

地铁施工暗挖隧道爆破施工技术分析

王骁然

中铁一局集团第二工程有限公司 河北唐山 063004

摘要: 在城市化进程中,地铁建设成为解决城市交通拥堵的重要手段之一,暗挖隧道技术地面影响较小且施工效率高,广泛应用于地铁施工。在复杂城市地质条件下,如遇到坚硬岩石地层,需采用暗挖法进行隧道爆破施工,主要涉及炮眼布置、装药结构、爆破起爆网络及爆破安全设计,需控制爆破振动的有害效应,防止飞石并在爆破后进行排险。基于此,本文对地铁施工暗挖隧道爆破施工技术进行探讨。

关键词: 地铁施工;暗挖隧道爆破;炮眼布置

引言

随着城市规模的不断扩大,地下空间的有效利用尤为重要,地铁施工技术的科学选择与应用能够确保工程安全,减少环境影响,同时也能保持较高的经济效益。在繁忙都市施工如遇到坚硬地层,暗挖隧道爆破施工技术对地面设施影响较小,施工周期短,成本效益高,已成为地铁坚硬岩石地层隧道建设中的首选技术方案,该技术是在地下连续进行开挖支护作业,能有效加快施工进度、提升工程效益,并能保护城市地面建筑不受影响。

一、工程概况

2023年12月9日,沈阳地铁1号线东延线7标项目的植物园站至双马站区间成功贯通,标志着该项目在施工中的重大突破,此段全长175.33m,主要围岩为中风化岩层,具有较高的硬度且存在承压水问题,使得传统施工方法难以应用,面对此挑战,中铁一局集团第二工程有限公司采用爆破法进行施工,这是该公司在沈阳地铁首次尝试此方法。

二、沈阳市地质情况分析

沈阳市是我国东北地区重要城市,其地质结构的复杂性对地铁施工技术提出特定要求。地质勘查数据显示,沈阳市主要由第四系松散沉积物和前寒武纪的基岩组成,地下水位变化复杂,地下松散沉积物主要有粘土、砂土及砾石层,其在隧道施工中易引发地层移位坍塌,使用爆破法时对周围地层稳定性的保持存在挑战。沈阳市区内分布有多条活动断层,这些断层会增加地下工程的地质风险,爆破施工过程中需要对断层活动性的监测进行精细化管理。沈阳市基岩主要由花岗岩和片麻岩组成,

这些岩石的抗压强度和耐磨性能较好,但由于其裂隙发育不均匀,会导致爆破效果与预期存在偏差,从而影响爆破施工的安全性。设计爆破参数时需详细考虑岩石的物理力学性质,以确保爆破效果的可控性,降低对周边环境的影响。沈阳市东部地区位于棋盘山山脉区,该地区地下多为中、强风化岩岩层,硬度较高,采用爆破法施工相比于传统矿山法施工进度更快,开挖作业面更容易控制,本工程就位于该地区。由于沈阳市地下水位季节性波动较大,雨水丰富的季节水文地质条件的不稳定会导致隧道施工中突水、突泥的风险,需在施工前进行详细的水文地质勘查,以便制定相应的排水加固措施。

三、暗挖隧道爆破施工设计原则

在地铁施工暗挖隧道爆破施工中,为确保施工的安全性与效率性,应根据地质条件合理选择开挖爆破方法。针对不同地段的岩性特征,开挖方法需进行相应的调整以适应岩石的物理力学属性,地质相对稳定的区域可以采用常规的爆破方法以保持施工进度,岩性破碎或复杂地段需采取更为精细化的爆破技术,使用超前砂浆锚杆管棚支护结合浅孔小药量爆破,以减少对周围岩体的扰动。在穿越建筑密集区,爆破振动会对建筑结构造成影响,应采用多台阶爆破技术,该技术可以控制弧顶装药量,精确计算爆破参数,有效减少爆破振动,从而保护地面建筑安全。靠近公路的施工段需采用超前预裂孔、短进尺的爆破方式,快速掘进支护以确保施工快速且安全。为提高爆破安全性,应采用非电起爆网络进行爆破操作,确保在安全距离之外进行起爆。洞口及近洞口的爆破工作中,由于其相对较高的风险性,需采用小台阶浅孔松动爆破法,并实施防飞石等安全措施以保护施工

人员和过往行人的安全。为系统管理爆破器材，应在工地上建立安全的临时库房对雷管等重要物资进行加固存放。在爆破过程中，需使用 $\Phi 25\text{mm}$ 小条药进行光面爆破和预裂爆破，以控制爆破面质量，确保隧道断面光滑准确。放炮是爆破过程中的最后一步，需严格按照爆破设计方案执行，确保所有安全措施得到有效实施，从而完成安全高效的隧道爆破作业^[1]。

四、地铁施工暗挖隧道爆破施工技术

（一）炮眼布置

爆破施工是暗挖隧道施工的核心技术，需要进行高度精确的爆破设计并实施严格的执行标准。精细的炮眼布置可以有效地提升地铁施工暗挖隧道爆破的安全性，确保工程顺利进行。炮眼布置需根据预定的爆破模式精确设计，以确保有效控制爆破范围，限制不良爆破效果。炮眼位置需要根据隧道轮廓进行科学布置，采用楔形炮眼布置模式优化爆破能量分布，使爆破集中于需要移除的岩石，每个炮眼的深度都需精确计算，以配合整体爆破设计需要，从而避免岩体损伤，保证隧道断面的几何精度。炮眼钻进工作需使用高精度的钻探设备，以确保每个炮眼都能够按照设计精准钻至预定位置，炮眼直径和使用的炸药类型需要根据岩石硬度进行选择，以达到最佳的爆破效果，硬岩需要使用较大直径的炮眼，炸药强度也要更高，以确保岩石被有效破碎，较软地层则需减小炮眼直径和炸药量，以控制爆破产生的振动。为提升爆破效果，炮眼布置方案中还应使用预裂爆破技术，在主爆破区域周围预先布置小直径的炮眼，使用小药量进行爆破，形成连续的裂缝带，以控制爆破裂纹的传播方向，精确定义爆破边界，减少对未计划破碎区域的损害。炮眼布置过程中需充分考虑各个炮眼间的时序控制，以科学的起爆序列确保爆破作业在控制的环境下顺利进行，提升爆破效果的同时降低不利影响^[2]。

（二）装药结构

装药结构设计需要针对不同地质条件进行优化，以提升爆破效果，降低不良影响，正确的装药结构可以在确保安全的前提下实现地铁施工暗挖隧道的高效爆破，推进城市地下空间的开发利用，同时也能有效利用炸药能量，优化爆破结果，减少振动。设计过程中需基于详细的地质调查，对岩石密度、硬度、裂隙发展程度进行精确分析，以确定炸药类型、装药量和装药方式。在装药结构设计中，常用的方法有整体装药、分段装药和空气间隔装药，整体装药适用于硬岩地段，可以借助连续

的炸药柱产生强烈且集中的爆破能量，以达到破碎坚硬岩石的目的，分段装药则在炸药柱中设置一定长度的非装药段来控制爆破能量的传递，适用于需要控制爆破振动的场合，空气间隔装药技术是在炸药柱中间插入空气层来调节爆破波传播特性，减少对周围结构的影响，适合城市环境中的隧道施工。装药结构还需根据炮眼布置及预期爆破效果来调整，预裂爆破中通常采用小直径的炸药来精确控制裂纹的形成，防止对邻近结构造成损害，主爆区需要使用更高的装药密度来确保破岩能力。装药结构设计需严格遵守安全规范，确保每一步操作都在安全的条件下进行，从炸药存储、运输到装药起爆，每一个环节都需要精心规划，以保障整个施工过程的安全性。

（三）爆破起爆网络

爆破起爆网络设计与优化能够确保爆破安全顺利进行，直接关系爆破效果及周边环境的保护。起爆网络需能够精确控制每一次爆破的时间，从而实现最优的爆破效果，设计起爆网络时需采用非电起爆系统，该系统因高度的可靠性在现代地下工程爆破中被广泛应用。非电起爆系统的使用可以减少因电磁干扰引起的误起爆风险，系统主要包括非电雷管和连接线，每个雷管都有独立的延时编码，从而使每个炸药点在预定的具体时刻精确爆破。设计时起爆网络的配置需根据爆破区域的大小来确定，并考虑炸药在岩石中的位置，各雷管之间的物理连接。起爆网络采用串联、并联、混合连接方式，每种方式都需根据施工现场的具体条件选择，串联方式能够确保起爆信号依次传递，适合需要顺序爆破的场合，并联方式适用于需要同时爆破多个点的情况，以保证爆破效果的均匀性，布局时需确保所有连接线路均匀紧凑，避免因松弛而影响起爆信号的传输效率。在起爆网络中，应对每个雷管的延时进行精细调整以控制爆破波的相互作用，优化岩石破碎效果，减少对邻近未爆区域的扰动，延时的选择通常基于爆破设计要求，以确保爆破产生的冲击波在可控范围内。每次爆破前工程团队需要对起爆系统进行全面的功能测试，确保所有设备正常工作且连接正确无误，严格检验后才能进行爆破活动，从而确保地铁隧道施工的顺利进行^[3]。

（四）爆破安全设计

1. 爆破振动有害效应控制及预防

爆破振动会导致周边结构损伤，地表沉降，应进行精确的振动监测，在施工区域周围安装高精度振动监测仪器实时监控爆破引起的振动强度，帮助工程团队准确

评估振动对周边环境的影响。为降低振动水平，应调整炸药种类、装药量、爆破间隔和延时方式以有效控制爆破能量释放的速度，从而减少振动强度，城市区域施工需采用精细的分段装药和延时起爆技术，以降低爆破振动传播。同时实施预裂技术，在主爆破区周围先行进行小药量的预裂爆破，以形成预裂缝，有助于控制爆破裂纹的扩展方向，从而减少对周边岩体的不良影响。预裂技术能够提高爆破精确性，有效降低整体爆破引发的振动水平。还应使用低振动炸药，在保持爆破效果的同时减少振动能量的释放。施工过程中的爆破方案设计应综合考虑岩石传振特性，分析地下水流对振动传播的影响，需进行振动传播模型预测。爆破时应事先通知施工计划，设置临时避难措施，以有效减少对社区居民的干扰。

2. 防飞石

爆破安全设计需严格遵守国家安全规范，采取科学的方法来预测控制爆破振动，实施有效的飞石预防措施。飞石现象是由于爆破作业中未能充分控制爆炸能量而导致岩石碎片被抛出，对人员安全、设备及周边环境造成严重威胁，为有效防止飞石，需进行精确爆破设计，合理布置炮眼并精确计算炸药量，以控制爆破产生的能量，使之主要用于岩石裂解而非抛掷碎片。岩石较为松散的地段应采用小药量分段装药技术，设置合适的延时来减少单次爆破的能量输出，从而有效降低飞石发生的风险。应使用适当的覆盖材料对爆破区进行覆盖，重型地毯、钢丝网等可以覆盖在炮眼上方，以分散爆破时产生的能量，防止岩石碎片抛射，覆盖材料的选择需根据具体地质条件来定制，确保其有效抵御由爆破引起的碎片飞溅。施工团队应在施工现场设置安全警告标志，并确保所有施工人员在爆破作业期间撤离到安全距离之外，爆破作业前应进行详尽的安全检查以确认所有覆盖材料已正确放置且固定牢靠，并检查警报系统功能是否正常，确保在任何紧急情况下都能迅速作出反应。还可以采用预裂技术来降低飞石风险，在主爆区周边先行形成一个预裂带以控制爆破裂纹传播，有效限制爆破作用范围内的能量释放，从而降低飞石发生^[4]。

3. 爆破后排险

爆破后排险工作能够确保爆破区域内的安全性，防

止后续发生风险事件。爆破后应立即进行视觉检查，由经验丰富的技术人员负责检查爆破区域是否有未爆破的炸药，任何遗留的炸药都会在未来意外引爆，造成人员伤亡，检查时可以使用特制的探测设备来识别爆破区域内的异常热点。随后进行结构稳定性评估，评估爆破作业对隧道和周边岩体的影响，对裂缝宽度和方向、岩石松动程度进行分析，并根据评估结果采取紧急稳固措施，如注浆、设置锚杆以防止土体移动，确保施工区安全。爆破后需清除爆破产生的碎石，以减少障碍，提高作业效率，避免这些材料在后续作业中造成事故，清理工作主要使用挖掘机和推土机，技术人员需确保所有设备符合安全规范，以防设备故障引发的事故。所有排险活动需详细记录在案，用于当前工程的质量控制，为未来工程提供重要的数据。爆破后的排险工作能有效识别并处理风险，保证地铁施工暗挖隧道爆破作业安全进行，从而确保工程顺利推进，避免因安全问题导致的人员伤亡^[5]。

结束语

综上所述，沈阳市地质状况复杂，对爆破设计施工过程提出更高要求，暗挖隧道爆破施工设计需要考虑技术的可行性与安全性，不断创新技术以优化施工方案，减少施工对环境的影响，提高施工效率。暗挖隧道爆破施工技术的实施有助于提高隧道工程施工质量，在确保施工安全的同时有效控制工程成本，缩短建设周期，为城市地下空间的开发利用提供技术支持。

参考文献

- [1] 王泽朋, 马耀坛, 刘浩, 等. 地铁暗挖隧道下穿电缆隧道扰动影响及安全距离研究[J]. 粉煤灰综合利用, 2024, 38(06): 89-95.
- [2] 毕研超, 王建涛, 宋佳, 等. 地铁暗挖隧道穿越强风化闪长岩入岩深度可靠性研究[J]. 粉煤灰综合利用, 2024, 38(06): 63-67.
- [3] 纪方, 刘浩, 王洪涛, 等. 土岩地层暗挖城市地铁隧道拱顶临界覆岩厚度预测及应用[J]. 土木工程学报, 2024, 57(S1): 109-116.