

GAOYA FUHE JUEYUANZI JIQI YINGYONG

高压复合绝缘子 及其应用

邱志贤 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

GAOYA FUHE JUEYUANZI JIQI YINGYONG

高压复合绝缘子 及其应用

邱志贤 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是国内第一本完整讲述高压复合绝缘子设计和制造的著作。作者将三十年绝缘子行业工作经验汇集成书,还翻译整理了大量国外制造、运行的技术资料。书中系统介绍了高压复合绝缘子的材料、性能、结构、制造工艺、试验、使用和运行维护的相关知识,对复合绝缘子的制造者和使用者有非常高的参考价值,填补了国内高压复合绝缘子科技图书的市场空白。

本书非常适合高压绝缘子设计、制造企业的技术人员阅读,也可供电力工程设计、施工和运行维护的技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

高压复合绝缘子及其应用/邱志贤编著. —北京:
中国电力出版社, 2005

ISBN 7-5083-3542-2

I. 高... II. 邱... III. 复合绝缘材料-绝缘子 IV. TM216

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 090246 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

冶林印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 1 月第一版 2006 年 1 月北京第一次印刷
850 毫米 × 1168 毫米 32 开本 11.75 印张 312 千字

印数 0001—4000 册 定价 22.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

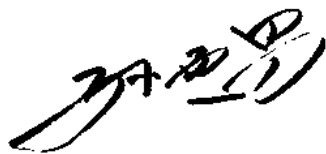
(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

代 序



自西安电瓷研究所成立(1958年)以来,高级工程师邱志贤同志一直从事高压绝缘子的设计、试验和标准化工作。他曾参加过 GB/T 2900.8《电工术语—绝缘子》、GB/T 5582《高压电力设备外绝缘污秽等级》等国家标准的编写,带领课题组进行了交流和直流污秽绝缘子课题研究,并于20世纪70年代和90年代先后参加了《电机工程手册》输变电、配电设备卷第1版和第2版绝缘子部分的编写工作,曾获得过中国出版协会、原机械部(委)和原电力部多个科学技术进步奖。退休后,他仍在不懈地从事这方面的探索和研究。邱志贤同志搜集了大量外文资料,并对这些资料进行了全面的数理统计,结合自己多年来丰富的实际工作经验,撰写了这本《高压复合绝缘子及其应用》,以供行业的广大科技工作者参考、借鉴。

相信《高压复合绝缘子及其应用》一书的出版发行,将对我国高压绝缘子行业的技术进步和发展起到积极的促进作用。

A stylized, handwritten signature in black ink, likely belonging to the author or a related official.

2004年8月

前 言



复合绝缘子国际上始于 20 世纪 50 年代末,至今已有 40 余年历史。硅橡胶复合绝缘子世界上大约在 1967 年开始投入生产。我国硅橡胶绝缘子生产运行已有十余年历史,在电力系统中有成千上万的国产高压复合绝缘子正在运行当中,随着我国特高压输电项目的实施,西电东送工程进一步展开,高压复合绝缘子的需求量将大幅增加。

但是,目前较全面地介绍高压复合绝缘子的中文著作却很少,本书的出版将填补这一空白。本人在编写《电机工程手册》第二版输变电、配电设备卷(即第 4 卷)第 5 篇“绝缘子、避雷器”绝缘子部分的基础上,通过 1998~2004 年在复合绝缘子厂工作期间积累的经验和资料以及西安电瓷研究所、浙江省电力试验研究所、华东电力试验研究院、华东电力设计院和华北电力试验研究院等单位有关同志提供资料的基础上编写本书。

书中详细叙述了高压复合长棒形绝缘子、间隔棒绝缘子、线路柱式绝缘子、电站支柱和空心绝缘子的结构、材料、设计、性能、尺寸。重点强调了以上各种绝缘子的试验条件、项目、方法、判定准则、注意事项等问题;还介绍了高压复合绝缘子的选型以及运行维护的相关知识。在最后一章还指出了在直流输电中广泛应用的直流复合绝缘子的种类、试验、运行经验,为今后直流输电中高压复合绝缘子的应用打下了一定基础。

认识来源于实践。我要感谢培育我成长、提供生产和科学试验机会的西电集团公司西安电瓷研究所的领导对本书的支持和帮助,感谢我的同行李大楠、程文怡和丁京玲同志给我的无私帮助。

本书在编写过程中翻译、整理了大量的外文资料,由于编写

时间仓促，本人经验也欠缺，书中错误一定不少，我诚恳地希望读者批评指正。值此还要向提供资料的其他同志表示深深的谢意！

编 者

目 录



代序

前言

第一章 概述..... 1

第一节 复合绝缘子的分类与结构特点..... 1

第二节 复合绝缘子的发展以及与传统绝缘子的
比较..... 7

第三节 复合绝缘子的运行条件以及对它的要求 14

第二章 复合长棒形绝缘子的结构设计 24

第一节 国际上复合长棒形绝缘子的设计和制造
工艺 24

第二节 绝缘子机械性能设计 25

第三节 复合绝缘子外套材料的选取以及复
合绝缘子的界面 67

第四节 复合长棒形绝缘子外绝缘闪络电压
特性和电气性能设计 96

第五节 复合长棒形绝缘子的尺寸特性..... 135

第六节 IEC 复合长棒形绝缘子元件标准强度
等级和端部附件..... 139

第三章 其他复合绝缘子的设计结构..... 141

第一节 复合线路柱(横担)式绝缘子..... 141

第二节 复合间隔棒绝缘子..... 161

第三节 变电所复合绝缘子..... 164

第四章 复合长棒形绝缘子的试验	184
第一节 外套材料的试验	184
第二节 芯棒材料的试验	207
第三节 IEC 61109 和其修改件 1 规定的试验项目 (见表 4-5)	208
第四节 界面和金属附件连接试验	210
第五节 IEC 61109 规定的机械拉伸负荷—时间试验	213
第六节 复合绝缘子老化试验	219
第七节 复合绝缘子憎水性评定和污秽试验	238
第八节 FRP 棒应力腐蚀试验	274
第九节 GB/T 19519 与 IEC 61109 差异	275
第五章 其他复合绝缘子的试验	278
第一节 复合线路柱式绝缘子	278
第二节 复合空心绝缘子	281
第三节 IEC 复合绝缘子标准化工作最新动态	289
第六章 复合绝缘子的使用与运行维护	294
第一节 复合绝缘子的选用	294
第二节 绝缘子的储存、运输、安装和运行维护	301
第三节 物理—化学诊断技术	309
第四节 污秽测量、污秽闪络电压以及常规的电气 机械试验方法	310
第七章 直流复合绝缘子	316
第一节 概述	316
第二节 传统的直流盘形瓷或玻璃绝缘子与直流长棒 形绝缘子的比较	317
第三节 直流复合绝缘子外套材料耐起痕和蚀损性能	

	的试验	323
第四节	直流复合长棒形绝缘子的加速老化试验	332
第五节	国外直流复合长棒形绝缘子的长期运行 经验	340
第六节	直流复合空心绝缘子的加速老化试验	346
第七节	复合绝缘子在直流电压下应用的考虑	352
参考文献		358

第一章 概 述

第一节 复合绝缘子的分类与结构特点

一、复合绝缘子的组成

复合绝缘子 (composite insulator) 是至少由两种绝缘部件即芯体和装配有金属附件的外套构成的一种聚合物绝缘子。聚合物^①绝缘子是指至少由一种聚合物基础材料构成的绝缘子。复合绝缘子可由各单个伞裙安装在芯体上构成, 此时可具有或不具有中间护套, 或者可将外套整件或分成数件直接模塑或注塑在芯体上构成。复合绝缘子的芯体 (core) 是绝缘子的内绝缘件, 用来保证绝缘子的机械特性。此芯体通常由置于树脂基体中的纤维 (如玻璃) 或均匀的绝缘材料 (如瓷或树脂) 构成的。两种绝缘材料均为聚合物制作的复合绝缘子称聚合物复合绝缘子 (polymeric composite insulator), 也可简称复合绝缘子。国内电力部门多称它为合成绝缘子 (synthetic insulator)。芯体由均匀绝缘材料制作的复合绝缘子称为混合复合绝缘子 (hybrid composite insulator)。复合绝缘子国外也称它为非瓷绝缘子 (NCI, nonceramic insulator)。

外套 (housing) 也称伞套, 是绝缘子的外绝缘件, 用来提供必要的爬电距离和保护芯体不受气候影响。外套可由多种材料构成, 包括弹性体 (例如硅橡胶, 乙丙橡胶)、树脂 (例如环脂族

① 聚合物指相互连接的一种或一种以上原子或原子团 (结构单元) 以多次重复为特征的分子所组成的物质, 其分子量大到足以使整体性能不随加入或除去一个或几个结构单元而明显改变。

环氧树脂)或碳氟化合物(例如聚四氟乙烯)。我国复合绝缘子的芯体多采用环氧树脂浸渍的玻璃纤维增强塑料(glass fiber reinforced plastics)棒,简称为玻璃纤维棒(或GRP棒、GFRP棒和FRP棒),而对于空心绝缘子则采用环氧树脂浸渍的玻璃纤维增强塑料管(玻璃纤维缠绕管)。我国复合绝缘子外套一般多采用硅橡胶材料制造。

传统的瓷或玻璃绝缘子的结构属于单一材料系统,即由一种绝缘材料构成的,因而机械功能(压缩、拉伸、弯曲)和电气功能(爬电距离)都由一种材料来承担。复合绝缘子属于多材料系统,是至少由两种不同的绝缘材料构成的,将绝缘子的各项功能由不同的材料分开承担,共同发挥它们的最佳功能。

随着线路和变电所应用复合绝缘子的发展,高压套管也采用了其绝缘套由带或不带橡胶外套的树脂浸渍纤维管作成的复合套管。

二、复合绝缘子的用途与分类^[1,1]

目前世界上已经生产的复合绝缘子主要包括长棒形绝缘子(我国亦称为棒形悬式绝缘子)如图1-1(a)所示、线路柱式绝缘子如图1-1(b)所示、支柱绝缘子如图1-2所示和空心绝缘子如图1-3和图1-4所示。

图1-2所示的复合支柱绝缘子,是由前苏联研制和

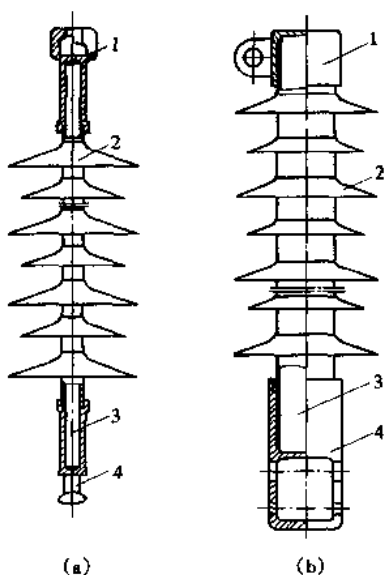


图1-1 复合线路绝缘子

(a) 长棒形绝缘子; (b) 线路柱式绝缘子
1—上附件; 2—外套; 3—芯棒; 4—下附件

生产的细玻纤棒聚合物绝缘子组成的超高压系统用构架式隔离

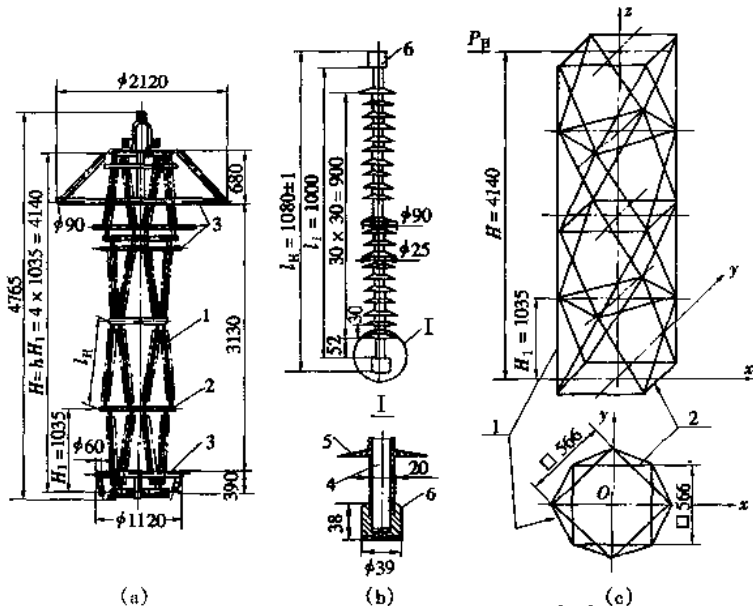


图 1-2 复合支柱绝缘子 ИЮС-500^[1,2]

(a) 产品图; (b) 元件图; (c) 结构图

1—复合支柱绝缘子; 2—刚性梁; 3—屏蔽附件; 4—玻璃纤维树脂棒;
5—耐气候外套; 6—端部附件

开关—母线支柱绝缘子。

图 1-3 和图 1-4 所示复合空心绝缘子与瓷套一样可以应用于变压器、开关、互感器、电缆端子、避雷器及其他各种电器中，作为出线套管以及电气绝缘外壳，如图 1-5 所示。

图 1-6 所示为 1979 年开始在德国严重工业污秽地区和北海气候条件下开始运行的具有硅橡胶伞裙的户外/SF₆ 电容套管结构原理图，该套管采用了环氧树脂浸渍的 Px100—主绝缘体^[1.3,1.4]。

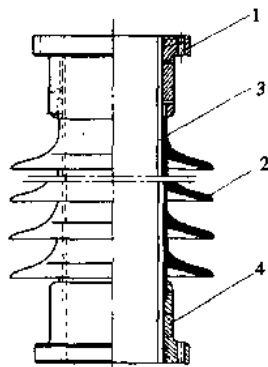


图 1-3 复合空心绝缘子

1—上附件; 2—外套;
3—芯管; 4—下附件

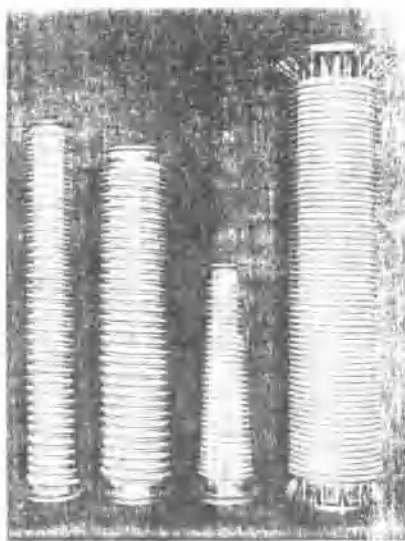


图 1-4 各种复合空心绝缘子外形图

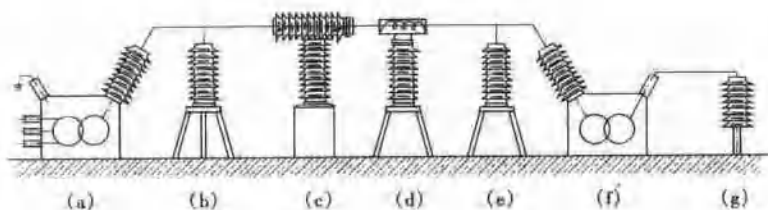


图 1-5 复合绝缘子在户外装置中的安装使用

(a)主变压器可控套管;(b)避雷器;(c)Life 罐式断路器;(d)电流互感器;(e)电压互感器;(f)配电变压器(420/170kV)用可控套管;(g)电缆终端(170kV)

图 1-7 和图 1-8 所示为中国西电集团公司西安电瓷研究所生产的 500kV 线路保护用复合外套金属氧化物避雷器。

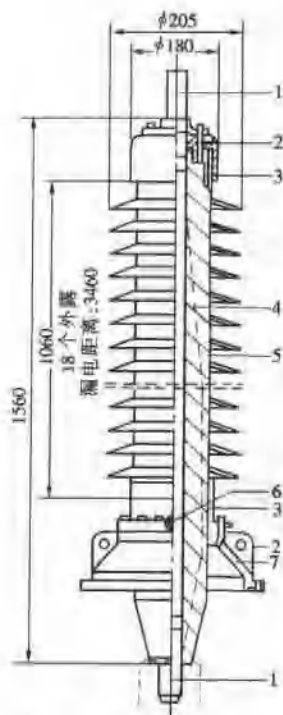


图 1-6 具有硅橡胶伞裙的由 Pxl00 制作的户外/
SF₆ 套管结构原理^[1,3,1.4]

- 1—通流导体端子；2—多重密封系统；3—环氧树脂粘合剂；
4—主绝缘体；5—带有伞裙的硅橡胶外套；6—测量接头；
7—连接法兰



图 1-7 在实验室试验中的具有复合外套的 500kV 线路保护用金属氧化物避雷器
(照片中央悬吊着的、带有均压环的、由 3 个元件串接成的)

由于复合绝缘子的重量很轻，在户外跨距中还可以用作相间隔离器 (interphase spacer)，或称间隔棒绝缘子，这既可以阻止“线束跳动”，又使紧凑型线路的建设成为可能。图 1-9 所示为保定电力修造厂生产的运行中的 500kV 紧凑型线路复合相间间隔

棒绝缘子，图 1-10 所示为该厂生产的 220kV 紧凑型线路复合相间隔间隔棒绝缘子（图中三角形排列的）。



图 1-8 在线路中运行的 500kV 线路保护用复合外套金属氧化物避雷器
（图片中悬吊着的 2 个元件）



图 1-9 我国 500kV 昌平—房山紧凑型线路相间间隔棒

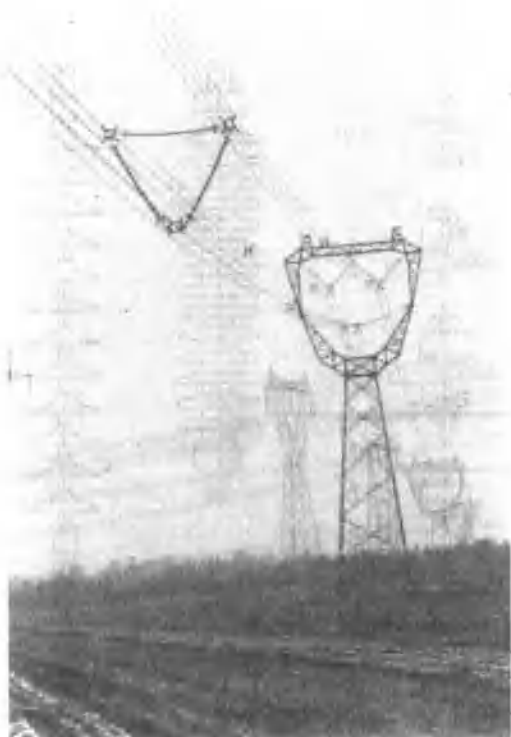


图 1-10 我国廊坊—安定 220kV
紧凑型线路复合相间间隔棒

第二节 复合绝缘子的发展以及 与传统绝缘子的比较

一、高压绝缘子的发展

高压绝缘子的发展起源于 19 世纪末使用的电信绝缘子如图 1-11 (a) 所示, 图 1-11 (b) 所示的针式绝缘子在德国应用于

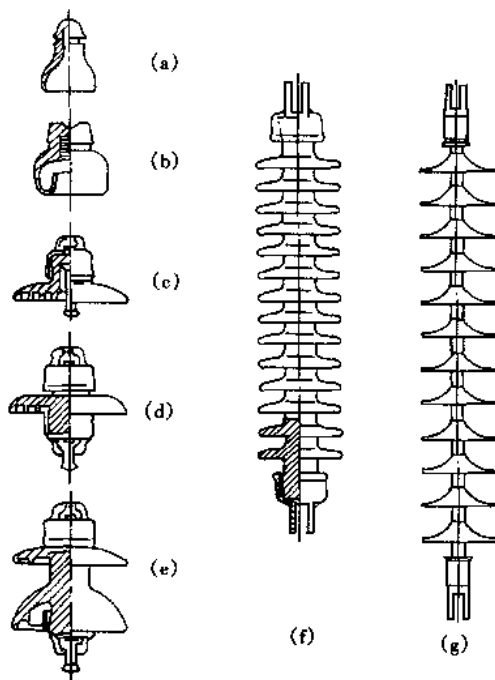


图 1-11 架空输电线路用高压绝缘子的发展^[1.5]

(a) 电信绝缘子 (1850 年); (b) 第一个 15kV 线路针式绝缘子 (1891 年); (c) 盘形绝缘子 (1910 年); (d) 双帽绝缘子 (1920 年); (e) “Motor” 型绝缘子 (1924 年); (f) 现代长棒形绝缘子 (自 1956 年以来); (g) 复合长棒形绝缘子 Rodurflex (自 1967 年以来)

1891 年的第一个 15kV 三相输电线路。以后相继发展了盘形绝缘子、双帽绝缘子、“Motor” 型绝缘子和长棒形绝缘子^[1.5]，如图 1-11 所示。

盘形绝缘子相对于针式绝缘子来说是一个大发展，因为它可以将作用在金属附件上的拉伸负荷转变为在绝缘材料内的压缩和剪切应力，从而提高其机械强度等级。