

埋地天然气管道与直埋蒸汽管道间距的探讨

□ 杭州市城乡建设设计院股份有限公司 (315040) 周经纬 顾紫娟 张海霞 张晓萍

摘要: 在城市热力管网的城市中, 处理天然气管道与直埋蒸汽管道相互关系是常见情况。实际运行中, 出现许多直埋蒸汽管道遭第三方施工损坏及管道外壁温度超限的情况, 对临近天然气管道的安全构成威胁。本文通过实测结合理论计算的方式, 在直埋蒸汽管道外壁温度超限时, 分析直埋蒸汽管道周边土壤温度场分布情况及直埋蒸汽管道对天然气管道的影响, 并给出了天然气管道与直埋蒸汽管道间距控制与安全运行的建议。

关键词: 天然气管道 直埋蒸汽管道 安全间距 温度

Research on the Spacing between Directly Buried Gas Pipeline and Steam Pipeline

Zhou Jingwei, Gu Zijuan, Zhang Haixia, Zhang Xiaoping

Abstract: Ningbo is one of the few south city which has urban heat pipe network, deal with the relationship between gas pipeline and directly buried steam pipeline is one of the common case. In fact, there are many directly buried steam pipeline damaged by third party construction, and the outer wall of pipeline temperature exceed the limit which poses a threat to the safety of the near gas pipeline a threat to the safety of the near natural gas pipeline, there are mu gas pipelines damaged in this case. Combined with the actual measurement and theoretical calculation, when the outer wall temperature of directly buried steam pipeline overruns, the surrounding soil temperature field distribution of directly buried steam pipeline and the influence of directly buried steam pipeline to gas pipeline is analyzed. The suggestion of the spacing between directly buried gas pipeline and steam pipeline is given, which guides the safe operation of gas pipeline.

Keywords: gas pipeline directly buried steam pipeline safe spacing temperature

1 概述

根据《城镇燃气设计规范》^[1] (GB50028-2006) 中6.3.3的规定, 地下燃气管道与直埋蒸汽管道之间

的水平安全净距为1.0m~2.0m, 与热力管、热力管的管沟底(或顶)之间的垂直安全净距为0.15m。该规定的间距是在参考各地燃气公司和有关其他地下管线规范以及实践经验后, 在保证施工和检修时

互不影响及适当考虑燃气输送压力影响的情况下确定的。根据《城镇供热直埋蒸汽管道技术规程》(CJJ104-2005)^[2]中的规定,阀门必须进行保温,其外表面温度不得大于60℃,并应做好防水和防腐处理(3.3.1);内固定支座应采取隔热措施,且其外护管表面温度应小于或等于60℃(3.3.7);设计保温结构时,应按外护管外表面温度小于或等于50℃计算保温层厚度(5.1.3)。由此可见,理论上直埋蒸汽管道运行时外壁温度不应超过60℃。

宁波市现有较多直埋蒸汽管道,主要服务对象为公建用户及部分工厂。据了解,宁波直埋蒸汽管道的抢修每年都有数十次,其中某路段已运行10多年的直埋蒸汽管道腐蚀严重以致全线报废,同时与其相邻的燃气管道(运行5年,钢制管道防腐为四布三油)也加速老化。根据宁波地区主要PE管材、管件供应商提供的资料,PE管材在高于40℃的环境温度下运行时,不仅材料的工作压力要进行折减,材料的使用寿命也将大大缩短。实验数据显示,环境温度达到50℃时,PE管的使用寿命约为环境温度40℃时的一半,若环境温度继续增高,使用寿命将直线减少。由此引出一系列问题,在江南地区,直埋蒸汽管道其管壁温度超过规范最高限是否只是个别现象?是否存在薄弱点,较容易发生管壁温度超限?一旦超出最高限对周边土壤温度场构成什么影响?天然气管道与直埋蒸汽管道间距按现行《城镇燃气设计规范》和《聚乙烯燃气管道技术规程》控制间距是否足够安全?带着这些问题,我院在宁波兴光燃气集团和宁波热力公司的协助下,开展直埋蒸汽管道周边温度场实测工作。恰逢规范修订工作正在开展,希望实测工作能对规范修订有所帮助。

2 数据分析及实测工作

2.1 数据分析

根据《聚乙烯燃气管道工程技术规程》(CJJ63-2008)^[3]4.3.2的规定,聚乙烯管道和钢骨架聚乙烯复合管道与直埋蒸汽管道之间的水平净距和垂直净距,不应小于表1和表2的规定,并应确保燃气管道周围土壤温度不大于40℃;当直埋蒸汽管道保温层外壁温度不大于60℃时,水平净距可减半。

表1 聚乙烯管道和钢骨架聚乙烯复合管道与热力管道之间的水平净距

项目			地下燃气管道(m)			
			低压	中压		次高压
				B	A	B
热力管	直埋	热水	1.0	1.0	1.0	1.5
		蒸汽	2.0	2.0	2.0	3.0
	在管沟内(至外壁)		1.0	1.5	1.5	2.0

表2 聚乙烯管道和钢骨架聚乙烯复合管道与热力管道之间的垂直净距

项目		燃气管道(当有套管时,从套管外径计)(m)
热力管	燃气管在直埋管上方	0.5(加套管)
	燃气管在直埋管下方	1.0(加套管)
	燃气管在管沟上方	0.20(加套管)或0.40
	燃气管在管沟下方	0.3(加套管)

根据《城镇供热直埋蒸汽管道技术规程》(CJJ/T 104-2014) 3.1.2条规定,直埋蒸汽管道与燃气管道间距控制见表3。

表3 直埋蒸汽管道与燃气管道间距(m)

燃气管道(钢管)	≤0.4MPa	1.0	0.15
	>0.4MPa, ≤0.8MPa	1.5	
	>0.8MPa	2.0	
燃气管道(聚乙烯管)	≤0.4MPa	1.0	燃气管在上0.50 燃气管在下1.00
	>0.4MPa, ≤0.8MPa	1.5	
	>0.8MPa	2.0	

按CJJ63规定,直埋蒸汽管道按现行CJJ/T104外壁温度不超过60℃,因此,燃气管道与埋地蒸汽管道的水平净距可减半后按1m控制。而与此同时,燃气管道周边土壤温度应小于40℃。即埋地蒸汽管道外壁温度不超过60℃时,水平净距1m处土壤温度不超过40℃,此时,燃气管道的运行应该是安全可靠的。若是埋地蒸汽管道发生事故,管道外壁温度超过60℃运行,此时水平净距1m处的土壤温度是否仍能保持在

40℃以下?

为探究上述直埋蒸汽管道高壁温情况下,若有燃气管道设计管位位于《城镇燃气设计规范》以及《聚乙烯燃气管道工程技术规程》中最小安全间距L时,燃气管道周围的土壤温度是否满足40℃的标准,为此建立以下传热模型。

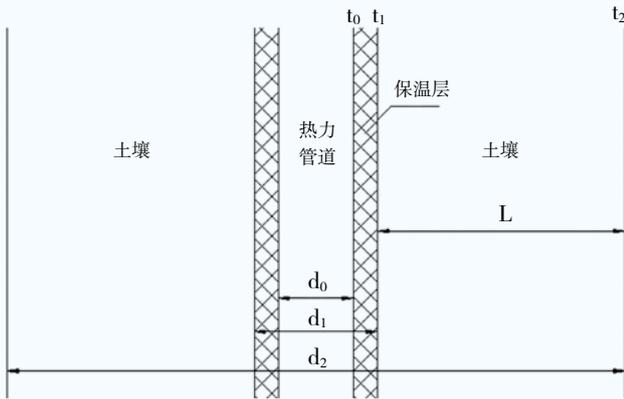


图1 传热模型

根据工程热力学和工程传热学^[4],建立了土壤温度场分布的数学模型计算公式

$$q_1 = \frac{2\pi\lambda_{\text{保温}}(t_0 - t_1)}{\ln \frac{d_1}{d_0}}, q_2 = \frac{2\pi\lambda_{\text{土壤}}(t_1 - t_2)}{\ln \frac{d_2}{d_1}}, q_1 = q_2$$

式中:

q_1 -直埋蒸汽管道向保温层的散热损失, W/m;

q_2 -保温层向土壤的散热损失, W/m;

$\lambda_{\text{保温}}$ -保温材料的导热系数, W/(m·℃);

$\lambda_{\text{土壤}}$ -PE管道的导热系数, W/(m·℃);

t_0 -直埋蒸汽管道外表面温度, ℃;

t_1 -保温材料外表面温度, ℃;

t_2 -与直埋蒸汽管道保温材料之间间距为D处的土壤温度, ℃;

d_0 -直埋蒸汽管道外径, m;

d_1 -直埋蒸汽管道保温材料外径, m。

计算假定条件:

(1) 将直埋蒸汽管道蒸汽运行温度作为直埋蒸汽管道外表面计算温度,取200℃;

(2) 忽略直埋蒸汽管道外壁与保温层之间热损失;

(3) 保温材料外表面温度由实测得到,分别取

43.8℃、50℃、60℃、74.4℃和97.6℃作为计算温度(温度取值参考实测温度);

(4) 此处直埋蒸汽管道管径以DN300为例,保温材料为硅酸钙, $\lambda_{\text{保温}}$ 取0.055W/(m·k),厚度100mm;

(5) 根据相关研究实测及常用材料统计,此处土壤导热系数取1.1W/(m·℃)、1.5W/(m·℃)、2.0W/(m·℃)、2.5W/(m·℃)为计算数据。

由表4和表5计算结果可见,当保温材料表面温度控制在规范规定计算温度50℃之内时,计算得到的燃气管道安全间距处的土壤温度基本上满足40℃的规范要求。

表4 当直埋蒸汽管道保温材料外表面温度为43.8℃时距离L米处的土壤温度(℃)

距离L (m)	土壤导热系数W/(m·℃)			
	1.1	1.5	2.0	2.5
0.15	36.6	38.5	39.8	40.6
0.5	27.0	31.5	34.6	36.4
1.0	19.2	25.8	30.3	33.0
1.5	14.0	22.0	27.4	30.7
2.0	10.2	19.2	25.3	29.0

表5 当直埋蒸汽管道保温材料外表面温度为50℃时距离L米处的土壤温度(℃)

距离L (m)	土壤导热系数W/(m·℃)			
	1.1	1.5	2.0	2.5
0.15	43.1	44.9	46.2	47.0
0.5	33.9	38.2	41.1	42.9
1.0	26.4	32.7	37.0	39.6
1.5	21.4	29.0	34.3	37.4
2.0	17.7	26.3	32.3	35.8

由表6、表7和表8的计算结果可见,当直埋蒸汽管道外表面温度达到规范规定的60℃上限值时,若天然气管道设置在《城镇燃气设计规范》、《聚乙烯燃气管道技术规程》规定的最小间距1m处,当土壤导热系数大于1.5W/(m·℃),那么燃气管道所处的土

壤环境温度便会超过40℃, 而若蒸汽管道因保温层漏热导致其外表面温度达到74.4℃以上, 则燃气管道所处的土壤环境温度将超过50℃。以上计算按假设的土壤导热系数得出结果, 实际工程中, 土壤导热情况可能随土壤性质、地下水位等发生变化, 因此, 开展实测工作, 掌握一系列实测数据, 是十分必要的。

2.2 实测工作

探测工作于2015年10月至2016年1月进行, 共完

表6 当直埋蒸汽管道保温材料外表面温度为60℃时
距离L米处的土壤温度(℃)

距离L (m)	土壤导热系数W/(m·℃)			
	1.1	1.5	2.0	2.5
0.15	53.6	55.3	56.5	57.2
0.5	44.9	49.0	51.7	53.4
1.0	37.9	43.8	47.9	50.3
1.5	33.3	40.4	45.3	48.3
2.0	29.9	37.9	43.4	46.7

表7 当直埋蒸汽管道保温材料外表面温度为74.4℃时
距离L处的土壤温度(℃)

距离L (m)	土壤导热系数W/(m·℃)			
	1.1	1.5	2.0	2.5
0.15	68.6	70.2	71.2	71.9
0.5	60.9	64.5	67.0	68.5
1.0	54.6	59.9	63.5	65.7
1.5	50.5	56.9	61.2	63.9
2.0	47.4	54.6	59.5	62.5

表8 当直埋蒸汽管道保温材料外表面温度为97.6℃时
距离L处的土壤温度(℃)

距离L (m)	土壤导热系数W/(m·℃)			
	1.1	1.5	2.0	2.5
0.15	92.9	94.1	95.0	95.5
0.5	86.6	89.5	91.5	92.8
1.0	81.5	85.8	88.7	90.5
1.5	78.1	83.3	86.9	89.0
2.0	75.6	81.4	85.5	87.9

成4个地点直埋蒸汽管道附近的测温工作。具体情况如下:

地点①: 某路西侧非机动车道内直埋蒸汽管道敷设处, 蒸汽管运行温度175℃, 运行压力0.8MPa, 管径DN300, 埋深约1m, 保温层采用硅酸钙加上PE发泡材料, 建设时间2012年。如图2和图3所示。测量结果如表9所示。

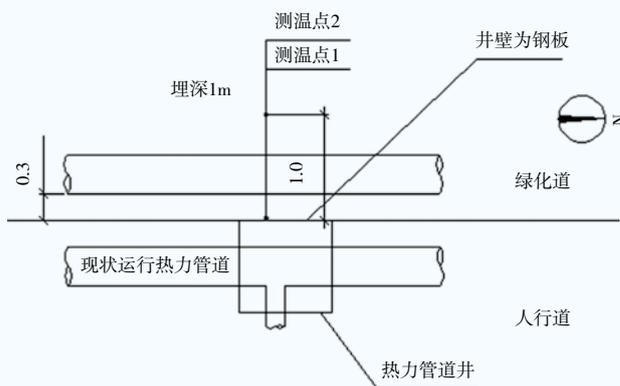


图2 地点①测温点布置平面图

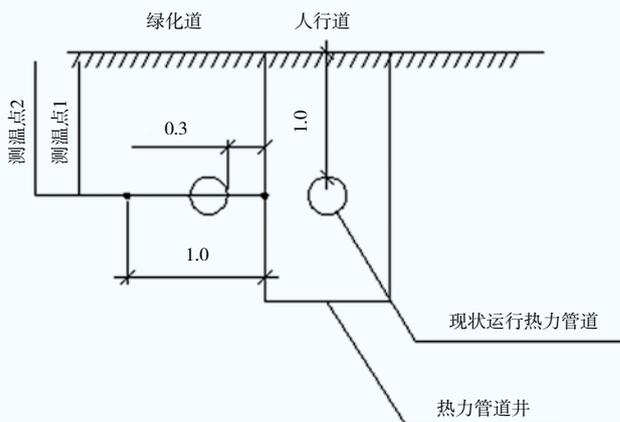


图3 地点①测温点布置剖面图

表9 地点①的测温结果汇总表

测温点编号	位置	温度(℃)	测量时间
测温点1	现状运行直埋蒸汽管道井壁处	78.9	2015.10.26
		79.8	2016.04.17
测温点2	管道井外1m处	42.4	2015.10.26
		41.1	2016.04.17

地点②: 某路南侧绿化带内直埋蒸汽管道敷设处, 热力管运行温度200℃, 运行压力0.8MPa, 管径

DN300，埋深约1m，保温层采用硅酸钙，建设时间2009年。如图4和图5所示。测量结果如表10所示。

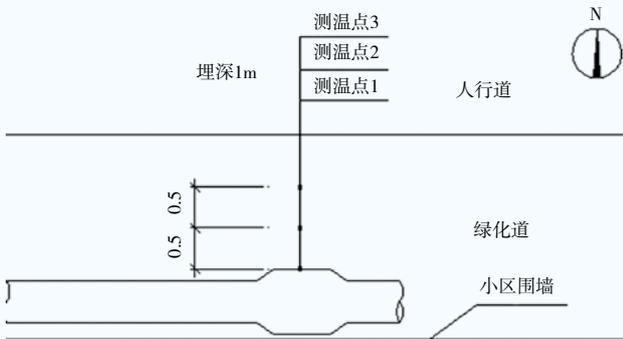


图4 地点②测温点布置平面图

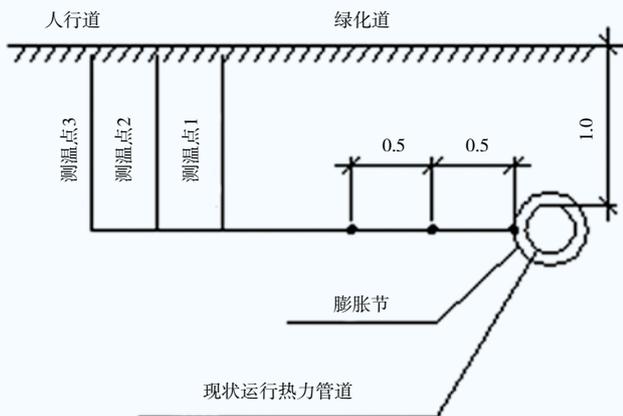


图5 地点②测温点布置剖面图

表10 地点②的测温结果汇总表

测温点编号	位置	温度 (°C)	测量时间
测温点1	现状运行直埋蒸汽管道膨胀节外壁处	97.6	2015.12.03
		93.7	2016.04.17
测温点2	现状运行直埋蒸汽管道膨胀节外壁0.5m处	59.7	2015.12.03
		54.6	2016.04.17
测温点3	现状运行直埋蒸汽管道膨胀节外壁1.0m处	47.6	2015.12.03
		42.0	2016.04.17

地点③：马园路迎春路路口东南角人行道内直埋蒸汽管道敷设处，热力管运行温度173℃，运行压力0.8MPa，管径DN250，埋深约1m，保温层采用硅酸钙加上PE发泡材料，建设时间2010年。该处南边花坛中与直埋蒸汽管道平行敷设有一根宁波市中压天然气

管道，平行净距约0.3m，天然气管道管径为De110，埋深约1.2m。两根管道之间设置有发泡剂作为隔离保温材料。如图6和图7所示。测量结果如表11所示。

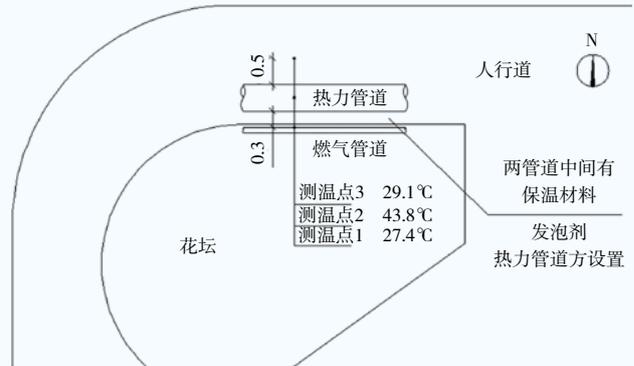


图6 地点③测温点布置平面图

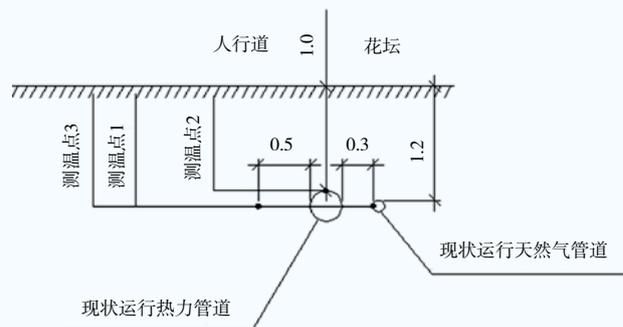


图7 地点③测温点布置剖面图

表11 地点③的测温结果汇总表

测温点编号	位置	温度 (°C)	测量时间
测温点1	现状运行天然气管道外壁处	27.4	2015.12.03
测温点2	现状运行直埋蒸汽管道管顶外壁处	43.8	
测温点3	现状运行直埋蒸汽管道外壁0.5m处	29.1	

地点④：南永宁路与鄞奉路交叉口西南角人行道内直埋蒸汽管道敷设处，热力管运行温度210℃，运行压力0.82MPa，管径DN400，埋深约0.35m，保温层采用硅酸钙，建设时间2008年。该处直埋蒸汽管道为东西向敷设，有一根南北向宁波市中压天然气管道与之交叉，垂直净距约0.25m，天然气管道管径为De110，埋深约1.0m。如图8和图9所示。测量结果如表12所示。

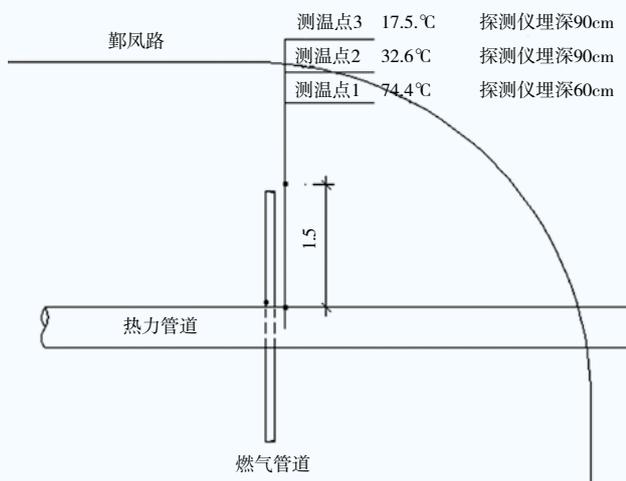


图8 地点④测温点布置平面图

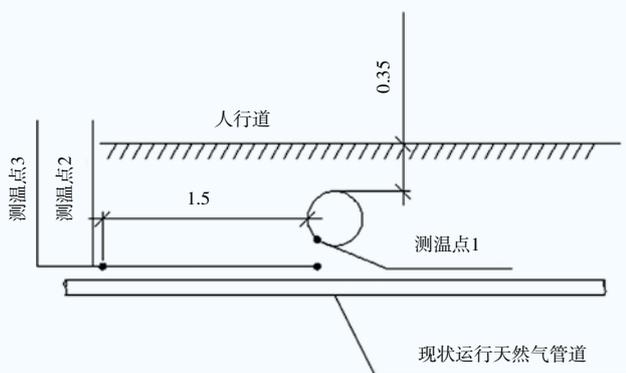


图9 地点④测温点布置剖面图

表12 地点④的测温结果汇总表

测温点编号	位置	温度(°C)	测量时间
测温点1	现状运行直埋蒸汽管道外壁处	74.4	2016.01.14
测温点2	现状运行天然气管道管顶外壁处	32.6	
测温点3	现状运行直埋蒸汽管道外壁1.5m处	17.5	

根据上述4个地点的实测温度可见,即使严格按照《城镇供热直埋蒸汽管道技术规程》(CJJ104-2005)设计的直埋蒸汽管道,在运行过程中,仍存在外壁温度远高于设计温度50℃,甚至阀门处规定60℃的情况,有的甚至高达97.6℃。同时,距直埋蒸汽管道1m处的土壤温度,存在超过40℃的情况,最高的达到了47.6℃。在此温度下,PE管加速老化从而降低

使用寿命,钢管的外防腐层也会受高温影响加速老化,影响管道安全运行。理论计算与实测数据差异较大,且不同时间同一位置测量结果也有不同,这就要求我们考虑对策措施时应以理论和实践紧密结合,找出最不利工况,据此提出针对性的措施。实测数据也表明,采取增设隔热板等措施对温度场分布有明显影响,在局部地段间距无法保证的情况下采取隔热保护措施是有效的。

3 埋地燃气管道与直埋蒸汽管道间距控制

多组实测数据显示,在用直埋蒸汽管道外壁温度超限的情况不是个案。

据了解,城市建设过程中第三方开挖破坏的情况普遍存在,而且直埋蒸汽管道被开挖破坏后影响较大,针对破坏点补做保温措施或局部更换都会对系统的整体保温效果产生较大影响,而系统更换往往受工期、手续、费用等较多问题的限制。另外直埋蒸汽管道系统本身存在一些薄弱点,热力公司也会针对这些地点做重点防护。《聚乙烯燃气管道工程技术规程》中条文解释明确提到,埋地燃气管道与埋地热力管道的间距制定所参考的模型为北方地区的热水管道。与北方地区地下水位低、土壤含水率低的情况有所不同,宁波属于南方水网密集地区,且毗邻东海,天文潮水倒灌内河时会导致地下水位较高,地下水因含盐碱量较大而导致腐蚀性较强。因此南方水网地区热力管道施工采用的直埋技术参照北方地区的产品与工艺,并不能取得北方地区的效果。因此,直埋蒸汽管道与埋地燃气的间距,不能完全参照北方地区的数据。

结合《城镇供热直埋蒸汽管道技术规程》、《城市热力网设计规范》、《城镇燃气设计规范》以及《聚乙烯燃气管道工程技术规程》等相关规范,根据实测工作及数据分析结果,直埋蒸汽管道存在非正常运行状态,且不是个案;非正常运行的直埋蒸汽管道外壁温度大于相关规定的温度,按现行相关规范中所提出的两管之间的间距无法保证天然气管道运行时周围的土壤温度低于40℃,这将危及天然气管道安全。因此,建议相关规范修订时,燃气管道与直埋蒸汽管道的水平及垂直净距均须适当加大,同时重点考虑直埋蒸汽管道的固定支座、波纹管、排潮口等处两管之

间的防护措施。如在实际施工时遇到不能保证间距时，可以在直埋蒸汽管道及燃气管道之间采用隔热板等措施影响温度场，保护燃气管道^[5]。

4 结论及建议

直埋蒸汽管道运行过程中，外管壁的温度超限问题确实存在。因此，我们必须重新审视两管之间的间距问题，尤其是聚乙烯燃气管道、高压天然气管道、中压燃气干管与直埋蒸汽管道之间的间距，建议相关规范修订时在原有规范基础上适当加大间距，同时燃气业主在项目设计、施工、运行各阶段应认真落实间距控制及相关保护措施，确保燃气管道运行安全。同时，由于本次测试数据有限，对于非正常运行的直埋蒸汽管道与燃气管道的间距暂时未能提供较全面的参考数据，因此，我们将继续深入采集数据，进一步完

善测试方案，以期对间距控制提出明确的建议数值。一个城市的实测数据不具有代表性，因此我们建议情况相似的各地燃气公司也做一下实测工作，为当地的燃气管道安全运行提供强有力的数据支撑，也为规范修订工作提供参考。

参考文献

- 1 城镇燃气设计规范[S] CB50028-2006
- 2 城镇供热直埋蒸汽管道技术规程[S] CJJT 104-2014
- 3 聚乙烯燃气管道工程技术规程[S] CJJ63-2008
- 4 贾力，方肇洪，钱兴华. 高等传热学[M]. 北京：高等教育出版社，2003
- 5 刘运良，李贤辉，赵白军等. 埋地PE燃气管道与供热保温管道间距问题及保护措施. 城市燃气，2012；10：11-15

安全管理消息

新疆天富天源燃气公司对燃气设备春季体检中发现“病症”进行集中诊治

2016年4月21日，新疆天富天源燃气公司对石河子市开发区5处燃气进户管下沉集中进行处理。这是天源燃气公司对燃气设备春季体检中发现“病症”进行集中诊治的其中一项。

3月下旬以来，石河子天气转暖，冰雪融化。新疆天富天源燃气公司供气营业所对市区燃气设施开始了隐患排查活动。通过对1 035台调压箱，434口阀井的排查，发现有42台调压箱存在漏气隐患。有20处管道下沉需处理。

针对查出的隐患，以服务站为单位开始消缺，由易到难逐步处理。当服务站的技术力量无法完成焊接等工艺时，该公司供气营业所请求兄弟部门支持。截止4月21日，已完成调压箱消缺39



台次；处理燃气进户管道下沉17处。另有3台调压箱等待配件未进行消缺，处于24小时监控状态。

(周运贵)