

集 尘 工 学

井伊谷钢一著

李 美 庆 译

冶金部安全技术研究所印

著 者 序 言

新版集尘装置一书于一九六三年首次发行，它是一九五六年旧版集尘装置一书（袖珍本）的全面修订。作为环境问题的先导——集尘除尘技术在这二十年间取得很大的进展。本人的著作承蒙众位读者所用，总发行量已超过二万余册。就其内容而言，个别地方尚需加以修改，而书的纲要经得起实践考验的，值得庆幸的是今后它仍将继续发挥作用。

从新版集尘装置一书发行以来已过去十七个年头，为此应补写一些新的技术开发和研究成果。本人参阅了美国环保局最近公布的一些研究报告及国内外的研究成果和应用成就，而收集整理于本书之中。本人于1964年到京都大学任教，在同事们的协助下取得了许多可喜的成果，在此特对诸位的辛勤劳动深表感谢。

回顾战后复员到名古屋大学开始从事旋风器的实验研究以来已有三十五年的光景。期间在国外呆了三年，在名古屋大学和京都大学各呆了十六年。本人的心血几乎全耗费在粉体工学特别是集尘技术的研究上。明年已到告老还乡的年龄。本人感到喜悦的是能把三十五年研究生涯及其所取得的主要结论汇集于本书之中。

与本人以往的著作相似，本书偏重记述那些实际有用的内容而省略那么繁琐的解析和无用的理论。主要是为了设计和运转提供一些参考数据。当前技术人员所共同关注的是实际有用的东西。为此，本人希望年轻人能通过进一步的研究努力完成集尘工学的理论与实践的紧密结合。

1980年夏， 井伊谷钢一。

译 者 序 言

应中国金属学会安全技术委员会的邀请，日本粉体工学会会长、集尘工学专家、京都大学名誉教授、工学博士井伊谷钢一先生于1981年11月在冶金部安全技术研究所讲授集尘工学。所用教材为日刊工业新闻社1980年出版的井伊谷先生的新著《集尘工学》。

来自全国各地的150名学员普遍认为该书系统地简明各类集尘装置的特色和适用情况，对发展我国除尘技术颇有参考价值。在冶金部安全技术情报网、环境保护情报网的热情支持下，完成此书的译稿。请从事除尘工作的技术人员提出意见。

借此机会向参加本书各章节专业审校的高级工程师严兴忠、工程师谭天佑、黎再时、夏维发、陈隆枢同志深表谢意。

译者 李美庆

1982年2月于武汉

目 录

第一章 结 论	1
第一节 引 言	1
第二节 集尘装置的类型	2
2 · 1 按作用力分类	4
2 · 2 按过滤方式分类	4
2 · 3 按静电作用分类	4
2 · 4 由洗涤水分类	4
2 · 5 其它的集尘方式	5
第三节 防治大气污染法对烟尘排放标准的有关规定	5
3 · 1 我国防治大气污染法的有关规定	5
3 · 2 国外的排放标准	12
第二章 集尘性能和微粒子物性的测定	21
第一节 引 言	21
第二节 气体流量 Q 及其测定	22
2 · 1 转子流量计流量指示值的换算	24
第三节 压损 ΔP 及其测定	25
第四节 捕尘性能及其测定	26
4 · 1 集尘效率 η 的测定	28
4 · 2 部分集尘效率 $\Delta \eta$ 的测定	52
第五节 粒子物性的测定	69
5 · 1 粒径分布	69
5 · 2 微粒子的密度	70
5 · 3 摩擦角	71

5 · 4	静电特征	7 2
5 · 5	粉尘爆炸和粉尘层着火	7 5
第三章	集尘装置的设计与选择	7 7
第一节	引言	7 7
第二节	预备调查	7 8
2 · 1	气体流量和状态参数	7 8
2 · 2	粉尘的物性和浓度	7 9
第三节	整体规划	9 2
3 · 1	集尘器本体选定和设计	9 2
3 · 2	附属设备和管道设计	9 9
3 · 3	集尘装置的经济性	10 9
第四章	惯性集尘器	11 1
第一节	引言	11 1
第二节	惯性集尘器的原理和性能	11 1
2 · 1	压力损失	11 1
2 · 2	捕集性能	11 2
第三节	惯性集尘器的类型和性能	11 3
3 · 1	反转式惯性集尘器	11 1
3 · 2	冲撞式惯性集尘器	11 9
第五章	旋风集尘器	12 7
第一节	引言	12 7
第二节	旋风器的原理和特征	12 9
2 · 1	压力损失 ΔP	13 0
2 · 2	捕集性能	13 3
第三节	旋风器的类型和改良方案	14 3

3.1	轴向进入导叶片式旋风器	143
3.2	多管旋风器	145
3.3	下抽风式旋风器	146
3.4	其它的特殊类型	147
第四节 旋风器的设计		151
第五节 维护管理		153
第六章 袋式过滤器		154
第一节 引言		154
第二节 袋式过滤器的性能		156
2.1	压力损失	156
2.2	捕集性能	163
2.3	清灰性能	169
2.4	耐久性	173
第三节 袋式集尘器的类型和构造		175
3.1	振动清灰式	175
3.2	反吹风清灰式	177
3.3	脉冲喷吹清灰式	179
3.4	脉冲反吹风式	183
3.5	电晕荷电袋滤器	184
第四节 滤料		186
4.1	滤料的种类和选择	187
4.2	滤料的性能	191
第五节 袋式过滤系统		193
5.1	过滤速度和经济性	193
5.2	高温气体冷却法	198

5.3 预涂层过滤器	202
第七章 电集尘器	203
第一节 引言	203
第二节 静电集尘器的原理和性能	203
2.1 压力损失	205
2.2 捕集性能	205
第三节 电集尘器的类型和构造	213
3.1 卧式平板电极型 EP	214
3.2 竖向流湿式电极型 EP	221
3.3 双区 EP	223
3.4 其它类型的 EP	227
第四节 比电阻的测定方法	229
第八章 洗涤器	231
第一节 引言	231
第二节 洗涤器的原理和性能	231
2.1 压力损失	235
2.2 捕集性能	236
第三节 洗涤器的类型和构造	241
3.1 贮水式洗涤器	241
3.2 加压喷淋式洗涤器	244
3.3 文丘里洗涤器	249
3.4 强制旋转喷雾洗涤器	253
3.5 荷电式洗涤器	253
第九章 空气过滤器	255
第一节 引言	255

第二节 空气过滤器的原理和性能	2 5 7
2 · 1 压力损失 ΔP_0 , ΔP	2 5 8
2 · 2 捕集性能	2 6 1
第三节 空气过滤器的类型和构造	2 7 0
3 · 1 平板式充填纤维过滤器	2 7 0
3 · 2 纸过滤器和高效滤纸空气过滤器	2 7 1
3 · 3 薄膜过滤器	2 7 5
3 · 4 卷绕式纤维过滤器	2 7 6
3 · 5 自动再生式过滤器	2 7 8
3 · 6 介电纤维层过滤器	2 8 2
3 · 7 导电纤维层过滤器	2 8 5
第四节 空气过滤器的经济性能	2 8 7
第十章 其它的集尘方式	2 9 2
第一节 颗粒层集尘	2 9 2
1 · 1 充填层集尘	2 9 2
1 · 2 流动层集尘	2 9 5
1 · 3 流化层集尘	3 0 0
第二节 热效应集尘器	3 0 2
第三节 声波凝聚集尘	3 0 3
第四节 磁力集尘	3 0 5
第五节 金属丝栅网层集尘	3 0 7

第一章 绪 论

第一节 引 言

几十年前就有应用集尘装置的事例。近来，随着防止大气污染法的实施更促进了它的飞速发展，而成为市场上最早出售的防止公害装置。所以集尘装置的安装几乎遍及所有的尘源点。但目前新建设备的投资比一九七五年的规定要低，这对集尘装置的生产带来一定的限制。如果今后集尘装置的稳定发展继续着眼于旧设备的更新换代，则会要求新型集尘装置的性能达到高效、可靠，而造价和运转管理费用也均应低廉。

集尘装置大致可分为二类：净化工厂排气用集尘器（生产工艺过程的固气分离器）与净化建筑物或隧道内空气的空气过滤器。正如表 1·1 所示，两者的区别在于入口粉尘浓度和压力损失有很大差异。

表 1·1 工业集尘器与空气过滤器的一般性区别

	入口浓度	温 度	集尘部件的寿命	设备费	运转费	相关的部门
工业集尘器	$>0.1\text{克}/\text{米}^3$	常温~高温	最低限度 $>1\sim2$ 年	高~中	高~中	通产省 环境厅
空气过滤器	$<30\text{毫克}/\text{米}^3$	常温	使用后丢弃 (1 年以内)	低	低	劳动省 厚生省

迄今在集尘方面已发表的书籍、论文和读物不胜枚举。本书各节所加注的文献仅限于与本文直接有关的文章，而把过去发表的有关集尘方面的综述、资料和单行本标注在各章之末。

美国环保局研究所自一九七〇年以来发表了许多卓有成效的研究报告。文章的重要摘要发表在以下数种国际性学术杂志上，这些成果

将引起人们的极大关注。

1. Journal of the Air Pollution Control Association (U . S . A) 。美国空气污染控制协会誌
2. Journal of Aerosol science 气溶胶科学杂志
3. American Industrial Hygiene Association Journal 美国工业卫生协会誌
4. Atmospheric Environment 大气污染
5. Environmental Science and Technology (American chemical society)
环境科学与技术 (美国化学会)
6. Filtration and separation (England)
过滤与分离 (英格兰)
7. Powder Technology (Switzerland)
粉体技术 (瑞 士)

第二节 集尘装置的类型

按下述分类，各类集尘装置的适用范围如图 1 · 1 所示。

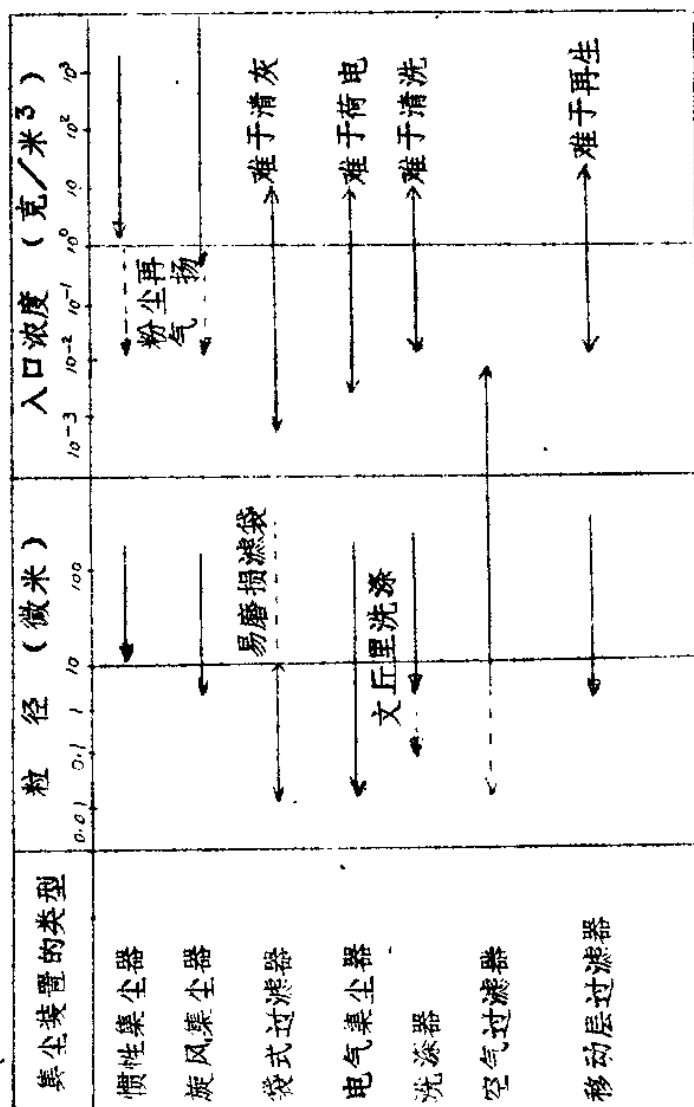


图 1·1 各种类型的集尘器的粉体粒度和适用的浓度范围（并伊谷绘制）

2.1 按作用力分类(又称机械集尘)

(1)重力——对大于100微米的粗颗粒是有效的,常采用大型沉降室的形式;同时,烟道、通风管道或集尘器的内部空间也具有这种作用。

(2)惯性力——如果压力损失为1000毫米水柱时,可捕集到<1微米的微粒,通常压损是<100毫米水柱,故可作为捕集10微米量级颗粒的予集尘用。

(3)离心力——以旋风器为代表,压损在200毫米水柱左右,可用来捕集数微米的微粒。

2.2 按过滤方式分类(又称过滤式集尘)

(1)袋式过滤——干式袋滤器的捕尘能力最高,压力损失在200毫米水柱左右。它不适宜净化高温高湿的含尘气流。对工业过程而言,多半采用袋状滤布。而在选择滤布时,常带有一定的技术诀窍。(即带有专利性质)

(2)空气过滤——有形形色色的空气过滤器,多半用于建筑物的通风换气。采用纤维层和多孔物质作为过滤材料,使用后丢弃,多数不进行清洗,要求价格低廉,容易维护和保养。

2.3 按静电作用分类(称为电气集尘EP)

(1)干式——分工业用EP和通风换气用EP二种,在电场力的作用下,荷电粒子移向集尘极被捕集下来。捕集性能亚于袋滤器。EP的压力损失低,适宜大型化。但对处理微粒的比电阻值有一定的上下限要求。

(2)湿式——以集尘板上所形成的水膜为集尘方式,因此不限制微粒的比电阻。但消耗在排水处理上的费用很高。

2.4 按洗涤水分类(称为洗涤式)

这类集尘器需要处理排水及被水所捕集的粉尘，但它的构造简单，性能良好。当压损在200毫米水柱时，可捕集1微米的微粒，而压损在1000毫米水柱时，它的捕集性能可与电气集尘相比美。除袋滤器外，所有集尘方式中只有湿式比干式的粉尘气扬少，捕集性能高。

2.5 其它的集尘方式

(1) 声波集尘——这是一种借助气体振动，试图使微粒凝聚的集尘方法，因存在噪音大，动力消耗高等缺点，故几乎没能被实际使用。

(2) 磁力集尘——将来在一些特殊的用场，会有一定程度的实用可能。

第三节 防止大气污染法对烟尘排放标准的有关规定

3.1 我国防止大气污染法的有关规定

我国防止大气污染法的有关规定如表1.2所示。它所使用的浓度规定为标准状况下（即0℃，1大气压）每单位容积的干燥气体的质量。所以必须严格注意使用现场的条件。而对各种有害物质的规定则另列表1.3所示。（特殊排放物可按同法第10条的28种规定）。各都道府县大都按上述规定制订自己的排放标准。其中许多标准是非常严格的，如表1.4就是京都府所订的一类标准。

表1.2 烟尘排放标准摘要

（总理府令59号，摘自“防止大气污染法施行规则”第4条附表2，1974年）

设 施	排放烟气量 规模 (标米 ³ / 小时)	排 放 标 准 克 / 标米 ³	特别排放标准 克 / 标米 ³
燃重油或其它液体燃料、气体燃料的锅炉 等	>200,000 >40,000 <40,000	0.10 0.20 0.30	0.05 0.05 0.20
燃煤 (发热量 < 5000 仟卡 / 仟克) 锅炉 等		0.80	0.40
除前二项的其它锅炉		0.40	0.20
煤气发生炉		0.60	0.40
加热 炉		0.20	0.10
焙烧炉、烧结机、煅烧炉	>40,000 <40,000	0.30 0.40	0.20 0.20
熔矿炉中的高炉		0.10	0.05
除高炉之外的熔矿炉	>40,000 <40,000	0.20 0.40	0.10 0.20

表上建

设	施	规模(排放量 标米 ³ /小时)	排 放 标 准 克/标米 ³	特别排放标准 克/标米 ³
燃烧型转炉及平炉		>40,000 <40,000	0.30 0.40	0.20 0.20
除燃烧型外的转炉			0.20	0.10
溶解炉		>40,000 <40,000	0.20 0.40	0.10 0.20
金属用加热炉		>40,000 <40,000	0.20 0.40	0.10 0.10
石油用加热炉			0.20	0.10
石油用催化剂再生塔			0.60	0.40
回收石油硫磺用燃烧炉			0.20	0.10
石灰煅烧地窖			0.80	0.40
除地窖外的石灰煅烧炉			0.60	0.30
熔炉中的罐炉			0.50	0.50

续上表

设 施	规模 (标米 ³ /小时)	排 放 标 准 克/标米 ³	特别排放标准 克/标米 ³
除 1 6、1 7、1 8 项外的密业用烧成炉、 熔融炉	>40,000 <40,000	0.20 0.40	0.10 0.20
反射炉及直接火焰炉	>40,000 <40,000	0.20 0.40	0.10 0.20
骨料干燥炉		0.80	0.40
干燥炉 (除 2 1 项外)	>40,000 <40,000	0.20 0.40	0.10 0.20
铁合金电炉	含硅 > 4 0 %	0.60	0.30
同 上	含硅 > 4 0 %, 并使用电石	0.40	0.20
除 2 5、2 4 项外的电炉	>40,000 <40,000	0.20 0.40	0.10 0.20
废物焚烧炉	>40,000	0.20	0.10
除前项外的废溶剂焚烧炉	<40,000	0.70 0.70	0.20 0.40

表 1·3 有害物质的排放标准

(引自 1973 年“防止大气污染法施行规则附表 3)

排放物质名称	设 施 的 种 类	排 放 标 准 毫克/标米 ³
镉及其镉化物	窑业制品生产用的烧成炉熔融炉使用 CdS , $\text{Cd}(\text{CO}_3)_2$ 焙烧炉, 烧结炉, 熔矿炉, 转炉, 溶解炉 干燥炉, 干燥镉等设施	1.0
氯	制造氯乙烯用的氯气快速冷却设施制造氯化亚铁用的溶解槽, 制造活性炭用的反应炉。	30
氯化氢	废 物 焚 烧 炉	700
	与 氯 设 施 相 同	80
氟、氟化氢 及氟化硅	窑业制品用的烧成炉, 熔融炉(玻璃制造业)制取磷等化学物的反应设施。制造磷酸钠用的反应设施干燥炉, 烧成炉。氟酸生产用的浓缩设施, 蒸馏设施	10
	电解铝生产用的电解槽	1.0(3.0)
	生产磷肥用的反应设施(电炉)	15
	与上面有关的熔炉, 平炉	20
	制造窑业制品用的设施(玻璃制造业)	20
铅及其铅化物	金属精炼用的焙烧炉转炉溶解炉	10
	金属精炼用的烧结炉, 熔矿炉	30

注: 1. 废弃物焚烧炉有关的氯化氢(HCl)的标准是 1979 年