

# 顶推框架桥下穿高速公路路面变形控制研究

周广友<sup>1</sup>, 程学明<sup>2</sup>, 龚虎<sup>1</sup>, 吴璨程<sup>1</sup>, 林宇亮<sup>2</sup>

(1. 中国建筑第五工程局有限公司, 湖南 长沙 410004; 2. 中南大学 土木工程学院)

**摘要:** 拟建湖北省 S439 省道荆门段采用框架桥顶进施工技术下穿襄(阳)荆(州)高速公路。襄荆高速公路在施工中仍正常运营,故需对路面沉降进行严格控制。综合考虑框架桥顶推施工中存在的技术难题,采取设置门框架和支撑桩、减阻隔离钢板、子盾构循环开挖等措施,有效地控制了路面变形,保证了高速公路的行车安全。

**关键词:** 顶进框架桥; 下穿高速公路; 路面变形; 控制措施

随着社会的迅速发展,既有线路无法满足城市日益增长的交通量,故需要对原有公路进行改扩建以满足城市快速发展的需求。在公路的改建、扩建或新建过程中,难免会出现与其他既有线路交叉所带来的问题。而顶推框架桥下穿既有线路是目前工程中解决线路交叉常用的一种施工方法。郑(州)开(封)公路下穿京港澳高速公路工程是一个大断面箱涵下穿高速公路的典型施工案例,机动车道+非机动车道全断面宽度达到 47 m,施工中采取超大管棚控制地层位移以保证公路的安全;北京首都国际机场下穿西区 L 滑行道箱涵全长 148 m,顶进施工风险高,对地表沉降控制要求严格。箱涵顶进施工技术广泛应用在公路下穿既有线路工程中,在不中断交通、不破坏既有路基的条件下完成施工。此次施工采用无管棚支护的钢盾构开挖、中继间顶进施工技术,在保持框架桥顶进速度的同时能够确保高速公路的安全运营。

## 1 工程概况

拟改建工程湖北省 S439 省道是连接荆门汉江石牌港区的一条重要疏港公路,也是贯通东宝牌楼—钟祥石牌新型城镇化示范带重要公路。该工程位于荆门市境内来龙村西约 350 m 处,图 1 为框架桥下穿位置示意图。S439 省道下穿襄荆高速公路段采用左右双向车道分离式设计,东—西向车道利用老路原有的空心板桥下穿高速公路,西—东向车道采用顶推钢筋混凝土框架桥斜穿高速公路。框架桥采用一孔整体

封闭式框架结构,起点桩号为 K1+432,终点桩号为 K1+471,全桥 39 m 平均分为 3 个节段,每节长 13 m。框架桥左右两侧侧墙厚度为 1.1 m,顶板厚度为 1.1 m,底板厚度为 1.2 m,框架桥外轮廓跨度达到 18 m,高度达到 8.5 m。图 2 为框架桥顶推施工示意图。



图 1 框架桥下穿位置示意图

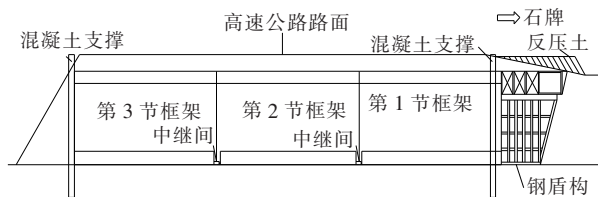


图 2 框架桥顶推施工示意图

拟建 S439 省道右幅车道下穿襄荆高速公路 K1 680+980 处,采用钢筋混凝土框架顶进施工法施工,与襄荆高速公路斜交,右偏角 80°。在框架桥顶推施工过程中虽然对襄荆高速公路采取临时交通管制,仅开放半幅交通,但是襄荆高速公路的通行车辆中货车所占比例较高,车辆动荷载循环作用在施工中的路基土体上。而框架桥顶板上覆土体较薄,厚度仅 1.55

m。路基土体受施工扰动以及车辆动荷载作用,极易产生较大变形,严重威胁襄荆高速公路的行车安全。

框架桥起点处地质钻孔资料显示:框架桥底板以下地基土体以粉质黏土、中风化泥质砂岩为主。框架桥底板位于粉质黏土层中,地基承载力为 160 kPa。

## 2 技术难题

此次框架桥下穿襄荆高速公路工程采用“钢盾构开挖,中继间顶进”的方法施工。在襄荆高速公路的西侧开挖 23 m×75 m 的工作坑,对坑底土体进行地基处理待地基承载力满足要求后,便开始在工作坑内进行钢筋混凝土框架桥的预制。同时在框架桥的顶进前端进行钢盾构的安装。图 3、4 为预制钢筋混凝土框架桥和钢盾构结构拼装示意图。再在框架桥的背后施工桩基承台后背座,通过油压千斤顶将框架桥顶入高速公路路基。

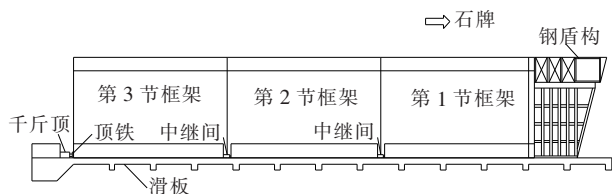


图 3 预制框架桥示意图



图 4 预制框架桥实体图

在框架桥下穿襄荆高速公路顶进施工中,高速公路不完全封闭交通,采取分次封闭单向交通,借助对向车道实行单幅双向通行。由于高速公路正常运营,如果高速公路路面在顶推施工过程中产生过大的变形,将会严重影响行车安全。而在此次框架桥顶推施工过程中存在如下因素都将会对路面的沉降变形造成影响。

(1) 经过前期的各项施工准备和问题处理,框架桥于 2018 年 9 月 1 日进入正式顶推阶段。由于国庆假期高速公路免费放行,车流量将会剧增;且 10 月份荆门开始进入多雾期,能见度骤降,局部的交通管制将

会对行车安全造成威胁。这意味着此次施工需要在 1 个月内将框架桥顶推就位,并开放框架桥上方高速公路交通。根据历史天气记录以及天气预报显示,荆门市在 9 月份将会有 1/3 以上的天数为降雨天气。在顶进高速公路的过程中框架桥需向前顶推约 36 m,这将要求框架桥日均顶推距离达到 1.5 m 甚至更多。如何在合理控制高速公路路面变形的情况下尽可能加快顶进速度,是工程中亟待解决的一个问题。

(2) 框架桥主体混凝土用量为 2 303.3 m<sup>3</sup>,钢筋为 298.54 t,钢盾构为 279.1 t,托板及减阻板为 62.388 t,框架桥顶覆土约为 2 100 t,总重达到 8 267 t。而施工期间正处于多雨天气,雨水渗流势必会造成路基土体强度降低。如此大的自重,作用在地下水位较高的软弱地基上极易造成框架桥的沉降,因土体流失及框架桥沉降,高速公路路面势必会沉降,从而影响安全和进度。

(3) 框架桥顶板上方预留覆土厚度较薄,顶板至路面的平均厚度约为 1.55 m。在框架桥顶推过程中对路基的开挖势必会对土体造成一定程度的扰动。由于框架桥与上覆路基土体之间相互摩擦,可能会造成摩擦面上的土体随着框架顶进过程而流失。而高速公路在施工期间采取单幅双向通行,所以在土体开挖、框架顶推过程中均有车辆动荷载持续作用在施工段上。受扰动的土体在车辆荷载作用下被压实,可能会导致高速公路路面产生过大变形。

## 3 控制措施

为解决框架桥顶推过程中高速公路路面变形过大的问题,施工从路基土体加固、土体开挖等多个方面采取控制措施,在保证框架桥顶进速度的同时也能够确保高速公路的行车安全。

### (1) 门框梁与支撑桩

在框架桥的顶进过程中,框架桥与路基之间的摩擦力有可能使路基产生位移,尤其是在框架桥即将推出路基的时候。为保证路面以及路堤边坡的稳定,在框架桥顶推的进口端和出口端均设置了门框梁与支撑桩。在进口端和出口端每侧均设置了 1 根门框梁和 8 根支撑桩。以进口端为例,门框梁与其中两根支撑桩现浇在一起组成稳定的“门”字结构。在门框梁的下方、支撑桩的内侧均只为框架桥预留了 10 cm 的施工误差,意味着框架桥在顶进过程中其“抬头”、“扎头”、左右偏移的误差均不能超过 10 cm。剩余的 6 根支撑

桩均匀布置在顶进通道的两侧,以保证进口端两侧的路堤边坡在顶进过程中的稳定。图5为进口端门框梁与支撑桩的设置。



图5 进口端门框梁与支撑桩

### (2) 减阻隔离钢板

在钢盾构的前端设有19个子盾构。在每个子盾构内安装了一块与子盾构等宽、厚度为5 mm、长度固定的隔离卷板,隔离卷板的一端固定在进口端的门框梁上,另一边的自由端则预留在钢盾构内部,在框架桥的顶进过程中通过焊接接长隔离卷板,保证隔离卷板的长度能够覆盖整个框架桥(图6)。除此之外,在框架桥顶板的上方沿着顶进轴线方向通长设置5 mm厚的减阻钢板,减阻钢板的前端与钢盾构的钢板焊接在一起。其中隔离钢板固定在框架桥顶板上无法移动,而隔离卷板是随着框架桥的顶进逐渐卷铺在上覆土体与隔离钢板之间。顶推施工之前,根据下一次顶推进尺在隔离钢板上涂抹足够长度的润滑脂。故在框架桥顶推施工过程中,隔离卷板的上方与上覆土体直接接触,下方与减阻钢板接触。原来框架桥顶板与上覆土体之间的摩擦面转换为隔离卷板与减阻钢板之间的摩擦面,而隔离卷板与减阻钢板之间的润滑脂能够大幅度减小框架桥的顶推阻力。在框架桥的顶进过程中隔离卷板与上覆路基土体形成了一个整体,能够有效地减小覆盖土层受框架桥的顶进摩擦力产生的水平位移。同时框架桥没有直接与上覆土层接触,能够有效避免土体在顶进过程中的流失,减小路面产生的竖向位移。



图6 隔离卷板

### (3) 分离式子盾构

在钢盾构的上方设有19个子盾构,每个子盾构由小千斤顶独立控制,图7为子盾构实体图。在钢盾构顶至预定位置后,每个子盾构能够再向前顶进约50 cm。当子盾构向前顶进时,其上部土方由前端锯齿刃脚切割下落,子盾构插入土体中承担上部土方及公路荷载。每个子盾构内的土方由工人手持风镐开挖掘进,为确保掘进面土壤不损失,防止坍塌现象的发生,视挖掘面土的自稳能力,子盾构作业分先顶后挖、边顶边挖和先挖后顶3种方式。



图7 子盾构

钢盾构墩柱之间的中心土则采用挖掘机放坡开挖,开挖时注意放缓坡且不能差挖,开挖后在坡面上散一层粉煤灰加强坡面稳定性。钢盾构高度比较高,侧向土压力也会十分大,钢盾构切入土体后利用墩柱之间的中心土平衡盾构外侧的侧向土压力。

### (4) 其余控制措施

根据现场调查发现施工场地范围内地下水位较高,且施工期间降水量较大。若排水不够彻底,框架桥顶进前端开挖面渗水量较大,会降低地基承载力,导致框架桥和高速公路路面产生沉降,影响正常施工进度。故施工中在基坑四周以及进口端和出口端的两侧均设有降水井,以降低框架桥施工范围内的地下水位。

如果发生意外情况路面产生影响车辆通行的沉降,应当立即停止顶进作业。根据路面破坏情况采取铺钢板、铺沥青等临时措施快速修补路面,尽快恢复交通。待框架桥顶至预定位置后对路基土体进行注浆加固,再重新翻修高速公路路面。

## 4 现场监测

在框架桥顶进施工过程中,在高速公路路面上布置如图8所示的监测点位,并开展了一系列的沉降监测工作。由于高速公路在施工期间采取单幅双向通车的方案,故仅在高速公路封闭半幅交通时才开展测量



工作。荆州向路面于 2018 年 9 月 8 日开始封闭,9 月 14 日完全开放交通;襄阳向路面于 9 月 14 日开始封闭,9 月 22 日完全开放交通。图 9、10 为襄阳向和荆州向应急车道点位的沉降监测数据。



图 8 路面变形测点示意图

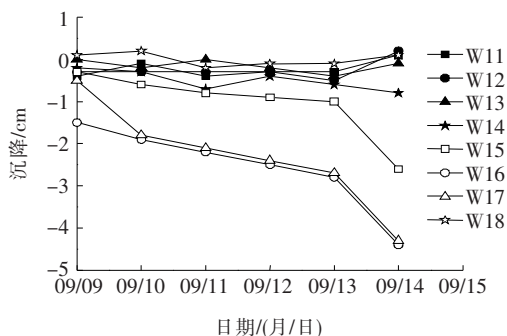


图 9 荆州向应急车道监测点位沉降曲线(2018 年)

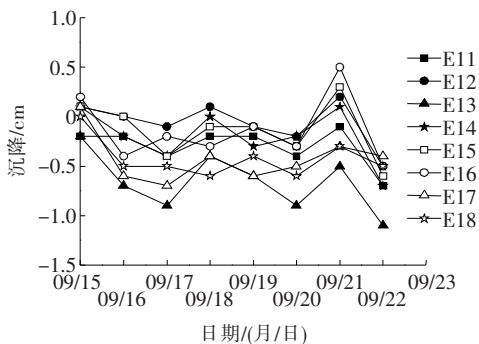


图 10 襄阳向应急车道监测点位沉降曲线(2018 年)

从图 9 中可以发现:位于荆州向应急车道框架桥正上方的监测点位 W14~W17 沉降较大,要大于位于框架桥轮廓外侧的几个监测点位,最大沉降值出现在 W16 点,约为 4.4 cm;从图 10 可以看到:襄阳向应急车道有相似的沉降变化规律,最大沉降值出现在 E13 点,约为 1.1 cm。从监测数据中可以验证施工中所采用的路面变形控制措施取得了显著的效果。

## 5 结语

拟建湖北省 S439 省道荆门市段采用框架桥顶进施工方法下穿襄荆高速公路。襄荆高速公路在施工期间仍正常运营,故严格控制高速公路路面变形至关重要。高速公路产生水平位移的主要原因是框架桥与路基土体之间的摩擦作用;产生沉降的主要原因是框架桥基底的沉降和上覆土体的流失。而在框架桥顶推过程中又面临工期紧张、雨季施工、框架桥自重以及上覆土层薄等技术难题。

为保证框架桥的顶进速度和高速公路行车安全,施工中在进口端和出口端均设置门框梁以及支撑桩来维持路堤边坡的稳定性,减小路面因框架桥摩擦而产生的水平位移;在框架桥与上覆土体之间设置隔离卷板和减阻钢板,减小土体与框架之间的摩擦作用,避免土体的流失;在盾构的支撑保护作用下进行土体的循环开挖,防止土体沉陷或坍塌。监测结果表明所采取的措施具有良好的效果。

## 参考文献:

- [1] 覃卫民,楚斌,龙立志.大断面箱涵下穿高速公路过程的施工监测分析[J].岩石力学与工程学报,2009(9).
- [2] 黄生根,张健,张晓炜.超大型箱涵顶进引起的地层位移规律研究[J].岩土力学,2009(2).
- [3] 李志伟.浅埋大断面公路箱涵顶推施工技术[J].施工技术,2008(7).
- [4] 饶为国.管棚一大断面箱涵暗顶技术在下穿公路工程中的应用及分析[J].土木工程学报,2008(4).
- [5] 张贵婷.郑开通道箱涵斜穿越顶进实时受力分析及应用[J].施工技术,2008(11).
- [6] 夏才初,龚建伍,陈佑新,等.滑行道下超长管棚一箱涵顶进地表沉降分析[J].岩石力学与工程学报,2008(4).
- [7] 蒋坤,夏才初,占伟明,等.长管棚下箱涵顶进施工中管棚力学作用及其实例分析[J].土木工程学报,2010(2).
- [8] 刘淑敏,赵龙生.城市道路与高速公路相交节点方案研究[J].中外公路,2018(3).
- [9] 冀海河.大断面矩形结构下穿铁路关键技术研究[J].施工技术,2018(S1).
- [10] 王飞球.下穿式箱涵顶进施工过程土体受力规律研究[J].防灾减灾工程学报,2018(4).
- [11] 罗德芳,成斌.圆砾地层顶管上跨既有运营地铁施工安全风险分析及控制研究[J].中外公路,2018(5).