

公路工程隧道坍塌风险防范探讨

邓立业

中交第一航务工程局广西分公司 广西 玉林 537000

【摘要】：隧道工程是公路建设中施工难度较大，风险相对较高的单位工程，隧道各类事故中，坍塌事故造成的损失和发生概率远远高于其他事故类型，所以应是安全风险防控的重点。隧道施工是在原有地质结构中进行开挖，然后重新构造新结构，在开完中经常由于开挖使得岩体应力释放或开挖完成后支护未及时跟进导致围岩—支护体系不稳定，进而导致坍塌事故。本文对隧道矿山法施工中导致坍塌的原因进行简要分析，并从隧道施工的重点环节出发，探讨坍塌风险防范的主要措施，希望对其他隧道工程建设起到参考作用。

【关键词】：隧道；坍塌；防范措施

Discussion on the Risk Prevention of Highway Tunnel Collapse

Liye Deng

CCCC First Navigation Engineering Bureau Guangxi Branch Guangxi Yulin 537000

Abstract: Tunnel engineering is a unit project with greater construction difficulty and relatively high risk in highway construction, and the loss and probability of collapse accidents in various types of tunnels are much higher than other types of accidents, so it should be the focus of safety risk prevention and control. Tunnel construction is to excavate in the original geological structure, and then reconstruct the new structure, often due to the excavation of the rock body stress release or the excavation after the support is not followed up in time, resulting in unstable surrounding rock-support system, which in turn leads to collapse accidents. This paper briefly analyzes the causes of collapse in the construction of tunnel mining method, and discusses the main measures for collapse risk prevention from the key links of tunnel construction, hoping to play a reference role in the construction of other tunnel projects.

Keywords: Tunnel; Collapse; Precautions

1 坍塌事故原因分析

1.1 客观原因

1.1.1 地质条件复杂

施工过程中可能遇到各种地质构造。地质断层、节理密集带、软弱夹层、特殊岩土、溶洞等复杂的地质条件，岩体呈现破碎、强度低、抗水性差、透水性大等特点。不良地质在在隧道开完后的自稳性差，这无疑是导致隧道坍塌事故的重要客观原因之一。由于地质原因造成的隧道坍塌事故占到绝大多数，而不同地质状况导致的坍塌类型也不尽相同。

1.1.2 地形因素

隧道在具有穿山越岭优越性的同时，其所属位置往往不可避免的经过地层覆盖过薄、沿河傍山、浅埋偏压、地表水丰富等不利地形，而这些地形经常导致隧道围岩稳定性差、隧道结构两面载荷不对称等情况，在施工过程中一旦由于施工技术不当，很可能会导致隧道坍塌事故。

1.1.3 地下水作用

隧道工程经常在山坳和沟谷处修建，而这些地方又是地下水汇集的主要地点，地下水的溶解、侵蚀会使岩层稳定性削弱，相应岩石的硬度也会大打折扣。同时，隧道施工过程中可能经过暗河、水囊等富水地段。水流等进入到破碎岩体中，使岩体

间的凝聚力和摩阻力降低，进而使围岩—支护体系的稳定性降低，隧道表面压力增大，进而造成坍塌事故。

1.2 主观原因

1.2.1 勘察设计不到位

在隧道工程设计过程中，受隧道设计经验和水平限制或隧道勘察阶段对地质情况掌握不准确，对施工阶段可能遇到的复杂地质条件等情况预测不到位，导致设计的支护、开挖方法不恰当，进而容易引发施工塌方事故。

1.2.2 施工原因

由于隧道的地质情况具有多变性，施工方法、施工组织不力等可能会导致隧道塌方事故。主要包括以下几个方面：①施工过程中，由于隧道开挖完成后，初期支护不及时、不合格，围岩—支护结构的稳定性不够，从而诱发隧道塌方事故。②当隧道穿过不良地质地段，由于没有对前方地质状况进行全面的了解和分析，从而没有采取合理的防排水措施和超前支护，或未及时进行开挖方式调整。③由于钻眼精度和装药量控制不严格，爆破震动超出阈值，且在开挖完成后没有对围岩采取必要的保护措施。同时，由于施工组织能力差，管理水平落后等管理原因也是可能会导致隧道倒塌事故。

2 隧道工程关键环节及坍塌风险防控重点

2.1 进洞

隧道进洞前应先施工边坡截水沟、排水沟,形成完善的排水系统,以减少水流对洞口的冲刷。同时,截、排水沟应采取防止渗漏和变的形措施。边仰坡开挖应逐级开挖逐级防护,开挖过程中应时刻注意坡面稳定性。明洞开挖采用分层小切口方式进行,开挖到成洞面附近时预留核心土,进洞前应加强洞口周围边仰坡的喷锚防护。隧道洞口区域危的危石、孤石等应清除。在施工过程中,还应积极关注地质情况与设计要求的相符程度,如果和设计存在较大差异,应该及时反馈。

2.2 超前地质预报

隧道超前地质预报是前方地质进行预测,并提前做出应对措施的关键,应坚持“先探后挖、不探不挖、有疑必钻”的原则。通常采用地质雷达、TSP中远距离预报和近距离超前探孔相结合的方式。首先采用TSP隧道地震探测仪提前150~200m进行远距离较宏观的预报,对于初步判断的富水软弱断层破碎带、岩溶发育区等,采取地质雷达提前20~30m探测。结合TSP和地质雷达的预报结果判断是否有必要打探孔。通过分析出水流量、水压、水温等信息,结合地质雷达判断前方岩体情况。

在含水量较大区域进行钻孔时,如果发现岩体掉块,钻孔中的水压、水量突然增大时,应立即停止钻孔。当出现突发情况时,应立即撤出所有危险区域的施工人员。

超前地质预报工作应纳入施工工序进行管理,通过细致的勘察工作获取精确数据,预报结果与设计地质情况进行比对,根据现场实际情况及时进行设计方案优化、支护方式调整等工作,确保设计—施工动态管理。

2.3 洞身开挖

矿山法隧道施工开挖通常采用光面爆破,钻爆设计应根据不同的地质情况和围岩级别,确定炮眼的位置、深度以及起爆顺序等参数,必要时还应进行爆破试验,在施工过程中根据地质变化情况不断修订和完善设计,调整钻爆参数,使开挖爆破达到预期的效果。

洞身开挖应严格控制循环进尺,III级围岩控制在3m左右,IV、V、VI级围岩采用台阶法施工时,台阶高度应控制在2.5~3.5m,V、VI级围岩上台阶开挖、支护每循环进尺大应于1榀钢架间距,IV、V、VI级围岩上台阶开挖、支护每循环进尺大应于2榀钢架间距。仰拱开挖每循环进尺不得大于3米,且开挖前应完成钢架锁脚锚杆施工。

在每一次开挖完成后应通过观察判断围岩等级和岩体稳定性,并与设计的地质情况进行核对。当地质条件与设计不一致的,应及时与设计沟通并调整开挖方式和超前支护形式;与

设计一致的,应严格按照设计的开挖方法和工艺要求。

2.4 支护

目前在隧道设计中,围岩是支护主体,隧道开挖后通过人工干预使围岩-支护达到受力平衡,因此支护的本质作用是“辅助围岩承载”和“调动围岩承载”。隧道施工会打破之前的应力平衡,导致围岩应力重新分布和变形破坏。当围岩无法自我平衡保持稳定时,就需要外部干预的手段,来补偿施工造成的额外荷载。支护是隧道施工中最重要的环节之一,是后续铺设路面等设施的安全保障。

根据支护和围岩的特点,可将“围岩-支护”作用分为三个阶段:即超前支护与围岩作用、初期支护与围岩作用、二衬与初支之间的荷载调整过程,即支护与围岩作用趋于平衡的过程。从围岩变形、破坏和支护结构系统的影响可以看出,其非线性特点十分明显,其核心是保持整体变形协调。在支护与围岩的共同作用下,任何一个构件的失稳都有可能影响整体平衡,容易导致坍塌等事故。

2.4.1 超前支护

通过在掌子沿隧道开挖轮廓线外一定范围内,进行预加固的支护结构。超前支护是对前方岩体进行加固,防止隧道在开挖过程中发生塌方的主要手段,为保障施工质量,施工时应安排专人进行旁站监督。III、IV、V级的围岩,首先是对松散体、水囊、空洞进行注浆加固;其次根据超前地质预报结果及设计要求设置支护形式,管棚、小导管、锚杆的长度、环向间距和注浆质量是超前支护质量的控制重点。

2.4.2 初期支护

软弱围岩隧道开挖后必须及时进行喷锚支护,以有效保持围岩稳定性。洞身开挖完成后及时搭设钢架并挂网喷射浆。钢架间距应符合设计要求,同时设置纵向联系构件,及时落底并施作锁脚锚管,在施工时在保证总数量不变的情况下加强锁脚、边角,确保拱脚基础稳定、坚实。初喷应分层进行,控制分层厚度,一次喷射混凝土应以不滑落不坠落为度,并保证喷射质量,喷射完成后应确保表面平整(防止在二衬施工时出现脱空现象)。当使用钢拱架时,喷射混凝土应仔细,特别注意钢拱架与围岩之间的空隙尽量填满。

初支完成后应每天不间断进行观察,主要内容如下:钢拱架是否受压变形,有无拱脚下沉和拱脚位移情况;初喷表面有无裂缝和渗漏水现象,尤应注意是否发生剪力破坏;有无垫板陷入初喷内部或锚杆被拉脱的情况。

2.4.3 仰拱及二次衬砌

初期支护完成后,为尽最大可能减少其变形,仰拱紧跟开挖面尽快组织施工,并封闭成环。在二衬施工前应对初支面进行检查,确保初支面平整,防水板挂设应紧贴初支面,同时,

在二衬施工过程中应在模板台车上合理布置振捣器，确保在混凝土浇筑过程中振捣密实，以防止二衬混凝土厚度不足或有拱顶脱空现象。仰拱及二衬施工还应严格控制防排水设施施工质量，纵向、横向排水管及环向盲管之间应连接牢固，形成一个有效的排水系统。特别注意中埋止水带、背贴式止水带的焊接质量的检查。

安全步距控制是确保隧道支护稳定，防止坍塌的重要措施，是“短进尺、强支护”原则的体现。随围岩等级的降低，安全步距的保持难度逐渐增加。应合理组织各项工序，形成流水作业，严格控制开挖进尺，确保二衬和仰拱能跟进。二次衬砌施工完成后应关注混凝土表面有无裂纹产生和渗漏水现象，特别应注意有无纵、横向裂缝的产生。安全步距要求如下：

表 1 安全步距要求一览表

序号	围岩等级	仰拱步距(m)	二衬步距(m)	备注
1	I、II	/	200	
2	III	90	120	
3	IV	50	90	
4	V、VI	40	70	

2.5 监控量测

监控量测应作为关键工序纳入施工管理，通过有效的监控量测手段，对围岩、支护体系实时量测，保证支护结构处于正常状态，防止坍塌事故。隧道开挖后应立即布点进行监测，通过量测结果评估围岩、支护体系的稳定状态。同时，将监控量测结果及时反馈设计，在此基础上确定和调整开挖—支护方式。监控量测必测项目有：洞内外观察、拱顶下沉、净空变化

（周边位移）、地表沉降。其中洞内观测包含上文 2.3 中对开挖面岩层结构和是否涌水情况的观察以及对支护结构的观测（上文中 2.4、2.5 中对初期支护和二次衬砌等的观测）；洞外观察主要在进洞段或洞身浅埋段进行，其观察内容应包括：地表开裂，地表沉陷以及地表积水和排水情况等，同时应特别关注地表贯通性裂缝的排查。

表 2 仰拱隆起、拱顶下沉、周边位移监测断面设置要求一览表

序号	围岩等级	监控量测点布设距离(m)	备注
1	III	40~60	监测点应布设在距开挖面 2m 的范围内，保证在下一次爆破前或爆破后 24 小时内完成初次读数。
2	IV	20~40	
3	V	15~20	

3 结语

隧道塌方的原因是复杂多变的，每一处塌方都有它特定的工程环境和自身的特点。公路隧道工程在实施中存在很多不确定性，或是由于地质条件，或是由于技术原因或是由于施工组织原因，各种风险耦合导致塌方事故发生，所有工程的实施都应在完善、周密的防范措施下进行，只有安全生产的各项要求得到保障，相应的工程施工才能稳定高效推进。

在隧道施工过程中面对客观原因应足够重视采取合理应对措施，同时杜绝主观原因，准确的地质勘探、可靠的设计方案、合理的施工组织是防止隧道坍塌的关键。同时，隧道施工不是一成不变的，应根据情况及时进行动态调整，要善于利用隧道监控量测和地质预报技术，将地质预报和量测结果及时与设计情况进行核对，随变化调整开挖和支护方式，借助广泛的施工经验，有效防范坍塌风险。

参考文献：

- [1] 张玉印.浅埋隧道施工方法和措施探讨[M].中国科技纵横,2014(23).
- [2] 齐广林,吴风,周旺.公路隧道浅埋段塌方冒顶的预防与治理[J].森林工程,2009,(05).
- [3] 彭爱红,王琛,俞文生.梅沙隧道洞口塌方原因分析及治理[J].公路交通技术,2009(5).
- [4] 周四方.公路隧道塌方处理方法探究[J].四川水泥,2018(04):64.
- [5] 刘新强.寒冷地区公路隧道软弱围岩塌方段的施工技术分析[J].工程技术研究,2018(03):57-58.
- [6] 李唐军,王占强,郑建林,刘向阳.公路浅埋隧道塌方冒顶处理方法[J].城市建设理论(电子版),2017(36):140-142.