

浅析泥水平衡顶管机仓内换刀技术

李文强

中铁上海工程局集团有限公司

摘要：在城市化建设基本完成的今天，人民日益增长的物质生活需求在原有的排水设施基础上已逐渐无法满足。城市建设已基本完成，地面作业较难开展，随之非开挖技术——顶管施工技术具有很大的发展前景。完善顶管施工技术工艺，确保顶管施工技术的顺利开展对于新时代中国基础设施建设尤为重要。顶管机械刀盘磨损极易造成顶管施工的抱死，进而带来严重的经济损失。研究一种泥水平衡顶管机仓内换刀技术，提高顶管机地下故障维修的成功率，为地下管线施工提供技术支持。

关键词：地下仓内；通风；焊接；边刀更换

随着社会主义经济化建设发展高潮的不断推进，经济发

展推进人民生活水平的提高，随之要求城市附属服务设施功能需不断提高。目前城市化建设已基本完成，地面建构物成群林立，难以大规模开展地面动土作业。为保证城市管线施工作业的有序推进，顶管技术以非开挖、不受地面及埋深影响、施工速度快、占用场地小等特点，能够很好的适应当前社会地下基础设施建设的需要。顶管工程为地下顶进作业，机械工作强度较大，加之地勘资料无法全面准确的反应顶管沿线的地质情况，顶管掘进机顶进作业时容易出现刀具受损严重无法继续推进的现象。本文主要结合昆明主城区北片排水管网完善工程（二环路外盘龙区）施工（二标段）项目施工经验，从顶管机地下仓内更换边刀技术探讨顶管脱困施工方法。

一、工程概况

昆明主城区北片排水管网完善工程（二环路外盘龙区）施工（二标段）项目为昆明第十四水质净化厂进厂转输管线。管径 $d2500$ ，管材为钢筋混凝土III级管，主管长4759m，采用顶管施工，顶进地质条件为富水圆砾层地质。采用顶管施工，沿盘龙江东侧敷设。沿线设置13个沉井作为顶管工作井与接收井。通过本管实现北片区新建第十四水质净化厂与现状第四、五水质净化厂联合调度运行。通过进厂干管将张官营泵房出水管汇集至第五水质净化厂厂前进水泵房及金色大道排水沟的旱季超量污水和合流污水截流、转输至本工程新建第十四水质净化厂处理，以缓解金色大道排水沟溢流“黑臭水体”至盘龙江的症状，在一定程度上降低片区合流沟渠溢流频次

二、受困情况分析

（一）受困情况

昆明主城区北片排水管网完善工程（二环路外盘龙区）施工（二标段）项目施工的W12-W13顶管段，顶段长度294m，为直线下坡顶进，坡降30cm。顶进施工过程中，顶进至195m时，主管顶力上升至1650t，第80/82/84节管道腰线位置处开裂无法继续顶进，剩余99m尚未顶进。

（二）采取措施

首要措施启动位于第30节位置处的首套中继间，首套中继间配置40只单项最大顶力50t的液压油顶，启动至最大顶力2000t时，掘进机仍挖法推进。

在持续外壁注浆防止抱死的前提下，在机头后方第4节管材尾部钢承口位置处设置脱困中继间。在管道尾部往前300mm

范围内从管道内壁切除170mm厚度的空间。环向范围分5个区域切割，各区环向长度800mm，各区之间留环向300mm长度的完整管壁增加管道整体性。每个区域配置4台单项最大顶力100t的油顶，油顶尺寸胸径178mm，长度170mm，最大行程100mm。

切割的170mm深度管壁分两次作业成型，首先用水钻逐孔相压取出160mm厚度的管壁，剩余10mm用小型电镐配合磨光机剔除磨平。脱困中继间油顶两端采用20mm厚木垫板及40mm厚钢板传力。钢板高度250mm，油顶前端钢板用 $\phi 12$ 的膨胀螺栓固定于管壁后用 $\phi 16$ 的钢筋与钢板连接焊接固定，膨胀螺栓及钢筋连接件环向200mm每道设置。由现场管材承口长度及插口胶圈位置尺寸确定，油顶行程控制在80mm以内，保证1根胶圈仍在第4节钢承口内，起到止水效果。

脱困中继间设置20台单项顶力100t的油顶，最大顶力后，掘进也只是缓慢前进，机头迎头阻力及外壁阻力严重超设计地勘提供的摩阻力常数。管道腰线处取孔观察外部土体情况，外壁土质情况与管道外壁紧贴，形成硬摩挤出的光滑面。初步判断管道外壁与土体之间紧密贴合，不是正常工艺的顶管施工受力模型。

（三）情况分析

新增中继间安装20只单项最大顶力100t的油顶，本套中继间顶力段仅为4节管材+机头段。4节管材+机头段长度共13.5m，管道目前处于③-1黏土与③-2的圆砾层中，外壁摩阻力根据地勘提供的最大阻力 78kN/m^2 计算， $F=3*3.14*13.5*7.8=992\text{t}$ 远小于现场实际顶力1750t。结合外壁土质的实际情况及现场实际顶力分综合分析，判断机头超挖边刀磨损严重，机头开孔直径小于机头壳体外径，存在“小孔塞大管”现象，故顶力远大于计算值，同时解释了管道外部土体挤紧的现象。

表1 各土层顶管外壁摩阻力参照表

层号	岩性	天然重度 (kN/m^3)	管道摩阻力标 准值 (kN/m^2)	触变泥浆减阻 管道摩阻力标准值 (kN/m^2)
1-2	杂填土	19	22	5
2-1	黏土	17.9	49	7
2-2	圆砾	19.6	75	12
2-3	粉砂	18.9	35	9
3-1	黏土	18.8	58	7
3-2	圆砾	20.2	78	15
3-3	粉砂	18.9	42	9

三、地下仓内处理措施

（一）机头后背板开观察孔

本次机头设计时，腰线2侧位置处设置了观察孔。螺栓打开后，可供人员观察仓内情况。从观察孔内观察，机头后仓内无积水、积泥情况。前仓透过中间主轴处缝隙看进去，掌子面土体为板结层圆砾，仓内积水积泥全部排除、泥水仓压力正常。掌子面土体为板结状圆砾层，无地下水渗流情况，掌子面土体稳定。综合施工现场受困情况及掘进机所处位置的地质情况，对接掘进机生产厂家—扬州广兴机械厂共同商议掘进

机处理方案。人员入仓作业最大难度及风险是保证仓内作业人员的安全，经过充分的分析论证，研究商讨出可以保证人员安全的保证措施。最后，综合安全保障措施、项目施工工期及施工成本全面考虑下决定，在完善相关安全技术措施的前提下，确保作业人员的人身安全入仓新增掘进机超挖边刀。

(二) 后背板切割人孔

考虑到顶管掘进机现状，对接掘进机生产厂家技术人员，明确了顶管掘进机的内部设计构造。厂家技术人员根据掘进机的内部构造情况分析，确定了具体的后背板切割方式。确定方案后，提前准备方案实施过程中所需要的所有设备工器具，并调试合格，同时对作业人员进行安全技术交底培训，培训合格后开始施工。

后背板仓面开孔时，用气割切出50×50mm方孔观察内部情况，同时将气体检测仪放入仓内检测气体情况。检查合格后继续在机头后仓板上切割出400×400mm人孔，仓外用气割切除。切割时，配置风机一直通风送风，确保人员呼吸畅通。

机头后仓端板切割完成后，手持气割枪深入后仓即可切除（后仓端板距离前仓端板仅45cm左右），切割时人员不需进入机头，操作方式与后仓切割基本相同。安全注意事项为保持不间断通风，确保操作人员呼吸畅通。切割时人员需保持趴在机头电机上操作，工作强度较大，故安排两名切割工人，30min轮班休息。开仓前，机头后方备用两台22kW的污水长杆泵，调试可正常抽水状态，防止开仓后涌水隐患能够及时消除，避免机头水淹。

四、边刀仓外加工焊接

(一) 超挖边刀配置

为保证机械整体的协调作业性能，超挖边刀从设备原厂家进行配置，配置边刀的性能型号与掘进机出厂时配置相同。边刀与刀盘的焊接选用于厂家配送，焊条的性能材质保持与原始焊接状态一致。

(二) 仓外焊接

超挖边刀为刀盘外侧位置焊接的刀具，人员入仓后很难到达刀盘的外圈位置，较难完成外侧的边刀焊接作业。为达到仓内焊接固定边刀的目的，先将边刀与特制钢板进行连接，入仓后将特制钢板与刀盘焊接，完成超挖边刀与刀盘的焊接目的。特制钢板厚度30mm，与机头进土格栅位置处焊接。为减少连接钢板蒙住出土孔，影响出土效果，钢板宽度考虑10cm，长度根据现场刀盘实测尺寸下料。特制钢板仓外下料时采用气割割除，尺寸需要需刀盘端面的开口率相配合，钢板焊接位置处理增加钢板的可焊性。

(三) 仓内通风焊接

(1) 机头仓内通风

人孔切割完成后，进一步观察掌子面土体稳定情况，前期观察孔观察情况得知，掌子面土体为板结状圆砾，土体自稳性较好。故安排风机风管对机头前仓内进行通风，风机连着风管，风管采用φ50的轻质皮胶管端头送至机头前仓下部开始通风，通风时间不小于8h。

(2) 通风后仓内检测

通风时间8h后停止通风，用细竹竿挑着气体检测仪入仓检测。检测合格后安排动物活体实验，用细棉绳栓住一只体格健康的鸽子放入仓内的不同位置停留5min将鸽子取出观察其体

特征变化情况，以此充分保证作业人员的入仓安全。气体检测仪检测正常且鸽子无任何体态特征变化后进行下一步作业。

(3) 仓内照明

仓内照明采用36V灯带照明，人员进入后将灯带沿刀盘环绕一圈，同时避开焊接区域。灯带根据仓内照明情况可适当多绕几圈增加亮度，同时焊工佩戴头灯，焊接区域可加强照明亮度，便于作业。

(4) 仓内焊接

固定钢板与超挖边刀仓外焊接完成后，运输至前仓内，由焊工焊接至刀盘固定位置。边刀焊接为仓内作业，危险系数较高，安排3名身材较为矮小且技术经验丰富的焊接人员轮班作业。每人入仓焊接不超过20min，焊接期间仓外持续供应新鲜空气至仓内，且仓外人员时刻与仓内人员对话，确保信息畅。仓内人员有任何异样时，必须立马停止作业立即出仓。

(5) 刀盘试转

超挖边刀与刀盘焊接完成后，封闭仓门开始刀盘试转。刀盘试转时，缓慢增加刀盘电流，观察泥水仓压力及出渣情况，听仓内是否有异响异样等情况。转动调试期顶进50cm，观察相关施工参数是否正常。刀盘试转完成后，取得的相关参数全部处于正常范围以内，继续顶管陆续恢复正常施工作业。

五、适用范围及具体经济效益

本文主要结合昆明主城北片排水管网完善工程（二环路外盘龙区）施工（二标段）项目工程施工经验撰写。适应于顶管掘进过程中刀盘受损无法继续掘进后，地下仓内的刀具更换技术。在项目的W12-W13号井的顶进过程中，由于地质情况与地勘资料出入较大，出现强度极大的板结层，掘进机超挖边刀磨损严重导致掘进机受困。经过相关单位的协同努力，成功将本段脱困。本次地下仓内顶管掘进机的成功换刀，提高了顶管脱困的成功率，极大的减少了施工现场的组织工作量。对比从地面“开天窗”或反顶对接方案，节省成本约200余万元，节省工期约45天，创造了良好的经济效益。同时本次脱困方法的研究可以很好的适应于广大顶管作业中解困的需要，特此将上述脱困方法分享至学术界供同行交流讨论。

六、结束语

顶管非开挖作业，是当前城市化建设的主流工艺。由于顶管作业时，全程位于地下，长距离顶管掘进过程中，不可预见性因素较多，掘进机出现故障的概率很高。研究并逐渐完善一整套系统的顶管脱困方法至关重要，可以极大的提高顶管的贯通率，同时可以将顶管工艺的适应范围推广至更多的领域，满足更多的管线施工的应用，满足城市发展的需求。顶管施工过程中存在较多的施工影响因素，施工过程中应严格按照规范、设计文件及已批复施工方案执行，同时针对不同顶管段的地质情况应采取不同的处理措施。顶管施工脱困的技术手段远不止这些，长距离顶管的顺利贯通，对于发展城市附属配套工程，提高城市配套生活质量，降低工程成本，是一个不可忽视的重要环节。

参考文献

[1] 项兆池,楼如月,傅德明.最新泥水盾构技术[J].上海隧道工程股份有限公司施工技术研究所科技情报室,2001(12)
[2] 方从启,王承德.顶管施工中的地面沉降及估算[J].江苏理工大学学报,2001(3).