

隧道多工序平行作业现场组织与协调管理

郝永威

四川公路桥梁建设集团有限公司 四川 成都 610200

摘要：隧道多工序平行作业是提升复杂地质条件下施工效率的关键组织模式。本文首先明确掘进开挖、出碴运输、初期支护、仰拱施工、二次衬砌及附属设施安装六大核心工序，依据隧道纵向延展特性将洞内划分为掌子面作业区、支护作业区、出碴通行区、仰拱施工区、衬砌作业区五大功能分区，构建空间组织基础框架。其次从班组专业化定岗分工与机械分区配套两个维度搭建现场组织体系。在此基础上，系统分析了空间维度纵向横向作业挤占、时序维度各工序周期不匹配导致节奏错位、物料运输维度动线交叉与供应错配三大核心协调难点及其成因。最后提出分区弹性调整与硬隔离管控、统一循环作业时间表、单线错峰运输与现场实时联动三类优化措施，为多工序平行作业现场协调管理提供系统化解决路径。

关键词：隧道施工；多工序平行作业；现场组织；施工调度；现场管控

引言：随着我国交通基础设施向复杂地质区域持续推进，长大隧道工程占比不断提升，传统单工序顺序施工模式已难以满足工期要求。多工序平行作业通过在隧道纵向空间内组织掘进、支护、出碴、仰拱及二衬同步施工，可显著压缩循环周期。然而，隧道洞内空间狭长、工序间依存关系紧密，多工序并行带来的空间抢占、时序错位、运输冲突等协调难题日益突出，严重制约施工效率与安全管控水平。本文以隧道多工序平行作业现场为研究对象，系统梳理核心工序与空间划分方法，搭建现场组织体系，剖析协调难点及成因，并提出针对性优化措施，旨在为现场管理提供系统化解决方案。

1 隧道多工序平行作业核心工序及作业空间划分

隧道施工全流程涵盖的核心工序分为掘进开挖、出碴运输、初期支护、仰拱施工、二次衬砌及洞内附属设施安装六大模块，各工序在施工工艺逻辑上存在严格的前后依存关系与空间交叉冲突，任何两个相邻工序均无法在同一断面同时开展作业。多工序平行作业的组织模式并非各工序在同一区域无规则同步推进，而是充分依托隧道沿轴线方向的纵向延展特性，将洞内施工区域沿隧道纵向划分为掌子面作业区、支护作业区、出碴通行区、仰拱施工区、衬砌作业区五大独立纵向功能分区。各分区承载明确的核心作业内容：掌子面作业区承担钻爆或机械掘进开挖任务，是隧道向前延伸的前端作业面；支护作业区紧随掌子面后方，负责锚杆施作、钢架安装及喷射混凝土等初期支护全部作业内容；出碴通行区位于支护作业区与仰拱施工区之间，承担开挖渣料的装载与外运通行功能；仰拱施工区实施仰拱混凝土浇筑及填充层施作，封闭隧道底部；衬砌作业区开展二次衬

砌混凝土浇筑与模板台车就位作业，完成隧道永久结构封闭。五大功能分区在纵向空间上保持规定的安全隔离距离，确保爆破飞石防护、出碴车辆通行、衬砌台车作业等不同工序产生的交叉干扰控制在安全范围以内，实现各工序在各自独立空间内互不干扰地同步施工^[1]。

2 隧道多工序平行作业现场组织体系搭建

2.1 纵向空间分区组织设计

结合常规双线公路隧道断面尺寸及施工机械通行宽度，按照距离掌子面由近至远，将隧道洞内划分为五个固定纵向作业区段，设置硬性物理隔离标识，杜绝跨区违规作业。第一区段为掌子面掘进区，距离掌子面0-30m，仅开展钻孔、爆破、掌子面危石清理作业，禁止支护车辆、运输车辆进入；第二区段为超前支护与初支区，距离掌子面30-80m，同步开展锚杆安装、钢拱架架设、喷射混凝土施工；第三区段为出碴及行车通道区，距离掌子面80-150m，作为洞内唯一主运输通道，保障出碴车、混凝土罐车、物料运输车单向通行，不开展固定施工作业；第四区段为仰拱及填充施工区，距离掌子面150-220m，实施仰拱开挖、钢筋绑扎、混凝土浇筑及养护；第五区段为二次衬砌及附属施工区，距离掌子面220m往后，开展模板台车就位、二衬混凝土浇筑、洞内排水管道安装、电缆沟槽施工。各分区之间设置反光警示带、声光警示灯，划分固定作业边界，从空间层面从源头规避工序交叉冲突^[2]。

2.2 作业班组专业化分工组织

隧道多工序平行作业现场摒弃传统综合班组混合作业模式，采用专业化固定班组定岗作业模式，每个班组仅承担单一工序施工任务，从组织架构上消除班组内

部多工序交叉作业导致的职责混乱与效率损耗。现场设置掘进班组、初期支护班组、出碴运输班组、仰拱施工班组、二次衬砌班组及机电保障班组六大独立专业化班组,各班组实行人员固定、岗位职责固定、作业区域固定的三固定管理原则,确保各工序施工责任明确、作业边界清晰。同时设置专属现场调度小组,调度人员不参与任何一线施工作业,专职承担各班组之间的工序对接、施工时序核对与现场突发问题处置职责。明确各班组交接班时间、单次作业时长及工序间避让规则,掘进班组完成单次爆破作业后须快速撤离掌子面区域,为出碴运输班组让出主通道通行空间;初期支护班组紧跟掌子面作业进度,始终保持支护作业滞后距离满足洞内围岩安全管控要求,实现人力组织层面各司其职、各尽其责的专业化分工格局。

2.3 施工机械设备配套组织

依据各纵向功能分区的作业内容精准匹配专属机械设备,实行机械分区专属使用制度,严禁任何机械设备跨区域随意调动,确保设备资源与工序需求严格对应。掌子面作业区配置凿岩台车及湿式喷浆台车,满足钻爆开挖与初期支护喷射作业需求;出碴通行区配置轮式装载机与自卸出碴运输车,运输车辆采用单向循环行车路线,进料与出碴在时间与空间上完全分离,避免洞内车辆会车拥堵;仰拱施工区配置自行式仰拱栈桥,保障仰拱混凝土浇筑期间上方主行车通道正常通行,实现仰拱施工与洞内运输在垂直空间上完全平行作业;二次衬砌区配置液压模板台车与混凝土输送泵,满足衬砌混凝土浇筑与模板支立的连续作业需求。同时在隧道洞口及洞内指定位置规划机械停放专属区域,闲置机械统一停靠在洞口闲置场地,避免非作业机械占用洞内有限通行空间,保障各工序作业区域的有效空间利用率。

3 隧道多工序平行作业现场核心协调难点及成因分析

3.1 空间维度:狭长洞内空间有限,横向纵向作业互相挤占

隧道洞内仅存在沿轴线方向的纵向延伸空间,无多余横向作业面可供工序扩展。尽管前期已实施纵向功能分区,但在实际施工中,围岩条件变化及单次掘进进尺波动会导致初期支护作业需向前跟进调整,进而侵入掌子面安全保护区,造成纵向分区界限失效。仰拱栈桥安装存在定位偏差、二衬台车前移调试过程中,均会占用主行车通道有效宽度,直接导致出碴运输车辆通行受阻,工序间空间冲突加剧。此外,洞内压风管、通风筒、高压供水管及电力电缆沿隧道侧壁密集布设,进一步压缩了各工序的有效作业空间。当多台大型机械在有

限洞内同时运转时,机械回转半径与通行需求相互叠加,极易出现空间抢占与通行冲突问题,该问题是多工序平行作业现场最常见的空间协调难题。

3.2 时序维度:各工序施工周期不匹配,施工节奏错位

隧道各工序在单循环施工周期上存在天然差异,掘进爆破作业耗时最短,出碴运输作业因装载转运环节较多耗时较长,初期支护喷射混凝土作业后还需满足规范要求的养护等待时间,各工序之间的时长配比并不均衡。当采用固定时序计划排布施工节奏时,该计划无法适配实际施工中围岩条件变化与机械效率波动所带来的动态节奏差异。实际作业中频繁出现掘进工序提前完工而后续出碴工序尚未完成,导致掌子面区域出现人员与设备闲置等待的情况;或仰拱混凝土浇筑后尚未达到初凝强度要求,二衬班组即提前前移模板台车进入作业区域,造成前后工序在时序上发生直接冲突。各施工班组在现场往往按照自身工序习惯与内部节奏自主安排作业,缺乏统一的时序调度与衔接控制机制,各工序施工节拍相互脱节,直接破坏多工序平行作业的整体施工连续性^[9]与协调节拍^[9]。

3.3 物料与运输维度:洞内运输动线交叉,物料供应错配

多工序平行作业模式下,洞内需同时运输钢拱架、锚杆、混凝土、砂石骨料及施工耗材等多种物料,各类运输车辆在出发时间、行驶路线及到达时序上缺乏统一规划。当进料车辆、出碴车辆与垃圾清运车辆在主行车通道内相遇时,因洞内空间受限无法实现错车通行,极易形成会车拥堵,直接阻塞各工序的物料补给与渣料外运通道。与此同时,物料供应节奏与各工序实际施工进度之间频繁出现不同步现象:掌子面掘进完成后,初期支护所需钢拱架及锚杆未能及时运抵作业面,导致支护工序被迫停工等待;二次衬砌混凝土浇筑过程中,若混凝土供应出现中断,已就位的模板台车及作业人员均处于无效等待状态,衬砌工序施工连续性被打破。上述物料运输冲突与供应错配问题会沿工序链逐级传导,造成整条平行作业流水线的施工效率显著下降。

4 隧道多工序平行作业现场协调管理优化措施

4.1 空间动态协调:分区弹性调整+硬隔离管控

针对围岩条件变化带来的作业空间动态波动问题,现场实行固定分区与弹性缓冲区相结合的空间管理模式。在各纵向作业分区之间增设弹性缓冲区间,当围岩条件较差、初期支护作业需大幅向前跟进时,适当扩大支护作业区范围,相应延后仰拱施工区的前移距离,确

保各分区安全隔离距离不被突破；当围岩条件稳定良好时，压缩弹性缓冲区间，进一步拉近各工序作业间距，提升洞内空间利用率。同时强化现场硬隔离管控措施，仰拱施工全过程须使用标准化自行式仰拱栈桥，在垂直方向上完全分离下方仰拱作业空间与上方主行车通道空间，实现上下层作业物理隔离。二衬台车前后端须设置刚性防护挡板，防止二衬施工过程中混凝土浆液滴落至下方通行区域，避免对出碴车辆及通行人员造成干扰。通过弹性分区调整与刚性物理隔离双重管控手段，从空间布局层面彻底消除各工序交叉作业产生的相互干扰。

4.2 工序时序协调：制定统一循环作业时间表，实现节拍同步

由现场调度小组统一牵头，结合各工序现场实测施工时长，编制每日固定施工循环计划表，统一全隧道多工序平行作业的整体施工节拍。以全天设定的施工循环次数为基准，固定每日掘进开挖、出碴运输、初期支护、仰拱施工、二次衬砌各工序的起止时间节点，明确各施工班组在特定时段内的强制避让要求与作业权限。具体排布上，将掌子面掘进与出碴运输集中安排在上午时段统一实施，该时段内二衬班组仅允许开展混凝土养护作业，严禁模板台车移动或前移调试；下午时段统一安排初期支护跟进与仰拱混凝土浇筑作业，各班组严格按照既定时间窗口执行，不得擅自调整作业时序。同时建立班前沟通机制，每日开工前由调度小组集中同步各班组当日施工进度完成情况，根据前一日实际执行偏差动态调整当日工序时序安排，确保各工序施工节奏始终保持同步。通过统一循环时间表与班前沟通机制的双重管控，消除各班组因自主作业导致的工序节奏错位问题，保障多工序平行作业整体施工节拍的连续性与协调性。

4.3 运输与班组沟通协调：单线错峰运输+现场实时联动

洞内主行车通道采用单向错峰运输模式，将全天运输作业划分为上午与下午两个独立运输窗口期。上午窗口期仅允许出碴运输车辆单向驶出隧道，下午窗口期仅允许物料运输车辆单向驶入隧道，进出车辆在时间维度

上完全分离，彻底杜绝洞内车辆会车拥堵与通行冲突。同步搭建洞内无线实时对讲沟通体系，调度小组、全部机械操作司机及各施工班组负责人全程保持对讲设备在线，实时同步车辆运行位置、各工序当前施工状态及现场突发状况，确保信息传递无延迟。针对物料供应与施工进度不同步问题，在洞口区域设置物料临时堆放区，提前储备满足两个施工循环所需的钢拱架、锚杆、混凝土原材料等关键物资，实现物料提前备货与按需配送，避免因物料未及时送达导致工序停工待料。此外建立现场冲突快速处置机制，当出现工序抢占作业空间、车辆通行拥堵等突发问题时，调度人员可在现场第一时间直接进行疏导处置，无需逐级上报审批，最大程度缩短响应时间，提升现场协调处置效率^[4]。

结束语

隧道多工序平行作业是复杂地质条件下提升施工效率的核心组织模式，其本质是在有限洞内空间中实现多工序同步推进的系统工程。本文围绕空间划分、组织体系搭建、协调难点及优化措施四个层面展开系统分析，明确了纵向分区间管控、专业化班组定岗、机械分区配套的组织框架，揭示了空间挤占、时序错位、运输冲突三大核心协调难题的成因，并提出弹性分区调整、统一循环时间表、单线错峰运输等针对性优化手段。上述措施从空间、时序、运输三个维度构建了完整的现场协调管理体系，可为同类隧道工程提供可复用的组织管理参考。未来可进一步探索信息化调度平台在多工序动态协调中的应用，持续提升现场管理精细化水平。

参考文献

- [1]郑孟林.公路隧道施工安全管理技术应用与分析[J].上海建材, 2024, (05): 76-78.
- [2]胡兰会.复杂地质条件下公路隧道建设安全保障技术分析[J].建筑发展, 2021, 5(3):38-39.
- [3]马翔.公路隧道施工安全风险控制研究[J].砖瓦, 2021(3):182-183.
- [4]黄和江,芮春明.公路隧道施工安全总体风险评估指标体系不足分析及改进措施[J].价值工程, 2022, 41(7):3.