

电力设备预防性

试验技术问答

陈化钢 编著



中国水利水电出版社

目 录

前 言

第一章 电气绝缘理论基础

1. 电介质在电场作用下的电气性能用哪些参数来表征?	1
2. 汤逊理论是如何描述均匀电场中火花放电的基本物理过程的?	1
3. 流注理论是如何描述均匀电场中火花放电的基本物理过程的?	2
4. 什么叫极性效应? 为什么要研究极性效应?	3
5. 湿度增加对气体间隙和沿面闪络电压的影响是否相同? 为什么?	3
6. 什么是标准大气条件? 空气密度和湿度的校正因数是什么?	3
7. 放电、击穿与闪络三个术语的含义是什么?	3
8. 游离与局部放电两个术语的含义是什么?	4
9. 劣化与老化的含义是什么?	5
10. 屏障和屏蔽是否相同? 为什么?	5
11. 什么是“小桥理论”? 它是如何描述变压器油的火花放电过程的?	7
12. 固体绝缘与变压器油联合使用的基本形式有哪些? 效果如何?	7
13. 绝缘油中水分来源于何处? 又以何种形态存在?	9
14. 微量水分对绝缘油特性有哪些影响?	9
15. 某双层介质中的相对介电常数、电导和电场强度分别为 ϵ_1 、 ϵ_2 、 g_1 、 g_2 、 E_1 、 E_2 , 当加上电压以后试证明: $E_1/E_2 = \epsilon_2/\epsilon_1$, 并用这个公式说明绝缘材料中含有气泡的危害性, 以及受潮后的情况。	10

第二章 电力设备预防性试验

第一节 总论	12
16. 什么是电力设备预防性试验?	12
17. 电力设备预防性试验方法和项目有哪些?	12
18. 各种预防性试验方法发现电力设备绝缘缺陷的效果如何?	13
19. 在电力设备预防性试验中,为什么要在进行多个项目试验后进行综合分析判断?	14
20. 什么是电力设备预防性试验结果的综合分析和判断?其原则是什么?	14
21. 电力设备某一项预防性试验结果不合格,是否允许该设备投入运行?	15
22. 常规停电预防性试验有哪些不足?	15
23. 为什么电力设备绝缘带电测试要比停电预防性试验更能提高检测的有效性?	16
24. 当前电力设备预防性试验应当研究什么?	16
25. 为什么要研究不拆高压引线进行预防性试验?当前应解决什么难题?	17
26. 进行电力设备预防性试验时应记录何处的温度作为试验温度?	18
27. 为什么《规程》中对有些试验项目的“要求值”采用“自行规定”或“不作规定”的字样?	18
28. 为什么《规程》中的有些试验项目只在“必要时”才做?	20
29. 为什么《规程》规定预防性试验应在天气良好、且被试物及周围环境温度不低于+5℃的条件下进行?	22
30. 为什么《规程》规定电力设备预防性试验应在空气相对湿度80%以下进行?	23
31. 为什么《规程》规定的预防性试验项目对检出耦合电容器缺陷的效果不够理想?	24
32. 交联聚乙烯电缆在线监测的方法有哪些?	25
33. 大型发电机在线监测的目的是什么?它包括哪些内容?	25
34. 目前我国变电所一次电力设备绝缘在线监测系统的主要监测对象和功能是什么?	25
35. 什么是专家系统?它由哪些部分组成?	26
36. 电力设备预防性试验记录通常应包括哪些内容?	27
37. 如何填写电力设备预防性试验报告?	27
第二节 测量绝缘电阻	27
38. 为什么要测量电力设备的绝缘电阻?	27
39. 兆欧表分为几类?	27
40. 兆欧表容量指标的定义方法有哪些?	28

41. 为什么兆欧表采用比率表结构?	28
42. 为什么测量电力设备的绝缘电阻时要记录测量时的温度?	29
43. 为什么兆欧表的额定电压要与被测电力设备的工作电压相适应?	29
44. 测量 10/0.4kV 变压器低压侧绕组绝缘电阻时, 是否可用 1000V 兆欧表?	29
45. 有些高压兆欧表(如额定电压为 2500V、量程为 10000M Ω)为什么在 表壳玻璃上有段铜导线?	29
46. 用表面无屏蔽措施的兆欧表摇测绝缘电阻时, 在摇测过程中, 为什么 不能用布或手擦拭表面玻璃?	29
47. 用兆欧表测量绝缘电阻时, 摇 10min 的测量结果准, 还是摇 1min 的 测量结果准?	29
48. 为什么用兆欧表测量并联电容器、电力电缆等电容性试品的绝缘电阻 时, 表针会左右摆动? 应如何解决?	30
49. 为什么兆欧表的 L 和 E 端子的接线不能对调?	30
50. 为什么被试品的屏蔽环装设位置应靠近其接地端?	31
51. 为什么兆欧表与被试品间的连线不能绞接或拖地?	33
52. 采用兆欧表测量时, 外界电磁场干扰引起误差的原因是什么? 如何 消除?	34
53. 为什么用兆欧表测量大容量绝缘良好设备的绝缘电阻时, 其数值愈来 愈高?	35
54. 使用兆欧表测量电容性电力设备的绝缘电阻时, 在取得稳定读数后, 为什么要先取下测量线, 再停止摇动摇把?	36
55. 为什么要在变压器充油循环后静置一段时间再测其绝缘电阻?	36
56. 变压器油纸的含水量对绝缘电阻有什么影响?	37
57. 测量变压器绝缘电阻时, 温度增加, 绝缘电阻下降, 为什么当温度降 到低于“露点”温度时, 绝缘电阻也降低?	37
58. 为什么要测量电力设备的吸收比?	37
59. 在《规程》中规定吸收比和极化指数不进行温度换算, 为什么?	38
60. 测量变压器绝缘电阻或吸收比时, 为什么要规定对绕组的测量顺序?	38
61. 绝缘电阻低的变压器的吸收比要比绝缘电阻高的变压器的吸收比 低吗?	38
62. 为什么变压器的绝缘电阻和吸收比反映绝缘缺陷有不确定性?	39
63. 变压器绝缘的吸收比随温度变化的特点是什么? 是否可用它来判断 绝缘优劣?	40
64. 当前在变压器吸收比的测量中遇到的矛盾是什么? 它有哪些特点?	41
65. 为什么要测量电容型试品(如电容型套管和电流互感器)末屏对地的 绝缘电阻?	42
66. 在《规程》中, 对电力电缆的绝缘电阻值为什么采用“自行规定”	

的提法?	42
67. 电缆厂在测试报告中给出某电缆 20℃ 时每千米的绝缘电阻值, 试问现有该电缆 500m, 其绝缘电阻应为多少才算合格?	42
68. 测量电力电缆的绝缘电阻和泄漏电流时, 能否用记录的气温作为温度换算的依据?	43
69. 不拆引线, 如何测量 220kV 阀式避雷器的绝缘电阻?	44
70. 通水时, 测量水内冷发电机定子绕组对地绝缘电阻, 为什么必须使用水内冷电机绝缘测试仪而不用普通的兆欧表?	45
71. 有载调压分接开关支架绝缘对变压器整体绝缘电阻有什么影响?	45
72. 如何测量电容式电压互感器 (CVT) 的分压电容器的绝缘电阻?	46
73. 如何确定橡塑电缆内衬层和外护套是否进水?	46
第三节 测量泄漏电流与直流耐压试验	47
74. 为什么要测量电力设备的泄漏电流?	47
75. 在电力设备预防性试验中, 产生直流高电压的基本回路有哪些?	47
76. 在电力设备预防性试验中, 测量直流试验电压的主要方法有哪些?	48
77. 采用高值电阻和直流电流表串联的方法测量直流高压时有什么要求?	50
78. 校核直流试验电压测量系统的方法有哪些?	50
79. 直流试验电压测量系统误差的可能来源有哪些? 用什么方法减小或消除?	51
80. 在直流高压试验中, 脉动因数如何计算? 其允许值是多少?	53
81. 测定直流试验电压脉动因数的方法有哪些?	53
82. 在直流高压试验中, 如何选择保护电阻器?	54
83. 直流耐压试验后, 如何进行放电?	55
84. 图 2-29 为泄漏电流试验中的短路开关和微安表的接线, 按图 2-29(b) 接线容易烧坏微安表, 为什么?	55
85. 在电力设备额定电压下测出的泄漏电流换算成绝缘电阻时, 与兆欧表测量的数值较相近, 但当高出额定电压较多时, 就往往不一致了, 为什么?	56
86. 当电力设备做直流泄漏电流试验时, 若以半波整流获得直流电压, 如不加滤波电容, 而分别用球隙、静电电压表和永磁式电压表进行测量, 测得的数值是否相同? 为什么?	56
87. 在分析泄漏电流测量结果时, 应考虑哪些可能影响测量结果的外界因素?	56
88. 为什么纸绝缘电力电缆不采用交流耐压试验, 而只采用直流耐压试验?	56
89. 为什么交联聚乙烯电缆不宜采用直流高电压进行耐压试验?	57
90. 为什么对自容式充油电缆的主绝缘在投运后一般不做直流耐压试验?	58
91. 为什么纸绝缘电力电缆做直流耐压及泄漏电流试验时, 《规程》规定电缆芯导体接负极性电压?	58

92. 测量电力电缆的直流泄漏电流时,为什么在测量中微安表指针有时会有周期性摆动?	58
93. 测量 10kV 及以上电力电缆泄漏电流时,经常发现泄漏电流随电压升高而快速增长,这是否就能判断电力电缆有问题?在试验方法上应注意哪些问题?	58
94. 导致电力电缆泄漏电流偏大测量误差的原因是什么?如何抑制或消除?	59
95. 为什么统包绝缘的电力电缆做直流耐压试验时,易发生芯线对铅包的绝缘击穿,而很少发生芯线间的绝缘击穿?	59
96. 为什么《规程》规定,电力电缆线路的预防性试验耐压时间为 5min?	60
97. 电力电缆做直流耐压试验时,为什么要在冷状态下进行?	60
98. 为什么做避雷器泄漏(电导)电流试验时要准确测量直流高压,而做电力电缆、少油断路器泄漏电流试验时却不要求十分准确测量直流高压?	60
99. 为什么避雷器在做泄漏电流试验时需要并联一个电容器,而电缆和变压器则不需要?	60
100. 绝缘电阻较大的带并联电阻的 FZ 型避雷器,其直流电压下的电导电流是不是一定比绝缘电阻较小的避雷器小?	60
101. FZ 型和 FS 型阀式避雷器在做预防性试验时,为什么前者不做工频放电试验而要做电导电流试验,后者却要做工频放电试验?	61
102. FZ 型避雷器的电导电流在一定的直流电压下规定为 400~650 μ A,为什么低于 400 μ A 或高于 650 μ A 都有问题?	61
103. 在预防性试验中,FZ 型阀式避雷器电导电流的试验电压是如何确定的?	61
104. 两组由 4 \times FZ—30 组成的 FZ—110J 型阀式避雷器试验都合格,但电导电流不同,选用哪一组较好?	61
105. 带电测量磁吹避雷器的交流电导电流时,为什么采用 MF—20 型万用表,而不采用其他型式的万用表?	61
106. 如何带电测量 FZ 型避雷器的电导电流?	62
107. 如何带电测量 FZ 型避雷器的交流分布电压?	63
108. 如何测量 FCZ 型避雷器的电导电流?	63
109. 测量金属氧化物避雷器直流 1mA 电压(U_{1mA})时应注意的问题是什么?	64
110. 测量金属氧化物避雷器(MOA)在运行电压下的交流泄漏电流对发现缺陷的有效性如何?	65
111. 什么是金属氧化物避雷器的初始电流值、报警电流值?报警电流值是多少?	66
112. 如何用 QS ₁ 型西林电桥测量金属氧化物避雷器的泄漏电流?	66
113. 说明 DXY—1 型金属氧化物避雷器泄漏电流测试仪的原理和测量方法?	68
114. 为什么少油断路器要测量泄漏电流,而不测量介质损耗因数?	70
115. 为什么测量 110kV 及以上少油断路器的泄漏电流时,有时出现负值?如何消除?	71

116. 如何能较准确地测量 35kV 多油断路器电容套管的泄漏电流?	72
117. 在 500kV 变电所测变压器泄漏电流时, 如何消除感应电压的影响?	73
118. 在《规程》中为什么要突出测量发电机泄漏电流的重要性?	73
119. 影响发电机泄漏电流测试准确性的因素有哪些?	74
120. 对发电机泄漏电流测量结果如何进行分析判断?	74
121. 发电机泄漏电流异常的常见原因有哪些?	75
122. 什么是电位外移测量法? 为什么要研究这种方法? 判断标准如何?	76
123. 不拆引线, 如何测量变压器本体的泄漏电流?	77
124. 不拆引线, 如何测量金属氧化物避雷器的直流参考电压?	77
125. 不拆引线, 微安表接于高电位处, 如何测量 220kV 阀式避雷器的直流电 导电流?	78
126. 不拆引线, 如何测量 FZ—30 型多节串联的避雷器的电导电流?	79
127. 不拆引线, 如何测量 500kV FCZ 型和 FCX 型磁吹避雷器的电导电流?	79
第四节 测量介质损耗因数 $\text{tg}\delta$	82
128. 绝缘电阻较低, 泄漏电流较大而不合格的试品, 为何在进行介质损耗因 数 $\text{tg}\delta$ 测量时不一定很大, 有时还可能合格呢?	82
129. 为什么用 $\text{tg}\delta$ 值进行绝缘分析时, 要求 $\text{tg}\delta$ 值不应有明显的增加和下降?	82
130. 测量绝缘油的 $\text{tg}\delta$ 时, 为什么一般要将油加热到约 90°C 后再进行?	82
131. 为什么测量电力设备绝缘的介质损耗因数 $\text{tg}\delta$ 时, 一般要求空气的相对 湿度小于 80%?	83
132. 目前现场测量介质损耗因数 $\text{tg}\delta$ 的仪器有哪些?	83
133. 测量小容量试品的介质损耗因数时, 为什么要求高压引线与试品的夹角 不小于 90°?	83
134. 在分析小电容量试品的介质损耗因数 $\text{tg}\delta$ 测量结果时, 应特别注意哪些 外界因素的影响?	84
135. 在电场干扰下测量电力设备绝缘的 $\text{tg}\delta$, 其干扰电流是怎样形成的?	84
136. 用 QS_1 型西林电桥测量电力设备绝缘的 $\text{tg}\delta$ 时, 判别有无电场干扰的简 便方法是什么?	84
137. 如何判断电场干扰的强弱?	85
138. 用倒相法消除电场干扰如何计算? 应注意哪些问题?	86
139. 目前现场在强电场干扰下测量电力设备绝缘的 $\text{tg}\delta$ 时采用什么新方法?	88
140. 用倒换试验电源极性法测量试品在强电场干扰下的介质损耗因数的效果 如何?	92
141. 用 QS_1 型西林电桥测量试品介质损耗因数时, 若测量结果为 $(-\text{tg}\delta)$, 是否表明试品介质损耗很小?	92
142. 用 QS_1 型西林电桥正接线测量电容型套管的 $\text{tg}\delta$, 由于法兰没有很好接 地而出现负值, 为什么?	93

143. 为什么杂散电容会使电力设备绝缘 $\text{tg}\delta$ 测量值偏小甚至为零或负值?	94
144. 用 QS_1 型西林电桥测量电力设备绝缘的 $\text{tg}\delta$ 时, 当把开关倒向 “ $-\text{tg}\delta$ ” 一方时, 测得的介质损耗因数的表达式是什么?	95
145. 用 QS_1 型西林电桥测量电力设备绝缘的介质损耗因数时, C_x 的引线电容对测量结果有何影响? 如何消除?	97
146. 为什么用 QS_1 型西林电桥测量小电容试品介质损耗因数时, 采用正接线好?	98
147. 测量电容型套管的介质损耗因数 $\text{tg}\delta$ 如何接线?	99
148. 为什么《规程》要严格规定套管 $\text{tg}\delta$ 的要求值?	99
149. 为什么用 QS_1 型西林电桥测量电力设备绝缘的 $\text{tg}\delta$ 时, 有时要在 C_1R_1 臂上并联一电阻?	100
150. 用 QS_1 型西林电桥测量电力设备介质损耗因数 $\text{tg}\delta$ 时, 容易被忽视的问题有哪些?	100
151. 引线电晕对测量介质损耗因数 $\text{tg}\delta$ 有何影响? 如何消除?	102
152. 为了提高 QS_1 型西林电桥的测试电压, 能否把两个 110kV 的标准电容器串联使用?	103
153. 美国创造的 M 型试验仪的原理接线及测试的参数有哪些?	103
154. 为什么大型变压器测量直流泄漏电流容易发现局部缺陷, 而测量 $\text{tg}\delta$ 却不易发现局部缺陷?	104
155. 为什么测量变压器的 $\text{tg}\delta$ 和吸收比 K 时, 铁芯必须接地?	104
156. 大型变压器油介质损耗因数增大的原因是什么? 如何净化处理?	104
157. 为什么变压器绝缘受潮后电容值随温度升高而增大?	106
158. 为什么《规程》规定的变压器绕组的介质损耗因数比原《规程》要严?	106
159. 有载调压开关的介质损耗因数对变压器整体的介质损耗因数有何影响?	108
160. 如何测量电容式电压互感器的介质损耗因数和电容值?	109
161. 为什么要测量串级式电压互感器绝缘支架的 $\text{tg}\delta$?	110
162. 测量串级式电压互感器介质损耗因数 $\text{tg}\delta$ 的方法有哪些?	111
163. 对 110kV 及以上的电压互感器, 在预防性试验中测得的介质损耗因数 $\text{tg}\delta$ 增大时, 如何分析可能是受潮引起的?	115
164. 为什么温差变化和湿度增大会使高压互感器的 $\text{tg}\delta$ 超标? 如何处理?	115
165. 为什么要测量电容型套管末屏对地绝缘电阻和介质损耗因数 $\text{tg}\delta$? 要求值是多少?	116
166. 如何测量电容型电流互感器末屏对地的介质损耗因数 $\text{tg}\delta$? 要求值是多少?	116
167. 高压电流互感器末屏引出结构方式对介质损耗因数有何影响?	117
168. 用末屏试验法测量电流互感器的介质损耗因数时存在什么问题? 如何改进?	118
169. 用屏蔽法测量高压电流互感器介质损耗因数 $\text{tg}\delta$ 的效果如何?	119

170. 电容型电流互感器产品出厂后介质损耗因数变化的原因及预防措施是什么?	120
171. 在预防性试验中,如何测量110kV LB型电流互感器的介质损耗因数?	121
172. 为什么《规程》规定充油型及油纸电容型电流互感器的介质损耗因数一般不进行温度换算?	121
173. 为什么要考察电流互感器的 $\text{tg}\delta$ 与电压的关系?它对综合分析判断有何意义?	122
174. 为什么《规程》中将耦合电容器偏小的误差由-10%改为-5%?	123
175. 为什么要规定电容器的电容值与出厂值之间的偏差?而各种电容器的偏差要求值又不相同?	123
176. 为什么在测量耦合电容器介质损耗因数 $\text{tg}\delta$ 时会出现异常现象?	123
177. 为什么预防性试验合格的耦合电容器会在运行中发生爆炸?	124
178. 为什么套管注油后要静置一段时间才能测量其 $\text{tg}\delta$?	125
179. 为什么《规程》规定油纸电容型套管的 $\text{tg}\delta$ 一般不进行温度换算?有时又要求测量 $\text{tg}\delta$ 随温度的变化?	125
180. 为什么测量大电容量、多元件组合的电力设备绝缘的 $\text{tg}\delta$ 对反映局部缺陷并不灵敏?	126
181. 测量多油断路器 $\text{tg}\delta$ 时,如何进行分解试验及分析测量结果?	127
182. 为什么测量110kV及以上高压电容型套管的介质损耗因数时,套管的放置位置不同,往往测量结果有较大的差别?	128
183. 测得电容式套管等电容型少油设备的电容量与历史数据不同时,一般说明什么缺陷?为什么?	128
184. 不拆引线,如何测量变压器套管的介质损耗因数?	128
185. 不拆引线,如何测量电容式电压互感器(CVT)的介质损耗因数?	130
186. 500kV变电所部分停电时,测量少油设备 $\text{tg}\delta$ 采用什么新方法?	131
第五节 交流耐压试验	133
187. 为什么要对电力设备做交流耐压试验?交流耐压试验有哪些特点?	133
188. 耐压试验时,电力设备绝缘不合格的可能原因有哪些?	133
189. 如何选择试验变压器?	133
190. 在交流耐压试验中,如何选择保护电阻器?	134
191. 试验变压器使用前应进行哪些检查?	134
192. 对被试设备进行耐压试验前要做好哪些准备?	135
193. 耐压试验时对升压速度有无规定?为什么?	135
194. 在交流耐压试验中,为什么要测量试验电压的峰值?	135
195. 对电力设备进行耐压试验时,为什么必须拆除与其相关联的电子线路部件?	136
196. 采用串级试验变压器的目的是什么?它有何优缺点?	136

197. 采用串联谐振法进行工频交流耐压试验的目的是什么? 如何选择其参数?	137
198. 为什么要对变压器等设备进行交流感应耐压试验? 如何获得高频率电源?	140
199. 对串级式电压互感器进行三倍频试验时, 如何获得三倍频试验电源?	141
200. 对串级式电压互感器进行三倍频感应耐压试验时, 在哪个绕组上加压? 又在哪个绕组上补偿? 为什么?	144
201. 为什么 220kV 以上的变压器要做操作波耐压试验, 而不能用 1min 工频耐压试验代替?	145
202. 在工频耐压试验中, 被试品局部击穿, 为什么有时会产生过电压? 如何限制过电压?	145
203. 工频耐压试验时的试验电压, 为什么要从零升起, 试毕又应将电压降到零后再切断电源?	146
204. 在工频耐压试验中可能产生的过电压有哪些? 如何防止?	146
205. 在现场可用哪些简易方法组成电容分压器测量工频高电压?	146
206. 为什么《规程》规定 50Hz 交流耐压试验的试验电压持续时间为 1min, 而在产品出厂试验中又允许将该时间缩短为 1s?	146
207. 直流耐压与交流耐压相比, 直流耐压的试验设备容量为什么可小些?	147
208. 什么是小间隙试油器? 推广这种试油器有何意义?	147
209. 绝缘油在电气强度试验中, 其火花放电电压值的变化情况有几种? 试分析其原因.	147
210. 为什么绝缘油火花放电试验的电极采用平板型电极而不采用球形电极?	147
211. 变压器等设备注油后, 为什么必须静置一定的时间才可进行耐压试验?	148
212. 110kV 及以上的变压器, 为什么要求在热状态 (60~70℃) 下进行交流耐压试验?	148
213. 为什么对含有少量水分的变压器油进行火花放电试验时, 在不同的温度时分别有不同的耐压数值?	148
214. 为什么有时会在变压器油火花放电电压合格的变压器内部放出水分?	148
215. 绝缘油做耐压试验时, 如升压速度过快, 为什么其火花放电电压会偏高?	148
216. 对变压器与少油断路器中绝缘油的火花放电电压要求哪个高? 为什么?	149
217. 为什么 110kV 充油套管要进行绝缘油试验, 而电容型套管却不进行绝缘油试验?	149
218. 35kV 变压器的充油套管为什么不允许在无油状态下做耐压试验? 但又允许做 $\text{tg}\delta$ 及泄漏电流试验?	149
219. 为什么在预防性试验中, 对并联电容器不进行极间耐压试验?	149
220. 对电力电缆做交流耐压试验时, 为什么必须直接测量电缆端的电压?	150
221. 电缆发生高阻接地故障时, 往往要将故障点烧穿至低阻, 为什么常用直流而少用交流?	150

222. 阀式避雷器做工频放电试验时,为什么要规定电压波形不能畸变?如何消除谐波影响?	150
223. 试验变压器的输出电压波形为什么会畸变?如何改善?	151
224. 为什么避雷器工频放电电压会偏高或偏低?	152
225. 如何使避雷器的放电记录器回零?	152
226. 长期使用的避雷器,外观检查完好,为什么定期试验会常常不合格?	153
227. FS型避雷器的工频放电电压与大气条件的关系如何?	153
228. 某35kV电力变压器,在大气条件为 $P=1.05 \times 10^5 \text{Pa}$ (1050mbar)、 $t=27^\circ\text{C}$ 时做工频耐压试验,应选用球隙的球极直径为多大?球隙距离为多少?	153
229. 进行6~10kV分段母线(一段带电)交流耐压试验时应注意些什么?	154
230. SW ₄ -110断路器在雷雨季节检修时常发生下瓷套和三角箱内的绝缘油不合格,经用合格油冲洗及长时间使用压力滤油机过滤后,油样耐压仍达不到标准,何故?应如何处理?	154
231. 0.1Hz超低频电压在高电压试验中有哪些应用?	154
232. 交联聚乙烯电缆的电容值是多少?	157
233. 如何计算和测量发电机定子绕组每相对地电容值?	157
第六节 油中溶解气体色谱分析	158
234. ppm表示什么意思?	158
235. 目前对油中溶解气体色谱分析结果的表示方法有几种?	158
236. 新变压器或大修后的变压器投入运行前,为什么要进行色谱分析?	159
237. 为什么说油中溶解气体色谱分析既是定期试验项目,又是检查性试验项目?	159
238. 什么是三比值法?其编码规则是什么?	159
239. 采用IEC三比值法确定变压器故障性质时应注意些什么?	160
240. 怎样用四比值法判断故障的性质?	160
241. 运行中的电力变压器及电抗器油中溶解气体色谱分析周期是如何规定的?要求的注意值是多少?	160
242. 为什么电抗器可在超过注意值较大的情况下运行?	161
243. 运行中的互感器和套管油中溶解气体色谱分析周期是如何规定的?要求的注意值各是多少?	161
244. 如何判断主变压器过热性故障回路?	161
245. 采用产气速率来预测变压器故障的发展趋势时,应注意些什么?	163
246. 变压器油中气体单项组分超过注意值的原因是什么?如何处理?	163
247. 气体继电器动作的原因是什么?如何判断?	164
248. 如何应用平衡判据判别气体继电器动作的原因?	167
249. 如何综合判断变压器内部的潜伏性故障?	169

250. 试举出实例说明变压器缺陷的综合分析判断过程。	174
251. 变压器油色谱分析中会遇到哪些外来干扰? 如何处理?	178
252. 如何用色谱分析法诊断电力变压器树枝状放电故障?	186
253. 大型变压器油中 CO 和 CO ₂ 含量异常的判断指标是什么?	187
254. 诊断电力变压器绝缘老化的方法有哪些?	189
255. 为什么有的运行年久的变压器糠醛含量不高?	190
256. 少油设备氢含量增高的原因是什么? 如何处理?	190
257. 高压互感器投运前氢气超标的原因是什么?	192
258. 如何根据色谱分析结果正确判断电流互感器和套管的绝缘缺陷?	194
259. 变压器充油后甲烷增高的原因是什么?	194
260. 对充油设备进行多次工频耐压试验后, 其色谱分析结果是否会发生 变化?	195
261. 目前变压器油中溶解气体的在线监测装置主要有哪一些?	195
第七节 接地电阻及其测量	196
262. 为什么常采用直径约为 5cm、长度为 2.5m 的钢管作人工接地体?	196
263. 为什么垂直敷设的接地极常用铁管?	196
264. 为什么要对新安装的接地装置进行检验? 怎样验收?	196
265. 为什么要对接地装置进行定期检查和试验?	196
266. 测量接地电阻应用交流还是直流?	196
267. 用 ZC—8 型接地电阻测定器测量接地电阻有何优缺点?	197
268. 用接地电阻测试仪测量接地电阻时, 为什么电位探棒要距接地体 20m?	197
269. 如何用电流电压表法测量大型接地网的接地电阻?	198
270. 采用电流电压表法测量接地装置的接地电阻时, 为什么要加接隔离变 压器?	201
271. 如何用四极法测量大型接地网的接地电阻?	201
272. 如何用附加串联电阻法测量大型接地网的接地电阻?	203
273. 如何用功率因数表法测量大型接地网的接地电阻?	203
274. 如何用瓦特表法测量大型接地网的接地电阻?	205
275. 如何用变频法测量大型接地网的接地电阻?	206
276. 如何用电位极引线中点接地法测量大型接地网的接地电阻?	207
277. 如何测量变电所四周地面的电位分布及设备接触电压?	207
278. 接地网的安全判据是什么?	208
279. 选择地网接地线及导体截面的计算方法有哪些?	211
280. 地网腐蚀的主要部位有哪些?	214
281. 地网腐蚀的机理是什么?	216
282. 影响地网腐蚀的因素有哪些?	217
283. 防止地网腐蚀的措施有哪些?	219

284. 降低地网接地电阻的新方法有哪些?	221
第八节 其他试验.....	222
285. 为何变压器分接开关变档时需测量各部分接头的直流电阻?	222
286. 用双臂电桥测量电阻时, 为什么按下测量按钮的时间不能太长?	222
287. 为什么大型三相电力变压器三角形接线的低压绕组直流电阻不平衡一般较大, 而且常常又是 ac 相电阻最大?	223
288. 测量变压器绕组直流电阻与测量一般直流电阻有什么不同?	223
289. 什么是消磁法? 给出其测量接线。	224
290. 什么是助磁法? 给出其测量接线。	225
291. 在测量大型变压器直流电阻时, 为什么试验接线和顺序混乱会使测量数据有较大的分散性?	226
292. 变压器绕组直流电阻不平衡率超标的原因是什么? 如何防止?	228
293. 有载调压分接开关的切换开关筒上静触头压力偏小时对变压器直流电阻有什么影响?	232
294. 大型电力变压器进行现场空载试验的方法有哪些?	232
295. 为什么变压器空载试验能发现铁芯的缺陷?	235
296. 怎样进行变压器的空载电流与空载损耗测试?	235
297. 为什么在变压器空载试验中要采用低功率因数的瓦特表?	237
298. 低功率因数瓦特表都采用光标指示, 为什么?	237
299. 为什么电力变压器做短路试验时, 多数从高压侧加电压? 而做空载试验时, 又多数从低压侧加电压?	237
300. 新安装的大型变压器正式投运前, 为何要做冲击试验?	238
301. 变压器铁芯多点接地的常见原因及表现特征是什么?	238
302. 如何检测变压器铁芯多点接地故障?	238
303. 如何测试变压器绕组变形?	241
304. 目前我国测量局部放电的方法有几种类型?	242
305. 在测量局部放电时, 为什么要规定有预加压的过程?	243
306. 引线电晕对局部放电测量有何影响? 如何抑制或消除?	243
307. 在大型电力变压器现场局部放电试验中为什么要采用 125Hz 试验电源?	244
308. 如何检测大型电力变压器油流带电故障?	244
309. 油样的采集与存放不当对绝缘油的测试有哪些影响?	246
310. 为什么变压器绝缘油的微水含量与温度关系很大? 而高压串级式电压互感器绝缘油的微水含量却与温度关系不大?	247
311. 什么是油中含水量? 含水量大有何危害? 取样时应注意哪些问题?	247
312. 什么是油中含气量? 油中含气有何危害? 要求值是多少?	248
313. 剩磁对变压器哪些试验项目产生影响?	248
314. 何谓悬浮电位? 试举例说明高压电力设备中的悬浮放电现象及其危害?	249

315. 大型发电机局部放电在线监测方法有哪些?	249
316. 如何测试运行中 SF ₆ 气体的含水量?	251
317. 如何进行 SF ₆ 断路器的泄漏测试?	252
318. 为什么测量高压断路器主回路电阻时, 通常通以 100A 至额定电流的任一数值的电流?	255
319. 高压电容型电流互感器受潮的特征是什么? 如何干燥?	256
320. 大型变压器烧损后, 如何处理其中的变压器油?	256
321. 金属氧化物避雷器预防性试验做哪些项目? 如何进行?	257
322. 如何测量金属氧化物避雷器的工频参考电压?	259
323. 说明避雷器 JS 型放电记录器的原理及检查方法?	260
324. 目前常用的电容电流测量方法有哪些?	260
325. 如何用串联谐振法测量消弧线圈的伏安特性?	265
326. 如何采用补偿法测量消弧线圈的伏安特性?	267
327. 检测运行中劣化的悬式绝缘子时, 宜选用何种火花间隙检测装置?	267
328. 大型变压器低压绕组引线木支架过热碳化的原因是什么?	268
附录 电力设备预防性试验规程(DL/T596—1996)	270
参考文献	343

第一章

电气绝缘理论基础

1. 电介质在电场作用下的电气性能用哪些参数来表征?

可用四个参数来表征,即极化性能用介电常数 ϵ 表征;导电性能用绝缘电阻率 ρ 表征;介质损耗性能用介质损失角正切(也称介质损耗因数) $\text{tg}\delta$ 表征;击穿性能用击穿强度 E 表征。对气体电介质而言,由于极化、电导和损耗较弱,所以只研究其击穿性能,而对固体、液体电介质四个性能均要研究。目前的预防性试验主要是检测表征电介质电气性能的四个参数的变化。

2. 汤逊理论是如何描述均匀电场中火花放电的基本物理过程的?

汤逊理论是分析低气压、短距离的均匀电场气隙的火花放电过程的理论。描述火花放电的基本物理过程的要点如下:

从加压到第一个有效电子出现的阶段:只有在气隙中出现这个有效电子后,才开始产生碰撞游离,并不断发展,使自由电荷不断增长。

由于外界游离因素具有偶然性,所以有效电子的出现也具有偶然性。

电子崩阶段:这个阶段是从出现第一个有效电子到第一个电子崩发展成熟。在这个阶段中发生量变,量变的标志是有足够多的电子数 N^- 和正离子数 N^+ , 两者的关系是 $N^- = N^+ + 1$ 。

自持放电阶段:在这个阶段中 γ 过程(正离子碰撞阴极,从阴极打出一个电子)起重要作用。 γ 过程出现使气隙由绝缘状态变为导电状态。因此发生了质变。 γ 过程出现是质变的标志。

汤逊理论描述火花放电过程的自持条件是

$$\gamma(e^{\alpha} - 1) = 1$$

式中 α ——汤逊放电第一游离系数;

γ ——汤逊放电第三游离系数;

s ——气隙的距离;

e^{α} ——一个电子从阴极运动到阳极所产生的电子数。

该式的物理意义是:有一个原始电子从阴极出发跑到阳极,总共变成了 e^{α} 个电子,其中有 $(e^{\alpha} - 1)$ 个电子是碰撞游离产生的,与此相等的正离子运动到阳极时,只要释放出一个电子以补充原始电子的缺额,放电就自持了。

根据自持放电条件,可以导出自持放电电压与 ps 积的关系式: $U_F = f(ps)$, 其中 p 是气隙的压力, s 是气隙距离。这个关系被巴申用实验发现,所以,通常称为巴申定理。巴申

定理至今仍有实用价值。例如真空开关、充气设备的研制等。

3. 流注理论是如何描述均匀电场中火花放电的基本物理过程的？

由上述第2题可知，由于汤逊理论在描述均匀场火花放电时没有考虑空间电荷畸变电场的作用和光游离的概念，所以它无法解释许多实验现象。

基于对火花放电的许多实验现象的观察和研究，1940年 Meek 和 Loch 提出了描述均匀场中火花放电物理过程的流注理论，其基本要点如下：

出现有效电子阶段：从开始加压到气隙中出现第一个有效电子。

电子崩阶段：自出现第一个有效电子开始到第一个电子崩发展成熟为止。电子崩发展成熟的标志是电子崩（主崩）能放射出一个有效的光子。所谓有效光子是指这个光子能产生光电子，而发展新的电子崩（子崩）使放电过程持续下去。主电子崩在阴极附近成熟，还是要走完全程才能成熟，主要决定于外加电压的高低。

流注阶段：从第一个电子崩放射出一个有效光子到阴极或阳极附近的空间中形成等离子体通道为止。若外加电压较高，电子崩在阴极附近就能成熟，因而在阴极附近就能形成等离子体通道，使流注从阴极向阳极发展，这种流注称为负流注。当外加电压近似等于气隙的火花放电电压时，主电子崩要走过全程才能成熟，这时在阳极附近形成等离子体通道，使流注从阳极向阴极发展，这种流注称为正流注。

流注阶段与电子崩阶段的区别：在量的方面，游离增强，空间电荷数量大大增加，一般认为当 $\alpha \approx 20$ ， $e^{e\alpha} > 10^8$ 时，空间电荷畸变电场的作用显著；在质的方面，光游离起着重要的作用。由于光游离引起各个子崩的同时发展，从而促进导电等离子体通道形成。

主放电阶段：当外加电压近似等于气隙火花放电电压时，这个阶段是从流注发展成熟开始到强烈游离区向阳极发展，一直到达阳极时为止。主放电阶段就是在气隙中形成高导电通道的阶段，以完成火花放电过程。

根据流注理论，在均匀电场中，流注形成的条件就是自持放电的条件。这与汤逊自持放电条件是不同的。

流注理论适用于高电压、长间隙。

汤逊理论与流注理论所描述的均匀电场气体间隙火花放电过程及其特点如表 1-1 所示。

表 1-1 汤逊理论与流注理论对均匀电场气体放电描述的比较

项 目	汤 逊 理 论	流 注 理 论
适用范围	低气压、短间隙	高气压、长间隙
火花放电开始发展的条件	在阴极表面出现第一个有效电子	在阴极表面出现第一个有效电子
自由电子的增长规律	按 $e^{e\alpha}$ 规律增长（电子崩）	经过三次增长阶段：电子崩、流注、主放电
自持放电条件	第一个电子崩的正离子碰撞阴极拉出一个电子来	第一个电子崩放射出一个有效光子
放电通道外形	充满整个电极	带分支的明亮细通道
放电时间	较长	短
与阴极材料的关系	有关（因 γ 过程自持）	无关（因空间光游离自持）

4. 什么叫极性效应? 为什么要研究极性效应?

当电极的正负电性不同时, 气体间隙的火花放电电压不同, 这种现象叫极性效应。例如, 在棒—板构成的不均匀不对称电场中, 正棒的电晕起始电压大于负棒的电晕起始电压; 正棒—负板的火花放电电压小于负棒—正板的火花放电电压等。这是由于空间电荷影响的结果。

在分析直流高压试验问题及直流输电等问题时都会用到极性效应的概念。

5. 湿度增加对气体间隙和沿面闪络电压的影响是否相同? 为什么?

不相同。对气体间隙, 在不均匀电场中, 当湿度增加时, 由于水分子能够捕捉电子形成负离子。使间隙中的电子数目减少, 因而游离减弱, 这样就不容易发展电子崩和流注, 导致火花放电电压升高; 在均匀电场中, 由于放电的形成时延短, 平均场强又较大, 电子运动速度较快, 不容易被水分子捕获, 所以在均匀电场中, 湿度增加时, 可以认为火花放电电压基本不变, 正因为如此, 在球隙放电电压表中只规定了标准气压和温度, 而没有规定湿度。

当间隙间放入固体介质时, 湿度增加, 固体介质表面吸附潮气形成水膜, 在高压电场下水分子分解为离子, 沿着固体介质表面向电极附近积聚电荷, 会使电极附近场强增大, 电极附近的空气首先发生游离, 从而引起整个介质表面易于闪络, 导致闪络电压降低。

6. 什么是标准大气条件? 空气密度和湿度的校正因数是什么?

我国国家标准《高电压试验技术》第一部分(GB311.2—83)规定的标准大气条件是: 温度 $t_0=20^{\circ}\text{C}$; 压力 $b_0=1013\text{mbar}$; 湿度 $h_0=11\text{g}/\text{m}^3$ 。

如果大气压力 b 用 mbar 表示, 温度 t 为摄氏温度, 空气密度的校正因数为

$$K_d = \left(\frac{b}{b_0}\right)^m \times \left(\frac{273+t_0}{273+t}\right)^n$$

一般说来, 指数 m 、 n 与电极结构型式和试验电压的种类及极性有关, 但实际上, 除某些特例对 m 、 n 的值另有规定外, 一般取 $m=n=1$ 。此时 K_d 就等于空气的相对密度 δ , 即

$$K_d = \frac{b}{1013} \times \frac{273+20}{273+t} = 0.289 \frac{b}{273+t} \approx 0.29 \frac{b}{273+t}$$

若大气压力 b 用 Pa 表示

$$K_d = 0.00289 \frac{b}{273+t} \approx 0.0029 \frac{b}{273+t}$$

湿度校正因数为

$$K_h = (K)^{\omega}$$

式中的 K 、 ω 与绝对湿度、电压形式、电压极性、电场情况以及闪络距离等因数有关, 其数值可查国家标准(GB311.2—83)。

实际试验时的大气条件往往与标准大气条件不同, 为便于比较, 应按上述方法进行换算。

7. 放电、击穿与闪络三个术语的含义是什么?

这是三个有紧密联系又有区别的术语, 它们的共性都是从游离开始发生和发展, 但发