

绝 缘 子

日本电气学会通信教育会 编

靳宝丰 魏光大 方云桥 译



机械工业出版社

本书系统而全面地阐述了电力系统绝缘设备中极其重要的绝缘子、套管和瓷套的种类和用途,绝缘子材料的物理和电气性质,绝缘子的电气和机械特性,绝缘子的制造和试验方法,污秽绝缘子的闪络特性和人工污秽试验方法,绝缘子在电力系统和输变电设备中的应用(包括绝缘设计、选用以及运行、维护保养等),500kV及特高压输电用绝缘子的各种问题等。本书荟萃了当代日本和世界各国有关绝缘子的最新研究开发成果,提供了大量的科学实验和运行数据。书中内容翔实,资料丰富。

本书可供从事绝缘子科研、设计、制造的科技人员和电力部门与电力设备制造部门的使用维护人员以及大专院校有关专业师生参考。

电气学会通信教育会

发行所 社团法人 电气学会

1983

★ ★

绝缘子

日本电气学会通信教育会 编

靳宝丰 魏光大 方云桥 译

★

责任编辑:孙流芳 牛新国 版式设计:吴静霞

封面设计:郭景云 责任校对:熊天荣

责任印制:王国光

★

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

★

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ · 印张 14 · 字数 363 千字

1990年3月北京第一版·1990年3月北京第一次印刷

印数 40,001—2,832 · 定价:12.25元

★

ISBN 7-111-01307-7/TM·165

目 录

译者的话

序言

第1章 绝缘子的种类及其变迁	1
1.1 绝缘子、瓷套及套管种类	1
1.1.1 按形状分类的绝缘子	1
1.1.2 按材料分类的绝缘子	7
1.1.3 套管的分类	9
1.2 绝缘子、瓷套及套管的变迁	11
1.2.1 概述	11
1.2.2 悬式绝缘子	14
1.2.3 长棒形绝缘子	17
1.2.4 针式绝缘子	19
1.2.5 线路柱式绝缘子	20
1.2.6 支柱绝缘子	20
1.2.7 瓷套、套管	22
参考文献	25
第2章 绝缘子的材料	26
2.1 瓷	26
2.1.1 瓷的特征	26
2.1.2 瓷的种类	26
2.1.3 瓷的规格与特性	27
2.1.4 绝缘子用瓷	28
2.1.5 高温绝缘用瓷	34
2.1.6 耐热冲击用瓷	35
2.1.7 瓷的物理特性	35
2.1.8 瓷的电气性能	37
2.1.9 半导体釉	37
2.2 玻璃	44

2.2.1 电气绝缘用玻璃的种类及其主要用途	44
2.2.2 电气绝缘用玻璃生产方法概述	44
2.2.3 电气绝缘用玻璃的特性	46
2.3 玻璃陶瓷(结晶化玻璃)	48
2.3.1 玻璃陶瓷的特征与用途	47
2.3.2 玻璃陶瓷的制造方法概述	48
2.3.3 玻璃陶瓷的特性	49
2.4 环氧树脂	50
2.4.1 环氧树脂的特征	50
2.4.2 环氧树脂的种类	50
2.4.3 物理特性	52
2.4.4 机械性能	52
2.4.5 电气性能	53
参考文献	55
第3章 绝缘子的电气特性	56
3.1 绝缘子的交流干闪络特性	56
3.1.1 干闪络距离与爬电距离	56
3.1.2 干闪络电压的定义	56
3.1.3 绝缘子的干闪络电压	57
3.1.4 大地对绝缘子干闪络电压的影响	59
3.1.5 穿有导体的套管的干闪络电压	59
3.2 绝缘子交流湿闪络特性	61
3.2.1 湿闪络电压的定义	61
3.2.2 绝缘子的湿闪络电压	61
3.2.3 水的电阻率与湿闪络电压	62
3.2.4 淋雨量与湿闪络电压	64
3.2.5 湿耐受电压	64
3.2.6 电源容量与湿闪络电压	65
3.3 绝缘子的雷电冲击闪络特性	68
3.3.1 雷电冲击电压波形	68
3.3.2 绝缘子的50%冲击闪络电压	68
3.3.3 湿50%冲击闪络电压	71

3.3.4	大地条件与50%冲击闪络电压	72
3.3.5	中间导体与套管的50%冲击闪络电压	72
3.3.6	绝缘子的雷电冲击电压时间特性	73
3.3.7	冲击比	76
3.1	气象条件与绝缘子的闪络电压	76
3.4.1	绝缘子的工频干闪络电压的长期测定结果	76
3.4.2	空气密度与工频干闪络电压	80
3.4.3	绝对湿度与工频干闪络电压	80
3.4.4	工频干闪络电压的湿度修正系数	83
3.4.5	大气条件与工频湿闪络电压	83
3.4.6	大气条件与雷电冲击闪络电压	83
3.5	绝缘子的电位分布	84
3.5.1	悬式绝缘子串电位分布的理论公式	84
3.5.2	悬式绝缘子串电位分布的实测值	85
3.5.3	按电场图法等求得的绝缘子电位分布图	87
3.6	绝缘子的油中击穿电压特性	89
3.6.1	瓷材料的交流油中击穿电压	89
3.6.2	绝缘子的交流油中击穿电压	90
3.6.3	空气中电晕与油中击穿电压	90
3.6.4	油中电晕与空气中电晕	91
3.6.5	绝缘油压与油中击穿电压	92
3.6.6	油的电阻率与油中击穿电压	92
3.6.7	施加电压速度、时间与油中击穿电压	93
3.6.8	绝缘子的油中冲击击穿电压	94
3.6.9	瓷件表面的油中耐受电压	95
3.7	绝缘子的无线电干扰电压特性	96
3.7.1	无线电干扰电压的测量	96
3.7.2	绝缘子的无线电干扰电压特性	98
参考文献		101
第4章 绝缘子的机械特性		103
4.1	绝缘子的拉伸强度特性	103
4.1.1	瓷的拉伸强度特性	103

X

4.1.2	长棒形绝缘子的拉伸强度特性	104
4.1.3	悬式绝缘子的拉伸强度特性	106
4.2	绝缘子的弯曲强度特性	107
4.2.1	瓷件的弯曲强度特性	107
4.2.2	棒形绝缘子的弯曲强度特性	109
4.2.3	空心绝缘子的弯曲强度特性	111
4.3	绝缘子的扭转强度特性	114
4.3.1	瓷件的扭转强度特性	114
4.3.2	棒形绝缘子的扭转强度特性	115
4.3.3	空心绝缘子的扭转强度特性	115
4.4	绝缘子的内压强度特性	115
4.5	绝缘子的复合强度特性	117
4.5.1	复合负荷的实测值	117
4.5.2	复合负荷的理论分析	118
4.6	绝缘子的冲击负荷特性	121
4.7	绝缘子的交变负荷特性	123
4.7.1	悬式绝缘子的交变拉伸负荷特性	123
4.7.2	悬式绝缘子的拉伸负荷和长期特性	124
4.8	绝缘子的固有频率	127
4.8.1	绝缘子固有频率的计算	127
4.8.2	动负荷与固有频率	129
4.9	绝缘子的风压特性	129
4.9.1	风速与风压的关系	129
4.9.2	绝缘子的阻力系数	130
4.9.3	绝缘子的风压计算	132
4.10	绝缘子的耐冷热特性	134
4.10.1	热传导与瓷件的温度分布	134
4.10.2	瓷件的热应力	135
4.10.3	绝缘子的冷热破坏	136
4.10.4	天然的冷热变化	138
4.11	绝缘子的耐弧特性	138
4.11.1	悬式绝缘子的耐弧特性	139

4.11.2	长棒形绝缘子的耐弧特性	140
4.11.3	瓷套的耐弧特性	141
4.11.4	防闪络角形件	141
4.12	绝缘子的冲击电压、电流破坏特性	142
4.12.1	悬式绝缘子的冲击大电流破坏特性	142
4.12.2	悬式绝缘子的冲击电压、电流破坏特性	143
4.13	绝缘子的老化	144
4.13.1	瓷件的吸湿	144
4.13.2	绝缘子各部件的热膨胀差	145
4.13.3	水泥的膨胀	145
4.13.4	瓷件的内在缺陷	146
4.13.5	偏热破坏	146
4.13.6	金属附件的电腐蚀	146
4.13.7	绝缘子的老化对策	146
	参考文献	147
第5章	绝缘子的污秽	149
5.1	概述	149
5.2	绝缘子的污秽	150
5.2.1	污秽程度的测量	150
5.2.2	以海盐为主的快速污秽	154
5.2.3	平时的污秽	155
5.2.4	烟尘污秽(工业污秽)	157
5.2.5	尘埃污秽	158
5.2.6	绝缘子形状与污秽	159
5.2.7	户内污秽	159
5.2.8	交流与直流带电的污秽比较	160
5.3	人工污秽试验方法	161
5.3.1	人工污秽试验法的意义	161
5.3.2	人工污秽试验法必须具备的条件	162
5.3.3	代表性的人工污秽试验法的概略分类	162
5.3.4	污秽物、污秽方法与湿润方法	163
5.3.5	污秽程度的表示方法	166

5.3.6 施加电压的方法	168
5.3.7 直流人工污秽试验法	170
5.4 污秽试验用电源	170
5.4.1 交流污秽试验用电源	170
5.4.2 直流污秽试验用电源	172
5.5 绝缘子的污秽闪络特性	175
5.5.1 污秽闪络机理	175
5.5.2 输电线路用绝缘子的污秽耐受电压特性	184
5.5.3 变电站用绝缘子、瓷套的污秽耐受电压特性	196
5.5.4 自然污秽绝缘子、瓷套的污秽闪络电压特性	201
5.6 冠冰雪绝缘子的耐受电压	201
5.6.1 雪的评价	201
5.6.2 交流耐受电压特性	203
5.7 统计的污秽设计	205
5.7.1 积分法	205
5.7.2 模拟法	207
5.8 绝缘子的污秽对策	209
5.8.1 加强绝缘设计	210
5.8.2 绝缘子清洗	211
5.8.3 憎水性物质的涂布	213
5.8.4 采用遮蔽绝缘子的方法	214
5.8.5 半导体釉绝缘子	214
5.9 关于绝缘子污秽方面今后的课题	214
参考文献	215
第6章 绝缘子用瓷件的制作及其尺寸	222
6.1 瓷件的制作	222
6.1.1 配料	222
6.1.2 成型	222
6.1.3 上釉	224
6.1.4 烧成	224
6.2 瓷件的尺寸公差	227
6.2.1 尺寸公差的概念	227

6.2.2 一般尺寸公差	227
6.2.3 端面的直径尺寸公差	227
6.2.4 中心线偏移	227
6.2.5 伞的倾斜尺寸公差	231
6.2.6 研磨加工制品的尺寸公差	231
6.2.7 研磨面的粗糙度	232
6.3 瓷件的制作标准	233
6.3.1 高度	233
6.3.2 直径	234
6.3.3 伞	234
6.3.4 壁厚	235
6.3.5 标准瓷套	235
参考文献	238
第7章 绝缘子在电力系统中的应用	239
7.1 概述	239
7.2 绝缘子在输电设备中的应用	239
7.2.1 绝缘子的种类	239
7.2.2 绝缘设计的考虑方法	239
7.2.3 绝缘子的选择与应用上的问题	253
7.2.4 绝缘子的维护与检修	273
7.3 绝缘子在配电设备中的应用	281
7.3.1 绝缘子的种类	282
7.3.2 绝缘设计的考虑方法	284
7.3.3 绝缘子的选择与应用上的问题	287
7.3.4 绝缘子的维护与检修	290
7.4 绝缘子在变电设备中的应用	292
7.4.1 绝缘子的种类	292
7.4.2 绝缘设计的考虑方法	294
7.4.3 绝缘子的选择与应用上的问题	297
7.4.4 绝缘子的维护与检修	301
参考文献	301
第8章 绝缘子在电力设备中的应用	303
8.1 概述	303

8.2 设备用绝缘子与套管种类	303
8.2.1 设备用绝缘子的种类	303
8.2.2 套管的种类	304
8.3 设备用绝缘子及套管的特性	308
8.3.1 电气特性	308
8.3.2 机械特性	314
8.3.3 其他特性	328
8.4 设备用绝缘子及套管事故与维护	329
8.4.1 绝缘子、瓷套	329
8.4.2 套管	331
参考文献	333
第9章 绝缘子的试验	334
9.1 概述	334
9.2 试验的种类	335
9.3 结构与外观检查	336
9.4 电气试验	337
9.4.1 电气试验的目的与种类	337
9.4.2 工频交流电压试验	337
9.4.3 雷电冲击电压试验	341
9.4.4 操作冲击电压试验	343
9.4.5 工频交流、雷电冲击、操作冲击电压试验的各种条件	344
9.4.6 污秽试验	350
9.4.7 介质损耗角正切与静电电容的测量	351
9.4.8 局部放电试验	351
9.4.9 耐弧试验	351
9.5 机械负荷试验	352
9.5.1 机械负荷试验的目的与种类	352
9.5.2 拉伸负荷试验	353
9.5.3 弯曲负荷试验	353
9.5.4 扭转负荷试验	354
9.5.5 打击负荷试验	355
9.5.6 内压负荷试验	356
9.5.7 机电破坏负荷试验	356

9.5.8 疲劳试验	358
9.5.9 为逐只验证强度与检出缺陷的机械负荷试验	359
9.6 温度循环试验	362
9.6.1 温度循环试验的目的	362
9.6.2 试验方法	364
9.7 材料试验	364
9.7.1 材料试验的种类	364
9.7.2 孔隙性试验	364
9.7.3 镀锌试验	365
9.8 非破坏试验	367
9.8.1 非破坏试验的意义与种类	367
9.8.2 超声波探伤试验	367
9.8.3 X射线探伤试验	368
参考文献	369
第10章 500kV 及特高压输电的各种问题	370
10.1 概述	370
10.2 耐污秽设计	371
10.2.1 长串绝缘子的交流污秽耐受电压	374
10.2.2 绝缘子串的直流污秽耐受电压	378
10.2.3 瓷套类的污秽耐受电压	381
10.2.4 直流输电用绝缘子的防电腐蚀的措施	382
10.2.5 结论	383
10.3 操作冲击电压闪络特性	385
10.3.1 操作冲击电压闪络特性的一般性质	385
10.3.2 绝缘子装置的闪络特性	391
10.3.3 污秽和覆冰雪绝缘子的闪络特性	400
10.4 应用上的各种问题	407
10.4.1 输电线用绝缘子装置	407
10.4.2 设备用瓷套与支柱绝缘子	409
10.4.3 绝缘子与瓷套的维护	412
参考文献	420
附录 绝缘子和套管有关标准一览表	427
本书采用的非法定计量单位与法定计量单位换算表	430

第 1 章 绝缘子的种类及其变迁

1.1 绝缘子、瓷套及套管种类

绝缘子、瓷套及套管可按下述分类：

- (1) 按形状分类；
- (2) 按工作电压分类；
- (3) 按材质分类。

1.1.1 按形状分类的绝缘子

绝缘子按形状可分为如下几类：

1. 悬式绝缘子 悬式绝缘子是一种最广泛使用于户外线路绝缘的绝缘子，由支持物上的横担将绝缘子悬挂，在下端通过支持导线的金属附件，形成支持导线的结构。

这种绝缘子，如图 1.1 所示，是以帽状的瓷件为绝缘体，在其上将铁帽和钢脚联结金属附件用水泥胶装而成的。使用时将一至数十个绝缘子连接。使用实例如图 1.2 所示。

这种绝缘子按瓷件部分的直径或按机电破坏负荷值来分类称呼。悬式绝缘子也包括耐盐污悬式绝缘子，有时称为耐雾绝缘子、耐污绝缘子、深伞棱形绝缘子等（见图 1.3）。

2. 长棒形绝缘子 长棒形绝缘子（也称为棒形悬式绝缘子）是一种在实心柱状的瓷棒上设置适当数量的伞，在其两端上装有

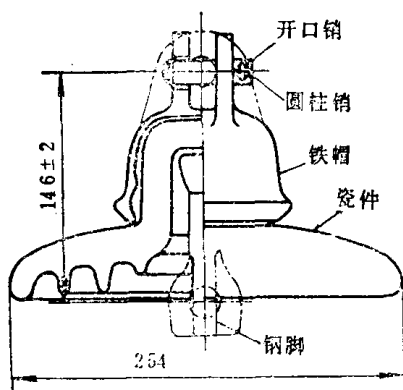


图1.1 250mm槽形
悬式绝缘子

铁帽的绝缘子。使用时对瓷棒本身施加拉伸负荷。

长棒形，绝缘子是从具有两片伞的摩托形绝缘子发展而来的，增加了总长和伞数，任一个绝缘子均与普通悬式绝缘子一样，可以联结起来使用。长棒形绝缘子的使用实例如图 1.4 所示。长棒形绝缘子除用于输电线路外，也广泛地用作交流及直流电车线路用绝缘子。

3. 针式绝缘子

它是一种伞状的瓷件为单体或叠成层状，

并用水泥胶装的、装有像伞柄一样钢脚的绝缘子。如图 1.5 所示，将绝缘子垂直安装在铁横担或木横担上，用绑扎线等将导线固定支持在其顶部线槽或侧面线槽上。

这种绝缘子用于高低压线路和通信线路上，并曾用于 66kV 以下的输电线路中，但现在日本对其需要量锐减，在日本工业标准 JIS 中，对特别高压用针式绝缘子的标准已予以废除。

4. 线路柱式绝缘子 其使用情况和针式绝缘子一样，用钢脚将它垂直安装在铁横担或木横担上。这种绝缘子是在实心圆柱状瓷件上设置有适当数量的伞，与针式绝缘子一样，用绑扎线等将导线固定支持在其顶部。因此在顶部或侧面设有线槽，并装有供固定导线夹用的铁帽。下部则与底座金属附件连接，在此金属附件上固定有绝缘子安装用钢脚（见图 1.6）。

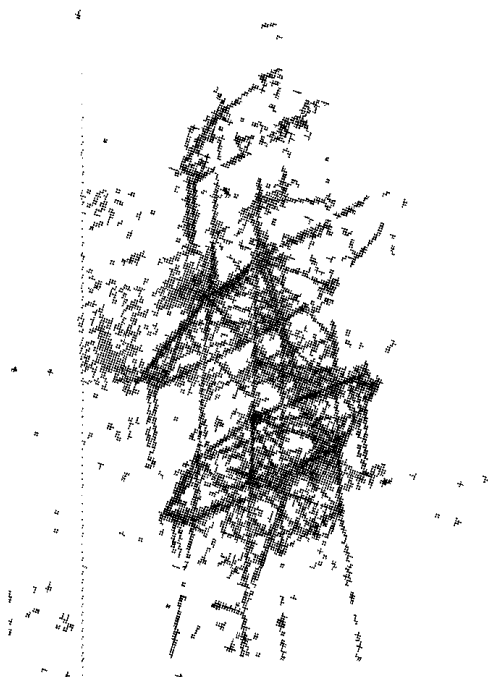


图 1.2 悬式绝缘子使用实例

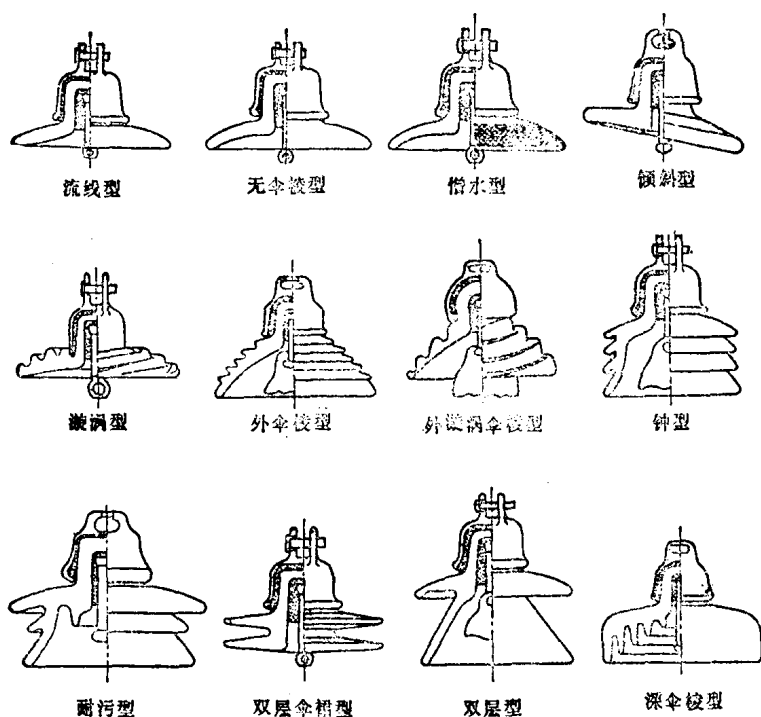


图1.3 各种耐盐污悬式绝缘子

因瓷件部分是实心的，作为无劣化、无击穿绝缘子，可采用此种线路柱式绝缘子来代替针式绝缘子。

从电杆的美化和经济性观点出发，也有采用供水平安装用的线路柱式绝缘子。此时，金属附件部分的结构特设计成适合于水平使用的，称之为横装线路柱式绝缘子。

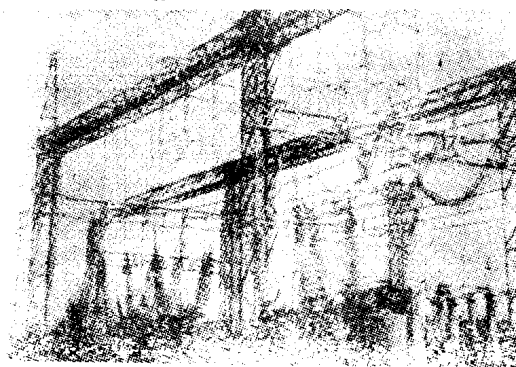


图1.4 长棒形绝缘子使用实例

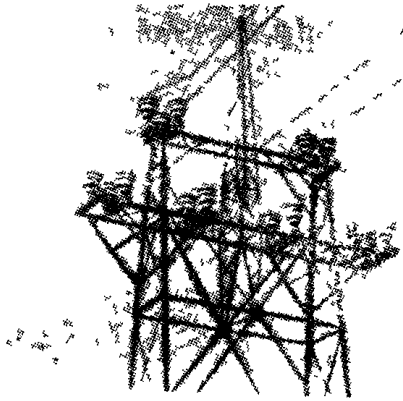


图1.5 特别高压针式绝缘子使用实例



图1.6 线路柱式绝缘子使用实例

5. 支柱绝缘子 支柱绝缘子按其用途大致可分为户外支柱绝缘子和户内支柱绝缘子。又按其形状大致可分为针式支柱绝缘子、圆盘形支柱绝缘子和电站支柱绝缘子等。均可用于发电厂、变电站、开关站等的母线支持，或隔离开关等的绝缘。

a. 针式支柱绝缘子 是一种户外使用的支柱绝缘子，用一只或按其工作电压将其适当只数叠装并连接起来使用。它是采用与针式绝缘子类似形状的瓷件，头部用铁帽、下部用钢脚胶装，作为支柱用的绝缘子，其形状如图1.7所示。

这种绝缘子与针式绝缘子一样，在日本几乎不再使用了，取而代之的是使用电站型支柱绝缘子。

b. 圆盘形支柱绝缘子 是一种使用与悬式绝缘子相类似的瓷件，以铁帽和钢脚状的金属附件作为支持用的绝缘子，也称为柱式绝缘子，如图1.8所示，连结起来供户外使用。这种绝缘子和针式支柱绝缘子一样，在日本几乎不再使用了。

c. 电站支柱绝缘子 是一种在圆筒形实心瓷件上设置适当数量的伞，在瓷件的两端将铁帽和法兰支持金属附件用水泥胶装的绝缘子。

这种绝缘子为使其适合于工作电压和污秽条件，可用单根绝

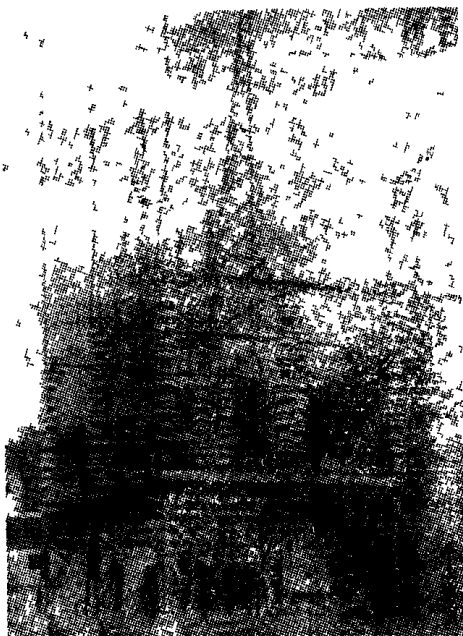


图1.7 针式支柱绝缘子

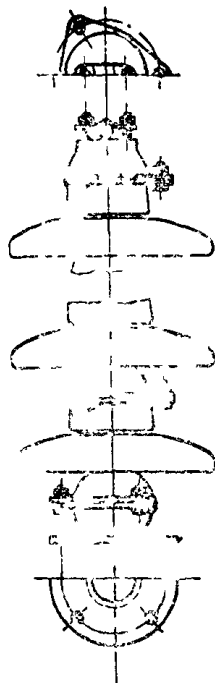


图1.8 柱式绝缘子
(圆盘形支柱绝缘子)

缘子或将其连接起来供支持母线和隔离开关等使用。主要用于户外，可取代针式支柱绝缘子。

其尺寸精度高，机械、电气性能与针式支柱绝缘子相比，可靠性非常高。电站支柱绝缘子的使用实例如图1.9所示。

在国外有一部分采用中空圆筒状瓷件的线路柱式绝缘子或电站支柱绝缘子，但发展的趋势是正向实心化方向变化。

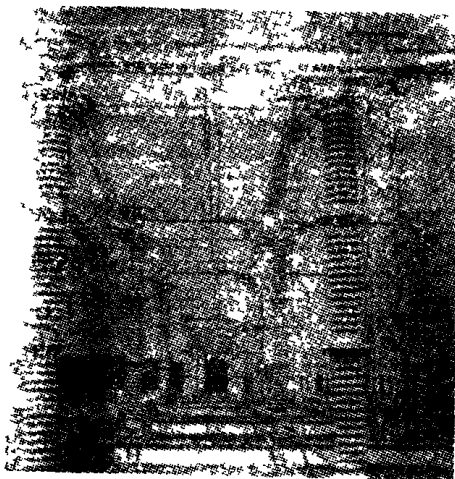


图1.9 电站支柱绝缘子使用实例

d. 户内支柱绝缘子 是作为户内电器设备的绝缘,例如户内母线支持、隔离开关、配电柜内绝缘用等所使用的绝缘子,总称为户内支柱绝缘子。这些绝缘子是在实心瓷件或中空瓷件上设置适当的伞裙,其两端装有铁帽、法兰及埋入金属附件等支持金属附件。伞裙的形状大多采用上下对称形的。

户内支柱绝缘子按其形状,分为多伞裙形、光滑伞形、鼓形等。然而户内支柱绝缘子不单有瓷制的,最近使用环氧树脂制的也很多,人们有效地利用了环氧树脂的特征,创制出各种形状的绝缘子。

e. 输电线用支柱绝缘子 在输电线路中,有时需对跨越线等进行支持,作为这一目的所使用的绝缘子有棒形支柱绝缘子。这种绝缘子与长棒形绝缘子一样,在瓷件上胶装有适当形状能支持导线和绝缘子固定用的铁帽和法兰。它适用于较轻负荷条件的支持。

作为输电铁塔构成材料的一部分,代替横担而使用圆柱形的实心绝缘子,例如采用电站支柱绝缘子。又可以将长棒形绝缘子金属附件的一部分改变,使两组长棒形绝缘子柱以V形结构构成V形悬挂长棒形绝缘子装置,也可被看作为一种支柱绝缘子。这是对输电线路设计在狭窄线路之间时,作为防止导线横向摆动的一种手段而采用的有效支持装置。

6. 拉紧绝缘子 是一种使瓷件呈压缩状态,施加相互交差的拉伸负荷,拉紧导线,并使之绝缘的绝缘子。

这种绝缘子,依其形状分为线轴式绝缘子、蛋形绝缘子、八角形绝缘子等。主要用于高低压配电线的拉紧。日本高压配电线的拉紧过去采用线轴式绝缘子,现在取而代之的是与悬式绝缘子类似结构的高压耐拉绝缘子,几乎全部取代了线轴式绝缘子。低压线路用的线轴式绝缘子等的拉紧绝缘子,由于布线方式的合理化等,其使用量已经减少。图1.10为拉紧用绝缘子的实例。

7. 瓷套 由瓷件等绝缘体构成的管状绝缘制品称为瓷套。瓷套除有单纯的中空管状的外,用于设备的外壳绝缘物等时,由