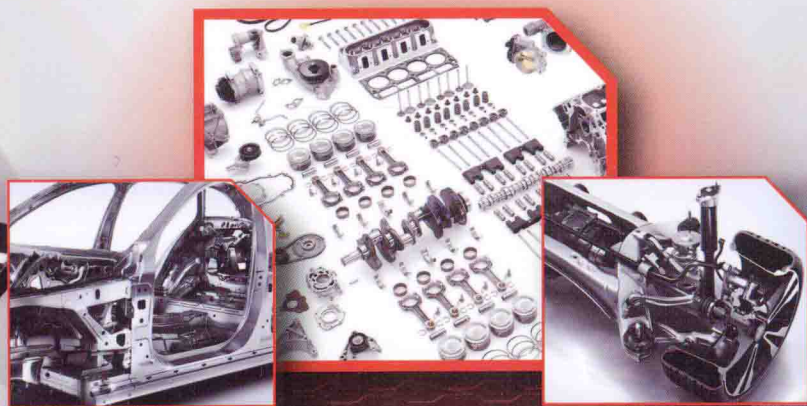


韩凤麟 编著

粉末冶金汽车关键零件 开发与应用

—— 新材料 · 新工艺 · 新产品 ——



FENMO YEJIN QICHE GUANJIAN LINGJIAN KAIFA YU YINGYONG
XINCAILIAO · XINGONGYI · XINCHANPIN

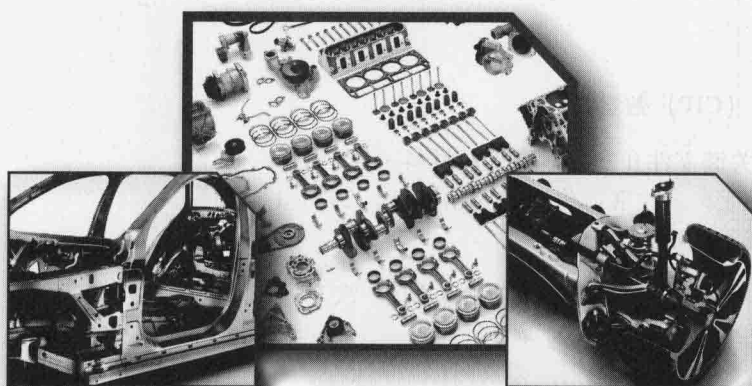


化学工业出版社

韩凤麟 编著

粉末冶金汽车关键零件 开发与应用

—— 新材料 · 新工艺 · 新产品 ——



化学工业出版社

· 北京 ·

粉末冶金汽车结构零件是一类产量大、应用面广的产品。为了进一步降低生产成本、改进产品性能、提高质量、增强竞争能力,适应市场发展需要,近年来,开发与生产了许多新材料、新工艺及新产品。本书重点介绍了这些方面的一些重要创新进展,内容主要涉及粉末冶金汽车零件的力学性能及开发应用,汽车同步器、发动机关键零部件的开发生产等。

本书可供汽车产业、粉末冶金零件生产与应用单位、机电产业与相关部门的设计、研究、管理人员参考,也可作为相关科研人员与理工院校师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

粉末冶金汽车关键零件开发与应用(新材料·新工艺·新产品)/韩凤麟编著. —北京:化学工业出版社,2015.1
ISBN 978-7-122-22085-1

I. ①粉… II. ①韩… III. ①粉末冶金制品-汽车-零部件-生产工艺 IV. ①U463

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第243342号

责任编辑:黄 澄
责任校对:陶燕华

文字编辑:闫 敏
装帧设计:王晓宇

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:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张15½ 字数380千字 2015年3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:88.00元

版权所有 违者必究

前言 FOREWORD

粉末冶金零件的主要市场在汽车零件，目前，中国的汽车总产量已接近 2000 万辆，不难看出，中国的粉末冶金汽车零件潜在市场巨大。因此，在以节能、减排、保护资源为第一要务的今天，大力宣传、推广粉末冶金零件在汽车制造中的应用，不仅具有重大的经济意义，而且，更重要的是，可促进汽车产业的创新与技术进步。

粉末冶金汽车零件一般是指在汽车中使用的粉末冶金自润滑轴承（现在通称烧结金属含油轴承）与粉末冶金结构零件，诸如，齿轮、链轮及阀座等。

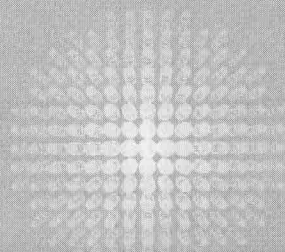
为了进一步降低生产成本、改进产品性能、提高质量、增强竞争能力、适应市场发展需要，近年来，开发了许多新材料、新工艺及新产品。本书重点介绍了这些方面的重要创新进展。

本书可供汽车产业、粉末冶金零件生产与应用单位、机电产业与相关部门的设计、研究、管理人员参考，也可作为相关科研人员与理工院校师生的参考书。

本书在编写过程中，得到了郭瑞金博士、亓家钟教授、荆慧主任、刘慧明等的大力帮助与热情支持，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中不当之处，在所难免，请广大读者批评指正。

编著者



目 录 CONTENTS

第 1 章 金属粉尘的危害与防止

1.1 金属粉尘的危害与防止方法	001
1.1.1 粉尘的定义及其产生	001
1.1.2 粉尘可能造成的危害	001
1.1.3 着火三角与爆炸五边形	003
1.1.4 关于粉尘爆炸可能性的评定	004
1.1.5 实际做法	005
1.1.6 贮运系统设计	005
1.1.7 粉尘收集装置的设计	009
1.1.8 有用的资源	009
1.1.9 结论	009
1.2 美国国家化学品安全与危害调查委员会 (CSB) 关于 Hoeganaes 铁粉厂的三次事故的最后调查报告	010
1.3 使用可燃气氛网带炉的安全操作	012
1.3.1 背景	012
1.3.2 气氛的方向性	012
1.3.3 气氛通入	013
1.3.4 外部的影响	014
1.3.5 结论	014
1.4 关于连续烧结炉内气氛气体控制与稳定和不锈钢网带使用寿命的延长	015
1.4.1 粉末冶金烧结炉	015
1.4.2 关于烧结气氛气体的控制	016
1.4.3 关于在连续网带烧结炉内分区供给气氛气体的问题	016
1.4.4 炉子进出口防空气进入的隔离帘设计	016
1.4.5 排气罩的设计	017
1.4.6 关于延长烧结炉的不锈钢网带的使用寿命	018

第 2 章 粉末冶金 Fe-Cu-C 合金汽车零部件的力学性能与尺寸控制

2.1 添加铜合金的方法对烧结 Fe-Cu-C 钢尺寸敏感性的影响	020
2.1.1 试验程序	021
2.1.2 结果与讨论	022

2.1.3 结论	026
2.2 粉末冶金 Fe-2Cu-0.8C 合金零件尺寸变化的分析与控制	026
2.2.1 烧结过程对粉末冶金 FC-0208 零件尺寸的影响	027
2.2.2 铜合金添加方法对 FC-0208 烧结时尺寸变化的影响	032
2.2.3 结束语	036
2.3 粉末冶金铜钢的力学性能与尺寸变化	037
2.3.1 铁基粉末合金中的合金化元素	038
2.3.2 铁基粉末冶金产品中的合金化系统	038
2.3.3 Cu 作为粉末冶金钢中的合金化元素的特性	038
2.3.4 Cu 合金粉末冶金钢的力学性能	039
2.3.5 Cu 的偏聚及其对公差的影响	041
2.3.6 Cu 粉粒度及扩散黏结的影响	042
2.3.7 Cu 合金化对孔隙大小的影响	043
2.3.8 含 Cu 粉末冶金钢的应用	045
2.3.9 结论	046
2.4 粉末冶金 Fe-2Cu-0.5C 材料的显微结构对疲劳性能的影响	047
2.4.1 Fe-2%Cu-0.5%C (FC-0205) 的显微结构	047
2.4.2 断口结构显微镜观察	050
2.4.3 显微结构对 Fe-2%Cu-0.5%C 材料疲劳性能的影响	052
2.4.4 结束语	056

第 3 章 粉末冶金铬钢汽车零部件的开发与应用

3.1 制造粉末冶金零件用铬钢粉的开发	057
3.1.1 概述	057
3.1.2 试验程序	057
3.1.3 结果	058
3.1.4 讨论	060
3.1.5 结论	061
3.2 由粉末冶金 Fe-(Cr,Mo) 钢制备的同步器齿毂的力学性能	061
3.2.1 概述	061
3.2.2 试验	061
3.2.3 拉伸试样与同步器齿毂的性能	062
3.2.4 结论	065
3.3 用于制造高性能同步器齿毂的 Astaloy CrA 烧结-硬化材料	065
3.3.1 概述	065
3.3.2 试验程序	066
3.3.3 结果与讨论	067
3.3.4 结论	069
3.4 烧结条件与组成对含 Cr 粉末冶金钢力学性能的影响	070
3.4.1 试验程序	070
3.4.2 结果与讨论	071
3.4.3 工业烧结试验	073
3.4.4 结论	074

3.5 氧对 Fe-(Cr,Mo) 粉末冶金钢的显微组织与断口形态的影响	074
3.5.1 粉末冶金铬钢中的氧	074
3.5.2 试验	075
3.5.3 结果	076
3.5.4 讨论	078
3.5.5 结论	079

第4章 高密度粉末冶金汽车零件生产用润滑剂/黏结剂的开发与应用

4.1 黏结剂/润滑剂开发改进了粉末冶金零件的质量与强度	080
4.2 粉末冶金零件生产需要的高性能润滑剂	083
4.2.1 概述	083
4.2.2 对铁粉致密化的说明	083
4.2.3 对在刚性模具中的压制过程的分析	084
4.2.4 结果	086
4.2.5 结论	092
4.3 在中常温度下高密度零件压制用润滑剂	092
4.3.1 概述	092
4.3.2 基本情况	093
4.3.3 试验程序	094
4.3.4 结果与讨论	094
4.3.5 结论	098
4.4 粉末冶金零件生产用润滑剂的性能改进与选择	098
4.4.1 概述	098
4.4.2 通常粉末冶金零件生产中使用的固体润滑剂	098
4.4.3 黏结剂处理的工艺与发展	101
4.4.4 结束语	104

第5章 粉末冶金汽车零件生产的烧结-硬化工艺

5.1 现行烧结-硬化工艺回顾	105
5.1.1 烧结-硬化合金	105
5.1.2 烧结炉设计	107
5.1.3 回火	107
5.1.4 结论	109
5.2 高密度烧结-硬化材料的性能与应用	109
5.2.1 试验程序	110
5.2.2 结果	110
5.2.3 讨论	112
5.2.4 Alpha Sintered Metals 的齿轮生产	113
5.2.5 结束语	113
5.3 粉末冶金铁基零件的烧结-硬化处理	114
5.3.1 淬透性与淬硬性(可硬性)的区别	115
5.3.2 粉末冶金结构零件的淬透性	115

5.3.3	影响烧结-硬化冷却速率的因素	116
5.3.4	合金化方法对铁基粉末冶金结构零件材料淬透性的影响	118
5.3.5	烧结-硬化的优势	119
5.3.6	烧结-硬化钢	119
5.3.7	用烧结-硬化工工艺生产的粉末冶金变速器驻车制动器	120
5.3.8	结束语	122
5.4	组成与生产工艺对烧结-硬化粉末冶金钢尺寸精度的影响	122
5.4.1	概述	122
5.4.2	试验程序	122
5.4.3	结果	123
5.4.4	结论	129
5.5	孔隙度对粉末冶金钢的热特性、硬度、淬透性及显微组织的影响	129
5.5.1	概述	129
5.5.2	试验程序	130
5.5.3	结果	131
5.5.4	讨论	132
5.5.5	结论	134
5.6	后烧结热处理对烧结硬化粉末冶金钢零件尺寸精度与力学性能的影响	135
5.6.1	概述	135
5.6.2	试验程序	135
5.6.3	结果	136
5.6.4	结束语	140
5.7	用烧结硬化工工艺生产汽车分动箱链轮	140
5.7.1	概述	140
5.7.2	粉末材料选择	141
5.7.3	混合料配方与生产工艺条件	141
5.7.4	烧结硬化与尺寸变化控制	143
5.7.5	应用	144
5.7.6	结论	146

第6章 汽车同步器粉末冶金齿毂与齿环的开发与生产

6.1	粉末冶金同步器齿毂近年的生产与开发进展	147
6.1.1	粉末冶金齿毂生产概况	148
6.1.2	温压同步器齿毂的开发	149
6.1.3	温压同步器齿毂的生产	154
6.1.4	几点启示	154
6.2	具有摩擦材料衬面的粉末冶金同步器锁环生产与使用性能	155
6.2.1	概述	155
6.2.2	粉末冶金同步器锁环的生产发展	155
6.2.3	同步器锁环环体与摩擦材料衬面的连接	158
6.2.4	对摩擦材料衬面的摩擦学性能的评定	158
6.2.5	结束语	162

第7章 汽车发动机关键零件——阀座圈材料的改进

7.1 汽车发动机用无 Co 排气阀座圈材料的开发	163
7.1.1 概述	163
7.1.2 材料开发的基本概念	163
7.1.3 材料开发的工艺流程与方法	164
7.1.4 实验的方法与结果	164
7.1.5 开发的阀座圈材料的力学特性和对显微组织观察的结果	167
7.1.6 关于切削性	168
7.1.7 实际发动机的运行评价	168
7.1.8 结论	169
7.2 压缩天然气 (CNG) 发动机高耐性阀座圈材料开发	169
7.2.1 日立粉末公司开发“CNG (压缩天然气发动机) 用高耐磨性阀座材料”	169
7.2.2 EH-52H 的显微组织	169
7.2.3 切削性能的改进	171
7.3 易切削高耐磨性气门座圈材料开发	175
7.3.1 试验方法	175
7.3.2 试验结果与讨论	177
7.3.3 实际发动机的耐久性评定	179
7.3.4 结论	179
7.3.5 应用实例	180
7.4 柴油机用高性能阀座材料的开发	180
7.4.1 评定阀座的模拟试验机概要	180
7.4.2 模拟试验的条件	180
7.4.3 模拟试验结果	181
7.4.4 开发的材料	182
7.4.5 结论	184

第8章 汽车发动机用粉末冶金链轮的开发

8.1 汽车发动机用温压粉末冶金链轮的开发	185
8.1.1 基础力学特性的确认和确定链轮技术规范的试验程序	185
8.1.2 批量生产技术的确立	187
8.1.3 针对实际生产对模具与装置构造的改进	188
8.1.4 总结	189
8.2 直喷汽油 (DIG) 汽车发动机无声链条系统用温压-高温烧结粉末冶金链轮的开发	189
8.2.1 研究开发的背景	189
8.2.2 试验方法	190
8.2.3 试验结果	191
8.2.4 确认试验	192
8.2.5 关于开发的链轮	192

8.2.6 结束语	194
8.3 一种直列式 6 缸发动机主轴承盖的开发	195
8.3.1 材料选择	195
8.3.2 制造工艺改进与材料性能	196
8.3.3 切削性试验	197
8.3.4 静态强度试验	198
8.3.5 疲劳试验	199
8.3.6 结论	200

第 9 章 粉末冶金零件生产用石墨粉的选择

9.1 石墨粉的主要特性	201
9.2 粉末冶金零件生产用石墨粉的性能	202
9.2.1 ASBURY 碳素公司 (美国) 的产品	203
9.2.2 TIMCAL 石墨有限公司 (瑞士) 的产品	203
9.3 粉末冶金结构零件生产中选择石墨粉的原则	205
9.3.1 石墨粉对混合粉流动性的影响	205
9.3.2 石墨粉对烧结零件性能的影响	206
9.3.3 石墨粉对烧结零件尺寸稳定性的影响	209
9.4 石墨粉应用实例	210
9.5 结束语	211

附录 1 常用工程数据与资料

附录 2 ISO 5755: 2001E (GB/T 19076—2003) 烧结金属材料规范

参考文献

第1章 金属粉尘的危害与防止

在金属粉末生产、粉末输送与压制成形以及粉末零件精加工中，都可能产生粉尘。本来，在输送粉末中就有粉尘颗粒，或在处理与生产加工期间有意或无意的颗粒粉碎也可能产生粉尘。粉尘意味着健康环境严峻与安全危险。遗憾的是，在粉末冶金产业中对产生粉尘的后果认识不足，且缺少控制粉尘的措施，致使产生了爆炸与死亡事故。

1.1 金属粉尘的危害与防止方法^[1]

1.1.1 粉尘的定义及其产生

在文献中，关于粉尘有许多定义。这些定义关于其颗粒大小与悬浮特性并不相同。在NFPA（美国国家消防协会）的NFPA 68中关于粉尘的定义是直径小于 $420\mu\text{m}$ 的任何细小固体颗粒。依据国际标准化组织（ISO 4225—1994）的定义，粉尘系由细小固体颗粒组成，通常将其看作是直径小于 $75\mu\text{m}$ 的颗粒，其在自身重量作用下沉淀，但可能仍会悬浮若干时间。按照“大气化学术语的术语”，粉尘是由自然力（诸如风力，火山喷发）和由机械的或人工生产作业（诸如破碎、研磨、磨碎、钻孔、爆破、挖掘、输送、筛分、装袋及扫除）散发到空气中的细小、干燥、固体颗粒聚集物。虽然，粉尘的定义不同，但一般说来，可将粉尘描述为能够在空气中悬浮相当时间的细小物料颗粒。

粉尘来自何处？就工业环境而言，粉尘是在制造或输送作业时产生的。例如，让我们集中在粉末冶金产业的典型生产作业来看，在用粉碎方法生产粉末时，产生的粉尘呈被粉碎的金属氧化物与减小的金属颗粒状。在生产粉末冶金零件时，当混合各种元素金属粉末与添加剂时，会产生粉尘。在用各种设备处理这种混合粉时，为粉尘的分离与集中进一步提供了可能性。这些作业包括诸如贮料仓充填，混合/混料机出料及压制成形。粉末冶金零件的精加工作业也可能产生粉尘。

粉尘的产生与其在空气中持续悬浮的机理起因于空气动力学的力。产生的任何粉尘都有可能通过空气流被带到另外一个地方。通风的空气流或物料降落时产生的空气流都会作用在物料中的细小颗粒（粉尘）上，并将它们从主气流中分离出来，见图1-1。因此，即便是在一个地方产生的粉尘，在远离产生处的另外一个地方，也可能感受到粉尘问题。

1.1.2 粉尘可能造成的危害

粉尘可能会严重危害健康、环境及安全。特别是在空气中含有粉尘时，在许多场合，用肉眼不容易看出粉尘颗粒。空气中含有的粉尘可通过呼吸与皮肤吸收入体内。大多数致命的危害都和粉尘的吸入与燃烧相关。

1.1.2.1 暴露于粉尘中对健康的影响

倘若，粉尘被释放于大气中，人们就可能被暴露于其中和吸入粉尘。倘若，粉尘是有害

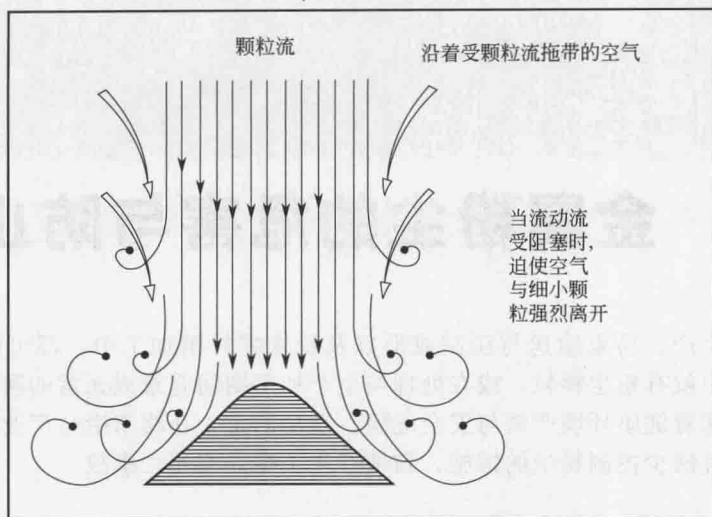


图 1-1 粉末贮存时粉尘产生的例子

的，有的人的健康就可能会受到损害，损害的范围可能是从小的损伤到无法恢复的疾病甚至危及生命的状况。与粉尘环境相关的对健康的危害取决于粉尘的种类（物理的、化学的及矿物的特性）与暴露状况。暴露状况取决于粉尘浓度、粉尘的颗粒直径及暴露时间（持续时间），进一步还受到呼吸状况的影响，例如呼吸的速率与容积。由于暴露于有害粉尘中对健康产生的影响可能只有长期暴露后才会变得明显；这往往是一种肺病—肺尘病的情况。甚至在暴露停止后，影响才显露出来。因此，比较容易被忽略或被弄错，认为是非职业环境造成的。可是，许多种粉尘，由于较高的浓度，于较短时间内也会造成伤害。

由于暴露于不同种类的粉尘都会损害健康，其中包括有肺尘病、癌、系统中毒、硬质合金病、发炎与肺炎、过敏性反应（包括哮喘病与外源性过敏性肺炎）、感染与对皮肤的损伤。已证实许多粉尘都是致癌物，例如六价铬与某些铬酸盐，砷（元素的与无机化合物）和某些含有镍的粉尘。暴露在肺部的大剂量离子化放射线沉积的放射性颗粒，可能会使肺组织生癌或它们可能从肺部转移与损害身体的其他部位。

一些粉尘可进入血液，从而通过有机体输送和使一个或几个有机组织或系统遭受中毒伤害，例如，肾，肝及血液。这种系统中毒的类型可能是急性的（即发作快与持续时间短）或是慢性的（持续时间长和通常发作慢），这取决于粉尘的种类与暴露程度。毒性金属粉尘，诸如铅、镉、铍、镍及锰都可能引起系统中毒，损伤血液、肾或中枢神经系统。

过分暴露于某些硬质合金粉尘（例如，钴与碳化钨）或含有硬质合金的粉尘都可能引起弥漫性肺间质纤维化，同时增大呼吸困难。甚至在停止暴露后，病情严重者可能仍在发展。往往将这种病和职业性哮喘病混淆。

美国国家职业安全与健康研究所（NIOSH）指出，有害呼吸性疾病与恶性肿瘤死亡者共计约占全部职业病死亡率的 70%。在 2000 年，估计由于哮喘病、慢性障碍性肺病及肺尘病死亡者为 386000 人。

关于由于暴露于粉尘而患有职业病与受到损伤的更多的资料，可查阅世界卫生组织（WTO）的出版物。

1.1.2.2 粉尘燃烧/爆炸

当粉尘易燃时，其也有爆炸的危险，见图 1-2。易燃粉尘的危险涉及很大范围的材料、产业及操作——包括金属粉末。任何可燃性材料，当处于细碎形态时，都有可能迅速燃烧。

通常知道的许多氧化性材料（例如，镁）都可能发生粉尘爆炸。可是，许多常用的粉末金属（诸如铁、铝及钛）都可能形成空气中的悬浮物，从而引起爆炸。一般而言，关于产业发生的爆炸仍然集中于诸如糖与木材之类的有机材料。可是，在粉末冶金产业也发生过爆炸。下面的一些例子，都是金属粉尘聚集导致的爆炸。

在 2003 年，Hayes Lemmerz International, Inc. 发生过一起毁灭性爆炸。这是一家位于印第安纳州（Indiana）的制造铝车轮的工厂。爆炸是引燃铝粉造成的。在工厂的生产过程中，包括有对车轮铝铸件的切削加工。切削加工会产生切屑与碎屑。在将这些碎屑装于再熔化炉熔化之前，要进行干燥。将碎屑的粉尘收集与输送到建筑物外面的粉尘收集器。



图 1-2 粉尘爆炸的例子

美国化学品安全与危险调查委员会（CSB）确定，粉尘收集器的爆炸是通过系统的管道系统送出的压力波并返回到建筑物内，然后，在建筑物中喷出一个向高处射去的大火球，进一步引燃了聚集在屋顶椽子与设备上的铝粉尘造成的。

CSB 的主要调查结果，包括铸造区内部的服务工作不适当与碎屑加工设备的保养不到位，从而导致了粉尘积聚，为第二次爆炸提供了燃料。特别是，调查结果中注意到，粉尘收集器过滤器只是偶尔清理一下，一些导管由于腐蚀而漏泄，在发生事故时，维护工人没有穿阻燃服，和公司没有正式书面的维护措施或在粉尘收集器系统处培训过。

CBS 还确定，Hayes Lemmerz 没有保证按照美国国家消防协会发布的重要着火规范中的管理来设计所管理的粉尘收集系统。铝粉尘是爆炸性最强的金属粉尘之一，且粉尘收集器的设计、安装或维护不当都存在有爆炸与着火的风险。

和铝粉尘一样，铁粉尘实质上也是可燃的。2011 年，在美国 Tennessee, Gallatin 的 Hoeganaes Corp. 的铁粉生产工厂发生过死亡事故。虽不认为铁粉尘是爆炸的主要来源，可是，由于主要爆炸驱散了可燃性铁粉的聚集物，从而造成了伤害。

最近，在美国 ATI Rowley Operations 发生的爆炸涉及钛的粉尘。爆炸中有两名维修工人受伤。将钛粉尘从空气中分离出细小颗粒的过滤器可能是爆炸的一个因素。关于这个事件仍在进行调查研究中。ATI 有自己的意外事故处置小组负责为人们消毒。

这些事例清楚证明，金属粉尘有爆炸性危险。现在，让我们详细说明粉尘爆炸和粉尘爆炸必须具备的各种要素。

1.1.3 着火三角与爆炸五边形

开始着火必须具备的三要素是燃料、氧化剂及点火源。将这三者叫做着火三角。当这三个要素具备时，就会着火。对于可燃性粉尘的爆炸，还需要增加两个要素。这两个要素是，浓度足够高的颗粒的弥漫性和粉尘云的封闭性。这五个要素一起叫做爆炸的五边形。见图 1-3。倘若粉尘云是在封闭的或半封闭的料仓、区域及建筑物中被点燃，其将很快燃烧，并

可能发生爆炸。

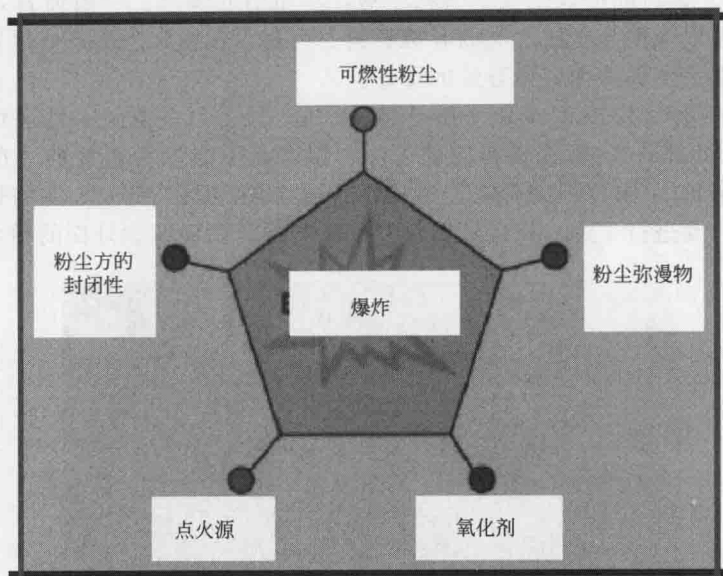


图 1-3 着火三角与爆炸五边形

在加工设备或聚集有松散粉尘的区域，刚开始爆炸时可能会将较多聚集的粉尘振动松散或损坏容器装置（诸如管道、料仓、容器或收集器）。结果，着火时，使更多的粉尘弥漫于空气中，从而可能引起再一次或多次爆炸。由于弥漫的可燃性粉尘的数量与浓度增大，这时比初次爆炸造成的破坏要大得多。

1.1.4 关于粉尘爆炸可能性的评定

如果危险和金属粉尘相关，在工厂评定粉尘爆炸的可能性时，就要慎重评价粉末的贮运/存储作业。在对这些作业进行评审时，确定的任何缺陷，都应立刻纠正。在进行这些评审时，要评审的一些关键方面如下：

① 确定要贮运的粉尘的可燃性。一些粉尘的可燃性可能比另外一些强。可燃性越强，粉尘爆炸的可能性就越大。例如，镁与铝的粉尘都是可燃性很强的。

a. 确定可燃性与急燃性指数（爆炸严重性）的 K_{st} 试验（ASTM E 1226）可为这方面提供有用的资讯。但是，仍然获悉有许多严重事故是被分类在 K_{st} 危险最低的 ST1 中的粉尘引发的。

b. 对最低着火温度（MIT）、最小着火能量（MIE）及最低可爆炸浓度（MEC）进行测定，这些都可提供关于粉尘爆炸性的进一步信息；许多专家都认为，对于建立适当的技术控管，这些测定都是非常重要的。

② 确定可能产生可燃性粉尘的敞露区域。例如，空气流时常携带产生的粉尘离开产生处和最终聚集于工厂地面。

③ 确定可燃性粉尘可能聚集和/或隐蔽的区域。这种地方，例如有设备顶部、屋顶椽子、结构的工字钢梁、扁平甚至圆形管道、吊顶、工艺管道或内部的控制与配电盘及密封差的加工设备。在这些地方聚集的粉尘都难以发现。其可能由于长期被忽略而产生粉尘，且从粉尘爆炸的观点来看，聚集的粉尘达到了危险浓度。

④ 确定导致爆炸浓度所必需的粉尘聚集数量。由于有许多变量会影响爆炸的浓度值，因此，爆炸浓度的数值可能是不同的。例如，粉尘的颗粒大小、弥漫方法、通风系统的模

式、空气流、实际屏障、粉尘云存在的或可能存在的区域的容积,这些可能都会影响形成爆炸浓度所需要的粉尘聚集的数量。

⑤ 确定可将粉尘弥漫于空气中的所有模式。

⑥ 考虑可能的着火源,例如,热表面、过热轴承、燃屑、燃烧器、接地差(产生静电)、电短路、旋转/运转的设备有金属与金属的接触点。

⑦ 对工厂现行的维护状况进行评审。许多事故都反映了设备维护不到位。

⑧ 将考虑到的在正常加工与可能发生故障的情况下,使粉尘弥漫的所有可能的情况,进行彻底分析。

1.1.5 实际做法

从粉尘-爆炸的观点来看,NFPA 654 包括了关于良好实际做法的全面指引,要点有:

① 每隔一定时间清除与回收一次粉尘。采用的清除方法不能产生粉尘云。

② 控制静电,包括设备接地。

③ 控制吸烟、敞露火焰、机械火花与摩擦。将热表面与粉尘隔离开。

④ 对燃屑/火花进行检查和提供灭火设备。

⑤ 用距离或利用屏障,将可能发生爆炸的区域和其他区域隔离开。

⑥ 在粉尘环境中时或在可能发生粉尘爆炸的地方,必须使用适当的人身防护装置(PPE)。

⑦ 所有隐蔽区都要有可进行检查的进出口。

⑧ 操作人员和维护人员都是处于防止与缓解着火与爆炸的第一线的;对他们要进行识别与防止粉尘危害的培训。

⑨ 在采用任何新材料、新加工工艺和/或新设备之前,都要进行危害分析。

1.1.6 贮运系统设计

贮运粉末状材料的工厂,首先必须设计适当的贮运系统,以使产生的粉尘最少化。另外,对仍然产生的任何粉尘都必须进行安全收集与贮运。这一节将简述粉末流动的原理,以及依据可靠流动与粉尘最少化的观点,说明粉末存储与贮运设备的设计原则。下面讲粉尘收集系统的设计原则。

1.1.6.1 输送时粉尘的产生

粉末冶金产业通常用的粉末贮运设备包括高级包装袋与盖洛德(Gaylord)箱装卸装置、手提式容器、混料机、装料漏斗、斜槽、加料器、输送机及提升机。通常,在贮运系统内部的加工设备之间,要将粉末输送几次。可惜,虽然需要将它们在固定设计安排中定位,但常常在最后才设计输送点。这可能会造成设计不当,致使材料的轨迹失控和产生粉尘。

产生粉尘的主要机理是,细小颗粒弥漫于随粉末流降落而产生的湍流空气流中。降落的粉末流的一些动能从粉末传递给粉末流中的空气,并在较小程度上,传递给了进入边界处粉末流周围的空气。在输送斜槽的末端,通常空气会被强烈排出,从而可看到显著起尘。在粉末流与周围空气之间的边界处,一些细小颗粒由于摩擦拖拉,也会脱离粉末流且被带走。

当夹带空气的颗粒流碰到位于使颗粒流的角度突然改变处的倾斜板或设备内表面(内壁)时,会产生额外的湍流。在设计不当的斜槽中,对粉末流难以控制与集中,且常常冲撞槽壁与弹回。当粉末流冲撞斜槽壁时,粉末流的速度减小。一般会使粉末中的细小颗粒被空气带走。因此,为了减小在贮运时产生粉尘,对粉末输送进行适当设计是重

要的。

1.1.6.2 粉末流动的式样与粉尘产生

倘若粉末平稳地通过存储与贮运设备流动，则产生的粉尘较少。若粉末流动处于扰动状态，则会产生较多的粉尘。不管料仓或漏斗内部的粉末是以平稳的还是扰动的状态流动，都取决于在装置内部的流动式样。在存储容器或装置中的粉末的流动式样取决于粉末自身与容器的设计。例如，当粉末借助重力从存储容器卸料时，可能主要有两种流动式样：漏斗式流动与质量式流动。图 1-4 所示为这两种流动式样的示意图。

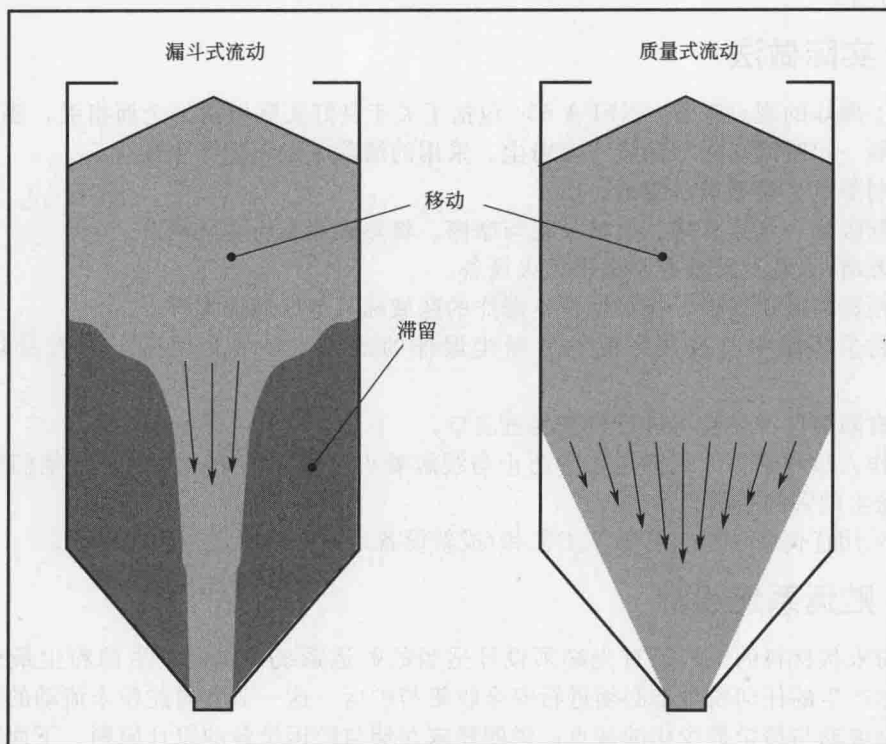


图 1-4 漏斗式流动与质量式流动的式样

关于漏斗式流动，卸料时，仅只部分粉末在移动，其通过在滞留粉末中形成的通道向出口流动。当漏斗的陡峭与平滑性不足以保证沿着漏斗壁流动或当出口不完全有效时，就会产生漏斗式流动。

关于质量式流动，无论何时卸料时，粉末都是全都移动；且不存在滞留粉末。当漏斗的陡峭与平滑性能保证粉末沿着漏斗壁流动时，就会产生质量式流动，但不得有浅凹处且出口必须充分有效。

在粉末存储装置中发生的流动问题都和存储装置卸料的流出式样有关。漏斗式流动装置最容易发生流动问题。下面讨论通常可能导致卸料突然停止/开始的问题，从而有可能产生粉尘。我们用“料仓 (bin)”这个词来代表所有各种粉末存储装置，诸如漏斗 (hopper)、贮仓 (silo) 或手提式容器。

最常见的流动问题是，粉末不能从料仓中流出。不能流出的状况可能是由于形成拱堆 (arching) (也叫做悬料) 或鼠洞 (rat holing) 所致。当在漏斗出口上部形成拱形或桥形阻塞时就会形成拱堆，从而导致不能流出的状态。拱堆可能是由于粉末的黏聚强度或是由于大颗粒的机械连接 (好像在粉末冶金产业中较少) 形成的。质量式流动与漏斗式流动二者都可

能形成拱堆。可是,和质量式流动相比,漏斗式流动较倾向于黏聚性拱堆。图 1-5 所示为拱堆问题的一例。

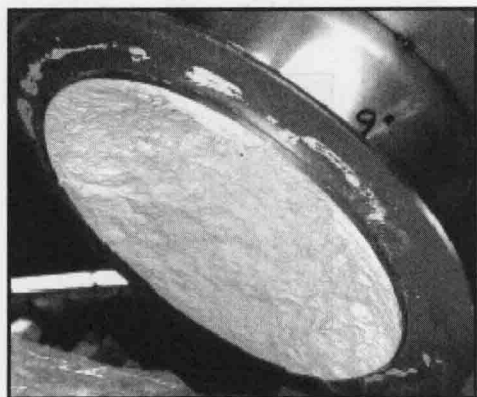


图 1-5 漏斗出口上部的粉末拱堆例

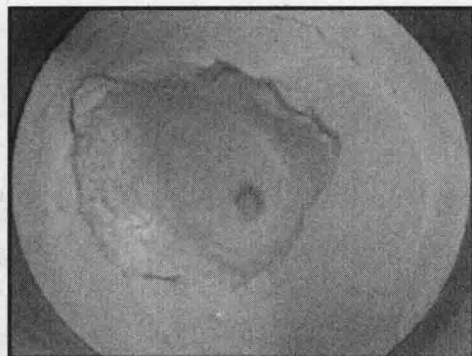


图 1-6 漏斗中的粉末鼠洞例

鼠洞仅只发生在漏斗式流动的料仓。在漏斗式流动中,粉末是通过一由滞留粉末围绕形成的陡峭漏斗型流出通道向出口流动的。当流动通道中的粉末水平下降时,粉末层就从滞留区顶面滑落进入流出通道。若产生这种故障时,流出通道将排空和形成鼠洞。这会导致不能流动的状态,如图 1-6 所示。像拱堆与鼠洞之类问题的产生都会造成不稳定的/扰动的流动,从而导致粉尘产生。

金属粉末一般是细小与干燥的,但是,在料仓中流动时,因为粉末的压缩与胀大都是间隙中的气体与固体颗粒的二相流动,也可能具有独特的流动特性。将失控的卸料定义为溢流。当要求的流动速率太高,以致使夹带的气体无法排出或由于鼠洞崩溃都可能产生溢流。这会导致粉末中充满气体,使其性状和流体一样,并失控地通过料仓出口流出。失控的卸料会导致产生相当大量的粉尘。并且,和流体一样,能够通过密封不好的装置漏泄出来。

因此这些流动问题都有可能产生粉尘。另外,还会导致丧失宝贵的生产时间、增大维护与内部管理的生产费用。

1.1.6.3 粉末偏聚与对粉尘产生的影响

在贮运金属粉末混合粉时或当金属粉末的颗粒大小分布明显时,在贮运时颗粒都有可能依据颗粒大小分离。这可能会导致形成细小或粗大颗粒的高浓度区。将这叫做粉末偏聚,其会使贮运设备排料孔中聚集与排出细小粉末。由于上面列举的各种原因,粉尘可能悬浮在空气中,从而导致产生较多粉尘。

有许多不同的机理会影响粉末混合粉和造成其偏聚。可是,这些机理中最常用的三个是筛分、流态化及起尘偏聚,见图 1-7。筛分偏聚是使较小的颗粒通过较大颗粒行列移动的一个过程,这是一种常见的偏聚方法。当将粉末混合物装于料仓中时,混合物中的细小颗粒趋向富集于装料处下方,而粗大颗粒则滚到粗大与细小颗粒水平分离的周边。倘若,这种混合物在漏斗式流动中卸料时,富集的细小颗粒,将首先流出并可能产生粉尘。偏聚对产品质量与可贮运性(handleability)也都有显著影响。产生筛分偏聚,必须具备下列条件:①混合粉各组分的颗粒大小必须不同;②平均颗粒大小应该足够大(一般大于 $50\mu\text{m}$);③粉末必须是自由流动的;④颗粒之间必须能相互移动。

流态化偏聚可能导致纵向分层,即分为细小与粗大粉末的水平层。一般细小粉末的透气性比粗大粉末小,趋向于保持空气的时间较长。因此,当将充满大颗粒的料仓倒入流态床时,表面附近的细小颗粒仍然是流态化的。当高速率地装料/卸料时或若出现气体反向流动