

高速铁路软弱围岩隧道下台阶带仰拱一次开挖 技术分析

贺 灿

(中交第三航务工程局有限公司交建分公司, 上海 201900)

摘要: 当采用传统台阶法针对软弱围岩隧道施工时, 针对仰拱的开挖与初期支护均会作为独立工序, 这便极易引发因初支封闭不及时所导致的变形、掉拱、塌方等事故。基于此, 本文将主要以高速铁路为例, 针对如何在软弱围岩隧道有效应用下台阶带仰一次开挖施工技术展开相关探讨研究。

关键词: 高速铁路; 软弱围岩; 台阶法

中图分类号: TN929.5 **文献标识码:** A

在隧道施工中, 正确选择隧道施工的开挖方式是决定隧道施工结构稳定性和消除工程安全隐患的主要因素。在隧道施工的整个过程中, 如果遇到软弱围岩, 一般采用台阶法或其他不同的分阶段开挖方法, 这种开挖施工技术在软岩隧道施工过程中起到了至关重要的作用, 而且由于我国隧道工程技术的快速发展, 该技术已逐步得到完善^[1]。

1 研究背景

台阶法是现阶段铁路隧道工程整个施工过程中常用的方法, 由于我国隧道工程的快速发展, 施工技术不断提高, 因此, 台阶法的安全系数以及施工的主要参数非常重要。选择三维模拟方法研究不同台阶高度下隧道施工的浮顶基础沉降、找平收敛和挤压变形, 在相似断面和地质环境下, 隧道施工台阶的开挖高度以总宽度较大者为最佳高度, 上台基开挖高度为0.65乘以隧道施工开挖高度相对较好。有限元分析强调了台阶法隧道施工过程中围岩变形的规律性, 根据隧道施工洞室变形及早期基坑支护结构应力变化趋势分析, 明确提出长5~8m、高5m的短步法施工。众所周知, 在采用传统台阶法时, 前期的底坑开挖和基坑支护是作为单独的工艺流程存在的, 一般与工作面开挖过程不重合, 即逆向开挖。下台阶开挖, 会造成安全管理、施工时间、安全水平距离等方面的不良隐患, 独立开挖倒拱容易造成初期支护变形过大、拱落、倒塌等安全生产事故, 因初始支护闭合不当而导致的封闭, 会给隧道施工带来安全隐患。此外, 在掌子面开挖过程中, 充分考虑道砟和物料安全通过的空间要求。逆开挖施工和掌子面开挖会不可避免地产生相互影响, 从而影响循环系统的时间。操作会导致危险发生。最终, 《关于进一步明确软弱围岩及不良

地质铁路隧道设计施工有关技术规定的通知》(铁建设〔2010〕120号)要求“隧道施工初期的基坑支护应立即建成并封闭成环状, IV级和V级封闭部分之间的距离围岩不应小于35m”。这对施工步距的卡控提出了极高的要求, 也对现场施工的有序开展造成了较大的约束^[2]。

2 工程概述

阿公石二号隧道地处广东潼湖境内, 线路走向为西南向, 当地地貌主要以丘陵为主, 局部较为陡峭, 隧道穿过砂岩地层。该工程里程为DK365+589—DK367+670, 隧道全长2081m, 沿线地形标高57.6~289m。隧道埋深最深处为218.0m。开挖断面总面积大, 开挖跨度大, 开挖高度高, 必须选择优良有效的开挖方法和加工工艺, 以保证施工安全和合理的结构承载力。各围岩典型的开挖方法有II级围岩全断面开挖、II级围岩两步开挖、IV级围岩三步开挖、V级三步开挖围岩临时反底开挖和独立反底开挖。下台阶侧壁在倒底20m处, 侧壁降到回填土底部, 监测点位于侧壁上部, 测量结果不能反映悬臂部分的收敛或变形。通常, 变形和墙体的积累会造成很大的变形, 甚至在倒拱开挖后倒塌, 开挖台阶长、高布置不科学, 极易造成变形、不平衡, 也不利于充分发挥工序的高效率。某铁路6号线工程隧道施工位于龙门山中断裂与后山断裂之间。较大的地基埋深745m。围岩以千枚岩为主, 夹碳质千枚岩和灰岩, 构造复杂。地质构造多变, 节理生长发育, 石料受压弱, 易因挤压而产生较大变形。上台阶高度为4.45m; 中、下台阶各3.10m三步开挖, 上、中台阶长5m, 下台阶长10m, 倒置二衬2~3环; 第一次闭环成型时间为16d。整个开挖过程中, 浮顶下移

45~97.9mm, 上台阶收敛值为188.4~303.8mm, 中台阶收敛值为149.9~446.1mm, 下台阶收敛值为200.7~270.2mm。收敛变形严重超标^[3]。

3 考虑施工工效的台阶高度的选择分析

3.1 关于提高炮眼布设效率的台阶高度选择

试夯工程施工方法的实际过程为: ①同时在上、中、下三个台阶上布设炮眼; ②进行工程爆破道砟工作, 提高炮眼布置的高效性, 从而提高整体运营效率。在其他情况下, 爆破孔的数量与开挖面的总面积成正比。为了更好地完成炮眼三步同时布置, 降低了下台阶的高度, 调整了上台阶高度。上、中、下台阶高度分别为3.9m、3.3m、3.7m。调整台阶高度后, 浮顶基础的沉降和收敛变形均小于1cm, 工程施工安全可靠。调整台阶高度后较大的内压应力为7.46MPa, 低于抗拉强度设计值12.5MPa, 较大的抗拉应力为0.98MPa, 低于抗压强度设计值0.98MPa, 基坑支护结构安全可靠。不难看出, 变形和耐力并不是限制台阶高度的基本参数, 加深炮孔孔贯通, 炮孔长度5~6m, 孔深应较爆破孔(或循环进尺)深3m以上。可同时进行三步布置炮眼, 提高工程施工效率^[4]。

3.2 关于提高扒砟效率的台阶高度选择

在试夯工程的施工方法下, 下台阶工程爆破后, 必须利用工程爆破的虚拟道砟产生坡度, 供机械设备将原材料运上台阶和装配平台。倒拱初期支护施工时, 应将虚拟道砟吊运, 施工完毕后, 应回填虚拟道砟, 当下一个循环逐渐进行时, 必须提升虚拟压载物进行炮孔布置。因此, 一个开挖循环系统涉及两次扫气、二次回填, 在一个循环系统中较低台阶的扫气和回填占用的时间较多, 对其他工艺流程的影响较大, 较大的拉压内应力远低于抗压强度和抗拉强度的设计值。因此, 下台阶的高度具有很大的可调性, 降低下台阶高度后, 每一代斜坡所需的道砟量就会减少, 这样每次清扫劳动量都会减少, 也达到了提高工程施工效率的目的^[5]。

4 考虑施工便利的台阶高度与长度的选择

(1) 上、中台阶长度的选择充分考虑了施工作业的室内空间和工程爆破后机械设备的高效率等因素, 上台阶立拱时, 简易拼装平台(一般为2~3m)、现浇梁、钢丝网、锚索等原材料和机械必须由挖掘机在所有台阶上方运输。如果台

阶之间的距离太短, 则会损坏原材料, 影响机器设备的放置和员工对室内空间的使用。上、中台阶爆破工程后, 将挖掘机置于中台阶上, 将上台阶道砟提升至中台阶。如果上台阶的长度过长, 会损害叉车的实际作业半径, 增加其移动距离和放置频率, 压载效率高。因此, 上、中台阶的长度宜为4~6m。(2) 倒拱。栈道尽头的台阶下坡应调整为20~25m, 以保证有足够的室内空间供机械设备压载和湿喷机械手的使用。上、中梯级逐步架设时, 一般采用一台装载机和一辆道砟车对下梯级进行压载作业, 上、中梯级锚固喷涂时, 采用喷浆机械手和搅拌车。泥浆搅拌车应到楼下。(3) 上台阶施工的关键是要考虑挖掘机压载工作的高效率和湿喷机械手, 台阶高度明显4~5.5m, 采用简易拼装平台工程施工; 中、下台阶(包括倒拱)辅以直梯, 工作中考虑到人工钻孔和架设现浇梁实际操作方便, 台阶高度不宜太高, 上层爆破后挖掘机位于中间台阶和中梯级, 上梯级的道砟被提升到中梯级。中间台阶高度过高, 危及叉车的实际作业半径, 影响道砟施工的高效率。因此, 中间台阶的高度应为2.5~3.5m。充分考虑隧道施工的断面高度一般为10~12m, 因此下台阶(包括倒底)的高度宜为3.5~4.5m^[6]。

5 隧道施工过程荷载释放规律

5.1 全断面开挖围岩荷载释放过程

在隧道施工和开挖的整个过程中, 同一断面不同部位的围岩承载力得到释放, 整个过程有很大的不同, 一般来说, 浮顶和底板围岩承载力的释放要早于边墙释放: 由于隧道施工和开挖的振动, 正前方的围岩将造成优先偏差, 也会产生优先承载力集中, 而隧道壁不同部位的优先承载力集中不同于整个过程。整个过程是在开挖后的两个循环系统内产生的。侧壁的切向承载力基本在一个循环系统中释放, 力量释放得更轻; 因此, 隧道开挖面周围浮顶和边墙的承载力在整个过程中呈现较大的释放, 分别占总承载力的75%和90%。另外, 隧道支护不及时易坍塌, 坍塌时应立即撤离掌子面人员, 建立安全警戒线, 安排专人进行安全巡查; 加固坍塌部分后部围岩, 可采取增加环向支撑、横竖向支撑以及扇形支撑等措施防止坍塌加剧, 以免造成成段垮塌甚至隧道冒项; 加强坍塌位置后部围岩的监控量测, 可适当加大量测频率及加密量测断面, 并根据量测资料

调整安全警戒范围；根据坍塌情况，采取掌子面堆载反压、封闭掌子面等措施防止坍塌加剧造成冒顶，同时立即上报相关单位，确定处理方案。

5.2 台阶法开挖围岩荷载释放过程

与全断面开挖类似，在阶梯法后的循环系统中，浮顶围岩最先逐渐释放其承载力，浮顶和边墙围岩最先释放产生应力，浮顶最先承受荷载。力的最大值有较高的增加率，约为原内应力的115%，侧壁约为105%。基坑支护结构的施工可有效降低开挖前承载力的集中，降低浮顶承载力的集中率，增加承载力集中的机会，减弱掌子面的挤压作用，并确保浮顶的周围岩体稳定。基坑支护结构的施工提前了边墙和底板围岩承载力释放的开始时间，合理地降低了承载力释放速度。承载力的释放速度与相同标准下无基础的释放速度大致相同^[7]。

5.3 断面荷载释放状态分析

在全断面开挖中，工程施工仅对围岩造成一次振荡。隧道施工开挖后，调整围岩的内应力，使其达到二次内应力，围岩在衬砌结构的极限下最终达到稳定的状态。在阶梯法施工过程中，在整个开挖过程中，围岩会受到多重危害。围岩内应力将由全断面的二次调整变为更复杂的三次甚至四次内应力工况调整。在此过程中产生的部分应力使部分围岩达到自身的强度极限或塑性不平衡，造成隧道施工结构或衬砌结构的破坏^[8]。

6 三台阶带仰拱开挖工法技术要点和效果分析

6.1 工法优点

在仰拱过程监管中纳入倒立的初期支护，减少倒立的独立开挖工序，减少倒立工程的建设时间。立即关闭基坑支护管理系统，施工跨度达到铁建设〔2012〕120号施工文件要求，确保掌子面施工的连续性。充分利用各工艺流程并行运行的优势，同时减少独立逆向开挖对其他工艺流程的影响，提高作业效率。与独立开挖倒拱相比，倒拱位钻孔工作扩大了工作空间，有利于主孔外嵌角的精确操控，合理地提高了成型质量。

6.2 工法特点

“工程爆破二次，压载三次，混凝土喷洒二次，各工序并行运行。”下台阶带倒置工程爆破一上、中台阶筒体，同时连接后，工程爆破一通风，上台阶道砟，下台阶道砟一上台阶架，中台阶道砟来自下台

阶一上、中台阶同时进行拱形基坑支护、下台阶道砟一上台阶水泥稳定土一中、下台阶喷射混凝土一精确测量钻孔中上台阶、下台阶带倒拱，下台阶区倒拱爆破、钻孔、水泥稳定土^[9]。

6.3 效果评价

根据项目3号横向隧道施工区实际活动数据分析，技术一级钢框架结构闭环控制时间从16d减少到8~9d，一次性开挖阶梯倒拱，防护变形，从98~446mm减少到8~17mm；开挖进度从30m/月增加到55m/月。

7 结束语

通过分析杨家坪隧道三步倒拱一次性开挖施工技术的现场实践活动，得出以下结果：倒拱三台阶法具有减少初始支护闭环控制时间、合理控制围岩变形、加快工程进度、在软岩隧道施工中对变形的操纵有较大的作用，有效厘清台阶长、高，适时调整措施，有利于工程建设的实际操作。带仰拱三台阶法能够有效避免下台阶落底后边墙脚悬空现象。带仰拱一次开挖后应立即施作仰拱支，尽量缩短双侧墙脚钢架同时悬空的时间。

参考文献

- [1] 秦余顺, 严军. 软弱围岩隧道快速施工技术研究[J]. 水利水电施工, 2012(6): 97-99.
- [2] 马兆云, 余云燕. 高地应力软岩隧道仰拱施作方法研究[J]. 兰州交通大学学报, 2019, 38(3): 13-20.
- [3] 王庆建. 玉磨铁路破碎板岩隧道开挖工法优选研究[J]. 高速铁路技术, 2019, 10(2): 33-37.
- [4] 陈仁超. 铁路隧道软弱围岩短台阶开挖快速施工技术应用[J]. 高速铁路技术, 2016, 7(1): 84-90.
- [5] 陈小华. 地铁硬岩隧道短台阶带仰拱一次开挖施工技术[J]. 四川水泥, 2019(1): 266-267, 312.
- [6] 刘立明. 大跨度软弱围岩隧道变形控制技术[J]. 四川建筑, 2021, 41(3): 208-210, 214.
- [7] 陈航. 软弱围岩隧道开挖及支护施工技术[J]. 四川建材, 2021, 47(11): 90, 98.
- [8] 周祥文. 软弱围岩隧道锚杆施工技术优化分析[J]. 黑龙江交通科技, 2021(8): 97.
- [9] 杨勇. 浅析软弱围岩隧道坍塌处理施工工艺[J]. 中国公路, 2021(9): 76-77, 80.