

文章编号: 1000-8241(2015)12-1345-06

国内外长输油气管道顶管工程标准对比分析

张宝强 焦如义 江勇 张倩

中国石油天然气管道科学研究院, 河北廊坊 065000

摘要: 长输油气管道河流顶管的特点是地质结构复杂, 地层岩性变化大, 地下水压高, 对设备要求高, 施工难度大, 因此长输油气管道顶管工程的勘察、设计与施工标准至关重要。结合国内顶管工程特点, 从地质勘察的深入程度、岩土物理力学指标、顶管设备选型、设备配置最低要求、风险分析等方面, 对比分析了我国顶管工程标准与德国 DWA-A 125E《顶管及相关技术》、美国 ASCE 36-01《微型隧道铺管标准施工指南》及日本メカニカルブラインド-2003《封闭式机械推进施工法》等标准的差异, 并对我国相关标准提出修订建议: 根据地质的复杂程度与难易程度, 对顶管工程进行分级; 岩土试验项目应根据岩土性质确定, 并增加磨蚀系数这一重要参数; 在设计时需要明确给出顶管设备配置的最低要求, 增加风险分析方面的内容。同时, 指出我国与国外油气管道顶管工程标准在理念上的不同是: 国外顶管标准注重工程风险分析与评价, 国内注重顶管实施细节。(表 6, 参 12)

关键词: 油气管道; 顶管; 标准; 分级; 风险分析

中图分类号: TE832; TU94

文献标识码: A

doi: 10.6047/j.issn.1000-8241.2015.12.019

Comparative analysis on the jacking engineering standards for long-distance oil and gas pipelines in China and abroad

ZHANG Baoqiang, JIAO Ruyi, JIANG Yong, ZHANG Qian

Pipeline Research Institute of CNPC, Langfang, Hebei, 065000

Abstract: Jacking of long-distance oil and gas pipeline in river is often used in conditions of complex geology structure, frequently changing stratum lithology, and high pressure of underground water, where the operation is difficult and high-level equipment are required. Therefore, investigation, design and operation standards for such jacking are of great importance. In this paper, the Chinese jacking standards are benchmarked with DWA-A 125E Pipe Jacking and Related Techniques in German, ASCE 36-01 Standard Construction Guidelines for Microtunneling in America and メカニカルブラインド-2003 Mechanical Non-directional Construction Law in Japan from the aspects of the depth of geological exploration, geotechnical physical and mechanical indexes, pipe jacking equipment selection, minimum requirements of equipment configuration and risk analysis. In addition, some suggestions are proposed to revise some standards in China as follows. Firstly, pipe jacking projects should be classified according to the complexity and difficulty of geology, secondly, rock and soil test projects should be determined according to the properties of rock and soil and an important parameter of abrasion coefficient is adopted and thirdly, the minimum requirements for the configuration of pipe jacking equipment should be given clearly during design and risk analysis should be considered. Moreover, this paper points out the theoretical difference in jacking standards, namely, foreign countries care more about the risk analysis and evaluation, while China focuses more on details in implementation of jacking. (6 Tables, 12 References)

Key words: oil and gas pipeline, jacking, standard, classification, risk analysis

针对我国长输油气管道采用顶管法穿越长距离、高水压、复杂地质时出现的施工问题在不同程度上与我国现行的顶管勘察、设计和施工标准的不完善有关的现状^[1-3], 从勘察、设计、施工 3 个方面对我国顶管标

准和日本、德国、美国等国外标准进行了对比分析。结果表明: 我国的顶管标准是基于市政顶管工程制定的, 内容不完善, 未能全面反映和有效指导高水压、复杂地质顶管的具体勘察、设计和施工要求。基于我国顶管

施工存在的实际困难,着重分析了勘查孔的布置、岩土物理力学指标、设备选型、施工方法和设备处置等,并依此提出了我国顶管标准的修改建议,以更好地指导我国复杂地质河流顶管工程的设计与施工。

1 国内外标准概况

1.1 国内

目前,国内油气管道顶管工程采用的设计和施工标准主要包括 CECS 246—2008《给水排水工程顶管技术规程》、GB 50423—2007《油气输送管道穿越工程设计规范》和 GB 50424—2007《油气管道穿越工程施工规范》^[4-6],3个标准对勘察、设计与施工的技术规定各有侧重。

1.1.1 勘察标准

目前,国内没有专门针对顶管工程设计、施工而制订的专用勘察标准,而是散见于顶管的设计施工标准及其引用标准。其中,CECS 246—2008对顶管勘察中地下水勘察、布孔要求、勘察报告和提供岩土物理力学指标的基本要求是最详细的顶管工程勘察标准。GB 50423—2007要求按 SY/T 0055—2003《长距离输油输气管道测量规范》和 SY/T 0053—2004《油气田及管道岩土工程勘察规范》提出工程测量资料、地质报告和钻孔布置等方面的要求。GB 50424—2007针对顶管工程施工而制订,提出地质勘察方面的要求。

1.1.2 设计标准

CECS 246—2008对顶管管材选用及管件构造要求、顶管管位选择、顶进土层选择、顶管间距、管顶覆盖层厚度、顶管结构基本设计、承载能力极限状态计算、顶推力计算、工作井和接收井结构设计等众多内容进行了详细规定,而且每节下列若干条目,是国内顶管工程应用最广泛的设计标准。GB 50423—2007是在 CECS 246—2008的基础上,针对我国油气输送管道顶管穿越工程实际情况提出的设计规范,其主要内容为管道顶进方式的选择、顶管最大顶力计算和竖井结构设计等。该规范着重规定了沉井法、明挖法、矿山法施工的竖井结构设计,是对 CECS 246—2008在竖井设计方面的补充。

1.1.3 施工标准

CECS 246—2008运用较大的篇幅对顶管机、中继站、减阻措施、顶进设备的选择及穿墙、顶进、顶管施

工监测和施工标准等顶管施工的全过程进行了规定。GB 50424—2007是针对我国油气管道顶管工程实际情况提出的施工规范,其主要内容为测量放线、施工准备、顶管出洞、顶进、控向、顶管质量等。

1.2 国外

国外长输油气管道顶管工程标准主要有德国标准 DWA-A 125E-2008《顶管及相关技术》、ATV-A 125E-1996《管道顶进》、DIN 18319-2010《建筑工程承包条例·第C部分:建筑工程通用技术规范·管道掘进工程》、美国土木工程师协会标准 ASCE 36-01-2001《微型隧道铺管标准施工指南》及日本メカニカルブラインド-2003《封闭式机械推进施工法》^[7-11]。

1.2.1 勘察标准

国外顶管勘察标准也与顶管设计、施工标准编排在一起,大量引用了岩土勘察、分级方面的标准。德国水、废水、废弃物处理协会标准 DWA-A 125E-2008是德国应用最广泛的顶管工程设计标准,该标准针对顶管工程对地质勘察中的岩土物理力学指标给出了较为具体的要求。德国标准 DIN 18319-2010提出“对底土进行划分,包括土壤发掘/钻孔/钻探能力相关的信息,障碍物(如砾石、巨砾、地基残余物),填充物,管槽,外部安装和军械相关的信息”,比较适合于顶管工程的设计和施工,但与之相关的诸多地质资料的获得所需工作量较大,费用很高。

1.2.2 设计标准

DWA-A 125E-2008《顶管及相关技术》设计方面的主要内容包括顶进管材及管接头受力计算、顶管设备选型、覆盖层深度、始发井和接收井与堤岸的距离、顶管作业坑结构计算等12部分。ASCE 36-01-2001《微型隧道铺管标准施工指南》包括地质勘察、设备选型、管材受力计算、竖井设计等。ATV-A 125E-1996《管道顶进》的主要内容是顶进管材的受力计算及顶推力计算。

1.2.3 施工标准

DWA-A 125E-2008《顶管及相关技术》在施工方面的内容主要包括总则、顶管施工技术、施工要求、铁路设施地下顶管和相关技术、主干道地下顶管施工及其相关技术等。ASCE 36-01-2001《微型隧道铺管标准施工指南》是美国应用最广泛的施工标准,其内容主要涉及管材、竖井、始发、掘进、超挖、刀头设计、障碍物、控向、安全、仪表、监控、测量与付款等多项内容,共

37条。此外,日本《封闭式机械推进施工法》除了常规施工规定以外,还规定了土质分类与顶进条件、顶管及竖井尺寸、挖掘面积的计算、减阻注浆材料的配比及注入量、高水压下的推进作业探讨要素等多项内容,值得参考借鉴。

2 对比分析

2.1 勘察标准

岩土勘察的详细程度是顶管路由设计、顶管机选型、刀头配置与顶管施工紧急处理的重要依据,也决定着勘察费用的高低。国内外对该指标的确定均采取了给定探孔间距的方法(表1),但是根据我国的复杂地质河流顶管工程实践,尚需进行钻探与物探相结合的勘察方法,探明岩层的应力走向、破碎带、溶洞的数量

与体积、孤石、漂石以及岩性变化界面^[1]。

国内顶管标准对地下水、轴线两侧距离、探孔间距与深度、勘察报告要求以及需提供的岩土物理学指标均做了详细要求,比国外同类标准更完整。但是,在需要提供的岩土物理学指标方面,未对土壤和岩石两种地层进行区分,比较笼统。DWA-A125E-2008《顶管及相关技术》和我国新制定的《油气输送管道工程水平定向钻法穿越设计规范(报批稿)》针对土壤和岩石分别给出了物理学指标,更加符合复杂地质非开挖设计与施工的要求。

此外,尤其需要注意的是国外标准DWA-A125E-2008和ASCE 36-01-2001规定了岩石的耐磨性指数这一指标(表1),其对顶管机刀头的选型、刀头磨损程度的预测、换刀时机的判断均有重要的指导作用,我国顶管标准缺乏这一指标。

表1 国内外顶管勘察标准的技术指标对比

标准	探孔间距	探孔深度	需提供的岩土物理学指标
CECS 246—2008	30~100 m,河谷地段不少于3个探孔	河床最大冲刷深度以下4~6 m	土的颗粒分析、密实度、渗透系数、黏聚力、内摩擦角、土与混凝土等材料的摩擦因数,土的变形模量、泊松比、地基承载力及其他必需的常规参数
GB 50423—2007	岩性多变处20~30 m	无	未详细列出,参考SY/T 0053—2004《油气田及管道岩土工程勘察规范》
DWA-A 125E-2008	勘察孔最大间距50 m,特殊情况下应该减小	无	磨蚀矿物密度和石英含量,以确定磨蚀性;磨蚀性(Cerchar耐磨性指数);断裂带、洞穴;不连续性框架和岩板地层厚度,岩石碎片(RQD)和区域方向;卵石大小和卵石比例、单轴抗压强度等
ASCE 36-01-2001	间距90 m,决定钻孔的数量和深度,取决于工程的重要性与复杂度,以及地层条件的性质与复杂度	管内底标高以下约3 m	对土层条件做出了规定;对于预料有岩石存在的工程的实地勘测策略主要需要确定:岩石的深度和大小,岩石的类型,岩石的质量(风化、接合和龟裂),岩石的硬度,岩石的强度,磨蚀性,矿物学(薄剖面),可切性,弹性模量以及泊松比

2.2 设计标准

国内外相关标准对顶管工程设计提出的覆盖层厚度、设备选型、管材、顶进推力计算、竖井设计、中继站的设置与启动等规定差别不大,但均缺乏对复杂地质河流顶管穿越影响较大的顶管工程分级、设备完好性

检查等内容的规定(表2)。其原因是这些顶管标准是针对普通地质顶管工程制订的,未考虑水流区域复杂地质工程的特殊要求。另外,ASCE 36-01-2001仅针对障碍物处理措施给出了风险提示,但对风险的揭示不够全面;国内标准没有风险分析方面的内容。

表2 国内外顶管设计标准的技术指标对比

标准	顶管工程分级	中继站的设置位置与启动	风险分析
CEC S246—2008	无	当估算总顶力大于管节允许顶力设计值或工作井允许顶力设计值时,应设置中继站	无
GB 50423—2007	无	顶进长度大于150 m的顶管施工隧道,应加设中继站,中继站间距不宜大于150 m	无
ASCE 36-01-2001	无	承包商应提交一份计划,陈述所提议的施工和作业方案,包括竖井设计与施工、推力轴承、管道润滑程序、中继站的位置与设计等	应在合同中规定相关条款,以规定击碎和移除障碍物的成本;合同文件中应对妨碍物以及处理障碍物的措施进行详细规定

为进一步说明复杂地质河流顶管工程施工中出现的问题对设计提出的要求,表3给出了我国顶管设计

标准缺项情况,以期完善或制订复杂地质河流顶管设计规范提供参考。

表3 我国顶管设计标准 CECS 246—2008 和 GB 50423—2007 缺项统计结果

设计标准缺项项目	缺项内容	参考说明
工程分级	对顶管穿越工程重要性分级	工程实践,新定向钻设计标准
混凝土管材	长距离复杂地质顶管工程混凝土管材“强度等级不低于C50”改为“C60”,海-陆顶管工程宜采用高性能耐腐蚀混凝土管片	工程实践中发现长距离复杂地质顶管的顶推力超过1 000 t,管材易破裂
混凝土管道内径	长距离复杂地质顶管工程混凝土管材内径宜从目前的2 200 mm 改为2 400 mm,便于介质管道安装	工程实践中发现,黄河顶管工程、西气东输二线顶管工程介质管道安装困难
顶管设备选型与完好性检查	水流域复杂地质顶管采用泥水平衡顶管法,且需检测顶管设备的完好性,并评价其适用性	工程实践,某些施工单位顶管设备选型不当,采用了土压平衡顶管机
中继站设置与启动	第一个中继站一般应安装于顶管机后20~40 m,其他的间距一般可设计为100~150 m,当总推力达到中继站总推力的40%~60%时,应安放第一个中继站,此后每当达到中继站总推力的70%~80%时,安装一个中继站;当主顶千斤顶达到中继站总推力的90%时,必需启动中继站	工程实践
中继站完好性检查	当施工条件较复杂时,如高水压或覆土厚度特别大时,应采用密封和止水性能较好的中继站,以防止事故的发生,并对中继站的完好性进行检查	工程实践
中继站应用	禁止用中继站进行纠偏作业	工程实践
风险分析	设计阶段应根据特殊地质条件,进行风险分析及提示	工程实践

2.3 施工标准

国内的施工标准 CECS 246—2008、GB 50424—2007 给出了顶管设备选型、管材外径、测量放线、进出洞施工、润滑注浆及纠偏等规定,但缺少对复杂地质顶管需要特别规定的顶管设备性能与输出扭矩的要求、顶管机与中继间的完好性检查、特殊地层施工的应急处理措施等。国外标准 ASCE 36-01-2001 和日本《封

闭式机械推进施工法》对此规定得相对详细,给出了设备的最小扭矩、推力、刀具配置、是否具备换刀能力、障碍物清除能力等的最低要求(表4)。顶管工程实践表明,用于复杂地质顶管工程的顶管设备性能和最低要求是复杂地质顶管成败的最主要因素,配置较高的顶管设备可以在很大程度上弥补地质勘察的不完善、施工操作失误等不足,保障工程顺利实施。

表4 国内外顶管施工标准的技术指标对比

标准	设备性能和扭矩的要求	顶管机合格性检查检验	中继站完好性检验	特殊地层施工应急处理措施
CECS 246—2008	无	无	无	无
GB 50423—2007	无	无	无	无
DWA-A 125E-2008	无	无	无	障碍物的清除:顶管机能够粉碎、输送或移除障碍物
ASCE 36-01-2001	机器性能包含刀头、超挖、障碍物、控向等	业主的检验员应监控并记录所有的合同要求与规范均予满足,以及所有的工艺和施工实践达到或超过施工合同文件的要求	具体设备的实际选择应由承包商根据给定的最低要求和在交付流程中的审核予以确定	障碍物;应在合同中规定相关条款,以规定击碎和移除障碍物的成本。合同文件中应对障碍物以及处理障碍物的措施进行详细规定
メカニカルブラインド-2003	给出了顶管机的施工能力、漂砾石摘出能力	无	无	给出了地质改良的方法,如化学灌浆、降水

通过上述国内外标准的对比分析,结合我国复杂地质河流顶管工程的实践,给出了我国顶管施工标准

缺项表(表5),以期完善我国的顶管施工标准提供一定的参考。

表5 我国顶管施工标准 CECS 246—2008 和 GB 50424—2007 缺项统计结果

施工标准缺项项目	缺项内容	参考说明
设备选型特殊要求	水流域复杂地质顶管,采用泥水平衡顶管法,且需检测顶管设备的完好性,并评价其适用性;对地面沉降有严格要求或根据地质资料判断有塌方风险时,应选择对正面阻力有精确计量装置的平衡式顶管机,并按时对泥水平衡参数进行测量、记录	ASCE 36-01-2001,日本メカニカルブラインド-2003 以及工程实践
刀盘装备扭矩的最低要求	刀盘装备扭矩 T 可按下式进行计算 ^[12] : $T=fD^3/3.83$ (其中: T 为刀盘装备扭矩, $kN\cdot m$; D 为刀盘直径,粗略计算时可采用壳体外径, m ; f 为土质系数,一般取 25~45)	隧道标准规范(盾构篇)及解说
中继站	承包商应提交中继站的位置与设计说明,禁止采用中继站纠偏	ASCE 36-01-2001 和工程实践
设备完好性检查	在施工前,对顶管机、主顶站、中继站做全方位的检查并填写设备状况检查表,提高顶管掘进机的可靠性,减少关键部件的故障	ASCE 36-01-2001 和工程实践
顶进测量与数据记录	在顶进过程中,要进行数据测量和自动测量	DWA-A125E-2008, ASCE 36-01-2001 以及メカニカルブラインド-2003
事故处治	含水层和复杂困难地层,要制订塌方、涌水、障碍物清除等预防和应急措施	DWA-A125E-2008, ASCE 36-01-2001 以及メカニカルブラインド-2003

3 工程实例与标准的关联性分析

工程标准是为工程建设项目服务,其规定的各项内容必须满足和服务于工程建设的实际要求。因此,

有必要对顶管标准和工程案例进行关联性分析。根据关联性分析结果,选择与顶管工程关系密切,且能够为顶管工程提供保障的条款作为现有标准完善的主要内容(表6)。

表6 顶管工程实例与相关标准关联性分析结果

工程名称	工程施工情况及遇到的问题	与标准的关联性
西二线 湖北潏水河顶管	地质勘察为强风化及中风化岩,实际为强风化及中风化片麻子岩,局部夹有硬块,结构复杂。在顶管施工过程中,刀具磨损严重,施工进度很慢	地质勘察不详细,未采用物探方法;未对工程重要性分级,未提出风险分析;未提出设备最低要求
西二线 江西长河顶管	粉质黏土、黏土夹碎石,顶管达到 550 m 时机头遇到孤石卡死,无法进行顶管,这是由于顶管机及配套设备地层适应性不强	未对工程重要性分级,未提出风险分析;未提出设备岩石破碎能力的最低要求;无设备完好性检查条款
西二线 江西锦江顶管	砂砾石等复杂多变地层,设备性能不能满足软硬不均地质;后顶进系统配备不足,难以满足施工要求	地质勘察不详细,未采用物探方法;未对工程重要性分级,未提出风险分析;未提出设备扭矩、推力的最低要求,总顶力不够
西二线 江西同江顶管	高含水,含圆砾、石灰岩岩石强度高;在顶管施工过程中,刀具磨损严重,顶管机没有破碎功能	未对工程重要性分级,未提出风险分析;未提出设备最低要求
重庆南山 顶管工程	砂岩地段,岩石裂隙较发育,洞内出现大量涌水,在丰富地下水的作用下,围岩自稳能力变差。最大涌水量达到 18 000 m^3/d 。施工受阻,只得采用紧急降水方案进行处治	未进行工程分级,缺乏风险提示
新加坡 市政岩石顶管施工	顶进 100 m,遇断裂带,水泥管被脱落的岩石卡裂,凿除更换后继续顶进;顶进 200 m,顶管机边刀磨损严重,且订购的该顶管机不能换刀,无法顶进,只得挖出,最终工程宣告失败	地质勘察不够准确,未提出设备最低要求

4 结论与建议

基于长输油气管道复杂地质河流顶管的特点,应该紧密结合工程特点、难点和风险点,对我国现行的相关标准进行修订和完善,使之做到从勘察设计阶段化解或揭示施工困难,指导顶管施工阶段的设备选型、刀具配置、风险识别与紧急事故处理,为顶管工程的顺利

进行提供保障。由此,建议我国顶管工程标准中新增以下内容:

(1)根据地质的复杂程度与难易程度,对顶管工程进行重要性分级。其中在设计勘察阶段,对于可行性研究勘察阶段判断地质(特别是复杂或重要程度为一类的大型穿越工程),应该采用物探与钻探相结合的勘察方法,查明穿越断面地层的分布情况、破碎带、溶洞

的数量与体积,孤石、漂石,岩性变化界面等。同时,应区别对待大型复杂地质河流顶管工程的地质勘察、设计、施工与监理。

(2) 岩土试验项目应根据岩土性质确定,并增加磨蚀系数这一重要参数,具体规定参照 DWA-A 125E-2008《顶管及相关技术》的有关规定。

(3) 对地质特别复杂或普通配置顶管机无法顺利施工的工程,在设计时需要提出设备选型、配置的强制说明,明确给出顶管设备配置的最低要求,其中包括设备的最小推力、最小装备扭矩、刀具配置、二次破碎能力,以及是否需要配置换刀作业的气压舱等。

(4) 在施工前对顶管机、主顶站、中继站做全方位的检查并填写设备状况检查表,提高顶管掘进机的可靠性,减少关键部件的故障。

(5) 增加风险分析,包括地质风险与设备选型不当产生的风险,对含水层和复杂困难地层,需制订塌方、涌水、障碍物清除等预防和应急措施。

参考文献:

- [1] 张宝强,焦如义,刘艳利,等. 西二线复杂地质河流顶管工程实践[J]. 油气储运,2013,32(1):97-100.
- [2] 吴忠良. 长输油气管道水工保护效能评价方法[J]. 油气储运,2014,32(5):538-541.
- [3] 庞永莉,张小龙. 国内外油气长输管道应力分析标准的比较[J]. 油气储运,2015,34(2):186-189.
- [4] 葛春辉,王承德,余彬泉,等. 给水排水工程顶管技术规程:CECS 246-2008[S]. 北京:中国计划出版社,2008:5-19.
- [5] 刘嵬辉,张怀法,赵炳刚,等. 油气输送管道穿越工程设计规范:GB 50423-2007[S]. 北京:中国计划出版社,2007:35-37.
- [6] 续理,魏国昌,石忠,等. 油气输送管道穿越工程施工规范:GB 50424-2007[S]. 北京:中国计划出版社,2007:23-31.

- [7] BECKER, WOLFGANG, BLOSFELD, et al. Pipe jacking and related techniques: DWA-A 125E-2008[S]. Hennef: DWA German Association for Water, Wastewater and Waste, 2010: 43-45.
- [8] MÖHRING, BECKER. Pipe driving: ATV-A 125E-1996[S]. Bonn: JF CARTHAUS GmbH & Co, 1996: 11-23.
- [9] SUPERSEDES. German construction contract procedures (VOB) - Part C: General technical specifications in construction contracts (ATV)-Trenchless pipelaying: DIN 18319-2010[S]. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung e. V, 2010: 7-10.
- [10] MOHAMMAD Najafi, JOSEPH G, GRZELAK. Standard construction guidelines for microtunneling: ASCE 36-01-2001[S]. Virginia: Society of Civil Engineers, 2001: 26-30.
- [11] どうきょう:メカニカルブラインド工法研究会. 封闭式机械推进施工法:メカニカルブラインド-2003[S]. 东京:封闭式机械推进施工法研究会,2003:8-12.
- [12] 日本土木学会. 隧道标准规范(盾构篇)及解说[M]. 朱伟,译. 北京:中国建筑工业出版社,2001:108-109.
- (收稿日期:2014-12-08; 修回日期:2015-04-23; 编辑:李在蓉)



作者简介: 张宝强,工程师,1980年生,2006年硕士毕业于中国石油大学(北京)机械设计及理论专业,现主要从事非开挖技术与装备、海洋管道施工技术方面的研究工作。

ZHANG Baoqiang, MS.D, engineer, born in 1980, graduated from China University of Petroleum (Beijing), mechanical design and theory, in 2006, engaged in the research of non-excavation technique and equipment and the construction technique of marine pipelines.
Tel: 0316-2073675, Email: zhangbq999@sina.com