

临近地铁隧道的深基坑咬合桩 + 内撑梁的支护保护工艺概述

文 / 廖振坤 深圳市天健建工有限公司

摘要：鉴于城市地下空间开发与地铁运营安全的矛盾日益突出，提出一种既能确保深基坑稳定，又对地铁隧道影响最小化的支护方案。通过对深基坑支护技术的全面综述，结合理论分析与工程实践，确立了咬合桩加内撑梁的复合支护体系。该体系在保护临近地铁隧道安全的同时，实现了深基坑施工的高效与稳定。咬合桩与内撑梁的优化组合，能够有效控制基坑周边土体变形，为城市复杂环境下深基坑工程提供了新的解决方案，还对其在更广泛的城市地下空间开发中的应用做了参考与指导。

关键词：深基坑；地铁隧道；咬合桩；内撑梁

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.21.052

引言

在城市化进程加速的背景下，地下空间的开发利用成了城市可持续发展的关键环节。然而，随着城市密集区域深基坑工程的增加，如何在确保地铁隧道安全运行的同时进行高效、稳定的深基坑施工，成了亟待解决的工程难题。近年来，城市地下空间开发与地铁运营安全之间的矛盾日益凸显，对深基坑支护技术提出了更高要求。实践一种既能确保深基坑稳定，又对地铁隧道影响最小化的支护方案。

一、深基坑支护技术综述

（一）深基坑支护技术的发展历程

咬合桩技术，以其优异的止水性和围护能力，解决了深基坑施工中的地下水控制难题。内撑梁的引入，则进一步加强了支护结构的整体性和稳定性。这种复合支护体系，不仅能够有效控制基坑周边土体变形，减少对周围环境的影响，而且在施工安全性和效率方面表现出显著优势。

深圳市福田区兄弟高登项目为例如图1，正是咬合桩与内撑梁复合支护体系在密度城市环境中应用的典范。该工程不仅展示了这一支护技术在复杂地质条件下的可行性，更证明了其在确保地铁隧道安全运行、高效施工方面的卓越表现，为城市地下空间的设计开发提供了有力的技术借鉴。

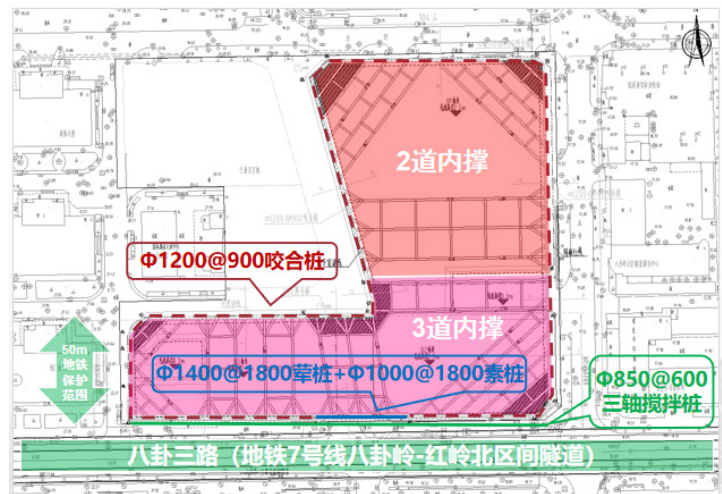


图1 临近地铁隧道咬合桩与内撑梁平面示意

深基坑支护技术的发展历经了从简单到复杂、从专业化到系统化的演变过程。咬合桩与内撑梁的复合支护体系，代表了当前深基坑支护技术的前沿，不仅在理论层面丰富了深基坑支护技术体系，更在工程实践中展现出广阔的应用前景，为城市地下空间的高效、安全开发开辟了新途径。

（二）咬合桩与内撑梁技术的原理与应用

咬合桩与内撑梁技术，作为深基坑支护体系中的关

键组成部分，其原理与应用深入体现了现代土木工程创新与智慧。咬合桩，作为一种新型的支护结构，通过在相邻桩之间形成连续的混凝土桩体，不仅提供了卓越的止水性能，还加强了基坑围护结构的整体稳定性。这种桩体间的紧密咬合，有效隔绝了地下水渗透，同时增强了土体支撑，减少了基坑周边的地面沉降和位移，对临近地铁隧道的保护尤为关键。

内撑梁技术作为咬合桩支护体系的有力补充，通过

在基坑内布置多道钢筋混凝土梁，形成支撑网，以抵抗土压力和水压力，维持基坑的稳定。内撑梁的刚度大、整体性好，能够有效分散和平衡咬合桩上的荷载，减少对地铁隧道的影响。在深圳市福田区某工程案例中，内撑梁的设计与布局，充分考虑了与地铁隧道的距离和地质条件，确保了支撑体系的合理性和安全性，同时也减少了人工进入隧道进行监测的频率，提高了施工效率。

咬合桩与内撑梁技术的原理与应用，不仅体现了深基坑支护技术的发展趋势，更展现了其在解决城市地下空间开发与地铁运营安全之间矛盾中的重要作用。通过技术创新与工程实践的紧密结合，咬合桩与内撑梁的复合支护体系，为类似工程提供了宝贵的参考与指导，开辟了城市地下空间高效、安全开发利用的新途径。

二、临近地铁隧道深基坑支护设计

（一）地铁隧道与深基坑相互作用分析

地铁隧道在深基坑施工中，主要受到基坑周边土体变形的影响。基坑开挖引起的土体位移，尤其是地表沉降，会传递至隧道结构，导致隧道衬砌受力状态的改变。隧道衬砌的响应机制包括局部变形和整体位移。局部变形主要体现在隧道衬砌的弯曲和剪切应力增加，而整体位移则表现为隧道的水平和垂直位移。这些变化不仅影响隧道的结构安全，还可能引起轨道变形，进而影响列车运行的平稳性和安全性。

深基坑开挖过程中，土体的应力释放和重分布是引起地铁隧道响应的关键因素。基坑开挖引起的土体位移，尤其是临近地铁隧道区域的土体移动，会直接传递至隧道衬砌，导致隧道结构承受额外的荷载。这种荷载形式复杂，包括垂直荷载、水平荷载以及扭转荷载，对隧道结构的承载力和稳定性构成威胁。

地下水位的变化也是深基坑施工对地铁隧道影响的重要方面。基坑降水可能导致隧道上方和两侧的土体发生沉降，进而加剧隧道衬砌的受力状态。因此，控制地下水位，采取合理的降水措施，是确保隧道安全的重要环节。

在临近地铁隧道的深基坑支护设计中，咬合桩与内撑梁的复合支护体系扮演了至关重要的角色。咬合桩的设置，形成了连续的围护结构，有效阻挡了地下水和土体的位移，减少了对地铁隧道的影响。内撑梁的引入，进一步加强了支护结构的稳定性和强度，通过承受和分散基坑周边土体的侧向压力，确保了基坑开挖过程中的安全可控。

地铁隧道与深基坑之间的相互作用分析，是保障城市地下空间开发与地铁运营安全和谐共存的基础。通过深入理解地铁隧道的响应机制，科学设计咬合桩与内撑梁的复合支护体系，并结合精密的监测技术，可以有效控制深基坑施工对地铁隧道的影响，实现工程安全与城市交通稳定的双重目标。这一过程不仅体现了深基坑支护技术的创新，也为城市地下空间的高效、安全开发利用提供了宝贵的实践案例。

（二）咬合桩 + 内撑梁支护方案设计

在临近地铁隧道的深基坑工程中，咬合桩与内撑梁的复合支护体系设计，需充分考虑地质条件、地铁隧道位置以及周围环境的影响。设计阶段，首先进行详细的地质勘查，以获取准确的土层结构、地下水位等数据，为支护参数的优化提供基础。咬合桩的深度、间距以及内撑梁的尺寸、布局，需根据现场具体条件进行精细计算，确保支护体系在施工过程中的稳定性和安全性。

咬合桩的设计，关键在于其围护能力与止水效果的优化。在深圳市福田区某工程案例中，采用旋挖咬合桩，其直径与间距的选择，旨在形成连续的混凝土墙体，有效阻止地下水渗透，同时确保基坑周边土体的稳定。此外，咬合桩之间的素混凝土填塞，进一步增强了止水效果，为临近地铁隧道的保护提供了坚实屏障。

内撑梁的设计，则需考量其支撑能力和对基坑变形的控制效果。采用钢筋混凝土梁作为内撑材料，其刚度大、整体性好，能够承受较大的土压力和水压力，有效分散咬合桩上的荷载。内撑梁的尺寸、平均水平间距以及布置密度，应根据基坑深度、土质条件和临近地铁隧道的距离进行优化设计。深圳市福田区某工程中，内撑梁的主撑梁尺寸为 $1.2\text{ m} \times 1.0\text{ m}$ ，平均水平间距 6 m ，密排布置，确保了支护体系的稳定性和安全性。

咬合桩与内撑梁的优化组合，不仅能够有效控制基坑周边的土体位移，减少对地铁隧道的影响，还能够提高施工效率和安全性。设计时，应充分考虑支撑材料的刚度与强度，以及支撑结构的整体布局，确保在施工过程中能够快速响应地铁隧道的实时监测数据，适时调整支护参数，以最小化对地铁隧道的扰动。

咬合桩 + 内撑梁的复合支护体系设计，是临近地铁隧道深基坑工程中的一项关键技术。其设计需基于详细的地质勘查数据，综合考虑地铁隧道位置与周围环境的影响，通过优化咬合桩与内撑梁的参数，实现对基坑周边土体位移的有效控制，确保地铁隧道的安全运行。设计阶段的精细化与监测技术的集成，是实现这一目标的关键，为城市地下空间的高效、安全开发提供了有力的技术支撑。

（三）支护结构稳定性分析

支护结构的稳定性是深基坑工程设计与施工中的核心考量，特别是在临近地铁隧道的复杂环境中，确保支护体系的稳定与安全尤为重要。在咬合桩与内撑梁复合支护体系中，稳定性分析不仅涵盖了力学计算，还涉及地质条件、施工工艺以及监测技术的综合考量。

力学分析是评估支护结构稳定性的基础。通过对咬合桩与内撑梁的受力状态进行计算，可以预测基坑开挖过程中土体位移、地下水位变化以及支护体系的应力分布。采用有限元分析软件进行数值模拟，能够直观展示支护结构在不同工况下的稳定性表现，为设计优化提供科学依据。深圳市福田区某工程案例中，通过三维数值模拟，精确计算了咬合桩与内撑梁在基坑开挖过程中的

受力状态，验证了支护体系的稳定性。

地质条件是影响支护结构稳定性的关键因素。不同土层的力学性质、地下水位以及地下障碍物的存在，都会对支护体系的稳定性产生影响。在设计咬合桩与内撑梁复合支护体系时，需充分考虑地质勘察报告，优化支护参数，确保支护结构能够适应复杂的地质环境。深圳市福田区某工程，面对复杂的地质条件，通过精心设计咬合桩的深度与间距，以及内撑梁的尺寸与布局，有效增强了支护体系的稳定性。

支护结构稳定性分析是一个动态过程，需要综合评估力学计算、地质条件、施工工艺与监测数据。设计阶段的优化与施工过程中的调整，都是确保支护体系稳定性的关键环节。深圳市福田区某工程案例，通过持续的现场监测与数据分析，不断优化支护参数，实现了咬合桩与内撑梁复合支护体系的稳定与高效。

三、施工工艺与监测技术

（一）咬合桩施工工艺与质量控制

咬合桩施工工艺是保障深基坑支护体系稳定性的关键。在临近地铁隧道的环境中，施工的精度与质量直接关系到地铁隧道的安全运行。本节将详细探讨咬合桩的施工流程、关键技术要点及质量控制措施。

施工前，必须进行详尽的地质勘察，确保施工参数与地质条件相匹配。根据深圳市福田区某工程案例，咬合桩的设计需考虑土层结构、地下水位以及与地铁隧道的相对位置。施工准备还包括场地平整、基坑开挖和机械设备的调配，确保施工过程的顺利进行。

咬合桩的成孔采用旋挖钻机，确保桩孔的垂直度和孔径满足设计要求。钻孔过程中，需实时监测孔深和孔径偏差，以保证成桩质量。成孔后，及时进行清孔，确保孔内无杂物，为混凝土浇筑创造良好条件。混凝土浇筑采用导管法，确保混凝土密实度和桩体强度，同时，混凝土配比需按照设计要求严格控制，以保证桩体的止水性和承载力。

施工过程中，应建立严格的质量控制体系，对成孔、清孔、混凝土浇筑等关键环节进行全过程监控。质量控制包括施工参数的记录、混凝土抗压强度试验以及桩体垂直度和孔径的测量。同时，实时监测基坑周边土体的位移和地下水位变化，确保咬合桩施工对地铁隧道的影响最小化。

咬合桩施工应严格遵守安全操作规程，确保施工人员的安全。同时，采取有效措施减少施工对周围环境的影响，包括控制噪音、扬尘和废水排放，保护施工区域附近地铁隧道的安全运行。

（二）内撑梁安装与监测技术

内撑梁的安装是深基坑支护体系中至关重要的环节，直接影响到整个支护结构的稳定性和安全性。在临近地铁隧道的深基坑工程中，内撑梁的布局与施工工艺必须精细化，以确保地铁隧道在施工期间的正常运行与安全。同时，监测技术的应用，能够实时监控内撑梁的受力状态及周边土体的位移，为施工安全提供保障。

内撑梁的安装工艺需严格遵循设计要求，确保梁体的尺寸、位置及连接方式满足支撑体系的整体稳定性和强度需求。深圳市福田区某工程中，内撑梁采用钢筋混凝土材料，主撑梁尺寸为1.2 m×1.0 m，平均间距6 m，密排布置。这种设计不仅保证了内撑梁的刚度，还确保了其在承受土压力和水压力时的稳定性。

安装过程需进行精确测量与定位，确保内撑梁的水平和垂直位置准确，以避免施工误差导致的支护体系失稳。支撑梁与咬合桩的连接处，需采取加固措施，如设置预埋件或增加连接钢筋，以增强连接部位的强度和整体性。在内撑梁的安装过程中，还应实时监测其受力状态，确保内撑梁在基坑开挖过程中的安全可控。

监测技术在深基坑支护体系中扮演着至关重要的角色，特别是在临近地铁隧道的工程中。通过实时监测内撑梁的受力状态及周边土体的位移，可以及时调整支护参数，确保施工安全。

监测点的布置应覆盖内撑梁的关键部位，如支撑梁与咬合桩的连接处以及邻近地铁隧道侧角撑梁间的封板区域。监测内容包括内撑梁的应力、应变、位移以及周边土体的水平和垂直位移。这些数据的实时收集与分析，为施工过程中的决策提供科学依据，确保内撑梁安装工艺的优化与调整。

结语

深基坑支护技术的发展，尤其是咬合桩与内撑梁技术的创新应用，为城市地下空间的深度开发提供了新的解决方案。本研究中的支护方案，不仅在理论层面丰富了深基坑支护技术体系，更在工程实践中展现出了广阔的应用前景。临近地铁隧道深基坑支护设计中，咬合桩与内撑梁的优化组合，有效控制了基坑周边土体位移，减少了对地铁隧道的影响。设计阶段的精细化与监测技术的集成，是实现这一目标的关键，为城市地下空间的高效、安全开发提供了有力的技术支撑。

参考文献

- [1] 乔丽平. 填海区临地铁超大直径圆环撑基坑变形控制及监测分析[J].《科学技术与工程》，2022年第7期 2838-2847，共10页。
- [2] 王乾坤. DEMATEL和模糊认知图在地铁深基坑施工安全风险动态评估中的应用[J].《安全与环境学报》，2024年第11期 4143-4153，共11页。
- [3] 郑刚. 天津某地铁站深基坑突涌事故分析[J].《建筑结构》，2024年第21期 132-137，共6页。
- [4] 姜叶翔. 旁侧深大基坑开挖对邻近地铁隧道变形影响研究[J].《低温建筑技术》，2024年第1期 141-144，共4页。
- [5] 王祥秋. 岩溶地层地铁站深基坑渗漏灾害成因分析[J].《城市轨道交通研究》，2024年第9期 115-120，共6页。