

电涌保护器 (SPD) 中 ZnO 压敏电阻器的组合性能

Surge Protective Device (SPD) in the Combined Properties of ZnO Varistors

孙丹峰¹, 季幼章^{1,2}Sun Danfeng¹, Ji Youzhang^{1,2}

1. 苏州市电通电力电子有限公司 (苏州, 215011)

2. 中国科学院等离子体物理研究所 (合肥, 230031)

1. Suzhou Eleston Power Electronics Co., Ltd (Suzhou, 215011)

2. Institute of Plasma Physics Chinese Academy of Sciences (Hefei, 230031)

摘要: 本文综述了电涌保护器 (SPD) 中 ZnO 压敏电阻器的并联性能和并联实验结果, 借用文献 [1] 的研究成果, 利用压敏电压 U_{1mA} 这一参数进行选片, 综合提出了有效的选片方法。在低压电气系统中安装两个或两个以上 SPD, 综述介绍了 SPD 之间的能量配合。

关键词: 电涌保护器 ZnO 压敏电阻 并联 能量配合 组合性能

Abstract: This paper introduces the performance and experiment result of parallel connection of ZnO varistors among surge protection devices. Accordingly, effective methods of SMT selection are presented with the help of literature review. What's more, two or more SPD will be installed in low-voltage electrical system. Energy coordination between SPDs is introduced as well.

Key words: Surge protection device, ZnO varistors, Parallel connection, Energy coordination, Combination performance

[中图分类号] TM86 [文献标识码] A 文章编号: 1561-0349 (2015) 04-0037-05

1 引言

电涌保护器 (SPD) 中 ZnO 压敏电阻多片并联要比仅采用单片压敏电阻可靠, 还可以增大 SPD 的通流容量。综述文献 [1] 的研究成果, 对并联实验结果作了分析, 利用压敏电压 U_{1mA} 这一参数进行选片, 提出了更有效的选片方法。

在低压电气系统中安装两个或两个以上 SPD, 综述介绍了 SPD 之间的能量配合。对于全部电涌电流而言, 任何一个 SPD 所承受的能量低于或等于该 SPD 所能承受的能量, 则达到了能量配合。

2 ZnO 压敏电阻并联性能

ZnO 压敏电阻的通流容量与其自身尺寸有着直接联系, 但由于其制作工艺复杂, 内部结构的均匀性差, 很难制作出尺

寸较大的 ZnO 压敏电阻片 (简称 MOV), 故单片的通流容量均较小。电源系统过电压保护的 B 级和 C 级浪涌保护器 (SPD), 其通流容量一般应在 10kA~100 kA 的范围内 (冲击电流波形为 8/20 μ s), 要达到这样的要求, 通常采用两片 MOV 并联的方法。

并联使用时必须选用电气性能基本相同的 MOV, 目前, 主要采用限制电压和动态电阻 2 个参数进行选片, 但这两个参数都不易测量, 而且动态电阻值随冲击电流的变化有一定的改变, 故研究一个衡量 MOV 并联特性的电气参数尤为重要。文献 [1] 利用压敏电压 U_{1mA} 这一参数进行选片, 并进行了并联冲击试验, 测量出了各支路的通流值和残压值, 综合提出了更有效的选片方法^[1-4]。

(1) ZnO 压敏电阻的性质

ZnO 压敏电阻 (MOV) 是电压限制型元件。当无电涌时, MOV 处于小电流密度区, 它的电阻可达到几 100MΩ 以上, 近似于绝缘体; 当有电涌时, MOV 处于饱和区, 电阻区急剧下降, 可减小到 Ω、甚至 mΩ 级, 具有泄放大电流、箝位高电压的作用。因此, ZnO 压敏电阻被广泛地用于电涌保护器 (SPD) 中。

(2) 多个 MOV 并联

从保护的可靠性角度分析, 采用多个压敏电阻并联要比仅采用单个压敏电阻可靠得多。因为如果采用单个压敏电阻进行保护, 一旦该压敏电阻受到损坏, 则被保护的设备将失去保护; 而当采用多个压敏电阻并联保护后, 如果其中一个被损坏, 其他完好的仍可负担起保护任务。同时, 多片并联还可以增大 SPD 的流通容量。

(3) 并联使用出现分流不均现象

MOV 优异的伏安特性来源于晶界处形成的双肖特基势垒, 而势垒起源于晶界处缺陷的非均匀分布。单独的 ZnO 瓷体, 晶界势垒高度很低, 只有掺杂 Bi₂O₃、MnO₂ 及其他过渡金属氧化物后才能形成高势垒。但由于在掺杂微量元素过程中, 很难保证各个 MOV 的均一性相同, 所以, 导致并联使用时会出现分流不均的现象。

(4) 电流偏差的概念

为了了解并联使用时 MOV 的均流性是否良好, 定义一个“电流偏差”的概念 I_L (%), 它是各支路电流的实际值相对于完全均流时电流值的百分偏差。

$$I_L = \frac{I_{nm} - I_p / n}{I_p / n} \times 100\% \quad (1)$$

式中: n 为并联的支路数; I_p 为流入 SPD 总体电流的峰值; I_{nm} 是所有并联各支路中实际电流峰值。

显然, $I_L=0$ 是理想并联的情况。实际生产和应用中, 电流偏差 I_L 一般控制在 0% ~ 10% 的范围内。

并联 MOV 的特性不仅在常温和寿命初期应是一致的, 能够满足电流偏差的要求, 而且在规定工作温度范围的极限温度条件下, 以及整个寿命期内, 也都应满足这个要求。

3 压敏电阻两片并联实验

选择 34mm×34mm 的 MOV 若干片, 其主要参数为: 最大持续工作电压 $U_c=620V$, 标称通流容量 $I_n=20kA$, 最大放电电流 $I_{max}=30kA$, 电压保护水平 $U_p=20kV$ ^[1]。

3.1 均流性实验

对备试品进行充分老化, 测量压敏电压 U_{1mA} 和漏电流 I_L (采用 0.75 U_{1mA} 电压测试), 选配适合的 MOV 进行配对, 分组情况见表 1。

表 1 备试品分组

样品	A 组		B 组		C 组	
	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂	C ₁	C ₂
压敏电压 U_{1mA} (V)	628.2	629.1	630.8	621.1	645.7	625.4
漏电流 I_L (μA)	3.0	1.7	3.1	3.2	2.7	3.5

3.1.1 通流值

将 A₁ 和 A₂, B₁ 和 B₂, C₁ 和 C₂ 两两进行并联, 分别对 A、B、C 3 组 MOV 进行 5 kV、10 kV、15 kV、20 kV、25 kV 和 30 kV 的冲击试验, 并测量其通流值。

图 1, 图 2 和图 3 分别是 A、B 和 C 3 组随冲击电压变化时两片 MOV 的通流情况。

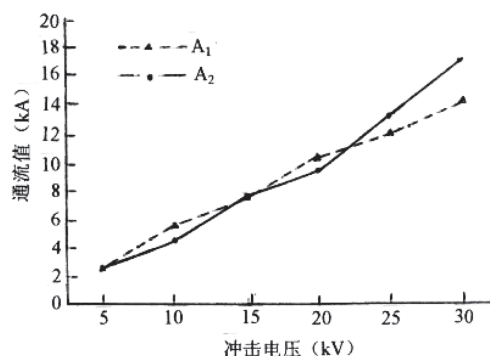


图 1 A₁、A₂ 通流值随冲击电压的变化

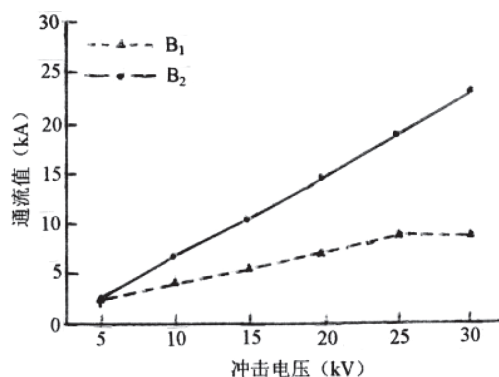


图 2 B₁、B₂ 通流值随冲击电压的变化

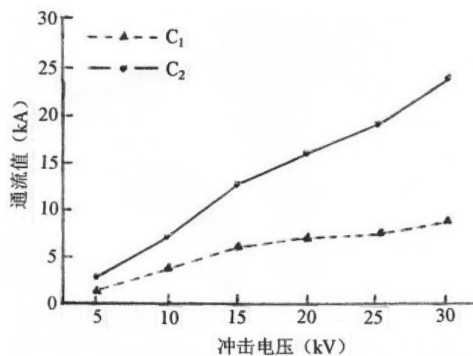


图 3 C₁、C₂ 通流值随冲击电压的变化

(1) A组 A_1 与 A_2 : 5 kV 时通流值比 1:1 左右; 30kV 时通流值相差 2 kA;

(2) B组 B_1 与 B_2 : 5 kV 时通流值基本一致, 30 kV 时通流值之差逐渐增大;

(3) C组 C_1 与 B_2 : 5 kV 时通流值相差 1kA, 30 kV 时通流值明显增大。

从图 2 和图 3 可以得出, 并联使用时 U_{1mA} 小的 MOV 比 U_{1mA} 大的 MOV 的分流值要大, 这是因为冲击电压到来时 U_{1mA} 低的 MOV 先导通, 从而分得大部分电流, 后导通的分得小部分电流。

3.1.2 通流值偏差

通过以上数据, 根据式 (1) 分别计算出 A、B、C 3 组 MOV 在不同冲击电压下的电流偏差值, 列于表 2。

表 2 A、B、C 3 组 MOV 在不同冲击电压下的电流偏差

项目	冲击电压下的电流偏差值					
冲击电压 (kV)	5	10	15	20	25	30
A 组电流偏差 I_{LA} (%)	6.12	8.91	1.94	4.57	5.22	8.74
B 组电流偏差 I_{LB} (%)	3.15	19.82	30.06	34.87	35.58	45.09
C 组电流偏差 I_{LC} (%)	23.01	26.33	35.76	40.14	46.12	46.37

从表 2 可以看出, 在不同的冲击电流下:

(1) A 组 MOV 的电流偏差均小于 10%, 说明 A_1 和 A_2 并联后的均流特性符合标准, 效果良好;

(2) B 组 MOV 在 5kV 的冲击电压下, 电流偏差为 3.15%, 符合标准, 但随着冲击电压的增大, 并且都大于 10%;

(3) C 组 MOV 在实验所选的冲击电压下电流偏差值都远远大于 10%, 均不符合标准, 且电流偏差值随冲击电压的增大而增大。

并联使用时, 在相同冲击电压下, 两片 MOV 压敏电压 U_{1mA} 差值越大, 电流偏差值越大。

3.1.3 并联后的通流容量

通过以上实验可以看出, 即使选择压敏电阻相近的 MOV 进行并联, 也会有电流偏差的存在。如果简单地将 2 片 MOV 并联后的容量定义为单片 MOV 通流容量的 2 倍, 当实际的冲击电流大于或等于这一数值时, 其中一片 MOV 将因通流超负荷被损坏, 故并联后的通流容易应略低于 2 个单片的通流容量之和。

利用式 (1) 计算并联后的通流容量。假设 $I_L=10\%$, $I_{nm}=I_n$, $n=2$, 代入式 (1) 得到:

$$10\% = \frac{I_n - I_p / 2}{I_p / 2} \times 100\% \quad (2)$$

由 (2) 式解得 $I_p = 1.8I_n$ 。为了安全考虑, I_p 取值一般在 $1.4I_n \sim 1.6I_n$ 的范围内。

3.2 单片与并联残压实验

选取 3 片 U_{1mA} 相差不超过 2V 的 MOV, 将其中 2 片并联。采用 8/20 μs 的冲击电流波, 对单片与并联后的 MOV 进行冲击, 幅值分别为 5 kA, 10 kA, 20 kA 和 30 kA, 且每个电流值冲击 5 次, 对残压平均值进行统计分析, 得到图 4。

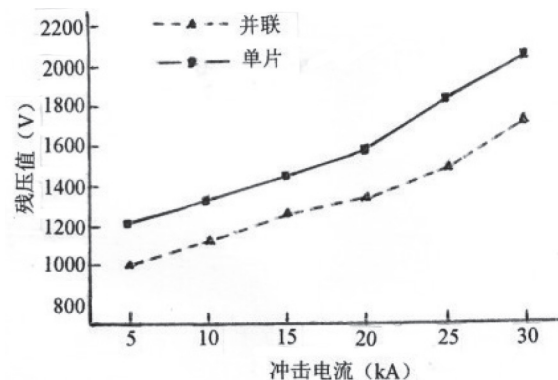


图 4 不同冲击电流下 MOV 并联和单片的残压值

从图 4 可以明显看出, MOV 并联和单片残压值均随冲击电流的增大而增大, 且在幅值相同的冲击电流作用下, 单片 MOV 的残压值高于并联。

在 20 kA 冲击电流作下, MOV 并联的残压值为 1346.8 V, 单片 MOV 的残压值为 1581.1 V。MOV 并联的残压值比单片 MOV 的低 17.4%, MOV 并联使用时降低残压有优化作用。

根据压敏电阻的导电机理, 当压敏电阻两端的电压高于击穿电压时, 电流随电压的增大而急剧增大, 电压与电流呈强非线性关系, 这时虽电压增幅较小, 但电流仍可以增加几个数量级。

2 片 MOV 并联后, 压敏电压没有改变, 由于 2 个压敏电阻并联分流, 相同的冲击过电压到来时, 流过每一个压敏电阻的电流都比流过单个压敏电阻的低, 根据压敏电阻 $U-I$ 特性, 压敏电阻的通流小时残压值低, 所以 MOV 并联后的残压值应该比单片 MOV 的残压值低。

4 SPD 之间的能量配合

4.1 配合的目的

在低压电气系统中应用 SPD, SPD 依次安装, 它们根据特定安装点的要求选定。

能量配合应避免 SPD 过负荷。因此, 必须根据 SPD 各自的位置和性能, 确定每个 SPD 的负荷^[5]。

一旦顺序安装了 2 个或 2 个以上的 SPD, 就需要进行 SPD 之间及与受保护设备的配合。

对于全部电涌电流而言, 任何一个 SPD 所承受的能量低于或等于该 SPD 所能承受的能量, 则达到了能量配合。

图 5 示出了 SPD 能量配合的基本模型, 该模型仅在当等

电位连接网络的阻抗、和等电位连接网络与由 SPD1 和 SPD2 连接形成的整套防护设备之间的互感均可忽略时有效。

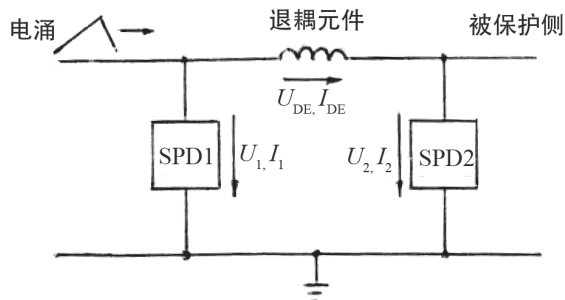


图5 SPD 能量配合的基本模型

如果通过其他适当的措施可以确保能量配合，就不需要退耦元件（例如伏安特性的配合或使用自动触发型 SPD）。

4.2 配合原则

（1）伏安特性配合（无退耦元件）

本方法基于静态伏安特，并应用于限压型 SPD（MOV 或雪崩二极管）。本方法对电流波形不是很敏感。

本方法不需要退耦，线路的自然阻抗带有某些内在的退耦特性。

（2）使用专门的退耦元件作配合

为达到配合的目的，具有足够电涌耐受能力的阻抗可以被用作退耦元件。电阻主要用在信息系统中，电感主要用在供电系统中。对于电感的配合效果，电流陡度 di/dt 是决定性参数。

① 退耦元件可通过专用的器件，或通过 PSD 之间电缆的自然阻抗来实现。

② 线路的电感产生于两根并行线：如果两根电线（相线与地线）在同一根电缆中，电感大约是 $0.5\text{H/m} \sim 1\mu\text{H/m}$ （取决于电线的横截面），如果两根电线是独立的，应假定有较大的电感（取决于电线之间的间距）。

（3）使用自动触发型 SPD 作配合（无退耦元件）。

使用自动触发型 SPD 同样可以达到配合。这些 SPD 的触发电路应确保可靠，不应超过后续 SPD 的能量耐受能力。

该方法不需要退耦，即使线路的自然阻抗带有一些的退耦特性。

4.3 两个限压型 SPD 的配合

图 6 示出了 2 个限压型 SPD（MOV）配合的基本电路图。图 7 给出了 MOV1 和 MOV2 的能量配合原理图

图 7 示出了能量在电路中的分布。流入系统的总能量随电涌电流的增大而增加。只要在每一个 MOV 上分布的能量不超过它的耐受能量，就达到能量配合。

限压型 SPD 的能量配合一般不需特殊的退耦元件，可能通过它们在相应的电流范围中固定伏安特性来实现。该方法

对电流波形不是很敏感。如果使用电感作为退耦元件，应考虑电涌电流的波形（例如 $10/350\mu\text{s}$ 或 $8/20\mu\text{s}$ ）。

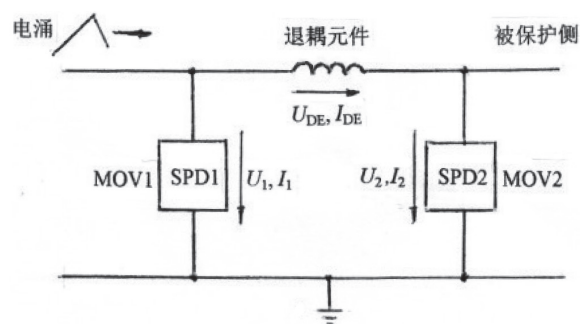


图6 有 MOV1 和 MOV2 配合的电路

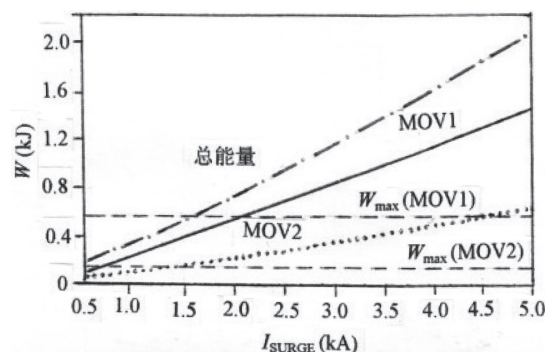


图7 MOV1 和 MOV2 的能量配合原理

对于电流陡度低的波形（例如 $0.1\text{ kA}/\mu\text{s}$ ），使用电感为限压型 SPD 退耦元件不是很有效。如果可能的话，电信和信号 SPD 应使用电阻（或电缆的自然电阻）作为退耦元件来达到配合。

如果 2 个限压型 SPD 要达到配合，应分别选定各自的承受电流和能量，所选择的电流波持续时间应与预期涌入的冲击电流波持续时间一致，见图 8、图 9 和图 10，该图示出了波形为 $10/350\mu\text{s}$ 的电涌下 2 个限压型 SPD 之间的能量配合的示例。

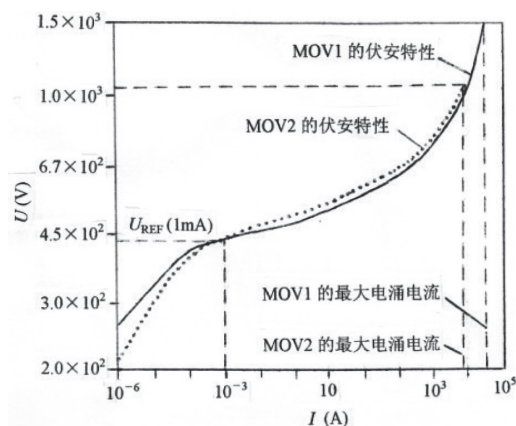


图8 MOV1 和 MOV2 的伏安特性

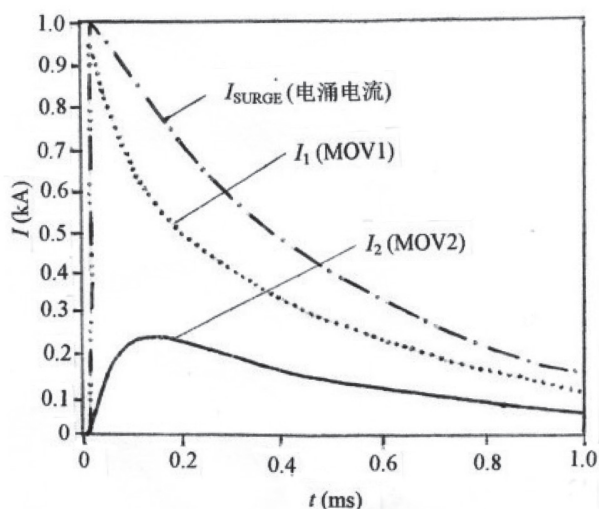


图9 电流波形为 10/350ms 时 MOV1 和 MOV2 的电流特性

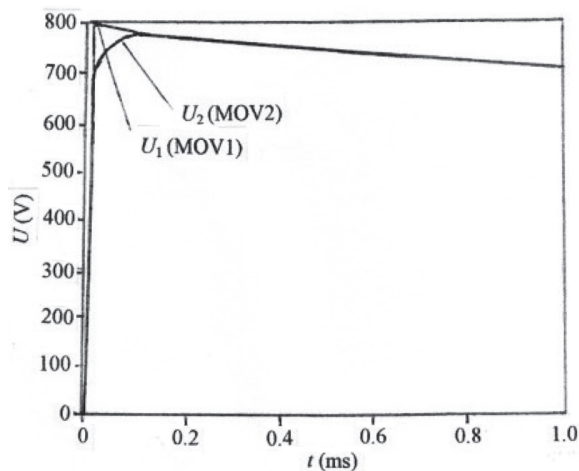


图10 电流波形为 10/350ms 时 MOV1 和 MOV2 的电压特性

5 结语

(1) 2 片压敏电阻并联时:

① 采用压敏电阻静态参数压敏电压 U_{1mA} 进行选片, 压敏电压在 $\pm 2V$ 范围内, 电流偏差才能保证在 10% 之内。

② 2 片压敏电阻并联时, 通流容量是单片容量的 (1.4 ~ 1.6) 倍。

③ 在冲击电流幅值相同时, 压敏电阻并联时的残压低于单片的残压。压敏电阻并联使用能够达到降低残压和提高电压保护水平。

(2) 在低压电气系统中安装 2 个或 2 个以上 SPD, 对于全部电涌电流而言, 任何一个 SPD 所承受的能量低于或等于该 SPD 所能随的能量, 则达到了能量配合。

参考文献

- [1] 张鹏, 张林, 汝洪博, 李祥超. ZnO 压敏电阻两片并联方法及特性分析. 电子元件与材料, V01.30 NO.12, Dec. 2001, 34 ~ 37
- [2] 王茂华, 胡克鳌, 张南法. 电涌保护器中压敏电阻并联的方法和理论分析. 电磁避雷器, 2004 年, 20 ~ 28
- [3] 李鹏, 张俊民. ZnO 压敏电阻并联保护水平分析. 电气制造, 2006 年第 9 期
- [4] 李鹏, 张俊民, 李航. 压敏电阻单级及多级电压保护水平. 东北电力技术, 2007 年第 1 期, 15 ~ 18
- [5] QX10.2-2007 电涌保护器第 2 部分: 在低压电气系统中的选择和使用原则

智能微电网产业标准联盟在济南成立

“互联网+”这个行业词汇, 首次出现在今年“两会”的政府工作报告中。在各个行业积极进行“互联网+”创新的今天, 智能微电网结合能源互联网也会有突破式发展和巨量创新, 在经济大省山东, 打造智能微电网“新兴产业和新兴业态竞争高地”的竞争已经拉开帷幕。

“标准化是引导产业发展的重要技术基础, 是科技成果转化生产力的桥梁, 是推动科技创新、促进节能减排的重要技术依据, 是加快实现由‘山东制造’向‘山东创造’、‘山东设计’、‘山东标准’转变的重要举措。”在 13 日于济南高新区召开的智能微电网产业标准联盟成立暨标准体系研讨大会上, 来自智能微电网和标准化行业以及山东大学、哈尔滨工业大学等高校的教授和联盟企业的代表们共议电网产业发展前景。

会议主持人、济南大陆机电股份有限公司董事长荆书典认为, 成立联盟旨在加强行业交流, 整合优势资源, 用高新技术引领和推进微电网事业的发展, 通过提高产业核心竞争力, 促进产业结构调整和升级。

今年 1 月获得济南市质量技术监督局批准的智能微电网产业标准联盟, 由济南大陆机电股份有限公司、积成电子有限公司等 18 家企业共同发起成立, 共同致力于智能微电网的“微”网建设, 重点是“微”网中的感知、控制、用电智能终端的标准研制、技术交流、产品创新等。