

隧道涌水突泥灾害处置与预防措施

陈 欢

四川达陕高速公路有限责任公司 四川达州 636350

摘 要：隧道工程是现代基础设施建设中不可或缺的一部分，广泛应用于交通、能源、通讯等多个领域。然而，在隧道施工过程中，灾害性突发事件的发生往往会严重影响工程进度、安全性和经济效益，其中尤以隧道涌水突泥灾害最为常见且危害极大。涌水突泥灾害主要表现为地下水流和泥浆突然涌入隧道，造成隧道施工面塌方、人员伤亡及设备损坏，给隧道建设带来巨大的安全风险。隧道涌水突泥灾害的发生原因复杂，涉及地下水的水文地质条件、施工工艺的选择及施工管理等多方面因素，因此，其防治和处置成为了隧道工程技术领域的一个重大难题，文章就此展开了探讨。

关键词：隧道；涌水突泥；灾害处置；预防措施

引言

隧道涌水突泥灾害的发生与多种因素密切相关，其中最为关键的是水文地质条件。地下水的类型、分布及其与隧道施工面的相互作用，直接决定了涌水突泥的风险。此外，隧道施工所涉及的施工技术和工艺，如开挖方法、支护方式、注浆处理等，也会影响涌水突泥灾害的发生几率。在某些特殊地质条件下，尤其是软土层、泥岩层、断层带等地质环境下，涌水突泥的发生更加频繁，且灾害性更强。

一、隧道涌水突泥灾害成因分析

1. 水文地质条件对涌水突泥的影响

地下水的类型与分布，尤其是水文地质条件的复杂性，是影响涌水突泥灾害的关键因素之一。软弱地层如泥岩、砂层或碎石带容易导致水流聚集，增加地下水压力，这些地区的水文条件往往复杂且难以预测。若隧道开挖过程中遇到富水层，尤其是断层带或溶洞等地质异常区域，地下水可能迅速通过裂隙涌入施工面，形成强烈的涌水现象。除此之外，地下水的流动方向与速度、孔隙度、渗透性等因素，也会对水流量和泥浆涌入的程度产生重要影响。地质构造的不均匀性，如断层、褶皱等，往往导致地下水流的异常变化，进而引发涌水突泥灾害的发生。此外，局部水文环境的变化，比如降雨或人为干扰，也可能导致地下水位波动，进而加剧涌水突泥的风险。因此，水文地质条件的详细勘查和评估对于预防和控制涌水突泥灾害至关重要。

2. 施工工艺对涌水突泥的影响

施工工艺对隧道涌水突泥灾害的发生具有重要影响。不同的开挖方法直接决定了隧道与周围地下水系统的相互作用。采用传统的钻爆法开挖时，爆破力可能引发围岩松动，导致地下水沿裂缝涌入，增加涌水风险。机械化开挖虽然能够提高效率，但在不适当的地质条件下，容易引起局部坍塌，导致泥水涌入隧道，尤其是在遇到砂层或高水压地区。此外，隧道支护方式的选择也是关键，若支护设计不当，不能及时封闭水流通道，将导致水和泥浆的进入。注浆加固技术在一定程度上可以缓解水流的渗透，但若注浆施工不当或注浆材料未能达到预期效果，也可能导致施工面不稳定，反而加剧涌水现象。在复杂地质环境下，施工过程中的监测与应急响应能力更为重要，若现场水位变化、围岩变形未能及时检测并处理，极易引发涌水突泥灾害。因此，合理选择施工方法与支护技术，并加强现场监测是防止涌水突泥灾害的关键。

3. 其他因素

除了水文地质条件和施工工艺外，其他因素也在隧道涌水突泥灾害的发生中起着重要作用。自然因素如地震、降水等突发性天气变化，可能导致地下水位骤升或地质结构发生改变，进而引发水流和泥浆的突然涌入。特别是在山区或有断层带的地区，地震等自然灾害可能破坏原本稳定的地下水系统，造成水流异常。此外，人为因素同样不容忽视，施工过程中若未能严格按照设计要求进行开挖或支护，或者在遇到复杂地质条件时未能

及时调整施工方案，也会加剧涌水突泥的风险。施工人员操作不当、现场管理松懈等问题也常常成为诱发灾害的隐患。施工环境的变化，如周围建筑物的沉降、地下管线的干扰等，也可能影响地下水流的变化，导致涌水问题的出现。综上所述，隧道涌水突泥灾害的发生不仅仅依赖于水文地质条件和施工工艺，还受到外部环境和人为因素的多重影响。

二、隧道涌水突泥灾害的风险评估

1. 水文地质风险评估

水文地质风险评估是隧道涌水突泥灾害防治中至关重要的环节，其核心在于全面了解地下水的分布、流动规律及其与地质结构的相互作用。地下水的类型、流速、流向以及水文地质条件的复杂性，都会对隧道施工造成不同程度的影响。例如，富水层和断层带往往是水流汇集的区域，这些地方的地下水压力较高，一旦隧道开挖突破这些区域，就可能引发涌水突泥灾害。通过水文勘察，可以获取地下水位变化、渗透性、孔隙度等关键数据，帮助评估地下水的流动趋势以及其可能对隧道造成的影响。利用地下水流动模型，可以模拟水流的运动路径，预测涌水灾害的发生概率，并为防治措施的制定提供科学依据。地质勘察同样不可忽视，地层的稳定性、岩土体的抗水渗性以及地下结构的异常，都可能影响地下水的流动行为。在进行水文地质风险评估时，结合现场的勘探数据与历史案例，可以确定潜在的高风险区域，评估地下水对隧道施工安全的威胁。通过这一过程，施工团队可以针对性地采取防控措施，如合理选择开挖方法、调整施工工艺和优化水文地质监测方案，从而有效降低涌水突泥灾害的发生概率。

2. 施工阶段的风险评估

施工阶段的风险评估对于确保隧道工程的安全至关重要，尤其是在涌水突泥灾害的防控中具有不可或缺的作用。在这一阶段，施工方法的选择、设备的配置、现场管理以及应急响应能力等都会直接影响灾害的发生与发展。评估过程中，首先要对地质条件进行全面调查，特别是针对可能存在的高水压区域、易塌方的地层和断层带等风险因素进行重点分析。开挖方法的合理选择也至关重要，例如，使用钻爆法时如果爆破力度过大或未能及时支护，可能导致围岩松动，地下水通过裂缝涌入施工面。而机械化施工虽然能够提高效率，但在复杂地质条件下，若操作不当，容易引发施工面的不稳定，进而导致涌水现象。施工过程中的监测工作同样不可忽视，

通过实时监控地下水位、渗透性变化、地层位移等数据，可以及时发现隐患并采取相应措施，避免灾害的发生。施工现场的管理和应急响应体系也必须到位，确保在发现异常时能够迅速采取措施进行处置，如临时封堵水流、加固支护等。同时，施工人员的操作规范和技术水平也是影响风险评估结果的重要因素，必须定期培训和演练，以确保施工安全。通过全面的风险评估和预警机制，可以有效降低涌水突泥灾害的发生概率，确保隧道施工的顺利进行。

三、隧道涌水突泥灾害的预防与防治措施

1. 预防措施的基本原则

隧道涌水突泥灾害的预防措施必须遵循一系列基本原则，以确保施工过程的安全性与顺利性。预防的核心在于提前识别潜在风险并采取科学有效的控制手段。全面的水文地质勘察和地层分析是制定预防措施的基础，通过对地下水流动规律、地层稳定性以及水文条件的全面了解，可以精确评估涌水突泥的风险区域，从而为施工工艺的选择和防治措施的设计提供数据支持。针对复杂地质环境，合理的隧道设计至关重要，尤其是水文条件较为复杂的区域，应优先选择适合的开挖方式与支护结构，以减少与地下水的直接接触，避免由于施工不当引发灾害。施工过程中，加强实时监控和预警体系建设也十分必要，随时掌握地下水位变化、地层变形等关键数据，能够为工程人员提供预警，及时调整施工方案，避免发生突发情况。预防措施还应具有灵活性和应变能力，针对不同的施工阶段和现场条件，动态调整防控策略。除了技术手段外，严格的管理制度和高效的应急响应机制也应成为预防体系的重要组成部分。通过这一系列综合性措施，可以有效预防涌水突泥灾害的发生，保障隧道工程的安全与顺利推进。

2. 隧道设计阶段的预防措施

在隧道设计阶段，预防涌水突泥灾害的措施尤为关键，这一阶段的设计决定了施工过程中能否有效应对复杂的水文地质条件。首先，详细的水文地质勘察是设计的前提，必须通过钻探、物探等手段准确了解地下水的分布、流动方向、渗透性以及潜在的水源压力。这些数据将为隧道设计提供科学依据，确保设计方案能够充分考虑到不同水文环境下的特殊需求。在设计中，合理的隧道线路选择尤为重要，尽量避开已知的富水层、断层带或地下溶洞等地质危险区，减少与高水位或复杂地质结构的接触。如果不可避免地穿越这些区域，设计时需

采用更为严格的防水和支护措施，如增加隧道衬砌厚度、采用防水混凝土或特殊的防水涂层等手段，提升隧道的抗渗透能力。同时，开挖方法的选择也需要根据具体的水文地质条件来定，如在易涌水区域采用机械化盾构法或冻结法等，避免钻爆法可能引发的地层松动和水流涌入。排水系统的设计也同样关键，应确保隧道开挖过程中能够有效排除地下水，并防止水压的过度积聚。此外，设计阶段还应考虑施工阶段的技术可行性，确保所设计的防护措施在实际施工中能够得到有效落实。通过精心设计，隧道的涌水突泥风险可以在源头上得到有效遏制。

3. 施工阶段的防治措施

在隧道施工阶段，防治涌水突泥灾害的措施至关重要，直接影响到隧道工程的安全与进度。针对不同的水文地质条件，施工工艺需要灵活调整。在施工过程中，实时的水文监测是防治措施的基础，必须随时监控地下水位变化、围岩变形以及渗透性变化，通过监测系统及时发现异常情况，为采取应急措施提供数据支持。一旦发现水位上升或渗透性增加，施工人员应立即调整开挖进度或增加支护强度，防止水流进一步渗透进入施工面。针对富水层或高压水区域，注浆加固技术是有效的防治手段，施工时可通过注入高强度水泥浆或化学浆液封堵地下水通道，从而阻止水流进入隧道，同时增强围岩的稳定性。此外，在开挖过程中应严格控制爆破参数，避免过大爆破力引发地层松动与涌水现象。机械化施工中，若发现局部涌水或泥沙进入隧道，应立即启用排水系统进行应急排水，确保施工面的干燥和稳定。施工现场的临时支护结构也需根据实际情况进行调整，增加支护钢架、喷射混凝土等措施，以提高施工过程中的稳定性。施工人员应严格按照预定方案进行作业，避免因操作不当或管理疏忽引发突发性灾害。通过精确的监控、及时的应急反应和科学的施工管理，可以有效防止涌水突泥灾害的发生。

4. 应急处置措施

在隧道施工中，若发生涌水突泥灾害，快速、有效的应急处置措施是确保工程安全与人员生命安全的关键。一旦发现涌水突泥现象，应立即停止开挖作业，进行现场评估，迅速确定水流的来源和规模。应急响应团队需立即启动应急预案，首先进行水流封堵处理，通过设置临时水坝、堵水袋或注浆加固等手段，尽可能切断水源，防止涌水继续蔓延。在应急处置过程中，确保排水系统的畅通至关重要，必须通过临时排水泵或水槽等设施迅

速将积水排出，降低施工面水压，防止围岩进一步松动。同时，应加强隧道内部的支护结构，增加临时支撑和喷射混凝土，确保隧道不发生塌方。为防止泥沙对施工面造成堵塞，应使用高效的泥沙排除装置，将泥浆和沙土快速清除。此外，现场应加强人员疏散和安全防护，确保作业人员远离灾害区域，避免不必要的伤亡。在应急处置过程中，通信畅通至关重要，现场应保持与指挥中心的实时联系，及时反馈现场状况并调整应急措施。通过有效的应急处置，不仅能最大程度地控制涌水突泥灾害的蔓延，还能保障施工的快速恢复，尽量减少工程进度度的影响。

结束语

隧道涌水突泥灾害的发生不仅对施工安全构成严重威胁，还可能导致工程进度延误和经济损失，因此，采取有效的预防与应急处置措施至关重要。通过科学的水文地质勘察、合理的隧道设计、精准的施工监控与高效的应急响应，可以在源头上最大限度地降低涌水突泥灾害的发生概率。在施工过程中，持续优化施工工艺、加强现场管理和技术手段的应用，确保施工人员严格遵守安全规范，都是防止灾害发生的关键。即使灾害发生，通过及时的应急处置与有效的水流封堵、排水处理等措施，也能将损失降到最低，保障施工安全和工程顺利进行。隧道施工的复杂性要求我们不断提升风险评估与管理水平，通过全方位的防控体系，确保隧道工程的顺利完成。面对未来更加复杂的地质环境和水文条件，持续的技术创新与经验总结，将为预防与应对隧道涌水突泥灾害提供更加科学、有效的保障。

参考文献

- [1] 李荣文, 李柱荣, 饶正东, 等. 公路隧道突泥涌水灾害处治技术探讨[C]//2024年全国工程建设行业施工技术交流会论文集(下册). 2024.
- [2] 陈英军, 王芳, 陈正. 现役隧道涌水突泥病害应急抢险处置技术[J]. 公路与汽运, 2024, 40(3): 135-137.
- [3] 钟黎阳. 隧道断层破碎带涌水突泥地质灾害处治技术研究[J]. 工程机械与维修, 2023(5): 104-106.
- [4] 熊磊, 李振. 隧道施工掌子面突泥涌水灾害处治实例[J]. 江西交通科技, 2023(4): 39-44.
- [5] 喻俊. 隧道工程施工中涌水突泥灾害的处理方法分析[J]. 中国地名, 2023(11): 0169-0171.