

沉管隧道沥青路面冬期施工技术

张涵^{1,2}, 郭大和³, 石晶³

(1. 中交一航局第三工程有限公司, 辽宁 大连 116083; 2. 天津市水下隧道建设与运维技术企业重点实验室, 天津 300461; 3. 大连市城市管理局, 辽宁 大连 116011)

摘要: 沥青路面冬期施工环境温度低, 施工技术难度大。文章以大连湾海底隧道沥青路面施工为例, 详细介绍了沉管隧道沥青路面冬期施工方法、保温措施、有限空间安全环保措施等。沉管隧道路面冬期施工的成功, 积累了施工经验和参数, 可为类似隧道冬期低温条件下沥青铺设工程提供参考。

关键词: 冬期施工; 沥青铺设; 保温措施; 有限空间

中图分类号: U655.4; U654 文献标志码: B 文章编号: 2095-7874(2024)04-0092-04

doi:10.7640/zggwjs202404020

Winter construction technology for asphalt pavement of immersed tunnel

ZHANG Han^{1,2}, GUO Da-he³, SHI Jing³

(1. No.3 Engineering Co., Ltd. of CCCC First Harbor Engineering Co., Ltd., Dalian, Liaoning 116083, China; 2. Tianjin Key Laboratory of Construction, Operation and Maintenance Technologies for Underwater Tunnels, Tianjin 300461, China; 3. Dalian City Administration Bureau, Dalian, Liaoning 116011, China)

Abstract: The winter construction environment temperature of asphalt pavement is low, and the construction technology is difficult. Taking the construction of asphalt pavement in Dalian Bay immersed tunnel as an example, this paper introduces in detailed the winter construction methods, insulation measures, and limited space safety and environmental protection measures for asphalt pavement in immersed tunnels. The successful winter construction of immersed tunnel asphalt pavement has accumulated construction experience and parameters, which can provide reference for asphalt laying projects under low temperature conditions in similar tunnels during winter.

Key words: winter construction; asphalt laying; insulation measures; limited space

0 引言

大连湾海底隧道建设工程沉管隧道全长 3 035 m, 车道规模为双向六车道, 主线设计速度 60 km/h, 路面设计基准期 15 a, 设计交通荷载等级为重交通, 沉管段沥青结构层总厚度 10 cm, 分为 2 层: 下面层采用 6 cm 中粒式高模量沥青混凝土 AC-20C(加入温拌剂); 上面层采用 4 cm SMA-13 沥青玛蹄脂碎石混合料(加入阻燃剂、温拌剂)。

因大连湾海底隧道工程工期紧, 沥青施工需

在冬期进行, 根据以往大连 1—2 月平均温度统计为 2℃左右, 沉管内环境温度为 1℃左右, 因大气温度及管内施工环境温度均处于非常规施工温度条件, 控制好沥青混合料的生产、运输、摊铺及碾压等工艺的温度是保证施工质量的关键。

1 施工方法

1.1 工艺流程

沉管隧道冬期沥青铺设施工工艺总流程如图 1 所示。

收稿日期: 2023-11-07 修回日期: 2023-01-30

作者简介: 张涵(1996—), 男, 辽宁大连人, 助理工程师, 道路桥梁工程专业, 主要从事市政工程、港航工程、海底沉管隧道施工工作。

E-mail: 825078507@qq.com

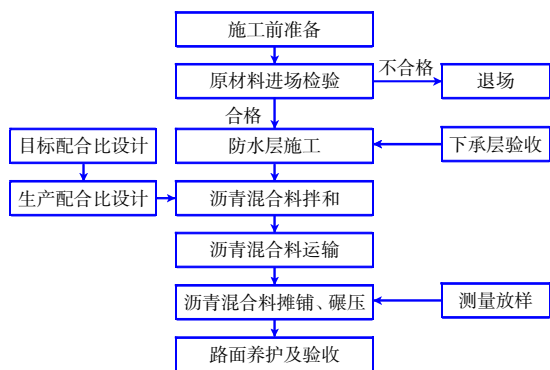


图 1 沉管隧道冬期沥青铺设施工工艺总流程

Fig. 1 General process of winter asphalt laying construction technology for immersed tunnel

1.2 下承层处理及防水粘层施工

1.2.1 下承层处理

沉管隧道结构下承层为 C30 压舱混凝土, 首先采用铣刨机对压舱混凝土以铣刨的方式进行试验, 铣刨的构造深度最小是 8 mm 且铣刨的混凝土浮渣存留于缝内, 无法清理彻底, 影响防水粘层与压舱混凝土良好的结合, 防水粘层洒布后存在脱落现象。后续施工采用抛丸的施工方法, 钢珠选用 2 mm 直径, 抛丸次数达到 2~3 遍可同时满足露骨率不小于 20%, 构造深度为 0.7~1.1 mm 的要求, 抛丸后的混凝土表面无明显浮灰、松散浮浆、起皮、空隙和严重裂缝现象。

1.2.2 防水粘层施工

防水粘层采用 AMP-PS 防水粘结材料, 在典型施工中采用人工涂刷方式, 发现防水粘层涂刷过厚无法完全破乳, 导致在沥青施工中脱落。后改用沥青洒布车均匀洒布, 地面温度达到 10 ℃, 洒布量控制为 0.4 kg/m², 通过对防水粘层进行拉拔试验, 得出防水粘层完全破乳时间需控制在 48 h 以上。

1.3 沥青混合料的拌和

沥青混合料采用全自动拌合站生产, 过程中要抽查矿料的级配; 计算平均施工级配和油石比, 与设计结果进行核对; 以每天混合料的产量计算出摊铺的平均厚度, 与路面摊铺设计厚度进行核对。以上述各项检测数据、混合料马歇尔试验及抽提筛分试验结果作为依据, 对实际施工进行合理的调整^[1]。

1.4 沥青混合料的运输

采用拌合机向自卸汽车直接装料, 拌合机向运料车放料时, 汽车前后移动, 按照前一后一中

分 3 堆装料, 以减少粗集料的离析现象, 装料顺序示意图见图 2。为合理控制级配和温度离析的情况, 出料间进出采用自动门感应控制。运输时为防止混合料和车厢内部粘结, 清理车厢内部, 无杂物, 车厢侧板与底板涂刷黄油或植物油等隔离剂, 且需保证车厢底部无剩余的隔离剂堆积^[2]。

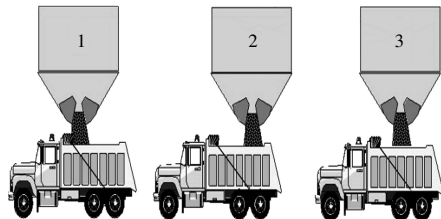


图 2 混合料装车示意图

Fig. 2 Schematic diagram of mixture loading

1.5 沥青混合料的摊铺及碾压

1.5.1 沥青混合料的摊铺

标准断面沥青混合料采用单台拼装式沥青摊铺机进行摊铺, 在渐变段、匝道等特殊结构采用 2 台伸缩式摊铺机进行组合摊铺。摊铺速度控制在 2 m/min。需控制混合料到场温度、摊铺机内混合料温度、摊铺后温度, 严禁使用低于规范温度要求的混合料。

1.5.2 沥青混合料的碾压

下面层碾压时初压采用钢轮压路机, 复压采用钢轮压路机及轮胎式压路机组合方式, 终压采用钢轮压路机; 上面层全过程采用钢轮压路机进行碾压。碾压时应将压路机的驱动轮面向摊铺机, 由低向高碾压, 在坡道上应将驱动轮从低处向高处碾压。相邻碾压区域应重合 1/3~1/2 的碾压轮宽度, 直至规定的压实度后碾压停止。终压紧跟复压, 中途不得停滞, 碾压施工顺序示意图见图 3。碾压整个过程中, 保持压轮清洁无污染, 及时清除粘结碾压轮的混合料以免影响碾压质量。压路机设置碾压轮喷水装置, 喷头采用雾状喷洒, 同时控制喷水量^[3]。

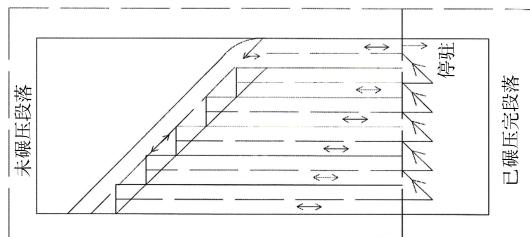


图 3 碾压施工示意图

Fig. 3 Schematic diagram of rolling compaction construction

1.6 管节接头伸缩缝处理

因管节接头存在较大的伸缩变形量,因此使用 BJ200Green 无缝伸缩缝材料及施工工艺对沉管隧道管节接头缝进行处理,无缝伸缩缝设置长度与沥青面层等长为 11.3 m,宽度为 40 cm,厚度与沥青面层厚度等厚为 10 cm。

待路基层保证干净干燥状态,首先采用密封胶进行封底,密封胶加热至要求熔化温度 185~200 ℃,以填平钢板槽为准;趁涂抹的密封胶未凝固之前将钢板嵌入槽口内。无缝伸缩缝采用分层填充混合料的方式,分层厚度设置为 5 cm,石料加热温度为 180~200 ℃,混合料按照 100 kg 石料加入 15 kg 胶配比进行均匀搅拌,分层间均匀涂抹 BJ200 密封胶,摊铺温度不得低于 160 ℃,摊铺完成后,待面层混合料冷却到 90 ℃左右进行压实,压实次数不低于 5 次,以与路面平齐为准;混合料面层压实压平整后,即可进行面层封胶,封胶完成后温度降至 50 ℃即可开放交通。

2 温控措施

2.1 防水粘层施工温控措施

为提高下承层施工前温度,确保防水粘层与下承层结合完好,采用路面加热设备对基面进行预热,根据试验,加热机加热温度达到 110 ℃,

加热基面温度达 80 ℃,30 min 内温度降至 10 ℃,降温速率约为 2.3 ℃/min,满足防水粘层施工对基面的温度需求。

2.2 沥青混合料拌合温控措施

因处于低温施工,采取温拌技术进行沥青混合料生产,按照常规热拌沥青混合料出料温度上限温度控制混合料生产温度,确保混合料各环节温度满足设计要求。为降低级配和温度离析概率,出料间进出采用自动门感应控制^[4]。

2.3 沥青混合料运输温控措施

沥青拌合站距施工现场约 50 km,施工前对沥青混合料拌合温度、出机温度、到场温度及运输过程中温度损失提前测定。同时测定装料前、运输过程中箱板内外、混合料与车厢结合部、覆盖材料等温度,通过建模分析进行热工计算。

沥青混合料设置拌合温度为 185 ℃,分析沥青混合料至现场的温度切面,大部分沥青温度超过 160 ℃,中心温度 170 ℃,随着逐渐向外,温度损失越大。底部 2 个角温度为 149 ℃,上部 2 个角温度为 136 ℃。温度损失主要集中在沥青表层四周,最大的温度损失可达 40 ℃,且 4 个角的温度损失向下延伸的更为明显,温度模型验证如表 1 所示。

表 1 温度模型验证表

Table 1 Temperature model verification table

℃

测试部位	混合料未装车温度	混合料出机温度	混合料满料装车温度	混合料运输过程温度	混合料到场温度
外板	3.67	185	13.6	15.3	16.9
混合料与内板结合部表面温度(上部两角)	1.73		167.0	148.0	136.0
混合料顶部温度	—		170.0	167.0	160.0
中部温度计插入 30 cm 处	—		183.0	172.0	170.0
混合料与内板结合部表面温度(底部两角)	—		173.0	157.0	149.0
棉被温度	3		47.0	53.0	65.0

根据模型分析结果,自卸车车厢内部及外部均加装保温棉,料厢顶部加一层防水保温苫布,保证四周与车厢全部贴合。车厢底部、边缘、顶部安装温度传感器,经试验,温度传感器测定运输过程中的保温效果良好,符合规范要求。

2.4 沥青混合料摊铺温控措施

为提高摊铺地面温度,确保摊铺碾压质量,采用路面加热设备对压仓混凝土面预热。测定路面加热机以 2 m/min 行走 20 min 时,基层混凝土温度由 70 ℃降至 27 ℃,降温速率 2.15 ℃/min,同时环境温度提升至 18 ℃,加热温度记录见表 2。

表 2 路面加热温度记录表

Table 2 Record of road heating temperature

测温时刻	测温横断面温度/℃			测点平均温度/℃
	测点 1	测点 2	测点 3	
14:26	70	76	65	70
14:30	58	58	55	57
14:34	53	47	45	48
14:38	47	45	35	42
14:42	45	32	24	34
14:46	34	30	18	27
注:加热设备为 SY4500,环境温度 2 ℃,加热前地表温度 -3 ℃,以 2 m/min 行走时横断面温度。				

为减少沥青混合料的离析,摊铺机布料器前端加设橡胶挡块。摊铺机料斗两侧用加厚棉被进行包裹,保证全包裹状态^[5]。

2.5 沥青混合料碾压温控措施

碾压全过程遵循初压、复压、终压紧密衔接的碾压组合方式。为保证碾压各环节的温度,初压紧跟在摊铺机后碾压,并保持不大于15 m的初压区长度,以便尽快使沥青混合料表面压实,减少热量散失,复压紧跟在初压后开始,且不得随

意停顿^[6]。每个碾压段的长度尽量缩短,控制在30 m左右。

施工过程中对碾压各个阶段进行温度监测,碾压遍数可根据现场实际的混合料温度、气温进行调整,最终确定碾压遍数为7遍^[7]。

2.6 温控效果

对现场的施工温度进行监测,出厂环境温度2℃,沉管内地面加热后温度36.7℃,各施工环节温度监测如表3所示,均满足施工规范要求^[8]。

表3 施工温度记录表
Table 3 Construction temperature record table

序号	车序	出厂日期	出厂时刻	出厂温度/℃	到场温度/℃	摊铺温度/℃	复压温度/℃	碾压终了表面温度/℃
1	1车	2023-01-12	10:47	180.8	168.6	160	122	91.9
2	2车	2023-01-12	11:30	190.3	186.6	175	123	93.6
3	3车	2023-01-12	10:55	183.5	172.6	156	122	92.7
4	4车	2023-01-12	11:07	180.0	169.0	154	121	91.1
9	5车	2023-01-12	11:17	185.6	164.4	159	128	93.5

3 安全环保措施

海底隧道管内沥青铺设作业属有限空间施工,通风不佳,再加上作业现场高温沥青散发的有毒气体及烟雾,存在安全隐患。针对以上风险,通过管内行车道射流风机及中管廊排烟轴流风机进行送风;全过程专人进行气体检测;进入施工现场人员均佩戴专用口罩;施工现场设置应急车辆,并配备应急氧气罐、担架、急救箱等应急物资。为避免管内照明不足影响沥青铺设及碾压施工,管内按照双向5 m间距进行照明灯布控。

4 结语

沉管隧道冬期沥青铺设施工成功应用于沉管隧道路面建设,通过对施工各环节保温措施,沥青施工的各项指标均满足规范要求,施工完成后对沥青实体检测各项指标均满足设计要求。本施工方法打破了冬期低温及长运距运输的不利情况下进行沥青铺设的局限性,可适用于北方寒冷地区隧道类似有限空间施工作业下的沥青铺设施工。

参考文献:

[1] 潘谦启. 高速公路隧道水泥混凝土路面加铺沥青面层施工技术探讨[J]. 西部交通科技, 2020(8): 111-114, 162.
PAN Qian-qi. Discussion on construction technology of adding asphalt surface on cement concrete pavement of expressway tunnel[J]. Western China Communications Science & Technology, 2020(8): 111-114, 162.
[2] 侯芸. 沥青混凝土施工过程中若干特殊问题解析[J]. 内蒙古公

路与运输, 2015(1): 1-5.
HOU Yun. Analysis on several special problems in the process of the construction of asphalt concrete[J]. Highways & Transportation in Inner Mongolia, 2015(1): 1-5.
[3] JTG F40—2004, 公路沥青路面施工技术规范[S].
JTG F40—2004, Technical specification for construction of highway asphalt pavements[S].
[4] 杨彦海, 高小晰, 沈阳, 等. 温拌沥青技术在低温施工中的应用[J]. 中外公路, 2014(3): 264-267.
YANG Yan-hai, GAO Xiao-xi, SHEN Yang, et al. The application of warm mix asphalt technology in low-temperature construction[J]. Journal of China & Foreign Highway, 2014(3): 264-267.
[5] 王如先. 沥青路面低温施工关键技术研究[J]. 华东交通大学学报, 2017(4): 38-43.
WANG Ru-xian. Research on key technology of asphalt pavement construction at low temperature[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2017(4): 38-43.
[6] 杨育峰, 彭春燕. 沥青路面的冬季低温施工[J]. 黑龙江交通科技, 2014(7): 35.
YANG Yu-feng, PENG Chun-yan. Winter low-temperature construction of asphalt pavement[J]. Communications Science and Technology Heilongjiang, 2014(7): 35.
[7] 艾长发, 邝习东, 陈炯, 等. 低温压实对沥青混合料路用性能的影响[J]. 公路交通科技, 2008, 25(6): 6-10.
AI Chang-fa, KUANG Xi-dong, CHEN Jiong, et al. Influence of compaction in low temperature on asphalt mixture performance[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2008, 25(6): 6-10.
[8] GB 50092—96, 沥青路面施工及验收规范[S].
GB 50092—96, Code for construction and acceptance of asphalt pavements[S].