

QUANGUO KANCHASHIJI GONGYONG SHEBEI GONGCHENGSHIJI GONGYONG ZHUANYE KAOSHI FUXI JIAOCAI

全国勘察设计

注册公用设备工程师

动力专业

考试复习教材

全国勘察设计注册工程师公用设备专业管理委员会秘书处 编

 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS



全国勘察设计注册公用设备
工程师动力专业

考试复习教材

全国勘察设计注册工程师公用设备专业管理委员会秘书处 编



机械工业出版社

本教材以《全国勘察设计注册公用设备工程师动力专业考试大纲》为依据,以注册工程师应掌握的专业基本知识为重点,紧密联系工程实践,运用设计规范、标准,融理论性、技术性、实用性为一体,不仅对本专业技术人员有指导意义,对高等院校师生也有帮助。

图书在版编目(CIP)数据

全国勘察设计注册公用设备工程师动力专业考试复习教材/全国勘察设计注册工程师公用设备专业管理委员会秘书处编. —北京:机械工业出版社,2004.3

ISBN 7-111-13506-7

I.全… II.全… III.公用事业-基础设施-建筑设计-工程师-资格考核-自学参考资料
IV.TU99

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 019791 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:杨少彤 版式设计:霍永明 责任校对:刘志文 陈延翔

责任印制:施红

北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm $1/16$ ·67 印张·1747 千字

0 001—7 000 册

定价:130.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

《全国勘察设计注册公用设备工程师动力专业考试复习教材》是根据人事部、建设部 2001 年发布的《勘察设计注册工程师制度总体框架及实施规划》(人发[2001]5 号)、2003 年发布的《注册公用设备工程师执业资格制度暂行规定》(人发[2003]24 号)等文件的统一部署和安排,由全国勘察设计注册工程师公用设备专业管理委员会及其秘书处组织动力专业部分资深专家、教授编写的复习辅导教材,供动力专业技术人员参加执业资格专业考试复习使用。

本复习教材的内容分为三篇,篇章名称、编者姓名、编者所在单位分别是:

第一篇 热力

第一章 燃料与燃烧 叶全乐(中机国际工程设计研究院) 史华光(中国联合工程公司)

第二章 锅炉原理 王瑞君(北京理工大学) 李定凯(清华大学) 马宪国(上海理工大学)

第三章 汽轮机原理 汪本尧(河北省电力勘测设计研究院)

第四章 锅炉房工艺设计 刘宗仁(中国天辰化学工程公司) 潘善明(中国航空工业规划设计研究院) 舒宗汉、吴正宽(北京钢铁设计研究总院) 李春林(中元国际工程设计研究院)

第五章 汽机房工艺设计 彭方(北京国电华北电力工程公司)

第六章 热力网与热力站 孙振安(五洲工程设计研究院) 吴玉环(北京市煤气热力工程设计院)

第二篇 燃气

第七章 制气原料的特性和评价 张秋民(大连理工大学) 沈余生(中国市政工程华北设计研究院)

第八章 制气原理及工艺 陶益新、钱理业(鞍山焦化耐火材料设计研究院) 裴忠勋(中元国际工程设计研究院) 沈余生(中国市政工程华北设计研究院)

第九章 煤气净化、化产回收与加工 高克萱、高家生(鞍山焦化耐火材料设计研究院)

第十章 城镇燃气输配 邵玉祥、冯长海、张洪鹏(中国市政工程华北设计研究院) 黎光华(北京建筑工程学院)

第十一章 燃气燃烧与应用 付忠诚(北京建筑工程学院)

第十二章 工程设计 陶益新、钱理业、高克萱、高家生(鞍山焦化耐火材料设计研究院) 裴忠勋(中元国际工程设计研究院) 沈余生、张洪鹏、邵玉祥、冯长海、高勇(中国市政工程华北设计研究院) 付鑫泉、曾建忠(北京钢铁设计研究总院)

第三篇 气体

第十三章 气体压缩机 张洪雁(中国航天建筑设计研究院)

第十四章 制冷和低温 陈光明(浙江大学制冷与低温研究所)

第十五章 供气制冷工程设计 杨涌源(武汉钢铁设计研究院)

教材审核:熊维蓉、盛传红、姜夔琦(中元国际工程设计研究院) 王昌道(中国市政工程华北设计研究院) 陈霖新(中国电子工程设计院)

本复习教材以《全国勘察设计注册公用设备工程师动力专业考试大纲》为依据,以注册工程师应掌握的专业基本知识为重点,紧密联系工程实践,运用设计规范、标准,融理论性、技术

性、实用性为一体，力求准确体现考试大纲中“了解、熟悉、掌握”三个不同层次的要求，不仅对参加执业资格考试人员复习后能系统掌握专业知识和正确运用设计规范、标准处理工程实际问题的综合分析、应用能力有所助益，而且可以作为本专业技术人员从事工程咨询设计、工程建设项目管理、专业技术管理的辅导读本和高等学校师生教学、学习的参考用书。

本复习教材编写的主要参考书是我国现行的高等学校推荐教材和国家有关的工程建设标准，以及动力专业的设计手册、参考资料等。参加本复习教材的编写专家，以其强烈的责任感、深厚的理论造诣、丰富的工程实践经验以及对规范、标准的准确理解，对复习教材字斟句酌、精心编撰，付出了辛勤劳动。我们对各位作者付出的辛勤劳动表示深切的谢意，编者所在单位对编写工作也给予了热忱的关心和帮助，对他们的全力支持表示衷心的感谢。

由于本复习教材是首次编写，加之时间仓促，难免有不妥和错误之处，诚望广大读者提出宝贵意见，以便再版时修改完善。

**全国勘察设计注册工程师
公用设备专业管理委员会秘书处**

目 录

前言

第一篇 热 力

第一章 燃料与燃烧	1	思考题	69
第一节 燃料	1	第四节 锅炉水动力学	69
一、燃料分类及其性质	1	一、水动力学的基本概念	69
二、燃料的成分和成分分析	7	二、自然循环回路的工作特性	71
三、发热量	9	三、自然循环回路的设计原则	74
四、我国常用燃料的特性	11	四、热水锅炉的工作特性	76
第二节 燃烧基本概念	18	思考题	77
一、燃烧的基本原理	18	第五节 锅炉的强度计算	77
二、气体燃料的燃烧	19	一、元件强度的常规计算	77
三、液体燃料(油)的燃烧	22	二、系统的强度	83
四、固体燃料(煤)的燃烧	24	思考题	84
五、燃烧污染物的生成机理	27	第三章 汽轮机原理	85
第三节 燃烧计算	28	第一节 汽轮机级的工作原理	85
一、燃烧空气量计算	28	一、概述	85
二、燃烧产物烟气量的计算	30	二、蒸汽在喷嘴和动叶通道中的 流动过程	86
三、烟气焓的计算	32	三、冲动式与反动式汽轮机	87
思考题	36	思考题	91
第二章 锅炉原理	37	第二节 多级汽轮机	91
第一节 概述	37	一、多级汽轮机的技术特点	91
一、锅炉的类型和分类	37	二、汽轮机及其装置的评价指标	95
二、锅炉的工作原理	40	三、汽轮机的分类及选用	98
思考题	49	思考题	102
第二节 锅炉的热平衡	50	第三节 汽轮机的变工况特性	102
一、锅炉的热平衡组成及热效率	50	一、汽轮机的负荷特性	102
二、带入锅炉的热量 Q_2	50	二、关于滑压运行	105
三、锅炉的有效利用热 Q_1	52	三、供热汽轮机的工况图	106
四、锅炉的热损失	52	思考题	108
五、锅炉热平衡测试	58	第四节 汽轮机的凝汽设备	108
思考题	64	一、凝汽设备的工作原理	108
第三节 锅炉受热面的结构布置	64	二、管束布置及真空除氧	111
一、辐射受热面的结构及布置	64	三、抽气器	112
二、对流受热面的结构及布置	66		

思考题	114	思考题	215
第五节 汽轮机辅助系统	114	第七节 灰渣贮运系统	216
一、轴封系统	114	一、除灰渣系统的选择	216
二、油系统	115	二、灰渣贮运	217
三、冷却供水系统	117	三、除灰渣系统设计与主要计算	218
思考题	122	思考题	222
第四章 锅炉房工艺设计	123	第八节 热水供热系统	222
第一节 锅炉房布置	123	一、概述	222
一、锅炉房位置的选择	123	二、热水锅炉供热系统形式	223
二、多层或高层建筑内锅炉房布置	123	三、热水系统的定压及补水	223
三、锅炉房布置的一般原则	124	思考题	230
四、锅炉间的设备布置	124	第九节 锅炉烟气净化	230
思考题	126	一、有关锅炉烟气排放的标准和规定	230
第二节 锅炉选择	127	二、锅炉大气污染物排放量和排放浓度	230
一、供热介质和参数的选择	127	的计算	230
二、锅炉设备选择原则	128	三、锅炉大气污染物防治原理、技术	232
三、锅炉台数的确定	129	特点与选用要求	232
思考题	129	思考题	234
第三节 锅炉烟风系统	129	第五章 汽机房工艺设计	235
一、风机选择原则	129	第一节 发电厂热力系统	235
二、风机选择计算	129	一、发电厂原则性热力系统	235
三、风烟管道设计及计算	132	二、发电厂全面性热力系统	240
四、烟囱的计算	134	三、凝汽式发电机组的总效率	252
思考题	136	思考题	255
第四节 锅炉给水处理	138	第二节 热力系统主要设备选择	255
一、锅炉水质标准	138	一、除氧器	255
二、锅外水处理	143	二、给水泵	255
三、锅内水处理	161	三、减压减温器	256
四、给水除氧系统	163	四、疏水扩容器	257
五、锅炉排污	171	五、热网加热器	257
思考题	174	思考题	257
第五节 锅炉给水设备	175	第三节 供热机组的热经济性指标	257
一、锅炉给水泵和给水箱	175	一、概述	257
二、凝结水泵和凝结水箱	178	二、热电联产的总热效率	257
思考题	179	三、热电联产热电比	258
第六节 锅炉房燃料贮运系统	179	四、热电成本分摊比	258
一、燃煤锅炉房的贮运煤系统	179	五、热化发电率	259
二、煤粉制备	191	思考题	259
三、燃油燃气锅炉房的燃油贮运和		第四节 发电厂汽水管道设计	259
燃烧设施	200	一、概述	259

二、管子的选择	262	思考题	363
三、管道附件的选择	265	第五节 管子和管道附件	363
四、管道及附件的布置	269	一、管子和管道附件的标准化	363
五、水力计算	278	二、管子	365
六、支吊架设计	281	三、常用阀件	366
思考题	290	思考题	371
第五节 发电厂主厂房布置	291	第六节 管道保温及防腐	371
一、主厂房布置的原则和形式	291	一、概述	371
二、主厂房的设备布置	293	二、保温材料	371
思考题	307	三、管道保温结构	372
第六章 热力网及热力站	308	四、保护层	373
第一节 热力管道的布置及敷设	308	五、金属腐蚀、涂料及防腐	374
一、热力管道的布置原则	308	思考题	374
二、热力管道的敷设方式	308	第七节 热力站	374
三、架空敷设	309	一、热力站的规模	375
四、地沟敷设	310	二、热力站的连接方式	375
五、直埋敷设	311	三、换热器的选择	375
思考题	318	四、水泵选择	382
第二节 热力管道系统	318	五、间接连接的采暖系统的定压	382
一、热力管道种类及其参数	318	六、直接连接的采暖系统采用的 混水装置	382
二、热力管道系统	318	七、用户回水加压泵	383
思考题	325	八、凝结水回收	383
第三节 热力管道水力计算	325	九、热力站设计的其他要求及 注意事项	383
一、概述	325	思考题	384
二、热负荷	325	第八节 热力网的供热调节	395
三、常用流速和粗糙度	336	一、运行调节的基本方程式	385
四、管径和压力损失计算	337	二、质调节	386
五、水压图	339	三、量调节	388
思考题	345	四、分阶段改变流量的质调节	389
第四节 管道热伸长及伸缩器	345	五、间歇调节	390
一、管道热伸长的计算	345	思考题	395
二、管道热补偿	346	参考文献	396
三、管道固定支架间距的确定	348		
四、支架荷载计算	349		
五、固定支架推力计算	353		

第二篇 燃 气

第七章 制气原料的特性和评价	399	二、衡量、评价煤质的特性指标 和方法	402
第一节 煤炭	399	三、炼焦制气用煤的工艺特性	415
一、中国煤炭的分类	399		

四、气化用煤的工艺特性	421	二、轻油间歇循环催化裂解制气原理 及工艺	486
思考题	426	三、天然气间歇循环催化改制原理 及工艺	492
第二节 油制气原料及其他		思考题	494
改制原料	427	第九章 煤气净化、化产回收与加工 ..	495
一、重油制气原料与选择	427	第一节 焦炉煤气和化学产品的生成、 组成和产率	495
二、轻油制气原料与选择	430	一、炼焦化学产品的生成	495
三、天然气改制的原料要求	432	二、煤气组成及化学产品产率	495
思考题	432	三、粗煤气露点	496
第三节 天然气、液化石油气、 矿井气、沼气的来源	432	四、净煤气	496
一、天然气	432	思考题	496
二、液化石油气	432	第二节 煤气净化流程	497
三、矿井气	432	一、煤气净化工艺技术概述	497
四、沼气	433	二、国内采用的几种煤气净化流程	497
思考题	433	思考题	499
第八章 制气原理及工艺	434	第三节 煤气的冷凝冷却和输送	500
第一节 炼焦制气原理及工艺	434	一、粗煤气在集气管内冷却	500
一、煤的成焦过程及气体析出途径	434	二、煤气初冷、焦油氨水分离工艺及 主要设备	500
二、炼焦用煤的基本要求、配煤和 焦炭质量	436	三、煤气输送和焦油雾、萘杂质的 脱除	504
三、现代焦炉的结构、特点和主 要附属设备	440	思考题	507
四、焦炉的物料平衡和热平衡计算	448	第四节 煤气的脱氨及硫铵的制取 ..	507
五、焦炉流体力学基础	450	一、饱和器生产硫铵的工艺原理 及流程	507
思考题	455	二、喷淋酸洗塔法生产硫铵工艺	510
第二节 煤炭气化原理及工艺	455	三、剩余氨水加工及浓氨水、无水 氨制取	510
一、连续与间歇煤制气气化原理及 基本过程	455	思考题	513
二、气化用煤的选择原则和基本要求 ..	456	第五节 煤气的脱苯及苯回收	514
三、普通煤气发生炉、水煤气发生炉、 两段煤气发生炉、两段水煤气 发生炉等的特点和结构	459	一、粗苯的组成和性质	514
四、气化过程计算	467	二、煤气最终冷却	514
五、气化工艺流程	470	三、用洗油吸收煤气中的苯族烃	515
六、气化煤气站主要附属设备	474	思考题	518
思考题	482	第六节 煤气脱硫脱氰的方法	518
第三节 油制气和天然气改质制气 原理及工艺	483	一、干法脱硫	518
一、重油间歇循环催化裂解制气原理 及工艺	483	二、湿法脱硫	519
		思考题	523

第七节 苯精制和焦油加工的 基本概念	523	二、低压储气罐	590
一、苯精制	523	三、高压储气罐	596
二、焦油加工	525	四、燃气增压机	598
三、沥青冷却及深加工	527	思考题	601
思考题	528	第十一章 燃气燃烧与应用	602
第十章 城镇燃气输配	529	第一节 燃气燃烧	602
第一节 城镇燃气的质量要求	529	一、燃气的燃烧计算	603
一、城镇燃气的分类	529	二、燃气燃烧反应动力学	608
二、城镇燃气的质量要求	529	三、燃气燃烧的火焰传播	611
三、天然气、液化石油气、人工煤气 国家标准	530	四、燃气燃烧的方法	614
思考题	532	思考题	616
第二节 燃气的基本性质	532	第二节 燃气燃烧器	616
一、混合物组分的表示方法和 组分换算	534	一、燃烧器的分类与技术要求	616
二、混合物物理、热力和燃烧 性质的计算	536	二、扩散式燃烧器	617
思考题	558	三、大气式燃烧器	618
第三节 城镇燃气用气量和 用气指标	558	四、完全预混式燃烧器	622
一、城镇燃气用气量	558	思考题	626
二、燃气用户用气指标	559	第三节 燃气互换性	626
三、年用气量	560	一、燃气互换性和燃具适应性	626
思考题	561	二、华白数和燃烧势	627
第四节 城镇燃气的用气工况	561	三、燃气互换性原理	628
一、不均匀系数的确定	561	四、城市燃气的分类	629
二、燃气管道计算流量确定	564	思考题	631
思考题	564	第十二章 工程设计	632
第五节 燃气管道水力计算	565	第一节 气源工程设计	632
一、燃气管道水力计算公式	565	一、炼焦制气厂	632
二、燃气管道起点和终点压力的确定	574	二、煤气化厂及煤气站	667
三、燃气管道计算	576	三、油煤气及天然气、液化石油 气改制厂	674
思考题	582	思考题	691
第六节 燃气压力调节和计量原理	582	第二节 城镇燃气输配	693
一、燃气压力调节及调压器的构造	582	一、天然气门站设计	693
二、计量器作用原理	587	二、储配站工艺设计	715
思考题	589	三、城镇燃气输配管网系统设计	719
第七节 燃气储配站	589	四、燃气管道设计	724
一、概述	589	五、调压站设计	733
		思考题	743
		第三节 液化石油气供应	744
		一、液化石油气运输	745
		二、液化石油气供应基地	750

三、液化石油气气化站	764	第五节 钢铁企业副产煤气的回收和利用	803
四、液化石油气混气站	771	一、绪论	803
五、液化石油气瓶组气化站	776	二、煤气平衡的编制	810
六、相关专业的安全防火设计要点	779	三、高炉煤气净化及余压透平发电设施	812
思考题	781	四、转炉煤气净化回收储配设施	822
第四节 室内燃气设施及安全设计	781	五、煤气储气柜和煤气燃烧放散塔	828
一、室内燃气管道	781	六、煤气混合站和加压站	839
二、室内燃气设备布置	791	七、煤气管道	844
三、燃烧烟气的排除	794	思考题	850
四、燃气的安全监控设施	802	参考文献	852
思考题	802		
第三篇 气 体			
第十三章 气体压缩机	855	第一节 制冷与低温的热力学基础	903
第一节 压缩机的分类及其用途	855	一、相变制冷	903
一、压缩机的种类	855	二、气体绝热膨胀制冷	904
二、压缩机的应用	859	三、制冷循环热力学特性分析	905
思考题	859	思考题	910
第二节 活塞式压缩机	860	第二节 制冷与低温工质性质	910
一、压缩机级的理论循环	860	一、概述	910
二、压缩机级的实际循环	862	二、流体物性计算的热力学基础	912
三、多级压缩	865	三、制冷与低温工质的热力性质及其计算方法	916
四、压缩机的热力性能	867	四、制冷与低温工质的物理化学性质	916
五、密封与润滑	873	五、常用制冷与低温工质	918
六、压缩机的附属设备	876	六、载冷剂	921
思考题	876	七、工质与润滑油	921
第三节 螺杆式压缩机	877	思考题	922
一、基本结构和工作原理	877	第三节 蒸气制冷循环	923
二、螺杆式压缩机的特点、分类和应用	879	一、单级蒸气压缩制冷循环	923
三、热力性能计算	881	二、两级蒸气压缩制冷循环	931
四、螺杆式压缩机机组系统设计	887	三、复叠式制冷循环	937
思考题	890	四、蒸气吸收制冷循环	938
第四节 离心式压缩机	890	思考题	942
一、离心式压缩机的工作原理	890	第四节 气体的制冷和液化循环	943
二、离心式压缩机级内性能参数和轴功率	893	一、一次节流循环	943
三、性能曲线与调节	897	二、有预冷的一次节流循环	945
思考题	901	三、二次节流循环	947
第十四章 制冷与低温	903	四、等熵膨胀循环	948
		五、等焓膨胀和等熵膨胀的组合循环	950

六、复叠液化循环	952	三、压缩空气站的布置	995
思考题	953	四、制冷站的布置	997
第五节 气体分离的原理与方法	953	思考题	997
一、气体的理想分离	953	第五节 供气设备	998
二、气体分离原理	955	一、空气分离设备	998
三、空气分离系统	963	二、制氢设备	1004
四、气体分离的其他方法	965	三、空压站设备	1010
思考题	967	思考题	1011
第六节 制冷与低温循环的热力学		第六节 气体贮存、灌装及运输	
第二定律分析	967	设备	1011
一、焓分析法	968	一、气体贮罐	1011
二、焓分析法	970	二、灌装设备	1014
思考题	974	三、运输设备	1015
第十五章 供气制冷工程设计	975	思考题	1018
第一节 常用气体用途及气体品质	975	第七节 供气站的管网设计	1019
一、各行业的气体用途	975	一、气体管网的布置与敷设	1019
二、用气品质	979	二、管道的水力计算	1021
思考题	982	三、管道的热补偿	1023
第二节 用量平衡与供气站、制冷站的		四、管道支架的跨距及荷载	1027
规模确定	982	五、管道强度计算和应力验算	1034
一、氧气平衡与空分装置能力确定	982	六、管材及主要附件的选择	1036
二、氢气平衡与制氢装置的能力确定	984	七、特殊管道系统	1040
三、空压站供气能力的确定	985	思考题	1047
四、制冷站供冷能力的确定	986	第八节 供气站及管网系统的施工	
思考题	986	安装及验收	1047
第三节 供气系统	986	一、供气站的安装及验收	1047
一、氧、氮、氩供气系统	986	二、供气站管道的安装及验收	1048
二、氢气供气系统	987	思考题	1050
三、保护气体供气系统	987	第九节 供气站的防火防爆和	
四、压缩空气供气系统	988	噪声控制	1050
思考题	990	一、防火防爆	1050
第四节 供气站、制冷站的平面		二、噪声控制	1051
布置	990	思考题	1057
一、氧气站的平面布置	990	参考文献	1058
二、氢气站的平面布置	994		

第一篇 热 力

第一章 燃料与燃烧

第一节 燃 料

化石燃料(煤、石油和天然气)作为一次能源,在整个国民经济的能源供应中占有重要的地位。了解其基本特性和燃烧的基本理论,对于每个动力工程师都是必要的。

一、燃料分类及其性质

化石燃料按其存在形态可以分为固体、液体和气体燃料三类。在我国常用的固体燃料是煤,液体燃料有重油、渣油和柴油,气体燃料按其获取的方式分为天然气和人工煤气。

三类燃料所具有的物理、化学、工艺性质内容很广,本节仅对各类燃料中对工程设计影响较大的性质作简要介绍。

(一) 固体燃料(煤)的性质

1. 密度 煤的密度有真(相对)密度、视(相对)密度和堆积密度之分。堆积密度是指单位容积所装载的散装煤炭的质量,即

$$\text{堆积密度} = \frac{G}{V} \quad (1-1)$$

式中 G ——散煤质量(t);

V ——容积(m^3)。

表 1-1 列出了各种煤和煤灰的堆积密度和安息角。

表 1-1 煤和煤灰的堆积密度和安息角

名 称	堆积密度 /(t/m^3)	安息角/($^\circ$)		名 称	堆积密度 /(t/m^3)	安息角/($^\circ$)	
		运 动	静 止			运 动	静 止
无烟煤(干)	0.7~1.0	27~30	27~45	木炭	0.2~0.4		
烟煤	0.8	30	35~45	无烟煤粉	0.84~0.89		37~45
褐煤	0.6~0.8	30	35~50	烟煤粉	0.4~0.7		37~45
泥煤	0.29~0.5	40	45	煤灰(干)	0.64~0.72		35~45
泥煤(湿)	0.55~0.65	40	45	煤灰	0.7		15~20
焦炭	0.36~0.53	35	50				

2. 煤的热稳定性 煤的热稳定性是指煤块在加热时保持原有粒度的性能。热稳定性好的煤在燃烧或气化过程中不破碎或破碎较少。锅炉或煤气发生炉如使用热稳定性差的煤,将导致

煤层气流阻力增加, 气流带出物(飞灰量)增加, 甚至形成风沟和结渣, 使燃烧或气化不能正常进行。

3. 煤的可磨性 煤的可磨性是指煤研磨成粉的难易程度。煤的可磨性主要与煤的煤化程度有关。一般说来, 焦煤和肥煤可磨性指数较高, 容易磨细; 无烟煤、褐煤可磨性指数较低, 不易磨细。当水分和灰分增加时, 其可磨性指数就越低。

4. 煤的粘结性和结焦性 煤的粘结性是指煤在隔绝空气受热后能否粘结其本身或惰性物质(即无粘结能力的物质)或焦炭的性质; 煤的结焦性是指煤粒在隔绝空气受热后能否生成优质焦炭(即焦炭的强度和块度符合冶金焦的要求)的性质。

粘结性强是结焦性好的必要条件, 即结焦性好的煤其粘结性也好, 但粘结性好的煤, 结焦性不一定好。例如气肥煤, 其粘结性很好, 但生成的焦炭裂隙多、强度差, 故结焦性不好。

5. 煤的结渣性 煤的结渣性是反映煤灰在燃烧或气化过程中的成渣特性。对于煤的燃烧与气化(尤其是固定床), 结渣率高都是不利的, 会造成气流分布不匀, 给操作造成困难, 增加灰渣中的含炭量等。

影响结渣性的主要因素是煤灰分和灰熔点。煤的灰分高、灰熔点低, 结渣率就高。此外, 煤灰周围的气氛对结渣性也有影响, 还原气氛下的结渣率就高于氧化气氛下的。

6. 煤灰的熔融性 煤的灰分是煤在完全燃烧后形成的残渣, 主要成分是煤中矿物质燃烧后生成的金属和非金属的氧化物与盐类, 是多种成分的复合化合物和混合物, 因此它没有明显的由固相转化为液相的熔点, 从开始熔融到完全熔融, 要经过一个较大的温度区域, 一般测定它的三个熔融特征温度: 变形温度(DT)、软化温度(ST)和流动温度(FT)。

影响灰熔点的因素很多, 主要与煤灰的组成成分和煤灰周围燃烧介质气氛有关。煤灰中熔点高的物质愈多, 灰熔点愈高; 煤灰周围介质还原性气体存在时, 灰熔点会降低。

(二) 液体燃料的性质

1. 粘度 流体本身阻滞其质点相对滑动的性质称为流体的粘性。油的粘度表示油对它本身的流动所产生的阻力大小, 是用来表征油的流动性的指标, 对油的输送、雾化和燃烧有直接影响。

粘度的大小可用动力粘度(绝对粘度)、运动粘度和恩氏粘度(条件粘度)来表示。

动力粘度 η 与运动粘度 ν 间的换算关系

$$\eta = \nu \rho \quad (1-2)$$

式中 η ——动力粘度(Pa·s);

ν ——运动粘度(m²/s);

ρ ——密度(kg/m³)。

运动粘度与恩氏粘度间的换算关系

$$\nu = \left(7.31^\circ\text{E} - \frac{6.31}{^\circ\text{E}} \right) \times 10^{-6} \quad (1-3)$$

式中 ν ——运动粘度(m²/s);

$^\circ\text{E}$ ——恩氏粘度($^\circ\text{E}$)。

影响燃油粘度的因素很多, 主要是燃油成分和温度。燃油中胶状物含量愈多, 粘度就愈大; 油温愈高, 则粘度愈低。

2. 凝固点 燃油由液态凝成固态时的温度叫凝固点。凝固点是表征与燃油的输送密切相关的一个重要技术指标。燃油的凝固点与燃油产品中的石蜡含量有关, 含蜡量高, 凝固点愈

高。

3. 闪点、燃点和自燃点 闪点、燃点和自燃点是有关燃油着火燃烧的特性指标,是衡量燃油贮运安全密切相关的指标。

(1) 闪点。燃油加热到某一温度时,表面蒸发的油气增多,当油气和空气的混合物与明火接触时,发生短暂的闪光(一闪即灭),此时的温度即为闪点。闪点是表示燃油的着火性能和爆炸危险的一项重要指标。闪点按测定方法不同有开口杯法和闭口杯法两种,一般开口杯法测定的闪点要比闭口杯法的高 15~25℃之间。

闪点是用于油品分类和 GBJ16—1987《建筑设计防火规范》(2001 年版)中对油品火灾危险性分类的一个指标,见表 1-2。

表 1-2 油品闪点分类

油品等级	闪点/℃	油品名称	油品火灾危险性分类	
一级	< 28	汽油、苯等	甲类闪点 < 28℃	易燃液体
二级	28 ~ 45	原油、煤油等	乙类 28℃ ≤ 闪点 < 60℃	可燃液体
三级	45 ~ 120	轻柴油、重柴油、重油等	丙类闪点 ≥ 60℃	
四级	> 120	重柴油、重油、渣油等		

(2) 燃点。在燃油温度超过闪点继续加热时,当燃油蒸气和空气混合物遇到明火能着火并继续燃烧(时间不少于 5s)时的最低温度称为燃点。油的燃点一般要比闪点高 20~30℃。

(3) 自燃点。自燃点是指油品缓慢氧化而开始自行着火燃烧的温度。油品自燃点和它们的燃点没有直接关系,而只取决于油品的化学组成,并随压力而变化。在常压下,油质愈重,自燃点愈低;压力愈高,自燃点愈低。常用燃油的自燃点见表 1-3。

表 1-3 常用油品的自燃温度

燃油名称	自燃温度/℃	燃油名称	自燃温度/℃
汽油	415 ~ 430	原油	380 ~ 530
煤油	380	重油	300 ~ 350
机油	350 ~ 380	渣油	230 ~ 270
轻柴油	350 ~ 380	沥青	270 ~ 280
重柴油	300 ~ 350		

4. 相对密度 将 20℃时油品与 4℃时的同体积水的质量比,作为油品的标准相对密度,用 d_4^{20} 表示。油品的相对密度随温度升高而减小,其关系可按下式换算

$$d_4^t = d_4^{20} - \alpha (t - 20)$$

$$\text{或} \quad d_4^t = \frac{d_4^{20}}{1 + \beta (t - 20)} \quad (1-4)$$

式中 d_4^t ——温度为 t 时的油品相对密度;

d_4^{20} ——标准油品相对密度;

α ——温度修正系数(1/℃);

β ——体胀系数(1/℃)。

对 d_4^{20} 在 0.85~1.07 的油品, α 值在 0.000699~0.000424, β 值在 0.000818~0.000398, 或

查表。

5. 硫分 燃油中的硫分在燃烧后生成的产物除对设备有腐蚀作用外, 还对环境和人类健康造成伤害。

按燃油中含硫的质量分数, 将燃油分为三种, 含硫质量分数 $w_s \leq 0.5\%$ 的称为低硫油; $0.5\% < w_s \leq 1\%$ 的为中硫油; $1.0\% < w_s \leq 3.5\%$ 的称为高硫油。

6. 爆炸性 当燃油蒸气在与空气的混合物中的含量(体积分数)达到某个范围时, 遇到明火就会爆炸, 这个含量范围就是该燃油的爆炸范围, 其最小含量值和最大含量值分别称为爆炸下限和爆炸上限。燃油的爆炸范围愈大, 引发爆炸的危险性就愈大。常用燃油的爆炸范围(体积分数)如下: 汽油 $1.0\% \sim 6.0\%$; 煤油 $1.4\% \sim 7.5\%$; 重油 $1.2\% \sim 6.0\%$; 原油 $1.7\% \sim 11.3\%$ 。

7. 静电特性 油品是电的不良导体, 它与空气和钢铁摩擦时很容易产生静电, 并在其表面积聚产生很高的静电压, 一旦放电就会产生火花, 造成燃油的燃烧甚至爆炸。因此, 在燃油的输送贮存系统中的管线、容器和设备都必须有良好的接地设施。

(三) 气体燃料的性质

工程中使用的气体燃料都不是单一化学成分的气体燃料, 而是多种单一气体燃料的混合气体, 所以其物理化学工艺性质均与单一成分的气体燃料有很大的区别。

1. 密度与相对密度 干态混合燃气的密度可由下式计算

$$\rho = \sum \frac{\phi_i}{100} \rho_i \quad (1-5)$$

式中 ρ ——标态下混合燃气平均密度(kg/m^3);

ϕ_i ——各单一气体的体积分数(%);

ρ_i ——标态下各单一气体密度(kg/m^3)。

相对密度是指标态下混合气体密度与标态下空气密度之比

$$d = \frac{\rho}{1.293} \quad (1-6)$$

式中 d ——混合气体相对密度;

ρ ——标态下混合燃气平均密度(kg/m^3);

1.293——标态下空气密度(kg/m^3)。

如果考虑实际混合燃气中的水蒸气, 则湿燃气密度可按下式计算

$$\rho^w = (\rho + d) \frac{0.833}{0.833 + d} \quad (1-7)$$

式中 ρ^w ——标态下湿燃气密度(kg/m^3);

ρ ——标态下干燃气密度(kg/m^3);

d ——标态下湿燃气中水蒸气含量 [kg/m^3 (干燃气)];

0.833——标态下水蒸气的密度(kg/m^3)。

表 1-4 列出几种燃气的密度和相对密度。由表 1-4 中可看出, 气态的液化石油气比空气重, 容易积聚在地面附近和地势低洼处, 在使用时必须加以注意。

2. 着火温度 可燃气体与空气的混合物发生着火燃烧的最低温度称为着火温度。着火温度并不是可燃气体固有的物化常数, 它与燃气的种类、在混合燃气中含量、混合气的均匀程度和压力有关, 也与燃烧设备的构造、周围介质的热容量、有无催化作用及燃烧体系的散热条件

有关。表 1-5 介绍了部分单一燃气和混合燃气在标准状态下的着火温度。

表 1-4 几种燃气的密度和相对密度

燃气种类	标态下密度/(kg/m ³)	相对密度
天然气	0.75~0.8	0.58~0.62
焦炉煤气	0.4~0.5	0.30~0.40
气态液化石油气	1.9~2.5	1.5~2.0

表 1-5 部分燃气在空气中的着火温度

气体名称	着火温度/℃	气体名称	着火温度/℃	气体名称	着火温度/℃
氢 H ₂	500	正丁烷 n-C ₄ H ₁₀	287	硫化氢 H ₂ S	260
一氧化碳 CO	605	戊烷 C ₅ H ₁₂	260	天然气	482~632
甲烷 CH ₄	537	乙烯 C ₂ H ₄	425	高炉煤气	600
乙烷 C ₂ H ₆	472	乙炔 C ₂ H ₂	305	焦炉煤气	560
丙烷 C ₃ H ₈	450	苯 C ₆ H ₆	560	发生炉煤气	600

3. 着火极限(爆炸极限) 可燃气体和空气的混合物遇明火而引起爆炸时的可燃气体含量(体积分数)范围称为爆炸极限。在这种混合物中,当可燃气体的含量减少到不能形成爆炸混合物时的含量(体积分数)时,称为可燃气体的爆炸下限;当可燃气体含量增加到不能形成爆炸混合物时的含量(体积分数)时,称为爆炸上限。表 1-6 列出了部分燃气在空气中的爆炸极限。

表 1-6 部分燃气在空气中的爆炸极限

气体名称	下限(%)	上限(%)	气体名称	下限(%)	上限(%)
甲烷 CH ₄	5.0	15.0	异丁烯 C ₄ H ₈	1.8	9.7
乙烷 C ₂ H ₆	2.9	13.0	乙炔 C ₂ H ₂	2.5	80.0
丙烷 C ₃ H ₈	2.1	9.5	苯 C ₆ H ₆	1.2	8.0
丁烷 C ₄ H ₁₀	1.5	8.5	氢 H ₂	4.0	75.9
异丁烷 i-C ₄ H ₁₀	1.8	8.5	一氧化碳 CO	12.5	74.2
戊烷 C ₅ H ₁₂	1.4	7.8	硫化氢 H ₂ S	4.3	45.5
异戊烷 C ₅ H ₁₂	1.4	7.5	天然气	4.5~5.5	13~17
己烷 C ₆ H ₁₄	1.25	6.9	焦炉煤气	5~7	21~31
乙烯 C ₂ H ₄	2.7	34.0	发生炉煤气	20~35	65~75
丙烯 C ₃ H ₆	2.0	11.7	高炉煤气	35~46	62~75
丁烯 C ₄ H ₈	1.6	10.0			

在 GBJ16—1987《建筑设计防火规范》(2001 年版)中,生产和储存物品火灾危险性分类时,区分甲乙类易爆气体的爆炸下限值是 10%。

工程上使用的燃气,多为数种可燃气体的混合物,其着火极限可用计算得到。

(1) 对于不含惰性气体的可燃气体的混合物,着火极限可用下式计算

$$L = \frac{100}{\sum \frac{\phi_i}{L_i}} \quad (1-8)$$