

淤泥质粉质黏土层管道施工及运行稳定性研究

李让杰¹ 杜明珠¹ 刘川川¹ 顾彬瀚²

1 淮河能源燃气集团有限责任公司 2 中国市政工程华北设计研究院有限公司

DOI:10.12238/ems.v4i2.5054

[摘要] 本文以地下水系发达,沿线地层覆盖大量淤泥质粉质黏土层的地质条件为实际案例,通过地质勘察分析、地基承载力试验、边坡稳定性试验、降水排水措施、管道抗沉降试验等试验手段分析天然气长输管道敷设难度以及埋设后管道沉降情况,给出实际的施工建议。

[关键词] 淤泥质粉质黏土层; 天然气长输管道; 管道沉降试验; 施工建议

中图分类号: TU996.5 **文献标识码:** A

Research on Construction and Operation Stability of Pipeline in Muddy Silty Clay Layer

Rangjie Li¹ Mingzhu Du¹ Chuanchuan Liu¹ Binhan Gu²

1 Huaihe Energy and Gas Group Co., Ltd

2 North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd

[Abstract] Taking the geological conditions with developed underground water system and the strata along the line covered with a large number of muddy silty clay layers as an actual case, this paper analyzes the difficulty of laying long-distance natural gas pipeline and the settlement of pipeline after embedding through geological survey and analysis, foundation bearing capacity test, slope stability test, water lowering and drainage measures, pipeline anti settlement test and other test means, and gives practical construction suggestions.

[Key words] muddy silty clay layer; long distance natural gas pipeline; pipeline settlement test; construction suggestions

引言

长输管道野外敷设时候,经常遇到途径区域地下水系发达,沿线地层覆盖大量淤泥质粉质黏土层的情况。淤泥质粉质黏土具有压缩性高、流塑性和易变形的特点,并且含水量较大,地基承载力小;可能造成大型机械设备施工作业困难、管沟难以开挖、不易成型、易塌方、易积水、影响沟下焊接,在此土层中施工天然气管道难度较大。为研究淤泥质粉质黏土层对管道施工影响及运行稳定性,结合施工案例,通过地质勘察分析、地基承载力试验、边坡稳定性试验、降水排水措施、管道抗沉降试验等试验方式分析实际的施工和运行影响。^[1]

1 地质勘察分析

拟试验地区位于长江西岸,位于马鞍山市清溪镇,周边水系发达,地下水位高,为研究地质条件,通过工程钻机、麻花钻机、静力触探仪等设备分析地质。

淤泥质粉质黏土的岩性、分布规律概括描述如下:

②-1层淤泥质粉质黏土(Q4al+pl): 灰色,软塑,稍湿,局部呈流塑状,局部夹杂粉土。稍有光泽,中等强度中等韧性,层厚0.80~19.50m;层顶埋深0.40~5.60m;层顶标高-0.65~18.24m。沿线局部分布。土石等级划分为I级。

地下水类型及特征详见表1。

表1 地下水类型及特征一览表

层号	岩土名称	垂直渗透系数 k (cm/s)	渗透性等级
②-1	淤泥质粉质黏土	1.0×10^{-6} *	微透水

岩土工程评价情况详见表2。

表2 岩土工程评价一览表

层号	岩土名称	岩石天然单轴抗压强度标准值 f_{rk} (MPa)	地基承载力特征值 f_{ak} (kPa)	压缩模量 E_{s1-2} (MPa)	顶管摩阻力 (kPa)
②-1	淤泥质粉质黏土	/	70	3.0	28

淤泥质粉质黏土的物理力学性质指标统计详见表3。

2 地基承载力试验

在选定区域,配合现场实际施工,采用挖掘机将临时堆管点的管道转运至农田内施工现场完成布管;调用DBL-1000型定向钻机及相关附属设备,按照该定向钻正常施工流程将钻机及附属设备采用锚桩固定在预定位置;进行地基承载力试验。

通过试验,淤泥质粉质黏土现场造成工程车辆有所下陷,但

满足施工所需的场地条件,如遇小雨等不良情况,可考虑铺设钢板、局部垫碎石层等措施加以改善;淤泥质粉质黏土现场,按照常规设备锚固方案可基本满足定向钻施工条件,不影响施工精度和安全;如遇小雨等不良情况,可考虑增设或加深管桩、局部浇筑混凝土等措施。^[2]

表3 淤泥质粉质黏土的物理力学性质指标统计表

	含水率 %	比重 —	重度 kN/m ³	干重度 kN/m ³	孔隙比 —	饱和度 %
最小值	40.7	2.71	17.0	11.3	1.126	98
最大值	50.2	2.72	18.0	12.6	1.360	100
平均值	44.6	2.72	17.6	12.1	1.199	100
标准值	46.0		17.4	11.9	1.237	

	液限 %	塑限 %	塑性指数 —	液性指数 —	粘聚力 kPa	内摩擦角度
最小值	30.9	17.6	11.6	1.36	5	3.9
最大值	35.3	20.5	15.8	2.13	10	7.2
平均值	33.5	19.6	13.8	1.81	8	6.3
标准值				1.90	7.4	5.8

	压缩系数 MPa ⁻¹	压缩模量 MPa	标贯实测击属 —	单桥静探 MPa
最小值	0.58	2.00		0.633
最大值	1.18	3.84		0.972
平均值	0.66	3.44		0.818
标准值	0.74	3.20		0.776

层序	土层名称	重度 γ (kN/m ³)	抗剪强度		孔隙比 e ₀	静止侧压力系数 k ₀ *
			C _k (kPa)	Φ _k (度)		
②-1	淤泥质粉质黏土	18.6	8.0	6.3	1.199	0.60

3 边坡稳定性试验

在选定区域,按照长度50米、沟底宽1.2米、沟深2.1米进行管沟开挖,管沟开挖示意图详见图1。

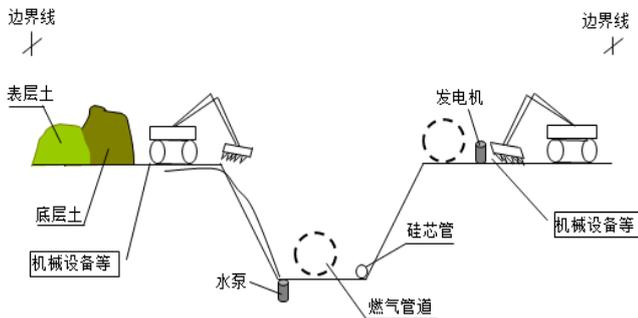


图1 管沟开挖示意图

其中管沟内埋设天然气管道及伴行硅芯管,两侧放坡,管沟外一侧用于机械行走及管道焊接,另一侧用于堆土(注意堆土距离管沟边缘不应小于1m,且应分开堆放表层土和底层土)等。

管沟开挖时边坡比逐级由小到大(1:0.67、1:0.75、1:1.00、1:1.25和1:1.50),如不稳定依次加大边坡比,待某一

边坡比时的管沟稳定后,需静置12h,检查边坡塌落情况,核定适合的边坡比。

通过试验,在采用1:1的边坡比方案情况下,管沟的边坡稳定性较好,有利于现场安全施工。

4 降水排水措施试验

在选定区域,监测不同区域位置处的开挖管沟内的地下水聚积情况。如发现积水较为严重的区域,则进行排水效果测试。

通过试验发现淤泥质粉质黏土段含水量高、地下水位高,施工中易出现积水情况,应在下沟回填前及时抽水排空。如排水效果不理想,可考虑加大排水泵或井点降水等措施。

5 管道抗沉降试验

在选定的试验区域内,按设计正常埋设约1.35公里的管道。在已埋设的管道中间600米段,每隔约200m设置1处监测点(测点布置可根据实际的管道敷设情况进行局部调整),共计需设置约4处监测点,另外设置1处基准点(相对基准点),布置方案详见图2。



图2 管道监测点布置图

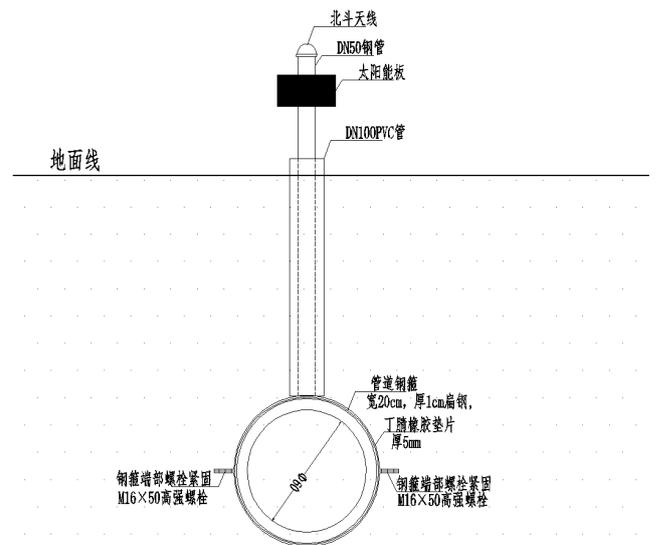


图3 监测设备安装示意图

北斗接收机安装:在燃气管道外围配套抱箍,抱箍与管道之间设橡胶垫;在抱箍上焊接DN50钢管,用以支撑北斗信号机、太阳能电板等;地面处至燃气管道顶部的DN50钢管外设DN100的PVC保护管,避免周边土地影响钢管的位移量。监测设备安装示意图详见图3。

沉降校核试验通过由沉降引起的轴向应力^[1]、由内压和温度变化产生的轴向应力^[2]、第四强度理论校核、许用应力校核进行分析。

分析采用如下模型^[3]:

(1) 模型一

模型一预计管道下沉情况如图4所示,则管道降低部分的管道长度≈1350。



图4 管道下沉情况模型一

由内压和温度引起的轴向应力:

$$\sigma_2 = Ea(t_1 - t_2) + \mu p d / (2\delta)$$

$$= 2.1 \times 1.2 \times 30 + 0.3 \times (6.3 \times 610) / (2 \times 11) = 128$$

许用应力:

$$[\sigma] = F\Phi t \sigma_s = 0.5 \times 1 \times 1 \times 415 = 207.5$$

计算得到:

$$h = 16.42 \text{ 时, } \sigma_{r4} = 207.44;$$

$$h = 16.43 \text{ 时, } \sigma_{r4} = 207.51。$$

故认为管道沉降不应超过16.42m(即16420mm)。

(2) 模型二

模型二预计管道下沉情况如图5所示,则管道降低部分的管道长度 $l \approx 200$ 。

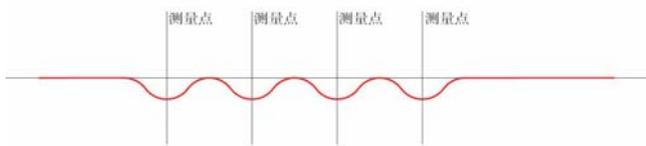


图5 管道下沉情况模型二

由内压和温度引起的轴向应力:

$$\sigma_2 = Ea(t_1 - t_2) + \mu p d / (2\delta)$$

$$= 2.1 \times 1.2 \times 30 + 0.3 \times (6.3 \times 610) / (2 \times 11) = 128$$

许用应力:

$$[\sigma] = F\Phi t \sigma_s = 0.5 \times 1 \times 1 \times 415 = 207.5$$

计算得到:

$$h = 1.809 \text{ 时, } \sigma_{r4} = 207.487;$$

$$h = 1.810 \text{ 时, } \sigma_{r4} = 207.537。$$

故认为管道沉降不应超过1.890m(即1890mm)。

(3) 弹性敷设法校核

根据《输气管道工程设计规范》GB50251-2015,第4.3.15节,弹性敷设法管道的曲率半径应满足管子强度要求,且不应小于钢管外径的1000倍,垂直面上弹性敷设法管道的曲率半径还应大于管在自重作用下产生的挠度曲线的曲率半径,曲率半径应按下式计算:

$$R \geq 3600 [3 \sqrt{(1 - \cos(a/2))} \times D^2 / a^4]$$

式中,R——管道弹性弯曲曲率半径(m);

a——管道的转角(°);

D——钢管外径(cm)。

以上述模型二为例,其管道局部下沉段包含4段弹性敷设法曲线:

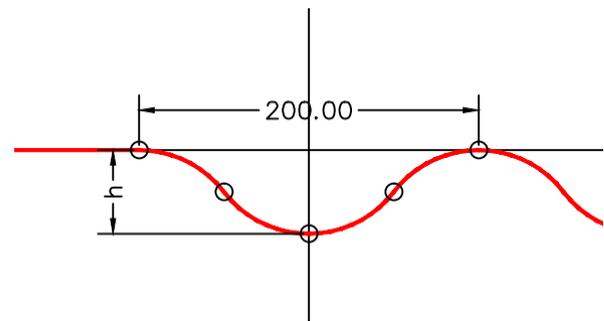


图6 弹性敷设法曲线模型

以 $R \geq 1000D = 610 \text{ m}$ 计,

$$h/2 \leq 610 - \sqrt{(610^2 - 50^2)} = 2.05 \text{ m}$$

此时,该小段曲线转角为:

$$a = \sin^{-1}(50/610) = 4.70^\circ$$

则同时:

$$R = 610 \text{ m} \geq 3600 [3 \sqrt{(1 - \cos(4.7/2))} \times 0.612^2 / 4.74^4] = 31.05 \text{ m}$$

则在满足管道弹性敷设法要求的情况下,200m管道允许下沉值为 $h = 4.10 \text{ m}$ 。

通过数据采集和理论分析,现场管道结构整体处于稳定状态,各监测站监测数据变化主要由于现场施工、农用极具行走、风摆、管道自然沉降等原因引起,并逐步趋于20mm的波动范围内。

经沉降校核和弹性敷设法校核计算,该段管道最大沉降不应超过1890mm,而4个测量点监测管道竖向波动为7.97~39.26mm,满足安全运营要求。^[3]

6 结论与建议

经过在淤泥质粉质黏土层段进行地基承载力、边坡稳定性、降水排水和管道抗沉降等试验,该种地质较软、地下水较多,对施工有一定影响。但采用加大边坡比(1:1.00)、及时管沟排水等措施后,可满足施工要求。该种地质情况管道运营中会有竖向波动,但波动范围较小,经应力校核计算在许可波动范围内,不会造成安全隐患。为指导以后类型土层的施工,建议如下:

(1) 淤泥质粉质黏土层地质情况基本不影响工程车辆行走,但针对具体情况可考虑铺设钢板、局部垫碎石层等措施加以改善;对定向钻施工影响也较小,但也可考虑增设或加深管桩、局

部浇筑混凝土等措施。

(2) 经过本研究试验,在不采取支护、填砂等施工措施方案的情况下也可满足管道施工和运营需求,可以有效节省建设投资和加快施工工期。

(3) 在采用1:1的边坡比方案时,该地质情况下管沟的边坡稳定性较好,有利于现场安全施工。

(4) 该地质情况管沟中易积水,应在下沟回填前及时抽水排空。

[参考文献]

[1] 帅健.管道及储罐强度设计[M].石油工业出版社,2006:18-19.

[2] GB50423.油气输送管道穿越工程设计规范[S].中国计划出版社:中华人民共和国住房和城乡建设部,2013.

[3] 杨晓辉.不均匀沉降时埋地输气管道应力及许可沉降值研究[J].太原科技大学学报,2018,39(2):145-149.

作者简介:

李让杰(1971--),男,汉族,安徽滁州人,本科,工程师,从事燃气工程研究。

中国知网数据库简介:

CNKI介绍

国家知识基础设施(National Knowledge Infrastructure, NKI)的概念由世界银行《1998年度世界发展报告》提出。1999年3月,以全面打通知识生产、传播、扩散与利用各环节信息通道,打造支持全国各行业知识创新、学习和应用的交流合作平台为总目标,王明亮提出建设中国知识基础设施工程(China National Knowledge Infrastructure, CNKI),并被列为清华大学重点项目。

CNKI 1.0

CNKI 1.0是在建成《中国知识资源总库》基础工程后,从文献信息服务转向知识服务的一个重要转型。CNKI1.0目标是面向特定行业领域知识需求进行系统化和定制化知识组织,构建基于内容内在关联的“知网节”、并进行基于知识发现的知识元及其关联关系挖掘,代表了中国知网服务知识创新与知识学习、支持科学决策的产业战略发展方向。

CNKI 2.0

在CNKI1.0基本建成以后,中国知网充分总结近五年行业知识服务的经验教训,以全面应用大数据与人工智能技术打造知识创新服务业为新起点,CNKI工程跨入了2.0时代。CNKI 2.0目标是将CNKI 1.0基于公共知识整合提供的知识服务,深化到与各行业机构知识创新的过程与结果相结合,通过更为精准、系统、完备的显性管理,以及嵌入工作与学习具体过程的隐性知识管理,提供面向问题的知识服务和激发群体智慧的协同研究平台。其重要标志是建成“世界知识大数据(WKBD)”、建成各单位充分利用“世界知识大数据”进行内外脑协同创新、协同学习的知识基础设施(NKI)、启动“百行知识创新服务工程”、全方位服务中国世界一流科技期刊建设及共建“双一流数字图书馆”。