

# 粉末冶金与省材节能

北京粉末冶金研究所

# 粉末冶金与省材节能

杜 桂 馥

一九八三 北京

## 写在前面

粉末冶金省材节能问题，是一项重要的研究课题。笔者对此久有留心，并做了一定的资料积累。

一九八二年三月，北京粉末冶金研究所决定正式列为课题进行研究。笔者自接受任务后，集中了几个月的时间进行调查、收集和整理，汇总后编写出数万字的文稿。一九八二年十二月三十日于在京举行的中国机械工程学会粉末冶金学会成立二十周年暨第四届学术年会上作了大会发言。

粉末冶金与省材节能这项专题情报研究，由于其本身的工作量和技术难度，以及各方面在组织和配合上存在的问题，加上又未能进行全面深入的实地调查，因此仍有待于和同志们共同进一步研究和深化。

这本小册子里汇集的两篇情报研究专题分析报告，是今年四月在上述文稿的基础上经过压缩加工而成，为满足各有关方面需要，特别是为配合全国节能月活动和我行业节能工作开展，暂付印发行，作者水平有限，望不吝指正。

作者对为该课题热情提供资料的单位和同志、以及帮助整理资料的同志，表示衷心感谢。

编者

1983年10月1日

# 目 录

## 粉末冶金能源消耗及节能途径

### ——情报研究专题分析之一

|                                     |        |
|-------------------------------------|--------|
| 一、前言                                | ( 1 )  |
| 二、粉末冶金的能源消耗                         | ( 2 )  |
| 1. 制粉耗能                             | ( 3 )  |
| 2. 混粉和压制工序耗能                        | ( 7 )  |
| 3. 烧结工序耗能                           | ( 8 )  |
| 4. 吨粉件综合耗能分析                        | ( 11 ) |
| 三、粉末冶金的节能潜力及节能途径                    | ( 12 ) |
| 1. 我国粉末冶金能源消耗初探                     | ( 12 ) |
| 2. 我国粉末冶金能源消耗上存在的<br>问题及差距          | ( 13 ) |
| 3. 学习国外节能经验, 开展以节能为<br>中心的技术改造和设备更新 | ( 15 ) |
| 4. 粉末冶金节能目标                         | ( 19 ) |
| 四、几点看法和建议                           | ( 20 ) |

## 粉末冶金与省材节能

### ——情报研究专题分析之二

|                  |        |
|------------------|--------|
| 一、前言             | ( 24 ) |
| 二、粉末冶金具有省材节能的优越性 | ( 25 ) |
| 1. 粉末冶金与铸造对比     | ( 25 ) |

|                                    |        |
|------------------------------------|--------|
| 2. 粉末冶金与锻造对比·····                  | ( 25 ) |
| 3. 粉末锻造与普通锻造对比·····                | ( 26 ) |
| 4. 粉末冶金与机加工对比·····                 | ( 28 ) |
| 5. 粉末冶金冷塑加工与普通锻造—<br>机加工对比·····    | ( 30 ) |
| 6. 粉末冶金与普通加工方法省材节能<br>综合对比分析·····  | ( 30 ) |
| 三、粉末冶金在能源开发和节能产品中<br>的应用·····      | ( 33 ) |
| 1. 能源开发离不开粉末冶金技术·····              | ( 33 ) |
| 2. 粉末冶金在节能机电产品中的应用·····            | ( 35 ) |
| 1) 省材节能效果·····                     | ( 35 ) |
| 2) 节油效果·····                       | ( 35 ) |
| 3) 粉末冶金剪切刀具为研制新型低损耗<br>变压器出力·····  | ( 36 ) |
| 4) 粉末冶金零件在节能型汽车上<br>的应用将进一步扩大····· | ( 37 ) |
| 四、从省材节能看粉末冶金在国民经济<br>中的地位和作用·····  | ( 37 ) |

# 粉末冶金能源消耗及节能途径

## ——情报研究专题分析之一

### 内容提要

文章通过对国内外粉末冶金能源消耗的综合分析,介绍并验算了粉末冶金从制粉、混料、压制和烧结各工序的耗能情况,并指出制粉和烧结工序是粉末冶金耗能最多的生产环节;文章揭示出我国粉末冶金在能源消耗和能源合理使用上存在的问题并指出粉末冶金节能的潜力和节能途径,认为学习国外先进经验,开展以节能为中心的技术改造和设备更新是当前粉末冶金节能工作开展的关键。作者从节能观点出发,就粉末冶金节能工作提出了建议。

### 一、前言

自1973年中东石油战争爆发后,世界廉价能源时代即宣告结束,代之以能源危机或能源短缺,其形势之严重至今不得缓解,在此情况下,节能已发展为世界性潮流,与煤炭、石油及天然气、水电和核电四大常规能源并论,被国外称为开发“第五大能源”。

我国能源问题也很严重。为了实现“翻两番”的战略目标,除加强能源开发外,进一步开展全民性节能活动是目前四化建设的当务之急。

粉末冶金工业作为能源消耗工业部门之一,自身消耗多少能源,能源有效利用率如何,与国外粉末冶金耗能水平相

比存在哪些差距，如何根据生产设备、工艺流程特点，借鉴国外经验迅速把粉末冶金企业热平衡测试工作开展起来，并进一步推动全行业节能工作的开展；粉末冶金节能潜力何在，如何开展企业自身节能，其途径如何，这些就是本文试图探讨的问题。

## 二、粉末冶金的能源消耗

现代粉末冶金生产活动的主要内容基本由下述两部分组成：一部分是生产金属粉末，主要是铁粉，另一部分是以金属粉末为原料，通过混、压、烧等工艺过程，生产粉末冶金材料或制品，因此粉末冶金工业的能源消耗也大体分为生产金属粉末，主要是生产铁粉所需要的能源和加工粉末冶金材料和制品所需要的能源两部分。

影响粉末冶金能源耗用量和耗用水平的因素很多，这与国情资源、能源构成类型、能源价格和能源转化方式有关，同时与矿石等原材料价格，设备水平，工艺技术水平以及产品产量和质量，经营管理方式等因素也有着直接的关系。因此衡量能源消耗水平以及进行各工序之间的耗能比较，只能以现代企业技术经济指标作为基础加以测算和对比。由于各国使用的热量单位不统一，为便于比较，文中根据国家标准（GB2586—81）规定，将不同热量单位在必要时尽量换算成统一的国际制单位焦耳（千焦（KJ）即 $10^3\text{J}$ ，兆焦（MJ）即 $10^6\text{J}$ ，和吉焦（GJ）即 $10^9\text{J}$ ），并以：

$$1 \text{ Btu (英热单位)} = 1055 \text{ J,}$$

$$1 \text{ kwh (千瓦时)} = 3.6 \times 10^6 \text{ J,}$$

$$1 \text{ kcal (千卡)} = 4.185 \times 10^3 \text{ J 进行换算。}$$

### 1. 制粉耗能

日前国内外生产铁粉的方法主要有还原法和雾化法两种。据美国福特汽车公司 S.M.Kaufman 测算<sup>[1]</sup>，用还原法生产一吨铁粉耗能 19.6 MBtu，即 20678 MJ（见表 1）。用水雾化法生产一吨铁粉耗能 18.9 MBtu（1940 MJ）（见表 2）。

表 1 用直接还原法生产一吨铁粉耗能

| 还原法制粉工序 | 能 耗 量 |       |
|---------|-------|-------|
|         | MBtu  | MJ    |
| 破碎和干燥   | 3.4   | 3587  |
| 直接还原    | 13.0  | 13715 |
| 粉碎和磁选   | 0.1   | 105   |
| 还原退火和研磨 | 3.1   | 3270  |
| 总 计     | 19.6  | 20677 |

表 2 用水雾化法生产一吨铁粉耗能

| 水雾化制粉工序  | 能 耗 量 |       |
|----------|-------|-------|
|          | MBtu  | MJ    |
| 熔炼（1.1吨） | 7.4   | 7807  |
| 雾化（1.1吨） | 5.0   | 5275  |
| 干燥和净化    | 3.4   | 3587  |
| 还原退火和研磨  | 3.1   | 3271  |
| 总 计      | 18.9  | 19940 |

据意大利 G.F.Bocchini 测算<sup>[2]</sup>，用 Höganas 法以含铁高达 70% 以上的磁铁矿为原料生产海绵铁粉，每吨海绵铁需焦炭 570 公斤，石灰石 120 公斤，烘干矿石和焦炭粉以及加热隧道窑使用煤气或重油，此外还使用一部分电能。如还原率以 98% 计，生产适用于粉末冶金用的铁粉，每吨耗能

21784MJ (22GJ), 相当于 20.65MBtu, 与美国吨铁粉耗能水平接近。图 1 介绍Höganäs法生产海绵铁粉的工艺流程。

加拿大魁北克金属粉末有限公司 J. M. Capus 曾对美国 Kaufman 雾化制粉耗能提出异议<sup>[3]</sup>, 认为他对铁粉耗能估计偏高, 主要是高估了雾化、干燥和净化的耗能量, 而低估了退火及随后工序的耗能量, 并将加拿大 QMP 法制粉与美国 Kaufman 计算的其他两种制粉法耗能情况作了对比 (见表 3)。

表 3 三种制粉法吨铁粉可比能耗 (MBtu/T)

| 制粉法 |        | QMF 法 | 雾化法  | 还原法  |
|-----|--------|-------|------|------|
| 工 序 |        |       |      |      |
| 1.  | 熔炼     | 2.3   | 7.4  | 无    |
| 2.  | 雾化     | 1.8   | 5.0  | 无    |
| 3.  | 干燥和净化  | 0.8   | 3.4  | 无    |
| 4.  | 球磨     | 1.5   | 无    | 19.6 |
| 5.  | 脱碳还原退火 | 5.3   | 3.1  |      |
| 6.  | 球磨合批   | 1.4   |      |      |
| 7.  | 包装     | 0.2   |      |      |
| 8.  | 工厂取暖   | 0.6   |      |      |
| 合 计 |        | 13.9  | 18.9 | 19.6 |

由表 3 可知, 加拿大魁北克公司用 QMP 法生产铁粉, 每吨铁粉仅耗能 13.9MBtu (14665MJ,  $\approx 15\text{GJ}$ ), 较 Kaufman 计算的还原法制粉降低能耗 29%, 较直接雾化法降低能耗 23%, 即使与废屑制粉相比, 能耗也降低 20%, 这是因为加拿大魁北克公司将邻近炼铁厂刚熔化好的含碳 4% 的高纯生铁水, 用 50 吨铁水包车经 2000 英尺长岔道直接送往制粉厂, 中间未经铸锭和重熔过程而就地雾化, 大大减少了热损失, 提高了能源利用率。

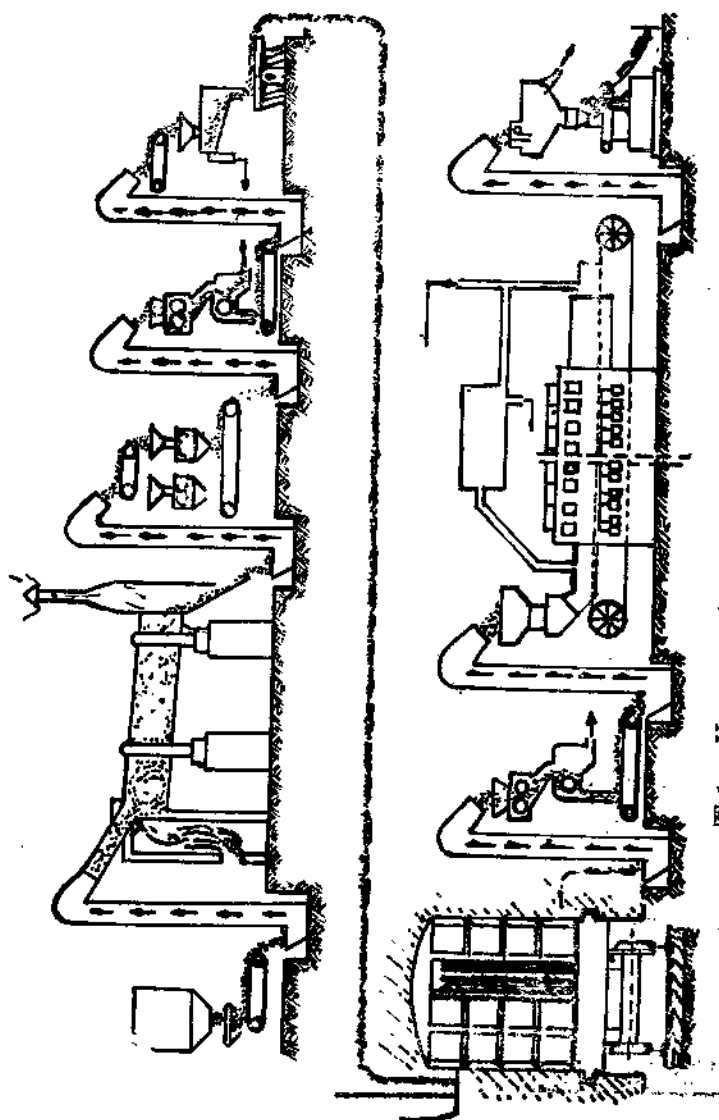


图1 Höganas法生产海绵铁粉示意图

西德G. Zapf有关吨钢和吨铁粉可比能耗据 F.V. Lenel<sup>[4]</sup> 介绍, 其计算的吨铁粉能耗是10GJ, 不难发现, Zapf计算值比Kaufman和Bocchini甚至比Capus计算值还要低。

我国铁粉生产主要以固体碳还原法为主, 雾化制粉尚未形成工业规模, 据统计, 1982年全国铁粉产量约7000吨, 年生产能力为2万吨。

目前我国吨铁粉耗能数据尚未测定, 一般的说法是每吨还原铁粉, 耗煤三吨, 近年由于改造工艺和设备, 耗煤量已降至2.7~2.8吨。据了解, 国内铁粉生产具有先进水平的上海粉末冶金厂, 吨铁粉耗能约为18228MJ( $\approx 18.23$  GJ), 相当于17.28MBtu, 可比单耗比较低, 估计是未计算二次还原所需能量。

从国内外发展趋势看, 吨铁粉耗能可望有一定限度降低, 但在制粉工艺上节能挖潜也存在不少困难。目前, 国外热衷于搞废屑制粉, 同是出于省材节能目的。据意大利菲亚特汽车公司S. Corso介绍<sup>[5]</sup>, 用粉末锻造法回收利用金属切屑可实现降低成本20~25%, 废屑制粉, 国内有的单位也开始在研究。

表4 吨铁粉可比能耗值

| 国别及计算值            | 制粉方法     | 耗能量<br>(GJ/T) |
|-------------------|----------|---------------|
| 美国S. M. Kaufman   | 矿石还原法    | 21            |
| 美国S. M. Kaufman   | 水雾化法     | 20            |
| 意大利G. F. Bocchini | Höganäs法 | 22            |
| 加拿大S. M. Capus    | QMP法     | 15            |
| 西德G. Zapf         |          | 10            |
| 中国上海粉末冶金厂         | 还原法      | 18.23         |

为了便于比较和了解国外制粉耗能情况，现将几种吨铁粉可也能耗汇总列于表4。可发现，吨铁粉耗能值存在着差异情况，这主要是如前所述，各自计算的前提条件不同所致。

## 2. 混粉和压制工序耗能

混粉是将铁粉、粘结剂（如硬脂酸锌）和合金元素按一定配比混合，一般需要30分钟。日本混粉工序耗能仅占烧结零件综合耗能的1%左右（制粉除外）。用一台5马力的电机带动一台可混500公斤粉的混料机，混合一吨铁粉耗能约34MJ（0.032MBtu）<sup>[6]</sup>。美国用一台1.5马力的电机，可混1000磅粉末，混粉时间为30分钟，混合一吨粉末用电1.12kwh<sup>[11]</sup>。

压制工序耗能与所压零件形状、密度、粉末压制性能以及压机吨位大小和类型都有直接关系。一般来说，机械压机比液压机具有节能特性，表5和表6分别介绍不同类型压机耗能情况以及压制一吨铁粉的耗能量<sup>[11]</sup>。

表5 不同吨位压机耗能情况

| 压机吨位 | 压机类型 | 操作速度(件/分) | 能耗 (Btu/1次) |
|------|------|-----------|-------------|
| 100  | 机械压机 | 10        | 62          |
| 100  | 液压机  | 16        | 125         |
| 500  | 机械压机 | 18        | 275         |
| 500  | 液压机  | 10        | 567         |

表6 压制工序耗能比较

| 压机吨位 | 压机类型 | 能耗 (MBtu/T) |
|------|------|-------------|
| 100  | 机械压机 | 0.22        |
| 100  | 液压机  | 0.45        |
| 500  | 机械压机 | 0.09        |
| 500  | 液压机  | 0.18        |

国外粉末冶金企业多用5~200吨的机械压机，只有烧结零件精整时才用液压机。

近年国外很注意提高压机的生产效率，并向无人操作、无损检测，省能、省力方向发展，如自动控制装粉、脱模，并检验压坯重量，以及监测压机工作免出废品等等。这对提高压制速度，降低能耗很有意义。

国内粉末冶金专用压机自70年代起，已有销售，多为100吨液压机，其次是小型冲床改造的机械压机。据82年不完全统计，31家企业共拥有压机479台，其中相当一部分压机生产效率低，自动化程度差，利用率不高，从节能观点看，存在大马拉小车情况，即用大吨位压机压制小型零件，此外压机维修不善，漏油现象也很普遍。

压制工序节能，其关键在于设计出高效、自动、好用的专用压机，切莫不顾质量轻易投产，给用户造成损失。

### 3. 烧结工序耗能

烧结工序是粉末冶金制品加工过程中耗能最多的关键工序。

据意大利Bocchini介绍<sup>[23]</sup>，一台功率为130kwh网带式炉，按铁基零件烧结温度1150℃计，网带负荷为45公斤/米<sup>2</sup>，每小时产量60—80公斤，吸热式可控气氛为保护气，耗气量25米<sup>3</sup>/小时，炉子连续作业，则烧结一吨铁基零件耗能15900KJ。

美国1976年对30家粉末冶金公司统计<sup>[7]</sup>，平均每家公司有5.6台烧结炉，年平均烧结时间为6000~7000小时（每周五天工作日或15个班）。烧结炉60%为带马弗套的网带式

炉, 19%为耐火砖的网带式炉, 推杆炉占13%; 辊底式炉占4%, 其他占4%。烧结炉加热主要用天然气和电, 传送带宽16.5英寸, 平均负荷9.3磅/英尺<sup>2</sup>, 吸热式气氛流量为100英尺<sup>3</sup>/小时, 典型制品重120克, 密度6.6克/厘米<sup>3</sup>。

烧结时耗用天然气6500英尺<sup>3</sup> (1英尺<sup>3</sup>天然气约为1000 Btu), 电1083.6kwh, 故吨粉件烧结耗能为17.3MBtu (18252 MJ), 烧结工序耗能占总耗电量的43.5% (包括制粉在内)。

日本粉末冶金零件制造过程中各工序所占耗能百分比大体如下<sup>[8]</sup>: 混粉1%, 成形13%, 烧结60%, 整形8%, 其他18%。由此可见, 烧结这一生产环节耗能量是相当大的。日本多用推杆式炉和网带式炉, 炉子热效率如烧铜件时为5~8%。烧铁件时平均为13%。烧结每公斤零件用网带炉耗电1.43kwh, 推杆式炉耗电1.39kwh, 动梁式炉耗电1.36kwh。由于烧结工序是耗能最多的工序, 因此烧结炉和气氛问题就成为日本1974年对粉末冶金能源考察的重点。

法国对粉末冶金节能也相当重视, 曾两次在巴黎召开地区性或国际性粉末冶金省材节能会议。据法国M. Eudier测定<sup>[9]</sup>, 生产每公斤粉末冶金零件各工序耗电量为:

|         |         |
|---------|---------|
| 压 制     | 0.10kwh |
| 炉子加热    | 2.10kwh |
| 气氛发生    | 0.20kwh |
| 整形和补充加工 | 0.10kwh |
| 后续处理    | 0.38kwh |
|         | 2.88kwh |

如使用丙烷、煤气或分解氨则需增加1.30kwh, 故每公斤粉件烧结耗能共4.18kwh/kg (2.88+1.3(kwh))。由此可

知，烧结工序耗能占3.6kwh，占整个耗能量的86%，当然气氛耗能也相当可观。又据法国M. Tamalet 介绍<sup>[10]</sup>，一台名义功率为75kwh的网带式炉，每小时生产24公斤零件，其有效热和热损失情况如下：

|         |       |            |
|---------|-------|------------|
| 炉壁热耗损   | 20kwh | ( 占39% )   |
| 炉端热耗损   | 10kwh | ( 19.6% )  |
| 保护气氛热耗损 | 9kwh  | ( 17.64% ) |
| 输送带热耗损  | 6kwh  | ( 12% )    |
| 零件加热    | 6kwh  | ( 12% )    |

51kwh

据M. Tamalet 介绍的这台烧结炉来看，已知保护气氛耗能1.3kwh/kg，按单产24公斤计，则有用气氛为 $1.3 \times 24 = 31.2$ kwh，加上气氛热耗损，故气氛总耗用量为40kwh，比零件加热用能多六倍有余，该炉热效率为12%。

据上海粉末冶金厂1982年对该厂一号烧结炉进行的热平衡测试，测得该炉热效率为30%，比国外已知炉子热效率要高，细分析起来，国外炉壁和炉端热耗损所占百分比很大，而上海厂这台炉子炉壁散热仅占28.5%，国外气氛耗能为40kwh，而由气氛带走的热占19.6%，上粉厂则为2.7%，估计上粉厂是采取了节能措施后测定的，如加强了炉壁隔热，即可取得显著的节能效果。另一方面国外的情况是七十年代进行能源调查时的数字，至今已有相当一段时间了，何况与各自测试的前提条件不同也是有关系的，即使是两个同属一个范围的现代化工厂也会因产品高于生产能力和低于生产能力的不同而使能源消耗有所不同。国内烧结炉热效率普遍较低，约为13~15%，甚至有不足5%者。

#### 4. 吨粉件综合耗能分析

综合制粉、混粉、压制和烧结各主要工序的耗能情况，并以美国情况作为基础，将生产一吨铁基制品各工序耗能及配比列于表7<sup>[1]</sup>，并加注国际单位焦耳以便于了解。这是包括制粉在内的计算情况。另外法国Pde Sablet等<sup>[11]</sup>计算了不包括制粉阶段的其余各工序的耗能量及其配比情况(见表8)。

表7 生产一吨铁基零件综合耗能及其所占配比

| 工 序   | 能 耗 量 |      | 配 比<br>(%) |
|-------|-------|------|------------|
|       | MJ    | MBtu |            |
| 制粉    | 20045 | 19.0 | 47.7       |
| 混粉、压制 | 422   | 0.4  | 1.0        |
| 烧结    | 18251 | 17.3 | 43.5       |
| 精整    | 528   | 0.5  | 1.3        |
| 杂项    | 2743  | 2.6  | 6.5        |
| 总计    | 41989 | 39.8 | 100        |

表8 生产公斤粉件③(制粉除外)各工序耗能量及其配比

| 工 序   | 耗 能<br>千 卡 | 配 比 (%) |
|-------|------------|---------|
| 压制    | 425        | 17      |
| 烧结    | 1250       | 50      |
| 精整    | 100        | 4       |
| 总 务①  | 600        | 25      |
| 辅助工序② | 100        | 4       |
| 总 计   | 2475       | 100     |

注①指工厂正常工作所消耗的必要的能量，如调度、气氛用能、取暖照明等

②临时性处理如整形等

③指铁或低合金钢机械零件

### 三、粉末冶金节能潜力及节能途径

#### 1. 我国粉末冶金能源消耗初探

据82年上半年不完全统计, 31个粉末冶金企业中共有职工10820人(技术人员529人, 占总人数4.9%); 压机479台, 炉子361台。

年平均劳动生产率: 80年5280元/人·年

81年5080元/人·年

82年4556元/人·年

铁粉年产量: 80年4210吨(16家)

81年3980吨(15家)

82年4655吨(15家)

制品年产量: 80年2490.2吨

81年2532.5吨

82年3035.3吨(预计)

年产值: 80年5712.96万元

81年5472.83万元

82年4929.6万元

31家企业年耗电量: 2520万度

年耗水量: 190万吨

综合能耗: 30万吨标煤

我国每吨铁粉耗能, 以上海粉末冶金厂为例, 为18.23 GJ。一般是吨还原铁粉, 耗煤三吨, 近年有下降趋势(2.7~2.8吨)。

上海粉末冶金厂1万件铁制品耗能6.3吨标煤; 山东某厂吨铁粉件耗能5.6吨标煤。万元产值耗电各厂不等, 波动