

# 空间解析几何法 在输油管道工程中的应用

杨成<sup>1\*</sup>, 秦红艳<sup>2</sup>, 刘治毅<sup>1</sup>, 赫德明<sup>3</sup>, 杨国辉<sup>3</sup>

(1. 中国石油管道局工程有限公司, 河北廊坊065000;

2. 天津天泉工程监理有限公司, 天津300280;

3. 中国石油天然气管道工程有限公司天津滨海分公司, 天津300457)

**摘要:**结合天津港—华北石化原油管道工程在施工过程中出现的各种弯管,通过空间几何法进行分析,建立了多种计算模型,提出了该项目中各种类型弯管角度的计算方法,并通过工程实践验证该计算方法的实用性。

**关键词:**空间解析几何法;输油管道;弯管

中图分类号:TE832

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2017)02-214-03

DOI:10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2017.02.053

## Application of space geometry method in oil transportation pipeline project

YANG Cheng<sup>1\*</sup>, QIN Hong-yan<sup>2</sup>, LIU Zhi-yi<sup>1</sup>, HE De-ming<sup>3</sup>, YANG Guo-hui<sup>3</sup>

(1. China Petroleum Pipeline Engineering Corporation, Langfang 065000, China;

2. Tianjin Tianquan Engineering Supervision Co., Ltd., Tianjin 300280, China;

3. China Petroleum Pipeline Bureau Tianjin Design Institute, Tianjin 300457, China)

**Abstract:** Based on the analysis of the geometrical method, a variety of calculation models for pipeline elbows in Tianjin port-North China petrochemical crude oil pipeline project are put forward. The calculating methods of various types of elbow angles in the project are proposed. The practicability of the method is verified by engineering practice as well.

**Key words:** spatial analytic geometry method; oil pipeline; elbows

天津港—华北石化原油管道工程(下称津华线)对打通冀东原油外输通道及满足华北石化原油加工的需求发挥着重要作用。本项目起点为天津港汇鑫油库首站,终点为河北省任丘市任丘合建站,线路全长约187 km,管道规格为 $\Phi 508$ ,设计输量为 $700 \times 10^4$  t/a,设计压力6.3 MPa。

津华线地处经济发达的天津、河北地区,管线路由复杂并多次穿越公路、铁路、鱼塘、虾池。施工过程中,线路路由经常会因为地方规划的调整及地面赔偿等问题引起变更,原设计弯管已不能满足管道改线需求,施工现场亟需一种快速解决弯管变更的计算方法。笔者通过空间几何法进行分析,总结归纳出本工程中各种类型弯管的计算方法及通式,成功解决了弯管变更需求。

## 1 弯管角度定义

弯管是采用成套模具进行弯曲的,分为冷煨与热推2种工艺。工程中常说的弯管角度是弯管一边

的延长线与弯管另外一边的夹角,如图1所示,弯管的角度为 $\angle \theta$ 。

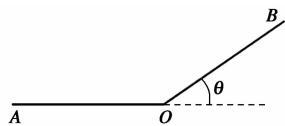


图1 弯管角度定义

## 2 弯管计算与分析

津华线在施工过程中用到了大量的弯管来改变线路走向(包括横向、纵向),用到的弯管数量达到1500多个。根据工程实际弯管主要分为2类:一类为平面弯管,另一类为空间弯管,现分别对以上2类弯管建立模型。

### 2.1 建立模型

#### 2.1.1 平面角

平面角是指管道只在同一平面中转变方向,平面中常见的弯管模型如表1所示。

表1 弯管平面角模型

模型	一	二	三
示意图			
模型	四	五	六
示意图			
模型	七	八	九
示意图			
模型	十	十一	十二
示意图			

注:k代表斜率,下同。

表2 弯管平面角计算模型

模型	一	二	三
示意图			
模型	四	五	六
示意图			
模型	七	八	九
示意图			
模型	十	十一	十二
示意图			

2.1.2 空间角

当管道在水平面与纵断面上均有转角时,这个转角在工程上习惯称为空间角(叠加角),如图2所示。

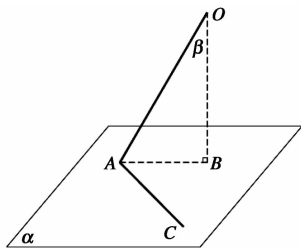


图2 弯管空间角示意图

管道在水平面 $\alpha$ 发生转角,同时在平面 $\beta$ 里发生转角。

2.2 模型分析

2.2.1 平面角公式推导<sup>[1]</sup>

根据弯管角度定义,对平面角的模型做辅助线,则 $\angle\theta$ 为所求弯管角度,如表2所示。

定义弯管一边 $AB$ 的斜率为 $k_1$ ,定义另一边 $BC$ 的斜率为 $k_2$ 。因为边 $AB$ 与边 $BC$ 在同一平面中,根据到角公式:

$$\theta = \arctan[(k_2 - k_1)/(1 + k_1 \times k_2)]$$

则弯管角度 $\angle\theta$ :

$$\theta = |\arctan[(k_2 - k_1)/(1 + k_1 \times k_2)]|$$

斜率 $k$ 通过经纬仪等仪器计算测量得到,而到

角公式具有方向性,使计算结果具有通用性。模型七~模型十二特殊例子中,斜率 $k_2 = \infty$ ,当出现这种情况时,模型七与模型十的弯管角度 $\angle\theta = 90^\circ - |\arctan(k_1)|$ ,模型八与模型十一的弯管角度 $\angle\theta = 90^\circ$ ,模型九与模型十二弯管角度 $\angle\theta = 90^\circ + |\arctan(k_1)|$ 。模型九与模型十二的弯管角度在长输管道实际工程中是通过一个 $90^\circ$ 的弯管与一个角度为 $|\arctan(k_1)|$ 弯管组合而成。

2.2.2 空间角公式推导<sup>[2]</sup>

在图3中,弯管 $DAO$ 的弯管角度为 $\angle CAO$ ,由于空间角在水平面与纵断面均发生转角,因此构造2个垂直平面,弯管一边 $DA$ 及其延长线 $AC$ 在水平面 $\alpha$ 内,弯管另外一边 $AO$ 在垂直面(纵断面) $\beta$ 内。

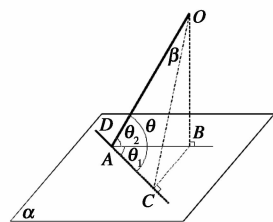


图3 弯管空间角示意图

在平面 $\beta$ 中从 $O$ 点向平面 $\alpha$ 做垂线 $OB$ ,然后连接 $AB$ 、 $BC$ 、 $CO$ ,则弯管角度 $\angle CAO$ 在水平面的投

影角为  $\angle CAB$ , 在纵断面的投影角为  $\angle BAO$ 。复杂的空间角  $\angle CAO$  分解成水平角  $\angle CAB$  和垂直角  $\angle BAO$ , 根据三余弦定理可知:  $\cos \angle CAO = \cos \angle CAB \times \cos \angle BAO$ 。

三余弦定理使用前提为  $\angle CAB$ 、 $\angle BAO$  为锐角, 这与实际工程中弯管角度相符。

### 3 典型实例计算

本工程在穿越某河流时, 由于地方规划调整需要对前期批复路由进行变更, 造成穿越点位置发生变化, 现场亟需统计出穿越河流的材料, 其中最重要的就是所需要弯管规格尺寸。

结合图 4 可以看出图 5 断面中,  $\angle EFG$ 、 $\angle FGH$ 、 $\angle GHM$  为平面角, 而  $\angle HMN^1$  为空间角 ( $M$  点实际中既发生了水平方向的转角  $\angle CDE'$ , 又发生了纵断面的  $\angle HMN$  转角)。现场实际测量  $k_1 = k_4 = 0$ ,  $k_2 = -1.73$ ,  $k_3 = 1.33$ ,  $CDE'$  的水平转角为  $61.30^\circ$ 。

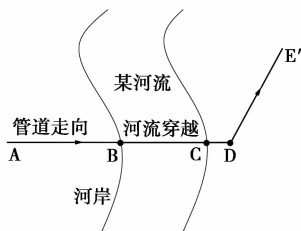


图 4 津华线某河流穿越平面图

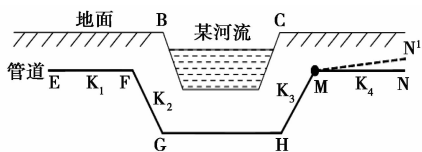


图 5 津华线某河流穿越断面图

### 3.1 平面角计算

$$\text{弯管 } EFG = |\arctan[(k_2 - k_1)/(1 + k_1 \times k_2)]| = |\arctan\{(-1.73 - 0)/[1 + 0 \times (-1.73)]\}| = 59.97^\circ$$

$$\text{弯管 } FGH = \text{弯管 } EFG = 59.97^\circ$$

$$\text{弯管 } HMN = |\arctan[(k_4 - k_3)/(1 + k_3 \times k_4)]| = |\arctan[(0 - 1.33)/(1 + 1.33 \times 0)]| = 53.06^\circ$$

$$\text{弯管 } GHM = \text{弯管 } HMN = 53.06^\circ$$

### 3.2 空间角计算

$$\cos \angle HMN^1 = \cos(53.06) \times \cos(61.30) = 0.60 \times 0.48 = 0.29$$

$$\text{弯管 } HMN^1 = \arccos(0.29) = 73.14^\circ$$

以上即为工程实际穿越某河流时的工况及弯管计算结果。根据此计算结果, 本工程在施工过程中迅速采购了这几种弯管并完成了安装, 安装结果证明该计算结果符合现场实际需求。

### 4 结语

传统计算弯管角度的方式为通过建立三角形模型进行计算, 这种模型对于平面角计算有一定的优势, 但是对于空间角计算则较为复杂。本文中的计算方法结合天津港—华北石化原油管道工程在施工变更中的各种弯管所需角度的要求, 通过利用斜率法及空间几何法进行分析, 实现各种形式弯管角度的计算并在本工程中得到了广泛的应用。实践证明, 此种方法快速、高效、准确, 值得在类似工程中推广使用。

### 参考文献

- [1] 江孔军, 王文博. 空间双向弯管的几何计算[J]. 中国农村水利水电, 1998, (4): 38-39.
- [2] 侯明辉. 三弦定理的若干应用[J]. 中学数学教学, 2004, (1): 14-16. ■

## 石油发展“十三五”规划公布

2017 年 1 月 19 日, 国家发改委发布《石油发展“十三五”规划》2016—2020。《规划》包括上游资源勘探开发、中游原油成品油管网等基础设施建设, 兼顾下游石油节约和替代, 部署了六大重点任务。

《规划》提出, “十三五”期间, 年均新增探明石油地质储量 10 亿 t 左右。2020 年国内石油产量 2 亿 t 以上, 构建开放条件下的多元石油供应安全体系, 保障国内 2020 年 5.9 亿 t 的石油消费水平。

在基础设施能力方面, 《规划》提出, “十三五”期间, 建成原油管道约 5 000 km, 新增一次输油能力 1.2 亿 t/a; 建成成品油管道 12 000 km, 新增一次输油能力 0.9 亿 t/a。到 2020 年, 累计建成原油管道 3.2 万 km, 形成一次输油能力约 6.5 亿 t/a; 成品油管道 3.3 万 km, 形成一次输油能力

3 亿 t/a。

《规划》部署了加强勘探开发保障国内资源供给, 推进原油、成品油管网建设, 加快成品油管道建设, 加快石油储备能力建设, 坚持石油节约利用, 大力发展清洁能源, 加强科技创新和提高装备自主化水平等 6 方面的重点任务。

新一轮全国常规油气资源动态评价成果表明, 中国陆上和近海海域常规石油地质资源量 1 085 亿 t/a。截至 2015 年底, 连续 9 年新增探明石油地质储量超过 10 亿 t, 累计探明地质储量 371.7 亿 t, 探明程度 34%, 处于勘探中期。2000 年起, 国内石油产量连续 6 年稳定在 2 亿 t 以上。

截至 2015 年底, 国内石油累计探明地质储量 371.7 亿 t/a, 2015 年全国石油产量 2.14 亿 t。(王莉)