

天然气加气站管理丛书（一）

天然气加气站 建设与管理

李一庆 范小平 主编



中国质检出版社
中国标准出版社

天然气加气站管理丛书（一）

天然气加气站 建设与管理

李一庆 范小平 主编



中国质检出版社
中国标准出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

天然气加气站建设与管理/李一庆 范小平主编. —北京: 中国质检出版社, 2013. 4
(天然气加气站管理丛书 (一))

ISBN 978 - 7 - 5026 - 3808 - 5

I. ①天… II. ①中… III. ①天然气—配气站—管理 IV. ①U491. 8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 061446 号

内 容 提 要

为保证天然气加气站安全运营, 从业人员必须掌握必要的执业技能和安全知识。本书详细介绍了天然气基本知识、加气站建设及主要工艺、加气站人员管理、加气站 HSE 管理、加气站设备管理、加气站作业管理、加气站数量和质量、加气站应急处理等内容。附录中还收录了天然气加气站评审等内容。

本书可供加气站的管理者、操作者和工程技术人员阅读使用, 也可作为大专院校相关专业师生的教学参考用书。

中国质检出版社 出版发行
中国标准出版社

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号 (100013)

北京市西城区三里河北街 16 号 (100045)

网址: www. spe. net. cn

总编室: (010) 64275323 发行中心: (010) 51780235

读者服务部: (010) 68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 12. 75 字数 276 千字

2013 年 4 月第一版 2013 年 4 月第一次印刷

*

定价: 55. 00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话: (010) 68510107

编审委员会

主 编 李一庆 范小平
主 审 夏于飞
编 写 何才宁 黄 彬 卢 亿
吴清标 谭辉洪 何 智

前 言

天然气是一种优质洁净、安全性较高的化石能源，也是各种替代燃料中最早被广泛使用的一种，近年来在减排政策下得到快速发展，在一次能源结构中的比重不断上升。2012年，全国天然气表观消费量达1471亿立方米，较2011年增长13%，预计到2015年中国天然气消费量将达到2600亿立方米左右，2020年达到4000亿立方米左右。主要消费区集中在西南、环渤海湾、长三角和东南沿海地区。

天然气作为新型环保燃料的替代品，与油品相比具有单位热值高、排气污染小、供应可靠、价格低等优点，成为了世界车用清洁燃料的发展方向，天然气汽车也应势成为发展最快、使用量最多的新能源汽车。据国际天然气汽车组织的统计数据显示，近10年来天然气汽车的数量以年均20.8%的速度增长，全世界大约有1270万辆汽车使用天然气，预计到2020年总量将达7000万辆。

随着以天然气为动力的汽车发展与液化天然气存储应用技术的提升，天然气需求不断增长，同时也促使了天然气加气站网点的扩张和竞争。特别是2011年11月1日，国家能源局出台的《液化天然气(LNG)汽车加气站技术规范》正式实施，首次对我国LNG加气站的行业标准进行了规范。该规范实施以来，国内LNG加气站发展步伐明显加快，打破了燃气管网限制的LNG、L-CNG加气站呈“井喷式”建设投营。然而目前从业人员对相关的知识比较缺乏，包括加气站建设、工艺、设备、安全、数质量管理知识等迫切需要普及。因此，中国石油化工股份有限公司广东分公司结合广东加气站建设与运营的情况，组织人员编写了《天然气加气站建设与管理》一书。书中详细介绍了天然气的基本知识、加气站建设、工艺、设备管理、人员管理、HSE及应急管理等方面的基本知识，并对加气站的损耗管理工艺、技术进行了探讨。在附录中还收集了天然气加气站评审等方面的资料。

本书第一章由李一庆、范小平编写，第二章由李一庆、谭辉洪编写，第三章由范小平、何才宁编写，第四章由黄彬、陈炫光编写，第五至七章由何才宁、黄彬、卢亿编写，第八章由范小平、卢亿编写，第九章由黄彬、何智编写。本书编写力求内容实用，通俗易懂，系统性强，满足加气站建设和运营管理的实际需要，在编写中得到广东油气商会、广东石油学会等兄弟单位的大力支持。

本书可供加气站的管理者和操作者、工程技术人员阅读使用，亦可供大专院校相关专业的师生教学参考。

编委会

2012年12月

目 录

第 1 章 天然气基本知识

1.1 天然气基本性质	(1)
1.1.1 天然气的组成	(1)
1.1.2 天然气的分类	(1)
1.1.3 天然气的状态	(2)
1.1.4 天然气的物性参数	(3)
1.1.5 天然气的传输特性	(4)
1.1.6 天然气的燃烧特性	(5)
1.1.7 天然气的爆炸特性	(6)
1.1.8 LNG 的低温特性	(7)
1.1.9 天然气的窒息特性	(8)
1.1.10 天然气的储存特性	(9)
1.2 天然气的运输与储存	(10)
1.2.1 LNG 的运输与储存	(10)
1.2.2 CNG 的运输与储存	(11)
1.3 天然气的发展前景	(11)
1.3.1 天然气的发展优势	(11)
1.3.2 天然气的供需情况	(12)
1.3.3 新能源汽车现状及发展规划	(13)
1.3.4 LNG 冷能应用	(13)
1.3.5 天然气的发展趋势	(14)

第 2 章 加气站建设

2.1 加气站规划及选址	(15)
2.1.1 加气站规划	(15)
2.1.2 加气站选址	(15)
2.2 加气站建设规范与要求	(17)
2.3 加气站建设流程	(17)
2.3.1 项目立项	(18)

2.3.2	项目可研、初设论证	(18)
2.3.3	项目报建	(18)
2.3.4	项目施工	(19)
2.3.5	项目竣工、试运行	(19)
2.3.6	项目完成结案	(19)
2.3.7	注意事项	(20)
2.4	加气站建设的投资回报测算	(21)
2.4.1	加气站建设的费用构成及利润测算	(21)
2.4.2	加气站建设的投资回报测算	(21)

第3章 加气站主要工艺

3.1	加气站的分类	(23)
3.1.1	按气源划分	(23)
3.1.2	按设备布局划分	(24)
3.1.3	按加气站功能划分	(24)
3.1.4	按储存能力划分	(28)
3.2	LNG 加气站主要工艺	(29)
3.2.1	LNG 加气站卸车工艺	(29)
3.2.2	LNG 加气站调压工艺	(31)
3.2.3	LNG 加气站加液工艺	(32)
3.2.4	仪表风系统工艺	(32)
3.2.5	安全泄放工艺	(32)
3.3	CNG 加气站主要工艺	(33)
3.3.1	CNG 加气站调压工艺	(34)
3.3.2	CNG 加气站净化工艺	(34)
3.3.3	天然气增压系统工艺	(39)
3.3.4	储存工艺	(40)
3.3.5	加气工艺	(40)
3.3.6	CNG 加气站控制系统	(40)
3.4	L-CNG 加气站主要工艺	(43)

第4章 加气站人员管理

4.1	加气站岗位设置	(44)
4.1.1	设置原则	(44)
4.1.2	主要岗位设置及岗位职责	(44)
4.2	加气站规范服务	(47)
4.2.1	基本要求	(47)
4.2.2	现场服务	(48)

4.3	加气站员工培训	(49)
4.3.1	培训原则、形式与组织	(49)
4.3.2	培训时间及内容	(50)
4.3.3	培训档案	(50)
4.4	加气站内部分配	(50)
4.4.1	指导原则	(50)
4.4.2	分配方案	(51)
4.5	加气站员工考核	(51)
4.5.1	考核原则	(51)
4.5.2	考核组织	(51)
4.5.3	考核内容	(51)
4.5.4	奖励与处分	(51)
4.6	加气站人员资质	(52)

第5章 加气站 HSE 管理

5.1	HSE 总体原则	(53)
5.1.1	HSE 承诺及方针	(53)
5.1.2	HSE 组织	(53)
5.1.3	HSE 整体工作要求	(53)
5.2	HSE 定期例行工作管理	(54)
5.2.1	HSE 会议与活动	(54)
5.2.2	HSE 检查	(54)
5.2.3	环境因素的识别与评价	(55)
5.2.4	危害因素的识别与评价	(55)
5.3	HSE 管理制度	(56)
5.3.1	现场 HSE 管理	(56)
5.3.2	电气管理	(56)
5.3.3	资金安全管理	(56)
5.3.4	消防管理	(56)
5.4	人员 HSE 管理	(57)
5.4.1	安全教育制度	(57)
5.4.2	三级安全教育	(57)
5.4.3	日常安全教育	(58)
5.4.4	特殊作业安全教育	(59)
5.4.5	外来施工人员的安全教育	(59)
5.4.6	培训记录	(59)
5.5	发包工程 HSE 管理	(60)
5.5.1	施工管理	(60)
5.5.2	明火管理	(60)

5.6	应急管理	(60)
5.7	事故管理	(61)
5.7.1	未遂事件管理	(61)
5.7.2	事故的分类和分级	(61)
5.7.3	事故报告	(62)
5.7.4	事故调查	(62)
5.7.5	事故处理	(63)
5.7.6	事故档案管理	(64)
5.8	职业卫生和环境保护	(65)
5.8.1	职业卫生与劳动保护管理	(65)
5.8.2	环境保护管理	(65)
5.8.3	绿化环保	(65)

第6章 加气站设备管理

6.1	加气站主要设备介绍	(66)
6.1.1	LNG 储罐	(66)
6.1.2	CNG 储气井	(69)
6.1.3	LNG 增压泵撬	(69)
6.1.4	增压泵	(70)
6.1.5	汽化器、加热器	(71)
6.1.6	LNG 加气机	(74)
6.1.7	CNG 加气机	(76)
6.1.8	附属设备	(78)
6.1.9	站控系统	(82)
6.2	加气站设备管理	(83)
6.2.1	一般规定	(83)
6.2.2	加气站共有设备的管理	(84)
6.2.3	加气站其他设备管理	(85)
6.2.4	特殊设备检验要求	(87)
6.3	设备运行中存在的危险	(88)
6.3.1	漏热或绝热破坏产生的危险	(88)
6.3.2	过冷损害产生的危险	(88)
6.3.3	储罐液位超限产生的危险	(88)
6.3.4	管道振动产生的危险	(89)
6.3.5	装置预冷产生的危险	(89)
6.3.6	BOG 气体和增压气体产生的危险	(89)
6.4	运行管理与安全保护	(90)
6.4.1	LNG 储罐的压力控制	(90)
6.4.2	LNG 储罐的超压保护	(90)

6.4.3	LNG 的翻滚与预防	(90)
6.4.4	运行监控与安全保护	(91)

第7章 加气站作业管理

7.1	液化天然气加气站	(92)
7.1.1	基本流程	(92)
7.1.2	生产作业	(92)
7.2	压缩天然气加气站	(94)
7.2.1	基本流程	(94)
7.2.2	生产作业	(94)
7.3	安全技术操作规程	(95)
7.3.1	LNG 储罐、储气井运行操作规程	(95)
7.3.2	潜液泵安全操作规程	(97)
7.3.3	往复泵安全操作规程	(97)
7.3.4	脱硫系统安全操作规程	(97)
7.3.5	干燥器安全操作规程	(99)
7.3.6	正压式空气呼吸器的安全操作规程	(101)
7.4	作业注意事项	(102)
7.4.1	接卸气作业	(102)
7.4.2	气瓶充装“五严禁”	(102)
7.4.3	进站加气须知	(102)
7.4.4	潜液泵使用注意事项	(103)
7.4.5	空气压缩机使用注意事项	(104)
7.4.6	脱硫剂的装填步骤及注意事项	(104)
7.4.7	再生干燥器注意事项	(104)
7.4.8	正压式空气呼吸器注意事项	(105)

第8章 加气站数质量管理

8.1	数量管理	(106)
8.1.1	计量交接管理	(106)
8.1.2	损耗管理	(110)
8.1.3	损耗分析	(110)
8.1.4	损耗控制	(112)
8.2	质量管理	(116)
8.2.1	进站气源质量管理	(116)
8.2.2	储存环节质量管理	(116)
8.2.3	销售环节质量管理	(116)
8.2.4	天然气质检项目配置	(116)

8.3	数质量纠纷处理	(118)
8.3.1	数量纠纷	(118)
8.3.2	质量纠纷	(118)
第9章 加气站应急处置		
9.1	加气站预案分类	(119)
9.2	加气站应急处置预案编制要求	(119)
9.3	预案编制	(119)
9.3.1	封面页内容	(119)
9.3.2	单位基本情况	(119)
9.3.3	事故类型和危险程度分析	(121)
9.3.4	事故前的征兆	(124)
9.3.5	应急处置原则	(124)
9.3.6	应急组织机构与职责	(125)
9.3.7	事故的预防措施	(130)
9.3.8	事故现场应急处置程序和措施	(131)
9.3.9	预防与预警	(139)
9.3.10	应急处置	(141)
9.3.11	应急物资与装备保障	(144)
9.3.12	相关图纸	(145)
9.3.13	应急器材使用指南	(145)
9.3.14	其他注意事项	(149)
附录1	术语解释	(151)
附录2	消防器材配备标准	(152)
附录3	加气站设备检查与校验周期	(153)
附录4	应急预案编制导则	(154)
附录5	加气站现场评审与要求	(160)
附录6	液化气体库存量计算表	(184)
附录7	CNG 加气工艺及设施设计与施工规范	(185)
附录8	LNG 和 L-CNG 加气工艺及设施设计与施工规范	(188)
参考文献	(191)

第 1 章 天然气基本知识

1.1 天然气基本性质

1.1.1 天然气的组成

天然气 (natural gas, 简称 NG) 是一种多组分的混合气体, 主要成分是烷烃, 其中甲烷占 70% ~ 90% (由于甲烷含量高, 通常将天然气作为甲烷来处理), 另有少量的乙烷、丙烷、丁烷及 C_5 以上的烷烃, 还含有微量的水、二氧化碳、硫化氢、氮和微量的惰性气体, 如氦气和氩气等。

天然气燃烧后生成二氧化碳和水, 烟气清洁, 不污染大气, 是城市发展理想绿色洁净能源。天然气燃烧化学方程式: $CH_4 + 2O_2 \xrightarrow{\text{点燃}} CO_2 + 2H_2O$ 。

1.1.2 天然气的分类

1. 按照天然气来源分类

天然气按其来源可分为常规天然气和非常规天然气。

(1) 常规天然气

油田伴生气。油田在开采过程中, 在油层间伴随石油液体出现的气体, 与石油矿藏共生。包括气顶气和溶解气。主要成分是甲烷, 甲烷含量约 80%, 通常含有大量的乙烷和碳氢重组分, 其他烷烃类含量约 15%, 低热值约 $48 MJ/m^3$ 。我国中原油田、胜利油田、大庆油田等均有油田伴生气。

气田气。从天然气气田开采出来的天然气, 主要成份为甲烷, 含量 80% ~ 98%, 乙烷、丙烷、丁烷等烃类较少, 含有二氧化碳、硫化氢、氮气等杂质, 低热值约 $36 MJ/m^3$ 。新疆、四川、陕甘宁等气田气均属此类。

凝析气田气。开采出来的气田气中含有较多的戊烷以上的烷烃类, 可分离出汽油和轻质油等液体产品, 这种气田气在地层中以气态存在, 开采出来常温下为液态。

(2) 非常规天然气

煤层伴生气。通常存在于煤层中, 即通常所说的瓦斯气。主要成分为甲烷, 同时含有二氧化碳等气体, 低热值约 $30 MJ/m^3$ 。

生物气。是有机物在隔绝空气及适宜温度、含水率和酸碱度等条件下，受到发酵细菌作用而生成可燃气体，俗称沼气。沼气的一般组分为甲烷 55% ~ 65%，二氧化碳 30% ~ 40%，尚有少量的氢、硫化氢、氨气等，低热值为 20 ~ 25MJ/m³。

此外还有水溶天然气、水合物天然气。

2. 按照含凝析油量分类

凝析油是指从凝析气田的天然气凝析出来的液相组分，又称天然汽油。其主要成分是 C₅ 至 C₈ 烃类的混合物，并含有少量的大于 C₈ 的烃类以及二氧化硫、噻吩类、硫醇类、硫醚类和多硫化物等杂质，其馏分多在温度为 20 ~ 200℃ 得到，挥发性好，是生产溶剂油优质的原料。按含凝析油量的多少可分为干气与湿气两种。此分类与含水量没有关系。

(1) 干气

干气是甲烷含量比较高的天然气。这种天然气含甲烷在 90% 以上，含其他成分较少。

(2) 湿气

湿气是含 C₅ 等容易液化的组分较高的天然气。这种天然气含甲烷在 90% 以下，含其他成分 10% 以上。

1.1.3 天然气的状态

天然气所处的状态，是通过压力、温度和体积等物理量来反映的，这些物理量之间彼此有一定的内在联系，称为状态参数。天然气的状态主要与压力和温度两个参数有关。

1. 天然气的临界状态

任何气体在温度低于某一数值时都可以等温压缩成液态，但高于此温度时，无论压力增大到多大，都不能使气体液化，可以使气体压缩成液态的这个极限温度称为气体临界温度。当温度等于临界温度时，使气体压缩成液体所需的压力称为临界压力，此时的状态称为临界状态。甲烷的临界温度为 -82.6℃，临界压力为 4.62MPa。气体临界温度越高，越容易液化，天然气主要组分甲烷的临界温度低，故难以液化。

2. 天然气应用中两种主要存在状态

根据压力和温度的不同，天然气在应用过程中主要以压缩天然气（compressed natural gas，简称 CNG）和液化天然气（liquefied natural gas，简称 LNG）两种状态存在。

(1) 压缩天然气

压缩天然气是指压缩到 10MPa ≤ 压力 < 25MPa 的气态天然气，并以气态储存在容器中，简称 CNG。将天然气压缩到 25MPa 时，其体积接近标准状态的 1/300。经压缩后天然气的成分没有变化，体积缩小。

CNG 本身无味，在作为燃气使用时，一般应加上臭，加臭剂的最小量应符合当天然气泄漏到空气中，达到爆炸下限的 20% 的浓度时，应能察觉。

(2) 液化天然气

天然气主要成分是甲烷，在常温下不能加压液化，必须将温度降到约 -82.6℃ 以下才

能在压力下液化。气田开采出来的天然气，经过脱除水、酸性气体、汞、重烃类、氦、氮等，然后压缩、膨胀、液化而成的低温液体称为液化天然气。天然气在1个大气压下，被冷却至约 -162°C 时，可以由气态转变成液态，其体积缩小约为同量气态天然气体积的 $1/625$ ，重量仅为同体积水的45%左右。常用的天然气制冷剂有丙烷、丙烯、乙烷、乙烯、甲烷、氮气等。

由于LNG先经净化处理，再经超低温处理，所以其无毒且无腐蚀性，泄漏后不会对人体造成毒性伤害，但吸入过多会导致肌体缺氧窒息死亡。LNG无色、无味，不能加臭，必须用专用检漏仪检漏。

1.1.4 天然气的物性参数

1. 密度

标准状态（ 20°C 及 101.325kPa ）下，天然气的密度为 $0.75 \sim 0.8\text{kg}/\text{m}^3$ ，相同压力和相同温度条件下，天然气的密度和空气密度之比，约为 $0.58 \sim 0.62$ 。

LNG的密度与其组分有关，密度为 $0.42 \sim 0.46\text{g}/\text{cm}^3$ ，其比重仅为同体积水的45%左右。LNG汽化后密度很低，只有空气的一半左右，稍有泄漏立即飞散开来，不致引起爆炸。密度还是温度的函数，温度越高，密度越小，变化的梯度大约为 $1.35\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$ 。

2. 沸点、汽化潜热、水露点

(1) 沸点

沸点是常压（ 101.325kPa ）下饱和液体沸腾时的温度，LNG的沸点一般在 $-166 \sim -157^{\circ}\text{C}$ 之间。

(2) 汽化潜热

1kg饱和液体变成同温度饱和蒸汽所吸收的热量称为汽化潜热，该过程只有相变，而温度不发生变化。某些碳氢化合物的汽化潜热如表1—1。

表1—1 某些碳氢化合物的汽化潜热

单位： J/kg

甲烷	丙烷	正丁烷	异丁烷	丙烯	丁烯-1	顺丁烯-2	异丁烯
510000	422584	383254	366100	439320	390786	415800	394133

由表1—1可知，甲烷的汽化潜热较高，汽化时吸收较多的热量，接触人体时容易造成冻伤。

(3) 水露点

水露点是天然气净化的一个重要指标和气体输送的技术指标。

在一定的温度和压力下，天然气达到最多容纳水蒸气量时的状态，就称为天然气的饱和状态。在天然气达到饱和状态时，其多余的水蒸气将凝析出来。

在压力一定时，未饱和气体冷却达到饱和状态时的温度称为露点温度（水露点）。当用管道输送天然气时，必须保持其温度在露点以上，以防凝结，阻碍输气。在天然气交接

点的压力和温度条件下，天然气的水露点应比最低环境温度低 5℃。

3. 压缩因子

压缩因子的量纲为 1，常用符号 Z 表示。 Z 的大小反映出真实气体对理想气体的偏差程度， $Z = V_m$ （真实）/ V_m （理想）。对于理想气体，在任何温度压力下 Z 恒等于 1。当 $Z < 1$ 时，说明真实气体的 V_m 比同样条件下理想气体的小，此时真实气体比理想气体易于压缩；当 $Z > 1$ 时，说明真实气体的 V_m 比同样条件下理想气体的大，此时真实气体比理想气体难于压缩。由于 Z 反映出真实气体压缩的难易程度，所以将它称为压缩因子。

描述真实气体的 pVT 性质中，最简单，最直接，最准确，使用的压力范围也最广泛的状态方程，是将理想气体理想状态方程用压缩因子 Z 加以修正。即

$$pV = ZnRT$$

天然气的压缩因子计算公式：

$$Z = pV/nRT = pV_m/RT$$

上述两式中 p 表示压强， V 表示气体体积， n 表示物质的量， T 表示绝对温度， V_m 表示气体摩尔体积， R 表示气体常数。

真实气体的 Z 不但取决于其化学组成，还取决于其温度与压力。压缩因子的求解有经验图解法、经验公式法。还可以用状态方程来求解，包括：范德华方程、R-K 方程、S-R-K 方程、BWR 方程、BWRS 方程等。

1.1.5 天然气的传输特性

天然气的传输特性是天然气传热和流动阻力计算的关键数据，在 NG 液化与 LNG 传输过程中，存在着流体的流动、不同工质间的传热性质问题，为了能更合理有效地发挥各流程设备的作用，需要了解天然气在不同工况下的流动和传热特性。粘度、比热容和导热系数，是液体天然气传输特性的主要界定因素。

1. 粘度

粘度表示天然气流动的难易程度，其与天然气的相对分子质量、组成、压力和温度有关。中、低压力下，压力对粘度的影响较小，压力变化对粘度影响不明显，随着压力的增大，其影响逐渐增大，压力的影响还与温度有关，温度越低，压力影响越大；相对分子量增大，粘度减少，非烃类气体的粘度比烃类气体粘度高。在高压下，气体的粘度随压力增大而增大，随温度增高而降低，随相对分子质量的增大而降低。

低压天然气的粘度计算方法有 Chung 法和 Lucas 法，高压天然气的计算要考虑压力对气体粘度的影响，采用修正后的 Chung 法和 Lucas 高压粘度模型或剩余粘度法计算。液化天然气的粘度计算方法以 Jamieson 经验关联式与 Teja - Rice 法相结合使用。

2. 比热容

单位数量天然气温度升高 1℃ 所吸收的热量称为比热容。按气体度量单位不同，分为质量热容、容积热容、摩尔热容。每种比热按加热过程分为比定压热容 c_p 和比定容热容

c_v 。比定压热容 c_p 是单位数量的物质在压力不变的条件下，温度升高或下降 1°C 或 1K 所吸收或放出的热量。比定容热容 c_v 是单位数量的物质在容积（体积）不变的条件下，温度升高或下降 1°C 或 1K 吸收或放出的热量。用摩尔热容表示时， c_p 与 c_v 之间有如下关系：

$$c_p - c_v = R \quad [R = 8.314\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K}), \text{代表气体常数}]$$

甲烷在 -40°C 下的比定压热容为 $2.077\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。

3. 导热系数（热导率）

在温差为 1K 时，每秒通过单位面积、单位长度物质的热量称为导热系数，其表示物质传递热量的性能。大多数液体的热导率随温度升高而减少，但不像黏度那样对温度敏感。在沸点前，热导率与温度近似成直线关系。常温下，压力对液体的影响较小。直至 $5 \sim 6\text{MPa}$ 的中压范围，工程上仍可忽略压力对热导率的影响。液体混合物的热导率一般由单组分热导率通过混合规则导出。

1.1.6 天然气的燃烧特性

1. 闪点

可燃液体表面的蒸汽与空气混合，形成混合可燃气体，遇火源即发生燃烧，形成挥发性混合气体的最低燃烧温度称为闪点。表 1—2 是几种天然气组分的闪点。闪点越高，安全性越好。

表 1—2 几种天然气组分的闪点

组分	甲烷	乙烷	丙烷	丁烷
闪点/ $^\circ\text{C}$	-188	< -50	-104	-82.78

2. 燃点

在规定的条件下，可燃物质遇火源自行燃烧的最低温度称为该物质的燃点。表 1—3 是几种天然气组分的燃点。燃点越高，安全性越好。

表 1—3 几种天然气组分的燃点

组分	甲烷	丙烷	丁烷
燃点/ $^\circ\text{C}$	538	466	430

天然气的燃烧温度 -182.5°C ，自燃温度为 595°C 。

3. 辛烷值

辛烷值是燃料抗爆性的标志，它表示燃料在发动机内燃烧时不发生爆震的能力。辛烷值指与汽油抗爆性相同的标准燃料所含异辛烷的体积分数。如辛烷值为 93 的汽油（93 号汽油），表示其抗爆性等于 93% 的异辛烷和 7% 的正庚烷组成的标准燃料的抗爆性。辛烷

值越高表示抗爆性越好。规定异辛烷的辛烷值为 100，正庚烷的辛烷值为 0。甲烷的辛烷值为 130，而现有优质汽油的辛烷值最高也仅为 99。

4. 热值

热值是指单位重量或单位体积的可燃物质，在完全烧尽生成最简单最稳定的化合物时所放出的热量。天然气的热值为 $35.7 \sim 39.9 \text{ MJ/m}^3$ 。LNG 的热值为 38.5 MJ/Nm^3 。

5. 燃烧速度与爆燃

气体的燃烧速度很快，受热和氧化后就会迅速燃烧。在气体燃烧中，通常采用火焰的传播速度来表示燃烧速度。甲烷在空气中的最大火焰传播速度为 33.8 cm/s ，最大燃烧速度时的体积分数是 10%。

混合气体着火时，如果火焰传播速度低于声速，燃烧过程称为爆燃。火焰传播速度高于声速的燃烧过程称为爆轰。天然气的爆燃特性是主要的危险因素。常温常压下天然气被点燃，其燃烧速度约为 0.3 m/s 。

1.1.7 天然气的爆炸特性

可燃物质（可燃气体、蒸汽和粉尘）与空气（或氧气）必须在一定的浓度范围内均匀混合，形成预混气，遇着火源才会发生爆炸，这个浓度范围称为爆炸极限，或爆炸浓度极限。爆炸燃烧的最低浓度称为爆炸浓度下限，最高浓度称为爆炸浓度上限。天然气的爆炸极限为 5% ~ 15%。

(1) 但爆炸极限不是一个固定值，它随一些因素而变化，影响爆炸极限的因素主要有如下几点：

①原始温度：爆炸性混合物的原始温度越高，则爆炸极限范围越宽，即爆炸下限降低而爆炸上限升高。

②原始压力：混合物的原始压力对爆炸极限的影响很大。一般压力增大，爆炸极限扩大，压力降低，则爆炸极限缩小。

③惰性气体及杂质：若混合物中所含惰性气体的百分数增加，爆炸极限范围越小，安全性提高，惰性气体浓度提高到某一数值，爆炸下限与爆炸上限重合，可使混合物不爆炸。

④充装容器的材质、尺寸等：实验证明，容器或管道直径越小，爆炸极限范围越小。

除上述因素外，火花的能量、热量交换表面的面积，火源和混合物的接触时间等对爆炸极限均有影响。

(2) 爆炸浓度极限的实用意义如下：

①评定气体或液体火灾危险性的大小。可燃气体或液体的爆炸下限越低，爆炸极限范围越大，火灾危险性就越大；

②划分可燃气体等级的依据。爆炸下限低于 10% 的可燃气体属一级可燃气体，高于 10% 的可燃气体属二级可燃气体；