

Complete Tooling Equipment Application for High-Speed Railway Tunnels

Jincheng Liang

No. 2 Engineering Corporation Limited of CR20G, Beijing, 100142, China

Abstract

This paper summarizes the application of the complete set of tooling equipment of China's newly-built Chongli Railway in tunnel construction, and realizes craft assurance with tooling and quality assurance with craft using the complete tooling equipment construction, and guarantees the quality by process; It solves the defects of artificial quality control, realizes the rapid and efficient construction of tunnels in the construction of high-speed railway, and ensures the quality and safety of tunnel engineering.

Keywords

high-speed railway tunnel construction; complete tooling equipment; craft assurance with tooling, quality assurance with craft

高速铁路隧道成套工装设备应用

梁金成

中铁二十局集团第二工程有限公司, 中国·北京 100142

摘要

本文总结了我国新建崇礼铁路成套工装设备在隧道施工中的应用, 采用成套工装设备施工实现了以工装保工艺, 以工艺保质量; 解决了人为质量控制的缺陷, 在高速铁路建设中实现了隧道快速、高效的施工, 确保了隧道工程质量及安全。

关键词

高速铁路隧道施工; 成套工装设备; 以工装保工艺, 以工艺保质量

1 引言

中国新建崇礼铁路为中国京张高铁崇礼支线, 属于 2022 年冬奥会配套工程, 其政治意义非凡, 是中国打造世界一流高铁的典范。为了保证施工质量, 崇礼铁路设置了隧道施工成套工装设备, 从开挖、支护, 到仰拱、衬砌, 最后附属施工全部为机械化施工。采用先进的工装设备和工法, 取得良好的施工效果。具体本项目隧道工装设备及工艺有三臂凿岩台车、超前水平钻机、湿喷机械手、自行式液压仰拱栈桥、整体式液压仰拱及填充模板系统、防水板自动铺挂台车、衬砌台车加装料斗与滑槽实现混凝土分层逐窗入模浇筑、径向预埋 RPC 注浆管与拱顶带模注浆技术及注射浆一体机、隧道衬砌智能养护台车、二次衬砌喷淋养护台车及雾炮养护、钢筋套筒冷挤压工艺、全液压水沟电缆槽一体机。

2 工程概况

新建崇礼铁路位于中国河北省张家口市, 南起中国京张铁路下花园北站, 途径下花园区、宣化区、赤城县、北边崇礼区、太子城奥运村, 大致呈南北走向, 南端与拟建京张线相接, 北端预留向崇礼延伸条件。

线路自京张铁路下花园北站西端咽喉设计起点 DK138+792.8 引出, 上跨京张铁路、京藏高速公路后, 于李大庄东侧预留赵川南站, 之后至红庙湾上跨既有宣赵铁路, 经赵川镇西侧北行, 至黄土坡东侧上跨张唐铁路, 经小白阳至前坝口以连续三个隧道越岭至太子城村设太子城站设计终点 DK52+405, 预留进一步向崇礼延伸的条件, 线路全长 52.84km, 桥梁长度 19.494km, 隧道长度 22.737km, 桥隧比 85.74%。全线新建太子城站 1 座、预留赵川南车站 1 座。

CLSG-2 标段起止里程: 京张铁路下花园北站(不含)

DK138+792.8 ~ 正盘台隧道控制工程设计起点 DK30+218, 线路长 30.02 正线公里, 以及全线铺轨, 双块式轨枕的预制及装车。

3 成套工装设备的运用

3.1 三臂凿岩台车

三臂凿岩台车具有钻爆掘进、加深炮眼施工、超前地质钻探、隧道径向锚杆施工、超前小导管、超前锚杆施工等多种功能。台车只需 2—3 名操作手, 操作平台距隧道掌子面约 13m, 视线开阔, 易于观察围岩变化, 大大节约人力资源, 提高了操作员工安全系数。同时利用控制钻眼角度, 提高光面爆破效果。

3.2 超前水平钻机

崇礼铁路隧道为低瓦斯隧道, 超前地质预报除采用 TSP、地质雷达法外增设了超前水平钻探法。采用钻孔钻进速度测试结果、岩芯的观察及相关试验获取掌子面前方岩体的强度指标、可钻性指标、地层岩性指标、岩体完整性指标及地下水状况等多方面的直接资料进行预报。该方法直接揭示隧道掌子面前方地质条件, 适应性强, 可以进行 50m 以上的远距离物理探测, 进一步对前方地质情况进行确认。

使用经验: 由于隧道内工装设备较多, 应合理组织各种流动机械的施工, 尤其是在台阶法开挖的隧道中, 更要组织好超前水平钻机的钻探时间及站位工作面, 不影响施工效率。

3.3 湿喷机械手

混凝土湿喷机械手具有无线遥控操作系统, 全中文触摸屏的 PLC 控制系统。采用电脑人机对话, 实现了湿喷机数据、即时运转工况和运转数据、故障信息显示的记录存储。速凝剂输出量可按混凝土泵送量自动配比输出。机械手作业时离工作面较远, 从而最大限度的保证了作业人员安全。施工时投入人员少, 功效高, 喷射覆盖范围广, 回弹量少。每班只需投入 3 ~ 4 人, 每小时喷射量最大可达到 30m³。

使用经验: ①作业环境明显改善: 采用机械手湿喷, 施工产生粉尘很少, 噪音较小, 作业人员可站在距喷射面约 10m 开外的安全位置操作, 更环保, 明显有利于作业人员职业健康。②喷射砼质量稳定有保证: 喷射混凝土机械手配备液态添加剂自动计量输送装置, 能够精确地添加速凝剂, 电子程序能自动对混凝土和速凝剂流量同步控制, 保证速凝剂

的最优掺量; 机械手喷砼可以保证喷射角度、距离, 避免了人工喷射的盲区、盲点及因喷枪手畏难、省事心理而对喷射角度、距离操作精度有所折扣, 再加上机械手喷射的流量稳定、速度匀速, 并能实现现场连续湿喷, 湿喷混凝土表面平整度较好, 外观颜色均匀, 力学性能指标上下浮动幅度小, 初期支护混凝土强度高、整体性强、密实度好。湿喷混凝土机械手具有较高的方便快捷性, 可以喷射到人工无法喷射的死角部位, 能做到喷嘴到受喷面距离基本控制在 1m, 良好操控性还可以减少喷射砼回弹量, 减少浪费材料。③喷砼作业安全性更高: 采用机械手施工, 湿喷机械手处于已经完成初期支护的位置, 避免了掌子面塌方对作业人员和机械设备的威胁, 作业安全性大大提高。④提高作业效率及减少材料浪费: 采用机械手湿喷作业前期, 因技术、经验不足而出现喷射速度慢、喷射回弹率较大、经常堵管等问题, 需要经过不断实践、比较、总结, 归纳出“动大臂, 移小臂”的湿喷手操作要点, 即通过大小臂之间的协调旋转, 操作手可以掌控好小臂行程速度, 确保移动喷射由点到线再到面, 保持喷射外观的平整度; 同时对速凝剂品种及掺量、骨料级配、作业供应风压、风量等与喷砼回弹率的关系作现场试验、统计、比较、总结, 回弹率逐步降低到预期状态, 采用机械手喷砼回弹率可控制在 15% 左右, 因此机械手施工可以更好地控制材料浪费^[1]。

3.4 自行式液压仰拱栈桥

自行式液压仰拱栈桥由栈桥主体、液压系统、电气控制系统、走行系统等各部分组成。有效解决了掌子面、仰拱、二衬施工之间的干扰问题; 机械化程度高、施工效率高; 功能齐全, 可满足仰拱施工需要, 安全性更高; 使用长栈桥, 各工序平行作业, 保证混凝土的养护时间。

使用经验: 自行式液压仰拱栈桥的应用, 解决了传统式栈桥上掌子面开挖支护施工与仰拱的施工无法同时进行的问题, 为栈桥下部施工人员提供了舒适宽敞的作业环境, 一次型浇筑 12m 仰拱, 使仰拱和二衬施工缝通缝, 有效提升衬砌质量, 并且减少了工作循环次数, 节省工作时间。

3.5 整体式液压仰拱及填充模板系统

液压仰拱弧形钢模, 可自行移动, 减少人工钻孔和焊接定位钢筋施工工序, 只需 2 人即可完成拆模。减少设备投入、降低工作强度、减少材料消耗、降低安全风险, 提高了工效, 保证了质量。

使用经验：根据隧道轮廓断面设计的整体式液压仰拱弧形钢模在仰拱钢筋绑扎完成后，按照测量点位定出端头模位置，仰拱模板准确定位，确保仰拱厚度及弧度，浇筑过程中在模板上的窗口上进行振捣，工作空间大，振捣方便，施工速度快、质量有保证。

3.6 防水板自动铺挂台车

防水板铺挂台车由支撑架、射钉枪架、排布架、电气系统、控制系统等组成，可实现智能控制，土工布、防水板自动控制，减少施工中人员参差不齐的影响，可有效保障施工质量；过程中机械化程度高，劳动强度低，提高了施工效率。

使用经验：目前已使用的防水板铺挂台车、防水板铺设采用自动爬行热焊机进行焊接。考虑施工便利，提高时效，行走系统为轮胎式多向移动体系，施工过程中迅速快捷；提升系统通过门架四周的卷扬机，将防水板通过顶部弧形轨道从一侧牵引至另一侧，解决了以往上防水板较慢的问题，大大降低了工人的劳动强度；液压系统通过固定于门架与弧形滑动轨道之间的液压缸，将牵引好的防水板顶伸至离工作面较近处，再进行防水板焊接，解决了以往防水板铺设易出现大面积褶皱的问题；和传统的挂布台车相比，传统台车铺挂12m防水板基本需要20h，新式防水板铺挂台车基本在12h左右完成，每板节省8h。

3.7 衬砌台车加装料斗与滑槽实现混凝土分层逐窗入模浇筑

通过主料斗、主溜槽、“三通”分流槽、分流串筒和入窗溜槽结合的方式，通过简单操作相应的各级插板阀门，使混凝土流向各工作窗口，实现二衬拱墙混凝土的逐窗进料，有效避免了混凝土离析、骨料堆积，产生“人”字坡冷缝等弊端；提升衬砌边墙混凝土浇筑的实体质量和外观质量；减少了边墙浇筑换管工序，降低劳动强度，节约了浇筑时间；滑槽体系经济适用，一次安装重复使用；现场操作简单便捷，一线工人易于接受；滑槽体系采用人性化设计，作业通道畅通有序，安全性高。

使用经验：采用二衬滑槽逐窗入模施工工艺，避免了工人来回拆卸泵管，提高了施工功效，降低了人工成本，保证了混凝土的逐窗连续浇筑。传统工艺施工二衬混凝土造成的集料窝、蜂窝、麻面、施工冷缝、“人字坡”等质量问题后

期修补的工作量大、施工难度巨大及成本较高。采用二衬滑槽逐窗入模施工工艺后，确保了混凝土的施工质量，避免了后期因混凝土缺陷造成的修补，降低了项目成本。

3.8 径向预埋RPC注浆管与拱顶带模注浆技术及注浆制浆一体机

通过对衬砌台车拱顶开孔，在衬砌台车拱顶中心线位置沿台车纵向方向按3m间距设置一定数量的注浆孔，并安装RPC注浆管，通过隧道衬砌专用注浆机带模高压注入带有修复性能的微膨胀注浆结合料，修复衬砌的环向施工缝、冷缝，简化了施工工艺，解决了拱顶脱空，提高了衬砌质量。

混凝土灌注前，通过试穿RPC注浆管，量测长度，预判拱顶衬砌混凝土厚度；混凝土灌注过程中，通过加装的可视化监控系统及人工观察RPC管口的溢浆情况，判定拱顶混凝土是否饱满；混凝土灌注完毕，通过预埋RPC注浆管及时进行注浆，解决拱顶混凝土厚度不足与拱顶脱空问题；带模注浆完毕，通过统计注浆量，对注浆数量予以考核，倒逼施工班组提高混凝土灌注量，进而加强混凝土灌注过程中的过程管理和监督^[2]。

使用经验：①带模注浆工艺施工方便可靠，在衬砌施工间隙注浆，不影响二衬施工周期；②RPC注浆管带模注浆可在混凝土初凝后开始注浆，通过较高的注浆压力，充分密实衬砌空洞，修复衬砌缺陷；③通过应用高性能的充填砂浆，修复衬砌自身和施工人员人为造成的缺陷，改善衬砌的整体力学性能；④将传统的隧道衬砌空洞缺陷由后期修补变为前期预防，早期“预防”式治理，及时纠正和改进，将“隐蔽”的“缺陷”工程变为“可见”的“可靠”工程；⑤确保隧道衬砌质量，提高衬砌混凝土的整体性及力学性能，减少衬砌混凝土开裂、脱空和脱落的风险，提高衬砌对地质风险的免疫力，减少运营时隧道衬砌发生灾害的风险。

3.9 钢筋套筒冷挤压工艺

工艺优点：钢筋套筒冷挤压机械连接工艺操作简便、速度快；连接后对中性好、性能稳定、连接接头强度大、质量可靠性高；降低动火作业时间，避免引起防水板火灾，并且节约钢材，经济效益好。

施工工艺标准：将需要连接的带肋钢筋端部插入特制的钢套筒内，利用挤压机压缩钢套筒，使钢套筒产生塑性变形，

靠变形后的钢套筒与带肋钢筋的机械咬合紧固力来实现钢筋的连接。大面积使用前必须经工艺性试验校核挤压力。

使用经验：在厂家的指导下取得挤压工艺性试验参数，正式挤压前工人根据套筒长度及型号在钢筋接头两侧 15mm 标识出挤压套筒安装控制线，在原地面摆放好钢筋，挤压时一个工人操作液压油泵，通过控制油泵送油阀达到油表读数从而达到控制挤压力，另一个工人安装挤压套筒，挤压速度快，效率高，效果明显，质量可控^[1]。

4 结语

本文总结了在高速铁路隧道开挖、仰拱、衬砌、水沟、电缆槽等施工过程中一系列工装设备、新工艺的成功应用，实现了高速铁路隧道快速、高效的施工，确保了隧道工程质量及安全，无论在施工进度还是施工质量上均得到了很好的控制，取得了显著的经济效益；同时为隧道施工提供了工程实践参考。不足之处为隧道开挖、支护方面工装设备机械化程度不高，建议在后期高速铁路施工中增加多功能三臂拱架安装台车、自行式液压锚杆钻机，为高速铁路隧道施工增砖加瓦。

通过隧道工装设备使用经验，在以后设备设置时提出几

点建议或思路：①仰拱栈桥长度设置为满足两个仰拱施工作业面的长度，这样能保证后一仰拱砼浇筑完毕后前一循环已经开挖完成，能够保证连续循环作业，更大程度提高仰拱施工效率。②研发仰拱后端边墙砼螺旋溜槽入模设计，保证砼运输车站位不能占用栈桥通道，在仰拱后端两侧就能使砼顺利入模，不影响其它机械车辆的出入，提高隧道施工流水效率。③再使用带模注浆工装工艺时加设智能饱满感应监控系统，更有利保证注浆一次成功率。④研发轻型挤压钳头，目前使用的挤压钳头在工作面上操作相对地面上操作不太方便。另外建议研发智能压力控制系统，减少人为因素引起控制压力值偏差，同时在挤压套筒挤压标记上增加夜光标识，更利用洞内标记辨识。

参考文献

- [1] 申运涛. 拱墙衬砌台车工装改进在隧道施工中的应用 [J]. 现代隧道技术, 2017, S2, 47.
- [2] 贺显林. 隧道防水板铺设台车的研制与应用 [J]. 现代隧道技术, 2017, S2, 45.
- [3] 柳其圣. 液压仰拱台车在铁路隧道施工中的应用分析 [J]. 铁道建筑技术, 2016(4).