

液压

有效评估能源利用率

用户在评估液压压力机的能源利用率时总是缺少可靠的承载数据，因此政府规定了采集能源消耗和损失数据的方法并进行了尝试。基于这些数据，企业可以开发液压压力机节能潜力评估模型。

文 | Harald Lohse, Jürgen Weber

液压驱动的压力机是一种多功能的、可完成不同形状板材冲压的加工设备。但是它的能源利用率几乎是“不透明”的，而且也没有合适的获取液压压力机承载数据的方法。但是现在面临着一个非常重要的问题：未来的法律法规和技术标准要求对该加工机床的能源消耗状况进行监测。现在，国际标准 ISO 14955 已经开始着手这方面的准备工作。在驱动技术领域，该设备的准确认识专业的知识是确定其节能潜力的基础和前提。

能源需求的检测、模拟和分析

在这之前就已经有专业人员从事该方面的研究。但此前获得研究成果的应用受到了很大限制，只能有条件地应用到现代化的、先进的液压压力机中，因为现代化压力机的液压控制系统随着电液控制技术的应用有了不同于过去的根本性改变。本文介绍研发工作的目的是：利用检测和模拟的方法系统分析压力机的能源利用率，并在保证高生产效率的前提下对能源利用率进行优化改进。这一项目的成员包括：Heidelberg 市的压力机生产厂 Schuler SMG 公司、Böblingen 市的液压系统生产厂 Moog 公司、Plauen 市的汽车供应商 MA 自动化公司和德累斯顿技术大学液压技术研究所。

据了解，目前已经完成了试验压力机和生产压力机的调试。生产压力机的额定冲压力为 6300 kN，负责在生产线上完成汽车车架零件 6 道冲压工序的冲压生产。这一液压压力机的主要任务是深压和冲裁，可以使用新型冲压模具。而试验压力机则相反，

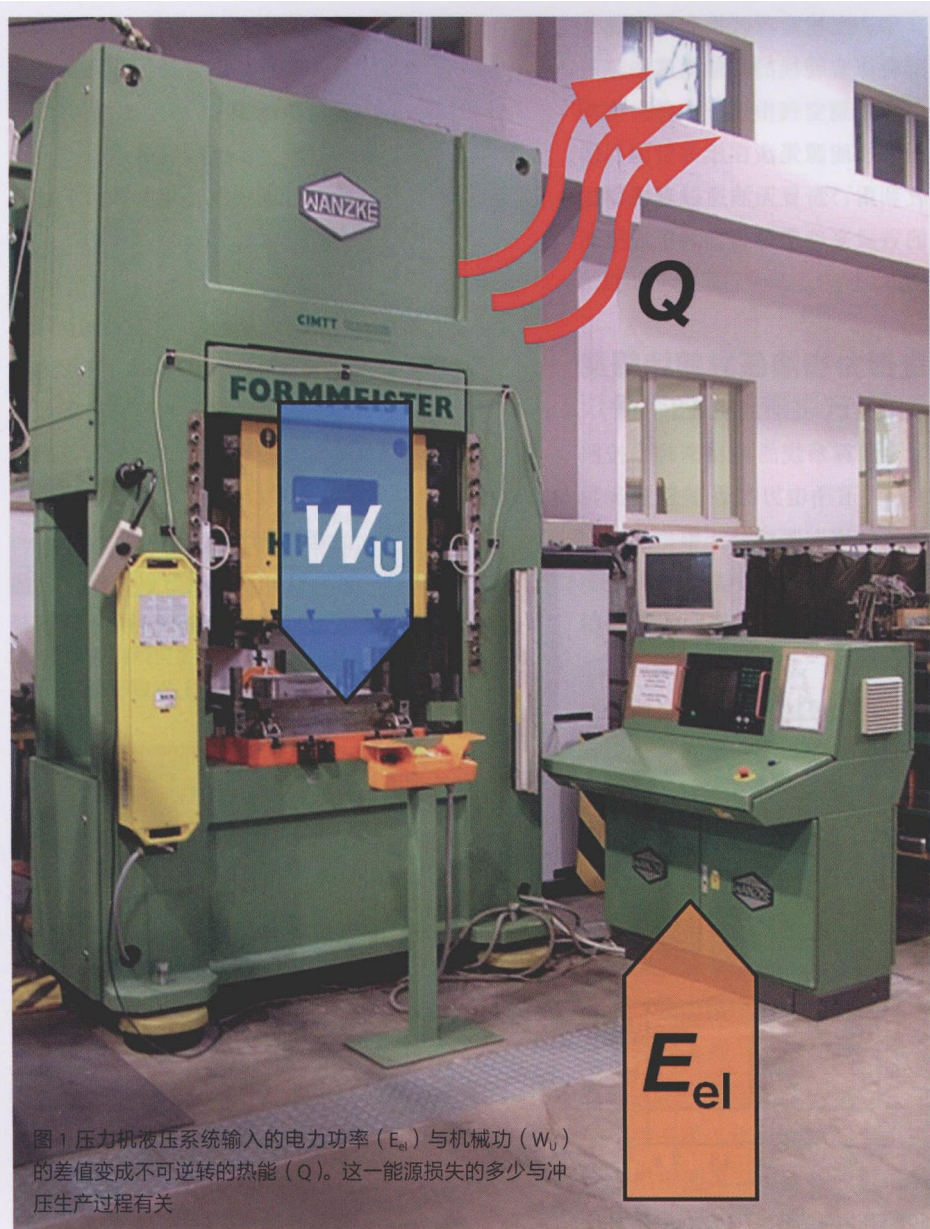


图1 压力机液压系统输入的电力功率 (E_{el}) 与机械功 (W_u) 的差值变成不可逆转的热能 (Q)。这一能源损失的多少与冲压生产过程有关

其冲压力只有 1600 kN，仅用作试验工具（图 1）。

一般情况下，板材加工是分几个工序完成的。最终的零件形状是在几个深压和冲裁工序之后形成的，这几道冲压工序的冲压力 - 行程曲线也是不同的。

在生产压力机上进行试验时，使用的是 3 道深压工序的深冲模具，此模具可以实现被冲裁工件的 4 级传送。试验压力机中使用的深冲模具可以生产深度为 100 mm 的正方形杯或盒；并可用一个冲裁模具完成圆形板材的裁剪（图 2）。压力机的变形行程和变形功 W_U 比冲裁时大 4 倍。所使用的板材材质为 HCT500X（1.0939 号）双相钢，板厚 1 mm。

在能源转换和传输时出现能源损失

为了能够系统的分析液压压力机的能源利用率，必须根据机械特性设定一些合适的系统极限值。例如图 3 中所列举的试验压力机的电动机 - 液压泵单元就是产生压力机驱动力、把电力转换为液压能的装置。液压阀、管道和控制阀块等承担着动力传输和控制任务，是动力传递的主要部分。在液压能转换为机械能的过

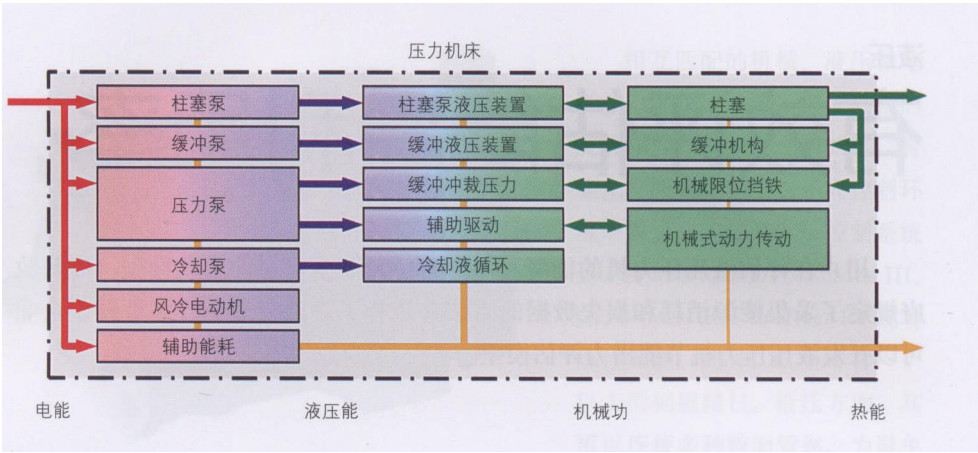


图 3 在把电能 E_e 转换为机械功 W_U 的过程中出现了能源损耗。这些损失的能源转换成了不可回收的热能

程中，液压缸发挥着重要作用。最终，机械零部件把功传递到模具中。上述能源转换和传递环节都会伴有转换的热能，这些热能会散发到空气中造成浪费。这些损失的能源无法在压力机内部回收利用，而且无法通过直接测量的方式来确定电力、液压或机械功率。

变形力和液压力的计算或测定

计算系统的电功率时是按照系统中 n 个电力驱动分支进行的；在这些电力驱动分支中，总功的瞬时值 $P_{\Sigma}(t)$ 可根据导电电流 i_{μ} 和虚拟相电压 $u_{\mu 0}$ 的比值计算得出：

$$P_{\Sigma}(t)=\sum_{\mu=1}^n u_{\mu 0} \cdot i_{\mu} \tag{1}$$

电力的有功功率 P_{el} 是一个算术平均值：

$$P_{el}=P_{\Sigma}(t) \tag{2}$$

液压功 P_{hyd} 是工作压力 p 与流量 Q 的积：

$$P_{hyd}=p \cdot Q \tag{3}$$

可以根据速度 v 和力 F 计算出机械功 P_{mech} ：

$$P_{mech}=v \cdot F \tag{4}$$

而速度是测量位置 z 的导数。在压力机加工过程中，变形力的大小可以由安装在模具中的力传感器直接检测出来。液压缸的作用力可以根据油缸的工作压力和活塞面积计算出来。

这样，能量 E 以及机械功 W 就可以通过功 P 对时间 t 的积分求出来了：

$$E=\int_{t_1}^{t_2} P dt \tag{5}$$

能源利用率 ε

$$\varepsilon=\frac{E_{ab}}{E_{zu}} \tag{6}$$

图 4 清楚的表示了生产设备电力能源转换为变形功 W_U 和热能 Q 的情况。在使用 4 种模具的自动加工中，电力驱动的子系统是液压工作循环中能源损失的主要机构。在这些子系统中，压力机滑块的液压系统产生的单一能源损耗最大。在第一种冲压模具

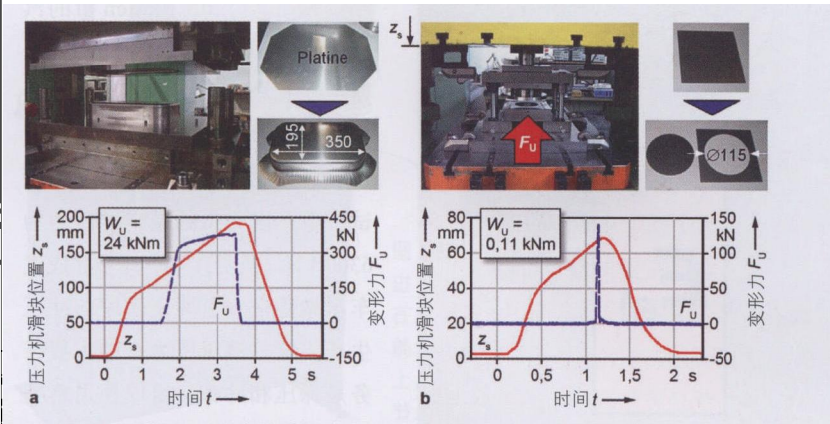


图 2 利用深压模具 (a) 和冲裁模具 (b) 完成了液压压力机的节能潜力试验

中，冲压模具的缓冲子系统的液压控制阀块产生的能源损失最大，约占能源损失总量的 7%。在空载运行时，压力机滑块推杆的液压泵能源损耗最大。

试验结果表明：变形力为压力机额定压力的 10% ~ 43%；另外，变形行程与模具运动的比值相对较小。这两点都会明显降低压力机驱动系统的能源效率。图 5 表示的是试验压力机在半自动和空运行时测试结果的比较。压力机液压系统的能源损失与压力机的冲压工艺过程有着密切关联。在深冲压时，由于其力 - 位移特性比较有利，因此其能源效率明显高于冲裁工艺。在空运行时，缓

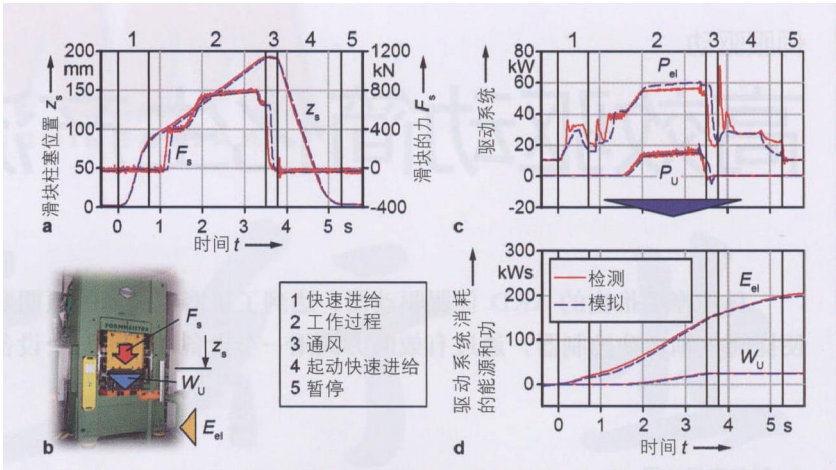


图 6 为准确评估压力机的能源状况开发了一个模型，其不仅很好的反应了试验压力机 (b) 的力 - 位移特性 (a)，而且能够再现压力机的功率和能源消耗 (c 和 d)

冲系统和控制压力系统以及它们的定量泵等产生的能源损失都大于压力机滑块驱动系统。而压力机滑块的运动则是由变量泵提供的，因此其输出流量可以根据压力机工作的实际需要进行调节和匹配。与时间有关的空载运行所消耗的能源只占生产工作的 1/3。

实践中节能效率评估时可以使用的系统模拟方法

根据检测结果得出结论：尽可能避免使用超规格的压力机；同时，模具开、合的行程应尽可能小。为了把空载运行时的能源消耗降至最低，应关闭当前压力加工不需要的子系统。

作为试验分析的补充，该项目成员开发出一个既能反应压力机静态和动态特性，又能反应压力机节能特性的模型。在设计该模型时，除考虑压力机的机械系统、液压系统和电气系统外，还优化了压力机变形加工产生的负载力。该模型中所使用的软件提供了预定义的、适用于所有相关物理领域的模型对象。

在不同工作点和不同加工过程中模拟结果与试验检测数据的对比有着非常好的一致性，如图

6 所示。利用模型模拟可以直接确定压力机零部件的能源利用率，能够准确估算压力机的节能潜力。其能够在所有操作模式下对压力机的能耗细节进行分析，无需费时费力且费用高昂的检测程序。

在试验压力机中，最主要的能源损失出现在压力机滑块驱动力转换和缓冲驱动装置中。在动力驱动装置中，原则上可以通过使用高效率的零部件来改善能源利用率；但零部件效率的提高以及与此有关的节能潜力会受到物理原理的影响。而动力驱动装置结构的改进和优化，则对提高节能潜力有着更重要的作用和意义。

电控变量泵降低能源消耗

在压力机滑块驱动装置中，需要恒定高压的液压负载控制系统，以及保持滑块运动和平衡滑块重量的液压限压系统，消耗的能源也非常多。而电控变量泵与蓄能器配套使用，例如液压 - 机械式蓄能器，最多可节约 25% 的能源。

压力机缓冲系统所引起的能耗损失主要是由控制阀块引起的。在试验压力机中，换用液压缓冲柱塞可实现最大 20% 的节能比率。[MM]

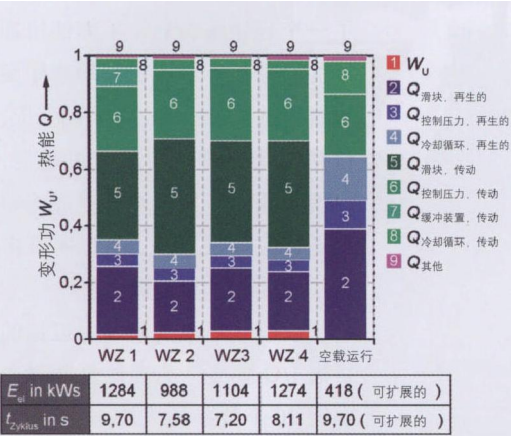


图 4 生产压力机使用 4 种不同模式工作时的液压动力传动系统对能源损耗承担主要责任 (以压力机输入的电能 E_{el} 为基础产生的变形功 W_u 和热能 Q)

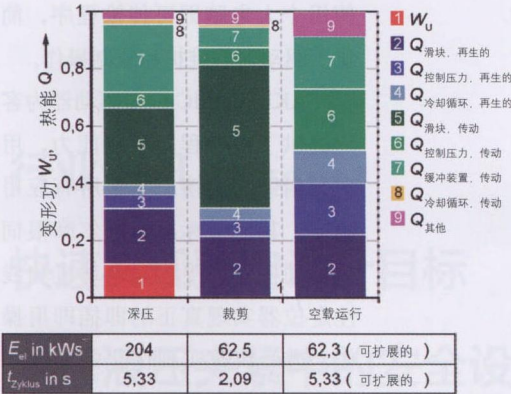


图 5 压力机液压系统的能源损耗与冲压工艺有关。图示试验压力机半自动的深压和裁剪的试验也充分说明了这一点 (W_u 和 Q 都与机床设备的 E_{el} 有关)