

文章编号:1006-2106(2013)12-0057-07

# 公轨合建盾构法隧道内部结构方案研究\*

唐飞<sup>1</sup> 何应道<sup>2\*\*</sup>

(1. 武汉地铁集团有限公司, 武汉 430000; 2. 中铁第四勘察设计院集团有限公司, 武汉 430000)

**摘要:**研究目的:盾构法隧道的内部结构是隧道工程的重要组成部分,对隧道内径尺寸、施工进度、工程投资均有影响,尤其是采用盾构法修建的公轨合建隧道。本文以武汉市三阳路长江隧道为背景,对盾构法隧道的内部车道结构及烟道板结构的受力特征,主要施工工艺、方法及其优缺点进行分析、比选。

**研究结论:**(1)现浇内部车道结构方案在防水能力、力学性能、工程造价等方面优势明显,推荐采用现浇方式;(2)烟道板采用预制弧形预制板方案便于施工及质量控制,在运营期冲淤荷载下的受力状态较好,推荐采用预制方式;(3)本文的分析可为今后的大型公轨合建盾构隧道工程提供一定的理论依据及工程借鉴。

**关键词:**公轨合建;盾构法隧道;内部结构

**中图分类号:**U121 **文献标识码:**A

## Research on the Internal Structures of Road - metro Shield Tunnel

TANG Fei<sup>1</sup>, HE Ying - dao<sup>2</sup>

(1. Wuhan Metro Group Co. Ltd, Wuhan, Hubei 430000, China; 2. China Railway Siyuan Survey and Design Group Co. Ltd, Wuhan, Hubei 430000, China)

**Abstract: Research purposes:** The internal structure of the shield tunnel is an important part of tunnel engineering, affecting the shield diameter, the construction schedule and investment, especially the road - metro shield tunnel. Based on the Sanyang road Yangtze River tunnel, the mechanics characteristic, the main construction technology, methods and their advantages and disadvantages of the internal structures and the flue sheet of tunnel are analyzed and compared in the paper.

**Research conclusions:** (1) With obvious advantages on waterproof ability, mechanics property and investment, the cast - in - situ method is recommended. (2) Prefabricated arc slab flue sheet is convenient for quality control and the stress state is good under the scour and silting - up condition in the operation, the flue sheet should be prefabricated. (3) The analysis can provide theoretical evidences and references for the large road - metro shield tunnel in future.

**Key words:** road - metro shield tunnel; shield tunnel; internal structures

## 1 引言

盾构法交通隧道内部结构施工常用的有现浇法、预制法以及现浇和预制结合三种方法。单线盾构法铁路、轨道交通区间隧道由于轨道以下隧底内部结构高度较小,一般采用混凝土现浇填充;双线铁路隧道或公

路隧道,轨道或路面下方空间高度较大,一般为两孔或三孔的框架结构,此时内部结构的施工有几种方案可以选择,如模板支架现浇、全部预制拼装或部分预制部分现浇相结合。

国内几座典型隧道内部结构施工方案如表1所示。

\* 收稿日期:2013-08-21

\*\* 作者简介:唐飞,1980年出生,男,工程师;何应道,1984年出生,男,工程师。

表1 典型隧道内部结构施工方案

序号	隧道名称	项目类型	隧道内径/m	内部结构施工方式
1	武汉长江隧道	城市道路	10	车道结构现浇;烟道板采用钢结构
2	南京长江隧道	城市道路	13.3	中间箱涵预制,两侧行车道板现浇
3	杭州庆春路过江隧道	城市道路	10.3	车道结构现浇;不设烟道
4	广深港客专狮子洋隧道	铁路	9.8	轨下混凝土填充
5	南京地铁3号线、10号线越江区间	轨道交通	10.2	中间箱涵预制,中隔墙现浇;烟道板预制
6	上海长江隧道	高速公路	13.7	中间箱涵预制,两侧行车道板现浇;烟道板预制(局部现浇)
7	杭州钱江隧道	高速公路	13.7	中间箱涵预制,两侧行车道板现浇;烟道板预制(局部现浇)
8	广深港客专益田路隧道	铁路	11.7	中间箱涵预制,两侧混凝土填充
9	上海上中路隧道	城市道路	13.3	上层车道板现浇,下层车道板预制;不设烟道
10	上海复兴路隧道	城市道路	10.04	上层车道板预制,下层车道混凝土填充;不设烟道

由表1可见,上述几种内部结构施工方案均有对应的工程实例。内部结构施工方案对隧道内径尺寸、施工进度、工程投资均有影响,故本文以武汉市三阳路长江隧道为例,对公轨合建盾构法隧道内部结构方案及施工工艺进行研究。

## 2 三阳路隧道概况

三阳路长江隧道位于武汉市长江二桥与武汉市青岛路长江隧道之间,距离长下游的长江二桥1.3 km,距离上游青岛路长江隧道1.9 km,规划定位为公轨合建过江通道。越江段采用盾构法隧道,横断面布置分为三层,上层为道路隧道排烟道,中间层布置三条道路车道,下层布置轨道交通7号线区间隧道、地铁排烟道以及管线廊道,隧道内径13.9 m,外径15.2 m,如图1所示。

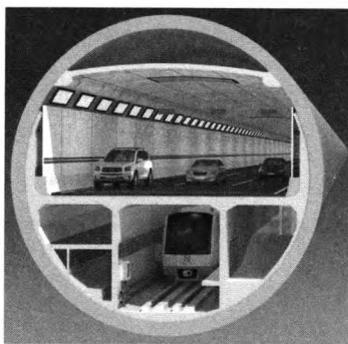


图1 隧道横断面图

道路隧道主要技术标准如下:设计速度60 km/h,双向6车道,车道宽度3.5 m,车道高度4.5 m。

轨道交通7号线主要技术标准:

(1) 车辆编组6A,设计最高行车速度为80 km/h。

(2) 地下区间直线地段矩形隧道建筑限界:线路中心线右侧为2 200 mm,左侧为2 300 mm(设有疏散平台),高度为轨顶面以上4 500 mm。

## 3 车道结构方案

### 3.1 中间箱涵预制方案

盾构隧道内部结构采用预制构件(如图2所示)的施工流程可分为三个施工阶段。第一阶段:在盾构掘进的同时,同步安装预制“口”形构件(预制块与管片同宽,纵向通过螺栓连接);第二阶段:相隔掘进面一段距离后,现浇隧道下部两侧牛腿及两侧路面板;第三阶段:待隧道沉降稳定后再浇筑内衬、路面铺装、防撞侧石等。其优点是“口”字形预制件作为内部结构的一部分,可与盾构掘进同步实施,当预制构件安装、拼接好后,即可作为管片供应及内部结构施工的运输通道。盾构掘进结束,圆隧道内部结构基本成形,一旦盾构掘进机拆卸完成,圆隧道内部剩余结构可在最短时间内完成,从而缩短隧道施工工期。此外,同步预制箱涵的拼装,也可以增加管片内部配重,防止施工期管片的上浮,隧道整体沉降稳定周期也可大大缩短。

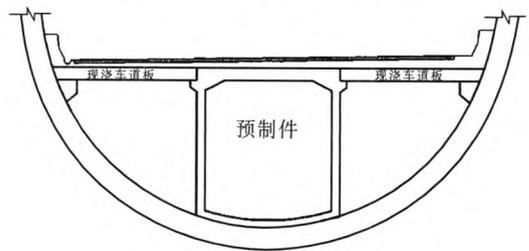


图2 预制车道层结构图

其缺点是:

(1) 存在大量的结构缝,如预制构件的横向拼接缝、预制构件与现浇车道板的纵向施工缝等,当道路隧道进行清洗时,容易从施工缝部位往地铁孔渗漏。而本隧道为双层隧道,上层为汽车行车道,下层布置为地铁七号线区间,且地铁七号线采用接触网供电系统,道路隧道清洗水的渗漏会对地铁接触网的安全造成不利

影响。

(2) 由于盾构掘进过程存在不可避免的轴线误差及管片拼装错台,为线路拟合需要,箱涵顶板以上需要铺设厚度 150~200 mm 的钢筋混凝土找平层,找平层中配置钢筋网以防止路面铺装层在车辆碾压作用下开裂,如此则不利于隧道内净空的充分利用,隧道外径需增大至 15.4 m(如图 3 所示),造成投资增加。

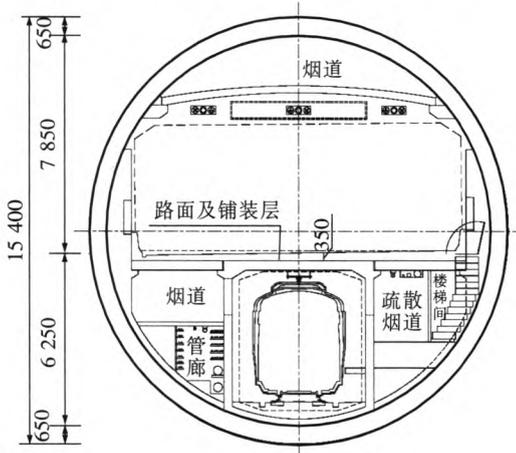


图 3 预制方案隧道横断面图(单位:mm)

(3) 为满足下部地铁限界要求,预制箱涵结构外形尺寸大,内部净空尺寸宽 4.9 m,高 5.5 m,总重达 25 t,约为长海长江隧道、南京长江隧道等大型盾构隧道中间箱涵的 1.5 倍。要满足精确拼装笨重的“口”字件的要求,增加了盾构机后配套设备的制作难度,增加了设备造价。其次,“口”字件由于受盾构机专用设备吊装能力及设备台车内空间的限制,尺寸无法达到普通车辆掉头要求,仅能满足车辆单行,所以需投入特制双头卡车进行材料运输。

(4) 需投入多套预制件钢模板,预制一定量的钢筋混凝土“口”字件,同时需要大型场地临时堆放,市区内的场地条件往往无法满足,只能采取郊外工厂加工储存,“口”字件属超宽或超高构件,必须夜间运输,每天运输量及运输费用很大,工程成本增加,经济性较差。

因此,该方案虽然具有快速施工、增加内部配重的优点,但在地铁孔防水、隧道内净空利用、“口”字件制

作与运输、隧道内施工组织等方面存在较大的缺陷。

### 3.2 全预制方案

全预制方案施工工序与中间箱涵预制方案基本相同。区别在于,全预制方案中将中间预制箱涵两侧的行车道板一并采用预制施工。全预制方案的施工速度更快,但结构施工缝更多,车道板发生渗漏的几率增加,且隧道外径也需要增加至 15.4 m。

### 3.3 全现浇方案

通过分析中间箱涵预制方案的优缺点,结合隧道的横断面布置,提出了全现浇方案。该方案采用有轨运输,道路层车道板采用台车进行现场浇筑。轨道布置于隧道底部,穿行于台车下方。

较之预制方案,优点如下:

- (1) 盾构断面布置图中,可以取消箱涵顶板以上 20 cm 厚的钢筋混凝土铺装层,有利于充分利用隧道内净空。
- (2) 现浇方案消除了预制构件间及预制构件与后期现浇结构间的缝隙,大大提高了车道结构板的防水性能,避免道路隧道清洗时,废水通过结构缝隙流入地铁隧道,提高了地铁的运营安全性。

(3) 有利于减少地铁隧道排烟道的漏风量,提高排烟效果。

(4) 采用现浇方式时,内部结构整体性好,可以改善结构的受力状态,有利于结构的长期稳定。此外,现浇车道板与预制相比,大大减少了车道层纵向结构缝的数量。因此,现浇方案的行车舒适性可以有很大改善。

(5) 盾构掘进时采用有轨运输,在下部地铁通行孔内设置轨道,作为管片运输车及砂浆罐车的专用车行通道。地铁通行孔内部净空宽敞,现浇内部结构时,车辆可通行于台车下方,以保证前方盾构掘进的材料供应。当上部车道板浇筑完成后,即可利用上部车道板作为下一段内部结构浇筑所需材料的运输通道。即内部结构施工与盾构掘进施工的运输路线分离,内部结构的施作不会对盾构掘进的运输产生干扰。

### 3.4 车道结构施工方案比选

车道结构施工方案比选如表 2 所示。

表 2 车道施工方案比选表

比较项目	部分(中间箱涵)预制方案	全预制方案	全现浇方案
施工便利性	中间箱涵作为运输平台,仅现浇牛腿和两侧车道板,施工速度较快	中间箱涵作为运输平台,两侧车道板也预制,施工速度最快	采用有轨运输,机车穿行于车道层台车下方;车道板及中间箱涵全部现浇。施工速度较慢
工期	较短	短	较长

续表2 车道施工方案比选表

比较项目	部分(中间箱涵)预制方案	全预制方案	全现浇方案
车道层防水性能	车道结构缝较多,防水性能较差	车道结构缝很多,防水性能差	车道结构现浇,结构缝少,防水性能优
力学性能	结构分期形成,施工期与运营期受力形态差异较大	结构分期形成,预制车道板与中间预制箱涵间连接困难	结构现浇,整体性强,车道结构为三跨连续梁,受力合理
隧道直径	箱涵顶设置找平层,隧道外径需增大至15.4 m	箱涵顶设置找平层,隧道外径需增大至15.4 m	现浇,无需找平。隧道外径15.2 m
工程造价	需投入多套预制件钢模板,运输困难,费用高,总造价较高	需投入多套预制件钢模板,运输困难,费用高,总造价高	无预制件堆放和运输问题,且隧道直径最小、造价较低

由表2可见,通过对车道结构方案的施工便利性、工期、防水性能、力学性能及工程造价综合比选,推荐采用全现浇方案。

## 4 烟道结构方案

本工程盾构段长度为2 590 m,为更好地在盾构段发生火灾的工况下进行快速排烟,根据通风防灾专项研究结论,采用半横向排烟方案,在盾构断面的上部设置烟道。根据以往工程实例和设计经验,烟道板的设置可采用现浇钢筋混凝土、预制钢筋混凝土和钢结构三种方案。

### 4.1 预制弧形板方案

盾构段车道层顶部烟道板采用预制板与现浇牛腿结合的方式,一般段采用幅宽1.2 m,厚25 cm的预制弧形混凝土板,两端搁置在现浇牛腿上,弧形板与现浇牛腿之间通过预埋钢板焊接,预制板两端与管片之间的空隙用细石混凝土嵌填。弧形板纵向接缝和横向接缝采用3级防火密封胶封堵。在电动排烟阀门口及风机悬挂处等局部区域烟道板采用现浇。预制钢筋混凝土方案如图4所示。

### 4.2 现浇混凝土板方案

现浇钢筋混凝土方案:盾构段车道层顶部烟道板板厚300 mm,采用现场绑扎钢筋、浇筑混凝土的现浇方式,一般段一次浇筑6~8 m,现浇板钢筋与管片之间采用植筋连接,如图5所示。

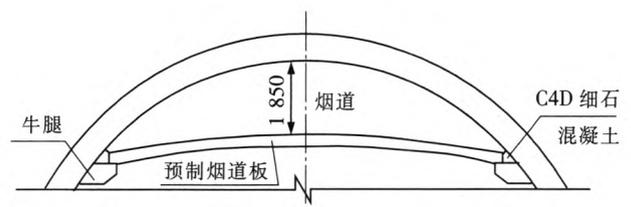
### 4.3 钢结构方案

钢结构方案:如图6所示,采用耐火型钢梁+耐火钢板的方案。本方案采用8 mm厚耐火钢板切割,焊接成150 mm×160 mm的H型钢梁,跨度约10.35 m,沿隧道纵向间隔2 m布置一榀,钢梁两端搭接在现浇牛腿上,钢梁顶再敷设5 mm厚耐火钢板。

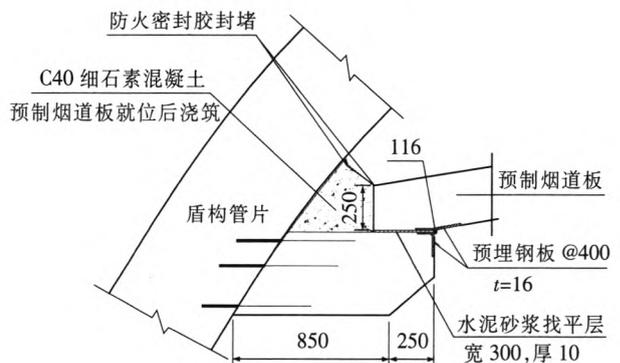
### 4.4 烟道结构方案比选

#### 4.4.1 受力状态

烟道板结构在管片拼装施工完成后形成,将与管



(a) 预制烟道板布置图



(b) 节点细部详图

图4 预制钢筋混凝土方案(单位:mm)

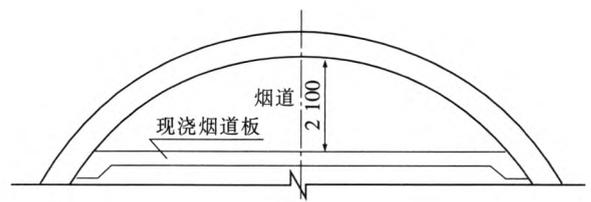


图5 现浇钢筋混凝土方案(单位:mm)

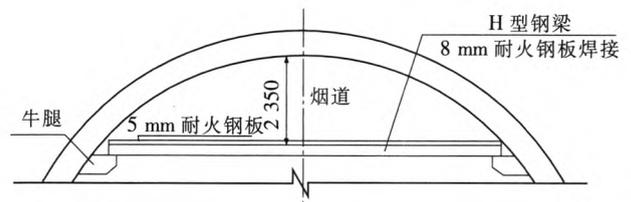


图6 钢结构方案(单位:mm)

片及内衬共同承受运营期间河床的冲刷、淤积作用。现对现浇、预制及钢结构烟道板方案各自的受力状况进一步分析,以考察结构的受力性能,以便综合比选。

现浇方案烟道板采用与管片共节点刚接模拟;预制烟道板方案采用与管片耦合节点,释放相应的转动自由度进行模拟。钢结构方案由于型钢梁布置较稀,刚度较小,计算中予以忽略,计算模型如图 7 所示。淤积工况下各烟道板方案的内力如图 8 ~ 图 10,内力值已考虑与施工期的叠加,变形未计。冲刷工况未附入,结果整理于表 3 所示。

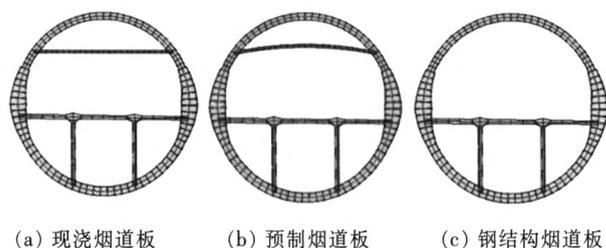


图 7 烟道板计算模型

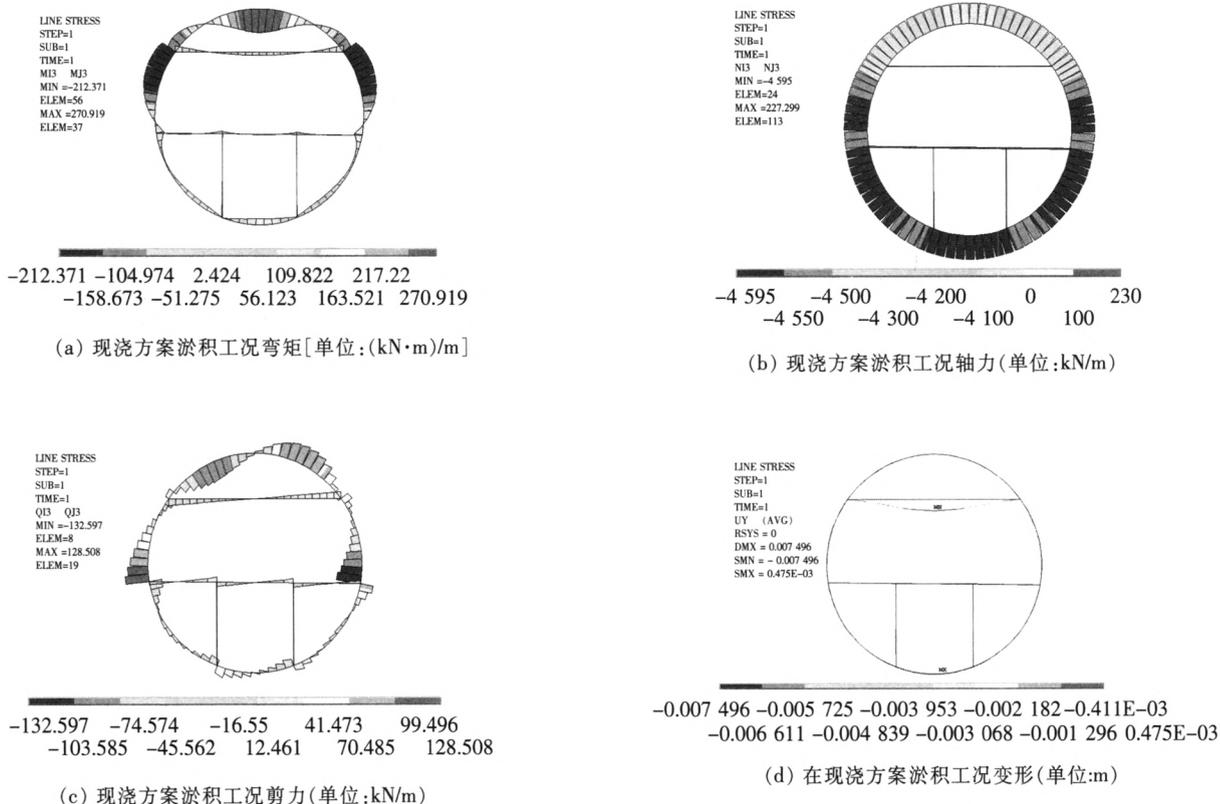
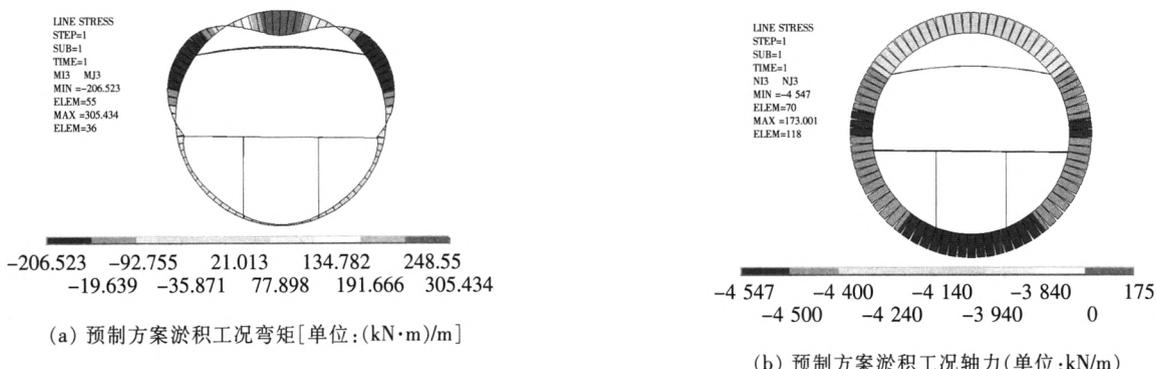


图 8 现浇烟道板方案内力及变形图

各方案管片及内衬结构均完全相同,且采用通用楔形环管片结构。因此,采用拱顶的内力状态来对比

三者的受力状态,各方案计算结构如表 3 所示。



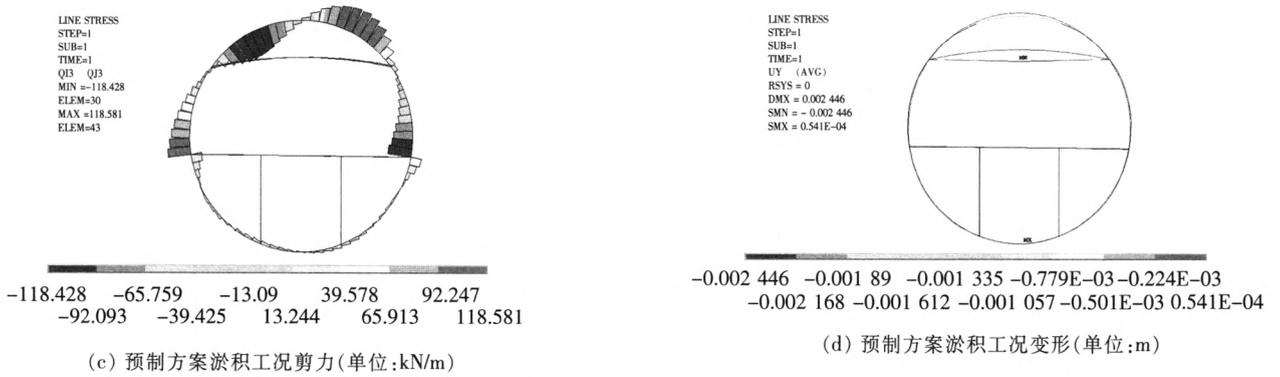


图9 预制烟道板方案内力及变形图

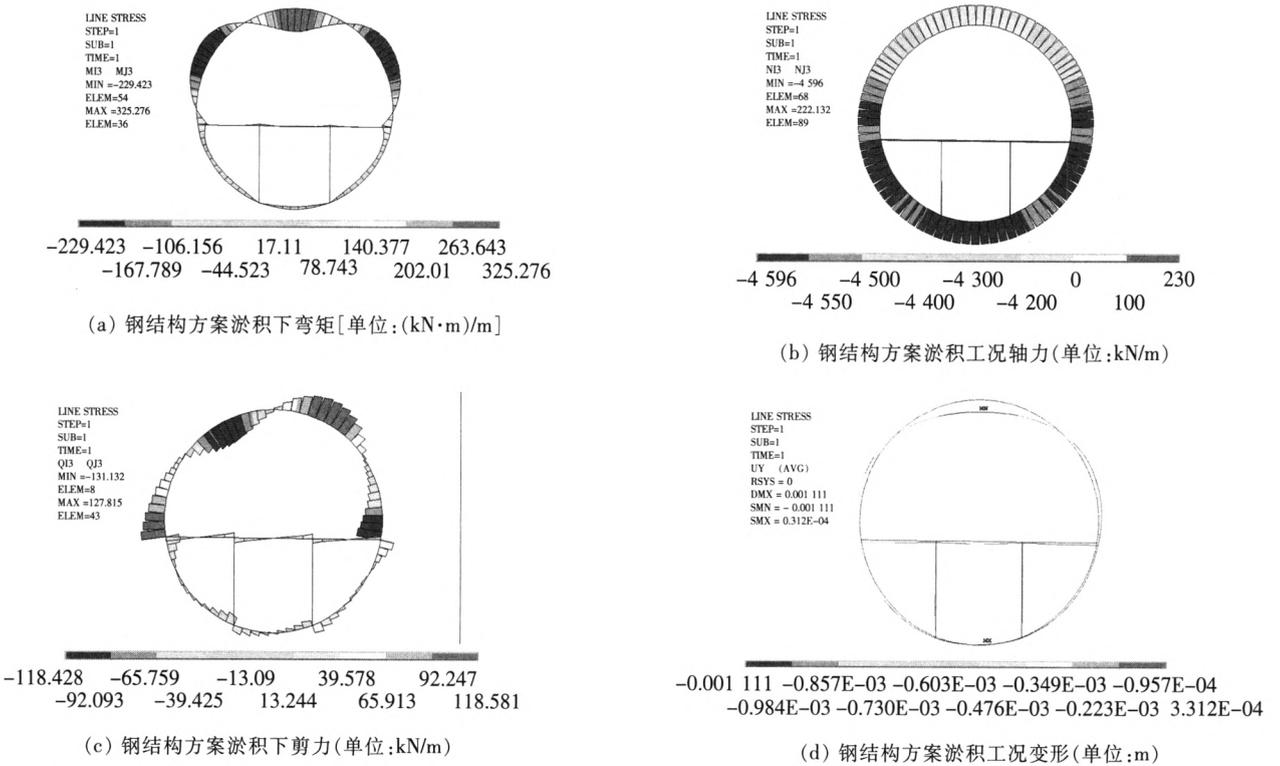


图10 钢结构烟道板方案内力及变形图

表3 烟道板内力对比表

计算工况	特征点内力及位移	烟道板现浇	烟道板预制	钢结构烟道板	现浇/预制	钢结构/预制
淤积 工况	拱顶弯矩/(kN·m)	270	305.4	325.3	88.4%	106.5%
	拱顶轴力/kN	-4064	-4026.8	-4004	100.90%	99.40%
	拱顶位移/mm	-7.1	-7.3	-7.71	97%	105.00%
	拱顶偏心矩/m	-0.063	-0.072	-0.077	87%	107%
	烟道板跨中弯矩/(kN·m)	36.2	103.7	-	35%	-
	烟道板轴力/kN	111.4	31.7	-	306%	-
冲刷 工况	烟道板挠度/mm	-7.84	-12.87	-	61%	-
	拱顶弯矩/(kN·m)	230.5	223.6	217.3	103%	97.20%
	拱顶轴力/kN	-4081.2	-4126.8	-4133.6	99%	100.20%
	拱顶位移/mm	-6.463	-6.3	-6.22	103%	99.10%
	拱顶偏心矩/m	-0.056	-0.054	-0.053	104%	97.00%
	烟道板跨中弯矩/(kN·m)	35.4	67.1	-	53%	-
冲刷 工况	烟道板轴力/kN	-78.7	-30.3	-	260%	-
	烟道板挠度/mm	-7.3	-8.34	-	88%	-

由上表可见,现浇烟道板由于与管片衬砌刚接,刚度较大,自身变形较小,挠度约为预制方案的60%~80%,板跨中部弯矩约为预制方案的40%~50%。且其形态为平直形,较之弧形的预制烟道板,在冲淤等附加荷载条件下,拱顶的位移变化波动幅度较小,对控制结构整体的变形相对有利。与此同时,现浇烟道板也承担了较大的拉压轴力,数值约为预制方案的2.6~3倍。

在冲刷、淤积工况下,现浇、预制方案两者的管片内力分布规律及数值大小都很接近,受力状态基本相同。淤积工况下,现浇略优,内力值约为预制方案的90%。冲刷工况下,预制略优,现浇内力值约为预制方案的105%。因此,总体上现浇方案略优。

在淤积工况下,钢结构烟道板结构变形较大,内力也较大,数值约为预制方案的105%。在冲刷工况下,钢结构烟道板结构拱顶上挠,数值较预制方案大,与施工期代数叠加后,数值较小,约为预制方案的97%。因此,总体上增设预制烟道板后利于结构承载。

#### 4.4.2 施工及造价

较之混凝土烟道板,钢结构方案烟道板轻便,施工拼装速度快。缺点是:钢结构方案用钢量大,且耐火钢板昂贵,造价比钢筋混凝土结构方案高,耐久性劣于混凝土方案。因此,排烟道板推荐采用钢筋混凝土板方案。

在施工上,预制方案造价略高但施工简便;现浇方案需要设置满堂支架、绑扎钢筋、浇筑混凝土等多道工序,不但施工速度慢,对下部的机电安装、装修等工序影响较大,而且由于排烟道净空较矮(最高处仅2.1 m),施工操作空间狭小,施工质量难以保证,所需工期也较长。

因此,从力学性能、施工便利性及造价综合考虑,推荐采用预制钢筋混凝土烟道板方案。

## 5 结论

(1)现浇内部车道结构方案在防水能力、力学性能、工程造价等方面优势明显,通过合理的施工组织,可满足工期要求。因此,内部车道结构推荐采用全现浇方案。

(2)烟道板采用预制弧形预制板方案便于施工及质量控制,在运营期冲淤荷载下的受力状态较好。因此,烟道板结构推荐采用预制方案。

## 参考文献:

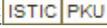
[1] 中铁第四勘察设计院. 三阳路长江隧道工程初步设计[R]. 武汉:中铁第四勘察设计院. 2013.  
China Railway Siyuan Survey and Design Group Co.

Ltd. The Preliminary Design of Sanyang Road Yangtze River Tunnel [R]. Wuhan: China Railway Siyuan Survey and Design Group Co. Ltd, 2013.

- [2] 沈永红,李向红,陈凯. 上海耀华支路盾构法隧道内部结构施工技术[C]//第三届上海国际隧道工程研讨会文集. 上海:同济大学出版社,2006.  
Shen Yonghong, Li Xianghong, Chen Kai. The Construction Program of the Internal Structure of Yaohua Branch Road Tunnel in Shanghai [C]//The 3rd China International Tunnelling Symposium. Shanghai: Tongji University Press, 2006.
- [3] 张轶. 大型盾构法隧道内部结构同步施工[J]. 商品与质量:建筑与发展,2002(8):59-62.  
Zhang Yi. The Internal Structure Construction Synchronization of Large Shield Tunnel [J]. The Merchandise and Quality: Building and Development, 2002(8):59-62.
- [4] 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]. 世界隧道,1998(3):13-17.  
Zhou Wenbo, Wu Huiming. The Internal Structure Construction Synchronization of Subaqueous Highway Tunnel [J]. Worldwide Tunnel, 1998(3):13-17.
- [5] 董天乐,张迪,焦齐柱. 庆春路过江隧道公铁分建方式分析[J]. 隧道建设,2007(4):37-42.  
Dong Tianle, Zhang Di, Jiao Qizhu. The Analysis on the Road and Metro Construction Approach of Qingchunlu River-crossing Tunnel [J]. Tunnel Construction, 2007(4):37-42.
- [6] 刘建航,侯学渊. 盾构法隧道[M]. 北京:中国铁道出版社,1991.  
Liu Jianhang, Hou Xueyuan. Shield tunnel [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 1991.
- [7] 曾东洋,何川. 地铁盾构隧道管片接头刚度影响因素研究[J]. 铁道学报,2005(4):90-95.  
Zeng Dongyang, He Chuan. Study on Factors Influential in Metro Shield Tunnel Segment Joint Bending Stiffness [J]. Journal of the China Railway Society, 2005(4):90-95.
- [8] 地盘工学会著(日). 盾构法的调查、设计、施工[M]. 朱清山,等,译. 北京:中国建筑工业出版社,2008.  
Soils AND Foundations (Japan). The Shield Tunnel Investmen, Design, Construction [M]. Zhu Qingshan, etc, Translated. Beijing: China Architecture & Building Press, 2008.
- [9] 孙文昊,焦齐柱,兰宇,等. 盾构管片接头抗弯刚度影响因素研究[J]. 铁道工程学报,2008(1):66-71.  
Sun Wenhao, Jiao Qizhu, Lan Yu, etc. Research on the Factors Influencing Flexural Rigidity of Duct Piece Joint of Shield Tunnel [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2008(1):66-71.

(编辑 梅志山)

# 公轨合建盾构法隧道内部结构方案研究

作者: [唐飞](#), [何应道](#), [TANG Fei](#), [HE Ying-dao](#)  
作者单位: [唐飞, TANG Fei \(武汉地铁集团有限公司, 武汉, 430000\)](#), [何应道, HE Ying-dao \(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 武汉, 430000\)](#)  
刊名: [铁道工程学报](#)   
英文刊名: [Journal of Railway Engineering Society](#)  
年, 卷(期): 2013(12)

## 参考文献(9条)

1. [中铁第四勘察设计院 三阳路长江隧道工程初步设计](#) 2013
2. [沈永红;李向红;陈凯 上海耀华支路盾构法隧道内部结构施工技术](#) 2006
3. [张轶 大型盾构法隧道内部结构同步施工](#) 2002(08)
4. [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](#) 1998(03)
5. [董天乐;张迪;焦齐柱 庆春路过江隧道公铁分建方式分析](#)[期刊论文]-[《H》隧道建设](#) 2007(04)
6. [刘建航;侯学渊 盾构法隧道](#) 1991
7. [曾东洋;何川 地铁盾构隧道管片接头刚度影响因素研究](#)[期刊论文]-[《H》铁道学报](#) 2005(04)
8. [地盘工学会;朱清山 盾构法的调查、设计、施工](#) 2008
9. [孙文昊;焦齐柱;兰宇 盾构管片接头抗弯刚度影响因素研究](#)[期刊论文]-[《H》铁道工程学报](#) 2008(01)

引用本文格式: [唐飞.何应道. TANG Fei. HE Ying-dao 公轨合建盾构法隧道内部结构方案研究](#)[期刊论文]-[《铁道工程学报》](#) 2013(12)