

理光静电复印机 维修教程

刘锡钧 朱柏生 李家森

徐家裕 林华海 编



机械工业出版社

理 光 静 电 复 印 机 维 修 教 程

刘锡钧 朱柏生 李家森 编
徐家裕 林华海



机 械 工 业 出 版 社

(京) 新登字054号

全书共十章，它们分别是：绪论；静电复印技术基础；硒光导体的特性；静电复印原理及过程；复印机机械结构；复印机电气部分；安装与使用；维护与保养；调试；常见故障及排除方法。此外，在附录中还列出了常用维修工具表、备件明细表、常见机型性能表，以及一些常用机型的总接线图、主控线路图、光控线路图、时序图等。

本书主要供静电复印机使用、维修人员自学用，也可作为静电复印机培训班教材。

理光静电复印机维修教程

刘锡钧 朱柏生 李家森 编
徐家裕 林华海

*

责任编辑：秦起佑 版式设计：胡金瑛
封面设计：郭景云 责任校对：肖新民
责任印制：王国光

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街二号)
(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

北京市密云县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₁₆·印张 15³/₄·插页 1·字数 384 千字
1991 年 3 月北京第 1 版·1993 年 4 月北京第 2 次印刷
印数 4 501—9,600·定价：14.00 元(附图袋)

*

ISBN 7-111-02518-0/O·57

前 言

静电复印是一门涉及静电学、半导体物理、电子学、光学等多学科的综合性科学。近年来,由于科学技术的飞速发展,促使复印技术突飞猛进,并在办公自动化领域中发挥了重要的作用。

我国是一个拥有数以百万计办公室的国家,但大部分仍然沿用“文房四宝”式的办公方式。处理飞速发展的信息时代事务远远不能适应现代化的需要,阻碍了社会生产力的发展。因此,用先进的办公设备代替人工处理办公室事务,已成为社会发展的必然趋势。静电复印机在办公自动化领域中显示了巨大的优越性,已成为办公室中不可缺少的有力助手。

静电复印机以其简便的操作,准确、高速的复制,受到了广泛的赞誉。在我国,复印机应用也越来越普及,1983年运转台数为三万多台,1986年已达到七万多台,平均每年增长近50%。

静电复印技术在我国尚属新兴技术,静电复印机仍处于普及阶段,再加之静电复印机是一种综合性精密机械,受外界条件影响较大。因此,对于操作人员、维修服务人员来说,掌握其基本原理、结构、维护及故障检修知识,是非常必要的。

理光FT系列复印机机型繁多,但在我国普遍应用的为FT4000系列复印机,因此,本书在结构及故障排除章节中,主要介绍FT 4000 系列,将其他系列复印机不同之处穿插其中,希望能对读者有所助益。由于编者水平有限,书中可能有许多错误之处,热诚欢迎广大读者批评指正。

在本书编写过程中,得到许多兄弟单位同志的大力支持和热情帮助,为此致以衷心的感谢!

编 者

目 录

前言

第一章 绪 论

第二章 静电复印技术基础知识

第一节 静电学基础知识..... 4	二、原子中电子的能级.....13
一、带电现象..... 4	三、晶体中电子的共有化运动.....13
二、导体的带电现象..... 5	四、能带的形成.....15
三、库仑定律..... 5	五、绝缘体、半导体和导体.....16
四、电场和电场强度..... 6	六、本征半导体的导电机构.....17
五、电势和电势差..... 9	七、杂质对半导体导电能力的影响.....18
六、带电粒子在均匀电场中的运动.....10	八、半导体的光电导现象.....19
七、电场中的导体.....11	第三节 电子学基础知识.....20
八、电场中的电介质.....11	一、电气元件和电子元件.....20
第二节 半导体物理基础.....12	二、电子电路.....36
一、半导体特性.....12	三、数字电路.....44

第三章 硒光导体的特性

第一节 概述.....49	一、硒光导体的充电、放电过程.....50
一、硒光导体.....49	二、硒光导体的静电复印特性.....50
二、无定形硒的理化特性.....49	三、硒合金鼓.....56
第二节 硒光导体的静电特性.....50	

第四章 静电复印原理及过程

第一节 充电.....58	二、显影原理及过程.....67
一、电晕充电的理论.....58	三、影响显影质量的因素.....68
二、影响充电的主要因素.....59	第五节 色粉浓度的检测.....69
三、充电效果的检测.....60	一、色粉浓度的检测原理.....69
第二节 删边灯消电.....61	二、复印过程变化对色粉浓度的影响.....69
一、删边灯消电的原理.....61	第六节 转印前消电.....70
二、删边灯消电的过程.....61	一、转印前消电的原理.....70
第三节 曝光.....61	二、转印前消电的作用.....70
一、成象的基本原理.....61	第七节 转印.....70
二、静电潜象的形成.....64	一、转印的原理及过程.....70
三、影响静电潜象质量的因素.....64	二、影响转印效率的因素.....70
第四节 显影.....65	第八节 纸的分离.....71
一、显影剂.....66	一、分离的基本原理.....72

二、影响分离的主要因素	72
第九节 清洁	72
一、消电	72
二、清扫	73

三、影响清洁的主要因素	73
第十节 定影	74
一、热压定影的原理	74
二、影响定影质量的因素	75

第五章 FT系列复印机的机械结构

第一节 各部件的布置	76
一、机械部件的布置	76
二、驱动部件的布置	77
三、电器部件的布置	79
第二节 硒鼓及其周围部件	81
一、硒鼓	81
二、硒鼓加热器及温度补偿	82
三、硒鼓的驱动装置	82
四、电晕电极	83
五、删边灯	84
六、转印前消电灯	85
七、消电灯	86
第三节 光学系统	86
一、光路的组成	87
二、扫描驱动装置	87
三、变倍机构的驱动	89
四、第二扫描器驱动机构	90
五、光学系统的清洁与部件的更换	91
第四节 显影系统	95

一、显影装置	95
二、偏压装置	98
三、补粉机构	100
第五节 输纸系统	102
一、FT4060、FT4085的供纸机构	102
二、FT4060、FT4085供纸部件的更换	104
三、FT4060、FT4085的输纸机构	106
四、FT3050的供纸机构	108
五、FT3050供纸部件的更换与调整	111
六、FT3050的输纸机构	112
第六节 定影系统	112
一、定影系统的结构	112
二、定影驱动机构	113
三、补油及无油检测机构	114
四、定影系统零部件的更换	114
第七节 清洁装置	118
一、清洁装置的结构	118
二、清洁装置驱动	122
三、清洁部件及分离爪的更换	122

第六章 FT系列复印机的电气部分

第一节 基本工作程序	124
一、待机状态	124
二、可复印状态	124
三、复印状态	124
四、复位状态	125
第二节 整机控制原理	125
一、FT3020控制原理	125
二、FT3050控制原理	126
三、FT4040、FT4060控制原理	127
四、FT4065控制原理	127
五、FT4085控制原理	128
第三节 电路介绍	129
一、交流驱动电路	129
二、直流电源电路	132
三、曝光灯控制电路	134

四、定影温度控制电路	136
五、硒鼓加热器控制电路	142
六、删边灯控制电路	144
七、色粉浓度控制电路	145
八、供纸检测电路	147
九、废粉满检测电路	148
十、脉冲发生器电路	149
十一、纸尺寸和无纸检测电路	150
十二、搓纸电机控制电路	157
十三、操作面板信号控制电路	160
十四、扫描电机控制电路	160
十五、镜头电机控制电路	163
十六、无硅油检测电路	164
十七、出纸检测电路	165
十八、偏压控制电路	165

第四节 其它机构	167	三、直流电源装置的更换	175
一、微型开关组	167	四、充电高压电源的更换	175
二、色粉浓度传感器的检查与调整	174		

第七章 复印机的安装使用

第一节 安装场地及条件	177	第三节 安装程序	179
一、环境要求	177	一、调节机器的水平度	179
二、复印机安装的水平要求	177	二、定影装置添加硅油	179
三、电源要求	177	三、装显影剂	181
第二节 拆除紧固件	178	四、安装硒鼓	182
一、拆除定位辊楔块	178	五、机器运转	183
二、拆除扫描器锁板	178	六、纸盒调整	184
三、释放镜头锁杆	179		

第八章 维护与保养

第一节 维护与保养项目	187	第二节 每日保养	189
一、硒鼓周围部件	187	第三节 日常维护	190
二、光学系统	187	第四节 定期维护及其程序	192
三、显影装置	188	第五节 维护与保养注意事项	196
四、输纸系统	188	一、硒鼓的维护与保养	196
五、清洁装置	188	二、消耗材料及其储存	197
六、定影装置	189	三、复印纸及其储存	198
七、其它部分	189		

第九章 机器的调试

第一节 测试版及其应用	199	四、调整色粉浓度传感器	210
一、测试版的作用和要求	199	五、调整定影温度	210
二、测试版的内容	199	六、调整起始位置尺寸	211
第二节 机器的调试	208	七、调整前端刷边宽度	211
一、调整硒鼓电流的准备工作	208	八、调整纵向等倍	212
二、调整充电电流	209	九、复印品质量检查	212
三、调整转印和分离电流	209		

第十章 常见故障及排除方法

第一节 机器的自诊断显示	213	三、背景肮脏	216
一、FT3020、FT3050的自诊断代码	213	四、图象浅淡	216
二、FT4080、FT4085的自诊断代码	213	五、图象密度不均匀	217
三、FT4065的自诊断代码	214	六、底灰	217
第二节 复印品缺陷及产生的原因	215	七、背景出现黑条或黑带	218
一、复印品全白	215	八、明显纵向黑线	218
二、背景异常	215	九、波浪形黑线或黑条	219

十、间隔251mm出现横向黑线	219
十一、距纸端约250mm处出现黑线	219
十二、纵向白线条	219
十三、某一边缘清洁不良	220
十四、分离爪位置有油痕	220
十五、整张复印品出现斑点	221
十六、抖动	221
十七、复印品前端肮脏	221
十八、实心白斑	221
十九、图象模糊或图象拉毛	222
二十、复印品折皱	223
二十一、定影不良	223
第三节 卡纸故障及排除	223
一、供纸部位卡纸及排除	223
二、手送纸道卡纸及排除	224
三、分离部位卡纸及排除	224
四、输纸部位卡纸及排除	225
五、定影机构卡纸及排除	225

第四节 电气故障	226
一、光学系统失控	226
二、操作部显示异常	227
三、复印显示不转换	228
四、高压电源故障	229
五、电器元件发生故障时产生的现象	229
第五节 其他故障及排除	231
一、显影装置漏粉	231
二、清洁装置漏粉	232
三、自动补粉机构不工作	232
四、转印/分离电极座击穿	232
五、复印图象畸变	233
六、复印品图象比例失调	233
七、按复印键后不能复印	234
八、冬季刮板有振动声	234
九、输纸皮带倾斜	234
十、装卸杆压倒后,纸盘不能抽出	234

附 录

一、常用维修工具	235
二、常用备件明细表	238
三、FT系列复印机常见机型性能表	240
四、FT3020复印机总接线图	243
五、FT3020/FT3050复印机主控线路图	243
六、FT3050/FT3060复印机总接线图	243
七、FT3050复印机光控线路图	243
八、FT4030复印机总接线图	243
九、FT4060复印机总接线图	243
十、FT4060复印机主控线路图	243
十一、FT4060复印机光控线路图	243
十二、FT4060复印机时序图	243
十三、FT4060复印机操作面板线路图	243

十四、FT4065复印机总接线图	243
十五、FT4065复印机主控线路图	243
十六、FT4085复印机总接线图	243
十七、FT4085复印机主控线路图	244
十八、FT4085复印机光控线路图	244
十九、FT4085复印机操作面板线路图	244
二十、FT4085复印机时序图	244
二十一、静电复印测试版	244
二十二、静电复印网线测试版	244
二十三、静电复印感色性测试版	244
二十四、理光S-1-2测试版	244
参考文献	244

第一章 绪 论

静电复印是利用光敏半导体的光电导效应、电磁原理和静电特性来完成复制工作的一种新兴的复印技术。它与照相过程相类似，因此，也称为静电摄影 (Electrophotograph)。

早在1935年，美国物理学家卡尔逊 (C.F. Carlson) 就开始探索这种新的摄影方法。经过三年多的努力，1938年这种新的摄影方法终于获得成功。他将一块涂有硫磺的锌板用棉布在暗室中摩擦，使其表面带电，然后上面复盖有图象的透明原稿，用白炽灯照射曝光形成静电潜象，而后撒上石松子粉末，从而显示出与原稿相同的图象。完成了世界上第一次静电摄影过程。并于1942年获得美国专利。

1944年卡尔逊与巴 特 尔 纪念研究所 (Battelle Memorial Institute) 合作，继续从事电摄影的研究。1947年与美国豪乐德 (Holoïd) 公司合作，于1948年美国光学学会年会上，首次公布其研究成果，并演示了静电复印过程，当时被称为干印术 (Xerography)。1949年以硒作为光导体，采用手工操作，电晕充电，将色粉与载体混合组成显影剂的世界上第一台普通纸静电复印机投放市场。成为至今仍普遍应用的普通纸静电复印机 (Plain Paper Copier 缩写为PPC) 的先驱。

1959年美国豪乐德公司，现今施乐 (XEROX) 公司的前身，制造出世界上第一台办公用全自动914型普通纸静电复印机。这台机器在原始专利上作了许多重要改进，如无定形硒板，瀑布式粒珠载体显影，以及从光电导材料上向普通纸上转印粉末象的静电方法。该机的出现是许多发明家智慧和创造的结晶，在静电复印机发展史上，具有划时代的意义。

在此期间，世界上其他国家也开始了复印技术的研究和应用。1954年美国无线电公司 (RCA) 发明了氧化锌粉末的光电导材料 (增感氧化锌-树脂感光纸)，并将图象直接固定在氧化锌纸上成为最终复印品。被称之为直接式静电照相 (Electrofax, 缩写EF)。

1955年，澳大利亚人发明了湿法电泳显影，为直接法氧化锌静电复印机的广泛应用创造了有利条件。

1968年，日本佳能公司和桂川电机公司研制成功用硫化镉作光电导材料的间接法普通纸复印机。日本的小西六公司和荷兰的奥西公司，研制成功用氧化锌作光电导材料的间接法普通纸复印机。美国IBM公司研制成功用有机光导材料作为光接受体的间接法普通纸复印机。

1975年，施乐公司研制的Xerox 9200型复印机问世，它采用可挠性镍基硒光导环带，全幅面闪光曝光，自动送稿器一次可装50张，有50个分页器，可连续复印999张，一条光导带可印120万张，采用计算机式电键控制板作为指令中心，具有记忆和显示功能，每分钟复印120张，在当时复印机的发展中具有很强的代表性。

进入80年代，随着微电子技术的发展，给复印技术带来更新的活力，静电复印机普遍采用微电脑控制；应用激光技术的智能复印机和全彩色复印机相继问世，以及无定形硅光电导材料的研制成功，使复印技术出现了新的局面。

多年来，施乐公司垄断的世界复印机市场出现了新的变化，日本成为世界复印机市场的主要供应国。仅以1982年为例，世界普通纸复印机 (PPC) 总装机台数为160万台，其中140

万台是日本制造的，占世界总量的近百分之九十。

理光有限公司 (Ricoh Company, Ltd.) 是日本复印机主要生产厂家之一。该公司从理化学研究所所属的理化学股份有限公司独立出来，于1936年2月6日由市村清先生创立理研感光纸股份有限公司，从事感光纸的制造。1938年3月公司改名为理研光学工业股份有限公司，开始了照相机和望远镜的研制和生产。在办公事务领域中，为复印和通信技术的发展作出了不懈的努力。1963年4月公司更名为理光有限公司。

该公司从1953年开始从事复印机、大型计算机外部设备的研制工作。1955年5月，在日本国内首次开发了重氮复印机，为当今的理光复印机打下了牢固的基础。1959年理光静电复印机研制成功。1965年采用氧化锌感光纸的直接法静电复印机BS-1型研制成功。1975年以硒作光电导材料的湿法间接式静电复印机DT1200型投放市场。同年11月，获得日本质量管理的最高荣誉——戴明奖。而后，理光公司不断开发新的产品，以PPC-900为代表的干式间接法静电复印机研制成功。进入80年代以后，理光干式FT系列复印机获得迅速发展。1984年，复印机总装机量居日本首位，并第二次获得日本通产省颁发的戴明奖。

所谓FT系列复印机，即理光干式间接法静电复印机。仍然沿用卡尔逊法的静电复印过程。利用光导体表面的硒（硒合金）镀层的光电导特性，经充电、曝光、显影、转印、定影、清洁等基本过程，完成复印品制作程序，如图1-1所示。

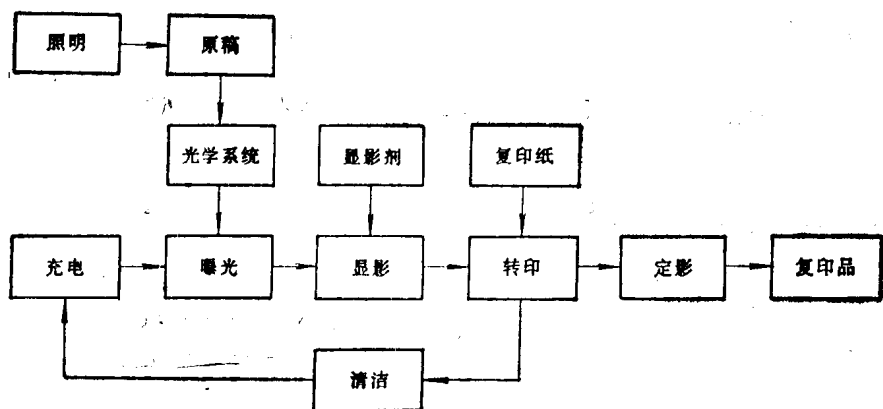


图1-1 间接式静电复印的基本过程

FT系列复印机有数十种机型，如FT2000、FT3000、FT4000、FT5000、FT6000等系列产品。这些机型均采用干法间接式静电复印过程，在结构、功能及机械性能上具有许多相同之处，但又各具特点。这些机器采用微处理机控制，有自诊断检测，分级缩、放，无级变焦及页边调节、消除蓝底、自动分页、双面复印等特殊功能。复印速度大多为每分钟15~60张的中速复印机。

FT4000系列具有较强的代表性，并在国内普遍应用，如FT4060、FT4085、FT4065等机型。图1-2为FT4060结构示意图。

静电复印技术获得了迅速的发展，在现代办公自动化领域中显示了巨大的优越性。对这种多学科综合性的精密机械，只有较透彻地了解它，才能作好维护工作，使它发挥良好的社会效益。

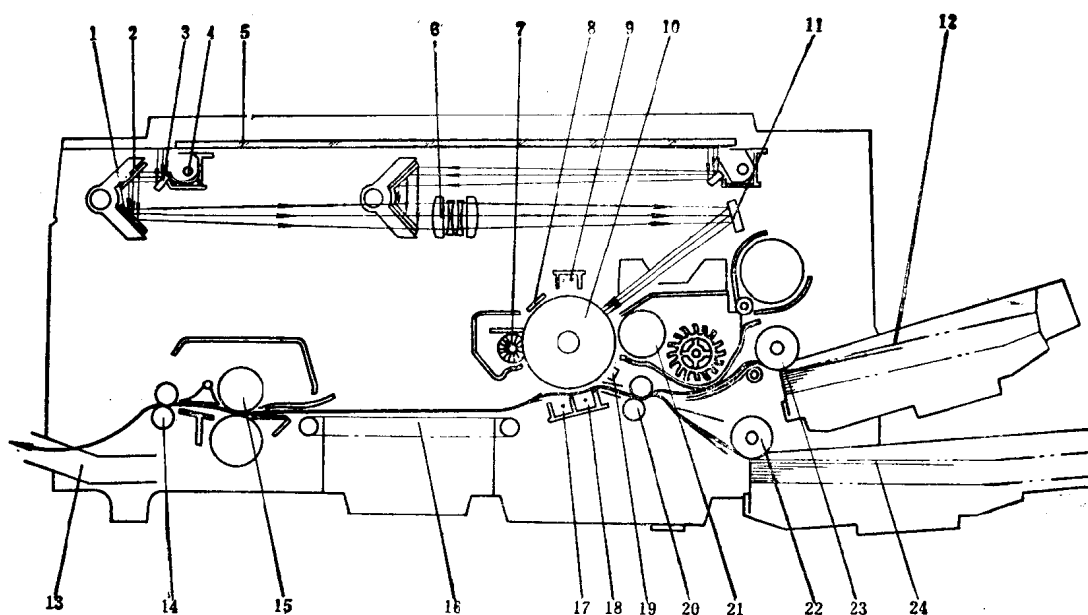


图1-2 FT4060结构示意图

- 1—第三反光镜 2—第二反光镜 3—第一反光镜 4—曝光灯 5—稿台玻璃 6—镜头 7—清洁刮板 8—消电灯 9—充电电极 10—晒鼓 11—第四反光镜 12—上纸盒 13—接纸盘 14—排纸辊 15—定影辊 16—传纸 17—分离电极 18—转印电极 19—转印前消电 20—定位辊 21—磁刷 22—下搓纸轮 23—上搓纸轮 24—下纸盒

第二章 静电复印技术基础知识

第一节 静电学基础知识

静电复印技术经常涉及静电现象,所以在论述静电复印技术之前,首先介绍静电学的一些基础知识。这对于理解静电复印技术是非常必要的。

所谓静电,就是相对于观察者静止的电。而静电现象,则是指相对观察者静止的电所产生的现象。一切电现象都离不开电场的作用,与静电相联系的电场叫做静电场,简称电场。

一、带电现象

1. 摩擦起电

实验证明,许多物质,如琥珀、玻璃、硬橡胶和塑料等,在和呢绒、皮毛、丝绸等摩擦后具有吸引轻微物体(如头发、羽毛、纸屑等)的功能,如图2-1所示。

当物质具有吸引轻微物体的性质时,就说它带了电。带电的物体叫做带电体。用摩擦使物体带电的方法,叫做摩擦起电。

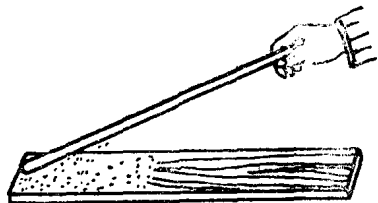


图2-1 摩擦起电现象

2. 电荷

实验证明,所有的物体,无论用什么方法使它带电,其所带电荷有两种。为了区别该两种性质不同的电荷,美国科学家富兰克林把用丝绸摩擦过的玻璃棒上所带的电荷叫做正电荷,把用毛皮摩擦过的硬橡胶棒上所带的电荷叫做负电荷。所以,在自然界里,只存在正、负两种电荷。

实验表明,同种电荷相互排斥;异种电荷相互吸引。

一切物体都是由分子组成的。而分子是由原子组成。原子则由原子核和核外电子组成。原子核又由质子和中子组成。质子带正电,中子不带电,电子则带负电,所以原子核带正电。而一个质子所带的正电电量等于一个电子所带的负电电量。

在一般情况下,一个原子的原子核内质子所带的正电电量等于核外电子所带的负电电量。所以正常原子是中性的。

3. 为什么物体摩擦后会带电

原子中的电子受原子核的吸引,分层地按照各自的轨道围绕原子核运动。在内层轨道上的电子能量较小,离原子核较近,受到原子核的吸引力较大,被牢固地束缚在原子内,无法离开原子核。而在外层轨道上的电子能量较大,离原子核较远,受到原子核的吸引力较弱,容易受到外界的影响而脱离原子核。当两个物体相互摩擦时,一些受原子核束缚松弛的电子,就有可能从一个物体转移到另一个物体上去,因而一个物体就失去了电子,另一个物体就获得了电子。失去电子的物体就显示出带正电,而获得电子的物体就显示出带负电。应当指出,用摩擦带电方法使物体带电时,两个物体总是同时带电,并且分别带有等量异种电荷。

实验证明:电荷既不能消灭,也不能创造,它只能从一个物体转移到另一个物体。这一

规律称为电荷的守恒定律。

两个原来带有等量异种电荷的物体，互相接触时，由于电子的转移，又会变成都不带电的物体，这种现象叫做电的中和。

二、导体的带电现象

1. 感应起电

实验证明，把带电体移近导体（无需接触导体），会使导体两端同时出现量值相等的异种电荷。在靠近带电体一端，出现和带电体上异种电荷；在远离带电体的一端，出现和带电体上同种的电荷。这种现象叫做静电感应现象。

当带电体移近导体时，导体中自由电子受带电体上电荷的作用而作定向移动。如果带电体带正电，自由电子受到吸引的作用，移向靠近带电体的一端，使这一端得到多余的电子而带负电，而远离带电体的一端因缺少电子而带正电。由于导体一端多余的自由电子数目正是另一端缺少的电子数目，所以导体两端所带正电荷和负电荷的电量相等。若将带电体移去，则正电荷吸引自由电子，使自由电子移向正电荷一端而互相中和。若在带电体移去以前，把导体一分为二，则两部分分别带正、负电荷。如果带电体带负电，自由电子受到排斥作用，移向远离带电体的一端，使远离的一端带负电，靠近的一端带正电。

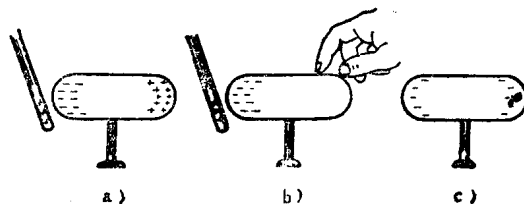


图2-2 感应起电

利用静电感应现象也可以使单个导体带电。可按下列步骤进行。

- 1) 把导体放在绝缘架上。使带电体移近导体左端，如图2-2a)所示。
- 2) 用手指接触一下导体的右端，如图2-2b)所示。
- 3) 先移开手指，再移开带电体，则导体上就留下与带电体所带电荷异种的电荷，如图2-2c)所示。

为何会使导体带电？这是因为人手和大地都是导体。当人手和导体右端接触时，在带电体电荷的作用下，与带电体同种的电荷被排斥到远离带电体的大地里，在导体上就留下与带电体异种的电荷。

这种利用静电感应而使导体带电的方法叫做感应起电。

2. 带电导体上的电荷分布

英国物理学家法拉第通过无数的实验得出的结论是：绝缘导体上所带的电荷都分布在导体的外部表面上。

三、库仑定律

1. 点电荷

所谓点电荷，就是一个小到和几何点一样的带电体。但是，不管什么形状的带电体，只要它们的大小比起它们之间的距离小得多，以致它们的形状和大小对相互作用力的影响可以忽略不计时，这样的带电体就可以看成是点电荷。

同样两个任意形状的带电体，当它们相距足够远时，可以看成是点电荷，但当它们相距不够远时，就不能看做是点电荷。所以，点电荷的意义是相对的，不是绝对的。

2. 库仑定律

在真空中，两个点电荷之间的作用力，与其电量的乘积成正比，与它们之间的距离的平方成反比，作用力的方向在它们的连线上。这就是库仑定律。电荷间的这种作用力叫做静电力，又叫库仑力。

设用 Q_1 、 Q_2 表示两个点电荷的电量，用 r 表示它们之间的距离，用 F 表示它们之间的相互作用力，则库仑定律可写成如下公式：

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (2-1)$$

作用力的方向在两个点电荷的连线上，如图2-3所示。

在库仑定律公式中， k 是比例常数，它的数值和单位，取决于公式中其它各个物理量的单位。以前，曾用过一种静电系单位制，其比例常数 $k=1$ 。但该单位制，在实用上很不方便。所以现在普遍采用国际单位制，虽然其比例常数 k 不是1，但却比较实用。在国际单位制中，力的单位是牛顿（单位符号为N），距离单位是米（单位符号为m），电量单位叫做库仑，简称库，常用符号C来代表。 k 的数值，根据实验测定为：

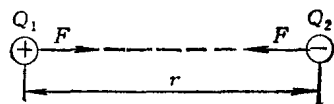


图2-3 两点电荷的作用力

$$\begin{aligned} k &= 8.98755 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2 \\ &\approx 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2 \end{aligned} \quad (2-2)$$

k 的物理意义为：如果两个点电荷各带1C的电量，在真空中相距1m时，它们之间的相互作用力就等于 $9.0 \times 10^9 \text{ N}$ 。

电子带有最小的负电荷，质子带有最小的正电荷，其电量的绝对值相等。测量电子电量的实验指出：一个电子的电量

$$\begin{aligned} e &= 1.60219 \times 10^{-19} \text{ C} \\ &\approx 1.60 \times 10^{-19} \text{ C} \end{aligned} \quad (2-3)$$

实验还指出，任何带电粒子，所带电量等于电子或质子的电量，或为其整数倍。至今，所有实验还未得到过电量小于电子或质子电量的带电粒子。因此可认为，所有带电体所带电荷，也是这个基本数值的整数倍，并把 $1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ 叫做基本电荷，用“-”号表示负电荷。则电子所带电量为 $-e$ ，质子所带电量为 $+e$ 。

在应用库仑定律的公式时，应注意以下几点：

1) 它只适用于点电荷，并只适合于在真空中或空气中的情况。若两个点电荷浸没在其他绝缘介质中时，由于绝缘介质的影响，其作用力要减小。

2) 可将表示正负电荷的“+”号或“-”号代入公式计算。 F 为正值时，表示两电荷间是排斥力。 F 为负值时，表示两电荷间是吸引力。当然也可用两电荷的绝对值代入公式计算，求出力 F 的数值后，再根据电荷的性质确定力的方向。

3) 对于电荷均匀的带电球体来说，理论证明，在计算它和别的带电体之间相互作用时，可认为其全部电荷都集中在球心上。因此，在计算时，可认为它是位于球心的点电荷。

4) 当一个点电荷，同时受到几个点电荷的作用时，则可先求出每两个点电荷之间的作用力，然后求出每个点电荷，所受其他点电荷对它的作用力的合力。求合力的法则，仍然是用平行四边形法则。

四、电场和电场强度

1. 电场

电荷的周围存在着一种叫做电场的特殊物质，电荷之间的相互作用，是通过电场来产生的。电场和其他物质一样是客观存在的一种物质。电荷和电场是不可分割的一个整体，只要有电荷存在，其周围空间就一定有电场存在。因此，一个电荷对另一个电荷作用的静电力，实际上，是一个电荷的电场对另一个电荷的作用力。

电场对电荷的作用力叫做电场力，所以静电力也常叫做电场力。

2. 电场强度

为讨论方便，假设有一个正电荷 Q ，在真空中形成的电场，如图 2-4 所示。当把另一个正电荷 q 放入电场中的 A 点， q 就要受到电场的作用力 F_A ，设 A 点与 Q 的距离为 r_1 ，从库仑定律可知：

$$F_A = kQq/r_1^2 \quad (2-4)$$

同样，如果正电荷 q' 放入 A 点， q' 受到的作用力

$$F_{A'} = kQq'/r_1^2$$

则

$$\frac{F_A}{q} = \frac{F_{A'}}{q'} = \frac{kQ}{r_1^2} \quad (2-5)$$

即放入 A 点的电荷受到电场的作用力与其电量的比值，是一个与放入该点的电荷无关的恒量，其大小只决定于产生电场的电荷 Q 和 A 点在电场中的位置。该比值越大的地方，放入那里的单位电荷，受到的电场的作用力就越大。

在电场中，某一点的电荷，所受电场的作用力与其电量的比值，叫做电场强度，简称场强。电场强度也是矢量。正、负电荷在电场中，受力的方向相反。场强方向与正电荷受力的方向相同，与负电荷受力的方向相反。

如果 E 表示电场强度， F 表示电荷 q 受到的电场的作用力，则

$$E = F/q \quad (2-6)$$

因为力的单位是 N ， q 的单位是 C ，所以 E 的单位是 N/C 。

当 q 等于 $1 C$ ，则 E 和 F 在数值上相等。因此，电场中某点的电场强度数值上等于单位正电荷在该点所受的电场力。

对于点电荷 Q 在真空中形成电场的特殊情况，从库仑定律容易得出：

$$E = \frac{kQ}{r^2} \quad (2-7)$$

应当指出，关于电场强度的概念是从点电荷电场引出的，但是它的意义却普遍适用。电场强度是表征电场本身物理性质的一个物理量。虽然式(2-6)和式(2-7)都表示电场中某点的场强，但其意义不同。前者为场强的定义式，对任何电场都适用。后者为点电荷在真空电场中场强的计算式，只适用于点电荷在真空中的电场。

如几个点电荷同时存在，其电场就互相叠加，形成合电场。这时某点的场强，就等于各个点电荷在该点产生的场强的矢量和。图2-5中， P 点的场强 E 等于 Q_1 在该点产生的场强 E_1 与 Q_2 在该点产生的场强 E_2 的矢量和，即

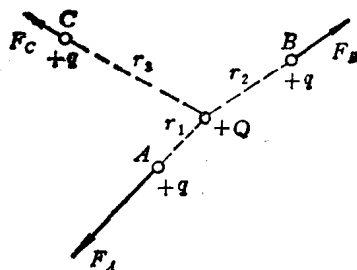


图2-4 电场中不同点 q 受力的情况

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

(2-8)

3. 电力线

电场是一种看不到摸不着的特殊物质,为了使电场的现象比较具体,英国的物理学家法拉第提出一种用图形来表示电场的方法。具体的做法如下:在电场中画许多线条,使线条的走向能够表示各点电场强度的方向。因此规定,线条上每一点的切线方向,必须和该点的电场强度方向一致。这样的线条叫做电力线。可用实验的方法“看到”电力线,但电力线并不是电场中实际存在的线,而是为了使电场形象化而假想的线。

应当指出,电场往往是充满整个空间的,是立体的,但在纸上只能画出它的一个平面图形。此外,图中也只能画少数几根电力线。实际上,电场中任何一点都可画一条电力线。

图2-6是点电荷的电力线,图2-7是两个等量电荷的电力线。从图中可看出,在离形成电场的电荷越近的地方,也就是场强越大的地方,电力线越密。所以,用电力线来表示电场时,场强越大的地方电力线越密,场强越小的地方电力线越稀。

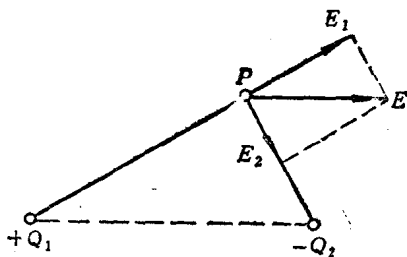


图2-5 点电荷电场的合电场

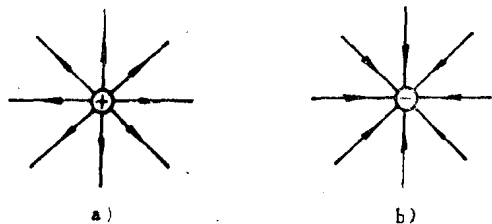


图2-6 点电荷的电力线

a) 正电荷 b) 负电荷

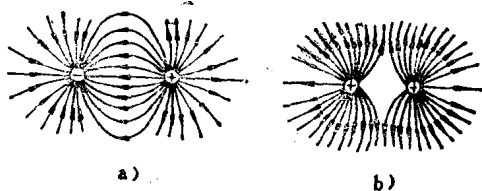


图2-7 两个等量电荷的电力线

a) 等量异种电荷 b) 等量同种电荷

根据电力线的含义和上面介绍的几种电场电力线的图形,可对电力线的性质作出四点结论:

1) 电力线是从正电荷出发(或来自无限远处),到负电荷终止(或伸向无限远处)。它不会在没有电荷的地方中断,也不会形成闭合曲线。

2) 因为在电场中,任一点处,只有一个电场强度的方向,所以任何两条电力线决不会相交。

3) 电力线的疏密是和电场强度的强弱相对应的,电力线越密的地方,场强也越强。

4) 电场是真实存在的,电力线却不是真实存在的,它是为了使电场形象化而假想出的一些曲线。

4. 均匀电场

在电场的某一区域里,如各点的电场强度的大小和方向都相同,则该区域的电场就叫做均匀电场。

在均匀电场中,由于各点场强的方向都相同,所以电力线是互相平行的直线,又由于各点场强的大小也相同,所以电力线疏密程度均匀。图2-8所示的是两块大小相等的平行金属

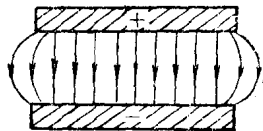


图2-8 均匀电场

板, 分别带等量的正负电荷, 当两板间的距离足够近时, 除边缘附近之外, 其余部分均为均匀电场。

五、电势和电势差

1. 电场中移动电荷的功

假设一个正检验电荷 q , 处在一个均匀电场 E 中, q 在此电场中所受到的电场力与 E 方向相同, 它的大小:

$$F = qE \quad (2-9)$$

如图2-9所示, P 点为检验电荷 q 的起始位置。当它顺着场强方向移动到 L 点时, 电场力所作的正功

$$W = F \cdot \overline{PL} = qE \cdot \overline{PL} \quad (2-10)$$

理论证明, 不管电荷 q 是沿着直线路径或折线路径, 还是沿任意曲线从 P 点移动到 L 点, 电场力所做的功总是等于 $qE \cdot \overline{PL}$ 。

因此, 当电荷在电场中移动时, 电场力的功与电荷的起始位置和终止位置有关, 而与电荷实际经过的路径无关。该结论不仅对均匀电场适用, 对于任何静电场也同样适用。这是电场的又一重要性质。

2. 电势能

移动物体时, 重力所做的功跟路径无关, 物体在重力场中具有重力势能。同样移动电荷时, 电场力所做的功跟路径无关, 电荷在电场中, 也具有势能, 这种势能叫做电势能。

在电场中移动电荷时, 如果电场力对电荷做正功, 电荷的电势能就减少; 如果电场力对电荷做负功, 电荷的电势能就增加。电荷的电势能的变化总等于电场力对电荷所做的功。

在电场中, 如果顺着电力线的方向移动正电荷, 电场力做正功, 正电荷的电势能减少; 如果顺着电力线的方向移动负电荷, 电场力做负功, 负电荷的电势能增加。反之, 逆着电力线的方向移动正电荷, 正电荷的电势能增加; 逆着电力线的方向移动负电荷, 负电荷的电势能减少。

和重力势能一样, 电荷在电场中某一位置的电势能只有相对的意义。只有选定了零电势能的位置之后, 才能确定电荷在其他位置的电势能。

应该指出, 电势能是电场和电荷共有的, 离开电场, 也就谈不到电荷的电势能, 不能理解为电荷单独具有电势能。

3. 电势和电势差

电荷在电场中某一点的电势能跟它的电量的比值是由电场的性质决定的, 跟移到该点的电荷无关。电场中这个比值越大的地方, 移到那里的单位正电荷的电势能越大。

在电场中某一点的电荷的电势能跟它的电量的比值, 叫做这一点的电势。

在国际单位制中, 电势的单位是伏特, 简称伏, 其符号为 V 。 $1V = 1J/C$

电势只有大小, 没有方向, 它是标量, 但有正负。

电势和电势能一样, 只有相对的意义, 没有绝对的意义。所谓某一点电势是多少, 是相对于所选择的零电势的位置而言的。根据电势的定义, 常选择无限远处为零电势的位置。在工程技术中常选择大地为零电势位置。

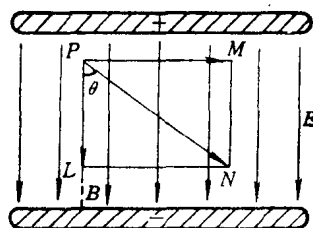


图2-9 电场力的功与
路径无关