# 以RBF方法预测核质量

径向基函数（RBF）方法用于预测八种广泛使用的核质量模型的核质量，从宏观-微观到微观类型。显著提高了计算核质量的精度，并且已知质量的相应均方根偏差减小了78%。此外，在距离的三个单位内，目标核与参考核之间存在很强的相关性;这些因素在改善核质量预测方面发挥着关键作用。基于最新的Weizsacker-Skyrme质量模型，RBF方法可以达到与原子质量价中使用的外推法相媲美的精度。此外，还强调了新的高精度实验数据对于通过RBF方法来改进质量预测的必要性。

介绍

核质量不仅在研究我们对核结构的知识，而且在理解宇宙中元素的起源方面起着重要的作用。随着放射性离子束设施的建设和升级，近年来核质量的测量取得了很大的进展。在过去的十年中，有数百个核质量第一次被测量的或者是提高了测量的精度。

天体物理计算涉及到远离稳定线的数千个原子核。然而，这些原子核中的大多数仍然超出了实验范围。人们可以利用局部的质量关系，如Garvey-Kelson（GK）关系和残余的质子-中子相互作用来预测未知的质量。然而，当利用局部质量关系以迭代的方式预测核质量时，内在误差会迅速增加。因此，对核质量的理论预测对于进行天体物理计算是不可避免的。对核质量的早期理论研究主要是宏观模型，如著名的Weizs acker质量公式。我们知道这种质量模型忽略了微观效应，因此它显示了在接近壳层关闭或有大变形的情况时，原子核的系统偏差。为了更好地描述核表面状态特性，对于质量预测的宏观-微观和微观的理论模型已经被发展。

通过将微观校正能量纳入宏观质量公式，宏观-微观质量模型可以很好地考虑到重要的微观修正。在过去的几十年里，已经开发出了许多宏观-微观的质量模型;这些包括有限范围的液滴模型（FRDM），扩展的Thomas费米+Strutinsky积分（ETFSI）模型，以及Koura-Tachibana-Uno-Yamada（KTUY）模型。这些宏观-微观的质量模型在质量预测上具有相似的准确性，而在2012（AME12）年的原子质量评估中，它们的均方根（rms）偏差大约是0.7 MeV。在Skyrme能量密度函数的指导下，基于宏观-微观方法，提出了一种半经验式核质量公式，即Weizs acker-Skyrme（WS）模型。对于最新版本的WS模型（WS3），在AME12中已知的2353个已知核质量的偏差显著减少到0.335 MeV。

另一方面，随着计算机技术在新世纪的快速发展，微观质量模型取得了巨大的进步。基于Hartree-Fock-Bogoliubov（HFB）理论，采用Skyrme或Gogny力，提出了一系列微观质量模型，其精度与传统的宏观微观质量模型不相上下。除了非相对论性的微观模型外，相对论平均场（RMF）模型也受到了广泛的关注，因为它在描述大量的核现象以及在天体物理学中的成功应用。几年前，对这种模型进行了一项系统研究，从质子滴线到中子滴线，对所有Z，N≥8和Z≤100的原子核的基态性质进行了系统研究，对于已知质量，均方根偏差约为2 MeV。然而，值得注意的是，这种RMF质量模型的有效相互作用只针对少数选定的原子核的性质进行了优化。通过仔细地调整RMF模型与更多选定的原子核的性能之间的有效相互作用，可以显著降低偏差。对于575个偶数核和8 ≤Z≤108，在2003年（AME03）的原子质量评估中，对于有效的相互作用PC-PK1，对已知质量的均方根偏差减小到1.24 MeV。此外，PC-PK1的预测很好地再现了从Sn到Pa的新的和精确的质量测量，它的均方根偏差为0.859 MeV，并且成功地描述了镜像核之间的库仑位移能量。此外，受壳模型的启发，Duflo-Zuker（DZ）质量模型在描述核质量时非常成功，精度约为0.5 MeV。

尽管这些理论模型能够很好地重现实验数据，但在不同模型的质量预测中仍然存在很大的偏差，即使是在接近已知质量的区域。文献中对这些核质量模型的准确性和预测能力进行了大量的研究。为进一步提高核质量模型的准确性，基于傅里叶变换的图像重建技术已经应用于核质量模型，显著地减少了对已知质量的有效偏差。在此基础上，建立了径向基函数（RBF）方法，以提高几个理论模型的质量预测的精度。与CLEAN重建相比，RBF方法更有效地减少了在第一次出现在AME03中的质量偏差。

为了改进原子核的质量预测，在RBF方法中涉及到数千个已知质量的原子核。然而，所有的核是否在改善给定核的质量预测方面发挥了有效作用？在RBF方法中必须包含的关键核心是什么？换句话说，我们能以令人满意的精确度在RBF方法中预测到离测量的核质量区域有多远？这些问题在以前的调查中没有得到解决。因此，研究一个特定的核与RBF方法中涉及的原子核之间的质量关系是很有趣的，因此可以评估RBF方法的预测能力。

在这项工作中，我们将仔细评估基于8种广泛使用的核质量模型的RBF方法的预测能力，从宏观微观到微观类型。将特别关注各种原子核之间的质量相关性。这篇论文的组织如下。在第二章中，简要介绍了RBF方法，包括数值细节。在第三章中，首先对质量相关性进行了仔细的研究，然后对基于不同质量模型的RBF方法的预测能力进行了评估。最后，第四章中提出了一个总结。

RBF方法和数值细节

RBF方法被广泛应用于表面重建，它的方程被写作：

其中xi表示测量的点，wi是中心xi的权重，是基函数，是欧几里得范数，m是合适的离散数据的个数。给定m个样本（xi，di），我们希望用 重建平滑函数S（x）。

其中，RBF的权重wi可由下述方程决定：

权重wi可通过m个样点（xi，di）得到，重建函数S(x)可以利用点x由第一个等式得到。

欧几里得范数被定义为核表的两个核(*Zi,Ni* ) 、(*Zj,Nj* )的距离：

在这个工作中采用基函数，因为采用可以比其他基函数更好的重建质量偏差。然后实验数据Mexp和核质量模型Mth预测值质量偏差可以通过等式2重建。一旦得到权重，重建函数就可以通过任何核利用等式1计算得到。然后核(Z,N)的修正质量可以通过：

为了通过等式2测试RBF，仅仅在最小距离和最大距离之间的核被涉及,即.如果重建函数S是通过的核即核自身测试，很明显S=D而且。因此，为了测试RBF方法的预测能力，对于一个已知核的函数S应该通过来重建。

为了估计RBF方法的预测能力，均方根偏差：

其中，实验数据Mexp和核质量模型Mth预测值，n是一个给定集合中包含的原子核的数量。在这项研究中，我们仅仅考虑的核并且采用AME12的实验数据，除非另有说明。关于理论模型，我们采用了RMF , HFB-21, DZ10 , DZ31, ETFSI-2 , KTUY ,FRDM ,和 WS3模型作为例子。利用AME12的实验数据，均方根偏差跨度从2.2到0.3MeV的。今后为了方便起见，核质量模型的标准偏差（Model）和（Model+RBF）表示为（Model）和（Model）。