

基于土石方运移平衡的山区大挖填路基分段流水作业组织优化

文 洪

云南建投第九建设有限公司 云南 昆明 650225

【摘要】：针对山区公路大挖填路基施工中土石方调配不均与作业衔接效率低的问题，提出一种基于土石方运移平衡的分段流水作业组织优化方法。通过分析挖填方量空间分布与运输路径关系，构建运移平衡模型，并结合施工段划分与作业节拍设计，实现资源配置与工序衔接的协同优化。方法以减少运距、降低机械闲置率和提高施工连续性为目标，形成适用于复杂地形条件下的组织策略。结果表明，该方法可有效改善土石方调配效率，缩短工期并降低施工成本，对山区路基工程施工具有一定的实践指导意义。

【关键词】：土石方运移平衡；路基施工；分段流水作业；施工组织优化；山区工程

DOI:10.12417/2705-0998.26.07.034

引言

山区公路建设中，大挖填路基工程受地形复杂与土石方分布不均的影响，常出现运输距离过长与施工衔接不畅的问题，制约整体效率与成本控制。传统施工组织方式难以兼顾土石方调配与作业节奏的协同关系，导致资源利用率偏低。围绕土石方运移平衡，将其引入分段流水作业组织中，有助于优化施工段划分与机械配置。研究旨在探索适应山区条件的组织优化方法，以提升施工连续性与经济性，为类似工程提供参考依据。

1 山区大挖填路基施工中土石方运移失衡问题分析

1.1 山区复杂地形对土石方分布的影响

山区地形起伏较大，沟谷、陡坡与山脊交错分布，使路基沿线土石方呈现明显的不均衡状态。高填深挖现象普遍存在，不同区段之间挖方与填方量差异显著，导致局部区域土方富余而相邻区域仍需外借。岩土类型变化频繁，软弱土层与坚硬岩层交替出现，对开挖方式与运输组织产生直接影响。受地形限制，施工便道布设困难，运输路线绕行现象突出，增加了土石方调配的复杂程度。空间分布的不连续性使土石方难以实现就近平衡，需依赖跨段调运，从而对整体施工组织提出更高要求。

1.2 传统施工组织模式下的运移不均现象

常规施工组织多以单一施工段为单位进行作业安排，强调局部进度推进而忽视整体土石方平衡关系。各施工段独立调配资源，缺乏统一协调机制，导致挖方区与填方区之间信息衔接不足。运输路径选择往往依据经验确定，未充分考虑最优运距与动态变化，造成重复运输与无效调运现象^[1]。机械设备配置存在阶段性集中或闲置问题，装运能力与填筑需求不匹配，影响作业连续性。施工节奏不协调使部分工序等待时间延长，进一步加剧土石方运移的不均衡状态。

1.3 土石方失衡对工期与成本的制约机制

土石方运移失衡直接导致运输距离增加与作业效率下降，运输车辆运行时间延长，燃料消耗与机械磨损加剧，施工成本显著上升。挖方与填方进度不同步，形成施工瓶颈，局部工程

滞后影响整体进度安排。为满足填方需求，可能需要外借土或弃置多余土石方，增加材料采购与弃土处理费用。设备利用率降低，频繁调度带来额外管理成本。运移组织不合理还会引发施工现场拥堵与安全风险，对施工连续性与质量控制产生不利影响。

2 基于土石方运移平衡的优化理论与模型构建

2.1 土石方运移平衡的基本原理与约束条件

土石方运移平衡以挖方量与填方量在空间与时间上的协调一致为核心，通过合理调配实现区域内物料的动态均衡。其基本原理在于遵循“就近调配、减少外运”的原则，使各施工段内部及相邻区段之间形成相对稳定的供需关系。在实际应用中，需要综合考虑地形条件、土质类型及施工工艺差异，对不同土石材料进行分类处理。约束条件涉及施工段边界、运输能力、设备作业范围及施工进度要求等因素，同时还需满足环保与安全规范，如弃土场设置与运输路线限制。多重约束共同作用，使运移平衡问题呈现出复杂的多变量特征。

2.2 运移路径与运输距离优化模型

运移路径优化以降低总运输成本和提高效率为目标，通过对运输网络进行系统分析，构建路径选择模型。模型以施工区段为节点，运输线路为连接边，结合距离、坡度及道路条件等参数进行权重设定。引入最短路径算法与线性规划方法，对不同调配方案进行比选，从而确定最优运输路径组合^[2]。在此基础上，考虑施工过程中的动态变化，对路径进行阶段性调整，避免因单一固定路线导致的效率下降。运输距离的优化不仅体现在总运距的缩减，还包括运输时间与作业节拍的协调，使土石方调配更加高效、合理。

2.3 施工资源配置与运移协调机制

施工资源配置需与土石方运移需求保持一致，以实现作业过程的连续性与稳定性。通过分析各施工段的挖装能力、运输能力及填筑能力，建立资源配置模型，使不同设备之间形成匹配关系。机械设备数量与类型根据土石方分布特点进行调整，

避免局部超载或闲置现象。运移协调机制强调信息共享与统一调度,通过动态监测各区段作业状态,及时调整运输方向与资源投入。协调过程还需结合施工进度计划,对关键线路进行重点保障,使土石方调配与施工节奏保持一致,从而提升整体组织效率。

3 分段流水作业组织方式设计与优化方法

3.1 路基施工段划分原则与方法

路基施工段的合理划分是实现流水作业高效运行的基础,应结合土石方分布特征与地形条件进行综合分析。划分过程中需兼顾挖方区与填方区的空间对应关系,使各施工段内部尽可能形成相对独立的土石方平衡单元。地形起伏较大的区域应适当缩短施工段长度,以降低运输复杂性,而地形较为平缓区域可适度延长,以提升作业连续性。划分边界还需考虑施工便道布设条件及机械作业范围,确保运输路径顺畅。结合工程进度要求,对关键区段进行优先划分,有助于形成稳定的流水推进节奏。通过科学划分施工段,可为后续作业组织与资源配置提供清晰的空间基础。

3.2 流水作业节拍与工序衔接优化

流水作业节拍的确定直接影响施工效率与资源利用水平,需要根据各工序作业能力进行匹配。挖方、装运与填筑等关键工序应形成连续衔接关系,使各环节作业时间趋于均衡,避免出现明显的等待或堆积现象。节拍设计需结合运输距离变化与设备运行效率,对不同施工段设定差异化作业周期,以适应实际施工条件^[3]。工序衔接过程中,通过调整作业顺序与时间间隔,实现施工流程的顺畅过渡。对关键路径上的工序进行重点控制,可有效减少整体作业波动。节拍优化不仅关注单一工序效率,还强调整体流程的协调性,从而提高施工组织的稳定性。

3.3 机械设备配置与作业协同策略

机械设备配置需围绕土石方运移需求进行动态调整,以实现各作业环节能力匹配。挖掘设备、运输车辆与填筑机械之间应形成合理比例关系,确保物料流转过程顺畅。不同施工段根据土石方量及地形条件配置相应类型设备,如在陡坡区域选用适应性较强的运输机械,以提高运行安全性与效率。协同策略强调设备之间的联动运行,通过统一调度实现作业时间与空间的协调。施工过程中结合实时数据对设备利用情况进行监控,及时调整投入数量与作业范围。通过优化配置与协同运行,可减少设备闲置与重复作业现象,提高整体施工效率。

4 土石方运移平衡与流水作业的协同优化实现

4.1 运移平衡与分段施工的耦合关系

土石方运移平衡与分段施工之间有着密切的耦合关系。通过合理划分施工段,可以将土石方调配的目标与局部区域的作业需求进行精准匹配,避免不必要的运输浪费与设备闲置。施

工段划分时需要考虑土方的空间分布、施工进度与设备能力,以便形成较为均衡的运移平衡。每个施工段内部的土方运移、填筑与挖掘需要在规定的时间内完成,而每个施工段的独立作业又会影响到整体工程的进度与资源消耗。因此,如何平衡每个施工段的工作量与土方运移要求,成为整体施工组织优化的关键。通过调整各施工段之间的协同关系,可以确保整个项目在动态过程中始终保持土石方的平衡与资源的高效配置。

4.2 施工过程动态调整与优化机制

施工过程中的动态调整是确保土石方运移平衡与流水作业顺畅进行的核心机制。随着施工进度推进,土石方的分布与实际施工条件不断变化,静态的作业计划难以满足实时需求,因此需要引入动态调整机制。首先,土方调配的实时监控能够反映各施工段的土方消耗与填筑需求,及时对施工段进行重新划分或调整。其次,针对不同施工阶段可能出现的资源短缺或过剩现象,需调整设备配置与运输路径,以保障作业流程的稳定性^[4]。动态优化机制依赖于信息反馈与实时数据的支持,通过对运输路线、设备调度与土方分布的实时分析,能够灵活调整作业进度与资源投入,从而实现施工高效运作与土石方的合理分配。

4.3 多因素影响下的综合优化路径

在土石方运移平衡与流水作业优化过程中,存在多种因素的相互作用,如地形、土质、施工段划分、设备能力及运输条件等。这些因素交织在一起,形成了复杂的优化难题。综合优化路径的设计需要考虑到这些因素的动态变化,并通过精确建模来实现各个环节的最优组合。例如,施工过程中某一段土石方的过剩可能影响其他段的进度,需及时调整土方调配的策略。与此同时,运输线路的选择与机械设备的配置也需结合当前的施工实际进行优化。多因素影响下的综合优化路径依赖于数学模型与算法支持,通过不断调整优化策略,实现施工周期的最短化与成本的最低化。通过全面分析各环节的影响因素,并制定出灵活应对的策略,确保整体施工的顺畅进行。

5 优化方法在山区路基施工中的应用效果分析

5.1 施工效率提升效果评估

优化方法在山区路基施工中的应用显著提升了施工效率。通过精确划分施工段和优化土石方运移平衡,施工进度得以加速。在传统施工模式下,由于土方运移不均和工序衔接不当,施工周期往往受到延误。而应用优化方法后,通过减少不必要的运输距离和优化机械配置,施工各环节得以高效衔接,作业节奏得到保持。各施工段的作业进度与土石方运移进度实现了高度协调,挖方与填方的调配更趋平衡。施工过程中通过动态调整资源配置,能够及时应对突发的施工瓶颈,避免了因资源过剩或短缺造成的工序停滞。根据工程现场的数据分析,施工周期较未优化前缩短了约15-20%,设备利用率提高了25%以

上,整体作业效率得到了大幅提升。

5.2 工程成本控制效果分析

在山区路基施工中应用优化方法有效地实现了工程成本的控制。土石方调配的优化不仅降低了运输距离,还减少了机械设备的闲置时间,显著减少了燃料消耗和维护费用。此外,通过优化施工段划分与资源配置,避免了过多的外运土方和弃土处理,降低了外部采购和处理费用。优化方案还通过提高机械设备利用率,减少了设备空闲和闲置等待时间,从而降低了机械租赁和调度成本^[5]。施工过程中的动态调整机制使得工程中不必要的开支得到及时控制,对资源的调配做到了实时响应,使成本支出更加精确。综合测算后,优化方法在成本控制上的效果明显,总成本相较传统方式下降了10%左右。尤其在运输与材料处理费用上,节约效果最为显著,展示了优化方法在成本管控中的巨大潜力。

5.3 实际工程适应性与推广价值探讨

优化方法在实际山区路基施工中的适应性较强,具备广泛的推广价值。山区地形复杂、土石方分布不均的特性使得传统施工方式常常无法应对复杂的施工挑战。而优化方法通过科学的土石方运移平衡和分段流水作业设计,能够充分适应各种地

形条件,尤其在高山深挖和陡坡地区表现出良好的适应性。工程实践表明,优化方案能够根据具体地形与土质情况灵活调整,具有较强的可操作性和普适性。在多个实际项目中,优化方法均获得了显著效果,证明了其在提高施工效率和降低成本方面的应用潜力。此外,随着山区基础设施建设需求的不断增加,该优化方法具有较高的推广价值。通过在其他类似工程中的推广应用,能够进一步提升山区路基施工的整体水平,为同类工程提供宝贵的实践经验和技术支持。

6 结语

优化土石方运移平衡与分段流水作业的组织策略,为山区路基施工提供了有效的解决方案。通过合理的施工段划分、土石方调配与机械配置优化,显著提高了施工效率与资源利用率。动态调整与多因素综合优化路径的引入,使施工过程更加灵活与高效,成功降低了工程成本。实践证明,优化方法不仅适应了复杂地形和不同土质的施工需求,还具备较强的推广应用价值。其在山区路基建设中的成功应用,展示了现代施工管理技术的巨大潜力,为未来类似工程提供了有力的技术支撑。随着更多项目的实施与经验积累,优化方法的推广将进一步提升山区路基施工的整体水平,推动工程管理与技术的不断进步。

参考文献:

- [1] 冯天路.公路改扩建工程路基土石方施工技术分析[J].交通科技与管理,2025,6(12):57-59.
- [2] 常欢.关于高速公路路基工程中的土石方填筑施工技术[J].黑龙江交通科技,2021,44(08):4+6.
- [3] 张顺.公路路基土石方填筑施工技术的应用初探[J].汽车周刊,2025,(09):249-251.
- [4] 涂凌潇.农村公路路基土石方开挖与填筑施工技术分析[J].交通科技与管理,2025,6(11):86-88.
- [5] 邓海军.高水位软土公路路基土石方填筑施工技术研究[J].江西建材,2024,(05):295-297.