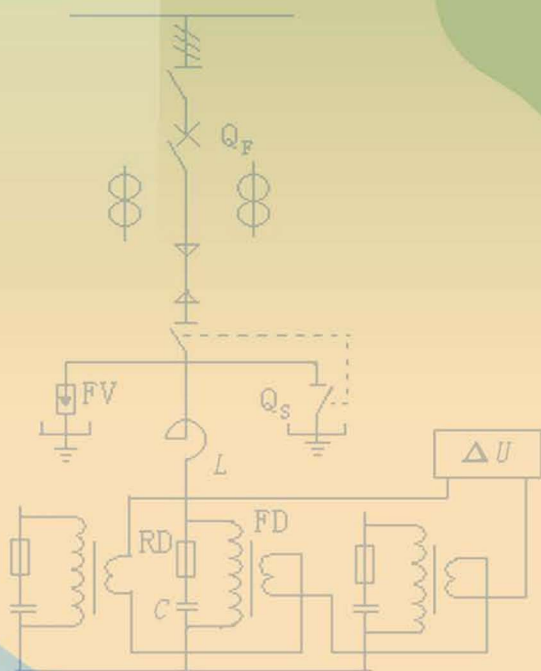


BINGLIAN DIANRONGQI BUCHANG
ZHUANGZHI JISHU WENDA

并联电容器补偿装置 技术问答

周存和 编著

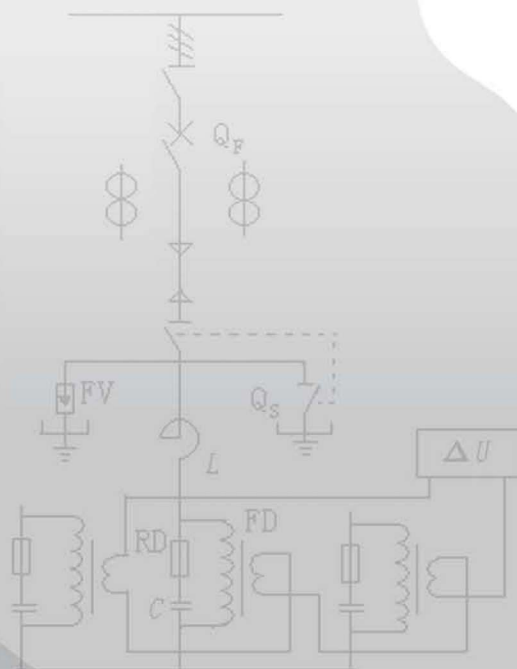


广西科学技术出版社

并联电容器补偿装置 技术问答

周存和 编著

州大字图书馆
藏书章



广西科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

并联电容器补偿装置技术问答 / 周存和编著. — 南宁: 广西科学技术出版社, 2012. 11
ISBN 978-7-80763-857-5

I. ①并… II. ①周… III. ①并联电容器—补偿装置—问题解答 IV. ①TM531-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 262460 号

并联电容器补偿装置技术问答

周存和 编著

出版发行 广西科学技术出版社
(社址/南宁市东葛路 66 号 邮政编码/530022)
网 址 <http://www.gxkjs.com>
经 销 广西新华书店
印 刷 广西大一迪美印刷有限公司
(厂址/南宁市高新三路 1 号 邮政编码 530007)
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 10.5
字 数 177 千字
版 次 2012 年 11 月第 1 版
印 次 2012 年 11 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-80763-857-5/TM·0
定 价 25.00 元

本书如有倒装缺页, 请与出版社调换

前 言

并联电容器补偿装置的国家标准，于1995年颁布实施，即《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—1995)。当时，它的主要部件并联电容器也有国家标准——《高压并联电容器》(GB 3893.2—1989)。还有一类电容器，也是并联接入电网，即滤波电容器，也有相关行业标准《高压交流滤波电容器》(ZB K 48004—1990)。当时，GB 50227—1995与GB 3893.2—1989很匹配。2001年，GB 3893.2—1989与ZB K 48004—1990，同时被一个新国家标准所取代，即《标称电压1 kV及以上交流电力系统用并联电容器 第一部分：总则 性能、试验和定额安全要求 安全和运行导则》(GB/T 11024.1—2001)。该标准的附录B，便是滤波电容器与并联补偿用电容器不同部分的技术规范。换句话说，GB/T 11024.1—2001既包含并联补偿用电容器，也包含滤波用的电容器。如果这样，要与GB/T 11024.1—2001相协调来订立国家标准，就不宜简单称之为《并联电容器装置设计规范》，而应该是两个标准或一个标准两个部分，其一是补偿装置，其二是滤波装置。但是GB 50227—2008仍用原来的名称，而且内容中却只字未提滤波装置的内容，这似乎就与GB/T 11024.1—2001不协调、不匹配了。所以本书特地定名为《并联电容器补偿装置技术问答》，就是为了表明它不涉及滤波装置。

并联电容器补偿装置，通常包括以下主要部件：并联电容器、断路器(开关)、隔离刀闸、串联电抗器、氧化锌避雷器、放电装置、熔断器、保护装置、投切装置及其他配套件，如支柱绝缘子、母线、支架(或箱、柜)、围栏等。毫无疑问，并联电容器是装置的核心部件，没有它，就无法实现向系统提供容性无功、降低线路损耗、改善功率因数、释放变压器的剩余送变电能力，以及在系统电压偏低时调节母线电压的各项目标。这个看似不成问题的问题，往往在选配其他配套件参数时，成了争执不下的议题。所以，在讨论并联电容器补偿装置的有关技术问题之前，我们务必时时刻刻记住这最简单的一点：除并联电容器外，其他配套件，都是为保障并联电容器安全运行而设置的，它们的参数选取原则应该是、也只能是以满足并联电容器安全运

行为首要前提。大家在阅读本书时就会发现，其中的不少说法，包括国家标准、行业标准，以及有关强制性规定，通常在产生矛盾时，都是对这最简单的一条置之不顾而引起的。所以，笔者再三强调，同意这一条，判别是非就有了共同语言，不必要的争论就会减少，相关的标准、规程也会更加贴近实际，更加合理，从而消除大家执行它们时的困惑，指导人们正确实践。

自1980年国家相关部门决定由工厂提供并联电容器补偿装置以来，30多年过去了，该类装置迄今为止在我国电网中运行的套数，仅10 kV与35 kV的装置，数以万计，已经相当普及。但是，仍有不少问题，妨碍并联电容器补偿装置发挥它应有的作用。因此，有必要对这些问题进行系统地梳理。例如，电容器并联台数合乎规定，但仍然时有电容器箱壳爆裂事故发生；并联电容器补偿装置投切有时顺利，有时又投不上或切不掉，而且这时配套件并没有发现问题；装置了氧化锌避雷器，计数器也确实动作了，但电容器还经常受到过电压的伤害；有时电容器故障已经相当严重，而多道保护装置一个也不动作；按照国家标准配置了电抗器，系统背景谐波却没有被抑制住；装置带电后，有时会听到较大的噪声，过一段时间好像又听不到了；电容器油气味很难闻，符合环保要求吗？……对诸如此类的疑问，如果本书中这些来自实践的问答能够帮助年轻朋友们解决工作中遇到的众多疑惑，从而提高并联电容器补偿装置的投运率，那就能对我们的节能事业贡献绵薄之力。这就是笔者写这本书的唯一出发点和落脚点。

作者曾有幸主持我国首批由工厂设计、制造并成套供货的高压并联补偿装置的全部工作，并邀请国内电力部门近百位专家，参加了1980年首批并联电容器补偿装置的现场评审会。此后又一直从事该装置的设计、配套和售后服务的组织领导工作。退休前、特别是退休后，在国内60多个城市的电力部门与制造单位，已作过这方面的专题报告160余次，其中国家电网公司与省电力公司有关部门出面组织的有10余次。至于参与并联电容器补偿装置的事故分析活动，则从未间断。此前，作者曾经出版过两本小册子：2005年5月出版的《并联无功补偿装置选型简明手册》，2008年6月出版的《并联电容器及其成套装置》，也对不少问题作过分析。本书则是作者对前两本小册子的主要内容，以及近年来从事售后服务经验较为全面的总结，同时也对一些尚无定论的问题，坦率地阐明了个人的观点。例如，并联电容器额定电压计算，电容器的过电流能力，电抗器对系统背景谐波的抑制，不同电抗率电容器组

的电流谐振计算，避雷器的接线方式，熔断器的摒弃不用，等等，并且以人们关心的专题问答形式出现，好让初次介入这方面工作的工程技术人员有针对性地查阅，希望此举能够有利于读者继续研讨这些问题，并有助于尚无明确结论的问题早日解决。

由于水平有限，作者个人的一孔之见，也可能挂一漏万，疏漏和错误之处在所难免，就算是抛砖引玉吧，敬请读者不吝指正，谨致谢忱。

最后，以一首蹩脚的、表达个人心声的词，作为前言的结尾。

南乡子

何处冠神州，风情万种桂林游。

斗转星移多少事，悠悠，唯见漓江滚滚流。

头顶发已疏，年逾七旬退未休。

期盼新人成能手，孺牛，甘与后生共绸缪。

2012年10月1日于广西桂林漓江苑

目录

1. 并联电容器的发展史悠久吗？	1
2. 电容器有哪些功能？	2
3. 电容器的补偿容量如何确定？	3
4. 电容器的结构有几种？	5
5. 如何认识电容器的固体介质聚丙烯薄膜？	7
6. 两种聚丙烯薄膜的区别何在？	9
7. 为什么不少人认为进口薄膜反而不如国产薄膜质量好？	10
8. 用微小元件打耐压来检验聚丙烯薄膜合适吗？	10
9. 不同的电容器液体介质应该如何评价？	11
10. 电容器为什么会“鼓肚”？	12
11. 能从油的分子结构来判定它们的大致性能吗？	13
12. 现在常用的四种电容器油难闻的气味对人的健康有害吗？	16
13. 元件绕制应该注意哪些问题？	19
14. 何谓材料的正常化处理？	19
15. 电容器在真空注油前为什么要对油先进行处理？	19
16. 真空处理时间多长、真空度多高为好？	21
17. 对内熔丝结构如何评价？	23
18. 为什么渗漏油与瓷套总有“不解之缘”？	28
19. 电容器箱壳结构与电容器的电气性能有关系吗？	29
20. 不锈钢外壳电容器为什么还要油漆？	29
21. 并联电容器有多少种？各有什么优缺点？	30
22. 怎样理解并联电容器的稳态过电流能力？	38
23. 怎样理解并联电容器的稳态过电压能力？	41
24. 过去没有问题的介质损耗测试，为什么现在常有问题？	42

25. 电容器的寿命能预测吗？	42
26. 并联电容器补偿装置投运后为什么时有噪声？	44
27. 并联电容器补偿装置通常包括哪些必要的配套件？	45
28. 容性无功补偿装置有哪几类？	46
29. 常规型并联电容器补偿装置有几种？各有什么特点？	47
30. 什么是调压型并联电容器补偿装置？	49
31. 什么是磁控开关动态型并联电容器补偿装置？	51
32. 并联电容器补偿装置的一次接线如何选定？	53
33. 电容器的箱壳耐爆破能量有什么作用？	57
34. 并联电容器补偿装置的保护有哪些？	57
35. 何谓并联电容器补偿装置主保护？	57
36. 何谓并联电容器补偿装置后备保护？	58
37. 并联电容器补偿装置后备保护有通用规则吗？	58
38. 何谓并联电容器补偿装置系统异常保护？	60
39. 环境对并联电容器补偿装置的影响应该如何考虑？	61
40. 并联电容器补偿装置适于采用哪种断路器？	62
41. 真空断路器有什么特点？	62
42. 为什么并联电容器补偿装置多在分闸时出问题？	62
43. 老练后的真空断路器为什么还有重击穿现象发生？	64
44. 国家主管部门对并联电容器补偿装置真空断路器有要求吗？	65
45. 六氟化硫断路器有什么特点？	65
46. 怎样认识串联电抗器的属性？	67
47. 串联电抗器是如何更新换代的？	67
48. 什么是水泥空芯电抗器？	67
49. 油浸铁芯电抗器有哪些优缺点？	68
50. 干式空芯电抗器的特点是什么？	69
51. 为什么近年来人们喜欢用干式铁芯电抗器？	69
52. 何谓干式半芯电抗器？	70
53. 干式空芯磁屏蔽电抗器有何特点？	70
54. 串联电抗器电抗率与电容器端电压有什么关系？	70
55. 串联电抗器引入后为什么会放大某些系统谐波电流？	70
56. 按照 GB 50227 的规定选定电容器的额定电压为什么与实际不相符？	71

57. 并联电容器补偿装置为什么会与系统发生并联谐振？	73
58. GB 50227 中的并联谐振计算公式是怎么来的？	73
59. 同一母线上电容器组的电抗率不相同时谐振如何计算？	74
60. 按 GB 50227 的规定配置电抗器能够抑制谐波对电容器的危害吗？	76
61. 怎样才能真正抑制谐波对电容器的危害？	80
62. 对电容器而言电抗器前置好还是后置好？	81
63. 同一段母线上的电容器组电抗率如何选取为好？	81
64. 并联电容器补偿装置与滤波装置有何区别？	81
65. 放电线圈与电磁式电压互感器有何区别？	82
66. 放电线圈与电磁式电压互感器绝对不能换用吗？	82
67. 两台 10 kV 的放电线圈能合用于 35 kV 系统作差压保护吗？	82
68. 并联电容器补偿装置放电至安全电压一般需要多少时间？	83
69. 氧化锌避雷器的特点是什么？	83
70. 选用氧化锌避雷器时哪些参数最重要？	84
71. 氧化锌避雷器的接线方式很重要吗？	85
72. 指针式计数器安装时有什么特别要求？	86
73. 熔断器对内熔丝电容器真的没有用了吗？	87
74. 如果再用熔断器误动作频繁怎么办？	87
75. 熔断器与断路器等安秒特性如何配合为好？	88
76. 熔断器安装时有什么要求？	88
77. 选用电流互感器要注意些什么？	89
78. 对继电保护设备有哪些要求？	89
79. 九域图还有用吗？	91
80. 并联电容器补偿装置运行中哪些参数要特别注意？	92
81. 并联电容器补偿装置例行维护应该注意哪些方面？	94
82. 为什么昨天正常退下来的装置今天就投不上了？	95
83. 为什么装置有时候总投不上，过段时间又能投上？	95
84. 发现装置配套件渗漏油后怎么办？	95
85. 避雷器质量好现场可以检查吗？	95
86. 某台产品表面温度异常还能继续使用吗？	96
87. 预防性试验发现电容器电容量有变化时还能继续使用吗？	96
88. 什么是电容器的早期损坏？	96

89. 有的电容器没有投运就“鼓肚”了，还能继续使用吗？	97
90. 并联台数不超过规定，电容器箱壳还会爆裂吗？	97
91. 电容器接线端子与母线之间一定要用软连接吗？	100
92. 并联电容器补偿装置都发生过哪些典型案例？	100
93. 并联电容器补偿装置的型号有国家标准吗？	106
94. 电容器的型号有哪些规定？	107
95. 串联电抗器的型号为什么不是很有规律？	108
96. 断路器的型号有哪些规定？	109
97. 放电线圈的型号有哪些规定？	109
98. 电容器专用氧化锌避雷器的型号是什么？	109
99. 熔断器的型号有哪些规定？	110
100. 电流互感器的型号有哪些规定？	110
附录 1. 低压并联电容器补偿装置简介	111
2. 并联电容器补偿装置主要部件代表性产品样本	114

1. 并联电容器的发展史悠久吗？

答：从源头上讲，并联电容器（以下简称电容器）的雏形，始于 1745 年，荷兰莱顿大学教授马森布洛克发明的莱顿瓶（Laiden Jar）。此后，先是对电容器作为一个电气元件在物理学方面的表现，展开基础理论研究；随后再研发电容器的工业产品，这才拉开了电容器历史的序幕。经过了 100 多年漫长的发展过程，终于在 1919 年，美国人将电容器从一个纯物理概念转化为实际的节能产品，并且开始了工业应用。

大家知道，初期的电容器相当笨重，每千乏（kvar）重约数千千克。那时电容器的极板材料是很厚的锡箔，极间绝缘介质也是较厚的电缆纸，液体绝缘为天然矿物油。不过，这第一步是很可贵的。当初根据电容器接至电网后改变了功率因数角，也就是移动了负荷电流相位的事实，曾经将它取名为“移相电容器”；几十年后，电容器的品种越来越多，才按其接入电网的方式命名为“并联电容器”。

20 世纪中期开始，电容器技术突飞猛进，发生了日新月异的变化。20 世纪 60 年代，国产电容器的质量比特性一般是 $1.5 \sim 2.0 \text{ kg/kvar}$ ，现在先进的电容器仅为 0.1 kg/kvar 左右。

我国电容器的生产历史，起始于 1949 年前夕，那时上海就已经有了生产工场，只不过是作坊式工场，仅做容量很小的（单台 10 kvar 左右）、矿物油浸渍低压纸质电容器。我国有规模的电容器生产基地于 1953 年开始筹建，1958 年经国家验收后正式投产，它是第一个五年计划期间国家基本建设 156 项重点工程之一，是苏联援建的项目。

1958 年以后，特别是 1967 年我国自行设计、自主建设的第二家电容器厂问世之后，我们开始步入电容器大发展年代。到 1980 年，我国已形成一个电容器行业：有 2 个国家重点电力电容器工厂，3 个地方重点工厂，8 个定点工厂。那时的定点厂，准确地说，就是国家批准的有资格生产电容器的工厂。此外，还有数量更多的低压电容器厂。时至今日，大大小小的电力电容器企业，已达 200 余家。其中属高压领域的，经过优胜劣汰的自然发展过程，现存的仍不过十余家。国家建设所需要的各种系列的电力电容器，都能自主设计生产。现在我国电网中的电力电容器，基本都是国产的。当然，个别关键材料，主要是优质液体绝缘介质，还不能完全国产化。但电容器产品依赖进口的时代，早已一去不复返了。



2. 电容器有哪些功能？

答：（1）改善功率因数、降低线路损耗

电力系统中，大多数设备为感性，为了它们能正常、有效地安全运行，需要电容器的帮助。电容器的基本原理可以由图 2-1 来说明。

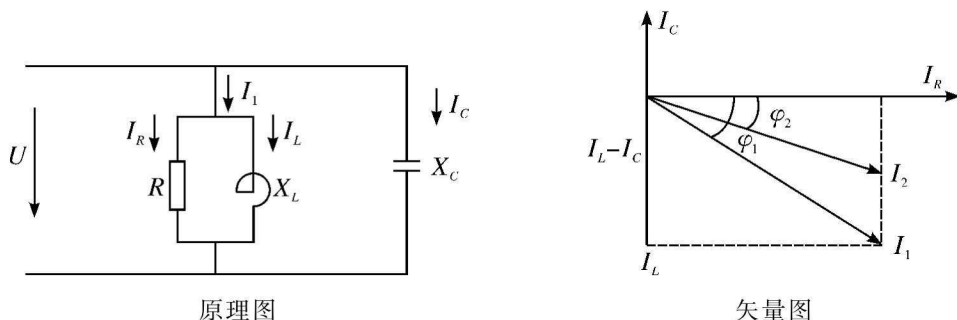


图 2-1 并联电容器补偿装置原理图和矢量图

图中， X_C 代表电容器的容抗， R 和 X_L 代表系统负载。

由图 2-1 可见，有了电容器后，负载电流由 I_1 下降为 I_2 ，功率因数角由 φ_1 减小为 φ_2 ，确实改善了功率因数，也就降低了线路损耗，减少了不必要的浪费，提高了每度电的利用率。从这个意义上讲，电容器是一个很好的节能产品。

（2）释放变压器的剩余变电能力

这可以由图 2-2 很直观地看出来。因为变压器的视在功率 S 是不变的，当功率因数改善后，便使有功功率 P 增加 (ΔP)。

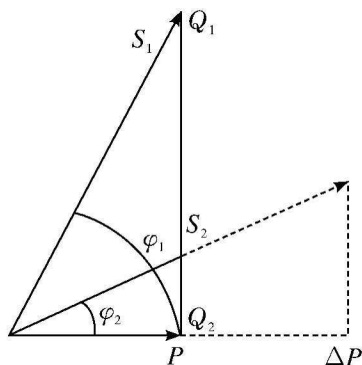


图 2-2 功率三角形图

(3) 辅助调压作用

因为电容器的无功功率输出与其端电压的平方成比例，因此电压偏低时，它的功率输出会按大幅度下降，对电网电压的提升作用也就要大打折扣。所以，它只能在电压稍微偏低时，有调压作用。也就是说，它的调压是辅助性质的，真正要调压，既要经济，又要合理，那得用串联电容器，因为要达到同样的调压目的，串联电容器所需容量，仅为并联电容器的 $1/6 \sim 1/2$ 。

那么，电容器接入电网后，对母线电压的贡献有多大呢？这可以用图 2-3 来分析。假设送电线路是理想线路，即不考虑分布电容，线路阻抗为 $R + jX$ ，负荷为 $I_R + jI_L$ ，且集中在末端，忽略电容器的有功电阻，这时电容器有 jI_C ，则线路首端电压 U_1 和末端电压 U_2 之间存在以下关系：

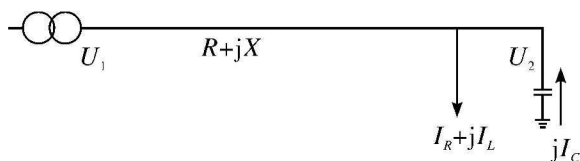


图 2-3 电容器调压原理图

$$\text{补偿前, } U_1 \approx U_2 + I_R R + I_L X \quad (2-1)$$

$$\text{补偿后, } U_1 \approx U_2 + I_R R + I_L X - I_C X \quad (2-2)$$

通常在实施并联补偿的情况下， $I_L X - I_C X$ 大于零，即补偿后 U_1 压降减小，要维持等式不变， U_2 必然升高，这就达到了调压目的。至于这个电压升高值 ΔU 可以按照有关国家标准《标称电压 1 kV 及以上交流电力系统用并联电容器 第一部分：总则 性能、试验和定额安全要求 安全和运行导则》(GB/T 11024.1—2001 或 GB 50227—2008) 所列公式计算，即

$$\Delta U/U = Q_C/S_d \quad (2-3)$$

式中： U ——补偿前的母线电压，V；

Q_C ——补偿电容器的容量，Mvar；

S_d ——电容器安装处母线对地短路容量，MVA。

3. 电容器的补偿容量如何确定？

答：确定电容器的补偿容量一般有两种方法：一是变电站内配置的电容器，需根据无功潮流或者有关规程的要求而定。例如，某电压等级的变电站，按其变压器装机容量的 $15\% \sim 30\%$ 配置电容器等。二是普通电力用户，基本上都按下述公式与表格办事。



由图 2-1 的矢量图不难看出，将功率因数由某值提高所需的电容器容量很容易由下面两个公式计算出来：

$$Q_C = P (\sqrt{1/\cos^2 \varphi_1 - 1} - \sqrt{1/\cos^2 \varphi_2 - 1}) \quad (3-1)$$

$$Q_C = P (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (3-2)$$

式中： Q_C ——无功补偿容量，kvar；

P ——负荷的有功功率，kW；

φ_1 ——补偿前的功率因数角，度（°）；

φ_2 ——补偿后的功率因数角，度（°）。

所需补偿容量，可以从表 3-1 与表 3-2 查得，或按有关数据计算得出。如果表中没有所需数据，而是处在表中两个相邻数据之间，则用内插法来得到。

表 3-1 功率因数角正切值、余弦值对照表

$\tan \varphi$	3.18	2.68	2.29	1.99	1.73	1.64	1.56	1.48	1.41	1.33
$\cos \varphi$	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.52	0.54	0.56	0.58	0.60
$\tan \varphi$	1.27	1.20	1.14	1.08	1.02	0.97	0.91	0.86	0.80	0.75
$\cos \varphi$	0.62	0.64	0.66	0.68	0.70	0.72	0.74	0.76	0.78	0.80
$\tan \varphi$	0.70	0.65	0.59	0.54	0.48	0.43	0.36	0.29	0.20	
$\cos \varphi$	0.82	0.84	0.86	0.88	0.90	0.92	0.94	0.96	0.98	

表 3-2 补偿到 $\cos \varphi$ 时每千瓦所需千乏数对照表

补偿前 $\cos \varphi_1$	补偿后 $\cos \varphi_2$												
	0.70	0.75	0.80	0.82	0.84	0.86	0.88	0.90	0.92	0.94	0.96	0.98	1.00
0.30	2.16	2.30	2.42	2.48	2.53	2.59	2.65	2.70	2.76	2.82	2.89	2.98	3.18
0.35	1.66	1.80	1.93	1.98	2.03	2.08	2.14	2.19	2.25	2.31	2.38	2.47	2.68
0.40	1.27	1.41	1.54	1.60	1.65	1.70	1.76	1.81	1.87	1.93	2.00	2.09	2.29
0.45	0.97	1.11	1.24	1.29	1.34	1.40	1.45	1.50	1.56	1.62	1.69	1.78	1.99
0.50	0.71	0.85	0.98	1.04	1.09	1.14	1.20	1.25	1.31	1.37	1.44	1.53	1.73
0.52	0.62	0.76	0.89	0.95	1.00	1.05	1.11	1.16	1.22	1.28	1.35	1.44	1.64
0.54	0.54	0.68	0.81	0.86	0.92	0.97	1.02	1.08	1.14	1.20	1.27	1.36	1.56
0.56	0.46	0.60	0.73	0.78	0.84	0.89	0.94	1.00	1.05	1.12	1.19	1.28	1.48

续表

补偿前 $\cos \varphi_1$	补偿后 $\cos \varphi_2$												
	0.70	0.75	0.80	0.82	0.84	0.86	0.88	0.90	0.92	0.94	0.96	0.98	1.00
0.58	0.39	0.52	0.66	0.71	0.76	0.81	0.87	0.92	0.98	1.04	1.11	1.20	1.41
0.60	0.31	0.45	0.58	0.64	0.69	0.74	0.80	0.85	0.91	0.97	1.04	1.13	1.33
0.62	0.25	0.39	0.52	0.57	0.62	0.67	0.73	0.78	0.84	0.90	0.97	1.06	1.27
0.64	0.18	0.32	0.45	0.51	0.56	0.61	0.67	0.72	0.78	0.84	0.91	1.00	1.20
0.66	0.12	0.26	0.39	0.45	0.49	0.55	0.60	0.66	0.71	0.78	0.85	0.94	1.14
0.68	0.06	0.20	0.33	0.38	0.43	0.49	0.54	0.60	0.65	0.72	0.79	0.88	1.08
0.70		0.14	0.27	0.33	0.38	0.43	0.49	0.54	0.60	0.66	0.73	0.82	1.02
0.72		0.08	0.22	0.27	0.32	0.37	0.43	0.48	0.54	0.60	0.67	0.76	0.97
0.74		0.03	0.16	0.21	0.26	0.32	0.37	0.43	0.48	0.55	0.62	0.71	0.91
0.76			0.11	0.16	0.21	0.27	0.32	0.37	0.43	0.50	0.56	0.65	0.86
0.78			0.05	0.11	0.16	0.21	0.27	0.32	0.38	0.44	0.51	0.60	0.80
0.80				0.05	0.10	0.16	0.21	0.27	0.33	0.39	0.46	0.55	0.75
0.82					0.05	0.11	0.16	0.22	0.27	0.33	0.40	0.49	0.70
0.84						0.06	0.11	0.16	0.22	0.28	0.35	0.44	0.65
0.86							0.06	0.11	0.17	0.23	0.30	0.39	0.59
0.88								0.06	0.11	0.17	0.25	0.33	0.54
0.90									0.06	0.12	0.19	0.28	0.48
0.92										0.06	0.13	0.22	0.43
0.94											0.07	0.16	0.36

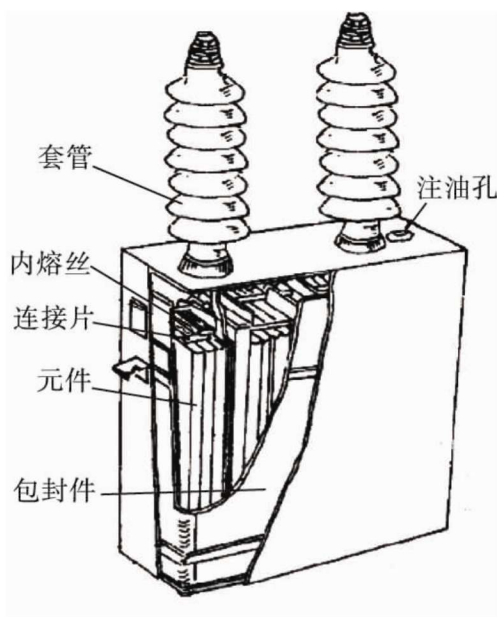
4. 电容器的结构有几种？

答：电容器内部的单元，通常称为元件，其宽度小者多为 280~380 mm，一般容量稍大（如 100 kvar 以上）的可以设置内熔丝；大者宽度为 380~560 mm，一般没有内熔丝。目前我国内熔丝电容器占主导地位。至于元件内的固体介质，现阶段高压产品仅有聚丙烯膜一种，常用 2 层或 3 层。为了让液体介质（俗称“电容器油”）能很好地浸入薄膜之间，薄膜表面还要粗化，即所谓“粗化膜”。电容器在注油之前，必须先经过真空处理，以便让电容器箱体內的空气与水尽可能排出来，这样才能保证电容器的电气性能。极板为

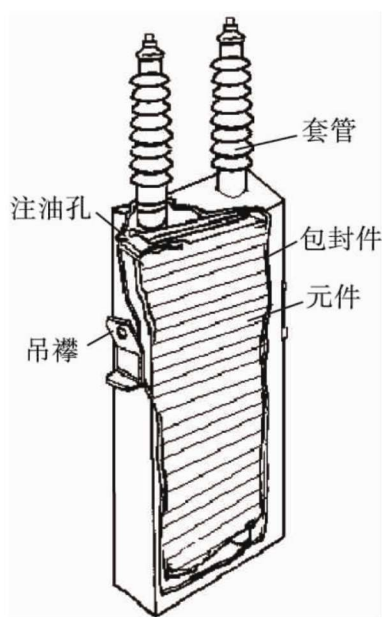


铝箔，不折边、不突出时要插引线片，以便进行元件的串联与并联；折边且突出的，可以在突出的铝箔边缘处作串联并联接。现在还有铝箔突出不折边，而用激光切割铝箔的。我们之所以要串并联，是因为电容器每个元件的容量与额定电压都有限，要单台容量大，必须靠并联，要其额定电压高，就得串联，只有这样才有可能满足人们对容量与电压的不同要求。

现在的电容器从其内部结构来分大致有两种：一种是内部元件立放，注油孔在电容器箱盖上；另一种是内部元件卧放，注油孔在电容器箱壳侧面。详见图 4-1。



(a) 小元件，立放，有内熔丝



(b) 小元件，卧放，有内熔丝



(c) 元件结构示意图



(d) 元件介质结构示意图

图 4-1 电容器内部结构示意图

20 世纪我国的电容器以图 4—1 (a) 所示结构为主, 元件则大多如图 4—1 (c) 所示; 进入 21 世纪以来多采用如图 4—1 (b) 的结构。内部元件基本上都是图 4—1 (d) 的铝箔突出折边形式。

5. 如何认识电容器的固体介质聚丙烯薄膜?

答: 自 1960 年聚丙烯薄膜问世以来, 电容器的固体介质就一直用它, 在可以预见的未来, 似乎还没有可取代它的材料。尽管如此, 聚丙烯薄膜的质量仍在不断改善与提高。20 世纪 70 年代起, 电容器的固体介质为聚丙烯薄膜与电容器纸复合使用, 这时的膜称之为“光膜”, 因为它的表面的确基本上相对光滑。后来进入全膜时代, 电容器纸不再采用后, 为了解决电容器油的浸渍问题, 又出现了所谓“粗化膜”, 常用厚度为 $9\sim 18\ \mu\text{m}$ 。虽然国产聚丙烯薄膜的质量一直在稳步提高, 但与国外先进的聚丙烯薄膜比较, 还有一定差距。比如, 外资企业基本不用我们的国产膜, 而用进口膜制造电容器; 再则国外早就把聚丙烯薄膜的结晶度、等规度与其主要电气性能联系起来研究, 即对聚丙烯薄膜中的等规度, 由其红外线吸收光谱两个峰值 $973\ \text{cm}^{-2}$ 与 $998\ \text{cm}^{-2}$ 得到, 而结晶度可由其焓导出, 并且已有一定的成果报道。而国内电容器行业至今还没有认真对待这方面的问题, 有关聚丙烯薄膜的研究, 一般仍停留在改善其宏观性能方面。

必须指出, 所谓像毛玻璃表面一样的“粗化膜”, 不是用某种方法将其表面弄粗糙, 或者用电晕处理来达成, 而是在膜的生产过程中, 靠控制膜中的 β 晶体的含量来得到。聚丙烯薄膜属于高分子结晶聚合物, 此类聚合物按结晶形状分为七种晶系, 其中立方晶系与六方晶系属于高级晶系, 正方晶系与斜方晶系称之为中级晶系, 三方晶系、单斜晶系与三斜晶系则称之为初级晶系。聚丙烯薄膜的结晶形状为六方晶系。晶系不同, 它们每个晶格的边长及其夹角也不同, 其基本特征见表 5—1。

表 5—1 七种晶系的基本特征

晶系名称	边 长	夹 角
立方晶系	$a=b=c$	$\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$
六方晶系	$a=b\neq c$	$\alpha=\beta=90^\circ, \gamma=120^\circ$
正方晶系	$a=b\neq c$	$\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$
斜方晶系	$a\neq b\neq c$	$\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$
三方晶系	$a=b=c$	$\alpha=\beta=\gamma\neq 90^\circ$
单斜晶系	$a\neq b\neq c$	$\alpha=\gamma=90^\circ, \beta\neq 90^\circ$
三斜晶系	$a\neq b\neq c$	$\alpha\neq\beta\neq\gamma\neq 90^\circ$