

五轴加工中心

阀门零部件制造的高精密加工

Schroeder 阀门公司生产的产品是一种保护工业企业泵类设备不受损伤的旁通保护阀。德国的能源转型，既给制造商带来了巨大的商机，也给他们带来了技术挑战：当热电厂在部分载荷工况下运行时，工业企业的生产设备需要新的安全保护装备。

文 | Manfred Flohr

为了迎接能源转型带来的挑战，Gummerbach 地区的制造商设计制造了一些新产品并加大了新产品生产的投资力度。他们的目标是：未来让 Okuma 机床能够使用在相同生产环境中生产出来的所有产品。

Schroeder 阀门公司是由现任总经理 Axel Mücher 的曾曾祖父 Heinrich Schröder 于 1889 年创建的。这家公司最初生产的是金属材质的镰刀长柄；后来逐渐发展成为一家生产厂家。从 1950 年起，公司进入到今天的生产经营领域，

开始生产保护工业泵的止回阀。在 80 余名员工的共同努力下，目前 Schroeder 阀门公司的年营业额约为 1100 万欧元。

泵的寿命保险

工业泵旁通保护阀可以说是泵的“保险”。这类旁通保护阀的作用是保护离心泵免受过热、气蚀和叶轮的损伤，以及免受其他故障的影响。通常情况下，工业泵都是按照恒定的转速在生产系统中输送具有一定流量波动的介质；这也就意味着，这些泵会在低于其规定的最小

流量范围内运行。

旁通保护阀是利用旁通通道对工业泵进行支持和保护的。当生产系统需要的介质流量超过工业泵的最小流量时，旁通保护阀就会打开，让工业泵抽取的介质顺利地通过旁通保护阀，并返回输入系统。如果生产系统需要的介质流量低于工业泵的输出流量时，旁通保护阀的旁通阀就会开启，工业泵输出的多余介质就会经旁通阀卸载。这确保了工业泵的输出流量始终大于需要的最小流量。



图 1 在 Okuma 公司生产制造的 Multus B550 五轴加工中心中，可以完成大型自动再循环阀下阀体的全部切削加工任务。最后再用 Ingersoll 公司的螺纹铣削设备完成全部螺纹加工。Schroeder 阀门公司研发生产的 SSV20-10" ASME600 特种自动再循环阀的阀体上共有 20 个大直径螺纹。这是中国香港某热电厂锅炉水冷却系统所需的自动再循环保护阀

旁通保护阀的阀体由三部分组成：上壳体、下壳体和侧置旁通阀体。这三个组成部分各有一个法兰连接面，使它们组成一个整体。壳体内部有一个具有导向的、用弹簧加载的阀芯，它承担着切断回流的功能：阻止了工业泵高压侧的介质倒流，避免了工业泵静止时出现倒转。

从碳钢到超级双相钢

这些阀门用于有着较高安全要求的工业领域。传统的热电厂与石油化工、海上钻井平台、钢铁生产厂、造纸企业以及核电站等都属于这样的工业领域。为了满足这些领域各不相同的技术要求，旁通保护阀所使用的材料也是多种多样的：从普通的碳素钢到超级双相钢。阀体内的零部件使用的都是不锈钢。Schroeder 阀门公司每年生产大约 1300 个不同尺寸规格的阀门。根据旁通保护阀的规格参数和应用场合，它们大多数是单独设计制造的。

直到 21 世纪初，旁通保护阀的原始设计理念和工作原理都表现的非常完美。但随着德国政府能源转型政策的推出，旁通保护阀生产厂家遇到了新的挑战。例如，抽水蓄能发电厂开辟了可再生能源广阔的应用领域，但当其在部分负载运行时出现了新问题，旁通保护阀的阀芯经常处于不停开启和关闭的中间位置。由于阀芯的不断开启和关闭，导致出现非常高的水流流速以及气蚀现象，从而使得阀门过早磨损。

针对这些新问题，Schroeder 阀门公司推出新一代特种自动再循环阀，除了标准的 SSV 系列之外，还推出 SIP 系列的特种自动再循环阀。新一代的特种自动再循环阀也能在工业泵部分载荷时自动降低压力。虽然有了更新换代的新产品，但 Schroeder 阀门公司仍然继续生产制造原来的旁通阀，为老客户提供零配件。另外 Schroeder 公司指出，工业企业使用的泵类产品功率越来越大、规格型



图 2 Okuma 公司研发生产的 Multus B550 五轴加工中心能在两次装夹中完成 Schroeder 阀门公司特种自动再循环阀的全部切削加工任务

号也越来越大，为保护这些工业泵的正常工作运行需要更大的保护阀——特种自动再循环保护阀。

投资设备自制还是产品外包

2016 ~ 2017 年是公司发展的重要转折点。部分企业经营数据的下降，也对企业负责人提出了一个新的问题：什么样的企业发展战略才是最好的？“这一问题的根本涉及到我们是投资扩大自身的生产能力，还是将设计出来的产品外包给合同制造商进行生产。” Schroeder 阀门公司的生产负责人 Peter Strauch 在谈到当时考虑的因素时表示。尽管部分员工认为应逐步地将产品外包给合同制造商生产，但最终还是决定投资扩大 Gummerbach 本地工厂的生产能力。回顾过去，Axel Mücher 表示，这是一个非常正确的决策：“虽然我们的业绩在 2016 年有所下降，但从 2017 年起就一直保持增长。”

Schroeder 阀门公司依托 Okuma 公司的设备实现了先进生产线的技术改造。之所以如此，是因为多年来阀门公司与 Okuma 公司保持着密切的合作关系，使用了许多 Okuma 公司生产制造的加工设备，并在多年的使用过程中积累了丰富的经验。继续与 Okuma 公司合作，使用

他们生产制造的设备也有企业发展战略方面的考量。Axel Mücher 解释道：“我们希望尽可能从一家机床设备生产厂商采购到所需的生产设备。这样，我们的员工就能更好地了解生产设备的控制系统，灵活地使用各种生产设备；也大大减轻了零配件的采购难度。我们的生产必须是非常灵活的，且产品可以在不同的设备上完成生产制造。如果各台设备有着不同的控制系统，则会大大增加生产难度。”

据 Peter Strauch 表示：“Schroeder 阀门公司的第一台加工设备就是 Okuma 公司的产品。其中最老的一台 LB 15 数控车床至今仍在使用的；在日本，这台设备早已进入博物馆了。但我们一直用了 30 多年。”经过如此长时间的使用运行，它仍然保持着很高的加工精度。定期的维护保养表明，这台设备滚珠丝杆的反向间隙仍然在设备生产厂商规定的公差范围之内。当公司需要这台老设备的配件时，Okuma 公司仍然能及时提供售后服务。LB 15 数控车床加工的是一些非常重要的零件，包括控制旁通阀阀芯开启和关闭的阀座。

“Okuma 加工机床最适合间断性的切削加工。阀芯转轴上需要切削加工的工序都在这台设备上完成。多年的使用

经验告诉我们：间断性的强力切削并未影响设备的加工精度。基于它如此高的加工稳定性，我们购置的现代化设备则强调了使用不同的切削刀具，显著提高切削用量。” Peter Strauch 表示。

几乎是满负荷工作

尽管在原有机床设备的现代化技术改造过程中，Schroeder 阀门公司也尝试过使用其他机床设备供应商提供的产品，但最终还是又重新选择 Okuma 公司。这让 Okuma 公司的销售工程师 Raffaele Esposito 非常高兴，也向 Schroeder 阀门公司推荐了一些新的机床设备，并提出了一些新建议。Raffaele Esposito 针对生产设备加工的零部件指出：“我们选择的加工设备能够完成这些产品 80% ~ 90% 的切削加工任务。而有些设备供应商提供的加工设备只能完成这些零部件 40% 的切削加工任务。Schroeder 阀门公司的情况不同，他们希望切削加工设备是满负荷的运转。”

2005 年，Schroeder 阀门公司购买了能够切削加工直径 250 mm 阀门零件的 Multus B400 五轴加工中心之后，又购买了 Okuma 公司生产制造的 Multus U4000 型、Multus B550 型智能复合加工中心以及 LU45 II 型双刀架数控车床。这三台新设备已于 2020 年、2021 年分别投产使用。

设备操作人员对这三台设备的工作稳定性非常满意。负责机械加工的工长 Christopher Hees 表示：“加工过程中机床几乎无震动。这就能让我们加工出更高质量的产品了。尤其是在金属阀芯与金属阀座的密封方面，我们需要非常高的表面质量。而 Okuma 机床能够加工出 $Ra=0.8\ \mu\text{m}$ 的高质量表面。”如今，Schroeder 阀门公司已经能用插补法来车削阀芯和阀座的金属密封面了（通过 X 轴、Y 轴和 Z 轴的插补值进行车削

加工）。而在购买新的 Okuma 设备之前，旁通阀的阀芯和阀座密封面都是铣削加工的。而铣削加工很难达到金属密封面的表面质量要求。这也增加了产品质量检验的工作量：每一个旁通保护阀都要在试验台上进行压力测试，检验其密封性能。插补车削得到的密封面表面质量大大减少了试验台上的测试时间，降低了返修费用。

Raffaele Esposito 解释道：“利用散热解决方案（TFC）使客户可以在最佳环境中工作。”生产加工设备会自动补偿温度变化带来的影响，即使在不断变化的环境条件中也能保持加工件的尺寸不变。Okuma 公司开发的这种温度补偿解决方案对许多客户来讲都是非常重要的。同时，Raffaele Esposito 也坚信这样的切削加工设备能够持续使用数十年之久。

在多功能的复合加工设备中，通常只需两次装夹就可以完成零件的全部切削加工任务了。各种规格型号的上阀体和下阀体都可以在 Multus B550 上完成车削、钻削、铣削和不同规格尺寸的螺纹加工。当阀体螺纹的公称尺寸大于 M36 时，Schroeder 阀门公司的切削加工就会遇到麻烦。在购买新的 Multus 系列加工设备之前，当时使用的螺纹加工设备常常会在攻丝过程中停止攻丝；原因很简单，是由于所用攻丝机的输出扭矩不足。新设备中使用的是 Ingersoll 公司研发生产的新刀具“螺纹铣刀”。将大螺纹的加工由攻丝改为铣削已被证明是一种更快、更经济、更便于集成使用的工艺技术。在 Ingersoll 公司的技术中

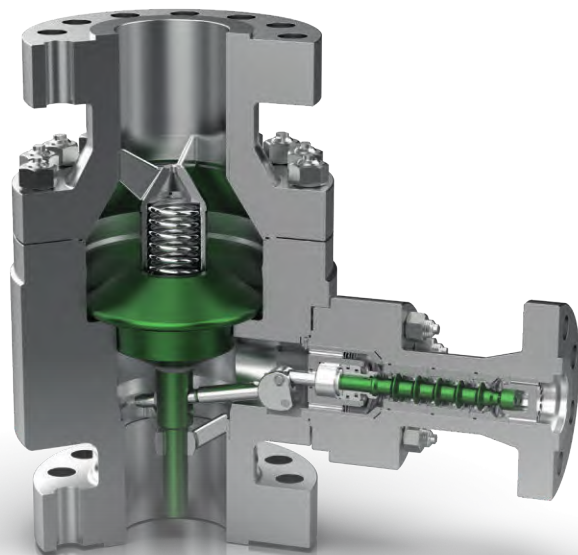


图 3 SIP 系列的自动再循环阀可以降低系统中的压力，避免产生气蚀并能使阀门在部分负载工况下正常运行

心，有一台 Okuma Multus U3000 型五轴加工中心。技术中心的工程技术人员可以按照用户生产现场的实际情况，使用这台五轴加工中心完成螺纹铣削的测试。完成测试的螺纹铣削工艺参数可以直接移植到客户设备中使用，客户只需根据螺纹的大小事先加工好螺纹底孔就行了。

进一步缩短生产节拍

铣削主轴使用多功能刀具后，将刀具库中的刀具数量减少到最低程度，也大大缩短了铣削的生产节拍，节省了大量的换刀时间。Multus B550 五轴加工中心的刀具库可以容纳 180 种阀门加工刀具。

粗铣和精铣主要由可以旋转 45° 角的 B 轴来完成。这种切削加工方式带来了极大的安全可靠，最大程度避免了与卡盘的碰撞，因为刀具与卡盘和零件之间有 45° 的安全空间。另外，Okuma 公司的新设备还配用了防碰撞系统。Raffaele Esposito 表示：“只要加工程序中存储的刀具是正确的，用户的刀具测量是正确的，那么在任何操作模式下都不会发生碰撞。” MM