

落度较高,工作时间久。故在施工过程中易造成衬砌混凝土出现人字坡、施工冷缝等常见质量缺陷,甚至影响其局部强度。

如何提高衬砌混凝土的浇筑质量是明挖隧道施工研究的主要问题之一。针对这一技术难题,该文提出一种多点布料对称浇筑施工方法,以提高隧道衬砌混凝土的施工质量和施工效率,实现明挖隧道衬砌施工的技术进步。

## 1 依托工程概况

以京雄铁路机场 2 号线隧道工程为依托,研究一种多点对称布料分层浇筑施工方法。机场 2 号隧道是京雄城际铁路的重要组成部分,北接北京大兴机场地下站,南穿永定河南大堤后露出地面,路线全长 8.34 km。隧道最大埋深 28.64 m,隧道设计为单洞双线形式,双线之间间距为 5 m,洞门采用柱式洞门。路线大部分区段主体结构断面形式为拱形明洞结构,明挖隧道的标准断面形式如图 1 所示,衬砌隧道总高度为 12.83 m,洞趾隧道总宽度为 19.90 m,两侧洞趾宽度各 2 m。

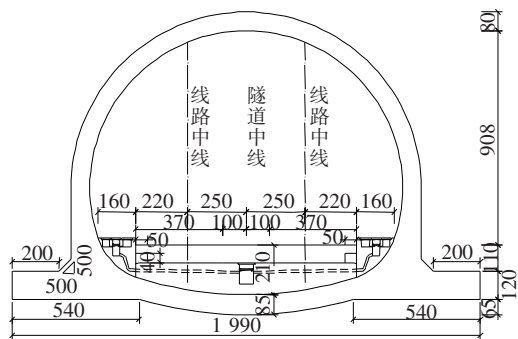


图 1 京雄铁路 2 号线隧道标准断面图(单位:cm)

机场 2 号隧道主要采用放坡明挖法施工, 基坑深度为 12.6~32.3 m, 地质主要为砂层、粉土、粉质黏土互层, 最深处地下水位为拱顶以上 4~5 m。衬砌混凝土主要采用衬砌台车法施工, 部分区段采用移动支架法施工。台车法施工时, 首先进行仰拱施工, 待仰拱填充施作完成后, 利用多功能作业台架人工铺设防水板、绑扎钢筋。拱部衬砌采用液压整体式衬砌台车进行一次性整体灌注施工。衬砌台车长度为 9.1 m, 采用定型钢支撑液压台车结构。混凝土采用拌和站集中拌和, 混凝土运输车运至现场, 泵送入模。在混凝土养护达到设计强度并完成防水施工后再进行对称回填。

## 2 多点对称布料浇筑施工方法

## 2.1 施工方法

多点对称布料施工的工作原理如图 2 所示,利用布置在衬砌顶部的中央集料槽作为混凝土布料的自动分配系统,实现混凝土浇筑的多点同步布料。

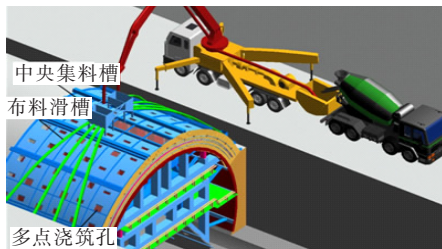


图 2 分层对称多点浇筑侧墙示意

该浇筑系统由中央集料槽与浇筑滑槽组成,中央集料槽设置在衬砌顶部模板上方,通过中央集料槽的布料分配,使得混凝土对称流向两侧浇筑滑槽。实现衬砌两侧浇筑对称性的控制,确保两侧浇筑对称。在混凝土浇筑施工时,混凝土通过泵送设备泵送至顶部中央集料斗,后经过集料斗,由滑槽、漏斗和串筒流入衬砌台车各布料点,实现多点布料。浇筑过程中通过对中央集料槽出口位置浇筑阀门的控制可以灵活调整混凝土在各分配滑槽的布料速度。

混凝土浇筑滑槽下方与模板顶部预留的浇筑孔相连接,在混凝土浇筑到对应浇筑孔高度时可将该浇筑孔以下的滑槽拆除,直接将浇筑滑槽与浇筑漏斗安装在该位置的浇筑孔内。采用这种方法完成衬砌顶板的混凝土对称浇筑,如图 3 所示。

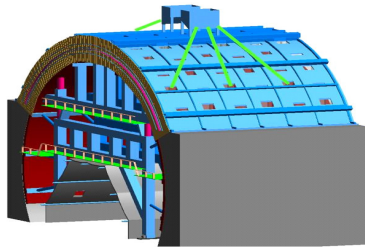


图3 分层对称多点浇筑顶板示意

## 2.2 主要施工设备

多点分层对称浇筑布料系统主要由中央集料槽、浇筑滑槽、浇筑漏斗及浇筑串筒组成。系统组件构造均较为简单,可现场加工制造组拼后使用。

中央集料槽由角钢与钢板焊接制造成型,见图4,

集料槽底部应设置不小于 45°的斜坡。两侧各设置 4~6 个混凝土出料口。底板与多个混凝土滑槽相连接,每个滑槽与集料斗连接处设置一控制阀板,可通过调节阀板控制各滑槽混凝土的布料速度。

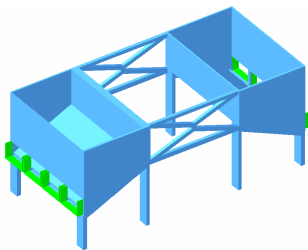


图 4 中央集料槽示意图

滑槽可用薄钢板弯折成型,并在外侧设置加劲肋以保证滑槽刚度,但需要控制滑槽的总重量,便于施工时移运便利。滑槽可采用长度为 1.5、2.0 m 的标准节拼接而成,滑槽布置时可根据布料口的位置,灵活调整长度。在两端设置挂钩式连接构造,便于快速连接与拆除,制造完成后应进行试拼装检验,拼接时按照顶层在上的原则进行接头连接。

每个滑槽下端与一个集料漏斗相连接,混凝土经滑槽输送到达集料漏斗,经集料漏斗进入混凝土串筒或浇筑布料点。两侧侧墙混凝土浇筑应及时调整串筒长度,控制混凝土自由下落的高度,避免混凝土下落过程中出现离析,影响混凝土质量。

2.3 施工特点与优势

采用多点分层对称布料浇筑工艺的特点是施工布料控制操作简单,布料均匀可控。无需频繁更换浇筑点,混凝土只需要集中泵送至中央集料槽,利用滑槽自动均匀分配混凝土,实现多点同步浇筑。混凝土输送至现场,同一层混凝土两侧多点同时布料,每罐混凝土浇筑时间较短,坍塌度损失较小,基本可实现混凝土的连续浇筑。

这种施工方式可降低对混凝土塌落度的要求,有利于提高混凝土质量,能够避免混凝土离析,减少施工冷缝等质量缺陷,也可提高混凝土的密实性。同时,这种施工工艺缩短了混凝土的泵送时间,提高施工效率,单罐混凝土的浇筑时间可缩短 20% 以上。此外,这种施工工艺可改善施工条件,将浇筑施工布料由模板内调整到模板外侧,人员无需长时间在模板内实施混凝土浇筑工作。混凝土的浇筑实现半自动化,降低了劳动强度。相较于传统两侧分别布料施工工艺而言,衬砌两侧浇筑的对称,浇筑速度相同,混凝土施加在衬砌台车上的侧向压力基本对称。因此衬砌台车的受力更

加均匀,避免了由于不对称荷载导致台车受力过大甚至发生横向移位的可能。

多点分层对称浇筑施工方法除了在施工效率、施工质量方面的优势外,尚有明显的环保优势。该浇筑方式在施工过程中现场无混凝土掉落,施工作业面整洁,无浇筑废料,对环境污染小,且能够降低泵送车和运输罐车的工作时间,降低能耗。

3 标准化工艺与质量控制要点

3.1 标准化施工工艺

采用分层多点对称布料施工的标准化工艺在原有衬砌混凝土浇筑工艺的基础上结合多点布料的要求,可按照如图 5 所示的标准化工艺进行衬砌的侧墙与顶板混凝土施工。主要分为准备阶段、浇筑阶段和养护阶段,具体可分为 14 个操作步骤。

仰拱施工完成后方可进行衬砌施工。先在侧墙外侧完成侧墙防水施工与侧墙钢筋安装,后调整衬砌台车就位,可以台车作为顶板钢筋绑扎平台,完成顶板钢筋安装。在侧墙钢筋与顶板钢筋绑扎完成,并检验合格后可进行顶板盖模安装、调整与固定。盖模安装由侧墙向拱顶的顺序安装,安装时应重点控制模板外侧的保护层厚度。

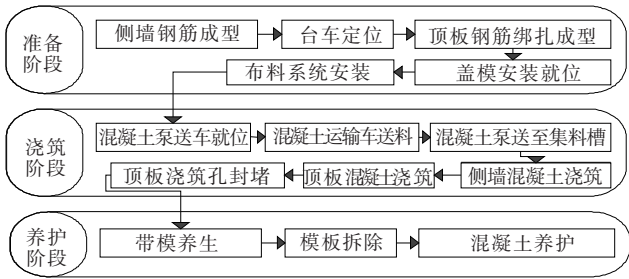


图 5 衬砌混凝土施工标准工艺流程

顶板安装就位后安装分层多点布料系统,首先将中央集料槽安放于顶模板中央,再由顶板与侧墙交界处向中央集料槽依次安放滑槽,安装就位的滑槽通过强力磁铁与顶模板临时固定。滑槽上端与中央集料槽的出料口利用挂钩可靠连接,滑槽下方与侧墙顶部安装集料漏斗和串筒连接,形成多点、同步布料系统。布料系统安装就位后需要对各连接位置的可靠性进行检查,确保混凝土浇筑过程中布料系统的稳定。

在浇筑时,混凝土通过泵送车连续泵送至中央集料槽中,利用布料系统实现对混凝土分流。浇筑过程中可通过插板阀控制滑槽的开闭,达到混凝土两侧对

称分层浇筑的目的。混凝土的浇筑路径如图6所示。先浇筑侧墙,后浇筑顶板,依次分层浇筑。浇筑过程中只需观察人员对各布料槽布料速度的观察与调整,实现各点均匀布料。在两侧侧墙混凝土浇筑时应及时调整串筒长度,控制混凝土自由下落的高度。在每层混凝土浇筑过程中,先采用插入式振捣器振捣,再启动附着式振捣器振捣,钢筋混凝土主要采用插入式振捣器振捣。

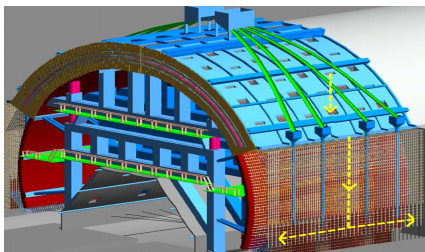


图6 布料过程示意图

侧墙浇筑完成后拆除侧墙集料漏斗和串筒,移动集料漏斗直接插入顶板盖模浇筑孔,并调整滑槽的角度逐层浇筑顶板混凝土。顶板混凝土浇筑至浇筑口后及时封堵该层浇筑口,改由上层浇注口浇筑。封堵后的浇筑孔采用浸水土工布覆盖,以防表面局部失水影响混凝土质量。

混凝土浇筑至顶板墩顶位置后,顶板最后一层浇筑可直接利用混凝土泵送车沿着纵向由一侧向另一侧缓慢浇筑。浇筑完成后封盖最后一块顶模。混凝土浇筑完成后应将布料系统移运至固定区域进行清洗,对清洗废水做好处理,避免造成环境污染。

### 3.2 质量控制要点

在布料施工前,应对每环隧道轮廓断面进行测量,并计算出混凝土数量,为混凝土浇筑提供数量标准。施工过程中对实际施工数量进行校核,以对其涨模、密实度提供总体参考,作为浇筑宏观质量的控制依据。

浇筑过程中应根据浇筑进度及时调整串筒和滑槽的总长度,确保混凝土浇筑的自由下落高度不大于2 m,防止自由下落高度过大导致混凝土离析,影响混凝土质量。

混凝土振捣可采用插入式振捣器配合附着式振捣器振捣施工。对于插入式振捣器应控制振捣速度,以“快插慢拔”为原则,不得在混凝土浇筑仓内平拖振捣

棒。同时对主要埋件位置应进行标记,避免振捣棒接触模板、防水板及重要埋件。混凝土表面泛浆、无显著下沉、无冒泡现象时即可结束振捣。附着式振捣器的启动顺序应从下至上,依次启振。每次振捣时间为8~10 s,振捣3~4次为宜。

混凝土浇筑完成后及时做好养护,对于布料口位置、浇筑开口封堵位置,应采用土工布覆盖,并洒水养护,确保混凝土表面湿润。模板及胎车拆除后,应做好拆模后混凝土的养护工作,避免混凝土由于失水开裂。如果属于冬季施工,则需指定冬季施工专项方案做好防风与保温措施。

## 4 结语

针对传统明挖隧道衬砌施工混凝土易出现分层等质量控制难题,通过对隧道衬砌分层对称浇筑工艺的研究,提出了一种基于移动滑槽的分层对称浇筑布料系统。该施工方法操作简便,降低了作业工人的劳动强度,基本实现了连续浇筑,提高了混凝土的浇筑质量,同时改善了明挖隧道浇筑施工作业环境。通过自动布料系统控制混凝土浇筑同步、对称、连续,避免施工间断形成施工冷缝,确保混凝土强度均匀可靠。两侧对称施工,优化了衬砌台车的受力,避免了台车变形或移位导致衬砌外形尺寸偏差过大。这种施工方法具有施工效率高、质量易控制、经济环保等优势,可在明挖隧道混凝土浇筑施工中推广应用。

### 参考文献:

- [1] 雷宏亮. 北京地下直径线大断面暗挖隧道衬砌施工技术[J]. 隧道建设, 2013(8).
- [2] 王海亮. 隧道衬砌施工缝质量缺陷分析及预控措施[J]. 铁道建筑技术, 2018(5).
- [3] 赵继平. 隧道衬砌分层逐窗浇筑混凝土施工工艺[J]. 西部探矿工程, 2018(4).
- [4] 王丽华, 李炜. 复杂地质条件下隧道施工技术分析[J]. 交通世界, 2017(21).
- [5] 张开. 隧道衬砌支护施工技术及质量控制[J]. 中国标准化, 2017(4).
- [6] 陈智. 隧道衬砌施工中防止混凝土表面缺陷的几点建议[J]. 铁道工程学报, 2004(1).