
INDUSTRIAL AIR POLLUTION CONTROL SYSTEMS

工业气体污染控制系统

[美] 威廉 L. 休曼 (William L. Heumann)

华译网翻译公司 译



化学工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工业气体污染控制系统/[美] 威廉 L. 休曼 (W. L. Heumann); 华译网
翻译公司译. —北京: 化学工业出版社, 2007. 7

书名原文: Industrial Air Pollution Control Systems
ISBN 978-7-5025-9396-4

I. 工… II. ①威…②华… III. 工业气体-气体污染物-污染控制 IV. X78

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 103031 号

Industrial Air Pollution Control Systems /by William L. Heumann

ISBN 978-0070314306

Copyright©2005 by William L. Heumann. All rights reserved.

This Chinese translation is authorized by the author, William L. Heumann, of the original language edition.

本书中文简体字版由 William L. Heumann 授权化学工业出版社独家出版发行。未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2007-3605

责任编辑: 陈 丽 袁海燕
责任校对: 凌亚男

装帧设计: 张 辉

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市前程装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 24¼ 字数 623 千字 2007 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 80.00 元

版权所有 违者必究

译 序

历经一年多,本书终于完成了翻译和编辑校对,准备付印了。2007年4月27日国务院召开全国节能减排工作电视电话会议,国务院总理温家宝在会议上说,必须把节能减排作为当前加强宏观调控的重点,要正确处理经济增长速度和节能减排的关系,真正把节能减排作为硬任务,使经济增长建立在节约能源资源和保护环境的基础上。本书的出版正适应了我国控制环境污染和转换经济发展模式的需要。

我国确定了“十一五”期间单位GDP能耗降低20%左右和主要污染物排放减少10%的目标。2006年,我国没有实现年初确定的节能减排目标。2007年一季度,中国经济同比增长11.1%,而电力消耗却增长了14.9%。可见,我国的节能减排工作任重而道远。希望本书的出版能够为环保事业和节能减排工作贡献一定的力量。

本书系统地介绍了工业气体污染控制技术的知识和完整解决方案,内容包括控制气体污染的气体物理学、理论粒子物理学等基本理论,气体污染概念内涵定义,到工业通风、有关工业标准、空气污染控制经济学,并分别从颗粒和气体两个方面详细地介绍了工业气体污染控制技术的理论和实施方法。本书还包括污染控制系统的设计、建造和设备选购方面的知识和程序,可帮助企业有效地解决气体污染控制的具体问题,降低控制成本。书中介绍的各种有效进行工业气体污染控制的技术、技巧和经验,对于从事工业气体污染工作的工程技术人员和工矿企业具有很高的参考价值。

本书作者是美国Fisher-Klosterman Inc. 公司的气体污染控制专家威廉 L. 休曼。美国Fisher-Klosterman Inc. 公司及其BUELL分公司有着60年的除尘器及分离器设计及生产经验,在国际同行业中其技术处于领先地位。该公司在中国投资设立的肯塔基环保节能设备(上海)有限公司致力于生产各类工业用除尘器及分离器的制造公司,产品包括旋风分离、颗粒分级、袋式除尘、静电除尘、湿式洗涤等多项气固分离与空气净化技术和设备。

本书由华译网翻译公司组织多年从事环保、石油化工专业翻译工作的多名专业人员合作翻译。具体参与翻译的专业人员有郭武文、闫刚、李晓莉、张冯保、王江波、李斌、夏小忠、王秀丽和雷启威,全书由中国政法大学商学院高级经济师郭武文博士统校。因全书涉及内容广泛,时间仓促,疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

受肯塔基公司委托翻译本书是我们的荣幸,感谢肯塔基环保节能设备公司给予我们这样的机会。控制环境污染,保持经济的可持续发展是我们国家的大政方针,希望有机会与从事和关心环保事业和气体污染控制技术的人士交流和合作。

另外,我们特别感谢化学工业出版社的编校人员,他们为本书的翻译工作提出许多宝贵的建议。

有关译著中的技术问题请读者向美国Fisher-Klosterman Inc. 公司咨询。总部地址: P. O. Box 11190, 822 South 15th Street (40210) Louisville, Kentucky 40251-019011190。

电话：502-572-4000；传真：502-572-4025；E-mail：fki@fkinc.com；网址：www.fkinc.com；
或通过华译网翻译公司联系。有关翻译方面的问题，请与华译网翻译公司（E-mail：bjctn@vip.sina.com；电话：010-82115891，82115892）联系。

郭武文
华译网翻译公司
2007 年 7 月

前 言

本书的主要读者是与工业污染控制系统及其工作原理有关的人员。在多年的工作生涯中，我对工业操作过程中所表现出的唯一性和多样性感到很吃惊。在表面上看来，两个工业操作过程好像应该完全一样，但实际上，它们之间总是有所差别。我们遇到的诸多不确定变量中，至少，在最初始设计和安装时涉及的人数不同，而仅这一条，就可以导致每个系统有了自己的特点和风格。在工业过程运转和操作多年后，可能需要对一个给定的系统不断进行更改、替换或修正、调整。随着周围环境的发展变化，系统的操作特点也会发生相应的发展变化。作为生产中的一个重要部分以及作为一个法规要求，工业过程中必须要配备有空气污染控制系统，而且这必须作为工业过程的一个完整组成部分。

由于设计非常复杂，污染控制系统或工业操作过程，或两者同时，经常仍不能正常工作。这种不能正常运转的情况，可能会导致没有适当的污染物排放标准，有时也会造成产品流失、工业过程的运转效率低下、维护费用不合理或数额过高以及许多其他的问题。

在本书中，我们力求向工程师、学生以及科学家提供方法、传授知识，以使他们能知道如何使他们设计的空气污染控制系统正常运转起来。有许多才华横溢、经验丰富以及学识渊博的专家花了大量的时间进行了此方面的努力。在此过程中，这些专家们向我们传授了一些他们通过大量实际应用以及多年经验中积累起来的各种知识。我希望此书可为读者提供一条捷径，能使他们不需付出直接经验的高额成本，以及不需再犯我们众多前人所犯的类似错误，但却能够快速达到较高的熟练应用的水平。

物理学是工业过程的理论学科，而数学则是其支撑学科，在必要时，我们会用到这些理论向读者传输相关的概念。我们特意避开了绝大多数的理论推导以及物理学知识，以使文章尽可能地简明、实用，以及尽可能地可直接用于空气污染控制技术领域。本书所列的公式或方程式，均是作者经过证实在实际应用中以及在理解重要概念时，都是非常有用的这一类。

本书绝不仅仅是控制技术及其应用的一般观点。可是，要说本书是一部所涉各项主题的全面概括及最终定论，却又有所夸大。我们所做的每项工作，都尽量使本书能将在协助解决大量的空气污染控制问题的过程中所需的知识及方法囊括进来。

威廉 L. 休曼

符号说明

罗马字母

a	加速度, ft/s^2 (m/s^2)
A	面积, ft^2 (m^2)
A/C	气布比
AMW	表观摩尔质量
C	肯宁汉校正因子
C^D	阻力系数
d	直径, $\text{ft}(\mu\text{m})$
D	直径, $\text{ft}(\mu\text{m})$
E_d	粒子大小为 d 时的集尘效率, 以质量百分比计算, %
E_{df}	粒子大小为 d 时的分离效率, 以质量百分比计算, %
E_F	以分数计算的集尘效率, ($E_T/1100$)
E_{MID}	粒子为平均粒子大小 MID 时的集尘效率, 以质量百分比计算, %
E_T	总集尘效率, 以质量百分比计算, %
E^U	蒸发率, $\text{lb/min}(\text{kg/m})$
F	力, $\text{lb}(\text{N})$
g	重力加速度, ft/s^2 (m/s^2)
G	固体质量流速, $\text{lb/s}(\text{kg/s})$
H	高度, $\text{ft}(\text{m})$
H_a	绝对湿度比
H_u	特定湿度比
h	热函, $\text{Btu/lb} \cdot \text{m}(\text{kcal/g})$
h_p	最小水位上的排水管浸没高度, $\text{in}(\text{cm})$
h_n	洗涤器在最大水位上的最小升高值, cm
h_u	蒸发潜热, $\text{Btu}(\text{cal})$
h_t	总热, $\text{Btu}(\text{cal})$
i	电流, A
I	离子强度
I	电流密度, A/ft^2 (A/m^2)
Kn	克努森数
l	旋风分离器指数, $\text{lb}(\text{kg})$
M	质量流速, $\text{lb/s}(\text{kg/s})$
M	质量, $\text{lb}(\text{kg})$
n	数量
N	摩尔质量, $\text{lb}(\text{kg})$
$\dot{N}$	摩尔流量, $\text{mol}(\text{lb})/\text{min}$ [$\text{mol}(\text{kg})/\text{h}$]
N_{av}	阿伏加德罗常数

p	压力, lb/in ² (kg/cm ²)
p (D)	粒子渗透比
p_w	水蒸气的分压, psi(kg/cm ²)
p_s	水蒸气的饱和压力, psi(kg/cm ²)
Q	体积流速, ft ³ /min(m ³ h)
r	半径, ft(m)
R	通用气体常数, ft · lb/mol(lb) · °R {m · kg/[mol(kg) · K]}
Re	雷诺数
RH	相对湿度, %
Sh	比热, Btu/lb(mass) _m · °F [J/(g · °C)]
St	斯托克斯数
t	时间, s
T	温度, °R(K)
U	速率, ft/s(m/s)
V	体积, ft ³ (m ³)
V_r	每单位面积上的排斥能
v	比容, ft ³ /lb _m (cm ³ /g)
W	尘落量, g/ft ³ (g/m ³)
w	宽度, ft(m)
X	位移, ft(m)

希腊字母

α	角度
Δ	变化
Γ	传导率
γ	界面张力
η	黏度, lb(质量)/ft ³ · s(cP)
k	介电常数
λ	平均自由程
ξ	黏度阻力系数
ρ	密度, lb/ft ³ (kg/m ³)
σ	标准偏差
Ψ	压紧参数
ω	迁移速度, ft/s(m/s)

注脚

A	绝对
a	空气动力学
c	离心
b	大量
d	小液滴
f	流动
g	重力
G	气体
I	索引或冲击
l	限制

L	液体
p	颗粒
q	粒子电荷
Q	收集器电荷
r	相对
R	残留
s	表面
t	末端
T	相切
TR	喉管
1	入口或上升气流
2	出口或下降气流
0	原始的
N	新

绪 论

空气污染控制的动因

工业领域中采用空气污染控制技术的主要动因有两个。它们是：

- ① 各项法规要求必须采用此类技术。
- ② 采用这些技术是保证工业过程的运行符合成本效益准则的一个完整组成部分。

尽管经济学家也许会指出，这两个动因实际上是相同的，也就是说，对一个工业用户来说，采用了污染控制系统以后，比起没有采用此类设备之前，其运作成本必然会降低，可是，这两种动因在工业应用中的区别却非常重要。这种区别在此类项目开始时尤为重要，因为许多此处所述设备、技术以及工业过程的用户，他们都倾向于采用他们认为无需进行“空气污染控制”的实际应用过程。总体而言，空气污染控制用于描述由于法规因素和/或健康考虑才被迫推行的应用过程，而与产品回收相关的应用过程则属于处理应用过程。不过，对这两类应用过程所涉及的技术问题、装置设计、运行情况等，如果说并不是完全相同的话，则也可以说在大体上是类似的。事实上，在这些应用当中，真正的区别是经济学方面的不同，这种经济学方面的区别常常会影响到决策的制定过程，发生某种程度的变化。

空气污染控制的方法

从任一个系统中减少污染物排放的方法一般有两种，它们是：

- ① 对过程进行更改、调整、优化，以减少或消除不希望发生的污染物排放。
- ② 在系统中额外增加一套控制技术或空气污染控制设备。

尽管此书的绝大部分都是专门针对额外增加型的控制技术，但也适当提及了一些系统优化的相关问题。

工业过程的设计工艺是一个很大的领域，不可能用一些很简单的语言概括清楚。我感觉，这样说还是比较稳妥的，也就是，如果对系统进行修正或更改的方法来减少污染物排放的方法可行，那么，在额外增加型技术进行评估程序之前，应对这种系统修正和优化方法进行认真考虑。通常，对此类方法，不仅直接经济学（资金开销）方面更具优势，而且对长期的系统经济学来说（亦即可靠性、废物处理、维护成本以及能耗成本等方面），也是非常便宜的。

一旦将系统修正作为污染物控制的一种方法的可能性被排除，则接下来，就需要开始选择最为经济的污染物控制系统。由于有两种截然不同的污染物种类，即微粒和气体，因此，我们在本书的编写工作中，也分成这两种类型进行讨论。当然，也有许多的工业应用过程，在其中，两种类型的污染物都有，因此，需要将各种技术联合起来使用，才可以使得所设计出来的方案达到较好的效果。消除气流中的工业污染物时所采用的方法原理一般有几类。

微粒控制可以采用的方法原理有：

- ① 重力；
- ② 惯性；
- ③ 离心力；
- ④ 惯性撞击；
- ⑤ 拦截；

⑥ 扩散及布朗运动；

⑦ 静电沉积；

⑧ 诸如通过浓缩、热泳、光泳、超声凝聚以及磁吸力凝聚进行微粒增长等技术所进行的多种方法原理。

气体控制可以采用的方法原理有：

① 扩散；

② 吸收；

③ 吸附；

④ 热氧化；

⑤ 采用诸如生物过滤、能量驱动（除过热能以外的其他能量）来消除或破坏以及浓缩等多种方法原理。

读者是否能够轻易地掌握一种给定技术的操作及特点，这一般要取决于他们各自的实际背景或实践经验。通常，学物理的人以及机械工程师容易理解和看懂微粒控制技术，而学化学的人、化学工程师以及工艺工程师则更容易理解和看懂气体控制技术。这无疑与上述的方法原理的特点有关，以及与此类原理体现到工业操作过程系统中的实际情况有关。

本书科目编排次序的设计遵照以下的思想以及认知过程，即使无任何经验的用户，在解决空气污染实际应用问题的过程中，从头到尾都可依照所述的方法。在每一大类的控制技术（微粒或气体控制技术）中，技术的介绍顺序可以反映该技术体系的简单层次关系。技术体系的层次关系并不是对所有情况都通用，但却能够反映所要遵守的污染物的消除顺序。换言之，对一个微粒控制应用过程，需要先考虑旋风分离器，然后再考虑中间过滤等，这样才有实际意义。若因各种原因，排除了采用此种技术（如在实际过程中不能获得理想的收集效率，或因安全原因等）的可能性，则下一步要考虑的技术则会更昂贵、更复杂和/或操作成本更昂贵等。尽管对任何既定的工业应用过程，都有一个与之对应的最适宜的选择体系，其可以代表最为经济的项目目标，可是，通常来说，这种情况，在工业操作过程开始是不可能知晓的。遵守这个选择体系层次关系以及排除不适当的选择体系，可有助于我们最终得出最为经济的解决方案。

目 录

符号说明

绪论

第一部分 基础知识

第 1 章 气体物理	1
1.1 引言	1
1.2 玻义耳定律、查理定律和理想气体状态方程	1
1.3 道尔顿定律	7
1.4 气体和气相混合物的热力学	7
1.5 气体黏度	11
附录 1A 元素的性质	13
附录 1B 饱和	16
附录 1C 不同气体的比热	20
附录 1D 干空气、水蒸气及饱和气水混合物的性质	21
附录 1E 湿度图	32
附录 1F 一些常见气体的黏度	35
附录 1G 一些常见固体的密度和相对密度	64
第 2 章 理论粒子物理学	68
2.1 引言	68
2.2 气体性质和运动	68
2.3 重力沉降	69
2.4 弛豫时间和停止距离	72
2.5 曲线颗粒运动	73
2.6 布朗运动和扩散	74
2.7 聚沉	75
2.8 冷凝和蒸发	76
2.9 电性质	76
2.10 光散射和消光	78
2.11 粘附	78
2.12 过滤	78
2.13 空气悬浮物团聚物散射	79
2.14 爆炸	79
2.15 辐射力	80
2.16 声力	81
第 3 章 定义污染问题	82
3.1 引言	82

3.2	数据获得及测试方法	82
3.3	识别问题	84
3.4	测试方法	85
3.5	气流测量	86
3.6	遵守性测试	91
3.7	颗粒物浓度测量	92
3.8	颗粒物方法 5	95
3.9	颗粒物大小测试技术	98
3.10	气体测试	100
3.11	二氧化硫	101
3.12	氮氧化物	102
3.13	其他 EPA 方法	103
附录 3A	测试结果计算	107
附录 3B	EPA 测试方法	109
附录 3C	第 3 章符号说明 (特别注释)	111
附录 3D	美国空气技术有限公司气流数据表	113
第 4 章	工业通风	114
4.1	引言	114
4.2	烟雾和难闻气体的控制	115
4.3	清洁室	115
4.4	公害粉尘和过程粉尘收集系统	116
4.5	风管设计	116
4.6	进料器和气体阀	119
4.7	节气闸和控制阀	123
第 5 章	风机和鼓风机	127
5.1	风机类型及其选择	127
5.2	轴流式风机	132
5.3	其他风机类型	134
5.4	风机额定值	135
5.5	风机和管道系统的相互作用	145
5.6	风机构造	157
5.7	风机辅助系统	163
5.8	风机的安装和维护	168
第 6 章	结构与标准	173
6.1	工业标准	173
6.2	结构材料	174
6.3	外壳、管道和控制装置	174
6.4	非标准结构材料	174
6.5	制造技术	176
6.6	爆炸性与可燃性应用	177
6.7	产品储存	182
第 7 章	空气污染控制经济学	186
7.1	引言	186

7.2	空气污染控制系统说明书	187
7.3	空气污染控制成本	190
7.4	销售商选择	195
7.5	空气污染控制系统的保修	196

第二部分 控制技术：颗粒物

第 8 章	旋风分离器	198
8.1	引言	198
8.2	旋风分离器工作原理	198
8.3	不同类型的旋风分离器	226
8.4	基本选择标准	228
8.5	工业应用	230
8.6	安装及维护	234
8.7	故障维修指南	236
第 9 章	介质过滤	238
9.1	大气	238
9.2	有害灰尘收集	238
9.3	工艺尘土收集	238
9.4	定义和举例	238
9.5	介质的一般种类	241
9.6	表面处理	242
9.7	过滤器及选择标准	242
9.8	过滤介质的清洁机械装置	246
9.9	外壳类型	249
9.10	入口类型和位置	250
9.11	过滤器的置换维修	251
9.12	介质过滤型式	252
9.13	袋滤室	253
9.14	筒式过滤器	255
9.15	V-包裹过滤器	256
9.16	基本的选择标准	257
9.17	安装	259
9.18	发现介质过滤器故障并维修	262
第 10 章	除尘	265
10.1	引言	265
10.2	除尘器工作原理	265
10.3	除尘器类型	269
10.4	除尘器效率	278
10.5	应用	286
10.6	安装	288
10.7	运行	289
10.8	维护	294

第 11 章 静电除尘器 297

11.1 引言..... 297

11.2 基本原理 298

11.3 除尘器配置 299

11.4 设计参数..... 302

11.5 应用..... 306

11.6 故障排除..... 307

11.7 提高静电除尘器的性能..... 309

11.8 检查清单..... 311

11.9 优点和缺点..... 313

11.10 静电除尘器术语 316

第三部分 控制技术：气体

第 12 章 吸收分离器 319

12.1 引言..... 319

12.2 吸收分离器是怎样工作的..... 320

12.3 传质原理..... 321

12.4 吸收设备的设计..... 322

12.5 吸收设备..... 329

12.6 基本的选择标准..... 335

12.7 安装..... 337

12.8 吸收塔的故障维护..... 337

第 13 章 吸附 340

13.1 引言..... 340

13.2 吸附原理..... 340

13.3 吸附设备种类..... 348

13.4 基本选择标准..... 349

13.5 安装..... 349

13.6 故障排除..... 350

第 14 章 热氧化器 352

14.1 引言..... 352

14.2 氧化反应器的标准结构..... 356

14.3 催化氧化过程..... 359

14.4 过程计算..... 361

14.5 维护和故障修理..... 362

第四部分 控制技术：复合技术

第 15 章 复合技术 364

15.1 引言..... 364

15.2 颗粒物分离..... 364

15.3 气体污染控制..... 367

第一部分

基础知识

第1章 气体物理

William L. Heumann

Fisher-Klosterman, Inc.

Louisville, KY

1.1 引言

气体物理和微粒物理学的基本知识对于气体污染控制设备的操作和选择是至关重要的。如果对于气体物理没有一个很好的了解，那么要了解所使用控制设备系统的特征通常是比较困难的。所以，有必要对气体流动有一个准确阐述，这样有助于选择气体处理设备，包括简单的管道系统、风扇和集聚设备。所要处理气体的体积是影响空气污染控制设备尺寸的主要标准之一。

使一定体积的气体通过管道系统和大部分的气体污染控制设备时，会有压力损失（能量消耗），而气体密度会影响这个压力损失（能量消耗）。气体黏度会影响内部集聚器（旋流器、文丘里洗涤器等）的集聚效率和介质过滤装置中（滤袋、滤筒式除尘器）的压力损失。所以，读者在致力于掌握设备的操作以前，很好地了解一下这些物理性质是非常重要的。

1.2 玻义耳定律、查理定律和理想气体状态方程

在利用气体污染控制设备的系统中，我们研究的系统包括：与输送气体过程有连接的管道系统，气体传送装置如风扇和污染控制装置。为了选择合适的集聚设备和风扇，必须了解气体的性质。对于合理选择和设计管道系统也必须了解气体的性质。

气体是可压缩的。质量流速一定的气体在通过一个系统时，由于压力是在改变的，所以气体的确切体积不是一个常数。玻义耳定律是这样描述这个物理性质的：在一个温度恒定的系统中，对于一定体积的气体，随着压力的增加，体积减小，反之则增加。因此，在一个充满气体的系统中，当气体通过系统时，气体是从高压区流向低压区的。假设温度恒定，则通

常在系统的终端得到气体的确切体积比起始端的体积大。充满气体的系统中，随着气体进入系统的下游，压力减小，体积增大。玻义耳定律可以写作：

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{p_2}{p_1} \quad (1.1)$$

式中 Q_1 ——始态压力 p_1 下的气体体积；

Q_2 ——终态压力 p_2 下的气体体积；

p_1 ——始态压力（压力单位是绝对值）；

p_2 ——终态压力（压力单位是绝对值）。

玻义耳定律示例：在一个充满气体的系统中，在点 1 是 -7in(英寸) 高的水柱（英寸水柱 in w. c.）[-17mmH₂O（毫米水柱）]，气体流动速率测定为 10000acfm（立方英尺每分钟）[16992m³/h（立方米每小时）]。在下游点 2 是 -32in w. c.（英寸水柱）[-813mmH₂O]。假设温度保持不变，求点 2 处的测定体积流动速率。

解：

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{p_2}{p_1}$$

$$Q_1 = 10000 \text{ acfm} = [16992 \text{ m}^3/\text{h}]^{\bullet}$$

$$p_1 = \frac{-7}{27.67} + 14.70 = 14.45 \text{ psi (磅每平方英寸)}$$

(转化为绝对压力)

$$= \left[\frac{-178}{10000} + 1.033 = 1.015 \text{ kg/cm}^2 \right]$$

$$p_2 = \frac{-32}{27.67} + 14.70 = 13.54 \text{ psi (转化为绝对压力)}$$

$$= \left[\frac{-813}{10000} + 1.033 = 0.952 \text{ kg/cm}^2 \right]$$

$$\begin{aligned} Q_2 &= \frac{p_1}{p_2} Q_1 \\ &= \frac{14.45}{13.54} Q_1 = 1.07 Q_1 = 1.07 \times 10000 = 10700 \text{ acfm} \\ &= \left[\frac{1.015}{0.952} Q_1 = 1.07 Q_1 = 1.07 \times 16992 = 18181 \text{ m}^3/\text{h} \right] \end{aligned}$$

查理定律阐述的是压力恒定的情况下气体体积和温度的关系。查理定律表明：气体体积和气体的绝对温度的变化成正比。换句话说，压力恒定的情况下，随着温度的升高，体积增大，反之则减小。查理定律可以写作

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (1.2)$$

式中 Q_1 ——始态温度 T_1 下的气体体积；

Q_2 ——终态温度 T_2 时的气体体积；

T_1 ——始态温度（温度单位是绝对值）；

T_2 ——终态温度（温度单位是绝对值）。

查理定律示例：在一个充满气体的系统中，在点 1 的温度是 70°F(21℃)，气体流动速

● 计算过程中，中括号内的内容为用标准单位计算所得结果，下同(编辑注)。

率测定为 10000acfm [16992m³/h]。在系统的点 2 处，温度为 600°F(316℃) 假设压力保持不变，求点 2 处的测定体积流动速率。

解：

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$Q_2 = \frac{T_2}{T_1} Q_1$$

$$Q_1 = 10000 \text{ acfm} = [16992.4 \text{ m}^3/\text{h}]$$

$$T_1 = 70.0 + 459.7 = 529.7^\circ\text{R} (\text{转化为绝对温度})$$

$$= [21.1 + 273.2 = 294\text{K}]$$

$$T_2 = 600 + 459.7 = 1059.7^\circ\text{R} (\text{转化为绝对温度})$$

$$= [315.6 + 273.2 = 588.8\text{K}]$$

$$Q_2 = \frac{1059.7}{529.7} Q_1 = 2.0 \times 10000 = 20000 \text{ acfm}$$

$$= \left[\frac{588.8}{294.3} Q_1 = 2.0 \times 16992.4 = 33984.8 \text{ m}^3/\text{h} \right]$$

结合玻义耳定律和查理定律可得：

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_2}{T_1} \times \frac{p_2}{p_1}$$

结合后的形式示例：系统的点 1 处的气体流动速率为 10000acfm [16992m³/h]，温度为 70°F(21℃)，压力为 -7in w. c. [-178mm H₂O]。系统的点 2 处温度为 600°F[316℃]，压力为 -32in w. c. [-813mm H₂O]。求点 2 处的气体体积流动速率。

解：

$$Q_2 = \frac{T_2}{T_1} \times \frac{p_1}{p_2} Q_1$$

$$T_1 = 530^\circ\text{R} (294\text{K})$$

$$T_2 = 1060^\circ\text{R} (589\text{K})$$

$$P_1 = 14.45 \text{ psi} (1.015 \text{ kg/cm}^2)$$

$$P_2 = 13.54 \text{ psi} (0.952 \text{ kg/cm}^2)$$

$$Q_2 = 2 \times 1.07 \times Q_1 = 21400 \text{ ft}^3/\text{min} = [36364 \text{ m}^3/\text{h}]$$

工业上污染控制中的大多数气体都可以适当地用理想气体状态方程来表示。理想气体的一个非常实用的性质就是：在相同的温度和压力下，一摩尔的任何气体所占的体积和其他任何理想气体一摩尔的体积是一样的。Avogadro（阿伏加德罗）定律对此性质给出了明确的定义，此定律为：相同体积的任何气体中包含的分子数相等。¹

在英制单位中：

2.73×10^{26} 个分子 = 1mol [磅(lb)] 任何理想气体 = 386.7ft³ (立方英尺) (70°F 和 29.92inHg)。

在国际单位制中：

6.02×10^{23} 个分子 = 1mol 任何理想气体 = 22.4L(升) [0℃ 和 760mmHg(毫米汞柱)]

从这个固定关系式可以得出：如果已知气体的体积，可以推算气体的摩尔数。例如，标准温度和压力 (STP) 下，一种理想气体的体积为 386.7ft³，可以得出其摩尔数为 386.7/386.7