，发明了这么一个能够传递军情的古老的但是很实用的东西——烽火台。烽火台的原理大家都知道，就是相隔一定距离筑起一个个的高台，如逢敌军来犯，则白天施烟，夜间点火，告知最近的烽火台一个简单扼要的信息——我这里有情况，请速速支援，十万火急！于是乎，临近的烽火台观察到这里的信息——烟火后，将这个信息按照同样的方式传递，一路沿着一个个的烽火台一直传达至京城圣上，皇上龙颜震怒，曰：“给朕灭了他们”！

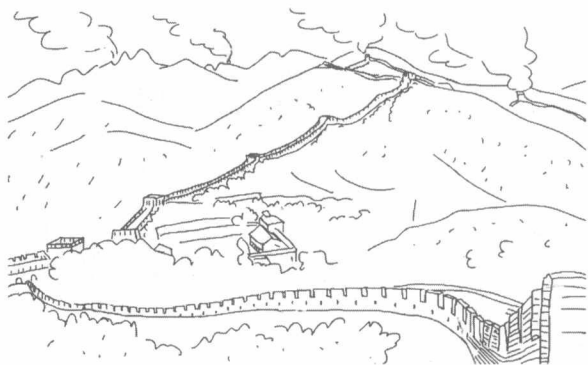


图 1-1 古代烽火台

一个烽火台里的工作人员（古时称为“烽子”）通过观察得到了军情，这个军情就是一种信息。什么是信息（information）？数学家香农 1948 年提出过这个问题，信息是用来消除随机不定性的东西。什么意思呢？比如，“敌军今天可能来犯，有可能不来”就不是信息，按照专业的说法这叫作“信息量为零”，通俗点说就是“废话”。而“有敌军来犯”就是消除了“可能来犯”和“可能不来”之间的不确定性，明确地告诉你敌军来了，所以，“有敌军来犯”就是信息。

问：在这个过程中，烽火台起到了什么作用呢？

答：信息的传递。

当然，废话也可以被传递，只是它没有传递的价值，这句废话传到皇上那儿，皇上一定很生气，你敢要皇上？后果很严重！

当发现敌情的驻军想要将信息传递给上游的驻军，烽火台就是负责将信息远距离传递的快速有效的工具，烽火台就是一种通信设施，虽然原理很简单，可是里面又凝结了很多我们祖先的智慧和经验。古人和现代人一样，想要高效、准确地传递信息，我们现代通信人所面临的一些问题，老祖宗们也曾经思考过，比如：为什么要有烽火台？



图 1-2 祖先对烽火台的思考

站在现代来看，这些烽火台就是一个个的技术体系，假设说，你让唐代的烽子点火，让明代的烽子去观望，恐怕得到的是不准确甚至是错误的信息。你点起一堆烟，到底是“报个平安”，还是“火速支援”，这需要一个共识，“同一个世界，同一个规则”是一个必要的条件，就是大家遵循一个同样的套路。我们两个人去见面，时间定在 6 点还是 6 点半可能双方都无所谓，但是必须得定个时间，同样我们也可以理解为，技术标准的具体细节也许不那么重要，但是信息的收发双方使用一致的标准却是必须的。



烽火台为什么要“台高五丈”？为什么要燃烧狼粪、艾蒿？台子高才看得远，火旺、烟多则传得远，如果站在地面上点一个柴火棍的话几里开外肯定看不见。信息传得远，烽火台之间的距离就远，相同的距离就可以少建一些烽火台。而我们光纤传送网为什么要去选择合适的波长窗口，为什么要有长距模块？这也是为了提高信号强度、减小衰减，目的也是为了传得更远，传输距离也是我们传送网需要解决的一个主要的问题。

其他的问题就不一一列举了，可见烽火台看似简单，实则包罗万象，古人不断地在实际应用中思考、总结、完善烽火制度，而我们现代通信也是一样，在实践的过程中不断地发现、改善自身暴露的问题，并随着人类需求的提高而向前推进。技术发展的脚步永远不会停歇，而我们每一个通信人也终将成为“通信”这座宏伟大厦的一粒石子。

1.1.2 通信就是信息交互

烽火台在古时相当于国家军用通信设施，不是我等平民百姓能用的，王员外再有钱也不能托烽火台给你带个话。在没有通信网络的古代，相隔一定的距离交互信息时只能依靠旗语、击鼓传声、飞鸽传书、托人带话、驿站邮递等这些落后的方式，基本特点就是靠眼睛去看、靠耳朵去听、靠腿去跑，技术含量比较低，所以还不能称之为“通信网”。当时的交通也非常不便利，各种通信手段交互的信息量和效率都十分有限，否则也不会有“烽火连三月，家书抵万金”“马上相逢无纸笔，凭君传语报平安”这样的佳句，那个时候说起京城，比现在说起美国的感觉还要遥远。



图 1-3 古代驿站邮递

在人类几千年的漫长岁月一直使用着古老的通信方式。直到 19 世纪 30 年代，随着莫尔斯发明了电报，麦克斯韦预言了电磁波并被赫兹最终证实，贝尔发明了电话，马可尼发明了无线电报，高锟奠基了光纤通信等，那么多伟大的科学家、发明家在科学的道路上前赴后继，

用尽毕生的精力，使通信飞速发展并广泛的应用，使得现在的我们可以每天通过手机、电脑等各种终端打电话、看新闻视频、刷朋友圈微博等，人与人之间的距离拉近了，我们一下子感觉到，世界原来是那么小。我们的电脑上网从 64kbit/s 拨号到现在动辄几十兆的光纤入户，我们可以随时随地掏出手机连上 Wi-Fi 和 3G/4G 网络去畅游，我们的电话费、流量费越来越便宜，所有这些都是通信网的发展给我们带来的实惠。

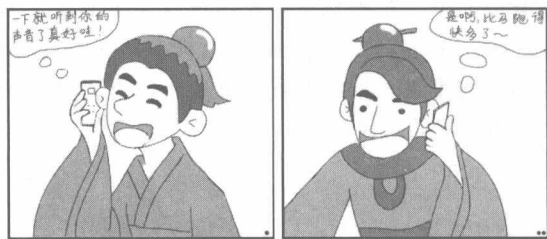


图 1-4 现代通信系统的效率

人类依靠感官直接获得信息以及彼此之间传递信息，交流各自对世界的看法，使人类能够去认识世界、改造世界。其中，凭自身直接得到的信息量是有限的，而依靠交互得来的信息占信息来源的大部分，信息交互（沟通）是人类获得信息的主要渠道。信息交互是人类最基本、最重要的可以和衣、食、住、行并列的需求之一。

我们想要去面对面的沟通会受到各种条件的限制，使用现代通信系统成为了信息交互的一种主要手段，如果哪一天没有了通信网，我们的生活就会像没有水和电一样，无法想象。我们整个通信行业从业人员和整个通信网络说到底就是在做这么一件事，满足人类信息交互的需求。



1.2 理想和现实的差距——模拟通信

1.2.1 “模拟”和“数字”

现实中，我们接触到的信息是时时刻刻变化的，或者说信息有无穷无尽的可能性，并不是非此即彼的关系。有句话叫“世界上没有两片相同的叶子”，用来形容信息的多样性十分恰当。

颜色有多少种？人的性格有多少种？味道有多少种？这些问题就像是问我们天上有多少颗星星一样，如果一定要回答，只能说不知道。如果我们要具体地感知这些无穷的信息，就必须亲自接触，比如我们到了一个城市旅行，就去亲自看一看、听一听、走一走、尝一尝，才能真切感受到当地的人文历史、美食美景、风土人情，而看别人朋友圈秀的照片、游记，我们感受到的大多都只是对于幸福生活的羡慕、嫉妒、恨。

生活中，我们感受、了解了信息之后想要分享给其他人知道，这就是传递信息，传递的前提就是如何表达，要将信息转换为能够在信道中传递的信号。对于有着无数可能性的信息，用同样无数可能的信号去表达就是“模拟”，而将无限的可能变为有限就是“数字”。这里所说的“有限”可能是几百、几万、几十亿，只要能说出个具体的数那就是数字信号。比如，



数码相机将无数种颜色用 24 位色彩，也就是 $2^{24}=16\,777\,216$ 种颜色去表示，一千多万种颜色是很多的，那也是数字化。

模拟的时代已经悄然离去，我们曾经记忆中的磁带、录像带、胶卷底片都是用模拟的方式存储信息的。说到磁带，它见证了我们曾经的青葱岁月，那段美好的相信爱情的年纪，记得我们曾穿着牛仔裤，旅游鞋，蹲在一个纸箱子旁扒拉着寻找着我们的精神食粮：崔健、黑豹、唐朝……仿佛摇滚能让年少不羁的我们看起来与众不同，我们买一盘磁带只是因为里面有一首她爱听的歌，不管我们曾经为谁而痴狂，我们都该向永恒的 AB 面致敬……



图 1-5 存储模拟信号的磁带

下面我们先说说磁带（录像带是磁带的一种）。我们知道，声波是一个时间和振幅都连续的无规则的曲线，时间轴（ X 轴）上有着无数的时间点，声波振幅轴（ Y 轴）也有着无数的强度值，对于所有连续变化的量都存在这个“无数个”的问题。为什么说是无数个？谁能说出 0 到 0.01s 之间，有多少个时间点？这个问题就等同于 0 到 0.01 之间有多少个数字，我们知道任何两个无限接近的数字之间都有无数个有理数和无理数。

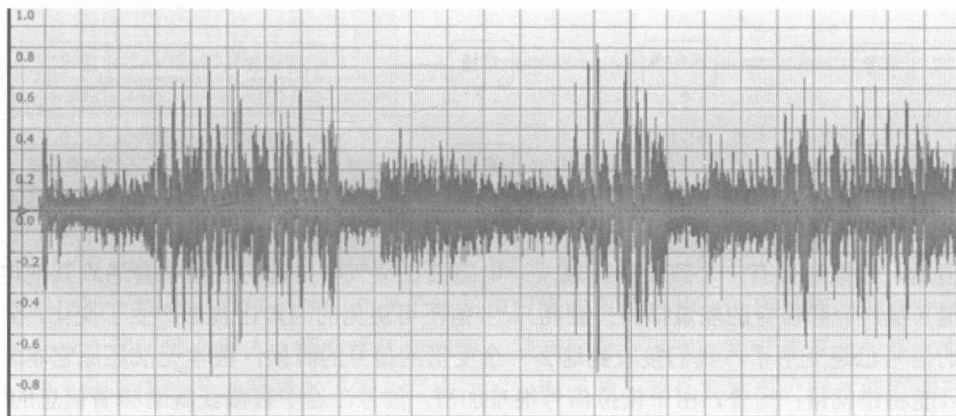


图 1-6 声音的波形图像