

隧道仰拱填充一次成型技术应用

章好龙

中铁四局集团有限公司

摘要:以某高原高海拔隧道施工为例,介绍了隧道仰拱填充一次成型技术。该技术基于液压仰拱栈桥结合隧道仰拱填充一次成型要求,对栈桥进行深化设计及改造,通过增加自动摊铺系统进行布料、振捣、整平等一体化作业,保证工程施工实体质量及控制精度。施工结果表明,该技术安全可靠,提升施工质量、进度效果显著,在隧道仰拱填充施工中具有广阔的应用前景。

关键词:仰拱填充;一次浇筑;施工技术

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2022.20.054

一、引言

国内隧道仰拱填充通常利用预留找平层施工,方便轨道施工时精确控制填充顶面标高,但人为地增加一道水平施工缝,后期运营阶段经常发生部分地下水从薄弱地段进入填充层,对底部仰拱填充层产生的向上压力不断加大,突破临界值后导致轨道板上拱,致使轨道板表面出现裂缝、渗水等问题。仰拱填充采用传统工艺施工存在巨大的安全质量隐患,如何实现隧道仰拱填充一次成型,是解决富水隧道后期运营安全的关键问题之一。为此,项目通过对液压仰拱栈桥进行工装优化与改进,增加了仰拱填充一次浇筑成型的自动振捣、抹平装置及标高控制措施,实现了隧道仰拱填充一次成型的目。

二、工程概况

某隧道设计为两座单线隧道,左线起讫里程DK1066+865~D1K1078+580(DK1081+799.7519=1077+819.798,长链

3979.9539m),全长15694.9539m;右线起讫里程DyK1066+865~Dy1K1078+570(DyK1081+500.00=Dy1K1077+460.7808长链4039.2192m),全长15744.2192m。隧道最大埋深1600m,采用全钻爆法施工。隧址区地层岩性以石炭系中统至二叠系下统来姑组板岩夹变质砂岩为主;构造岩类主要为碎裂岩;第四系地层主要为全新统坡积、崩积、洪积碎石类土及上更新统冰碛碎石类土,主要分布于隧道进口、辅助坑道口及各冲沟内,厚约1~45m不等。隧道洞口通过第四系覆盖层,结构较为松散,洞身褶皱构造普遍发育,洞身多处通过断层破碎带、褶皱核部及浅埋段,洞身岩体破碎,局部含水,施工中可能会出坍塌、变形等围岩失稳现象本隧道衬砌结构设计使用年限级别为一级,结构设计使用年限按100年设计,并结合隧道衬砌所处的不同环境类别和作用等级分别设计。隧道洞身通过石炭-二叠系板岩夹灰岩、板岩夹变质砂岩、板岩,板岩局部为薄层状,具有明显的片理化、千枚化现象,且最大埋深1600m,施工中存在软岩变形的风险。隧道洞身衬砌、洞口挡(翼)墙、洞室等设计使用年限为100年。衬砌结构所处环境无侵蚀性。结构的主要部件初期支护采用C30高性能喷射混凝土,二次衬砌采用C30、C35混凝土或C35、C40钢筋混凝土,其中仰拱填充采用C20混凝土。二衬设计厚度55cm,混凝土标号C35,二衬主筋采用Φ20钢筋,环向间距20cm,主筋采用挤压套筒连接,分布筋采用Φ14钢筋,环相间距25cm,勾筋采用Φ8钢筋,间距25cm,勾筋满铺布置。

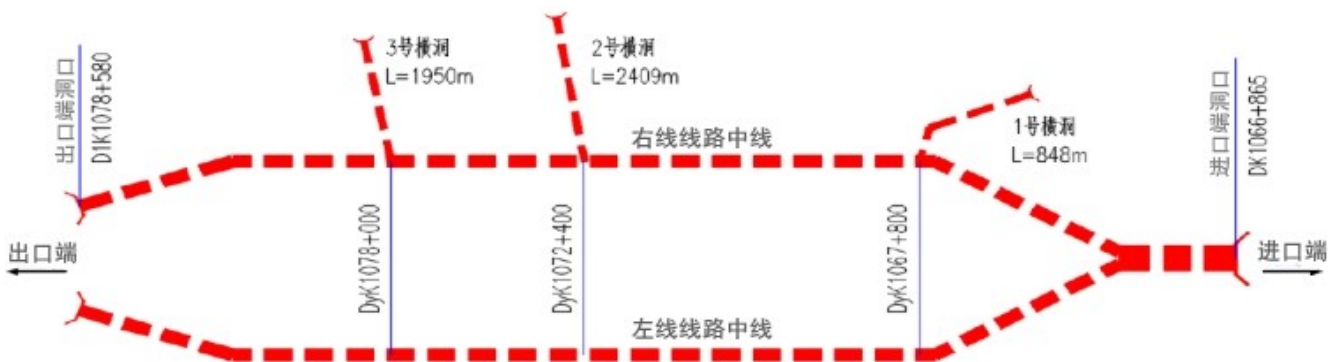


图2.1 隧道主线与横洞位置关系图

三、施工问题

如何实现隧道仰拱填充一次浇筑成型,是提高隧道仰拱施工质量、加快隧道施工进度、减少隧道安全隐患和质量隐患的重要途径。但目前,国内缺乏仰拱填充一次浇筑成型的成果经验案例,采用预留找平层施工分层浇筑的传统施工方法,人为地增加一道水平施工缝,后期运营阶段经常发生部分地下水从薄弱地段进入填充

层,对底部仰拱填充层产生的向上压力不断加大,突破临界值后导致轨道板上拱,致使轨道板表面出现裂缝、渗水等问题。同时,充填层处于轨道板与底座板中间夹层位置,其服役状态直接关系到整个无砟轨道结构的服役性能,其特殊的位置决定了其修补的难度,同时充填层的修补不能影响行车,必须在较短的天窗时间内完成修补过程。

四、解决方案

针对上述问题,经现场反复研究探讨,通过栈桥反光仪器测量,激光射线标高定位,利用栈桥自带行走小车就位,采用小车油缸伸缩调节填充顶面的高度和坡度,浇筑过程中采用栈桥自动整平机进行第一道整平收面,再采用磨光机辅助第二道整平收面,最后采用木抹+钢抹相配合进行第三道精细收面,实现仰拱填充一次成型的标高精确控制。

五、主要工艺及控制要点

(1) 仰拱开挖施工。仰拱开挖前做好技术交底、测量放样定出开挖范围,采用人工配合机械施工,开挖过程中随时检查开挖尺寸。石质地段采用高压风或高压水进行冲洗,每浇筑段仰拱或底板基底清理无虚渣;土质地段采用人工清除隧道底部虚渣、淤泥、积水和杂物防止超挖。

(2) 仰拱钢筋安装。仰拱钢筋施工,安装定位钢筋,画线标识环向主筋位置,采用角钢夹具工装和内层保护层卡具工装控制钢筋的间距、排距、箍筋数量、矮边墙处保护层厚度。

(3) 仰拱防排水施工。仰拱防排水采用“五线制”工艺定出防水板、土工布、纵向盲管及钢筋的高度;防水板采用20cm三缝爬焊机工装进行接缝,采用电磁焊机工装进行铺设;止水带采用热硫焊机工装进行搭接,采用紧线器工装对止水带进行线形固定;采用盲管固定架工装对泄水孔进行定位。矮边墙凿毛使用3cm宽角钢加固于矮边墙外侧,保证预留3cm宽度不进行凿毛。

(4) 仰拱模板设计。采用湖南五新自行式液压仰拱栈桥工装,该工装采用机电液一体化技术,配备多功能自动行走装置,液压自平衡系统,能够实现自动纵向、横向移动,自动化程度高,适应工况能力强。能够同时满足仰拱开挖、钢筋作业及混凝土浇筑与掌子面开挖同步施工,同时能够极大的提高仰拱与掌子面同步施工的安全性,在保证进度的基础上能有效地保证仰拱施工的安全与质量。

(5) 液压仰拱栈桥定位。在液压仰拱栈桥前桥上设置反光标,全站仪测量定位,以数据的形式反馈栈桥,通过液压行走系统自行就位,后桥落在已成型的仰拱填充面上,前桥落在稳定的基岩面上;通过前桥油缸伸缩精确调整,使主桥坡度与线路纵坡一致。

(6) 模板安装。主桥坡度调整到位后,升起弧模下端,利用弧模上端作为填充侧模;技术人员利用全站仪在矮边墙上定点放样,通过激光射线定位模板标高。将摊铺振捣设备走行至大里程端头,通过调节仰拱栈桥振捣整平机两侧油缸高度,使整平面略低于设计1cm,防止后期道床厚度不足。油缸高度调整到位后,将振捣整平机走行至小里程端头,对标高进行核查,如标高不符合设计值,则通过对应侧主桥油缸对整体坡度进行调整,反复校核,直至填充面整体标高、坡度符合设计要求。

(7) 混凝土浇筑。混凝土浇筑过程中,利用栈桥两侧溜槽及中间放料孔均匀分层放料,采用液压仰拱桥

振捣整平系统进行振捣、整平施工。

(8) 混凝土初平。填充砼浇筑至最后10cm时,放慢浇筑速度,当混凝土浇筑至整平机底部时,通过仰拱栈桥自动振捣整平机进行第一道整平收面,技术人员全程旁站,随时复核混凝土面的标高、坡度及平整度,动态调整整平机油缸,直至砼浇筑到定位标高。一是,调节仰拱栈桥振捣整平机两侧油缸高度,通过测量整平机底板标高,控制浇筑混凝土面标高和坡度到达设计要求。二是,最后10cm找平时,混凝土应放慢浇筑速度,当混凝土浇筑至整平机底部时,通过仰拱栈桥振捣整平机进行整平收面,同时安排技术人员随时复核混凝土面的标高、坡度及平整度,根据现场数据,动态调整仰拱栈桥振捣整平机油缸,直至混凝土浇筑到设计标高,实现对混凝土面的调整。

(9) 混凝土精平。人工利用磨光机对仰拱填充面进行第二道收面,刮尺控制仰拱填充顶面平整度和坡度;待混凝土即将初凝时,先采用木抹人工对局部凸处抹搓处理,再采用钢抹精细收面,并及时用水平尺复核填充顶面平整度,平整度控制在3mm/1m以内。

(10) 成品保护。填充面完成后及时进行成品保护,对仰拱填充边角采用角钢反扣保护;挖机通行时对填充面铺设橡胶(钢板)垫,保证成型混凝土不受破坏。

(11) 质量检测。仰拱(填充)混凝土浇筑完成达到规定龄期后,由中心试验室对预留的标养试块进行强度检测,判定混凝土强度;预留同条件养护试块,判定混凝土拆模强度及车辆通行强度要求;采用地质雷达对仰拱(填充)混凝土厚度进行检测。

六、保证措施

(1) 建立保障体系,确保方案实施。一是,建立健全质量控制保障体系,将仰拱一次填充质量控制,列为项目经理部科技创新领导小组实施的重点课题。明确领导小组及其他成员的在仰拱一次填充质量控制课题研究中的具体工作职责及任务划分。二是,科技创新领导小组定期组织召开专题会并邀请施工队伍负责人及设备改造厂家技术人员参加,共同研究仰拱一次填充质量控制措施。确保设备在保证施工质量的同时,既能与既有液压仰拱栈桥相匹配,又能便于现场施工应用。

(2) 创新改进工装,确保施工质量。项目经理部主要通过创新改进既有湖南五新自行式液压仰拱栈桥使用功能,作为仰拱一次填充质量控制的关键措施。目前,项目经理部已与设备生产单位共同完成自行式液压仰拱栈桥工装创新改进方案及改进设备部件加工设计图,并根据设计图完成部件的加工及进场检验,现场具备作业条件后组织应用试验。

(3) 结合现场,综合考虑,合理确定示范点。根据文件要求并结合项目进展情况,通过对自行式液压仰拱栈桥工装进行创新改进,增设自动振捣整平装置和标高调整控制装置,实现仰拱一次填充到位的实体质量、外观质量、标高及坡度的控制。

(4) 严控工装改进质量,确保设备性能匹配。优先选择既有液压仰拱栈桥生产厂家,参与设备改进的方

案研究、编制具体改造设计图并组织加工生产，确保设备的性能匹配。

(5) 专人驻厂监督检查，确保工装改进的进度和质量。液压仰拱栈桥方案确定后，项目经理部派技术人员、设备管理人员共同驻厂，及时沟通解决设备生产过程中存在的问题，对生产成品、半成品构件及时进行检查，督促加工进度按计划执行，以缩短进场检验时间，提高工厂加工改进进度和质量。

(6) 制定设备操作规程，进行交底培训，做好工装使用准备。在工装设备加工的同时，项目经理部提前制定改装设备的具体操作规程，规范设备操作流程，保证设备的正常使用与维护；提前对施工作业人员进行岗前培训、施工技术交底、施工安全交底，做好施工作业人员储备。

(7) 进行部件编号，建立设备清单，加强设备进场验收调试。设备进场时要求对构件进行编号、随附发货清单、设备组装图、使用说明书、出厂合格证等相关证明文件。有生产厂家专业技术人员对设备进行安装、调试。项目经理部安排专人对设备构件尺寸、安全性能、使用功能进行验收。

(8) 加强现场管理，注重现场实施过程总结与改进。在改进工装现场试用过程中，除严格实行“三员”（值班领导、施工员、试验人员）值班制外，技术人员

和机械工程师同时进行全程旁站。及时记录施工过程中的各项技术参数，协调解决现场人、材、机出现的各种问题，形成总结报告并推广应用。

七、工艺原理

(1) 在液压仰拱栈桥上设计功能小车，功能小车具有仰拱填充层施工振捣功能和整平抹面功能。通过在仰拱填充振捣整平机两侧各设置一个可伸缩的油缸（伸缩量为30cm），调节油缸伸缩量控制填充面平顺度与坡度，实现填充一次性浇筑过程中对填充面高度的控制。

(2) 仰拱覆模通过支撑杆件连接于仰拱栈桥主体，实现电动调节模板、收支模板的功能。模板尺寸依据仰拱填充一次成型理念进行设计，保证仰拱填充面结构尺寸。

(3) 模板混凝土浇筑控制高度为内轨顶面下51.5cm（道床板结构层厚度），仰拱填充施工时，在两边留出侧沟位置，仰拱填充最高处为1.085m，模板设计能够满足仰拱（填充）一次性浇筑成型的要求。

八、经济与社会效益

(1) 经济效益：通过本技术某隧道出口仰拱填充施工过程中避免了隧道二衬仰拱填充二次浇筑，减少找平层施工工序，降低各项施工成本109.2万元。

(2) 社会效益：在某隧道出口仰拱填充采用该技术实现了标高一次成型，解决了富水隧道后期运营

表1 增加费用统计表

序号	项目		增加费用			天数	总价	备注
			数量	单价	合价			
找平层施工								
1	测量	测量放样	2	1000	2000	42	84000	单个班组80单线延米/天
2	端头模安装	劳务费	2	600	1200		50400	
3	混凝土浇筑	劳务费	24	600	14400		604800	
4	混凝土养护	劳务费	2	600	1200		50400	
5	装载机	机械台班	2	3600	7200		302400	
6	合计							

安全。

结论

隧道仰拱填充一次成型技术在某隧道已成功应用，通过应用技术优势明显。具体如下：（1）实现了仰拱填充自动摊铺、自动振捣，减少了人工操作，节约了劳动力，从而降低施工成本。（2）进一步提升了填充层施工质量，消除了人工振捣不均匀、难以全覆盖的局限性，实现了仰拱填充施工的机械化。（3）该装置操作简单，方便快捷，能够有效地减少仰拱填充施工时间，加快施工进度。

总之，该技术已在某隧道出口段获得应用，效果良好，得到了上级单位的一致好评。主要用于隧道仰拱填充标高一次成型，是对隧道现有的工艺工法进行革新、优化，控制仰拱填充的工程质量，形成一套成熟、可靠的施工标准，提升隧道施工形象，解决隧道后期运营安全，具有很高的推广及实际应用价值。

参考文献

[1] 马长远. 软弱围岩隧道仰拱隆起大变形的影响因素研究[D]. 中国地质大学（北京），2021.

[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(03): 13-20.

[3] 张学亮. 高速铁路穿越软岩隧道仰拱破坏机理研究[D]. 山东大学, 2019.

[4] 刘恒显. 不同基底围岩条件下的隧道仰拱承载特性研究[D]. 兰州交通大学, 2019.

[5] 杨伟东. 基于隧道仰拱和填充分开施工的自带曲模自行式仰拱栈桥研制及应用[J]. 甘肃科技纵横, 2018, 47(05): 26-28.

[6] 赵伟, 尚军, 陈鸿. 单线铁路隧道仰拱二次衬砌大区段施工工艺[J]. 隧道建设(中英文), 2017, 37(S2): 234-239.