

电瓷制造工艺

杜海清 主编

机械工业出版社

电 瓷 制 造 工 艺

杜海清 主编



机 械 工 业 出 版 社

本书系统地介绍了电瓷原料、配方、制造工艺、质量控制及检查与试验。全书以普通高压电瓷为主，着重叙述其关键工艺、工艺原理及各工序之间的内在联系。此外，对于电瓷的其他方面——低压电瓷，高强度电瓷等也作了适当的介绍。

本书可供电瓷工人、技术人员参考；对高等院校有关专业的学生亦有参考价值。

电 瓷 制 造 工 艺

杜海清 主编

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许可出字第117号)

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $22\frac{1}{2}$ · 字数 494 千字

1983年2月重庆第一版·1983年2月重庆第一次印刷

印数 0.001—4,800 · 定价 2.30元

统一书号: 15033·5397

前 言

高压电瓷是一种重要的电工绝缘材料。本书系统而全面地介绍了电瓷制品的基本知识和工艺原理，对原料、配方、半成品及成品作了叙述，对不同制造方法进行了比较，对制泥、成型、干燥、施釉、装烧、胶装、检验、工模具设计等加以论述，对生产中必须使用的各种机械、窑炉、仪器及辅助设备也进行了介绍。此外，对生产过程中所发生的各种物理化学现象、半成品及成品的缺陷质量控制与检验等都作了较深入的研究和讨论。

本书既注重于基本理论的阐述，又认真地总结了电瓷生产中的实践经验，可供从事电瓷生产与研究的有关人员及高等院校有关专业的师生参考。

本书由湖南大学杜海清同志主编。参加编写的还有下列同志：湖南大学唐绍裘，抚顺电瓷厂陈龙兴、常德思，大连电瓷厂周设望，醴陵电瓷厂李文中、刘启浮及王培德，西安高压电瓷厂王振林，西安电瓷研究所徐如恬、陈显贻。具体分工如下：杜海清——第八、九章；唐绍裘——第一、五、十章及附录；周设望、王振林——第二、四章；陈龙兴、徐如恬——第三章；刘启浮——第六、七章；陈显贻——第十一章；李文中、常德思——第十二章；王培德——第十三章，最后，全书由唐绍裘同志统稿。

本书由西安电瓷研究所郭武星同志主审，参加审稿的除

西安高压电瓷厂、西安电瓷研究所、抚顺电瓷厂、醴陵电瓷厂、大连电瓷厂等的有关同志外，还有南京化工学院吴晓东同志。电瓷行业的广大工人和技术人员对本书的编写也给予了支持和帮助，在此一并表示感谢。

由于水平有限，缺点和错误在所难免，请读者提出批评和意见。

编 者

目 录

第一章 绪论	1
第一节 电瓷与电瓷工业	1
第二节 绝缘子的组成和分类	2
一、绝缘子的组成	2
二、绝缘子的分类	3
三、绝缘子的结构简介	3
第三节 绝缘子的性能要求	6
一、绝缘子的电气性能	8
二、绝缘子的机械性能	8
三、绝缘子的耐冷热急变性能	10
四、绝缘子的耐污性能	10
第四节 绝缘子的制造工艺流程	11
第二章 原料	13
第一节 粘土原料	13
一、粘土的分类	13
二、粘土的矿物组成	14
三、粘土的化学组成	24
四、粘土的颗粒组成	25
五、粘土的主要工艺性能	25
六、粘土在加热过程中的变化	39
七、粘土原料在坯、釉中的作用	42
第二节 石英原料	43
一、石英原料的种类	43
二、石英原料的性质	44
三、石英的各种晶型及其转化	44

四、石英在坯、釉中的作用	49
第三节 长石原料	51
一、长石原料的种类	51
二、长石的结构	51
三、长石的化学成分	52
四、长石的性质	54
五、长石在坯、釉中的作用	54
第四节 其他原料	55
一、高铝原料	55
二、碳酸盐类原料	66
三、滑石	68
四、萤石	70
五、金属氧化物	70
六、碳化硅 (SiC)	78
第三章 坯料配方与瓷质性能	82
第一节 坯料配方的原则与步骤	82
一、对坯料的要求	82
二、配方的原则	82
三、配方试验	83
第二节 坯料配方的表示方法与计算方法	84
一、坯料配方的重量百分比表示法及算法	84
二、坯料配方的矿物组成(示性组成)表示法及算法	93
三、坯料组成的实用配方表示法及算法	96
第三节 瓷质结构与性能	96
一、瓷质结构的形成过程	96
二、瓷质性能	101
三、影响瓷质性能的因素	110
第四节 高强度瓷	123
一、理论强度与实际强度	124
二、高石英瓷和方石英瓷	128

三、铝质瓷.....	133
第四章 电瓷釉	144
第一节 釉的分类和组成.....	144
一、分类.....	144
二、组成与配方.....	145
第二节 釉的性能.....	148
一、釉的形成过程.....	148
二、熔融状态下釉的性能.....	148
三、过冷状态下釉的性能.....	151
四、釉对电瓷强度的影响.....	153
第三节 釉的配方计算.....	156
一、釉式及其计算.....	156
二、配方计算.....	159
第四节 半导体釉.....	167
一、半导体釉的作用及其优缺点.....	168
二、半导体釉的电气特性、微观结构和导电机理.....	169
三、半导体釉的配方与制备工艺.....	172
四、影响半导体釉电阻率的主要工艺因素.....	176
第五节 其它釉.....	178
一、天蓝釉.....	178
二、钴蓝釉.....	180
三、乳浊釉.....	181
四、粘接釉.....	183
五、商标釉.....	185
第五章 泥料的制备	186
第一节 泥料制备的工艺流程.....	186
一、泥料的种类.....	186
二、对泥料的要求.....	187
三、制泥的工艺流程.....	187

第二节 原料的精制	195
一、选料	195
二、原料的除铁与除杂	196
三、原料的预烧	201
第三节 原料的粉碎及坯料的混合与研磨	205
一、粉碎原料的作用	205
二、粉碎原料的方法与设备	206
三、坯料的混合与研磨	207
四、颗粒细度的表示与测定方法	216
第四节 泥浆的过筛与除铁	218
一、泥浆的过筛	218
二、泥浆的除铁	219
第五节 泥浆的脱水	222
一、泥浆的压滤	222
二、泥浆的喷雾干燥	227
第六节 泥料的陈腐与真空练泥	231
一、泥料的陈腐	231
二、真空练泥	234
第六章 成型	249
第一节 成型方法的种类及其选择原则	249
一、成型的作用及其工艺要求	249
二、成型方法的种类及选择原则	249
第二节 塑性成型泥料的性能及要求	252
一、泥料的可塑性	252
二、塑性成型对泥料可塑性的要求	254
第三节 中小型产品的塑性成型	255
一、旋坯成型	256
二、湿压成型	259
三、车修成型	261
第四节 大型套管的成型方法	262

一、湿修湿接成型法.....	263
二、分段湿修成型, 干坯釉接法.....	265
三、整体一次成型法.....	265
四、分段成型, 瓷件粘接法.....	267
第五节 干压成型.....	269
一、干压成型的特点及其应用.....	269
二、干压成型的基本原理.....	270
三、粉料的制备.....	271
四、成型工艺.....	273
第六节 等静压成型.....	276
一、等静压技术的原理及其应用.....	276
二、等静压技术的分类及其优点.....	276
三、等静压技术的基本装置及操作.....	279
第七节 工艺放尺.....	282
一、影响坯件收缩率的因素.....	282
二、工艺放尺的计算.....	284
第七章 干燥与施釉.....	288
第一节 干燥的作用与原理.....	288
一、干燥的作用.....	288
二、干燥的原理.....	288
第二节 干燥制度的确定.....	292
一、干燥速率曲线的绘制.....	293
二、干燥制度的确定.....	294
第三节 热空气干燥.....	296
一、热空气干燥的制度.....	296
二、热空气干燥所用的设备.....	297
三、提高干燥均匀性的途径.....	298
四、干燥室内温度、湿度的调节与测量.....	299
第四节 其他干燥法.....	301
一、工频电干燥.....	301

二、辐射干燥	306
三、高频电干燥	308
四、微波干燥	308
第五节 施釉	309
一、釉浆的工艺性能	309
二、施釉	312
三、上砂	314
四、施釉机械化及流水生产线	315
第八章 烧成	316
第一节 概述	316
第二节 电瓷坯体在烧成过程中的物理化学变化	316
一、电瓷坯体烧成概要	316
二、电瓷坯体在烧成过程中的物理化学变化	319
三、电瓷坯体在烧成过程中的物理变化	330
第三节 燃料	332
一、燃料的种类和性质	332
二、燃料的选择	336
第四节 烧成设备	337
一、倒焰窑	337
二、隧道窑	347
三、窑炉的新发展	357
第五节 窑具	365
一、匣钵的作用、要求及发展概况	365
二、窑具用新材料	371
三、匣钵的制备	375
四、影响匣钵质量的因素	376
第六节 烧成工艺	378
一、倒焰窑热工制度的控制与调节	378
二、隧道窑热工制度的控制与调节	398
第七节 窑炉操作的自动控制	422

一、窑炉作业中主要参数的测量	422
二、操作与控制	425
第九章 电瓷缺陷的分析与克服的办法	431
第一节 釉面缺陷的成因	432
一、化学分解	432
二、硫化物气体的侵蚀	434
三、工艺操作过程的影响	437
第二节 瓷质缺陷的类别及其防止和克服的办法	442
一、失去光泽	442
二、釉裂	445
三、起泡	448
四、釉的流动和流失	450
五、剥釉	452
六、釉面析晶	453
七、面渣	454
八、釉面混浊	456
九、釉面针孔	456
十、黑点	458
十一、桔釉	459
十二、烟薰	460
十三、滚釉	461
十四、肿胀	461
十五、开裂	462
十六、变形	465
第十章 胶装	474
第一节 绝缘子的胶装	474
第二节 胶合剂	475
一、对胶合剂的要求	475
二、硅酸盐水泥与普通硅酸盐水泥	475
三、高铝水泥	479

四、硫磺-石墨胶合剂	482
第三节 水泥胶合剂的胶结机理	483
一、硅酸盐水泥的凝结硬化	483
二、高铝水泥的凝结硬化	487
第四节 绝缘子的胶装工艺	488
一、绝缘子的胶装工艺流程	488
二、胶合剂配比的确定	488
三、胶装工艺	493
四、若干绝缘子的胶装	497
第五节 瓷件的切割与研磨	503
一、瓷件切割与研磨的作用	503
二、瓷件切割与研磨的方法	504
三、研磨设备与磨具	505
第十一章 工艺控制	508
第一节 工艺控制的作用	508
第二节 进厂原料的质量控制	509
第三节 生产过程中的工艺控制	513
第十二章 检验	527
第一节 瓷件的外观检查	527
一、瓷检的作用	527
二、对瓷件外观质量的主要技术要求及分类方法	529
三、瓷件外观质量检查中的计算	531
四、瓷件外观检查的方法	536
第二节 尺寸检查	538
一、尺寸检查的概念与作用	538
二、尺寸检查的依据	539
三、尺寸检查用的量具与样板	539
四、几种具体尺寸的测量	542
第三节 表面形状与位置偏差的检验	548
一、表面形状与位置偏差检验的概念与作用	548

二、形位偏差的检验方法	549
第四节 性能试验	555
一、性能试验方法的分类	555
二、性能试验的条件	555
三、性能试验的方法	559
四、试验设备简介	588
第十三章 工艺装备的设计	598
第一节 真空练泥、挤坯用工艺装备的设计	598
一、机头、出口与铁芯的设计	598
二、出口的设计	600
三、挤坯衬套的设计	601
四、铁芯、芯杆与铁芯衬套的设计	602
第二节 旋坯、压旋工艺装备的设计	605
一、铝模、承座、旋坯刀的设计	605
二、压旋模具的设计	610
三、旋孔刀具的设计	614
第三节 修坯刀具的设计	618
一、修坯刀的设计	619
二、打孔、挖槽与滚花工具的设计	620
第四节 车修工艺装备的设计	624
一、车坯接头与车坯芯子的设计	624
二、车坯刀的设计	628
三、仿形立车靠模板的设计	631
第五节 干压模具的设计	639
第六节 匣钵用工模具的设计	642
一、旋钵模具的设计	643
二、压钵模具的设计	643
第七节 胶装工具的设计	645
一、胶装架的设计	645
二、纸板冲模的设计	648

第八节 检查工具的设计	652
一、悬式绝缘子钢帽量规的设计	652
二、悬式绝缘子钢脚量规的设计	662
三、针式绝缘子脚孔螺纹塞规的设计	669
附录	670
一、电瓷工业常用原料的化学组成及某些物理性质	670
二、原料的重量百分组成与摩尔组成之间的换算	678
三、电瓷原料、坯料示性组成的换算	687
四、电瓷工业常用筛子的规格	690
五、电瓷工业中的主要机械设备	693
六、电瓷烧成工艺资料	699
参考文献	701

第一章 绪 论

第一节 电瓷与电瓷工业

电瓷是发展电力工业必不可少的绝缘材料，用它制成的绝缘子不仅广泛地用作电气设备各部分的绝缘、机械支持或连接的绝缘元件，而且在高、低压输电线路的架空导线上及各种有线与无线电工程中是一种不可缺少的绝缘支持物。例如，在一条超高压输电线路绝缘子的用量少则几万，多则几百万片。在线路建设的投资中，绝缘子所占的比重也随着电压等级的提高而不断增加——在132、275、400及750等千伏的架空线路上分别占输电线路造价的11、18、22和24%。因此，电气工业和电力工业比较发达的一些国家都有一定数量的、生产各种绝缘子的电瓷企业，成套供应各类电瓷制品，以满足电力工业发展的需要。

电瓷制品种类繁多，广义地说，凡用于电工方面的陶瓷制品，例如电话、电信、电灯、电热、电力等低压及高压技术中的绝缘子，以及无线电工程上所用的陶瓷元件、内燃机上的火花塞等都属于电瓷制品。由于对低压电瓷的性能要求不高，故原料、坯釉配方与普通陶瓷相差不多；至于无线电陶瓷及火花塞绝缘体，因要求它们具有较高的性能，其坯釉配方、原料与制造工艺已超出了普通电瓷的范围，属于特种电瓷；本书主要讨论用于高压及超高压电力工程中的瓷绝缘子。

用电瓷制造高压输电用的绝缘子已有一百多年的历史了。这种材料具有优良的性能：绝缘性能好、机械强度高、耐冷热急变性能强、和有机绝缘材料相比不易老化、在机械负荷的长期作用下不会产生永久变形。此外，原料来源广、成本低。其缺点是脆性大、冲击强度小、瓷件机械加工困难、不易制成尺寸精确的制品。虽然如此，但由于优点较多，故仍为一种较重要的绝缘材料。我国的电瓷工业就产品种类而言，目前已发展成为比较完整的系列：高低压输电线路用的盘形悬式绝缘子，横担绝缘子，实心棒形支柱绝缘子以及各种大型电站设备用的空心瓷套和电容式瓷套管等。生产方式和制造工艺得到了不断的改进，生产效率和产品质量也有很大的提高；自行设计和制造了若干关键设备，研制了具有一定机械化、自动化程度的单机与流水线；隧道窑得到了普遍的推广和应用，较现代化的设备在不断发展和采用中。

第二节 绝缘子的组成和分类

一、绝缘子的组成

绝缘子一般由绝缘体、金属附件和胶合剂三部份组成。绝缘体主要起绝缘作用，制造绝缘体的材料目前广泛应用的是瓷，其次是钢化玻璃及有机绝缘材料。用钢化玻璃制造绝缘子是本世纪卅年代以后才发展起来的，五十年代大量生产、使用。与瓷绝缘子相比，它的优点是生产周期短、建厂投资省，生产过程易于实现机械化、自动化，其电绝缘强度比瓷高，其他性能亦好。缺点是目前还难于成型大而形状复杂的制品，且钢化工艺较复杂。有机绝缘子的使用则为时更晚，在本世纪六十年代才开始生产。由于它具有产品尺寸小、重