

# 市域铁路隧道悬臂式掘进机施工研究

崔景凯

(中交一航局城市交通工程有限公司)

**摘要:**为了探寻提高市域铁路隧道施工速度和安全性的新工艺,以台州市域铁路S1线工程暗挖隧道为依托,从悬臂式掘进机的选用、施工组织改进、不同施工工艺的功效对比、施工工艺的优化等方面,着重分析了其在市域铁路暗挖隧道中的应用。研究表明,采用悬臂式掘进机施工对隧道周边围岩扰动小,开挖掌子面平整,轮廓线清晰,可以连续作业。与传统钻爆法施工相比,悬臂式掘进机施工具有适应能力强、施工进度快,施工质量高、施工安全系数高、节能环保等优势。

**关键词:**既有线;机械开挖;悬臂式掘进机;市域铁路

## 0 引言

悬臂式掘进机最早被应用于煤矿开采行业,随着科技的快速发展,许多新技术被应用到掘进机的研发和设计中,如激光测距、自动化控制技术、切削途径自动化系统等。通过不断地改进和研发,掘进机设计和制造工艺已经很成熟,形成了一系列具有代表性的机型,并在不断地研发和实践中制造出适用于铁路隧道施工的悬臂式掘进机。

谷岙隧道位于城市中央地带,建筑物集中,临近既有线隧道,旁边有螺洋高架桥,为降低隧道施工对周边环境的影响,同时在保证不影响营业线安全的前提下,悬臂式掘进机凭借其开挖扰动小、没有传统爆破施工产生的危害等特点在施工中展现出优势。

## 1 工程概况

台州市域铁路S1线新建谷岙隧道位于路桥区峰江街道与螺洋街道交界的下寺前村,为单洞双线隧道,双线中心相距4.0 m,呈马蹄形断面,无隔墙。V级围岩156 m,岩石单轴抗压强度68 MPa,IV级围岩51 m,岩石单轴抗压强度54 MPa,基本断面宽11.84 m,高10.66 m,面积104 m<sup>2</sup>,暗洞设计开挖方量17 748 m<sup>3</sup>。

台州市域铁路S1线新建谷岙隧道爆破开挖段位于杭深铁路东侧,为单洞隧道,距杭深铁路线路中心水平距离为611~720 m,进口、出口、明挖段,距杭深铁路距离为611~720 m,属于既有线范围施工,同时右线大里程方向南侧有1座祠

堂,距隧道最小净距为34 m。上方有1条在建高压天然气管路,管路埋深4.2 m,覆土厚度约2 m,距隧道垂直净距13.42 m,同时隧道上跨在建引水隧道,线路与引水隧道呈76°角,隧道结构顶距引水隧道垂直净距18.96 m。

## 2 开挖方法

谷岙隧道右线大里程偏中位置表层为2~5 m残坡积粉质黏土,下伏基岩为全~中风化凝灰岩,地下水以基岩裂隙水为主,一般发育,围岩较破碎。同时周边环境特殊,隧道临近杭深铁路,隧道上方有高压天然气管道,上跨饮水隧道,不具备爆破开挖条件。对静爆、二氧化碳气体爆破、破碎锤开挖、盾构、TBM、掘进机开挖等非爆破开挖方法进行综合比较,TBM费用高且不适合该隧道断面形式;静爆和二氧化碳爆破的安全性较高,但工艺复杂,效率较低,难以达到工期要求<sup>[1]</sup>;隧道长度过短采用盾构开挖方法施工成本过高。通过技术和经济性综合比较决定采用掘进机开挖方法进行施工。

## 3 悬臂式掘进机

### 3.1 掘进机的分类

掘进机根据掘进类型可分为圆盘式和悬臂式;根据工作结构切割方式可分为纵轴式和横轴式;根据重量级别可分为特轻型、轻型、中型和重型;根据对巷道断面的作用方式可分为全断面掘进机和部分断面掘进机,部分断面掘进机最常见和常用,具有代表性的是悬臂式掘进机。

悬臂式掘进机根据外形构造分为护盾式和敞

开式；根据作业部位分为隧道式掘进机和煤矿掘进机。煤矿掘进机用于地下矿道和煤矿矿源的开挖施工。隧道掘进机主要应用于公路和铁路隧道的开挖施工。

### 3.2 悬臂式掘进机主要结构

悬臂式掘进机的主要结构主要包括：1) 截割部：位于悬臂式掘进机最前端的核心装置，由其可对隧道掌子面进行截割和破碎。2) 铲板部：将截割破碎掉落的渣料进行装载至运输机进行转运的装运装置。3) 运输机：将位于掘进机前端的渣料转运至掘进机尾部的传送装置。4) 掘进机机体：作为支撑和连接其他装置的主要构造。5) 行走部：可以够带动掘进机前进和后退及截割转进，同时也是支撑结构。6) 电气系统：作为驱动以及操纵指挥整个掘进机的神经中枢系统。7) 液压系统：由动力、控制、辅助执行方面的原件和液压油组成，将液压油作为介质驱动液压缸和机械臂进行转向和截割操作。8) 润滑系统：具有对各运转部件的润滑作用，减少摩擦提高使用寿命。9) 喷雾除尘系统：通过位于悬臂前端和机体前侧的喷淋头进行作业过程中的除尘，改进作业环境。

市域铁路隧道施工与传统的煤矿巷道掘进方式有明显的差别，为了提高施工效率降低成本支出，机型的选择不仅要根据隧道的岩石硬度和最大单向抗压强度来确定所需掘进机的截割功率，同时还需要考虑隧道的断面尺寸和掘进机的自身尺寸是否相匹配。

通过对国内类似工程进行实地考察，如黔张常铁路贯坪隧道东南联络线项目，该隧道以Ⅳ、Ⅴ围岩为主，围岩强度 40~75 MPa，与谷吞隧道围岩情况相似，采用中铁装备 CTR300 型悬臂掘进机进行施工，4 h 掘进 2 m，出渣 95 m<sup>3</sup>，开挖效率较高。结合谷吞隧道自身地质状况，最终决定选用中铁装备 CTR300A 型悬臂式掘进机，中铁装备 CTR 系列悬臂式掘进机是专门针对铁路隧道、水利隧道机械开发的可适应硬岩的产品，该系列悬臂掘进机超大定位截割范围，整机高的稳定性和强劲的截割动力等针对性设计，能够满足大断面的掘进需求，配备高效大风量的机载除尘系统，更适合隧道工况下作业环境的改善，选用加长第一运输机或二运转载皮带机，提高出渣效率。CTR300A 型悬臂式掘进机装置结构见图 1。

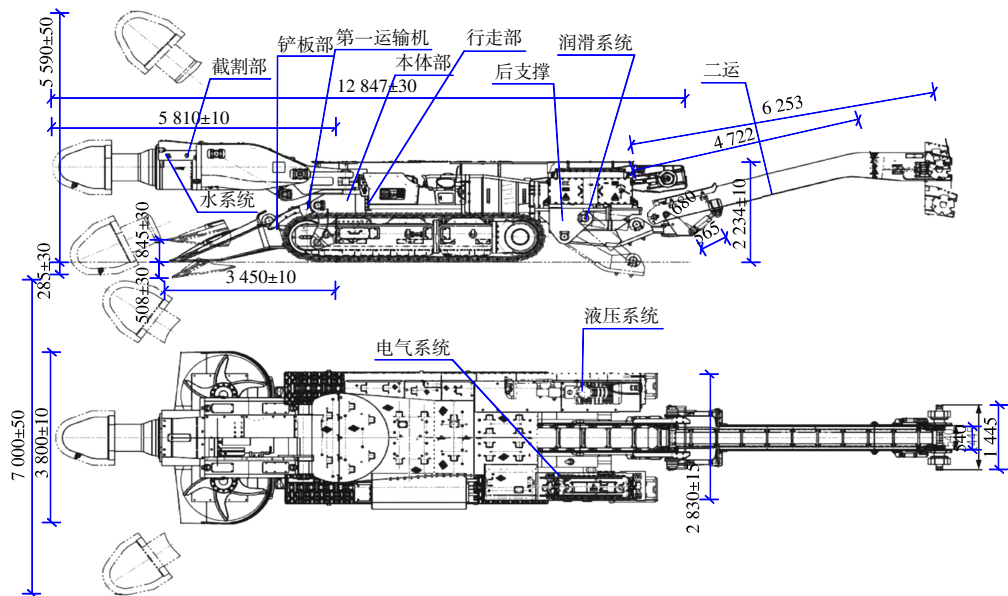


图 1 CTR300A 型悬臂式掘进机装置结构图

## 4 施工原理

悬臂式掘进机是一种集截取、装载、转运功能于一体，同时兼具行走和喷雾除尘功能的自动化掘进设备，主要由行走系统、截削系统、铲运系统、喷雾除尘系统组成。行走系统实现移动，

截削系统实现隧道的掘进，铲运系统实现对石渣石料的铲装，配合自卸车完成渣土外运工作<sup>[2]</sup>。

## 5 施工工艺

### 5.1 施工前准备

隧道开挖宽度为 11.86 m，掘进机一次开挖宽

度为4.2~7 m,采用分幅掘进的方法,左右幅交替掘进。隧道掘进高度10.64 m,掘进机掘进高度4.2~6.5 m,可采用双台阶掘进方式。下层台阶开

挖高度设计为5 m。同时选用2台小松215挖机和2台自卸车配合进行渣土外运。双台阶开挖方法如图2所示。

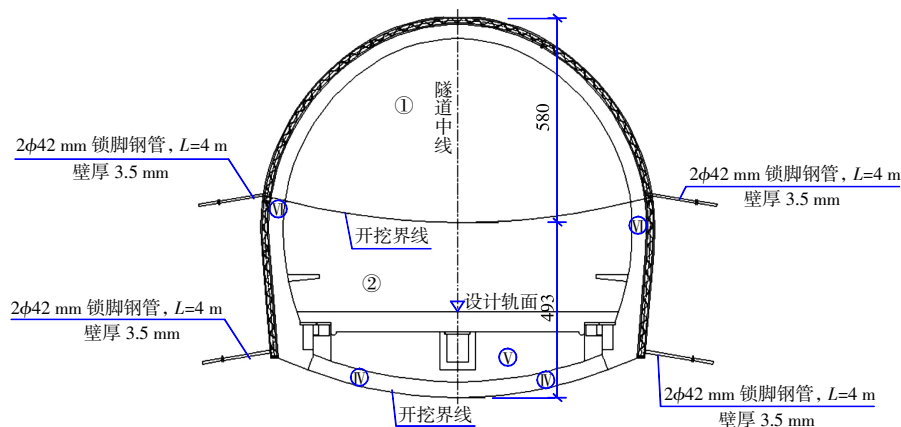


图2 双台阶开挖方法示意图

### 1) 人员机械配置

为确保掘进机不间断施工,掘进班组实行两班倒,每班6 h 轮流值班,每班组人员配备:掘进机操作主副手2名,掌子面观测人员1名,清理渣土人员3名,电缆转运工2名,维修工1名,电工1名,焊工1名,挖掘机操作手2名,渣土运输车操作手2名,指挥人员1名,共16人。配备机械包括悬臂式掘进机1台,挖掘机2台,渣土运输车2辆。

### 2) 超前物探协助

采用超前水平钻探或超声波探测法等超前地质预报技术,探明掌子面前方工程地质情况,降低人员和财产风险。

## 5.2 施工流程

在上台阶掌子面上用红油漆画出开挖轮廓线,掘进机掘进时,截割刀头位于水平中心位置,启动电机,然后开动履带行走系统,使机器慢速推进,使截割头逐步插入岩石中。推动截割部回转油缸作业装置,使截割部左右横扫,然后再推动升降油缸,使截割部上下截割<sup>[3]</sup>。利用截割头往返截割,按标注轮廓线截割出断面形状,当截割断面尺寸不符合设计断面尺寸时,应及时修整。

采用悬臂式掘进机双台阶开挖法施工,先进行上台阶开挖,挖机配合自卸车在掘进机后方装料外运。掘进机进尺一段距离退后,工人在掌子面支护台车上喷锚支护,然后进行下台阶的开挖和支护,按照施工次序有条不紊地向前推进。

当截割较软的岩石时,可从底部向上,从左

向右往复截割,悬臂式掘进机主要以开挖上台阶断面为主,配合挖掘机进行下台,可以提高施工效率。当截割较硬岩石时,可采用从下到上,左右交替往复截割的方法。为保证截割效果最佳,无论哪种方法都应该从下往上截割。坚硬的岩石或孤石裸露在外时,可先将通过破碎锤进行凿除,对落石较大的,可先用破碎锤破开再切割。截割头走向如图3所示。

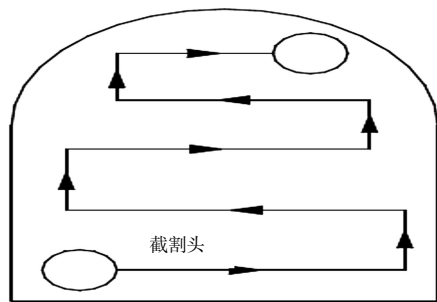


图3 掘进机截割头走向示意图

## 5.3 渣土清运

铲板部耙爪将掌子面切削下来的石渣送入输送机,由输送机运送至掘进机身尾部,装载机将渣料装入自卸车中,自卸车将渣料运到弃渣场处理。

## 5.4 支护处理

挖掘机完成洞身修整后,由装载机将支护台车和钢架送到掌子面,及时安装钢拱架并进行喷锚支护,稳固围岩、减少变形。

## 6 掘进机施工与钻爆法比较

将应用掘进机施工的谷岙隧道与同期以钻爆法施工的大岙隧道进行对比分析,结果见表1。

表 1 悬臂式掘进机掘进和钻爆方法对比

开挖方式	悬臂式掘进机	钻爆法
隧道成形	表面平整，隧道轮廓线型控制较好	受地质影响，轮廓线型参差不齐，难以达到光面爆破理想结果
施工时间	连续作业，不受时间限制	作业时间受限，8:00—19:00
地质情况要求	在软弱围岩、强中风化围岩中施工优势明显，硬质围岩施工效率较低	适用于各类等级围岩
施工工效	掘进和出渣同步进行，平均每延米耗时约 2.5 h，效率高，每循环进尺以 3 m 计算，平均节约时间 1.5 h	开挖、出渣顺序进行，每循环耗时(不计欠挖等)约 9 h，施工效率相对较低
超欠挖	超挖平均控制在 15 cm 以内	洞身轮廓难控制，容易造成超欠挖
对围岩及环境影响	围岩扰动很小，地面无震感，对周围环境的影响极小	围岩扰动大，影响范围广，对附近建筑物造成振动影响，同时产生噪音污染
设备及人员投入	机械投入较大，但后期投入开挖作业人员相对较少	投入设备小，出渣设备一样，需要投入较多人员
文明施工	洞内粉尘较大，配合通风设施的方法，可减少洞内粉尘，导致洞外粉尘污染较大，持续采用喷雾降尘容易造成岩粉泥化，洞内泥浆增多，不利于石渣外运，文明施工难度较大	产生的粉尘比较少，可通过换气装置进行降尘排烟
安全性	安全性较高	爆破过程安全风险较高，盲炮处理对作业人员素质要求高

通过 2 条隧道对比施工得出：悬臂式掘进机施工时，具备连续作业的优势，隧道开挖断面尺寸相对容易控制，超欠挖较小，初期支护质量得到提高。与传统钻爆法施工相比，减少对临近围岩、周边村庄建筑和临近既有有线隧道的扰动。但是悬臂式掘进机施工效率受围岩强度和完整性限制，围岩的抗压强度越低或围岩的完整性越差，

掘进机施工效率越高。在截割 IV 级及以上围岩、岩石强度 60 MPa 以上时，截割效率降低，造成截齿加速磨损，费用成本增加。悬臂式掘进机截割过程中产生大量粉尘，需要持续用水进行喷雾除尘和截齿部位降温，造成洞内泥浆增多，岩粉泥化，不利于渣土清运，导致文明施工难度增大。

7 施工工艺优化

在选择吊臂掘进机的型号时要结合实际的隧道地质情况。如果隧道围岩单轴抗压强度较高，需要选用截头功率大于 150 kW 的重型悬臂式掘进机，而当遇到单轴抗压强度低于 60 MPa、截头功率小于 110 MPa 的轻型悬臂式掘进机。同时，在选择悬臂式掘进机型号时，还需考虑与隧道截面尺寸相适应的掘进宽度和掘进高度。

截齿的选择同样重要，为保证掘进机连续施工，减少截齿更换频率，优先选择截割岩石的抗压强度能够达到 100 MPa 以上的硬质合金截齿。

为了提高功效，减少截齿磨损，掘进机施工时，可先用破碎锤在掌子面中间底部掏槽，增加掌子面开挖临空面。

8 结语

通过对谷岙隧道施工的研究分析发现，悬臂式掘进机在弱岩层中施工的利用价值极高，提高了隧道施工机械化程度和施工安全性。以切削方式代替传统钻爆施工，大幅减弱对周边围岩的扰动，同时断面平整度高，便于喷锚支护，适用于临近既有线的隧道施工。

参考文献：

[1] 刘浪. 悬臂式掘进机在市政大断面软弱围岩隧道施工中的应用[J]. 工程技术研究, 2020, 5(8): 131-132.

[2] 梁鲜明. 悬臂掘进机在临近既有有线隧道施工中的运用[J]. 工程建设与设计, 2018(7): 263-266.

[3] 邱昌德. 悬臂掘进机在铁路泄水洞工程的施工应用[J]. 低碳世界, 2017(8): 195-196.