

钢化玻璃绝缘子的发展

南京电瓷厂 技术情报室 编
南京火花塞研究所

内 容 提 要

本文包括基本情况与企业情况两部份。前一部分主要阐述国外钢化玻璃绝缘子的发展动态；叙述钢化玻璃绝缘子的主要技术特性和优点，以及钢化玻璃绝缘子在海外的使用情况。后一部份主要介绍塞拉维尔(Ceraver)绝缘子公司的组成，详细介绍了它的子公司、悬式钢化玻璃绝缘子制造规模最大、产品销售占世界出口商第一位的法国塞迪维尔(Sediver)公司的历史与现状，以及钢化玻璃绝缘子的生产工艺、质量控制和检验设备等，供作了解国外钢化玻璃绝缘子工业的基本情况及其制造技术水平时参考。

(本文由技术情报室张懋良同志执笔，玻璃研究室顾洪连工程师和马文辉同志校阅)

一、基本情况

盘形悬式钢化玻璃绝缘子，本世纪三十年代中期始由英国采用“钢化”工艺方法制成问世，至今已有四十余年历史。第二次世界大战以后，法国也掌握了钢化玻璃绝缘子的生产，然后流行于全世界。

目前，除了我国生产钢化玻璃绝缘子以外，还有法国、英国、苏联、意大利、西班牙、巴西、东德、罗马尼亚和美国也都组织起高、低压玻璃绝缘子的生产。此外，在挪威、南非共和国及墨西哥还建立有钢化玻璃绝缘子装配工厂，玻璃件由法国进口，而金属附件是就地制造的。

实践证明，这种新型绝缘材料还是在生产和运行的头几年就已显示出它比同类型瓷绝缘子具有更多的优越性，因而展示其广阔的发展前景，钢化玻璃绝缘子发展史上的一些有关统计数据也足以充分地证明这一点。

四十余年来，钢化玻璃绝缘子在世界范围内，在高压和超高压、交流或直流架空输电线路得到了日益广泛的运用，因而使得传统的线路悬式瓷绝缘子的应用逐渐缩减，而钢化玻璃绝缘子在世界上的运用数量比例不断增加，使用地区范围逐年扩大，甚至在某些国家出现完全取代悬式瓷绝缘子的趋势。

至1973年，世界上有70多个国家运用了钢化玻璃绝缘子，在35~750千伏输电线路运行的钢化玻璃绝缘子总数已超过一亿片，并以每年800万片的递增速度向上增长。

至1974年，仅法国塞迪维尔公司（Sediver——“欧洲玻璃绝缘子公司”）的钢化玻璃绝缘子，投入世界范围内运行的

数量即达一亿五千万片，并以每年1000万片的递增速度向前发展；投入运行的400~500千伏交流输电线路总长已超过四万公里。

至1975年，投入运行的悬式绝缘子中有55~60%是钢化玻璃绝缘子（美国除外），世界上有80%的直流输电线路安装了钢化玻璃绝缘子，而法国有90%新建线路采用了玻璃绝缘子串。

至1977年4月，钢化玻璃绝缘子投入运行的输电线路总长已达五万公里。至1978年，全世界运行的钢化玻璃绝缘子已超过一亿九千万片，其中一些运行了几乎40年。根据1979年3月份法国塞拉维尔公司来华技术座谈人员介绍，目前全世界运行的钢化玻璃绝缘子已达两亿片。至今已有100多个国家在其输电线路陆续运用了钢化玻璃绝缘子。

用来制造玻璃绝缘子的玻璃，基本上可分为单碱玻璃、双碱玻璃和硼玻璃三种。目前，大多数国家多采用双碱玻璃来制造钢化玻璃绝缘子，他们认为双碱氧化物（ Na_2O 和 K_2O ）具有保证玻璃绝缘子性能显著提高的所谓“中和效应”，即以少量的 K_2O 代替 Na_2O 的置换作用，可使介质损耗显著降低，从而提高玻璃绝缘子的绝缘强度。

国外玻璃绝缘子用的玻璃类型、研制单位和玻璃牌号，以及玻璃的体积电阻率见表1。

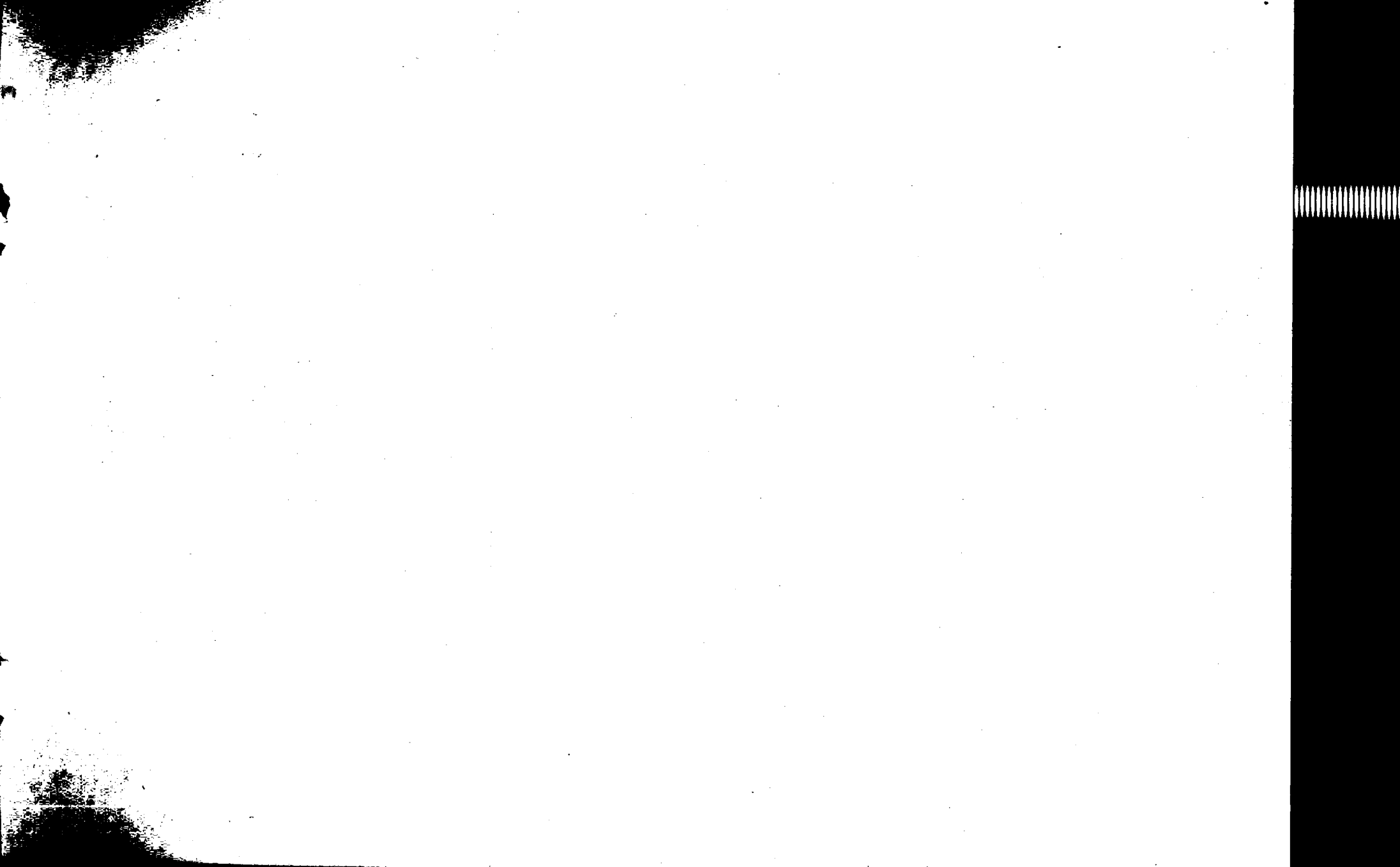
随着高压输电事业的发展，为了保证钢化玻璃绝缘子的性能符合各项标准要求和研究绝缘子的许多重大问题，例如长寿命、无线电干扰电压、人工老化、冲击水平和污秽闪络等，国外很多绝缘子公司（或制造厂）均建立有高压试验室，以担负绝缘子各种电气物理现象的研究、性能测试和解决产品存在的各种问题。例如：英国皮尔金顿兄弟有限公司（Pilkington B-

表 1

国外玻璃绝缘子用的玻璃类型、研制单位及玻璃牌号

玻璃成份和电阻	高 碱 玻 璃										低 碱 玻 璃		硼 玻 璃	
	单 碱 玻 璃					双 碱 玻 璃					单 碱 玻 璃		低碱玻璃 双碱玻璃	无碱玻璃
	英国皮尔金顿公司	意大利公司	苏 联	英国、南非 共和国 尔金顿公司	皮尔金顿公司	苏 联				法 国 塞迪维尔 公 司 Sediver	苏 联 国立玻璃 研究院 13B	罗 马 尼 亚 R ₃	美 国 Pyrex	意 大 利
	Armourlight	Темпрал	ЛБПИ-4	Amour- light	ЛБПИ-5	ЛБПИ-6	ЛБПИ-7	ЛБПИ-8						
SiO ₂	72.0	72.8	72.4	72.9	72.2	72.5	72.5	72.5	72.5	67.5	62.5	61.5	80.5	76.26
Na ₂ O	13.5	14.8	14.7	13.4	13.9	11.4	10.4	9.4	8.0	11.0	2.0	1.0	4.4	—
K ₂ O	—	—	—	—	1.1	2.0	3.0	4.0	5.4	3.0	—	—	0.2	—
CaO	10.3	9.9	5.7	7.6	6.8	7.6	7.6	7.6	7.6	6.9	13.0	10.0	0.3	0.69
MgO	2.8	—	3.8	3.7	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.1	4.0	9.0	0.1	0.1
BaO	—	—	0.5	—	—	—	—	—	—	3.8	—	—	—	—
Al ₂ O ₃	1.0	} 2.0	2.7	1.9	2.0	2.4	2.4	2.4	2.4	4.3	15.5	17.5	2.0	2.31
Fe ₂ O ₃	—		—	0.1	—	0.1	0.1	0.1	0.1	—	1.0	1.0	0.3	0.33
SO ₃	0.4	0.5	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	—	—	—	—
B ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11.8	10.3
F ₂	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.0	—	—	—
As ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.7	—
lgρ ₆₀ *	11.5	11.0	10.6	11.1	11.6	12.8	13.6	14.3	15.0	13.1	14.4	14.1		

* 温度为60℃时的体积电阻。



rothera Ltd.) 于1956年11月建立了一座供悬式和针式玻璃绝缘子试验和研究用的试验室, 该试验室具有绝缘子电气、冷热和机械试验设备。拉力、扭转和振动试验是在施加近似于工作负荷的条件下进行的。破坏强度极限可测量至50吨。具有针式绝缘子抗拉、抗扭、抗压和振动试验机。使用球径为2米的可调球形放电间隙来测量电压。

国外玻璃绝缘子公司与瓷绝缘子公司高压试验室主要技术参数的比较见表2。

为了比较, 表2列出了一些瓷绝缘子公司的高压试验室, 也是相当先进的, 例如日本绝缘子公司(NGK)高压试验室小牧工厂具有 $\phi 2$ 米球隙, 在超高压大厅可进行各种类型的户内试验, 如工频、冲击、直流、短路和大电流、电晕和无线电干扰、污秽试验等。户外试验设备可供在实际绝缘和杆塔间隙下进行冲击和操作冲击试验, 模拟现场实际情况的绝缘子带电清洗和对绝缘子及金具进行机械和电气试验。而名古屋工厂的高压试验室仅具有 $\phi 1$ 米的球隙。

值得注意的是, 美国在1970年以前是不生产钢化玻璃件的, 但由于钢化玻璃绝缘子在世界其他地区取得的成就和信任, 近几年来, 美国已开始注重钢化玻璃绝缘子的制造与运用。现在法国塞迪维尔公司正努力扩大其在美国的市场, 已在美国新泽西州的卡尔斯塔德(Carlstadt, NJ)开设了一个装配工厂, 玻璃件是由美国阿勒格尼港的匹兹堡·康宁公司(Pittsburgh Corning Corp., Port Allegany)按照塞迪维尔公司的专利方法和设备生产的, 质量控制系统也按塞迪维尔公司制订的标准进行。玻璃件在匹兹堡·康宁工厂压制和钢化以后, 用船运往卡尔斯塔德工厂装配铁帽和钢脚。

美国直到1962年几乎还是瓷绝缘子独占市场, 因为美国国

家标准协会只承认瓷绝缘子的规定特性，所以钢化玻璃绝缘子以前在美国的销售与运用一直受到限制。近年来，为了便于美国公用事业单位采用钢化玻璃绝缘子，美国国家标准协会已将1971年制订的高压悬式瓷绝缘子标准ANSI C 29.2-1971进行了修订，于1977年发布了新的包括钢化玻璃绝缘子在内的悬式绝缘子标准ANSI C 29.2-1977〔湿制瓷绝缘子与钢化玻璃绝缘子(悬式)〕*，这对美国钢化玻璃绝缘子的制造、运用和发展创造了有利条件。根据1974年12月统计资料，美国采用钢化玻璃绝缘子的线路为6200公里，其中交流500千伏线路3177公里；直流±400千伏线路2023公里（其中660公里线路在架设中）。根据1977年资料，美国主要超高压输电线路运行的塞迪维尔公司的钢化玻璃绝缘子已超过100万片，采用钢化玻璃绝缘子的345和500千伏交流线路为250英里（402公里），直流±400千伏线路为850英里（1367公里）。

苏联于1956年开始研制钢化玻璃绝缘子，发展速度较快。苏联规定到1971~1975年国民经济发展五年计划末，发电量达到10300~10700亿千瓦·小时，发电量增添6500~6700万千瓦容量。在建设35~500千伏输电线路的同时，完成750千伏输电线路工程，开始建设交流电压1150千伏和直流电压1500千伏远距离输电线路。农业劳动的动力装备几乎增加到70%，电能消耗将增加一倍，因而补充发展10~0.4千伏电网。至1980年时，发电量应达到13400~13800亿千瓦·小时，在发电站将采用67~70千兆瓦范围的新容量，钢化玻璃绝缘子的应用将大幅度增

*American National Standard For Wet-Process Porcelain and Toughened Glass Insulators (Suspension Type)

高 压 试 验 室		试验产品	国 别	试验厅尺寸 L×b×h	工频高压试验变压器		冲击电压发生器		直流高压发生器		备 注
				(米)	台数×单台 电压=总电 压(兆伏)	总容量 (仟伏安)	最大电压 (兆伏)	冲击能量 (仟焦耳)	电 压 (兆伏)	电 流 (毫安)	
玻璃绝缘子制造公司 (Pilkington Brother Ltd.)		玻璃绝缘子	英	36.6×24.4×18.3	1.3		2.3→2.8	29			1958年11月建成
道尔顿(Doulton)工业瓷公司		电 瓷	国	38×14×15	1.3		2.6	19			
欧洲玻璃绝缘子公司(Sediver)		玻璃绝缘子	法 国	36×24×18.2			2.3	14			
通用电气公司(CGEC)高压试验室		电 瓷		53×26×28.8	0.5(2.0)		5.5	60			
巴泽(Bazet)高压试验室		电瓷玻璃绝缘子		51×24.5×26	1.3		5.5				供Cera-ver、Cera-lep及Deravaux 公司共同使用
圣若勒(Saint-Yorre)高压试验室		玻璃绝缘子									属Cera-ver公司,可进行机电、抗拉、动力、 长寿命、冲击、热震及污秽等试验
拉普(Lapp)电瓷厂		电 瓷	美 国	户 内	1.0		2.25	28			
				户外试验场			4.30	115			
通用电气公司(GE)高压试验室		电瓷大套管		54×29×23	5×0.35 =1.75		2×6.1	2×84	1.0	15	1969年建于马萨诸塞州巴提摩尔(Baltimore) 电瓷厂内。另有3.2公里试验线路
				户外试验场	3×0.5 =1.5		5.0	250	1.2		1968年建成
OB公司(Ohio Brass) 全天候高压试验室		电瓷避雷器			户外试验场	2.0	380	5.0	234	1.2	
日本绝缘子 公 司 (NGK)	NGK高压试验室 (小牧工厂)		日 本	40.6×40.6×30	1.65	1000	6.0		0.5	30	1968年10月建成
	高压试验室(名古屋 工厂)			18.2×20×22	0.90	2200	3.6	34			
海姆斯多夫陶瓷公司 (Kombinatveb Keramische Werke Hermsdorf)		电 瓷	东 德	18.2×18×13	1.6	3200	3.6	100			
				户外试验场	2.25	5000	7.2	312	1.5	300	
罗森塔尔—斯蒂玛(Rosemtal- Stemag)工业瓷公司		电 瓷	西 德	18×15×15	1.0		2.4				
米卡弗(Micafil)公司		套 管	瑞 士	24×25×20	1.35	2100	4.4	176	0.55	300	
哈弗莱公司				25×20×13	1.0	1000	2.25	27			

长。据调查，每10000千瓦发电量需用绝缘子130吨左右，其中线路绝缘子约占55%。

苏联线路绝缘子的生产集中于“电网绝缘”托拉斯所属各厂，托拉斯每年出产约3000万片绝缘子，至1971~1975年五年计划末，这个数量增加到1.5倍，玻璃绝缘子1971年的产量即已从1966年的14%增加到39%，并规定保证强度12吨级以上的绝缘子只生产钢化玻璃的，自1971年开始成批生产 ПС 12А（玻璃绝缘子）代替 ПС-11（瓷绝缘子），特别重视创制重污秽地区用的特种绝缘子。

在1969年发布的苏联国家标准ГОСТ14197-69中，列出了6、12、16、22、30、40和50等7个吨级的球型悬式钢化玻璃绝缘子标准，其中包括普通型、耐污型和各个吨级按结构尺寸和重量区分的若干种不同型式。

目前，斯拉夫扬、南乌拉尔和里沃夫的一些绝缘子工厂生产约500万片保证强度为6~30吨级的高压悬式绝缘子，其中大部份供330~500千伏输电线路配套使用。30吨级的ПС-30型悬式钢化玻璃绝缘子已于1962年试制成功，1965年投产并在750千伏线路上投入运行。保证强度为40及50吨级的钢化玻璃绝缘子和供工业及自然条件严重污秽的地区运行用的特种绝缘子也已试制成功。40吨级的钢化玻璃绝缘子已投入小批生产。除“电网绝缘”托拉斯的绝缘子工厂以外，苏联还有里沃夫玻璃瓶厂和奥尔忠尼启则玻璃包装材料-绝缘子厂在不同时间也生产了玻璃绝缘子，爱沙尼亚苏维埃社会主义共和国的“雅尔华康奇-捷合则”联合企业仍继续生产玻璃绝缘子。

苏联1971~1975年五年计划规定40及50吨级绝缘子玻璃件的压制过程要实现机械化，而且还要继续研究圆柱形头的悬式玻璃绝缘子的制造工艺来代替倒锥形头的绝缘子的制造工艺，

以期进一步减轻重量，降低造价。在生产悬式钢化玻璃绝缘子的同时，还大规模的实现了高压针式退火玻璃绝缘子的生产。据1971年报导，苏联在南乌拉尔附件绝缘子厂建立的高压悬式双碱钢化玻璃绝缘子自动化流水线已大量生产ΠC 6-A型钢化玻璃绝缘子（机电负荷不小于6吨）。这条流水线共3个人看管，流水线的工作连续系数达到0.97，该流水线产量为每年200万片玻璃件。

国内外钢化玻璃绝缘子的主要品种、年生产量和运行质量的比较见表3。

反映钢化玻璃绝缘子质量水平的一个重要指标即其“自破率”。钢化玻璃绝缘子在遭受到强烈的冷热急变和机械过负荷作用、大电流（超过10000安）的电弧及其长时间（超过50/100秒）的作用时也有可能使玻璃件破坏，俗称“自破”。玻璃件自破时，整个伞盘成为细小的棱角不锋利的碎块脱落，而帽、脚之间的玻璃体因碎裂而发生体积膨胀，仍能牢固地卡在帽脚之间，剩下的这种残留部分（俗称“残锤”）其残余强度（抗拉强度）几乎保持与完好玻璃件的一样，仍能承受足够的机械负荷。残锤的机械负荷一般不小于绝缘子机械破坏试验负荷的50%。塞迪维尔公司作了范围较大的调查，结果表明残锤残余强度低于完整绝缘子机电强度保证值50%的仅占2%，从而能可靠地防止绝缘子串脱落，避免掉线事故，认为如果把盘形钢化玻璃绝缘子的年损坏率作为万分之二（ $2/10000$ ），而由于该种绝缘子损坏导致掉线的则每年小于二十五万分之一（ $1/250000$ ）。

根据1965年塞迪维尔公司报导，架空线路钢化玻璃绝缘子的运用数量接近8000万片，其中35~750千伏输电线路用的5000万片钢化玻璃绝缘子20年运行统计，其年自破率低于万分

表 3

国内外钢化玻璃绝缘子的主要品种、年生产量和运行质量的比较

国 别	工厂(公司)	采用玻璃料方 类 型	玻璃件年产量		主 要 产 品	生产方式	运行线路 电压等级 (千伏)	绝缘子的 运行数量 (万片)	年自破率 (%)	统计 年份
			万 片	吨						
法 国	Sediver 公 司	碱 玻 璃	共 4 条钢化玻 璃绝缘子生产线, 每条生产线年产 量为200万片玻璃 件(每天生产绝 缘子可达3万片)	26300 (玻璃 液70吨 /天)	生产品种主要有四大类: (1) 20千伏配电线路用盘形 悬式钢化玻璃绝缘子(球型); (2) 30~750千伏输电线路用 盘形悬式钢化玻璃绝缘子系列 (最小机电破坏负荷从7吨级至 55吨级)。其中有:按 IEC No. 274规定的球型;按BS137规定 的球型;按ASA C2929-1及 29-2规定的球型及槽型; (3) 电气化铁道用钢化玻璃 绝缘子(按 VDE0446及 IEC No.274的规定); (4) 直流用悬式钢化玻璃绝 缘子	自动化	35~750	5000 (用于外国)	0.03	1965
								1700以上 (用于国内)	0.005	1969
									0.03~0.01 (平均值)	1970
								8.93 (用于挪威)	0.0164	1970
中 国	南京电瓷厂	多碱玻璃	~125	5000*	LX-4.5, LX-11, LXP-7, LXP-16 LXP-21	机械化及 手工操作	35~220	~10	0.2~0.4	1973
								50以上	0.2~0.3 (手工生产产品) 0.17(按优选法 生产的产品)	1978.8
苏	南乌拉尔附件 绝缘子厂	双碱玻璃	200		ПC6-A	自动化生产 流水线,共 三个人操作	35~220	1000	0.01~0.44	1971
联	里沃夫 第二玻璃厂	碱 玻 璃	36.5(100片/天)		ПC-4.5, ПCУ-4.5, ПCГ-4.5, ПC-8.5	半机械化及 手工操作	35及以上	60以上	0.44~0.45	1968

* 1973年玻璃件实际产量为3000吨/年。

之三(0.03%)。

根据1969年塞迪维尔公司统计资料,用于35~750千伏线路的1700万片钢化玻璃绝缘子,其年自破率为十万分之五(0.005%),这说明塞迪维尔公司钢化玻璃绝缘子的质量水平是很高的。

绝缘子的发展历史表明,用玻璃材料制造绝缘子在电工技术的使用范围内将会不断扩大,世界各国钢化玻璃绝缘子的运用数量将越来越多,而按发展远景来说,钢化玻璃和高强度瓷通过比较虽然还未能得出关于仅用一种材料来制造绝缘子是合理的这样的一个结论,但可以肯定:普通瓷的盘形悬式绝缘子的生产将逐渐缩减。这一技术政策趋向可由下列原因来加以说明:

1. 钢化玻璃绝缘子本身具有下述一系列基本优点:

(1) “零值自破”, 维护简便

“零值自破”是钢化玻璃绝缘子区别于瓷绝缘子的一个最显著的特点。钢化玻璃绝缘子“自破”本来是一个质量问题,但对运行维护来说却是一个有利的特点,因为有缺陷的绝缘子自破后伞盘全部脱落,用目力或望远镜从地面或乘坐直升飞机巡线检查,就能很快发现钢化玻璃绝缘子的质量情况和机电性能是否良好,若玻璃件完好无损则表明一切正常。法国采用直升飞机巡线,两个人(一驾驶员、一巡线工)一天内能巡查数百公里使用玻璃绝缘子的线路,尤其是对于高山峻岭、沼泽地区等交通不便之处更为有利。据法国报导,采用这种方法,在速度方面创造了世界罕见的奇迹。不象对瓷绝缘子那样,需要配备检测仪器的巡线人员定期登杆或登塔逐片检测作预防性试验,因而减少了线路维护工作量,维护费用被压缩到最低限度。根据苏联资料,仅取消绝缘子预防性试验一项,每千公里

线路每年可节约运行费用为：110~154千伏线路为5230卢布，500千伏线路为14850卢布。

由于钢化玻璃绝缘子机械强度高，重量轻，结构高度小，泄漏比（泄漏距离/结构高度）大，绝缘强度高，在污秽地区的交、直流线路上，这种绝缘子串与结构高度大而总长一样的其它绝缘子串相比，绝缘水平增加，消除了绝缘子串降低绝缘水平的危险。

（2）强度高

钢化给予玻璃外层压应力，使其平均抗拉强度比退火玻璃提高5倍，比电瓷提高2倍（退火玻璃的抗拉强度为2公斤力/厘米²；电瓷为4公斤力/厘米²，而钢化玻璃为12公斤力/厘米²）。使玻璃件在循环施加负荷的条件下，保持90%的最终强度。这种压缩预应力，可使玻璃件的最大抗拉强度大约增加300%，特别重要的是其抗拉强度并不随时间而降低。

玻璃件的这种内应力，足以抵御在正常使用条件下玻璃可能遭受的热或机械冲击。钢化玻璃绝缘子不会被美国全国电气制造商协会NEMA标准规定的摆锤所破坏（摆锤重2.57磅，并置于与绝缘子成一定角度之处）；重量达20.56磅的摆锤才能使绝缘子破碎。

苏联用17个玻璃绝缘子和10个瓷绝缘子作机械冲击强度试验。结果表明：玻璃绝缘子的破坏能量（平均值）为6.5公斤·米，是瓷绝缘子破坏能量（3.87公斤·米）的1.7倍。双碱钢化玻璃绝缘子的机械冲击强度比同类型瓷绝缘子大0.5~1倍，比低碱玻璃绝缘子的机械冲击强度大0.3~1倍。

能够施加于绝缘子上的最大永久性应力仅仅因铁帽和钢脚的强度而受到限制，因而金属附件往往比玻璃件先造成损坏。试验证明：几乎在所有的拉力试验中，遭到破坏的部位都是在

铁帽或钢脚上，而不是钢化玻璃件。

(3) 尺寸小

由于玻璃的介质常数（为7~8）比瓷的大，在机械强度和击穿电压不变的情况下能取得最小厚度，因而可相应地缩减绝缘子的尺寸。钢化玻璃绝缘子的头部结构可以设计得比瓷绝缘子的小，因而相应地减少了钢帽的尺寸和绝缘子的结构高度。

(4) 重量轻

由于钢化玻璃绝缘子比同类型瓷绝缘子的尺寸小，壁薄且均匀，因而绝缘子的重量显著降低。

钢化玻璃绝缘子与同类型瓷绝缘子的尺寸及重量的比较见表4。

(5) 不击穿

有人认为玻璃件是个致密的整体几乎是不击穿的。

一般钠钙玻璃的介电强度为1350~1700千伏/厘米（当波形为1/50微秒的冲击波作用时），平均约3.8倍于陶瓷（普通陶瓷为400千伏/厘米）。国外曾多次用波头陡度很大的冲击波进行试验，结果均发生大气闪络，而玻璃体未被击穿。运行经验也同样证明了钢化玻璃绝缘子不会被雷电所击穿，完全能耐受发生雷电时所引起的大气过电压的冲击。法国进行的试验表明：钢化玻璃绝缘子的工频击穿电压大于300千伏，头部不击穿，而是伞盘被击穿。其它类型的瓷绝缘子的击穿电压介于200~300千伏之间，并且是头部击穿。

(6) 老化慢

美国纽约电力服务公司对五种不同类型的盘形悬式瓷绝缘子所作的运行老化试验表明，盘形悬式瓷绝缘子经运行一定时间以后，机电强度均有部分降低。例如：经过6年运行后，瓷