

中等专业学校教材

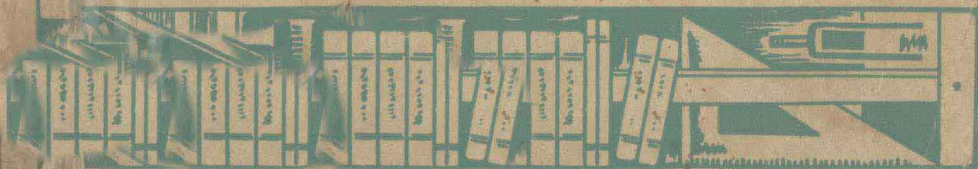
化工类各专业适用

电 工 学

賀 明 徐国和 周膺祜編

(1964 年修訂本)

人 民 教 育 出 版 社



中等专业学校教材



化工类各专业适用

电 工 学

賀 明 徐国和 周膺祜編

(1964年修訂本)

人 民 教 育 出 版 社

本书是在1961年出版的中等专业学校化工类专业用《电工学》的基础上，由北京化学工业学校贺明(主编)、兰州化学工业学校徐国和以及泸州化工专科学校周膺祐根据1963年修订的中等专业学校化工类各专业适用的《电工学教学大纲(修订草案)》修订的。全书分为十章，即直流电路，电磁，单相交流电路，三相交流电路，电工测量，直流电机，变压器，交流电机，电力拖动，工业电子学。与第一版比较，本书对一些次要内容作了较大的删减，对教学大纲所规定的基本内容则力图讲得比较细致清楚，以求学生能够学到手。为了适应中等专业学校学生的特点，本书文字叙述浅显易懂，推理论证深入浅出，并附有较多的例题和习题；此外，每章之后还附有基本内容提要 and 复习思考题，以便学生进行复习。

本书可以作为中等专业学校化工类各专业的电工学课程的教科书，也可供有关工程技术人员参考。

中等专业学校教材
化工类各专业适用
电 工 学
(1964年修订本)

贺 明 徐国和 周膺祐编

北京市书刊出版业营业许可证出字第2号

人民教育出版社出版(北京景山东街)

人 民 教 育 印 刷 厂 印 装

新华书店北京发行所发行

各 地 新 华 书 店 经 售

统一书号K15010·1090 开本 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张 10 $\frac{1}{16}$

字数 270,000 印数 52,001—57,000 定价(6) ¥1.10

1961年7月第1版 1964年8月第2版 1964年8月北京第3次印刷

第二版序

本书是依据 1963 年修訂的中等专业学校化工类各专业适用的《电工学教学大綱(修訂草案)》(以下簡稱新大綱)修訂的, 与初版比較, 本书作了較大的修改。

根据中等专业学校化工类各专业的教学計劃, 电工学是一門技术基础課程。在本課程的新大綱中进一步明确了課程的目的和要求, 并对課程內容的主次作了一些規定, 在教学法方面, 也提出了一些建議。在修訂过程中, 我們遵照新大綱关于貫徹“少而精、学到手”的精神, 首先, 注意了与物理学課程的銜接, 以便使学生对已学过的物理知識能够巩固和加深, 对新大綱所規定的基本內容能够切实学到手; 其次, 对許多超越本課程的目的和要求的內容, 則作了比較大的刪減, 例如, 复杂电路的計算、綫圈磁場的計算、諧振、非电量的电測法、自动控制用电机、仪表与电机的选择、高压电器、电子仪器, 等等。为了結合当前中等专业学校学生的特点, 在闡述基本內容时, 力求在不違背科学性的前提下, 尽可能做到循序漸进, 通俗易懂; 对某些重点和难点作了必要的反复讲解; 在每章后面附有基本內容提要 and 复习思考題, 以便学生复习。在处理非基本內容时, 力求簡明扼要并注意保持科学系統性。在例題与习題的安排上, 注意到加强基本练习, 由淺入深; 在所选的习題中有意識地安排了一些稍难的題目, 这些題目均标有“*”号, 可供成績較好的同学去做。由于我們經驗不足, 书中每章的基本內容提要、复习思考題和习題不一定都很恰当, 仅供使用时参考。

本书主要是根据中等专业学校化工工艺专业四年制新大綱 (120 学时) 修訂的, 同时也考虑到分析专业的需要而編入了一部分有关內容 (如工业电子学等部分的某些內容), 所以使用时应根据专业和年制的

不同,按新大綱的規定对教材內容加以選擇。至于化工机械专业,若有特殊需要(如在电机選擇方面)可作适当补充。

化学工业部教育司委托我們修訂这本教材,在这一重大而艰巨的任务面前,我們的政治思想和业务水平都显得很不足,修訂过程中往往感到力不从心,尤其是由于精减掉許多內容,在处理某些內容时就不得不作一些新的尝试。因此,本书难免有不少缺点和謬誤,衷心希望各校有关老师和同学給予指正。过去許多老师和同学对本书初版提出不少宝贵的意見,这对我們的修訂工作确有很大帮助,在此謹致謝意,并希望对本书繼續提出批評和建議。对本书的意見請寄北京化工学校或人民教育出版社高等学校教材編輯部。

本书承大連化学工业学校蔡小平同志审閱,并提出了許多宝贵意見,謹此致謝。

在編写过程中,齐齐哈尔化工学校張继祥、山东化工学院中专部何其盛两同志参加了集体討論,北京化工学校电工学教研組的同志們在对本书初稿試用的过程中,也提出了不少意見,在此謹向这些同志表示謝意。

編者

1964年2月

目 录

第二版序	vii
緒論	1
第一章 直流电路	3
1-1. 电場·电場的基本量	3
1-2. 导体和电介质	7
1-3. 电流	9
1-4. 电动势	11
1-5. 简单电路的概念	12
1-6. 欧姆定律·电阻	14
1-7. 电流的功和功率	20
1-8. 电能转换为热能·焦耳-楞次定律	23
1-9. 电阻的串联、并联和混联	28
1-10. 导线上的电压损失	32
基本内容提要	34
复习思考题	36
习题	37
第二章 电磁	42
2-1. 电流的磁場	42
2-2. 磁場对载流导体的作用	43
2-3. 磁感应和磁通量	44
2-4. 磁导率和磁場强度	46
2-5. 铁磁物质的磁化和反复磁化	48
2-6. 简单磁路的概念	50
2-7. 电磁感应	52
2-8. 涡流	59
2-9. 自感应	60
基本内容提要	63
复习思考题	65
习题	69
第三章 单相交流电路	72
3-1. 概述	72

3-2. 正弦电动势的产生	75
3-3. 相位和相位差	80
3-4. 正弦量的矢量图示法	83
3-5. 正弦量的相加和相减	85
3-6. 交流电的有效值	88
3-7. 纯电阻电路	91
3-8. 纯电感电路	94
3-9. 电阻与电感串联的交流电路	99
3-10. 纯电容电路	105
3-11. 具有电阻和电感的线圈与电容并联的电路	109
3-12. 提高功率因数的意义和方法	112
基本内容提要	114
复习思考题	116
习题	118
第四章 三相交流电路	122
4-1. 概述	122
4-2. 三相电动势的产生	122
4-3. 发电机绕组的连接	124
4-4. 负载的星形连接及中线的作用	127
4-5. 负载的三角形连接	132
4-6. 三相电功率	136
基本内容提要	138
复习思考题	140
习题	140
第五章 电工测量	143
5-1. 概述·电工测量仪表的分类	143
5-2. 磁电式仪表·直流电流和电压的测量	145
5-3. 电磁式仪表·交流电流和电压的测量	150
5-4. 电动式仪表·电功率的测量	152
5-5. 电阻和绝缘电阻的测量	157
5-6. 电桥	160
5-7. 电位计	162
基本内容提要	163
复习思考题	165
习题	165
第六章 直流电机	167
6-1. 概述	167

6-2. 直流电机的基本原理	167
6-3. 直流电机的基本构造	171
6-4. 直流发电机按激磁方法的分类	173
6-5. 并激直流发电机	175
6-6. 直流电动机	177
6-7. 并激直流电动机的起动、调速和反转	181
基本内容提要	182
复习思考题	184
习题	185
第七章 变压器	187
7-1. 概述·变压器的基本构造	187
7-2. 变压器的空载运行	189
7-3. 变压器的有载运行	192
7-4. 变压器的功率和效率	194
7-5. 三相变压器	195
7-6. 自耦变压器	196
7-7. 多绕组变压器	197
基本内容提要	198
复习思考题	199
习题	199
第八章 交流电机	201
8-1. 概述	201
8-2. 旋转磁场的产生	202
8-3. 三相感应电动机的基本构造	206
8-4. 感应电动机的运转原理	210
8-5. 转差率	211
8-6. 三相感应电动机的工作过程·转子各量与转差率的关系	212
8-7. 感应电动机的转矩和转矩特性	215
8-8. 感应电动机的起动	220
8-9. 感应电动机的调速和反转	224
8-10. 感应电动机的功率损失和效率	226
8-11. 三相感应电动机的铭牌和型号	227
8-12. 三相感应电动机的常见故障和维护	229
8-13. 单相感应电动机	231
8-14. 同步电动机	235
8-15. 反应式同步电动机	237
基本内容提要	238

复习思考题	241
习题	242
第九章 电力拖动	245
9-1. 概述	245
9-2. 电动机的温升和额定功率	246
9-3. 电动机运行方式的分类	248
9-4. 选择电动机的一般原则	249
9-5. 感应电动机的控制和保护	252
9-6. 磁力起动机	256
9-7. 鼠笼式感应电动机的接触控制	258
9-8. 鼠笼式感应电动机的自动控制	262
9-9. 化工厂的供电	265
9-10. 电工安全技术	266
基本内容提要	271
复习思考题	273
第十章 工业电子学	274
10-1. 概述	274
10-2. 电子发射	274
10-3. 二极管电子管	275
10-4. 整流电路·滤波器	279
10-5. 充气二极管	282
10-6. 固体整流元件	283
10-7. 汞弧整流器	287
10-8. 三极管电子管	291
10-9. 三极管电子管的参数	294
10-10. 三极管电子管放大器	296
10-11. 放大器的工作点选择及自给栅偏压	302
10-12. 耦合放大器·反馈	304
10-13. 电磁振荡	308
10-14. 电子管振荡器	310
10-15. 四极管和五极管	311
10-16. 调谐指示管	314
10-17. 稳压管	315
10-18. 光电管	317
10-19. 电导滴定仪	317
基本内容提要	319
复习思考题	322
习题	323

緒 論

1. 电能的应用和特点·电气化对我国社会主义建設的作用

在現代工业、农业、交通運輸业和通信、国防以及日常生活中,电能得到日益广泛的应用。

在工业生产中,普遍利用經濟的和使用方便的电动机来拖动各种生产机械。农业上所用的电力排灌机械和农副产品加工机械,运输部門的电車和电气機車,通信上的电话、电报、无綫电、电视,国防上用的雷达,以及日常生活中应用的电灯、电風扇、电熨斗,等等,都是电能应用的实例。此外,在工业生产的許多工艺过程中,也常应用电工技术,例如电焊、电冶炼、电解等。

电能之所以得到如此广泛的应用,是由于它具有下列几个重要的特点:

(1)轉換容易。电能可以很方便地由水能、热能、化学能、原子能等轉換而来,成为廉价的动力来源;同时电能又很容易轉換成我們所需要的其他各种形式的能量,例如机械能、热能、光能、化学能,等等,以应用于不同的場合。

(2)輸送經濟,分配方便。高压远距离輸电时,电能損失微小,效率很高,因而可以充分合理地利用各种动力資源。同时电能的分配也很方便,很容易分配到某一受电設備上,例如一台电动机或一盞电灯上。

(3)控制与測量迅速而准确。这是自动化生产不可缺少的条件。

(4)能以电磁波的形式在空中傳播。

电气化对我国社会主义建設具有重大的意义,它是生产过程自动化的前提,而实现生产过程自动化可以大大提高劳动生产率,改进产品质量,改善劳动条件和減輕劳动强度。电气化对促进我国文化事业的发展也起着重大作用。我国农村人民公社的出現和发展,为农村电气

化开辟了广阔的前途。解放后我国的电气事业和其他事业一样，在十分薄弱的基础上迅速成长壮大起来，尤其是在社会主义建设总路线的指引下，更取得了飞跃的发展。

2. 学习电工学的目的、任务和方法

电工学是把电磁现象应用到工程技术方面的科学。

电工学是一门技术基础课程，它的内容包括电工基础、电工测量、电机、电器、电力拖动以及工业电子学等。

电工学课程的目的和任务是：使学生在已有的物理知识的基础上，牢固地掌握主要的电工基础理论，为学习专业课程打下必要的基础，并使其具有正确使用与本专业有关的一般电气设备的基本知识和基本技能。

学习电工学与学习其他课程一样，需要有端正的学习态度和顽强的学习意志，同时还要善于掌握电工学的特点，进行刻苦钻研。只有在这基础上才能学好这门课程。电工学是一门理论性和系统性较强，而且和生产实际有密切联系的课程，因此在学习中应该注意以下几点：

(1)要牢固地掌握基础理论知识，必须循序渐进地、系统地学习。对抽象的概念要弄清它的物理意义。对复杂的电磁现象要进行全面的分析，找出现象之间的内在联系，抓住现象的本质，而不要孤立地片面地观察现象。在进行数学推导和计算时，要注意掌握进行推导的物理基础及分析所用的方法，而不要死记硬背公式。

(2)要把理论和实际紧密结合起来，要联系实际来思考理论问题。在学习电工技术的实际应用部分时，要做到知其然也知其所以然，要避免只注意实际而忽视理论。应该重视电工实验，要通过实验巩固所学的理论知识，培养科学态度，尊重客观实际，并学会一定的电工操作技能。

(3)通过习题课、习题作业、实验报告等，掌握必要的电工计算技能和熟悉分析电路的基本方法。

第一章 直流电路

1-1. 电場・电場的基本量

自然界所有物体都是由很多单元微粒組成的。这些微粒有电子、质子和中子。电子带負电荷，质子带正电荷，中子不带电荷。如果物体內正負电荷的数量相等，則物体呈现中性，也就是不带电。由于某种原因(例如摩擦、感应)而带較多的正电荷或負电荷的物体，称为带电体。

电荷既不能被創造，也不能被消灭，它們只能从一个物体上轉移到另一个物体上，或者在一个物体內移动。

电荷周围存在着电場，电場是物质的一种特殊形态。实验证明电場具有两种重要的物理性质：一是把带电体放到任一电場內，带电体都要受到电場力的作用；二是带电体在电場力的作用下移动时，电場便对它作了功，这表示电場具有能量。

电場对带电体的作用力 F 与带电体所带电荷的电量 Q 成正比，即

$$F \propto Q,$$

或

$$F = \mathcal{E} Q.$$

比例常数

$$\mathcal{E} = \frac{F}{Q} \quad (1-1)$$

称为带电体所在点的电場强度。电場强度是表示电場中每一給定点的力的特性的物理量，在数值上等于单位正电荷在該点所受到的电場力。如果电荷 Q 增大，則电荷所受的电場力 F 也将成正比地增加，所以电場强度的大小仅与該点的位置有关，而与受力电荷 Q 的大小无关(假定引入的电荷 Q 很小，不致影响电場的分布)。电場强度是矢量，其方向与正电荷在該点所受电場力的方向相同。在 MKSA 绝对实用单位制中，

电场强度的单位是牛/库。

例 1-1. 在电场内, 放置一正电荷 $Q=0.001$ 库。如果作用在这电荷上的电场力是 $F=50$ 牛, 试求电荷所在点的电场强度。

解:
$$E = \frac{F}{Q} = \frac{50}{0.001} = 50,000 \text{ 牛/库。}$$

电场强度可用电力线的图形来表示。电力线是由很多点连接起来的曲线, 曲线上每一点的切线方向, 与该点的电场强度的方向相同。因此, 电力线能表示出电场内各点的电场强度的方向。电力线是不闭合的, 它起始于带正电荷的物体而终止于带负电荷的物体。由于电场中的每一点上的电场强度的方向只有一个, 所以任何两条电力线是不会相交的。图 1-1 是表示孤立带电体周围电场的图形。

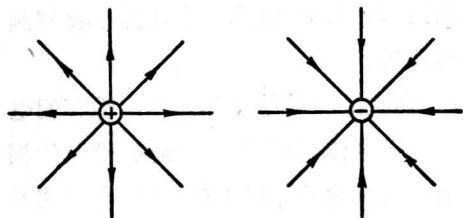


图 1-1. 带正电和带负电的球体周围的电场。

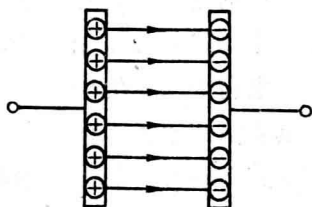


图 1-2. 两块平行板之间的电场。

如果令与电场强度矢量相垂直的单位面积上所穿过的电力线数目正比于该点电场强度的数值, 则电力线的密度就可以表示电场强度的大小。

如果在电场内所有各点的电场强度大小相等, 方向相同, 那么这样的电场就叫作匀强电场或均匀电场。两块带异号电荷的平行板之间的电场, 可认为是近似于均匀电场的; 均匀电场可以用一组等间隔的平行直线(电力线)表示, 如图 1-2 所示。

电场具有能量, 这表现为电场力可以移动电场中的电荷而作功。电场力作功与重力作功很相似, 都决定于位移起点和终点的位置, 而与位移途径无关。因此与物体在重力场中具有重力位能相似, 电荷置于电

場中一定位置时也具有一定的位能, 此位能称为电位能。电位能与重力位能一样, 也只有相对的意义。只有当我们选定了电荷在某一位置的电位能为零时, 电荷在其他位置的电位能才有确定的值。通常我們規定在无穷远处电荷的电位能为零。設正电荷 Q 在电場中 a 点受到斥力, 因而逐漸离开电場以至无限远。在这个过程中电場力作正功, 电荷的电位能逐漸减少, 到无限远处电荷的电位能便为零, 所以电場力所作的全部正功即等于电荷 Q 在电場內 a 点所具有的电位能。

正电荷 Q 在电場中 a 点所具有的电位能 W_a 与电荷的电量 Q 之比值称为 a 点的电位, 用 ϕ_a 表示, 即

$$\phi_a = \frac{W_a}{Q}. \quad (1-2)$$

电位是表示电場中給定点的能量特性的重要物理量, 在数值上等于单位正电荷在該点所具有的电位能。如电荷 Q 增加, 則它所具有的电位能也将成正比地增加, 所以电位仅与电場中給定点的位置有关, 而与正电荷 Q 的大小无关。因为电位能是沒有方向的物理量, 所以电位也是一个只有数值大小, 而沒有方向的物理量。通常把电位分为正电位与負电位。例如, 由正电荷所形成的电場內各点的电位被认为是正电位; 而由負电荷所形成的电場內各点的电位被认为是負电位。因此电位是代数量。

电場的另一个重要物理量是电压。电場力将正电荷 Q 从場內一点 a 移到另一点 b 所作之功 W_{ab} 与被移动的电荷的电量 Q 之比值, 称为 a, b 两点之間的电压, 用 U_{ab} 表示, 即

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q}. \quad (1-3)$$

电場中 a, b 两点間的电压与 a, b 两点的电位有密切关系。如 a 点电位为 ϕ_a , b 点电位为 ϕ_b , 則正电荷 Q 在 a 点具有电位能 $W_a = Q\phi_a$, 在 b 点具有电位能 $W_b = Q\phi_b$ 。正电荷 Q 在电場力作用下自 a 点移到 b

点, 电位能减少了, 减少的数值 $W_a - W_b$ 即等于电场力所作的功 W_{ab} , 所以

$$W_{ab} = W_a - W_b = Q\phi_a - Q\phi_b = Q(\phi_a - \phi_b).$$

将 W_{ab} 代入公式(1-3)中, 约去 Q , 即得

$$U_{ab} = \phi_a - \phi_b. \quad (1-4)$$

由此可得出結論: 电场中两点之间的电压等于两点的电位差。电压也是代数量。

电位与电压有重大区别, 因为电位能具有相对的意义, 所以电场中某一点的电位的数值与零电位的选择有关。理論上常規定距电场无穷远处电荷的电位能为零, 那么, 在该处电场的电位也就为零。在实际应用中, 为了方便起见, 我們常取地球的电位为零。如果选作零电位的点不同, 则电场中同一点的电位就具有不同的数值。但是电压只表示电场中两点的电位之差, 故与零电位的选择无关。

当电场中某点被选作零电位之后, 电场中每一点的电位只有一个数值, 这称为电位单值性原理。

在 MKSA 绝对实用单位制中, 功和能的单位都是焦耳, 简称焦; 电量的单位是庫倫, 简称庫。电压和电位的绝对实用单位是伏特, 简称伏, 用字母 V 表示。

$$1 \text{ 伏} = \frac{1 \text{ 焦}}{1 \text{ 庫}}.$$

电压的較大单位是千伏, $1 \text{ 千伏} = 10^3 \text{ 伏}$; 較小的单位是毫伏和微伏, $1 \text{ 毫伏} = 10^{-3} \text{ 伏}$, $1 \text{ 微伏} = 10^{-6} \text{ 伏}$ 。

电压是电工学中的一个重要物理量, 常用于各种計算之中, 例如用来求电场强度及电场力移动电荷时所作之功。

例 1-2. 在电场內移动电荷 $Q = 2 \times 10^{-4}$ 庫时, 电场所作的功 $W = 0.4$ 焦。試求电荷移动的起点和終点之间的电压。

解:
$$U = \frac{W}{Q} = \frac{0.4}{2 \times 10^{-4}} = 2,000 \text{ 伏}.$$

图 1-3 表示正电荷 Q 在均匀电场中受到电场力 F 的作用, 从 a 点沿电力线的方向移动到 b 点, a, b 两点间的距离是 l , 则电场力所作的功是 W , 即

$$W = Fl.$$

因为 $\mathcal{E} = \frac{F}{Q}$, 或 $F = \mathcal{E}Q$,

所以 $W = Fl = \mathcal{E}Ql$.

又因为 $W = UQ$,

所以 $UQ = \mathcal{E}Ql$,

结果有 $\mathcal{E} = \frac{U}{l}$. (1-5)

由此可见, 在均匀电场中, 电场强度等于沿电力线的两点之间的电压与这一段电力线长度的比值。

按公式(1-5), 如电压单位取伏, 长度单位取米, 则电场强度的实用单位是

$$[\mathcal{E}] = \frac{[U]}{[l]} = \frac{\text{伏}}{\text{米}}.$$

伏/米 与 牛/库 的关系是:

$$\frac{\text{牛}}{\text{库}} = \frac{\text{牛} \cdot \text{米}}{\text{库} \cdot \text{米}} = \frac{\text{焦}}{\text{库} \cdot \text{米}} = \frac{\text{伏}}{\text{米}}.$$

电场强度较大的实用单位是伏/厘米和千伏/厘米, $1 \text{ 伏/厘米} = 100 \text{ 伏/米}$, $1 \text{ 千伏/厘米} = 10^5 \text{ 伏/米}$ 。

例 1-3. 在电场强度是 5 千伏/厘米的均匀电场内, 求作用于电荷 0.01 库的电场力。

解: $F = \mathcal{E}Q = 5 \times 10^5 \text{ 伏/米} \times 0.01 \text{ 库} = 5 \times 10^3 \text{ 焦/米}$
 $= 5,000 \text{ 牛}.$

1-2. 导体和电介质

按照电荷能否在物体内部移动这种特性, 通常把物体分为导体和电

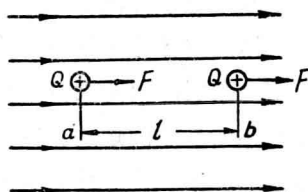


图 1-3. 在电场力作用下带电体的移动。

介质(絕緣体)两大类。

导体的特征是带电微粒(电子或离子)可以在它的内部自由移动。导体又可以分为两类:

第一类导体包括所有的金属和碳。它们的原子的外层电子与原子核結合較弱,因此大部分原子的外层电子就会离开原子核而在各原子之間作无規則的运动。这些可以在原子之間自由运动的电子,称为自由电子。第二类导体是电解质,包括酸、碱、盐的水溶液以及熔化了盐。在电解质內,一部分中性分子分解为正离子与負离子,这些正負离子能够在溶液(熔液)內自由移动。

电介质的特征是,其中絕大部分带电微粒均受到束縛,不能自由移动,单位体积內的自由电子或离子的数目极微小,可以忽略不計。气体、一部分液体(矿物油、漆)及除开金属和碳以外几乎所有的固体都是电介质。电介质可以用于电机、电器、电路中,将带电部分絕緣起来,以限制电流在規定的电路中流通;同时防止人体与带电部分接触而触电,起了保护的作用。

电介质如果承受了过高的电压,其内部的电場强度超过了某一限度,則电介质內原有的少量自由电子或离子受到电場力的加速,速度变大。中性分子或原子被这种加速后的自由电子或离子碰撞后便发生电离。这样电介质內的自由电子或离子数量就大大增加,因而失去了絕緣的特性。这种现象称为电介质的击穿。电介质被击穿所必需的最小的电場强度,称为这种电介质的击穿强度,用 $\mathcal{E}_{\text{击穿}}$ 表示;此时加于电介质的电压称为击穿电压。

实际应用中,电介质一般不容許在接近击穿强度的情况下使用,通常所容許使用的最大电場强度要比击穿强度小得多,这个容許使用的最大电場强度就称为容許电場强度。

真空和空气是很好的电介质,但空气的絕緣性能因受压力与湿度的影响而有很大的变化。