

沉管过河施工中供热管道的安全性验算分析

Verification and analyzing the safety of heating pipeline in river crossing project

杨亚龙,李春庆,王永,赵颖
YANG Yalong, LI Chunqing, WANG Yong, ZHAO Ying

(天津市城安热电有限公司,天津 300204)
(Tianjin Cheng'an Thermal Power Company Limited, Tianjin 300204, China)

摘 要:供热管道受力安全是沉管过河敷设供热管网施工中需要重点关注的问题。以华电天津军粮城发电有限公司和天津市陈塘庄热电有限公司热网联网沉管过海河工程为例,对金属管道进行挠度、剪切应力、弯曲应力验算。为解决挠度超限问题,采取了捆绑浮球和增设中间支吊点的措施,可为过河管道的施工提供参考。

关键词:供热管道;沉管过河施工;挠度;剪切应力;弯曲应力

中图分类号:TV 5 **文献标志码:**B **文章编号:**1674 - 1951(2019)06 - 0061 - 03

Abstract: The safety of heating pipeline stress is a key issue in the heating pipe networks. Taking the immersed pipe crossing the Haihe River project of Huadian Tianjin Junliangcheng Power Generation Company Limited and Tianjin Chentangzhuang Thermal Power Company Limited as the example, the deflection, shear stress and bending stress of the metal pipes are checked. In order to solve the problem of deflection overrun, measures to bundle the float ball and add intermediate support points have been adopted to provide reference for the construction of the river crossing pipeline.

Keywords: heating pipe; river crossing project of immersed pipe; deflection; shear stress; bending stress

0 引言

热网建设中,从项目投资和工期方面考虑,供热管道沉管过河的方式较顶管过河等方式有巨大的优势,但施工中管道本身的安全性成为困扰沉管方式推广应用的重大问题。本文以华电天津军粮城发电有限公司和天津市陈塘庄热电有限公司热网联网沉管过海河的工程为例,介绍沉管过河工程中供热管道的安全性验算方法。

1 项目背景及施工方案

1.1 项目背景

为保证天津市热电联产集中供热实现联网,华电天津军粮城发电有限公司和陈塘庄热电有限公司热网采用沉管方式沿南北方向垂直穿越海河,穿越长度为 165 m,管径为 DN 1 000 mm,包括供、回水两路管,钢管中间为 105 m 水平管段,两侧管段以 15° 坡度分别向两岸延伸。

沟槽开挖采用挖、运、卸三位一体施工工艺,管道施工采用堤岸平台整体焊接方式,打压合格后将

管线滑入河道内。钢管沉管前从水路运输,一次整体漂管,水面划弧就位,注水后垂直一次沉入基槽内。

1.2 施工技术方案

(1) 该工程采用沉管法,先将钢管从焊接平台运到河道内,根据管线长度,每 30 m 布置一台挖掘机,用软吊带将管线绑扎牢固,起吊后稳步送入水中。水路运输采用 118 kW 拖轮和 59 kW 挂浆机将钢管送到左岸沟槽中,并与西岸扒杆吊点绳连接,然后以西岸端为转动中心,使过河管道向右岸缓慢划弧,入位后将钢管东岸端点和东岸扒杆吊点连接。

两岸主扒杆均采用 10 m 长的 $\phi 219\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 的无缝钢管,每套扒杆配置 2 台 50 kN 慢转卷扬机(其中 1 台备用),25 mm 钢丝绳返 4 $\times$ 4 滑轮组,滑轮组与钢管相连。用 8 条缆风绳均匀地拉牢主扒杆使其稳定,地面上地锚采用预埋法。过河管水平画弧就位后,各吊点船在过河管一侧(即凸起侧)就位并抛锚固定,沿过河管道每 30 m 设置 1 条吊点船。河中每条吊点船上布置 1 套 8 m 长的 $\phi 219\text{ mm} \times 7\text{ mm}$ 无缝钢管人字扒杆及 1 台 50 kN 慢转卷扬机,吊点船采用 1 200 kN 铁驳船。

经浮力计算,预制保温钢管质量为 0.491 3 t/m,

管道体积排水质量为 1.047 2 t/m,折合每 5 m 的净质量为 2.78 t,若每 5 m 绑定 DN 1000 mm×2000 mm 的橡胶浮球,则每 5 m 的净质量为 1.21 t,每 30 m 的净质量为 36.30 t,每 30 m 布置 1 条 1200 kN 的吊点船完全满足要求。

利用浮球的沉管作业步骤为:在堤岸上将多个浮球均匀绑定在管道上;管道在平面坐标就位后向管道内注水,同时对多个浮球进行对称放气操作,使管道能够平稳地沉放至河底的预置沟槽内;断开管道与左岸扒杆吊点绳、右岸扒杆吊点绳以及各个定位吊点船吊点绳的连接,用细砂和石屑垫层回填预置沟槽并恢复河道。

2 验算条件

管道起吊示意图如图 1 所示,管道水平长度为 105 m,两端折角均为 15°,折角左侧 20.5 m 处为主扒杆悬吊点,此处位于左侧第 1 道焊口,焊口向左 12 m 到最左侧,即折点左侧管共 32.5 m 长。折角右侧 33.5 m 处为主扒杆悬吊点,此处位于右侧第 1 道焊口,该焊口向右 12 m 到最右侧,即折点左侧管共 45.5 m 长。水平管轴向用紧固带每隔 5 m 绑定 DN 1000 mm×2000 的橡胶浮球,每 30 m 设置 1 条定位吊点船。

钢管设计参数为:设计压力,1.6 MPa;设计温度,130 ℃;外径(不含保温层),1020 mm。管道采用聚乙烯外套的预制保温管,工作钢管采用螺旋焊缝钢管,材质为 Q235B,壁厚为 16 mm,采用无补偿冷安装方式敷设^[1]。在沉管施工过程中,从钢管划弧就位后起吊到注水沉管是钢管受力最不利阶段,故验算分析空管起吊状态。

3 验算分析方法

为确保沉管过河的供热钢管组在施工和使用过程中的安全性和可靠性,需要验算钢管强度、两侧主

扒杆起吊后的管道挠度、两侧吊点处剪切应力和弯曲应力^[2-4]。

3.1 壁厚选择

钢管在运行中承受工质压力,在沉管作业中承受自重、工质重力、拉撑和悬吊等引起的局部集中载荷,故有必要依据许用应力进行壁厚计算和依据设计壁厚进行应力校核验算^[5-6];同时,考虑受腐蚀减薄影响,还需要进行设计寿命验算。

(1)壁厚计算。

$$d_1 = \frac{p_{js} D_w}{2[\sigma] \eta + p_{js}},$$
$$d_{js} = d_1 + C,$$

式中: d_1 为管道理论计算壁厚 mm; p_{js} 为计算压力,1.6 MPa; D_w 为管道外径,1020 mm; $[\sigma]$ 为管道基本许用应力,Q235B 钢取 125 MPa; η 为管道焊缝减弱系数,螺旋焊接钢管取 0.6; d_{js} 为管道计算壁厚 mm; C 为管道壁厚附加值,0.8 mm。

经计算, d_{js} 为 11.565 mm,可见,壁厚 d 取 16.000 mm 完全满足要求。

(2)校核验算。

$$\sigma_{zs} = \frac{p_{js} [D_w - (d - C)]}{2\eta + (d - C)},$$

式中: σ_{zs} 为内压折算应力。

经计算, σ_{zs} 为 98.03 MPa,壁厚 16 mm 的 Q235B 钢管在 130 ℃ 的计算温度下基本许用应力为 134.10 MPa,内压折算应力小于该值,符合强度要求。

考虑河底管道的抗腐蚀性能,河底管道部分选取 16 mm 厚,比标准 14 mm 增加 2 mm,按照 0.08 ~ 0.10 mm/a 的腐蚀量计算,可增加超过 20 a 的腐蚀余量。

3.2 挠度计算

Q235B 钢的许用弯曲应力 σ_{bw} 为 80 MPa^[7],单位长度的空管(包含钢管、保温及外皮)质量为 0.491 3 t/m,通过下式可以计算钢管起吊后的曲率

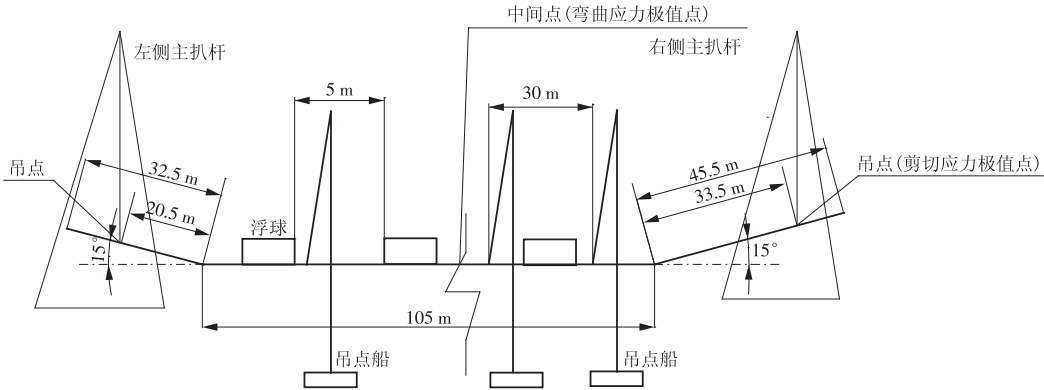


图 1 管道起吊示意
Fig.1 Pipe lifting

半径

$$\rho = \frac{E\gamma}{\sigma_{bw}},$$

式中: E 为弹性模量,196 GPa; γ 为计算应力的点到中心轴距离,0.5 m。

计算得 ρ 为 1225 m,根据图 2 求得 θ 为 4.91° ,反推极限挠度为 1.124 m。

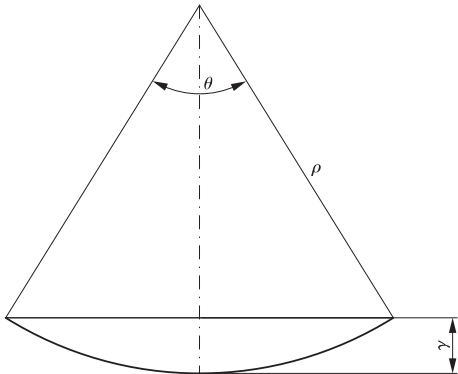


图 2 挠度计算示意
Fig.2 Deflection calculation

利用基于弹性模量的公式计算管道中点的挠度^[8]。

$$\gamma = \frac{5ql^4}{384EI},$$

式中: γ 为管道中点的挠度,mm; q 为单位长度集中载荷,4.8 kN/mm; l 为管道跨长,105 m; I 为惯性矩,636 050 × 10⁴ mm⁴。

经计算, γ 为 6.113 m,超过极限挠度。
充气浮球可通过放气量的无扰控制,灵活、精确地控制沉浮力,故考虑采用捆绑橡胶浮球和设置中部吊点船的作业方式,辅助起吊和沉放作业^[9]。这种作业方法可解决超长距离穿越河道沉管中挠度、剪切应力、弯曲应力超标问题。该项目施工中采用这种作业方法后,实测最大挠度约为 1 m。

3.3 剪切应力计算

剪切应力最大部位位于管道两侧起吊点处,该处的剪应力

$$\tau = \frac{Q}{A} = \frac{ql}{2A},$$

式中: Q 为剪切面上的剪力; A 为剪切面面积($\phi 1\,020\text{ mm} \times 16\text{ mm}$ 管道的截面积),50.466 5 × 10⁻³ m²; l 为两侧起吊点间的管道长度,159 m。

经计算, τ 为 7.585 MPa。塑性材料的剪切许用应力 $[\tau] = (0.6 \sim 0.8)[\sigma] = 75 \sim 100\text{ MPa}$, $\tau \leq [\tau]$ 。

3.4 弯曲应力计算

计算弯曲应力时,需要对整个管道组进行计算。经计算,当量直管段长度为 157 m,按照图 2 计算得

整个管道的曲率半径 ρ_1 为 3 085 m。
弯曲应力最大处为两个支吊点中间位置,该处的最大弯曲应力

$$\sigma_{\max} = \frac{E\gamma}{\rho_1},$$

计算得 $\sigma_{\max}$ 为 31.76 MPa,小于钢管许用应力 125.00 MPa 和许用弯曲应力 80.00 MPa。

4 结束语

在方案设计中,管壁厚度应满足计算温度下管道基本许用应力的要求;较长的金属管道在两头起吊过程中会产生较大的挠度,对管道安全性造成很大威胁,需进行校核验算;吊点为剪切应力和弯曲应力集中处,需进行应力校核验算,以确保金属管道起吊和沉放中的安全性。

参考文献:

[1] 贺平,孙刚. 供热工程[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1993.
[2] 杜景水,王健,马廷霞. 兰成渝输油管道东峪沟沉管治理工程应力应变监测技术应用及研究[J]. 黑龙江科技信息,2009(18):6.
[3] 杜景水,陈次昌,王健,等. 兰成渝输油管道沉管应力应变监测技术[J]. 油气储运,2009,28(11):69-71.
[4] 顾素兰,茅根新,倪正,等. 压力管道应力分析方法探讨[C]//第三届全国管道技术学术会议压力管道技术进展精选论文集. 乌鲁木齐:中国机械工程学会,2006:306-312.
[5] 张慧敏,潘家祯. 长输管线中直管跨越管道的力学分析[J]. 华东理工大学学报(自然科学版),2007,33(4):577-583.
[6] 邓道明,徐立. 高压大口径油气管道跨长计算[J]. 西南石油学院学报,2000,22(1):80-83,86.
[7] 施振球,赵延元. 动力管道设计手册[M]. 北京:机械工业出版社,1995.
[8] 张正国. 静力学及材料力学[M]. 哈尔滨:哈尔滨船舶工程学院出版社,1991.
[9] 杜景水,马廷霞,王维斌. 基于小挠度理论的悬空管道力学分析[J]. 油气储运,2009,28(1):16-18,84.

(本文责编:刘芳)

作者简介:

杨亚龙(1985—),男,甘肃会宁人,工程师,工学硕士,从事集中供热节能技术的研究(E-mail: yangyalong2013@163.com)。