

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.12.058

城市预制装配式双层与现浇形式盾构隧道 经济效益对比分析

姜海西

[上海城投公路投资(集团)有限公司,上海市 200335]

摘要:以上海市周家嘴路隧道工程为依托,详细讲述了城市装配式双层盾构隧道与现浇形式的施工工艺的区别,在此基础上进行了经济效益对比分析。单纯从工程预算角度看,预制装配式建造费用高于现浇费用,但是从工程实践效果来看,预制装配技术确保了质量安全,大幅缩短了结构施工周期(缩短 80%以上)、减少了现场作业人员(减少 80%以上),实现了专业化、现代化工厂及高素质作业人员的培育,有利于企业及产业的长足发展。

关键词:城市隧道;装配式;现浇结构;经济效益对比

中图分类号:U455.4;F424.6

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2024)12-0276-04

0 引言

目前,我国城市道路隧道建设发展迅速,经历了由小直径向大直径、由短向长、由单层向双层、由现浇到预制的发展趋势。特别是对于一线大城市,地下空间资源有限,为了充分利用城市隧道内部空间,大直径双层内部结构盾构隧道的建设越来越多。由于隧道内部空间小、双层内部结构复杂,传统现浇施工方式给双层内部结构施工带来诸多不便。随着装配式建筑的发展与成熟,使得这一问题能够得到很好地解决。装配式工艺在隧道工程应用中也逐渐成熟,如上海市延安东路隧道内部结构采用了在 T 形梁两侧搁置预制车道板的形式^[1],复兴东路隧道上层车道采用预制牛腿和预制车道板,下层车道为现浇结构^[2-3];南京纬三路隧道^[4-7],采用梁-板-柱体系,上层车道板为预制,梁和柱为现浇结构。以上的工程实践证明,预制装配式施工采用构件工厂流水制作、现场机械化拼装,具有标准化程度高,施工作业快等一系列优点^[5],并且可实现内部结构与盾构推进同步进行,节约施工工期。预制装配式建造是当代隧道建设发展的必然趋势。

目前已建成通车的上海市周家嘴路越江隧道工

程预制拼装率达到了 90%以上(含衬砌管片)。本文以上海市周家嘴路隧道为例,进行城市装配式双层与现浇形式盾构隧道建造的经济效益对比分析。

1 工程概况

周家嘴路越江隧道新建工程位于上海市东北部,穿越黄浦江连接杨浦区和浦东新区。全长约 4.1 km,其中,盾构隧道长约 2.57 km,隧道管片外径为 14.50 m,管片厚度为 600 mm。隧道内部结构为 2 层结构,由下至上依次为下层车道结构和上层车道结构,如图 1 所示。下层车道结构由 π 型预制构件和现浇混凝土组成。上层车道结构为门式框架结构,采用预制+少量现浇的形式。内部预制结构施工顺序为从空间上由下到上依次施工,先安装 π 型件,然后进行两侧填充及基座的浇筑,基座浇筑完成后进行立柱安装和车道板安装。然后进行后浇梁及板缝处理,最后进行盖板及防撞侧石安装,下文分析也按此施工顺序进行施工工艺对比进行。

2 施工工艺对比

2.1 π 型件安装

目前国内城市盾构隧道内部结构无论采用预制形式还是现浇方式, π 型件均已实现预制化,两种形式并无差别。对于上海市周家嘴路隧道而言, π 型件采用 60 t 行车垂直吊运下井至双头平板车,车辆运输至隧道内工作面,再使用盾构机车架上的特制行车

收稿日期:2024-07-12

作者简介:姜海西(1981—),男,博士,正高级工程师,主要从事上海市重大交通基础设施投资、建设、运营及更新管理与技术开发工作。

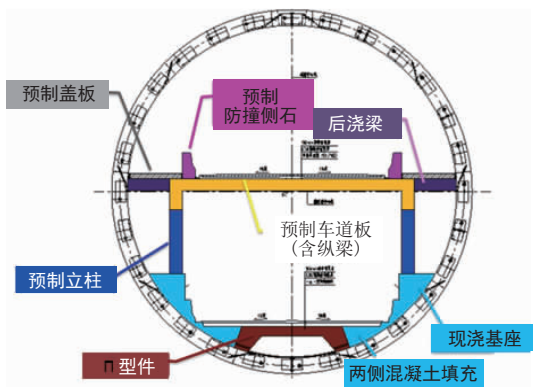


图1 内部结构

安装π型件,如图2所示。π型件两侧现浇混凝土采用混凝土C30,地面混凝土橄榄车通过斜溜槽和垂直管路将混凝土从地面运输到井下6 m³混凝土橄榄桶,然后通过橄榄桶下料口直接卸放至井下橄榄车内,最后,橄榄车通过自卸的方式在π型件两侧进行混凝土浇筑。



图2 π型件安装

2.2 现浇基座

如图3所示,对于装配式双层盾构隧道,基座仍采用现浇形式。由于盾构推进过程中管片在拼装时存在错台,如果采用预制基座,则基座顶部就会存在错落高差,精度不容易控制,因此,目前一般采用现浇方式。其工艺与现浇无二,植筋、钢筋绑扎、立模板、浇捣混凝土。



图3 现浇基座施工

2.3 立柱与车道板施工

对于隧道内部主要构件立柱及车道板的施工,

预制装配式施工的优势格外明显,体现出机械化、效率高、施工环境好、人员少等优点。预制柱截面尺寸为500 mm×500 mm,预制立柱高度为2 650 mm,重量为2 t。预制立柱在工厂预制完毕后,通过运输车运输到施工现场,先将立柱翻身后再通过机械手吊装,如图4所示。立柱安装速度可达60根/d(推进120 m),整个安装过程只需5人(机械手操作人员1人、定位微调人员3人、观察人员1人)。



图4 立柱安装

立柱与基座采用灌浆套筒连接。立柱就位后通过预留注浆孔对套筒进行灌浆,保证立柱与基座有效连接,如图5所示。灌浆工序滞后于立柱安装1 d,距离立柱安装工作面40 m,以保证施工过程中无交叉作业的情况。套筒专用灌浆料具有稳定、高强、无收缩、易灌注等特点,28 d强度不小于100 MPa。

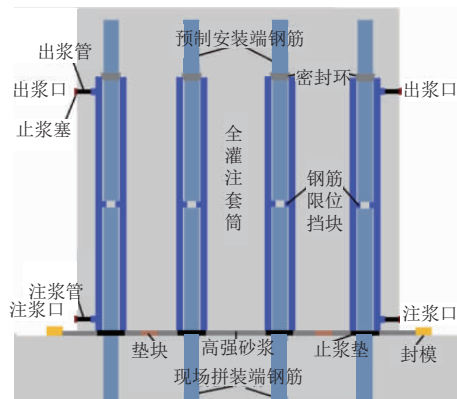


图5 灌浆套筒连接

当立柱底板灌浆养护3 d,强度达到60 MPa后,开始上层车道板的安装。上层车道采用下翻梁结构,与车道板整体预制,预制车道板同样采用双头平板车运输至施工区。为了配合安装车道板,专门设计一台最大起重能力为60 t的纵向悬臂行车,如图6所示。起吊时车道板方向为长度方向,等车道板高于立柱时,车道板将进行90°水平旋转,在车道板上设置缆风绳控制车道板转动,车道板转动时,需匀速、缓慢进行转动动作,以保证车道板的就位平稳及转动过程中的安全性。等对准位置后,下降车道板落至立

柱顶部。车道板安装速度可保持在 25 块 /d(100 m /d), 预制安装只需 5 人(运输司机 1 人、桁车操作人员 1 人、观察员 1 人、微调人员 2 人), 降低了人工劳动力, 施工速度也大幅提升, 大幅度降低了时间成本、人力成本。



图 6 车道板安装

2.4 后浇梁及盖板施工

内部结构与管片的连接采用后浇梁方式, 每隔 4 m 浇筑一后浇梁, 同时浇筑后浇梁与车道板之间的铰缝, 如图 7 所示。后浇梁上直接放置预制隔板, 如图 8 所示。如果是现浇形式, 一般后浇梁及盖板均为现浇。

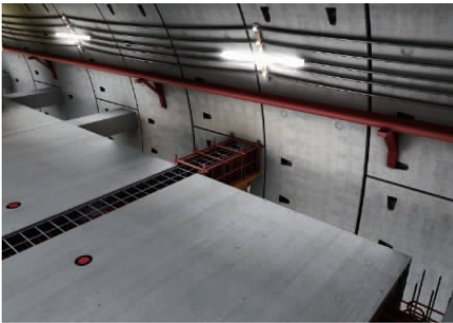


图 7 后浇梁施工



图 8 车道板施工

盖板安装一个节段后(间隔 80~160 m), 进行上层防撞侧石安装。防撞侧石底座宽 500 mm, 高 795 mm, 单块长度 4 000 mm, 重量 2.2 t。安装防撞侧石用叉车即可, 如图 9 所示。

2.5 内部结构现浇施工

隧道内部结构现浇施工工艺需要绑扎钢筋、立模板、浇捣混凝土、脱模等流程, 如图 10 所示。

为了加快施工速度, 通常采用搭接作业施工, 现



图 9 防撞墙安装



图 10 内部结构现浇施工

场通常采用 2 套模板作为搭接施工, 每套模板施工长度为 50 m, 每个施工工作面需要 30 人, 考虑搭接作业, 现场作业人员至少需 50 人。从钢筋绑扎到拆模板的最短时间为 14 d, 考虑到 2 套模板搭接使用, 14 d 能够完成浇筑 100 m。

此外, 现浇作业时大部分空间都会被占用, 无法实现与盾构推进的同步进行, 时间成本高。

2.6 施工效率对比

隧道内部主要结构为立柱、车道板, 基于以上两种施工工艺对比可知, 若采用预制装配式施工, 立柱安装需操作人员 5 人, 安装速度可保持在 60 根 /d(每天推进约 120 m); 车道板安装需操作人员 5 人, 速度可保持在 25 块 /d(每天推进约 100 m), 可见采用装配式施工, 隧道主要内部结构只需 10 人, 每天即可推进约 100 m。若采用现浇工艺, 现场作业 50 人, 完成 100 m 结构, 则需要 14 d。

通过上述两种施工工艺对比, 装配式建造优点凸显无疑。装配式施工工艺大幅缩短了结构施工周期(缩短 80%以上)、大量减少了现场作业人员(减少 80%以上), 降低时间成本和人力成本。

3 两种建造形式经济分析

通过上述预制装配式与现浇两种施工工艺对比, 现浇结构直接将原材料钢筋运至现场, 组织作业人员现场加工和绑扎、立模板, 然后混凝土罐车进行浇捣成型。而采用预制装配式施工内部结构隧道, 先通过预制构件场内生产, 然后运至施工现场, 利用机

械设备直接拼装。这也导致两种施工工艺工程造价有所差异。下面以现浇施工、预制构件生产、预制构件现场安装,详细说明所产生的费用差异,详见表1至表3。

表1 现浇结构费用(含现场施工)

项目名称	混凝土		钢筋		合计/万
	数量/m ³	单价/元	数量/t	单价/元	
车道板	12 998.8	879.7	2 857.3	5 809.1	4 063.28
立柱	1 128.7	1416.	338.6	5 772.4	
梁侧盖板	4 252.0	1015.8	510.2	5 809.1	
防撞侧石	1 140.1	936.3	114.0	6 075.2	

表2 预制构件制作费用

项目名称	混凝土		钢筋		场内、场外运费	模板/元	合计/万
	数量/m ³	单价/元	数量/t	单价/元			
车道板	10 105.98	975.20	4 055.77	6 138.90	1 699 261.56		4 877.13
立柱	1 094.46	654.27	502.95	5 866.44	145 982.38	450 096.48	
梁侧盖板	1 773.63	612.61	250.98	6 138.90	236 572.11	882 329.95	
防撞侧石	1 146.03	695.49	297.152	6 901.90	152 860.93	1 309 058.14	

表3 预制构件现场安装费用

序号	安装项目	数量	单价/元	合计/万
1	混凝土构件卸车/m ³	14 527.73	96.10	
2	车道板安装/m ²	21 969.52	118.80	
3	防撞侧石安装/m ³	1 146.03	201.78	
4	柱安装/m ³	1 094.46	195.65	
5	盖板安装/m ²	8 868.15	100.21	
6	C40 盖板与防撞墙接缝/m ³	68.44	699.67	1 214.99
7	C60 现浇接缝混凝土/m ³	1 429.5	1 120.00	
8	柱套筒/个	14 260	191.38	
9	柱底预埋套管灌浆/m ³	26.79	11 397.65	
10	氯丁橡胶/m ²	3 333.2	637.92	

80%以上,后期预制装配式施工的优势越来越明显。特别对于一线大城市,对文明施工和环境保护要求严苛,对施工工期要求紧,而预制装配式施工作业面整洁,施工速度快,可有效缩短整个工程的建设周期,节约建设成本。

4 结 语

从工程预算角度看,预制装配式施工费用高于

通过对表1至表3数据分析可知,现浇所产生的费用主要由材料费和现场施工费组成,其费用为4 063.28万元,预制装配式所产生的费用主要由两部分组成:一是构件的生产费用;二是构件的现场拼装费用,其费用分别为4 887.13万、1 214.99万。总的计算预制费用比现浇施工高出2 028.84万。考虑到车道板、立柱等模板费用摊销,预制成本还会进一步减少。

单纯从工程预算看采用预制装配式建造的费用高于现浇费用,且目前人口老龄化加剧,人工费用持续上升,预制装配式施工可使现场作业人数减少

现浇,但是从工程实践效果来看,预制装配式隧道优势凸显,传统的城市隧道内部结构现浇施工效率低下、作业环境恶劣、质量控制难、施工工序多,严重影响工期。而预制装配式施工技术从本质上确保了工程质量安全,大幅缩短了结构施工周期(缩短80%以上),大量减少了现场作业人员数目(减少80%以上),形成了专业化、现代化工厂,并促进高素质作业人员的培育,有利于企业及产业的长足发展。

参考文献:

- [1] 周文波, 吴惠明. 水底公路隧道盾构掘进中的道路同步施工技术[J]. 现代隧道技术, 1998(3): 13-17.
- [2] 周松. 上海复兴东路越江隧道工程施工技术综述[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(增刊2): 4761-4769.
- [3] 胡滢之. 双层双向盾构法隧道横断面的创新设计[J]. 中国市政工程, 2010(增刊1): 1-3.
- [4] 王善高, 史世波, 舒恒, 等. 单管双层特长盾构隧道内部结构预制施工技术——以南京纬三路过江盾构隧道工程为例[J]. 隧道建设, 2016, 36(4): 451-457.
- [5] 黄俊, 马明, 李勇, 等. 盾构隧道内部双层结构快速化施工方法技术研究[J]. 公路, 2013(3): 212-219.
- [6] 晏胜荣. 单管双层盾构隧道内部结构同步施工台车设计与制造技术[J]. 铁道建筑技术, 2015(2): 82-85.
- [7] 拓勇飞, 郭小红. 南京纬三路过江通道总体设计与关键技术[J]. 现代隧道技术, 2015, 52(4): 1-6.