

# Analysis on the Cold Insulation Structure and Construction Technique of the LNG Low-Temperature Pipe

Yongxing Wang<sup>1</sup>, Xuanyu Sheng<sup>2</sup>, Shengli Wang<sup>1</sup>, Junman Shu<sup>1</sup>, Yachen Xu<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Installation Company of Daqing Oilfield Engineering Construction Co., Ltd., Daqing Heilongjiang

<sup>2</sup>Institute of Nuclear and New Energy Technology, Tsinghua University, Beijing

<sup>3</sup>Research Center of Advanced Energy Equipment Technology, Tianjin Research Institute for Advanced Equipment, Tsinghua University, Tianjin

Email: xuanyu@tsinghua.edu.cn, shengxy@tsinghua-tj.org

Received: Sep. 7<sup>th</sup>, 2016; accepted: Sep. 27<sup>th</sup>, 2016; published: Sep. 30<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

Aiming at unreasonable cold insulation structure of LNG pipe, bad effect of cold insulation, high cold loss, complicated and difficult construction and long-time installation etc. difficulties, this paper studies types and performance characteristics of cold insulation material of LNG pipe. In the paper, finite-element method is used to analyze cold insulation structure and distribution regularities of temperature field of thickness and rationality of cold insulation structure is verified. Carrying out construction according to requirements for cold insulation construction technology in the paper will provide reference for cold insulation construction of LNG pipe.

## Keywords

LNG Low-Temperature Pipe, Cold Insulation Structure, Temperature Field, Cold Insulation Construction

---

# LNG低温管道保冷结构分析及保冷施工技术

王永兴<sup>1</sup>, 盛选禹<sup>2</sup>, 王胜利<sup>1</sup>, 舒均满<sup>1</sup>, 徐雅晨<sup>3</sup>

<sup>1</sup>大庆油田工程建设有限公司安装公司, 黑龙江 大庆

<sup>2</sup>清华大学核能与新能源技术研究院, 北京

<sup>3</sup>清华大学天津高端装备研究院先进能源装备技术研究所, 天津

Email: xuanyu@tsinghua.edu.cn, shengxy@tsinghua-tj.org

收稿日期: 2016年9月7日; 录用日期: 2016年9月27日; 发布日期: 2016年9月30日

## 摘要

针对LNG管道保冷结构不合理, 保冷效果差, 冷损失量高、施工复杂难度大、安装时间长等难点, 研究LNG管道保冷材料种类和性能特点, 采用有限元法分析保冷结构和厚度的温度场分布规律, 验证保冷结构的合理性, 依照文中保冷施工工艺要求进行施工, 为LNG管道保冷施工提供参考依据。

## 关键词

LNG低温管道, 保冷结构, 温度场, 保冷施工

## 1. 引言

无论是基本负荷型液化天然气(LNG)装置还是液化天然气接收终端, 都需要有各种各样的低温液体输送管路。保冷结构施工是LNG管道施工关键技术之一, 保冷结构的合理性和保冷结构的施工工艺对LNG管道投产运行非常重要。

LNG管道保冷分为非真空绝热与真空管绝热两大类。非真空绝热是在低温设备的外表面堆积或包扎一定厚度的绝热材料的绝热方式。目前国内LNG低温管道保冷主要堆积绝热保冷工艺, 多为组合式保冷结构, 既能起到保冷的作用, 又能起到防潮的作用。内层保冷结构采用导热系数低的保冷材料, 外层保用防水率、防潮率高的保冷材料, 实现对管道保冷的双重保护。

## 2. 保冷材料的种类及结构性能特点

目前国内较理想的低温管道保冷材料主要有硬质聚氨酯泡沫 PUR、聚异氰脲酸酯泡沫 PIR、酚醛泡沫(PE)、聚苯乙烯(EPS)、橡胶(NBR)、泡沫玻璃(FG)、丁腈橡胶及二烯烃泡沫(LT + LTD)。保冷材料要结合工程当地情况与经济条件来综合选取。

LNG管道保冷材料主要的性能和要求包括: 导热系数、防火性能、吸水及吸湿性能、抗水蒸气渗透性、线性收缩、工作温度适应性、机械强度、防止对奥氏体不锈钢应力腐蚀、健康与环保等。

泡沫塑料及其制品 25℃时热导率应不大于 0.044 W/(m·K), 密度应不大于 60 kg/m<sup>3</sup>, 吸水率不大于 4%, 并应具有阻燃性能, 氧指数不应小于 30%, 硬质成型制品的抗压强度应不小于 0.15 MPa。

泡沫橡塑制品 0℃时的热导率应不大于 0.036 W/(m·K), 密度应不大于 95 kg/m<sup>3</sup>, 真空吸水率不大于 10%。

泡沫玻璃及其制品 25℃时的热导率应不大于 0.064 W/(m·K), 密度应不大于 180 kg/m<sup>3</sup>, 吸水率不大于 0.5%。

根据石油化工设备和管道隔热技术规范中的规定, 保冷应选用闭孔型材料及其制品, 不宜选用纤维材料或其制品; 保冷材料的含水率不大于 1%。

在保冷的同时, 并确保保冷结构表面温度高于环境的露点温度, 防止凝霜结冰破坏保冷结构; 有机硬质成型制品抗压强度不应小于 0.15 MPa, 无机硬质成型制品不应小于 0.30 MPa。

具有闭孔结构的泡沫塑料类材料和泡沫玻璃均具有良好的抗水蒸气渗透性，优先选用。保冷材料的最低使用温度应低于正常操作时的介质最低温度。保冷材料的防火性能应能满足国家现行标准的要求。优先选用单位综合经济效益高的材料或制品[1] [2]。减少保冷系统投产后的日常维护工程量，提高材料的在利用程度。

### 3. 低温管道保冷结构温度场数值模拟

LNG 低温管道的保冷结构如图 1 所示，由内而外主要有：防锈层，粘接层，保冷层，防潮层以及外保护层。

LNG 管道管内介质温度  $T_0 = -162^\circ\text{C}$ ，环境温度  $T_a = 30.4^\circ$ ，管材为 0Cr18Ni9Ti 的无缝钢管，管径为  $\phi 219 \times 10$ ，管道采用改性聚异氰脲酸酯(PIR)、泡沫玻璃双层保冷材料。

应用 ANSYS 软件对 LNG 低温管道结构进行稳态热分析，分析比较得到温度分布和管道径向热流率情况，验证 LNG 管道保冷材料及其保冷厚度的合理性。

模拟采用管道公称直径为 219 mm 的结构设计，经过合理的假设与简化。在保冷材料内表面施加温度载荷为  $-162^\circ\text{C}$ ，各层材料发生热传导；保冷材料外表面与外界空气发生热对流，空气的对流系数为  $25 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{k})$ ；环境温度为  $30.4^\circ\text{C}$ 。管道外表面取第 3 类边界条件。

判别准则：管道保冷层外表面热流密度不大于  $25 \text{ W}/\text{m}^2$ ，采用平均热导率法计算出管道外壁热流密度在极高气温条件下大于  $25 \text{ W}/\text{m}^2$ 。

由图 2、图 3、图 4 计算结果显示，管道总热通量由里到外逐渐减小，里侧值最大为  $32.04 \text{ W}/\text{m}^2$ ，外侧最小值为  $14.67 \text{ W}/\text{m}^2$ ，内层保冷材料外表面平均温度为  $1^\circ\text{C}$ 。保冷材料及厚度满足工程实际要求。

### 4. 保冷结构的施工工艺

高质量的保冷施工是提高 LNG 保冷效果的重要环节，因此在保冷施工过程中必须监管到位，要求安装队伍提供符合规范的保冷施工方案[3] [4]，并严格按照方案进行施工。

当采用一种绝热制品，保冷层厚度大于 80 mm 时，应分为两层或多层逐层施工，各层的厚度宜接近。

#### 4.1. 直管段保冷施工

直管段采用成品保冷管壳，施工现场进行捆扎安装，保冷管壳之间的对接缝不应大于 2 mm。

保冷施工时，同层应错缝，上下层应压缝，其搭接的长度宜不小于 50 mm。当外层管壳绝热层采用粘胶带封缝时，可不错缝。

水平管道的纵向接缝位置，不得布置在管道垂直中心线  $45^\circ$  范围内[5]。当采用大管径的多块硬质成型绝热制品时，绝热层的纵向接缝位置，可不受此限制，但应偏离管道垂直中心线位置。

#### 4.2. 弯头处保冷层施工

弯头部位保冷时，应先将直管段保冷完成后再进行弯头处保冷，将泡沫玻璃或聚氨酯加工成虾米腰形敷设，并摆到敷设位置进行试装，直到吻合为止。

#### 4.3. 阀门、法兰等特殊外形设备的保冷层施工

设备或管道上的法兰、阀门、人孔、手孔和管件等经常拆卸和检修部位的保冷，当介质温度较低或采用硬质、半硬质材料时，宜为内保冷层固定，外保护层宜为可拆卸式的保冷结构。

内层按阀体的圆柱表面采用规格近似的保冷成品管壳，经适当加工用进行固定，球面或不规则曲面部分采用小瓦块拼缝进行，施工时将保冷成品材料锯成大小适宜的小瓦块，并摆到敷设位置进行试装，发现不合适的地方再进行砍削加工，直到吻合为止。粘结时可用弹性橡胶带箍紧后再用镀锌铁丝捆扎。

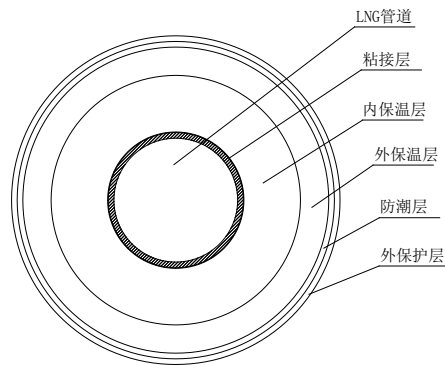


Figure 1. Cold insulation structure of the LNG pipe on the vertical cross-section

图 1. LNG 管道保冷结构径向剖面图

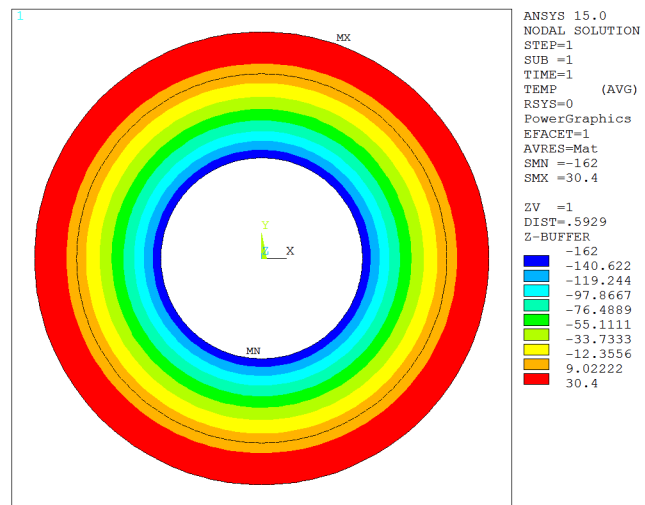


Figure 2. Temperature distribution of the LNG pipe

图 2. LNG 管道温度分布图

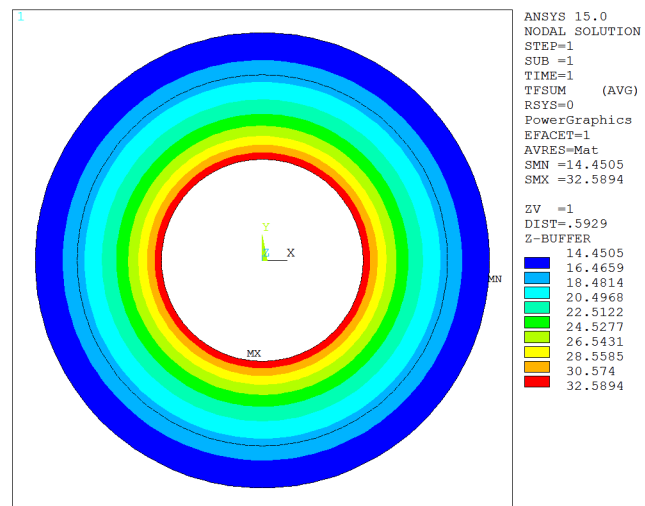


Figure 3. Heat flux distribution of the LNG pipe

图 3. LNG 管道热流量图

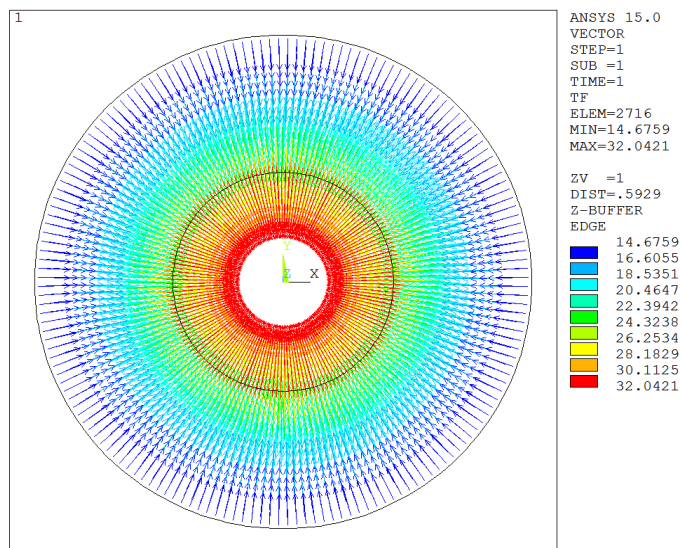


Figure 4. Vector graph of the heat flux  
图 4. 热通量矢量图

保冷层不应覆盖设备铭牌，可将铭牌周围的保冷材料切割成喇叭形开口，开口处应密封归整。

与人孔等盖式可拆卸式结构相邻位置上的绝热层，应做成  $45^\circ$  的斜坡。

设备或管道在法兰绝热断开处的绝热结构，应留出螺栓的拆卸距离。设备法兰的两侧均应留出 3 倍螺母厚度的距离；管道法兰螺母的一侧应留出 3 倍螺母厚度的距离，另一侧应留出螺栓长度加 25 mm 的距离。

#### 4.4. 绝热管托保冷施工

为了减少管道、设备冷量传导，在管支架、直弯管段支撑等部位需要采用绝热支撑管托、管夹等。绝热管托的组成包括挡板、隔热材料和管托底板。挡板一般采用与管道材质相同的材料，其一侧与管道直接焊接，另一侧嵌在隔热材料中。隔热材料以前有采用木质结构的，现在一般采用 HDPU (高密度聚氨酯)，隔热材料上部开槽与挡板榫接，下部与镀锌铁皮一次发泡固结。为了提高管托的绝热效果，加快施工进度，可以采用成品保冷管托(图 5)。

#### 4.5. 防潮层施工

1) 保冷层工序验收合格并办理隐蔽记录。

2) 在保冷层上刷一道沥青玛碲脂，立即缠绕一道玻璃布。缠绕玻璃布应均匀用力拉紧使之紧密无褶皱，压边应均匀，压边宽度为 30~40 mm。玻璃布接头的搭接长度为 100~150 mm。玻璃布缠绕完后，在其上面涂刷一道沥青玛碲脂，其浸透率应达到 100%，即不得出现空白现象。待这层玛碲脂干后再刷一道，总厚度应达到 5 mm。

3) 防潮层的玻璃布所有接头及层次应密实、连续，玛碲脂表面无漏刷和机械损伤。表面平整、无气泡、翘口、脱层、开裂等缺陷。

#### 4.6. 金属防护层施工

1) 直管段金属保护层的下料要比防潮层的外围周长加长 30~50 mm，环向和纵向搭接一端应压出凸筋。环向搭接不小于 50 mm。

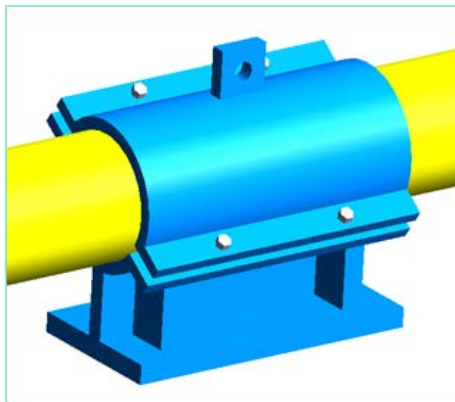


Figure 5. Schematic illustration of heat insulation pipe bracket

图 5. 绝热管托结构图

- 2) 保护层应紧贴防潮层，弯头部位要做成虾米腰连接。
- 3) 弯头与直管段上的保护层搭接尺寸，保冷管道应为 30~50 mm。搭接部位不得固定。
- 4) 水平管道的环向接缝应沿管道坡向搭向低处。纵向接缝布置在水平中心线上方 15°~45°处，缝口朝下。当侧面或底部有障碍物时，纵向接缝可移至水平中心线上方 60°以内。
- 5) 管道金属保护层的接缝除环向活动缝外，应用抽芯铆钉固定，保冷管道也可用自攻螺丝固定。固定间距宜为 200 mm，但每道缝不得少于 4 个。当金属保护层采用支撑环固定时钻孔应对准支撑环。
- 6) 金属保护层不得有松脱、翻边、豁口、翘缝和明显的凹坑，环向接缝应与管轴线垂直，纵向接缝与管道轴线保持平行。

## 5. 结论

采用有限元法对 LNG 管道保冷结构的数值模拟，根据 LNG 管道保冷热流密度的判别方法，验证保冷结构的合理性。归纳总结国内外管道保冷施工标准，列举了 LNG 管道保冷的施工方法及操作要点，提高了管道保冷的施工质量和施工技术水平。

## 参考文献 (References)

- [1] 冷明, 李兆慈, 李光让, 刘照辰. 低温管道保冷材料热导率对绝热计算影响的分析[J]. 低温与超导, 2014(6): 14-17.
- [2] 尤海英, 马国光, 黄孟, 吴华丽. LNG 长距离管道输送保冷层厚度的计算方法[J]. 管道技术与设备, 2008(1): 11-13.
- [3] 韩帅, 沈孝风, 徐超, 赵亚宁. LNG 工程保冷层施工[J]. 管道技术与设备, 2008(6): 24-26.
- [4] GB50185-2010 工业设备及管道绝热工程施工质量验收规范[S]. 北京: 中华人民共和国住房和城乡建设部, 2010.
- [5] 谢刚, 王天明, 邵拥军, 王春燕. LNG 管路保冷厚度的计算[J]. 石油与天然气化工, 2007, 36(5): 373-376.

**期刊投稿者将享受如下服务：**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[met@hanspub.org](mailto:met@hanspub.org)