

# 日本钢铁厂

# 节能70例



冶金工业出版社

**日本钢铁厂节能70例**

北京钢厂能源科 译

•

冶金工业出版社出版发行

《北京邮字774号》

河北省清河县印刷厂印刷

•

787×1092 1/16 印张23字数545千字

1981年12月第一版 1981年12月第一次印刷

印数00,001~4000册

统一书号: 15062.3814 定价2.35元

## 前 言

钢铁工业是国民经济中的耗能大户之一。节能的重要性正在逐渐被人们所认识。根据我国“开发和节约并重，近期把节约放在优先地位”的能源工作方针，各企业在节能方面都做了一些工作，取得了一定的效果。但潜力远未挖尽，还有大量工作要做。

为了借鉴国外的节能经验，我们委托北京钢厂选译了日本全国省能中心汇编的《省エネルギー事例全集》（1979年）一书部分内容，现推荐给大家参阅。这本书包括炼焦、烧结、炼铁、炼钢、轧钢、锻造、热处理及其他各方面的节能经验，有理论、有实践、有效果，通俗易懂。希望这本书能给人们以启发，促使大家更好地开动脑筋，不断创造，总结出我们自己的节能经验，走出一条适合我国特点的节能路子，使得我国钢铁工业由高能耗逐步转到低能耗的轨道上来。

冶金工业部能源办公室

1981年7月

## 译 者 的 话

《省エネルギー事例全集》一书，系日本1979年全国节能大会上发表的节能经验汇编。该书分上、下两卷，上卷为冶金部分，下卷为锅炉及化工部分。

根据当前节能工作的需要和冶金部能源办公室的安排，我们选译了该书的上卷中钢铁生产节能部分事例，取名《日本钢铁厂节能70例》。这本书的翻译工作是由北京钢厂能源科负责的，参加翻译工作的有：王振东、马绍弥、董晋兴、牛筱凤、王世璋、高永前、曾秋萍、沈宝文、吴灏、刘文忠、张淑敏、阮国华、刘士孝、赵占军、王茂和王焱山等。书稿译出后由王振东、胡绍武两同志作了初校，后由北京市金属学会副理事长、北京冶金局副局长阎承宗同志对全书做了全面审校。

由于我们水平有限，加之时间仓促，虽经全面审校，但书中仍难免有错误和不妥之处，恳请读者不吝批评指正。

1981年7月

# 目 录

## 一、炼 焦

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 1. 焦炉减产时焦炉煤气净化过程中的节能 .....      | 1  |
| 2. 自动控制焦炉的空气过剩系数和供热量以节约能源 ..... | 7  |
| 3. 焦炉的低空气过剩系数燃烧 .....           | 15 |

## 二、烧 结

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 4. 改进烧结矿冷却风机运转方式以节约能源 .....    | 23 |
| 5. 改进烧结机点火器操作以降低焦炉煤气单位消耗 ..... | 28 |
| 6. 烧结机节能技术 .....               | 34 |
| 7. 烧结车间降低燃料单位消耗的措施 .....       | 40 |
| 8. 二次冷却装置的余热回收 .....           | 47 |

## 三、炼 铁

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 9. 1号高炉上料系统的节电措施 .....     | 51 |
| 10. 热风炉的节能 .....           | 52 |
| 11. 高炉炉体冷却设备的节能 .....      | 56 |
| 12. 合理使用出铁场除尘设备以节约电力 ..... | 64 |
| 13. 提高2号高炉热风炉的热效率 .....    | 69 |
| 14. 高炉热风炉节省煤气的措施 .....     | 73 |
| 15. 高炉出铁场二次除尘风机的节电措施 ..... | 76 |
| 16. 高炉用高压压缩空气的低耗化 .....    | 81 |

## 四、炼 钢

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 17. 提高转炉煤气的单位回收量 .....       | 86  |
| 18. 降低炼钢车间的电力单位消耗 .....      | 91  |
| 19. 节约转炉炉口圈冷却用蒸汽 .....       | 95  |
| 20. 纯氧顶吹转炉的节氧——断流阀同步节氧 ..... | 102 |
| 21. 为更多的回收顶吹转炉烟气的量而努力 .....  | 105 |
| 22. 节约转炉ICR设备的蒸汽消耗 .....     | 111 |
| 23. 转炉车间袋式除尘设备的节能 .....      | 116 |
| 24. 控制换气除尘用风机的转速而节电 .....    | 123 |
| 25. 节约烘烤和加热盛钢桶用重油 .....      | 128 |
| 26. 预热盛钢桶时的节能措施 .....        | 133 |

## 五、轧 钢

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 27. 降低钢坯火焰清理机的燃料单位消耗 .....  | 140 |
| 28. 改进直送轧制为主的加热炉的升温方法 ..... | 144 |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 29. 节约粗轧除鳞装置电力消耗的措施.....         | 151 |
| 30. 第三轧钢车间的节能.....               | 155 |
| 31. 缩短钢锭传柄时间降低均热炉的重油单位消耗.....    | 160 |
| 32. 降低热送轧制时加热炉保温用燃料的单位消耗.....    | 164 |
| 33. 节约加热炉点火升温时的重油使用量.....        | 170 |
| 34. 降低均热炉燃料单位消耗.....             | 175 |
| 35. 降低热轧车间的淡水单位消耗和节省水泵的电力消耗..... | 179 |
| 36. 降低热连轧车间加热炉燃料单位消耗的措施.....     | 184 |
| 37. 降低热轧车间加热炉燃料单位消耗的措施.....      | 190 |
| 38. 降低扁钢轧制时的重油单位消耗.....          | 195 |
| 39. 降低板坯冷却装置的电力单位消耗.....         | 200 |
| 40. 钢坯加热炉的节能措施.....              | 205 |
| 41. 降低钢管冷拔清洗工序中的蒸汽消耗.....        | 209 |
| 42. 以改进加热炉设备为中心的节能活动.....        | 214 |
| 43. 降低连续加热炉的燃料单位消耗.....          | 220 |
| 44. 用加强绝热来降低加热炉的燃料费用.....        | 226 |
| 45. 冷轧车间的节能.....                 | 234 |
| 46. 降低电解净化系统蒸汽单位消耗的措施.....       | 237 |

## 六、锻 造

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 47. 降低锻钢加热炉的燃料单位消耗.....       | 242 |
| 48. 降低铁路车辆车轮锻造加热炉的重油单位消耗..... | 245 |
| 49. 降低锻造车间的燃料单位消耗.....        | 249 |

## 七、热 处 理

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 50. 降低冷轧不锈钢带卷退火炉的轻油消耗..... | 255 |
| 51. 降低罩式退火炉的燃料单位消耗.....    | 260 |
| 52. 节约罩式退火炉用的保护气体.....     | 265 |
| 53. 罩式退火炉的节能.....          | 269 |
| 54. 厚板热处理炉的节能.....         | 274 |
| 55. 连续退火炉节省焦炉煤气的技术.....    | 280 |
| 56. 降低热处理炉的燃料单位消耗.....     | 286 |
| 57. 降低固溶处理时的重油单位消耗.....    | 292 |
| 58. 降低轧钢加热炉单位能量消耗.....     | 295 |
| 59. 轧辊热处理炉的节能.....         | 299 |
| 60. 热处理炉节能小组的节能活动.....     | 304 |

## 八、其 它

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 61. 和歌山厂的短期突击节能活动..... | 311 |
| 62. 动力供应部门的节能措施.....   | 319 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 63. 动力部门节能小组的节能活动.....       | 322 |
| 64. 降低废酸处理时能量的消耗.....        | 325 |
| 65. 降低制氧和加压输送过程的电力单位消耗.....  | 328 |
| 66. 降低锅炉重油的使用量.....          | 333 |
| 67. 用降低电动机励磁电流的方法节省电力消耗..... | 337 |
| 68. 节约车间降压送气、升温供水的电力消耗.....  | 341 |
| 69. 设备科质量管理小组的节能活动.....      | 345 |
| 70. 厂区照明用电合理化.....           | 349 |
| 71. 改进冷却塔用水泵和风机的运行规程.....    | 352 |

# 一、炼 焦

## 1. 焦炉减产时焦炉煤气净化过程中的节能

新日本钢铁公司室兰厂

### 一、概况

煤在焦化过程中会产生含有多钟有害成分的气体，这气体称为焦炉煤气。这种原生的煤气在燃烧时会产生公害（ $\text{SO}_x$ 和 $\text{NO}_x$ ）以及由于苯的析出使煤气管道堵塞，从而可能使生产停顿。为此，需要把煤气中的有害成分分离除去变为干净的煤气再送往各车间使用。

煤气净化工艺流程见图 1-1。

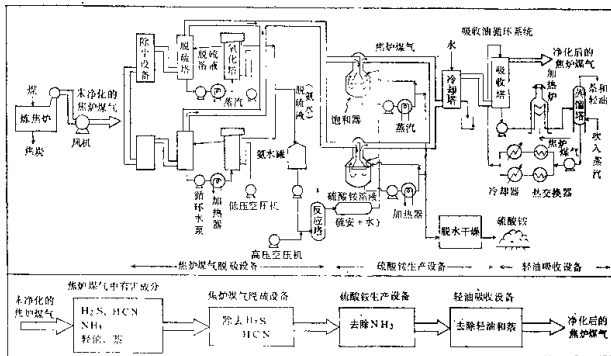


图 1-1 焦炉煤气净化工艺流程

所谓焦炉煤气中的有害成分就是： $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{HCN}$ 、 $\text{NH}_3$ 、萘和轻油。

1. 焦炉煤气的脱硫设备 首先，在除尘设备中把焦炉煤气中的焦油雾气除去，然后煤气从脱硫塔的底部向上流动。从塔顶喷洒脱硫溶液，把煤气中 $\text{H}_2\text{S}$ ， $\text{HCN}$ 吸收、除去，然后自塔顶进入硫氨制造设备中。脱硫溶液在氧化塔和脱硫塔之间连续循环，其中一部分被提出来，在容器中加水调整浓度后再注入反应塔形成硫氨溶液（硫氨+水）。另一部分硫氨溶液被送到下道工序（用制造硫氨设备）制成硫氨制品（肥料）。

2. 硫氨生产设备 当焦炉煤气通过饱和器内的硫酸溶液时，煤气中的 $\text{NH}_3$ 和硫酸反应生成硫酸铵而被除去，然后再进入最后一道工序轻油捕集设备。硫酸铵溶液在饱和器中进行循环加热，其中一部分抽出送往结晶箱蒸发去水，经脱水干燥以后就得到硫酸铵。

3. 轻油捕集蒸馏设备 焦炉煤气在冷却塔内经用水冷却以后，进入吸收塔底部。自塔顶喷散的吸收油（焦油系油）把煤气中的萘和轻油吸收。经过这样处理后的焦炉煤气就是



送往各车间作为燃料使用的净化煤气了。自吸收塔底部抽出吸收油经加热炉加热后送往蒸馏塔，根据沸点差在塔的上部回收苯和轻油。从塔底抽取的吸收油，经过冷却器冷却后送往吸收塔顶再次循环使用。以上是焦炉煤气净化工艺的概况。

## 二、选题的理由

1977年10月以后，炼焦炉的产量减少，从平均月产173000吨减少为12000吨左右，焦炉煤气产量也随之减少。所以，必须用最低的成本来生产净化煤气。焦炉煤气脱硫设备是1976年起用的最新的防止公害设备，但运行耗能很高，须解决降低能耗问题。

## 三、情况分析

改进前各有关设备的使用能源情况：

1) 使用的能源。焦炉煤气脱硫用能源中：电占54%，蒸汽占45%，硫酸铵设备用能源中：蒸汽约占82%，轻油捕集设备用焦炉煤气约占53%。

2) 总热量消耗。焦炉煤气脱硫设备的热量消耗是硫酸铵设备的二倍，是轻油捕集设备的1.7倍多。

3) 随季节变动的情况。焦炉煤气脱硫设备的蒸汽消耗量在11月~次年4月冬季期间大幅度增多，其它各月用量大致相等。

## 四、节能措施

### (一) 焦炉煤气脱硫设备的改进

#### 1. 能源使用情况和存在问题

1) 电力。循环泵、高压和低压空气压缩机共3台，占耗电量的64%以上。由于焦炉煤气发生量下降，相应地 $H_2S$ 和HCN的产生量也减少了，但是反应塔有个最低处理量的限制，所以还必须保持稀释的脱硫溶液自塔顶连续地喷洒，设备仍需连续运行。

2) 蒸汽。85%以上的蒸汽用于保温，在11月~次年4月的冬季，蒸汽的消耗量还要大。由于管道布置得很复杂，所以存在的问题是：如果要把不必保温的部位停止供汽，那么其余需要保温的部位也得停止供汽。

3) 在焦炉煤气产量减少了一半，电力和蒸汽的使用量相应也降低一半时，仍需用两套脱硫设备运行（这是为了冬季设备防冻的需要）。

#### 2. 改进措施

1) 改两套脱硫设备运行为一套运行（停用一套）。停用一套设备的目的是节约停用设备的水泵用电费用和保温用蒸汽费用。停用期间为防止冰冻应采取以下措施：把除尘设备与管道容器内部和塔内部全部液体消除干净，然后充入氮气封存起来，停止供应保温蒸汽。

2) 低压和高压空气压缩机作低负荷运行（降压50%的低负荷运行法），使用电量明显下降。

3) 提高脱硫溶液的浓度期间，要停止从容器中抽取溶液。这时反应塔可以停止工作，以节约电力和蒸汽。

4) 把加热器原来使用的蒸汽热源改为利用氨水余热。对这项措施需要说明的是，脱硫溶液在整个装置中循环流动时由于放散热量而使温度下降。这部分升温需补充的热量约占总热量的1.3%左右。利用氨水余热的方法是对加热部分（如图1-2）的改进，经计算表明是完全可行的。生产实际也已经证明70°C的氨水余热可以充分地得到利用。

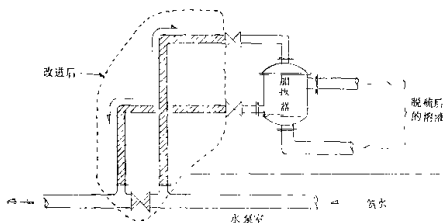


图 1-2 把加热器热源由蒸汽改为氨水余热

### 3. 节能效果

1) 节约蒸汽。由于采取了以上措施使蒸汽节约了57% (图 1-3), 计47856千日元/年。

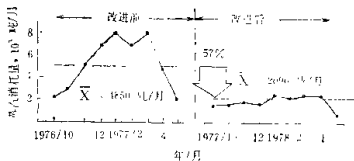


图 1-3 脱硫设备改进前后蒸汽消耗量的比较

2) 节约电力。由于停了一个系列的水泵, 低压空气压缩机采取了间断运行方法从而节约了电力。改进后约节约20%的电力 (图 1-4), 计37705千日元/年。

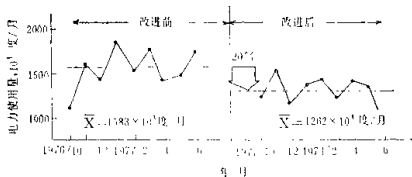


图 1-4 脱硫设备改进前后电力使用量的比较

3) 合计节约金额112606千日元/年。

### (二) 改进硫酸铵生产设备

#### 1. 能源使用情况

1) 蒸汽。蒸汽占全部能源用量的92%以上。其中加热器的蒸汽用量占85%。这是由于结

晶槽抽取管易堵塞，需要用水冲洗。另外，结晶的硫酸铵不使用抽管吸出而需用水或蒸汽冲洗放出。为使硫酸铵变成溶液返回饱和器，所以过多地消耗了蒸汽。另外，由于从脱硫设备出来的硫酸铵溶液中水分含量太多，所以有80%蒸汽用量与此有关。

2) 电力。循环溶液用的泵的电费，占全部电费的30%以上。

3) 当蒸汽、水和焦炉煤气同时通过1台饱和器时，其容量不够（其处理能力为5万米<sup>3</sup>/小时，而这三者一起的焦炉煤气流量是6万米<sup>3</sup>/小时），所以需要两台同时使用。

## 2. 改进措施

1) 改两套设备运行为一套设备运行（停用一套）。饱和器的煤气通过量达到了设备能力的120%。因在饱和器的上部析出了硫酸铵结晶，而且产生了堵塞现象，所以需要对该水嘴进行改进。改进部位见图1-5。

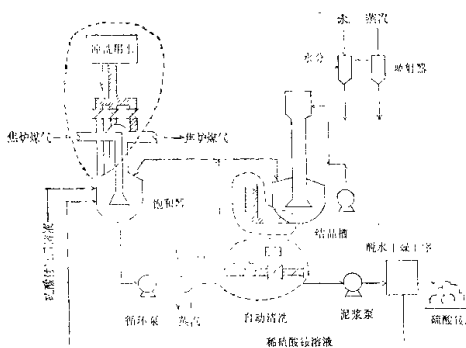


图1-5 硫酸铵生产设备示意图

2) 为防止结晶槽抽取管内堵塞，采取用硫酸铵溶液自动清洗的方法加以解决（图1-5）。

3) 为防止因硫酸铵溶液结晶使抽取管堵塞，而改进溶液结晶浓度的测定方法，正确地掌握槽内的结晶情况和适当的结晶抽取量。还要测量结晶槽内的压力，因为饱和溶液的结晶和压力有关。采用U形压力计来测量槽内的压力，这样就可以省去取样分析了。

4) 降低硫酸铵溶液中的含水量。以下是在脱硫过程中伴随焦炉煤气脱砷溶液中H<sub>2</sub>S和HCN浓度的变化带来含水量的变动。

脱硫后的溶液中因H<sub>2</sub>S、HCN的变化， $\sigma = \pm 7.6\%$ 。

进入反应塔的脱硫溶液中硫酸铵浓度变化值 $\sigma = \pm 6.4\%$ 。

焦炉煤气脱硫后硫酸铵溶液中水分的变化值 $\sigma = \pm 4.9\%$ 。

因此，进入反应塔的脱硫溶液中硫酸铵浓度稳定，溶液中盐的浓度和比重有很密切的关系（图1-6）。

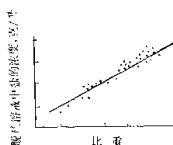


图 1-6 比重和盐的浓度的关系

通过仔细地测定比重就有可能对盐的浓度进行调节。从而使硫酸铵溶液中的含水量稳定下来。采取以上措施后,使含水量下降了 9%,水分变动值  $\sigma = \pm 1.5$  以下。

### 3. 节能效果

1) 改进前后蒸汽和电力的变化情况如图 1-7 所示。

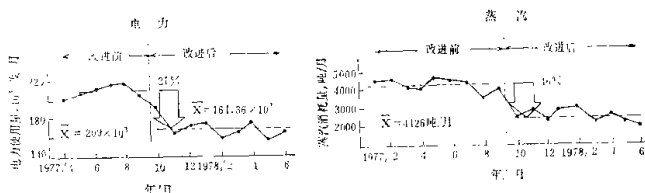


图 1-7 硫酸铵生产设备改进前后能源消耗比较

2) 经济效益。折合节约金额总计 83169 千日元/年。

### (三) 改进轻油捕集设备

1. 能源使用情况 焦炉煤气使用量占全部能源的 53% 以上, 电力使用量占 30% 以上。就煤气的处理能力和用电量来说设备均有富余。因此, 可以不必改变吸收油的循环量。

2. 改进措施 从对吸收塔的效率分析结果来看, 当焦炉煤气通过量从 10 万米<sup>3</sup>/小时降低为 6 万米<sup>3</sup>/小时可以提高设备的效率。图 1-8 表明最终还可以减少吸收油的循环量。实际生产结果证明了这一措施的效果良好。但还存在着问题(图 1-9)。

针对上述问题采取了以下措施, 并使吸收油的循环量从 110 米<sup>3</sup>/小时减少为 70 米<sup>3</sup>/小时。

1) 改变油冷却器并联运行行为串联运行。这个改变提高了热效率 30% 以上。使吸收油温度从 26.4℃ 下降到 18.1℃, 取得了提高吸收塔的效率和增加了轻油回收量的效果。

2) 改变热交换器并联运行行为串联运行。这个改变提高热交换效率 25%, 并提高了加热炉吸收油的油温, 使焦炉煤气消耗量下降(由于蒸馏塔出来的油和进入加热炉的油产生热交换的缘故)。

3) 改变加热管并联运行行为串联运行。因这个改变防止了烧损而使热效率从 66.5% 提高到 70.4%。

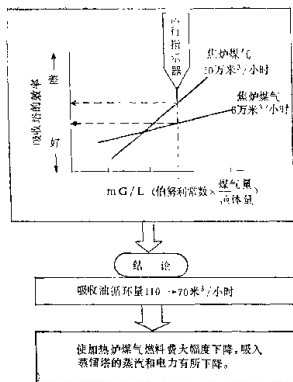


图 1-8 吸收塔的效率

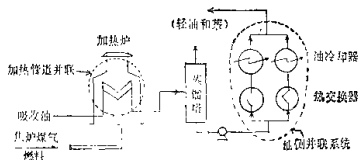


图 1-9 改进前的轻油捕集设备

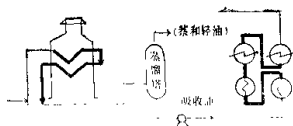


图 1-10 改进后的轻油捕集设备

### 3. 节能效果

1) 焦炉煤气消耗改进前平均为  $177 \times 10^4$  千卡/吨, 冷却器和热交换器改为串联后下降为  $149.6$  千卡/吨, 循环油量下降以后达到了  $98.4 \times 10^4$  千卡/吨, 总下降为  $44\%$ 。

2) 电力消耗改进前平均为  $6.04 \times 10^3$  度/日, 改进后下降为  $5.64 \times 10^3$  度/日, 总下降  $7\%$ 。

8. 经济效果 包括节约焦炉煤气、电力、蒸汽、海水等总计节约107610千日元/年。

以上三项措施总计节约: (焦炉煤气脱硫 + 硫酸铵生产 + 轻油捕集蒸馏) - 改进设备投资619千日元/年 = 304000千日元/年。

## 2. 自动控制焦炉的空气过剩系数和供热量以节约能源

新日本钢铁公司广畑厂

### 一、概况

炼焦过程主要使用由高炉煤气和焦炉煤气组成的混合煤气作为热源, 通过约2000个烧嘴向焦炉各燃烧室供热。助燃用的空气是利用烟囱造成的抽力自然供给的。

炼焦炉的概况如图2-1所示。节能的对象(设备)是8号炼焦炉。它的型式为日铁

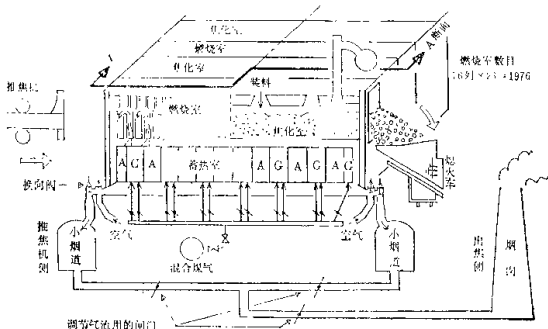


图2-1 炼焦炉断面示意图

复式焦炉, 有75个焦化室, 年生产能力为40万吨。据1975年统计, 全年平均燃料单位消耗为643000千卡/吨。

### 二、选题理由

炼焦炉的燃烧管理工作是以炉温为主进行管理的。对空气过剩系数、供热量每周检查一次, 这只能起到跟踪炉温变化的作用。因此, 燃料的单位消耗高达643000千卡/吨焦。这是由于炼焦炉特有的恶劣环境(高温、粉尘、有毒气体等)和多室炉(约2000个室)造成的。它和炼铁过程中使用的自动化的高精度检测方法相比是落后的。由于燃料费用的涨价不得不大幅度地开展节能工作。如果依然使用旧的燃料管理方法就不能适应新的要求。自1975年10月起, 为了从根本上改进燃烧管理工作, 积极地、有计划地决定通过自主管理活动来达到这一目的。

### 三、情况分析

1. 控制空气过剩系数 用调节烟道闸板来控制自然通风情况下燃烧废气中的含氧量。含氧量分析每周采用奥萨特法进行一次。由于不能迅速地对当时所测含O<sub>2</sub>量采取措施,

而使得含氧量（尤其含氧量高时）有很大波动，如图 2-2 所示。

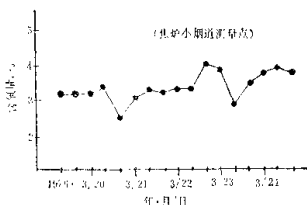


图 2-2 排出废气中含氧量变化调查实例

2. 控制供热量 对混合煤气规定的发热值，高炉煤气用设在炼焦车间的气体色谱分析仪调节，焦炉煤气用一周一回的分析值进行调整。但是，在使用过程中因为高炉和焦炉煤气的发热值变化较大（图 2-3），所以混合煤气的发热值就不稳定。因此供热量就无法进行控制。

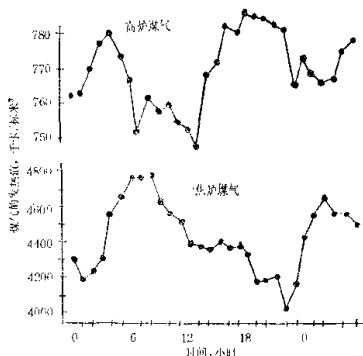


图 2-3 煤气发热值 24 小时内的变动

3. 对燃烧室的调节 过去都是从燃烧室顶部的观察孔观测炉底耐火砖的温度（用光学高温计测量），以此作为操作的依据。然而依靠过去的经验对每个燃烧室的煤气量和空气量进行的调节是毫无把握的。

#### 四、节能措施

##### （一）控制空气过剩系数

1. 含氧量的分析装置 含氧量分析装置是控制空气过剩系数的基础。焦炉煤气的特点是含有的烟尘粘性大、粉尘含量高、温度高和有毒等。为此，我们购置了能适应这些特点的含氧量分析装置。该装置应具备的必要条件是：结构简单，不会因煤气含尘高而出事

故，其次是能洗除煤气中含有的烟尘和焦油；同时，安装有排气的水喷射泵。由于该装置必须安装在小烟道上，所以1台仪器还要同时能够分析两处小烟道的废气样。但是，按照这些条件购置的仪器在试用初期遇到了许多问题以致不能使用下去。在把产生的问题逐个解决以后，该仪器才在实际中得到了应用。图2-4是分析仪器的示意图。

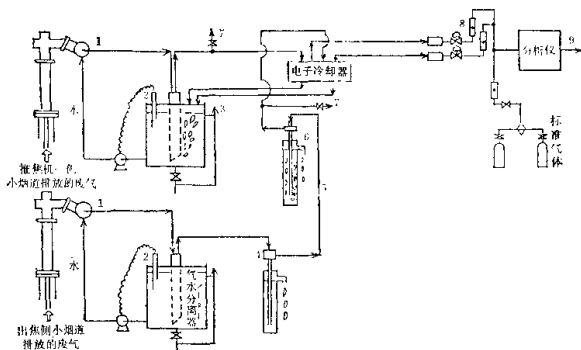


图2-4 定氧仪器简图

该仪器存在的问题有8个，针对这些问题采取了相应的解决办法，现介绍如下：

- 1) 不能抽取小烟道排出的废气（因弯管为90°，阻力比较大）。解决方法：用耐压的聚乙烯管代用并扩大其曲率半径。
- 2) 水泵空运转。解决方法：安装液位控制开关控制水泵的运转。
- 3) 测定后仍有剩余的煤气充满定氧装置内部。解决方法：安装引管把废气排出。
- 4) 管道内积存有冷凝水。解决方法：安装冷凝水自动清除装置。
- 5) 管道被冷凝水堵塞。解决方法：使管道沿气体流动方向倾斜。
- 6) 气水分离后的剩余煤气放出时间较长。解决方法：在靠近分析处安装冷凝水自动清除装置以排放剩余煤气。改进后排放时间缩短了2分28秒。
- 7) 不能和其他检测点进行对比。解决方法：安装分流阀。
- 8) 两处检测点共用一个控制阀门来测定流量，而不能分别测定流量。解决方法：按系统分别安装流量调节阀和流量计。

分析后的余气通过向盘外引出气体的管道排出。这台含氧量分析仪自1976年2月启用后分析速度（图2-5）和精确度（图2-6）都合乎要求，目前尚无故障发生。只需定期校正。

2. 助燃用空气量的控制方法 助燃用空气是依靠烟囱的抽力供给的而不需要压气设备。因此，应采用烟道压力控制回路和废气中氧含量控制回路串联的方法进行控制。

排放废气中的含氧量在燃烧室切换期间变化较大。根据这种情况当煤气要切换为空气的时候，在蓄热室和燃烧室内不应残留有未燃烧的煤气。这样，必须使控制过程避开含氧



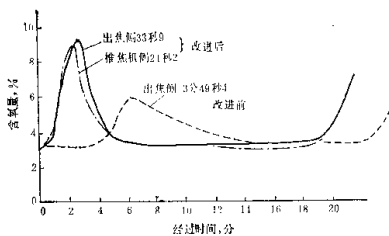


图 2-5 定氧仪的分析时间

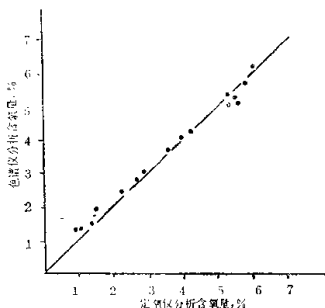


图 2-6 定氧仪的分析精度

量波动大的区间。这要在切换后 5~6 分钟才能达到。因此，在切换后 6 分钟之内要切断控制。图 2-7 是切换期间废气中含氧量的变化情况。

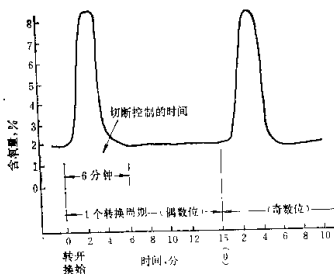


图 2-7 废气中含氧量变化