

硬质聚氨酯泡沫保温材料标准差异

黄春蓉¹ 刘百春² 周 晖¹ 马含悦¹ 李国娜² 叶 桦¹

1. 中国石油集团工程设计有限责任公司西南分公司, 四川 成都 610041;

2. 中国石油塔里木油田公司, 新疆 库尔勒 841000

摘 要:硬质聚氨酯泡沫保温广泛用于国内外直埋系统的钢质管道, 目前相关的国内外标准虽然都是对聚氨酯保温层和聚乙烯外护层系统的规范性要求, 但相互间不论从材料本身的性能, 还是装配系统的整体性能以及试验方法上均存在较大差异。从标准的编制背景、标准内容、介质温度、导热系数、导热系数测试方法、发泡剂类型及其他相关指标上, 对国内外标准差异进行了比较、研究, 并分析了造成差异的原因。

关键词:硬质聚氨酯泡沫保温; 钢质管道; 标准差异

DOI: 10.3969/j.issn.1006-5539.2013.04.018

0 前言

硬质聚氨酯泡沫保温材料(PUR)广泛用于国内外埋地、直埋系统的钢质管道保温, 保温管由钢管、高密度聚乙烯外护管以及钢管和外护管之间填充的硬质聚氨酯泡沫保温层紧密结合而成。硬质聚氨酯泡沫保温层具有机械性能、绝热性能良好和价格适中等特点。聚乙烯外护管可以抵御土壤应力或一定的外部撞击对造成的损伤。而要抵御紫外线对聚乙烯层的损伤, 则通常使用添加了一定炭黑的高密度聚乙烯, 俗称黑“夹克”。

目前国内外相关标准有 GB/T 50538-2010《埋地钢质管道防腐保温层技术标准》^[1]、CJ/T 114-2000《高密度聚乙烯外护管聚氨酯泡沫预制直埋保温管》、DIN EN253-2009《区域供暖管道 钢质直埋式热水供应网用预制隔热连接管道系统 聚氨酯隔热和聚乙烯外护层》^[2]。这些标准虽然都是对聚氨酯保温层和聚乙烯外护层系统的规范性要求, 但相互间存在较大差异^[3]。

1 编制背景

SY/T 0415-96 主要根据原 SYJ 18-86《埋地钢质管道聚氨酯泡沫塑料防腐保温层技术标准》、SYJ

4014-87《埋地钢质管道聚乙烯、硬质聚氨酯泡沫一次成型防腐保温层施工及验收规范》和 SYJ 4016-87《埋地钢质管道聚乙烯、硬质聚氨酯泡沫“管中管”法成型防腐保温层施工及验收规范》^[4]三项标准修改、合并而成, 在石油行业沿用了 10 余年。

CJ/T 114-2000 在 CJ/T 3002-1992《聚氨酯泡沫塑料预制保温管》基础上修订而成, 并引用了 DIN EN253-1994 的部分条款, 为非等效采用。

GB/T 50538-2010 是在 SY/T 0415-96 和 CJ/T 114-2000 基础上, 综合了石油行业和城镇建设行业的要求修改编制而成的。GB/T 50538-2010 于 2010 年 12 月 1 日开始实施, 由于 GB/T 50538-2010 是由两个标准合并修改而成, 为兼顾两个行业不同的要求, 该标准在结构和技术上形成了两大部分, 即介质温度 $\leq 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和介质温度 $\leq 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的两类, 介质温度 $\leq 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 类按照 SY/T 0415-96 的思路编制, 介质温度 $\leq 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 类按照 CJ/T 114-2000 思路编制。

DIN EN253 第一版 1990 年出版, 第二版 1994 年出版, 现行版本是在 2003-06 版基础上修订而成, 由欧洲标准化委员会“区域供热预制管道系统”TC107 工作组编制。根据欧洲标准化委员会和欧洲电工标准

收稿日期: 2013-06-26

基金项目: 预制隔热节能管道的应用研究(KY2011-11)

作者简介: 黄春蓉(1962-), 女, 四川成都人, 高级工程师, 学士, 主要从事油气田地面工程防腐蚀设计工作。

化委员会内部规程的要求,包括法国、德国、英国等 30 余个欧洲国家的标准化组织必须采用该项标准。

2 标准内容

GB/T 50538-2010 和 DIN EN253 均为直埋保温标准,两者之间最大的区别在于 GB/T 50538-2010 对防腐层、保温层、防护层以及补口材料进行了较详细的要求,而对安装系统,即保温层加外保护层系统几乎没有提出要求。DIN EN253 中未对防腐层和补口材料进行要求,对保温和防护层的材料本身也未提出任何要求,但对保温层、防护层以及安装系统提出了较详细的要求。

3 介质温度

GB/T 50538-2010 总体要求是适用于输送介质温度不超过 120 °C 的埋地钢质管道外壁防腐层与保温层,但按介质温度 ≤ 100 °C 和介质温度 100~120 °C 分别对保温结构、保温材料、端头预留长度、保温层及防护层偏差等进行要求。根据前面的介绍,适用于介质温度 ≤ 100 °C 的保温层参照 SY/T 0415-96 编制,更多兼顾石油行业的做法和习惯。而适用于介质温度 100~120 °C 保温层参照 CJ/T 114-2000 编制,更多兼顾城镇建设行业的做法和习惯。

DIN EN253 标准规定了预制直埋热水保温管(管中管)的要求与测试方法,包括 DN 15~1200 的钢质工作管、硬质聚氨酯泡沫保温层和聚乙烯外护管。适用于连续工作温度 <120 °C、偶然峰值温度 <140 °C 的预制保温管。

4 导热系数

导热系数是指在传热稳定的情况下,1 m 厚的材料,两侧表面温度差为 1 °C (或 K),在 1 h 内通过 1 m² 面积传递的热量,用 λ 表示,单位为 W/m·K。GB/T 50538-2010 对保温层材料导热系数的规定是:介质温度 ≤ 100 °C 的为 0.03 W/m·K,介质温度 ≤ 120 °C 为 0.033 W/m·K,但该标准未明确导热系数是老化前还是老化后的。DIN EN253 未对保温层材料的导热系数提出要求,但对安装系统的导热系数做了明确规定:DIN EN253-2006 明确要求老化前后的导热系数均应为 0.033 W/m·K;DIN EN253-2009 要求老化前后的导热系数均为 0.029 W/m·K,热老化条件为 80 $\pm$ 10 °C。

聚乙烯导热系数因密度和其它条件的不同为 0.33~0.5 W/m·K,密度越高,导热系数越高。显然聚乙烯导热系数较聚氨酯泡沫导热系数大,但保温性能却

更差。实际工况下聚氨酯泡沫和聚乙烯外护管配合,共同实现对管道的保温,因此 DIN EN253 采用安装系统的导热系数作为判断指标更为合理。

导热系数虽是材料固有的参数,但仍与泡沫温度、含湿率、容重等因素有关。温度对各类保温材料导热系数均有直接影响,温度提高,保温材料导热系数上升。所有的保温材料都具有多孔结构,容易吸湿,含湿率 $>5\%$ ~10%时,保温材料吸湿后湿分占据了原被空气充满的部分气孔空间,引起有效导热系数明显升高。容重是保温材料气孔率的直接反映,由于气相的导热系数通常小于固相导热系数,所以保温材料都具有很大的气孔率即很小的容重。一般情况下,增大气孔率或减少容重都将导致导热系数的下降,保温材料中,大部分热量是从孔隙中的气体传导的,因此,保温材料的热导率在很大程度上决定于填充气体的种类^[5]。

5 导热系数测试方法

导热系数是保温材料的主要参数,测试方法主要有三种:

a) DIN EN253-2009 按照 EN ISO 8497《绝热—管道用绝热稳态热传递性能测定》标准,采用圆管法检测,测试管道长度 >3 m,基本原理是通过测量保温管内表面温度、保温层内表面温度、保温层外表面温度及外护管外表面温度,再根据管道和保温层的尺寸等参数计算保温管的导热系数。

b) GB/T 50538-2010 和 CJ/T 114-2000 均按照 GB 10297-98《非金属固体材料导热系数的测定方法热线法》标准,采用热线法检测。基本原理是在均质均温的试样中放置 1 根电阻丝,即所谓的“热线”,一旦热线在恒定功率的作用下放热,则热线和热线附近试样的温度将升高,根据其温度随时间的变化关系,就可确定试样的导热系数。由于该方法仅适用于各向同性均质材料,GB/T 50538-2010 和 CJ/T 114-2000 采用该方法是对保温层导热系数进行测试,而不是对安装系统(保温管)导热系数进行测试。

c) 平板法的基本原理是当试样上、下两面处于不同的稳定温度下,测量通过试样有效传热面积的热流及试样两表面间温差和厚度,计算导热系数。试验方法采用的标准为 GB/T 3392-82《塑料导热系数试验方法——护热平板法》。

三种方法中,热线法误差最大,平板法误差最小。但平板法的缺陷是所测样品规格需达到 200 mm $\times$ 200 mm $\times$ 50 mm,对于 $\Phi 114/200$ mm 等较小管径保温管的样品则无法测试。

6 发泡剂类型

虽然国内外标准中都提出使用无氟发泡剂的要求，但在材料类型上存在差异，也导致了导热系数的差异。

发泡剂是聚氨酯(PU)泡沫中最重要的一种助剂，

发泡剂的种类、数量对 PU 泡沫的物理机械性能、泡沫密度、耐温性等有直接影响。制备 PU 泡沫所使用的发泡剂一般分两种类型：一种是利用水与异氰酸酯反应放出 CO₂ 作为起泡剂，即化学发泡剂；另一种是选用

表1 GB/T 50538-2010和DIN EN253指标的差异

序号	项目	GB/T 50538-2010		DIN EN253	
		常温	高温	2003-06 版	2009 版
1	使用温度范围 /℃	≤100	≤120	≤120	≤120
2	对保温层原材料要求	有	有	无	无
3	发泡材料	无氟	无氟	无氟	-
4	类型	PUR	PUR	PUR	-
5	表观密度 /kg·m ⁻³	40~70	60~120	≥60	-
6	抗压强度 /MPa	≥0.2	≥0.3	≥0.3	≥0.3
7	未老化下导热系 λ ₅₀ /(W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	≤0.03	≤0.033	-	-
泡沫层					
8	泡沫闭孔率 /(%)	-	≥88	≥88	≥88
9	高温吸水率(常压沸水中浸泡, 90 min)/(%)	-	≤10	≤10	-
10	常温吸水率(23±2℃,浸泡 96h)/(g·cm ⁻³)	≤0.03	-	-	-
11	外观要求	无收缩、发酥、开裂、烧心等缺陷, 不应有明显的空洞		径向泡孔平均尺寸≤0.5 mm, 空洞和气泡面积 ≤5%, 单个空洞尺寸 ≤(1/3) δ	空洞和气泡面积 ≤5%, 单个空洞尺寸 ≤(1/3) δ
12	聚乙烯专用料及压制片密度 / (kg·m ⁻³)	一步法, ≥930(无炭黑要求) 管中管, ≥940(炭黑含量 2.5%±0.5%)		≥944(炭黑含量 2.5% ±0.5%)	≥944(炭黑含量 2.5% ±0.5%)
13	熔体流动速率(负荷 5 kg, 190℃)/(g·10min ⁻¹)	≥0.7	-	差异≤0.5	0.2~1.4 差异≤0.5
14	断裂伸长率 /(%)	≥600	≥350	≥350	≥350
聚乙烯材料(层)					
15	耐环境开裂时间(F50)/h	≥1 000	-	≥300	≥300
16	耐老化性能	耐热老化(100℃, 4 800 h)(%), ≤35		氧化诱导期≥20 min (210℃)	氧化诱导期≥20 min (210℃)
17	纵向回缩率 /(%)	-	≤3	<3	<3
18	长期机械性能(4 MPa, 80℃)/h	-	≥1 500	1 500~2 000	≥2 000
安装系统					
19	未老化下导热系数 λ ₅₀ /(W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	-	-	≤0.033	≤0.029
20	老化下导热系数 80±10℃/(W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	-	-	≤0.033	≤0.029
21	抗冲击性(-20℃, 3 kg, 25 mm 半球, 2 m)	-	无可见裂纹	无裂纹	无裂纹
22	剪切强度(23±2℃)/MPa (140±2℃)/MPa	-	轴向 0.12 轴向 0.08	轴向 0.12 径向 0.20 轴向 0.08	轴向 0.12 径向 0.20 轴向 0.08
23	抗蠕变要求	-	无可见裂纹	100 h 总径向位移不应大于 2.5 mm, 30 a 总径向位移不应大于 20 mm	100h 总径向位移不应大于 2.5 mm, 30 a 总径向位移不应大于 20 mm
24	运输过程中的表面条件	-	-	压扁率不大于保温层厚度的 15%, 外护管刮伤不大于原始外护管壁厚 10%	压扁率不大于保温层厚度的 15%, 外护管刮伤不大于原始外护管壁厚 10%

低沸点化合物,利用泡沫体系的反应热使之汽化发泡,即物理发泡剂^[5]。

PU 泡沫由大量封闭的泡孔结构组成,封闭的小泡孔里含有气体,不同的发泡剂使小泡孔里的气体不同,水发泡剂的小泡孔内含 CO₂,环戊烷发泡剂的小泡孔内含环戊烷,氟利昂发泡剂的小泡孔内含氟利昂,泡孔内气体的导热系数直接影响泡沫体的导热系数^[6]。资料显示,氟利昂的导热系数最低,其次是环戊烷,最高的是 CO₂。

国外公司为满足《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》的要求,同时获取尽可能低的导热系数,采用环戊烷发泡剂。使用环戊烷时要远离热源、火源、氧化剂和其他化学反应剂,吸入环戊烷后可引起头痛、头晕、定向力障碍、兴奋、倦睡、共济失调和麻痹;轻度刺激眼睛;引起皮肤脱脂、干燥、发红等。因此,国内在管道聚氨酯泡沫预制生产中很少采用环戊烷作发泡剂。如果采用水作为发泡剂,为保证导热系数满足要求,就要考虑泡沫的容重,较低的容重可获得较多的泡孔和更好的绝缘热性能,同时降低抗压强度和抗冲击性能。

7 其它指标

GB/T 50538-2010 和 DIN EN253 指标方面的差异,见表 1。

从表 1 可看出,国外标准技术指标相对国内保温介质≤100℃的系统在抗压强度、老化前后导热系数、泡沫闭孔率、外观、长期机械性能、剪切强度、抗蠕变要求、运输过程的表面条件等方面更优;相对国内保温介质≤120℃的系统在老化前后导热系数、外观、抗冲击强度、剪切强度、抗蠕变要求、运输过程的表面条件等方面更优于国内标准。

同时表 1 中还可看出,国内标准基本对泡沫层加聚乙烯外护层,即安装系统无要求,虽然 140℃下的剪切强度和抗蠕变的测试是针对热水管道而制订的,但其他指标对 100℃以下直埋保温管仍是适用的。

8 结论及建议

采用国内标准时,在条件允许的情况下建议补充

安装系统的要求,特别是对只注重导热系数而忽略容重的情况,应增加抗冲击性和改善运输过程的表面条件等来达到对聚氨酯泡沫综合性能的要求。

目前国内外标准在性能指标的测试方法上存在较大差异,测试方法的比较和协调统一是材料优选的前提。同时第三方试验室按照国际性标准开展相关试验方法的认证也是目前技术发展的必然趋势。

参考文献:

- [1] GB/T 50538-2010,埋地钢质管道防腐保温层技术规范[S]. GB/T 50538-2010, Technical Standard for Anti-Corrosion and Insulation Coatings of Buried Steel Pipeline[S].
- [2] DIN EN253-2009, 区域供暖管道 钢质直埋式热水供应网用预制隔热连接管道系统 聚氨酯隔热和聚乙烯外护层[S]. German and English Version EN 253-2009, District Heating Pipes-Preinsulated Bonded Pipe Systems for Directly Buried Hot Water Networks-Pipe Assembly of Steel Service Pipe, Polyurethane Thermal Insulation and Outer Casing of Polyethylene[S].
- [3] 蒋林林,韩文礼,张红磊,等. 聚氨酯保温管“管中管”成型工艺及质量控制[J]. 天然气与石油,2011,29(3):61-63. Jiang Linlin, Han Wenli, Zhang Honglei, et al. Moulding Process for Pipe-in-Pipe of Polyurethane Insulation Pipe and its Quality Control[J]. Natural Gas and Oil, 2011, 29(3): 61-63.
- [4] 刘海禄,史靖. 3LPE 防腐层国内及国际标准对比分析[J]. 天然气与石油,2012,30(5):71-74. Liu Hailu, Shi Jing. Comparative Analysis on Chinese National Standards and International Standards for 3LPE[J]. Natural Gas and Oil, 2012, 30(5): 71-74.
- [5] 朱永飞,朱明. 聚氨酯泡沫塑料发泡剂研究现状及发展趋势[J]. 应用化工,2007,34(3):132-136. Zhu Yongfei, Zhu Ming. Present Research and Tendency of Foaming Agent of Polyurethane Foaming Plastics [J]. Applied Chemical Industry, 2007, 34(3): 132-136.
- [6] 杨帆,周抗冰. 关于预制直埋保温管标准技术问题的探讨[J]. 暖通空调,2002(3):27-28. Yang Fan, Zhou Kangbing. Discussion of an Industry Standard for Pre-Insulated and Direct-Buried Pipes [J]. Journal of Hv&ac, 2002, (3): 27-28.