

# 红水河漂管沉降施工技术

许 航 吴晓丽

广西天然气管道有限责任公司, 广西 北海 536000

**摘 要:** 广西境内红水河的喀斯特地貌多溶洞、多礁石且岸坡陡峭等自然环境, 给长输管道的通过带来了极大的施工难度。为了成功穿越红水河峡谷段, 广西天然气管道工程结合当地特有的地形地貌对一般的沉管穿越技术做出了相应地改进, 在沉管过程中较好地保护了管道的 PE 层和弯头, 减小了两岸的土方开挖量。为此, 对红水河漂管沉降技术进行总结, 阐述改进的关键施工技术, 为类似地质条件的沉管穿越施工提供参考。

**关键词:** 喀斯特地区河流; 漂管沉降; 施工技术

DOI: 10. 3969 /j. issn. 1006 - 5539. 2018. 04. 006

## The Construction Technology of the Sinking Pipe in the Hongshuihe River

Xu Hang, Wu Xiaoli

Guangxi Natural Gas Pipeline Co., Ltd., Beihai, Guangxi, 536000, China

**Abstract:** The Karst landscape with many caves, reefs and steep bank slopes in the Hongshuihe river of Guangxi Zhuang autonomous region has brought great challenges to the passage of the long distance pipelines. In order to cross the Hongshuihe river, the Guangxi natural gas pipeline project has made some improvement to the general sinking pipe crossing technology in combination with the unique topography of the area. In the process of sinking pipe, the PE layer and the bend of the pipeline have been well protected, and the amount of earthwork excavated on both sides of the banks has been reduced. Therefore, the sinking technology of the floating pipe in Hongshuihe river is summarized, and the key construction technologies of the improvement is elaborated as well, which provides reference for the sinking pipe crossing under similar geological conditions.

**Keywords:** Karst river area; Sinking pipe; Construction technologies

### 0 前言

随着中国长输管道工程建设的不断发展, 油气管道的数量不断增加, 大型管道不可避免地要通过各种类型的河流, 而广西地区独特的自然环境给相关河流的穿越技术提出了新的要求<sup>[1-2]</sup>。广西天然气管道工程是中

国石化北海 LNG 项目配套的天然气外输工程, 辐射两广地区十六个市, 是中国西南重要的能源保障。广西天然气管道管径为  $\Phi 813 \text{ mm} \times 17.5 \text{ mm}$ , 防腐结构为常温加强型 3 层 PE, 工作压力 10 MPa, 需要在来宾市桥巩乡境内由南向北穿越红水河峡谷段。红水河是喀斯特地貌明显的一条河流, 具有岸坡陡、岩层厚、水流急、河道曲

收稿日期: 2018 - 03 - 28

基金项目: 中石化广西液化天然气 (LNG) 项目 (716101)

作者简介: 许 航 (1989 -), 男, 湖北鄂州人, 助理工程师, 硕士, 主要从事长输管道建设质量管控的研究工作。

等特点,对于此种地貌条件下河流的沉管穿越没有任何施工和管理经验可以借鉴。对红水河穿越轴线进行详勘,河谷两岸为天然陡坎,岸边坡度约 $55^\circ$ ,临近水面处的坡度超过 $88^\circ$ ,穿越断面形状为开阔“U”形,岸边布满大小不一的溶洞,并向水下延伸。红水河穿越处河水较为湍急,洪水季节的流速超过 $2\text{ m/s}$ ,这些极端的自然条件给沉管施工带来了巨大的施工难度。该工程针对喀斯特地区特有的实际情况,采取了一系列的施工措施,利用旋转漂管沉降的施工方法,成功进行了漂管沉降穿越,以下着重介绍管段漂管沉降过程中的施工原理及关键施工技术。

## 1 漂管沉降施工原理及可行性分析

红水河水下溶洞裂隙较多,定向钻钻头在前进过程中容易出现卡死的现象,造成重复性施工,并且定向钻施工费用较高,为了减少施工难度,降低成本,经过多方讨论决定选择在枯水季节进行沉管施工<sup>[3]</sup>。具体施工工艺流程见图1<sup>[4-6]</sup>。

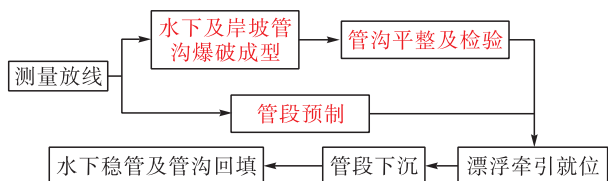


图1 红水河漂管沉降施工工艺流程

根据管段漂浮牵引就位的方式不同,漂管沉降可以分为直线漂管沉降、旋转漂管沉降和起重漂管沉降三类<sup>[7-8]</sup>。垂直于红水河流动方向的施工场地小于河流宽度,且地形狭窄,无法在穿越轴线上进行管段预制,所以选择旋转漂管沉降进行沉管施工。首先选择位于穿越处上游约 $800\text{ m}$ 的一处浅滩作为管段预制场地,沿着河流方向预制管段,待无损检测、管段试压、防腐补口合格、管沟平整及检验合格之后再管段移入水中,利用管子自身的浮力使其漂浮于水面之上,加上水上船舶的牵引,在水力的作用下使预制管段漂浮到位,然后在牵引船和起吊船的配合下旋管横江,安装铸铁配重块使其缓慢下沉,进入管沟中心位置,最后完成管段穿越。

每米管段的自重计算<sup>[9]</sup>:

$$G = [(D/2)2\pi - (d/2)2\pi] \times 1\text{m} \times \rho_1 \times 9.8\text{ N/kg} = 3\,341.40\text{ N} \quad (1)$$

每米管段橡胶保护垫层(10 mm厚)的重量:

$$G_{\text{胶}} = 367.40\text{ N} \quad (2)$$

每米配重铸铁块的重量:

$$G_{\text{铁}} = 2\,298.90\text{ N} \quad (3)$$

每米管段完全沉入水中的浮力计算:

$$F = (D/2)2\pi \times 1\text{m} \times \rho_2 \times 9.8\text{ N/kg}$$

$$= 5\,084.83\text{ N} \quad (4)$$

式中: $D$ 为管段外径,取 $0.813\text{ m}$ ;  $d$ 为管段内径,取 $0.778\text{ m}$ ;  $G$ 为管段自重,  $\text{N}$ ;  $F$ 为管段浮力,  $\text{N}$ ;  $\rho_1$ 为铁的密度,取 $7\,800\text{ kg/m}^3$ ;  $\rho_2$ 为水的密度,取 $1\,000\text{ kg/m}^3$ 。

由式(1)~(2)和式(4)可得:

$$F - G - G_{\text{胶}} = 1\,376.03\text{ N} > 0 \quad (5)$$

故对预制管段两段封堵后,即可进行管段的拖浮就位作业。

由式(1)~(4)可得:

$$F - G - G_{\text{胶}} - G_{\text{铁}} = -922.87\text{ N} < 0 \quad (6)$$

故就位后对预制管段上添加铸铁配重块后,管段会缓慢下沉。

## 2 漂管沉降关键施工技术

### 2.1 水下爆破管沟成型技术

红水河河底岩石厚且坚硬,普通的水上开挖技术难以将管沟开挖到设计标高,故选取了水下爆破管沟成型技术<sup>[10-13]</sup>。管线穿越位置为红水河主航道,上游有水电站,下游有桥梁,对爆破的影响范围需要严格控制,为了减小爆破震动造成的危害,该工程采用微差爆破,利用导爆雷管并串联网路来确保微差网路顺利实现,微差爆破与齐发爆破相比,平均降震率为 $50\%$ 。水下爆破管沟爆破流程见图2。

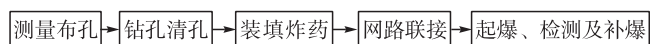


图2 水下爆破管沟爆破流程

爆破碎片通过清礁船清理完成后,采用测深仪及GPS对管沟中心线、管沟边线及沟底标高进行检测,对于管沟底部标高低于设计管底标高的部分认为合格,对于没有达到设计标高的部分采用补爆进行处理,对于沟底起伏不平则交由管沟平整设备处理<sup>[9]</sup>。管沟平整设备由方驳船、平台及水下平整设备构成,见图3。

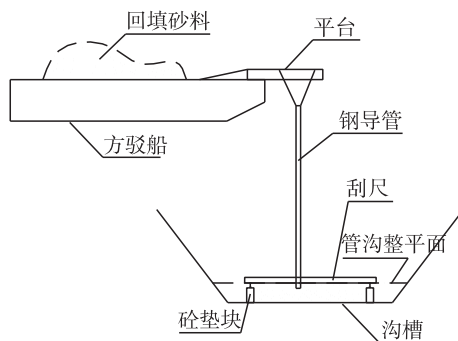


图3 管沟平整设备

回填的沙砾通过管沟平整设备的导管进入管沟会稍高于设计管底标高,然后再由潜水员下水,推动刮尺沿着基槽中心线前进,这样高出部分的沙砾就会刮平。

对管沟底部砂砾较少的部分,潜水员会做好标记,再通过抓斗将砂砾石送到指定位置,直至管沟底部标高及平整度达到设计及规范的要求,同时解决了沟槽开挖不平出现的管道底部悬空产生局部应力的问题<sup>[14-15]</sup>。

管沟开挖成型后,为了保证水下管沟的开挖深度和平整度达到设计要求,第三方机构将用测深仪和水下摄像的方法进行管沟复测,对存在问题的个别点位进行处理,直到管沟总体达到设计要求。经检测:开挖前穿越轴线河底最深处高程为45.4~53.1 m,开挖后直管段管沟高程为41.5 m,冷弯段管沟高程为41.5~47.2 m,管沟宽度约5 m,沟底填砂平均厚度为0.5 m,管沟中心轴线与设计轴线偏差 < 300 mm,沟底设计标高偏差 < 150 mm。

## 2.2 3 PE 防腐层及热煨弯头的保护

预制管段以整管的形式从预制场顺流漂至沉管穿越的位置,为了避免在漂管过程中浅滩礁石和水流冲击对3 PE防腐层及热煨弯头的影响,需要采取一些保护措施<sup>[16-17]</sup>:预制管段漂管前,在3 PE防腐层外面固定厚10 mm橡胶皮保护层,每块橡胶皮宽1 m、长度略长于管线的周长,用钢带固定在防腐层外侧;为了防止热煨弯头在漂管及翻转下沉过程中在水流冲击下产生变形,在距离弯头3 m处,直管上绑扎一直径159 mm×4.5 mm的钢管,加强热煨弯头处的强度。热煨弯头钢管绑扎见图4。

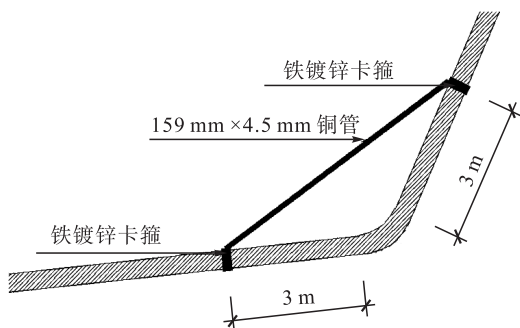


图4 热煨弯头钢管绑扎

## 2.3 减小预制管段的旋转半径

预制管段在南岸就位后横江需要一定的旋转半径,红水河穿越处两岸高程较大,水面到岸边的距离常年保持在30 m以上,岸坡极为陡峭,导致岸边的开挖量大。为了减少施工开挖量,需要对原先管段进行角度和长度的改变:将弯头由30°改为60°,将南岸出水直管段截短10 m,将北岸出水直管段截短7 m,改变后管段的旋转半径缩短近25 m,大大减小了开挖量和施工难度。同时,管段翻转就位后直管段依然可以露出水面,采用立管焊接的方法进行后续施工。

## 2.4 漂管沉降过程中船舶对管段的控制

在漂管沉降的过程中,考虑到水流的冲击,所以必

须在管段横江过程中保持预制管段的稳定<sup>[18]</sup>。待预制管段从上游漂浮至南岸预定位置,固定一端,通过船舶的牵引使其产生旋转,旋转过程中让背弓面迎着水流,以减小其在漂管过程中的变形量。管段前后的船只分别起到拖管和顶管的作用,让管段逆流而上,最终使管段的中心位于水下管沟的正上方。在牵引机和施工人员的配合下,均匀安装铸铁配重块,使其缓慢下沉。预制管段的旋转过程见图5。

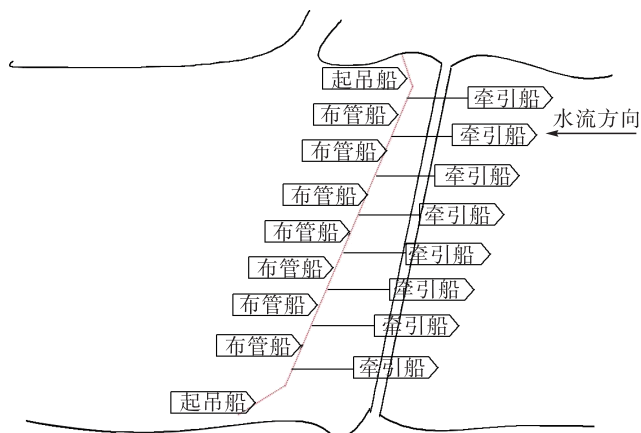


图5 预制管段的旋转过程

## 2.5 管段下沉过程的控制

红水河河水较为湍急,在预制管段下沉过程中,预制管段受到浮力、管段及铸铁配重块的重力和水流的冲击力等多种外力的影响,需要采取一些控制措施来防止预制管段因外力而产生过大的变形:

1) 控制铸铁配重块的数量。由式(6)得知铸铁配重块的添加使得每米管段产生-922.87 N的合力以便管段顺利下沉。为了加快施工的进度,一部分铸铁配重块的安装在上岸进行,一部分安装在水面上进行。在水面上安装铸铁配重块时由起吊船和牵引船共同牵引预制管段,待各船的牵引绳均受向下的力时,停止安装铸铁配重块,在保证管段顺利下沉的同时避免管段受到过大的向下外力。在安装配重块时也应注意间隔均匀地安装,使得管段均匀受力。

2) 合理布船,协调施力。在管段下沉过程中起吊船和牵引船分别沿着预制管段方向均匀排布,通过牵引绳拉住管段,抵消水平方向的水流冲击力,减小因水流冲击力而产生过大的变形。牵引船为主要施力船,逆流而上,通过前后进退来摆正下沉过程中的管段。起吊船在牵引船的另一侧均匀分布,在竖直方向上吊住预制管段,辅助牵引船施力,协同前退。预制管段下沉过程中船只分布见图6。

预制管段采取逐次逐段的方式下沉,由牵引船和起吊船共同进行控制<sup>[19]</sup>。预制管段旋转就位后,两端热煨弯头各由1艘起吊船控制其前后摆动,在沉管过程中使

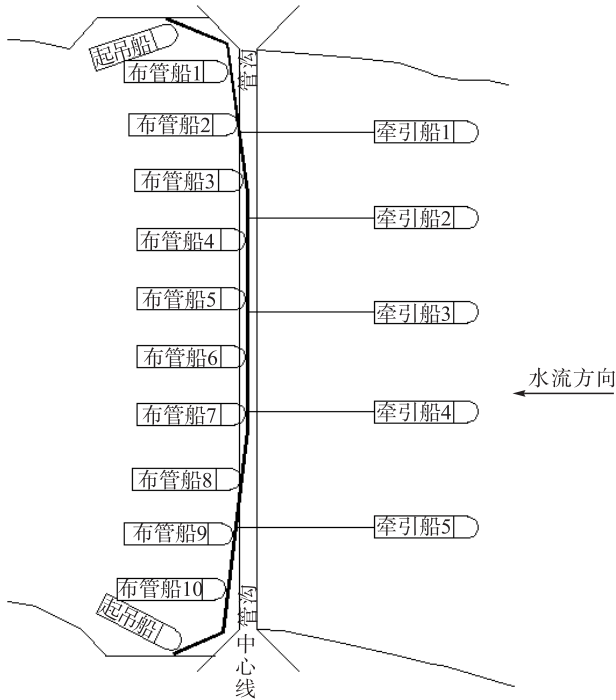


图6 预制管段下沉过程中船只分布

用牵引绳调整位置,使得弯头始终处于变坡点正上方。两岸各布置2台卷扬机分别位于管段两侧,通过松紧牵引绳来摆正弯管角度,保证热煨弯头下潜到位,预制管段进入中心轴线。预制管段在下沉的过程中,根据管段两端的情况松放牵引船和起吊船的钢丝绳,管段每下沉0.5 m 暂停一次,通过仪器检测管段是否偏离设计的下沉路线,并适当调整牵引缆,使得管段中线与管沟轴线的相对位置在可控范围之内<sup>[20]</sup>。待管段下沉至距管沟底约0.5 m 时,用全站仪及水下定位系统对管段中线进行监测控制,直至与管沟中心轴线相一致,再将管段沉至管沟之上。管段下沉完成后,通过岸上卷扬机和船只微调扶正管道到设计角度。待调整完毕,管段两端分别在岸上进行固定和支撑,同时水下进行马鞍块安装,稳定管段,防止发生位移和扭转。管段逐次逐段下沉控制见图7。

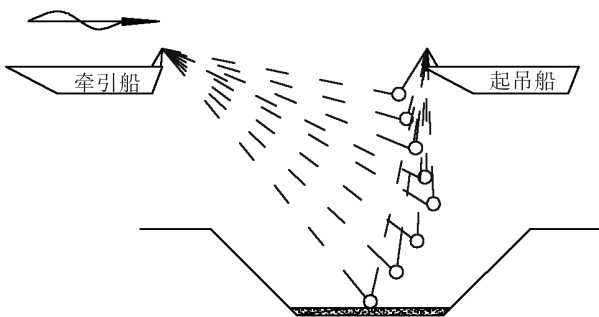


图7 管段逐次逐段下沉控制

### 3 结论

综上所述,广西天然气管道工程红水河沉管穿越结合广西喀斯特地区河流的自然环境特点,对沉管施工中的水下爆破管沟成型技术、3 PE 防腐层及热煨弯头的保护技术、预制管段的旋转控制、漂管及沉管过程控制等主要的工序控制点进行了相应的改进和探索,较好地保护了管道,减小了施工难度和工程量,成功进行了沉管穿越,证明了喀斯特地区河流沉管穿越切实可行,为在类似地质条件的沉管穿越施工提供了借鉴。

#### 参考文献:

- [1] 周广合,肖胜军,陈晓霞. 沉管法在大口径长输管道工程中的应用[J]. 石油工程建设,2009,35(6):45-47.  
Zhou Guanghe, Xiao Shengjun, Chen Xiaoxia. Application of Pipeline Sinking Method in Large-diameter Long-distance Pipeline Construction [J]. Petroleum Engineering Construction, 2009, 35 (6): 45-47.
- [2] 赵忠德,汤林,廉践维. 对油气长输管道改造可研内容和深度的建议[J]. 天然气与石油,2016,34(3):15-19.  
Zhao Zhongde, Tang Lin, Lian Jianwei. Suggestions for the Contents and Depth of Feasibility Study of Long Distance Oil & Gas Pipeline Renovation [J]. Natural Gas and Oil, 2016, 34 (3): 15-19.
- [3] 左治武,刘明辉,李松奎. 水下成沟穿越河流技术在长输管道工程的应用[J]. 天然气与石油,2009,27(6):12-14.  
Zuo Zhiwu, Liu Minghui, Li Songkui. Application of Underwater Ditching River Cross Technology in Long-distance Oil and Gas Pipeline Project [J]. Natural Gas and Oil, 2009, 27 (6): 12-14.
- [4] 康万平,王宇,李战宏. 沉管技术在长输管道河谷段的施工应用[J]. 油气储运,2010,29(7):550-552.  
Kang Wanping, Wang Yu, Li Zhanhong. Application of Pipe Sinking Technique in Valley Pipeline Construction [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2010, 29 (7): 550-552.
- [5] 李贵宾. 西气东输管道漂浮法穿越江南水网[J]. 油气储运,2003,22(1):35-36.  
Li Guibing. Waters Crossing of Pipeline with Floating Pulling Method for West-East Natural Gas Transmission Pipeline [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2003, 22 (1): 35-36.
- [6] 王毓民. 大口径管道穿越河流方法研讨[J]. 天然气与石油,2000,18(3):3-8.  
Wang Yumin. Discussion on River Crossing of Large Diameter Pipeline [J]. Natural Gas and Oil, 2000, 18 (3): 3-8.
- [7] 范晓明,雷毅,刘景洪. 输油气管的漂管沉降施工技术[J]. 油气储运,2005,24(5):45-47.

- Fan Xiaoming, Lei Yi, Liu Jinghong. Pipeline Floating Pulling Method Applied in Yonghuning Import Oil Pipeline [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2005, 24 (5): 45-47.
- [8] 康宝. 输油气管道水网地带漂管沉降施工[J]. 内蒙古石油化工, 2012, (9): 74-75.
- Kang Bao. Pipeline Floating Pulling Construction in Waterside Area of Oil & Gas Transmission Pipeline [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2012, (9): 74-75.
- [9] 韩莉, 王为民, 郭春荣, 等. 水网地区的水下挖沟与漂浮沉管工艺[J]. 油气储运, 2009, 28(4): 76-78.
- Han Li, Wang Weimin, Guo Chunrong, et al. Applied Technique for Underwater Trencher and Pipeline Floating Pulling Method in Waterside Area [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2009, 28 (4): 76-78.
- [10] 李志勇, 朱东志, 赵海宴, 等. 冀宁管道大汶河穿越大开挖施工技术[J]. 油气储运, 2007, 26(4): 35-37.
- Li Zhiyong, Zhu Dongzhi, Zhao Haiyan, et al. Underwater Open-cut Crossing Technology to Cross Dawen River of Jining Gas Transmission Pipeline [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2007, 26 (4): 35-37.
- [11] 张宣沛, 吕川. 谈谈重庆天然气干管隧道穿越长江工程[J]. 上海煤气, 2001, (5): 7-9.
- Zhang Xuanpei, Lv Chuan. Chongqing NG Mainline Tunnel Crossing Yangtze River Project [J]. Shanghai Gas, 2001, (5): 7-9.
- [12] 阎庆华, 孙玉杰, 付超, 等. 长输管道河流穿跨越方案选择[J]. 石油工程建设, 2011, 37(3): 1-6.
- Yan Qinghua, Sun Yujie, Fu Chao, et al. Study on Scheme Selection of Long-distance Pipeline Crossing Rivers [J]. Petroleum Engineering Construction, 2011, 37 (3): 1-6.
- [13] 刘瑞凯, 刘杰, 张国军, 等. 长输油气管道常用公路、铁路、小型河流穿跨越方式的选择[J]. 当代化工, 2014, 43 (10): 2133-2136.
- Liu Ruikai, Liu Jie, Zhang Guojun, et al. Choice of Construction Methods for Long Distance Pipeline Crossing Highway, Railway and River [J]. Contemporary Chemical Industry, 2014, 43 (10): 2133-2136.
- [14] 柴利侠. 天然气管道施工技术问题浅析[J]. 石化技术, 2016, 23(3): 21.
- Chai Lixia. Technical Issues of Construction for Natural Gas Pipeline [J]. Petrochemical Industry Technology, 2016, 23 (3): 21.
- [15] 张力, 李道德, 彭顺斌. 单侧沉管在沙漠地段长输管道施工中的应用[J]. 天然气与石油, 2011, 29(4): 23-27.
- Zhang Li, Li Daode, Peng Shunbin. Application of Lowering Pipeline at Single Side to Long-distance Pipeline Construction in Desert Areas [J]. Natural Gas and Oil, 2011, 29 (4): 23-27.
- [16] 赵超. 运用漂管技术跨越陆水河[J]. 辽宁化工, 2012, 41(7): 742-744.
- Zhao Chao. Application of Drift Tube Technology in Crossing Lushuihe River [J]. Liaoning Chemical Industry, 2012, 41 (7): 742-744.
- [17] 陈汝蒋, 程潇, 帅永太, 等. 天然气海底管道底穿输水管道施工技术[J]. 天然气与石油, 2015, 33(5): 10-14.
- Chen Rujiang, Cheng Xiao, Shuai Yongtai, et al. Construction Technology for Submarine Gas Pipeline Crossing Beneath Water Pipeline [J]. Natural Gas and Oil, 2015, 33 (5): 10-14.
- [18] 赵超. 关于漂管沉降法穿越河流的研究[D]. 西安: 西安石油大学, 2013.
- Zhao Chao. Study of Drift Tube Sedimentation Method of Crossing the River [D]. Xi'an: Xi'an Shiyou University, 2013.
- [19] 李强. 陆水河带水开挖漂管穿越施工技术研究与应用[D]. 西安: 西安石油大学, 2014.
- Li Qiang. Pipeline Pass through Lushui River on Water Construction Technique Research Report and Appliance [D]. Xi'an: Xi'an Shiyou University, 2014.
- [20] 陈文国, 余志峰, 张弥, 等. 带弯头弯管段不停输沉降的设计与施工[J]. 油气储运, 2009, 28(3): 66-70.
- Chen Wenguo, Yu Zhifeng, Zhang Mi, et al. Design and Construction to Sedimentation of On-line Pipeline with Elbows [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2009, 28 (3): 66-70.