

[德]Dieter Kind原著

高电压试验技术

毛锡芝 史志侠 译
黄德祥 陈小泰
马大地 审校

Einführung
in die Hochspannungs-
versuchstechnik

上海科学技术文献出版社

[德] Dieter Kind 原著

高 电 压 试 验 技 术

毛锡芝	史志侠	
黄德祥	陈小秦	译
马大地	审校	

上海科学技术文献出版社

(沪)新登字 301 号

高电压试验技术

[德] Dieter Kind 原著

毛锡芝 史志侠 黄德祥 陈小秦 译

马大地 审校

*

上海科学技术文献出版社出版发行

(上海市武康路2号)

全国新华书店经销

上海科技文献出版社昆山联营厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印张 9 字数 217,000

1992年1月第1版 1992年1月第1次印刷

印数: 1—1,700

ISBN 7-80513-878-8/T·208

定价: 4.70 元

《科技新书目》253-262

符 号 说 明

- a 长度
- b 宽度、大气压、迁移率
- c 光速、长度
- d 直径、相对空气密度
- i 电流(瞬时值)、可变指数
- k 比例系数
- l 长度
- m 质量、自然数
- n 自然数,脉冲重复率,载流子密度
- p 压力,拉普拉斯算符
- q 电荷
- r 半径、距离
- s 放电距离、标准偏差
- t 时间
- u 电压(瞬时值)
- u 空载变比
- v 速度,变换系数
- w(t) 方波响应
- x 位置坐标
- z 位置坐标

- A 面积,常数
- B 磁感应,常数
- C 电容

O'	分布电容
D	介电位移, 直径
E	电场强度
F	力, 结构表面
$G(p)$	传输函数
I	电流(固定值)
$\bar{I}$	电流(算术平均值)
$\hat{I}$	电流(峰值)
K	常数
L	自感
L'	分布自感
M	互感
N	绕组匝数
P	功率, 概率
P'	功率密度
Q	电荷, 热量
R	电阻, 半径
S	电流密度, 电压陡度
T	周期, 时间常数, 响应时间
U	电压(固定值)
U_{eff}	电压(有效值)
$\bar{U}$	电压(算术平均值)
$\hat{U}$	电压(峰值)
W	能量
W'	能量密度
X	无功电阻
Y	视在导纳

Z 波阻抗, 视在电阻

α 电离系数, 缩写

β 角度

δ 损失角

$\tan\delta$ 介质损耗角正切

ϵ 介电常数, 接地系数

η 效率

θ 温度

κ 电导率

μ 导磁率

ν 循环变量

ρ 比电阻

σ 表面电荷密度

τ 传递时间

φ 电位

ω 角频率

Φ 磁通量

中文版前言

本书虽然是根据《Einführung in die Hochspannungsversuchstechnik》1982年德文第三版翻译而成,但本书对高电压技术领域的论述,仍然符合当今技术的发展。本书的最大特点是把高电压试验技术与高电压技术的各个领域联系起来,把理论知识融于试验技术中,作者用简明的语言论述了高电压技术的某一领域后,让学生进行有关的高电压试验,从而加深学生对理论的理解。类似这样的教科书,在高电压技术领域中实属首创,很值得在高电压技术领域从事教学,学习及从事有关技术工作的专业人员参考。

本书由毛锡芝(1)、史志侠(前言、目录、2、3.1、3.2、3.3、3.5)、黄德祥(3.5、3.6、3.7、3.8、3.9、3.10)、陈小秦(3.11、3.12及附录)翻译,马大地对全书作了审校。在本书的翻译出版过程中,得到了上海交通大学黄镜明教授等人以及中国电工技术学会电工测试技术专业委员会的帮助,在此,谨对他们的热情支持表示衷心的感谢。

另外,本书的翻译和出版还得到了原作者肯德教授和联邦德国互感器公司总裁劳巴赫先生的大力支持和帮助,在此一并表示感谢。

马大地

1990年4月于上海

前 言

高电压技术是电工学的一个分支，它的科学依据主要是物理学，并通过其应用和工业实践紧密联系在一起。它研究的对象是物理现象以及和高电压有关的工程技术问题。

对高电压技术而言，气体等离子体和液体、固体绝缘的特性具有根本意义。尽管对这方面的研究已经取得了很大进展，但是对这些介质中的物理现象的理论说明仍是很不全面的，因此，实验在这个领域内的科研工作中具有重要的地位。为了解决高电压技术教学和科研工作中的许多问题，试验技术是必不可少的。

本书就是根据上述观点而写成的，其主要读者是电机工程系的学生。本书向读者表明，试验是解决高电压技术问题的重要途径，阐述了试验站和试验室中所遇到的许多重要的实际问题，并提出了解决办法。因此，本书对从事高电压行业的工程师也是有帮助的。

在本书的叙述中，理论知识融于高电压试验的详尽说明中，这种叙述方法基于这样的前提，即读者应具备攻读工科大学电工技术专业第三学年的知识。

高电压技术的发展源于 20 世纪初，至今已形成了电工学的许多新分支，对于这些新分支，每个电机工程师都应具备一定的知识。这些发展必然促使人们重新思考电工学的一般科学原理，这对于由传统而形成的高电压技术的专业术语不可能没有影响。本书中尽可能采用统一并为其它专业的电气工程师容易理

解的符号。本书物理量的单位采用“SI”国际单位制。

30年前,我的前辈 E. h. Erwin Marx 教授已以他在国内外广为流传的著作《高电压实习》中讨论过本书所讨论的课题,当时最高输电电压为 220 kV,而今天,超过 1MV 这个界限已是指日可待了。在此期间,高电压技术的发展如此迅速,这一事实说明,重新研究这一问题确有必要。

本书是在布伦瑞克工业大学高电压技术研究所的教学活动中编写的,研究所的许多同事对本书的内容及所叙述的各项试验的设计和调试都做了许多工作,他们是 Uwe Brand 先生、Ulrich Braunsberger 先生、Harald Brumshagen 先生、Hagen Härtel 博士、Werner Kodoll 先生、Harro Luhrmann 先生、Manfred Naglik 先生、Gerald Newi 先生、Dirk Peier 先生、Jürgen Salge 博士、Jürgen Schirr 先生、Ludwig Schiweck 博士和 Manfred Weniger 先生,没有他们毫无保留的积极支持,本书是不可能写成的,在此笔者对他们表示衷心的感谢。另外,笔者还要感谢帮助打字的 Margrit Bödecker 女士和从事制图 Hans-Joachim Müller 先生。特别要感谢 Walter Steudle 先生,他以极大的精力承担了本书手稿繁重的校订工作,他认真负责的工作使本书获得了成功。

最后,还要感谢 Vieweg 出版社对笔者提出的许多特殊要求所表示的谅解和合作。

Dieter Kind

1971 年 11 月

于布伦瑞克

第三版前言

由于本书在高电压专业领域颇受关注,在1978年第二版出版后,如今又要出第三版,这说明将科学原理的说明与实践相结合的设想取得了良好的效果。

此次再版,笔者又作了一些修改,对此,读者的建议对笔者有很大帮助,希望未来的读者也能如此,因为只有这样,才能使本书和当今的高电压试验技术水平相适应。

另外,在出版本书的同时,《高电压绝缘技术》*一书也出版了,此书是H. Kärner教授与笔者一起撰写的,它适用于相同的读者范围,这两本书是互为补充的。

Dieter Kind

1981年7月

于布伦瑞克

* 原版书名为《Hochspannungsisolieretechnik》。

责任编辑：郭惠俊

ISBN 7-80513-878-8/T·208

科技新书目：253-262 定 价：4.70 元

目 录

符号说明	1
中文版前言	1
前言	1
第三版前言	3
1. 高电压试验技术的科学原理	1
1.1 交流高电压的产生和测量	1
1.1.1 交流高电压的特征参数	1
1.1.2 试验变压器的接线	2
1.1.3 试验变压器的结构	4
1.1.4 试验变压器的运行特性	6
1.1.5 用谐振电路产生高电压	8
1.1.6 用球隙测量峰值	8
1.1.7 用测量电容器测电压峰值	11
1.1.8 用电容分压器测电压峰值	13
1.1.9 用静电电压表测量有效值	14
1.1.10 用电压互感器测量交流高电压	16
1.2 直流高电压的产生和测量	17
1.2.1 直流高电压的特征值	17
1.2.2 高压整流器的特性	18
1.2.3 半波整流电路	19
1.2.4 倍压线路	21
1.2.5 静电发生器	25

1.2.6	用高压电阻测量	27
1.2.7	用静电电压表测量有效值	28
1.2.8	按发电机原理测量电压和场强	28
1.2.9	测量直流高电压的其它方法	31
1.2.10	脉动的测量	31
1.3	冲击电压的产生和测量	32
1.3.1	冲击电压的特征值	32
1.3.2	产生冲击电压的电容式回路	35
1.3.3	单级冲击电压回路的计算	38
1.3.4	产生冲击电压的其它方法	40
1.3.5	用球隙测量峰值	42
1.3.6	冲击电压分压器的线路和传输特性	44
1.3.7	用实验方式确定冲击电压测量回路的传 输特性	50
1.4	冲击电流的产生和测量	53
1.4.1	冲击电流的特征值	53
1.4.2	贮能器	54
1.4.3	产生冲击电流的放电回路	57
1.4.4	用测量电阻测量电流	61
1.4.5	利用感应效应测量电流	62
1.4.6	测量快速变化瞬态电流的其它方法	64
1.5	无损伤高电压试验方法	64
1.5.1	介质损耗	65
1.5.2	直流电压下传导电流的测量	66
1.5.3	交流电压下介质损耗因数的测量	67
1.5.4	交流电压下测量局部放电量	71
2.	高电压试验设备的结构和运行	81

2.1 试验设备的尺寸和技术装备	81
2.1.1 用于高电压实习的设备	81
2.1.2 高电压试验站	83
2.1.3 高电压试验室	87
2.1.4 大型试验设备的辅助装置	89
2.2 试验设备的隔离、接地和屏蔽	90
2.2.1 隔离	90
2.2.2 接地	91
2.2.3 屏蔽	94
2.3 高电压试验回路	95
2.3.1 供电和保护回路	96
2.3.2 高电压回路的结构	97
2.4 高电压回路的构件	101
2.4.1 高电压电阻	101
2.4.2 高电压电容器	103
2.4.3 间隙	104
2.4.4 高电压组合件	111
3. 高电压实习	115
3.1 交流电压试验	116
3.1.1 基本原理(保护装置—试验变压器—峰值测量— 有效值测量—球隙)	117
3.1.2 测试	117
3.1.3 数据处理	119
3.2 直流电压试验	120
3.2.1 基本原理(整流器特性—纹波系数—格勒纳贺倍 压线路—极性效应—绝缘屏障)	121
3.2.2 测试	124

3.2.3	数据处理	127
3.3	冲击电压试验	128
3.3.1	基本原理(雷电冲击电压—单级冲击电压线路— 用球隙测量峰值电压—击穿概率)	129
3.3.2	测试	131
3.3.3	数据处理	135
3.4	电场试验	135
3.4.1	基本原理(用图解法确定电场—模型测量—电流 场—高电压下的电场测量)	136
3.4.2	测试	142
3.4.3	数据处理	145
3.5	液态和固态绝缘介质的试验	145
3.5.1	基本原理(绝缘油和固态绝缘材料—电导率测 量—损耗因数测量—纤维小桥击穿—热击穿— 击穿试验)	146
3.5.2	测试	152
3.5.3	数据处理	156
3.6	局部放电试验	156
3.6.1	基本原理(外部局部放电(电晕)—内部局部放 电—滑闪放电)	157
3.6.2	测试	165
3.6.3	数据处理	168
3.7	气体击穿试验	169
3.7.1	基本原理(汤姆逊机理—通道机理—绝缘气体)	169
3.7.2	测试	174
3.7.3	数据处理	178

3.8 冲击电压测量技术试验	179
3.8.1 基本原理(马克斯多级线路—冲击电压分压器— 冲击特性曲线)	180
3.8.2 测试	183
3.8.3 数据处理	188
3.9 变压器试验	189
3.9.1 基本原理(高电压试验规程—绝缘配合—绝缘油 的击穿试验—变压器的交流电压试验—变压器 的雷电冲击电压试验)	190
3.9.2 测试	194
3.9.3 数据处理	198
3.10 内过电压试验	198
3.10.1 基本原理(中点偏移—接地系数—磁化特性— 张弛振荡—次谐波振荡)	199
3.10.2 测试	202
3.10.3 数据处理	212
3.11 行波试验	212
3.11.1 基本原理(雷电过电压—操作过电压—避雷器— 保护范围—绕组中的波过程—冲击电压分 布)	213
3.11.2 测试	220
3.11.3 数据处理	224
3.12 冲击电流和电弧试验	226
3.12.1 基本原理(具有电容器储能的放电回路—磁场 中力的作用—交流电弧—熄弧)	226
3.12.2 测试	231
3.12.3 数据处理	237

附录 1	高电压试验的安全规程	238
附录 2	串级变压器短路阻抗的计算	242
附录 3	单级冲击电压回路的计算	244
附录 4	平面导体阻抗值的计算	246
附录 5	测量结果的统计处理	251
参考文献		259