

金属多孔材料研究的新起点

——回归本性

□王建永

多孔材料是天生的结构功能一体化材料

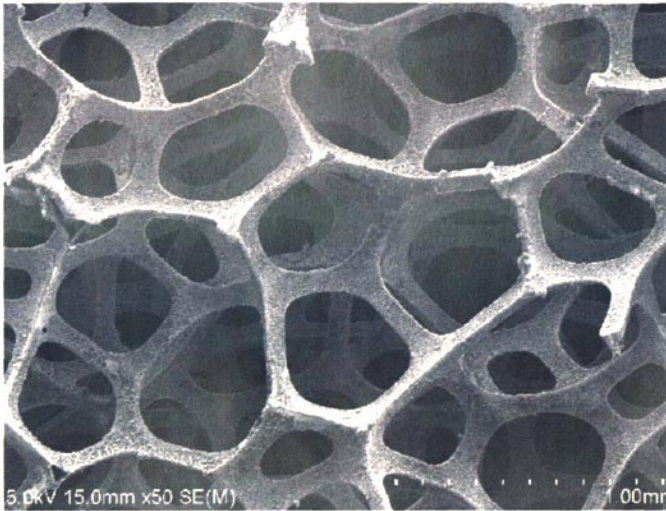
严格意义上讲,世界上所有材料按密度可分为两大类:致密材料和多孔材料。多孔材料是指带有孔的固体,更确切地说是由孔和孔结构骨架组成的复合体。多孔材料普遍存在于大自然中,例如木材、骨骼、珊瑚和海绵等等。这些天然多孔材料是一种重要的结构材料,均可长期承受较大的静态载荷和周期载荷。例如木材用于建筑、家具,是世界上使用最普遍的结构材料;动物的骨骼起到支撑躯体的作用等。不仅如此,天然多孔结构材料的孔形状、结构和排列等方面变化多样,而且能够实现优良的功能特性。最明显的例子就是具有夹芯板结构的头盖骨,其由两层紧密的骨质中间加合一层海绵状网眼骨质的轻质芯组成。某些类型的树叶结构具有大孔和小孔合理搭配而实现结构功能的一体化。墨鱼骨是一种精巧的多层夹层镶板组织。然而,人工制造的工程材料(结构材料)

绝大部分是所谓的致密材料,这些材料在制备过程中不可避免的在其内部出现孔洞、孔隙等缺陷,人们认为完全致密的结构材料才能发挥更好的承载作用,因此,大量的科学家和工程研究都试图消除这些孔洞、孔隙等缺陷。长期以来,人们已经忽视了多孔材料天生就是一种优良的结构材料,虽然一直在大量使用大自然提供的结构材料——木材。人类真正认识和制备多孔材料是从上世纪四十年代开始。随着工业、科技的发展及社会进步,人们设计并制造出了各种各样多孔材料,以获得具备特定用途的材料。

人类制备多孔材料更多的目的是出于其应用价值,如泡沫塑料材料作为船体漂浮体、包装材料、隔音材料、保暖材料等;多孔陶瓷作为过滤材料、生物材料、环境材料等;金属多孔材料作为过滤与分离材料、吸能材料、阻尼材料、催化反应材料等。多孔材料从范围较大的方面分为天然多孔材料和人造多孔材料。后者包括金属多孔材料、陶瓷(玻璃)多孔材料、有

机物多孔材料。

金属多孔材料属于人造多孔材料。近10年来,多孔材料特别是金属多孔(泡沫)材料发展迅速。以泡沫铝为典型的金属泡沫材料的制备、性能和应用研究非常活跃,已经发表了大量文献和学术专著。这一点从国际性学术会议的举办上也可以看出。1999年首届多孔金属与金属泡沫技术国际会议(METFOAM)在德国柏林召开,到现今已经举办了5届,参加的国家、团体和人数逐年增加,新的研究课题不断涌现,新材料、新工艺、新理论层出不穷。2000年首届国际超轻多孔材料与结构研讨会在剑桥大学召开;2004年在西安召开国内首届超轻多孔金属研讨会。还有,2008年国家批准在西安筹建企业国家重点实验室——金属多孔材料国家重点实验室,这是国内唯一的有关多孔材料方面的国家重点实验室。由此看来,金属多孔材料研究已经进入快速发展阶段,但是距离如天然多孔材料那样实现结构功能一体化还差得太远,正所谓任重道远。



金属多孔材料研究的广泛性、称谓的多样性

属于金属材质的多孔材料称为金属多孔材料，这是一个较为广义的概念。金属多孔材料应用非常广泛，涉及化工、车辆交通、机械、食品、医药、能源、环保、过滤与分离等领域，其制备工艺同粉末冶金、凝固、铸造和机械加工有关，与此同时，涉及的学科有材料学、机械设计、生物学、力学、热学、电磁学等。因此，来自不同学科、专业和研究领域的科研人员对金属多孔材料做了大量工作，包括材料设计、制备、性能和应用等等方面的研究。研究的对象就是“孔”，孔的设计，孔的状态，孔的获得，孔的表征，外界热场、磁场、力场、电场、声场作用下孔的行为，外界气态、固态、液体物质作用下孔的变化等等。不同领域和专业的科研人员对于其所研究的金属多孔材料的

称谓呈现多样性。例如，从事机械铸造和金属凝固领域的研究者一般称“泡沫金属”、“金属泡沫”、“金属海绵”等较多；从事粉末冶金和金属纤维冶金方面的研究人员一般称为“烧结金属多孔材料”、“粉末冶金多孔材料”、“多孔金属”、“金属过滤材料”；从事机械加工和材料力学领域研究的科研工作者称“桁架结构”、“轻质点阵材料”、“泡沫夹芯结构”、“格栅材料”等等。这些称谓从一定程度上反映了金属材料多孔材料制备工艺的多样性，也反映了孔结构的复杂性。

金属多孔材料分类的灵活性

金属多孔材料属多孔材料大家庭中的重要一员，由于其制备方法各种各样，孔隙的形状、大小及排列方式千姿百态，涉及的材料种类繁多，因而可从不同的角度对金属多孔材料进行分类。根据孔隙的形

状、结构不同可分为蜂窝状、泡沫状、格栅状、藕状、球形孔、不规则孔等；根据孔隙的大小可以分成大孔材料(或宏观孔材料)、微孔材料、介孔材料和纳米孔径多孔材料等；根据孔隙度(孔率)的大小可以分成中低孔隙度材料和高孔隙度材料；根据孔隙的连通状况可以分为开孔和闭孔多孔材料；根据孔隙体的排列是否有序可以分为有序孔结构和无序孔结构多孔材料；根据用途不同可分为功能性和结构性等等。上述分类方法也是所有多孔材料的共性。对于金属多孔材料，大部分的文献均从制备方法和工艺方面进行分类，主要有熔体发泡的泡沫金属、粉末致密化发泡的泡沫金属夹芯结构、烧结金属多孔材料、电沉积泡沫金属、气相沉积多孔金属、机械加工(包括焊接)的点阵格子材料(点阵材料)、金属橡胶等。各种类别的金属多孔材料还可以再分，还有相互交叉的情况。例如，烧结金属多孔材料包括烧结金属粉末、烧结金属纤维和烧结金属复合丝网多孔材料等，这些材料均是无序的开孔结构，都属于功能性多孔材料；泡沫金属有开孔和闭孔两种，有GASAR法制备的藕状有序孔结构，有电沉积法制备的高孔隙度通孔结构。由此可见，金属多孔材料的孔结构特征和制备工艺相互关联，并且在一定程度上确定了其功能特性和应用领域。

回归本性是金属多孔材料研究的新起点

金属多孔材料既具有金属的固有特性，如导电、导热、可塑性、可

焊性等，又由于孔径与孔径分布、孔隙度可任意控制而具有一系列功能特性，如高渗透性、高比表面积、能量吸收、毛细现象、阻燃与隔热等，在工业上广泛用于过滤与分离、流体分布、消音、抗震、表面燃烧、阻燃、热交换、热管、催化剂载体、离化、自润滑、发汗及生物植入体等。金属多孔材料的应用领域主要取决于以下几个方面的因素：

- ①孔结构形貌。包括通孔或者闭孔；孔的立体形状、大小、分布；孔隙曲折因子、内表面面积等。
- ②孔结构骨架性能。包括骨架材料物理、化学性能；骨架空间排列方式；骨架的几何尺寸等。
- ③经济因素。即生产成本以及大量生产的可行性。由于金属多孔材料在上述三个因素方面有多种变化，因此，金属多孔材料是一种多功能化的材料。传统上将能量吸收材料、阻尼减振材料、降噪（隔声、吸声、消声）材料、隔热材料、散热材料、电磁屏蔽材料视为不同的功能材料，但这一类别材料性能的物理本质为各种物理场在多孔介质中的衰减行为，因而各种功能材料又是互相渗透的。例如，当用作能量吸收材料时，通常在进入塑性范围形变时吸收能量，但当在弹性范围内应力波在多孔介质界面传递过程的衰减又成为阻尼减振材料。对于通孔的金属多孔材料，在强迫对流条件下表现出散热性能，反之它就是一种隔热材料，当用作消声材料时又具有能量吸收性能。因而作为各种功能材料使用时，各种功能是互相渗透而兼容的。

然而，人们总是将结构材料与功能材料形而上学地视为二类互不相容的材料。其实，超轻型的多孔金属实际上是在结构材料中引入了各种受控的孔，并调节其基体金属，实现了结构材料轻质化、多功能化。金属多孔材料当用作结构材料时又具有功能性，而用作不同功能材料时又具有结构性，从而反映了结构材料与功能材料互相渗透的趋势。因此，金属多孔材料是一种兼有功能和结构双重属性的新型功能材料。当将结构材料与功能材料之间及各种功能材料之间的关系透过哲学的多棱镜，我们又可以发现二者之间没有明确的分界线。这展示了结构材料与功能材料之间、各种功能材料之间不可逾越的分界线正在日渐消失的哲学原理。著名物理学家冯端与朱光亚教授分别预言了新材料发展的趋势：“近年来，表面与界面起突出作用的新型材料受到广泛重视，在各种外界条件下，常常可以发

现多种多样的物理现象和效应，揭示出新的规律，形成新的概念，而在应用上又很有潜力，具有广泛的发展前景”。“材料发展中的一种新趋势是结构材料和功能材料互相渗透，即结构材料多功能化和功能材料结构化。这正是材料发展中的综合集成”。

金属多孔材料研究的广泛性、称谓的多样性以及分类方法的灵活性，均反映了近年来人们多金属多孔材料的重视程度，而金属多孔材料朝着多功能化、结构功能一体化的趋势发展，至少说明材料研究者已经认识到致密材料并非是世界上最好的结构材料，与其将更多的精力花费在消除传统结构材料中的孔缺陷，还不如研究具有结构功能一体化的多孔材料，其实，多孔材料天生就是优良的结构材料，当然，人造的金属多孔材料将是优良的结构功能一体化材料，研究它是多孔材料自然本性的一种回归。

