**冷气动力喷涂在俄罗斯的发展和现况**

吴国安 俄罗斯圣彼得堡信息技术、机械及光学大学 教授

吴凡 北京创选彼得科贸有限责任公司 总经理

冷气动力喷涂在上世纪八十年代初，起源于前苏联俄罗斯联邦加盟共和国。苏联解体后，俄罗斯联邦宣布独立。冷气动力喷涂也逐渐在俄罗斯得到发展，主要是沿着两条独立的发展道路进行的。一条是以俄联邦科学院西伯利亚分院理论与应用力学研究所为首的高压气体动力喷涂的发展道路，另一条是以奥柏尼斯克粉末中心为主体的低压气体动力喷涂的发展道路。目前，俄国在这两个发展方向都取得了显著的成就。这两个单位、共七名学者和专家（5名出自理论与应用力学研究所，两名来自粉末中心）共同获得该项技术2011年度俄联邦政府奖。俄国的冷气动力喷涂的水平，无论是应用理论研究，还是工业化推广，都处于世界领先地位。

1. **冷气动力喷涂物理现象的发现**

上世纪八十年代初，原苏联科学院西伯利亚分院理论与应用力学研究所学者阿尔赫莫夫（Alkhimov A.P.）、柯沙列夫（Kosarev V.F.）和帕培林（Papyrin A.N.），将铝粒子以超音速双相流绕过靶材时，发现铝粒子沉积在靶材的顶部。这种物理现象的发现就是冷气动力喷涂的起源。他们随后的研究进一步证明，当这种双相粒子流速度超过一定值，即所谓临界速度时，能够在靶材表面上沉积一层硬并且厚的金属粉末涂层。西伯利亚的学者们把这种物理现象称为“冷气动力喷涂”。

冷气动力喷涂的实质，原则上是十分简单的。被启动的未熔融金属粒子速度达到500-1000米/秒时，与基体表面相撞后会产生强烈的形变，并在表面固化形成涂层。粒子的加速度a是主要的核心问题。

$$a=\frac{C\_{d}S\_{p}ρ\_{g}\left(V\_{g}-V\_{p}\right)^{2}}{2m\_{p}}$$

其中，$m\_{p}$-粒子的质量；

 $C\_{d}$-粒子的空气动力阻抗系统；

 $S\_{p}$-粒子有效断面积；

 $ρ\_{g}$-加速气体的密度；

 $V\_{g}$-气流速度；

 $V\_{p}$-粒子速度。

研究证明，粒子的加速度a，除以上关系外，一方面与粒子的形状和尺寸有关，另一方面也与气体的参数（速度、密度、粘度和温度）有关系。

1983年西伯利亚分院理论与应用力学研究所的学者在当时的原苏联申请了发明权，1986年得到原苏联政府批准。

1991年原苏联解体后，冷气动力喷涂，作为一种新型的喷涂技术逐步被世界各国的学者和专家所认识和接受；但是直到2004年前尚未获得足够的重视，更谈不上发展。

1. **冷气动力喷涂在俄罗斯的发展**

从上世纪九十年代开始，俄国的学者和专家逐步认识到冷气动力喷涂的优点：被喷涂表面温度低、结合强度高、气孔率低、设备结构操作简单等;并沿着高低压冷气动力喷涂两个方向，发展应用研究和工业化推广。目前在俄国除了以上提及的西伯利亚分院理论与应用力学研究所与奥柏尼斯克粉末中心以外，还有赫鲁尼切夫设计局、普罗梅德中央结构材料研究院、水运科学院和莫斯科航空大学等许多单位也在开发研究。

西伯利亚力学所对高压冷气动力喷涂做了大量的研究工作。这包括冷气动力喷涂的基础、物理特性、作用机制、计算理论、工艺装置、喷涂工艺和涂层特性以及金属涂层的开发等。阿尔赫莫夫教授等在2011年，将他们从1984年到2008年研究工作的成果基本上全部编写在一书中。这本书名为“冷气动力喷涂理论与实践”。该书2011年由莫斯科物理数学出版社发行。共535页，参考文献270篇（文献覆盖俄内外）。

奥柏尼斯克粉末喷涂中心从组建开始（1992年）就只从事低压冷气动力喷涂，其目的是研制出能够在工业部门直接推广应用的实用技术和设备。通过二十年的努力，他们设计制造并小批量生产了DYMET系列低压冷气动力喷涂机。例如DYMET 412k型和423型，而且他们为某些生产线和个别特殊的科研工作需要，设计制造了多种专用低压冷气动力喷涂装置。现在，他们的产品已经销往18个国家，一千多家企事业单位。目前DYMET是唯一能在工业部门中推广应用的低压冷气动力喷涂机。

1. **冷气动力喷涂在俄罗斯的发展现状**

目前，冷气动力喷涂在俄罗斯的表面加工、防锈防腐处理、抗摩擦、热导性和导电性的提高、表面加固、复原堵漏和再制造等行业中，已经得到了广泛的认识、接受和应用，并开展了许多实验性和理论性的研究工作。

为了获得高性能的涂层，单纯研究与温度的关系还是不够的，还要研究与冲击粒子的速度有关的因素。

目前対冷气动力喷涂的结合机制，还存在不同的看法。多数学者认为是机械形变、渗透和夯实的结果；还有一部分的学者认为，冷气动力喷涂与爆炸焊接（喷涂）类似。由于冲击粒子尺寸小，作用时间又短，使这个机制研究工作很难开展。随着计算机应用发展和实验工作的深入，冷气动力喷涂的作用机制原理会逐步明朗的。

目前，高压冷气动力喷涂装置仍处在实验室内的阶段。即是有一些工业化的应用，也是针对某个特定任务而研制的专用装置。在这方面德国走在俄罗斯的前面。从世界角度来看，包括德国，高压设备离工业化应用还有一段相当艰难的试验研究过程。俄罗斯的低压冷气动力喷涂设备发展走在世界的前列。可以说，目前俄国DYMET系列低压设备虽然效率不高，但它们在小面积的修复、复原、堵漏、防护、导热、导电和再制造等小批量生产中，具有明显的优势，有时还是不可替代的。DYMET系列低压气体动力喷涂设备既可以手动操作，也可以进行远距离操作。他们既能单独使用，也可加入生产线。

**** 扫描二维码进入 DYMET®系列超音速低压冷气动力喷涂

 我们的网站了解

 更多！