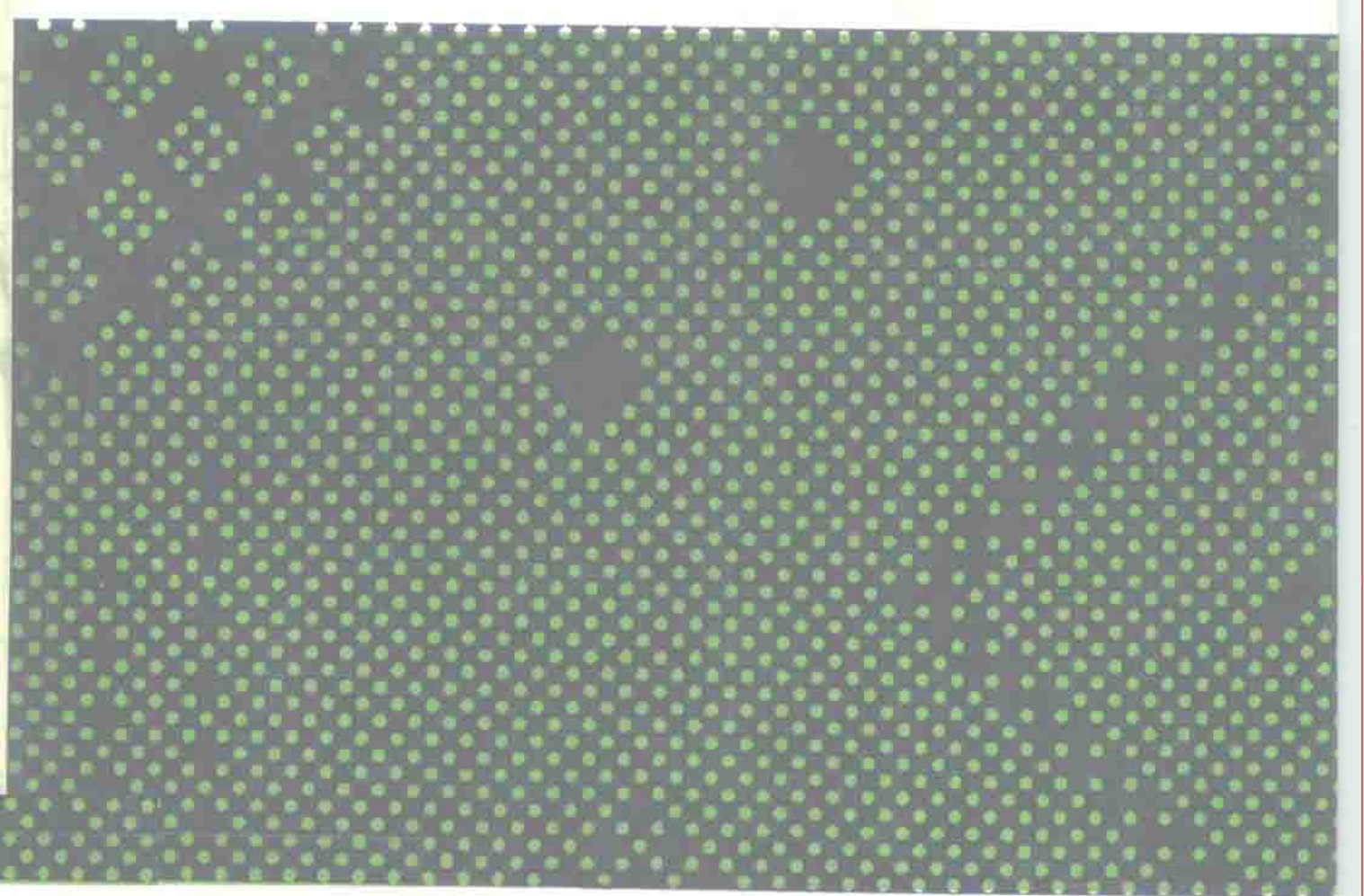


高俊凯 陈国彬 主编

全国主要江河 油气管道穿跨越工程 资料汇编



石油工业出版社

(京) 新登字082号

内 容 提 要

本书汇集了我国主要江河上油气管道穿跨越工程的资料,以具体的工程实例逐一介绍了管道穿跨越线路的勘测设计,穿跨越点的选择,施工的方法、技术及管理特点,并详细总结分析了各次施工的成功经验和教训,同时也提出了改进的建议。本书是一本目前该项工程较完整的资料性书籍,有较大的借鉴、参考和保存价值。

可供从事管道设计施工的工程技术人员、大专院校有关专业师生学习参考。

07/07 82

全国主要江河 油气管道穿跨越工程 资料汇编

高俊凯 陈国彬 主编

*

石油工业出版社出版
(北京安定门外安华里二区一号楼)
北京顺义燕华印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行

*

787×1092毫米 16开本 25³/₄印张 653千字 印1—1,500

1992年3月北京第1版 1992年3月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-0600-6/TE·571

定价: 7.25 元

目 录

第一章	综述.....	(1)
第二章	大型河流管道穿越资料.....	(37)
第三章	定向钻穿越大型河流技术.....	(119)
第四章	胜利油田在黄河上的管道穿越工程.....	(155)
第五章	大庆—铁岭输油管道穿越嫩江总结.....	(187)
第六章	川汉输气管道红花套穿越长江资料.....	(235)
第七章	大型河流管道跨越工程资料.....	(335)
第八章	四川石油管理局油建公司历年大型河流穿跨越工程资料.....	(387)
附 录	国外管道常规穿越河流技术概况.....	(404)

第一章 综 述

- 国内油气管道穿越工程设计水平的进展
- 大型河流穿越施工技术综述
- 我国大型河流穿越的经验

国内油气管道穿越工程设计水平的进展

谢太浩

(四川石油管理局勘察规划设计院)

随着我国石油天然气工业的发展,长距离输油输气管道穿越长江、黄河、嫩江、鸭绿江、嘉陵江、沱江、拉萨河、九龙江、滦河、双台子河等等大中河流约350次,其中油气管道穿越长江、黄河的工程竟达20余次。水下油气管道穿越工程的长度计数十公里。近年来,我国油气管道河流穿越工程设计施工技术日趋成熟。在不同的河流类型、水文及地质条件下、自行设计施工了裸露于河床上或埋设,平面上呈直线或呈悬链线,单管或管束,复壁管或重混凝土连续覆盖层加重稳管等等不同结构形状、不同敷设稳管方式的水下油气管道,满足了生产的需要,并为我国油气管道穿越江河湖海积累了宝贵的经验。

一、设计进展

二十多年来,我国油气管道水下穿越工程设计同科研和施工相结合,攻克了一个个技术难关,从而有所前进,有所突破。

1. 川江天然气管道无沟裸露敷设

60年代初期,根据都江堰“深淘滩,低作堰”的治水经验,四川对于敷设在较为稳定的川江卵石河床上的天然气管道,采取了边滩管段挖沟埋设,江心管段裸露、石笼稳管的方案。在无大型挖泥船具挖沟埋设管道的条件下,解决了急速发展中的天然气输送系统穿越江河水网的课题。这种方法,勿需大型施工机具,技术简单,施工较为方便。缺点是石笼用量大,编材易磨蚀,浅水区可能影响航道和渔业生产。

为克服石笼稳管的缺点,在水下管道结构模型和振动实验受力分析的基础上,1969年又提出了较小口径管道在水下呈悬链线裸露敷设的方法。从而减少了石笼用量,缩短了工期,节约了投资。某厂自行敷设的长江穿越管道,十余年来一直工作良好。

对一些抢建管道,四川采用了对河床变化适应性强的小口径管束裸露敷设的方法。如川南矿区在抢建鹿三井至永榕线的管线时,用不到1个月的时间,完成了3条管道穿越长江工程的勘察设计施工任务。提前3个月把失控的气井纳入了管网,节约了天然气 $4\,500 \times 10^4 \text{ m}^3$,价值225万元,节省挖沟费用约20万元。

2. 水下管道结构模型实验和振动观测

水下管道作为一构件,受力情况是极其复杂的。1969年,四川石油设计院和油田建设单位同成都工学院组成研究小组,在长江和都江堰渠道上进行了河床上裸露悬链管道结构模型的振动实验,测定了在不均匀水流作用下水的激动频率与流速的关系,测定了裸露敷设于河床上悬链管道在动水作用下的各级自振频率、振型和管道共振时的临界流速,从而找寻出悬链管道合理可靠经济的防振措施。与此同时,他们还同四川省建筑科学研究所一起,克服了水下管道应力实验技术上的困难,首次对敷设在长江上的水下管道进行了振动观测,为防振设计提供了依据。

3. 在管道穿越工程中,应用火箭技术的初步探讨

大庆油田管道穿越新工艺试验小组在胜利油田等单位的大力协助下,在1975年至1976年将火箭技术应用于管道电缆穿越工程中。经多次探索性的实验研究,初获可喜的成果,开拓了穿越工程设计研究的新领域。

4. 天然气管道和通信电缆同沟埋设

经技术经济比较,四川将水下天然气管道和水底过江通信电缆同沟埋设,既不影响通信质量,又为国家节约敷设过江电缆投资近百万元。

5. 重混凝土连续覆盖层管身结构

在我国第一条大口径的 $\phi 1016\text{mm}$ 管道穿越长江的工程设计中,采用了容重为 $2800\sim 3000\text{kg/m}^3$ 的重混凝土连续覆盖层加重稳管的管身结构。与同等输量、设计相对密度的复壁管比较,每公里节省投资39.84万元,管材465t,水泥288t。这种管身结构断面均匀,受力一致。不仅能保护防腐绝缘涂层免遭拖管、流砂磨损和生物的破坏;而且大大减少了单个加重块边缘棱角在管道发送和拖拉时所产生的阻力。

由于复壁管结构,在目前我国输送钢管品种单一、管壁较薄的情况下,仍是使口径较大的水管获得较高的设计相对密度和可靠的简易措施之一。据管道勘察设计研究院统计,他们采用复壁管管身结构的穿越约占大中型河流穿越的34.6%。但是,这种结构的钢材、水泥和投资的耗用较大。

6. 水下管道沟埋敷设

将管道于河床稳定层内的敷设方式,随着我国水下管道设计施工技术的改善和挖泥船具的增加,现已有很大发展,已成为设计提高水下管线可靠度的最主要手段。据计算采用沟埋敷设的穿越管道占整个穿越工程项目的90%以上。

1970年,东“八三”在嫩江穿越工程中,首次采用挖泥船横江开挖水下管沟,将管道全部置于河床内较稳定的土层内。紧接着,在鸭绿江、嫩江复线工程等等大型河流输油管道穿越工程中,也采用了沟埋敷设的方式。

1974年至1978年,石油管道一公司在沈阳部队、济南部队和兰州部队的大力支持下,用漕渡、桥冲锋舟设备,进行打桩、装药、连线送牵引绳作业,采用药桩爆破法开挖水下管沟。爆破深度达3153m,总装药量约160t。先后在山东、宁夏穿越黄河以及双台河、滦河、大沙河、兰州河等,共计6次。

1979年初,江汉石油管理局和长江航道局协同配合,成功地在长江中游敷设了我国第一条大口径的过江管道。管道长1273.3m,以1200m的最小曲率半径按设计曲线埋设在水下管沟槽内,其埋深3~7m不等。该工程采用抓斗和绞吸式挖泥船,辅以水下裸露爆破开挖水下管沟,长1084m,土方 $31.01\times 10^4\text{m}^3$ 。

7. 水下管道无沟埋设

1970年至1973年,胜利油田实验采用了一种所谓“曲线顶管”的方法。应用机械顶进、水力切割、泥浆返出,以及控制管头的技术,使穿越管段沿埋设曲线逐渐顶进河床稳定土层内,直达彼岸。他们先后采用此法将直径为 $\phi 219$ 和 $\phi 273\text{mm}$ 的输油管道,穿越宽为474m和437m的黄河。管道埋设在河床下6.8~23.5m。

1973年以后,胜利油田用42艘小船拼装成长为80m、宽为8.2m的作业船,采用冲吸式水力挖沟沉管法,在黄河松散的沙土和亚沙土河床内,埋入了8条输油管道。此后,湖北江汉石油管理局穿越汉江,广东省穿越化洲河,都采用了这种敷设方法。

无沟埋设管道的实践说明:在穿越沙土和亚沙土质的河床中,无沟埋设法具有很大的优越性,施工简便。今后还应使之工艺机具不断完善和提高。

二、结 论

综上所述,二十多年来我国油气管道水下穿越工程的设计研究已取得很大的成绩。但是,它与油气管道建设发展的速度仍不相适应,时而影响到管道建设的进度,以及系统的可靠性。

1. 存在问题

(1) 过去曾有因穿越工程设计中,穿越点选择不当,稳管加重不足,埋深不够,致使管道在水流的作用下断裂的事故发生。

(2) 限于穿越工程设计施工的水平,还存在象南京“长江天堑”的河段,油气管道没有过江。

(3) 穿越工程设计中,设计参数选用随意性较大,各种管身结构、稳管方式以及护岸方法的定型化、系列化工作做得还不够。

(4) 与国内外高水平的设计工作相比差距还大。例如,上海市基础公司最近采用顶管施工法,建成直径为2.6m、长达581m的穿越管道,据国家建工总局技术鉴定认为已具国际水平。

2. 今后发展

为促进我国油气管道水下穿越工程设计工作的发展,应在已有的大量工作的基础上不断总结经验教训。下面提出两点建议,供今后工作参考。

(1) 按设计程序办事,重视穿越工程可行性的研究。只有按设计程序办事,才能弄清穿越河段水文、地质情况,认识河床演变的特征或规律,选好穿越点,确定合理的管身结构、稳管和敷设方法,才能做出切合实际的经过技术经济论证的最佳(或满意)的工程设计。尤其是大中河流的穿越工程应该这样。反之,不按设计程序办事,忽视基础资料收集和技术经济论证,或片面强调某一因素(如战备)以穿为主,或为提高穿越工程的可靠性不惜投资的作法,都将给国家造成很大损失。

(2) 加强实验研究 当前尤应集中力量开发以下工作:

- a. 穿越管段特性的研究;
- b. 河床演变规律的认识;
- c. 各种稳管措施(如混凝土加重块、稳管机械锚等等)的研究和系列设计;
- d. 适应各种河床水文、地质条件的各种勘察设计手段和施工维护方法的研究和机具的设计,如挖沟犁、无沟埋设法等等。

过去,许多实验研究都是应急结合工程施工进行的。虽然当时为解决工程技术问题取得一些成绩,但因缺乏充分准备,没有室内和小型实验研究,不仅耗时费资,影响工程进度和可靠性;而且试验研究受生产影响,工程完实验结束,实验半途而废不出成果。这种情况是应引以为戒的。

大型河流穿越施工技术综述

陈国彬

(中国石油天然气总公司管道局)

大型河流穿越是长输管道建设的关键工程,一般情况下它将控制管线投产的工期,这些工程投资大、技术复杂、质量要求高、需用的设备器材多、容易发生各种意外事故,稍有不慎将给国家造成重大损失。所以,必须严格按基建程序办事,按设计文件和施工技术规范施工,认真编制和执行施工组织设计,要多从坏处着想,精心设计,精心施工,才能保证工程的顺利进行。

我国长输管道大型河流穿越工程简况列于附表。本文拟就这些穿越工程在实际施工中遇到的一些施工技术问题综述如下。

一、穿越管体结构

我们常用的复壁管结构中,钢套管管径一般比输油管大两级,管体结构牢固,如图1。这种复壁管结构有利于施工,吊装和牵引都方便可靠。但在施工中曾发生过如下问题。

1. 复壁管的油管被外压挤变形

套管和输油(气)管之间的环形空间在压注水泥浆时,因其压注水泥压力超过了油(气)管的允许外压值,致使油(气)管被外压挤扁。

如铁大线熊岳河和中沧线北运河穿越就因施工中忽视了在油(气)管内注水打压这个问题,造成内管变形,使清管球无法通过,不得不返工。庆铁线清河穿越投产8年,1982年通清管器时也出现卡堵(在清河穿越部位),被迫重新穿越清河,将原穿越管段报废,割开管线取出卡堵的清管器。究其原因,也是当初往复壁管环形空间压注水泥时造成的。

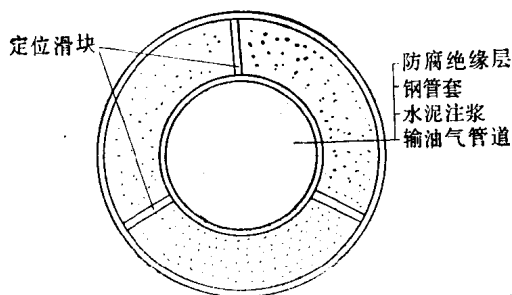


图1 穿越复壁管结构示意图

2. 复壁管内外不同心

复壁管的内外管应同心,它是靠每隔10m左右安装的三个滑块定位的,如图1和3。但在设计和施工中都容易忽视这些细节,如形状不一的定位滑块使其定位效果不够稳定;焊接不够牢固,常使定位滑块倾倒,造成复壁管的内外不同心。

3. 复壁管内环形空间水泥浆未注满

环形空间的空气没有排净,或因浇注水泥浆的压力不够,常造成环形空间局部中空。

国外的穿越工程一般不采用复壁管结构,而是选用强度和弹性较好的钢管,将管的壁厚加大若干毫米,再加上加重块。我国湖北红花套长江穿越的管体结构采用了混凝土连续覆盖层,如图2示,取得了成功。与复壁管相比,每公里可节省钢管465t、水泥288t、投资39.84万元。它的缺点是增加了管段的重量,使牵引工作困难,以致施工时需要安装浮筒,以减

轻负浮力。

近年来,由于节能工作的需要,为减少穿越管段热量消耗,提出增加保温层。拟用的保

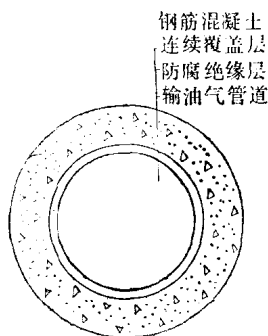


图 2 红花套穿越管体结构

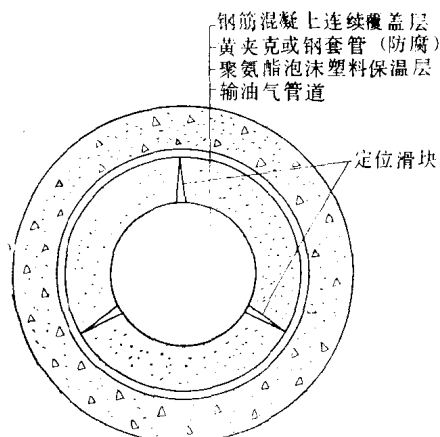


图 3 节能复合复壁层结构

温材料是聚氨酯泡沫塑料,其外包覆黄夹克或其它防腐层;或采用钢套管内注泡沫塑料保温,套管外防腐,再加混凝土连续覆盖层,如图3示。

二、水下管沟开挖

我国大型河流穿越工程大多数采用沟埋敷设,将管子埋设在河床冲刷层以下的稳定地层内。水下管沟能否达到设计深度,这始终是穿越工程质量的决定因素。现在我们采用的施工方法主要有以下几种。

1. 挖泥船为主体的施工方法

这是国外常用的施工方法,如美国1972年穿越密西西比河,同沟敷设8条直径为100~400 mm的管线。河宽762m,水深24.2m,沟底宽30.5m,沟顶宽91m,管线埋深7.6m以上。他们采用吸泥船挖沟,并将泥沙排到下游91m以外。又如苏联—保加利亚的输气管线,1973年冬穿越多瑙河。两条直径1020mm的管子长5.8km,沟深7~12m,每条管沟挖泥砂约 $100 \times 10^4 \text{ m}^3$,并将泥砂运到3km以外排放。他们用的大功率轮斗式挖泥船,昼夜施工,挖了3个月才完成挖沟工程。

国内外常用的挖泥船有抓斗式、轮斗式、铲斗式、吸扬式或绞吸式。根据不同水文地质情况、挖沟进度及质量要求情况进行选择。一般穿越中、小型河流,是在两岸使用拉铲挖沟,也可使用抓斗挖沟。穿越大型河流且地层较软时,使用吸泥方式挖沟。当地层较硬时,常采用轮斗式挖沟。

我国湖北红花套长江穿越使用了一艘3 382.35kW(4 600马力)吸扬式挖泥船、二艘625 kW(850马力)抓斗式挖泥船和一艘132.35kW(180马力)轮斗式挖泥船。大约用了3.5个月挖泥砂 $31 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。我们在嫩江和鸭绿江穿越工程中也采用了挖泥船挖沟。这种施工方法比较成熟,能够保证沟埋深度和穿越工程质量,应该大力推广。应该指出的是,这种方法不适于回淤很快的河流,否则,前面挖后面淤,效果不佳;该方法也不适于浅水河床,因为挖泥船进不去。另外,它用的船只多,造价较高,挖出的泥沙需要远运并妥善处理,所以在我国尚没有普遍采用。

2. 爆破法施工

这种穿越方法在国外多用于石质河床,在我国却广泛用于土质河床的穿越工程。如三次黄河穿越、三次辽河穿越、一次滦河穿越都是采用的爆破法,其中两次河床为卵石夹砂,五次为粉砂夹粉土。爆破法开始用于中小型河流是裸露爆破,沟深约2m左右,用药量也大。后来发展为植桩药室爆破,用打桩机将钢管桩打入河床之中,内装硝铵炸药,按穿越管段布置桩位,间距约5~6m。桩径、桩深和装药量均须由计算确定(按一次爆破成沟计算)。在以上七次大型河流穿越爆破施工中,没有发生一个瞎炮和事故。

爆破法施工的优点很多,可归纳如下:

1) 省工、省设备 例如在施工规模上仅次于长江穿越的辽河穿越,施工高峰期不过400人,施工船只仅有两艘小汽艇,一组70t漕渡门桥、两台打桩机。

2) 省投资 山东黄河穿越总结算仅264万元;宁夏黄河穿越总决算仅185万元;第三次下辽河同时穿越两组管子和一根电缆管也不过490万元。

3) 施工进度快 山东黄河穿越用了120天;宁夏黄河穿越用了45天;第三次穿越下辽河,用了120天(其中包括设计时间)。在统计的七次穿越工程中有五次是当天爆破、当天将管段牵引过江,一次3天,最不顺利的一次为8天。

应该指出的是爆破法的致命缺点是管段埋深达不到设计要求。因为爆破成沟的边坡角度大于土壤的安息角,由于流水和牵引过程中的扰动,必然使管沟的斜坡坍塌回淤。目前的施工水平,用爆破法埋深一般可达2m左右,最深可达到4m。

爆破法另一个争议较大的问题,就是地震效应对堤防和两岸建(构)筑物的影响。我们常用的式(1)是安全距离计算式,式(2)是质点震速计算式,

$$R_s = K_s \alpha \cdot \sqrt[3]{Q} \quad (1)$$

$$v = K \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^{\alpha_0} \quad (2)$$

式中 K_s ——土壤的土质系数;

α ——装药指数所决定的系数,可查表;

K ——系数,须经试爆后测算;

α_0 ——系数,须经试爆后测算;

Q ——爆破总装药量,kg;

R ——建(构)筑物距爆破中心距离,m。

我们在实践中发现用式(1)和(2)计算在工程上是偏于保守的。如在济南黄河穿越中, Q 为19 866kg,距黄河大堤675m,且在爆破线下游50m处打入三根桩都受到影响。又如宁夏黄河穿越中,当 Q 为60 500kg且在距爆破中心370m处有一条高压输电线;河南濮阳黄河穿越中,当 Q 为62 000kg且在距爆破中心600m处是堤;滦河穿越中,当 Q 为37 860kg且距爆破中心230m处就有公路大桥;第三次下辽河穿越中,当 Q 为42 300kg且距爆破中心500m处有一条水中悬空的高压输气管道。事后观察以上这些爆破中心附近的建(构)筑物均未发生问题。

3. 气举法和液化法

河床为淤泥、砂土、粉细砂的,用气举法和液化法最为适宜。

气举法就是先将穿越管段牵引过江,使用气举船上的两排气举泵(每个气举泵房旁设两个射水嘴),分别从管段两侧吸出泥砂排走,使管段逐渐下沉直至设计埋深为止。气举船的

长度、气举泵数量、空压机和水泵的配备均需由计算确定。每次下沉以2m为宜,不要超过管子设计要求的曲率半径。胜利油田在黄河入海段用气举法穿越的小口径管道有8条之多。气举法的优点是不怕回淤,工期短、省投资;缺点是埋深浅,不宜用于粘土或较硬的河床。济南黄河穿越就是因为遇到了粘土层的河床,才确定先爆破,牵引管段过河后再用气举法沉管的。

液化法与气举法基本相似,只是用射水泵从管段两侧将泥砂冲开并不吸出排走,使之成泥砂浆液化状态,管段随之下沉。因此穿越管段应有足够的配重,使其密度大于液化砂浆的密度。我国济南某厂就曾用这种方法敷设过4根 $\phi 168 \times 9$ mm的废渣管道过黄河,他们还在管下增加了若干台振捣器,使管子沉入河床更为顺利,穿越取得了满意效果。

国外在70年代用气举法和液化法曾多次穿越过大中型河流。每次气举的深度约为管径的3倍,每天的施工进度为100~200m,这要由管径的大小、绕曲应力和河床地质状况来确定。美国的“海鼠式”和日本的“浜中式”装置,就是利用高压水泵、喷嘴及切割器开沟,用砂泵将液化砂浆吸出,迫使管子下沉的。如果埋设较深,一次不够,可重复进行直至达到设计深度。

4. 挖沟犁法施工

美国布朗公司曾用若干种重型挖沟犁,以大功率动力牵引,进行海底管沟开挖。这种方法也可以用于穿越河流,但挖沟的深度一般在2m左右。有的还须针对不同水文地质情况和穿越要求,设计制造专门的挖沟犁。

三、穿越管段的就位

大型河流穿越管段的就位常用滚管、浮拖、底拖三种施工方法。滚管下沟只有在滩地或截水坝上组装焊接才有可能。1976年滦河穿越就是将穿越管分为三段:中段有水流牵引就位,两岸滩地滚管下沟,然后碰两道死口,将整个穿越管段连接在一起。1983年再穿滦河,筑坝截流大开挖,采用的是滚管下沟的施工方法。

浮拖法从表面上看最简便省力,嫩江和鸭绿江使用过这种方法,它的优点是牵引力小,穿越管段浮在水面牵引过江。其缺点是很难保持管段成一条直线。在浮拖法施工中,虽然动用了多艘机动船只定位,但管段浮在河上呈蛇形,管子局部弯曲(凸向水流方向),弯曲应力太大容易损伤管子。最后,采用轨迹沉管也难以使管段准确就位。

底拖法是将要牵引过江的管段,沉入江底管沟内再进行牵引。管道局三次穿越黄河、三次穿越下辽河都是采用这种方法。红花套长江穿越也是采用底拖法。这种方法须事先确定发送方式和牵引设备、计算管段总重量、起动时的牵引力、进入水中的浮力、因流速产生的上浮力和水平推力,最后要使管子在水中获得一定的负浮力,才能使整个管段沉入河底并沿管沟牵引过江。如负浮力太大,则需用牵引力太大,应加浮筒以减少负浮力;如负浮力太小,管段容易浮出沟外或产生水平位移,应增强配重,加厚混凝土覆盖层或管内注水等措施。实践证明,底拖法非常平稳,安全可靠。管段基本上只受拉力,受河流自然条件影响和对通航的影响也最小。所以,本文着重探讨底拖法穿越施工的有关问题。

1. 管段发送

通常底拖法管段发送是用水力发送、小轨道平车发送和辊轮发送三种方法。

1) 水力发送 就是在发送岸河滩上顺河里管沟方向挖一条发送沟,发送时将水引入

沟内,将管段吊入发送沟内,牵引时管段顺发送沟进入河里的管沟。此方法施工简单,但沟里的水位不易控制。有时沟里的水太浅,负浮力较大,起动困难。

2) 小轨道平车发送 就是在发送岸上顺河里的管沟方向铺设一条小轨道,每10m左右安置一辆小平车,将焊好的管段吊放在小平车上,适当稳固。牵引管段时,小平车滚动前进,到岸边后平车从小平车回收坑里将车吊出坑外。这种方法的优点是起动牵引力小,并可多次利用,较为经济。但小平车的载重量应经过详细计算,以防止将轮子或轮轴压坏。

3) 辊轮发送 就是在发送岸安装一条辊轮发送道,每10m左右设一对辊轮,穿越管段在辊轮发送道上牵引前进。为防止防腐层损坏,宜选用有弹性的辊轮。

2. 牵引设施

穿越施工习惯的作法是在发送道对岸(顺河里管沟方向)修一条牵引路,其宽度按拖拉机群的行数(牵引主绳数)确定。牵引路长度为穿越管段的全长或半长加拖拉机群的长度。

牵引动力配备(即拖拉机型号、台数)是根据起动牵引力来决定。为保证拖拉机群充分发挥牵引力,牵引路的路基必须坚实,起动段尤其应加强,防止打滑。

为说明问题,现举出两例来说明。1979年红花套长江穿越一条 $\phi 1020\text{mm}$ 的输气管线,穿越段长1145m,管段总重1632t(包括混凝土连续覆盖层重量),计算起动牵引力225.9t,选用D-150和D-80拖拉机各8台。用钢轨平车发送,发送道长1070m,牵引路长706m(中间倒绳一次),路宽28m(可以四组拖拉机并行)。仅此两项费用达281.8万元。1981年穿越下辽河,同沟穿越2条管线($\phi 720$ 油管外套 $\phi 1020$ 套管、 $\phi 355$ 油管外套 $\phi 529$ 套管)及一条 $\phi 108$ 的电缆管,总重1130t。计算起动牵引力263.5t,计划使用15台拖拉机(实际使用21台)。采用水力发送,发送沟长为850m,牵引路长450m(中间倒一次绳),路宽26m(可容三组拖拉机并行)。仅此两项费用达58万元。

美国穿越密西西比河、英国穿越提兹河、苏联穿越额尔齐斯河、多瑙河等,都是采用80~200t的卷扬机作牵引动力的,可以大量节省牵引路工程费用和拖拉机群的设备费。

3. 发送钢丝绳系统

在穿越过程中,这部分是最容易出问题的重要环节。习惯的作法是用机动船只带较细的钢丝绳过江,然后在对岸用拖拉机拖细绳带粗绳过江,一级比一级加粗,直到将主绳牵引过江,最后用主绳牵引穿越管段。如上前提到的1979年红花套长江穿越,原计划用轮渡送一条 $\phi 21\text{mm}$ 的钢丝绳过江,带两条 $\phi 28\text{mm}$ 的钢丝绳,再依次带两条 $\phi 34$ 、 $\phi 52\text{mm}$ 钢丝绳过江,再用两条 $\phi 52\text{mm}$ 的钢丝绳牵引清沟爬犁并带四条 $\phi 65\text{mm}$ 的主牵引绳,最后用这四条主绳牵引穿越管段。但在进行第二步时 $\phi 21\text{mm}$ 的钢丝绳断了。中间改变方案,用轮渡送一条 $\phi 34\text{mm}$ 钢丝绳过江,带两条 $\phi 52\text{mm}$ 钢丝绳,但这两条钢丝绳在江中绞在一起(拖出后检查竟绞绕了127个卷)。后将绳子放松,分别再拖过三条 $\phi 52\text{mm}$ 的钢丝绳,用它们牵引清沟爬犁带四条 $\phi 65\text{mm}$ 牵引主绳过江,最后将穿越管段牵引过江,前后用了近6天的时间。又如下辽河穿越最初用两个小汽艇各带一条 $\phi 16\text{mm}$ 钢丝绳过河,其后各带一条 $\phi 24\text{mm}$ 钢丝绳,各自进行顺利,总共不到1小时。第三步用这两根 $\phi 24\text{mm}$ 钢丝绳各带一条 $\phi 52\text{mm}$ 的钢丝绳,虽然安全系数为3.7,但先后断了六次,整整耽误了三天,才换上 $\phi 38\text{mm}$ 的钢丝绳把 $\phi 52\text{mm}$ 的钢丝绳牵引过河。以后由两根 $\phi 52\text{mm}$ 钢丝绳牵引清沟爬犁并带上三根 $\phi 65\text{mm}$ 的主牵引绳过河,最后用这三根主绳牵引整个管段过河。

我们在发送钢丝绳的过程中,几乎每次穿越工程都要遇到挫折,我们主要的经验教训是以下几点:

1) 钢丝绳要放劲 牵引用钢丝绳无论直径粗细牵引用力前都应放劲,不得打结,不得绕卷。按送绳顺序平直地铺放在发送道旁,下垫枕木,严禁拖拉机碾压或硬弯硬伤。

2) 钢丝绳接头附件要加护套 所有卡环及八字环(粗绳)接头处均应加设棱形护套,以减少钢丝绳入土后的阻力。

3) 防止主绳互相绞绕 清沟爬犁后带的牵引主绳要防止绞绕在一起。为此在每根主绳的联接点处安装带轴承的旋转器,使每根主绳均可自行旋转松劲。

4) 第一根钢丝绳必须位置正确 牵引用的第一条钢丝绳正确进入管沟很重要,这关系到后面各级钢丝绳都处在正确的轨道中。否则,偏斜的钢丝绳很难纠正偏斜的轨道。

穿越管段过了河流之后,还有许多工作要做,如管内注水、试压、环形空间注水泥浆及压石笼或其它稳管措施、两岸阀室安装和管线联接、埋设有关标桩、抛锚警告牌,以及清理现场等等。由于这些工作属于一般施工作业,这里不多赘述。

四、管道从河床下穿越

1. 隧道穿越

我国70年代初建设东北输油管道时,曾在抚顺市和沈阳市两次使用隧道成功地穿越了浑河。其隧道长度分别为714和1140m。鲁沪输油管道原拟在南京用小导坑方案搞隧道过江。虽然因投资等原因没有实现,但在技术上是完全可行的。隧道穿越的主要优点是便于管理和维修检查,并可同时或预留多条穿越管道位置。它的缺点是投资大、工期长。

2. 曲线顶管河床下穿越

70年代,胜利油田穿越黄河下游,采用过曲线顶管法。该方法是机械顶进、水力切割、泥浆返回并可在地面控制顶进方向。他们先后穿越了 $\phi 219$ 和 $\phi 273$ mm的两条管段,其长度分别为474和437m。这种方法投资省、进度快,但方向控制装置不够完善,出土点误差较大,尚需进一步完善才能推广。

3. 水平顶管河床下穿越

上海基础公司在70年代后期发展了长距离水平顶管施工方法。顶进钢管的管径可以从 $\phi 1200$ 至 $\phi 3000$ mm,长度从十几米到数百米。规模较大的一次是80年代初穿越浙江的甬江,顶进钢管直径 $\phi 2600$ mm,长582m,终端偏差仅为 $\pm 0.3 \sim 0.6$ cm,达到国内外先进水平。使用的主要设备有三段双绞工具管和中继环。这项新技术的技术水平高,但工程成本较高、工期长,且还适应硬质河床。该法在输油(气)管道穿越中尚没使用过。

4. 定向钻穿越

1972年美国首次用定向钻穿越圣华金河,管径小,长度仅有198m。十几年来该项技术有了较快发展。里丁·贝茨公司用定向钻穿越了一百多条河流(包括密西西比河),最大穿越长度达1300m。贝克尔公司也用定向钻穿越了三十几条河流,并声称穿越长度可从91.4到1524m;管径可从 $\phi 50.8$ 到 $\phi 1524$ mm。我国从美国里丁·贝茨公司引进了一套大型定向钻机,其推力为454t。1986年穿越了黄河,4月16日开始,5月9日穿越管段回拖完毕。穿越管道直径为 $\phi 406 \times 8$ mm的钢管,其长度为1302.78m,埋深21m,出土点的误差纵向为-1.06m,横向为+1.34m,均小于允许误差(1%穿越长)。这项穿越技术的优点十分突出,现归纳为6点。

(1) 埋深大。完全符合设计埋深要求。

(2) 工期快。这项技术穿越黄河只用了24天(包括故障处理)。

我国主要江河长输管

序号	管线及穿越河流名称	穿越管长度 (m)	穿越管径 (mm)	输送介质	河床地质情况	实际埋深 (m)
1.	庆铁复线嫩江穿越	500	$\phi 830 \times 16$ 套 $\phi 720 \times 9$	原油	淤泥、亚粘土 夹细砂层, 最大 水深8~13m	
2.	中朝友谊管线鸭 绿江穿越	610	$\phi 325$ 及 $\phi 219$	原油	河卵石夹砂, 水深6m	4~6
3.	辽河锦西管线下辽 河穿越	500	$\phi 529 \times 8$ 套 $\phi 426 \times 8$	原油	细砂、粉砂夹 粘土, 水深3~ 6m	2.3~4.8
4.	辽河锦西管线下辽 河穿越	500	$\phi 529 \times 8$ 套 $\phi 426 \times 8$	原油	细砂、粉砂夹 粘土, 水深3~ 6m	2.0~4.5
5.	鲁宁线济南黄河穿 越	664	$\phi 830 \times 12$ 套 $\phi 720 \times 9$	原油	粉砂、粘土亚 粘土	1.4~2.7
6.	秦京线滦河穿越	1000	$\phi 529 \times 8$ 套 $\phi 426 \times 7$	原油	河卵石夹砂, 最大水深为3.7m	0~3.0
7.	鲁宁线黄河穿越	1178	$\phi 529 \times 8$ 套 $\phi 377 \times 7$	原油	河卵石夹砂, 水深3.5m	1.5~3.5
8.	川汉输气管线红花 套长江穿越	1105	$\phi 1020 \times 20.6$ 混凝土覆盖层	天然气	泥砂、卵石夹 砂, 最大水深 17m	4~9
9.	欢兴管线, 下辽河 穿越	800	$\phi 1020$ 套 $\phi 720$, $\phi 529$ 套 $\phi 355$ 外加 $\phi 108$ 电缆管	伴生气	细砂、粉砂、 少量亚粘土	0~3
10.	中开线, 濮阳黄河 穿越	(2444) 950	$\phi 529 \times 7$ 套 $\phi 377 \times 7$	天然气	细砂、粉砂, 水深为4~6m	0~4
11.	中开线, 黄河穿越 复线	1300	$\phi 406.4 \times 8$	天然气	细砂、粉砂, 水深为4~6m	22

道穿越工程概况

管沟施工方式	管道发送就位方式	稳管方式	施工工期	造价(万元)	施工单位
用两艘抓扬式一艘吸扬式挖泥船挖沟,土方量 $5 \times 10^4 \text{m}^3$ 沟底至水面为13.5m	用三艘拖轮浮拖,定位注水沉管,用“等角沉管法”使管子沉入管沟	复壁环形空间注水泥浆	1973年 8~10月		管道二公司,东北八三指挥部
用链斗式挖泥船开挖	浮运过江,六艘拖轮定位,注水,轨道沉管	复壁环形空间注水泥浆	1974年 3~4月		东北八三指挥部,管道一公司
一次爆破成沟,长365m,总药量20.8t,采用100t平板船	用底拖法、小钢轨发送,对岸用5台红旗100拖拉机牵引(一台备用)	复壁环形空间注水泥浆	1974年 9月25日~10月1日		管道一公司
一次爆破成沟,长425m,总药量21t,用50t门桥施工	用底拖法,小钢轨和水力联合发送,对岸用3台D80拖拉机牵引	复壁环形空间注水泥浆	1975年 5月15日~6月1日		管道一公司
一次爆破成沟,总药量为19.866t,部分辅以气举沉管	用底拖法,小钢轨平车发送,计算牵引力为45t,主牵引绳为 $2 \times \phi 37 \text{mm}$,对岸用2台D60和4台D80牵引	复壁环形空间注水泥浆	1976年 5月	264	管道一公司
一次爆破成沟,长870m,总药量37.86t	中段373m采用底拖法,牵引力39t,用2根 $\phi 37 \text{mm}$ 主绳牵引,两岸共497m,滚管下沟,在沟下碰两处死口	复壁管注浆并加稳管桩	1976年 9月		管道一公司
一次爆破成沟,长863m,总药量60.5t	用底拖法,水力发送牵引力65.4t,用2根 $\phi 40 \text{mm}$ 主绳牵引,对岸4台D80,4台D150拖拉机	复壁管注水泥浆	1978年 4月	185	管道一公司
用一艘3382.35kW吸扬式挖泥船,两艘25kW抓扬式一艘链斗式挖泥船,挖土方量 $31 \times 10^4 \text{m}^3$	用底拖法钢轨平车发送,牵引力225.9t,4根 $\phi 65 \text{mm}$ 主绳,对岸D150、D80拖拉机8台	混凝土连续复盖层厚80mm	1979年 2月	1691	江汉油田
一次爆破成沟、总药量42.34t,最大水深6m	用底拖法,水力发送,牵引力263.5t,三根 $\phi 65 \text{mm}$ 主绳,对岸拖拉机21台,牵引过河用3天(三组管线同时过河)	复壁管注水泥浆	1981年 5月	490	管道一公司
一次爆破成沟、长950m,总药量60.85t,再加气举沉管,另外1994m用井点降水法开挖管沟	用底拖法、小轨道发送牵引力58.9t,二根 $\phi 52 \text{mm}$ 主绳,对岸用D150、D80、D60共14台拖拉机牵引	复壁管注水泥浆钢丝绳缀块	1984年 5月 (连两岸跨越1070)	865	管道一公司
采用美国里丁、贝茨公司定向钻穿越技术、钢管用环氧粉末喷涂防腐。先定向钻孔,计算机控制方向。对岸出土后,回拖输气管线			1986年 4.15~5.12	517	管道三公司

- (3) 省人工。整个穿越工程包括焊接、防腐补口等人员只有90人。
- (4) 临时占地少。钻机安置端不过两亩左右。
- (5) 对自然环境和河道通航无影响。
- (6) 造价比较省。这条穿越工程费用为517万元（包括了部分外汇支出）。

五、结 束 语

综上所述，归纳如下。

1. 在穿越河流的工程中应大力推广从美国引进的定向钻技术

在运用这项技术的过程中，要加强消化吸收引进技术并作好国内配套工作。国内应加速研制小型定向钻技术，用于中小河流的穿越工程。导向纠偏可以采用国外技术。

2. 管体结构方面

在管体结构方面应逐步用混凝土连续覆盖层代替复壁管结构。但要求将管壁适当加厚些。为节能方面的需要，还应在原油管道穿越管段上采用硬质泡沫塑料保温。

3. 管沟开挖方面

对于软质河床的穿越工程宜采用气举法或液化沉管法施工，亦可用吸泥船开挖管沟，滩地可采用井点降水法进行开挖。砂卵石、粘土等硬质河床宜用各种形式的挖泥船开挖。石质河床宜用爆破法开挖。爆破法亦可用于其它土质的河床。一次爆破成沟，但须预留回淤深度，宜用在埋深较浅的穿越工程。

4. 管段就位方面

管段就位的发送方法应因地制宜。牵引方式应采用大型卷扬机（100t以上）而不用拖拉机群的土办法。建议引进1~2台水下推土机用于清沟或送牵引钢丝绳。

5. 稳管措施方面

如果由于各种原因穿越管段埋深达不到安全位置时，宜采用稳管桩或压石笼等辅助措施，也可以保证管道安全运行。

6. 慎重决策，合理选用方案

隧道穿越和水平顶管在技术上是可靠的，但由于投资大、工期长，应慎重决策。穿越工程应该有多种比较方案，权衡利弊才能找出最佳方案。

7. 重视基础工作

今后应大力加强穿越工程的测试工作，充实必要的测试仪表和测试手段；培养专门的管道穿越的技术人才和队伍；收集分析各种测试数据，使管道穿越的设计和施工水平不断提高。