



# 带电作业

DAIDIAN ZUOYE  
WEN YU DA

# 问与答

李如虎 编



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

# 带电作业 问与答

DAIDIAN ZUOYE  
WEN YU DA

---

李如虎 编



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

全书共 150 问,以现行的标准为依据,从带电作业的安全、事故预防、工器具与设备的使用及要求、工具的检查与试验、电磁感应及防护、带电作业方式与方法等方面对带电作业常见问题、关键问题进行了解答。

本书以问答的方式进行介绍,融理论于问答中,通过图文并茂的方式向读者介绍带电作业中的各种实际问题及解决办法,实战性强,适合从事带电作业的工程技术人员和具有中专文化程度的带电作业人员自学或参考,也可供从事输电工程教学、设计、运行、管理的工程技术人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

带电作业问与答 / 李如虎编. —北京:中国电力出版社,2013.12  
ISBN 978-7-5123-4793-9

I. ①带… II. ①李… III. ①带电作业—问题解答 IV.  
①TM72-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 179472 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2013 年 12 月第一版 2013 年 12 月北京第一次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 11.625 印张 303 千字

印数 0001—3000 册 定价 32.00 元

### 敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪  
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



## 前言

我国自 20 世纪 60 年代初在配电网开展带电作业至今，已有 50 多年的历史。在 20 世纪 90 年代已成功地 500kV 超高压线路上进行常规带电作业。经过广大科技人员和电业职工的艰苦探索、努力实践，带电作业已达到国际先进水平，能成功地在交流 750kV 和 1000kV、直流±800kV 特高压线路上开展常规的带电作业试验，并已取得了突破性的进展。

半个多世纪以来，带电作业人员的文化素养不断提高，现在参加带电作业的工人文化水平大都在中专及以上，工程技术人员都有本科及以上文凭。他们对带电作业的求知欲非常强，不仅要知其然，还要知其所以然；不仅要懂得怎样做，还要知道为什么要这样做。

我国有大量的带电作业试验数据和丰富的带电作业经验，还有事故教训与对策，这些都是非常宝贵的财富，足以从理论和实践中说明“为什么要这样做”。

为了便于大家学习和参考，对安全知识、作业方法、力的估算、工具的要求和试验等方面的问题，用问与答的方式编写了本书，希望能对带电作业人员有所帮助。

限于本人水平，书中难免有不妥和疏漏之处，敬请读者批评指正。

李如虎

2013 年 10 月



# 目 录

## 前言

- 001 为什么 GB 26859—2011 规定的距离是安全的? ..... 1
- 002 绝缘工具的有效绝缘长度是怎样确定的? 其安全性如何? ..... 7
- 003 沿耐张绝缘子进入电场或在其上作业的安全性如何? ..... 16
- 004 简述组合间隙及其放电特性。 ..... 18
- 005 空气的放电电压为何要随高度而修正? 如何修正? ..... 21
- 006 带电作业与气象条件有何关系? ..... 24
- 007 带电作业为什么要监护? ..... 27
- 008 为什么不能用皮尺测量带电导线附近的尺寸? 导线附近尺寸如何测量? ..... 28
- 009 带电作业不需要停电, 为何还要办理工作许可手续? ..... 28
- 010 保证带电作业安全的组织措施和一般技术措施有哪些? ..... 31
- 011 带电作业中有哪“三防”? ..... 35
- 012 绝缘子串脱离挂点前为何要将最末片绝缘子钢帽接地? ..... 39
- 013 如何防止高空坠落? ..... 41
- 014 如何防止带电作业中的单吊单挂? ..... 45
- 015 等电位作业的安全距离与人体在杆塔上

	作业时的安全距离有何不同? .....	50
<b>016</b>	安全进入等电位的原则是什么? 如何安全地进入等电位? .....	54
<b>017</b>	如何用圆尺在塔图上寻找最佳进入等电位的方法? .....	60
<b>018</b>	在断股或锈蚀的导、地线上悬重如何保证安全? .....	62
<b>019</b>	如何防止带电水冲洗时人身触电? .....	65
<b>020</b>	如何防止带电水冲洗时设备闪络放电? .....	69
<b>021</b>	使用火花间隙带电检测绝缘子有哪些安全技术措施? .....	74
<b>022</b>	使用火花间隙带电检测绝缘子应从哪端开始? .....	76
<b>023</b>	如何解决紧凑型线路带电作业安全距离不够 的问题? .....	79
<b>024</b>	使用保护间隙应遵守哪些规定? 为什么? .....	81
<b>025</b>	在直流和交流情况下, 人体安全电流和电场 控制值有何不同? .....	83
<b>026</b>	如何选好(当好)工作负责人? .....	84
<b>027</b>	带电作业对地面电工有何要求? 如何绑扎与 传递物件? .....	87
<b>028</b>	带电作业对绞磨工有何要求? .....	92
<b>029</b>	送电线路和配电线路带电作业方式有何不同? .....	94
<b>030</b>	配电带电作业两种方式与送电线路地电位和 等电位作业方式有何不同? .....	98
<b>031</b>	配电带电作业方法的适用范围、基本工(器) 具和安全注意事项是什么? .....	100
<b>032</b>	地电位作业法的适用范围、基本工(器)具和 主要安全注意事项是什么? .....	102
<b>033</b>	等电位作业法的适用范围、基本工(器)具和 主要安全注意事项是什么? .....	105
<b>034</b>	中间电位作业法的适用范围、基本工(器)具和 主要安全注意事项是什么? .....	107
<b>035</b>	带电作业前要做些什么准备工作? .....	109

036	什么是配电线路的“旁路”作业法？	110
037	什么是配电设备的替代作业法？	113
038	机器人或机械手在配电线路带电作业 中有何应用？	114
039	绝缘斗臂车在带电作业中有何应用？ 如何正确使用绝缘斗臂车？	118
040	带电断接引为何要断开末端负荷？ 没有负荷为何还有电流？	124
041	如何用消弧绳断、接引空载线路？	127
042	如何带电短接设备？	131
043	如何断接引耦合电容器？如何退出阻波器？ 两者有何不同？	134
044	如何进行开断重接？	137
045	清洁绝缘子除水冲洗外，还有什么别的方法？	140
046	如何清洁 500kV 交流变电站（直流换流站） 瓷件？	143
047	为什么直流线路积污比交流线路严重？为什么 交流线路清污的方法不能完全适用于直流线路？	147
048	有什么方法清洁±500kV 直流输电线路绝缘子串？	150
049	检测悬式绝缘子零值有哪些方法？为什么固定 火花间隙法特别受到青睐？	152
050	如何用固定火花间隙检测 500kV 线路绝缘子？	155
051	如何检测针式绝缘子？	157
052	为何现有装置不能检测直流线路绝缘子？ 如何检测直流线路绝缘子？	160
053	如何更换接近导线处的拉线？	165
054	如何调整导线弧垂？	166
055	如何带电更换 35~220kV 线路直线绝缘子？	167
056	如何带电更换 35~220kV 直线 V 形单片绝缘子？	170
057	如何用间接作业法带电更换 35~220kV 线路	180

耐张绝缘子? .....	171
<b>058</b> 如何加高线路杆塔? .....	173
<b>059</b> 如何加长 110kV 线路横担? .....	177
<b>060</b> 如何带电更换架空地线? .....	178
<b>061</b> 如何拉大 110kV 线路 $\pi$ 型水泥杆根开? .....	181
<b>062</b> 如何将 220kV 杆塔整体移位? .....	182
<b>063</b> 如何跨越带电线路或母线? .....	184
<b>064</b> 如何将带电导线移位? .....	187
<b>065</b> 如何带电更换 500kV 架空地线绝缘子? .....	189
<b>066</b> 如何带电更换 500kV 线路耐张双串单片绝缘子? .....	190
<b>067</b> 如何带电更换 500kV 线路直线整串绝缘子? .....	191
<b>068</b> 不放下绝缘子串如何带电更换 500kV 直线 绝缘子串中单片绝缘子? .....	194
<b>069</b> 不用托瓶架如何带电更换 500kV 线路耐张整 串绝缘子? .....	196
<b>070</b> 用卡具带电更换单片耐张绝缘子有何技巧? .....	198
<b>071</b> 如何在带电的情况下给变压器套管加油? .....	200
<b>072</b> 如何安装保护间隙? .....	201
<b>073</b> 如何进入 500kV 紧凑型线路直线塔带电导 线上作业? .....	202
<b>074</b> 带电更换 500kV 紧凑型双回线路直线绝缘子串 的关键点是什么? .....	205
<b>075</b> 直流输电线路带电作业有何特点? .....	209
<b>076</b> $\pm 500$ kV 直流线路作业人员进出电场方式 有何选择? .....	211
<b>077</b> 特高压输电线路带电作业有何特点? .....	212
<b>078</b> 如何评价由静电感应引起的电击及其对人 体的影响程度? .....	217
<b>079</b> 电场中车辆的感应电流有多大? .....	223
<b>080</b> 双回同塔线路的感应电压有多大? 如何进行	



	安全检修? .....	225
081	两条平行输电线路间的耦合电压有多大? .....	231
082	为何在高压特别是超(特)高压线路上带电作业 一定要穿屏蔽服? 为何在 10kV 配电线路上带 电作业不允许穿屏蔽服? .....	234
083	为何等电位时穿好屏蔽服后还要戴上屏蔽帽? 在特高压线路上等电位脸部为何还要有屏蔽罩? .....	237
084	直流平行线路上的感应电压有多少? .....	240
085	如何用系数法估算在直线杆塔上作业时 工具的受力? .....	241
086	如何用系数法估算在分裂导线直线杆塔上 作业时工具的受力? .....	242
087	如何用简单的方法估算拉杆的受力 (即导线的张力)? .....	244
088	如何按最大许用应力 $[\sigma]$ 求最大过牵引量 $\Delta L$ ? .....	248
089	不同档距和不同悬挂点悬挂相同重力, 导线应力 的大小有何不同? .....	250
090	如何预防过牵引? .....	252
091	为何要特别注意转角滑车和千斤绳的受力? .....	253
092	如何计算滑车组的提升力? .....	253
093	我国对屏蔽防护服、手套和导电鞋有何要求? .....	254
094	为何现行屏蔽服可用于直流带电作业? .....	256
095	如何选择、使用、检测、保管、洗涤屏蔽服? .....	258
096	什么是引拔成型管? 它有什么优点? .....	260
097	绝缘绳索的电气和机械性能怎样? .....	262
098	绝缘绳索类工具有哪几类? 对绝缘绳索类 工具有何要求? .....	267
099	绝缘滑车有哪几种类型? 对滑车的电气性能 和机械性能有何要求? .....	271
100	如何清洗绝缘绳索和处理绝缘杆件表面磨损? .....	273

101	带电作业用梯架有哪几种类型？有何要求？ 如何使用？ .....	273
102	对带电作业提线工具的电气性能和机械 性能有何要求？ .....	277
103	带电作业卡具有哪几种类型？各型的技术 参数如何？ .....	279
104	紧线器有哪两种类型？使用时应该注意 哪些事项？ .....	282
105	对绝缘操作杆有何要求？如何正确使用 绝缘操作杆？ .....	284
106	对长水柱短水枪型水冲洗工具有何要求？ 如何正确使用水冲洗工具？ .....	285
107	对通用小工具有何要求？ .....	286
108	托瓶架、吊瓶钩有哪些类型？对托瓶架电气 性能和机械性能有何要求？ .....	288
109	对配电线路带电作业用绝缘手套有何要求？ .....	291
110	对配电线路带电作业用防机械刺穿手套有何要求？ .....	293
111	对配电线路带电作业用绝缘袖套有何要求？ .....	294
112	对配电线路带电作业用绝缘鞋（靴）有何要求？ .....	296
113	对配电线路带电作业用绝缘遮蔽（隔离） 用具有何要求？ .....	298
114	对配电线路带电作业用绝缘毯有何要求？ .....	301
115	如何选择接地、接地电缆和线夹的尺寸？ 如何选择线夹的型式？ .....	303
116	为什么现行的对 500kV 交流线路带电作业 工具试验标准可以用作±500kV 直流线路带 电作业工具试验标准 .....	305
117	为什么每件新工具都要做验收试验？ .....	307
118	对绝缘工具预防性试验总的来说，有何要求？ .....	308
119	对绝缘工具型式试验总的来说有何要求？ .....	311

- 120 如何进行带电作业工具的外观和尺寸检查? ..... 313
- 121 如何进行绝缘支拉吊杆和绝缘操作杆的  
电气及机械试验? 标准如何? ..... 315
- 122 如何进行绝缘托瓶架的电气及机械试验?  
标准如何? ..... 319
- 123 如何进行绝缘滑车的电气及机械试验?  
标准如何? ..... 320
- 124 如何进行绝缘硬梯的电气及机械试验?  
标准如何? ..... 321
- 125 如何进行绝缘软梯的电气及机械试验?  
标准如何? ..... 322
- 126 如何进行绝缘绳索类工具的电气及机械试验?  
标准如何? ..... 323
- 127 如何进行绝缘手工工具的电气试验?  
标准如何? ..... 324
- 128 如何进行绝缘(临时)横担、绝缘平台的电气试验?  
标准如何? ..... 324
- 129 如何进行绝缘子卡具、夹线卡具的机械试验?  
标准如何? ..... 326
- 130 如何进行屏蔽服装、静电防护服装的电气试验?  
标准如何? ..... 327
- 131 如何进行绝缘服(披肩)的电气试验?  
标准如何? ..... 328
- 132 如何进行绝缘袖套的电气试验? 标准如何? ..... 330
- 133 如何进行绝缘手套、防机械刺穿手套、绝缘靴、  
绝缘安全帽的电气试验? ..... 330
- 134 如何进行绝缘毯(绝缘垫)的电气试验?  
标准如何? ..... 332
- 135 如何进行遮蔽罩(导线软质遮蔽罩)的电气试验?  
标准如何? ..... 333

136	如何对绝缘斗臂车进行电气试验和机械试验？ 标准如何？ .....	335
137	如何对带电清扫机进行电气试验和机械试验？ 标准如何？ .....	341
138	如何对气吹清洗工具进行电气试验和机械试验？ 标准如何？ .....	342
139	如何对接地操作杆进行电气试验？标准如何？ .....	343
140	如何对核相仪进行电气试验？标准如何？ .....	344
141	如何对验电器操作杆进行电气试验？标准如何？ .....	345
142	如何对绝缘子电位分布测试仪进行电气试验？ 标准如何？ .....	345
143	如何对火花间隙检测装置进行电气试验？ 标准如何？ .....	346
144	如何对小水量冲洗工具进行电气试验？ 标准如何？ .....	347
145	如何对雨天作业工具进行电气试验？标准如何？ .....	349
146	如何进行绝缘短接线大电流试验？标准如何？ .....	351
147	保护间隙应进行哪些试验？ .....	352
148	新工具新方法做模拟试验时应注意些什么？ .....	355
149	分段电气试验与整段电气试验等效性方面有何不同？ ..	356
150	如何用自制的混凝土拉力试验台对 带电作业工具进行机械试验？ .....	358
参考文献 .....		360

## 001 为什么 GB 26859—2011 规定的距离是安全的?

答: 2011 年发布的 GB 26859—2011《电力安全工作规程 电力线路部分》对带电作业安全距离、组合间隙距离和工具的有效绝缘长度简称“两距离一长度”没有作出具体的规定, 但第 11.1.1 条确定“带电作业安全距离、安全防护措施等应按国家和行业的相关标准、导则执行。”关于上述“两距离一长度”国家和行业的相关标准和导则的规定都是相同的, 本书按 2009 年国家电网公司发布的《国家电网公司电力安全工作规程(线路部分)》(简称《电力安规》)所规定的“两距离一长度”执行。安全距离见表 001-1 (见第 6.2.1 条)。

表 001-1 带电作业时人身与带电体间的安全距离

电压等级 (kV)	10	35	63 (66)	110	220	330	500	750	1000	±500	±600	±800
距离 (m)	0.4	0.6	0.7	1.0	1.8 (1.6) <sup>①</sup>	2.2	3.4 (3.2) <sup>②</sup>	5.2 (5.6) <sup>③</sup>	6.8 (6.0) <sup>④</sup>	3.4	—	6.8

注 表中数据是根据线路带电作业安全要求提出的。

- ① 220kV 带电作业安全距离因受设备限制达不到 1.8m 时, 经单位分管生产领导(总工程师)批准, 并采取必要的措施后, 可采用括号内 1.6m 的数值。
- ② 海拔 500m 以下, 500kV 取 3.2m, 但不适用于 500kV 紧凑型线路。海拔在 500~1000m 时, 500kV 取 3.4m。
- ③ 5.2m 为海拔 1000m 以下值, 5.6m 为海拔 2000m 以下的距离。
- ④ 此为单回输电线路数据, 括号中数据 6.0m 为边相, 6.8 为中相。

这是怎么定出来的呢? 遵守了这个规定还会不会发生对人体放电?

### 一、用“惯用法”计算出的安全距离

空气的绝缘强度(即空气的放电电压)和电力系统过电压的大小是决定带电作业安全距离的两要素。带电作业能否保证人身、



设备安全，在很大程度上取决于过电压幅值能否引起绝缘工具闪络或空气间隙击穿。

### (一) 过电压幅值的计算

电力系统中过电压持续时间短，而高于设备额定电压的电压称为过电压。过电压分为外部过电压（大气过电压）和内部过电压（操作过电压）两种。

#### 1. 操作过电压幅值的计算

系统最大操作过电压幅值是按各级最高运行相电压（相电压乘 1.1 首端电压升高系数）乘以相应的过电压倍数，再乘以  $\sqrt{2}$  化为最大值后得来的，即

$$U_{gc} = \sqrt{2}k_1U_{xg} \quad (001-1)$$

式中  $U_{gc}$  ——操作过电压幅值，kV；

$U_{xg}$  ——系统最高运行相电压，kV；

$k_1$  ——操作过电压倍数。按 DL/T 620—1997《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》（简称《过电压保护规程》）取值。例如，220kV 线路取操作过电压倍数为 3，考虑 10% 电压升高，用公式 (001-1) 计算，得 220kV 线路可能出现的操作过电压最大值为

$$U = \frac{220}{\sqrt{3}} \times 1.1 \times 3 \times \sqrt{2} = 593 \text{ (kV)}$$

#### 2. 大气过电压幅值的计算

GB 26895—2011 对远方落雷的距离没有作出规定，按 DL 409—91 的解释文本，取 5km 为远方落雷距离。远方落雷经衰减后传到带电作业地点的大气过电压幅值为

$$U = \frac{U_0}{KLU_0 + 1} \text{ (kV)} \quad (001-2)$$

式中  $U$  ——从雷击点  $L$  (km) 传到作业地点后的雷电压幅值，kV；

$U_0$  ——起始雷电波幅值，其最大值等于线路绝缘子串 50%

冲击放电电压值（正极性），在 DL/T 5092—1999《110~500kV 架空送电线路设计技术规程》中有规定，如 220kV 直线绝缘子串为 13 片，它的 50% 冲击放电电压为 1186kV（正极性）。

$L$ ——传播距离，按规定取 5km；

$K$ ——衰减系数（测得值），一般取  $(0.16 \sim 1.2) \times 10^{-3}$ ，按保守计算取  $0.16 \times 10^{-3}$ 。

220kV 线路在作业地点 5km 处落雷，传到作业地点的最大雷电流幅值为

$$U = \frac{1186}{0.16 \times 10^{-3} \times 5 \times 1186 + 1} = 610 \text{ (kV)}$$

（二）按计算出的操作过电压和大气过电压幅值查相关曲线得出危险距离

从《电机工程手册》发表的操作波（120/4000 $\mu$ s）和雷电冲击波（1.5/40 $\mu$ s）正极性棒—板间隙放电曲线（分别见图 001-1 和图 001-2）查出危险距离。上述 220kV 线路在大气过电压 610kV 时的危险距离查图 001-1（曲线 2）为 1.15m；在操作过电压 593（kV，最大值）时的危险距离查图 001-2（曲线 5）为 1.5m。这说明起控制作用的是操作过电压。

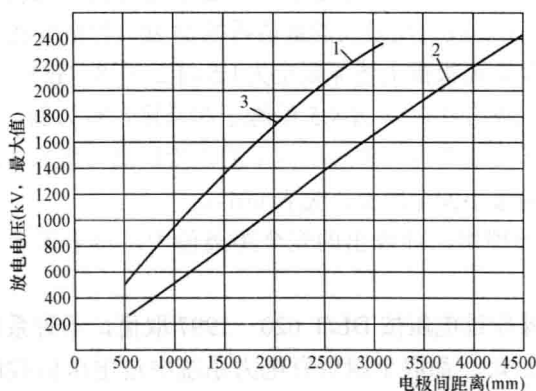


图 001-1 1.5/40 $\mu$ s 全波棒与接地平板间的冲击放电特性曲线

1—负极性；2—正极性；3—电极（导线对接地平板）的放电电压



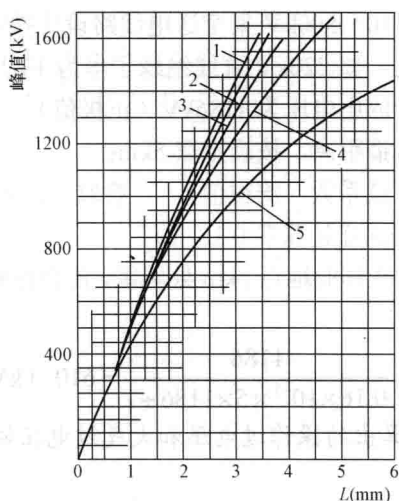


图 001-2 操作波下空气间隙的放电特性曲线

- 1—导线对导线（工频）；2—导线对杆塔支柱（工频）；3—导线对横担（工频）；  
4—棒对板间隙（工频）；5—棒对板间隙（120/4000 $\mu$ s 正极性操作波）

### （三）危险距离再增加 20%的裕度确定为安全距离

带电作业的安全距离是保证带电作业人员与设备安全的关键。安全距离要取上述最大的数值再增加 20%的裕度确定。220kV 线路的安全距离根据上述原则定为  $1.5 \times 1.2 = 1.8$  (m)。

按照上述方法，以 X-4.5 绝缘子和常用片数为例，可计算出各种电压等级线路内、外过电压下的危险距离（增加 20%裕度），以及推荐的最小安全距离，见表 001-2。

用上述惯用法计算出的安全距离偏大，过于保守，其原因如下。

（1）操作过电压按 DL/T 620—1997 取值，不管系统容量大小、线路长短，都取全国所有电力系统中过电压倍数最高的数值。而且当年限制过电压的技术手段没有现在好，过电压倍数高，如 220kV 系统过电压倍数达到 3。



表 001-2 用绝缘配合惯用法确定的最小安全距离

电压等级 (kV)	常用绝缘子片数 (n)	规程规定的操作过电压倍数 $k_1$	大气过电压				操作过电压		起控制作用的危险距离 $S_1$ (cm)	加 20% 裕度后的安全距离 (cm)	推荐安全距离 $S$ (cm)	安全裕度 $\varphi \left( \frac{S - S_1}{S_1} \times 100\% \right)$ (%)
			起始电压 $U_0$ (kV)	传输 5km 后的衰减 (kV)	危险距离 (cm)	操作过电压最大值 (kV)	危险距离 (cm)					
10						44	12	12	14.4	40		
35	3	4	350	273	44	131	27	44	52.8	60	36.3	
110	7	3	650	427	67	310	70	70	84	100	30.0	
220	13	3	1186	610	115	593	150	150	180	180	28.6	
330	19	2.75	1670	625	103	815	190	190	228	260	36.8	
500	28	2.5	2366	818	145	1123	280	280	336	360 340	28.6 21.4	

注 1. 本表计算所用 50% 放电电压: 35kV 用 3 片 X-4.5 绝缘子串的  $U_{50\%} = 357\text{kV}$  (正极性); 110kV 用 7 片 X-4.5 绝缘子串的  $U_{50\%} = 686\text{kV}$  (正极性); 220kV 用 13 片 X-4.5 绝缘子串的  $U_{50\%} = 1186\text{kV}$  (正极性); 500kV 用 28 片 XP3-16 绝缘子串的  $U_{50\%} = 2366\text{kV}$  (正极性)。

2. 本表计算内过电压危险距离时, 使用 1984 年出版的《电机工程手册》中正极性操作波 (500/5000 $\mu\text{s}$ ) 的棒对板间隙放电特性曲线; 计算外过电压危险距离时, 使用正极性标准大气过电压 (1.5/40 $\mu\text{s}$ 、全波) 棒对平板间隙放电特性曲线, 即取 547kV/m 计算。
3. 表中的最小安全距离是按标准大气条件的试验数据决定的, 当海拔超过 1000m 时需要修正。
4. 10kV 的操作过电压按惯用值 44kV (有效值) 计算。

(2) 空气的放电电压取 50% 放电电压, 而不是最高的放电电