

# 高水压顶管隧道管节修复装置的设计与应用

常喜平<sup>1</sup>, 贺建群<sup>1</sup>, 王乐<sup>1</sup>, 李贻浩<sup>2</sup>

(1. 中国石油天然气管道局第四工程分公司, 河北廊坊 065000; 2. 中国石油天然气管道局国际事业部, 河北廊坊 065000)

**摘要:**以富春江顶管工程为例,介绍了一种可快速拆卸的用于深埋顶管隧道对管节局部破损进行修复的装置。装置结构简单、紧凑,易于在圆形截面的隧道中进行快速拼装。该装置最高耐水压力0.8 MPa,可对地下水位以下30~80 m顶管隧道中出现沿轴线的长<0.4 m环状破损的管节进行注浆修复。这种设计能够有效解决深埋顶管隧道小面积局部破损、小范围漏水涌砂等问题,为深埋顶管等方法构筑的圆形隧道提供应急修复保障。

**关键词:**长距离顶管;深埋顶管隧道;圆形断面;管节修复;局部破损;隧道内止水;富春江顶管工程

**中图分类号:**TE973.9 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2016)06-0056-04

**Design and Application of a Pipe Section Repair Device for High Water Pressure Pipe Jacking Tunnel/CHANG Xi-ping<sup>1</sup>, HE Jian-qun<sup>1</sup>, WANG Le<sup>1</sup>, LI Yi-hao<sup>2</sup>** (1. China Petroleum Pipeline No. 4 Constitution Co., Langfang Hebei 065000, China; 2. China Petroleum Pipeline Bureau, Langfang Hebei 065000, China)

**Abstract:** Taking Fuchun River pipe jacking engineering as an example, this paper introduces a quick-detachable device for local damage on pipe section in deep buried pipe jacking tunnel, which has simple and compact structure and is easy to be assembled in the tunnel with circular cross-section. With the maximum tolerance of water pressure of 0.8 MPa, this device can repair damaged pipe section less than 0.4 m along the axis at 30~80 m below the groundwater level by grouting in pipe jacking tunnel to effectively deal with small area local damage and small scale water leakage & sand gushing, and it can provide emergency repair supports for circular cross-section tunnel constructed with pipe jacking method.

**Key words:** long-distance pipe jacking; deep buried pipe jacking tunnel; circular cross-section; pipe section repair; local damage; water-sealing in tunnel; Fuchun River pipe jacking engineering

## 1 问题的提出

顶管法施工隧道中,随着隧道顶进里程逐渐增大,隧道中的管节数量也越来越多,主顶前的管节所承受的顶力也越来越大。在长距离、大转弯角度顶管工程中,在曲线段顶进过程中发生管节端面因不均匀受力而发生局部破坏的可能性随着顶进距离增长而逐渐增大。

以中石油管道局在浙江杭州地区施工的富春江顶管工程为例(隧道轴线剖面见图1),工程隶属于杭州天然气利用工程的重要项目,现场在富阳市渌渚镇新港村与桐庐县江南镇之间窄溪大桥附近穿越富春江。顶管隧道建成后铺设一条高压燃气管线,管线设计管径D610×12.7,设计压力4.0 MPa。穿越工程采用泥水平衡顶管工法穿越,先后穿越淤泥质粉质粘土、中细砂、中粗砂、砾砂、粉质粘土、圆砾、

卵石、中风化砂岩、强风化砂岩及各地层交界面。隧道全长658.05 m,内径2400 mm,隧道上方最大覆土层厚25.3 m,最小覆土层厚9.3 m;常水位埋深32.5 m,汛期最大埋深42 m,最高水压力达0.4 MPa。顶管始发位于淤泥质粉质粘土与粉细砂层交界面上,以10.5%坡度直线下行80.44 m;中段以1200 m曲率半径先下后上顶进222.46 m;接收段为非全断面粘性土层(下部圆砾),以14.5%坡度上行71.57 m到达接收井。顶管隧道具有底层复杂、地层交界面多、隧道埋深大、水压高、曲线幅度大和纵向坡度大等特点。根据顶进实时记录数据,该曲线段顶进过程中顶进推力被成倍放大,给管节承载力带来极大考验,稍有不慎就有可能导致管节端面的破损。在国内外其他长距离顶管施工现场,也有由于顶进推力过大导致管节局部破损的实例<sup>[1]</sup>。

收稿日期:2015-11-06; 修回日期:2016-05-14

**作者简介:**常喜平,男,汉族,1980年生,盾构(顶管)管理中心总经理,从事石油天然气管线盾构和顶管施工、非开挖技术研究工作,河北省廊坊市爱民东道158号,6226387@qq.com。

**通讯作者:**贺建群,男,汉族,1988年生,硕士,从事盾构和顶管技术、隧道及岩土工程稳定性研究工作,河北省廊坊市爱民东道158号, junxiang0321@126.com。

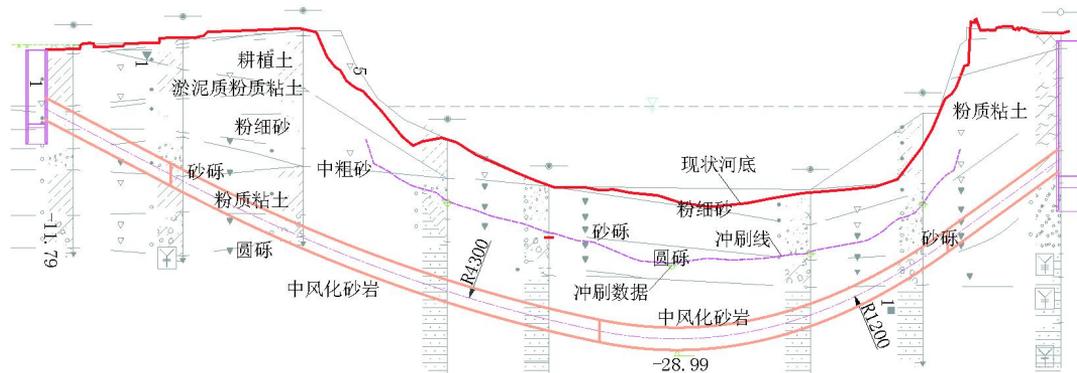


图 1 富春江顶管工程隧道轴线纵剖面图

在地下隧道工程中,如果管节局部破损得不到及时封堵,就可能造成事故扩大,出现隧道移位、涌水涌砂。针对长距离顶管深埋顶管隧道可能出现的管节局部破损问题,笔者发明了一种快速封堵工具。该结构适用于圆形断面顶管隧道,具有结构紧凑、耐水压高、可快速拆装等优点。隧道管节出现局部破损后,及时在破损位置组装紧固该修复工具,对破损部位形成具有密封严实的空间,在防止地层水进一步流出的同时通过该工具预留注浆孔向密封空间注早强水泥浆/水泥砂浆。待水泥浆/水泥砂浆凝固后,可形成比原隧道断面直径稍小的环状加强环。

## 2 顶管隧道管节修复基本设想

在 30~60 m 深埋顶管隧道中进行管节的局部破损修复,首先要克服的问题是如何止水——防止地层水通过破损部位向外流动。如果地层水持续向外涌出,则很难对破损部位形成有效的补强。管节破损位置的地层水停止向外流动后,才能考虑如何对破损位置进行加固补强。

因此,在深埋顶管隧道中进行局部破损隧道的修复首先要解决的难题,是通过何种方式达到阻止地层水通过破损位置大量外涌的目的。可选的止水方法包括隧道外止水、隧道内止水 2 种方案。如果选用隧道外止水方案,则需要考虑通过何种方式将止水材料放置于隧道外并在地层水持续外涌条件下实现止水,在深埋顶管隧道中短时间实现难度较大。快速止水在隧道局部破损有地层水涌出时的意义十分明显,经验表明涌水涌砂导致隧道变形移位的故事通常就是在很短的时间内变得越来越难以控制。为了节省组装作业时间,及时确认密封效果,笔者选用了第二种实现方式。隧道内止水具有易于实现、组装迅速的特

点,可以在较短的时间内实现止水的目的。

考虑到若要对管节进行局部修复,在实现管节局部破损位置止水同时,也需要留有足够的空间压注补强材料,以便对破损位置进行加固。从这个角度上考虑,选择隧道内止水相对更方便于形成密闭空间。

## 3 顶管隧道修复装置的设计

基于前述考虑,深埋顶管隧道修复装置采用隧道内止水、内部缩小直径形成环状密封空间的封闭补强方式。初步设计如图 2 和图 3 所示。

由图 2 中可以看出,出于方便快速安装的目的,顶管隧道管节修复装置的主要支撑结构采用 6 片不同大小的环片拼装成圆环的形式。其中,上部最小楔片两边与其他环片连接处切口并非沿半径方向设计,而是设置成向内开的方式,以便在拼装和拆卸时用作最后一个拼装片和最早一个拆卸片。此外,隧道最底部的环片被设计成 6 片之中最大的一片,采用这种设计布局的主要目的是尽可能减轻上部其他环片的质量,以便于快速拼装和拆卸。

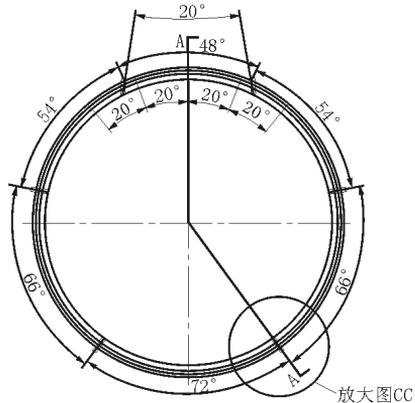


图 2 顶管隧道管节修复装置隧道轴线视图

在图3中,从顶管隧道管节修复装置的AA剖视图(沿隧道直径方向视图)还可看出,每个环片都是整体呈现向轴心的凹口状,以便在凹口两侧安装气密型的橡胶密封圈。前述结构在拼装完成,橡胶密封圈充气完成之后,在凹口腹部形成一个环状的密闭空间,可以通过带球阀的预留开孔向该密闭空间注入水泥浆/水泥砂浆等材料,便于止水后对管节进行注浆补强。

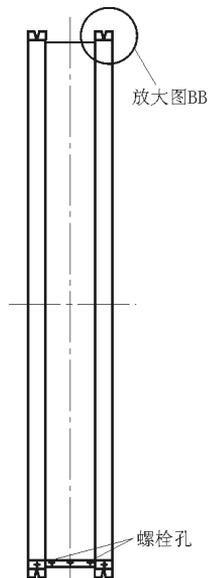


图3 顶管隧道管节修复装置AA剖视图

图4是对组成顶管隧道管节修复装置主要结构的6个环片之间如何连接并保证密封的放大视图。通过此图可看出,6个环片之间的连接处都设计有半包裹式加强密封钢板,且在连接时在两个半包裹式加强密封钢板间设有橡胶条形垫片,以防止环片之间的连接位置出现渗漏。

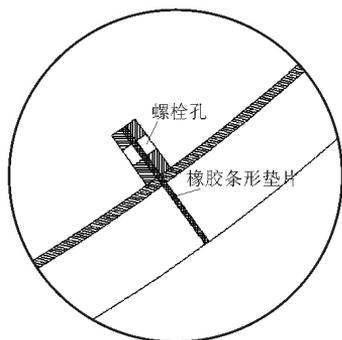


图4 顶管隧道管节修复装置放大图CC

图5是对顶管隧道管节修复装置侧视图凹口两侧的细部放大。充气型橡胶密封圈正好处于特殊设计的密封槽中。在顶管隧道管节修复装置的6块主

要环片在隧道内部拼装完成之后,可以通过气筒连接到充气阀芯,给橡胶密封圈充气使之发生膨胀,对隧道管节形成接触压紧力,达到在高水压大埋深隧道局部破损处进行止水的效果。

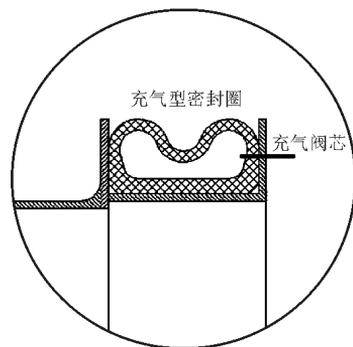


图5 顶管隧道管节修复装置放大图BB

此外,为了保证加工成品满足严密拼装、防止过量变形的发生,设计方案中对加工材料、钢板材厚度、加工精度、表面光滑程度都按照实际使用的要求进行了限定和说明。为了便于安装的同时又能够保证充气型橡胶密封圈与管节内壁的压紧程度,我们先后2次调整了拼装环片的最大外径与管节内壁间的缝隙大小(拼装环片的外径与管节内径差值8~20 mm之间),最终的设计方案兼顾这2种考虑,既符合高水压要求又保证拼装容易程度。

#### 4 顶管隧道管节修复装置的试验应用

为了保证实际生产的该装置能够在危急时刻达到止水修复效果,我们将实际加工成品在隧道两相邻管节处进行了耐水压试验。试验时,将该装置拼装在富春江顶管工程隧道的两相邻管节处(两相邻管节接口为承插口,插口两道密封圈之间预留均布的3个注浆/试压孔)。采用手动加压泵通过顶管隧道管节修复装置腹部预留的带球阀注浆孔给环状密闭空间加注清水,观察加压泵端的压力表数值并及时记录停止加压5 min后的压力变化,试验过程如图6所示。

经过实际测试,该装置的耐压试验数据如表1所示。

由表1可得出如下结论,该顶管隧道管节修复装置在高水压(0.8 MPa,相当于水下埋深80 m)条件下的密封效果良好。在实际应用中,充气型密封圈附近管节内壁湿润而并无观察到水流外渗痕迹,对止水效果没有显著的负面影响。

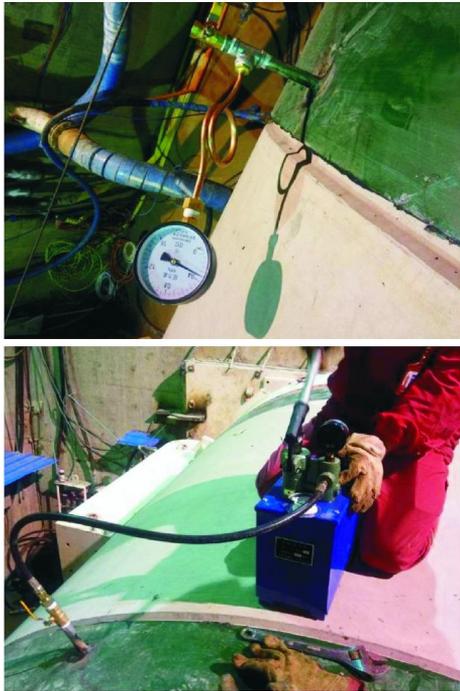


图6 隧道管节修复装置耐压试验过程

表1 顶管隧道管节修复装置保压试验

序号	初次加压压力 表数值/MPa	5 min 后压力 表数值/MPa	30 min 后压力 表数值/MPa	备注
1	0.2	0.19	0.17	外观无明显渗漏
2	0.4	0.37	0.33	外观无明显渗漏
3	0.6	0.55	0.52	外观无明显渗漏
4	0.8	0.72	0.65	密封圈附近管节 内壁湿润

注:采用手动加压泵加压,初次加压压力表数值为手动加压停止后压力表显示的数值。

## 5 结论

(1) 顶管隧道管节在长距离曲线顶管中出现局部破损后,利用所设计的可快速拆卸的深埋顶管隧道管节修复装置可进行及时有效处理。该装置采用

特殊设计的6环片拼装结构和包裹式螺栓紧固加强连接板,实现了顶管隧道管节修复装置的快速拼装和拆卸。

(2) 通过在任意两环片的半包裹式加强连接板之间加设平橡胶条形密封垫片,保证了任意两环片间密封紧固可靠;在凹口两侧的密封槽中加设带有充气阀芯的充气膨胀型密封橡胶圈,在拼装完成后通过简便气筒给充气膨胀型橡胶密封圈充气达到使该装置与管节内壁密封压紧力达到设计值。

(3) 试验应用效果表明,这种顶管隧道管节修复装置在0.8 MPa水压力下密封效果良好,将该装置用于0.8 MPa地层水压力下的管节局部破损修复可以实现快速拼装、及时止水、方便注浆补强的效果。

## 参考文献:

- [1] 马保松. 非开挖工程学[M]. 北京:人民交通出版社,2008.
- [2] 丁传松. 直线及曲线顶管施工中的顶推力研究[D]. 江苏南京:南京工业大学,2004.
- [3] 吉成. 地下顶管施工的若干问题研究[D]. 江苏南京:南京理工大学,2014.
- [4] 何莲. 顶管施工中管节损坏事故分析及处理[J]. 市政技术,2004,(2).
- [5] 李万才. 大口径长距离顶管工程注浆减摩技术[J]. 管道技术与设备,2000,(6).
- [6] 陈春茂. 非开挖管道修复技术[J]. 市政技术,2004,22(4):208-213.
- [7] 杨雄. 非开挖顶管工艺在供水管道修复中的应用研究[J]. 山西建筑,2009,35(1):204-205.
- [8] 熊旺. 大口径玻璃钢夹砂管进行顶管施工的实践[J]. 中国给排水,2003,(S1).
- [9] 刘海龙,张震. 浅析非开挖顶管技术特点及监控要点[C]//土木建筑学术文库(第7卷). 2007.