

文章编号:1006—2106(2003)01—0129—04

铁路特长单线隧道钻爆施工机械配置探讨

刘元重^{1*} 方俊波²(¹ 中铁隧道集团 北京指挥部, 北京 100005; ² 中铁隧道集团 科研所, 洛阳 471009)

提 要: 本文介绍了在建渝怀铁路最长单线隧道——圆梁山隧道的施工机械配置情况, 阐明了采用常规施工方法(全断面法或下导坑法)及配置国产设备亦能实现铁路特长单线隧道掘进速度的稳产和高产, 论述了施工机械设备的良好配置是确保特长隧道快速掘进的关键所在, 同时对今后我国特长单线隧道的机械配置提出几点建议。

关键词: 特长单线隧道; 快速掘进; 无轨装碴; 有轨运输

中图分类号: U455.32 **文献标识码:** A

1 工程概述

圆梁山隧道位于重庆市酉阳县城以北约 30 km 的地方, 处于渝怀线的越岭地段, 是新建渝怀铁路的关键性控制工程, 隧道全长约 11 km, 在距隧道中心线右侧 30 m 设一条长约 11 km 的贯通平导(预留二线)。隧道标高 500 m 左右, 最大埋深约 800 m, 隧道穿越的地质构造单元有毛坝向斜、桐麻岭背斜及冷水河浅埋段, 其中毛坝向斜对隧道施工影响最大(该向斜地层以可溶岩为主, 构造单元为储水构造), 有可能发生大规模、高水头涌水事件。隧道通过二叠系、石灰系、泥盆系、志留系、奥陶系、寒武系地层, 主要岩性为砂岩、泥岩、页岩、石灰岩、白云质灰岩, 其中Ⅱ、Ⅲ级围岩占全隧总长的 69.82%, Ⅳ、Ⅴ级围岩占全隧总长的 8.45%, 高水压段占总长的 21.73%。隧道工程地质、水文地质条件异常复杂, 集中了岩溶高水压大涌水、煤层瓦斯、石油天然气、岩爆、大变形、高地温以及偏压顺层等多种不良地质现象。其中高压岩溶水和瓦斯、石油天然气对隧道施工影响最大。

全隧道分为进出口二个工区, 每工区均开设三个工作面, 即平导工作面、正洞工作面及经平导由横通道进入正洞的下导坑工作面。平导全断面开挖, 以向前快速掘进为主, 通过横通道开辟第二工作面为辅; 正洞全断面或扩挖法开挖, 单工作面月掘进速度需在 150 m 以上; 由平导经横通道进入正洞开辟第二工作面时, 则

以下导坑超前掘进为主。进口工区还包括在进口段约 1 000 m 的双线段, 采用导坑先行后续扩挖法施工。全隧均采用仰拱填充、超前衬砌并紧跟开挖面的施工方案, 正洞采用模板台车一次灌注成型。

2 隧道施工机械配套方案

进行隧道快速掘进的根本出路在于机械设备的制造、性能改进等, 只有那些适应于隧道环境, 与所采用的施工方法相匹配以及国产化程度高的机械设备, 才能在地下工程施工中具有强大的生命力, 才能真正使我国特长隧道的掘进水平有一个较大提高。圆梁山隧道分为进出口两工区, 正洞均采用全断面和下导坑扩挖相互结合的施工方法进行快速掘进, 要求单工作面平均月掘进 150 m 以上, 因此其机械配置既要能适应多变的地质环境, 一机多用, 还要求造价低廉、好用、国产化程度高。圆梁山隧道进出口工区钻爆施工机械配置如下。

2.1 凿岩、装药、爆破、找顶设备

随着我国山岭隧道修建数量大幅度增长, 使用大型施工机械如多臂液压钻孔台车进行隧道施工还是比较少的, 大多数隧道仍然采用自制多功能台车进行全断面循环作业。进口工区于 2002 年 4 月在洞内组装了一台门架式液压台车并进行实验, 但由于隧道进入了高压富水区地段, 围岩地质条件恶化, 门架式凿岩台车

已不能满足施工要求。掘进仍以多功能台车为主。出口工区掘进亦以自制多功能台车为主。自制多功能台车设计为轨行式,长约 4 m,高约 6.5 m,宽 5 m,共四层,顶层设一平台,下三层边侧设活页式工作平台,以确保施钻时周边眼外插角,控制隧道超欠挖;前台亦设置活动平台,便于台车抵达不到掌子面时工人仍可靠近掌子面作业。施工时,能以层为单位对施工人员、掌

子面炮眼位置进行管理;在其上可同时进行钻眼、装药爆破和锚杆、钢筋网安装工作,方便顶部找顶、撬浮石等而不影响下层施工;台车的移动和就位除利用轨道及电瓶车驱动方式外,还可使用装载机(为装碴而设)拖行或牵引,既方便又快捷,具有轮胎式或轨行式台车的优点,而又避开了它们的缺点。自制多功能台车结构示意图如图 1 所示。

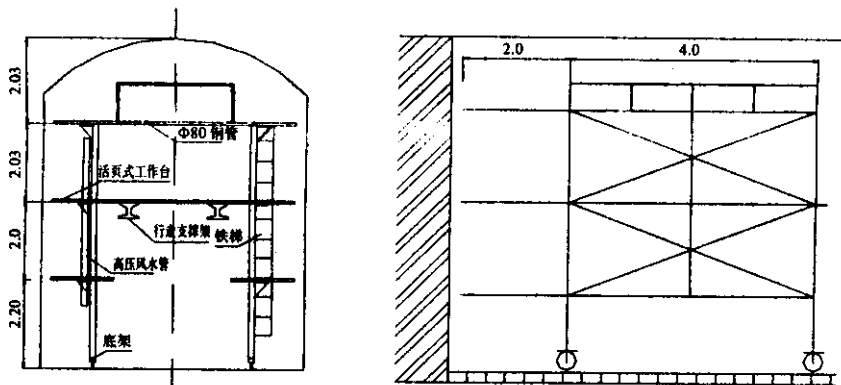


图 1 铁路单线山岭隧道施工多功能台车

2.2 装碴运输设备

圆梁山进口工区在洞口段设置了双线,采用导洞法施工,导洞掘进采用有轨装碴、有轨运输;扩挖部分则采用无轨装碴、无轨运输。单线段各工作面一般均采用全断面或扩挖法开挖、无轨装碴、有轨运输方案。出口工区正洞均为单线,其开挖方法及运输方案同出口工区单线正洞。仅在运输设备配置方面略有不同。

2.2.1 无轨装碴无轨运输

进口工区双线段采用该出碴运输方案,即采用斗积为 $2\sim 4\text{ m}^3$ 正装侧卸式轮胎装载机装碴, $15\sim 25\text{ t}$ 的低污染自卸式柴油汽车运输。该方式的主要特点是:装载和运输均可采用大型高效设备,生产效率高,装运工作机动灵活。缺点是:装载机和运输车辆均以内燃为动力,车辆排出的废气污染了全部隧道,给施工通风大困难,甚至因通风问题使双线隧道独头掘进长度以 2.0 km 左右为限度。

2.2.2 无轨装碴有轨运输

圆梁山单线正洞均采用该运输方案,它既有无轨装碴机动灵活、生产效率高优点,又具有有轨运输不污染整个隧道和运输成本低的特点。该装运方式的关键技术是较好地解决了台车与装碴机及梭矿错车问题。这是因为采用了大斜眼掏槽技术,将掏槽部放在断面的下部,故可以将多功能台车的第一层平台板去掉,用架设在立柱侧的活页式工作台代替,人工站在其上就可钻凿掏槽眼,这样,多功能台车下部空间就会高达

4 m 左右,满足装碴机及梭矿通行高度要求,正装侧卸式装载机的宽度在 2.5 m 左右, 14 t 的电瓶车和 16 m^3 的梭矿宽度在 1.5 m 左右,下部宽 $4\sim 5\text{ m}$ 的多功能台车完全满足装载机通行要求。距工作面 120 m 左右只铺设 1 股轨道,且尽量偏向一侧布置,另一侧为装碴工作通道,另外,隧道内最前端 30 m 范围内不铺设轨道,便于装载机装碴。进出口工区正洞装碴均采用厦工 ZL50C 正装侧卸式装载机,该方案的最大优点是具有较强的装碴能力;进口工区正洞运输采用容积为 16 m^3 左右的梭矿,由 1 台 14 t 的电瓶牵引车,轨重为 38 kg/m ;出口工区则采用 14 m^3 左右的梭矿,由 1 台 12 t 的电瓶车牵引,轨重为 24 kg/m 。

通风、喷锚支护、模注衬砌及辅助设备由于篇幅所限,在此不再叙述。

2.3 隧道施工动力源

隧道施工长期以来使用风动凿岩工具及设备,如风动凿岩机、风镐等,这些设备具有结构简单、工作可靠、使用安全、轻便、易于操作、设备占用费用低等优点,但其固有的不足使其越来越不适应长大隧道的施工要求。这是因为首先必须在洞口配置空气压缩机站,用高压风管将压缩空气输送到各开挖工作面,而空气压缩机站的能量转换率低下;其次高压风管的铺设不仅费用高,而且高压风在其中的风阻、风耗也大,其不安全因素也给隧道内施工带来很多不便,若供风距离为 2.0 km 时,为保证工作面有 6 kg/cm^2 的风压,送风

量要达到 $200 \text{ m}^3/\text{min}$ 时,则需要铺设 $\phi 330 \text{ mm}$ 直径的高压风管,若独头掘进为 5.0 、 10.0 km 时,则高压风管的直径必须超过 $\phi 500 \text{ mm}$ 以上;再次,风动工具和风动设备利用率很低,假如单线铁路隧道全断面施工采用风动凿岩机进行凿岩,其耗风量至少达 $100 \sim 120 \text{ m}^3/\text{min}$,其电功率为 $(5 \sim 6) \times 130 \text{ kW}$,若采用同等效率(全断面钻孔时间相当)的液压凿岩台车及其液压凿岩机凿岩时,只需电功率为 130 kW ;对比可知,长大隧道施工采用高压风作为凿岩动力是很不经济的。因此,长大隧道施工中,应该革掉空气压缩机及其风动工具这2个最大的中间剥削者的命,使隧道施工动力来一次革命,或至少在目前阶段,应减少高压风管的布设长度。圆梁山出口工区在掘进时,在距掌子面 $100 \sim 150 \text{ m}$ 处设置移动式供风站,采用了两台上海英格索兰压缩机有限公司制造的 25 m^3 移动式螺杆 P990E 型空气压缩机(总重 $4\,300 \text{ kg}$,额定排气压 0.7 MPa ,价格 24 万元)进行洞内供风,供 20 把风钻用风,代替洞外 4 台 20 m^3 座式空压机。该方法不但减少了洞内管道布置、大量高压风管投入,而且还减轻了管道工安装、维修保养劳动强度,并且由于管道短($100 \sim 150 \text{ m}$),掌子面与风站之间相互联络方便,管道风损小,方便维修管理,相对来说减少了施工影响因素,降低了施工成本。同时该机还具有噪声低、移动容易、无污染、使用维修方便等优点。出口工区在掘进总长越过 3 km 后,仍能取得平导月掘进 462 m 及正洞全断面月掘进 272 m 的好成绩,与使用移动式空压机是分不开的。

2.4 平导装运机械

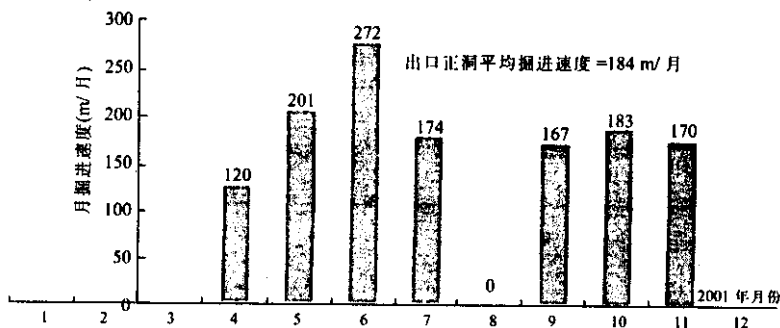
特长(超过 6 km)隧道一般有平等导坑,经横通道进入正洞的下导坑不仅提高了正洞单线的掘进速度,而且与全断面开挖相比,更容易获得良好的光面爆破效果,节约近 30% 的炸药。因此,提高正洞单线的掘进速度,还需要对平导机械进行良好的配置。圆梁山进出

口工区平导均采用有轨装碴、有轨运输方案,装碴机均为带小反铲头的 LZ-160 挖装机,运输系统同各自工区单线正洞。从 2001 年 4 月开工至 2001 年 12 月,进出口平导共掘进 $5\,568 \text{ m}$,进口(单工作面)最高月进度为 $418 \text{ m}/\text{月}$,最高日进尺为 17.8 m ,出口(单工作面)最高月进度为 $471 \text{ m}/\text{月}$,最高日进尺为 18.5 m 。全隧月平均进度为 $696 \text{ m}/\text{月}$,远大于全隧 $265 \text{ m}/\text{月}$ 的计划月掘进速度,其中包括已完全穿越了地质构造异常复杂的桐麻岭背斜,部分穿越了岩溶高压涌水突砂的毛坝向斜地段。与以前小断面平导施工相比,圆梁山平导掘进速度之所以能取得如此成绩,主要是其配置了带小反铲头的挖装机进行出碴。据统计,在平导中使用的扒碴机装碴,炮进尺为 2.0 m 的石碴,需出碴约 3 h ,每天最多掘进 4 个循环;而现在采用挖装机出碴,出碴仅需 1 h ,节约了近 $2/3$ 的出碴时间, 4 个循环则节约出 8 h ,可以多掘进 $2 \sim 3$ 个循环,因此,采用挖装机出碴是圆梁山平导实现短进尺、多循环法快速掘进(大于 $10 \text{ m}/\text{d}$)的关键所在。

3 国产化机械配置所取得的成效

圆梁山出口正洞自 2001 年 3 月底进场,采用全断面法与扩挖法施工,至 2002 年 7 月已累计开挖完 $2\,888 \text{ m}$,平均 $180 \text{ m}/\text{月}$ 。并且该 $2\,888 \text{ m}$ 含洞口近 $1\,000 \text{ m}$ 的双线,若将该双线换算成标准单线断面,则圆梁山进口正洞月速度将超过 $200 \text{ m}/\text{月}$ 。另外,隧道还穿越了近 300 m 的煤系瓦斯出露地层,穿越了近 500 m 的高地应力、软岩大变形段,在 $1\,850 \text{ m}$ 的岩溶高压突水的毛坝向斜段已掘进 $1\,000 \text{ m}$,在如此复杂的地质条件下能取得如此好的掘进速度实不多见。

圆梁山出口正洞在进洞初始就开始进行全断面掘进,使用无轨装碴有轨运输系统,即采用轮轨式多功能台架进行凿岩、装药、爆破、找顶、喷锚网支护、ZLC-50C 正装侧卸式装载机装碴并清底、一台 CDXT1-12



电瓶车牵引一辆 S14B 梭矿,实行四轨双线(24 kg/m)制,台车与梭矿各行其道,互不干扰。以上机械配置所取得的掘进速度如图 2 所示。

由于隧道出现特大岩溶涌水,圆梁山出口 8 月份无进尺,若不计其影响,则出口工区在开工前 7 个月中,月平均掘进速度达 184 m/月,且该成绩是实行全断面开挖所取得的。若考虑后扩挖段,则正洞单线的月掘速度肯定超 200 m/月。例如,同是我局施工的株六复线大竹林隧道,全长 6 074 m,采用的施工方法(全断面及扩挖法)、机械配置基本上同圆梁山出口,该隧道进口工区自 1998 年 6 月 8 日开工,2000 年 3 月 6 日与出口贯通,贯通点距进口 3 322 m,设计工期 36 个月,实际仅用 22 个月即完成开挖,提前了 14 个月,创造单口月平均开挖 151 m、单口月最高开挖进尺 242 m 的高速度,且创造了连续 7 个月月成洞超 200 m 的高产指标和最高月成洞 244 m 的好成绩。

因此,采用常规的施工方法(全断面法或下导坑法)及配置国产设备亦能实现铁路特长单线隧道掘进速度的稳产和高产。

4 体会及建议

通过对圆梁山进出口正洞单线施工机械配置及掘进速度分析,对具有超前平导的特长铁路单线隧道快速掘进施工具有以下几点体会:

(1)结合带小反铲头的挖装机在平导中作用,建议在单线隧道开挖中,应配置一台履带式反铲作为辅助设备,配合正装侧卸式装载机出碴。这是因为反铲在隧道施工中能快速清底且比较干净,快速清理工作面如扒浮石、安全找顶等,更主要的是其能快速地铺设轨面,为多功能台车快速就位创造有利条件,从而节约循环时间,提高掘进速度。

(2)使用能量转换效率高、安全环保的液压凿岩机。液压凿岩机能量转换效率高,钻进效率亦高,在Ⅳ类围岩中,风动凿岩机钻进 2.0 m 的炮眼耗时需 12~16 min,而液压凿岩机仅需 4~6 min,可节约出近一半的钻眼时间,并且工作面粉尘少,洞内施工环境有较大改善。因此,使用液压凿岩机应是今后地下工程钻进设

备的发展方向。

(3)采用交流变频调速技术,对目前广泛使用蓄电池式直流电瓶车进行变频交流拖动技术改造,实现双电瓶车联挂以牵引大吨位或双梭矿出碴。交流传动蓄电池式电瓶车具有调速性能好、轴输出功率大、粘着利用率高、可靠性好以及节能效果明显等优点。并且由于其先进的控制方式,很容易实现双机联挂,保证双机联挂后均衡出力,满足重载大负荷、远距离运输要求。因此,使用变频交流蓄电池式电瓶车增加电瓶车充电一次所往返的次数,并且能让装载机一次性对双梭矿进行装碴,减少装载机在掌子面的待机时间,节约循环时间,提高掘进速度。

(4)在碴场利用单开道岔代替卸碴码头回笼道布置,以减少电瓶车频繁掉头,节约循环时间。近年来,越来越多的山岭隧道洞口均布置在悬崖上,洞门外施工场地狭窄,在如此情况下,利用单开道岔及加长电瓶车与梭矿之间的连接杆以分开电瓶车与梭矿,使电瓶车在一股轨道上,梭矿在另一股轨道上,两者错开一定距离,使梭矿头对着卸碴码头卸碴,卸完碴后,电瓶车即通过连结杆推着梭矿倒退至单开道岔后回复至梭矿头与电瓶车相连状态,由电瓶车将卸完碴后的梭矿顶至工作面。从而避免了电瓶车脱钩后由牵变顶以及再由顶变牵这二掉头过程,节约了循环时间。经统计,与回笼道轨道布置相比,每车循环节约时间在 4 min 以上。

(5)在洞内设置移动式供风站对掌子面进行供风,以减少管道风阻,提高风枪钻进效率。

(6)采用自制多功能台车既符合中国国情,又能适应多变的地质条件,完全能满足特长隧道掘进的需要。

参考文献

- [1] 林志清,等.达万铁路山湾隧道均衡施工技术[A].见:第 10 届隧道和地下工程科技动态报告文集[C].成都:西南交通大学出版社,2000—06.
- [2] 刘元重.寺铺尖隧道施工技术浅谈[J].隧道建设,1997,(3).
- [3] 曹红彬.大竹林隧道进口端快速施工技术[J].西部探矿工程,2000,(4).

EXPLORATION ON ALLOCATION OF CONSTRUCTION MACHINERY FOR DRILLING AND BLASTING OPERATION OF RAILWAY EXTRA-LONG SINGLE-TRACKED TUNNELS

LIU Yuan-zhong¹, FANG Jun-bo²

¹Beijing Headquarters, Ching Railway Tunnel Engineering Bureau Group Co.; ²Science-Technology Research Institute, China Railway Tunnel Engineering Bureau Group Co.

(下转第 128 页)

性和稳定性。

PRELIMINARY TALKING ABOUT STABILITY OF FLEXIBLE CATENARY SPAN

FENG Hai-jian

China Railway Electrification Engineering Bureau Group Corporation

Abstract: Under ordinary situations, the flexible span of catenary may be applied on electrified district with train running speed no more than 160 km/h. Combined with the structural characteristics of Re100c type flexible catenary span used on Guangzhou-Shenzhen Railway Line and Harbin-Dalian Railway Line, the author proposes his several opinions concerned with the problems which influence the stability of the flexible span. Several countermeasures for solving these problems are proposed also.

Key words: catenary; flexible span; stability

.....
(上接第 132 页)

Abstract: Yuanliangshan Tunnel is the longest single-tracked tunnel during construction of Yu-Huai Railway. The allocation of its construction machinery is introduced in this paper. It is expounded that by adopting the traditional construction methods (such as full face tunnelling method or lower guide-adit method) and allocating national-made machinery may obtain also stable and high-efficient rapid tunnelling speed for construction of railway extra-long single-tracked tunnels. Therefore, the good allocation of construction machinery is the key for guarantee rapid tunnelling of extra-long tunnels. At the same time, several suggestions are proposed for allocation of construction machinery for extra-long single-tracked tunnels in China in the future.

Key words: extra-long single-tracked tunnel; rapid tunnelling; non-rail disposal of spoil; spoil conveying out through rail

.....
(上接第 144 页)

STUDY AND EXPLORATION ON GRADING CRUSHED STONE FOR DEDICATED QIN-SHEN PASSENGER TRAFFIC RAILWAY LINE

ZHANG Jian-bang, LI Xiao-feng, BAI Yang-jun

China Railway First Engineering Bureau Group Company

Abstract: The paper expounds the conception concerned with the “grading crushed stone” used for the first time in the railway. The research achievements of design, construction and other aspects for the “grading crushed stone” used in dedicated Qin-Shen passenger traffic railway line are summarized in this paper.

Key words: grading crushed stone; dedicated Qin-Shen passenger traffic railway line; research; exploration

铁路特长单线隧道钻爆施工机械配置探讨

作者：[刘元重](#)，[方俊波](#)
作者单位：[刘元重\(中铁隧道集团北京指挥部, 北京, 100005\)](#)，[方俊波\(中铁隧道集团科研所, 洛阳, 471009\)](#)
刊名：[铁道工程学报](#) 
英文刊名：[JOURNAL OF RAILWAY ENGINEERING SOCIETY](#)
年，卷(期)：2003 (1)
被引用次数：2次

参考文献(3条)

1. [林志清](#) [达万铁路山湾隧道均衡施工技术](#) 2000
2. [刘元重](#) [寺铺尖隧道施工技术浅谈](#) 1997 (03)
3. [曹红彬](#) [大竹林隧道进口端快速施工技术](#)[期刊论文]-[西部探矿工程](#) 2000 (04)

引证文献(2条)

1. [王晓琼](#) [隧道防水体系施工技术](#)[期刊论文]-[山东交通科技](#) 2009 (6)
2. [张广宪](#) [堡镇隧道快速施工技术](#)[期刊论文]-[山东交通科技](#) 2009 (2)

引用本文格式：[刘元重](#). [方俊波](#) [铁路特长单线隧道钻爆施工机械配置探讨](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2003 (1)