

# 盾构联络通道冷冻法施工中 混凝土的质量控制

沈国伟

(浙江省大成建设集团有限公司, 浙江 杭州 310012)

**摘要:** 为确保在负温环境下盾构联络通道衬砌混凝土不被冻伤, 本文以杭州地铁3号线良高区间联络通道为例, 通过对混凝土材料改良、增加施工养护控制等措施, 来提高衬砌混凝土的早期强度。实践表明: 在负温环境下改善混凝土配合比和养护条件, 可在不解冻土体的条件下尽快提高混凝土强度, 缩短冻结时间, 提高联络通道混凝土的施工质量。本研究为类似环境下混凝土浇筑提供一定的参考价值。

**关键词:** 联络通道; 冷冻法; 混凝土; 质量控制

中图分类号: TU74

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2021)01-0039-04

## Quality control of concrete in the construction of freezing method of shield contact channel

SHEN Guo-wei

(Zhejiang Dacheng Construction Group Co., Ltd., Hangzhou 310012, China)

**Abstract:** In order to ensure that the lining concrete of shield contact channel is not frostbite under negative temperature environment, this paper takes the Lianggao section of Hangzhou metro line 3 as an example to enhance the early strength of lining concrete by improving concrete materials and increasing construction maintenance control. The practice shows that improving the mixture ratio and curing condition of concrete in negative temperature environment can improve the concrete strength as soon as possible without thawing soil, shorten the freezing time and improve the construction quality of contact channel concrete. This study can provide some reference value for concrete pouring in similar environment.

**Key words:** contact channel; freezing method; concrete; quality control

## 0 引言

随着地铁隧道的高速发展, 地铁盾构间的联络通道施工问题也越来越多, 冷冻法施工是软弱土层较常见的施工方法, 冷冻后的土体温度较低, 盐水冷冻的土体温度约为 $-5^{\circ}\text{C}$ , 液氮冷冻的土体温度可达 $-40^{\circ}\text{C}$ , 且随着地下施工深度和土层复杂性的增加, 对安全性的要求也越来越高, 土体冷冻的温度也相应的不断降低。在这样的负温环境中, 按常规施工方法, 联络通道衬砌混凝土容易被冻伤且能强度增长很慢, 延长了冻结时间, 对施工质量、安全与节能减排均不利。联络通道衬砌混凝土不被冻伤且能尽快增长强度对施工质量控制极为重要。

本文以杭州地铁3号线良高区间联络通道为工程背景, 对冷冻法施工衬砌混凝土质量控制措施进行了简述。

## 1 工程概述

杭州地铁3号线良睦路站-高教路站区间设置两座联络通道。1号联络通道距离良睦站304 m, 2号联络通道及泵站距离良睦站729 m。1号联络通道与2号联络通道及泵站距离425 m。两座联络通道采用冷冻法施工: 即在隧道内利用水平孔和倾斜孔冻结加固地层, 使联络通道外围土体冻结, 形成强度高、封闭性好的冻土帷幕, 在冻土帷幕内采用

矿山法进行开挖构筑施工。根据结构图设计初期支护层厚度为 300 mm，联络通道采用型钢 I20a 支架结合素喷 C25 早强混凝土。二次支护结构层为模筑混凝土，混凝土厚 450 mm，强度等级为 C35，抗渗等级为 P10。联络通道净宽 2.5 m，净高 2.543 m。初期支护层和结构层之间安装 1.5 mm 厚 EVA 防水层（断面构造见图 1）。

联络通道冻结壁厚度  $\geq 2.3$  m，冻土墙平均温度  $\leq -10^\circ\text{C}$ ，冻结壁与隧道管片交界处温度  $\leq -5^\circ\text{C}$ 。

工艺流程为：冻结器安装→冻结运转→开挖通道→初次衬砌→防水层施工→二次衬砌浇筑养护→停止冻结→充填注浆、冻结孔封堵。

在施工过程中二次衬砌混凝土强度增长是联络通道的关键，工程要求混凝土灌注后 3 d 强度达 5 MPa 以上，能够起一定的支撑作用。故从混凝土材料本身和施工工艺两方面来确保混凝土不被冻伤且提高早期强度。

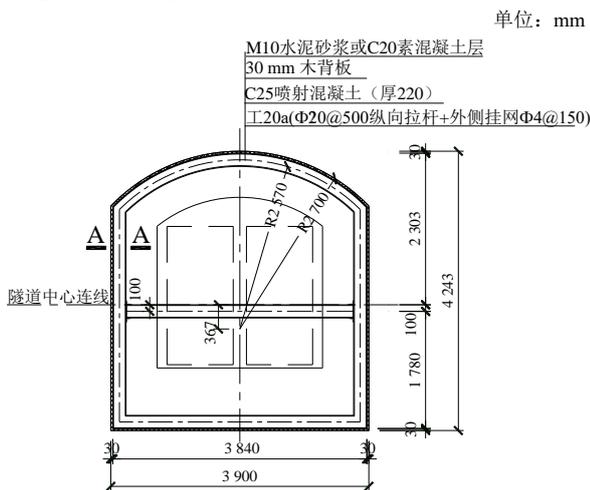


图1 联络通道断面图

Fig. 1 Section view of contact channel

## 2 混凝土配合比的优化

联络通道采用盐水冷冻，土体温度大约为  $-5^\circ\text{C}$ ，混凝土实际接触面温度约  $0^\circ\text{C}\sim 5^\circ\text{C}$ ，项目部采取了通过混凝土胶凝材料体系自身抗冻与防冻剂双重抗冻技术，实现混凝土的低温条件下不冻伤和满足强度增长的功能要求。

在混凝土中掺入适量的掺合料，取代部分水泥并填充集料的空隙，降低孔隙率可提高混凝土的抗冻性、防水性和强度。在低温条件下，粉煤灰的掺量不宜大于 15%<sup>[1-2]</sup>，高效减水剂在保持坍落度相同的前提下，能增长混凝土抗冻能力。以添加减水、引气、早强为主的复合外加剂，掺入矿物掺合料及

防冻剂的混凝土，可以在低温条件下有较好的强度发展<sup>[3]</sup>。

故在配合比优化设计时，选择粉煤灰、矿渣粉及复合矿物掺合料混掺，减小水胶比，使用聚羧酸高效减水剂及高效防冻剂，确保混凝土在低温条件下强度发展良好。

通过试验发现防冻剂掺 3% 时，混凝土强度明显高于 2% 的掺量，4% 与 3% 防冻剂掺量的混凝土强度相当，但防冻剂过量对混凝土耐久性不利，故选用 3% 的防冻剂较合适。

根据公司试验室配制经验及摸索试验，确定配合比主要参数如表 1。

表1 配合比主要参数

Table 1 Main parameters of mix ratio

参数	数值
水胶比	0.3
粉煤灰掺量/%	9.0
矿渣粉掺量/%	10.0
矿物掺合料掺量/%	5.0
聚羧酸减水剂掺量/%	1.2
防冻剂掺量/%	3.0

## 3 低温环境混凝土施工及养护措施

负温环境下混凝土的施工与养护要求较高，结合联络通道的施工工艺，介绍施工主要环节：

(1) 冷冻加固后实测冻结壁温度和厚度，达到设计值后打开探孔，确认冻土帷幕形成质量符合要求，开挖验收条件满足后，即可开管片进行土方开挖。

(2) 正常掘进段长最大不超过 0.6~0.8 m，初支 I20a 工字钢支架。为了控制冻结壁的变形、减少冻结壁冷量向钢架和二次衬砌传导，在钢支撑架后用 30 mm 厚的木背板隔开，开挖面与木背板之间的空隙用 M10 水泥砂浆充填密实，不留有空隙。

(3) 每架设 4 榀工字钢支架后，除去表面霜冻，即进行喷射混凝土施工。喷射一次混凝土后在钢支架外侧挂  $\Phi 4@150$  钢丝网，再次喷射混凝土，厚度要包住钢支架，确保喷射混凝土厚度为 220 mm。喷射完毕，要及时进行表面的修整，以方便防水层施工。

(4) 防水层采用铺设 EVA 防水板，在防水的同时起到一定的隔热作用，防水板采用热风焊枪手工焊接在塑料圆垫片上。防水板铺设完毕后应对其

表面进行全面的检查,发现破损部位及时进行补焊(见图2)。



图2 防水层施工

Fig. 2 Construction of waterproof layer

(5) 结构层施工,绑扎二衬钢筋(见图3)、立钢模板(见图4),在二衬钢模板上敷设电热毯、暖风机来提高局部环境温度。混凝土运输过程中,混凝土搅拌车需不间断地进行搅拌,倒料前快转1 min,以保证混凝土的和易性,促进混凝土的水化反应。



图3 钢筋绑扎施工

Fig. 3 Reinforcement binding construction



图4 钢模板施工

Fig. 4 Steel formwork construction

(6) 先浇筑底板再侧墙最后浇筑拱顶。搅拌好的混凝土用手推车运至工作面,用人工送入模板内并用插入式振捣棒反复均匀振捣。侧墙混凝土左右对称、水平、分层连续浇注,至拱顶交界处间歇1~1.5 h,再采用泵送灌注拱顶混凝土,采取分段浇筑的施工方式,用附着式振动器振捣,确保施工质量。

(7) 浇筑结构层混凝土后需加强保温工作,当通道内气温 $>5^{\circ}\text{C}$ 时,加强通风,低温时采用暖风机确保联络通道内气温 $>5^{\circ}\text{C}$ ,以促进混凝土水化反应。在除正常留置混凝土试块外,增设同条件养护试块,测试从第一天开始到第五天的同条件养护试块,以了解混凝土强度增长情况。

(8) 待混凝土强度达到设计强度70%即可拆模,拆模后应洒水养护,并确保通道内气温 $>5^{\circ}\text{C}$ ,养护时间不得少于7 d。

(9) 拆模后根据设计要求采用自然解冻,同时进行融沉补偿注浆。

## 4 结 语

冷冻法施工衬砌混凝土时,做好隔热很重要,在通道内侧适当加温,既能保证冻土墙的负温,提高冻结壁的稳定安全,又能抬高衬砌混凝土的温度,确保混凝土在浇注后不被冻坏,能正常进行水化反应。在低温环境下,混凝土浇注后的保温措施,确保通道内气温 $>5^{\circ}\text{C}$ ,对混凝土强度增长也起到重要作用。

另外,通过调整混凝土的配合比,掺入适量的掺合料和防冻剂,可提高混凝土的密实度,增长混凝土自身抗冻害能力。

## 参考文献

- [1] 刘军,田悦,刘智. 低温条件下矿物掺合料对混凝土孔隙率的影响[J]. 沈阳建筑大学学报: 自然科学版, 2007, 23(4): 597-601.  
LIU Jun, TIAN Yue, LIU Zhi. Effect of mineral admixture on porosity of concrete at low temperature[J]. Journal of Shenyang Construction University: Natural Science Edition, 2007, 23(4): 597-601.
- [2] 刘军,李振国,田悦. 低温条件下矿物掺合料对混凝土强度发展及抗冻临界强度的影响[J]. 沈阳建筑大学学报: 自然科学版, 2006, 22(3): 415-420.  
LIU Jun, LI Zhen-guo, TIAN Yue. Effect of mineral

additives on strength development and frost resistance critical strength of concrete at low temperature[J]. Journal of Shenyang Construction University: Natural Science Edition, 2006, 22(3): 415-420.

- [3] 刘军, 李振国, 姜黎黎, 等. 外加剂对低温条件混凝土抗冻临界强度的影响[J]. 沈阳建筑大学学报: 自然科学

版, 2005, 21(6): 676-680.

LIU Jun, LI Zhen-guo, JIANG Li-li, et al. Effect of admixture on critical strength of concrete resistance to frost under low temperature conditions[J]. Journal of Shenyang Construction University: Natural Science Edition, 2005, 21(6): 676-680.

## 【简 讯】

### 第十五届全国桩基工程学术会议（一号通知）

第十五届全国桩基工程学术会议拟于 2021 年 11 月在浙江杭州召开, 会议以桩基技术创新发展为主题, 届时将邀请桩基工程领域的知名专家学者作特邀报告、大会报告、专题报告, 展现新时代桩基工程领域的最新研究成果与工程应用技术。组委会热忱邀请本领域的专家、学者、工程技术人员、在校研究生积极参与, 共同探讨与交流桩基工程领域最新成果和技术!

#### 会议主题:

- (1) 桩基基本理论与试验研究
- (2) 桩基工程设计与实践
- (3) 桩基工程施工新方法及装备
- (4) 桩基动力响应与防震、减振技术
- (5) 桩基工程新材料与制作新工艺
- (6) 桩基工程检测与监测
- (7) 桩基工程典型案例与事故处理
- (8) 海洋工程中的桩基技术
- (9) 桩基工程技术标准有关问题
- (10) 其他与桩基有关的工程技术问题

#### 征文要求:

征文内容: 围绕本次会议 10 个主题, 主要包括桩基方面最新理论、新技术、新工艺设备、工程实践和发展等。

#### 论文格式要求:

(1) 征文要求内容具体、明确、严谨、未公开发表过的学术论文, 文责自负且不涉及保密内容。文章篇幅一般不超过 8 000 字(含图、表), 原则上不超过 6 页。要求图表清晰、数据详实。

(2) 论文请按《岩土工程学报》期刊格式撰写, 论文模板请登录《岩土工程学报》网站下载。

#### 网站地址:

[http://manu31.magtech.com.cn/Jwk\\_ytgxcb/CN/volumn/home.shtml](http://manu31.magtech.com.cn/Jwk_ytgxcb/CN/volumn/home.shtml)

#### 会议论文集:

会议论文集将收录大会主题报告及所有被学术委员会录用的论文, 编文集, 优秀论文推荐核心期刊上发表或者开展优秀论文评选活动。

#### 论文重要日期安排:

提交论文截止日期: 2021 年 3 月 31 日

全文录用截止日期: 2021 年 5 月 31 日

修改稿提交截止日期: 2021 年 6 月 30 日

#### 会议展览:

会议期间将举办桩基产品、岩土仪器设备展示及新产品专题报告, 欢迎有关厂商、公司报名参加赞助, 具体细节请联系会议秘书处。

#### 组委会联系方式:

联系人: 丁元新

联系电话: 13626711239

投稿邮箱: [dyx@zju.edu.cn](mailto:dyx@zju.edu.cn)

联系地址: 杭州浙江大学紫金港校区安中大楼

邮政编码: 310058

#### 会议展览展示:

《基础工程》杂志社

王菲: 18612335955

周梅: 15910323004

李荣霞: 15300268669