

三臂凿岩台车下仰拱与掌子面一体开挖技术分析

刘松岭

中铁十五局集团第二工程有限公司

摘要：三臂凿岩台车下仰拱与掌子面一体开挖技术是一种新的隧道开挖方法。该技术优点包括：环境污染较小，安全系数高，能耗较低等。在大断面、长隧道以及围岩条件为二至四级的情况下，都是适用的。在施工过程中，可以有效减少对周围环境的影响，同时也提高了施工的安全性。此外，该技术的能耗也要比传统的开挖方法要低得多，这对于环境保护和节能减排都是非常有益的。同时，该技术能够提高施工效率、降低成本、保证开挖质量，有助于推进工程建设的可持续发展。

关键词：隧道开挖；三臂凿岩台车下仰拱与掌子面一体开挖；施工技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.17.011

前言

随着经济的发展，我国的交通运输也得到了很快的发展，现在全国的交通运输网遍布，方便人们的出行和运输。在如今的隧道开挖施工中已经开始采用新的技术、工艺和机械，传统开挖工艺很慢满足现代的施工要求。三臂凿岩台车的施工工艺具有很好的应用优势，其不但对环境比较友好，而且具有很高的安全系数，且节能，和现在提倡的绿色施工更加的符合，和传统的隧道开挖方法相比其优点不言而喻，因此三臂凿岩台车的施工工艺是非常具有推广价值的，具有很好的应用前景。

根据股份公司“1234+”及集团公司相关管理要求的“专业化、工厂化、机械化、信息化”四项支撑，积极推行“机械换人、智能化减人、信息化无人”的施工理念，实现“创誉创效”的目标。同时响应交通部淘汰落后工艺，关于特长隧道必须使用机械化施工的要求，为打造成九项目施工管理亮点，提升公司在湖北地区的品牌效应和核心竞争力，湖北咸九高速项目部于2022年11月在九宫山2#隧道进口工作面投入使用了2台铁建重工生产ZYS113全电脑三臂液压凿岩台车。

常规的手持YT-28型风动凿岩机在小断面、短隧道、围岩地质较差的施工条件下目前还是有一定的优势；而凿岩台车在大断面、长隧道、II级、III级及IV级围岩条件下，则具有钻进速度快、机械化程度高、噪音空气污染少、安全性能高等优点。钻臂具备全方位平行保持功能和精确的直接定位技术，超欠挖控制可以达到11~15cm，使其光爆效果远高于人工开挖，能严格控制开挖质量，大大降低了喷射混凝土用量，也一定程度上降低了成本。操作人员在驾驶室内操作钻机，离掌子面有十几米远，且驾驶室上面有安全顶棚保证人员安全，可防止落石伤人，安全系数明显比人工风钻开挖高。凿

岩台车开挖采用电力作动力，不产生粉尘，对空气状况改变不大，清洁无污染，只有一定量的噪音，与风钻相比，噪音比较小，操作人员可戴上防噪音弹性耳塞，可大大减少噪音对人体的伤害。

传统开挖方式一般分掌子面、仰拱两次开挖，仰拱开挖与掌子面作业存在交叉作业，开挖进尺受规范要求的3-5m无法进尺过大，影响施工工效、安全步距超标等。

一、三臂凿岩台车下仰拱与掌子面一体开挖适用范围及工艺原理

(一) 适用范围

仰拱与掌子面同步开挖，特点是每循环“一次爆破、一次出渣、各工序平行作业”。节约时间，提高工效，满足了规范要求的仰拱开挖进尺，解决了仰拱步距对于开挖进度的影响。

凿岩台车在实际应用中具有很大的优势，其不但具有很好的光爆效果，而且效率也相对比较高。但是凿岩台车更加适用于II、III级围岩的无拱架的全断面或台阶法开挖，其能够更好的发挥出其效果。在进行应用凿岩台车的时候，将会配置1台凿岩台车在公路单线断面隧道，2台凿岩台车在高铁双线隧道台阶法或全断面法开挖。

(二) 工艺原理

根据新奥法施工原理，隧道开挖掘进主要时候同时使用两台铁建重工生产的三臂凿岩台车来进行，然后采取光面爆破一次性开挖作业，从而尽可能的避免对周边围岩造成再次的扰动。施工的时候可以使用全断面或台阶法来展开施工，而且因为地质条件的差异，可以根据实际情况来选择最优一次开挖进尺，保证施工质量和效果。

二、三臂凿岩台车下仰拱与掌子面一体开挖施工工艺流程及操作要点

(一) 施工工艺流程

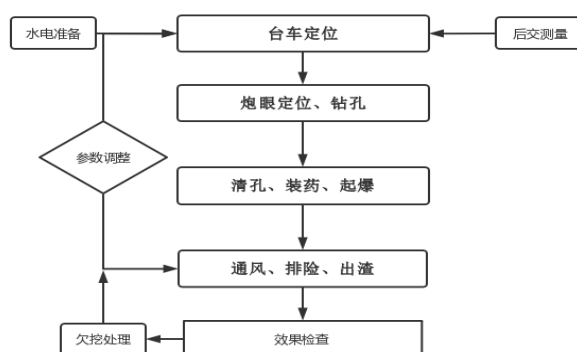


图1 工艺流程图

(二) 施工要点

(1) 台车定位

台车工班接到进洞通知后，操作人员驾驶凿岩台车进洞，同时辅助工开始进行水电准备，台车就位后，利用台车自带的测量功能进行后方交会法放样，定位隧道中线位置、高程。整个过程需要30分钟左右。

为确保钻杆有最大的外插角，台车就位时钻杆距离掌子面一般为1-2m。

(2) 钻孔

台车就位后，按照导入的炮眼布置图，由操作人员控制手柄进行自动对孔进行作业，钻孔顺序为下图所示。

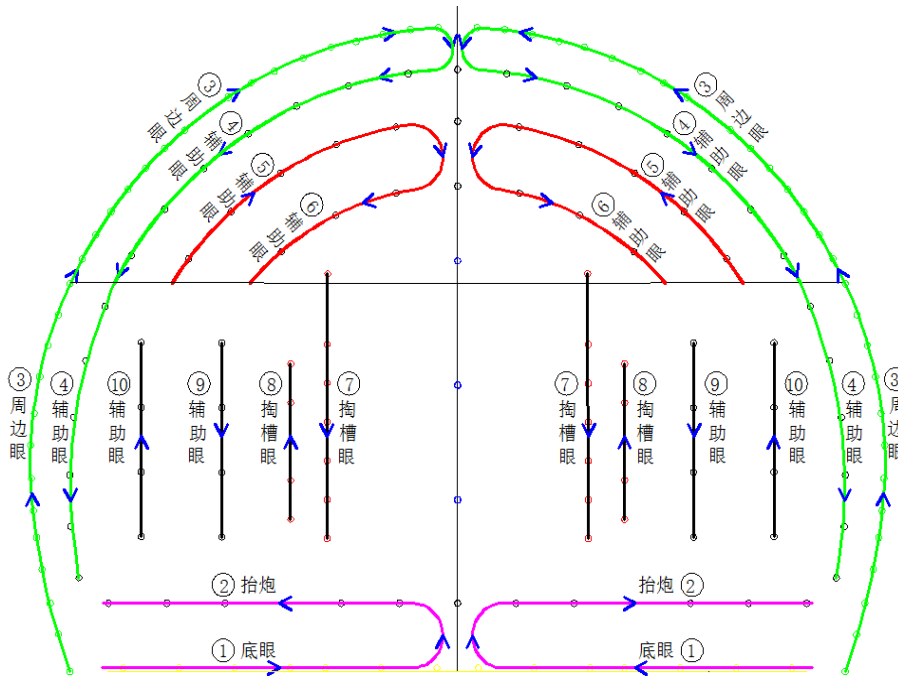


图2 钻孔示意图

1) 因为围岩多变的属性，钻孔的质量将会对光爆效果造成较为直接的影响，需要安排专人来进行负责指挥协调。从而提高提高施工人员思想意识、更好的确保施工质量。

2) 凿岩台车钻孔孔径为45mm，同时拱部一共有7个扩大眼，而且扩大眼主要是布置在掏槽眼两侧；

3) IV级围岩全断面光面和III级围岩全断面光面爆破开挖进尺最佳分别为3.0m/每循环和3.6m/每循环；

4) 残眼率是光面爆破控制的一个非常重要的指

标，一定要保证炮孔残留线性一致，钻进的时候一定要根据上次炮孔位置来进行钻进；

5) 本循环出渣完毕后便可以进行爆破效果考核，炮孔残留率、周边眼外插角与坡度角等是考核的主要内容。

6) 光面爆破成型的关键控制指标便是周边眼间距，为了保证开挖效果，那么操作手在实际的对孔操作过程中一定要根据炮孔布置图来进行，同时还要对周边眼间距进行把握。

表1 光面爆破参数表

岩石种类	周边眼间距E (cm)	周边眼最小抵抗线W (cm)	相对距离E/W	装药集中度q (kg/m)
极硬岩	50~60	55~75	0.8~0.85	(0.25~0.3)
硬岩	40~55 (50)	50~60	0.8~0.85	(0.15~0.25)
软质岩	30 (35)~45	45~60	0.75~0.8	(0.07~0.12)

(3) 清孔、装药、起爆

清孔采用凿岩台车的机械臂进行，简单、方便，装药时应严格按照规范要求进行。

1) 项目部在前期爆破掘进中超挖和超爆主要体现在两个区域：拱肩和边墙。

拱肩是因为在进行钻进施工的时候，其角度没有控制好，从而使得超欠挖过大。边墙是因为没有控制好药量，从而使得其很难基本成型，因此在光面爆破施工的

时候，需要将拱肩和边墙作为重点来进行调整。

周边眼装药的连接方式主要使用的便是导爆索连接分段式不耦合连接。

2) 周边眼的装药量一定要根据要求来控制，绝对不能出现多装和少装，而且一定要保证装药的质量，而且要将其送至指定位置，并且还要做好炮孔的封堵工作。

光面爆破的炮眼痕迹保存率：中硬岩≥60%，硬岩

≥80%。

3) 在装药的时候一定要根据要求的顺序来进行装药, 千万不能随意的进行装药的操作。

4) 爆破起爆顺序一定要保证中心掏槽的起爆效率, 特别要注意的是周边眼可分区域两次爆破, 一定要控制好爆破的效果。

(4) 效果检查、超欠挖处理

钻爆设计允许线性超挖值: III级围岩15cm(拱墙综合平均), 隧底、仰拱15cm。对欠挖进行有效的控制。

1) 在进行光面爆破的时候, 一定要保证前两个循环炮眼残留率达到一定的标准, 一般要达到98%, 同时还要控制好钻机角度和坡度。

2) 超欠挖是绝对不允许展开一次性修正, 因为这样能够在一定程度上防止出现超欠挖部位的错台; 超欠挖一定要进行逐步的调整, 这样才能够更好的保证整体轮廓线的平顺, 保证施工质量。

3) 在对隧道欠挖进行处理的时候, 如果欠挖值没

有超过10cm的情况下, 那么便可以使用钻臂来处理, 这样可以防止出现其他的问题。

三、应用实例

三臂凿岩台车在咸九高速九宫山2#隧道中采用仰拱与掌子面一体开挖技术, 工序干扰少、污染小、效率高, 解决了仰拱一次开挖进尺过大的通病, 加快了隧道进度, 缩短了仰拱与掌子面安全步距, 是一种较为经济、实用的施工工艺, 值得推广。

(一) 工程概况

九宫山2#隧道为咸九高速公路的控制性工程, 位于湖北省咸宁市通山县九宫山镇周家湾村境内, 终点位于省界交接处, 里程K46+641, 为一座分离式双向四车道高速公路隧道。我单位施工湖北境内段落, 左线长度3331.9m; 起讫里程ZK43+297~ZK46+628.889, 右线长度3307.6m; 起讫里程YK43+280~YK46+587.635, 其中在主线上洞交叉里程ZK45+140处设置斜井1处。

隧址区位于构造侵蚀中低山-丘陵地貌单元, 隧道

表2 围岩级别占比汇总表

隧道名称	隧道长度	III级长度及占比	IV长度及占比	V长度及占比	
九宫山2号隧道	左线	3331.889	1300/39%	1786.889/53.6%	245/7.4%
	右线	3307.635	1450/43.8%	1610.635/48.7%	247/7.5%
	合计	6639.524	2750/41.4%	3397.524/51.2%	492/7.4%
岩性特征		强度高、完整性好裂隙不甚发育	强度较高、完整性般、裂隙较发育	强度较高、完整性差、裂隙很发育	中风化石英岩、片岩

大角度斜穿陡坡; 隧道洞身穿越段地表整体呈波状起伏, 高差较大, 最低标高约290m, 山顶标高约980m, 最大埋深690m。隧道进洞口所在斜坡坡向约323°, 缓坡坡度为15~25°, 陡坡坡度为40~50°, 处于沟谷两侧岸坡。

(二) 应用效果

采用三臂凿岩台车实现仰拱与掌子面一体开挖, 施工方便、快捷, 在相同围岩条件下, 与分次开挖相比有以下优越性:

(1) 同步的推进仰拱与掌子面, 不但能够将各工序平行作业特征有效的体现出来, 而且还能够在一定程度上使得其他工序免受仰拱单独开挖的影响, 在一定程度上使得总循环时间减少, 进而实现工作效率的进一步提升;

(2) 对仰拱施工工作面进行有效的保证, 在一定程度上缓解了仰拱施工步距对掌子面的制约, 实现了掌子面推进速度的进一步提升。

(3) 掌子面带仰拱一次开挖成型, 减少补炮概率。

(4) 仰拱混凝土施工前出渣、架栈桥较快, 而且道路中断的时间也不是很长, 并不会对掌子面施工造成影响。

(5) 凿岩台车成孔具有较快的速度, 而且并不会

加重机组人员劳动强度, 同时还能降低他们的劳动强度, 且掌子面具有的噪音相对比较小又比较环保;

四、结论

凿岩台车在特定条件下, 钻进速度相对较快, 而且污染小。采用仰拱与掌子面一体开挖, 实现了“一次爆破、一次出渣、各工序平行作业”真正意义上的全断面开挖, 减少了工序干扰, 节约了施工时间, 提高了工效; 对于成本控制, 为了有效降低成本可以通过提高工作效率和工作水平来实现, 采用三臂凿岩台车进行掌子面与仰拱一体开挖的施工工艺可以更好的实现社会、经济效益的双丰收, 具有很大的推广价值。

参考文献

[1] 余进, 梁建, 何力强, 等. 三臂凿岩台车在隧道开挖施工中的应用研究[J]. 西部交通科技, 2022(11): 4.

[2] 林广东, 何军, 申小军, 等. 新型三臂凿岩台车在特长山岭隧道开挖中的应用[J]. 山西建筑, 2021, 47(24): 4.

[3] 樊建生, 陈鑫鑫. 基于ANSYS的三臂凿岩台车便拆式吊篮仿真设计[J]. 机电工程技术, 2023, 52(3): 4.

[4] 王康. 三臂凿岩台车在隧道中心深埋水沟开挖施工中的应用[J]. 工程技术研究, 2020, 5(4): 3.