
1 绪论

1.1 研究的背景及意义

自古以来，中国就是一个地震频繁发生的国家。近年来，随着城市交通建设的发展，地下隧道的结构和数量同样也在不断增加。我国成为了世界上隧道数量最多、施工技术发展最快的国家^[1]。各大城市地铁建设工程的不断增加直接导致隧道数量的显著增加^[2]。

中国土木工程学会会长郭云春在 2016 年中国地下工程会议开幕式上总结了中国的隧道和地下工程近些年的成就^[3]。诸多里程碑式的事件表明我国隧道施工技术已达到一个全新的高度。虽然成就的取得的确不可否认，但未来更重要的，是要认识到“隧道大国”并不完全等同于“隧道强国”这一事实。现阶段，地下工程领域仍存在着许多盲区，需要后人不断探索。地下工程的未来仍然是机遇和挑战并存的未来。

面对近两年我国隧道和地下工程的井喷发展，取得了令人瞩目的成绩和进展，了解隧道和地下工程在各个领域的主要需求，并根据隧道和地下工程的发展方向，找出今后我国隧道和地下工程应研究和解决的问题，显得尤为必要。

目前，国内外的研究大多在地震条件下使用简化后的计算模型进行管道施工数值模拟。然而，解决动态接触问题最重要的部分就是处理各个结构界面的接触和相对滑动。如此简化的计算模型严重忽略了数值模拟中的诸多因素，计算结果的准确性远远达不到标准。可以说这样的模型纯粹是为了计算而计算，为了简化而简化。简化后的计算模型更是远远达不到计算标准。

为了提高计算精度，中国自 20 世纪 70 年代便开始研究三维接触模型。非连续变形分析法离散元算法提出至今已经经历了三十余年的发展和改良。经过诸多的实践最终证明，应用于超级计算机的三维接触模型不仅可以良好的模拟沉管隧道中不同组件之间的接触问题，而且该模型在数值模拟的过程中可以将有限元网格划分的足够小，这大大提高了计算结果的准确性。本文将在前人的研究基础上重新进行算法总结并对三维刚体接触力计算方法进行进一步的研究，获得更加切实有用的信息。

1.2 国内相关研究现状

地质力学中处理的介质，是一种在漫长的地质时代由各种应力而形成的自然介质。目前在岩土力学中常用的数值计算方法有差分方法、有限元法、边界元法等几种，特别是后两种方法，随着计算机的发展这两种方法的应用范围尤为广泛。

在三维块体接触力算法中，主程序可分为两大部分，即块体接触判断以及接触力的计算。

直接法判断思想同该方法的名字一样，就是直接将接触块体中的各个点、边、面元素依次取出，检查与另一个接触块体上的这些元素的关系。这种方法简单易行好操作但缺点也同样十分致命。不仅计算量大而且效率极低。

为了更好的突破直接法效率上的束缚，同时也为了更好地利用接触块体上点、边、面元素之间的关系。Cundall^[4]提出了公共面法的思想。公共面作为一个假想的刚性无厚度平面，位于两接触块体之间。两块体发生接触时，则两块体必将与该公共面同时发生接触。

可见该方法中公共面位置是否正确直接导致后续判断结果是否准确。而这也成为了公共面法最大的缺陷。针对这一缺陷，罗海宁和焦玉勇^[5]对公共面法提出了改进措施。以直接法来确定单位法向矢量的初值并使其接近真实值，然后再根据现有的公共面算法将公共面在初始位置的基础上进行平移和旋转，以确定公共面的最终位置。

陈文胜等^[6]突破了以往接触判断的传统思想，将块体中点、边、面元素同时结合考虑，提出了侵入边法。即通过发生微嵌入部位的几何特征来判断两块体是否接触；若接触，再通过嵌入体的点、边元素信息来判别两块体的接触形式。

但是仅仅结合点、边信息的算法，还是具有一定的局限性，仍然存在误判以及漏判的可能性。良好的接触算法应当综合考虑块体点、边、面所有元素以及他们之间的内在关系。于是王建全等^[7]综合考量以上几种方法提出了切割体法。该方法用面切割边来得到两个块体接触时的公共部分的信息。但它和侵入边法不同的是切割体法发挥了两种方法在判断接触关系时具有的优势。可以说是在两种方法基础上进一步改进后的更为可靠准确的接触判断方法。

非连续变形分析法（DDA）作为一种隐式求解的动力学计算方法，由石根华博士于1989年首次提出，这是一种平行于有限元的数值方法^[8-9]。由于DDA具有十分严谨的理论基础，并且在计算块体的大位移时优势显著，而备受工学领域的重视。并不断有学者在后来的研究中应用到此方法^[10-18]。

冯细霞等人^[19]建在创建用于分析接触块体的DDA模型之后，获得了在恒定条件下移除接触块体的公式，并通过接触力的计算检查了该公式的准确性，同时还运用此公式，定量研究了块体变形模量、弹簧刚度、时间步长与接触位移之间的内在联系。最终得出当块体变形模量和弹簧刚度一定时，接触位移随时间步长变化的关系曲线。

对于不连续变形分析法的主要数值方法可分为三种：离散元法，数值流形法以及

Munjiza 所提出的 FEM/DEM 耦合方法。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/237050051046010003>