

浅覆土下穿高速公路框架桥顶进施工技术

周广友¹, 鲁立², 龚虎¹, 胡勇¹, 林宇亮²

(1. 中建五局土木工程有限公司, 湖南 长沙 410004; 2. 中南大学 土木工程学院)

摘要:该文结合下穿襄荆高速公路分离式立交专项工程, 详细介绍了上覆土层薄、高速公路正常运营等困难条件下组合式滑板卷铺框架盾构技术的施工工艺。相比传统施工方法, 该施工工艺能更大限度地减少浅覆盖层顶进施工过程中对公路路基的扰动。施工中利用实时监测数据、采取相应纠偏措施成功克服了“抬头”、“扎头”、偏离设计顶进方向等技术难题, 并推导了顶推框架桥头尾部只产生横向偏移情况下纠偏时适当超挖量的表达式。

关键词:框架盾构; 下穿高速公路; 监测; 纠偏

随着社会经济的飞速发展, 中国的基建产业也随之迅猛发展。随着公路、桥梁、隧道技术的日益成熟, 采用框架桥顶进新建公路下穿既有公路或铁路的方法被提出并广泛应用。2000年广深线石龙站人行地道接长工程采用桥式盾构法并成功施工。但对于顶推施工时顶进跨度长、上覆土层薄等情况依然没有较好的解决办法。当顶进构筑物较大, 而顶进构筑物上方覆盖土层较薄时, 下穿公路一般采用明挖法, 但会极大地影响正常交通运营。管棚法和桥式盾构法虽然普遍应用于顶推作业施工, 然而它们仍存在诸多缺陷。例如布设于上方覆盖土层的管棚底部无法与顶进构筑物完全贴合, 管棚下部土体极易塌陷, 造成上部构筑物破坏。桥式托板盾构法的顶进长度有限。随着顶进长度增加, 滑板摩阻力也逐渐增大。除此之外, 随着摩阻力的增加, 易造成无法补救的断板现象。桥式盾构的立柱杆系采用四边形现场焊接, 由于四边形为非静定结构, 在顶进过程中支架结构具有一定的柔性, 不利于顶进方向的控制及框架桥顶进时既有路面的沉降控制。不少学者对开挖技术进行了相应的研究。吴小萍、尤广杰、刁心宏、曹宝飞等结合有限元软件与现场监测路面沉降规律对盾构施工路基沉降的影响进行了研究; 黄尚、王全胜等以实际工程案例为依托, 对大跨度盾构施工工法进行了研究与创新。

吴飞轮等发明了组合式滑板卷铺框架盾构机, 其由框架和设在框架上的多个子盾构组成。该盾构机不

受构筑物顶进深度和地质条件限制, 顶进长度长, 摩阻力小, 不会产生断板现象。

该文结合下穿湖北襄(阳)一荆(州)高速公路分离式立交专项工程, 对组合式滑板卷铺框架盾构的施工技术进行探讨。

1 工程概况

湖北省 S439 与襄荆高速公路交叉处采用左右幅分离的设计方案。左幅车道下穿处拟利用原襄荆高速公路。右幅斜交下穿二广高速公路襄荆段, 右偏角 80°。新建钢筋混凝土框架桥 39 m, 框架顶板厚 1.1 m, 底板厚 1.2 m, 两侧板厚 1.1 m, 上部填土厚 1.55 m。全桥分为 3 个节段, 节段间设接缝。施工方案采用管棚支护顶推施工, 3 节段间设中继间。

该区出露地层主要为第四系粉质黏土、黏土, 含碎石粉质黏土及碎石土分布广泛。地层岩性为填土、淤泥质土、粉质黏土、泥质砂岩, 框架桥底板位于粉质黏土层内, 地基承载力低, 地基软弱。且顶推框架桥顶部与高速公路路面高差仅 1.55 m, 顶进上覆土层薄。

为不影响襄荆高速公路的正常运营, 工程采用“钢盾构”法施工、中继间顶进。为保证路基边坡在施工过程中的稳定性, 在顶推的进口端和出口端均设置了支撑桩和门框梁。顶推工作坑设置在襄荆高速公路的西侧, 工作坑地基采用混凝土滑板进行加固, 在框架桥的

收稿日期: 2020-09-20(修改稿)

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(编号: 51678571, 51878667); 中建五局土木工程有限公司技术服务委托项目(编号: 020316A003097)

作者简介: 周广友, 男, 大学本科, 工程师, E-mail: 93695209@qq.com

西侧设置桩基承台作为顶推的后背反力装置。框架桥结构分 3 节进行预制,各节之间均设有千斤顶,以便进行分节顶进作业。图 1 的顶推框架纵断面图为完全顶进时框架桥的状态。从图 1 可以看出:顶推框架桥跨度大,其分为 3 节共 39 m。并且上覆土层薄,框架桥顶部到路面的垂直高差仅 1.55 m。除此之外,地基较为软弱、地下水位偏高、且施工期间降水较多等均加大了施工技术难度。

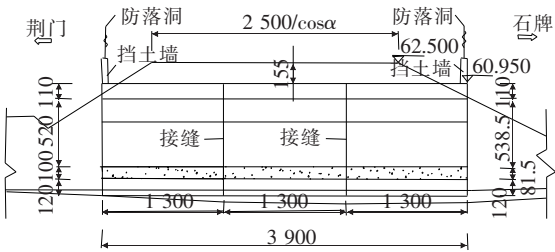


图 1 顶推框架桥纵断面图(除标高为 m 外,其余单位:cm)

2 施工工艺

2.1 施工准备

由于地基土软弱,在顶推过程中易产生塌陷、不均匀沉降等现象,故需要对地基进行处理。于工作坑底板铺设 15 cm 厚 C15 素混凝土垫层,其上设 30 cm 厚 C30 钢筋混凝土滑板。为便于框架桥启动、顶推不与滑板粘连,且减小框架桥与滑板间的摩擦系数,在滑板顶面铺设石蜡、润滑油等材料作为润滑层,再将一层塑料薄膜铺设于润滑层上作为隔离层。

高速公路路基土边坡不失稳是安全施工的基本要求。为保证顶推框架桥顶进入土前路基边坡安全,对进洞口路基边坡沿高速公路走向长 46 m 部分进行注浆固结及喷射混凝土支护。顶进出口侧清表后注浆、固结后再施工反压土。

土方开挖时,根据土方开挖进度,随时插入 $\phi 48\text{ mm}\times 3.5\text{ mm}$ 钢花管为注浆管并进行喷射混凝土的施工。土方开挖配合钢花管施工时,每步均开挖至相应的钢花管下 0.5 m 位置,插入钢花管,然后喷射混凝土面层。喷射混凝土强度为 C20,厚度为 100 mm,并且要求土方分层开挖,分层高度为 2 m。

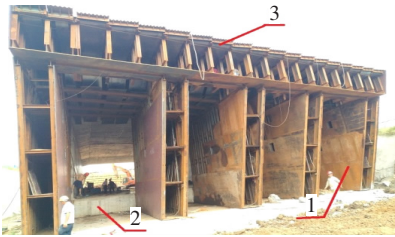
2.2 钢盾构施工

2.2.1 基本情况

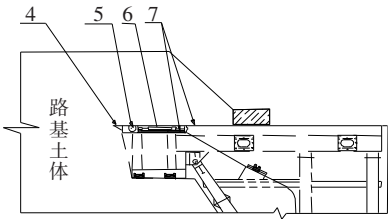
与传统顶涵施工方法不同,钢盾构法是在框架桥顶进路基时采用平刃切土并支护。用钢构支撑架来保持公路坡比,提高了施工的安全性和适用性,特别是对

于大跨度框架顶进施工更具有可靠性,最大限度地减少浅覆盖层顶进施工过程中对公路路基的扰动。

组合式滑板卷铺框架盾构机采用的是网格状钢盾构,化整为零。其主要由开挖及支挡系统、减阻与防扰动系统、顶进动力系统组成(图 2)。相较于传统顶涵施工方法,具有支护掘进面、在顶进过程中有导向作用以及高速公路路面路基控制等优势。



(a) 实体图



(d) 子盾构示意图

1. 盾构框架;2. 预制框架桥涵;3. 框架上设置的子盾构;4. 掘进刀;5. 滑板卷筒;6. 伸缩动力;7. 滑板

图 2 组合式滑板卷铺框架盾构机示意图

2.2.2 顶推施工

首先进行顶推前的准备工作,如对桥体结构和后背应进行全面检查验收,查验桥体和顶面保护层混凝土强度是否达到相应的设计要求等。之后的开挖过程为地下暗挖施工,带土顶进。为保证高速公路正常使用,保证掌子面土体的稳定是基本前提。盾构上部设有 19 个子盾构,将上部开挖面分成了 19 等分。每个子盾构内由工人手持风镐开挖掘进。除了在子盾构内进行开挖外,还需进行墩柱的开挖和中心土的开挖。待基底整平后,检查地基承载力是否符合要求并采取相应处理。接长传力柱后便开始子盾构的顶进和框架的顶进。

2.2.3 对于“抬头”、“扎头”的控制

该项目施工要求在高速公路正常通车的情况下进行,且上覆土层较薄,如果出现“抬头”、“扎头”等现象时可能会产生严重后果。当框架沿着开挖出的既定轨迹前进时,由于地基土性质的不均匀性、预制框架桥所造成的前后高差等因素,框架桥无法保证沿某一固定水平高度顶进。框架桥间设有伸缩缝,所以单个节段

也有可能产生“抬头”、“扎头”现象。因此需要实时监测框架桥的前后高差,即“抬头”、“扎头”情况,并及时采取措施纠正顶进方向。

由于框架桥末端为千斤顶顶进施工主要作用点,因此最后一个节段的“抬头”、“扎头”现象将会最为严重。故在施工过程中应着重控制最后一个节段的前后高差。最后一个节段进入高速公路路基后,其尾部已明显低于头部。为保证顶推框架桥沿既定路线顺利顶进且避免最后一个节段产生“抬头”现象而无法补救,在最后一节框架的尾部底板下利用千斤顶抬高框架尾部标高,从而调整第3节框架的前后高差。框架桥在顶推过程中对关键点进行了位移监测,监测点布置如图3所示。将最后一个节段的前后高差近似为左侧两监测点(KJZ6、KJZ7)之间的高差与右侧两监测点(KJY6、KJY7)之间的高差。两侧高差曲线如图4所示。位移为负表示沉降,位移为正表示抬升。

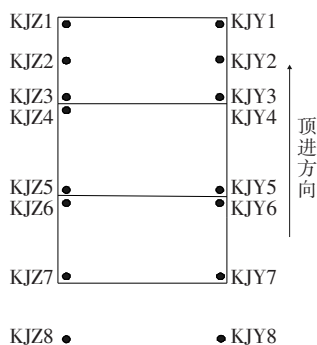


图3 监测点布置图(单位:m)

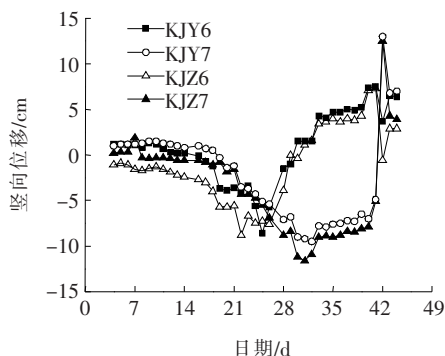


图4 框架桥最后一节头尾竖向位移监测曲线

从图4可以看出:在顶推初期,前后高差变化不大,当最后一个节段刚进入高速公路路基时前段迅速抬升,前后高差变大,最大高差达到15 cm,最后一个节段长度为13 m,底板倾斜角为 0.65° ,在允许范围内。如果利用千斤顶抬升纠偏需要较长工时,或会耽误工期。故当偏差在允许范围内,采用临近顶推完成时集中校正以使最后一个节段就位并做好防水措施。

从图4可清晰地观察到这一过程,并且最后一个节段无论前部还是后部都未产生垂直顶进方向的高差,4条曲线最终基本都归于初始值0,满足要求。除此之外,施工还采取了欠挖基础土方或通过基础处理、压入木桩或混凝土块以及调节前盾构底座及子盾构承压板的俯仰角度来消除出现的偏差。

2.2.4 对于顶进方向的控制

支撑桩和门框梁的设置固定了顶推方向,当框架未按既定路线前进时会有破坏管棚的风险,使得该超前支护结构失效,导致高速公路路基失稳从而产生高速公路路面塌陷、沉降等现象。当框架顶进向左侧偏移时,根据测量的偏差数据,确定盾构前端左侧适当超挖值,该顶进循环盾构左侧保持超挖值,千斤顶的左侧缓慢顶进,而右侧的千斤顶锁定油压,盾构将向右侧回归,直到框架桥的实时轴线与设计轴线一致为止。纠偏程度或者纠偏速度没有达到预期效果时,连续几个循环进行纠偏处理,或者根据测量数据,调整超挖量与两侧千斤顶的油压。该项目施工过程中实时监测了框架桥头尾部的横向偏差,监测点布置如图3所示。向南偏离(即向右)记为正,向北偏离(即向左)记为负,监测曲线如图5所示。

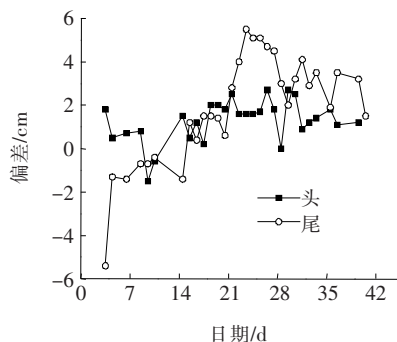


图5 框架桥头尾横向偏差监测曲线

从图5可以看出:在空顶阶段(将框架桥推至高速公路路基土前)由于框架跨度大同时操控头部和尾部较为困难,且此时侧向无参照与约束,导致尾部偏差较大。当框架桥顶入路基土体后,偏差较小。总体来看,头部偏差控制在2 cm以内,偏差较小。而由于顶推框架跨度较大,通过调节尾部各项推千斤顶施力大小进行纠偏时也会影响到头部,且传力柱的摆接也易产生偏差。尽管如此尾部最大偏差依然小于6 cm,低于支撑桩与框架桥之间10 cm的预留误差,保证了施工质量。

设头部偏差为 m ,尾部偏差为 n 且向左为正,对盾构前端右侧适当超挖时的计算简图如图6所示。其

中矩形 $ABCD$ 为无偏差情况下的框架桥, 矩形 $A'B'C'D'$ 为产生横向偏差后的框架桥。 EE' 为一次顶推后框架桥前端所到达的位置, 按照施工要求每次顶推 0.5 m, 故 $AE' = BE = d$, d 为 0.5 m。 $A'E'$ 为超挖之后的掌子面, 则 $B'Q$ 即为纠偏超挖量。 设顶推框架桥宽为 a , 长为 b , 偏差前后中轴线夹角为 α 。 由于 m, n 远小于 a, b , 故假设头部和尾部只产生横向偏移, 即 A' 与 A, D' 与 D 的连线均垂直顶进方向。

当 $m > n > 0$ 时, 如图 6(a) 所示, 过 D 作 $D'A'$ 的平行线交 AA' 于 P 点。 由几何关系得: $\angle PDA = \angle B'A'A = \angle C'D'D = \alpha$ 。

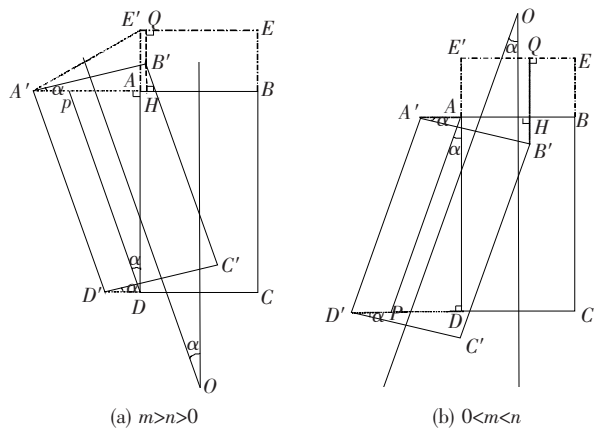


图 6 左偏纠偏计算简图

在 $\triangle DAP$ 中可得:

$$\sin \alpha = \frac{AP}{PD} = \frac{m-n}{\sqrt{(m-n)^2 + b^2}}$$

$$\cos \alpha = \frac{AD}{PD} = \frac{b}{\sqrt{(m-n)^2 + b^2}}$$

$$B'H = A'B' \times \sin \alpha$$

联立上述方程可得:

$$B'H = \frac{(m-n)a}{\sqrt{(m-n)^2 + b^2}}$$

$$B'Q = QH - B'H = d - \frac{(m-n)a}{\sqrt{(m-n)^2 + b^2}}$$

当偏移量远小于框架桥尺寸时, $\sqrt{(m-n)^2 + b^2}$ 可近似等于 b , 那么超挖量的表达式可简化为:

$$B'Q = d - \frac{(m-n)a}{b} \quad (1)$$

当 $0 < m < n$ 时, 同理可得超挖量的表达式为:

$$B'Q = QH + B'H = d + \frac{(n-m)a}{b} = d - \frac{(m-n)a}{b} \quad (2)$$

经验证, 当 $m < 0 < n$ 与 $m > 0 > n$ 时此式依然成立。 故顶进方向向左侧偏移时右侧超挖量的表达式为

$$B'Q = d - \frac{(m-n)a}{b}$$

盾构向右偏的两种情况如图 7 所示。 当 $0 > m > n$ 时, 超挖量的表达式为:

$$A'Q = QH + A'H = d + \frac{(m-n)a}{b} = d - \frac{(n-m)a}{b} \quad (3)$$

当 $m < n < 0$ 时, 超挖量:

$$A'Q = QH - A'H = d - \frac{(n-m)a}{b} \quad (4)$$

经验证, $m < 0 < n$ 与 $m > 0 > n$ 时此式依然成立。 故顶进方向向右侧偏移时左侧超挖量的表达式为

$$A'Q = d - \frac{(n-m)a}{b}$$

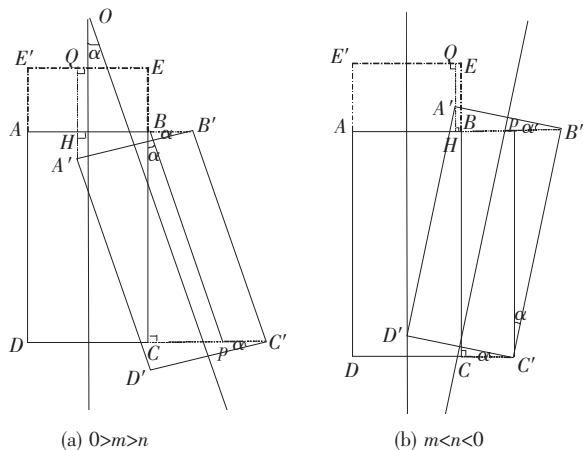


图 7 右偏纠偏计算简图

3 结论

(1) 结合具体工程介绍了组合式滑板卷铺框架盾构机及其施工工艺。 实践证明: 该施工技术能在上覆土层较薄且高速公路正常运营的情况下保证大跨度框架顶进施工的可靠性和安全性。 在地基软弱、 框架桥跨度大等不利条件下最大限度地减少浅覆盖层顶进施工过程中对公路路基的扰动。

(2) 组合式滑板卷铺框架盾构技术配合框架桥竖向位移与横向偏差监测数据, 利用千斤顶与其他辅助措施, 形成负反馈, 有效避免了“抬头”、“扎头”的发生以及顶进方向的偏移, 将施工过程对高速公路的影响降到最小, 从而保证高速公路正常运营。

基于公路规范的钢—GFRP—混凝土 组合梁桥受力性能分析

马莹¹, 宋伟豪², 王潇³, 王文炜²

(1. 南京工程学院, 南京 江苏 211167; 2. 东南大学 交通学院; 3. 中设设计集团股份有限公司)

摘要:利用有限元软件建立了钢—GFRP—混凝土组合梁桥的空间有限元模型,对钢—GFRP—混凝土组合梁桥进行了施工阶段及运营阶段的静力性能分析。计算结果表明:施工阶段 GFRP 板的应力、刚度及 T 形肋的局部稳定验算均满足要求;运营阶段组合梁桥的整体挠度、局部区域挠度及混凝土最大裂缝宽度也满足要求;GFRP 板和钢主梁的应力满足相应的材性指标。

关键词:钢—GFRP—混凝土组合梁桥;力学性能;有限元模型;数值分析

1 前言

FRP—混凝土组合梁桥指上部结构桥面或者纵梁等结构构件由纤维复合材料(FRP)与混凝土所组成的梁桥。FRP—混凝土组合桥面板体系上部的混凝土可以承受压应力,底部的拉应力由 FRP 材料承担,充分

发挥了两种材料的各自优点。此外,FRP 组合桥面板的轻质高强、易于运输和施工的特性也可满足桥梁工业化的要求,具有广阔的应用前景。

国外对 FRP—混凝土组合结构的研究开展相对较早,2004 年 Kitane 等开发了一种由 3 块梯形截面玻璃纤维复合材料(GFRP)板空箱和上部混凝土薄层组成的桥面板,并进行静力和疲劳试验;2007 年 Wael

(3) 推导了顶推框架桥头尾部只产生横向偏移情况下纠偏时适当超挖量的表达式。顶进方向向左侧偏移时右侧超挖量的表达式为 $B'Q = d - \frac{(m-n)a}{b}$;顶进方向向右侧偏移时左侧超挖量的表达式为 $A'Q = d - \frac{(n-m)a}{b}$ 。

参考文献:

- [1] 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).
- [2] 邓祥辉,袁崇洋,姚军,等.某超浅埋大跨隧道下穿既有公路施工工法研究[J].中外公路,2018(4).
- [3] 蒋华春,傅鹤林,梁新权,等.盾构隧道下穿地道桥施工扰动效应及控制对策研究[J].中外公路,2017(2).
- [4] 胥明,张细宝,刘卫,等.南昌地铁盾构下穿建筑物注浆加固技术研究[J].中外公路,2016(1).

- [5] 杨贵永,李晓文,易领兵.佛山市地铁区间隧道下穿施工对佛开高速桥影响的数值分析[J].中外公路,2018(5).
- [6] 吴小萍,唐冬冬,华戈,等.开挖技术在麻栗垭隧道施工中的应用[J].公路工程,2018(4).
- [7] 尤广杰.管棚支护下框架桥顶进设计和施工[J].铁道标准设计,2017(7).
- [8] 刁心宏,杨守兴,陈力.桥式盾构法下穿既有铁路对路基沉降影响与方案研究[J].施工技术,2017(19).
- [9] 曹宝飞.盾构施工对邻近群桩基础影响的数值模拟研究[J].公路工程,2017(3).
- [10] 黄尚.软土地区大跨度斜交顶推框架桥设计与施工[J].公路交通科技(应用技术版),2017(6).
- [11] 王全胜,李洋,杨聚辉,等.综合管廊 U 型盾构机械化施工工法研究与应用[J].隧道建设(中英文),2018(5).
- [12] 吴飞轮.一种组合式滑板卷铺框架盾构机[P].中国专利:CN202560236U,2012-11-28.
- [13] 吴飞轮.一种组合式滑板卷铺框架盾构机及其施工方法[P].湖南 CN102619526A,2012-08-01.

收稿日期:2020-03-12

基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号:51078135)

作者简介:马莹,女,博士,讲师.E-mail:myingseu@163.com