

CSTT

非开挖技术

China Trenchless Technology

1

2011

(总第六期)

ISSN 2077-6519/NR 106/1

主办：中国地质学会非开挖技术专业委员会



德威土行孙工程机械（北京）有限公司

DW/TXS CONSTRUCTION EQUIPMENT (BEI JING) Co., Ltd.



ISSN 2077-6519



9 772077 651003

以人为本 · 优质高效 · 持续改进 · 顾客满意

源于数十年的经验……

光辉炫现——F5

- 五种可选工作频率加强了地下抗干扰能力
- 双频传感器可在地下改变工作频率
- 可与SST地磁系统相兼容
- 具备有线功能
- 内置钻进数据实时记录和压力监测功能
- 偏轨定位及远程指引功能



行业内首台彩屏机，震撼的三维信息同屏显示
四方位拨动按钮使操作更加简便



www.digitrak.com

DCI
Digital Control Inc.
Made in U.S.A

精诚所至 步步领先

Seek for perfection Strive for leading

地龍机械

产 品 型 号

DFM1504	微型坑道式钻机
DF2810	分体式钻机
DF5015	分体式钻机
DL150	履带式钻机
DL280	履带式钻机
DL320	履带式钻机
DDL550	履带式钻机
DDL280	履带式钻机
DDL380	履带式钻机
DDL800	履带式钻机
DDL4000	履带式大型整体钻机

南京地龙非开挖工程技术有限公司，一个十几年来始终如一的专注于非开挖技术设备研究与开发的专业公司，在1998年推出“地龙”定向钻机。经历十多年的市场验证，“形秀而性灵，气柔而质刚”——地龙品牌所蕴含的产品理念和服务理念，赢得海内外越来越多的用户的信赖和喜爱。

依靠十多年的技术与经验积累，针对非开挖用户的需求，地龙钻机已形成DFM（微型）、DF（分体型）、DL（实用型）、DDL（高端型）四大系列十多个品种强大产品阵容，小到4吨，大到400吨，满足不同类型客户的需求。

外设机构：

华北销售服务中心（华北分公司）

华南销售服务中心（华南分公司）

俄罗斯销售服务中心（俄罗斯分公司）



地龍
DILONG

南京地龙非开挖工程技术有限公司

Nanjing DL No-dig Engineering Co., LTD.

总部地址：南京市溧水县经济开发区团山东路19号

联系电话：18936869876

传

真：025-52609180

公司邮箱：trade@njdl.com

网

址：www.njdl.com

24 小时 400-6655-025
服务销售热线



凯通钻具（集团）有限公司

CASTON DRILL TOOLS (GROUP) CO.,LTD

做优质钻具 创国际品牌

Make the high-quality drilling pipe Creat an international brand

凯通钻具（集团）有限公司是大型钻具制造销售企业。公司下设北京凯通卓尔钻具有限公司、南京凯通钻具有限公司、无锡凯通钻具有限公司、张家口凯通钻具有限公司、宣化现代采掘机械有限公司。是一家集钻机钻具设计、制造为一体的高科技企业。拥有国内最先进的钻杆生产线。主要经营范围： $\phi 42\text{mm}$ - $\phi 194\text{mm}$ 各种型号的石油钻杆，非开挖钻杆，整体钻杆，地质钻杆，锚固钻杆，潜孔钻杆，以及导向钻头，分动器，回扩头，变径接头等非开挖专用钻具。欢迎您来电垂询，莅临参观。我们期待与您共创美好未来！

地址：北京市昌平区东关昌崔路201号天运通大厦四层
联系电话：010-80116908
传真：010-80116260
网址：www.kt-zj.com

深圳市钻通工程机械股份有限公司

诚信做人，踏实做事

企业简介

深圳钻通公司是专业从事非开挖技术研究开发的民营科技企业，由国内最早从事非开挖研究的一批专家于2000年8月成立，注册资金7000万元，公司专业生产水平定向钻机、钻杆等，钻机回拖力从8吨到600吨不等。同时代理世界知名品牌定位仪及探测仪。公司有多名长期从事非开挖技术研究的教授级高工和高级工程师，并拥有一支经验丰富的施工队伍和一批专业熟练的操作人员，他们能随时为您排忧解难！

深圳钻通成立以来，本着“诚信做人，踏实做事”的企业宗旨，为社会做出了积极的贡献

今天，我公司已是国内生产规模以及销售量最大的水平定向钻机生产厂，同时也是唯一能自行生产整体锻造钻杆的钻机厂家。为适应市场的需求，我公司先后在江苏无锡和上海成立了“无锡市钻通工程机械有限公司”及“上海圳通非开挖技术有限公司”，为华东及华北的客户带来了快速便捷的服务。我公司已通过ISO9001认证，也通过了欧盟的CE认证。资信等级为“AAA”。我公司是深圳市民营领军企业。

目前，我公司生产的水平定向钻机已走出国门，远销韩国、澳大利亚、俄罗斯、中东以及东南亚地区等30多个国家。

竭诚欢迎各位新老客户莅临我司指导工作！



ZT12DF



月蚀仪器



ZT20



钻通300吨钻机

钻通400吨钻机在南昌工地一举穿越1219钢管960米



地址：深圳市宝安区沙井镇步涌工业区D区F栋 邮编：51810 电话：0577-29546175 传真：0755-29546072

手机：13378656168 13506174285 13008897261 E-Mail: drilltowang@gmail.com 网址：www.drillto.com.cn

无锡市钻通工程机械有限公司 地址：无锡市胡埭工业园区北区刘塘路1号 邮编：214161 电话：0510-85582708、85572370

上海圳通非开挖技术有限公司 地址：上海市南汇区新坦瓦公路1678号 邮编：201321 电话：021-58151800

非开挖技术

China Trenchless Technology

(双月刊)
2011年2月 第1期
(总第六期)

出版: 香港新闻出版社
总编辑: 古广祥
主办: 中国地质学会非开挖技术专业委员会
编辑: 《非开挖技术》杂志社
主编: 朱文鉴
副主编: 颜纯文
编辑: 张二海
英文编辑: 胡远彪
编辑部信箱: ctt@cstt.org, zhwji@cstt.org
承办: 北京尚乾科技发展有限公司
发行范围: 全球公开发刊
刊号: ISSN: 2077-6519/NR 106/1
印刷: 廊坊市兰新雅彩印有限公司
社址: 香港元朗青山道99-109号元朗贸易中心24字楼全层
咨询电话: 00852-36423101
期刊地址: 北京市百万庄大街26号, 100037
电话/传真: 010-68992605
网址: www.cstt.org

《非开挖技术》 编辑委员会

主任: 王 达
副主任: 颜纯文、乌效鸣
编委: 陈铁励、陈尉航
陈 勇、傅东旭
冯占义、高 鹏
胡远彪、贾传岭
姜春桥、姜志广
凯 越、李红民
李 山、马保松
马福海、潘龙祥
强 兵、汤泓华
王 达、王洪玲
王 鹏、王水超
王明岐、王兆铨
乌效鸣、武志国
徐效华、颜纯文
叶建良、尹刚乾
余为民、朱文鉴



TRENCHLESS TECH WUHAN 2011

第十五届中国国际
非开挖技术研讨会
暨展览会（第十五
届协会学术年会）
武汉国际会展中心
4.16~4.17 2011
Wuhan International
Convention & Exhibition Center
www.cstt.org

主办单位
中国地质学会非开挖技术专业委员会

支持单位
中国科学技术协会
国土资源部国际合作与科技司
中国地质调查局
中国地质学会
中国地质大学
《非开挖技术》杂志

承办单位
上海科熙文化交流有限公司

Co-Sponsored by
China Society for Trenchless Technology

Supported by
China Association for Science and Technology
Department of Science and International Cooperation, The Ministry of Land and Resources, P.R.C
China Geological Survey
Geological Society of China
China University of Geosciences
'Trenchless Technology' Magazine

Hosted by
Shanghai Kexi Cultural Exchange Co., Ltd.

【水平定向钻进】

ASTM F1962—定向钻进铺设聚乙烯管道设计指南简介
HDD穿越奥斯汀湖铺设球墨铸铁管的回拖力计算

HDD铺设24英寸可熔接PVC管道创新纪录

一项大直径PE管道穿越铺设工程的经验教训
针对穿越重要构筑物时减少潜在水压裂隙的水平定向钻进设计

Larry J. Petroff 著 苏波译 (1)

Brian Dorwart, Ralph Carpenter 著

刘振新 译 (8)

Jerry Shae Jeremy King Richard(Bo)

Botteicher 著 张明明 译 (15)

Jey K. Jeyapalan 著 周小龙 译 (20)

Andrew E. Sparks 等著 田恒星 译 (25)

【微型隧道与顶管】

新型直推铺管施工技术
通向大西洋的微型隧道

新型HK750PT推管机用于阿姆河的穿越工程

Alexander Mallaney 著 张二海 译 (29)

Cheng Chin Keong Guido Meier 著

张二海 译 (34)

J. Himmerich A. Großmann

M. Lubberger J. Eising 著 程国亮 译 (41)

【管线修复与替换】

一种新型的高压管道自我监控内部加固修复技术

Steve Catha Kyle Bethel 等著

石朋飞 译 (46)

【其它】

利用声脉冲进行管道评价

Peter Paulson Vinh Nguyen 著

许晓琳 译 (51)

本期刊登广告商目录

(14)

【信息】

《城镇燃气管道非开挖修复更新工程技术规程》(19); 威猛V-Rod钻杆(24); 上海独创非开挖新工艺(45); 帝斯曼公司在中国兴建世界级复合材料树脂工厂(50)

CONTENTS

Horizontal Directional Drilling

Directional Drilling Design with ASTM F1962: A Decade of Success	Larry J. Petroff (1)
HDD Crossing of Lake Austin Generates Data and New Model for Calculating Pull Force for Ductile Iron Pipe	Brian Dorwart Ralph Carpenter (8)
Demanding HDD Installation of Fusible 24-Inch PVC Pipe Sets New Record	Jerry Shae Jeremy King Richard (Bo) Botteicher (15)
Lessons from an HDD Project That Was Awarded	Jey K. Jeyapalan (20)
Targeted HDD Design Under Critical Structures to Reduce the Potential for Hydraulic Fracture	Andrew E. Sparks Alan P. Snider David P. Sauls (25)

Microtunnelling & Pipejacking

The Innovative 'Direct Pipe' Method – Case Histories	Alexander Mallaney (29)
Micro-Tunnelling Towards The Atlantic Ocean	Cheng Chin Keong Guido Meier (34)
Crossing the River Amu Darya along 1,800 Metres with a 56" High-pressure Gas Pipling Using the HDD Method	J. Himmerich A. Gröbmann M. Lubberger J. Eising (41)

Pipe Renovation & Replacement

Rehabilitation of High Pressure Pipelines by an Innovative New Self Monitoring Internal Reinforcement Technology	Steve Catha1 Kyle Bethel etc. (46)
---	------------------------------------

Others

Pipe Wall Evaluation Using Acoustic Pulses	Peter Paulson Vinh Nguyen(51)
--	-------------------------------

Advertiser

.....	(14)
-------	------

Domestic & World News

.....	(19;24;45;50)
-------	---------------

ASTM F1962—定向钻进铺设聚乙烯管道设计指南简介

Larry J. Petroff 著 苏波译

摘要:由美国材料与实验协会(ASTM)提出的 F1962 设计指南——“大型水平定向钻进穿越工程铺设聚乙烯管道设计指南”已成功应用十年,成绩斐然。

关键词:定向钻进、管道铺设、聚乙烯管、设计规范

十年前,美国材料实验协会(ASTM)F1962 设计指南——“大型水平定向钻进穿越工程铺设聚乙烯管道设计指南”首次出版。该规范及其附录文件的内容涵盖了设计定向钻进铺设聚乙烯管道工程中的绝大多数关键因素,它不仅是一份规范,更是一个设计指导性文件。从其首次出版以来,采用定向钻进技术铺设聚乙烯管道的应用显著增长,这在市政管线工程方面尤为突出。F1962 已被证明能可靠地指导和帮助设计工程师更好地理解定向钻进铺设聚乙烯管道的技术细节。

设计定向钻进穿越工程时,重温一下 F1962 设计指南是十分必要的。它能指导设计人员如何计算拖管过程中作用于管道上的各种阻力,以及这些阻力对管道有何影响。更重要的是,它为一些设计中长期受到忽视的过程提供了计算公式。

定向钻进所铺管道并不是恰好嵌入到已有的孔洞中,而是初期阶段处于液体中,铺设完成一段时间后,方才与周围土体结合在一起。哪些载荷作用在管道上?管道受载后又有哪些反应?忽视这些问题可能导致严重后果。对诸如此类的问题,F1962 中都有解答,可使读者了解它们的关键本质。对计算公式的工程应用,该指南也给出了实例,例如:深埋穿越铺设、大直径管道铺设,超长管道回拖等等。

本文将介绍该设计指南的基本概念与方法,包括那些经长期试验证实了的影响回拖力计算与附加载荷计算的各种因素。自 2000 年以来,我还发表了几篇与 F1962 相关的论文,这里也将进一步解释它们的主张,并将它们贯穿到整个设计工作中去。我的希望是:使用本文和 F1962 的工程师们能够进行更合理、更高效的设计,能够更好地对工程进行

监控,以使管道穿越工作更加安全和更加可靠。

1 聚乙烯管道与定向钻进

最初的定向钻进施工,使用的是钢质管道和一些简单的机具进行短距离的穿越铺设,那是在 20 世纪 70 年代。随着技术的发展和更小、更高效钻进设备的应用,人们发现聚乙烯管道(PE 管)也能这样穿越铺设。20 世纪 80 年代,PE 管道的铺设量迅猛增长,其应用领域涵盖了天然气管、通讯缆线套管、自来水管以及污水干管。与任何一种新技术的应用初期一样,一些钻进施工人员发现,他们的工作出了问题,出现了一些让人惊讶的后果,例如:在管道回拖结束后才看到,拖回的管道变扁了。这类情况对缺乏施工经验的钻进施工人员来说是非常典型的后果。也有这样的事例:某位钻工用一种绝对严肃的口气说道:“是的,我用的就是钻进泥浆——清水”。虽然这类事例不多,也仅限于小尺寸管道铺设的初期,但到 20 世纪 80 年代后期,这类问题显得突出了,这说明非开挖行业需要对定向钻进技术有一个更好的理解。

是什么使这一问题变得越来越重要了呢?是因为在管道铺设施工中使用了越来越多的钻机!据 Baumert 2003 年统计,各类定向钻机就已经超过了 4000 台套。北美非开挖技术协会(NASTT)、定向钻进穿越承包商协会(DCCA)以及地下工程技术协会(UCT)等几家社会团体,也率先开展了对工程师和钻进施工人员的技术培训。

1994 年,多家主要的工程承包商、管道制造商和管道工程的终端用户开始着手制定一项 ASTM 标准。

1995 年,Slavin 及其合作者编写的一部关于回拖力计算方法的著述由 Svetlik 出版发行,该书内容纳入了编制的标准草案(Slavin and Petroff, 2010)。

1999 年,ASTM F17 委员会(塑料管道专委会)批准了这份命名为 F1962 的草案,即“大型水平定向钻进穿越工程铺设聚乙烯管道设计指南”。

ASTM F1962 是一份指导性规范,它提供了一种计算在钻孔中回拖管道所需回拖力的方法,不仅能确定管道在其回拖过程中、甚至包括在其使用期限内所受到的各种外载,以及管道在这些外载作用下作出的反应。反过来,它又能帮助工程师和钻进施工人员选择确定钻机型号和管道的壁径比(管道外径与最小壁厚之比)。该指南既可用于设计计算,又可以用于教育培训,它能使不熟悉定向钻进的技术人员快捷地了解其技术关键。尽管 F1962 对设计非常有用,但它还不是一个穿越工程的标准规范,其内容还未涵盖如钻进泥浆方案设计和施工管理等全部钻进施工的细节,这些细节对工程的成败也是至关重要的。

笔者获悉,在很多工程项目中管道的选择都是基于 F1962 完成的。例如:包括多条 HDPE 管道铺设的坦帕湾水循环系统工程(STAR)。据 Wilson 报道(2005),STAR 工程需从大陆到 Davis 岛穿越航道铺设一条直径 42 英寸、壁径比 13.5 的 HDPE 管道。PBS&J 就是根据 F1962 确定的管道壁径比。壁径比在此之所以重要是因为铺管深度达 100 英尺,即在航道下约 60 英尺,穿越长度达 1340 英尺。Ken

Wilson 告诉笔者,管道回拖过程中,在钻机上测到的回拖力为 100000~250000 磅,而由 F1962 理论计算的回拖力是 163044~239970 磅。

另一项工程是在加利福尼亚州的卡尔斯巴德穿越 I-5 州际公路铺设管道。该项 HMS 工程采用定向钻进铺设了一条直径 28 英寸、壁径比 17 的 HDPE 套管,再在管内铺入一条直径 18 英寸的 PE 供水管道。它的钻孔轨迹非常独特,以小到仅 518 英尺的弯曲半径,从 I-5 公路下 30 英尺几乎是直角弯曲到高 70 英尺的小山上(Dreher and High 2001)。该工程采用 F1962 计算了套管在回拖中受到的泥浆外压和工程完成后受到的土层外压,合理地确定了套管的尺寸参数。

F1962 也用于了工程评估。德克萨斯州 Coppell 城在铺设深达 25 英尺的污水干管时,工程人员应用 F1962 证明管道的壁径比 17 最为合适,从而取代了原设计的壁径比更小、成本更高的管道。为减小施工中的回拖力和管道受到的外压,在管道回拖时,对管内注入了压载水。

根据 ASTM F1962 计算表明,HDPE 管最大回拖距离可超过一英里。有许多工程都使用了 HDPE 管,其中一些长度甚至超过了 3000 英尺。例如:在亚拉巴马州的 Mobile 就铺设了多条直径 20 英寸、壁径比 11 的管道;在圣地亚哥港有两条 3100 英尺长的由四根直径 8 英寸的 PE 管组成的管束;在佛罗里达州的 St. Augustine 的 Matanzas 河下 80 英尺深的直径 16 英寸的管道长达 3400 英尺;在南加州查尔斯



图 1 直径 54 英寸的 PE 管穿越铺设工程



图 2 直径 6 英寸和 8 英寸的 PE 管穿越铺设工程

顿的 80 英尺深、直径 18"、壁径比 11 的管道长 3500 英尺;在英国的 Kinnel 海滩有长 4,700 英尺的直径 28"、壁径比 13.6 的管道。大直径的管道工程也已有成功的实例。管径最大的要数在洛杉矶 Baton Rouge 铺设的长度 900 英尺、直径 65"、壁径比 21 的管道工程。图 1 和图 2 分别是在加利福利亚洲 Indio 实施的直径 54"、壁径比 21、长度 1400 英尺的穿越铺设工程和在印第安纳州 Fort Wayne 实施的最长 3700 英尺的多条供水管道。

2 聚乙烯(PE)管道特性

聚乙烯(PE)管道具有很多特别适合于定向钻进铺设的特性(Petroff, 2010),这些特性包括:耐腐蚀、接头可融接、柔性及韧性好。通过热融连接的 PE 管柱,其接头的抗拉强度与管道自身完全一样。PE 管的融接操作工艺已纳入公开出版的 ASTM F2620 标准。

PE 管的柔性有助于减少拉管坑的开挖量和缩短穿越距离,更有利的是,可大大减小施工操作的占地面积。根据壁径比的不同,PE 管的最小弯曲半径可达其直径的 20~42 倍。一条直径 12"、壁径比 17 的 PE 管的最小弯曲半径仅为 30 英尺。采用微型水平定向钻机在死胡同内铺设燃气入户管道都已经取得了成功。PE 管的柔性总是比铺设它的钢钻杆要好,尽管 PE 管直径远大于钢钻杆直径时也是如此。因此,当钻孔轨迹的曲率小到由钻杆弯曲半径来控制时,都可以确保 PE 管在回拖时不受损伤。

PE 管的韧性也是一个重要的性质,在施工时,其韧性可极大地减少突然撞击或操作不当的损害。受压的 PE 管在遭到突然的撞击或不经意的切割时,会发生裂纹的快速扩展。裂纹快速扩展会导致 PE 管的脆性破裂或者线性开裂。这种情况一旦发生,裂口就可能会沿着管道、甚至越过融合接头延伸至数百英尺。目前,已研发出了用于燃气输送的 HDPE 树脂管道,这种管道对裂纹的快速扩展具有很强的阻抗性。对非可燃的流体——如水的输送管道,无论是在铺设过程或是运行过程,裂纹快速扩展问题就不用担忧了。

如果要在同一条插接式接头连接的 PVC(聚氯乙烯)或 DI(球墨铸铁)管线中接入 PE 管,由于 PE 管承压后长度将缩短,会拉脱插接接头,为防止这

样的情况发生,必须在 PE 管接头处增加锚定装置或限位装置。

3 F1962 概述

具有讽刺意味的是,ASTM 最初开发 F1962 的目的是为了提高小直径公用管线和通讯管线的施工质量。这些工程通常都采用微型水平定向钻机(回拖力小于 25000 磅)施工。由于管道所受载荷很小,一般不存在抗拉问题,只有粗心的钻机才会对管道造成损伤。ASTM 本来是想同时提出小型水平定向钻进和大型水平定向钻进(100000 磅及其以上回拖力)两种设计指南。

大型水平定向钻进指南已列为 F1962 于 1999 年发布,小型水平定向钻进指南的编制工作却蹒跚不前。虽然这两种工程类型在回拖时和铺设后的数学模型都是完全相同的,但小型工程对施工前的准备和施工中的操作要求,却通常不用像大型工程那样保守。因此,任何一种小型工程的指南必须对各种不同的条件附加不同的规定,这包括导向孔钻进时的纠斜要求、小直径管道、少量的岩屑排放和回拖中需不需对管内注入压载水等等。为了解决小型水平定向钻进缺乏规范的情况,塑料管道专委会于 2010 年通过 Slavin 发布了 TR-46 准则用以指导小型水平定向钻进施工。

ASTM F1962 指南分为三个部分:(1)施工前的调查和评估;(2)施工(回拖)设计;(3)管道铺设后及运行时的受力计算,参见 Petroff (2006)。施工前的工作应包括所有的准备工作,如工程的安全与环境影响评价、现场勘查(地面及地下)、场地布置、钻孔轨迹设计和紧急情况预案,等等。施工设计应包括:回拖力计算、管道许用抗拉强度计算、孔壁坍塌对泥浆循环压力的影响计算,等等。铺管后及管道运行时的受力计算应包括:地层压力计算、环向压力计算和孔壁坍塌压力计算,等等。

4 回拖力计算

F1962 提供了一套计算回拖力的标准方法。要回拖管道,必须要克服管道与孔壁和管道与地面(或滚筒)间摩擦力、弯曲孔段中回拖管道增加的摩擦阻力(绞盘效应)、在钻井泥浆中回拖管道产生的液体阻滞力等。前几项回拖阻力可由 F1962 中的公式 8 至公式 11 计算,最后再加上液体阻滞力。这些

公式都是假定钻孔轨迹为一段直线和两段曲线上受到的摩擦力叠加计算而来。最大回拖力通常发生在管道接近出口时出现。但是,当管内充填了压载物、而且地面未使用滚筒时,最大回拖力将出现在管道入孔时,因为此时管道与地面的摩擦阻力最大,管道进孔后,反而因在孔内受到浮力抵消了部分管重。

最简单的回拖力计算形式是在直线型钻孔中回拖管道,其回拖力大小为以下三者的组合:1.管道与孔壁之间的摩擦阻力(PE 管的材料密度为 0.95,因此即使应用了压载物,也能在泥浆中上浮);2.需要拖动的尚未进入孔内的剩余长度管道的摩擦力;3.需要克服的液体阻滞力。液体阻滞力只作用在管道受泥浆压缩的管段,该作用力是由于泥浆相对管道发生流动(或管道相对与泥浆移动)所形成。

在这种情况下回拖力计算表达式如下:

$$T_c = \mu w_B L + T'_B + \Delta T \quad (1)$$

式中:

T_c —将管道拖过选定孔段的回拖力,磅

μ —管道与钻孔上部孔壁的摩擦系数

w_B —管道所受浮力与管道及其压载物(可以是任一物质)合重之差,磅/英尺

L —在选定孔段内的管道长度,英尺

T'_B —未进入选定孔段管道(无论其在地面还是在孔内)的回拖力,磅

ΔT —作用于选定孔段管道上的液体阻滞力,磅

管道通过弯曲孔段时,还要增加几个附加阻力。但在弯曲孔段回拖 HDPE 管时,新增阻力往往被忽略了,但从 F1962 中的公式 8~11 中可以看到,绞盘的倍增作用也是值得考虑的。Baumert (2005)认为,压应力区段可能存在于回拖的管头部位,在这个部位管道与钻孔之间的压力呈增高状态,也就是说,在此部位可能同时存在上升的浮力以及弯曲钻孔迫使管道向孔壁挤压的共同作用,在这些公式中,此种效应也被忽略了。

上述公式(1)非常具有指导意义,它指明了能够控制回拖力大小的主要参数。式中的第一项是孔内的摩擦阻力,其大小取决于管道与孔壁间的摩擦系数。向上的浮力使管道沿长度方向挤压孔壁的上部,这一向上力的作用就是滑动表面的正压力,它是钻井泥浆重度、管道重力、管线中是否有压载物等因素的函数。这些因素对回拖力的影响如图 3 所

示。图 3 是依据现场实测的数据(长度、深度、入射角与出射角、泥浆比重、钻孔直径等)作出的,这是一项于 2006 年在德克萨斯州 Colony 的 Lewisville 湖底实际铺设的直径 20"、壁径比 9、长度 1500 英尺的 PE 管穿越工程。施工方 TransAmerican 地下工程公司使用的是美国奥格 DD140 钻机,地层是页岩,最大穿越深度为 40 英尺,所用的扩孔钻头直径为 36",管内没有注水作为压载物,最大回拖力达到了 107000 磅,这包含了作用在钻杆、扩孔钻头以及管道上的全部回拖力。钻进操作者认为,这一回拖力似乎比平常要高得多,并将其原因归就为是页岩岩屑造成的阻力。破碎中具有的更大的附着力。钻进操作者还指出,钻进泥浆的重度为 9.8 磅/加仑。该项工程设计时采用了 F1962,其管道的许用抗拉强度(SPS)应该大于回拖力。直径 20"、壁径比 9 的 PE3608 管的 SPS 值为 159000 磅/平方英寸。图中还给出了壁径比 17 和 13.5 的 PE4710 管的 SPS 值。

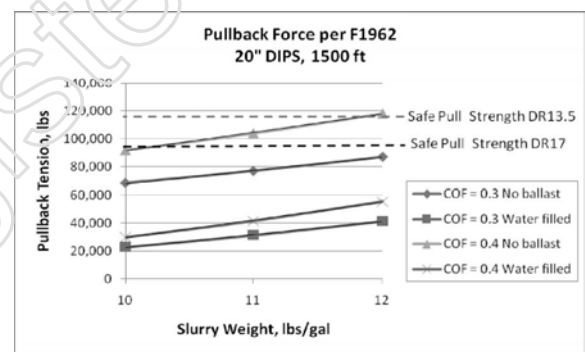


图 3 直径 20" HDPE 管的回拖力及许用抗拉强度计算

ASTM F1962 是一个非常有用的工具,能够帮助工程技术人员和钻进操作者更好地理解水平定向钻进施工工艺。例如,从图 3 可以看出,采用了注水压载管道后,可使所需的回拖力大幅减小。这是因为处于钻井泥浆中的 PE 管,受浮力作用而通常都“漂浮”在钻孔的上方。注水压载后,可大大降低管道的向上浮力,从而减小回拖的摩擦阻力。从图 3 中的回拖力大小还可看出,注水压载的管道与空管相比,回拖距离可以成倍增长。

从图 3 中还可看到泥浆重度对回拖力大小的影响。科学合理地对泥浆重度进行管控,对工程取得的成功也是一个重要的因素。在回拖过程中,泥浆重度的增加可能预示着孔内岩屑的排出效果不好,此时需要立即采取措施处理。要使泥浆变得洁净的最简单工序就是“清孔”。所谓清孔,就是使用终孔

扩孔钻头不带管道在钻孔中进行回拖而实现的。

5 F1962 可起到指导钻进施工的作用

F1962 的回拖力计算公式对钻进施工可起到良好的指导作用,这包括如何有效地排出岩屑、以保持钻孔清洁;如何正确使用 Ariaratnam(2001)推荐的泥浆重度;如何保证孔内钻井泥浆的良好循环,以及减少泥浆的漏失等。钻进操作者拥有这些完备的泥浆管控知识时,就能做好大型水平定向钻进穿越工程的技术保证。一旦泥浆质量下降,回拖力便有增长的趋势。泥浆重度增大时,情况会变得更加糟糕,泥浆将难以携带走岩屑,随后,破碎下来的岩屑将在钻孔中堆积,进而引起管道挤塞或回拖力巨增。毫无疑问,这种情形会在一些工程中出现,尤其是那些没有充分控制好泥浆的小型水平定向钻进施工中。

Baumert 等人(2003)建议,应将钻进施工的质量因素作为确定回拖力的一个参数。管道自身的强度是无法克服低水平施工操作带来的问题的。

6 关于设计参数的取值

正确应用 F1962 的技巧,还在于如何对设计参数选取适当的值,尤其是“管-地”和“管-孔”摩擦系数、泥浆重度以及液体阻滞力等的取值。为改善 F1962 的应用,查阅了目前已有的相关文献资料,并对各文献中对 F1962 的设计参数取值进行了比较。掌握这些参数的取值知识,将有助于读者更好地使用 F1962。

①摩擦系数

PE 管与地面的摩擦系数可以高达 0.5。在长距离管道回拖中,使用滚筒可以将摩擦力显著降低(可高达 80%),滚筒的摩擦系数仅为 0.1。计算孔内的摩擦阻力是非常困难的,F1962 给出的孔内的摩擦系数建议值为 0.3,在砂土地层中,F1962 给出的这个值是较为合理的。Baumert 等人(2005)认为,影响摩擦系数的因素很多,其中包括土壤的结构、泥皮的层厚、土壤的粘性以及泥浆的润滑性等等。Baumert 等人(2005)在文献中指出,对于粒状土而言,0.2-0.3 的值比较合适。然而,对粘性土就难以确定了,Baumert 的测试显示,摩擦系数为 0.08 到 0.46 之间,该值的范围较大是因为存在摩擦阻力与

附着力共同作用的情况。钻进泥浆添加剂可以有效地降低土壤的黏着力。图 3 中对页岩的摩擦值赋予了 0.3 和 0.4 两种值。岩土勘察报告中通常不会提供准确的摩擦系数,因为它是管道和岩土之间的组合特征参数。

②液体阻滞力

在回拖管道时,从孔中排出钻井液和悬浮岩屑会沿钻孔形成一个压力梯度。作用在管道上的液体阻滞力是源于管道与泥浆间的粘性剪切的结果。对于如何合理计算抽吸阻力,目前还存在较大的争议。F1962 提供的方法是假定作用在管道上的黏性阻力值等于作用在孔壁上的黏性阻力值,这是基于已知作用在孔内的液体流动压力,但是,要计算液体流动压力却是很困难的。F1962 对流动压力值所提出的建议值为 10psi。对于钢管而言,Baumert 等人(2005)采用了 PRCI 法,该方法对黏性剪切力的取值为 0.05psi。液体阻滞力是管道表面积与黏性剪切力的乘积。Baumert 等人(2005)指出,采用这种方法可能会多算出 2.5 倍的回拖力,因此建议这种计算只适用于高固相(12 磅每加仑)下的泥浆条件。Baumert 等人(2003 年)做了钢管和 HDPE 管的回拖力检测,他们发现,采用美国 ASTM F1962 的方法(简称“Driscopipe 法”)的计算值,与管道出口的实测值较为一致。Knight 和 Adelapo(2003)报导了几条直径 8~、壁径比 17 的 PE 管短距离回拖(590 英尺)情况,他们也发现,采用 PRCI 方法计算的最终的回拖力过大。他们的测试表明,管道入孔 100 英尺后,液体阻滞力是从初始的高值呈现缓慢下降的。他们还报告说,PPI 法(ASTM F1962)取摩擦系数为 0.4 至 0.5,与测试结果是相符的。尽管这些报告对液体阻滞力提供了一些看法,但最有趣的是由 Duyvestyn 最近完成的(2009 年)液体阻滞力的大量测试,他给出了修正后的计算液体阻滞力的公式。本文中式(1)里的液体阻滞力 ΔT 值,是综合了泥浆质量、土层性质和泵送特性等选取的。Slavin 和 Petroff(2010)也提出了一些修正建议。比较 F1962 方法与 Duyvestyn(2009)的所谓“新算法”会发现,非常有趣的是,即使不考虑 Duyvestyn 的后续修正,在其进行的测试中,F1962 计算的回拖力值与实测值的差别也不会超过 10%。

③泥浆重度

泥浆的重度会影响滑动表面的正压力大小。如

图 3 所示,高固相含量的泥浆会使回拖力增大。Ariaratnam (2001)指出,在中、小型穿越工程中,泥浆的固体含量不可达到 9 磅/加仑,在大型穿越工程中,不可达到 10 磅/加仑。他指出,泥浆固体含量高于上述水平时,将会引起孔内环状空间减少、孔内压力增高、泵体磨损以及潜在的钻孔坍塌,这样会造成回拖力剧增、F1962 计算公式所基于的假设条件完全失效。F1962 建议的泥浆重度为 12.5 磅/加仑,提出这样的参数,F1962 的目的是为设计提供一个比较保守的数值,而非用于精确的回拖力计算。Ariaratnam 提出的实际上限制值和 F1962 提出的建议值都是合理的、值得考虑的。

7 钻进泥浆设计

ASTM F1962 中并没有专门的钻进泥浆设计内容,不过它假定了正确的钻进技术条件,包括清洁的钻孔和良好的泥浆循环。为了达到这些技术条件,对钻进泥浆必须进行良好的设计,并在泥浆重新入孔前做好对岩屑的过滤工作。对砂土地层,常用的泥浆是水与膨润土的混合物;而对黏性土,还需添加一种聚合物,这种聚合物有助于泥浆携带岩屑并避免钻头水眼堵塞。控制泥浆的性能是非常重要的,泥浆重度增加(岩屑增多)会造成回拖阻力增大,更糟糕的是,还能导致岩屑下沉致使泥浆流动受阻和管道偏移。凝胶强度和屈服强度是泥浆携带岩屑能力的重要指标,这些指标连同泵量都应被严格监控。在砂土地层中要钻一口好的钻孔,还必须使泥浆能在孔壁形成一层良好的泥皮,使得泥浆能容纳在孔中的同时,经泥皮滤失的水量最小。一层良好的泥皮还可减少地下水的入侵,并帮助稳定孔壁(Ariaratnam, 2001)。在开钻前及钻进初期,施工人员应与泥浆产品供应商探讨泥浆性能参数值,这对技术人员监控钻孔施工是非常有益的。对于泥浆问题的探讨,还应包括对泥浆的压力控制,以避免液力压裂地层。

在管道回拖期间,使用压载物填充管道还有一个作用:降低钻进泥浆静压头对管外壁的压力。在极端情况下,这种压力甚至可能超过空管的抗弯强度。此外,管道回拖过程中的抗弯强度下降,可能使管道的许用抗拉强度下降 2 倍,相关内容可参看 ASTM F1962 的公式(22)或 Petroff(2006)的论文。

8 管道铺设后的受力计算

定向钻进铺管的发展史与明挖铺管明显不同,当定向钻进铺管行业还处于幼年时期时,就已有很多关于 PE 管明挖铺设后数周或数月内发生过度曲折的报道。同样的情况却未发生在定向钻进铺管上,因为这类问题基本上在铺设过程中或完成铺设后不久就能被检测出来,极少有在刚铺几周后就听出问题的。据认为,定向钻进铺管的最大载荷是在铺设期间就出现了的。因此,管道铺设后即对其进行及时的受力检测是非常明智的。对于管道铺设后的力学分析,定向钻进铺管行业仍处于认识阶段,所以 F1962 只在附录中对其进行了很少的分析,相似的内容也可参看 Petroff (2006)论文。

管道铺入后,最初受到的载荷仅有钻井泥浆的静压力(假定孔内清洁的条件下)。在岩石或者硬地层中,这也可能就是管道所受到的最大载荷了。在土层中,钻孔的长期孔洞变形和地层压力将会作用于管道上。环状空间的土层构造对载荷传递和管道的“侧向”支撑都是很重要的,土层构造随时间的改变通常会提高其对管道的支撑能力。Sam Ariaratnam 曾进行了一项为期一年的关于在粘土和砂土中铺设 HDPE 管的研究。他发现,砂土中钻孔环状空间内的含水量在一年内从 22%降到了 15%(地层中土的含水量为 5%),因此,环状空间的抗剪强度是呈增加的。而在粘土中,一年内钻孔环形空间的抗剪强度从占土层的抗剪强度 70%增加到了 80%(两项测试均在地下水位之上)。Ariaratnam (2001)表示:“由此看来,随着时间的推移,环状空间与管周土壤介质就会达到均衡状态,因此环状空间的强度性能会由不断提高”。据此可以得出的结论是:当地层中泥浆渗透区域内的孔隙水随着时间的推移而不断排走,管道获得支撑力会不断增强。与此类似,对管道位于地下水位之下的情况还有待于研究。

除了在松散河床中穿越河道的情况之外,定向钻进铺管后管道所受的地层压力是明显小于明挖铺管的,这是因为管道的受力仅是钻孔的变形,管道之上的地层并未受到扰动,这种情况就如同在软地层中开挖隧道一样。对管道所受地层压力,F1962 提出了两种计算方法:一种是 Stein 的土拱模式;另一种是 O'Rourke 研究的基于软土地层顶管的“土膨胀”模式。

管道对地层或地下水的压力作用会做出如何的反应,将部分地取决于钻孔孔壁和环状空间是如何传送这些压力的。当环状空间仍是高饱和钻进液充填时,管周介质材料几乎不能提供任何支撑作用,所有载荷都只能靠管道自身的强度来抵抗。为保险起见,F1962的计算模式就是假定此为长期状况的。有两种情况是难以检测出来的:管道的垂直曲折和孔壁坍塌,相关内容可参看F1962的公式(5)和(X2.5),在这两个公式中,管道的曲折和孔壁坍塌都被假定为环状空间的土层不能提供任何支撑,这在河流穿越铺设中管道位于地下水位之下的情况是不难理解的。但是,对于地下水位之上的土层穿越铺设,这就不一定了,因为土层可考虑能提供一定的支撑力。因此,在干燥的土层中,环状空间的土层结构恢复相对较快,支撑力也会随着时间推移而增加,在管道铺入的头几个月之后,要发生较大的管道曲折是不可能的,孔壁坍塌的压力也会因支撑力的增加而减小。

由于HDPE管道的抗载能力随时间的增长而增加,所以在计算中可以考虑以1000小时或一年的抗载能力来作为初始能力。这个假设是基于长期获得孔壁土层的支撑补偿,从而减小了地层的压力作用,除此之外就不用再进行其它计算了。

9 结论

ASTM F1962经受住了时间的检验,十年后,它的应用更加广泛了,引用F1962的论文和科研项目也越来越多了,当然,也有作者提出了一些改进建议,这也是ASTM标准规范健康发展的重要标志。

参考文献:

- [1] Adedamola, A. and Knight M.A. (2003). "Applicability of Methods Used to Estimate Pipe-Slurry Fluidic Drag Force During HDD Pipe Installations", NASTT, No-Dig.
- [2] Ariaratnam, S.T. (2001). "Evaluation of the Annular Space Region in Horizontal Directional Drilling Installations", Report from the Arizona State University.
- [3] Baumert, M.E. and Allouche E.N. (2003a). "Real-Time Monitoring for Quality Delivery of Directional Drilling Installations", ASCE J. Infrastructure Systems Volume 9, Issue 1, 35-43.
- [4] Baumert M.E., Allouche E.N., and Moore I.D. (2003). "Experimental investigation of pull loads and borehole pressures during horizontal directional drilling installations." Can. Geotech. J.
- [5] Baumert, M.E., Allouche, E.N. and Moore, I.D. (2005). "Drilling Mud Considerations in the Design of Engineered Horizontal Directional Drilling Crossings", Int. J. Geomechanics, Vol. 5, No. 4.
- [6] Dreher, P. and High, M. (2001). "Delivering Drinking Water by Directional Drilling HDPE Under I-5 in Carlsbad, CA", NASTT No-Dig, Seattle, WA. Duyvestyn, G. (2009). "Comparison of Predicted and Observed HDD Installation Loads for Various Calculation Methods", NASTT, No-Dig, Toronto.
- [7] Petroff, L.J. (2006). "Designing Polyethylene Water Pipe for Directional Drilling Applications Using ASTM F1962", NASTT No-Dig, Nashville, TN.
- [8] Petroff, L.J. (2010). "Specifying Plastic Pipes for Trenchless Applications", J. ASTM Int., Scheduled for publication.
- [9] Slavin, L.M. (2010). "Guidelines for Use of Mini-Horizontal Directional Drilling for Placement of HDPE Pipe", TR-46, Plastics Pipe Institute, Irving, TX.
- [10] Slavin, L.M. and Petroff, L.J. (2010). "Discussion of ASTM F1962 or 'How are the Pulling Load Formulas Derived and How are They Used?'" , NASTT No-Dig, Chicago.
- [11] Svetlik, H.E. (1995). "Polyethylene Pipe Design for Directional-Drillings and River-Crossings", NASST, No-Dig.
- [12] Wilson, K.E. (2005). "Use of Horizontal Directional Drilling in Constructing the City of Tampa's (STAR) Reclaimed Water System", ASCE Pipelines Conference.

霍宇翔 李山 校

译自 <Pipelines 2010: Climbing New Peaks to Infrastructure Reliability—Renew, Rehab, and Reinvest>

HDD 穿越奥斯汀湖铺设球墨铸铁管的回拖力计算

Brian Dorwart Ralph Carpenter 著 刘振新 译

摘 要:在管道回拖过程中,球墨铸铁管与钢质、塑料质管道表现出不同的特征。对钢管和塑料管的回拖力计算模型及方法已经被大众接受。这里基于本工程的柔性限位接口球墨铸铁管建立了一个新的回拖力计算模型,经实践获得的数据验证,其方法可行、计算结果可靠。

关键词:水平定向钻进、球墨铸铁管、柔性限位接头、回拖力计算模型

2009 年 4 月 23 日,在得克萨斯州奥斯汀市,使用水平定向钻进成功铺设了一条球墨铸铁给水管。由于此次铺设的管道比过去的球墨铸铁管要长,所以该工程需要对管道上的载荷进行精确计算。业主要求非常严格,要采用水平定向钻进铺设带有柔性限位接头的大埋深球墨铸铁管道。由于岩层坚硬,工程需要使用大型钻机,这使得钻机回拖能力大大超过了管道的强度,因而业主担心在回拖过程中管道受到损坏。虽然这个风险由施工承包商承担,但业主仍要求用精确的计算来评估超过管道许用拉力的可能性。本文包括工程简介、球墨铸铁管的特点、新型球墨铸铁管回拖力计算方法及其工程获得的数据验证。

1 工程简介

该工程需铺设一条直径 12 英寸(305 毫米)、长度 2180 英尺(665 米)(由单根长 20 英尺的 109 根管节组成)的柔性限位接头球墨铸铁管道,管道在奥斯汀湖上游的湖底下延伸,奥斯汀湖的湖水流向原始的科罗拉多河河道。管线入口端与出口端之间,大约有 225 英尺(70m)的高差。从特拉维斯县第 17 供水区至墨芬(Murfin)路工程项目勘察报告上看,整个钻孔的孔身都将处于含有破碎带的格伦罗斯(Glen Rose)石灰岩地层当中。由于预料到是在这样的地质条件中铺设管道,水平定向钻进的次级承包商——TAUG(美国地下工程公司)选用了配备 6.225 英寸钻杆的美国奥格 DD550 钻机,以保证有足够的动力钻进这种坚硬的岩层。

业主要求铺设工程使用的 12 英寸带柔性限位接头球墨铸铁管的最大抗拉能力在 60000 到 70000 磅之间,相比钻机的回拉能力为 550000 磅小了很多。这样就产生了一个问题:即使先导孔成孔质量良好,钻机也会很容易地超过管道容许强度而损坏管道。

仔细回顾,采用水平定向铺设球墨铸铁管道始于 1995 年,康涅狄格州托林顿式的赫姆洛克(Hemlock)定向钻进公司成为美国第一家采用水平定向钻进成功铺设球墨铸铁管道的公司。康涅狄格州自来水公司雇用赫姆洛克公司,在交通繁忙的路口地下铺设 196 英尺长的 8 英寸铸铁管。(Carpenter and Conner,2003)由于这是第一次铺设,人们逐渐意识到水平定向钻进铺设球墨铸铁管的好处。通过仔细分析研究,列出了球墨铸铁管的主要优势如下:

- 管壁不易被挥发性烃渗透,这就将现在和将来供水系统受到污染的可能性降到了最低限度;
- 管道标准工作压力达 350 磅/平方英寸(2.4MPa),当有特殊要求可以达到更高值;
- 管线接口安装简易快捷;
- 在地表使用常规定位仪就能对其进行定位;
- 管道工作性能不受温度的影响;
- 管道材料强度高,适合回拖操作和动静载荷作用下不出现弯曲;
- 管道材料硬度高,不易磨损,也不易被管周的岩石等物体刺穿;
- 材料强度不会发生蠕变或者随着时间而降低;
- 管道铺设后,不会产生会对以后使用性能产

生影响的残余弯曲应力;

- 由于热膨胀率和泊松比最小, 所以铺设后没有明显的回缩, 产生的位移在管道中是最小的;

- 没有较大的位移加上球墨铸铁固有的强度, 消除了内螺纹侧向出口的潜在的剪切力和回拖后管道的破坏。(由于热胀冷缩和泊松比)。

2 球墨铸铁管的连接结构及回拖铺设特点

对于球墨铸铁管来说, 回拖力计算方法的基础是管道接头受力分析。图1是管道柔性限位接头位置的截面图。接头和预安装部件主要由以下几部分组成: (1) 橡胶垫圈和橡胶背衬的柔性圈都要预先安装到承插口的相应位置。(2) 在对橡胶垫圈和插口管润滑后, 球墨铸铁管柔性接头为安装做好了准备。

柔性限位接头的简易快速安装先从管材的合理对正开始。然后操作者将插口管放入承口管, 使用轴向载荷或者其他手段来产生轴向装配力。当插口管的限位焊接缝(该限位焊接缝位于插口管末端, 为工厂加工)进入承口管后, 将其再向前推, 其锥形头部即迫使柔性圈零件扩张, 然后缩回到其后的斜

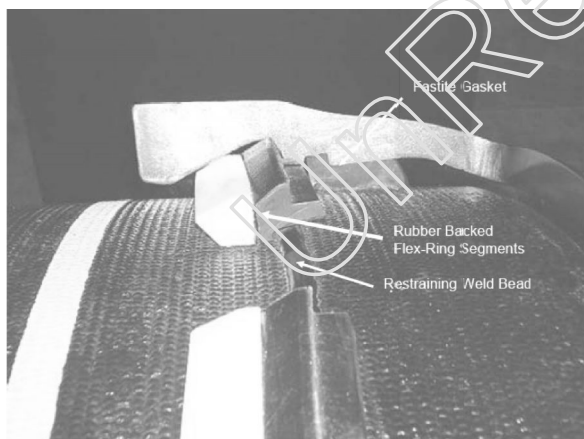


图1 14"到48"的柔性圈连接结构

面上。柔性圈零件在承口管内的这种扩张与回缩, 使弹性橡胶背衬受到压缩, 当它到达限位焊接缝的紧密配合位置时, 可以听到“啪”的一声。

图2解释了在钻孔轨迹上, 14英寸到48英寸柔性环段的橡胶背衬是怎样压缩张开来保证限位接头的连接。从机械上说, 在柔性环的斜面到承口管铸件斜面之间, 橡胶背衬形状的变化是最重要的。正是接头的这种受力有效地使拉力载荷重新分布, 消除了管壁的弯曲拉压应力。在钻孔中回拖带有柔性限位接头的球墨铸铁管道, 可比作成回拉一根每个接头都有联接的链条一样。

图3说明墨芬路工程使用的直径12英寸球墨铸铁管柔性限位接头略微有点不同, 但是流线型的优点和使拉力重分布的基本功能还是保持不变的, 同样是轻松完成接头的快速安装。从4英寸到12英寸各种尺寸的最大的区别在于插口管末端现场焊制的特殊形状连接环和滑入承口导向边缘的分开式柔性环之间形状的差异。



图3 4"到12"的柔性环

还有其它设计要素使球墨铸铁管成为首选的水平定向钻进管材。这些设计优势包括:

2.1 接头限位的同时允许接头产生挠度

表1中给出了接头允许挠度和相应的最小曲率半径。允许挠度和曲率半径都是对管道全长而言的, 一般都比钻杆的弯曲半径要小得多。但是, 如果钻进时要求更小的曲率半径, 柔性限位接口铸铁管可以做成原长度的一半来更加有效地降低曲率半径。考虑到扩孔和回拖过程中, 钻杆还是要受扭曲、弯曲等动载荷和静载荷作用以及产生磨损, 这就不难理解为什么水平定向钻进承包商偏爱钻孔轨迹弯曲半径大于50英尺到100英尺每英寸的管道直

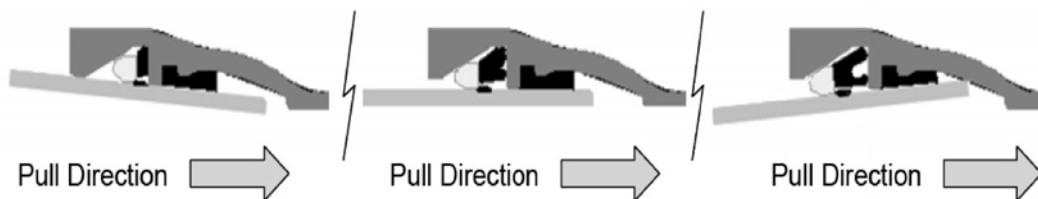


图2 接头连接时拉力的重分配

径。工程承包商也不喜欢施工哪些会使钻杆产生疲劳破坏的钻孔。

2.2 场地受限时的“分段”连接铺设方法

所谓“分段”连接铺设方法是指每次连接一根

表 1 管道规格以及其他参数

规格 英寸(毫米)	管道外径 英寸(毫米)	承口外径 英寸(毫米)	空管道单位净浮力 磅/英尺 (千克/米)	允许拉力 磅 (千牛)	允许 挠度 (度)	最小曲率半径 英尺 (米)
4 (102)	4.8 (122)	7.06 (179)	-5 (-7)	10,000 (44.5)	5	230 (70)
6 (152)	6.9 (175)	9.19 (233)	-2 (-3)	20,000 (89.0)	5	230 (70)
8 (203)	9.05 (230)	11.33 (288)	3 (4)	30,000 (133)	5	230 (70)
10 (254)	11.1 (282)	13.56 (344)	11 (16)	45,000 (200)	5	230 (70)
12 (305)	13.2 (335)	15.74 (400)	19 (28)	60,000 (267)	5	230 (70)
14 (356)	15.3 (389)	19.31 (490)	27 (40)	75,000 (334)	4	285 (87)
16 (406)	17.4 (442)	21.43 (544)	38 (57)	95,000 (423)	3.75	305 (93)
18 (457)	19.5 (495)	23.7 (602)	52 (77)	120,000 (534)	3.75	305 (93)
20 (508)	21.6 (549)	25.82 (656)	69 (100)	150,000 (667)	3.5	327 (100)
24 (610)	25.8 (655)	29.88 (759)	104 (150)	210,000 (934)	3	380 (116)
30 (762)	32.0 (813)	36.34 (923)	175 (260)	220,000 (979)	2.5	458 (140)
36 (914)	38.3 (973)	42.86 (1089)	266 (400)	310,000 (1380)	2	570 (174)
42 (1067)	44.5 (1120)	49.92 (1268)	359 (535)	390,000 (1730)	2	570 (174)
48 (1219)	50.8 (1290)	56.36 (1432)	484 (721)	500,000 (2220)	2	570 (174)

管节,分段回拖也仅一根管节长度,该方法每次加管时都要重复以上操作,直到全部管道拉至出土端。此操作允许管道在场地受限时仍能铺设。由于这种方法对得克萨斯州中部丘陵地区的小橡树影响更小些,所以墨芬路工程中使用了这种方法。

根据具体的接头安装所需,如金属搭接片、聚

乙烯套等等,柔性限位接头的安装周期在几分钟以内,最长不超过 8 分钟。使用这种铺设方法的另外一个好处是可以减少回拖力。倘若所有的接头在铺管之前都全部连接好,相比之下,一次连接一根管节可以明显地减少回拖力。因此,这种方法施工的破坏性和对社区的干扰性更小,也能减小回拖力。

3 球墨铸铁管回拖力计算模型

基于本工程的柔性限位接口球墨铸铁管,建立了一个新的回拖力计算模型。在回拖过程中,球墨铸铁管并不像其他连续焊接或融接的钢制、塑料制管道表现出的性能。钢管和塑料管道回拖力计算模型和方法已经被大众接受,它是为了模拟铺管过程中作用在刚性或柔性管道上的力而专门设计的。

在美国天然气协会(AGA)手册5中有钢管拉力计算方法和模型的相关描述。该模型是以一根连续弯曲硬质管为基础,拉力计算使用了钢管的应力分析。回拖力受使钢管弯曲的切向力、使管道沿摩擦面移动的牵引力以及管道受到的粘性液体流动产生的阻力共同作用。

美国材料与试验协会(ASTM)F1962-05标准“大型水平定向钻进穿越工程铺设聚乙烯管道设计指南”中,有关于HDPE和PVC塑料管道回拖力计算的相关描述。这个拉力计算模型是以铺设缆索拖拉力计算为基础的,铺设电缆拖拉力受以下三种力共同作用,包括:拖拉缆索产生的切向力,孔内接触面的切向阻力以及管道受到的粘性液体流动产生的阻力。

然而,用于水平定向钻进的球墨铸铁管是带有柔性承插口的,管道额定标准长度为20英尺。连续硬质管道和横向软缆模型与球墨铸铁管穿越孔径的性能不符。带有柔性接头的铸铁管回拖时,就像回拉链条一样。因此回拖拉力模型不同。

尽管大部分球墨铸铁管的拖拉距离较短,曲率半径更小,要求更严格,新计算模型是以超过15年的铺设球墨铸铁管经验和拖拉力测量为基础的。为了模拟承包商对此工程提出的实际铺设方法,模型假设管段铺设是分段进行的。与接头全部连接好的全管线铺设相比,分段进行可以减小回拖力。此模型包含独立的单元(管道和钻杆),在回拖过程中,要受到管道与孔壁、与钻井液之间摩擦阻力。总的回拖力是孔内各个阻力之和。因为过去的已经测出了总的回拖力包括钻机液压系统的动力、回拖钻杆柱的阻力和钻机台架上的回拖力阻力。为了只计算回拖管道所要的拉力,需将拖拉钻杆和拖拉管道的拉力分别来计算。

计算公式是所有阻力之和。要是管道移动,钻机施加在管道上的力必须要比阻力稍大些。因此,

如公式(1)所示,钻机施加的力至少应等于作用在孔内管道、孔内钻杆和钻机台架上的阻力之和。

$$F_{rig} = F_P + F_R + F_C \quad (1)$$

式中:

F_{rig} ——钻机施加的回拖力

F_P ——作用在管道上的回拖阻力

F_R ——作用在钻杆柱上的回拖阻力

F_C ——作用在钻机台架上的回拖阻力

3.1 作用在管道上的回拖阻力 F_P , 作用在钻杆上的回拖阻力 F_R

在孔内钻进液中移动管道产生的回拖力是管道与孔壁间摩擦力(F_F)、管道重力沿斜面向下分力(F_g)与粘性钻井液流体产生阻力(F_H)之和,如方程2所示。

$$F_R(F_P) = F_F + F_g + F_H \quad (2)$$

为了方便,我们使用同样的计算方法来计算管道(F_P)和钻杆(F_R)产生的回拖力。

使用分段回拖方法时,注意由于钻孔总长度是已知的,因此孔内管道与钻杆长度之和必须始终等于钻孔总长度。因为使用了分段回拖方法,所以地面管道阻力不计。

3.2 管道与孔壁间摩擦力 F_F

摩擦力通常等于接触上物体所受正压力乘以接触面的摩擦系数来确定,如公式(3)所示。

$$F_F = \mu \times N \quad (3)$$

式中:

F_F ——管道与孔壁间的摩擦阻力

N ——单位长度管道在接触面上所受的正压力

μ ——两接触面间的摩擦系数

图4所示正压力是与钻孔轨迹几何形态的相关函数。正压力垂直于接触面,所以它是与重力和钻孔轨迹几何形态有关的函数,如图4所示。正压力的角度由钻孔设计轨迹的几何形态决定。

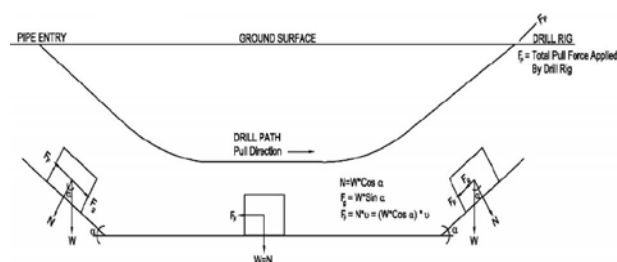


图4 孔内管道边墙摩擦力模型只显示回拖力的反力

图中:

- N ——单位重量管道所受法向浮力。
- W_B ——单位重量管道所受浮力
- F_g ——平行于回拖方向上的重力分力
- μ_s ——管道与孔壁间的摩擦系数

因此,斜面上单位长度管道所受的摩擦力可以用公式(4)来计算。

$$F_F = L \times (W_B \times \cos \dot{\alpha}) \times \mu_s \quad (4)$$

式中: L ——每一管段的长度(英尺)

$\dot{\alpha}$ ——斜度与垂直方向的夹角

附带说明一下,在孔内,标准长度 20 英尺的球墨铸铁管的几何形状表明,在管节承口处光滑面是以点的方式接触而不是沿整个管道表面的接触。这个接触会导致管道承口陷入孔壁,这将影响管道摩擦阻力。由于没有可靠的方法来计算这些管道表面陷入量,因此摩擦系数是与接触面和陷入量有关的经验值。所以注意大埋深球墨铸铁管的接头应使承口面光滑非常重要。

3.3 重力的分力 F_g

此工程使用的管道是充满气体的,因此管道要受到浮力作用。在管道进入时,浮力作用在管道有一个向上的力,因而增加阻力,但在管道出土时,这个力反而会降低阻力。钻杆受到重力作用,钻杆进入时会降低阻力而在出土时会增加阻力。图 3 表示出了重力分力,因此重力分力由公式(5)确定。

$$F_g = L \times (W_B \times \sin \dot{\alpha}) \quad (5)$$

3.4 流体阻力 F_H

孔内流体流动过程中产生的阻滞力是管道给进速度的复杂函数,由管道与钻井液接触表面积乘以与钻进液有关的阻力系数得到。管道的面积是外表面积,由于忽略了接触面积而是用总面积计算得到的流体阻力是一个保守值。因此特定长度的管道流体阻力可由公式(6)计算得到。

$$F_H = P_A \times \mu_f \quad (6)$$

式中:

- P_A ——单根管外表面积
- OD ——管道外径(英寸)
- L ——管长(英寸)
- μ_f ——流体阻力系数(磅/平方英寸)

3.5 台架阻力 F_C

台架阻力是在钻机动力头在台架上移动时在

回拖方向的阻力。这个力可以在工程刚开始时测量移动台架所需动力的大小来衡量,或者从钻机制造商那里获得。这个工程所用 DD550 钻机的台架阻力大约为 34000 磅。

3.6 回拖力模型

计算模型如公式(7)所示,它是将前几个方程的结果代入公式(2)中就可得到钻机所需总的回拖力。

$$F_p(F_R) = [L \times (W_B \times \cos \dot{\alpha} \times \mu_s) + [L \times W_B \times \sin \dot{\alpha} + P_A \times \mu_f]] \quad (7)$$

尽管尺寸有变化,管道 F_p 和钻杆 F_R 在这一过程中都是一样的。

注意在回拖刚开始时,钻杆是全部在孔内的,因而随着回拖过程的进行,钻杆阻力是逐渐减小的,而管道阻力是逐渐增大的。

3.7 管道与孔壁间摩擦系数 μ_s

管道与孔壁间的摩擦系数是受承口、预扩孔孔壁一致性、土质和其它因素等变量影响的复杂值,正是因为这个原因,摩擦系数是个以实测数据为基础的经验值。虽然这个值不是真的摩擦系数,但它代表了管道上摩擦变量的全部影响。

回拖后可以对摩擦系数进行评价,并通过反演计算获得更有价值的数据。然而,为了这次回拖力的预测,将的迭代逼近值代入公式(1),收敛到表 2 中一般土体的数值,来确定钻机的回拖力。一般摩擦系数的取值可用表 2 查得,它是由公式(8)确定的。

$$\mu_D = F_{rig} / (W_{BR} \times L_{total}) \quad (8)$$

式中: L_{total} ——孔径总长度

W_{BR} ——单位重量管道所受浮力

3.8 流体阻力系数 μ_f

流体阻力系数是与很多变量有关的系数,计算又是很繁琐。正是由于如此,已经从众多的工程实例中总结出了流体阻力系数的经验值。美国材料与试验协会(F1962)中的水平定向钻进指南一文,流体阻力系数推荐值是 0.05 磅/平方英寸。有经验的设计者,由于获得了更有参考价值的数据以及考虑到钻井液性质的变化,常对经验值进行修正。根据本文作者的经验和实地测试,此工程选用的流体阻力系数值为 0.03 磅/平方英寸。

表 2 确定一般摩擦系数的相关数据

地质条件	管径	长度 (英尺)	半径 (英尺)	最大拉力 (磅)	管道所受浮力	单一摩擦系数	钻机
粘性的	20"	600		25,000	82.8	0.5	
	36"	780		72,000	266	0.35	DD-220
	24"	460		78,000	104	1.63	
	30"	1260	3,000	43,000	175	0.2	DD-220
	30"	1200	3,000	54,000	175	0.26	DD-220
	12"	300		1,100	25	0.15	
粒状的	30"	490		70,000	175	0.82	
	36"	960		72,000	266	0.28	
粘粒状的	20"	700		21,000	69	0.43	
粘粒状的	30"	340		70,000	175	1.18	
岩石	12"	2180	1200	64000	19	1.55	DD-550
RGC	24"	760	1800	131000	133.6	1.29	DD-140
	24"	1100		90,000	133.6	0.61	DD-140
	24"	1100		101,000	133.6	0.69	DD-140
	24"	1,000		110,000	133.6	0.82	DD-140
	24"	660		91,000	133.6	1.03	DD-140
	24"	900		78,000	133.6	0.65	DD-140
	24"	900		121,000	133.6	1.01	DD-140
范围					平均	1.75	
					最小	0.15	
					最大	1.63	

表 3 计算数据表

INPUT	(-) indicates force direction is applied down			Drill Loads		Carriage travel force, F_c		34,416 lb	Measured	34,416 lb
	Pipe	12" DIP Flex Ring	20 ft				Reamer Weight, R_w	1000 lb	Estimated	
		Pipe Section Length, L	19.70 lb/LF	36.4 lb/pipe			Reamer Length, L_R	20 ft	Estimated	
		Buoyant Weight/LF in water, W_{b0}	1.10				Friction Factor soil/rods, μ_{SR}	0.4	Estimated	
		Assumed SpG of drill fluid	0.170 μ -in		Hole		Diameter	28 in	Reamer size	
		Drill Fluid hydrokinetic friction factor, μ_{SF}	-36.4 lb/LF	-728 lb/pipe			Entry Angle	12.567 deg	Actual measured from tracking data	
		Weight of Pipe in Air per foot, W_p	21.5 lb/LF	491 lb/pipe			Exit Angle	15.948 deg	Actual measured from tracking data	
		Buoyant Weight/LF in drill fluid, W_{bf}	13.20 in				Entry Tangent	545.8 ft	Actual measured from tracking data	
		Outside Diameter, OD	13.74 in				Arc Length	1040.2 ft	Actual measured from tracking data	
		Joint Outside Diameter, OD_j	0.25				Arc Radius	2100.0 ft	Actual measured from tracking data	
		Friction Factor soil/pipe, μ_{SP}	107 pipes				Exit Tangent	538.9 ft	Actual measured from tracking data	
		Number of pipes					Hole Length	2124.9 ft	Actual measured from tracking data	
Friction of rods										
	Length of rods, L_r	2217.0 ft	Length used for friction test							
	Rod Weight in air/LF, W_r	-33.11 lb/LF	$W_b = -23$ lb/LF Buoyant weight of rods Force Down					-460 lb/rod at 20 foot lengths to match DIP lengths		
	Pull force rods + carriage, F_r	53,417 lb					-845.7 lb/LF in air			
	Pull Force Carriage, F_c	34,416 lb	Measured This is too high and has a measurement error				1.3729 gal/LF capacity			
	Pull Force rods, $F_r = F_r - F_c$	59,001 lb	This is too high and has a measurement error				42.29 Lb/LF full of fluid			
	Simple Coefficient of Drag/soil, $\mu_D = F_r/(L_r \cdot W_b)$	1.13								

Actual Drill Path Geometry

Rod Number	Rod Measured Distance (ft)	Horizontal Distance X (ft)	Depth Below Entry Y (ft)	Average Angle, α Deg.	Total Product Pipe Length, L (ft)	In Hole Drill Rod Length L_i (ft)	Friction Force/Pipe F_f (Lb/Pipe)	Gravity Force F_g (Lb/Pipe)	Hydrokinetic Force F_H (Lb/Pipe)	Friction Force/Rod F_{fr} (Lb/Rod)	Gravity Force/Rod F_{gr} (Lb/Rod)	Carriage Force F_c Lb	Total Pipe Drag Force, F_{DTP} $F_{DTP} = F_{fr} + F_{gr} + F_H$	Total Rod Drag Force, F_{DR} $F_{DR} = F_{fr} + F_{gr}$	Total Pull Force Rod + Pipe	Total Pull Force With Carriage, F_p	Table 1 Simple Coefficient of Drag	
0	0	0.0	1.2	-12.6	0 ft	2125 ft	0	0	0 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0 lb	1.12
1	20	19.5	-3.2	-12.6	20 ft	2105 ft	120 lb/pipe	107 lb/pipe	299 lb/pipe	180 lb/rod	-100 lb/rod	525 lb	23,738 lb	23,738 lb	24,183 lb	58,599 lb	1.12	
2	40	39.0	-7.5	-12.6	40 ft	2085 ft	120 lb/pipe	107 lb/pipe	299 lb/pipe	180 lb/rod	-100 lb/rod	1,050 lb	23,579 lb	24,629 lb	59,045 lb	1.13		
3	60	58.6	-11.9	-12.6	60 ft	2065 ft	120 lb/pipe	107 lb/pipe	299 lb/pipe	180 lb/rod	-100 lb/rod	1,575 lb	23,499 lb	25,075 lb	59,491 lb	1.14		
4	80	78.1	-16.2	-12.6	80 ft	2045 ft	120 lb/pipe	107 lb/pipe	299 lb/pipe	180 lb/rod	-100 lb/rod	2,101 lb	23,420 lb	25,520 lb	59,936 lb	1.15		
5	100	97.6	-20.6	-12.6	100 ft	2025 ft	120 lb/pipe	107 lb/pipe	299 lb/pipe	180 lb/rod	-100 lb/rod	2,626 lb	23,340 lb	25,966 lb	60,382 lb	1.16		
6	120	117.1	-24.9	-12.6	120 ft	2005 ft	120 lb/pipe	107 lb/pipe	299 lb/pipe	180 lb/rod	-100 lb/rod	3,151 lb	23,261 lb	26,412 lb	60,828 lb	1.17		
7	140	136.6	-29.3	-12.6	140 ft	1985 ft	120 lb/pipe	107 lb/pipe	299 lb/pipe	180 lb/rod	-100 lb/rod	3,676 lb	23,181 lb	26,857 lb	61,273 lb	1.17		
8	160	156.2	-33.7	-12.6	160 ft	1965 ft	120 lb/pipe	107 lb/pipe	299 lb/pipe	180 lb/rod	-100 lb/rod	4,201 lb	23,102 lb	27,303 lb	61,719 lb	1.18		
9	180	175.7	-38.0	-12.6	180 ft	1945 ft	120 lb/pipe	107 lb/pipe	299 lb/pipe	180 lb/rod	-100 lb/rod	4,726 lb	23,022 lb	27,748 lb	62,164 lb	1.19		
94	1880	1844.9	-8.2	15.8	1880 ft	245 ft	118 lb/pipe	-134 lb/pipe	299 lb/pipe	177 lb/rod	126 lb/rod	39,614 lb	6,979 lb	46,593 lb	81,009 lb	1.55		
95	1900	1864.1	-2.7	15.8	1900 ft	225 ft	118 lb/pipe	-134 lb/pipe	299 lb/pipe	177 lb/rod	126 lb/rod	39,896 lb	6,877 lb	46,573 lb	80,989 lb	1.55		
96	1920	1883.4	2.8	15.8	1920 ft	205 ft	118 lb/pipe	-134 lb/pipe	299 lb/pipe	177 lb/rod	126 lb/rod	40,270 lb	6,770 lb	46,590 lb	80,805 lb	1.55		
97	1940	1902.6	8.2	15.8	1940 ft	185 ft	118 lb/pipe	-134 lb/pipe	299 lb/pipe	177 lb/rod	126 lb/rod	40,644 lb	6,664 lb	46,498 lb	80,624 lb	1.55		
98	1960	1921.9	13.7	15.8	1960 ft	165 ft	118 lb/pipe	-134 lb/pipe	299 lb/pipe	177 lb/rod	126 lb/rod	41,018 lb	6,557 lb	46,625 lb	80,441 lb	1.54		
99	1980	1941.1	19.1	15.8	1980 ft	145 ft	118 lb/pipe	-134 lb/pipe	299 lb/pipe	177 lb/rod	126 lb/rod	41,392 lb	6,451 lb	46,543 lb	80,259 lb	1.54		
100	2000	1960.3	24.6	15.8	2000 ft	125 ft	118 lb/pipe	-134 lb/pipe	299 lb/pipe	177 lb/rod	126 lb/rod	41,766 lb	6,345 lb	46,460 lb	80,076 lb	1.54		
101	2020	1979.6	30.1	15.8	2020 ft	105 ft	118 lb/pipe	-134 lb/pipe	299 lb/pipe	177 lb/rod	126 lb/rod	42,140 lb	6,238 lb	46,378 lb	79,894 lb	1.53		
102	2040	1998.8	35.5	15.8	2040 ft	85 ft	118 lb/pipe	-134 lb/pipe	299 lb/pipe	177 lb/rod	126 lb/rod	42,514 lb	6,132 lb	46,295 lb	79,711 lb	1.53		
103	2060	2018.1	41.0	15.8	2060 ft	65 ft	118 lb/pipe	-134 lb/pipe	299 lb/pipe	177 lb/rod	126 lb/rod	42,887 lb	6,026 lb	46,113 lb	79,529 lb	1.53		
104	2080	2037.3	46.4	15.8	2080 ft	45 ft	118 lb/pipe	-134 lb/pipe	299 lb/pipe	177 lb/rod	126 lb/rod	43,261 lb	5,919 lb	45,930 lb	79,346 lb	1.52		
105	2100	2056.5	51.9	15.8	2100 ft	25 ft	118 lb/pipe	-134 lb/pipe	299 lb/pipe	177 lb/rod	126 lb/rod	43,635 lb	5,813 lb	45,748 lb	79,164 lb	1.52		
106	2120	2075.8	57.4	15.8	2120 ft	5 ft	118 lb/pipe	-134 lb/pipe	299 lb/pipe	177 lb/rod	126 lb/rod	44,009 lb	5,706 lb	45,565 lb	78,981 lb	1.51		
107	2124.9	2080.5	58.7	15.8	2125 ft	0 ft	118 lb/pipe	-134 lb/pipe	299 lb/pipe	177 lb/rod	126 lb/rod	44,383 lb	5,599 lb	45,383 lb	78,799 lb	1.51		
TOTAL							13,538 lb	2,481 lb	28,365 lb	21,055 lb	2,682 lb							

4 计算实例

此工程提供的实例在表 3 中列出了计算数据。实际铺管过程中,刚开始时钻机回拖力(包括钻机自重)为 63000 磅,快结束时为 59000 磅。

5 小结

特拉维斯县 17 区的自来水改造工程,水平定向钻进铺设球墨铸铁管道的总长度为 2180 英尺,比已有的 12 英寸铸铁管铺设记录只短了 160 英尺。业主要求采用回拖力计算来确定铺管过程中大型钻机是否会损坏管道。为这次计算,设计了确定回拖力的新计算模型。在铺管过程中,实际的回拖力与计算值相吻合。这次计算中,运用的计算方法非常有效,利用经验来确定某些参数值也将成为一种之有效的方法。

参考文献:

- [1] American Gas Association (AGA), Offshore and Onshore Design Applications Supervisory Committee of the Pipeline Research Committee, "Installation of Pipelines by Horizontal Directional Drilling, an Engineering 1.
- [2] ASCE MOP 109
- [3] American Society for Testing Materials, 2005, ASTM Designation: F 1962-05, Standard Guide for Use of Maxi-Horizontal Directional Drilling for Placement of Polyethylene Pipe or Conduit Under Obstacles, Including River Crossings, West Conshohocken, PA.
- [4] Ma, et al, 2005, "Fatigue of Drill Pipes Used in Mini-Horizontal Directional Drilling," Proceedings of the ASCE Pipelines 2005, Houston, TX, 2005
- [5] Carpenter and Conner, 2005, "Suggested General Guidelines Horizontal Directional Drilling (HDD) Installations of Ductile Iron Pipes", Birmingham, AL.
- [6] Carpenter and Conner, 2003, "The Versatility of Ductile Iron Pipe in Trenchless Construction," Proceedings of ASCE Pipelines 2003, Baltimore, MD., 2003
- [7] Design Guide" JD Hair et al. 1995.

霍宇翔 校

译自 <Pipelines 2010: Climbing New Peaks to Infrastructure Reliability—Renew, Rehab, and Reinvest>

本期刊登广告厂商目录

封面:德威土行孙工程机械(北京)有限公司

封底:美国 DCI 公司

封二:美国 DCI 公司

封三:徐州徐工基础工程机械有限公司

前页:

美国 DCI 公司

凯通钻具(集团)有限公司

南京地龙非开挖工程技术有限公司

深圳市钻通机电设备开发有限公司

后页:

德威土行孙工程机械(北京)有限公司

中国地质科学院勘探技术研究所

美国十方国际公司

上海钟仓机械设备有限公司(日本 RASA 工业公司)

HDD 铺设 24 英寸可熔接 PVC 管道创新纪录

Jerry Shae Jeremy King Richard(Bo) Botteicher 著 张明明 译

摘要:在美国斯坦丁罗克地区铺设的乡村供水管网中,需要在取水口和水处理厂之间铺设一条长 1463m、直径 24 英寸的管道。King 公司克服了钻进场地偏僻、湖面水位上升、钻进和熔接场地重新调换、地质条件复杂和有线导向系统等各方面问题,完成了这条 24 英寸可熔接 PVC 管线铺设工程,创造了新的纪录。

关键词:水平定向钻进、管道铺设、可熔接 PVC 管、新纪录

水平定向钻进(HDD)在南北达科他州的施坦丁罗克苏(Standing Rock)人部落地区的原水管道工程项目中发挥了重要的作用。创纪录的是一根长 1463m(4800 英尺),直径 600mm(24 英寸)的可熔接头 C905 的管道,它从格兰德(Grand)河上的奥瓦西湖(Oahe)水库库区穿过,为总投资 1100 万美元的项目开了个好头。King 公司完成了这个目前距离最长的直径 600mm(24 英寸)含可熔接头的 PVC 管道的穿越铺设施工。这段穿越是在总长 100 公里(62 英里)的原水管道输送管线中的一段不到 1.5 公里的部分,全部管线完成后将为施坦丁罗克苏人部落地区提供日常用水。

1 工程背景

施坦丁罗克(印第安部落的)保留地是施坦丁罗克族所在地,位于北达科达州中北部和南达科达州中南部。这片居住地面积为 9310 平方公里(230 万英亩),只比康涅狄格州面积小一点。市政水源匮乏已经困扰了该地区很多年了。最近联邦政府拨款修建该区域长距离市政供水管网——施坦丁罗克乡村供水管网来解决这一问题。这个穿越项目是其中“核心设施系统”的一部分,项目完工后将向这片居住地近 75%的人口提供饮用水。

由 Bartlett and West(位于北达科达州俾斯麦的一家的综合服务公司)编制的这项长距离工程方案由几部分组成。核心设施项目包括在奥瓦西湖水库修建沉箱式取水口、一个日处理 19000 立方米/天

(约五百万加仑每天)的污水处理厂、一个 19000 立方米(五百万加仑)的主存储水库和一条近 100 公里(62 英里)长的大口径管道。预计施坦丁罗克乡村供水管网部分的费用接近 6000 万美元。投资近 1.3 亿美元的整个工程预计需要 10 年左右的时间才能完成。

施坦丁罗克乡村供水管网中原水管线的初始阶段包括原水摄入口和水处理厂的设计施工。由于受到自然条件和政治条件限制,取水口和处理厂之间距离约 19.3 公里(12 英里)。连接这两个部分的管道线路要求从格兰德河宽度约 1.5 公里的位置(约 1 英里)进行穿越。由于水平定向钻进对环境的影响小,易于获得批准和相关施工整洁,所以它被选定为这段的施工方法。明挖技术只是在穿越的可行性研究中曾经提到。

横穿格兰德河的原水管道线设计复杂,主要包括管道材料选择和管线铺设。这条从格兰德河底穿越的管线中的部分管段将有可能经过静水压力最高的区域。为了提供足够安全系数和大直径管道可以受到必要的约束,有三种材料可供选择,FPVC(PVC 聚乙烯氯化物)可熔式 C905、壁径比 DR18, HDPE(高密度聚乙烯)管、DR7.3 和横联 HDPE 管、DR9,由中标的承建商选择。为了尽量减少摩擦损失并最终满足该项目的管道内径要求,将公称直径为 600 毫米(24 英寸)的 FPVC 和公称直径 760 毫米(30 英寸)的 HDPE 作为合理的选项。综合各种原因,包括相同内径下外径更小和材料的可靠性,最

终选择 FPVCP 做为河道穿越的管道材料。

2 横穿奥瓦西湖原设计方案

这种长度和尺寸大小的水平定向钻进工程已经很复杂了,但是这项工程还受其他方面的影响,使得钻机和铺设使用的管材遇到了更大的挑战。

该路线需要穿越巨大的水体,该水体是由于格兰德河筑坝蓄水形成的奥瓦西湖。项目设计时,湖面的平均高程 485 米 (1592 英尺),这个数据是在 2008 年的夏天测量的。整个线路中最深的钻进位置

大约在湖面下方 12 米(40 英尺)。

管道穿越轴线的两侧地形陡峭,根据穿越点的不同,河岸比湖边高出 15 到 24 米(50 到 80 英尺)。尽管这种地形对钻机以及相关设备的布置和操作影响不大,但是对回拖阶段的管柱连接、接头熔接和管道拖入施工影响非常大。图 1 和图 2 分别是水平定向钻进穿越奥瓦西湖的工程平面图和剖面图。

此外,该地区的岩土资料显示,钻进过程中可能会遇到各种不同的岩层。这对先导孔成孔影响较大,对铺设管线影响较小。

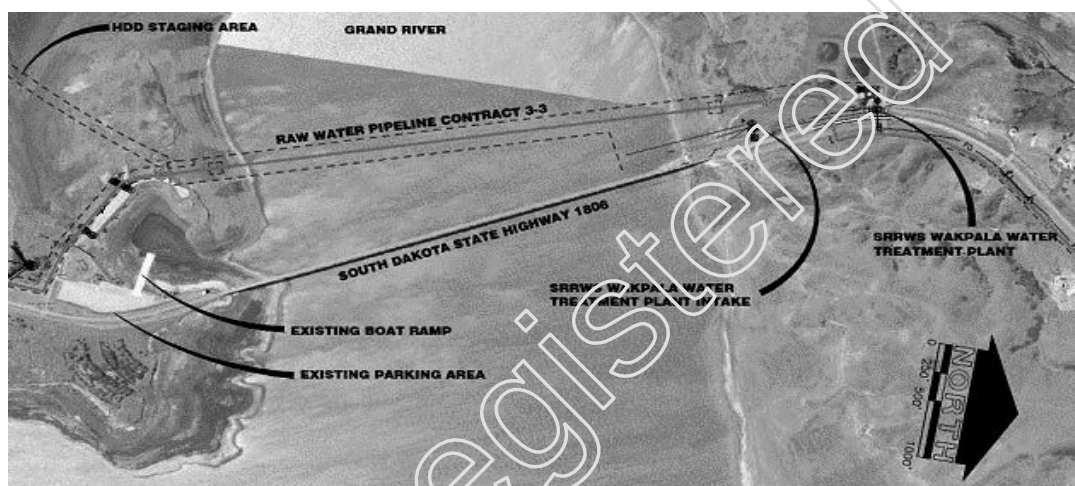


图 1 最初设计的穿越管道线路平面图(Bartlett and West 公司)

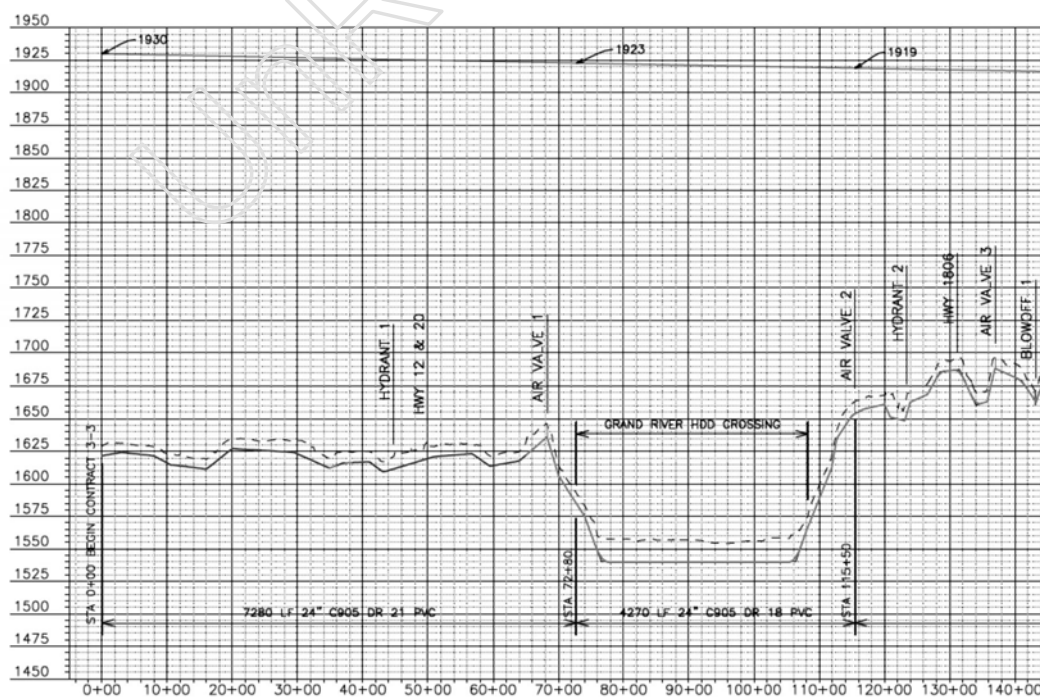


图 2 最初设计的穿越管道线路剖面图(Bartlett and West 公司)

最后,偏远的施工场地使建设过程更加复杂。这不仅使大量常见建筑用品的供给受到限制,更重要的是专业化的水平定向钻进工具和配件很难在当地找到。这就意味着为了确保设备正常运行,必须考虑应急用品和额外配件。所以,一个含有大量应急和额外配件的方案在现场钻进过程预案中体现出来。

3 开工之前

尽管工程的初步展望已经使其看起来相当艰巨,但是许多事件的发生致使实际工程施工更加困难。工程开始前是一个多雪的冬季,跟着又是一个多雨的春季,使得穿越最深处与湖面距离由 12 米上升到 18 米。不仅水位增加,而且水位抬高使得位于岸边的钻进场地、管道熔接场地、分段回拖场地等等,都位于了水面以下。

这使得项目发生了巨大的变化,只能改变管线拖入方向和钻进方向,并且延长钻孔以便钻杆能够从两岸更高的位置出孔,而不会像原来那样有可能从湖面边缘出孔。钻孔的长度也从原来的 1280 米(4200 英尺)增加到了 1463 米(4800 英尺)。由于新位置的钻孔和拖入坑变化,钻孔的埋深也加大了。

随着铺入方向的改变,熔接场地和管道堆放场地也转移到原设计的北边,这使它本身面临的挑战更加困难。北边的地形及既有的几条公路,使要将公称直径 600 毫米(24 英寸)长的管道连接成一根管柱,非得要创造性的解决方案才行。

4 施工过程

内布拉斯加州林肯市的工程承包商 King 公司,获得了这个非常艰难的钻进工程项目。King 公司这些年很好地完成了许多艰巨的 HDD 施工,并且专攻各种用途管道的施工,包括水务项目、供水管网、石油和天然气管线。

不利的天气条件给钻进施工和先前所描述的钻孔线路都带来很大影响。水位上升给钻进过程带来的一个最主要的困难是对导向孔定位系统的考验。常规的有线系统是根据钻孔的长度和磁方位来跟踪和定位钻头,从而调整导向孔的钻进轨迹。King 公司使用的 Centerline 导向系统(Centerline Direction Guidance Systems)是一套有线系统,使用该系统



图3 回扩施工所用设备为 AA625 型钻机及其配套机具

的麻烦是需要将定位线圈放入湖底。尽管进行了多次努力,但由于春季多雨导致湖面升高 6 米和强侧风条件,使要将定位线圈放到湖底的准确位置几乎是不可能的。因此,只好将定位线圈的放置间隔在仪器允许的条件下尽可能的远,这样在湖面下的部分导向孔钻进不得不采用“盲打”,只能根据角度来跟踪和修正某一时刻的导向孔是否在设计轨迹上。就是在这种情况下,钻工们还是在钻达对岸时,实际位置与设计轨迹误差控制在了 1.5 米范围内,同时保持了导向仪能够继续定位操作。钻进设备和现场情况如图 3 所示。

钻进直径 250 毫米的导向孔使用的是一台 Vermeer 200 × 300 钻机。导向孔钻进首先遇到的挑战就是地层,施工导向孔花了近 10 天时间,主要是对付各种不同的地层,以及努力保持任何时候的孔内钻具都与所钻地层相适应。地层沿着钻孔轨迹不断变化,从粘土层变为页岩,又从页岩变为粉砂岩。大段的页岩段钻进困难,因其似乎非常松软,极易发生钻头泥包。

第一级扩孔仍然使用了相同的 Vermeer 钻机,最后换用了更大的美国奥格公司的 AA625 钻机作为第二级 38 英寸的扩孔和最后的管道回拖。为对付前面提到的软页岩问题,King 公司自制了一套扩孔器,该扩孔器在后来钻遇的硬页岩地层中仍能使用。施工的自始至终,地层情况都对施工过程是一大挑战。由于地层复杂和钻孔加长,扩孔过程花了三个星期,比预计的时间为多。

5 用可熔接头的 PVC 管材穿越

FPVCP 是竞标中可供选择的管材之一,最终



图 4 管道熔接(将需要铺入的管道连接在一起)

King 公司选中了它。PVC 管道的抗拉性好,只要其能够实现有效的可靠连接,它就能很好地适应穿越铺设。可熔接 PVC 管可连接成长长的管柱,这个能力正好使其能够满足本项工程的需要。图 4 为熔接 FPVCP 管道的情况。此外,与其它可熔接塑料管道相比,FPVCP 这种塑料的抗拉能力更好,较薄的管壁可以承受更大的拉力,这意味着在给定管道外径条件下流通面积更大,也就是说,铺设所需管道的孔眼成本可以更小,因为扩孔级数、冲洗液消耗量和穿越施工时间都减少了,当然,可能更重要是的工期的节约和施工场地占用时间的大大缩短。

UGSI 公司提供穿越所需的直径 600 毫米(24 英寸)、DR(壁径比)18 的可熔接 C-905 管材,也提供现场管柱组装的熔接服务。如前所述,铺入方向变了,管柱组装长度要达到 1463 米(4800 英尺),管柱还得顺着既有公路摆放,地形起伏较大。为了适应地形和有利于管柱移动方便,将管柱放在了如图 5 所示的规格尺寸及安装间距的辊轮装置上。



图 5 安放在辊轮上的管柱

在穿越公路的地方,采用了更大直径(915 毫米(36 英寸))的 CMP(波纹金属管)管道替换现有公路排水管道,管柱穿过后,在其两端也放置了辊轮装置。

替换公路排水管道采用了明挖方法,先在原位放置新管,再穿入 FPVCP 管,然后调整管道轴线,最后,对明挖段进行回填、铺平,确保回拖施工阶段的车辆通行,见图 6 所示。施工完成后,替换的新管就留在路下作为公路排水管道。

6 管道铺入和工程收尾

扩孔完成时,管柱也连接好了,开始准备最后的回拖施工。回拖铺管情况如图 7 所示,其开始于 2009 年 8 月 19 日上午 8 点,回拖持续到下午 3 点时,发现了一个有问题的接头,此时回拖标记长度为 622 米(2040 英尺)。这时停止回拖,直到有问题的接头被换下,新接头重新熔接上才又继续回拖施工。这个过程花不少时间,因为要将相关人员调回施工现场,一起来搬动仍然位于地面等待拖入的长大管线。新接头在第二天中午熔接完成,回拖重新开始,又花了 10 个小时,至 2009 年 8 月 20 日下午 9:20,总长 1463 米(4800 英尺)的管柱才全部回拖铺设完成。

在回拖过程中,管柱内铺入了一根水管,其开口通到管柱进入坑的下部。这条水管的作用是将水泵送到 PVC 管内,通过它的填充(清水)平衡,可减少管道对钻孔上部孔壁的浮力作用。这样做有许多好处,但最大的好处是:减小了回拖过程中作用在钻机和管道自身上的回拖力。整个回拖过程的平均



图 6 穿越公路的管柱



图 7 管道入口坑和回拖工序开始

回拖力为 160000 磅, 在回拖后期, 约最后 152 米 (500 英尺) 位置, 回拖力达到最大, 钻机上记录的最大回拖力近 200000 磅。直径 600 毫米 (24 英寸) 的可熔接 C-905、DR18 管道的推荐安全拉力值是 305000 磅, 该值还考虑了管道及接头的抗拉强度 2.5 倍安全系数。

在拖管过程中, 有一些好的经验值得借鉴: 一是采用了适当规格尺寸及安装间距的辊轮装置, 依靠它们来支撑地面上的管柱, 拖管时注意观察管道运动轨迹, 确保其不发生过度弯曲, 并且不会在拉力作用下从辊轮上脱离; 二是管道入口坑应具有适当的斜度和尺寸, 以支撑管道, 减小其入口时所受应力, 也即不要受到向下的垂直弯曲。还有一个最关键的方面, 就是回拖开始后的头一千英尺左右, 此时既是管道回拖进入正常的开始, 也是最大回拖力将要出现的时候。

2009 年 8 月 31 日至 9 月 1 日, 在管道内注入了 1360m^3 (360000 加仑) 的水, 以排光管内所有空

气, 确保压力测试进行。2009 年 9 月 1 日管道通过了压力测试, 维持所需压力 4 小时, 没有发生任何泄露, 铺管工程顺利验收。

7 结论

水平定向钻进在南、北达科达州施坦丁罗克苏人部落的原水输送项目中起了很大作用。奥瓦西湖下长 1463 米 (4800 英尺)、直径 600 毫米 (24 英寸) 的可熔接 C-905 管道的铺设成功, 创造了新的记录, 并使得整个工程有了一个良好的开头。在穿越施工中, 工程承包商 King 公司遇到了很多独特的挑战, 包括施工场地偏僻、湖面水位上升、钻进和熔接场地重新调换、地质条件复杂和有线导向系统等等问题。

本项工程的成功, 创下了 1463 米 (4800 英尺) 长的管道穿越铺设纪录。总长 100 公里的管道工程还有 90 公里 (62 英里中的 56 英里) 没有施工, 但此项将持续 10 年的管道工程中最具有挑战性的管段已经完成铺设, 并且顺利通过了测试验收。

参考文献:

- [1] Bueno, Sharon M. (2009). "Water Project in South Dakota" Trenchless Technologies, September, 2009, Benjamin Media.
- [2] Bartlett and West (2009). "Standing Rock Sioux Tribe Standing Rock Rural Water System Raw Water Pipeline Phase1 Contract 3-3", August 2008.

译自 <Pipelines 2010: Climbing New Peaks to Infrastructure Reliability—Renew, Rehab, and Reinvest>

霍宇翔 校

《城镇燃气管道非开挖修复更新工程技术规程》

《城镇燃气管道非开挖修复更新工程技术规程》获批准为行业标准, 编号为 CJJ/T147-2010, 自 2011 年 1 月 1 日起实施。

本规程由住房和城乡建设部标准定额研究所组织编制, 中国建筑工业出版社出版发行。

一项大直径 PE 管道穿越铺设工程的经验教训

Jey K. Jeyapalan 著 周小龙 译

摘要:一项水平定向钻进穿越铺设大直径 PE 管道的工程出现工期拖延、投入猛增的后果,究其原因,主要是有关各方漠视勘察资料、设计草率、不熟悉水平定向钻进的监理工程师拥有过大的权力。

关键词:水平定向钻进、HDPE 管道铺设、经验教训

2005 年夏天,某市政府对一项用 HDD(水平定向钻进)湖底穿越铺设的直径 36 英寸、长 3200 英尺 HDPE(高密度聚乙烯)输水管道工程进行了招投标,这条输水管线计划在 2006 年 5 月 1 日投入使用。在 2005 年 7 月 14 日开标时,X 公司以 1740000 美元的最低价中标,排在第 2 位和第 3 位的分别报价 2004053 美元和 2289400 美元。在 2005 年 8 月 16 日召开的工程预备会上,定下的合同完工期为 2005 年 11 月 1 日。工程的全部及最终设计和钻孔轴线选择仅仅基于 4 个钻孔,并且没有做相应的线路岩土工程勘察报告,自然也就无法提交给工程师或者是 HDD 技术人员使用。如果工程的任何一方花点时间去研究那 4 个钻孔中信息,在之后钻进过程中遇到的众多问题就可能被预测。是什么原因导致了钻工们在工地上多呆了 1000 多天,多花了 600 万美金之后工程仍未竣工,从 2007 年 11 月 14 日起钻进公司聘请作者为顾问对此问题进行独立调查。此项工程使钻进公司、工程师和政府不得不面对钻井液漏失、公路塌陷、房屋等建筑物沉降和其它灾难。工程施工严重扰乱了当地居民几个月的正常生活。从这个事件中,我们得到很多教训,作者将这些教训与大家一起分享,希望在今后类似的工程中得以避免。

2005 年 8 月 16 日短暂的工程预备会上,讨论的议题明确表明,施工公司及其 HDD 专业顾问公司和市政工程局仅仅就工程中管道材料选择、施工方法、涉及的公共设施、环境影响、施工图提交、交通管制、许可证、水土流失和废液处理、试验测试要求、居民沟通以及沉降监测等问题发表了简单看

法。管线设计、水平定向钻进铺设及现场地质条件复核都是由施工公司及其 HDD 专业顾问公司负责,但很遗憾,里面包含了很多错误及漏洞。

1 资料查阅及现场考察

作者认真回顾了下列文献资料:

- 1) 美国农业部(USDA)水土保持测量图
- 2) 美国地质勘探局(USGS)7.5'地形图
- 3) 2005 年 3 月份期间的岩土钻孔资料
- 4) 2006 年 9 月份期间的岩土钻孔资料
- 5) 2006 年 9-10 月份期间的岩土钻孔资料
- 6) 2007 年 12 月份期间的岩土钻孔资料
- 7) 区域地质资料
- 8) 从 2004 年 12 月 27 日开始,装有来往函件的 5 本 3.5 英寸活页笔记簿
- 9) 钻进液漏失的所有记录
- 10) 回拖过程中,管道被卡所有记录
- 11) 排水的所有记录
- 12) 喷射灌浆的所有记录
- 13) 高压灌浆的所有记录
- 14) 《城市信息自由法》法案
- 15) 2005 年 4 月 18 日的初步设计报告
- 16) 顾问公司写的进度报告(作为工程公司进度报告的替代品使用)
- 17) 2005 年 12 月 14 日至 2006 年 1 月 11 日期间的监理日志
- 18) 振动研究、裂缝监测数据及报告
- 19) 地下水监测数据
- 20) 沉降监测数据

- 21) 钻孔缩径记录
- 22) 对工程公司先前起诉的副本
- 23) 2007 年 2 月 28 日当天的突出问题
- 24) 喷射灌浆年表
- 25) 振动监测年表
- 26) 主合同
- 27) 标书
- 28) 若干照片
- 29) 工作日志

30) 2005 年 6 月,《地下工程》杂志发表的第七届水平定向钻进年度调查统计

31) 2006 年 6 月,《地下工程》杂志发表的第八届水平定向钻进年度调查统计

32) 2007 年 6 月,《地下工程》杂志发表的第九届水平定向钻进年度调查统计

作者于 2007 年 12 月参观了工程现场并与钻井相关人员进行了会谈。在查看了四个勘察钻孔的资料和水平定向钻进轨迹设计图纸后,作者很快发现,在此工程中,非常明显地,即使是最基本的岩土工程惯例都被参与各方抛弃了。

2 工区地质背景

工地位于 X 湖的南岸。州地质平面图表明施工线路上覆更新世和全新世时期沉积物,包括下伏湖泊相砂层的流砂和砂砾层。X 湖东部边界上的大量湖泊是在大约 10000 年前 X 湖陷落数百英尺的时候,受河流的底部侵蚀作用形成的。大约 5000 年前,冰河消融使湖面抬高,同时入水口降到了现在的位置。结果当 X 湖水位逐渐抬升时,整个湖成为了一条被淹没的河谷。和绝大多数湖相似,河湾口的河洲使得湖岸比 X 湖中的水位稍高一点。

下面是 4 个岩土勘察钻孔的资料:

(1)2005 年 3 月期间的岩土勘察钻孔

整个工程的线路设计仅仅基于岸上两个钻孔。这些钻孔是在 2005 年 3 月完工,2005 年 5 月份提交报告的。这两个钻孔遇到了上覆砂质粉土,下伏低可塑性土的砂层和粉砂层。在砂层和粉砂层上部含有粘土和粉土透镜体。在砂质粉土中含有粉质砂土。在低塑性粘土中含有层状砂和卵砾石。砂层和粉砂层由中密到密,粉砂越变越硬,低可塑性粘土由硬变坚硬。岸边钻孔在高程 579 英尺左右遇到地

下水,而湖水水位 578.6 英尺要浅一点。

其余两个水上钻孔是在一艘驳船上施工的。湖中的钻孔测试显示在欠固结和正常固结物下面主要是砂层和粉砂层。在中密粉砂层下面同样有砾石透镜体和炭质粉土,在更深的深度存在夹有卵石的低塑性粘土层。

该区域基岩应该 450 英尺到 500 英尺深的位置出露,然而这个工程的 4 个土层勘察钻孔在 485 英尺的深度都没有遇到基岩。当各种技术难题浮出水面时,钻井、工程公司、顾问公司以及市政工程局都发现上述的岩土工程数据完全不够的。不必要的技术争论数次发生,甚至在那些技术知识已经被广泛接受,并且已成为岩土工程实践标准的问题上。

由于原来 2005 年 3 月的钻孔没有提供充足的数据来解决这些争议,因而 2006 年 9 月、2006 年 9 月~10 月和 2007 年 12 月又进行了附加的岩土工程勘察,具体如下:

(2)2006 年 9 月期间的岩土勘察钻孔

在拖管坑的南边又开钻了八个深度从 30~45 英尺不等的土层勘察钻孔。地层由上覆细粒粉砂的砂层组成,深度达 30 至 38 英尺。砂层由松散到中密。在 15 至 30 英尺深总是会遇到松散土层。拖管坑旁施工的一个钻孔揭露了在 3200 英尺长的水平定向钻进中需要安装钢套管的最后 100m 上方,该段地层的砂粒已经被膨润土钻井泥浆胶结在一起。在细粒粉砂下部,孔深 45m 的位置,遇到了含有砂质淤泥性粉砂的粘土层。这些地层的密实程度都是从中密逐渐变硬。在全部八个钻孔中,只有个别距拖管坑较近的孔钻遇了灌注的水泥浆液。从地面往下 12~13 英尺之间即是地下水位。在拖管坑北侧,采用地质雷达确定了 HDPE 管道被卡住的位置。

(3)2006 年 9-10 月份的岩土勘察

2006 年 9 月份期间,完成了 12 个钻孔来验证所做的岩土工程勘察,这些钻孔提供的资料与已获得的数据非常一致。不幸的是,工程公司及其顾问公司要求这 12 个钻孔和相关工程勘察的时间有点太晚了,而使得市政工程局在判断工地所处的过程中付出了代价。如果所有数据真正是由工程公司及其顾问公司在工程设计之前所搜集的,从而就可以避免一项用水平定向钻进铺设直径 36 英寸、长度 3200 英尺的试验性输水管线工程,那么,原计划的

输水管线能够更快地设计和施工,并且选择更合适的管道材料和其他可行的施工方法会使工程更加经济。

(4)2007 年 12 月份钻孔

由于存在深部含水层补给地下水引起喷水冒砂的可能,这样会造成拖管坑内排水效果不好并威胁到工人的安全,于是第四组钻孔在 2007 年 12 月间完成。在 #300 水压计处的第一口钻孔中,在 37 至 48.5 英尺出现粘土层,下伏粉质细砂层直到 61 英尺。从 61 至 67 英尺,砂质粉土出现在粉质粘土层上。在计划安装 #301 水压计处的 2 号孔中,从 37 至 55 英尺出现夹带粉质粘土的粉质细砂层。由于钻井液渗漏,导致铺设用的 HDPE 管材于 2005 年 9 月被卡住,出现问题的位置是 1 号孔中 45 至 50 英尺处和 2 号孔的 35 至 40 英尺深处。两个钻孔中的地下水位深度在 15 到 20 英尺左右。标贯锤击数在砂质粉土中是 44 到 58 次,在粉土和粘土中是 8 到 13 次。当使用 20 英尺长的检测器将水压计放在 69 至 70 英尺时,检测到低含水层,从而为大量地下水异常导致 2005 年 9 月期间的钻井液损失提供了合理解释,这次漏失导致距离最后的目标只有 150 英尺的 36 英寸 HDPE 管被卡住了,经过钻工们不懈努力,大量水流入拖管坑中,拖管坑中水位成功下降,工程才得以完工。

3 工程公司初步设计报告的评估

仔细检查工程公司的初步设计报告便清楚地知道,工程师中没有一个人具备相关的资质和经验来处理工程中的问题。以水平定向钻进方法完成河湖穿越工程是基于两个岸上勘察钻孔,它们是在 2005 年 3 月 8~10 日钻成的 LB-1 和 LB-2 号孔。选线评估是根据公司的水平定向钻进顾问公司 2004 年 12 月 29 日的现场踏勘后,利用地图数据和航空遥感图片完成的。可能出现的钻井液损失和相关的路面隆起或沉降,施工过程中安装套管以保持钻井液来降低钻进风险,这些都被考虑到了。虽然明挖施工更经济些,但是这一方案却从未提供给竞标单位。

尽管事实上设计团队和市政工程局都意识到,用水平定向钻进比用开挖施工风险更大,如初步设计报告中包括这样一段;“明挖、定向钻进以及风镐

掘进都是可以用来施工输水管线的方法。三种工艺中,如果施工空间允许的话,明挖是最经济的。岸上全线都有足够的空间供明挖施工,这也是被推荐使用的方法。”然而,这份报告的另一部分却是工程公司所写的,“根据两个岩土钻孔的钻探结果,我们的意见是地质条件有利于水平定向钻进施工”。岩土勘察钻孔内出现松散无粘性土,可工程公司的报告说:“有可能松散无粘性土不能在很长的水平钻进孔中支撑孔壁,但这并不会阻碍管线的铺设”。工程公司的报告中也写到,“用水平钻进铺设管道的技术可行性是由 3 个基本因素控制的,包括钻进长度、管道直径以及地下障碍物。这 3 个因素共同决定特定区域工程的成败。”当工程公司讨论与地下障碍物相关的风险时,他们又补充了对工程长度、管径和地下障碍物对水平定向钻进工艺的限制考虑,结果是,地下障碍物是主要的影响因素。工程公司还写到,“主要由粗颗粒物质组成的地层严重影响 HDD 的可行性。”然而,当工程公司及其顾问公司粗心大意地选择水平定向钻进作为施工方法时,却忽略了岩土钻孔中遇到的松散碎石。

需要指出的是,当时还没有其它工程有这样的魄力去实现一项直径 36 英寸、长度 3200 英尺的 HDPE 穿越工程(2005 年的世界纪录)。虽然钢质管线被考虑过,但是这种方案在竞标过程中从未公布过。大体上来说,对于一项如此复杂的工程,工程公司的工作带些试验性质,没有一份充足的管线勘察报告可以依靠,当它成为一项棘手工程时,也缺乏同行公司为业主和项目提供的合理监管。

甚至基于 4 个岩土钻孔得出的简短岩土工程报告上这样说,“粘土层中遇到了碎石和卵石,承包商必须随时准备处理这种情况,完成钻进。”具有讽刺意味的是,简短的岩土勘察报告署名日期是 2005 年 5 月,而工程公司的初步设计报告是 2005 年 4 月 18 日完成的,比岩土工程勘察结果还要提前,这说明工程公司及其顾问公司是在极少的勘察工作后,在不了解地质条件的情况下,甚至都没有依据这本来就不多的数据就决定这项工程的施工方法。初步设计报告提到当钻进从输油管道下方穿过时要特别小心,可是并没有关于因施工引起的输油管线垂直和水平位移的标准。

工程公司及其顾问公司缺乏对岩土工程及管

线铺设经验以及他们错误地选择了水平定向钻进导致了这项工程整个工期内的许多问题。极具讽刺意味的是,在设计和施工阶段工程公司和他们的 HDD 专业顾问公司的粗心大意,导致了工期延长和亏损,结果却是市政工程局为其误工费用和相关赔偿费用埋单。

4 施工操作说明的评估

施工操作说明在下面几个方面有缺陷:

(1)在本项目的地质条件下,水平定向钻进并不是一种适当的方法来施工铺设实施如此轨迹的管道。

(2)众所周知,地质条件决定了水平定向钻进的成功与否,但是本项目工程师和市政工程局从没有在工程设计阶段获得充足的岩土工程数据。

(3)这导致施工操作说明对于沉降监测、振动监测、裂缝控制、地下水监测和质量控制测试的说明没有充分的预防措施。

(4)说明中从未解释深部含水层情况。

(5)说明中不含对于沉降监测、振动监测、裂缝控制、地下水监测的工程技术标准。

(6)由于设计阶段明显缺乏充足的岩土工程数据,于是不得不进行几次附加的岩土工程勘察,当许多没有预料到的施工难题浮出水面时,更证明了标书的说明书是有缺陷的。

5 实际情况与标书不一致

钻工在本项目面对的工程条件与设计团队描述的明显不同。设计团队仅仅完成了设计图样和说明就匆匆地参加了竞标。通过这样做,设计团队将风险转嫁给了钻工,钻工发现在施工期间可能会遇到某些难题。市政工程局、工程公司、顾问公司以及钻工没有任何一方真正理解手上的岩土工程数据,也没有人意识到整个项目工期内难题会随时出现。

6 工程师越权指挥与滥用职权

2005 年 6 月 29 日生效的《合同一般条件》在 00706—00707 页上明确规定了工程师的地位,具体如下:

“工程师将对施工进行日常监督。他有权在他认为有必要时,为保证完成工作与计划和操作说明

相协调的任何时间停工。他还有权抵制所有与计划和操作说明不符合的工作与建筑材料。”

通过使用上述条款,工程师实质上是参与到了日常事务中,直接并大量地控制了钻工的施工方式和方法。由于对管线材料、设计和施工等工程知识缺乏基本认知,工程师拖延了钻工对项目正常实施。工程师不熟悉国家标准和法规以及被广泛接受的各种材料地下管道的工程技术和不同的铺设方法,不熟悉对于住宅结构和地下管线的沉降标准,振动对附近结构引起的影响、附近住宅结构容许的裂缝宽度、降水对沉降的影响及其它方面的操作规范的现行标准。由于工程公司及其顾问公司缺乏足够处理上述问题的技巧,致使拖长了技术争论和增加了信件往来,严重影响了钻工实施工程公司已授权施工方法的速度。工程公司对钻工完成的工作及所采用方式方法的执行标准既不接受也不反对,并且总是因为执行标准而争论,最后专断的达成一致,最后的一致意见没有任何工程优点和国家利益可言。从记录可以清楚地看出,当钻工竞标该工程时完全没有意识到工程公司每天都对操作说明进行解释,为的只是对钻工的工作既不接受也不反对。这个情况造成了合同生效时没有预料到的一系列问题。

7 变更范围

工程公司在对地质条件认识不足的情况下,采用高风险的水平定向钻进施工方法完成了一次试验性设计,他们忽视了在国内有经验的岩土工程师中已经形成的关于水平定向钻进方法使用的限制和不适用地层的警示,而是将其作为一种可行的方法来实施一条 3200 英尺长、直径 36 英寸的输水管道穿越工程。工程公司还把他们的地下岩土工程顾问公司在有限钻孔的基础上编制的技术指南放在一边,指南里的数据表明在碎石层、卵石和极其松散的细粒沉积物中,就是在后来出现钻井液损失及随后发生的道路下沉的部位,半合管取样器在 140 磅重的重锤锤击下只用几下就可以击入地层。甚至早到 2005 年 4 月份,工程公司就知道水平定向钻进不是合适的施工方法,会有很高的风险并会比明挖用更多的钱,但是为了市政工程局的利益,一套有缺陷、过于宽泛、没有特殊情况预案的竞标

通过了。工程公司和钻工多次进行长时间的技术上和程序上的争论,争论最多的是那些在国家工程实践中已成型的一般工程原则。通过设置那些尚未被工程规范广泛采纳,甚至是不合理的施工要求,工程公司数次变更了施工范围。

工程公司对各种方法及工艺要求有决定权:通观整个工程,工程公司数次决定了项目中钻工采用的施工方法及工艺。

工程公司干扰承包商的工程分包:工程公司以一种过分热情的方式干扰了钻工协商的尝试,并妨碍了分包商为了尽快完成这项工程的努力。

8 总结

通过这次独立的调查,形成如下意见:

(1)在钻工们与工程公司、顾问公司以及市政工程局打交道的这块场地上,有充足的证据证明钻工在工作现场面对的地质条件,与他们得到该项工程时的描绘极不相同。

(2)设计在很多方面有缺陷。事实上,作者从没能得到一套来自工程公司、顾问公司以及市政工程局的可以接受的设计计算,来解决钻工在现场遇到

的问题,如方案、剖面和管道材料选择等等。

(3)合同的技术说明有缺陷。工程公司、顾问公司以及市政工程局既因为缺乏充足的专业知识又缺乏深思熟虑,放弃了标书中的执行目标,而选择延迟工程进度并强制改变操作规程,使得规程的执行目标更为苛刻,这些执行目标本质上过于专断,并且毫无工程学优点可言。

(4)很明显的,工程公司、顾问公司以及市政工程局一直变更工作范围。

(5)有充足的证据说明不但市政工程局还有工程公司、顾问公司都迫使钻工采用许多方式方法,丝毫不理会公众的利益和钻工的经验。工程公司、顾问公司以及市政工程局常常迫使钻工采用错误方法,导致了额外的延误。

(6)在这个地下管线工程中,适当材料和施工方法的选择并没有偶然发生。这需要几十年的经验和扎实的岩土工程实践知识以及管线工程知识,并从所从事的上百项相似工程中获得的良好判断力。

译自 <Pipelines 2010: Climbing New Peaks to Infrastructure
Reliability—Renew, Rehab, and Reinvest>

霍宇翔 校

威猛 V-Rod 钻杆

水平定向钻对钻杆的要求是高于石油钻井的,面对高扭矩、大回拖力,使用的钻杆都需要频繁承受弯曲负载,反复使用,而威猛的 V-Rod 钻杆则专为水平定向钻施工设计,采用独家定制高性能合金材料,拥有特殊的抗磨损和抗弯曲性能,采用单根整体锻造和特殊热处理工艺,整根钻杆的强度和硬度均匀一致,避免了局部应力集中,不像普通焊接钻杆般因杆身软和接头硬而容易断裂。加大的钻管直径提供额外的拉伸强度,适合超大型钻机施工需求。加上优越的双台肩设计,令钻杆结合紧密,更好的传递弯曲和推/拉力,最大程度的减少螺纹受力,连接部位强度高于杆身。V-Rod 经过精密的加工和检验,最大程度保证产品质量的一致性,再配上威猛专用螺纹扣型,使之达到更快速的上扣速度,更长的寿命和更平顺的卸扣操作,特别适合超长距离钻进和大直径管道的铺设。



针对穿越重要构筑物时减少潜在水压裂隙的水平定向钻进设计

Andrew E. Sparks 等 著 田恒星 译

摘要:水平定向钻进管线安装的设计经常需要对钻进轨迹穿过土层的潜在水压裂隙进行评估。当轨迹穿过一个重要构筑物的下方(例如蓄水坝)时这种潜在的裂隙可以成为一个重要的设计因素。如果下层土体的水压裂隙引起钻井液流到地表,所造成的冒浆会引起水渗漏或者引发基础土体的破坏。因此,相关管理机构需要一份非常详细的关于水平定向钻进穿越过程中潜在水压裂隙和冒浆的评估。在研究 HDD 穿越的水压裂隙模型过程中,对于抵抗水压裂隙和冒浆的安全系数的一个重要影响因素是土层的屈服强度。如果 HDD 穿越定位在高屈服强度的土层,潜在的水压裂隙将减少。该研究比较了两个 HDD 穿越的水压裂隙模型。第一个穿越的亚表土由中等密实的粘土组成直到最大切削深度。第二个穿越的地下条件由中等密实的粘土覆盖在中等密实到非常密实的砂层。通过定位于密实砂层,水压裂隙和冒浆模型的结果表明较高安全系数的重要性。

关键词:穿越、钻进设计、压裂

HDD 管线安装已经成为石油和天然气工业在穿越地表和地下障碍中经常使用的惯例。当 HDD 安装穿过重要设施下方,颁布许可证的管理机构越来越关心水压裂隙引起的潜在危害。管理河堤系统的机构特别关心水压裂隙对堤坝和堤坝基础造成的潜在威胁。一个堤坝影响到数以千计的人民,基础设施和水资源供应。

对于这些关心,管理机构需要 HDD 设计工程技术人员提供详细的关于 HDD 安装穿过这些设施下方引起的潜在水压裂隙评估。

如果工程技术人员可以设计一个 HDD 安装来实现土层单元对于水压裂隙危害保持足够稳定,对于现有的构筑物的损坏风险将降低。为了追求较强的土单元,在整个的 HDD 校准中,关于水压裂隙的地表下的地质条件必须被描述和评估。

这篇报告第一次讨论评估潜在水压裂隙的通用方法和对比两次不同土层条件的 HDD 穿越。

1 HDD 操作和钻井液压力

HDD 钻进过程中,钻井液经钻杆柱泵送到切削钻具,切削钻具直径一般略大于钻管直径。当钻孔

适当稳定,承载钻削的钻井液经钻杆与孔壁的环状间隙上返至孔口。

钻井液一般由水和膨润土组成,添加剂(例如复合火成岩,调节剂)的使用一般由亚表土和水质条件决定。钻井液的比重一般控制在 1.1~1.2,大约 69~75 磅/立方英尺。

钻孔内钻井液的总压力由钻井液的静水压力和悬渣返浆需要的压力组成,最接近切削钻具的土层承受最大的钻井液压力,环状间隙的钻井液压力可使用井下压力设备测出。

2 水压裂隙和冒浆

水压裂隙经常被用来描述这种情况,当钻孔环状间隙的钻井液压力超过上覆岩层压力和钻孔周围土体的屈服强度将导致钻孔塑性变形。水压裂隙一般出现在钻进轨迹通过低屈服强度或松散颗粒状等相对低粘结性的土体。通常,非常松散至松散的砂层,松软至中硬的粉砂和粘土一般有着高的产生水压裂隙的可能。中等密实至非常密实砂岩,非常硬至坚硬的粉砂和粘土一般有着较低到中等的产生水压裂隙的可能。

冒浆发生在钻井液出现在地表,实际上,冒浆绝大部分出现在的靠近出口和入口等覆盖土体少的地方。冒浆也有可能出现在工程地质钻孔位置的原有裂缝和空隙中,或者沿着现有构筑物(例如桩或公用电线干)。

建造工艺是影响钻井液漏失何时何地出现的一个重要因素,如果承包人使用不适当的泵量,不合适的钻井液特性或者不合适的渗透率,钻杆住和钻孔之间的环状间隙将由于钻削的积累而被堵塞。如果钻削的累计创造了堵塞的井底,环状间隙将变成过度负压,导致水压裂隙和冒浆的出现。

3 对潜在的水压裂隙的评估

工程技术人员适当地评估 HDD 安装中潜在的水压裂隙的能力依赖于可以获得的亚表土和地下水信息的多少和质量。通常,每段穿越的若干勘探钻孔都要被完成,一个合适的室内试验是要被完成的。使用亚表土和地下水信息,工程技术人员可以给定一个 HDD 安装中每个土单元的强度参数。

因为勘探钻孔一般沿着 HDD 定位线每隔 250 至 1000 英尺完成一次,钻孔之间的地下地质条件必须被插值。因此,输入参数时必须假定。需要假设的参数包括广泛和一致的地层地质学,地下水条件,钻井液特性,渗透率,泥浆泵输出功率。土体的强度特性一般有勘探和室内试验的测试结果得出。总之,水压裂隙评估的结果仅仅评价水压裂隙和冒浆的潜在可能性,仅仅和地下信息有相同的可靠性。

4 空隙膨胀理论和地层极限压力

这个方法用来评估钻井液沿着水压裂隙流失的潜在可能性,主要根据 Delft 已完成的研究成果。这个用来评估潜在的水压裂隙的方法的轮廓是建立在空隙膨胀理论的基础上的。这个空隙膨胀模型用来估算的钻孔塑性变形产生之前的最大液体压力。地层极限压力是水压裂隙模型的基础。一般把最终的地层极限压力表示为方程(1)。

$$P_{\max} = \mu + (\sigma'_0 \cdot (1 + \sin \phi) + c \cdot \cos \phi + \cot \phi) \cdot \left[\left(\frac{R_0}{R_{\max}} \right)^2 + \left[\frac{\sigma'_0 \cdot \sin \phi + c \cdot \cos \phi}{G} \right]^{\frac{-\sin \phi}{1 + \sin \phi}} - c \cdot \cot \phi \right] \quad (1)$$

$P_{\max}$: 地层极限压力—水压裂隙出现之前地层可以承受的最大压力

ϕ : 内摩擦角;

C : 内聚力;

σ'_0 : 有效的重直应力;

G : 切变模量;

R_0 : 钻孔半径;

$R_{\max}$: 钻孔塑性变形的最大半径;

土的摩擦角是抵抗水压裂隙的一个重要组成部分。如果土单元有少量甚至没有摩擦组分,该土层的极限压力将极大的缩小。

例如,如果钻进轨迹坐落于粘土层中且摩擦角可以被忽略,那么通用方程将简化成方程(2),其中只有总应力和内聚力抵抗水压裂隙。

$$P_{\max} = \sigma'_0 + c \quad (2)$$

由于只有总应力和内聚力抵抗水压裂隙,这将导致地层极限压力的显著降低和水压裂隙风险的提高。

因为内摩擦角有助于对水压裂隙的抵抗,所以定位于高摩擦角的土壤将极大的提升土层极限压力。

5 估算环状间隙钻井液压力

评估水压裂隙潜在可能性的第二个重要组成是钻井液次生的压力。环状间隙的钻井液压力由钻井液的静水压力和钻井液悬渣到地表所需的压力组成。因为钻井液是水和膨润土组成的悬浮体混合体系,表现为一种宾汉塑性流体,一般需要根据液体的塑性粘度和屈服点来表述(Applied Drilling Engineering, 1991)。通过钻杆和孔壁的环状间隙运输宾汉塑性流体需要的压力可由公式(3)计算得来。

$$P_{ap} = \gamma_f \cdot H_f + L_p \cdot \left[\left[\frac{\mu_f \cdot v}{1000 \cdot (d_h - d_p)^2} \right] + \left[\frac{\tau_f}{200 \cdot (d_h - d_p)} \right] \right] \quad (3)$$

其中: P_{ap} : 估算的钻井液通过钻孔排渣需要的压力;

γ_f : 钻井液单位体积重量;

H_f : 钻井液液柱的高度;

L_p : 钻管长度;

μ_f : 钻井液塑性粘度;

V : 环状间隙钻井液的平均流速;

τ_f : 钻井液屈服点;

d_h : 钻孔直径;

d_p : 钻管直径。

可以看出钻井液从环状间隙排渣所需的压力随着离入土点的距离增加而增加。其次,钻井液静

水压力随着钻孔深度的增加而增加。这两个因素影响环状间隙钻井液压力并且可以随着钻井的进度来引起钻井液压力的提高。

6 水压裂隙安全系数

一旦地层的极限压力和环状间隙的钻井液压力被估算,抵抗水压裂隙的安全系数就可以被计算出。切削工具周围的土壤抵抗水压裂隙的安全系数被定义为地层极限压力和被估算的环状间隙液体压力的比值,表示为方程(4)。

$$FS = \frac{P_{max}}{P_{aq}} \quad (4)$$

如果计算出的地层极限压力和环状间隙的液体压力沿着设计好的钻进轨迹有规律的变化,则整个穿越长度的安全系数可以被估算出。

7 HDD 设计定位

HDD 设计经常有灵活的几何形状来放置显示目标深度和位置的 HDD 纵剖面图。当这种挠性允许工程技术人员在土单元具有较高屈服强度的土层上施工,结果将包括对于水压裂隙更高的抵抗力。通过 HDD 的设计定位实现的较高安全系数可以增加管理机构颁发建造许可的可能性。

8 设计案例

下面的案例描述了两不同土质条件计算出的抵抗水压裂隙的安全系数的显著差别,第一个案例由粘土组成,仅仅覆盖一层薄砂层。由于土质条件主要是粘土,土层的极限压力通过方程 2 计算得出。

第二个案例由粘土覆盖于砂层上的多层系统组成。HDD 设计定位于砂层,因此土层极限压力可以使用通用的空隙膨胀模型的方程 1 计算得出。

8.1 案例 1——M1 堤坝

第一个案例是毗邻一条河的调节河堤下方的 HDD 安装。堤坝将近 20 英尺高,250 英尺宽。HDD 的入土点距离河堤将约 1000 英尺,轨迹经过河堤下方之前的最大深度达到约 175 英尺,见图 1。

(1) 亚表土土质条件

M1 堤坝下方深度 200 英尺以内由中等密实粘土组成,深度 55 英尺至 65 英尺之间有一层相对较薄的密集砂层,见图 1。

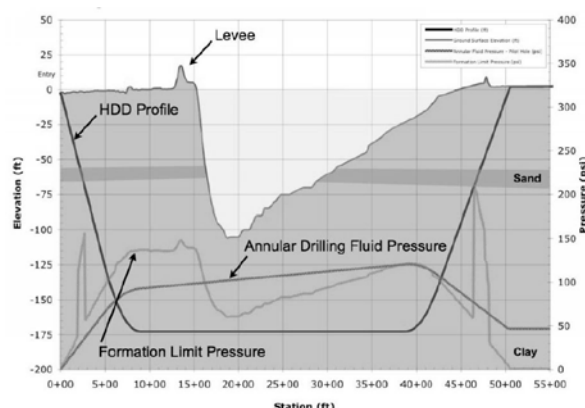


图 1 HDD 穿越 M1 堤坝

HDD 剖面图设计直孔钻进段到地表约 175 英尺是为了增加堤坝和钻井轨迹之间的距离。

此外,钻进轨迹的直孔钻进段被设计到堤坝下方 300 英尺,见图 1。

(2) 地层极限压力

由于钻进过程基本上都在粘土中进行,地层极限压力仅由总应力和土壤内聚力组成,见方程 2。在图 1 中我们可以看见土层极限压力在钻进轨迹的最后有急剧的增加表明钻进轨迹通过砂层。其次可以看出河流下方土层极限压力随着上覆土层厚度下降导致的总应力下降而下降。

(3) 环状间隙钻井液压力

环状间隙的钻井液压力受钻井液静水压力和钻管长度的影响,因此该压力在钻进轨迹从地表到地表下方 175 英尺成线性增加,见图 1。一旦钻井液的静水压力在直孔钻进段保持常量,环状间隙钻井液压力变化主要由钻井液携带钻渣到地表需要的压力控制。环空压力逐渐随着钻孔长度增加而增加。轨迹的最后环状间隙钻井液压力随着钻井液静

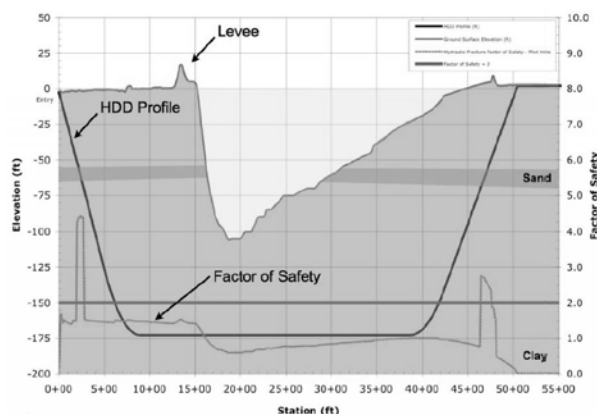


图 2 HDD 穿越 M1 堤坝的安全系数

水压力的下降而下降。

(4)安全系数

抵抗水压裂隙的安全系数在图 2 中显示。由于地层极限压力仅仅由总应力和内聚力组成,粘土中的安全系数小于 2,且堤坝之外的部分小于 1。轨迹两端经过砂层时引起两段明显的增长。

因为钻井液静水压力的增长和总应力增长保持相同速率,直孔钻进段深度的增加不会使安全系数产生重大增长。

8.2 案例 2——M2 堤坝

M2 河堤 HDD 安装也是穿越毗邻一条河的调节河堤下方。堤坝约 20 英尺高,120 英尺宽。HDD 的入土点距离河堤将近 900 英尺,经过河堤下方之前的最大深度达到约 200 英尺,见图 3。

(1)亚表土土质条件

M2 堤坝从地表到地表下方深度约 80 英尺内由中等密实到密实的粘土组成,粘土下方是中等密实至非常密实的砂层,见图 3。

(2)剖面图设计

HDD 安装的入土点坐落于毗邻河流的河堤的旁边以减少环状间隙的钻井液压力,见图 3。HDD 剖面图的直孔钻进段在地表下方 200 英尺的砂层中。

(3)地层极限压力

在粘土中钻进时地层极限压力仅由总应力和内聚力构成,见方程 2。这说明钻进轨迹的前 300 英尺和后 300 英尺具有相对较低的地层极限压力。

当钻进到标高 65 英尺以下的砂层时,使用地层极限压力的一般公式,得到较高的极限压力。

(4)环状间隙钻井液压力

正如 M1 堤坝,环状间隙的钻井液压力受钻井液静水压力和钻管长度的影响。在图 3 中可以看出压力随着钻进深度从地表到地表下 200 英尺线性增加。同样的,直孔钻进段处压力的增加是由钻井液携带钻削到地表所需的压力引起的。

(5)安全系数

抵抗水压裂隙的安全系数在图 4 中显示。由于砂层中的地层极限压力可通过一般的空隙膨胀方

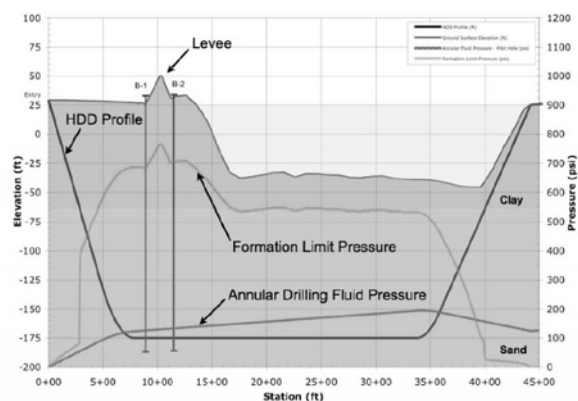


图 3 HDD 穿越 M2 堤坝

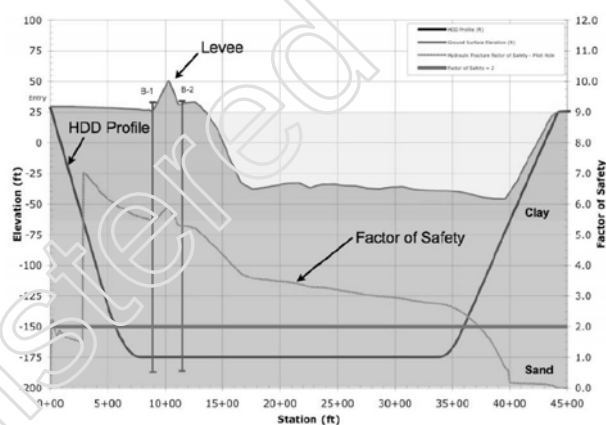


图4 HDD 穿越 M2 堤坝的安全系数

程计算得出,堤坝下方土层的安全系数在 5 到 6 之间且高于大多数穿越土层的安全系数 2。钻进轨迹开始阶段经过粘土层时安全系数小于 2,轨迹的最后经过粘土阶段安全系数小于 1。

9 总结

管理机构逐渐需要详细的关于 HDD 穿越重要构筑物(例如蓄水坝)的水压裂隙的评估。通常这些穿越被设置在指定的位置。HDD 设计过程中通过定位在相对高强度的土壤中,可以提高抵抗水压裂隙的安全系数。具有评估表明的合格的安全系数,管理机构更可能颁发建造许可证。

译自 <Pipelines 2010: Climbing New Peaks to Infrastructure
Reliability—Renew, Rehab, and Reinvest>

乌效鸣 校

新型直推铺管施工技术

Alexander Mallaney 著 张二海 译

摘要: 此项推管技术融合了非开挖领域已有的微型隧道技术和水平定向钻技术(HDD)。采用此项技术,只需一个连续的工序即可同时完成预制管道的铺设和钻孔的开挖。在发射坑的水平和垂直方向上安装了一种称为海瑞克推进铺管机的新型辅助装置,通过它来提供铺管所需的推力。推进铺管机通过夹持装置将管道固定,然后向前推进。由于管道与远程控制的顶管机相连,故可以利用普通的泥浆回路将挖出的渣土通过已铺设的管道输出。

关键词: 水平定向钻进、推管、应用

2007年10月,全世界首次见证了海瑞克推管技术的成功应用,即在德国沃姆附近的莱茵河底铺设一条长464 m (1,522 ft) 的涵洞。其用途是作为一条水管和几条电力及通讯电缆的通道。此次,海瑞克推进铺管机提供的平均推力达到80t (175,000 lbs),使管道顺利通过。作业队在24h内的最大推进速度为90m (295 ft)。工程开工后仅13天就取得了突破。

推管技术的第二次应用是在2009年7月,地点在德国北部的埃姆登城。当时正在埃姆斯河上兴建天然气地下储库。需要将盐矿冲出才能产生巨大的地下洞室。为了排出高浓度的盐水(卤水),必须在埃姆斯河的外河铺设一条42km (26英里) 长的管道,其中位于Rysumer Nacken人造沙丘场的最后283m (928ft) 出水管就是用推管技术建成河道入海口的。这使得东弗里斯兰周围脆弱的自然环境所受到的干扰被控制在最低程度。与常规技术相比,推管技术无需沿海岸线设置价格高昂且费时的钢板桩。其最高效率可达9m (29ft) / h,所以就效率和环保因素而言,可以满足各方更高的期望。

在2008年汉诺威工业博览会上,海瑞克公司因推管技术被提名举世闻名的赫尔墨斯奖,同时还在莫斯科的2008年国际非开挖展上获得ISTT产品奖以及2009年的IPLOCA新技术奖。

1 简介

过去,在涉及钢压力管道铺设的穿越工程中曾使用过各种方法。在保护隧道的施工过程中,顶管和短管内插法允许随后插入管柱。与此相反,HDD (水平定向钻) 技术则需要在拖管前钻设先导孔。近期的进展(如吃管法)包括顶进过程,即将紧密连接的临时钢管推向目标井,与管道连接后再一起回拖。所有这些方法所涉及的管道安装过程都包括两个或多个步骤。这些方法的多层次性及相关方面(如成本和工期)引领了推管技术的发展:现在,第一次实现了只通过一个工序即可有效和快速地顶进钢管。推管技术的发展基于以下目标,如创立一步顶管法、提供更经济的选择以替代现有方法、减少现场基础设施的占用面积以及尽可能降低地质风险(如塌孔)。此外,在利用独特优势和新技术的同时,有必要消除现有方法的不利之处。若想实现上述目标,就需要将HDD、微型隧道以及海瑞克推进铺管机结合使用。这一概念在2006年的汉诺威工业博览会上首次提出,并在其后的各类工程应用中得到证实。

2 推管技术

推管技术包括对管道的焊接和检测,此装置安放在发射端的滑轮上。推管机放置在管道的前方。其长度足以实现对推管机及后面整根管道的控制,

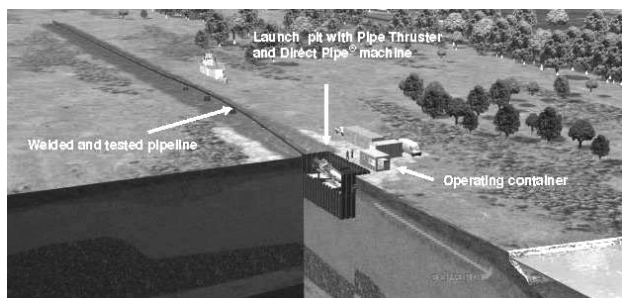


图 1 利用推管技术穿越河流的剖面图
(穿越方向为从左至右)

并装配有两个主动转向节。推进铺管机作为推进装置,其作用是在发射坑的外侧固定管道,并将推进机和管道推入地层。

与顶管技术相比,推管技术所使用的推进铺管机安放在发射坑内,而非顶管架中。它在水平和垂直方向上的固定需借助钢梁和固定架,从而将推力传递到周围的地层中。因此,推进机被放置在发射

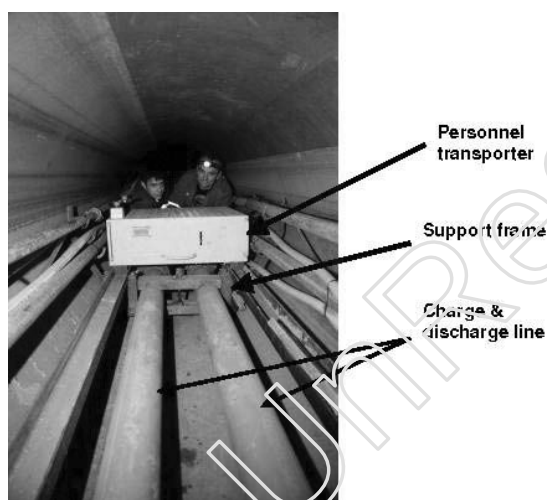


图 2 用电动人员运输车轻松巡查连接到支架上的电缆和排渣管线

封堵前方的一个特殊钢架上。预制好并经检测的成品管道焊接到推进机的一端后开始掘进。推进机掘进掌子面的方式与所有泥浆驱动的顶管机完全相同,这一方式在顶进钢筋混凝土管的施工中已应用了几十年。掌子面的支撑依靠膨润土悬浮液。挖出的渣土首先通过泥浆回路运送到分离场所,待泥土从冲洗液中分离出来后再将冲洗液送回到掌子面。

与顶管或微型隧道技术不同,推管技术允许在施工之初即安装泥浆回路,从而避免安装的延误,并使泥浆回路随泥浆和泵送系统的延伸能够与沿整个顶进长度的顶管操作同步进行。对于管道内各类功能管线(如排渣管线、电缆和数据缆、空气和膨润土润滑线路)的安装和固定,可以按 3m 的间隔使用带吊钩和滑轮的特殊钢架来完成(见图 2)。掘进完成后(例如,推进机到达目标坑),可以借助滚动钢架在一个或两个步骤内将各类功能管线从管道内拉出。

一种新研发的电动人员运输车用于轻松运输设备和人员。为确保人员安全,运输过程中必须提供充足的空气和照明。

推进机的切削刀盘可以配置适用于特殊地质条件的各类切削工具。与 HDD 技术不同,推管技术的管道直接充填于钻孔中且由膨润土加以稳定,因此可以穿越较大的漂砾、非常坚硬的岩石以及类似于砾石的不稳定软土。

通过位于发射坑一侧的操作工作室对推进机加以控制(见图 1)。

推进机的高精度导向系统用于探测其在地下的位置。借助静水水准系统(最大高差仅 $\pm 3 \sim 15$ mm)可以给出垂直方向。通过陀螺导向的不断测量可以给出水平方向(最大水平偏差仅 ± 5 cm)。因此,



图 3 推进机 AVN1000XC 正准备铺设 48"管道

推管技术的起始点可以非常精确,这一点与 HDD 不同(每个方向上的偏差可达几米)。

推管机的后部设计为锥形,从而增加管道和周围地层的环状间隙。润滑环与推进机的锥形后部形成整体,当管道在地层中推进时,可从润滑环外部向环状间隙中注入润滑膨润土来降低摩擦(见图3)。

如果采用推管技术施工的现场条件允许摆放整根管道,则只需一个步骤即可完成安装。如果场地空间不足,则可以分段摆放和铺设。当前面的成段管道被推入地层后,即可将焊接好并经检测的管道放在滑轮上,然后移至存放管道的坡道上(见图4)。



图4 推进铺管机将成段的管道推入地层

掘进过程中,推进铺管机夹紧管道外侧,而后利用其两个推进油缸从起始点至目标点向前推进。推进铺管机在机器的切削头上为钻进过程提供必要的压力。目前,共提供三种型号的 HER 海瑞克推进铺管机。只需简单地更换夹持块,即可使一种型号的推进铺管机用于不同的管径(见图5)。最小的型号是 HK300PT 推进铺管机,其推进力和拉拔力均为 300t,适用于 20"~36" (500 至 914 mm) 的管道。大一些的 HK500PT 推进铺管机适用于 20"~48" (500 至 1200 mm) 的管道,可提供的推进力和拉拔力为 500t。最大的型号为 HK750PT,适用于 40"~60" (1000 至 1500 mm) 的管道,其推进力和拉拔力为 750t。

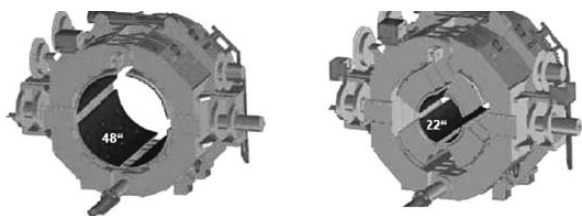


图5 HK500PT 夹持装置(适用于左侧的 48"管道和右侧的 22"管道)

加持装置可用于任何管道和管线涂层。推进铺管机不会损伤或弱化涂层。这一点已通过海瑞克的

大量试验和现场测试得以证明和保证。加持装置与带有涂层的管道的接触面积足以使涂层上的荷载均匀分布。加持装置的四个夹持块上覆有约 10mm 厚的硫化接触橡胶,可以补偿所夹钢管及其涂层的凹凸不平(见图6)。通过对角交叉的沟槽,接触橡胶所处的位置刚好可以消散位于管道表面的水或污渍。也可以在进入钻孔前检查涂层的完整性(阴极腐蚀试验)。



图6 推进铺管机加持装置的夹持块上带有硫化接触橡胶

推进铺管机两个推进油缸的行程为 5m, 最大推进速度为 5 m/min。推进铺管机采用枢纽装置,即加持装置及其两个推进油缸向前推进时可以在 0°~15° 范围内进行调整。

3 试点项目

2007 年 9 月,在沃姆附近穿越莱茵河的项目中,推管技术首次亮相。与沃姆当地的 EWR Netz 公司签订合同后,海瑞克铺设了一条总长 464m 的涵洞,涵洞平行于尼伯龙根大桥,始于莱茵河的黑森州一侧,直至位于另一侧隶属于莱茵兰普法尔茨州的沃姆市区。

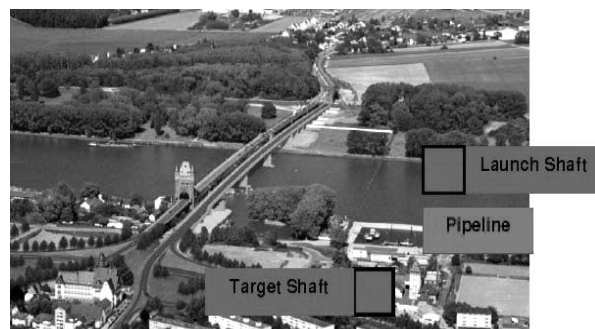


图7 在沃姆穿越莱茵河的鸟瞰图

涵洞拟作为一根直径 600mm 的水管和其它几条电力及通讯电缆的套管(直径 1200mm 或 48 英寸)。为了确保管线的使用寿命,在拖入成品管道使套管内各管线固定就位后,用水泥填充套管孔隙。该项目由汉堡当地的 de la Motte & Partner 工程公司

招标, 来自 Dörth 的 Sonntag Baugesellschaft 工程公司和海瑞克公司联合投标, 全新的推管技术在评标过程中明显优于非开挖施工和 HDD 技术。该技术中标主要得益于其经济效益和针对本项目的优势, 即仅需要一个最小尺寸的目标坑即可回收微型钻机, 从而使沃姆一侧的占地面积最小。此外, 预计 9 月下旬来临的洪水将威胁沃姆地区及整个现场的基础设施, 紧迫的工期要求项目必须尽快完工, 这也是选择推管技术的另一个原因。有意思的是, 由瑞士暴雨导致的莱茵河泛滥于 8 月中旬提早来临, 当时现场尚处于准备阶段, 结果造成全部撤场, 项目也推迟了大约一个月的时间。在水下 5m 处, 涵洞路线的覆盖范围约为 10m, 在岸区则为 3m。其中包括 100m 长的直推路线, 坡度 9.5%, 圆截面半径 1450mm, 直指目标井。在莱茵河底, 路线中央的最大水压为 1.5bar。由于周围树木的影响, 现场基础设施的空间受限, 致使管线无法一次顶进。只能准备 5 x 90m 的管段, 第一段长约 30m。通过将预先安装好的管段焊接在一起来延长管线。延长管线、焊接管段以及连接设备的供应和排渣管线需要 12~15h (见图 8)。

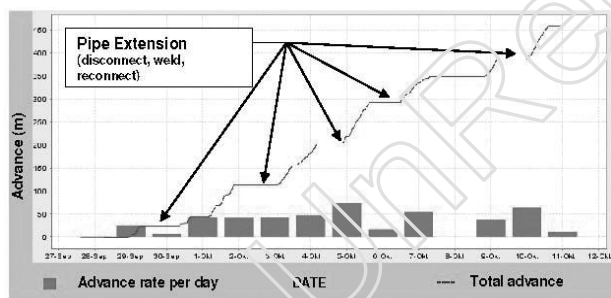


图 8 穿越莱茵河项目的工程进度 13 天推进 464m

掘进开始后, 新技术的表现甚至超出了最乐观的预想。平均掘进速度达到 15cm/min (最高 25 cm/min), 使管段得以快速安装。平均每天可顶进一根 90m 长的管段, 而平均推力只有 70~80t。通过推进机的润滑环和发射井中发射封堵后的开口完成对管柱的润滑, 而管道的润滑则不是通过管柱开口自动完成的。53mm 的超挖使管道可以“悬浮”在钻孔中, 这有助于大大降低摩擦力。到达目标井后 (见图 9), 施加的大部分推力显然都用在克服掌子面的压力上 (到达目标井后不再产生推力)。路线上的土质 80% 约为砾质砂土, 20% 约为淤泥质黏土, 无疑

使掘进速度受到了影响。



图 9 成功到达位于沃姆港的目标坑

4 推管技术的第二次应用

在埃姆登城附近 Rysumer Nacken 人造沙丘场的岸边, 汉堡当地的 Meyer & John GmbH & Co. KG Tief- und Rohrleitungsbau 工程公司正尝试使用海瑞克的推管技术在埃姆斯河底铺设最后 283m 管道。推管机从岸边的发射坑向埃姆斯河中的目标坑推进, 铺管机的最大推力为 750 公吨。对于这种一步完成管道铺设的方法, 海瑞克 TBM (掘进直径为 1,325mm) 此时牵引着一根 48 英寸带有 PE 涂层的管线。到达目标坑后, TBM 卸下安装好的管线并被回收。至此, 河道入海口完工, 管线可投入使用。埃姆登城的隧道工程始于 2009 年 7 月, 仅掘进 7 天就完成了 246m 管线的铺设。由于施工场地的空间紧张, 无法一次铺设整根管线。为此准备了单根 36m 长的管线, 然后再连接到管柱上。在起重作业过程中, 目标坑出现了一次事故, 虽并非客户的原因所致, 但导致 7 月 21 日当天所有施工暂停。为了日后回收 TBM, 需设置目标坑。施工暂停期间, 使用推管技术铺设管线时所形成的钻孔得到保护, 未受到破坏。2009 年 8 月 6 日, 掘进施工复工。TBM 以极高的精度抵达目标坑, 与理论路线的偏差仅有 3cm。Jemgum 储气设施的第一批硐室将于 2013 年投入使用, 最大存储容积为 300 百万立方米。2016 年整个工程完工后, 储气设施的工作气体容积可达 12 亿立方米, 抽取能力达到 120 万立方米/小时。



图 10 位于德国北部埃姆登城的第二个推管项目,现场安装

5 推管技术的优势及主要特点

无需套管即可铺设大口径成品管道。

与截止至目前所应用的所有常规方法不同,推管技术仅需一个步骤即可完成顶进,例如,一步即可将成品管线推入地层。

由于连续顶管的有效时间短,故铺设效率高。由于采用了推进铺管机和可以安装整根管线或较长的管段,故推进速度快。

对钻孔实施永久支护,可防止塌孔,这一点优于 HDD。可将由于地下土层原因造成事故的风险降

至最低。

依靠经验证的可控机制,即使顶推弯曲半径非常大的管线,也可获得很高的精度,从而避免过大的弯曲应力(不允许采用小弯曲半径的管线)和铺设力。

推管机的切削刀盘和切削工具可适应任何地质条件,这相对于 HDD 是一个有益的改进。

破碎后的岩石可通过成品管道内的供应管线排出钻孔,因此孔内不可能有碎渣。

仅在发射端需要一定空间,可将空间的占用控制在最低限度。这是其它方法所不具备的优势,常规方法要么在发射端需要很大的存放空间(顶管/短管内插法),要么在目标端需要很大的空间才能安装成品管线(HDD),又或者在两端都需要空间(易管法)。由于超挖较小,只需采用最小的钻孔直径即可完成施工(因此,出土量也最少),所需的泥浆量也最少。

6 结论

推管技术可替代管线安装,它不仅在理论上优于现有方法(特别是优于 HDD 技术,并且针对大口径管线),而且取得了令人印象深刻的实际成果。推管技术所承担项目的要求和顶进效率是其它方法无法企及的。未来的项目将在路线长度和施工效率方面展示此项技术所能发挥的极致。将来,石油、天然气行业,洁净水、污水输送以及电力、通信行业均需要建设大量的管线和暗挖结构,全球在这方面的需求日益增长,从而助推了一大批此类项目的行将上马。

译自: <International No-Dig 2010 28th International Conference and Exhibition> Paper 39#

通向大西洋的微型隧道

Cheng Chin Keong Guido Meier 著 张二海 译

摘要:伴随人口的激增和将鱼类作为食物这一日益增长的需求,西班牙现有的养殖厂启动了外扩工程。该工程始于葡萄牙的米拉,由两部分组成,一部分是修建养殖鱼类的建筑、结构和池塘,另一部分是管线施工。管线施工又分为四部分,两部分(T1和T2)是吸入海水的管线,另外两部分(V1和V2)则是排放海水的管线。考虑到用于鱼类养殖的海水对环境的影响,经可行性研究后,认定微型隧道技术是建造四部分管线最有效的方法。建造隧道式入海口通常是提高沿海地区生活质量最为行之有效的方法,且可以保持可持续发展。利用河道入海口,可以将鱼池内的海水运离海岸线,然后排放到更利于扩散、分解和降解的地方。

关键词:微型隧道、海洋、外扩工程

通常,铺设入海口管道的方法需要在现场准备管道,通过拖拽或漂浮到位后再沉入海底加以固定。与之相比,非开挖铺设技术较开槽的方法对环境和现有基础设施的影响都要小得多。管线可得到更好的保护,寿命也更长。受技术要求和环境因素的影响,最终选择一条直径2.6m、长1.35km的微型隧道作为通向大西洋的通道。

1 简介

米拉是位于葡萄牙科英布拉区的一座海滨城市,以其海滩、森林和农业闻名遐迩。除了作为手工渔业和水产中心外,米拉的经济活动还依赖于农业、林业和旅游。

2007年,加利西亚的渔业公司Pescanova(总部设在西班牙的雷东德拉)宣布将在米拉建造几个鲈鱼养殖厂。Pescanova在葡萄牙的水产养殖厂上共投入约350,000,000欧元,其依托的是葡萄牙政府约45,000,000欧元的激励基金。为了降低高能耗,这些养殖厂包括若干风力发电厂和一个鱼饲料厂。预计养殖厂的年产量可以达到30,000~100,000t。

隧道设计的主要焦点是如何穿越自然美沙丘、天然海滩、旅游区以及环境敏感区。制定切实可行的方法铺设隧道,并认真考虑对周围环境的影响,是主要承包商—Somague Engenharia必须考虑的问题。为实现这一目标,考虑实施使用微型隧道法的非开挖技术。隧道V1(从鱼池到大海的排放隧道)

的一部分被发包给I.CO.P.S.P.A.,将在此讨论这部分隧道。



图1 位于葡萄牙米拉的工地位置

2 非开挖技术的选择

根据地质报告和钻孔记录,地层主要为砂土,类型属粉砂(颗粒的压实度为36~42)

由于微型隧道法对保护地表的“沙丘区”特别有效,所以最终选定其作为施工工法,并将掘进深度定在地表以下-6.8~-21.0m(海平面下-6.0~-8.0m),所确定的穿越控制线确保尽可能不干扰沿线的生态和环境。

使用该系统不会改变地表(主要成分为砂质粉土、砂土和地下水)脆弱的岩层和水文地质平衡。为实现这一目标,采用了以下技术措施:

将发射坑设在管线的陆地一侧。为防止地表免

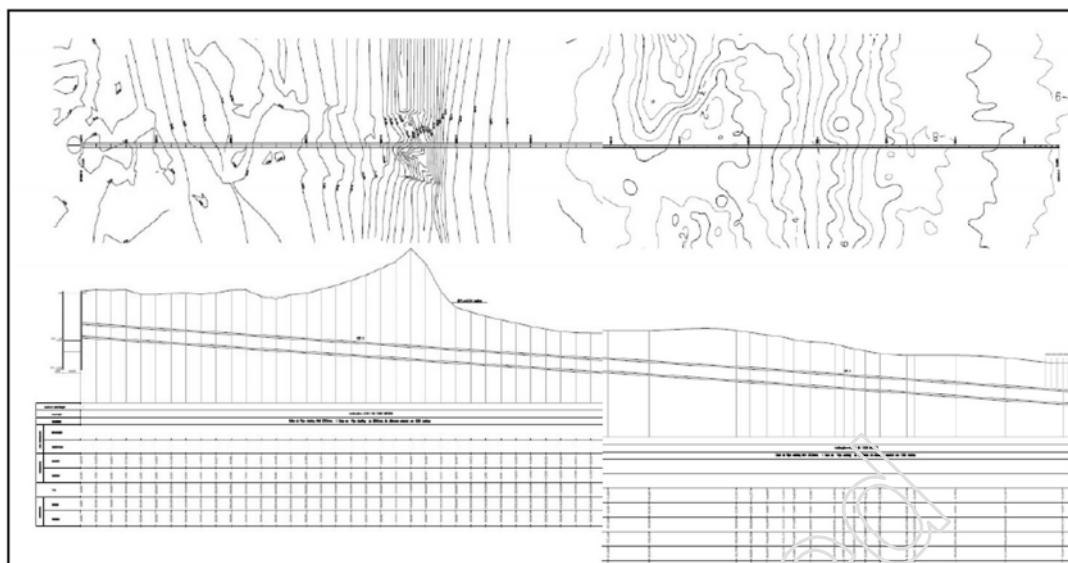


图 2 管线轮廓和隧道断面

遭溢出的地下水的侵袭,采用地下连续墙的方法建造封堵的发射坑;

控制集装箱设在发射井旁边的地面上,通过其中的控制台实现对海瑞克微型隧道掘进机的远程控制。

掘进过程中,通过润滑得到的膨润土薄膜可以隔离掘进过程。在地层发生变化的地方要特别注意,需要防止不同的含水层相互融合;

管线靠海的一侧采用装有阀门的隔离墙予以封闭。施工容许的误差范围 $<30\text{mm}$ 。当施工至最后 50m 时,为了尽可能减小不均匀沉降和抵御隧道淹没后所产生的引力,必须将管段连接牢靠。安装扩散段时,为避免产生浮力,隧道尽头的管段必须采用固体压舱物予以稳固;

近海施工使用的所有驳船都必须停泊牢靠,以便抵御海浪和回收过程中由于设备作业所产生的冲击力;

海底回收过程将使用浮球来提升 TBM,而后用拖船将其拖至码头检修;

此外,为防止对沿线的现有动植物群造成破坏,还专门设置了沉降控制点和报警系统。使用的设备均带有隔音装置,同时还用隔音板将整个施工场地划分开来。

3 微型隧道设备

根据表 1 给出的工程数据,将增容的海瑞克

AVND2000AB 隧道掘进机作为最佳选择,该掘进机带有气闸控制的增压/减压室和海底回收装置。ICOP 在该项目上投入了新设备和技术,以期形成一个完整的系统,系统包括:D 模式的 AVN 泥水压力方法、中压电源、海底回收模式、增压的气闸封闭、SLS-RV 导向系统、隧道自动润滑系统、数据自动记录 and 控制系统、中继间的顶进系统。

表 1 主要技术参数

微型隧道工程数据	
总长	1350 m
地下最大深度	21.0 m
钢筋混凝土管段的内径	2.6 m
钢筋混凝土管段的外径	3.3 m
钢筋混凝土管段的厚度(标称)	0.35 m
钢筋混凝土管段的长度(标称)	4.0 m
管线的坡度	-1.1 %

4 隧道掘进机 (TBM) 及切削刀盘的设计

由海瑞克为 ICOP 设计制造的掘进机符合最新的安全标准,包括封闭的护盾、全断面刀头等,所有这些都是微型隧道掘进机的程序化规范。为防止地表沉降,必须对地层的掘进和出土加以控制。

可以通过冲洗回路实现两种不同类型的掌子面支护。纯粹出于几何尺寸的原因,公称直径达到

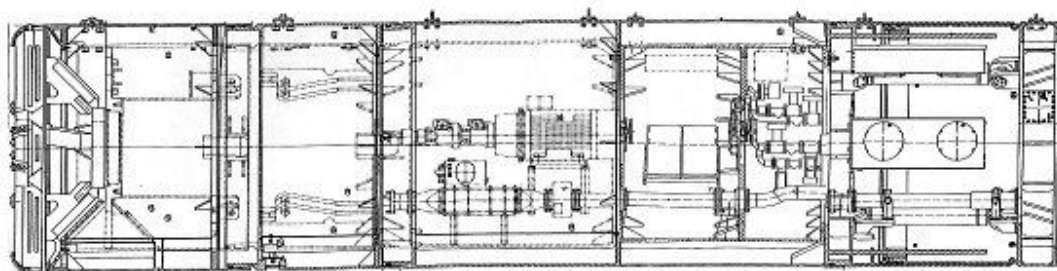


图3 海瑞克公司的 AVND2000AB 泥水隧道掘进机(附带扩展套件 OD3300)

1500mm (AVN 1500) 的掘进机只能采用泥浆冲洗回路。在这种情况下,掌子面的支护依靠机械和冲洗水的共同作用。此时,可以调节冲洗水的压力,使其比起主导作用的地下水压力大 0.1~0.3 bar。掌子面的机械支护则由切削刀盘的护臂提供。采用这种掘进方式的掘进机也称为泥水盾构掘进机。

为了克服难以预见的地下障碍物,特别为 AVND2000AB 设计了混合地层(如软土、砾石或粗砾、风化的软岩)切削刀盘。还将为刀盘配置软土切削工具。所有刀盘均采用后装式,可以在其磨损或损坏时加以更换。

ICOP 所设计的刀盘可以切削最大无侧限抗压

强度(UCS)为 80MPa 的地层。如果掘进前需要确定障碍物或检查刀盘前方钻具的情况,可以使用 XL PRO 内窥镜视频系统,其视频探头可以观察到刀盘舱的内部状况以及掘进机前方的地层情况,而无需人员进入。如果无法保证带压操作人员检查刀头时的绝对安全,则应使用由 Nordseetaucher GmbH 提供的 XL PRO 内窥镜视频系统。XL PRO 系列产品技术先进、性能可靠,可以精确、安全的检查及测量受损刀具或物体的角度、深度和距离。图像可以被记录、存储,以备将来检索。为了纠正更换刀盘的必要性,施工时进行了一次检查。

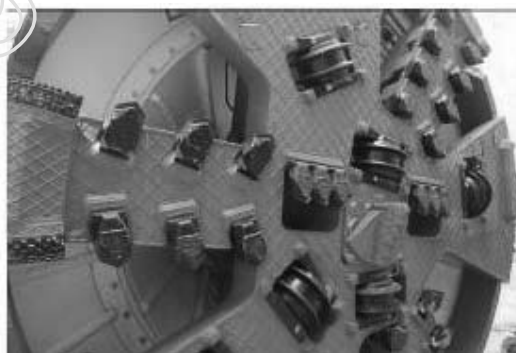
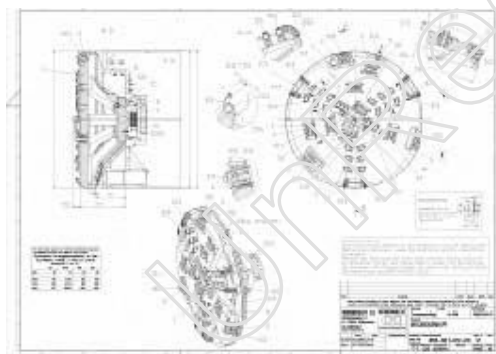


图4 用在 OD3380 上的混合地层切削刀盘

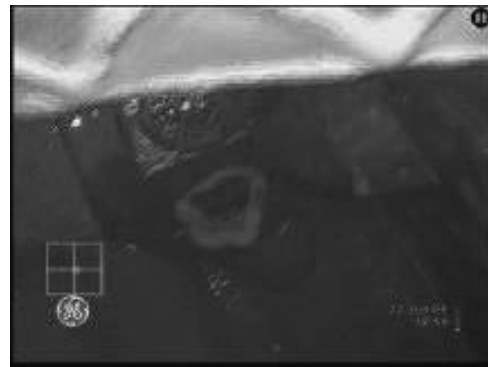
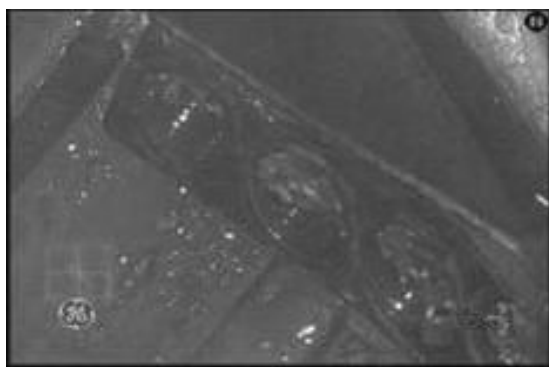


图5 顶管机内部监测摄像系统图片

5 D模式的泥水压力方法

微型隧道系列掘进机(也称为混合盾构机)的一个主要特点就是在可控护盾内存在一个空间,由下沉的围岩和压力室隔开。与往常一样,冲洗回路经由掘进室。与泥水掘进机不同,微型隧道掘进机的支护压力通过供给压力室的压缩空气和得到的压缩气泡进行调节。这种方式的主要优点在于,支护压力和泥浆回路的流量调节可以分开进行,从而尽可能减小支护压力的波动。

压缩空气调节装置可以精确调节掌子面上的支护压力。此外,这特别适用于因掘进速度变化而导致土压剧烈波动的情况。设定的支护压力应始终比掌子面上的主压力大一些。这是一条经过证实的成功准则,可以作为复杂地层条件下的有效选择。如果地质条件允许,只需简单的将掘进机调回常规冲洗模式即可。

AVN D-MODE

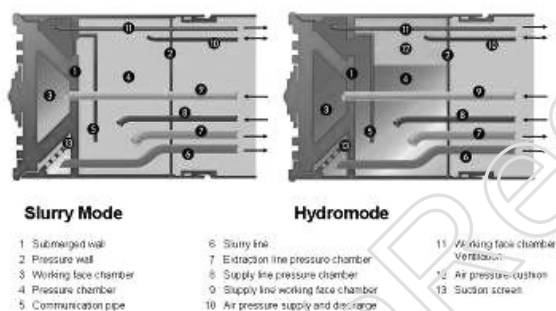


图6 AVN D模式的双重作用及应用

6 中压电源

如果TBM的掘进距离超过1000m,则需要考虑为其配备中压电源。系统包括一个增压器(1000kVA),可以将初级电压从400V增加到

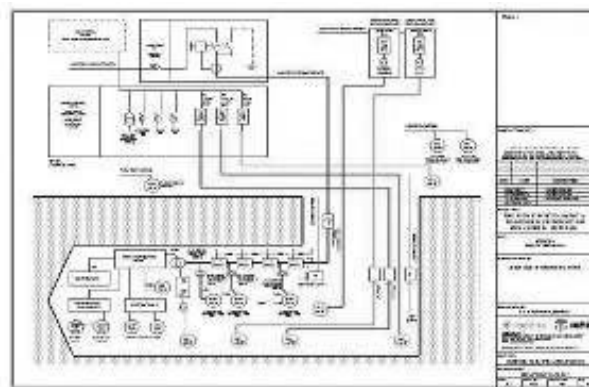
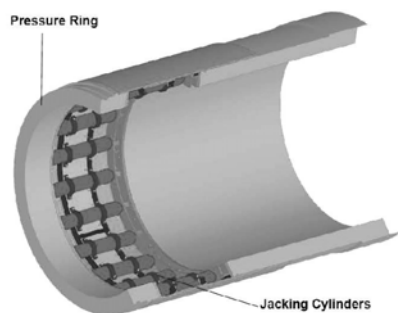


图7 中压电源的电动模式

10,000kV。采用增压方式,为TBM供电的电缆截面积仅 35mm^2 ,而如果直接供1000kV的电压,则主电缆的截面积约为 185mm^2 。这不仅免去了使用大尺寸电缆的麻烦,还可以尽可能减小压降,并使电缆沿隧道的布置和维护更加方便。TBM的另一个变压器是减压器,可以将电压降至400V和950V,它与配电盘相连,为TBM的电机和其它组件供电。

7 中继间的自动顶进系统

随着隧道长度的增加,管道外壁与地层之间的摩擦力也会随之增大。当达到一定的保留长度后,就不能再通过发射井中的主顶进系统在整条路线上顶进了。这样一来,就需要在管道中增加额外的顶进系统。另一个需要考虑的问题是,当停滞一段时间再重新开始顶进管道时,则需要更大的顶推力。出于这一原因,需要采取预防措施,即每隔150m就安装一个中继间的顶进系统,共安装9个这样的系统。

通过集装箱中的控制台对中继间顶进系统加以控制。每个顶进系统只需要一根液压管线。为了尽可能减小该区域的液压损耗,较长路线上的一半

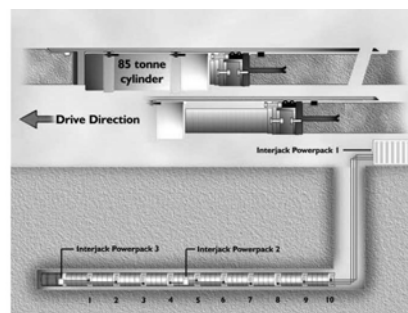


图8 中继间自动顶进系统的典型示意图

顶进系统由掘进机提供,另一半则由集装箱中的一个装置提供。

在这个项目上,ICOP 采用了 VMT GmbH 的自动控制程序(ACIS),目的是对中继间顶进系统和覆盖管段上的压力负荷进行可视和实时的监控,也是为了采用控制器参数和机手的设定对顶进系统的推进进行操控。

8 SLS-RV 的导向系统

在这个项目上,ICOP 将纳入 VMT GmbH 提供的特殊导向系统 SLS-RV。这部分将给出该技术的一个简要说明。管道顶进过程中的一个难点是,由于整个隧道的推进是一个动态过程,所以无法在管道的各段标记固定点,因为当稍后想要参照这些点时,隧道已经向前推进了。

因此,在发射井中采用传统测量方法时,每次测量都必须从“零点”开始。随着隧道长度的增加,难度也随之加大,特别是传统方法只能在隧道未掘进时才可以使使用。所以,只有在一段时间过后,才可能确定掘进机是否偏离了预定的轴线,纠偏措施也会因此耽误很长时间。

作为位置参照系统,主动激光制导系统安装在隧道掘进机上(见图 9)。

9 隧道自动润滑系统

隧道掘进时的绝大部分推进力来自管道和掘进机的盾鞘摩擦。然而,补偿该摩擦力所需的推力却受到顶管允许的最大轴向荷载的限制。因此,减小和控制摩擦阻力十分必要。摩擦力的大小取决于掘进的地层、地下水位、掘进机的控向质量以及管道的润滑。隧道的管道质量也很重要。切削头的直径比掘进机钢结构的外径约大 40mm。成品管道的直径则一般比钢结构的外径小。这可以防止地层直

接压到掘进机和管道上。该项目的地层不稳定,因此需要向超挖部分注入支护浆液。支护浆液还兼有润滑功能,可以大大降低盾鞘的摩擦。膨润土和其它添加剂被用作润滑液和支护浆液。注浆压力使支护浆液贯入一定深度的地层,从而在管道周围形成一层润滑薄膜。浆液的流动速度和悬浮液贯入地层的深度取决于钻孔的横截面积和润滑液的流动特性。

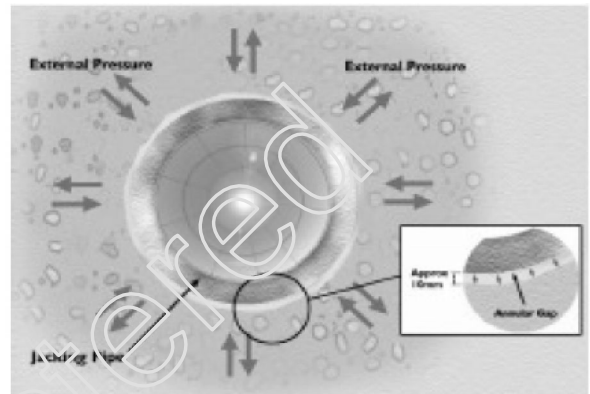


图 10 润滑系统的工作原理和效果

膨润土喷嘴应尽可能均匀分布在管道四周。喷嘴数量取决于悬浮液在地层中的扩散能力。渗透性差的地层的注浆间隔应小于渗透性好的地层。注浆从掘进机后部开始,每隔 9~12m 注一次浆。最佳效果是使地层和管道表面的摩擦力低于 50kg/m^2 。

10 数据自动记录 and 控制系统

ICOP 使用海瑞克公司的精密仪器将隧道掘进过程中的所有参数和数据记录到控制集装箱的控制台系统中。这可以使机手获得实时测量数据和各种参数,从而对微型隧道掘进机的掘进、速度等参数做出反应并加以控制。来自掘进机前端和隧道沿线的模拟信号通过一根 SPS 信号电缆传输到控制集装箱。这包括利用西门子的 S5 和 S7 模块进行

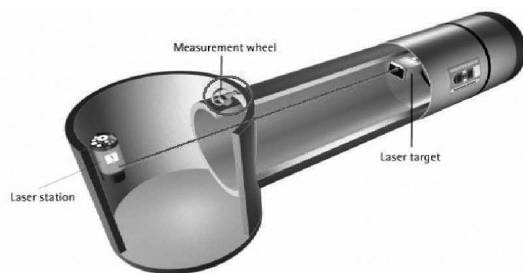
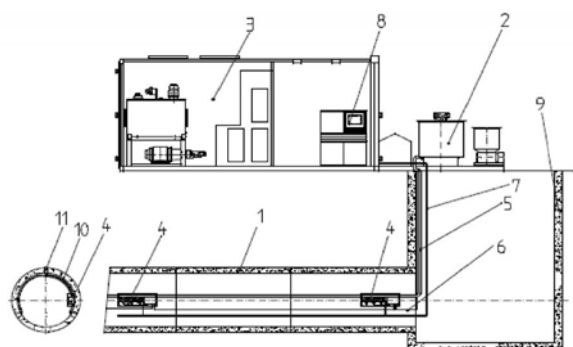


图 9 ELS 制导系统



1、成品管道;2、膨润土装置;3、控制集装箱;4、膨润土泵站;
5、膨润土供应管线;6、电缆控制站→掘进机;7、压缩空气供应
管线;8、控制站;9、竖井;10、膨润土泵站和喷嘴之间的连
接管线;11、膨润土喷嘴

图 11 自动润滑系统的典型示意图

PLC 信号传输。

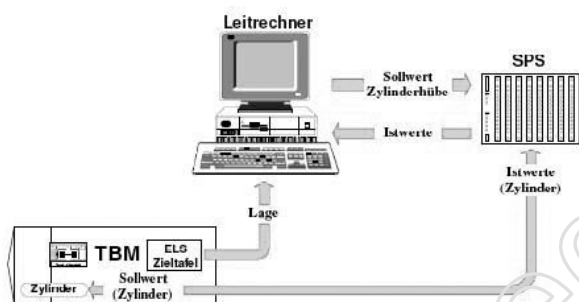


图 12 数据采集与控制系统示意图

11 海底回收模块

该项目要求从海底回收隧道掘进机。这就需要在隧道掘进机的后部安装一个海底回收模块,使深海潜水员可以将隧道掘进机从 1 号混凝土管上脱开。海底回收模块包括 4 个内置的液压油缸,可以从掘进机外面的回收码头激活。

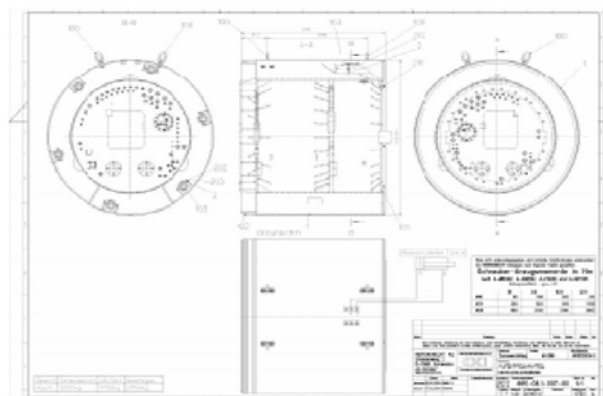


图 13 海底回收外壳的设计图

12 掘进效果

掘进各个阶段的操作都非常正规,特别是注意保持与工程参数的一致。出于这一原因,排班时保证一天 24 小时不间断施工,以防止掘进意外受阻。施工时利用主顶进系统快速完成掘进,而无需使用为以防万一而设置的中继间顶进系统。

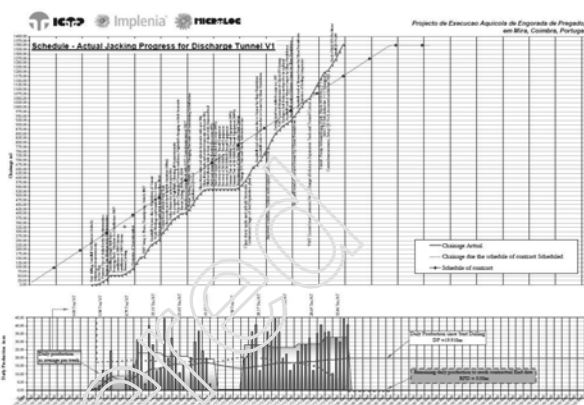


图 14 施工进度图

13 海底回收施工

接收坑的清泥:为了将掘进机移出,在靠海一侧的隧道末端利用排污泵设置一个足够大的接收坑。将渣土存放在运输驳船上,然后运至倾倒区。

海底回收施工的准备:隧道铺设完成后,所有辅助装置、管线和服务设施都要拆解从管线运出。TBM 的所有测量设备都要卸下,然后安全回收至地面。为防止回收时脱开,TBM 的所有外壳都要用螺栓拧在一起。所有泥浆阀都要关闭,管线也要排干。闸室壁上的所有端口、接头和管道都要用法兰盖进行封堵。而后封闭气闸室并注入压缩空气(大约 0.7 ~ 1.2 bar),以便从海底回收隧道掘进机。为防止回收施工(压力不同)时管道脱开,检查完掘进机的封闭情况后,隧道将被淹没。

淹没已完成的隧道:为防止回收施工(压力不同)时管道脱开,完成海底回收的准备后,隧道将被淹没。可以通过竖井或 TBM 前方的泥浆阀完成填充。隧道的填充液面要比当前的海水水位高出约 50cm。只有当回收工作就绪后,才可以进行填充。

TBM 和隧道的分离:当隧道的填充液面高出当前海水水位后,潜水员将接近 TBM,并将液压软管从驳船的独立动力源连接到外壳的水下端口上。连接好软管后,还要确保 TBM 和隧道分离的路径上



图 15 用卸压载驳船进行回收

没有任何杂物阻挡,此时将伸展水下油缸。油缸的伸展将把 TBM 向前推进,从而使其与隧道分离。二者分开后,潜水员将通知独立动力源的操作手收回千斤顶,从而完成分离工作。

用卸压载驳船进行回收:驳船停泊在掘进机的回收位置上。掘进机的上端配有吊耳。梁吊具通过绳索与驳船相连,然后再借助潜水员连接到掘进机的吊耳上。驳船通过卸载将掘进机吊起。由落潮和洪水引起的水位变化会增加起吊重量。如有必要,也可以通过驳船上的绞车来调节起吊重量。驳船将掘进机运至港口后,可以用起重机将其移走。

14 结论

(1)通常可以采用非开挖或开槽技术来铺设河道入海口或海水吸入管。与开槽技术相比,其主要优点在于:对环境的影响最小,原因是:对海面的扰动最小,不会使海水的水质恶化,低排放。

(2)对现有基础设施的影响最小,因此适用于人口稠密的城市地区,不会干扰旅游业,不会限制船运。

(3)管线的寿命更长,原因是:沉降风险小,地震安全性更高;气旋天气条件下,可以保护管线免受船只的破坏。受环境条件的影响更小,如落潮、洪水、风暴和输沙等天气和水力条件。管线铺设完成后,场地复原所花的精力最小。

(4)海底铺设的管线会直接受到海流产生的水

动力影响。当海上风浪很大时,由波浪颗粒的轨道运动所引起的典型海流和近岸海流会对管道产生严重的破坏。

(5)水动力会导致海底物质的侵蚀、运移和聚积。通常,近海的建筑物会对海流产生影响,进而导致在建筑物附近产生严重的侵蚀和聚积。海底铺设的管线会增加海流的速度,进而形成湍流。管线下部的沙水两相流会形成冲刷,这取决于以下参数:垂直流速剖面、湍流、波浪反射、海底物质、海底粗糙程度。如果管线直接铺设在海底,海浪冲刷会导致两个支撑物之间的管线自由跨度过大。如果管线铺设在混凝土支撑物上,则冲刷会导致支撑物和管线下沉。这就有可能超出管线的弯曲半径,导致管线破裂。

(6)隧道式河道入海口的优点还包括:海岸和居民不会受到影响。此类建设属环境友好型工程。隧道建设不依赖于气候影响(如海浪、风暴等)。

(7)也可以采用掘进技术从陆上的施工场地铺设管道;从而避免采用昂贵的近海设备和潜水员铺设、悬浮和连接管线带来的风险。COP 在使用海瑞克的微型隧道技术方面富有经验,能够在几乎任何地质和地形条件下建造海底掘进深度很大的长距离河道入海口管线。

译自: <International No-Dig 2010 28th International Conference and Exhibition> Paper 48#

新型 HK750PT 推管机用于阿姆河的穿越工程

J. Himmerich, A. Großmann, M. Lubberger, J. Eising 著 程国亮 译

摘 要: 本文详细介绍了采用水平定向钻进和直推铺管联合施工法穿越阿姆河铺设 56"天然气管道的工程情况,包括工程的地质情况、施工过程和造斜施工等。

关键词: 水平定向钻进、推管机、穿越、联合工法

非开挖水平定向钻进技术越来越频繁地应用于穿越河流和天然障碍物的天然气输送管道铺设。如今,最先进的水平定向钻进技术可以铺设超越 1800 米的长距离管道。但是这种技术还没有应用到外径大于 56"的管道。Karabekaul 土库曼市附近的河流穿越项目(在阿姆河底非开挖铺设通往中国的 56"天然气管道)就面临着这样的挑战。不仅在掘进过程中,项目计划和准备期间也都会遇到特殊的技术挑战。在该非同凡响的项目动工之前,基于大量的检测和规划,对现场设施、工艺和设备采取了特殊的措施。针对其它方面,如管道铺入、钻进工作站的配置以及造斜中的风险评估,开发并卓有成效地实施了特殊解决方案。影响计划和设备选择的因素不仅包括技术和当地地质条件,还包括紧张的时间计划。工程启动之前,该项目经历了 2 个半月的设计、生产和设备启动阶段。项目的技术实施(铺设 56"输送管道和平行的光缆管道)花费了 6 个月于 2010 年 2 月竣工。水平定向钻的成功穿越实施对管道铺设技术适用口径和穿越地层断面的应用界定产生了实质影响。更确切地说,在执行项目中所积累的经验为未来的大型管道非开挖铺设工程提供了前所未有的参考基础。

1 前言

土库曼斯坦 - 中国天然气管线于 2006 年上马,2007 年开始铺设,竣工后将向中国城市新疆输送天然气,同时也扮演西气东输的供气角色,每年可从盛产天然气的土库曼斯坦获得 400 亿立方米天然气。此管线从土库曼斯坦开始,途经乌兹

别克斯坦和哈萨克斯坦直到中国边界,总长约 7000 公里。

这条长达 200 公里的 Malay-Bagtiyarlyk 管道横穿中亚阿姆河。阿姆河源于阿富汗止于咸海,这个位置的阿姆河左岸约有 10 至 20 公里的农业带,主要用于种植棉花。卡拉库姆沙漠延伸至其右岸。炎炎夏日里,树阴下的最高气温通常达到 50 摄氏度,沙尘暴也不约而至。冬天气温可降至零下 20 摄氏度,阻碍了管道建设。穿越河流原计划建立一座桥梁,但由于十分紧迫的管道竣工时限及安全铺设要求的提高促使规划者决定使用非开挖水平定向钻进技术,可以更快捷、更安全、更经济地铺设管线。此非开挖项目的指定安装工作区依然和初期建造桥梁的设计一样。

当管线业主国有天然气康采恩 Turkmengaz 决定采用水平定向钻机后,承建商俄罗斯管道建设公司 Stroytransgaz 需要尽快找到执行阿姆河钻探工作的合作伙伴。2009 年年中俄罗斯钻井公司 Energo-peretok 获得了阿姆河穿越合同。根据该合同的规定铺设 56 天然气管线的同时还要并行铺设一条 8" 光缆管道。所需的水平定向钻机 (250T) 及推管机 (750T) 设备于 2009 年 7 月在德国 Schwanau 向海瑞克股份公司订购。具体的工程设计分包给 Dr.-Ing. Veenker 工程咨询公司,它们也负责对机器的锚固系统和管道铺设进行完善。

2 地质条件

水平定向钻机作业完成的穿越距离大约长达 1800 米。河两岸之间的海拔差异大约为 11 米。地质



图 1 HDD 钻进横截面图

勘探孔提供的地质情况原本是用于建设桥梁地基,在某些情况下并不完整。现有的地质数据展示了许多不同的地质结构,从超软土层、饱和水层、砂土层、磨料层、沃土层、软硬粘土层直至密实砂岩,尤其是较高河床端(管道端)有一段 200 米长的距离根本没有地质资料。这块较高的钻井区由于流沙而无法使用膨润土护孔(图 1)。泥浆工程师面临的另一个问题是如何用河里带咸的水搅拌膨润土。

3 工程施工计划

最初的主要挑战是确定导向孔的方向。在管道一端,河床边的导向孔覆土浅并承受膨润土的压力,大大提高了本地区塌方的风险。然而 56"管道必须铺设在管道端。管道端垂入山谷约 9 米,这种地形在大约 200 米远的地方更加明显,成为管线和造拱(猫背)的主要障碍。为了更好选择导向孔方位和铺设管线,应在管道端挖掘一个 8 米的入土坑。这个方法不仅降低了海拔高度和塌方风险,而且挖出的渣土可以用于造斜或填平多变的地形,同时,部分减少了该区域一些未知的不利影响(图 2)。

本项目中降低风险的关键措施之一就是采用 HK750 PT 推管机。该设备的作用是辅助海瑞克 HK400M 钻机回拖 56" 管线。这台推管机拥有 750 吨推力,能将管线推进钻孔,必要时还可以用同样的力拖出管线。推管机被适当地锚固在锚固点上,主要目的是将产生的压力和张力传递到地下,防止

推管机从锚固点松动。

这些措施将钻孔总长度缩短到 1705 米。管道端入土坑外的两个导向孔可以精确确定回拖时的入口点,以便在扩孔期间就可以规划和施工推管机的地基。为此,56"管道导向孔完成后应改变工作井里海瑞克 250T 定向钻机的位置。钻机从井边缘向后面移动大约 30 米,腾出架设推管机和其锚固的空间。

为保证工程顺利竣工必须充分估计所有风险因素,紧迫的工期、当地严峻的基础设施和现场条件,如气候和钻进工作人员的住宿,都带来了额外的技术挑战。

4 施工过程

由于工期紧迫,现场有必要安装两台钻机(图 3)。和钻井承包商 Energoperetok 签订合同的六个星期之后,钻机的第一批备件就由安东诺夫货机从德国南部 Lahr 机场运输到土库曼斯坦。这批初期设备包括海瑞克 250T 钻机,用于先铺设与 56"天然气管线平行间距 15 米的 8"光缆管。

钻机架设在管道端工作坑里,使用直径 12"的泥浆马达钻出导向孔。第一个导向孔具有探索功能也可以作为钻探平行管线的参考。为了对付更深钻孔段的坚硬的岩石层,采购了大功率的泥浆钻进马达并在某些导向孔段应用。这种方案也有缺点,在极其多变的地质结构中,尤其是软土层中容易发生

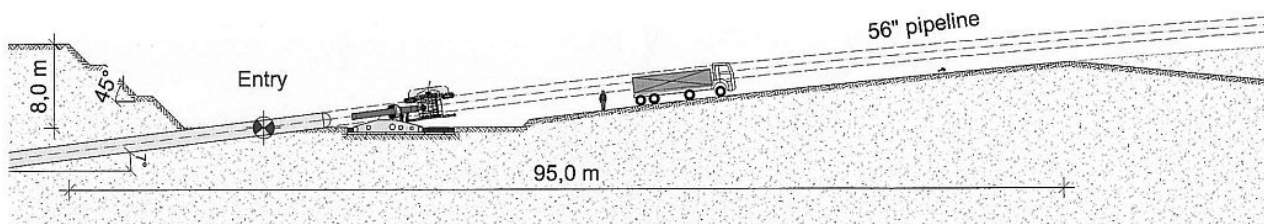
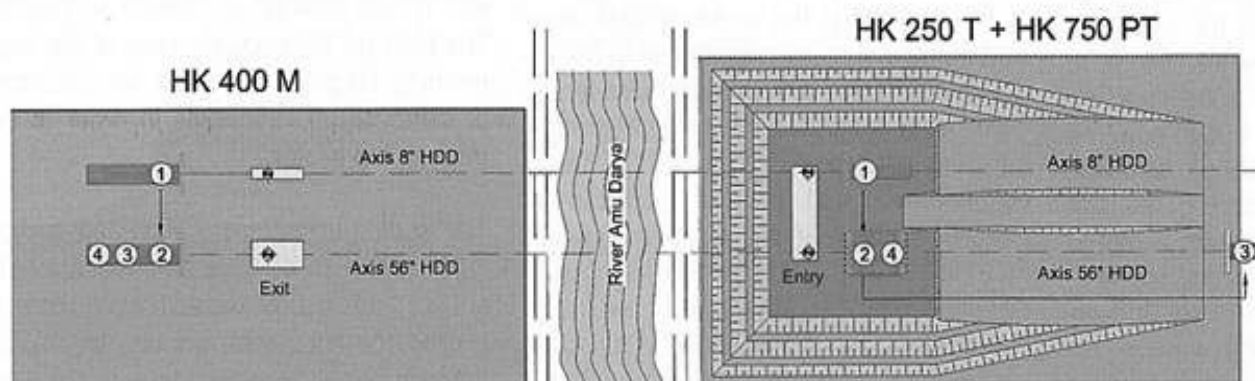


图 2 推管机和工作坑



(1)8"导向孔/扩孔/回拖8";(2)56"导向孔;(3)56"扩孔(4)56"管线回拖,配置推管机

图 3 施工过程示意图

大幅度漂移并导致曲率半径小于计划的 1400 米。为了应对这一风险,大部分导向孔采用了喷射技术。导向孔成功完成后,海瑞克 250T 钻机(1)将 8"光缆管拖入钻孔。整个过程所使用的最大拖力为 25 吨。当海瑞克 250T 在平行的 56"管线导向孔的重新定位后,使用“Paratrack 2”控向系统开始打 56"管线的第二个导向孔。这台海瑞克 250T 钻机能够独立完成前两次扩孔。扩孔完成后移动海瑞克 400M 装置到 56"管线(2)的位置。海瑞克 400M 定位后,钻杆连接到海瑞克 400M 钻机上,开始 36"扩孔,两台钻机在控制下转动钻杆。这种方法的主要优势是钻杆的每个接头都被以准确的力矩拧紧,也避免了由于扩孔器卡钻而附加在钻杆上的压力。不容忽视的

是,由于可从钻杆两侧将泥浆泵到扩孔器,第二钻机可以用指定的较小扭矩转动钻杆。总体而言,扩孔分 6 个阶段进行,直到最后直径为 1.83 米。除了扩孔,还采用了四次洗孔确保掉下的钻屑带出钻孔(3)。带回的沙土量具有很好的参照意义,每根钻杆都检测一次,同时每次也检测钻孔中钻杆的扭矩。在大口径扩孔时,特别是将总长达 40 米的 5 个扩孔器联合一起使用时,为保证扩孔器的中心定位,采用了针对当前地质设计的飞旋式扩孔器(用于切割)和桶式扩孔器(用于对中和清洁)。钻孔必须穿越风化砂岩,这是对刀具耐磨层和覆盖层的特殊挑战。为了穿过该地层,大口径扩孔阶段的刀具需要切削的长度超过 1000 公里。



Fig. 4: Reaming a 72" borehole with two drilling rigs (pit with HK 250T and HK 750PT in foreground)

图 4 两台钻机扩 72"钻孔(工作坑里的海瑞克 250T 定向钻机和工地前方的海瑞克 750PT 推管机)



图 5 安装 56" 管线

在扩孔的同时,必须安装和锚固海瑞克 750PT 推管机。为了继续扩孔作业海瑞克 250T 钻机将被移到推管机地基后面,这样完成导向孔后就不会在推管机的安装上浪费太多时间。这种情况下,用套管将自由转动的钻杆保护起来,以便安装和锚固工作安全进行。

在为随后管线回拖的准备过程中,撤除海瑞克 250T 钻机与锚固,并用海瑞克 400M 钻机将 56" 管线向管道推进机拖进大约 100 米。工作坑中大规模的清理工作在 36 小时之后完成。推管机的夹管器准备就绪,为回拖时准备的额外 750 吨的推力可在两小时内投入使用。在 30 小时的回拖中对回拖力进行全程观察,没有明显的拖力上升,因此不需要使用推管机。海瑞克 400M 钻机将管线顺利拖入钻孔(4),平均回拖力 134 吨。较小的回拖力表明钻孔没有实质偏离设定的轴线,钻孔非常清洁,管道配重运作良好。(图 5)。

配重采用直径 800 的 PE 管,作为充气上浮管

放在充满水的 56" 管线中。总之,钻机操作主管 Carsten Brückner 建议:“在大口径钻孔施工使用两台钻机,再辅以推管机作为安全措施,使整个钻进工程可以控制,合理地避免风险。”未来这一原则将得到更广泛的应用,特别是这种口径的施工项目。

5 施工方案

施工方案中包括机械锚固的解决方案、工作坑和机器设备布置图纸。除了海瑞克 250T 和海瑞克 400M 钻机外,这项工程也涉及到一个合理的 750 吨推管机锚固解决方案,其中不仅需要锚固结构的计算,同时还包括现场生产的具体图纸。

海瑞克 250T 和海瑞克 400M 钻机固定在板桩墙上。根据计算结果和施工要求采用深入地基 8 米的 AZ 48 设计。但这个项目的主要挑战是建设一面合适 750 吨的推管机的板桩墙。操作中推管机可产生高达 750 吨的水平压力和张力,280 吨的纵向压力和张力。根据初始计算表明 AZ-48 方案无法吸收这么大的力度。故此决定建立一个双层板桩墙的结构(图 6)。

具体而言,双层板桩墙结构中的两个板桩间距约 10 米,深入地基 8 米,长 9 米。板桩墙通过 7 根拉杆相连,同时压力和张力也由这 7 根拉杆分散。推管机位于两面板桩墙之间,并由结构钢锚定在板桩墙上,以便疏散来自横向和纵向的压力。这种特殊设计并非适用于所有现场,应随不同项目要求设计多种多样的结构组合。

6 造斜施工

良好的造斜施工是降低负荷并无损坏地确保

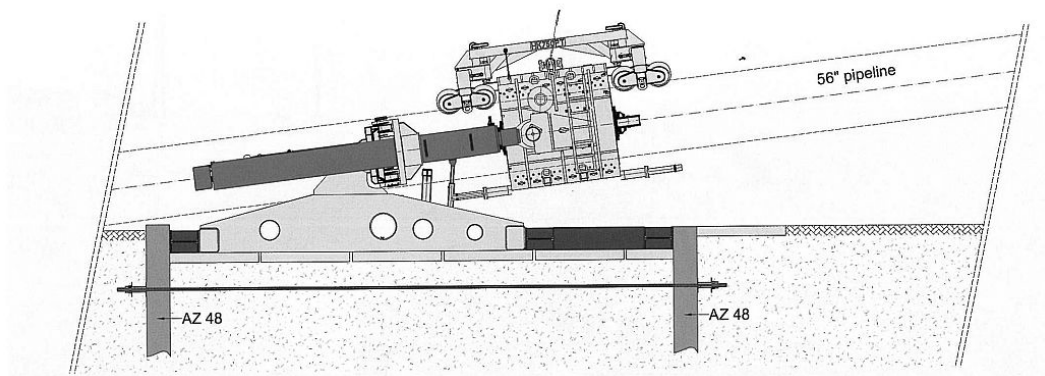


图 6 推管机的锚固

管线拖入的主要因素。这个项目里面面临的挑战是确定 56" 管线, 弯曲半径为 1400 米的弯曲几何形状。

确定大直径管线 (> 48" 外径) 的弯曲几何形状不仅需要考虑几何条件, 还应适应当地的地形和导向滚轮块的反作用力。如要提起 56" 管线, 必须将满载管线所增加的负荷也纳入考虑范围。针对 56" 管线的反作用力和管线变形所提供的参数, 项目采用了一个带有压力弹簧单元的 FEM 模式。但是最重要的参考标准是推管机中管线倾斜角不应该高于也不应该低于 7° , 这样可以将 56" 管线顺利插入设定的入土角的钻孔里。根据计算结果和管线静强度测试, 确定导向滚轮块的分布。最终 56" 管线拱形几何形状时是长 450 米, 冠高 13.5 米。

7 结束语

此项目为水平定向钻进穿越技术带来了挑战, 特别是在规划和技术要求方面。同时控制后勤的、地质的和工艺技术的困难。这个项目非常高效地处理了当地地质特色和区域特点。项目的成功不仅建立在高水平的技术专长, 以及项目初期良好的计划。项目潜在风险在规划阶段已被确认并通过恰当的措施最小化。这些措施包括部署一台推管机, 改变拖入方向和挖掘一个工作坑。高效钻进作业和管线成功拖入的其它主要因素是选择合适工具和两台钻机在一根钻杆上同时工作。56" 管线的配重和恰当弯曲几何形状也减少了管线的回拖力。

上海独创非开挖新工艺

上海建工机施公司首次采用国内独创的“箱涵全断面双重置换工法”, 在距离铁轨仅 59 厘米的下方, 顺利打通一条与铁路十字相交的立交通道, 这项国家 863 计划项目技术成果的应用, 标志着我国运营铁路线的立交通道施工取得重大技术突破, 对上海未来在轨道运行线下建设各类通道具有借鉴意义。

在铁路下挖条路出来, 最要紧的是铁轨不受影响。传统的方法如同“悬空作业”, 就是用临时支墩, 架起两条梁, 用梁将铁轨“挑”起来, 然后在铁轨下方施工, 挖出需要的通道。这当中, 铁路不能运营, 而且梁“悬”着铁轨, 不确定性较大, 安全风险高。

新工艺保证了铁路照常运营, 其创新在于“化整为零”。据介绍, 此次建成的立交通道位于金山铁路支线阮巷站至金山新城站的倪加一组铁路分离式框架桥, 通道宽 5 米、高 3.4 米, 长达 16.7 米, 可通行人和车辆。施工时, 工程技术人员将整条通道划分成 3 层, 每层分为 4 条小通道。根据小通道截面, 制作具有自主知识产权的小型掘进机, 利用顶管法, 将一根根特制“工具管”依次推进去, 一边推一边将泥土置换出来。就这样, 由下至上、逐一打通共 12 个小通道之后, 再由大型推进器将“空心”的大箱涵推进到轨道下方预定位置, 置换出通道中的所有“工具管”。整个施工期间, 地面上的铁轨始终处于稳固的路基之上, 来往火车照常开行。施工中, 通道顶部距铁轨底部仅 59 厘米, 是目前国际上采用非开挖技术在运营铁路线下施工的最近距离。

一种新型的高压管道自我监控内部加固修复技术

Steve Catha Kyle Bethel 等著 石朋飞 译

摘要:本文介绍了一种新型的利用分层热塑性复合材料做成的管道来内部修复老化的高压输油和输气管道的方法。该方法有以下几个显著的优势:(1)可以安装在狭窄的以及其它一些以前修复时需要挖开主管道的部位,以避免过高的工程费用;(2)显著提高了主管道的压力等级;(3)避免了由于腐蚀所造成的强度损失;(4)能实时监测管道的泄漏和外部的损伤。该管道有两种安装方法,一种用于连续的长距离紧密配合安装,另一种用于长度短、直径大的(例如作为套管接头)宽松配合安装。本文简要介绍了这项新技术的要求及该管道的两种制造和安装方法,并分析了内部修复加固时过流面积的亏损。把计算机仿真、实际测试与自我监测系统有效的结合,确保该智能管道系统的安全性和经济性,这种方法也在文中作了介绍。

关键词:非开挖、修复、加固

在美国新兴城市化、高风险等区域,将近有500,000英里的高压(即最大工作压力 >125 psig)天然气、二氧化碳、饮用水以及危险液体管道。在这些区域通过开挖沟槽来更换或修复管道是不切实际的。正如本文所述,在空间有限、管壁损失或其它类型的管道老化位置,用复合热塑性材料制成的管道来修复老龄退化高压管道可能是唯一的选择。这项技术在修复长距离受损或退化的管道时,在安装过程中只需要挖开很小的主管道部位,就能够恢复(或超过)原有管道的最大工作压力。在完成后续操作时很少或根本没有流量损失,同时也实现了全天候内部管道沿线监测和应对管道异常的能力。

1 时代背景

2009年6月,美国管道运输和危险材料安全管理局(PHMSA)举行了一个管道行业会议,以确定该行业所需要的研发领域,其中包括以下有待解决的问题:城市及其它的难以进入区域的管道老化问题;管道防腐蚀问题;管道穿越公路和铁路的问题;外力损坏及泄露的早期发现;温室气体的排放及液体泄漏;增加既有管线的流量;防止第三方损害;员工及民众的安全;乙醇及其他腐蚀性液体的腐蚀性。

列表中包括了所有关注的问题,关于使用复合热塑性管道也不能完全修复老化管道的争辩也

得到了解决。原因是这种管道具有以下属性:抗腐蚀能力强;具有不受压力限制的性能;在安装过程中所需空间小;可以适应腐蚀性液体;经济实用。

虽然也有几种不同类型的分层复合管道具有这些性能,但是只有这一种特定管道还同时拥有独特的瞬时监测泄漏位置及当进一步在大范围直径中使用时监测受地面活动影响的能力。智能管道示意图如图1所示。

2 技术基础

该智能管道技术还有几个附加的创新功能,在两种安装方式中都可以组合起来形成一个独特的使用方法。在这两种方法中使用了强度高、重量轻的纺织物:(1)螺旋缠绕到聚合物芯管上以提供任意高的破裂压力;(2)面料上布置有纵向强化物和光纤传感器;(3)热塑性材料作为覆盖保护层。因此,正如图1所示,智能管道是一个轴对称的层状复合热塑性材料。要注意到管道的高密度聚乙烯(HDPE)成分能使施工方法非常灵活,在特殊情况下也可以使用其它聚合物。同样,超高强度、重量轻的纤维可作为周向和轴向增强材料的基础。

有两种明显不同的安装方法。在一个简易工厂里,对几英里长的管道(不需要现场焊接)进行产品加工的最后折叠步骤以使管道插入更方便。它在适度的内部压力下成圆形,然后拉成直线以加工成

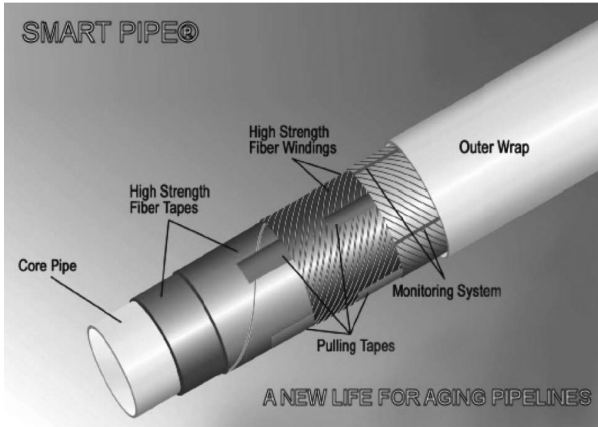


图 1 典型的智能管道结构示意图



图 2 在聚合物芯管对应螺旋缠绕高强度重量轻的织物的方式——适合紧密配合修复长的老龄退化管道

密封连接管道。图 2 展示了这种安装方式的包装方法,图 3 展示了通常伴随着这种方法采用的折叠操作。第二种安装方法,包装方法如图 4 所示,适用于用于相对较短的长度(即长达 1,000 英尺),此时不需要折叠(例如在交叉口处)。它的优点是可以使用



图 3 智能管的 C-成型操作——用于长高压管道内部紧密配合修复的智能管道最后制作步骤

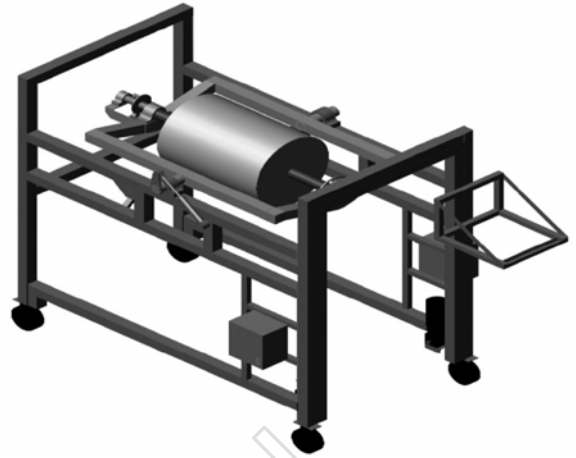


图 4 在聚合物芯管上螺旋缠绕高强度重量轻的织物的设备架——适于宽松配合模式修复相对较短直径较大的老龄退化管道

更大的管道直径。这两种方法都没有理论的抗压能力极限,并且都具有一个嵌入式的光纤传感器系统,能监测和精确定位机械碰撞、泄漏以及地面运动。

3 基本设计方程

首先,用基本工程模型来确定最合适的高强度织物的组成(即所用的基础纤维的类型和数量),以满足特定的安装规格。设计中首先要确定的几何关系是织物布料包装的螺旋缠绕宽度:

$$w = 2\pi D_f C \cos \theta \quad (1)$$

式中: D_f 为织物的平均直径; C 是覆盖范围(即芯管表面被织物覆盖的百分数); θ 为相对于轴向的织物包角。对于 100% 的覆盖包装管道(即没有空白和重叠的螺旋织物层),内部压力作用只产生一个环向应力,假设芯管及复合管道的其它部件的影响忽略不计,则螺旋缠绕织物包装管道的破裂压力 P_b 可用下式进行估算:

$$p_b = \frac{2MG_h \sin^2 \theta}{D_p} \quad (2)$$

式中: M 是织物的总层数(从两个螺旋方向计数,因此始终为偶数); G_h 是握持强度(单位是力/单位宽度); D_p 为压力边界外径; $\pm \theta$ 为相对于轴向的螺旋织物包角。图 5 所示的实际压裂试验数据验证了式(2)的正确性。

下一步,拉离负载取决于折叠衬垫和管壁(例如在管道内紧密配合修复的情况下,当无温度、高

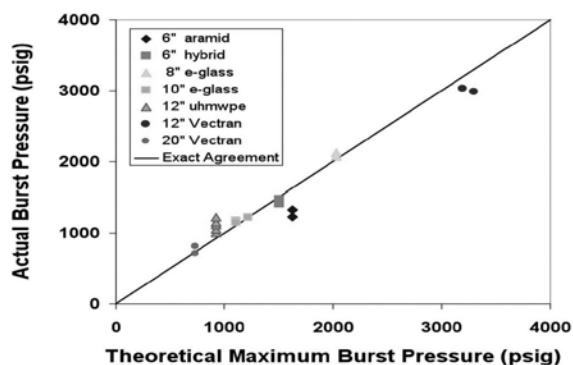


图5 对应于式(2)的不同直径和加固织物类型的智能管道
压裂试验数据对比分析

度的变化或者其它障碍出现时)之间的摩擦,在安装时受到的最大拉力为:

$$P = \mu WL + \sum_{i=1}^N P_i \exp(\mu \alpha_i) \quad (3)$$

式中: μ 是安装过程中智能管道和主管道之间的平均滑动摩擦系数, W 是智能管道单位长度的重量, L 是安装的总长度, P_i 是第*i*个弯曲处智能管道的附加应力, α_i 是第*i*个弯曲处的弯曲角, N 是弯曲总数。在有多处弯曲的弯道布局中,式(3)与折叠状管道的强度极限共同来确定给定的设计方案能否单段直接铺设完成,或者必须在多段内分部来完成。在后一种情况下,首先考虑的是要找到各段可行的入土和出土点,其次,要确保各段承受的最大拉力相同。

6 计算机仿真分析

上一节提出的公式主要是用于理论的计算。当

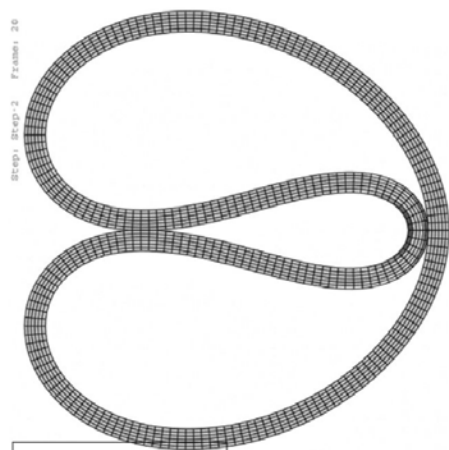


图6 智能管道折叠操作的非线性有限元分析

在安装位置遇到转弯、埋深变化和其它一些导致管线偏离直线的情况以及一些需要进行详细应力分析的区域时,采用非线性有限元分析(FEA)模型进行分析是很有必要的。图6展示了计算机模拟分析图3所示的折叠操作中出现的应力分布。这些分析充分表明了与以往天然气公司在塑料管道系统中常用的挤压操作相比,在C-成型折叠操作中出现在高密度聚乙烯芯管上的最大应力对管道更有利。

计算机模拟的另一个应用是在直线安装管线出现严重的弯曲时。智能管道施工时最脆弱的部分是聚合物芯管,当这些组件没有粘结时,由于整个系统的应力状态取决于其组件组合时的变形,因此要对整合系统进行模拟分析。耦合分析与试验工作目前正在进行,以确定一个安全安装给定的智能管道时可接受的最小弯曲半径。

7 内部加固时过流断面损失的影响

任何形式的内部加固都会造成流通面积的损失进而造成通过流量的损失。当粗糙的钢表面被光滑的高密度聚乙烯表面所代替时,这方面的损失在一定程度上得到了明显地改善。在现有管路中若有一段相对较短、摩擦小且过流面积小,则基本的流体力学因素肯定会影响流量。这种效果可以通过采用量化流体力学标准方法对理想气体在水平直线管道做等温流动来证明。图7展示了原来管道和修复后管道的流量之比。

图7中的结论是假定与主管道内径紧密配合、

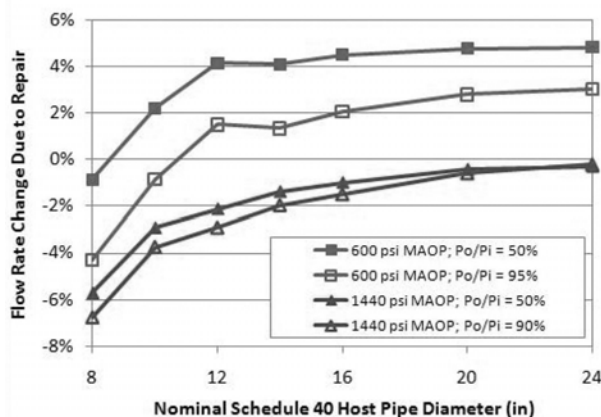


图7 用分层热塑性管道内部修复天然气管道后在恒定
端压力情况下的流量影响

破裂压力至少为设计压力的 3.5 倍和 80 ° F 温度条件得出的。对于每一个设计压力,所用的从 8 英寸到 24 英寸直径的 schedule 40 管道的长度为一英里(5280 英尺)。对于 600 psig 的设计压力,进气压力(P_i)取 500 psig, 对于 1440 psig 的设计压力取 1000 psig 的进气压力。对于每一个设计压力与管径,主要考虑两个交替压力降(P_i-P_o)。所有的例子都是取管道长度为一英里。原钢管道的表面流动粗糙度取 3.0×10^{-4} ft, 修复后的管道表面粗糙度取为 5.0×10^{-4} ft。

图 7 表明,由内部修复加固方法修复整个管线后整个管道中的气体流量在 $\pm 4\%$ 范围内变化,并且发现大直径、设计压力低的管道修复后流量会提高,小直径、设计压力大的管道下修复后往往会使流量降低。相比之下,只用这种方式修复一小部分管线路时,例如穿过一条公路或铁路轨道的接口处,流量损失要小得多。图 8 明确表明,整个管线只需要修复一部分时对气体流量的影响是很小的。

8 智能管道自动监测系统

如图 9 所示,用以检验智能管道光纤监测系统的强度和耐久性测试实验已完成。这是一个长 16 英尺,直径 8 英寸的独立智能管道,用它来替代原油管道的一部分钢管,在 150 psig、138 华氏度的环境下工作。由图 9 可知,该管段完全暴露在空气中,因此在白天吸收来自太阳的热量,在夜间冷却。

该试验件中布置了 3 个沿圆周均匀分布的轴向光纤传感器。如图 10 所示,在三个不同位置产生三组不同的温度,每组温度的波动范围约 20 华氏

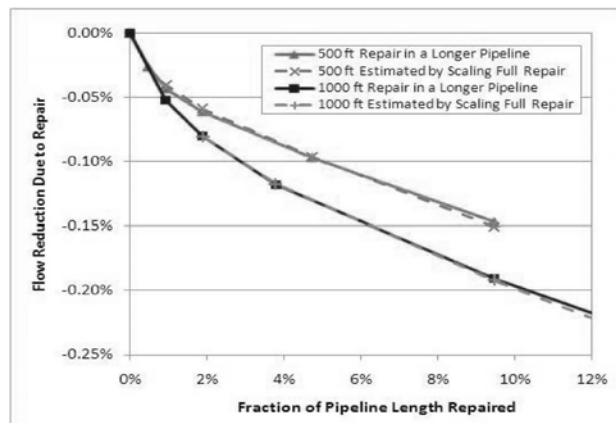


图 8 用分层热塑性管道内部修复整个管线中的一部分时的影响效应



图 9 在加州长滩港区的插入原油管道测试段中的智能管道

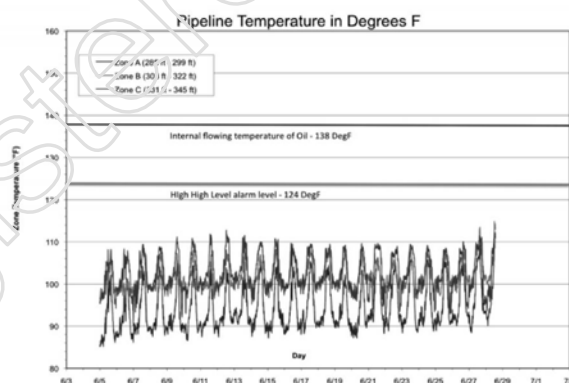


图 10 光纤传感器的温度数据,收集于 2009 年 6 月的加州长滩智能管道试验装置

度。模拟的意义在于能粗略显示该位置处周围温度的差异。最重要的是,经过热传递分析,这些数据有力地表明该系统能提供可靠的泄漏检测性能。也就是说,如果中心管道以某种方式破坏后,管道中流动的热油将渗漏到传感器分布区域,传感器可探测到约 138 华氏度的异常温度,届时,设置报警温度为 124 华氏度的警报将快速启动,以表明发生泄漏事故。

9 结语

分层热塑复合管道技术使新管材可以用于大范围原位修复输送原油或其它危险液体、天然气及其它气体以及自来水的高压管线。它有若干显著的效益,具有安装成本低,安装过程中对公众影响小

以及新系统长时间不会被腐蚀等优势。

用于修复的各种类型管道中,大部分直径比较小(例如直径 3~4 英尺),也没有自我监测系统。本文介绍的智能管道除了具有较好的渗透性以外,还具有自我监测功能,其在大范围直径中的适用性无

疑为土木工程建设带来更多的经济效益。

译自 <Pipelines 2010: Climbing New Peaks to Infrastructure
Reliability—Renew, Rehab, and Reinvest>

乌效鸣 校

帝斯曼公司在中国兴建世界级复合材料树脂工厂



2011 年 2 月 25 日,全球生命科学与材料科学专业公司荷兰皇家帝斯曼集团(以下简称:帝斯曼集团)在其位于张江高科技园区的中国研发中心召开了新闻发布会。帝斯曼复合材料树脂总裁 Michael Effing 先生、帝斯曼树脂亚洲业务总监 Stephan Dusault 先生、帝斯曼复合材料树脂亚洲业务总监唐航初先生以及超过 50 家的主流媒体与专业媒体出席了此次发布会,中国地质学会非开挖技术专业委员会也应邀派代表出席。

会上,帝斯曼集团宣布其合资公司金陵帝斯曼树脂有限公司(以下简称:金陵帝斯曼)将投资约 5 亿元人民币在中国南京建造一座新的复合材料树脂工厂,取代其现有工厂,并成为世界上最大的复合材料树脂工厂之一。帝斯曼在该项投资中的份额为 75%。同时,Michael Effing 先生、Stephan Dusault 先生以及唐航初先生分别介绍了帝斯曼集团的发展历史、投资情况及产品应用。会后,出席发布会的各大媒体参观了帝斯曼新建成的研发中心。

近年来,随着中国城市化进程的加快。越来越多的市政建设工程使用了非开挖管道修复技术。相较于传统的管道修复内衬材料,聚合树脂具有污染低,能耗少,成型快等诸多优点。金陵帝斯曼作为中国地质学会非开挖技术专业委员会的理事单位,很早之前就已经加入到中国非开挖技术的应用发展中。相信此次,金陵帝斯曼新厂的建成将进一步促进其在中国非开挖技术及产品的研发及应用,为中国非开挖技术的发展添砖加瓦。



利用声脉冲进行管道评价

Peter Paulson Vinh Nguyen 著 许晓琳 译

摘要:对管道的评价是减少产品损耗、运营成本以及对环境的破坏和对公众的损害的必要条件。管壁变薄可能导致泄漏,并有可能造成灾难性故障。因此,管线所有者需要找出评价管壁厚度的方法,以便妥善管理和维护其管线设施。Pure Technologies 公司的 SmartBall[®]管道评价方法(PWA)利用了 SmartBall[®]的泄漏检测功能来进行管道的具体状况评价。SmartBall[®]是一个球形装置,该装置在管道中滚动,能探测到会阻碍有线系统或传统清管器通过的障碍物。该方法正在申请专利,它测量的是的低频脉冲沿管道传播的速度。脉冲传播速度的变化对应着管壁厚度的变化。

关键词:非开挖、管道评价、声脉冲

近年来,管道检测技术越来越完善,其应用也越来越广泛(Fletcher, R. 2008, IPC)。最近几年该技术的发展一直侧重于管道维护方面,但并不全是预防性的维护。用传统技术评价管道状况需要将管道停用并开挖。很多管道所有者和经营者因为考虑到其不经济性而不选择这种方法。

一方面认识到这种技术的价值和被需求性,另一方面考虑到安装传感器系统的空间和限制条件,Pure Technologies 公司的研究人员承担的这个研究开发项目结合了 SmartBall[™] 泄漏检测技术和功能来评价管道状况。Pure Technologies 公司 2007 年公布的 SmartBall[™] 漂浮式无线泄漏检测系统已经证明了它可以检测金属、聚氯乙烯、水泥基及预应力混凝土管的泄漏(Fletcher, R. 2008, IPC)。这种新方法最近已进一步发展,增加了管道评价功能。该技术是一种非破坏性的方法,它可以用来确定管道焊箍强度,同时不需要将管道停用就可以检测泄漏。它不用将管道开挖。该技术是主动性的管道评价工具,用来查明被腐蚀面积、人工损毁、压缩损伤,并确定是否有泄漏存在。

本文将详细讨论该技术在美国肯塔基州路易斯维尔市的应用及结果的理论背景。

1 背景

管道强度评价是通过测量低频脉冲沿管道传播的速度来进行的。由于承压管道的状况直接影响到低频脉冲的速度,所以根据脉冲的传播速度可以计算两个连续脉冲之间管壁的厚度。

Pure Technologies 公司设计和制造的脉冲发生器能够在管道中产生感应信号。该脉冲发生器的连接方法如图 1 所示。该脉冲发生器可以连接到管道特有的配件和阀门上,并安装在 SmartBall[™] 插拔式



图 1 脉冲发生器连接方法

集成块上。

如前所述,漂浮式设备可以探测到弯曲和凸起处(有线系统做不到这一点),用该设备可以测量声音的传播速度。该球形装置在管道中滚动,因此,相对于固定的传感器系统,它能更好地采集声信号的响应信号。该设备可以采用传统的内联阀门及配件投放并回收,一次操作可以检测长达数英里的管线(Fletcher, R. 2008, IPC)。

脉冲传播速度是通过相邻两脉冲到达的时间差来测量的。根据脉冲的传播速度可以计算两脉冲之间球形装置移动经过的管道的相对强度。低频声波在水中的传播速度随着管道强度的增减而增减。

该工具使用低频脉冲来确定管道焊箍的强度而不直接测量管壁厚度。不过,管壁厚度是关于焊箍压力的函数,可以通过管道强度的剖面图来计算。

脉冲发生器产生的低频脉冲会被附近的噪音源发出的巨大噪音所遮盖,其产生的波在传播过程中也会在管道的弯曲和弯头处发生衰减。为了补偿信号的衰减,可以使用多脉冲发生器来确保该装置在任何时间至少能探测到一个脉冲。

该装置的移动系统能提供静态系统所缺乏的更高的灵敏度和分辨率(Fletcher, R. 2008, IPC)。该技术的空间分辨率取决于球形装置的速度和脉冲之间的时间间隔。由于该球形装置是漂浮式的,所以可以通过控制管道中液体的流速来控制其移动速度。发射脉冲的时间间隔是由 Pure Technologies 公司设计的 PWA 控制器来控制的。在本文的应用实例中,该球形装置每移动大约 0.6 米就发射一个声脉冲,所以它平均每 0.6 米就测一次管道状况。

SmartBall™PWA 利用声脉冲来确定管道状况,因此,它不仅能评价预应力混凝土管道,还能评价铁质管道、石棉和塑料管道。此外,该工具还可以评价有砂浆、环氧树脂或聚乙烯等材质的内衬的管道。

2 灵敏度和限制条件

数据的声学分析要求外界噪音易于控制且不与脉冲发生干涉。外界噪音的控制是通过在球形装置外包裹一层弹性涂层和一个泡沫外壳来实现的。15 年的声学数据处理经验使我们能够建立有效的、

可以准确检测和精确描述每个脉冲的到达时间的分析和过滤系统。

这项技术看上去好像不能识别单个的凹坑,但是,它可以有效地识别出危害到焊箍强度的大片凹坑或是管道的普遍性退化。此外,这项技术能够通过辨别接头处强度的变化来识别和定位接头。

使用同一设备在同一检测程序中同时进行泄漏检测和管道状况评价展示了该装置和方法的实用性。

这些实例研究的结果对管道状况问题提出了深刻见解。通过更多的 PWA 的现场证实来确认其所得信息的实用性。

3 PWA 设备位置追踪

确定球形装置在管道中的位置是准确评价管道状况的重要条件。SmartBall?的追踪是运用球形装置上的加速度计和磁力仪所获得的数据来得到速度剖面图。运用 SmartBall?接收器(SBR)记录绝对位置参考点的时间数据。整个检测所得的速度剖面图和 SBR 追踪的结果是一个位置随时间变化的关系。很多通过开挖而证实的泄漏点的准确位置已经证明了这种方法的准确性。

4 肯塔基州路易斯维尔市技术应用实例研究

在路易斯维尔评价的管道是有砂浆内衬的 24 英寸铸铁管道。检测使用的是 Pure Technologies 公司的专有泄漏检测技术 SmartBall™ 和管道评价技术。

使用该球形装置评价了肯塔基州路易斯维尔市 2057 英尺的 24 英寸铸铁管线。管道的评价和泄漏检测一共用了大约 1 个小时来同时进行。该球形装置检测出了三个凹坑区域共 12 个天然的或模拟

表 1 检测细节摘要

服务	SmartBall/管道评价
材料	有砂浆内衬的铸铁
直径	24 英寸
压力	50 磅
长度	2057 英尺
流速	1.0 英尺/秒



图 2 被检测管道的总体布局

的泄漏点。三个凹坑区域的模拟泄漏点在测试中泄漏速度是不同的。检测的细节见表 1。

肯塔基州路易斯维尔市被检测的 24 英寸铸铁供水管道从切诺维斯巷和西港路的交叉路口开始,到里奇韦大街和西港路的交叉路口结束。管道的近似位置如图 2 所示。

如图 2 所示,检测使用了三个不同的脉冲发生器,它们都和传感器放在相同的位置。使用三个脉冲发生器确保了球形装置在任何给定的时间都可以采集到信号。就像 SmartBall™ 和 SmartBall™ 接收器一样,这些脉冲发生器也是同步的。此外,多脉冲发生器的使用可以弥补由弯曲和凹凸不平引起的脉冲衰减。

5 结果

回收该工具后,对其记录的声学数据进行分析并与 SBR 记录的位置数据相互对照,来确定检测期间球形装置的位置。脉冲发生器发射的信号在提取地点被卸货产生的大量噪音遮盖了。但是,第一和第二脉冲发生器发出的信号被检测到了,其结果总结如下。

由球形装置记录的声学数据显示了管接头的位置,如图 3 所示。数据显示管接头在大约 3.66 米 (12 英尺) 处。识别和定位接头的能力证明了该技术的有效性。

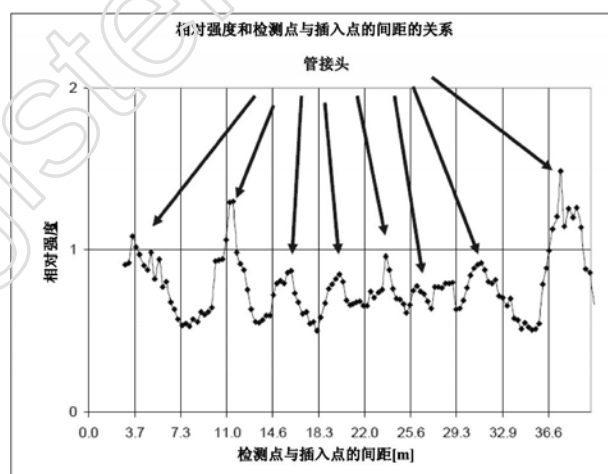


图 3 接头位置

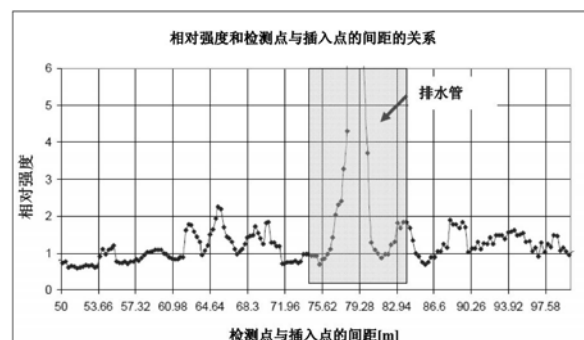


图 4 声脉冲所显示的排水管的位

如图 4 所示,插入点之后 75 米与 81 米之间有一个异常。该异常后来被证实为排水管引起的。

该检测的空间分辨率为每 2 英尺采集 1 数据

点。从结果来看,该工具是检测不出单个凹坑的。但是,检测到的声学数据中有几处异常。声学结果的样本如图 5-7 所示。目前还不清楚所得数据是否显示出了管道焊缝强度的真实变化,也无法得知数据是否受到了砂浆内衬的影响。在对开挖后的管道进行评价后才能证实管道的薄弱环节是否与数据所显示的一一对应。

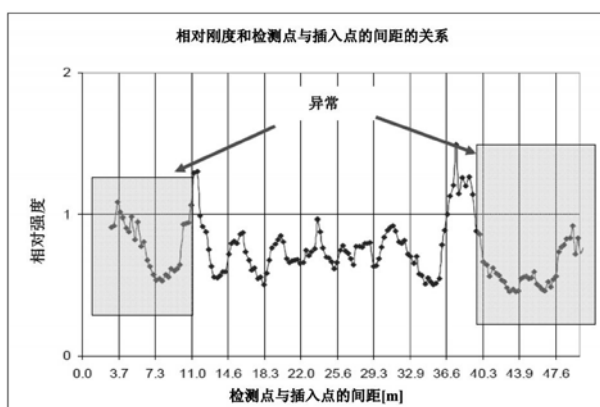


图 5 0 米至 50 米声学数据剖面图

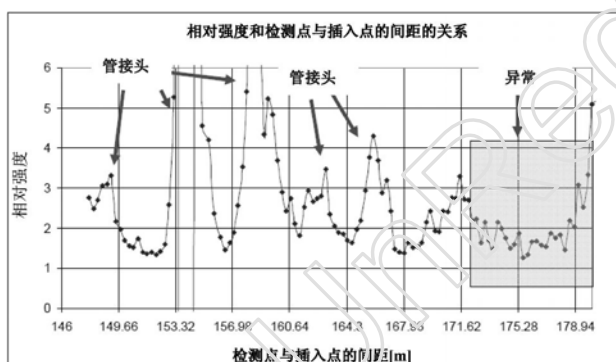


图 6 146 米至 180 米声学数据剖面图

6 综述

本文介绍了一种漂浮式声学管道评价和泄漏检测技术的应用结果。该技术使用声脉冲来确定地下管道的管道状况,并同时检测是否存在泄漏点。该泄漏检测技术从 2007 年开始投放市场,已成功检测了 2269 公里的金属、聚氯乙烯或是预

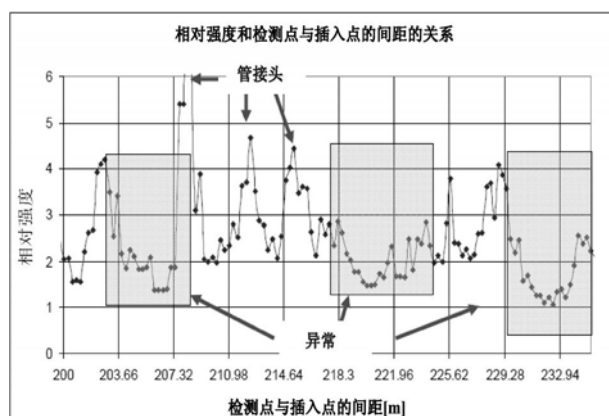


图 7 200 米至 235 米声学数据剖面图

应力混凝土管道。Pure Technologies 有限公司展示了同时进行管道评价和 SmartBall™ 泄漏检测的设备和方法。

结果中低频声脉冲传播速度发生了变化,该变化可能是由管道焊缝强度的变化引起的。PWA 设备和方法的实用性表现在:用同一工具,在同一时间,同时检测到了三处凹坑区域的 12 处天然的或模拟的泄漏。

参考文献:

- [1] Fletcher, Richard. "SmartBall – A new Approach in Pipeline Leak Detection", Proceedings of the International Pipeline Conference 2008; IPC2008
- [2] Long, R., Cawley, P., Lowe, M. "Acoustic Wave Propagation in Buried Iron Water Pipes", Department of Mechanical Engineering, Imperial College London; The Royal Society; September 2003
- [3] Hunaidi, Osama. "Condition Assessment of Water Pipes", National Research Council, Institute for Research in Construction; March 2006.

译自 <Pipelines 2010: Climbing New Peaks to Infrastructure Reliability—Renew, Rehab, and Reinvest>

乌效鸣 校

HORIZONTAL DIRECTIONAL DRILLING RIGS 水平定向钻机



德威士行孙工程机械(北京)有限公司
DW/TXS CONSTRUCTION EQUIPMENT(BEIJING)CO.,LTD

产品展示 PRODUCTS DISPLAY



DDW-110
发动机功率: 59kW
扭矩: 3000Nm
Engine Power: 59kW
MAX.Torque: 3000Nm



DDW-150E
发动机功率: 59kW
扭矩: 5000Nm
Engine Power: 59kW
MAX.Torque: 5000Nm



DDW-180
发动机功率: 82kW
扭矩: 7000Nm
Engine Power: 82kW
MAX.Torque: 7000Nm



DDW-230
发动机功率: 125kW
扭矩: 9000Nm
Engine Power: 125kW
MAX.Torque: 9000Nm



DDW-280
发动机功率: 132kW
扭矩: 10000Nm
Engine Power: 132kW
MAX.Torque: 10000Nm



DDW-320
发动机功率: 153kW
扭矩: 12000Nm
Engine Power: 153kW
MAX.Torque: 12000Nm



DDW-450B
发动机功率: 153kW+84kW
扭矩: 12000Nm
Engine Power: 153kW+84kW
MAX.Torque: 12000Nm



DDW-600
发动机功率: 239kW
扭矩: 25000Nm
Engine Power: 239kW
MAX.Torque: 25000Nm



DDW-1200
发动机功率: 400kW
扭矩: 65000Nm
Engine Power: 400kW
MAX.Torque: 65000Nm



DDW-1600
发动机功率: 441kW
扭矩: 70000Nm
Engine Power: 441kW
MAX.Torque: 70000Nm



DDW-2000
发动机功率: 515kW
扭矩: 70000Nm
Engine Power: 515kW
MAX.Torque: 70000Nm



DDW-3000
发动机功率: 559kW
扭矩: 100kNm
Engine Power: 559kW
MAX.Torque: 100kNm



DDW-4000
发动机功率: 772kW
扭矩: 120kNm
Engine Power: 772kW
Max.Torque: 120kNm



DDW-6000
发动机功率: 1118kW
扭矩: 140kNm
Engine Power: 1118kW
MAX.Torque: 140kNm

北京市通州区潮县开发区潮兴五街六号 邮编: 101109
No.6, Huo Xing Fifth Street, Huo County Development Area
Tongzhou District, Beijing 101109, P.R.China

总机电话Tel: (86 10) 80582365 80582385
销售电话Sales: (86 10) 80582261 80582387 13910860025
18600071525
售后服务Service: (86 10) 80582450 13810212710
15611167500
配件销售 Accessories (86 10) 80582251
15699805163
传真Fax: (86 10) 80582515
邮箱E-mail: dwtxs@163.com
网址website: www.dwtxs.com

上海办事处SHANG HAI OFFICE

上海市宝山区大场镇华欣苑536 邮编: 200442
No.536, Huo Xin Yuan, Da Chang County Baoshan District,
Shanghai 200442, P.R.China
电话Tel: (86 21) 66343048

深圳办事处SHENZHEN OFFICE

深圳市宝安区宝民二路泰豪园8栋101室 邮编: 518102
Room 101, Unit 8, Tai hua hao yuan Bldg, Boamin 2nd street,
Baoan District Shenzhen 518102, P.R.China
电话Tel: (86 755) 27969973

长春办事处CHANGCHUN OFFICE

长春市繁荣路威尼斯花园回迁2号楼2单元104室 邮编: 200331
Room 104, Unit 2, Huiguan Bldg 2, Venice Garden, Fanrong Road,
Changchun 200331, P.R.China
电话Tel: (86 431) 85366455

德威士行孙工程机械(北京)有限公司是美国查尔斯机器制造公司与北京土行孙非开挖技术有限公司成立的合资企业, 创建于2008年12月23日。公司位于北京市通州区潮县工业开发区。在上海、深圳、长春等地设有办事处。公司专业从事非开挖技术装备的研究开发、生产与销售。拥有多名高级工程师和技术人员; 独立自主的知识产权和注册商标。通过ISO9001-2000国际质量管理体系认证、CE认证等。主要产品10T-600T吨钻机, 泥浆搅拌设备, 钻头及其它辅助机具等, 可根据客户的不同需求设计出所需要的产品。公司旨在推进企业品牌化、专业化、规模化战略, 延长公司产品产业链。德威士行孙公司始终坚持“以人为本, 优质高效, 持续改进, 顾客满意”的经营理念, 本着不断创新的精神, 真诚服务社会, 正在成为值得客户信赖的国际化企业。

DW/TXS Construction Equipment(Beijing)Co.,Ltd. was established in December 23, 2008. It is a joint venture between US-based The Charles Machine Works, Inc. and Tu Xing Sun No-Dig Tech (Beijing)Co.,Ltd. The company is located in the Huo County industry development area of Tongzhou District in Beijing and has also set up offices in Shanghai, Shenzhen and Changchun City. DW/TXS specializes in the research and development, manufacture and sale of the trenchless equipment. The company boasts a contingent of high caliber and experienced senior engineers and exploration technology experts. The company possesses independent intellectual property rights and trademarks, and it has passed ISO9001-2000 International Quality Management Certification, CE Certification and etc. The main products include 10T to 600T drilling rig, mud mixing systems, pilot hole tooling and accessories. DW/TXS can also design and manufacture different products according to customers particular demands. The company aims to build on our strong brand name and continue to expand our scope within this specialized product industry. DW/TXS consistently pursues the concept of "people-oriented, high quality and efficiency, consistent improvement and customer's satisfaction". Activities are focused on constant innovation and good service and feedback to the customer. With these goals, DW/TXS is becoming the most creditable international enterprise for the customer.

企业荣誉: 公司通过ISO9001-2000国际质量管理体系认证、CE认证等。是中国非开挖技术协会(CSTT)的常务理事单位、中国城市规划协会理事单位、国际非开挖技术协会(ISTT)、BJSTT、CSSTT会员单位。中国地质大学(北京)的教学实习基地。

DW/TXS has passed ISO9001-2000 International Quality Management Certification, and CE Certification. The company is governing member of CSTT, CACP, member of ISTT, BJSTT, CSSTT, the director unit of CACP and Teaching Practice Base of China University of Geosciences(Beijing).



中国地质科学院勘探技术研究所
地质矿产廊坊聚力岩土工程科技开发公司

高新技术企业实力钜献

ISO9001:2008国际认证



明修栈道 默钻乾坤

GBS-60/90助企业腾飞!

磅礴动力更显卓越品质,全新GBS-60/90铺管钻机,采用先进的PLC控制技术,无论动力、操纵还是效率,综合表现无懈可击。

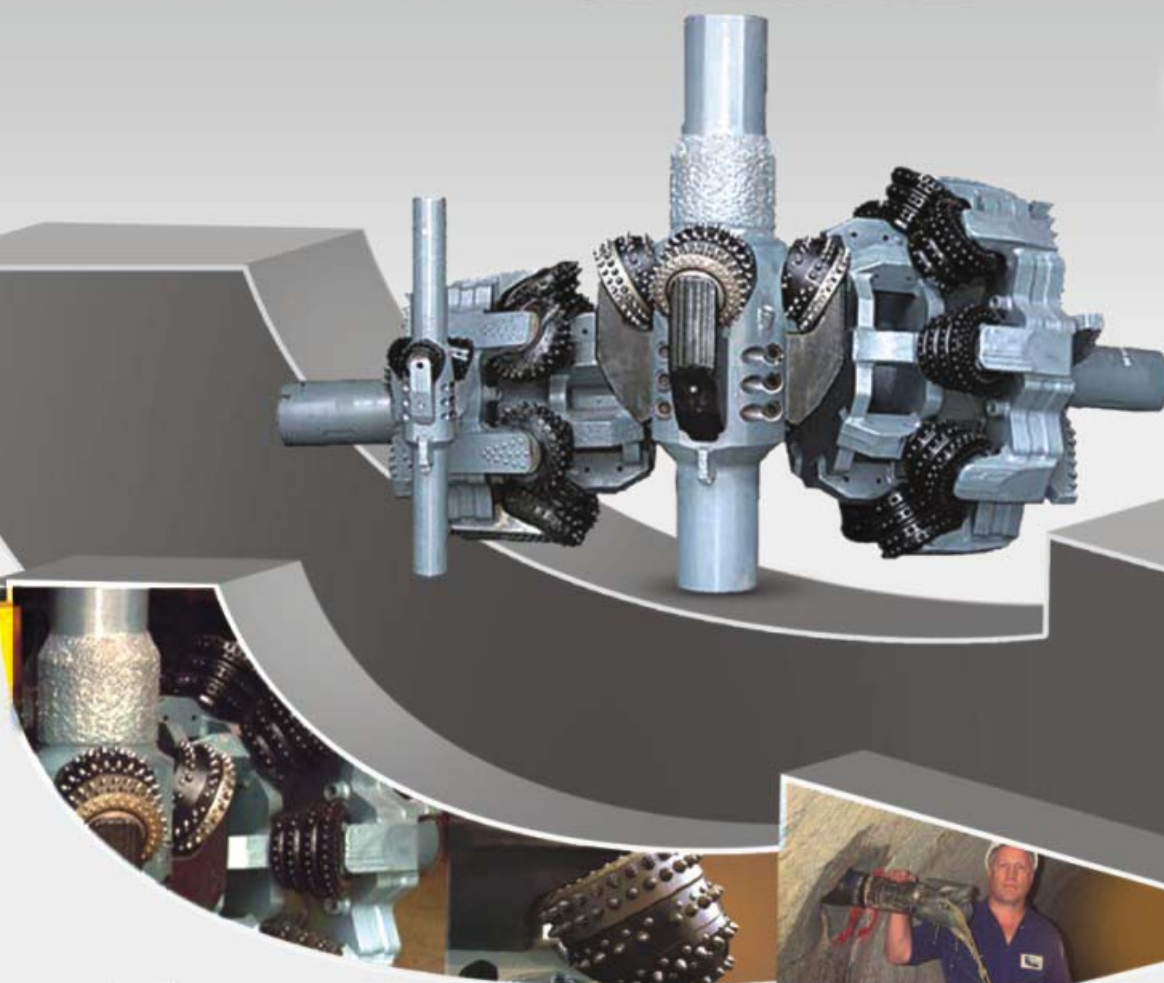
型号	动力机Kw	扭矩Nm	回拖力KN	泥浆泵排量 L/min	钻杆规格 mm
GBS-20L	132	8000	200	250	Φ60×3000
GBS-28	132	10000	280	320	Φ73×4000
GBS-40	194	14000	400	350	Φ73×4500
GBS-60/90	264	28000	600/900	750	Φ114×6000
GBS-100	350	44000	1000	1500	Φ127×9600
GBS-240/320	550	85000	2400/3200	2000	Φ140×9600

地址：河北省廊坊市金光道77号
<http://www.nuodi.com>

电话：(0316) 2096067/084/101/946 传真：(0316) 2096067
E-mail: ietymx@163.com hbnuodi@163.com

HT钻岩王 征服岩层 轻松穿越

源自美国



HORIZONTAL
TECHNOLOGY, INC.

双臂双轴承轮盘岩石回扩器，专配于定向钻岩石穿越工程

○成孔范围：216~1626mm ○坚固耐磨 ○使用效率高 ○牙轮更换成本低



CASE6012



CASE6032



CASE6060



CASE6090

☎ 免费电话: 800-8289621 @ 更多信息, 请登陆: <http://www.tsiincus.net>

总部地址: 南京市草场门大街96号中青大厦2号楼四层 邮编: 210036 电话: (025)86210358 传真: (025)86212081

免费电话: 800-8289621 (025)51670508(直线) E-mail: njoffice@tensquareintl.com



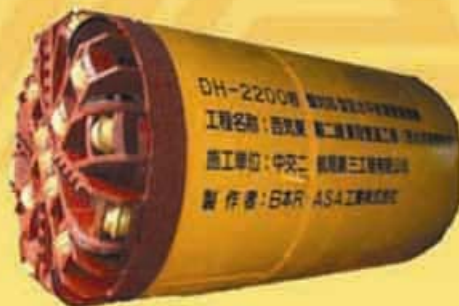
日本 RASA 顶管掘进机

施工口径:

φ 250mm ~ φ 4000mm 的混凝土管、钢管、FRP 夹砂管

特点

- *技术可靠安全, 保养简单
- *各类切削刀盘, 适用于各种土层
- *根据土层情况, 可扩径施工
- *泥水、土压兼用式, 用途广泛



西气东输二段东段管道工程
(岩石型)



内蒙古渡口供水工程—穿越黄河
(卵石型)



硬岩



中硬岩



二次破碎



含卵石·砂砾层



软岩·硬质土



普通土
(中国组装-价格适中)



中国总代理: 上海钟仓机械设备有限公司

地址: 上海市延安西路 1228-2 嘉利大厦 6 楼 F 座 邮编: 200052

电话: 021-62837071

传真: 021-62833652

网址: www.kanekura.com.cn

E-mail: kanekura@sh163.net



徐工徐工 助您成功
XCMG FOR YOUR SUCCESS

新的定向 新的标高 新的起点 新的征程

XZ 系列水平定向钻机



XZ160A | XZ180 | XZ260 | XZ280 | XZ320 | XZ500 | XZ680 | XZ1000 | XZ3000

徐州徐工基础工程机械有限公司

统一客服热线：400-110-9999

WWW.XCMG.COM

信赖HDD定位系统的创导者

—— DigiTrak

SETM

F2[®]

F5TM

DigiTrak

DCI[®]
Digital Control Inc.
Made in U.S.A