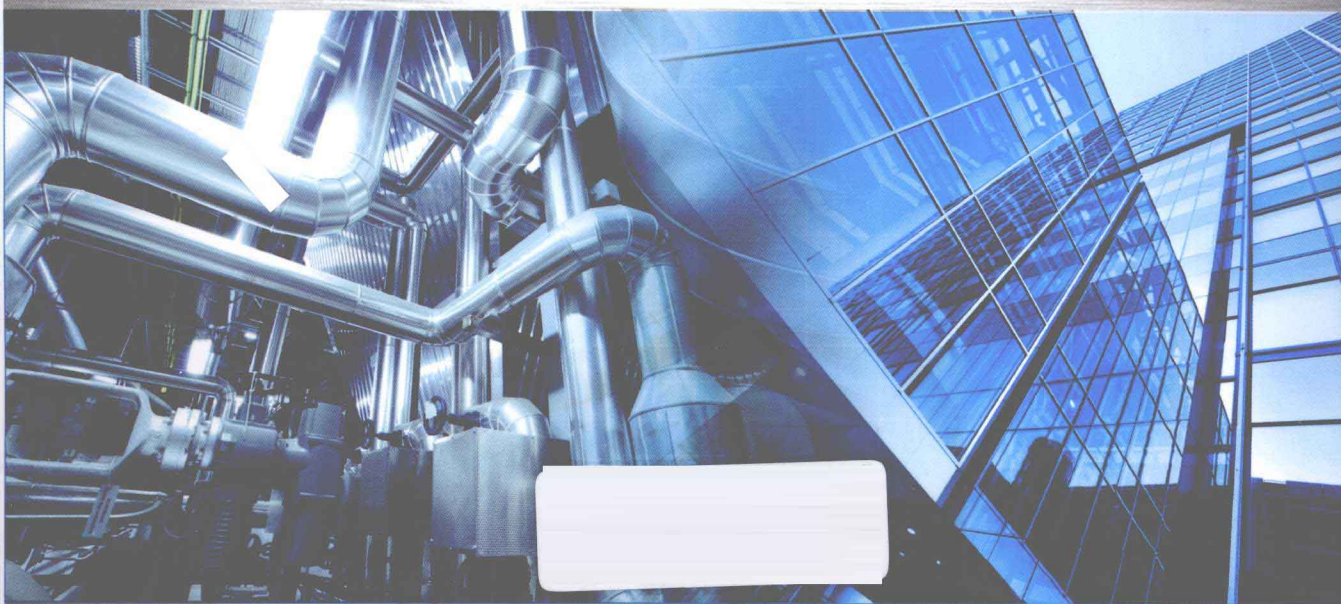


 北京劳动保障职业学院国家骨干校建设资助项目

城镇燃气管道 安全运行与维护



李庆林 徐嵩 主编  孙祖亮 主审



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



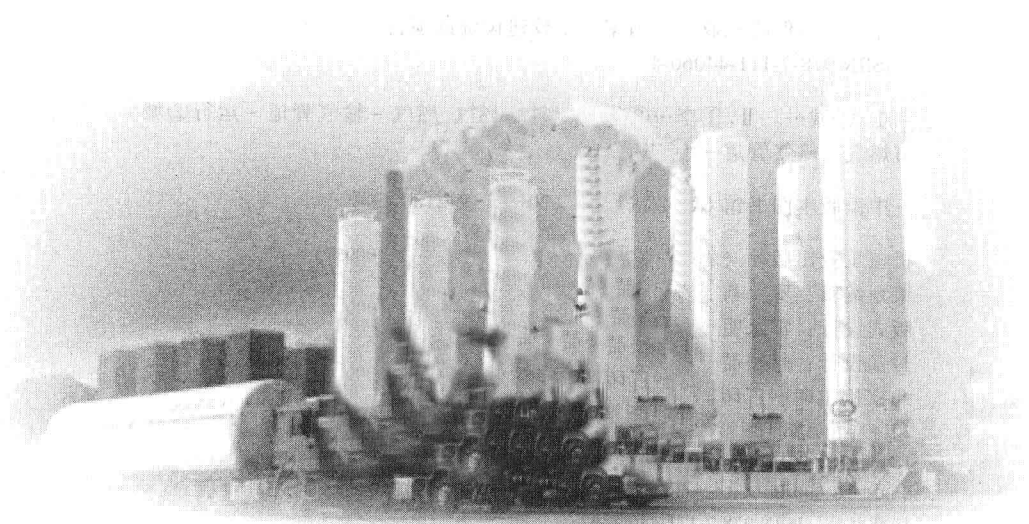
北京劳动保障职业学院国家骨干校建设资助项目

城镇燃气管道 安全运行与维护

主 编 李庆林 徐 翥

参 编 松长茂 卓秋武 邢国宝

主 审 孙祖亮



机械工业出版社

本书根据国家有关规范、标准,对城镇燃气管道的安全运行与维护的相关内容进行了全面系统的介绍,其中涵盖城镇燃气专业必备的基础理论知识以及从燃气管道安装质量检验、管道的试验与验收开始,直到燃气管道安全运行、管道的维护管理、抢修的全过程内容。

本书紧密联系实际,内容大都是从生产实际中总结的经验,具有较强的可操作性,是从事城镇燃气管道运行管理、检验、检测及监督检查人员的实用培训教材,亦可作为大专院校、高等职业院校有关专业的学习教材,也可供设计、科研机构有关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

城镇燃气管道安全运行与维护/李庆林,徐嵩主编. —北京:机械工业出版社,2013.9

北京劳动保障职业学院国家骨干校建设资助项目

ISBN 978-7-111-44060-4

I. ①城… II. ①李…②徐… III. ①城市燃气—输气管道—运行②城市燃气—输气管道—维修 IV. ①TU996.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第218046号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:罗莉 责任编辑:罗莉

版式设计:霍永明 责任校对:佟瑞鑫

封面设计:赵颖喆 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2014年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·16.75印张·412千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-44060-4

定价:49.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

受北京劳动保障职业学院的委托,编写本书《城镇燃气管道安全运行与维护》。

北京劳动保障职业学院是国家重点骨干高等职业院校。学院在 2008 年教育部进行的高职高专院校人才培养工作水平评估中获得优秀,2009 年成为北京市示范性高等职业建设院校。如今,学院已形成以高等职业教育为主体,继续教育、社会培训、职业技能培训考核、鉴定等全面协调发展的办学格局。

学院设有“城市管理与监察”(城市设施安全技术)专业,该专业面向北京市自来水集团、燃气集团、热力集团、排水集团等以地下管线为主的城市公用设施保障服务单位的生产一线,基于管网安全运行与操作维护岗位而设立,以现代管网安全技术为基本专业内涵,主要培养掌握管网安全运行与操作维护技术的高级技能型专门人才。

《城镇燃气管道安全运行与维护》是该专业所需教材之一。另一方面,考虑到我国天然气事业快速发展,燃气应用领域不断扩大,对从事燃气专业的技术人才和高技能人员的需求量不断增加。在燃气应用领域,城镇燃气管道安全运行又是很重要的一个环节,也需要这方面的培训教材和参考资料。因此,编写本教材的目的既要满足学校教学上的需要,也要尽量符合燃气行业职工培训的需求。

我国燃气事业经过多年的发展,在城镇燃气管道安全运行与维护方面,已经有了很成熟的经验。因此,广泛收集、学习、汇总这方面的经验和文献也是本书编写的重要环节。本书的编写是在参考同行业专家的著作基础上完成的,主要参考了中国城市燃气协会 2006 年组织编写的系列职业技能培训教材、江孝禔为主编、修长征、李建勋为副主编的《城镇燃气与热能供应》以及相关的国家技术规范和标准等。

本书的内容以城镇燃气管道安全运行与维护为主题,又以城镇埋地燃气管道为重点,对管道的安全运行与维护的相关内容进行了全面、系统的介绍。书的前两章简要介绍燃气的基本知识和燃气管道概要。从第三章开始,利用七章篇幅较详细叙述了从燃气管道的施工安装验收开始,直到涵盖了管道的安全运行、维护,在用管道的检验、管道抢修、事故的发生和处理整个运行维护的全过程。书中也用三章的内容介绍了与管道密切相关的调压装置、门站、储配站及室内管道的安全运行与维护,使得本书能较全面地反映出城镇燃气管道安全运行与维护的相关内容。

本书紧密联系实际,内容大多是从生产实际中总结的经验,具有较强的可操作性,是从事城镇燃气管道运行管理、检验、检测及监督检查人员的实用培训教材,亦可作为大专院校、高等职业院校有关专业的学习教材,也可供设计、科研机构的有关人员参考。

参加本书编写者多是在燃气行业工作过几十年的老专家和高级工程师。本书第一、七、十、十一章由李庆林、邢国宝编写,第二、九章由徐嵩编写,第三、五、十二章由孙祖亮编写,第六、八章由松长茂编写,第四章由卓秋武编写,各章内容的编写也有相互交叉互补情况。本书由李庆林、徐嵩担任主编,孙祖亮担任主审。



本书在编写过程中承蒙中国城市燃气协会负责同志、北京燃气学院有关同志的支持和帮助，以及北京劳动保障职业学院赵俊岭老师的指导，一并表示深深的谢意。同时，对本书所引用过的著作、文献的作者、专家表示崇高的敬意。

对北京劳动保障职业学院资助本书的出版亦表示衷心的感谢。

由于编者专业技术水平有限，错误不当之处在所难免，恳请专家和读者批评指正。

编 者

目 录

前言	
第一章 城镇燃气基础知识	1
第一节 城镇燃气的种类及应用	1
第二节 城镇燃气的分类与互换	6
第三节 单一气体的基本性质	9
第四节 城镇燃气的基本性质	11
第五节 燃气的燃烧、爆炸及安全 防护	16
第六节 城镇燃气的质量要求和加臭	17
第二章 城镇燃气管道概要	22
第一节 燃气管道基本要求	22
第二节 城镇燃气管道的分类及选择	24
第三节 城镇燃气管道的布线	30
第四节 管材及管道的连接	36
第五节 燃气管道附属设备	43
第六节 燃气管道的防腐	48
第七节 聚乙烯 (PE) 燃气管	56
第三章 城镇燃气管道安装质量监督 检验	66
第一节 燃气管道安装资格及质量保证 体系	66
第二节 质量控制文件及质量控制 内容	66
第三节 燃气管道及管道附件的检验	68
第四节 燃气管道安装质量检验	71
第五节 燃气管道安装监督检验程序	75
第四章 城镇燃气管道的试验与 验收	84
第一节 燃气管道工程验收项目和 程序	84
第二节 室外燃气管道工程检验	86
第三节 室外燃气管道系统吹扫	89
第四节 室外燃气管道的强度实验和气密 性试验	90
第五节 燃气调压站试验验收	94
第五章 燃气管道安全运行	96
第一节 燃气管道安全管理	96
第二节 燃气管道投运	98
第三节 城镇燃气管道日常维护管理	102
第四节 埋地燃气管道的检测	108
第五节 燃气管道故障处理	116
第六节 燃气管道档案管理	120
第七节 燃气管道计算机管理	124
第六章 燃气管道的维护	127
第一节 燃气管道的技术改造	127
第二节 燃气管道的大修理	127
第三节 燃气管道的配合工程	128
第四节 燃气管道的检修	128
第五节 燃气管道的带气作业	131
第六节 燃气管道带压堵漏	139
第七节 燃气管道修理改造的检验	142
第八节 燃气管道漏气的防范措施	143
第七章 燃气管道的抢修	144
第一节 抢修应急救援预案	144
第二节 埋地燃气管道的抢修	149
第三节 抢修现场安全管理要求	153
第四节 抢修现场燃气中毒、爆燃事故的 防范处理	154
第八章 在用燃气管道的检验	156



第一节	在用燃气管道检验的种类	156	第十一章	室内燃气管道的使用与维护	223
第二节	在用燃气管道的外部检查	157	第一节	室内燃气管道一般知识	223
第三节	在用燃气管道的全面检查	158	第二节	室内燃气管道及设施的检验与验收	225
第四节	燃气管道安全状况的分级标准	162	第三节	燃气设施的通气置换与点火	230
第五节	燃气管道缺陷与安全状况评定	162	第四节	室内燃气设施的维护管理	231
第六节	管道缺陷的处理	164	第五节	室内燃气设施的故障检修	233
第九章	门站、储配站安全运行	166	第六节	用户室内燃气设施的改装与验收	237
第一节	门站、储配站的作用和组成	166	第七节	室内燃气设施事故的处置	239
第二节	门站和储配站试验验收	171	第十二章	燃气管道的破坏与事故处理	243
第三节	储气与加压设备安全运行与管理	179	第一节	燃气管道破坏形式	243
第四节	门站、储配站安全技术操作规程	183	第二节	韧性破坏	244
第五节	门站、储配站安全事故处理	198	第三节	脆性破坏	247
第十章	调压装置的使用与维护	203	第四节	腐蚀破坏	249
第一节	调压器的工作原理	203	第五节	疲劳破坏	252
第二节	调压器	204	第六节	蠕变破坏	253
第三节	调压装置及附属设备	206	第七节	燃气管道破坏事故分析	254
第四节	调压装置工艺流程及布置	213	参考文献		259
第五节	调压装置的安装验收与启动运行	218			
第六节	调压装置安全维护管理与事故处理	219			

第一章

城镇燃气基础知识

第一节 城镇燃气的种类及应用

天然气的应用在我国有着悠久的历史。我国第一个经营城镇燃气的公司最早于 1865 年在上海建立,至今已有 140 多年历史,直到解放前夕,全国仅有 9 个城市有城市燃气供应,规模甚小。解放后,随着冶金工业的发展,北京等一些城市兴建了燃气事业,供应以煤炭为原料的人工煤气。由于石油与天然气的开采与利用,一些地区逐渐利用天然气作为城镇燃气。20 世纪 60 年代中期,我国石油炼制工业得到很大发展,液化石油气开始进入城镇。改革开放以后,作为城市基础设施之一的城镇燃气,为了提高能源利用率、保护环境、防止大气污染及提高人民生活水平的需要,得到了长足的发展。近年来,随着天然气的开采量增加,西气东输工程的实施、引进国外液化天然气等措施,加快了我国城镇燃气发展速度。

通常把城镇燃气种类划分为:天然气、人工煤气、液化石油气、沼气。近年来也将掺混气和工业企业的生产余气(称为工业余气)列入城镇燃气。

一、城镇燃气的种类

(一) 天然气

天然气一般可分为五种:从气井开采出来的气田气称纯气田天然气;伴随石油一起开采出来的石油气称石油伴生气,也称油井气;含石油轻质馏分的凝析气田气;在开采煤矿时从井下煤层抽出的煤矿矿井气,或称煤田气;还有煤成气等。

纯气田天然气(简称天然气)的组分以甲烷为主,还含有少量的乙烷、丙烷等烃类及二氧化碳、硫化氢、氮和微量的氦、氖、氩等气体。我国四川天然气中甲烷含量一般不少于 90%,热值为 $34.750 \sim 36.000 \text{ MJ/N} \cdot \text{m}^3$ ($8300 \sim 8600 \text{ kcal/N} \cdot \text{m}^3$)。天津大港地区的天然气为石油伴生气,甲烷含量约为 80%,乙烷、丙烷和丁烷等含量约占 15%,热值约为 $41.868 \text{ MJ/N} \cdot \text{m}^3$ ($10000 \text{ kcal/N} \cdot \text{m}^3$)。凝析气田气除含有大量甲烷及一定量的 $\text{C}_2 \sim \text{C}_4$ 的碳氢化合物外,还含有 2% ~ 5% 戊烷及戊烷以上的碳氢化合物。矿井气的主要组分是甲烷,其含量随采气方式而变化。可见,天然气所含组分不同,其热值的高低也有差异。

(二) 人工煤气

20 世纪 50 年代,我国城镇燃气供应系统的气源基本是人工煤气。作为居民生活、工业企业生产和商业用气的人工煤气主要是指以煤或油为原料,经制气及净化处理后通过城镇燃气管网为用户提供的气体燃料。

根据煤和油的原料组分、原料的性质,以及制气的加工方式不同,人工煤气一般可分为四种:固体燃料干馏煤气、固体燃料汽化煤气、油制气和高炉煤气。



1. 固体燃料干馏煤气

利用焦炉、连续式直立碳化炉（又称伍德炉）和立箱炉等对煤进行干馏所获得的煤气称为干馏煤气。用于干馏方式生产煤气，每吨煤可产煤气 $300 \sim 400\text{m}^3$ 。这类煤气中甲烷和氢的含量较高，低热值一般在 $16.740\text{MJ}/\text{N} \cdot \text{m}^3$ ($4000\text{kcal}/\text{N} \cdot \text{m}^3$) 左右。干馏煤气生产历史较长，虽然在某些场合已逐步为天然气、液化石油气等气源替代，但目前仍是我国城镇燃气的重要气源之一。

2. 固体燃料汽化煤气

压力汽化煤气、水煤气、发生炉煤气均属此类。在 $1.47 \sim 2.94\text{MPa}$ 的压力下，以煤作为原料，采用纯氧和水蒸气为汽化剂，可获得高压蒸气氧鼓风煤气，也叫加压汽化煤气。其主要组分为含量较高的甲烷及氢，热值在 $15.072\text{MJ}/\text{N} \cdot \text{m}^3$ ($3600\text{kcal}/\text{N} \cdot \text{m}^3$) 左右。若城市附近有褐煤或长焰煤资源，可采用鲁奇炉生产压力汽化煤气，这套装置可建立在煤矿附近，一般称为坑口汽化。该系统无需另设压送设备，燃气可直接输送至较远的城镇使用。

水煤气和发生炉煤气的主要组分为一氧化碳和氢。水煤气的热值为 $10.467\text{MJ}/\text{N} \cdot \text{m}^3$ ($2500\text{kcal}/\text{N} \cdot \text{m}^3$) 左右，发生炉煤气的热值为 $5.443\text{MJ}/\text{N} \cdot \text{m}^3$ ($1300\text{kcal}/\text{N} \cdot \text{m}^3$) 左右。由于这两种煤气的热值低、毒性大，不可单独作为城镇燃气的气源，但可用来加热焦炉和连续式直立碳化炉，以顶替出热值较高的干馏煤气增加城市的供气量；也可以和干馏煤气、重油蓄热裂解气掺混，用以调节供气量和调整燃气的热值，或作为城镇燃气的调度气源。发生炉煤气还可作为工厂及燃气轮机的燃料。

3. 油制气

我国一些城镇利用重油（炼油厂在提取汽油、煤油和柴油之后所剩的油品）制取城镇燃气。

按制取的方法不同，可分为重油蓄热裂解气和重油蓄热催化裂解气两种。重油蓄热裂解气以甲烷、乙烯和丙烯为主要组分，热值约为 $41.868\text{MJ}/\text{N} \cdot \text{m}^3$ ($10000\text{kcal}/\text{N} \cdot \text{m}^3$)。每吨重油的产气量为 $500 \sim 550\text{m}^3$ 。重油蓄热催化裂解气中氢的含量最多，也含有甲烷和一氧化碳，热值在 $17.585 \sim 20.934\text{MJ}/\text{N} \cdot \text{m}^3$ ($4200 \sim 5000\text{kcal}/\text{N} \cdot \text{m}^3$)。利用三筒炉催化裂解装置，每吨重油的产气量为 $1200 \sim 1300\text{m}^3$ 。

以石脑油（粗汽油）作为制气原料，与重油相比，石脑油有如下优点：含硫量少、不生成焦油、烟尘及污水等公害问题小、汽化效率高，而且石脑油催化裂解制气转换一氧化碳的过程比较简单。油制气既可作城镇燃气的基本气源，也可作城镇燃气的调度气源。

4. 高炉煤气

高炉煤气是冶金系统炼铁工艺的副产品，其主要组分是一氧化碳和氮气，热值为 $3.768 \sim 4.186\text{MJ}/\text{N} \cdot \text{m}^3$ ($900 \sim 1000\text{kcal}/\text{N} \cdot \text{m}^3$)。

高炉煤气可取代焦炉煤气用作炼焦炉的加热煤气，以使更多的焦炉煤气供应城市。高炉煤气也常用作锅炉的燃料或与焦炉煤气掺混用于城镇供气与冶金工厂的加热工艺。

（三）液化石油气

液化石油气是开采和炼制石油过程中，作为副产品而获得的一部分碳氢化合物。

作为工业和民用燃料的液化石油气可来自于由天然气分离出来的 C_3 、 C_4 组分，也可以是石油炼制和加工过程中作为副产品的一部分碳氢化合物。目前我国供给城镇作为燃料的液化石油气（LPG）主要来源于石油炼厂催化裂解装置产出的石油气，其主要的组分为丙烷



(C_3H_8)、丁烷(C_4H_{10})、丙烯(C_3H_6)和丁烯(C_4H_8)，这部分产量通常约占催化裂解装置处理量的7%~8%。由于各地石油炼厂所用的原料油成分、性质、加工工艺和设备类型不同，各地液化石油气的组成及其热值也有差异。

液化石油气习惯上又称为 C_3 、 C_4 ，即只用短的碳原子(C)数表示。这些碳氢化物在常温、常压下呈气态，当压力升高或温度降低时，很容易转变为液态；当液态的液化石油气转变为气态时其体积将增大约250倍，从经济角度分析，液化石油气以液态方式储存和输送较以气态方式优越。液态液化石油气的热值为45.217~46.055MJ/kg (10800~11000kcal/kg)，气态液化石油气的热值为92.110~121.417MJ/N·m³ (22000~29000kcal/N·m³)。

随着石油化学工业的迅速发展，利用液化石油气作为城镇燃气的气源具有投资省、设备简单、供应方式灵活、建设速度快等优点，所以我国的一些城镇常以液化石油气作为燃气的气源。近年来，国内外不少城镇还用液化石油气作为汽车燃料。

液化石油气除以瓶装供应外，还可采用汽化的方法使其由液态转化为气态，并通过管道供应用户。为了避免汽化后的液化石油气在有压力输送状态下转换为液态影响正常的输送，因而，常在气态液化石油气中掺混一定量的空气输送给用户使用。按照国家规定，液化石油气与空气的混合气做主气源时，液化石油气的体积分数应高于其爆炸上限的2倍，且混合气的露点温度应低于管道外壁温度5℃。硫化氢含量不应大于20mg/m³。

(四) 沼气

沼气是一种可用作能源且成本低的可燃气体，其发生源和分布极为广泛。以沼气的发生源不同可分为天然沼气和人工沼气两大类。天然沼气是自然界中的有机质自然形成的沼气。人工沼气也被称作生物气，是一种再生能源。人们将含有蛋白质、纤维素、脂肪、淀粉等有机物质，在缺氧情况下借助厌氧菌的作用使之发酵分解生成可燃气体，即为沼气。发酵的原料在城镇可以来自于分布广泛的生活垃圾、杂草、落叶等，农村也可用农作物的秸秆等。

作为再生能源之一的沼气，其主要成分为甲烷，约占含量的60%，二氧化碳约为35%，此外，还含有少量的氢、一氧化碳等气体，沼气的热值为20.000~29.308MJ/N·m³ (4800~7000kcal/N·m³)，是一种清洁能源，可望未来成为城镇燃气的一种资源。

(五) 工业余气

石油化工与化肥工业企业在生产过程中常排出一些工业余气，这些工业余气含有大量的可燃成分，经过收集、加工也可以作为城镇燃气的来源。

每生产1t合成氨约有120~150m³弛放气，其体积分数一般为H₂—(50~60)%；CH₄—18%；N₂—(22~32)%，热值为11.8~12.9MJ/N·m³。有些企业弛放气多被放空，造成能源浪费和大气污染。

石油化工企业由于生产工艺需要，一般设火炬将余气燃烧。这种火炬余气的成分随着生产原料、加工工艺、生产产品的不同而改变，但一般均含有较多的CH₄等烃类和H₂，因此热值较高，其波动范围为22.00~41.86MJ/N·m³，有很高的热能利用价值。

工业余气的利用，可提高能源利用率，避免资源浪费，同时减轻了大气环境污染。

(六) 掺混气

天然气、液化石油气、人工煤气等燃气常作为单一气源为城镇供气，但也常为调节供气量和调整燃气热值而将不同类别的燃气或燃气与空气混合配制成混合气，作为城镇的供气气源，这种混合燃气叫做掺混气。如：有热值较高的液化石油气与热值较低的发生炉煤气、焦



炉煤气与水煤气、高炉煤气与焦炉煤气掺混等的供气方式；又有天然气与空气、液化石油气掺混空气等供气方式。掺混气用以作为城镇的供气气源或过渡气源、补充气源、调峰气源等，现在常为一些城镇所采用。

在一种基本燃气气源中加入另一种燃气或空气形成的掺混气，形式上是一种燃气与另一种燃气或空气的相互混合，而实质则是为调整燃气中 H_2 、 CH_4 、 N_2 、 C_3H_6 、 C_4H_{10} 、 C_3H_8 和空气等各主要组分比例关系，目的在于改变气源的热值和燃烧特性，达到燃气互换与燃具适应性的预期效果。掺混气的应用不仅提高了燃气的资源价值，也成为城镇燃气气源的一种类型。

组成掺混气的各类燃气，应符合国家标准的技术要求。另外，在设计时必须核算掺混气的爆炸极限。

各类城镇燃气的组分及低热值实例见表 1-1。

表 1-1 各类城镇燃气的组分及低热值

序号	燃 气 类 别	体 积 分 数 （ % ）									低热值/ (MJ/m ³)
		CH ₄	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C _m H _n	CO	H ₂	CO ₂	O ₂	N ₂	
一	天然气										
1	纯天然气	98	0.3	0.3	0.4					1.0	36.216
2	石油伴生气	81.7	6.2	4.86	4.94			0.3	0.2	1.8	45.469
3	凝析气田气	74.3	6.75	1.87	14.91			1.62		0.55	48.358
4	矿井气	52.4						4.6	7.0	36.0	18.841
二	人工煤气										
1	固体燃料干馏煤气										
(1)	焦炉煤气	27			2	6	56	3	1	5	18.254
(2)	连续式直立炭化炉煤气	18			1.7	17	56	5	0.3	2	16.161
(3)	立箱炉煤气	25				9.5	55	6	0.5	4	16.119
2	固体燃料汽化煤气										
(1)	压力汽化煤气	18			0.7	18	56	3	0.3	4	15.407
(2)	水煤气	1.2				34.4	52.0	8.2	0.2	4.0	10.383
(3)	发生炉煤气	1.8		0.4		30.4	8.4	2.4	0.2	56.4	5.903
3	油制气										
(1)	重油蓄热热裂解气	28.5			32.17	2.68	31.5	2.13	0.62	2.39	42.161
(2)	重油蓄热催化裂解气	16.5			5	17.3	46.5	7.0	1.0	6.7	17.543
4	高炉煤气	0.3				28.0	2.7	10.5		58.5	3.936
三	液化石油气（概略值）		50	50							108.438
四	掺混气										
1	液化石油气掺混空气		15	35					10.5	39.5	57.230
2	干馏煤气掺混水煤气	13			4	20	49	0.2	6.3	7.5	15.990
3	焦炉气掺混高炉气	18.7			2.0	9.3	50.6	4.7	0.7	14.0	15.062
五	沼气（生化气）	60				少量	少量	35	少量		21.771

二、天然气的应用

天然气是重要能源之一，越来越受到广泛重视，它不仅是重要能源，而且也是化工



原料。

国家发展和改革委员会于 2007 年发布《天然气利用政策的通知》2012 年又以 15 号令的形式再次明确天然气利用政策，政策明确规定：综合考虑天然气利用的社会效益、环境效益和经济效益以及不同用户的用气特点等各方面因素，天然气用户分为优先类、允许类、限制类和禁止类。

第一类：优先类

城市燃气：

1. 城镇（尤其是大中城市）居民炊事、生活热水等用气；
2. 公共服务设施（机场、政府机关、职工食堂、幼儿园、学校、医院、宾馆、酒店、餐饮业、商场、写字楼、火车站、福利院、养老院、港口、码头客运站、汽车客运站等）用气；

3. 天然气汽车（尤其是双燃料及液化天然气汽车），包括城市公交车、出租车、物流配送车、载客汽车、环卫车和载货汽车等以天然气为燃料的运输车辆；

4. 集中式采暖用户（指中心城区、新区的中心地带）；

5. 燃气空调；

工业燃料：

6. 建材、机电、轻纺、石化、冶金等工业领域中可中断的用户；

7. 作为可中断用户的天然气制氢项目；

其他用户：

8. 天然气分布式能源项目（综合能源利用效率 70% 以上，包括与可再生能源的综合利用）；

9. 在内河、湖泊和沿海航运的以天然气（尤其是液化天然气）为燃料的运输船舶（含双燃料和单一天然气燃料运输船舶）；

10. 城镇中具有应急和调峰功能的天然气储存设施；

11. 煤层气（煤矿瓦斯）发电项目；

12. 天然气热电联产项目。

第二类：允许类

城市燃气：

1. 分户式采暖用户；

工业燃料：

2. 建材、机电、轻纺、石化、冶金等工业领域中以天然气代油、液化石油气项目；

3. 建材、机电、轻纺、石化、冶金等工业领域中以天然气为燃料的新建项目；

4. 建材、机电、轻纺、石化、冶金等工业领域中环境效益和经济效益较好的以天然气代煤项目；

5. 城镇（尤其是特大、大型城市）中心城区的工业锅炉燃料天然气置换项目；

天然气发电：

6. 除第一类第 12 项、第四类第 1 项以外的天然气发电项目；

天然气化工：

7. 除第一类第 7 项以外的天然气制氢项目；



其他用户：

8. 用于调峰和储备的小型天然气液化设施。

第三类：限制类

天然汽化工：

1. 已建的合成氨厂以天然气为原料的扩建项目、合成氨厂煤改气项目；

2. 以甲烷为原料，一次产品包括乙炔、氯甲烷等化工项目；

3. 新建以天然气为原料的氮肥项目。

第四类：禁止类

天然气发电：

1. 陕、蒙、晋、皖等十三个大型煤炭基地所在地区建设基荷燃气发电项目，煤层气（煤矿瓦斯）发电项目除外；

天然汽化工：

2. 新建或扩建以天然气为原料生产甲醇及甲醇生产下游产品装置；

3. 以天然气代煤制甲醇项目。

由此可见，城市燃气被列为优先类，可优先用于城镇（尤其是大中城市）居民炊事、生活热水等用气；公共服务设施（职工食堂、幼儿园、学校、医院、宾馆、酒店、餐饮业、商场、火车站、福利院、养老院等）用气；天然气汽车；集中式采暖用户；燃气空调等。

国家政策将有力推动城镇燃气的发展。

国家在综合考虑天然气利用的社会效益、环境效益和经济效益以及不同用户的用气特点等方面因素，限制、禁止天然气在某些行业的发展，如限制天然汽化工以甲烷为原料，一次产品包括乙炔等化工产品的项目，新建以天然气为原料的氮肥项目等。禁止某些大型煤炭基地所在地区建设燃气发电项目（煤矿瓦斯发电除外），禁止新建或扩建以天然气为原料生产甲醇及甲醇生产下游产品装置等项目。

天然气的输送手段方面，除可以管道输送，还可采用压缩天然气（CNG）用气瓶车运输，也可经低温液化后成为液化天然气（LNG）采用槽船、槽车进行运输，再经汽化通过管道送至用户。

第二节 城镇燃气的分类与互换

城镇燃气习惯上按其成因的不同主要分为天然气、人工燃气、液化石油气和沼气等类型。不同类别燃气的组分、热值和燃烧特性等也各异。从应用的角度，如果以热值和燃烧特性作为特征对燃气进行适当的分类，使用户可以按不同的需求选择燃气类别，这对提高各类燃气的能源价值是十分有益的。

国际煤气工业联盟曾于1967年第十届国际煤气工业会议推荐将燃气分为三类，每类又分为几组：

第一类为人工燃气，华白指数为 $23.865 \sim 31.401 \text{ MJ/m}^3$ ($5700 \sim 7500 \text{ kcal/m}^3$)。它又分为三组：

A组 一般指煤制气、水煤气等热值较低的燃气（即贫煤气）或石油气与空气或贫煤



气的混合气体, 华白指数为 $23.865 \sim 28.052 \text{ MJ/m}^3$ ($5700 \sim 6700 \text{ kcal/m}^3$), 燃烧势大于 60。

B 组 (焦炉气) 华白指数为 $23.865 \sim 25.958 \text{ MJ/m}^3$ ($5700 \sim 6200 \text{ kcal/m}^3$), 燃烧势大于 60。

C 组 (空气与液化石油气或其他石油气的混合体) 华白指数为 $24.283 \sim 27.214 \text{ MJ/m}^3$ ($5800 \sim 6500 \text{ kcal/m}^3$), 燃烧势小于 60。

第二类是天然气, 华白指数为 $41.449 \sim 57.778 \text{ MJ/m}^3$ ($9900 \sim 13800 \text{ kcal/m}^3$)。

国际煤气工业联盟于 1970 年第十一届国际煤气工业会议修改了第二类燃气的分级, 将其分为两组:

H 组, 华白指数较高的天然气, 华白指数为 $48.148 \sim 57.987 \text{ MJ/m}^3$ ($11500 \sim 13850 \text{ kcal/m}^3$)。

L 组, 华白指数较低的天然气, 华白指数为 $41.282 \sim 47.311 \text{ MJ/m}^3$ ($9860 \sim 11300 \text{ kcal/m}^3$)。

第三类是液化石油气, 华白指数为 $77.456 \sim 92.424 \text{ MJ/m}^3$ ($18500 \sim 22075 \text{ kcal/m}^3$)。此类燃气虽然从规定上没有分组, 但实际中人们将它们分为两组。

商业丁烷: 以丁烷为主的混合气体;

商业丙烷: 以丙烷为主的混合气体。

华白数 W 是一项控制燃具热负荷状况的指数, 即发热指数, 按下式计算:

$$W = \frac{Q_h}{\sqrt{d}} \quad (1-1)$$

式中 W ——华白数 [MJ/m^3 (kcal/m^3)];

Q_h ——燃气高热值 [MJ/m^3 (kcal/m^3)], (华白数按燃气高热值计算);

d ——燃气相对密度 (空气相对密度为 1)。

燃烧势 CP 是燃烧速度指数。按下式计算:

$$CP = K \frac{1.0H_2 + 0.6(C_m H_n + CO) + 0.3CH_4}{\sqrt{d}} \quad (1-2)$$

$$K = 1 + 0.0054O_2^2 \quad (1-3)$$

式中 CP ——燃烧势;

H_2 ——燃气中氢含量 (体积分数);

$C_m H_n$ ——燃气中除甲烷以外的碳氢化合物含量 (体积分数);

CO ——燃气中一氧化碳含量 (体积分数);

CH_4 ——燃气中甲烷含量 (体积分数);

d ——燃气相对密度 (空气相对密度为 1);

K ——燃气中氧含量修正系数;

O_2 ——燃气中氧含量 (体积分数)。

随着社会的发展, 气体燃料的应用领域不断扩大, 掺混气的应用也拓宽了城镇燃气类型的多样化。这样, 便增加了用户从多种气源中合理地选择气源或更换气源的机会, 与此同时也产生了燃具对不同性质气源的适应性问题。

民用燃具都是按一定的燃气组分设计的, 也就是说燃具对燃气组分变化的适应范围有着一定的限度。对已定的燃具来说, 当燃气组分发生变化时, 燃气的热值、密度和燃烧特性等



也将随着改变,当其变化超过燃具的适应范围时,用户使用的燃具内的燃烧器便会反映出热负荷、一次空气系数、燃烧稳定性、火焰结构、烟气中一氧化碳含量等燃烧工况的改变,致使用户不能安全和经济地用气。

当城镇更换气源时遇有这种情况,使大范围的用户不得不更换燃具,这在技术上和经济上都是不可取的;然而,如果燃具对某种拟置换的气源有较好的适应性,使燃具仍可保持良好的燃烧效果,则可认为该气源对原气源具有互换性。例如,现行国家标准 GB/T 13611—2006《城市燃气分类和基本特性》(见表 1-2a)规定的 6T 为液化石油气混空气,其燃烧特性接近天然气。可见,在燃具不能适应拟置换的气源时,着手解决燃气的互换性是一条较好的途径。燃气的互换已成为城镇供气气源质量要求的一项指标。

不同类别的城镇燃气是否能形成互换是一个关键问题,各类城镇燃气,其内在的共性为,它们都是由可燃气体和惰性气体组成的,其主要成分不外乎如 H_2 、 CH_4 、 N_2 、 C_3H_6 、 C_3H_8 、 C_4H_{10} 和空气;而引起燃气间性质差异的因素,则是因为它们所含组分比例不同,其热值和燃烧特性等也随之不同。这就是说,如果改变燃气各组分间的比例关系,使其热值和燃烧特性在预想值的波动范围之内,它们之间便具有互换性。

如何判定两种燃气是否可以互换,希望有一个公式来加以计算,但由于影响燃气互换性的因素十分复杂,因此迄今为止尚不能从理论上推导出一个计算燃气互换指数的经验公式和图表,燃气互换指数只有通过实验手段来确定。目前民用燃具的品种繁多,但绝大多数都使用产生本生火焰的大气式燃烧器。因此,研究燃气的互换性和燃具适应性问题,就集中在燃气性质对本生火焰结构的影响,以及大气式燃烧器如何适应燃气性质改变的问题。一些国家在大量实验数据的基础上,总结出几种燃气互换指数的计算公式和图表,但由于各国对燃气互换性的要求不同,所进行的实验对象和深广程度也不同,因此各国所采取的燃气互换指数的计算公式和图表也不同。

根据我国的气源和居民用气情况,我国采取以燃气的燃烧特性指数,其中包括华白数 W (发热指数)和燃烧势 CP (燃烧速度指数)作为燃气互换指数,用以判定两种燃气是否可以互换的依据。

燃气的性质、燃具对燃气的适应性和燃气的互换性实质上均与燃气的组分有关。为提高燃气的标准化水平,遵循统一的燃气互换性指数,保证燃气用具在其适应的范围内工作,便于用户对各种不同燃具的选用和维修以及燃气用具产品的国内外流通,GB/T 13611—2006《城市燃气分类和基本特性》,表 1-2a 按我国城镇用气特点以不同的燃气组分、与其相应的燃烧特性指数以及应控制的波动范围等三种因素构成燃气分类的基准气和界限气,并依此分别对天然气、人工煤气和液化石油气三种基本燃气气源进行进一步分类。也就是说燃气分类的技术要求为:城镇燃气应按燃气类别及其燃烧特性指数(华白数 W 和燃烧势 CP)分类,并应控制其波动范围,表 1-2a 中所列华白数的范围是指 GB/T 13611—2006 规定的最大允许波动范围。但作为商品天然气供给作城镇燃气时,应适当留有余地。以常见的天然气 10T 和 12T 作为城镇燃气商品气时,表 1-2b 可作为确定商品天然气华白数波动范围的参考。另外,天然气 10T 和 12T (相当于国际煤气工业联盟标准的 L 类和 H 类),其成分主要由甲烷和少量惰性气体组成,燃烧特性比较类似,一般可用单一参数(华白数)判定其互换性。



表 1-2a 城市燃气的分类（干，0℃，101.3kPa）

类 别		华白数 $W/ [MJ/m^3 (kcal/m^3)]$		燃烧势 CP	
		标 准	范 围	标 准	范 围
人工煤气	5R	22.7(5430)	21.1(5050) ~ 24.3(5810)	94	55 ~ 96
	6R	27.1(6470)	25.2(6017) ~ 29.0(6923)	108	63 ~ 110
	7R	32.7(7800)	30.4(7254) ~ 34.9(8346)	121	72 ~ 128
天然气	4T	18.0(4300)	16.7(3999) ~ 193(4601)	25	22 ~ 57
	6T	26.4(6300)	24.5(5895) ~ 28.2(6714)	29	25 ~ 65
	10T	43.8(10451)	41.2(9832) ~ 47.3(11291)	33	31 ~ 34
	12T	53.5(12768)	48.1(11495) ~ 57.8(13796)	40	36 ~ 88
	13T	56.5(13500)	54.3(12900) ~ 58.8(14040)	41	40 ~ 94
液化石油气	19Y	81.2(19387)	76.9(18379) ~ 92.7(22152)	48	42 ~ 49
	22Y	92.7(22152)	76.9(18379) ~ 92.7(22152)	42	42 ~ 49
	20Y	84.2(20113)	76.9(18379) ~ 92.7(22152)	46	42 ~ 49

表 1-2b 10T 和 12T 天然气华白数波动范围（单位：MJ/m³）

类 别	标准（基准气）	GB/T 13611—2006 范围		城镇燃气商品气范围	
10T	43.8	41.2 ~ 47.3	-5.94% ~ 8.00%	42.49 ~ 45.99	-3% ~ 5%
12T	53.5	48.1 ~ 57.8	-10.1% ~ 8.0%	50.83 ~ 56.18	-5% ~ 5%

GB/T 13611 适用于供城镇作燃料使用的各种燃气的分类，要求各地供应的城镇燃气（应按基准气分类）的热值和组分应相对稳定，偏离基准气的波动范围不应超过燃气用具适应性的允许范围，也就是要符合城镇燃气互换的要求。对于城镇供气的主气源必须对基准气具有互换性。

GB/T 13611 所表达的分类指标是数据化的，不仅提高了燃气的标准化水平，规范并统一了各类燃气互换性指数，而且对于提高燃气管道运行系统的安全性是很有意义的。

第三节 单一气体的基本性质

燃气组成中常见的低级烃和某些单一气体的基本性质分别见表 1-3 和表 1-4。

表 1-3 某些低级烃的基本性质（0℃，101.3kPa）

气 体	甲烷	乙烷	乙烯	丙烷	丙烯	正丁烷	异丁烷	正戊烷
分子式	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	C ₃ H ₆	C ₄ H ₁₀	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂
相对分子质量 M	16.0430	30.0700	28.0540	44.0970	42.0810	58.1240	58.1240	72.1510
摩尔体积 $V_m/(m^3/mol)$	22.3621	22.1872	22.2567	21.9362	21.990	21.5036	21.5977	20.891
密度 $\rho/(kg/m^3)$	0.7174	1.3553	1.2605	2.0102	1.9136	2.7030	2.6912	3.4537
气体常数 $R/(J/kg \cdot K)$	517.00	273.66	294.24	184.51	193.82	137.22	137.82	107.39
临界参数								
临界温度 $t_c/℃$	-82.1	32.3	9.8	95.7	91.6	152.8	134.0	197.2



(续)

气 体	甲烷	乙烷	乙烯	丙烷	丙烯	正丁烷	异丁烷	正戊烷
临界压力 P_c/MPa	4.64	4.88	5.34	4.40	4.76	3.62	3.66	3.34
临界密度 $\rho_c/(\text{kg}/\text{m}^3)$	162	210	220	226	232	225	221	232
热值								
高热值 $Q_h/(\text{MJ}/\text{m}^3)$	39.842	70.351	63.438	101.266	93.667	133.885	133.048	169.377
低热值 $Q_l/(\text{MJ}/\text{m}^3)$	35.902	64.397	59.478	93.240	87.667	123.649	122.853	156.733
爆炸极限 ^①								
爆炸下限 L_l (%) (体积分数)	5.0	2.9	2.7	2.1	2.0	15	1.8	1.4
爆炸上限 L_h (%) (体积分数)	15.0	13.0	34.0	9.5	11.7	8.5	8.5	8.3
粘度								
动力粘度 $\mu/(\times 10^6 \text{Pa} \cdot \text{s})$	10.40	8.60	9.32	7.50	7.65	6.84	—	6.36
运动粘度 $\nu/(\times 10^6 \text{m}^2/\text{s})$	14.50	6.41	7.46	3.81	3.99	2.53	—	1.85
无因次系数 C	164	252	225	278	321	377	368	383

① 在常压和 20℃ 条件下，可燃气体在空气中的体积分数。

表 1-4 某些气体的基本性质 (0℃, 101.3kPa)

气 体	一氧化碳	氢	氮	氧	二氧化碳	硫化氢	空气	水蒸气
分子式	CO	H ₂	N ₂	O ₂	CO ₂	H ₂ S		H ₂ O
相对分子质量 M	28.0104	2.0160	28.0134	31.9988	44.0098	34.076	28.966	18.015
摩尔体积 $V_m/(\text{m}^3/\text{mol})$	22.3984	22.427	22.403	22.3923	22.2601	22.1802	22.4003	21.629
密度 $\rho/(\text{kg}/\text{m}^3)$	1.2506	0.0899	1.2504	1.4291	1.9771	1.5363	1.2931	0.833
气体常数 $R/(\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K})$	296.57	4125.61	296.62	259.53	187.59	241.42	286.82	445.25
临界参数								
临界温度 $t_c/^\circ\text{C}$	-140.15	-239.83	-146.95	-118.35	31.05		-140.65	373.85
临界压力 P_c/MPa	3.38	1.26	3.29	4.91	7.15		3.65	21.41
临界密度 $\rho/(\text{kg}/\text{m}^3)$	300.86	31.015	310.91	430.00	468.19		320.07	321.70
热值								
高热值 $Q_h/(\text{MJ}/\text{m}^3)$	12.636	12.745				25.347		
低热值 $Q_l/(\text{MJ}/\text{m}^3)$	12.636	10.785				23.367		
爆炸极限 ^①								
爆炸下限 L_l (%) (体积分数)	12.5	4.0				4.3		
爆炸上限 L_h (%) (体积分数)	74.2	75.9				45.5		
粘度								
动力粘度 $\mu/(\times 10^6 \text{Pa} \cdot \text{s})$	162.6	81.5	163.6	190.5	137.6	114.4	168.4	82.8
运动粘度 $\nu/(\times 10^6 \text{m}^2/\text{s})$	13.30	93.00	13.30	13.60	7.09	7.63	13.40	10.12
无因次系数 C	104	81.7	112	131	266		122	

① 在常压和 20℃ 条件下，可燃气体在空气中的体积分数。