

# 大断面综合管廊转角段弧形模板结构分析及施工技术研究

## Structural Analysis and Construction Technology Research of Arc Formwork in Corner Section of Large-section Comprehensive Pipe Gallery

尹鹏飞 王志超 蔡亚雄

Pengfei Yin Zhichao Wang Yaxiong Cai

中交一公局第一工程有限公司 中国·北京 102205

CCCC First Engineering Co., Ltd., Beijing, 102205

**摘要:** 本文以雄安新区地下综合管廊工程项目为依托,从转角特殊节段入手,细化大断面综合管廊转角处弧线倒角支架模板设计体系,通过进行模板支撑结构验算,制订科学的施工方案,利用 BIM 技术在进行实体建模,指导现场异性模板的制作加工的同时优化体系,分析建设过程中存在的问题,持续提高建设技术水平,确保建设质量,提高建设效率,进一步提高经济及社会效益。

**Abstract:** Based on the underground comprehensive pipeline gallery project in Xiong'an New District, this article starts with special corner sections, refines the design system of the curved chamfered bracket formwork at the corners of the large-section comprehensive pipeline gallery, and formulates scientifically by checking the formwork support structure. The construction plan uses BIM technology to perform entity modeling, guide the production and processing of on-site heterogeneous templates, optimize the system, analyze problems in the construction process, continue to improve the level of construction technology, ensure construction quality, improve construction efficiency, and further improve the economy and social benefits.

**关键词:** 大断面综合管廊; ABAQUS; BIM 技术; 模板制作

**Keywords:** large-section integrated pipe gallery; ABAQUS; BIM technology; template making

**DOI:** 10.36012/etr.v2i9.2689

### 1 工程概况

本项目为雄安新区某棚户区改造安居工程配套市政道路干线工程及随干线布设的综合管廊、排水管网系统工程。其中管廊工程需建设 2 条市政综合管网(廊),分别为 N3 路共构段、E1 路单建及共构段,共构段标准宽度 16.5m,单建段标准宽度 16.9m,干线管廊总长度约 2.91km。

本项目转角处总计有 3 道圆弧转角墙,墙宽分别为 30cm, 30cm 及 60cm,其圆弧半径分别为 920cm、890、610cm、580cm、300cm、240cm,详细见下图。

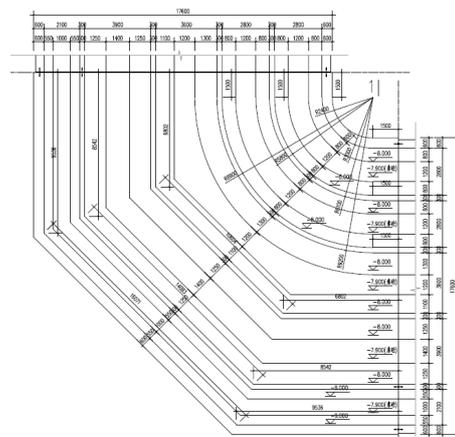


图 1-1 转角施工平面图

**【作者简介】** 尹鹏飞(1987~),男,河北张家口人,本科,工程师,从事路桥施工研究。

转角处断面同单建标准断面尺寸，总计 5 个舱室，分别为电力舱、给水舱、综合舱、热力管线舱及燃气管线舱，详细尺寸见下图。

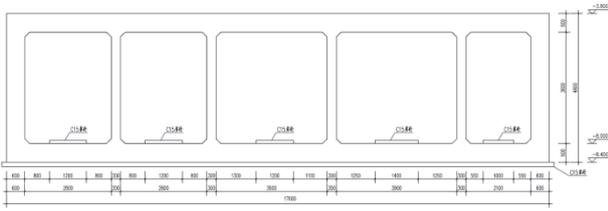


图 1-2 转角施工断面图

依据管廊圆弧转角设计图，对定型弧形木模板体系的力学性能、构造、施工技术和控制要点等进行论述，明确适用于雄安地区管廊工程的转角弧形模板体系设计思路，完善一整套包含定型弧形木模板完整的大断面综合管廊施工流程，以便指导今后综合管廊工程中出现的圆弧转角段落。

## 2 深化转角处定型圆弧模板设计

### 2.1 定型弧形模板简介

定型弧形模板面板是借助木质覆膜多层板的易弯曲性，采用多次加压的方式方法更好的对面板的弯曲定型。木材使定型弧形模板具有重量轻且强度高、切割容易的特征；面板内外的覆膜使模板具有良好的防水透气性，同时具有易于脱模，减少混凝土拆模后观感质量通病优势。

### 2.2 定型弧形模板构造

根据大断面综合管廊转角圆弧结构的特点，确定了圆弧木模板体系。弧形面板采用 WBP 覆膜胶合板，易弯曲，强度大。墙身弧形段背楞采用定型  $\phi 48 \times 3.0\text{mm}$  圆弧钢管加固，采用 3 段式止水螺杆，间距 60cm 一道；腋角模板采用定制木模板拼接而成，采用 C20 钢筋加固，背楞采用  $\phi 48 \times 3.0\text{mm}$  圆弧钢管加固，采用 3 段式止水螺杆， $\phi 48 \times 3.0\text{mm}$  圆弧钢管加固。



图 2-1 圆弧模板侧视图



图 2-4 圆弧模板剖面图



图 2-5 圆弧模板现场拼接图

首先，加工制作圆弧模板骨架，按照图 2-1 及设计图加工背楞，进行切割开口。龙骨檩条按照地面弹好的墨线进行分段加工。按照背楞开槽进行组装、固定。其中背楞间距 20cm。

复核检查骨架尺寸半径无误后，然后将 WBP 覆膜胶合板钉在骨架上，形成底板 - 侧墙施工缝段落的异性模板。如下图所示。



图 2-6 圆弧模板现场拼接图

该底板的异性模板处理方式，考虑了对侧墙两侧的倒角部分浇筑混凝土。

其不同于施工缝之上的侧墙结构，可以利用方木 + 钢管作为侧墙模板的背楞；更不同于直线段的底板 - 侧墙倒角部分使用塑料模板进行直接支模。

由于，综合管廊绝大部分属于直线线性，弧形段出现在个别小角度转角处，定制塑料模板很难二次利用，周转率交底低，经济效益差；采用方木 + 钢管方式无法较好完成对倒角部分的模板支撑。故采用异性模板保证综合管廊转弯圆弧段的线型与混凝土质量，进而保证经济效益提高施工速度。

### 2.3 底板 - 侧墙倒角弧形模板有限元分析

采用 ABAQUS 有限元软件进行分析，按照 ABAQUS 单位统一对照原则，设置为“米”为基本单位，应力单位为 Pa，位移单位为 m，荷载为最大均布荷载  $F=32360\text{N/m}^2$

背楞间距为 20cm，转角为  $4^\circ$ 。为简化计算，将背楞、檩条与面板三种部件，简化为檩条 + 面板、背楞二种部件。选择网格单元为 C3D8RH 六面体进行网格划分。

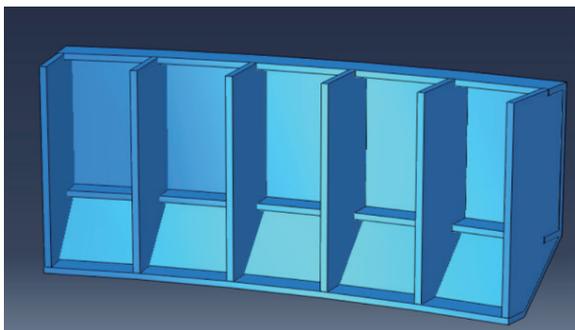


图 2-8 圆弧模板模型图

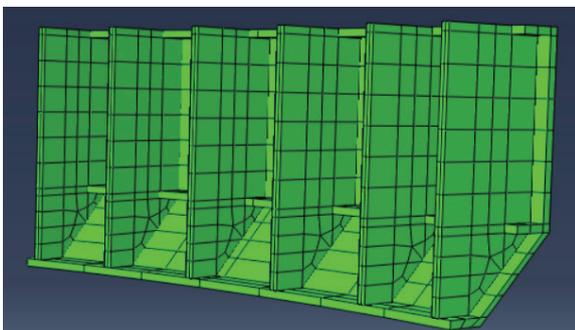


图 2-8 圆弧模板模型网格划分

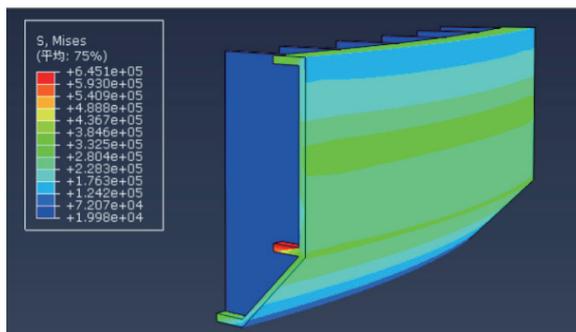


图 2-9 模型整体应力云图 (单位 :Pa)

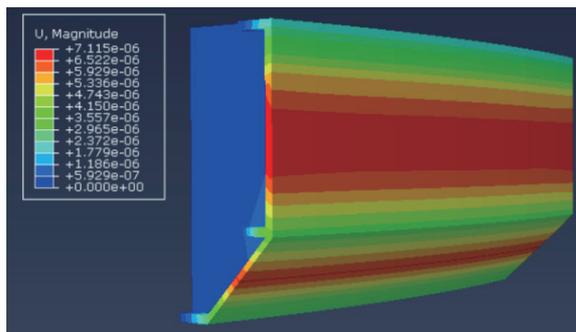


图 2-10 模型整体位移云图 (单位 :m)

将檩条 + 面板、背楞分别隐藏，得到部件的变形云图。

由图可知，

(1) 背楞最大应力为：

$$1.08 \times 10^5 \text{Pa} = 0.108 \text{N/mm}^2 < [f] = 15 \text{N/mm}^2 ;$$

(2) 背楞最大位移为：

$$3.49 \times 10^{-6} \text{m} = 3.49 \times 10^{-3} \text{mm} < [v] = l/400 = 0.5305 \text{mm};$$

满足强度、刚度要求。

(3) 檩条 + 面板最大应力为：

$$6.45 \times 10^5 \text{Pa} = 0.645 \text{N/mm}^2 < [f] = 15 \text{N/mm}^2 ;$$

(4) 檩条 + 面板最大位移为：

$$7.11 \times 10^{-6} \text{m} = 7.11 \times 10^{-3} \text{mm} < [v] = l/400 = 0.5305 \text{mm};$$

满足强度、刚度要求。

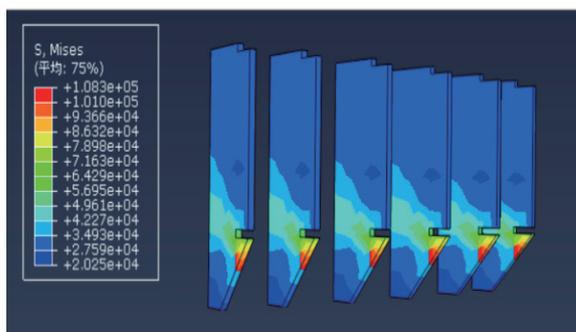


图 2-11 背楞应力云图 (单位 :Pa)

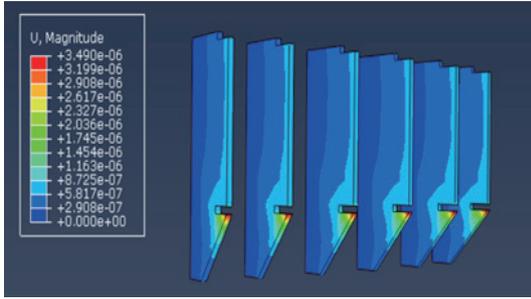


图 2-12 背楞位移云图 (单位 :Pa)

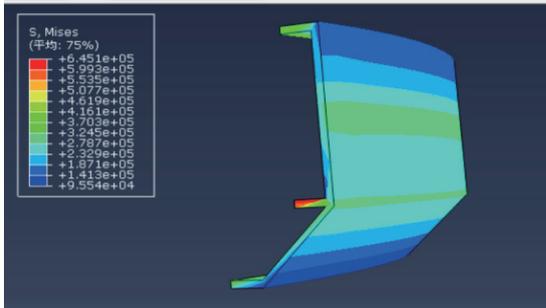


图 2-13 檩条 + 面板应力云图 (单位 :Pa)

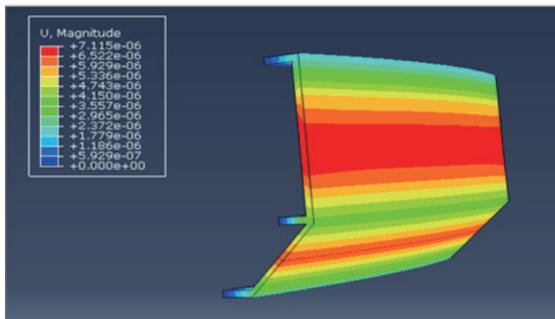


图 2-14 檩条 + 面板位移云图 (单位 :Pa)

经过有限元分析可知, 底板 - 侧墙倒角弧形模板受力符合规范要求, 现场施工方便快捷, 避免了材料浪费, 倒角部位得到有效的控制。

## 2.4 施工缝上部侧墙定型弧形模板理论计算

为确保施工顺利进行以及模板支架设计的科学合理性, 在转角混凝土浇筑前首先进行弧形模板体系力学分析, 以提供理论支撑依据。转角圆弧形木模板的理论计算部分取受力最大的部位, 即施工缝上部侧墙结构进行验算, 利用现有规范依据和力学简化模型

进行分析。以管廊侧墙高  $h=3.6\text{m}$ , 中心半径  $R=2.7\text{m}$  的圆形模板进行分析。

设计方案为: 方木间距  $250\text{mm}$ , 主梁间距  $600\text{mm}$ , 拉杆间距  $600\text{mm}$ 。

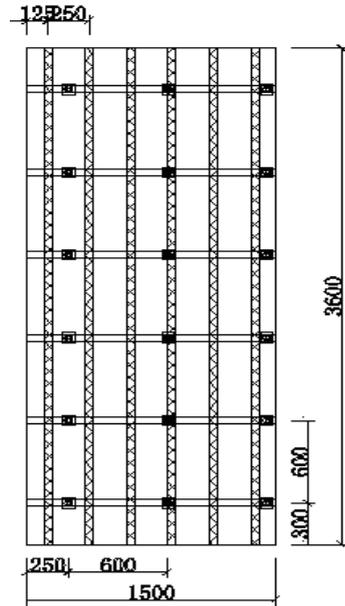


图 2-7 模板设计立面图

根据 (JGJ162-2008)《建筑施工模板安全技术规范》第 4 章, 采用 50 插入式振动器, 浇筑速度取  $1\text{m/h}$ , 混凝土坍落度  $180\text{mm}-200\text{mm}$  时, 浇筑混凝土时对侧墙模板的侧压力值可按照以下计算, 并取两者其中的较小值进行计算:

$$F = 0.28\gamma_c t_0 \beta_1 \beta_2 V^{\frac{1}{2}}$$

$$F = \gamma_c H$$

并采用内插法导出模板全高的侧压力, 如下所示:

$$F = \begin{cases} 0.28\gamma_c t_0 \beta_1 \beta_2 V^{\frac{1}{2}} \\ \gamma_c (H-h) \end{cases}$$

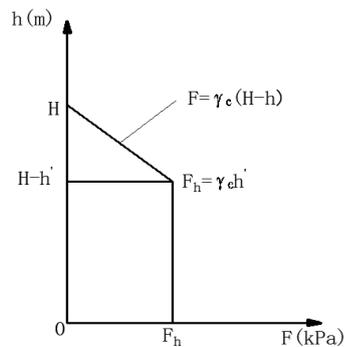


图 2-8 混凝土侧压力分布图

其中  $h'$  是混凝土侧压力的有效高度, 最终计算侧压力值为  $F=32.36\text{kN/m}^2$ 。分别对模板面板、背楞  $5 \times 10\text{cm}$  方木、主楞  $\Phi 48$  双钢管对拉螺栓进行受力验算。

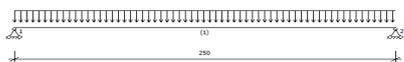


图 2-9 面板验算受力简图



图 2-10 面板弯矩图 (kN·m)

$$\sigma = M_{\max}/W = 5.943\text{N/mm}^2 \leq [f] = 15\text{N/mm}^2,$$



图 2-11 面板变形图 (mm)

$v = 0.339\text{mm} \leq [v] = l/400 = 0.625\text{mm}$ , 面板满足强度、刚度要求。

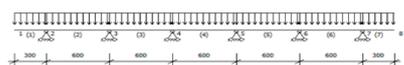


图 2-12 小梁验算受力简图

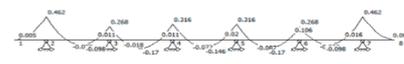


图 2-13 小梁弯矩图 (kN·m)



图 2-14 小梁剪力图 (kN)

$$\sigma = M_{\max}/W = 6.846\text{N/mm}^2 \leq [f] = 16.2\text{N/mm}^2,$$



图 2-15 小梁变形图 (mm)

$v = 0.531\text{mm} \leq [v] = l/400 = 1.5\text{mm}$ , 小梁满足强度、刚度及剪力要求。



图 2-16 主梁验算受力简图

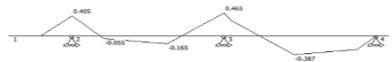


图 2-17 主梁弯矩图 (kN·m)

$$\sigma = M_{\max}/W = 111.538\text{N/mm}^2 \leq [f] = 205\text{N/mm}^2,$$



图 2-18 主梁变形图 (mm)

$v = 0.386\text{mm} \leq [v] = l/400 = 1.5\text{mm}$ , 主梁满足强度、刚度要求。

对拉螺杆采用 M16, 容许设计值  $N_t^b = 24.5\text{kN}$ 。

$N = 0.95\text{mmF} = 14.049\text{kN} \leq N_t^b = 24.5\text{kN}$ , 对拉螺杆满足要求。

### 3 转角段弧形模板施工技术研究

#### 3.1 施工工艺控制关键点

每一施工作业环节, 须由质量监督部组织人员跟踪检查, 发现问题务必及时解决和消除, 避免未来浇筑混凝土过程中乃至拆模后出现的质量诟病。明确大断面管廊转角弧形模板主要质量验收标准, 如表 3.1-1 所示:

表 3.1-1 转角弧形模板主要质量验收标准

序号	检查项目	允许偏差	检查方式
1	面板平整度	2	靠尺
2	弧形模板弦高	-3, +2	靠尺、钢尺
3	相邻面板高低差	2	钢尺
4	面板之间缝隙宽度	1	钢尺
5	模板垂直	3	吊线

严格落实“三检制”与雄安监理 APP 使用, 如发现不合格的必须返工重做至合格标准为止, 严格统制每一步施工工序流程。

(1) 转角弧线放线准确, 确保线形平顺无误, 防止安装固定转角弧形模板时, 首先要根据图设计图纸确定弧线圆心位置, 再由圆心控制模板的半径和弧长, 进而控制确定模板的轴线与边线, 点位平顺过度。

(2) 模板安放固定前, 对模板控制线再次进行校核工作, 做好控制标高。合模前, 完成明缝条安装; 检查模板背楞、主楞和对拉螺杆紧固; 模板面板清洁无杂物并涂刷适量脱模剂。侧墙钢筋保护层垫块安装合格, 并完成钢筋工程隐蔽工程检验验收工作。

(3) 采用预拼的方式,在模板安装之前进行预拼,并在背面编号,以两条墨线作为模板安装的控制线。

(4) 模板加固,防止施工中方木、钢管加固材料在局部出现受力不均的情况,导致在混凝土浇筑振捣过程中因模板松动而引起胀模。

(5) 安装对拉螺栓时,保证安装垫圈。模板安装加固前,保证面板对齐,严禁在校正、校核前加固。对拉螺栓两侧紧固时,要用力均匀一致,以免造成面板的局部拉扭变形。

(6) 浇筑混凝土时,应配备人员检查是否漏浆及模板情况,并根据现场实际据状况采取相应治理措施。

(7) 对水平施工缝处混凝土进行凿毛处理,露出骨料,用水冲洗干净。混凝土运输、浇筑及间歇的全部时间不能超过混凝土的初凝时间。同一施工段的混凝土应连续浇筑,并应在底部混凝土初凝之前完成上层混凝土浇筑工作,且在振捣时插入下层砼中最少 50mm,以避免冷缝等问题出现。

(8) 采取二次抹压技术,消除混凝土干缩、沉陷和塑性收缩产生的表面裂缝,增加混凝土的密实度。

(9) 加强对侧墙混凝土的养护:拆模前在侧墙顶部的模板之间布置软水管,软管上每隔一定距离钻出水孔,混凝土硬化后开始蓄水养护;混凝土初凝后,稍微松开木模板螺栓,养护水可以沿模板渗透到侧墙混凝土的内外表面,延迟拆模时间,保证在 5 天后拆除模板,拆模后用塑料布将墙体整体密封,保温保湿进行养护。建议木模板带模养护,小水慢淋进行墙体养护,养护用水以与墙体外表面温度相近为宜。顶板浇筑混凝土完毕后,及时进行二次收面,在收面的同时,覆盖一层塑料薄膜,等待混凝土初凝后揭去塑料薄膜,并覆盖土工布,摇臂喷头洒水器洒水 24 小时养生工作。C35P8 抗渗混凝土养护时间不少于 14 天。

## 4 经济及社会效益分析

### 4.1 社会效益

通过大断面综合管廊转角段弧形模板结构分析及施工技术研究,管理人员的质量意识和技术水平上了一个崭新的台阶,把 BIM 技术应用到施工过程。在加快建设的同时保证了安全质量,顺利完成业主下达的工期节点目标要求,得到了设计、业主、监理等相关单位的一致好评。

### 4.2 经济效益

通过大断面综合管廊转角段弧形模板结构分析及施工

技术研究,施工现场节约了人工,减少了材料浪费,大大缩短了工期,有效降低施工成本。



图 4- 圆弧转角处实体图

## 5 总结

采用 WBP 覆膜胶合板,制造的一种转角弧形模板倒角特殊模板结构,有效的解决了大断面综合管廊转角段弧形倒角支模加固困难问题,减少了材料投入与浪费,避免了定制塑料模板。利用材料本身易弯曲特性,稍加修改即可用于其他个别圆弧转角模板,进一步提高经济效益。现场加工便捷,提高了施工进度。弧形模板的强度、刚度均满足要求,混凝土浇筑后,外观质量较好。得到业主和监理的赞扬。

圆弧曲率、半径精度、结构尺寸偏差、模板接合等是弧形混凝土结构外观质量管理的重点。本项目的大断面综合管廊的转角为弧形结构,保证施工过程及拆模后整体观感效果的难度高于普通平面。因此,更加需要对于背楞与模板面板的弯曲曲率进行准确的把控,保证弯曲曲率与设计图一致,符合设计要求,保证施工过程中的安全性,与施工完成后成品质量与外观效果达到清水混凝土的要求。

通过对大断面综合管廊转角弧形测墙模板体系设计优化,对钢-木体系大模板背楞、主楞进行改造创新,保证了弧形墙体的观感质量与安全。

## 参考文献

- [1] 高殿民, 单侧支模挂架爬升圆弧清水混凝土模板体系的设计与施工 [D]. 清华大学, 2012.
- [2] 张汝谦, 冯燕妮, 郑曦. 清水混凝土多变曲率弧形墙体模板体系设计与施工技术 [J]. 福建建筑, 2010(06):102-105.
- [3] 余敏; 定型弧形木模板结构分析及施工技术研究 [D]; 重庆大学; 2016 年.
- [4] 万利民, 刘勇, 梁思龙, 阮锋, 王彩明. 珠海歌剧院变曲率双曲面薄壁弧形墙模板施工技术 [J]. 施工技术, 2014, 43(20):4-6+21.
- [5] 《建筑施工模板安全技术规范》(JGJ162-2008).
- [6] 《混凝土结构工程施工规范》(GB 50666-2011).