

层为第四系全新统、上更新统冲积、冲洪积地层,下伏上第三系上新统、寒武系地层。

该项目施工共分为5个工期,在工区衔接区段及标头段采用移动支架法施工,分别为:DK46+922.5~DK47+109.5,长187 m;DK47+404.5~DK48+278,长873.5 m;DK48+970~DK49+297,长332 m;DK49+529~DK50+006,长477 m;DK50+212~DK50+482,长270 m。其他区段均采用衬砌台车法施工。

3 基于移动支架衬砌施工支架合理形式

3.1 移动式侧墙支架结构

明挖隧道在侧墙混凝土施工时多用衬砌台车法施工,但衬砌台车需要专门设计、加工,其施工成本较高。因此,有时也采用支架法施工,即搭设支架支撑模板系统,以完成衬砌混凝土浇筑施工。传统的支架施工法,每浇筑一段后需要拆除支架,重新搭设,操作繁琐,施工效率较低,不利于大范围施工。基于实际需要,结合台车法施工和传统支架法施工的特点,机场2号线隧道施工中采用了一种可移动式模架衬砌施工方法,此种方法不仅便于移动,而且便于安装,有助于快速施工,节省工期。

移动式侧墙支架体系的总体布置见图2,两侧侧墙可设置两榀独立的移动式支架。移动式支架主要由新钢骨架、侧墙模板及模板骨架、行走系统和支撑锚固系统组成。各系统形成自稳定的整体结构,在施工过程中可实现快速移动和可靠锚固,作为侧墙施工的内膜支撑体系,实现侧墙逐环快速浇筑的目的。

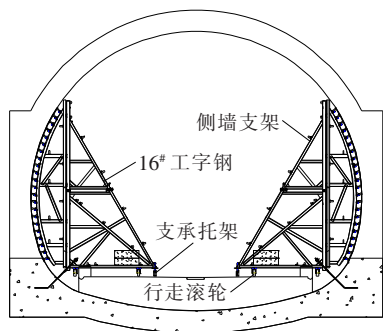


图2 移动侧墙支架系统示意图

侧墙模架的基本组成见图3,模架支撑主骨架为三角形桁架结构,桁片的纵向间距与型钢尺寸由支架结构的受力计算确定。该项目桁架由I16a工字钢焊接支撑,桁片纵向间距为1.2 m。三角形桁架纵向通

过水平联系杆和斜向联系杆连接为整体,连接杆件采用I12型钢,纵向总长度可根据每环施工长度控制为6~9 m。桁架支撑竖杆外侧与弧形侧墙模板支撑体系相连接,侧模支撑桁架外形与隧道结构形状基本相同。侧面桁架与弧形模板主龙骨可靠焊接,主龙骨外依次连接工字形次背楞与定型钢板模。在弧形模板主背楞和桁架竖杆之间通过角钢或工字钢等型钢可靠连接。在桁架底部分别设置行走轮和支撑垫块,在一环隧道施工完成后,可通过行走滚轮向前推进达到下一环施工位置。侧模位置调节到位后通过支撑垫块抄垫牢靠,实现对侧向支架的可靠支撑。

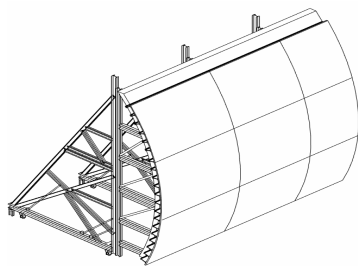


图3 移动侧墙支架构造示意图

由于侧墙模架需要承受混凝土浇筑产生的侧向压力荷载,如何进行可靠锚固是移动侧墙模架设计的要点。侧向模架除了在底部设置型钢垫块外,尚应在内侧设置预埋锚固结构,可在模架的内角设置锚固装置,在仰拱施工时预留拉杆将其可靠锚固(图4)。在三角形桁架直角位置设置与直角边为45°的锚固件,锚固件外沿纵向设置双拼锚固槽钢,用于锚固仰拱内预埋拉杆,为侧墙模架形成锚固铰,与竖向支撑垫块共同承载水平压力。

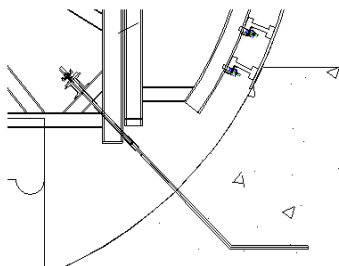


图4 模架预埋锚固结构示意图

3.2 移动式拱顶支架结构

拱顶施工支架的构造相对简单,见图5,在支架底部沿着纵向采用型钢连接组成支架底盘,在底盘下部分别设置行走滚轮和支撑垫块,支架底盘上部设置盘扣支架体系。盘扣支架的底托与支架底盘顶面焊接牢靠,盘扣支架之间通过斜向联系杆和水平联系杆连接

形成整体,较传统支架应增加联系杆数量,提高支架的整体性。盘扣支架杆件可选用直径 48 mm 杆件,纵横向间距由支架结构受力计算确定,该项目支架间距为 1.2 m。在支架中央位置可设置门洞结构作为施工通道,为施工人员及小型机械预留纵向通道。

在施工过程中可采用与侧墙支架同样的操作方法进行纵向移动与支撑。此种工艺不仅能促进快速施工,节省工期成本,且能反复利用支架结构提高周转率,具有一定的经济效益。

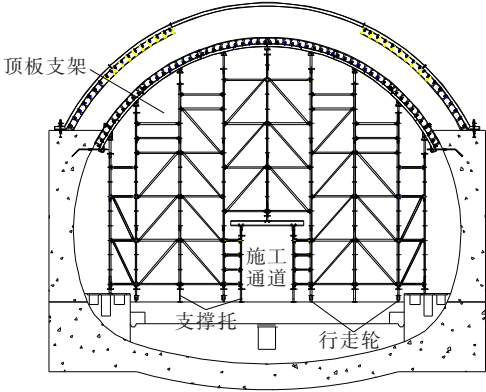


图 5 移动模架衬砌施工示意图

4 基于移动支架法衬砌施工工艺

4.1 标准工艺流程

基于移动支架法明挖隧道的标准化施工流程见图 6,在仰拱及填充施工完成检验合格后可进行侧墙的钢筋绑扎及混凝土浇筑。一环侧墙混凝土施工完成后,侧墙模架移动至下一环施工侧墙,拱顶移动模架由上一环移动至该环施工拱顶钢筋与混凝土。在施工时需要控制每环衬砌侧墙施工周期与拱顶施工周期相匹配,实现每环侧墙与拱顶的协调施工,提高移动支架系统的周转效率。

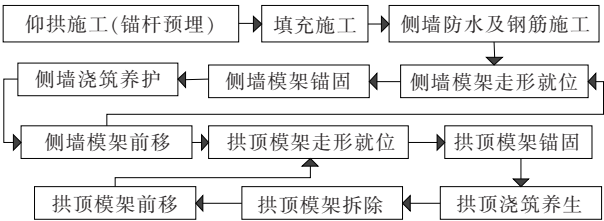


图 6 基于移动支架法衬砌施工标准流程

4.2 仰拱与侧墙施工关键工艺

在衬砌施工时,首先进行仰拱施工,仰拱及仰拱填充混凝土应分开浇筑,在仰拱混凝土强度达到 5 MPa

时,进行仰拱填充施工;拆模时混凝土强度应达到 8 MPa,拆模后应及时进行养护。在仰拱施工时,应满侧墙锚固地脚螺母。一般埋件距混凝土面为 250 mm;各埋件相互之间的距离根据锚固力计算确定,且不宜大于 300 mm,在靠近支架标准段的起点与终点各布置一个埋件。埋件与地面成 45°,现场埋件预埋时要求拉通线,保证埋件在同一条直线上,同时,埋件角度必须按 45°预埋。埋设时需要保证精度,并对螺纹采取保护措施,以免施工时混凝土黏附在丝扣上,影响下一步施工时螺母的连接。

待仰拱填充施工完成后,先进行防水板铺设与侧墙钢筋绑扎。侧墙钢筋施工就位后,推进移动侧模支架就位,并进行精确调整定位,固定牢靠,后进行侧墙混凝土施工,见图 7。侧墙混凝土强度达到设计强度 100%后方可拆模,具备拆除模板条件且达到规定强度后,应及时脱模、前移及浇筑下一段侧墙。在侧向模架拆除时应先解除锚固,并收起支架底部的支撑垫块,将支架重量转移至行走滚轮上。在模架整体横向拉开一定距离脱模后,再进行纵向前移,进行下环侧墙施工。

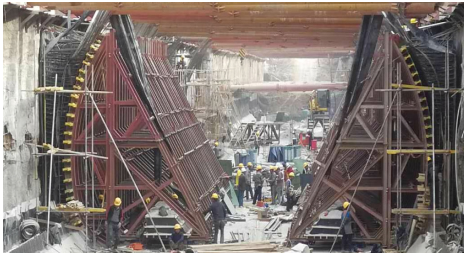


图 7 移动支架法侧墙施工现场

4.3 拱顶施工关键工艺

拱顶弧形底模由多块模板拼接组成,在模板对接处设置子母口,以达到减少混凝土在模板拼接处可能产生的错台,并降低安装难度。子母口设置见图 8(a),将模板拼缝设置在背楞处,安装时通过将两侧模板均接近在背楞表面上,实现模板拼缝的平顺。由于面板设置子母口,模板在安装和拆除时采用“先装的后拆,后拆的先装”的工序。铺设面板时要注意侧模和盖模面板铺设左右侧模板的不同。这样的设置方式可避免混凝土表面出现明显施工缝。

为了解决弧形模板与竖向支架之间的可靠支撑,保证主龙骨及上部模板整体平顺性,采用 I10 工字钢纵向设置于顶托上部作为转换梁,见图 8(b),主龙骨采用双拼[10 槽钢与转换梁结合面处设置楔形块进行角度调节。这种处理方式可以通过螺栓的调整确保主龙骨的可靠支撑。

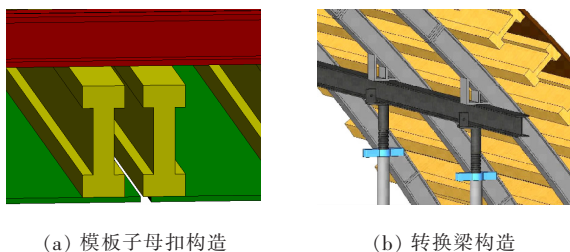


图8 移动支架模板细节构造示意

在一环衬砌侧墙模架拆除前移后,移动式拱顶支架移至该环位置,并对其平面位置和高程进行调整定位。调整就位后对支架进行可靠支撑锚固,在拱顶底模上完成钢筋绑扎与混凝土浇筑,见图9。拱顶混凝土达到强度要求后通过旋转顶部螺旋托架使得底模与拱顶混凝土底面脱离。收起支架底盘下方的支撑垫块,将支架重量转移至行走滚轮上,并利用行走滚轮移动至下一环位置施工。



图9 移动支架法侧墙施工现场

4.4 施工特点与优点

基于移动支架法隧道衬砌施工工艺将支架法的经济性与台车法的施工便利性相结合,利用行走系统实现支架的整体快速移动。同时利用支架的简易结构替代台车法施工支撑系统,降低造价。采用该施工方法重点需要控制好侧墙与拱顶的异步施工节奏,实现衬砌的快速施工。施工可靠性控制的要点在于支架锚固的可靠性,施工中需要加强对锚固性的实施与检查。

该施工方法在京雄铁路机场2号线明挖隧道施工中的实践表明,采用移动支架法施工较采用移动台车法施工节约费用50%~60%。支架移动与调整时间较传统支架拆除与搭设总时间节约70%以上,在施工

效率和经济性方面均取得了良好的效果。

5 结语

以京雄铁路机场2号线明挖隧道施工为依托,研究提出了一种基于移动支架法施工的明挖隧道衬砌施工方法。对该种支架体系的合理结构形式进行了研究,结果表明:该方法通过合理的支架构造形式的研发,实现了快速移动和简易施工的功能。

移动支架体系由移动式侧墙支架和移动式拱顶支架组成,均带有移动行走滚轮和支撑垫块与锚固构造。在仰拱施工后,利用侧墙支架逐环进行侧墙施工,最后逐环进行拱顶施工,通过侧墙与拱顶施工节奏的配合,有效提高了支架的使用效率。

该方法利用了支架施工灵活,便于操作的特点,同时实现了自移动功能,避免了反复拆卸与搭设的繁琐工序。既提高了施工效率,又降低了施工成本,在中等长度隧道施工中值得推广应用。

参考文献:

- [1] 李蒙,邹健,刘苹,等. 基于BIM的隧道施工安全风险辨识模型研究[J]. 工业安全与环保, 2019(5).
- [2] 张卫琛. 高速公路隧道施工技术及管理要点研究[J]. 建筑技术开发, 2019(10).
- [3] 管新邦. 不同开挖方法对公路隧道围岩稳定影响分析[J]. 公路工程, 2018(6).
- [4] 齐飞. 公路隧道工程的开挖施工方法与安全措施研究[J]. 山西建筑, 2018(27).
- [5] 冯涛. 隧道特殊段衬砌碗扣支架法施工技术[J]. 科技创新与生产力, 2010(6).
- [6] 李晶. 高速铁路自行式双线衬砌台车施工技术[J]. 建筑机械化, 2019(4).
- [7] 付航,丁涯,向明. 隧道大断面整体移动式模板支架施工技术[J]. 江苏建材, 2018(4).
- [8] 曹淑学,皮军云. 跨海大桥混凝土箱梁移动模架施工技术[J]. 中外公路, 2019(4).
- [9] 陈雪峰,毛金龙,袁立,等. 单层衬砌在梨花井隧道中的应用[J]. 中外公路, 2018(2).