

吴文俊先生与机构学研究

■ 廖启征

机器的设计与研究当中首先遇到的是机构学问题。而机构学研究中至今仍然有一些分析与设计等问题没有解决或没有很好解决。例如平面四杆机构五位置刚体导引综合是一个经典的机构设计问题。采用传统的布尔梅斯特理论求解该问题，过程复杂而晦涩难懂。如何简单有效的求解该问题仍然有进一步研究的必要。四杆机构设计当中还有一个轨迹综合问题，其中用解析法进行五点轨迹综合问题已经部分解决，而5点以上的综合问题则没有解决。这些问题的解决有待于新的建模方法和求解方法的出现。

机器人机构学是机构学的一个分支，它在机器人设计与应用当中是一个会首先遇到的问题。其中一个重点和难点问题即串、并联机器人机构正、反解，它直接描述了机器人关节空间与机器人手爪作业空间的变换。例如：串联机器人的关节驱动参数到手爪位置姿

态的变换称为正解，其求解容易；反之称为逆解或反解，其求解困难。对于并联机器人也有一个正解和反解的问题，不过反解易，正解难。不论是串联机器人还是并联机器人，为了对它进行控制，反解是必须解决的。为了研究、设计与仿真机器人，正解也需解决。机器人的正、反解对应了传统机构学中的机构运动分析问题，它在机构设计中也是一个基础性问题。

上世纪80年代中期北京邮电大学以梁崇高为首的研究团队解决了机器人机构学中一个重要的串联6R机器人的反解问题。但是如何采用不同的建模方法和消元方法，以提高求解效率等问题没有解决。在随后的并联机构正解研究工作中也遇到了困难。造成这种困难的原因是采用的建模方法单一，求解手段单一，因此适用性不广，对某些其他问题的研究难度较大。

与此同时吴文俊先生在创造了多项式方程组求解的吴方法后也在努力寻找吴方法在解决科学问题与工程问题中的应用。一个偶然的机，使得梁崇高和吴文俊走到了一起，二人一拍即合，开始了机构学问题与数学机械化方法的合作研究。在国家攀登计划的资助下，梁崇高教授、理工大学的刘惠林教授、关霁文教授等参加到吴文俊先生主持的国家攀登计划项目中来。这一合作对于机构学研究来说是找到了新的数学工具，而对于吴方法来说则是找到了一个新的应用领域。

在攀登计划执行过程中，吴先生多次举办讲座，除了对吴方法和数学机械化思想进行系统深入的讲授以外，同时也介绍了国内外各种非线性方程组的求解方法。比如Dixon结式，聚筛法，Groebner基等方法都是在攀登计划执行过程中被推广和应用的。

这些方法与方法后面的思想极大的扩展了大家的视野，对团队的机构学研究发挥了巨大的作用。因此在攀登计划执行期间也取得了很多的研究成果。例如：采用吴方法解决平面机构综合问题，比原布尔梅斯特理论要简单易懂。采用数学机械化的方法与思路对多

种并联机构的正解以及机器人柔性手腕等进行求解，得到了解析解，其中包括4-6台体型并联机构，6-6平台型并联机构等，空间三弹簧柔性手腕的静力分析等。

在此期间，吴先生本人也对机构学问题进行研究计算，并曾亲自上机编程，对包括Puma机器人在内的多种机器人进行反解计算，并讲授了计算方法。

在吴先生的直接领导下，国家85攀登计划顺利完成。随后由高小山接替吴先生成为数学机械化973项目的首席科学家，廖启征接替梁崇高，双方继续进行合作研究。在接下来的两届973项目中，继续把机构学问题和数学机械化方法紧密结合，解决了一批机构学问题。其中包括，采用连杆机构构造任意多项式代数曲线理论上取得成功；采用吴方法系统的解决了由各种运动副组成的平面并联机构正解问题；采用其他数学机械化方法求解了多种并联机构的正解问题；并联机床的精度问题、标定问题得到较好的解决；特别是广义Stewart并联机构的提出及其正解上界的确定极大的丰富了并联机构的种类。这些成果的取得主要是依靠两期973项目作为平台，为学科交叉创造了有利条件。

通过国家攀登计划的实施和两届973项目的支持，目前机构学研究已经不局限于吴方法在机构学中的应用这一点，其他机械化方法，如共形几何代数、零括号代数等也开始引入机构学研究当中。研究方法和规模已经呈现出百花齐放，欣欣向荣的局面。我们相信沿着吴文俊先生开辟的数学机械化道路，把数学与机构学研究紧密的结合起来，科研工作一定可以又好又快的发展，产生更多更大的成果。

(作者为北京邮电大学自动化学院教授)