 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i3.9817

Summary of Cross-Plant MTBE Pipeline Buried Pipe Construction for Road Crossing Sections

Jiahui Yu Wansong Jiao Haijie Wu

China Harbour Engineering Company Limited, Beijing, 100027, China

Abstract

The inter-factory MTBE pipeline has a diameter of DN500 and a total length of 3.8 km, spanning three factory areas. Among these, 13 points crossing roads and factory zones are buried underground at a depth of approximately 2.4 m, with an average crossing length of about 13 m. A 28-inch casing is installed for protection, and cathodic protection devices are configured. The pipeline transitions smoothly to above-ground sections via 45° elbows. Due to the complex network of underground utility lines and structures along the route, neither pipe jacking nor directional drilling methods are feasible. Consequently, the only viable approach under severely constrained site conditions and stringent traffic organization requirements is segmented excavation. The project optimized pipeline routing based on geological conditions, underground obstructions, and operational status of existing production facilities. After on-site surveying and marking, segmented prefabrication, assembly, and installation were carried out. Integrated construction control was implemented for casings, insulation, anti-corrosion, and cathodic protection. By arranging construction sequences rationally, refining support and drainage measures, and strengthening safety and civilized construction management, the MTBE pipeline was completed safely, with high quality and efficiency across multiple factory areas and intersections. This project provides valuable engineering experience for similar long-distance inter-factory finished product medium pipelines involving road crossings and underground installation.

Keywords

Buried; Casing; Construction

跨厂区 MTBE 管线穿路段地埋管施工总结

于嘉慧 缴万松 吴海杰

中国港湾工程有限责任公司，中国·北京 100027

摘 要

厂际 MTBE 管线直径 DN500，总长 3.8 km，跨越三个厂区，其中穿道路及厂区的 13 个点均采用埋地敷设，埋深约 2.4 m，平均穿越长度约 13 m，并设置 28 吋套管进行保护，配置阴极保护装置，与地上管线通过 45° 弯头顺接过渡。由于沿线地下附属管线及构筑物错综复杂，既无法采用顶管法，也不具备定向钻进条件，只能在场地严重受限、交通组织要求严格的前提下，采取分段开挖的施工方式。工程根据不同厂区的地质条件、地下障碍分布及现有生产装置运行情况，优化管线路由，现场实测放线后进行分段预制、组对及安装，同时对套管、保温、防腐及阴极保护等进行一体化施工控制。通过合理安排施工顺序、细化支护与降排水措施、强化安全与文明施工管理，确保了 MTBE 管线在多厂区、多交叉口条件下安全、优质、高效完成，为类似厂际长距离成品介质输送管线的穿路埋地施工提供了可借鉴的工程经验。

关键词

埋地；套管；施工

1 引言

斯基克达油气改造项目标段一主管线为输送 MTBE 的 20 吋（DN500）管线，跨冶炼厂区（RA1K），公共区域（DR1K 和 GL2K），储罐区（GL1K）三个厂区，总长 3.8 公里，其中需穿道路及厂区界边 13 个点均为埋地管道，深度 2.4 米，平均长度 13 米，套管 28 吋。由于厂区运营多年，地上跨厂区管道多样，地下附属物及埋地电缆、线管错综复杂，且没有原始地下图纸作为基础数据，同时受周围原有在运行管线空间的限制，只能采用开挖方式进行，且每个点的位置及空间不同，场地、管道尺寸控制都受到限制，必须根据开挖后实际尺寸进行管道的预制、防腐、穿管、安装。而且埋地管道外套管道，内外管道防腐，如何在把防腐后的管道不破坏防腐层和绝缘套的前提下顺利安装是另一难题，也是 MTBE 管道安装过程中的难点和重点，直接影响整条管线的安装进度。

2 方案设定

考虑到地况不同，设计原始资料数据不准，经与业主

【作者简介】于嘉慧（1996—），女，中国辽宁大连人，硕士，助理工程师，从事工程力学、机械化工研究。

和设计协商，决定现场测量，以实际数据为预制基础，现场预制；

施工点顺序先土路再沥青路口，先高程后低程，避免因交通问题出现安全风险，路口作业点全部按照园区管理部门批准许可及道路封闭点确定；

根据现场距离及实地情况，与各园区沟通后，确定两到三个材料存放及临时预制、组装场地，采用发电机送电，利用随车吊运输，转运灵活

根据地上建筑，实地检查，确定地下管网及电缆走向，位置，先人工探挖，再使用机械开挖；

采用管内滑动方式安装套管：制作穿管器，辅助 MTBE-20 吋管道防腐后安装进套管；

3 主要实施方法

3.1 道路封闭及开挖施工工艺

因在园区施工，且，所有埋地管道基本都在丁字路口，需要提前和园区管理部门申请作业许可，许可内容包括地点，作业时间，占地面积等，由园区管理部门核实后发布通知对所在作业区进行封闭。因园区管理不允许密闭封路，施工队组设定道路指挥员在路口指挥车辆，设定反光锥及道路指示牌围护，管道预制区域放开挖区较近的空旷场地，按照许可审批约定位置进行作业。

根据地质报告、地下水位情况及现场的状态，设计文件、规范文件，综合考虑，沟槽底部宽 1.2 米，路口开挖沟槽边坡按 1:0.25 放坡，为保证沟槽底操作安全，坡度不能过陡；如有特殊情况地质条件较差地段，可视情况调整坡比。由于施工的 MTBE 管道埋地管道两头位置在已运行的油气管和公用水管之间，距离小于一米，下部 0.7 米下即为回填砂层，管沟开挖难以按照设计进行放坡，需要根据实际情况准备脚手架钢管及跳板，作为管沟两侧支护，防止开挖搅动砂层塌落，造成事故。

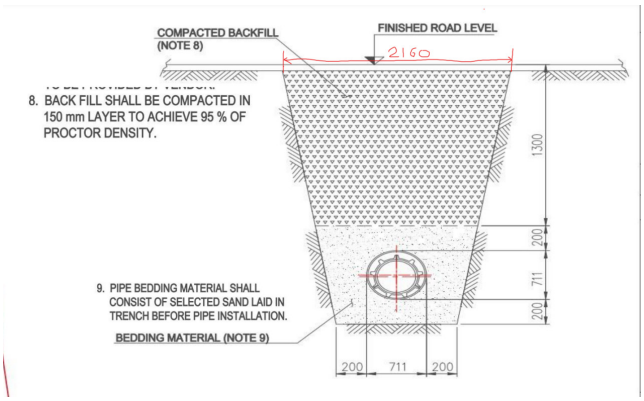


图 1 管道埋地深度及回填图

此项目由于没有任何原始地下附属物资料，因此所有过路口存在有线杆、排气管、井等附属物的，均需要人工探挖，探挖人员控制在两组，一组两人，一般人工探挖深度以 1.5 米 (管顶标高) 为宜，宽度控制在 1.5~2 米范围，避免遗漏；探挖时必须邀请运营单位人员在场，以便确认地下附属物性质及走向，避免盲目判断。

人工探挖结束，明确埋地附属物位置及形状、距离后，再使用小型挖机分层开挖，挖斗宜采用平板挖，避免齿挖破坏未知埋地物或与石块摩擦产生火花；分段分层开挖，每段按照挖机大臂长度确定，每层控制在 0.5~0.7 米为宜，逐层放坡；为确保工程质量及安全，若排水管道沟槽开挖后遇地下水较高的情况，应沿管道沟槽底部增设宽度约 0.4m，深约 0.5-0.6m 排水边沟，同时将沟槽底部进行 20cm 碎石满铺（含排水边沟）处理，处理后按照原设计进行施工 [1]。

3.2 埋地管道预制及防腐

施工流程：直管段预制及喷漆→场地清理→胎架准备→管道倒运→埋地管道 3PE 处理绝缘套管安装→套管防腐绝缘处理→电火花测试→内外套管安装→弯头短管现场焊接→内外套管端头封口→管道吊装入沟→地上管道组对、焊接→阴极保护线缆及电池包安装→测试→修补管道绝缘→电火花测试→回填

预制场地采用就近原则，按照园区安全管理规定及不同厂区管理的范围，提前与安全管理部门确定场地，并提交申请获得动火区域的批复后再进行材料的倒运及预制工作。

管道预制按照已测量的实际尺寸进行，并在单线图标注尺寸偏差位置，便于后期的图纸升版；

应充分利用管道预制厂（场）的机械设备、胎具和环境等有利因素，确保管道加工精度，加深管段预制深度，预制深度按焊口数计应达到 70% 左右。

预制前应对施工机具、设备、工装进行检查，使施工机具、设备、工装处在良好的状态，并经过计量检查，以保证施工精度和过程控制能力。

管段排料切割前应首先对管段单线图进行审核，主要审核：

1）图号、管线号、管段号及材质是否与设计相符；

2）管段分段、现场安装预留口是否合理，并应对管段预制尺寸进行必要的现场复测。现场尺寸复测应用细钢丝而不要用粉线，以提高测量准确度，测量后确定预制下料的实际尺寸。

管道对接口的组对应做到内壁平齐，内壁错边量不宜超过壁厚的 10%，且不得大于 1.6mm。

管子对口时应在对接口中心 200mm 处测量平直度，当管径小于 DN100 时，允许偏差为 1mm，超过 DN100mm 时，允许偏差为 2mm。

管道焊接严格按照 WPS 进行，现场焊接采用氩电联焊方式，由于每个路口空间不同，根据实际空间尺寸考虑单侧弯头的焊接程序，也即安装前后的焊接，为探伤创造条件

3.3 管道防腐方法

埋地管道采用牺牲阳极保护方式，外套 ϕ711*9.5 保护

套管，内管（MTBE 主管）ϕ508*9.5；因施工区域均为各个路口，地理位置及工况不同，且埋地长度不同，又受限于排风管必须现场开孔施工，因此项目采用现场进行埋地防腐绝缘层施工，分 3PE 热缩套和玻璃纤维加环氧煤沥青两种方式。

内外套管管道表面按设计要求喷涂：

底漆；环氧磷酸底漆（75 微米）。

中层漆：环氧高固含涂层（干燥时间标准：100~200 微米）。

面漆：丙烯酸聚氨酯面漆（绿色 40 微米）

绝缘层采用 3PE 即聚乙烯缠热缩套绕带，外部每隔 1.5 米绑定绝缘套管

外套 ϕ711*9.5 保护套管，采用玻璃丝绵缠绕，两道，外涂煤焦油涂料，总厚 4mm。与内管连接端口采用聚乙烯材料封口。

外套管绝缘防腐施工：外套管主要起保护绝缘作用，套管两头上下部位分别设有排风和导流管到，2 吋 SCH80 无缝管，且避免倒运磕碰，必须在现场进行绝缘涂层施工。角焊缝做 PT 检测。现场设胎架，底漆采用煤油沥青底漆，3 道；表面覆盖玻璃纤维布，采用螺旋缠绕 2 道，每层搭接不小于 25mm。煤油沥青漆每层采用喷涂和滚涂结合，底漆完成立即进行玻璃纤维网的缠绕，避免底漆变干影响粘合；最终完成缠绕后，静待 4 小时，待漆层自然干透后，进行电火花测试检测绝缘性，全部合格后再进行下一道工序，不合格返修后重新检测，合格后再进入下道工序。

内套管防腐绝缘施工：内套管宜为整根钢管，尽量避免焊接接头出现，如因特殊情况，焊缝尽量排布在管口位置。内套管为主干管，由于施工工艺要求以及现场条件限制，无法在车间进行绝缘防腐，根据实际情况采用 3PE 热缩套管进行：由辐射交联聚烯烃基材和特种密封热熔胶复合而成，特种密封热熔胶与聚烯烃基材 . 钢管表面及固体环氧涂层可形成良好地粘接。热缩套需采用加热枪均匀加热，同时采用工具铲推动挤压表面，使基材在径向收缩地同时 , 内部复合胶层熔化 , 紧紧地包覆在管道表面。加热收缩时应先从中间位置沿环向均匀加热 , 使中央部位先收缩 . 然后向两侧均匀加热使热收缩带收缩。聚乙烯带采用逐片搭接并垂直于管道，管道口预留至少 100mm 焊接空间；搭接长度不能小于管道周长 1/4, 且不小于 100mm, 搭接宽度不低于 25mm，搭接缝保持平行，不得扭曲。质量检测采用电火花测试，全部合格后再进行下一道工序，不合格返修后重新检测，合格后再进入下道工序。

内外套管电火花检测： 防腐层的漏点应按采用在线电火花检漏仪进行连续检查，检漏电压为 25 kV, 无漏点为合格。单管有两个或两个以下漏点时 , 可按 2.9.5 的规定进行修补 ; 单管有两个以上漏点或单个漏点沿轴向尺寸大于 300mm 时 , 该防腐管为不合格。

3.4 补口及补伤

补口材料：挤压聚乙烯防腐管的现场补口可采用环氧底漆 / 辐射交联聚乙烯热收缩带 (套) 方式或设计选定的其他方式。当采用环氧底漆 / 辐射交联聚乙烯热收缩带 (套) 时，应满足相关标准要求。

补口质量检验补口质量应检验外观、漏点及剥离强度等三项内容 , 检验宜在补口安装 24h 后进行 :a) 补口 的外观应逐个目测检查，热收缩带 (套) 表面应平整、无皱折、无气泡、无空鼓、无烧焦炭化等现象 ; 热收缩带 (套) 周向应有胶粘剂均匀溢出。固定片与热收缩带搭接部位的滑移量不应大于 5 mm；b) 每一个补口均应用电火花检漏仪进行漏点检查。检漏电压为 15 kV。若有漏点，应重新补口并检漏，直至合格 ;

补伤质量应检验外观 、漏点及剥离强度等三项内容 :a) 补伤后的外观应逐个检查，表面应平整、无皱折、无气泡、无烧焦碳化等现象 ; 补伤片四周应粘结密封良好。不合格的应重补 ;b) 每一个补伤处均应用电火花检漏仪进行漏点检查，检漏电压为 15 kV。若不合格，应重新修补并检漏，直至合格 ; 下沟回填 -- 防腐管下沟前，应用电火花检漏仪对管线全部进行检漏，检漏电压为 15 kV。如有漏点应进行修补至合格，并填写记录。

绝缘套管安装：3PE 热缩套施工完成并检测后，每隔 1.5 米安装一圈绝缘套管，绝缘套管采用多组片连接，因此必须紧固至所有组片紧密结合为准，避免后期脱落 [2]。

4 内外管套装施工：

内套管外表为 3PE 绝缘层，外加间隔为 1.5 米的绝缘套管，不允许直接采用直接穿管方式，同时外套管也有防腐绝缘层，无法切割焊接。因此必须制作一穿管器，既能保护绝缘层，又能保证均长在 12 米的管道完好套装。

根据两管间隙及安装特殊性，现场设计了一款弧形板车，采用内管同尺寸管道，取 1/3 弧形管皮作为底板，按照测量的内外套管间隙及绝缘套管凸台高度，确定底部滑轮及支架尺寸，考虑到 12 米管道重量，滑轮采用钢制轴承，轴承支座采用 10mm 钢板块，将弧形底板按三等分设两排，每排三个轴承；“板车”要拖着管道在套管内滑行，必须考虑受重不均匀出现偏心，所以在底部弧板两侧各设导向轮一个，长度，弧度按照与套管接触面距离定。轴承承重要求在 5 吨以上，轴必须抗弯性强，选用 20# 直径 12 圆钢，与支架焊接形成一体。采用两头带螺栓扁钢条将其与管道牢固捆绑，避免脱轨。

管道的安装：管道穿管采用吊车辅助，吊装吊具须为吊带，用卡环锁扣，为保证穿管时外套管不会因外界推力滑移，且不会滚动伤人，在施工现场平整场地，下部间隔三米放木方，作为套管支撑，管道两侧放楔形木，阻挡管道滚动，内管起吊后，离地不超过外套管高度，吊点设置均匀，先利

用吊车慢摆臂穿进约一米左右，再在下方放上自制“板车”，缓慢滑动，直至到第一根吊带位置，缓慢落钩，在内管下部垫木方使其和外套管保持底平，松吊带，调整位置，再行穿管，如此往复，直至内管完全进入，“班车”划出，套装完成。



图 2 内外套管安装



图 3 埋地管道安装到位

套管完成后，焊接弯头，斜管，现场预制埋地管底段，焊缝采用 RT100% 检测，完成后对埋地段斜管、弯头进行绝缘防腐，依然采用 3PE 热缩套管，同时按设计图纸完成牺牲阳极保护的接头熔接，补扣。最后完成管道敷设管沟工作，在管沟内，完成排气管的连接，防腐，检测，阴极保护电池包的敷设，保护装置的调试。埋地前的报检等工作 [3]。

5 结语

此项工作的重难点就是在未知的工况环境中，逐步摸索，逐步排查，完全根据经验和实际情况判断工作的每一步可靠性，需要严苛的紧密的全面的组织策划，尤其是在没外套管的组装环节，完全根据实际情况设计的辅助工具，不但实用，而且大大提高了安全性，保护性，完全是一线的探究而取得宝贵经验，也为类似项目积累了宝贵经验。厂区内管道安装看似简单，通过此项目的实践，评估了设计及施工方案的可行性，暴露了方案内的理想主义和不完善性，为方案的修改提供了强大的说服力和经验值；也为成本控制尤其是措施费的占比分析中贡献了宝贵的基础数据，为项目管理完善了实操性。

参考文献

[1] SY/T 04142007, 钢质管道聚乙烯胶粘带防腐层技术标准, 2007.

[2] GB/T 214472018, 钢质管道外腐蚀控制规范, 2018.

[3] SH/T 35012021, 石油化工有毒、可燃介质钢制管道工程施工及验收规范, 2021.