

矿山法隧道工程初期支护施工技术研究

朱克东

广州市市政集团有限公司

摘要：现阶段的矿山法隧道工程建设数量不断增加，同时矿山法隧道安全事故也不断的增加，因此各类工程项目的建设不仅要加强规划设计，还要在隧道初期支护方面强化技术创新和安全管控。初期支护施工技术的受地质影响因素较多，传统的技术方法施工控制难度较大，容易造成的一定的损失和风险。为此，施工单位要明确技术作业方向，创新技术操作机制，加强技术的灵活应用，针对初期支护施工技术的每一个环节灵活调整，结合施工现场的具体情况快速的改正，并加强技术监督指导，为将来的技术发展进步奠定坚实的基础。

关键词：矿山法隧道工程；初期支护；技术方法；发展趋势

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.24.034

近几年的隧道工程得到了社会各界的广泛关注，不仅要把握好隧道工程的具体技术模式，还要在技术的内容上合理调整，施工单位要结合隧道工程的具体情况，及时找出施工的风险，提前做好技术防控，确保技术操作的过程中得到更高的质量。隧道工程的建设与周边的环境存在密切的关系，不同的环境下，施工单位要优化技术方案，尤其是要加强安全防护，严格遵守国家的相关规范、标准，对初期支护施工技术的细节部分有效的改善。

一、隧道工程的发展现状

近几年的交通产业发展速度不断加快，很多地方通过隧道工程打通了更多的交通要道，对地方的经济建设、资源共享、区域合作产生了显著的促进作用。但是，隧道工程的安全技术要求正不断的增加，继续按照传统的理念建设施工，不仅无法得到突出的成果，还有可能因此造成更多的问题。隧道工程的技术影响因素不断增加，开发隧道工程的难度持续提升，这就需要在隧道工程的技术研发力度上不断的提升，施工单位要结合既有的技术方法推陈出新，这样才能在未来得到更好的效果。

二、矿山法隧道工程的初期支护施工技术方法

(一) 工程概况

拟建黄旗山隧道（左线）起讫点桩号为ZK4+407.00-ZK5+900.00，隧道全长1493.0m，黄旗LIJ隧道（右线）起讫点桩号为YK4+455.00-YK5+966.00，隧道全长1511.00m，属长隧道，为道路上行分洞隧道，两隧道中线间距37.3-67.2m，隧洞间净距21.3-51.2m。黄旗山隧道位于水声水库附近山地，进出口均为低丘陵斜坡，洞身横穿山脊，植被茂密，隧道沿线地面标高约73.4-

301.8m，相对高差228.4m，隧道最大埋深约207m。隧道采用复合衬砌，按新奥尔良法原理进行设计，初期支护以钢架、锚杆、钢筋网、喷砼联合组成初期支护系统。隧道V级围岩浅埋段、V级围岩深埋段采用双侧壁导坑法开挖，V级围岩深埋硬岩段采用三台阶核心土开挖方法；IV级围岩深埋软岩段采用环形导坑预留核心土法开挖，IV级围岩深埋硬岩段采用三台阶开挖法；III级、II级围岩衬砌类型采用上下台阶法施工。V级围岩超前支护采用中空小导管，每排4.5m；IV级-II级围岩采用药卷锚杆支护，每根长约3.5-2.5m，梅花形布置。隧道开挖支护的总体施工工艺流程图如下：

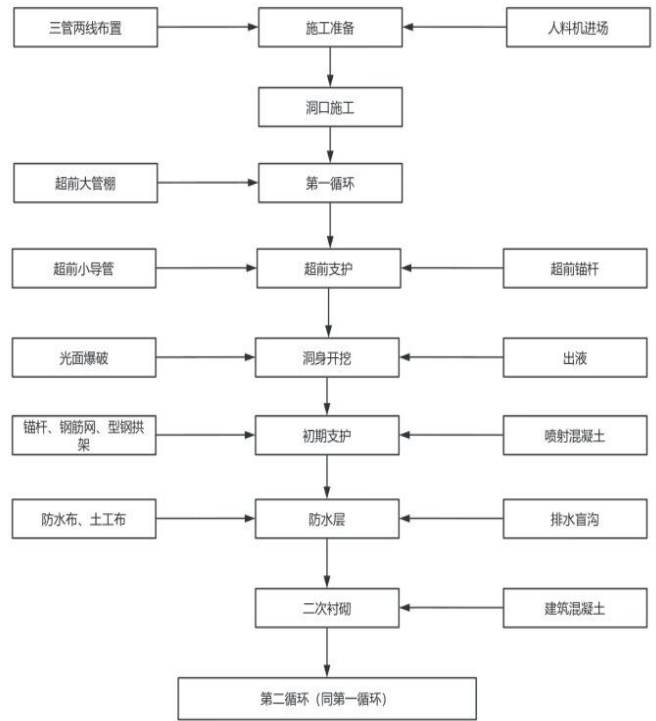


图 1：隧道开挖支护的总体施工工艺

(二) 超前小导管施工工艺

对于矿山法隧道工程而言，超前小导管施工工艺是比较常见的方法，它能有效改善岩体和土质结构，提升隧道支护施工的安全性。施工单位根据本工程的具体情况，采用了风动凿岩机进行钻孔施工，将孔径设计为53mm，同时在孔口的钻研设计偏差方面控制在50mm以内，达到了较高的施工精度，深度方面要大于小导管的长度^[1]。为了在施工中取得更好的效果，本工程通过高压水冲洗的方法，针对孔内的所有粉尘以及杂物进行有效的清理。施工人员对于钢花管的操作，主要是通过钻机顶进的模式开展作业，要求入孔的长度不能小于设计

标准，尾端要与钢支撑牢固焊接，由此才能发挥出小导管与钢支撑的整体受力效果。

本次工程在注浆施工方面采用了纯水泥浆施工，将水灰比控制在1:1的标准，利用净浆搅拌机开展搅拌处理，使用双液活塞式可调压力注浆机注浆，注浆压力方面控制在0.5-1.0MPa的范围内^[2]，当达到设计压力以后，压力保持时间为2min左右，通过木塞堵塞管口，避免漏浆，施工过程中针对两组小导管之间的纵向水平搭接长度进行严格的控制，保持在1m以上的范围。通过该项技术的应用，隧道工程的支护施工效果得到良好的提升，提高了隧道工程的建设质量。

(三) 中空注浆锚杆施工方法

现如今的初期支护施工技术应用，不仅要减少技术的问题，还要加强技术的科学性、合理性，对隐藏的风险要有效的识别，避免在隧道工程的长期建设中遇到新的挑战。中空注浆锚杆相比传统的锚杆安装方便，不需要现场加工，而且可实现压力注浆，有效提高了隧道内地质较差、围岩破碎段的支护施工质量。施该项技术工内容全面，具体如下图所示，施工时要求钻孔的深度不能小于锚杆杆体的有效长度，但是考虑到本工程的实际情况，建议深度超长值控制在100mm以内的范围^[3]。钻孔应保持直线，锚杆钻孔的方向要与开挖面保持垂直的状

态，尤其是在岩层层面比较明显或者是主要结构面比较明显的时候，要最大限度的与其达到较大的交角状态。但是，如果与开挖面的垂直偏差应严格的控制，最大不能超过20度的范围。施工人员对于局部锚杆的施工，应最大限度的与岩层层面，或者是与主要结构面达到大角度相交的效果，将该项施工技术的积极作用有效的发挥出来。当锚杆打入孔内时，应加强长度的有效控制，一般情况下，长度不能小于设计长度的95%。为了在该项技术的应用中得到更好的效果，施工单位开展作业的时候，一定要保持中空的通畅状态，要提前预留好专门的排气孔，尤其是在螺母操作的时候，要在砂浆初凝以后保持在拧紧的状态，要确保垫板与喷射混凝土面保持紧密的接触效果，提高隧道工程的整体支护质量。

(四) 药卷锚杆的施工方法

近几年的初期支护施工技术体系不断完善，面对多样化的隧道工程，支护施工应做出科学的调整和创新，一味的停留在陈旧的技术层面，不仅无法创造出较高的技术价值，还有可能导致技术操作出现严重的偏差和漏洞，最终构成的负面影响比较大。药卷锚杆施工方法的运用，充实了初期支护施工技术的模式，并且对隧道工程的整体支护质量能够大幅度提升。比如，施工单位在该项技术应用时，要通过开挖台车作为施工平台，药卷利用人工的方法，将锚固剂有效的送入到锚杆的孔内，并且快速的打入到孔底。药卷在应用之前，要求在水中达到较好的浸泡效果，浸泡的时间应控制在2.5min左右，当药卷在水中不冒泡，或者是少冒泡的时候，则达到了良好的浸泡效果。施工单位在药卷送入结束以后，应快速的开展锚杆的杆体安装施工，要针对药卷锚杆的杆体作业，按照缓慢的标准插入到锚杆孔当中，并且按照边顶、边转动杆体的方法进行作业，确保药卷水泥在杆体的周围达到均匀密实的效果，施工单位要注意不能出现过度搅拌的问题。为了在施工过程中增强安全保障，要求在孔口的位置安装垫座，垫座应与锚杆的杆体保持在垂直的状态，提高隧道工程的支护施工质量^[4]。

(五) 钢筋网施工方法

隧道工程中的钢筋网的作用在于通过钢筋网好喷射混凝土一起受力，提高混凝土抗弯、抗折性能，保证喷射混凝土能够承受一定的应力而开裂，提高支护效果。本工程对于钢筋网主要是在锚杆施工结束后进行安装作业，钢筋网的每一片宽度都要严格的要求，按照每循环开挖初支长度结合搭接长度进行确定，满足人工搬运和安装重量的标准，本工程控制在50-100kg之间，通过电焊搭接铺设。钢筋网施工的时候，要结合隧道工程支护岩面的实际起伏情况进行铺设施工，要求在初次喷射混凝土结束后再开展施工作业，一般情况下，钢筋网与被支护岩面的间隙应控制在4cm左右。另外，双层钢筋网的应用也是比较常见的方法，但是在该项技术操作时，要求第二层钢筋网在第一层钢筋网被混凝土覆盖以后才

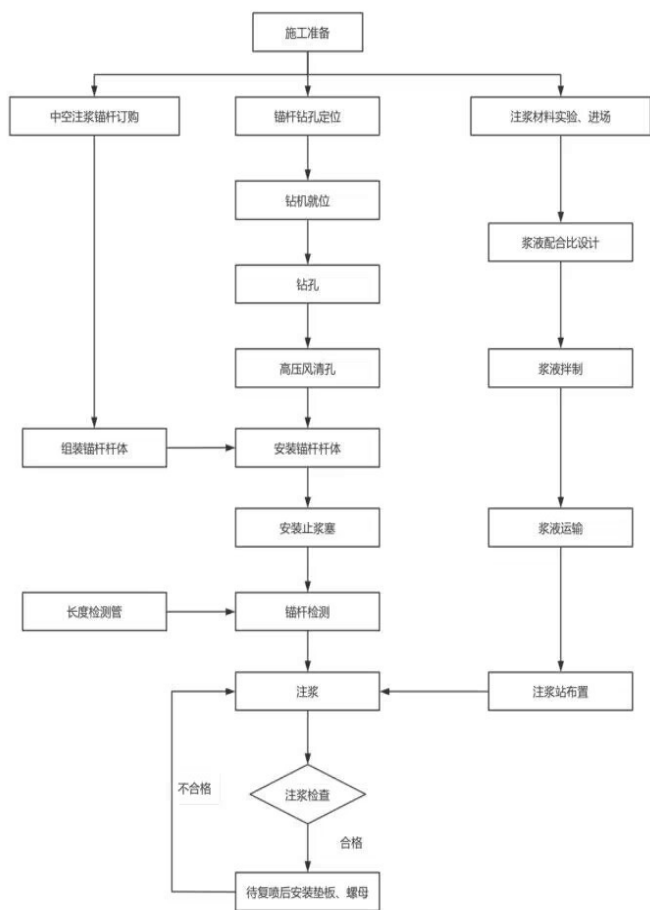


图 2：中空注浆锚杆施工流程

能开展铺设工作。

（六）钢拱架及仰拱安装方法

隧道钢拱架是软弱围岩初期支护的重要组成部分和受力部分，安装质量直接影响初期支护的受力效果。本项目隧道工程采用工18/20b/22b公子景钢架（纵间距0.5-0.75m），格栅H15*20（纵线家奴0.75-1.1m）的拱架体系。钢架按设计单元1:1比例放样加工，运至现场采用钢板和高强螺栓连接。安装时钢架外侧需有不小于5cm的喷射混凝土，拱脚或墙角施工前应清除垫板松渣，避免拱脚下沉。钢架与封闭混凝土之间尽量紧贴，间隙较大时应增加垫板，但数量不应大于10个，钢架之间设置纵线连接钢筋，形成纵线连接体系，改善受力状态。钢架安装完成后应及时增加锁脚锚管，拱架和锁脚锚管焊接，使之成为整体结构，减少拱架下沉^[5]。仰拱开挖至控制设计深度后，应先湿喷4cm厚C25砼，架立钢支撑，在喷射C25砼至设计厚度，待喷射砼达到2.0MPa后，进行仰拱钢筋绑扎并浇筑仰拱混凝土。

（七）喷锚支护施工方法

混凝土喷射施工是初期支护的最后一个环节，施工质量直接影响到整个初期支护体系。本工程采用湿喷工艺进行操作，按照分段、分片的方法去作业，并且通过由下而上的模式施工，针对每一段的长度应控制在6m的范围，一次性喷射的厚度则要控制在6cm以下的范围。另外，凡是新喷射的混凝土，应严格按照施工规定开展洒水养护，确保混凝土质量。

（八）初支背后脱空处理

初期支护施工时，初期支护背后脱空处理是不容忽视的环节。本工程按照纵向施作注浆孔，注浆孔为钻孔埋设，根据脱空面积大小区别布设。连续脱空部位，环向间距3m，纵向间距5m；独立脱空较小部位，一次注浆完成。独立空洞相对较大，为避免局部承载过大，注浆分两次或三次完成，先注浆1-1.5个小时，后移至第二个注浆孔注浆，以此类推。等第一个注浆孔初凝后有一定强度时，进行二次注浆，最后一次进行补注至空腔密实，用棉纱封堵注浆管，以防止浆液从管内溢出。埋设注浆管时，利用破检孔洞预埋注浆管。注浆导管采用42×3.5mm热轧钢管，长度为40cm，当有超挖时适当加长，注浆管迎水面位置应与围岩密贴。注浆及泵送混凝土，测量人员使用全站仪对隧道拱顶下沉、净空变化加强监控，防止一次性注浆过快过大导致钢架变形，同样注浆结束后，使用全站仪加强对初支变形监控量测。

（九）隧道开挖工法过渡转换

由于矿山法隧道围岩等级条件较为复杂，涉及的开挖工法较多，不同的工法采用不同的支护形式，合理的选择工序转换时机，能够大大降低施工难度和安全风险。本隧道工程涉及双侧壁导坑法、三台阶七步开挖法、三台阶法（上下台阶法）、环形开挖预留核心土法、单侧壁导坑法共5种工法，在工法过渡时根据洞身

界面面积变化大小及现场施工条件设置过渡段支护参数，两种工法种按更高等级参数实施，断面尺寸在过渡段逐渐完成，待完全进入另一种工法后再按新的工法支护参数进行施工^[6]。现场由围岩条件较好向围岩条件较差的开挖工法转换时，需跟进现场的围岩条件，先进行超前支护。过渡过程中需合理控制上下台阶的间距，在满足作业空间的情况下，减少上下台阶的间距，尽可能保障围岩的稳定性。过程中加强监控测量，必要时增加临时支撑。

三、隧道工程中初期支护施工技术的发展趋势

通过合理应用初期支护施工技术，很多隧道工程的建设质量不断提升，整体上创造的经济效益、社会效益大幅度提升，各类问题的解决也得到了较多的保障，相关不足的弥补也取得了非常好的效果。为此，初期支护施工技术的未来发展空间较大，施工单位要加强技术平台的建设，针对行业内的最新技术理念、技术功能有效的融合起来，观察新方法的应用效果，促进初期支护施工技术的交流和探讨。初期支护施工技术的发展和革新，要进一步完善技术制度，加强技术操作的规范和指导，从根本上杜绝技术违规问题，坚持在技术的各个施工环节上进行详细的记录，及时找出技术操作的风险和不足，为将来的隧道工程建设做出更多的保障。

总结：

我国对隧道工程的重视程度较高，各个地方在支护施工时不仅能够严格的勘察地质条件，还可以对技术方案进行灵活的调整，传统施工技术问题得到妥善的解决，各地方的隧道工程建设基本上能够按照预期设想完成，减少了支护的隐藏问题。未来，隧道工程的初期支护施工技术要继续创新，加强技术的科学规划，掌握好施工技术应用中可能出现的动态变化因素，提前做好技术防控准备，施工单位要进一步加强技术培训指导，打造专业化的技术团队，为隧道工程的可持续发展做出更多的保障，推动各个地方的长期进步。

参考文献

- [1]官则淞.隧道初期支护工程的施工技术探讨[J].广东建材,2024,40(02):138-140.
- [2]李宝国,卞正涛,张紫洋.地铁矿山法隧道机械法施工关键工艺比选[J].建筑技术,2022,53(09):1187-1191.
- [3]陈斌.隧道施工技术管理及质量控制研究[J].建筑与预算,2021,(04):35-37.
- [4]陈瑞征.矿山法扩挖盾构隧道施工力学分析[J].交通世界,2023,(Z1):217-220.
- [5]赵红斌.矿山法隧道施工关键技术探析[J].交通科技与管理,2024,5(14):170-172.
- [6]陈立鹏,张明臣,陈万丽.矿山法隧道下穿高铁桥梁风险控制研究[J].中国市政工程,2021,(03):84-87+126-127.