

# 市政大型超长下穿隧道主体结构混凝土施工技术研究

张成方 马良

辽宁中旭建筑工程有限公司 辽宁沈阳 110011

DOI: 10.12238/ems.v7i11.16015

**[摘要]** 郑州市107辅道快速化项目下穿隧道工程,是郑州市首条双向八车道隧道工程北起金水东路,向南延伸至商都路,是“大三环”环线路网中的咽喉部位。更是郑州市“大三环”环线路网的关键节点,连接了城市南北向交通。隧道主体混凝土设计方量约3.1万 $m^3$ ,钢筋制安约5万t。设计结构使用寿命为100年,安全级别为一级,三级抗震。隧道结构防水等级为Ⅱ级,结构不允许有渗漏现象发生。

**[关键词]** 大体积混凝土;隧道;钢支撑;防水

## 1 引言

随着国家基础建设快速发展的同时,城市高架桥、地铁、隧道工程等在各大城市正处于高速规划、建设中,其中隧道工大体积混凝土施工尤为集中。国内外大量工程实践表明,混凝土大体积裂缝主要是温度应力所致。由于混凝土的体积较大,厚度较厚,在混凝土强度形成过程中,水泥的水化热大量积聚在砼内部,引起混凝土中心温度的升高,与混凝土表面的环境温度形成温度差,产生较大的温度应力。混凝土在成型初期强度和弹性模量都处于增长阶段,在应力的作用下,混凝土内部极易产生微裂纹随着时间的推移,如果应力的作用进一步增大,而强度和弹性模量不能及时增长到可抵抗程度,则微裂纹扩展成为裂缝。在整个施工过程中混凝土浇筑、止水、养护等是工程建设及安全运营的重要质量保障。采取一系列切实可行的工艺、措施、方法,有效的施工组织和完善的质量保证体系的运行,实现安全、高效、绿色、环保的施工,有效解决了大体积混凝土建设中的各种问题。

## 2 工程概况

郑州市东三环快速化隧道工程,全长2.8km,双向八车道设计,依次下穿七里河北路下方3米污水管、七里河及七里河南路立交,并上跨正交既有运营的轨道交通1号线,人行过街通道,下穿商鼎路高架、莲湖路下立交。本标段隧道分敞开段和隧道段,隧道暗埋段结构采用双孔长方形箱涵,隧道顶部局部在设置敞开式通风口,敞开段采用U型断面,局部采用抗拔桩满足抗浮要求。隧道标准段单孔结构内净宽17m,内净高5.55m。每隔40~60m设变形缝,全线共32个节段。底板厚1.5m,边墙厚1.2m,中隔墙厚0.6m,顶板厚1.2m。主体混凝土设计方量152395 $m^3$ ,钢筋制安29110t。

### (1) 混凝土强度等级和抗渗等级

顶板、底板砼设计为C40p8混凝土,中隔墙、中板、内部门梁柱砼设计为C40混凝土,垫层砼设计为C20混凝土。

### (2) 钢筋

钻孔灌注桩的钢筋笼必须采用焊接接头或机械连接接头,当钢筋直径 $\geq \phi 28mm$ 时,设计为机械连接的方式。当采用焊接接头,在进行钢筋焊接前,一定根据施工条件进行试焊。合格后方可施作。

钢筋连接器采用与钢筋同强度滚轧直螺纹套筒,性能等级应满足JGJ107-2003规程规定的等级要求。

### (3) 防水设计

1) 本工程防水采用C40防水混凝土进行结构自防水,混凝土外部设计高分子防水卷材全封闭防水并设置闭缝板保护层,施工关键是对施工缝等防水重点部位进行处理,确保工程的防水质量;

2) 底板处防水为2.0mm厚YTL-VX交叉层压膜自粘防水卷材+5cm厚C20细石混凝土保护层。

3) 支护桩桩间设计用砂浆统一抹面整平,而后铺设2.0mm厚YTL-VX交叉层压膜自粘防水卷材;

4) 顶板采用2.0mm厚YTL-C耐根刺穿高分子复合防水卷材+油毡隔离层+100mm厚C20细石混凝土保护层;

5) 变形缝设计为中置式钢边橡胶止水带,止水带设置注浆花管。变形缝宽度20mm,中间采用聚氨酯发泡板填塞;变形缝设计为外贴式橡胶止水带+中埋式钢边橡皮止水带;

6) 施工缝采用单组份聚氨酯膨胀密封胶+中埋式钢边橡胶止水带。

## 3 主体混凝土施工要求及实施对策

### 3.1 设计图纸要求的主体结构施工顺序

主体隧道横断面具体浇筑顺序如下:

(1) 敞开段的浇筑顺序为:底板→边墙(中墙)。

(2) 暗埋段无支撑段混凝土浇筑顺序:底板→中墙→顶

(3) 暗埋段两层支撑段混凝土浇筑顺序:

底板→浇筑侧墙、中墙至第二道支撑底→拆除第二道支撑底→浇筑剩余侧墙及顶板→拆除第一道混凝土支撑→顶板上附属结构

#### (4) 暗埋段三层支撑段混凝土浇筑顺序:

底板→浇筑中墙、侧墙至第三道支撑底→拆除第三道支撑→浇筑侧墙、中墙至第二道支撑底→拆除第二道支撑底→浇筑剩余侧墙、顶板

#### (5) 暗埋段三层支撑双层箱室段混凝土浇筑顺序

底板→浇筑中墙、侧墙至第三道支撑底→拆除第三道钢支撑→浇筑中墙、边墙、中板至第二道钢支撑底→拆除支撑→浇筑剩余侧墙、顶板

### 3.2 存在问题

(1)设计图纸中要求的主体结构施工顺序现场执行效力低;底板浇筑完成后,距离最底层支撑距离仅为2米,因钢筋需错开连接头,第二次侧墙、中墙实际浇筑高度仅于1m;

(2)顶、底板浇筑厚度1.2m~1.5m,一次浇筑厚度较厚,在混凝土强度形成过程中,混凝土内部大量聚集水泥的水化热,容易引起混凝土中心温度升高,形成与混凝土表面的环境温度形成温差。温度应力较大,易产生裂纹。

(3)最大节段主体结构设计长度50m,一次性浇筑;每隔20m左右设置施工缝。

### 3.3 针对上述问题工程施工时,采用以下对策

#### (1) 主体结构优化浇筑顺序

##### 1) 三层支撑双层箱室段混凝土优化后浇筑顺序

底板、中墙、侧墙至第三道支撑底→脚手架搭设、模板安装→浇筑侧墙、中墙、中板至第二道支撑底→拆除第二道钢支撑→搭设脚手架、立模、浇筑剩余侧墙、顶板

##### 2) 暗埋段三层支撑段混凝土浇筑优化顺序:

底板、中墙、侧墙至第三道支撑底→拆除第二、三道支撑→浇筑剩余侧墙、顶板

#### (2) 顶、底板浇筑分层进行浇筑

底板、顶板混凝土采取分段、分层、台阶法浇筑,一次浇筑长度20m,浇筑厚度30cm,泵车入仓,局部采取溜槽入仓。

## 4 主体混凝土施工方法

### 4.1 钢筋施工

下穿隧道主体钢筋工程量大,为保证钢筋连接质量及工期要求,钢筋连接舍弃传统的焊接连接,主筋连接均使用直螺纹高强套筒连接。控制钢筋绑扎施工的质量措施主要有:

(1)钢筋绑扎前应清除钢筋表面的黏结物(油污、泥土、浮锈)。

(2)各构件各部位应做带有铅丝的水泥砂浆预制垫块绑在钢筋上,以保证混凝土保护层符合图纸要求。

(3)按照规范进行绑扎钢筋,为了保证插筋的位置、方向、垂直度都达到规范要求。

(4)在浇筑混凝土前,应检查钢筋位置,进行必要的纠

正和固定。

### 4.2 模板施工

#### (1) 底板及内倒角模板

1)底板防水层上的细石混凝土保护层达到设计强度后作为底模,对底板钢筋进行绑扎,浇筑底板混凝土。底板施工混凝土浇筑高度为底板倒角以上100cm处。

明挖放坡段底板侧面和内倒角采用钢模板,根据底板设计厚度不同,采用P6015、P3015、P4015拼装外侧模,内模倒角设计成整体。

第一次浇筑混凝土高程为底板倒角上50cm,倒角模板采用定型钢模。边墙倒角模板采取外撑内拉的方式固定,拉杆直径 $\phi 14$ 止水拉杆。中隔墙倒角模板直径 $\phi 16$ 的对拉螺栓,间排距 $0.5\text{m}\times 0.5\text{m}$ 。模板外侧同时采用 $\Phi 48\times 3.5\text{mm}$ 钢管斜撑至横向外龙骨部位。

2)在底板、侧墙、顶板施变形缝处外侧(迎水面)设立外贴式橡胶止水带(320 $\times$ 30);板中设立中埋式钢边橡胶止水带(350 $\times$ 28)、低模量聚氨酯密封胶、高模量聚氨酯密封胶、20mm丁晴软木橡胶、PE泡沫棒等。

3)在每一段底板与侧墙纵向水平施工缝处设镀锌钢板止水带。

4)后浇混凝土端头模板牢固可靠,灌注时不能跑模。在施工缝处采取措施防止振捣时,水泥浆液溢出,影响施工缝处砼的密实度,确保缝边砼自身密实。保证止水带与混凝土牢固结合,在止水带处混凝土不会发生集中或漏振的粗骨料。

5)施工缝在混凝土初凝时进行人工凿毛,并采用空压机吹扫干净。浇筑前先洒水湿润,并铺设2cm厚水泥浆,然后分层浇筑混凝土,分层厚度50cm。

#### (2) 中墙模板安装

1)采用15mm厚竹胶板,脚手架采用碗扣式脚手架,与板面支架连接成整体。

2)模板按分段长度、分层高度在加工厂拼装加工,模板拼缝采用双面胶,并按照方案设计拉杆间距提前打好拉杆孔。模板吊装到位后,按方案计算要求安装 $\phi 16$ 的对拉螺栓。模板背肋采用 $\phi 48$ 的钢管通过拉结螺杆通过蝴蝶扣进行紧固。

#### (3) 桩撑支护段侧墙模板安装

1)侧墙钢筋安装绑扎固定完毕后,使用空压机和高压水枪对施工缝进行吹扫清理,经过班组及项目质检合格后,下一步安装内侧墙模板。

2)内侧模安装施工顺序:钢筋绑扎、连接→施工缝清理→吊装模板→安装内、外龙骨、支撑→浇筑侧墙、顶板混凝土→混凝土养护。

3)模板安装前,根据测量高程和结构尺寸提前确定好边

线、采用双面胶或墨线标记。

4) 竹胶板事先在地面按3~4块模板(与竖带用铁钉钉在一起)拼装成组合模板,再进行靠墙拼装。

5) 内、外龙骨的位置、间距按照施工方案计算设计参数布置固定,确保模板支架整体牢固可靠,并相关方经过验收。

6) 竖向内龙骨(@150)采用40×60mm方钢,外龙骨(水平 $2 \times \Phi 48 \times 3.5 @ 600$ ),侧墙无对拉螺杆,在侧墙内侧采用顶托(@600×600)与支架水平杆连接支撑。

#### (4) 顶板模板安装

顶、底板模板采用15mm厚竹胶板,模板尺寸为1220×2440mm,底模板铺设方向为纵向2440mm,横向1220mm;支架采用满堂红碗扣式脚手架,满堂支架的间距为60(纵)\*60cm(横),横杆步距为1.2m。3米污水管支撑横梁部位(K11+297.431~K11+309.431)顶板底模采用18mm厚双面覆膜竹胶板,支架采用满堂红碗扣式脚手架。满堂支架的间距为30(纵)\*30cm(横),横杆步距为0.6m。

顶板部位顶托上布置2层分配梁,底层主分配梁用3根 $\Phi 48 \times 3.5$ mm钢管,纵向布置;首道次分配梁交叉横向布置,5cm×10cm方木作为主肋,纵向中心间距为15cm。

#### (5) 施工缝处理

##### 1) 水平施工缝(纵向施工缝)

纵向施工缝设于底板与侧墙交接处50cm以上。设计使用镀锌钢板止水带,起到止水作用。水平施工缝中间位置采用2cm木条压槽,压槽内部在下一仓混凝土浇筑前涂抹单组分聚氨酯缓膨胀型密封胶。

##### 2) 横向施工缝(垂直施工缝)

横向垂直施工缝采用钢边橡胶止水带。是止水带在水平安装顶底板时形成倒梯形,便于混凝土入仓浇筑振捣时汽包在止水带下方排出,使混凝土振捣密实,不存在气泡或空洞。为保证施工缝处结合混凝土浇筑质量,根据侧墙、顶板纵向钢筋间距将端头模板加工成锯齿形,将纵向钢筋放置在模板锯齿形凹槽内。

#### (6) 主体防水混凝土施工

1) 在运输中防水混凝土拌和物出现离析现象,一定要进行二次搅拌。坍落度损失后达不到施工要求时,应加入水泥砂浆和同品种减水剂进行搅拌,原水胶比,严禁直接加水。防水混凝土采用泵送模时,自落高度不应大于2m。

2) 采用插入式振捣器防水混凝土振捣。混凝土振捣前根据结构物设计好振捣点位布置,振捣时间为10~30s。振捣密实,避免漏震和过震。对新旧混凝土结合面、变形缝、施工缝、止水带位置需要严格按点位和时间进行控制振捣。3)

混凝土浇筑完毕后,模板外侧应保持湿润,木模宜浇水,隧道顶板立即收水覆盖浇水养护少于14天,要求及时施作防水层和回填覆土,顶板的底层面要保温养护。

4) 主体顶底板测温线的埋设:主体顶、底板测温线距离主体底板边缘1.35m,均匀布置六个;竖向成阶梯布设,高差为50cm,最深测温线埋设1.2m,最低测温线埋设30cm,详细布置图见图20。测温线可以真实的反映顶底板整体的温度。

5) 主体侧墙测温线的留置:侧墙边缘线距离测线135cm,中间位置均匀布置。竖向顶测点距侧墙顶130cm,每侧侧墙布置3个,能够反映侧墙整体温度。

#### (7) 混凝土养护

1) 完成底板和侧墙混凝土浇筑后,用土工布覆盖,并安排专人随时洒水保持湿润,拆模后先用塑料薄膜包裹,外侧再包裹一层土工布,土工布始终保持湿润。

在基坑外侧利用降水井抽取地下水抽入专用水箱,采用增压泵连接水管定时抽水养护,并安排专人做好养护记录。浇筑期间模板外侧用冷水清洗机洒水,全部完成之后塑料软管通水保持土工布湿润,并保持降温用水20℃左右。

2) 顶板浇筑振捣收面,及时覆盖塑料薄膜,确定混凝土初凝后上面再覆盖一层土工布,安排专人随时洒水保持湿润。必要时采取圈水养护,顶板蓄水深3cm,通过预埋测温原件实时观测记录混凝土温度,每天测温记录表由质检科汇总,最终形成统计分析数据。

## 5 结语

大型隧道施工最终质量的好坏,关键在于控制混凝土浇筑、止水、防水等关键环节。结合项目特征做好事前控制、事中控制、事后控制,从混凝土原材料、配合比、运输和浇筑入仓方式、主体结构的分段、分块、分层、振捣机具选型、混凝土养护等多个环节严格把控浇筑质量;从主体结构的止水设置、焊接安装、分缝的设置、结构缝的处理等重要工序做好止水施工。过程控制是关键,只有精细组织,严把材料关,规范操作流程,做到每一个步骤受控才能取得良好的效果。

#### [参考文献]

- [1] 骆展鹏. 复杂地层综合管廊超长距离叠落下穿既有隧道研究[J]. 建筑技术开发, 2024, 51 (03): 62-64.
- [2] 裴强. 铁路隧道单循环超长管棚工作间下穿高速公路技术[J]. 价值工程, 2023, 42 (26): 66-68.
- [3] 杨川. 超长管幕施工缺陷下浅埋隧道下穿立交桥影响及控制研究[D]. 重庆交通大学, 2023.