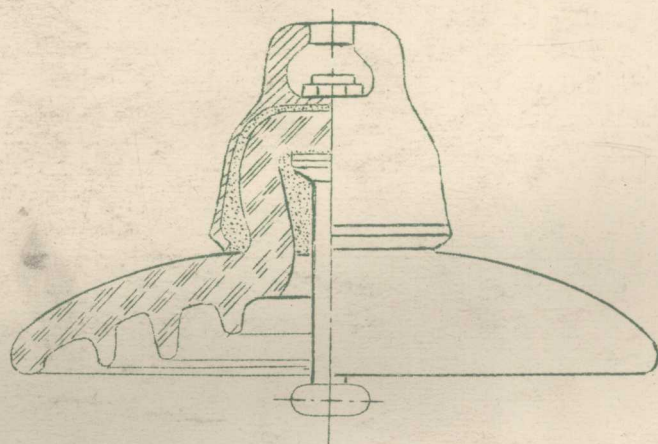


鋼化玻璃懸式絕緣子



南 京 电 瓷 厂

一机部南京电瓷研究分所

1963.9, 南京

钢化玻璃悬式绝缘子

一、玻璃绝缘子发展过程及趋势

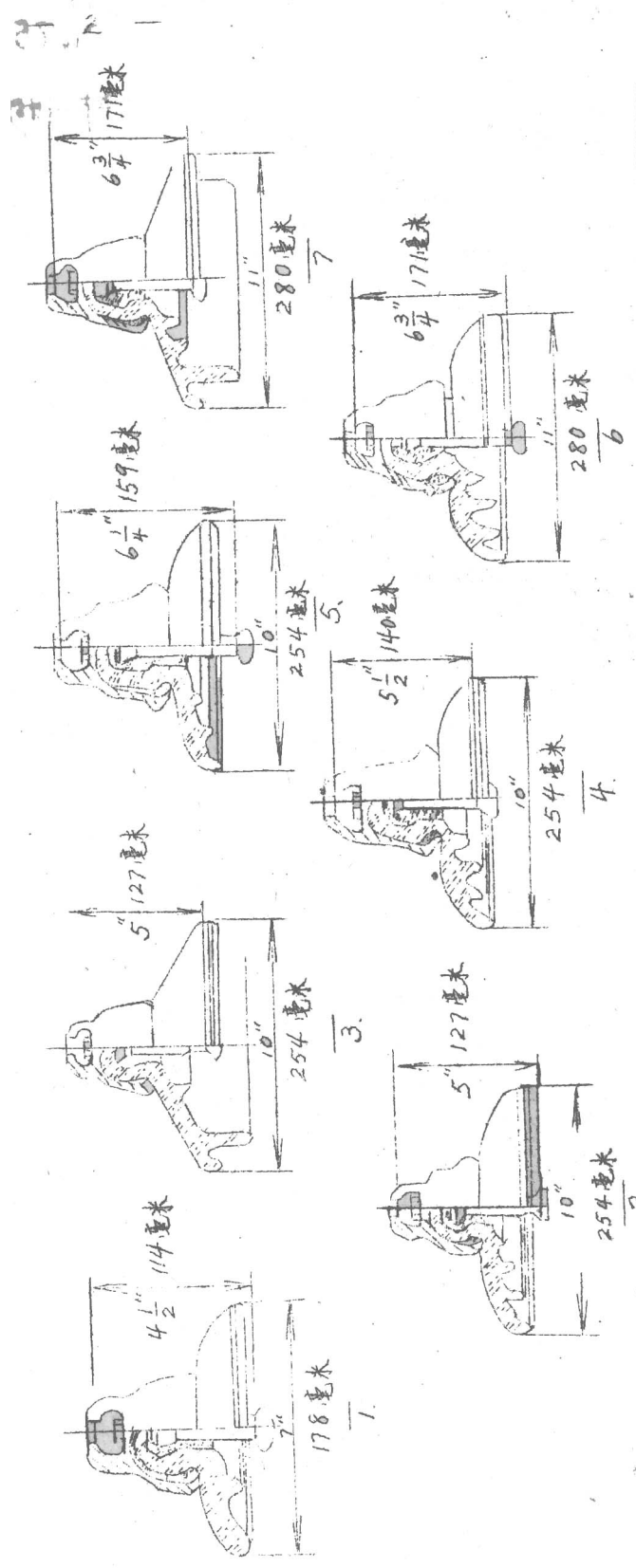
被称为“透明瓷”的玻璃绝缘子在本世纪初国外已开始研究与试制，由于当时的玻璃绝缘子（退火的）机械、电气与热稳定性不高，未能广泛采用，1935年英国采用了平板玻璃钢化的方法来制造绝缘子，克服了上述缺点，大大地提高了机电强度和热稳定性，并且普遍使用在高压线路上，因此“钢化”是玻璃绝缘子发展的具有标志性的阶段，使得在绝缘子材料中不仅有瓷、而且也有了玻璃。

玻璃绝缘子的制造与线路运行，在国外已有很悠久的历史，并且获得了可靠的使用经验，英国在高压线路上40%以上使用了玻璃，到1951年8月为止，仅英国彼尔金格顿公司（PB）供应本国使用的总数达1.25百万只，供应欧洲及殖民地国家有1.42百万只（表1），据英国PB公司的约翰斯顿（E. F.

表1.

国家名称	第一次供应年代	供应总数
澳大利亚	1938	346,000只
南非	1938	670,000只
新西兰	1938	32,000只
印度和巴基斯坦	1947	70,000只
欧洲	1947	300,000只

Johnston) 1950年5月在举行国际大电网会议上，提出的“电力线路钢化玻璃绝缘子”专题报告（NO: 204）及1952年英国玻璃绝缘子产品样本，英国已经大批生产针式、悬式等20个品种（图1），而且已有完整的系列，如悬式就有13种之多，其中防尘、防雾型有4种，投入运行电压110—400千伏



图号	型号	机电强度 (按BS.137)公斤	内 路 电 压		击穿电压		绝缘距离		静电电容 C	重量 公斤
			干弧作伏	湿弧作伏	油中作伏	空气中作伏	总的毫米	防护的毫米		
1	BS. 8 4 1/2	3600	55	35	100	不击穿	165	89	42	2.2
2	BS. A. 10.5	4600	70	50	120	不击穿	286	171	41	4.2
3	BS. F. 10.5	4600	70	50	120	不击穿	368	203	47	4.6
4	BS. A. 20.5 1/2	9100	70	50	120	不击穿	286	175	50	5.1
5	BS. 30.6 3/4	9100	70	45	120	不击穿	229	124	73	5.9
6	BS. 42.6 3/4	19050 *	80	50	120	不击穿	349	216	60	8.16
7	BS. F. 12.6 3/4	19050 *	90	52	120	不击穿	425	260	65	8.16

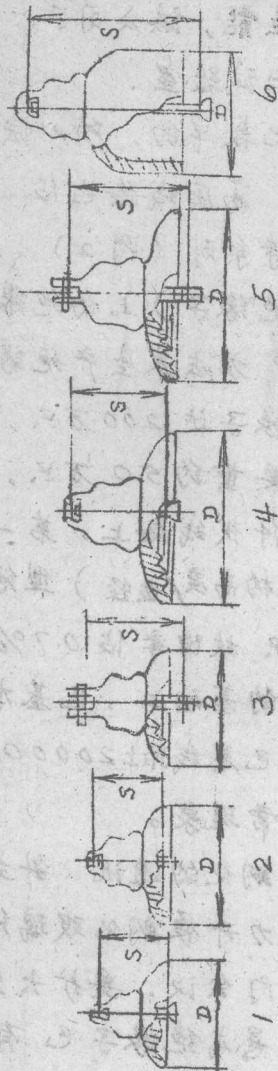
图1. 英国钢化玻璃悬式绝缘子典型品种

* 按A.I.E.E.

約翰斯頓提供的資料，单个元件的故障率为 0.062%，串的故障率为 0.044%，瑞典从 1950 年起大约五年内在 200—400 千伏线路上已装有英国玻璃绝缘子 19 万只，仅 9 只发生故障，其中 380 千伏线路装用的，已可靠地运行了四年，目前英国 PB 公司的 11 吋悬式，机电强度标准已提高到 12.7 吨及 19.05 吨二种，为了研究与提高钢化玻璃绝缘子的性能，该公司于 1959 年 11 月建立了一座具有世界水平的高压试验室。

法国在试制与使用玻璃绝缘子方面也是比较早的，所以法国在低中压线路上已全部采用了玻璃绝缘子，高压线路已佔 80% 以上，在品种方面不仅有针式、悬式等系列（图 2），而已扩展到电器设备（如隔离开关上的支柱绝缘子）上的绝缘子，据报道法国从 1950 年起才运用“钢化”方法来生产绝缘子，到 1955 年已使用高压悬式钢化玻璃绝缘子达 200 万只，估计 10—200 千伏范围内的高压线每年需要量约 50 万只，据报导，1955 年西德在一条 18 公里 60 千伏线路上，第一次安装了法国 L.E.V. 公司的 150/254（法构高度/直径）型绝缘子，不到半年光景 1800 只，自动爆破 12 只，故障率佔 0.7%，1958 年该公司在提高玻璃熔制与成型质量的基础上，已基本上消除了“自动爆破”现象，如布尔多—巴黎线路上 20000 只钢化悬式，经过半年的运行，並未发生异常现象。

苏联早在 1927—1930 年曾生产过非钢化的通讯、针式玻璃子，自 1952 年国际大电网会议后，大力开展钢化玻璃绝缘子研究试制工作，1957 年 12 月召开了专门会议，要扩大生产，加强对玻璃料方的研究，如今钢化玻璃悬式绝缘子已有 ПС-4.5；6；8.5；11；16，及 ПСТ-4.5（防虫、防雾型）等品种，至 1960 年底，已送交运行的有 15 万只以上，电压范围在 35—220 千伏，据报导里沃夫工学院的 ПС-4.5 有 2 万只以上，正常可靠的运行了二年，玻璃研究院的 ПС-4.5 有 5500 只在莫斯科供电局 220 千伏线路上运行半年，损坏 19



图号	型号	工作电压 千伏	B.S.S. 等值污秽 千伏	最小内径		绝缘距离 英寸	高度 S		直径 D		机电重量	
				干弧 千伏	湿弧 千伏		英寸	毫米	英寸	毫米	磅	公斤
1	BS 1506-T	6.6	20	48	30	6	4	100	6	155	6500	3000
2	BS 1508-T	11	30	55	34	6 1/4	4 1/2	112	7	175	11000	5000
3	CT 1508-T	11	30	55	34	6 1/4	5 1/2	140	7	175	11000	5000
4	BS 1510-T	16.6		80	45	10 1/4	5 3/4	146	10	254	20000	9000
5	CT 1510-T	16.6		80	45	10 1/4	6 3/4	170	10	254	20000	9000
6	BT 1518-AT	16.6		80	45	13 3/8	10 1/2	265	7 1/4	185	15000	7000

图 2. 法国 L.E.V. 公司钢化玻璃悬式绝缘子

只，故障率佔 0.27%，莫斯科供电局于 1960 年底安装 7200 只里记夫工学院的 $\Pi C-4.5$ ，运行半年以上，未发生异常现象。

此外，美国、意大利、瑞典、西德、加拿大等国家，也能生产玻璃绝缘子，并且正在扩大使用范围，吸取运行经验。

值得提到的是西德和日本的情况，西德习惯于使用长棒型瓷质悬式绝缘子。对玻璃绝缘子优点的看法有不少争论，尽管如此，西德仍在扩大试运行，并且已制成额定安全负荷 30 吨和平均破坏负荷约 40 吨的盘形钢化玻璃绝缘子。日本擅长于制造高强度盘形瓷质悬式绝缘子，其机电强度可达 42000 磅，老化率极低，但据 1960 年日本“电力”杂志报道，经过对英国 PB 公司产品性能对比试验之后，已引起注意，他们认为日本在瓷质绝缘子已达到世界水平的同时，玻璃绝缘子必须迎头赶上，进行研究。

我国玻璃绝缘子的试验研究工作开始于 1958 年，那时南瓷厂与南瓷所在技术资料缺乏及试验设备简陋的条件下，经过一年的摸索，初步制成了仿英 10 吋 ($G2604$)，58 年 12 月由一机部、轻工业部在南京召开了玻璃绝缘子经验交流会，此后我所制成了仿苏 $\Pi C-4.5$ ($G-2613$)，在 60 年 7 月南京召开的玻璃绝缘子鉴定会议上进行了鉴定，61 年我所便自行设计与试制了性能优良的 $LX-4.5$ ($G-1101$)，并投入生产，继此之后又试制成功了 $LX-3$ ， $LX-4.5W$ (防污)， $LX-7$ (图 3)。今年 6 月初在南京又召开了“7 吨级玻璃绝缘子的鉴定及玻璃绝缘子标准审查会议”与会代表肯定了玻璃绝缘子的优点及发展方向，对我所已进行的工作表示满意。

二、玻璃绝缘子的优点

国内外所以要试制与生产钢化玻璃绝缘子是由于它具有胜过瓷绝缘子的优点。

1) 性能方面：

钢化玻璃绝缘子的独特优点，机电强度高，冷热性能好，

因此适于制造小尺寸，高强度绝缘子（表2）。

国内外十吋钢化玻璃悬式绝缘子性能比较表 表2

	英国		法国		苏联		中国		中国	
	标准	实测	标准	实测	标准	实测	标准	实测	标准	实测
型 号	B. S. A. 20, 5 3/4		B. S. 1510 T		ПГ-4.5		LX-4.5 (G-1101)		瓷 П-4.5	
制 造 单 位	Pilkington Brathers L. T. D		ELECTROVERRE L. E. V.		里次夫 第二玻璃厂		南瓷分所		南瓷厂	
伞盘直径 (mm)	254		254		255		254		270	
结构高度 (mm)	140		146		130		140		170	
重 量 kg	5.1		5		3.7		4.2		6.7	
机电破坏强度 (吨)	9.1	1385	9.1		6		6 9-10		6 9-10	
干弧放电电压 (KV)	70	75-76.2	80		6.2		75 80-81.54		75 81-83.5	
湿弧放电电压 (KV)	50	33.3-39	45		40		40 42.5-46.5		40 45-47	
油中击穿电压 (KV)	120	112	90		115		110 153-175		110 120-145	
爬电距离 (mm)	286	300	260		255		280 300		258	

① 机电破坏强度高

玻璃经钢化后，提高强度 5~6 倍，约为瓷的 2~3 倍，英国 B. S. A. 20, 8 1/2 盘形悬式绝缘子的强度不低于 16 吨，西德已制成额定负荷 30 吨的盘形悬式，我所生产的 LX-4.5 (G-1101) 平均破坏负荷在 9.5 吨以上，且大多数附件损坏而玻璃件不坏，LX-7 (G-1104) 达到了 15 吨。

② 耐机械冲击性能好

钢化玻璃绝缘子的玻璃件能承受 2 米高落下的重 2 公斤的钢球而不损坏，我所曾用稻草色紫的绝缘子（一筐装十只）从 2 米高自由跌落 2 次在水泥地坪上而未损坏，这证明在运输过程中钢化绝缘子无损色紫，而对线路安装也带来了方便。

③ 冷热性能好

玻璃经钢化后，能耐受 250°C 温差的冷热冲击，目前在生产的条件下还只须经过温差不低于 90°C 的冷热冲击，始能进行装配，这一性能远超过瓷绝缘子。

④ 不会老化：

玻璃件因钢化而在表面层产生一种压缩应力，故在使用过程中，它的表面不可能呈现裂纹现象，另外，由于表面玻璃态之故也不能吸收水分，因此玻璃件不会老化，其使用寿命取决于金属附件的寿命，瓷绝缘子就不能达到这样的要求。

⑤ 电气强度及抗雷击性能好

玻璃的介电强度在 $1/5$ 微秒波形脉冲电压试验时，平均击穿值为 1700 千伏/厘米，约 3.5 倍于陶瓷，而且能耐受雷电冲击所引起的冲击。

⑥ 残余强度高

玻璃绝缘子遭受到强烈的机械、热的作用或电气击穿而损坏后，则整个伞盘脱落，而绝缘子残余部份仍能承受相当高的拉力，以保持绝缘子串的完整性，不会产生掉线事故。

⑦ 电容值大，串内性能好

由于玻璃绝缘子头部结构比瓷的小，壁薄且又均匀，它的介电常数较瓷稍大，使单只绝缘子的电容值大大提高了（表3）。

表 3

绝缘子种类	英 B.S.A. 10.5 ^{3/4}	日 N.G.K.10	美 OB 10	美 LOCKE 10	日-4.5	中国 LX-4.5 (G-1101)
电 介 质	玻璃	瓷	瓷	瓷	瓷	玻璃
绝缘体头部最大 外径 mm.	约 78	约 83	约 83	约 79	94	74
单只绝缘子电容 PF	49.25	46.8	31	33.9	43.75	49.5

因此，在高电压试验时，使绝缘子串的电圧分布均匀，所以玻璃绝缘子串的干、湿内络放电性能都比瓷的好，特别是正、负极冲击放电性能大大地超过了同类瓷绝缘子的实测值。（见第四部分，2）。

2) 使用方面：

① 若线路使用尺寸小、强度高、重量輕的玻璃绝缘子时，可以減輕鉄塔的負荷与降低塔干的高度，或可加大跨距，大大地节省了金属与木材的消耗，降低了线路的造价。

② 钢化玻璃绝缘子是長寿命，不会出现老化现象，同时使用维修比瓷的簡易，据苏联莫斯科供电局的报导，一条長100公里的110千伏的线路，若全部安装玻璃悬式，可节省100个劳动力。

③ 钢化玻璃绝缘子的“自动爆破”，在某程度上应该说是它的优点，由于它的残余强度高，确保了绝缘子串的完整性，可以大大地簡化线路的维修检查工作，所以英法这些国家，已用直升飞机，在高山曠野人跡稀少的地方进行巡线与维修线路。

④ 玻璃是透明的，用视力检查及用偏光鏡检查就可发现绝缘子的缺陷，可不必采用电气试验，在线路运行时亦无须登杆检查。

3) 生产方面：

① 玻璃的生产周期短，设备简单，作业面积小，同时生产过程易实现机械化、自动化，可以提高劳动生产率，与降低产品成本。

② 由于玻璃绝缘子尺寸小，重量輕与瓷绝缘子相比，每生产100吨玻璃绝缘子，可节约原料20%，钢材可节约25%。

③ 玻璃生产过程的废品可以全部回炉利用，堵塞了

熟料浪费现象。

④ 基于上述原因，兴建一座同等年产量的绝缘子工厂，玻璃绝缘子的投资则为陶瓷绝缘子的四分之一，而建厂速度快5~6倍，所以生产钢化玻璃绝缘子是符合了多、快、好、省的原则。

三、设计与工艺简述

1) 钢化玻璃悬式绝缘子的造型设计大致上和瓷绝缘子是相同的，但由于钢化玻璃机械及介电强度高的特点，故在设计上也就应有它的独特之处。

钢化玻璃绝缘子的设计，既要满足机电性能的要求，又要符合工艺性能的要求。它的设计可分为头部及伞盘结构二部分。头部是机械和电气应力集中的部位，因此对头部尺寸设计的要求是能承受应力均匀，防止抽心、脱帽，经过多次研究与试验，4.5吨级悬式是采用圆锥头、中孔也是圆锥形，属于一种复合式的变形设计（图4）。虽然，玻璃绝缘子的头部很小，但头

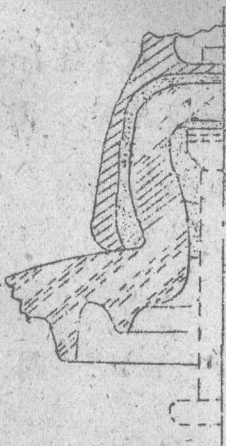
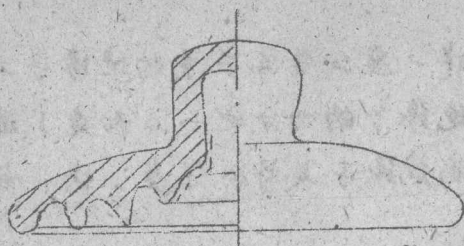


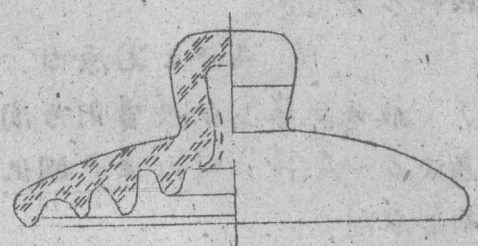
图 4

头部复合式变形设计

部厚薄均匀，承受机电应力也很均匀，所以电容值较同类瓷质绝缘子长（见表3）。这对绝缘子串的电压分布以提高它的串内放电性能十分有利。关于伞盘的设计应保证足够的爬漏距离以满足干、湿闪络放电的要求，同时为了便于钢化，要求绝缘子各部分的厚度力求均匀一致，伞轮不宜太薄太尖，应尽可能使成较大的圆弧形，伞轮的位置亦应均匀布置，伞轮之间的间隙与伞轮高度近似，便于拭擦槽中的污垢（图5）。



5 a 瓷绝缘子伞盘



5 b 玻璃绝缘子伞盘

图5 伞盘典型设计示意图

2) 玻璃绝缘子的制造工艺比瓷的简单，工序少，周期短，最大的优点它的全部生产过程可以机械化、自动化。

玻璃绝缘子有配料、熔制、成型、保温、钢化等五道工序

配料：目前玻璃料方采用无硼多碱玻璃，它经钢化处理后具有较高机械强度、电气强度及冷热性能，并且适合于钢化工艺的要求。

熔制：玻璃是在高温池炉中进行熔融，玻璃液的质量在化学上应是均一的，并且不能夹有气泡及未熔化的砂粒，耐火材料碎屑等杂质。

成型：由人工挑料至压模内，在人工偏心手压机上进行一次成型，然后在高温下进行搪孔，使中孔呈现倒退拔形。图6是成型时的情形。



图6

成型压机

保温：保温的目的是使成型后的玻璃件各部分达到均匀一致的可塑状态的温度（即钢化温度）且不变形。

钢化：经保温好的玻璃件，立即送入钢化机上（图7）用空气进行急剧而均匀的冷却，使制品表面一层呈压应力，内层为张应力。

所以玻璃绝缘子从成型到钢化整个半成品生产过程仅需35分钟，而同类瓷绝缘子从成型到出窑止，半成品生产过程需要12天以上。



图7 钢化机

热震试验：为了剔除个别含有杂质或钢化不良的制品，必须逐只进行一次温差不小于 90°C 的热震试验（图8），合格者，才能进行胶装。

余下的工序如胶装、成品检查等皆与瓷质悬式绝缘子相同。

胶装：玻璃件与金属附件胶结在一起，系采用水泥胶合剂，为了提高胶装质量，我所采用高标号硅酸盐水泥，并在振动胶装机上进行（图9）装配后的成品须在不低于 10°C 的室温下初步硬化24小时。



图8 冷热冲击试验

然后在不低于 80°C 的硬化室或煮沸池内继续硬化48小时。

成品检查：严格按悬式玻璃绝缘子检查标准进行，即装配好的绝缘子进行装配尺寸及外表检查后，逐只进行一分钟拉力试验（图10），和三分钟火花电压试验（图11），达到进一步挑剔废品的目的。



图9 振动胶装机



图10 一分钟拉力试验装置

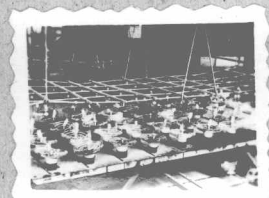


图11 三分钟火花电压试验装置

经过例行试验合格后的绝缘子，再从中抽取一定数量进行抽查试验，如1小时机电联合试验，冷热试验，油中击穿试验，和机电破坏试验等，抽查试验合格后，才能出厂。

四、有关几项试验情况简介

1. 试运行情况

我所早期生产的4.5吨悬式G-2613（仿苏）已在部分地区进行了线路运行，有的已作出了运行小结，今将在北京地区试运行情况列在表4。由于G-2613泄漏距离短（258毫米），干、湿内络放电电压偏低，我所在61年已自行设计与生产了G-1101，它的各项性能均比G-2613高，今年已生产了一万五千只G-1101，许多使用部门正在陆续上杆运行，最近天津电业局塘沽地区110千伏线路上与瓷绝缘子并列运行时，并未发生异常情况，仅对泄漏电流值与瓷绝缘子作了比较测试，其结果列在表5。

鋼化玻璃絕緣

負責試點 運行單位	线路电压 等級千伏	线路机械 情况	安裝地点	安裝方式	安裝總數 片	安裝運行中有否 自行爆炸
北京供电局	35	木杆 AC-150 导线	热伍线(热电厂到大伍基) 化工污秽区	直线杆每串4片	24	0
	35	木杆 7×2.54 銅线	通双北线(通州电厂到双桥) 化工污秽区	直线杆 每串4片其中一串 中有二片玻璃绝缘 子表面涂有酚醛漆	18	0
	110	洋灰杆 铁担.导线 AC-240	后束线(后屯 到东北郎)化 工污秽区	直线杆 每串安裝8片 玻璃绝缘子+1 片瓷绝缘子	48	0
石家庄 电力局	110	II型洋灰 杆导线: AC-240	石一东线 (石家庄热电厂 到留村一次变) 化工厂及运河 附近,化学污 秽影响并不太 重,被划为当 地二级污秽 区	直线杆每串6片 (同一条线路瓷 绝缘子为6片 C-105) 安裝情况見备注	36	1960.在天津河 北省电力设计院 库房曾发现一方 自行爆炸的,到 底何时爆炸的, 无法查明。
北京电力 设计院	110		北京通訊干扰 試驗线路 一段地区	直线杆 每串6片 耐張杆 每串7片	300	60.11发现线 路二自动爆炸 一片。由于线 路未运行无人 维护,碎片已 在耕地时翻掉。

試运行情况

表 4

投入运行 时 间	运 行 情 况	备 註
1960.5 左右	60年运行中巡线未发现异常现象。 61.1.24. 下雪后巡线没有发现问题。 61.2.6. 上午7时左右大雾天巡线发现玻璃绝缘子响声大且有跳跃的火花放电而且同一条路上附近安装的 C-5 运行正常。	(1) 1961 年 2 月因反污碰斗争，需换涂料瓷瓶将玻璃绝缘子换下了，现尚未再安装。 (2) 运行的线路没有仪表监视，发现一些情况，主要是通过巡线观察。
1960.5 左右	巡线时没有发现异常现象。	
1960.6 左右	同上	
1960.1.24.	运行情况良好。 但目前发现运行的绝缘子有半数以上玻璃盘由运行初的透明绿色变成白色。变白色的绝缘子在线路上的位置亦无一定规律。	安装情况： 10#杆 B 相 6 片 (全部为玻璃绝缘子) 11#杆 A " " (") 11#杆 C " " (") 12#杆 A " 3 " (从导线起第 4 5 6 片为玻璃绝缘子) B 3 (同上。 2. 3. 4) C 3 (同上。 2. 4. 5) 13# A 3 (同上。 ") B 3 (" 2. 4. 6) C 3 (" ") 与玻璃绝缘子混合安装的是 C-105
1960 年 6 月 安装于线路 因通讯干扰 方面原因一 直没有通电 玻璃绝缘子 仅受机械负 重		

表 5

天气情况	相对湿度 %	洩漏电流值 (毫米)			
		X-4.5	LX-4.5	張力有机硅	悬式有机硅
晴	33	0.095	0.10	0.145	0.18
"	91	0.36	0.20	0.55	0.45
"	80	0.60	0.23	0.77	0.50
"	100	1.10	1.70	0.60	0.35
"	60	0.35	0.23	0.36	0.25
陰	60	0.25	0.08	0.65	0.265
"	68	0.23	0.12	0.29	0.22
雪	94	1.00	0.50	0.50	0.65
"	87	0.55	0.37	0.44	0.45
					0.50
					0.30

- ① 同样污秽程度
- ② 同样测量工具和时间
- ③ 一个绝缘子

2) 绝缘子串内试验

为了更进一步摸清钢化玻璃绝缘子的特性，特别是绝缘子串的放电性能，以满足电力部门线路设计的要求，我所在 61 年 10 月份委托一机部沈阳变压器研究所作了绝缘子串试验，兹将 G-1101 绝缘子串工频干、湿冲击放电的初步结果摘要如下：

绝缘子串工频干、湿内放电电压 (干内校正系数 1.03, 湿内校正系数 0.997) 表 6

品号	绝缘子片数	工频干内路放电电压值 KV		工频湿内路放电电压值 KV	
		五次实测平均值	校正后平均值	五次实测平均值	校正后平均值
G-1101	6	339	349	255	254
"	8	462	475	323	322
"	10	562	578	410	409
"	13	737	759	516	516

绝缘子串冲击放电试验: (校正系数: 正极性1.05, 负极性1.044)

表7

品号	绝缘子片数	正极性实测放电值 KV	正极性校正放电值 KV	负极性实测放电值 KV	负极性校正放电值 KV
G-1101	6	510	522	550	560
"	8	670	684	740	754
"	10	840	850	900	920
"	12	990	1001	1060	1080
"	14	1150	1172	1220	1240

上列几项试验, 未能逐片叠加进行测试, 但上述数据一般也能确实地代表着绝缘子的放电性能, 其中干闪络放电数值略低, 但自10片以上均能达到 $\Pi-4.5$ 瓷绝缘子串干闪络放电实测数值, 至于湿闪络放电数值则高于标准, 这对线路运行可靠性提供了有力保证, 消除了用户对玻璃绝缘子湿闪放电偏低的顾虑, 值得注意的是钢化玻璃绝缘子的电容值较为高, 能使绝缘子串电压分布更易均匀, 所以 G-1101 的冲击放电亦超过了同等级的瓷绝缘子的实测值。

3) 自动爆破

钢化玻璃绝缘子在生产、试验、运行过程中均发现有自动爆破现象 (图12)。

在爆破的碎片中常发现有爆破中心 (爆点), 在中心的周围呈放射状, 这个中心是玻璃体内的异物 (如未熔化的砂粒, 或耐火材料碎屑), 因异物与



图12 爆破的绝缘子