



国家级精品课程配套教材

工业和信息化普通高等教育“十二五”规划教材立项项目

光电缆线务工程（下） ——光缆线务工程

孙青华 主编

黄红艳 张志平 李丽勇 副主编

- 设计教学情境 精选实做项目
- 实施工学结合 提升实践技能
- 体验工作过程 塑造职业素养



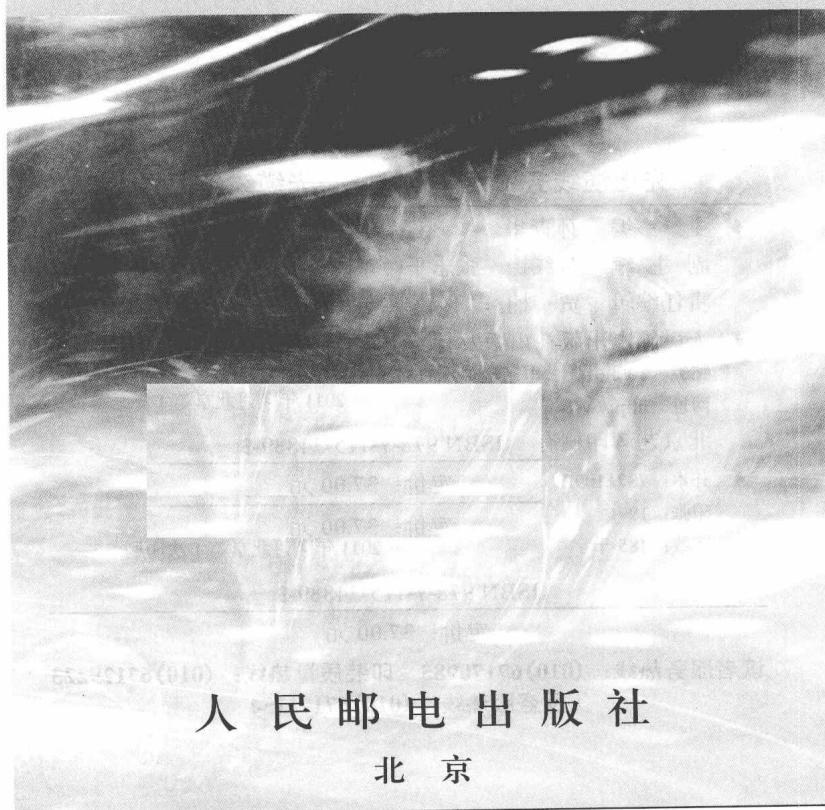
人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



国家级精品课程配套教材

工业和信息化部普通高等教育“十二五”规划教材立项项目

光电缆线务工程（下） ——光缆线务工程



人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

光电缆线务工程. 下, 光缆线务工程 / 孙青华主编
— 北京 : 人民邮电出版社, 2011. 4
21世纪高职高专电子信息类规划教材
ISBN 978-7-115-24889-3

I. ①光… II. ①孙… III. ①光缆通信—通信线路—
高等职业教育—教材 IV. ①TN913.3

中国版本图书馆CIP数据核字 (2011) 第036770号

内 容 提 要

本书从工程应用出发对各类光缆线路工程的施工准备、光缆连接、敷设、安装等工程应用进行了具体的阐述, 同时介绍了光缆工程的竣工与维护。全书共 10 章, 内容包括光通信的基础知识, 光传输系统的组成与实现, 光缆及线路设备的结构、功能及应用, 光缆连接技术、光缆施工准备、光缆敷设、局内光缆安装, 光缆工程的竣工过程, 光缆线路维护工作内容及方法, 光缆施工新技术——非开挖式敷管技术。

本书可作为高职高专通信工程、网络工程等专业教材或相关专业本科生教材, 也可作为通信行业线务员职业技能鉴定的培训教材。

21 世纪高职高专电子信息类规划教材

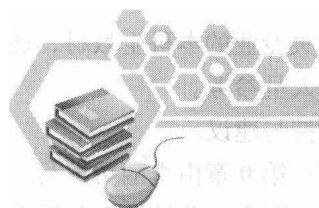
光电缆线务工程 (下) —— 光缆线务工程

-
- ◆ 主 编 孙青华
 - 副 主 编 黄红艳 张志平 李丽勇
 - 责任编辑 贾 楠
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京艺辉印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 19 2011 年 4 月第 1 版
字数: 485 千字 2011 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-24889-3

定价: 37.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154



在通信已成为信息化时代的社会基础的今天,光纤通信作为信息最主要的传输手段,已成为通信系统不可替代的神经中枢。不论是普通的电话通信、数据通信还是今天 3G 移动通信、卫星通信,都离不开光纤通信技术。光纤通信是我国高新技术中与国际差距较小的技术之一,光通信与计算机的密切结合,以及软件技术的突飞猛进,使通信技术日新月异,各种名目繁多的通信新技术及新业务应运而生,层出不穷。作为社会基础设施的通信技术正向数字化、宽带化、综合化、智能化和个人化方向发展。

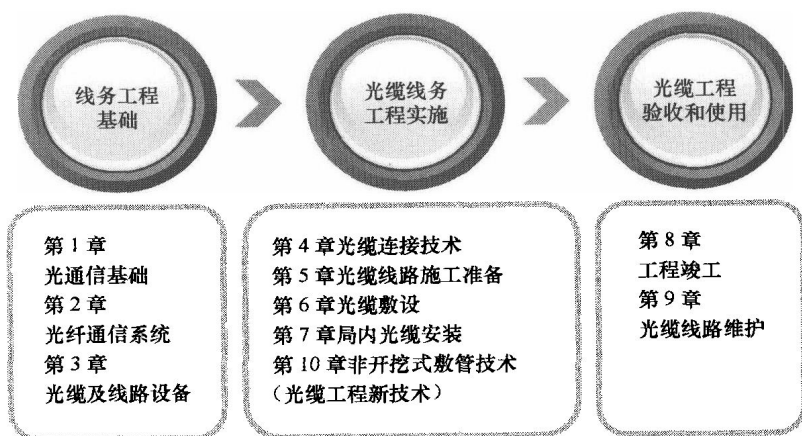
本书从工程的应用出发对各类光缆线路工程的施工准备、光缆连接、光缆敷设、局内光缆安装等工程应用进行了具体的阐述,同时介绍了光缆工程的竣工与维护。由于通信工程技术发展很快,本书在内容广泛、实用和讲解通俗的基础上,尽量选用最新的资料。

学习本书所需要的准备

学习本书需要具备现代通信技术的基础知识。

本书的风格

本书力图编排成为一本实用的光缆通信工程的实施指南。内容上既包括了光纤和光缆识别、光纤通信系统、光缆线路施工、维护以及光缆工程的竣工验收等完整的过程,还含有大量的图表、数据、例证和插图,以达到深入浅出的效果。线务工程内容比较复杂,而且不少内容有前后的关联性,本书尽可能用形象的图表及实例来解释和描述,为读者建立清晰而完整的光缆线务工程的内容体系(见下图)。



在每章的开始明确本章的学习重点及难点,引导读者深入学习。本书在编写形式上,为配合教、学、做一体的教学形式,结合每章教学内容,设计了教学情境,使教学与实践有机结合。

通信工程是当前最有活力的领域之一,书中的内容紧跟当前通信工程的发展,对光缆通信工程新技术——非开挖式敷管技术做了简要介绍。

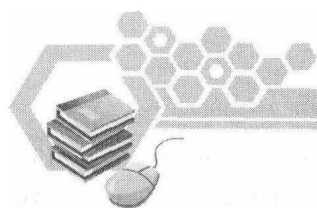


本书可作为高职高专通信工程、网络工程等专业教材，也可作为相关专业的本科生教材，还可作为通信行业线务员职业技能鉴定的培训教材，也可供通信工程技术人员参考。

我要特别感谢石家庄邮电职业技术学院的杨斐、李影、杨延广的支持与建议。

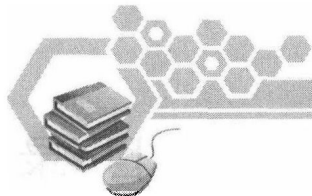
本书第1章至第3章由孙青华编写；第4章到第8章由黄红艳编写；第9章由李丽勇编写；第10章由张志平编写；全书由孙青华统稿。由于编者水平有限，书中难免存在一些缺点和欠妥之处，恳切希望广大读者批评指正。

孙青华
2011年1月

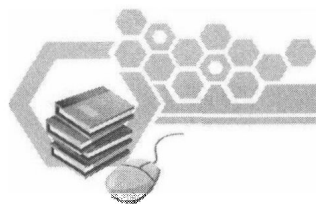


目 录

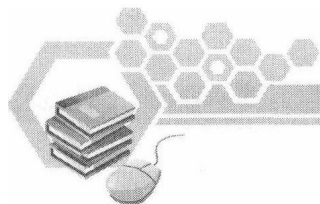
第 1 章 光通信基础	1	2.2 光纤通信系统组成	35
1.1 光学基础	2	2.3 光纤通信系统的分类	37
1.1.1 光的传播	2	2.4 SDH 技术	38
1.1.2 色散及散射	5	2.4.1 PDH 与 SDH 的产生	38
1.1.3 干涉与衍射	7	2.4.2 SDH 的基本网络单元	39
1.1.4 光电效应	8	2.4.3 SDH 的特点	40
1.1.5 光的波粒二象性	8	2.4.4 SDH 帧结构及速率	42
1.2 认识光纤	9	2.4.5 SDH 复用原理	44
1.2.1 光纤的结构	9	2.4.6 SDH 网络及保护机制	48
1.2.2 光纤的分类	11	2.5 波分复用技术	54
1.2.3 光纤的型号	13	2.5.1 什么叫波分复用	54
1.3 光纤传输原理	14	2.5.2 波分复用系统组成原理	55
1.3.1 光纤导光原理	14	2.6 全光通信	57
1.3.2 光信号的传输模式	17	2.6.1 全光通信产生的背景	57
1.3.3 单模光纤的传输条件	17	2.6.2 全光网结构	57
1.4 光纤的基本特性	18	2.6.3 全光网的优点	59
1.4.1 光纤的几何特性	18	实践项目与教学情境	59
1.4.2 光纤的损耗特性	18	本章小结	60
1.4.3 光纤的色散特性	19	习题	61
1.4.4 光纤的机械特性	22	第 3 章 光缆及线路设备	62
1.4.5 光纤的温度特性	23	3.1 光缆结构	63
1.5 光纤标准	23	3.1.1 骨架式光缆	64
1.6 光纤通信的发展	26	3.1.2 中心束管式光缆	65
1.6.1 光纤通信的发展历程	26	3.1.3 层绞式光缆	65
1.6.2 我国光纤通信的发展	27	3.1.4 带状光纤结构光缆	66
1.6.3 光纤的发展趋势	28	3.1.5 其他类型的光缆	67
1.6.4 未来通信展望	30	3.2 光缆种类	73
实践项目与教学情境	31	3.3 光缆的型号与纤序	74
本章小结	32	3.3.1 光缆的型号表示	74
习题	32	3.3.2 纤序的识别	81
第 2 章 光纤通信系统	34	3.4 光缆性能	83
2.1 光纤通信的特点	35	3.4.1 传输特性	83



3.4.2 机械特性	85	5.3 光缆单盘检验	137
3.4.3 环境特性	86	5.3.1 单盘检验的基本要求	138
3.5 光缆线路设备	86	5.3.2 单盘检验的内容和方法	138
3.5.1 光缆交接箱	86	5.4 光缆配盘	147
3.5.2 光纤配线架	87	5.4.1 光缆配盘的要求	147
3.5.3 光缆接头盒	87	5.4.2 光缆配盘的方法	148
3.5.4 光分/合路器	88	5.5 光缆的分屯运输	152
3.5.5 终端盒	88	5.5.1 分屯运输的准备工作	152
实践项目与教学情境	89	5.5.2 分屯运输的方法和要求	152
本章小结	89	实践项目与教学情境	153
习题	90	本章小结	154
第4章 光缆连接技术	91	习题	155
4.1 光纤连接技术	92	第6章 光缆敷设	156
4.1.1 光纤连接的方式	92	6.1 光缆敷设的规定和准备工作	157
4.1.2 光纤连接损耗影响因素	93	6.1.1 光缆敷设的规定	157
4.1.3 光纤熔接	95	6.1.2 光缆敷设机具	158
4.1.4 光纤的活动连接	105	6.1.3 光缆牵引端头的制作	161
4.2 光缆接续	108	6.2 管道光缆敷设	163
4.2.1 光缆接续的基本要求	108	6.2.1 管道光缆敷设的准备工作	163
4.2.2 光缆接续的特点	110	6.2.2 管道光缆敷设方法	168
4.2.3 光缆的接续方法	111	6.2.3 管道光缆敷设步骤	170
4.2.4 光缆的接续流程	113	6.3 直埋光缆敷设	175
4.3 光缆接续的现场监测	119	6.3.1 直埋光缆敷设的准备工作	175
实践项目与教学情境	123	6.3.2 直埋光缆的布放方法	180
本章小结	123	6.3.3 直埋光缆的敷设步骤	181
习题	124	6.4 架空光缆敷设	185
第5章 光缆线路施工准备	126	6.4.1 架空光缆线路的一般要求	185
5.1 光缆线路工程	127	6.4.2 吊挂式架空光缆架设	188
5.1.1 光缆通信工程建设程序	127	6.4.3 缠绕式架空光缆架设	190
5.1.2 光缆线路工程特点	131	6.5 水底光缆敷设	193
5.1.3 光缆线路施工范围	131	6.5.1 水底光缆敷设流程	193
5.1.4 光缆线路施工程序	132	6.5.2 水底光缆敷设条件	194
5.2 光缆线路路由复测	133	6.5.3 水底光缆的埋深与挖沟	194
5.2.1 路由复测的任务及要求	133	6.5.4 水底光缆的敷设	196
5.2.2 路由复测方法	135	实践项目与教学情境	200



本章小结	200	习题	236
习题	201	第 9 章 光缆线路维护	238
第 7 章 局内光缆安装	203	9.1 光缆线路防护	239
7.1 进局和局内光缆敷设安装	204	9.1.1 光缆线路的防强电	239
7.1.1 光缆的进局方式	204	9.1.2 光缆线路的防雷	240
7.1.2 进局光缆的敷设安装	205	9.1.3 光缆通信线路的防蚀	241
7.1.3 局内光缆的敷设安装	207	9.2 光缆线路维护	243
7.2 局内光缆的成端	209	9.2.1 光缆线路维护的任务和要求	243
7.2.1 局内光缆成端方式	210	9.2.2 光缆线路维护的内容	245
7.2.2 光缆成端要求	211	9.2.3 光缆线路自动监测系统	248
7.2.3 成端测量	212	9.3 光缆线路故障	248
7.3 无人中继站光缆的敷设安装	213	9.3.1 光缆线路故障种类	249
7.3.1 无人中继站的安装	213	9.3.2 光缆线路故障抢修	249
7.3.2 进站光缆的安装	215	9.3.3 光缆线路割接	251
7.3.3 站内光缆的安装	216	9.4 光缆线路常用仪表	252
7.4 保护地线的安装	216	9.4.1 光衰减器	252
实践项目与教学情境	220	9.4.2 光源	253
本章小结	220	9.4.3 光功率计	254
习题	220	9.4.4 熔接机	254
第 8 章 工程竣工	222	9.4.5 光时域反射仪	255
8.1 竣工测试	223	实践项目与教学情境	256
8.1.1 竣工测试内容	223	本章小结	257
8.1.2 光纤线路损耗测试	224	习题	257
8.1.3 光纤后向散射曲线测试	225	第 10 章 非开挖式敷管技术	258
8.1.4 光缆电性能测试	226	10.1 吹缆技术	259
8.2 编制竣工技术文件	227	10.1.1 吹缆技术概述	259
8.2.1 竣工技术文件编制要求和 内容	227	10.1.2 母管和微管	260
8.2.2 文件编制方法要点	228	10.1.3 微缆	262
8.3 工程验收	231	10.1.4 气吹设备	264
8.3.1 随工验收	231	10.1.5 气吹系统配件	267
8.3.2 初步验收	233	10.1.6 微缆和微管的敷设技术	271
8.3.3 竣工验收	234	10.2 顶管技术	273
实践项目与教学情境	236	10.2.1 顶管技术概述	273
本章小结	236	10.2.2 顶管掘进机施工	274
		10.2.3 定向钻进施工	276



10.3 雨（污）水管道敷管技术.....	282	10.3.5 敷管施工过程简介	289
10.3.1 雨（污）水管道敷管技术		实践项目与教学情境.....	293
概述.....	282	本章小结.....	294
10.3.2 雨（污）水管道情况.....	283	习题.....	294
10.3.3 机器人敷管施工.....	283	参考文献.....	295
10.3.4 人工敷管施工.....	287		

第1章

光通信基础

本章教学说明

- 重点回顾光通信的基础知识
- 详细介绍光纤结构、种类和标准
- 简述光纤传输原理
- 简要介绍光纤的发展

本章内容

- 光学基础
- 认识光纤
- 光纤传输原理
- 光纤的基本特性
- 光纤标准
- 光纤通信的发展

本章重点、难点

- 光纤的结构、分类和标准
- 光纤传输原理
- 光纤的基本特性

本章学习目的和要求

- 熟悉光传输的特性
- 理解光纤的导光原理
- 能认识各类光纤，熟悉光纤的基本特性
- 了解光纤通信的发展

本章实践要求及教学情境

- 现场考察各类光纤，对比分析积累光纤的相关知识

本章学习能力要素及基础要求



- 课前预习本章内容
- 掌握光学基础知识,理解其在光纤通信中的内涵

本章学习方法建议

- 课前预习与课后及时复习相结合
- 在掌握基本内容的基础上,独立完成作业
- 查阅有关光传输的资料

本章建议学时数: 4 学时

1.1 光学基础

光通信是利用光波作载波来传递信息,实现通信的方式。光是一种电磁波,电磁波的波谱很宽,而我们能看到的光波长是极其有限的,一般为 $350\text{nm}\sim 750\text{nm}$ 。光纤通信常用的波长一般为 $800\text{nm}\sim 1\,600\text{nm}$ 。

如图 1-1 所示,光纤通信使用的光信号的波谱在近红外区。

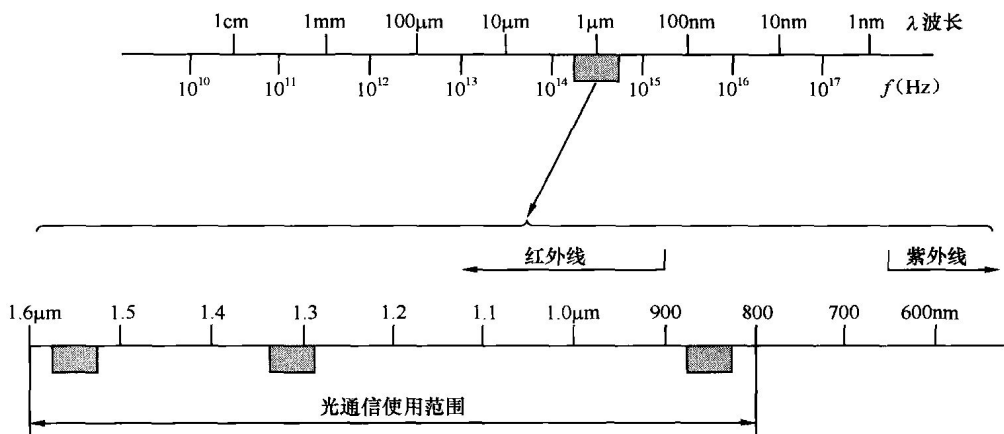


图 1-1 光通信中使用的电磁波谱范围



探讨

- 光纤通信的 3 个工作窗口如下。
 - 850nm 。
 - $1\,310\text{nm}$ 。
 - $1\,550\text{nm}$ 。
- 为什么光纤通信会有上述 3 个工作窗口呢?

1.1.1 光的传播

光可以在空气、水、玻璃等物质中传播,这些能够传播光的物质叫介质。下面简要介绍光的基本特性。



1. 光的直线传播

发光的物体叫光源。光是有能量的，光能可以转化为化学能、电能等其他形式的能，其他形式的能也可以转化为光能。

光是以直线方式传播的，所以称为“光线”。日晷就是利用了这一特性。通常应用中，光速多取 $c = 3 \times 10^5 \text{ km/s}$ 。对光速最准确的描述应是 1975 年第 15 届国际计量大会上发布的真空中光速 $c = (299\,792.485 \pm 0.001) \text{ km/s}$ 。

在任何一种介质中，光总是沿直线传播的，根据这一性质，如果知道一个发光体 S 射出的两条光线，只要把这两条线向相反方向延长到其交点，就能确定发光体的位置，如图 1-2 所示。

2. 光的反射

光在同一均匀介质中是直线传播的，但在两种不同的介质的交界处会发生反射现象，如图 1-3 所示。

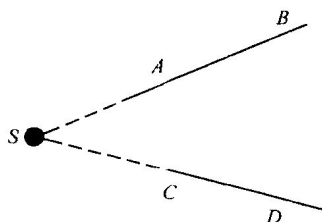


图 1-2 确定光源方法

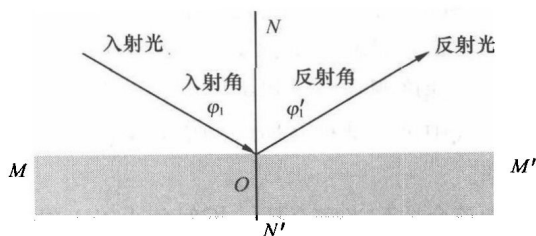


图 1-3 光的反射

设 MM' 为两种不同介质的界面， NN' 为界面的法线，当入射光到 MM' 与 NN' 的交接处 O 点时，一部分光会反射回来，且反射光线跟入射光线和法线在一平面上，反射光线和入射光线分别位于法线的两侧。

反射定律：反射角等于入射角，即

$$\angle \phi'_1 = \angle \phi_1 \quad (1-1)$$

3. 光的折射

当光在 A 介质中沿直线前进，遇到 B 介质的界面时，通常会有一部分的光反射回 A 介质，另一部分的光则进入 B 介质中，称为折射。例如，光从空气进入到玻璃中时，在两种介质的界面处，一部分光反射回空气中，另一部分光折射到玻璃中，且改变了原来的传播方向，这种现象称为折射，如图 1-4 所示。

光从真空中射入某种介质发生折射时，入射角的正弦与折射角的正弦之比称为这种介质的折射率，即

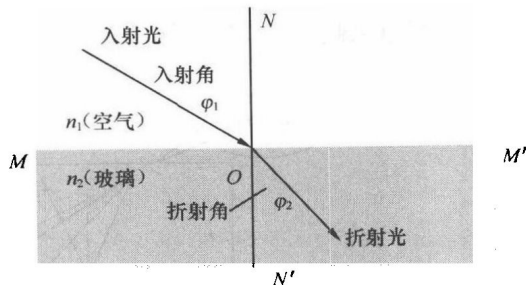


图 1-4 光的折射

$$n = \frac{\sin \phi_1}{\sin \phi_2} \quad (1-2)$$



理论和实验证明：某种介质的折射率，等于光在真空中的速度 c 跟光在这种介质中的速度 v 之比。

$$n = \frac{c}{v} \quad (1-3)$$

由于光在真空中的速度 c 大于光在任何介质中的传播速度 v ，所以任何介质的折射率都大于 1。

图 1-4 中， MM' 为空气与玻璃的界面， NN' 为界面的法线。空气折射率 $n_1 <$ 玻璃折射率 n_2 ，当入射光到 MM' 与 NN' 的交接处 O 点时，一部分光折射到玻璃中，且折射光线跟入射光线和法线在一平面上，且分别位于法线的两侧。

折射角与入射角的关系可用折射定律（斯涅尔定律）来描述，即入射角的正弦跟折射角的正弦成正比，如式（1-4）所示。

$$\frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1-4)$$

在各种不同的介质中，光的折射率不同，对折射率较小的物质称为光疏介质，反之为光密介质。由于光在真空里的速度跟在空气里的速度相差很小，可以认为光从空气中进入某种介质时的折射率就是那种介质的折射率。

光从光疏介质到光密介质，折射角小于入射角；从光密介质到光疏介质，折射角大于入射角。光从真空射入某种介质时，入射角大于折射角。

当我们观察水中的鱼儿游动时，实际的位置要比视觉的位置更深，这是因为光线由空气进入水中，由于光线在空气中的速度与水中的速度不同而产生折射造成的（见图 1-5）。

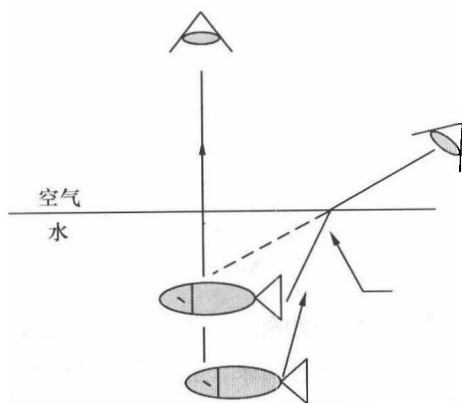


图 1-5 折射实例

4. 光的全反射

光从折射率大的介质到折射率小的介质时，根据折射理论，折射角大于入射角，并随入射角增大而增大，当入射角增大到 φ_0 时，折射角就会增大到 90° ，如图 1-6 所示。随着入射角的增加，折射光能量越来越小，反射光能量逐渐增大，直到折射光消失，这种现象称为全反射。

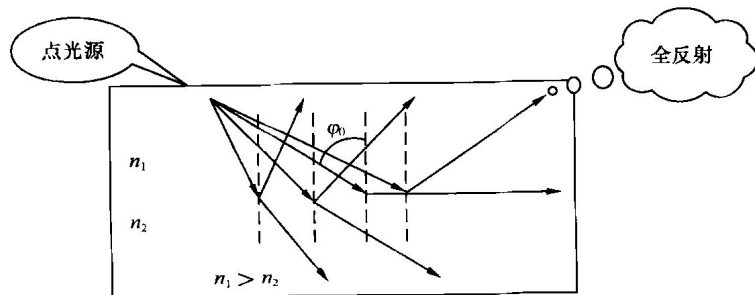


图 1-6 入射角与全反射的关系图



由于临界角 φ_0 是折射角等于 90° 时的入射角,根据折射定律可得

$$\frac{\sin \varphi_0}{\sin 90^\circ} = \frac{n_1}{n_2} \quad (1-5)$$

即得

$$\sin \varphi_0 = \frac{n_1}{n_2} \quad (1-6)$$

折射角变成 90° 时的入射角,叫做临界角。当光线从光密介质射到两种介质的界面上时,如果入射角大于临界角,就会发生全反射现象,如图1-7所示。

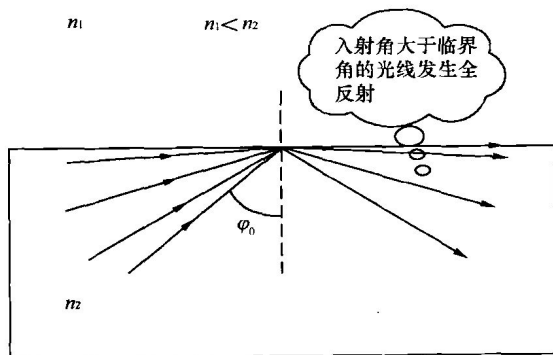


图 1-7 全反射示意图



- 发生全反射要同时满足的条件如下。
 - 光从光密介质入射到光疏介质。
 - 入射角大于临界角。

1.1.2 色散及散射

1. 光的色散

光是电磁波的一种,将复色光分解为单色光而形成光谱的现象称之为“色散(Dispersion)”。色散可通过棱镜或光栅等作为“色散系统”的仪器来实现。复色光中的各种色光的折射率不相同,当它们通过棱镜时,传播方向有不同程度的偏折,因而在离开棱镜便各自分散(见图1-8)。

图1-8中,各种颜色的光在真空中都以恒定的速度传播,而在介质中,光波的传播速度要减小。不同颜色的光在同一介质中的折射率不同,是因为它们在同一介质中的传播速度不同。紫光的传播速度最小,折射率就大,红光反之。

2. 散射

光线通过不均匀介质(如空气分子、尘粒、云滴)时,部分光束将偏离原来方向而分散传播,





使我们从侧向也可以看到光，这种现象叫做光的散射。

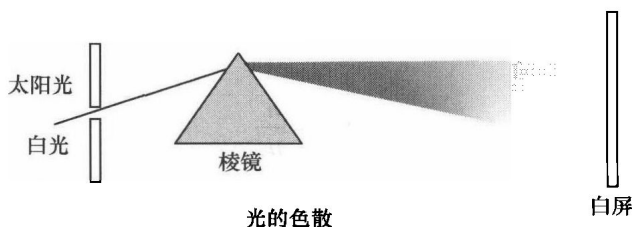


图 1-8 光的色散实例



- 在空气中为什么可以看到光线？
- 宇航员在宇宙中为什么看不到光线？
- 为什么雨过天晴后，天空常呈青蓝色？
- 为什么现在的天空中经常呈灰白色？

散射并不像吸收那样把辐射能转变为热能，而只是改变了辐射方向。例如，太阳辐射遇到不均匀质点时，将以该质点为中心向四面八方传播开来，散射后，有一部分太阳辐射将无法到达地面。

当光线入射到不均匀的介质中，介质就因折射率不均匀而产生散射光。瑞利研究表明，即使均匀介质，由于介质中分子质点不停地热运动，破坏了分子间固定的位置关系，从而也产生一种分子散射，这就是瑞利散射。

瑞利给出了反映散射能力与波长对比关系的瑞利定律：当入射光在线度小于光波长的微粒中传播时，散射后散射光和入射光波长相同，散射光的强度和入射光波长的 4 次方成反比。

瑞利定律说明散射对波长是有选择性的，如果太阳辐射遇到的是直径比光波长小的空气分子，则辐射的波长愈短，被散射愈厉害。例如，波长为 $0.7\mu\text{m}$ 时的散射能力为 1，波长为 $0.3\mu\text{m}$ 时的散射能力为 30。因此，太阳辐射通过大气时，由于空气分子的散射效果，波长较短的光被散射得较多。例如，因为太阳辐射中青蓝色波长较短，容易被大气散射，使雨后天空呈青蓝色。如果太阳辐射遇到直径比波长大的质点，虽然也被散射，但这种散射是没有选择性的，即辐射的各种波长都同样被散射。如空气中存在较多的尘埃或雾粒，一定范围的长短波都被同样地散射，使天空呈灰白色。有时为了区别有波长选择性的散射和没有选择性的散射，将前者称为散射，后者称为漫射。

正是由于波长较短的光易被散射掉，而波长较长的红光不易被散射，其穿透能力也比波长短的蓝、绿光强，因此用红光作指示灯，可以让司机在大雾迷漫的天气里容易看清指示灯，防止交通事故的发生。

以上讨论的散射光，其波长和入射光相同，叫做瑞利散射，还有一类散射叫做喇曼散射 (Raman scattering)，其波长和入射光的波长不同。当入射光信号强度很大时，它就会在光纤中引发分子共振，并引起频率变化，此散射称为喇曼散射。1928 年，印度物理学家 C.V. 喇曼在气体和液体中观察到散射光频率改变的现象。



1.1.3 干涉与衍射

1. 光的衍射

光离开直线路径而绕到障碍物阴影里的现象称为衍射。

光的衍射实验：取一个不透明的屏，在它的中间装上一个宽度可以调节的狭缝，用平行的单色光照射，在缝后适当距离处放一个光屏（见图 1-9）。当缝比较宽时，光沿着直线方向通过缝，在光屏上产生一条跟狭缝的宽度相当的亮线。但是，当缝调到很窄时，光通过缝后就明显地偏离了直线传播方向，在屏上相应位置出现了明暗相间的条纹。

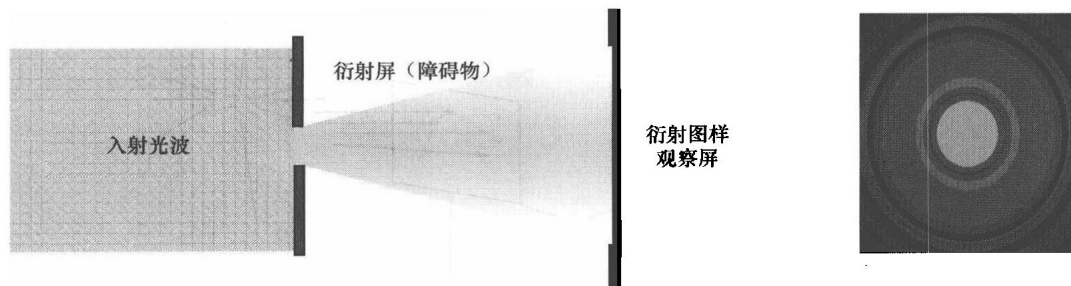


图 1-9 光的衍射现象

2. 光的干涉

两列相干光波相叠加，某些区域的光被加强，某些区域的光被减弱，且加强区与减弱区相间隔的现象称为光的干涉，如图 1-10 所示。

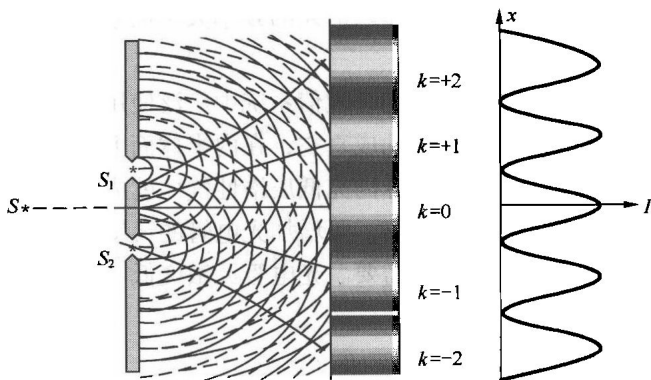


图 1-10 光的干涉现象

1801 年，英国物理学家托马斯·杨，在实验室里成功地观察到了光的小孔干涉现象。

用狭缝来代替小孔，可以得到同样清晰但是明亮很多的干涉图样，这就是著名的双缝干涉实验（见图 1-10）。

在双缝干涉现象中，明暗条纹的距离总是相等的。条纹间距跟光波的波长成正比。



- 干涉是指两道波相遇，可能产生相加或相减的现象。
- 衍射是指当光波遇到大小与本身波长相近的障碍物或狭缝时，其传播的波形会产生变化，而与原来的波形相差甚多。

1.1.4 光电效应

把一块擦得很亮的锌板连接在灵敏验电器上，用弧光灯照射锌板（见图 1-11），验电器的指针就张开个角度，表示锌板带了电。进一步检查知道锌板带的是正电。这说明在弧光灯的照射下，锌板中一部分自由电子从表面飞了出去，锌板中缺少了电子，于是带正电。

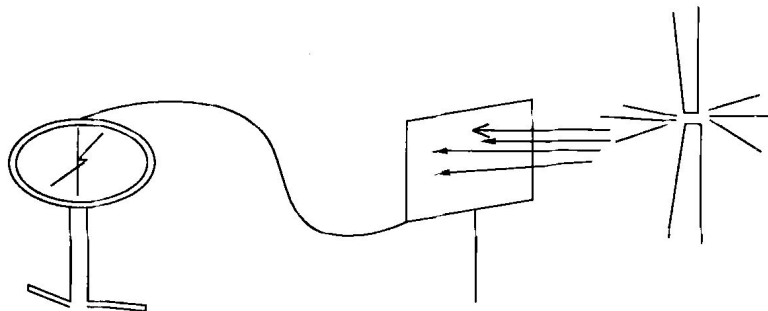


图 1-11 光电效应的实验

上述实验现象证明了光电效应的存在。在光（包括不可见光）的照射下从物体中发射出电子的现象叫做光电效应，发射出来的电子叫光电子。

通过实验证明：任何一种金属，都有一个极限频率，入射光的频率必须大于这个极限频率，才能产生光电效应，低于这个频率的光不能产生光电效应。光电子的最大初动能与入射光的强度无关，只随着入射光频率的增大而增大。当入射光的频率大于极限频率时，光电流的强度与入射光的强度成正比。

人们利用光电效应制成的光电器件在光纤通信系统中广泛使用。光电管可使光信号转换成电信号。光电管的典型结构是将球形玻璃壳抽成真空，在内半球面上涂一层光电材料作为阴极，球心放置小球形或小环形金属作为阳极。若球内充低压惰性气体就成为充气光电管。光电子在飞向阳极的过程中与气体分子碰撞而使气体电离，可增加光电管的灵敏度。用作光电阴极的金属有碱金属、汞、金、银等，可适合不同波段的需要。光电管灵敏度低、体积大、易破损，已被半导体光电器件所代替。

1.1.5 光的波粒二象性

古希腊有的学者认为光是沿直线高速传播的粒子流，人的视觉就是光粒子进入人的眼睛引起的。这是一种原始的光的微粒学说。

17 世纪，荷兰物理学家惠更斯提出了光的波动学说，他认为光是以某种振动波的形式向外传播。光的干涉和衍射现象证明了光波像水波一般，具有波动性，这种现象是和光的直线传播或光