

# 多孔介质传热传质研究的意义与现状

王补宣

(清华大学热能工程与热物理研究所)

**摘要** 本文简要论述在我国支持开展多孔介质传热传质基础研究的重要性和必要性,不仅对我国工农业发展有着广阔的实际应用背景,也是形成交叉和边缘学科的一个潜在生长点。

## 1. 多孔介质传热传质研究的重要意义

多孔介质传热传质的过程在人类生产活动和自然界广泛存在。如:土壤是地球生物圈内一切生物赖以生存的主要基础之一,也是人类社会发展的的重要根基,自有文明以来,人们就开始注意土壤及其灌溉与作物生长的关系。自把现代的科学方法应用于研究土壤和地下含水层中的水分迁移以来,土壤学和地下水文学便成为研究多孔介质最早的几个学科。人们将生产中排出的有害废水注入地下或排入江河湖泊,由于地下含水层中存在温度梯度而产生的自然对流,引起了污染源在地下含水层中的扩散,从而直接或间接地对人类健康和生存带来严重的危害。地下岩层中的石油、天然气和水是自然界多孔介质中一种复杂的多元体系,研究油、气的开采、特别是石油的热采技术,促使石油工程学对多孔介质的传热传质进行系统的研究。地热资源的勘测评估和开发利用以及利用土壤岩层作为蓄热蓄冷介质,也需应用类似的理论与技术。在地质工程中,研究雪崩现象及其防止对策,同样要涉及到多孔介质传热传质问题。所有这些表明:多孔介质传热传质(包括渗流的流动形态等)的研究,对于由不同学科组成的“地球资源环境科学和技术”这一新领域的发展来说,是涉及地球岩石圈、水圈和生物圈资源的开发利用,涉及各圈层之间相互依存作用环境的基础性很强和应用背景十分广泛的一项具有重要意义研究。

为了充分利用自然能源,发展我国古老的窖藏技术使之现代化、大型化,人们利用地下洞库夏天储热,冬天蓄冷,这一研究正逐步达到实用阶段,其中就涉及到如何利用多孔介质强化传热或者隔热保温的问题。现代建筑业采用的轻型建筑材料和结构材料,大多属于多孔性或者纤维性多孔结构。这些建筑物围护结构与隔热结构的热湿传递特性将直接影响到建筑物的能源耗费和居住者的舒适感。多孔介质传热传质——热湿迁移的研究已成为建筑热工的一个重要组成部分。

在现代铸造技术领域,一方面铸造型砂的热性能的研究和控制对大型铸铁的浇铸质量及防止热裂问题起关键性作用;另一方面,在金属凝固过程中,液固相的交界面附近存在着液固共处的两相区,由于温差作用,引起液态金属在此区域内产生多孔介质自然对流问题。因此,多孔介质的传热传质在铸造技术领域是影响铸造质量的一个重要研究课题。

在化工领域的颗粒床层化学反应器中,多孔介质的热质迁移特性决定着反应器的催化反应速度和效率。煤的沸腾燃烧也可被看作是固体骨架未被固定的流变性多孔介质化学反应器。当代许多制造业,包括农林产品和食品加工业,其干燥过程是一个主要的耗能环节,改造

和发展干燥技术,也要求对含湿多孔介质中传热传质进行基础研究。

在核反应堆的燃料棒壳内,是颗粒核燃料的多孔介质,研究其中的传热传质问题,对防止局部性核燃料消耗速度过大,延长燃料棒整体工作寿命以及确保运行安全,具有积极意义。

热管已在航天领域和节能技术中得到一定程度的推广应用。热管的管芯常用毛细多孔材料制造。对多孔介质传热传质的研究,势必对发展热管技术起到促进作用。

多孔介质传热传质的研究与动、植物研究密切相关。如植物中的水分迁移和能量传递,水分的吸收和蒸发都是在多孔介质中进行的;土壤肥力的保存、农业生产工程化和节水农业的技术开发和应用;动物冬眠时其皮层热绝缘性能的变化;人体通过排汗自动调节体温等等。

综观上述,可以认为,多孔介质传热传质的研究对于改造自然、造福人类具有重要意义。

## 2. 我国多孔介质传热传质研究现状与展望

多孔介质中的热质迁移是一个非常复杂的过程,受众多因素影响。迄今为止,对这些影响因素的研究还远未得到公认的统一。首先,很难对多孔介质的几何参量作严格的描述。如对颗粒堆积床层来说,实际均匀一致的颗粒形状以及完全均匀的孔隙分布几乎是不存在的,也很难使多孔性材料的孔隙分布做到均匀一致,固相界面存在着随机的不确定性。因此,研究者照例被迫引入“容积平均”概念,实质上是把多孔介质看作一种在大尺度上均匀分布的虚拟连续介质。第二,湿份的迁移可在三种动力作用下发生,即:在总压力梯度下的渗流迁移;在含湿率梯度作用下的扩散迁移;以及在温度梯度作用下的热质扩散迁移,此外,还存在着不同动力之间的相互耦合作用。如果固体骨架具有可塑性,甚至床层可膨胀浮游,或者流体属于非牛顿型,就会形成流变体系。第三,达西定律作为多孔介质流体流动研究的基础,在实际应用中,发现它只严格适用于湿饱和和多孔介质,在非饱和情况下不一定适用,近年来已出现了“非达西流”的探讨。这也说明非饱和多孔介质传热传质的研究尤为困难。第四,缺乏测试湿份分布的有效手段和方法,这在一定程度上妨碍了基础理论的研究和充实。在研究非饱和多孔介质传热传质时,需要热湿迁移特性的基础数据,如有效导热系数、有效导温系数、质扩散系数、热质扩散系数、渗透率等,然而,这些数据却很少见诸报道。除渗透率之外,有效导热系数和有效导温系数的含义模糊(这主要是多孔介质的情况复杂),质扩散系数和热质扩散系数的数据可信度欠缺。对于毛细多孔体,还存在毛细势滞后现象,而现有理论还未对此予以考虑。

近20年来,我国在冻土地区青藏铁路格尔木至唐古拉山口地段路基和沿线修筑建筑物的地基处理,石油热采技术的开发,京津地区地热资源的勘测评估,地下洞库的工程建设等重大项目以及热管的应用开发等都涉及到多孔介质的传质传热问题,逐步引起了我国工程技术界的注意。但由于多孔介质传热传质的复杂多样性,基础研究仍近乎空白。由于难度大,还影响了我国的多孔介质和多孔材料迁移性质的测试方法与技术研究的发展,基本数据严重匮乏,以致在工程项目的攻关中缺少研究分析的依据。

在某些问题上,我国近年来已作出一些有价值的新贡献。例如,在忽略贯流,假定固体骨架刚性,不考虑凝固、冻结、沸腾和凝结的相变情况下,发展了热湿迁移理论<sup>[1,2]</sup>,并据此拟订出快速测试热湿迁移特性的新方法<sup>[3,4]</sup>,得到了国际同行的承认。当然,这种理论和测试方法还有待进一步改善。又如,1988年国家自然科学基金委员会批准资助一项研究毛细滞后的规律就是一个重要的方向性课题,对多孔体内的自然对流,包括模拟反应堆燃料棒、有内热源时的自然对流都取得了良好的进展<sup>[5,6]</sup>。对有相变的多孔体传热传质正在开展实验研究。对细胞

组织之间的血流和温度场的联系问题也作出了初步探讨<sup>[7]</sup>。

显然,多孔介质传热传质的研究将促进跨学科和边缘学科的形成和发展。有可能借助渗流物理和力学等学科取得的新成就,加深对多孔介质内流动和传热传质机理的理解。如果立足于国内农业、能源、资源、环境、生产工艺的发展需要,又能瞄准国际前沿,不停留在重复国外研究的已有水平上,在有导向的支持扶助下,我国有可能在不太长的时间内在多孔介质传热传质的基础研究及其应用开发方面放出异彩。

### 参 考 文 献

- [1] B.X.Wang(王补宣), Z.H.Fang(方肇洪) and W.P.Yu(虞维平), Heat and Mass Transfer in Unsaturated Wet Porous Media, in 《Heat Transfer Science and Technology 1988》, pp.28—36, Hemisphere Pub. Corp., N.Y., 1989.
- [2] B.X.Wang, Z.H.Fang and W.P.Yu, The Heat and Moisture Transport Properties of Wet Porous Media, *Int. J. Thermophysics*, 10(1): 211—215, 1989; 原1988年6月在美国召开的第10届热物性学术会议特邀专题报告。
- [3] B.X. Wang, L.Z. Han and W.P. Yu, A New Method for Measuring Simultaneously the Heat and Mass Transport Properties of Moist Propous Media, *Int. J. Exp. Heat Transfer, Thermodynamics and Fluid Mechanics*, 1(1): 93—98, 1988.
- [4] B.X.Wang and W.P.Yu, A Method for Evaluation of Heat and Mass Transport Propecties of Moist Porous Media, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 31(5): 10005—10009, 1988.
- [5] B.X. Wang and X.Zhang(张兴), Natural Convection in Liquid-saturated Porous Melia Between Concentric Inclined Cylinders, *Int. J. Hent Mass Transter*, Vol.33, No.5, 1990.
- [6] Y.F.Rao(饶燕飞) and B.X.Wang, Numerical Study of Natural Convection in a Vertical Porous Cylinder with Internal Heat Generation, in 《Heat Transter 1990》. 9th. Int. Heat Tramfer Conference, Hemisphere Pub. Corp., N.Y., 1990.
- [7] B.X.Wang, M.W.Cai(蔡明伟) and Y.L.Wu(吴郁龙), A Technique for Using Laser Irradiation as a Heater for Hyperthermia to Produce Maximum synergistic Effect during IPDT, in 《Heat Transter Science and Technology 1988》, Ed. by B.X.Wang, Hemisphere Pub. Corp., N.Y., 1989, pp.417—24.

## ON THE HEAT AND MASS TRANSFER IN POROUS MEDIA

Wang Buxuan

(Institute for Thermal Science & Engineering, Tsinghua University)

### Abstract

The importance and necessity for supporting the basic researches on heat and mass transfer in porous media are outlined. The basic researches on this field will be valuable, not only for promoting the national developments on agriculture and industry, but also for forging ahead the intersect of sciences. The main difficulties to carry out and to deepen such researches are cited, and the state-of the art is summerized briefly.