

5022

690494

5/00.6

玻璃绝缘子

【苏联】A.И.齐姆别罗夫 A.B.什捷尔恩 著



146

玻 璃 绝 缘 子

【苏】 A.И. 齐姆别罗夫^著
A.B. 什捷尔恩^著

张 懋 良 译

李 文 华 校
马 文 辉

《绝缘子》杂志编辑部

Цимберов А.И. и Штери А.В.
Стеклённые изоляторы. М., «Энергия», 1973.

玻 璃 绝 缘 子

(苏) А.И.齐姆别罗夫 著
А.В.什捷尔恩

张懋良 译 李文华、马文辉 校

出版者：南京电瓷厂《绝缘子》杂志编辑部
南京火花塞研究所

(江苏 南京 燕子矶)

发行者：南京电瓷厂技术情报室
南京火花塞研究所

印刷者：高 淳 印 刷 厂

责任编辑：张懋良 童继光

1981年12月印刷 本册工本费1.50元

(内 部 发 行)

内 容 提 要

本书阐述了制造绝缘子用的玻璃的理化性能问题，论述了玻璃绝缘子的结构及其技术要求，叙述了从配合料制备开始至胶装为止的玻璃绝缘子制造工艺过程，列举了玻璃绝缘子设计和计算的若干主要方法及其出厂试验方法。

本书可供与玻璃绝缘子制造有关的工程技术人员之用，也可作为设计人员和大学学生的参考书。

目 录

前 言	1
-----------	---

第 一 章

作为电介质的玻璃

1-1 制造玻璃绝缘子用的玻璃概述	5
1-2 玻璃的物理-技术性能	9
1-3 玻璃的介电性能	14
1-4 玻璃结晶材料及其性能	30

第 二 章

玻璃绝缘子的结构

2-1 玻璃绝缘子的用途和分类	33
2-2 玻璃绝缘子的结构	33
线路绝缘子	33
电器绝缘子	41
2-3 玻璃绝缘子结构中所采用的材料	43
2-4 玻璃绝缘子的工作条件及其运行可靠性	45
2-5 对玻璃绝缘子的技术要求	47

第三章

玻璃绝缘子设计和选择原则

3-1 绝缘子设计程序·····	56
3-2 绝缘子电气计算原则·····	57
3-3 支柱玻璃绝缘子电气计算原则·····	59
6~10 仟伏户内支柱绝缘子·····	59
户外针式和针式-支柱绝缘子·····	61
3-4 盘形悬式玻璃绝缘子电气计算原则·····	66
3-5 电气装置设计时对绝缘子的选择·····	71
3-6 大气污秽地区用绝缘的选择·····	80
3-7 按机械强度选择玻璃绝缘子·····	89

第四章

玻璃绝缘子的制造

4-1 原料及其加工, 配合料的制备·····	92
4-2 熔融状态的玻璃性能·····	105
4-3 玻璃的熔制·····	111
4-4 玻璃件的压制·····	124
4-5 玻璃件的热处理·····	145
4-6 玻璃绝缘子的自动生产线·····	169
4-7 工艺控制, 玻璃件的缺陷及其防止方法··	169

第五章

玻璃绝缘子的胶装

5-1 胶合剂、缓冲垫片和涂料·····	190
5-2 水泥-砂浆胶合成份的制备·····	192
5-3 缓冲涂料的制备·····	193
5-4 胶装用附件和绝缘玻璃件的准备·····	194
5-5 盘形悬式绝缘子的胶装·····	194
5-6 胶装好的绝缘子的热水处理·····	198
5-7 支柱和针式-支柱绝缘子的胶装·····	198
5-8 胶装过程机械化·····	199
5-9 胶装缺陷·····	201

第六章

玻璃绝缘子质量检查

6-1 绝缘子质量检查目的·····	202
6-2 绝缘子质量检查项目·····	204
6-3 玻璃绝缘子试验方法·····	204

参考文献·····	220
-----------	-----

后 语·····	228
----------	-----

前 言

1971~1975年国民经济发展计划规定了国家动力基地的进一步发展。到五年计划末,发电量将达到10300~10700亿仟瓦·小时;发电站将增添6500~6700万仟瓦新容量,并将继续进行国家联合动力系统的建设工作。在建设35~500仟伏输电线路的同时,顿巴斯-西乌克兰的750仟伏输电线路工程也已竣工;将开始建设交流电压1150仟伏和直流电压1500仟伏远距离输电线路。

国家动力工作者面临着1975年的任务是农业工作的用电量几乎增加到70%,电力消耗将增加一倍,这也就提出了补充发展10~0.4仟伏电网的任务。

随着输电线路跨度增大和远距离输电容量增加,对输电线路的运行可靠性和输电线路元件(杆塔、金具、线路绝缘)的安全运行将提出更高要求。

电网绝缘托拉斯的各个工厂每年共出产约3000万片线路绝缘子。到五年计划末,这个数量将增加到1.5倍,同时特别注重不断增加线路玻璃绝缘子的产量。

作为制造线路绝缘子电介质的玻璃,在20世纪初也像瓷一样得到广泛应用,但由于玻璃的物理特性:脆性大,耐热

稳定性比较低和缺乏生产大型玻璃件所需的工艺装备，所以在电气化工作发展的最初阶段，玻璃绝缘子为电瓷制成的绝缘子所代替。这种情况是由于玻璃绝缘子生产初期采用了制造玻璃瓶及日用品所使用的介电性能不够高的普通品级玻璃的缘故。

在三十年代中期，电瓷是制造高压绝缘子的唯一绝缘材料，在某种程度上，它使电网进一步发展受到限制。

由于难于获得成份稳定的标准原料，瓷的制造工艺过程复杂，没有办法解决主要工序的机械化和自动化问题，因而极难获得稳定的线路瓷绝缘子的机电性能，这对16~30吨级的结构更为突出。因此，在三十年代中期，研究制订了形状复杂的玻璃件通过钢化使其强化的方法，作为制造高压绝缘子介电材料的玻璃又重新引起了某些公司的注意。最初的悬式钢化玻璃绝缘子是英国皮尔金顿(Pilkington)公司创制的。第二次世界大战后，法国也掌握了玻璃绝缘子的生产。

制造玻璃绝缘子所采用的玻璃成份逐步得到完善，从而显著地提高了它的介电性能。除了法国和英国以外，在意大利、美国和德意志联邦共和国（部分）也都组织起高、低压玻璃绝缘子的生产。

根据玻璃绝缘子公司-制造厂的宣传报导，他们的产品已不同电压等级的输电线路和世界不同地区成功地运行。

苏联从1956年开始从事研制玻璃绝缘子的单位有：以B.

И.列宁命名的全苏电工研究院、全苏玻璃科学 研究院、以 М.И.加里宁命名的里沃夫工学院。15年来，以这些 院校的工作成果为基础，组成了新兴的工业部门，其中包括生产玻璃绝缘子的许多车间和企业，以及担任进一步改进各种类型绝缘子结构及其制造工艺过程、研制新型玻璃绝缘材料的实验室和设计室等。

自1966年开始，在线路绝缘子的总产量中，玻璃绝缘子的产量从14%增加到39%。

目前，斯拉夫扬、南乌拉尔和里沃夫等绝缘子工厂已生产约5百万片保证强度为6~30吨级的高压悬式绝缘子，其中大部分供330~500千伏输电线路配套使用。

保证强度为40和50吨级的玻璃绝缘子结构和在工业及自然污秽条件严重的地区运行用的特种绝缘子也已试制成功。

在生产悬式钢化玻璃绝缘子的同时，大规模地实现了高压针式退火玻璃绝缘子的生产。

除了电网绝缘托拉斯的绝缘子工厂以外，还有里沃夫玻璃瓶厂、奥尔忠尼启则玻璃包装材料-绝缘子厂在不同时期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。

玻璃绝缘子生产和运行的头几年就发现它比同类型瓷绝缘子具有一系列优点：

用来制造玻璃绝缘子的原料，就其本身成份来说，比制

造陶瓷用的原料更为稳定，为稳定玻璃的物理-技术特性和工艺过程创造了良好条件；

在很大程度上，玻璃绝缘子的制造工艺过程易于实现机械化和自动化，消除了工作人员对绝缘子性能的人为影响；

钢化玻璃的机电性能比瓷的高得多，能够制造所需机械强度的绝缘子，而其尺寸和重量比同类型瓷绝缘子小得多；

在生产过程中，特别是在运行过程中，钢化玻璃绝缘子的检查十分简便；

由于工艺过程自动化，绝缘子的玻璃绝缘件的成本要比用瓷制造的同类型绝缘子的绝缘件的成本低。

在电网绝缘托拉斯的各厂，玻璃绝缘子制造工艺的改进过程仍在继续进行，正在试验电绝缘玻璃的新成份，开发新型的工艺装备、新的机械化和自动化生产线，玻璃绝缘子的检验方法也益臻完善。苏联各个系统所积累的玻璃绝缘子的制造和运行经验，有助于研制新的结构和决定其生产进一步发展的前景。

作者

第 一 章

作为电介质的玻璃

1-1 制造玻璃绝缘子用的玻璃概述

任何玻璃，其中包括电工玻璃，都是一种具有各向同性的非晶形物质，玻璃的这种性质决定了材料结构在各个方向的均质性。由若干组份（这些组份的数目有时达到15种之多）所构成的玻璃，是一种分为不可变（主要的）和可变两个基本部份的复杂系统。不可变部份是氧化硅的熔合物，大多数玻璃中的氧化硅多于60%。可变部份，这是一些与氧化硅结合（熔化）起来的氧化物，而且它们的性质和比例决定了玻璃的主要性质。

考虑到玻璃是由于其中全部组份在高温下熔化而成的，所以可认为玻璃是一种高粘度的复杂熔融物，这种粘度随熔融物的温度而在很大的范围内变动。

虽然玻璃被认为是非晶形的材料，但是不能完全否认玻璃中存在某些规整性的构成物。

现有一些从不同观点说明玻璃结构存在的理论，已被波拉依-科希茨(29)深入研究过的一种理论称为玻璃结晶结构假说。按照这一理论，玻璃的结构并非其他，而是集中大量细小的变形晶体-雏晶，其基础是一种与钠、钾、钙及其它

元素的氧化物相结合的氧化硅晶格。同时，仅在晶体的某些点上才有或大或小的规则形状，随着这些点向周围的转化，结晶结构就逐渐转化为雏晶结构，也就是说转化成非晶形结构。因此，玻璃可能是各部份的总合，在其中心有规整性的构成物，而边界地带则完全处于非晶形态。玻璃结构的规整结晶部份约为总量的10~15%。这种结构组织的理论，很好地说明了玻璃的主要物理-技术性能及其随化学成份、加工工艺及玻璃制品使用条件不同而产生变化的情况。

用来制造玻璃绝缘子的玻璃应具有什么样的性能呢？它应该是机械上牢固，并能耐受较大的负荷，其中包括抗弯冲击负荷。玻璃的热稳定性，应能保证绝缘子在 $-60\sim+80^{\circ}\text{C}$ （热带条件）的温度范围内以及当温度急剧降低的情况下正常工作。玻璃表面应能耐受积聚在绝缘子上的水份及各种污秽物而不出现明显的变化，玻璃绝缘子表面的这些附着物应尽可能地少。最后，作为电介质的玻璃，还应具有高的绝缘强度、大的体积电阻率及表面电阻率和不太大的介质损耗角正切。在直流输电线路广泛采用玻璃绝缘子的前景，对玻璃在直流电场中的安全工作提出了补充要求。

为了制造玻璃绝缘子，在苏联和国外均采用不同牌号的玻璃，这些玻璃按其成份可分为两大类：碱玻璃（含 $\text{R}_2\text{O}\geq 5\%$ ）和低碱玻璃（含 $\text{R}_2\text{O}\leq 5\%$ ）。低碱玻璃又可分为硼硅酸盐玻璃和铝镁质玻璃。对制造高频或要求具有良好光学性能或与金属焊接的特种玻璃制品的成份，本书不予论述。

在表1-1中，列出了苏联工厂和许多国外公司用来生产高、低压绝缘子的玻璃成份。为了比较，表中列出了早期的各种电工玻璃——石英玻璃的成份。

表 1-1

玻 璃	玻 璃 的 化 学 成 份, 重 量 %											玻璃种类制造者国别
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	BaO	Na ₂ O	K ₂ O	B ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	F/As ₂ O ₃	
成份№6	72.5	2.4	7.6	3.6	—	10.9	2.5	—	0.1	0.4	—	联-碱玻璃
成份№7	72.5	2.4	7.6	3.6	—	9.4	4.0	—	0.1	0.3	—	联-碱玻璃
成份№8	63.5	15.5	12.5	4.5	—	2.0	—	—	—	—	2	联-碱玻璃
Pilkington* 绝缘子的玻璃	72.2	2.0	6.8	3.6	—	13.9	1.1	—	—	0.4	—	联-碱玻璃
Sediver* 绝缘子的玻璃	67.5	4.3	6.9	3.1	3.8	11.0	3.0	—	—	0.4	—	同 上 法 国
Fidenza Vetraria* 绝缘子的玻璃	72.4	2.7	5.7	3.8	0.5	14.7	—	—	—	0.3	—	同 上 意 大 利
派勒克斯玻璃*	80.5	2.0	0.3	0.1	—	4.4	0.2	11.8	0.3	—	—	0.7 硼硅酸盐玻璃
石英玻璃	58.8	0.1	0.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* “Pilkington” 即英国的“皮尔金顿兄弟有限公司”(又称PB公司), 该公司首先于1935年就采用“钢化”法制造玻璃绝缘子, 但大约在六、七年前已停止钢化玻璃绝缘子的生产, 现在专门生产各种建筑和装饰用玻璃;

“Sediver” 即法国的“欧洲玻璃绝缘子公司”(又称“塞迪维尔公司”);

“Fidenza Vetraria” 即意大利的“费登察·维特拉里亚公司”;

派勒克斯(Pyrex)玻璃即耐烧玻璃, 为硅硼酸盐硬质玻璃, 相当于我国的“九五”料。——译者注

在苏联，用来生产绝缘子的两种碱玻璃（成份 №6 和 №7）都具有一定的优缺点。低碱玻璃（成份 13B），按其热学、化学及电绝缘性能来说均超过所有碱玻璃。13B 玻璃成份可认为是多种用途的，因为它除了可以用来制造悬式钢化玻璃绝缘子以外，还可以制造线路针式、通信和电器用退火玻璃绝缘子，这些绝缘子不经钢化就应具有高的机械强度和耐热强度。13B 成份的低碱玻璃属于一级水解质，它不起脱碱作用，因而对周围介质（包括侵蚀性）的作用较为稳定。由铝镁质低碱玻璃制成的绝缘子，由于成份中碱性氧化物含量不大，所以具有高的电绝缘性能，并能成功地在交直流、高低压输电线路运行。而由碱玻璃制成的绝缘子，在直流高电压作用下会起电解作用，所以运行时很快老化。碱玻璃的膨胀温度系数比低碱玻璃高 0.5~0.7 倍，因此，由非钢化的碱玻璃制成的绝缘子，其耐热性不超过 35℃。同时，理论计算表明，碱玻璃进行钢化应当较好。这些玻璃与制造附件用的金属的膨胀温度系数非常接近，可保证绝缘子在温度急剧变化时运行可靠。

在表 1-2 中列出了制造绝缘子所用玻璃的主要特性。

根据各种玻璃的特点及其电气物理性能，可以提出用于制造绝缘子范围的建议。

用低碱玻璃可以制造的绝缘子有：

- a) 低压退火玻璃绝缘子；
- б) 高压电器和针式退火玻璃绝缘子；
- в) 各种负荷等级的、不同类型的高压线路悬式钢化玻璃绝缘子；
- г) 直流输电线路用的各型高压线路悬式钢化玻璃绝缘

表 1-2

特 性	碱玻璃№7	低碱玻璃13B	未上釉的电瓷
密度, 克/厘米 ³	2.47	2.51	2.4
抗拉强度极限, 公斤力/厘米 ²	823	889	350~500
抗压强度极限, 公斤力/厘米 ²	9730	9600	5000~6000
杨氏模量, 公斤力/厘米 ²	650000	700000	—
显微硬度, 公斤力/厘米 ²	45000	95000	—
表面电阻率(在20℃时), 欧姆	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹³
体积电阻率(在20℃时), 欧姆·厘米	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹³
介质损耗角正切(在20℃时)	0.027	0.024	0.015~0.028
介电系数(在20℃时)	7.2	6.9	6.2~7
绝缘强度(在20℃时), 千伏/毫米	45	48	30~38
线膨胀温度系数, ℃ ⁻¹	85×10 ⁻⁷	56×10 ⁻⁷	40×10 ⁻⁷
比热, 仟焦耳/(公斤·℃)	0.84	0.83	—
导热系数, 瓦特/(米·℃)	0.92	0.93	—
水解质等级	I	I	—

子。

交流输电线路用的各型钢化玻璃绝缘子都可用碱玻璃制造。

1-2 玻璃的物理-技术性能

在很大程度上, 玻璃的主要物理-技术性能取决于它的成份及热加工制度。同时, 不同牌号的玻璃, 其各项特性的绝

对值相互异差很大。

玻璃的密度 含有大量氧化铅的玻璃密度最大，这种玻璃的密度为 $6\sim 8$ 克/厘米³。制造绝缘子所用的玻璃，密度在 $2.4\sim 2.6$ 克/厘米³的范围内。随着温度提高，玻璃密度减小。钢化玻璃的密度比退火玻璃的低。

机械强度 像所有硅酸盐材料一样，抗弯和抗拉性能要比抗压差得多。玻璃的抗拉强度限制了它在不同结构（其中也包括电绝缘结构）中使用的可能性。退火玻璃的抗拉强度极限取决于它的化学成份，变动范围为 $350\sim 900$ 公斤力/厘米²。同时，用理论方法根据分子间的作用力所计算出来的玻璃强度，几乎高199倍。造成上述现象的原因是由于存在最细小的表面缺陷，在这些缺陷的周围应力集中，它们逐渐扩展并导致玻璃件破坏。所以，正如W.霍普伍德所述(8)，在长时间施加负荷的情况下，玻璃的强度极限可能比短时间负荷时所具有的强度几乎降低2/3。

提高玻璃制品的强度，可用将其表面抛光或能消除表面缺陷的化学处理方法来达到。玻璃的钢化获得了重大的成果，钢化玻璃制品的强度比退火玻璃制品的强度提高了3~9倍。玻璃中存在CaO及B₂O₃的成份（接近于15%）将影响玻璃强度的提高，而其中存在的Al₂O₃及BaO成份的影响程度就比较小。

按照通用的莫斯硬度标，玻璃的硬度在5~7的范围内。含B₂O₃约12%的低碱硼硅酸盐玻璃属于最硬级玻璃。在玻璃成份中增加碱性氧化物将使其硬度降低。

玻璃制品的脆性主要与其形状、尺寸及热加工有关。随着制品壁厚及其钢化程度的增加，冲击强度也增大。在玻璃