

既有道路下穿通道的装配式施工技术

施有志¹, 李秀芳¹, 阮建凑¹, 林树枝²

(1. 厦门理工学院 土木工程与建筑学院, 福建 厦门 361021; 2. 厦门市建设局)

摘要:装配式技术是当下建设工程的研究热点,地下工程有向建筑工业化方向发展的趋势,该文以厦门市疏港路下穿仙岳路通道工程为例,分析下穿通道的预制装配式施工方案,还原整个施工过程,深入研究地下工程框架节段预制方案、运输和拼装技术。施工实践表明:预制拼装施工技术可提高生产效率和工程质量,改善地下施工作业环境,实现绿色化施工,对今后类似工程建设具有一定实践指导意义。

关键词:下穿通道; 装配式; 整体桁架式钢模板; 建筑工业化

2017年住房和城乡建设部印发的相关政策明确指出:预制装配式建筑在建筑产业现代化改革中占有重要地位,是建筑业未来持续、快速发展的关键点。随着城市土地资源逐渐短缺,地下工程大力发展,地下工程工业化建造也有了一定的研究和应用。王德超等通过分析地下工程预制装配式结构的设计理论、防水性能和抗震措施不完善等问题,提出从研发新型机械设备、新材料、施工工艺以及组合形式等方面发展预制装配式结构;张中勇等、郭建涛等、胡坚尉和王建军等研究认为预制装配式施工技术在地下工程中具有降低建设成本、拼装高效、质量可靠、减少现场湿作业、节能环保等优势;Vangeem、Yee等总结出装配式工厂化生产可提高废水废料的再生利用能力和结构构件的重复利用率,推进实现绿色化施工;第十届国际绿色建筑与建筑节能大会上仇保兴提出普及绿色建筑的捷径正是“装配式住宅”;刘琼等研究认为预制装配式混凝土结构体系是建筑工业化的主要实现方式,同时探讨了预制装配式结构节点连接的重要性以及总结了不同节点的连接方式;赖永标等提出了以地下工程临时支护预制、隧道初期支护及二衬预制、隧道工程拱架预制、地铁车站地下连续墙全预制等领域为发展方向的预制装配式技术。袁金秀等结合下穿既有盾构区间的暗挖隧道项目,研究矿山法隧道的施工方案,该方案可保证在建线和既有线的安全;郭建鹏针对地铁出入口下穿通道工程,研究顶管法的施工方案,该方案可有效降低施工风

险、满足通道上方的沉降要求。

综上所述,地下预制装配式施工已成为目前建筑工业化的主流,众多学者主要就隧道工程的预制装配式技术或在建地铁线下穿既有线的隧道施工方案进行分析与探索,但对既有城市道路下穿通道的预制装配式施工方案研究较少。不同结构类型的地下工程受到不同环境条件和施工条件共同影响而各自表现出独特性。因此,该文将介绍厦门市疏港路下穿仙岳路通道工程的框架节段预制方案、运输和拼装技术,总结出一些对今后类似工程具有参考价值的结论。

1 工程概况

疏港路为厦门岛内西侧南北向主干路,北端连接杏林大桥,南段连接滨北立交,是进出岛的主要通道。厦门市疏港路下穿仙岳路通道工程位于疏港路东渡段(东渡港南通道~仙岳路),里程范围为K0+240~K1+900,包含南通道、北通道、仙岳路及相关支路交叉口,项目完成后将实现疏港路这一重要进出岛通道的全程快速通行。通道结构工程左线全长1 280 m,暗埋段长895 m;右线全长750 m,暗埋段长370 m。下穿通道暗埋段通过预制场内长线匹配预制框架节段,再利用平板车运至施工现场,分两个工区拼装成单孔框架和双孔框架两种结构形式,如图1、2所示。由于现状下穿通道施工位于既有疏港路,外部道路为沥青

收稿日期:2019-12-01(修改稿)

基金项目:福建省自然科学基金资助项目(编号:2016J01271);福建省建筑产业现代化闽台科技合作基地项目;厦门市建设局科技项目(编号:XJK-2017-1-3)

作者简介:施有志,男,博士,教授。E-mail:2013110907@xmut.edu.cn

路面和混凝土路面,可确保大型设备通行。

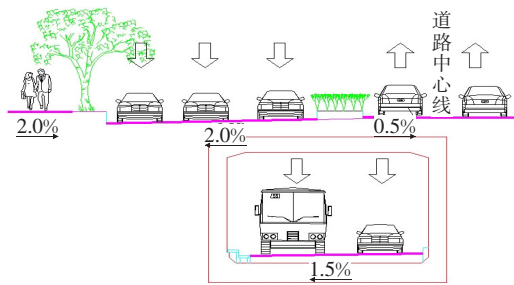


图 1 暗埋段预制单孔框架结构横断面图

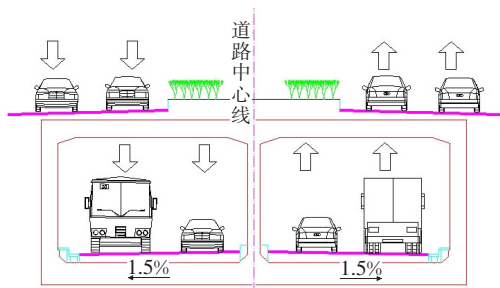


图 2 暗埋段预制双孔框架结构横断面图

2 下穿通道框架节段预制方案

2.1 下穿通道预制框架节段断面设计

下穿通道预制节段的标准单孔框架外尺寸为 10.35 m(宽)、7.2 m(高)、445 m(长),标准双孔框架

外尺寸为 19.9 m(宽)、7.2 m(高)、320 m(长)。单、双孔框架水平向均采用上下分段,纵向分别以 3、2 m 为单位节段,各自形成两个“U”形结构和“山”字形结构,共划分为两种形式的 4 种断面,如表 1 所示。

表 1 下穿通道预制框架节段断面设计

| 构件型号 | 数量/件 | 自重/t |
|--------|------|--------|
| 单孔底座节段 | 93 | 92.55 |
| 单孔顶盖节段 | 93 | 85.90 |
| 双孔底座节段 | 130 | 109.30 |
| 双孔顶盖节段 | 130 | 100.25 |

2.2 预制工艺

2.2.1 长线匹配预制

下穿通道框架节段采用长线法匹配预制,顶盖与底座节段横、纵向均可匹配预制。当前一节段施工结束,侧模立即移至后一节段支模预制,使得后一节段的前端模是前一节段的后端面,进而逐段于台座上匹配预制,以形成流水线式的生产。预制场共投入 4 个台座进行预制,分别用于单仓和双仓的上、下节段预制。在预制过程中控制好线形、标高及墙体垂直度,严格把关,否则会给安装带来严重的影响。

2.2.2 预制节段施工顺序

底座及顶盖节段预制施工顺序如图 3 所示。

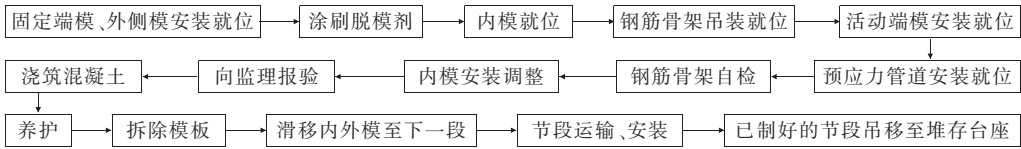


图 3 预制节段施工流程图

2.3 模板工程

节段预制模板系统由底模、内模、侧模、端模组成,其中底模、内模和侧模均采用整体桁架式钢模板。

(1) 底模。采用混凝土长线固定底模,由混凝土底座加钢底模系统组成,台座侧面通过安装海绵橡胶条保证底模和侧模的密封性,同时将底模长度、宽度缩小 1 mm,并注意及时清理底模底板表面与海绵橡胶封条处的残余灰浆,均匀涂刷隔离剂。

(2) 内模。由于采用上下段匹配预制工艺,底座内模为桁架式整体钢模板,内模之间利用拉条设置两道顶撑;顶盖内模设计为自由移动的桁架系统,板面由可活动钢模与横向支撑杆连接组成,模板荷载传递至支架,并与其一体化。另外,为便于拆模,顶部模板设计成

“八”字形,上倒角设计成与支撑杆铰接的标准构件。

(3) 侧模。节段侧模为整体桁架式钢模板,为美化节段外观,底座底部采取无棱化措施,将直角替换成半径为 3 cm 的圆弧倒角,同时避免节段底部漏浆。

(4) 端模。由 $\delta 10$ mm 钢板作为面板,并设竖、横向加劲。采用螺栓连接端模与侧模,并通过两块端模对拉承受混凝土浇筑时的水平侧压力。由于预制节段所处位置不同,移动端模上的剪力键数量也会出现差异。因此对需要更换的剪力键部分采用螺栓活动固定以便于拆卸,共有部分则以永久方式固定。

2.4 混凝土工程

地下通道节段采用抗渗等级为 P8 的 C40 商品混凝土,低碱水泥拌制,并使用聚羧酸系高效减水剂,保

证所拌制的混凝土和易性好、流动性强,且不泌水。

以单孔框架节段为例,其混凝土浇筑按照以下顺序进行:

(1) 浇筑下节段底板。施工下料时应采取从一侧往另一侧推进的方式浇筑,分 3 层浇筑完,每层厚度分别为 40、40 和 20 cm。

(2) 浇筑上、下节段的两侧墙。侧墙应对称浇筑并控制分层厚度为 50 cm,以保证模板受力均匀。

(3) 待两侧板浇筑结束后浇筑顶板。施工下料应从两边至中间均匀摊铺,分两层各 40 cm 厚度浇筑完。

2.5 节段的分离、吊运

(1) 节段的分离

当节段混凝土强度达到 40 MPa 时,将匹配段与新浇段分离。分离时单头起吊节段,在自重作用下匹配段可自动脱离。在分离过程中注意调整吊具位置,使其中心与箱梁中轴线一致,避免新浇梁段发生位移。预留吊孔作为顶盖节段吊点,吊孔下端倾斜面采用带孔的钢楔垫平,吊杆采用 $\phi 32$ mm 精轧螺纹钢。吊运时应调节精轧螺纹钢长度,使吊杆受力均匀,保证箱梁平稳地吊至修整区;底座节段吊点采用预埋螺栓,起吊时通过锁卸扣、钢丝绳起吊。

(2) 节段的吊运

预制场配置 2 台 80 t 龙门吊,待节段达到足够强度分离后,吊运移放至修整区。

2.6 节段的修整、存放

(1) 节段的修整

节段的修整工作主要包括预埋管道清理、波纹管口清理、外露钢筋防锈、二次浇筑结合面凿毛以及匹配面的隔离剂清除等,修整完成后再吊运至堆存区堆存。

(2) 节段的存放

节段存放时,应预先检查节段的编号标识情况,以确保节段能按预定的顺序存放,方便出运。单孔、双孔节段存放均采用四点支撑(用 3~5 cm 模板支垫),第 1 层堆放时可用水准仪控制支撑物的标高,从而保证堆放无倾斜。为保护上下节段的横向剪力键,采用 10 cm 高的橡胶支垫,橡胶垫内预留剪力键大小的凹槽。

3 下穿通道框架节段的运输及安装

3.1 下穿通道框架节段的运输

3.1.1 节段的场内试拼

节段在预制过程中,受到节段分离、修整、打磨、支承点布置方式以及混凝土原材料等因素的影响,节段

本身可能会发生空间扭曲和尺寸变化,为保证施工现场节段拼装的质量和速度,在预制节段运输前,有必要在预制场内进行试拼装,并根据试拼的效果,对节段作进一步的修整。

节段的场内试拼采用悬拼方式,下节段先吊入试拼台座定位,再通过门机吊起第 2 段悬在空中并向前段缓慢靠近,为防止碰撞破损,待节段接近目标位置时,应及时将预埋的临时应力张拉孔锁上钢锚块,接着通过手拉葫芦把两节段缓慢锁紧,最后利用全站仪校核,不断微调以观察接缝处是否存在偏差,拍照并做好记录,请监理、业主验评。对节段间的接缝不满足标准的应立即修整,重新试拼。上节段利用其自重与下节段匹配,第 2 块上节段也采用悬拼方式试拼。

3.1.2 节段的加固

为防止下穿通道节段在运输过程中产生滑移、跌落及倾覆,节段的加固必不可少。具体措施如下:

(1) 用 4 条 $6 \times 37 \phi 21.5$ 的钢丝绳分别横穿下节段底板,并在末端用 4 台 5 t 葫芦和车架拉紧,以紧密连接框架节段与车架。

(2) 预制框架节段与车架之间通过输送带橡胶支垫,增大节段和车架间的摩擦系数,同时也保护上节段中的横向剪力键在运输时不受破损。

(3) 对于双孔框架上节段,应在运输车上额外搭设 2 m 一道的槽钢支架,待构件吊入车后,上部用木质楔形块加固,再将吊装带穿入永久张拉孔斜拉构件,避免运输时产生滑移。

3.1.3 节段的运输

下穿通道节段装车加固好后,即可进入运输阶段。为了确保下穿通道在运输过程中能够安全、平稳地到达现场,要求运输公司应满足以下要求:

(1) 运输途中,保证工具车在前方带路行驶,同时做好交通协调工作。

(2) 车辆直线行走时应尽量保持速度为 20 km/h 左右,转弯处应保持车速不超过 5 km/h,以减小节段向外的离心力,避免节段发生滑移、跌落和倾覆。

(3) 每辆运输车前后均贴安全反光带,并在驾驶室挡风玻璃内明显位置摆放“下穿通道运输车辆”标牌。

(4) 每辆车、交通协调员和总调度员之间采用对讲机实时联系,保证正常通讯。

3.2 下穿通道框架节段的安装

待预制框架节段运抵现场后,具体的安装流程如图 4 所示。

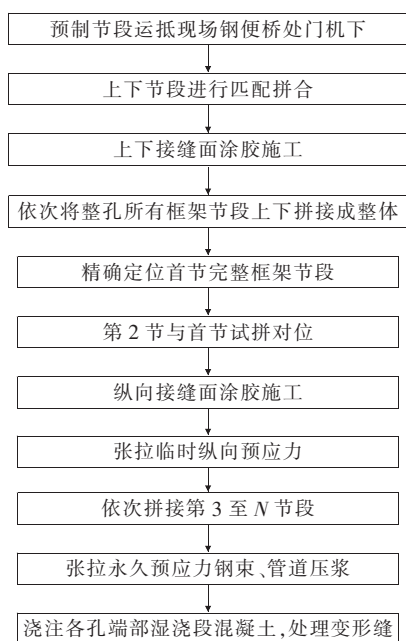


图4 下穿通道框架节段安装流程图

从图4可以看出:预制节段运抵现场钢便桥处门机下后即可进行节段的安装,总体思路是先完成整孔上下节段的拼装再进行纵向节段的安装。

3.2.1 上下节段拼装

(1) 上下节段的匹配拼合

首先,采用120 t龙门吊在钢便桥区域先吊装下节段,待精确定位后,再将上节段运抵现场,按照上下匹配原则,驱动天车缓慢接近已定位的下节段。其次,当上下节段快靠拢时,及时于节段接缝处塞垫木楔,以避免节段碰撞损伤,待节段稳定即可取出接缝处的木楔。最后,利用定位板限位,并通过吊具和手拉葫芦组合而成的三向调整功能微调,缓慢驱动天车以准确拼接上下节段。调整时应认真检查整体框架节段前、后、左、右4个方位接缝处是否严密且有无错台,并及时修正消除偏差至符合要求,以完成底座与顶盖的现场试拼。

现场上下预制节段试拼主要是为了避免涂胶后节段拼接过程失误导致时间浪费而采取的措施。提前定位节段拼装的空间位置,可以防止天车操作人员、现场指挥节段就位人员以及其他操作人员的自身经验技术不成熟或现场协调程度不足,导致的节段定位过程消耗时间长,从而引起上下节段接触面环氧胶塑性消失、硬化。

(2) 上下接缝面的涂胶施工

待现场试拼完毕,缓慢驱动天车吊起上节段至距离底座节段约50 cm后,及时于上下接触面涂抹环

氧胶。

(3) 上下框架节段的整体拼接

待环氧胶达到设计强度即可进行上下节段间拼缝处的钢板焊接,依次将整孔所有的上下框架节段拼接成整体,如图5所示。

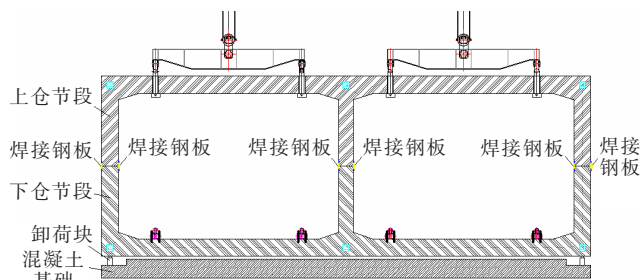


图5 上下节段拼接示意图

值得注意的是,上下框架节段拼接结束后,应相应地在侧墙或隔板两侧通过钢板与预埋钢板焊接,以达到防水的目的。其中,焊接宜采取二氧化碳气体保护电弧焊的方式。

3.2.2 纵向节段拼装

上下框架节段拼装完毕即可进行纵向节段的拼装。

(1) 精确定位首节完整框架节段

首节节段作为整孔拼装的基准面,其准确定位对于后续节段拼装就位非常关键。框架节段在预制时底座节段底板顶面埋设了6个控制点,并提供了6个控制点的理论拼装坐标,通过测量6个控制点来准确定位后,才松开吊具,交由卸荷块支撑。定位准确后,为防止首节底座节段在后续拼装时被撞发生偏移,利用前一孔节段,在下节段和上节段两侧上下共焊接4根槽钢[20,再用槽钢[20斜撑将节段固定。

(2) 第2节与首节试拼对位

待精确定位首节整体框架节段后,首先通过天车起吊次节整体框架节段于首节相同高度,缓慢驱动天车以接近首节节段,待二者相近时立即塞垫木楔于接缝间。待节段稳定,再利用吊具三向调整次节节段的位置,使其与首节各端面平齐。最后取出节段间的木楔,利用三向调整功能微调次节节段,缓慢驱动天车以准确拼接纵向首、次节节段。

定位过程应不断检查各个接缝处是否严密,如存在错台应及时调整,以完成纵向节段的现场试拼。

(3) 纵向接缝面涂胶施工

待现场试拼完毕,缓慢驱动天车吊起次节节段至距离首节节段约50 cm后,及时于前后接触面涂抹黏

结剂。

(4) 张拉临时纵向预应力

通过施加临时纵向预应力,以拼接前后整体框架节段。

(5) 依次拼接第 3 至 N 节段

待预应力张拉完毕,解除吊具吊点螺栓,起吊下节完整框架节段,依顺序拼接整孔所有框架节段,紧接着进行永久预应力张拉,张拉完及时进行孔道压浆,压浆前进行孔道注水湿润,单端压浆至另一端出现浓浆为止。

4 结 论

(1) 该下穿通道工程采用明挖预制装配式施工,整体思路可概括为:将预制框架节段从预制厂运输至施工现场,再吊装入深基坑内进行整体节段的拼装,即预制装配式技术。

(2) 预制框架节段分为双孔、单孔两种类型,由于重量及运输限高原因每个节段分成上下两件,即 4 种断面形式;采用长线法预制工艺,当下穿通道节段混凝土强度达到 80% 时,分离上下部节段,再将节段移至修整区,经过修整后吊运至堆存区域;一般节段在堆存区至少存放一个月的时间,使节段混凝土充分完成收缩和徐变;之后即可进行节段的运输和安装。

(3) 在施工现场正式吊装之前,应先于厂内完成预制节段的试拼工作,待装车加固好后运抵现场;接着先匹配每节的上下节段成整体,再纵向依次吊装整体节段,最后完成整孔的拼装。

(4) 施工期间应加强预制拼装段及现浇段之间的施工缝和变形缝的防水质量。施工缝只允许设水平施工缝,且采用钢板止水带;变形缝采用中埋式橡胶止水带与外贴弹性聚氨酯防水涂膜复合而成的防水构造形式。

(5) 该文介绍的既有道路下穿通道工程预制装配式施工方案提高了生产效率和工程质量,改善了作业环境,同时工厂化生产提高了构件的重复利用率,可实

现绿色化施工。该成功案例可供今后建设类似工程参考。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 住房城乡建设部关于印发《“十三五”装配式建筑行动方案》《装配式建筑示范城市管理办法》《装配式建筑产业基地管理办法》的通知[EB/OL]. 2017-3-23[2018-3-2]. http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201703/t20170327_231283.html.
- [2] 王国富,王德超,路林海,等. 预制装配式结构在地下工程中的应用及前景分析[C]. 第六届国际桥梁与隧道技术大会论文集,2017.
- [3] 张中勇,王永吉. 预制装配式技术在地铁工程中的应用[J]. 建筑技术,2017(8).
- [4] 郭建涛,油新华,耿冬青,等. 地下工程叠合整体式预制装配式技术研究[J]. 施工技术,2016(22).
- [5] 胡坚尉. 预制预应力地连墙围护受力及变形分析研究[J]. 地下空间与工程学报,2016(S1).
- [6] 王建军,刘卓,邓李坚,等. 预制装配式管廊建设成本分析与控制[J]. 中外公路,2018(6).
- [7] Vangeem M. Achieving Sustainability with Precast Concrete[J]. PCI Journal,2006, 51(1): 42-61.
- [8] Yee A A, Hon. D. Structural and Economic Benefits of Precast/Prestressed Concrete Construction[J]. PCI Journal, 2001, 46(4): 34-42.
- [9] 《城市发展研究》编辑部. 普及绿色建筑,促进节能减排——第十届国际绿色建筑与建筑节能大会[J]. 城市发展研究,2014(5).
- [10] 刘琼,李向民,许清风. 预制装配式混凝土结构研究与应用现状[J]. 施工技术,2014(22).
- [11] 赖永标,王梦恕,油新华,等. 隧道与地下工程支护预制技术综述与展望[J]. 建筑技术开发,2015(1).
- [12] 袁金秀,王道远,李栋. 北京地铁 6 号线下穿既有 4 号线区间盾构隧道施工技术[J]. 城市轨道交通研究,2012(3).
- [13] 郭建鹏. 顶管法在地铁车站出入口下穿通道中的应用与设计[J]. 铁道标准设计,2013(7).
- [14] 张鸿,张永涛,王敏,等. 装配式组合梁桥一体化架设方法及装备[J]. 中外公路,2018(6).