

• 修订版 •

绝缘试验方法 手 册

〔日〕电气学会 绝缘试验方法手册

修订委员会编

陈琴生 译

水利电力出版社

绝缘试验方法手册

修 订 版

〔日〕电气学会 绝缘试验方法手册修订委员会编

陈琴生 译

水利电力出版社

高电压試験ハンドブック
電気学会 絶縁試験法ハンドブック改訂委員会編
電気学会 昭和58年3月

絶縁試験方法手冊

(修訂版)

【日】電気学会 絶縁試験方法手冊修訂委員会編

陈 琴 生 译

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路8号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 22.25印张 486千字 1插页

1981年8月第一版

1987年7月第二版 1987年7月北京第二次印刷

印数8611—15230册 定价5.20元

书号 15143·6157

译者前言

原《绝缘试验方法手册》自81年10月出版后，颇得从事高压绝缘试验工作的专业人员的好评，要求重新再版。

原《绝缘试验方法手册》是日本试验电压标准特别委员会绝缘试验法小委员会在总结了日本六十年代的高压绝缘测试技术方面的经验，于71年出版的，它代表了日本当时的技术水平。时隔10年，随着UHV输电的实现，高压绝缘测试技术也有了迅速的提高，为了反映目前日本的先进水平，有必要对原《绝缘试验方法手册》进行修订。为此，日本在83年3月出版了修订本，修订后的新版易名为《高压试验手册》，为使我国广大读者对前后两书有一脉相承之感，故仍沿用原书名《绝缘试验方法手册》，只在其后缀以（修订版）以示区别。

（修订版）在章节排列上只将原版第四章与第五章顺序作了颠倒，但在内容上约作了50%的更新，特别在第二章试验电压的发生，第三章试验电压的测量及第五章绝缘特性试验中，补充了诸如计算机的应用、测量装置的自动化、放电现象研究及高压电气环境测量等新内容，在书后新增加高压试验室设计做为附录，突出了高压测试技术的整体性、系统性。

（修订版）的原书是清华大学朱德恒老师自日本带回才得以译出，谨在此表示衷心的感谢。并对审阅本书的王文端同志致以深切的谢意。

最后，限于译者的外语及专业水平，错误之处在所难免，敬请广大读者给以批评指正。

1985.10.

序 言

电力正日益深入到工业生产、通讯、交通运输及人民生活等所有领域中去。倘若一旦发生停电事故，就将会对社会的各种活动带来严重的影响，所以，提高供电的可靠性是电力技术上最重要的课题。电力系统中所发生的事故尽管有各种各样的原因，但是其中主要原因之一，就是绝缘的事故。

在电力系统中，虽然会发生像雷电及操作冲击等各种异常电压，但是利用回路结构和保护装置，是可将其幅值限制在一定的数值以内。进行高压试验的目的，就在于防止组成系统的各种供用电设备发生绝缘事故。通过高压试验，可确认这些设备不仅在额定电压下，而且在上述异常电压下，经过多年的运行都能保证具有所规定的性能。另外，高压试验作为设备在制造过程中的绝缘性能管理的试验，运行中的绝缘维护管理试验，或者作为了解系统及供用电设备的绝缘特性，以便有助于绝缘设计和绝缘配合，另外也可作为研究开发的试验。

供用电设备因绝缘结构、绝缘材料及使用条件等差异而各不相同，所以，要根据被试物的种类，进行相应的高压试验。同时，为了取得可靠的试验结果，要尽量采用正确的试验技术，这一点是非常重要的。

为了提高和普及日本的高压试验技术，试验电压标准特别委员会绝缘试验法小委员会在1971年出版了《绝缘试验方法手册》一书，十几年来，该书已作为电力技术人员，特别

是从事高压试验的人员必备的手册，起到了应有的作用。

然而，面临最近将要实现的特高压输电（UHV），高压试验的重要性日益增大，国内外正在积极开展对新的试验技术的调查研究，在高压试验范围内的技术进步是非常显著的。

面对这样的现实，认为有必要将最近的先进技术收入到以前出版的《绝缘试验方法手册》中去，进行全面的修订。所以，在1980年12月组成了绝缘试验方法手册的修订委员会。

本修订委员会根据高电压技术委员会及绝缘试验法标准特别委员会的调查结果，全面地进行了修订工作，出版了这本《高电压试验手册》（即本书——译者）。本书系统地详述了最新的高电压发生方法，测量方法，试验方法及与此有关的标准等内容，同时也叙述了以前的绝缘试验中所没有包括的部分，例如，适用于这个范围的计算机应用，自动化，放电现象及高压电气环境测量等各方面内容。本书主要面向从事高压试验工作的有关人员，另外，对于电力设备运行维护的电力技术人员，可作为现场必备的参考书，或者对于研究人员及研究生院、大专院校的学生作为参考书，我们认为也是合适的。

最后，我们希望本书在日本的高压试验技术发展中及提高电力系统的绝缘可靠性上，作出贡献。

委员长 原田建哉

1983年3月

目 录

译者前言

序 言

第一章 高压绝缘试验的目的和意义..... 1

1-1 绪言..... 1

1-2 绝缘强度试验的种类和意义..... 3

1-2-1 交流电压试验..... 4

(1)短时间交流耐压试验..... 5

(2)长时间交流耐压试验..... 6

(3)喷水状态下交流耐压试验..... 7

(4)交流破坏电压试验..... 7

(5)人工盐尘污秽交流电压试验..... 8

1-2-2 雷电冲击电压试验..... 9

1-2-3 操作冲击电压试验..... 11

1-2-4 直流电压试验..... 13

1-3 绝缘特性试验的目的和意义..... 15

1-3-1 直流绝缘特性试验及绝缘电阻试验..... 16

1-3-2 介质损失角正切试验..... 17

1-3-3 交流电流试验..... 18

1-3-4 局部放电试验..... 18

(1)验证无局部放电的试验电压..... 19

(2)测量局部放电起始电压及熄灭电压..... 19

(3)测量局部放电的大小..... 20

1-4 和高压绝缘试验有关的标准..... 21

1-4-1 电气学会电气标准调查会的标准 (JEC)	21
1-4-2 国际电工委员会标准 (IEC)	23
第二章 试验电压的发生	25
2-1 交流高压的发生	25
2-1-1 试验变压器	26
(1) 结构	26
(2) 回路条件	28
(3) 额定值的确定	30
(4) 谐振现象	32
(5) 外部局部放电(电晕放电)的抑制	32
2-1-2 试验变压器的电源	34
(1) 电压控制方法	34
(2) 改善电压波形的方法	35
2-1-3 使用串联谐振产生交流高压	35
2-1-4 超低频电压发生装置	37
2-1-5 高频电压的发生	39
2-2 直流电压的发生	40
2-2-1 用于绝缘试验的直流高压	40
2-2-2 直流高压的发生	41
(1) 直流高压的发生方法	41
(2) 整流器	43
(3) 整流回路	47
2-2-3 直流高压发生的原理和实例	48
(1) 基本回路	48
(2) 倍压整流回路	51
(3) 多级整流回路	57
(4) 华·狄·古拉夫式直流高压发生装置	69
2-2-4 污秽试验用的直流高压发生装置	72
(1) 滤波电容器的容量和污秽耐压之间的关系	74
(2) 可控硅控制方式	76

(3) 试验设备实例	78
2-3 雷电冲击电压的发生	80
2-3-1 有关雷电冲击电压的定义	80
2-3-2 波形的表示, 标准雷电冲击电压	85
2-3-3 发生雷电冲击电压的基本回路	86
2-3-4 多级冲击电压发生器	88
2-3-5 冲击电压发生器的回路元件	93
(1) 直流发生装置	93
(2) 充电电容器	93
(3) 充电电阻	93
(4) 阻尼电阻	94
(5) 调整波头用的电容和电感	95
(6) 火花击穿间隙	96
(7) 起动间隙	97
(8) 起动脉冲发生回路	100
2-3-6 火花击穿特性及其改善	100
2-3-7 冲击电压发生器的自动化	104
2-3-8 发生电压波形的调整	105
(1) 波头长, 波尾长和回路参数之间的关系	106
(2) 已知发生波形, 决定回路参数	110
(3) 已知回路参数, 决定发生波形	113
(4) 计算举例	116
2-3-9 陡波雷电冲击电压的发生	121
(1) 采用冲击电压发生器的方法	121
(2) 使用发生陡波雷电冲击电压的空气间隙的方法	122
(3) 控制放电时间的陡波雷电冲击电压发生回路	124
(4) 采用高压气体间隙的发生方法	125
(5) 直线上升波头截波电压的发生	126
(6) 陡波雷电冲击电压发生器实例	127
2-3-10 截波电压的发生	128

(1) 截断回路	129
(2) 截断时间	131
(3) 多级截断间隙	137
(4) 直流重叠式截断间隙	140
(5) 截断间隙的实例	143
2-3-11 冲击电压发生器的实例	144
2-4 操作冲击电压的发生	147
2-4-1 操作冲击电压的定义	147
2-4-2 波形的表示, 标准操作冲击电压	148
(1) 波形的表示	148
(2) 标准操作冲击电压	149
(3) 波形, 波峰值的裕度	149
2-4-3 由冲击电压发生器产生操作冲击电压	150
(1) 非振荡性操作冲击电压的产生	150
(2) 已知回路参数, 决定发生波形	155
(3) 振荡性操作冲击电压的产生	158
2-4-4 由试验变压器产生操作冲击电压	159
(1) 由交流电压励磁的方法	159
(2) 由遮断直流电流的方法	161
(3) 由电容器放电的方法	161
2-4-5 变压器的操作冲击试验电压的产生	165
2-5 冲击电流的发生	176
2-5-1 冲击电流的定义	177
2-5-2 波形的表示, 标准冲击电流	178
2-5-3 发生冲击电流的基本回路	179
2-5-4 发生电流的波形, 波峰值的调整	181
(1) 杂散电感和剩余电阻的测定	181
(2) 已知波形及波峰值, 决定回路参数及充电电压	182
(3) 已知回路参数及充电电压, 决定发生波形及波峰值	184
(4) 计算例	184

(5) 方波冲击电流的发生波形及波峰值的决定	187
2-5-5 冲击电流发生器的实例	188
2-5-6 各种冲击大电流的发生	189
第三章 试验电压的测量	195
3-1 交流电压的测量	195
3-1-1 交流电压的测量精度	195
3-1-2 使用球隙进行测量	196
(1) 电压测量范围	196
(2) 标准球隙	196
(3) 球的状态	199
(4) 标准球隙的放电电压	199
(5) 大气状态下 50% 放电电压的修正	203
(6) 预放电	203
(7) 放电校正	206
(8) 试验电压的施加	206
(9) 保护电阻	207
(10) 影响球隙测量交流电压精度的主要因素	207
3-1-3 使用高压电容器的测量方法	210
(1) 使用高压电容器的测量方法的种类	210
(2) 使用电容分压器的测量方法	210
(3) 由电容器充电电流来测量的方法	211
(4) 测量元件	212
(5) 使用高压电容器测量时的注意事项	213
3-1-4 使用电压互感器的测量方法	214
3-1-5 其它的测量方法	215
(1) 把试验变压器当作电压互感器来使用的方法	215
(2) 按照试验变压器的一次侧或仅用测量线圈的电压来推算高压的方法	215
(3) 用高压大电阻的测量方法	216
(4) 用静电电压表的测量方法	216

3-2 直流电压的测量	216
3-2-1 直流电压的测量精度	216
3-2-2 使用球隙的测量方法	217
3-2-3 使用分压器的测量方法	218
3-2-4 用高电阻作为倍率器的测量方法	219
3-2-5 用静电电压表的测量方法	219
3-2-6 用旋转式电压表的测量方法	221
3-2-7 脉动大小的测量	223
(1) 用分压器和示波器测量	223
(2) 经过滤波器测量	223
(3) 将高压电容器的充电电流进行整流的测量方法	223
(4) 使用旋转式电压表的测量方法	223
3-2-8 利用物理现象来测量直流高压	223
3-2-9 其它的测量方法	224
3-3 冲击电压的测量	224
3-3-1 冲击电压的测量精度	225
3-3-2 使用球隙的测量	227
(1) 电压测量范围	227
(2) 标准球隙	227
(3) 标准球隙的放电电压	227
(4) 有关50%放电电压的大气状态的修正	234
(5) 预放电	234
(6) 冲击电压试验时测量电压的方法	235
3-3-3 利用阴极射线示波器的测量方法	236
(1) 冲击电压测量系统	237
(2) 分压器的种类	238
(3) 分压器的响应特性	240
(4) 分压器的频率特性	255
(5) 阴极射线示波器	260
(6) 测量电缆	263

(7)分压器和测量电缆及示波器的连接回路	266
(8)包括分压器和连接线在内的测量回路的响应特性	272
(9)分压回路的性能	276
(10)冲击电压测量系统特性的决定	286
(11)示波图的读数误差	297
(12)测量冲击电压的分压器	298
3-3-4 使用峰值电压表的测量方法	312
(1)旧型测量冲击电压用峰值电压表	313
(2)最近实际使用的峰值电压表	314
(3)使用时注意事项	315
3-3-5 在冲击电压测量时的干扰消除	316
(1)干扰源	317
(2)基本测量回路	319
3-4 冲击电流的测量	323
3-4-1 由分流器和示波器组成的测量方法	323
(1)冲击电流测量回路	324
(2)分流器	325
(3)冲击电流测量系统的组成和电流比	329
(4)冲击电流测量系统的响应特性	329
(5)冲击电流测量系统的特性	331
(6)冲击电流测量系统的校正方法	331
3-4-2 其它的冲击电流测量方法	334
(1)高频变压器	334
(2)罗柯夫斯基线圈	336
(3)磁钢片	337
(4)戴伊诺图解仪	337
3-5 利用光电子学的高压测量	338
3-5-1 利用光电子学的高压测量	338
3-5-2 适用于高压测量的方式	339
3-5-3 适用例	341

(1) 光学式分压器	341
(2) 测量分阻电压使用的光耦合器	342
(3) 在高电位点的电流测量	344
(4) 光变流器	345
(5) 场强计, 电压表	346
3-6 计算机在高压试验中的应用	348
3-6-1 应用计算机的必要性	348
3-6-2 冲击试验的自动化	349
(1) 冲击电压发生的自动化	350
(2) 50% 放电试验	352
(3) $V-t$ 特性试验	353
(4) 数据的收集和处理	355
(5) 在自动化系统中干扰的消除	355
3-6-3 局部放电检测中的计算机应用	355
3-6-4 关于污秽绝缘子检测中的计算机应用	357
3-7 电场的测量	358
3-7-1 旋转型场强测量器	358
3-7-2 探测器	359
3-7-3 分割电极	360
3-8 放电现象的测量	362
3-8-1 空间电荷分布的测量	362
3-8-2 放电的光学测量	364
(1) 李廷博图	364
(2) 高速摄影机	365
(3) 光电倍增管	365
(4) 变像管摄影机	365
(5) 影像增强仪	367
3-9 输电线的电气环境测量	368
3-9-1 静电感应	368
(1) 电场测量	368

(2) 感应电压及电流的测量	368
(3) 其它方面的测量	369
3-9-2 无线电干扰	369
(1) 无线电干扰电场强度的测量	370
(2) 无线电干扰电压的测量	370
3-9-3 电晕噪音	371
3-9-4 离子流带电	374
3-9-5 电晕损耗	376

第四章 绝缘强度试验.....378

4-1 一般事项.....378

4-1-1 绝缘强度试验的种类.....378

4-1-2 试验条件.....379

(1) 被试物的布置

(2) 关于大气状态的修正

(3) 喷水条件

(4) 人工污秽试验条件

4-2 交流电压试验.....388

4-2-1 一般事项.....388

(1) 交流电压

(2) 加压方法

4-2-2 交流电压试验方法.....389

(1) 干燥(状态下)交流耐压试验

(2) 长时间交流耐压试验

(3) 喷水交流耐压试验

(4) 交流破坏电压试验

(5) 人工污秽试验

(6) 带电冲洗试验

(7) 结露试验

(8) 感应试验

4-2-3 试验举例.....416

(1)一般的旋转电机	416
(2)变压器	419
(3)电容式电压互感器	419
(4)仪用互感器	421
(5)交流断路器	422
(6)隔离开关	424
(7)避雷器	426
(8)套管	430
(9)电缆	433
(10)绝缘油	433
(11)绝缘子	435
(12)一般的电气绝缘材料	436
4-3 直流电压试验	437
4-3-1 一般事项	438
(1)直流电压	438
(2)加压方法	438
4-3-2 直流电压试验方法	439
(1)直流耐压试验	439
(2)长时间直流耐压试验	440
(3)喷水直流耐压试验	440
(4)直流击穿电压试验	440
(5)人工污秽直流电压试验	442
4-3-3 实行直流电压绝缘试验示例	442
(1)电缆	442
(2)电容器	444
(3)绝缘子	447
4-4 雷电冲击电压试验	449
4-4-1 雷电冲击耐压试验	449
4-4-2 50%放电电压试验	450
(1)升降法	450
(2)内插法	454

4-4-3	雷电冲击电压击穿试验	455
4-4-4	电压时间曲线试验	455
4-4-5	试验例	455
(1)	旋转电机	457
(2)	静止感应设备	462
(3)	套管	477
(4)	断路器, 隔离开关	478
(5)	避雷器	479
(6)	电缆	487
(7)	绝缘子	491
(8)	密封型开关装置	492
4-5	操作冲击电压试验	492
4-5-1	操作冲击耐压试验	493
4-5-2	50%放电试验	493
4-5-3	操作冲击电压击穿试验	493
4-5-4	操作冲击电压时间曲线试验	494
4-5-5	操作冲击电压波头长曲线试验	494
4-5-6	外绝缘的操作冲击电压试验	494
(1)	试验方法	495
(2)	试验例	497
4-5-7	内绝缘的操作冲击电压试验	501
(1)	试验波形	501
(2)	试验次数及故障判断	501
(3)	操作冲击电压的试验回路	502
(4)	第一半波持续时间的决定方法	505
(5)	试验实例	506
第五章 绝缘特性试验		509
5-1	直流试验	510
5-1-1	直流绝缘特性的种类	510
(1)	电流-时间特性	510