

苏联《50和80万千瓦动力机组锅炉—汽轮机装置》

锅 炉 装 置 分 册

机械工业部发电设备行业科技情报网

哈尔滨锅炉厂总师办技术情报室

一九八五年七月



编者说明

本书是对苏联50和80万千瓦动力机组的设计、试制、运行和调试所作的技术性总结。纵观本书所述，苏联在向单机大功率机组过渡时，贯穿一条设计者的价值工程和系统工程的观点，为改进锅炉和汽轮机的结构，提高机组可靠性和经济性做了大量的试验研究工作，值得参考和借鉴，这就是我们翻译本书的目的所在。

本书可供从事动力工程技术人员、科研人员、高等院校师生以及安装运行人员参考。由于翻译水平所限，错误难免，恳请指正。

译校人员：原序、第三章 贾恩荣译 陈春元校； 第四章 范 羽译 周立华校；

第五章 杨剑华译 陈春元校； 第六章 吴履琛译 贾恩荣校；

第七章 范 羽译 吴履琛校； 第八章 薛德明译 杨剑华校。

技术审校：陈春元

责任编辑：贾恩荣 杨剑华 罗汉中

50和80万千瓦动力机组锅炉—汽轮机装置

原 序

采用具有高技术经济指标的动力设备、操作过程全套自动化和以降低造价和缩短施工工期为目标的完善的设计措施,并在此基础上不断提高火力发电站的技术水平,这是苏联热力动力工程效率进一步增长的主要因素之一。这一重要的国民经济任务在将来也是十分必要的。因为尽管原子能发电站在迅速开始建设,但作为当前苏联电力动力工程基础的火力发电站在电力生产中仍然会长期起着主导的作用。

苏共二十五大决议所规定的现阶段热力动力工程发展的突出特点,是转向建造超临界蒸汽参数50万和80万千瓦高经济性单机大功率机组的凝汽式发电站。为了彻底改善燃料动力的平衡状况,决定在这些发电站中燃用固体燃料,首先是燃用坎斯克—阿钦煤田和埃基巴斯图兹煤田的廉价煤。已成功地掌握30万千瓦机组的批量试制,这就为转入下一步建造更高容量级火力发电站和动力设备奠定了技术基础,其所取得的建设和运行的经验,都在设计和建造新的功率为400—640万千瓦凝汽式发电站中得到了充分的利用。

近年来,由于动力设备结构的改进、工厂制造和安装质量的提高以及运行技术水平的提高,因而在提高锅炉、汽轮机和辅助设备的运行可靠性方面都获得了很大的成绩,所有这些都对新建凝汽式发电站选择单机大功率机组起到了很重要的作用。例如,在1971—1975年间投运的许多30万千瓦机组,其实际可用系数不低于90%。对50万和80万千瓦机组,特别是对经常发生故障的锅炉可靠性指标进行的估算表明,仅就其现在已达到的生产和运行水平来看,取得前述指标也是可能的。

在增加主要和辅助动力设备单机容量的

同时把功率集中到大型火力发电站,有助于降低电站的单位造价、加快动力设备容量增长速度、提高热能动力工程中的劳动生产率。同时,火力发电站的这一些综合指标所能达到的完善极限,在很大程度上还将取决于大型设备本身的主要技术经济性能,诸如可靠性、经济性、易检修性的改善程度,以及降低制造和安装的单位价格。

与此同时,选择设备的布置、操作系统、电厂部分的土建和整个系统问题(提高电网的稳定性)等方面的最佳方案也具有重大的意义。

建造新的大功率火力发电站时,大量的减少对大气和毗邻水库的有害排放和污染是具有重要意义的。对于设计燃用埃基巴斯图兹煤、别列佐夫煤、库兹涅茨克煤的大型火电站来讲,解决这个任务尤其困难。就燃烧产物和灰分中有害的气体物质和固体物质的总含量来说,这些燃料本身属于相当“有害”的煤种。因此,对这些火力发电站的除尘装置和锅炉的要求,根据限制过量向大气排放灰分、氧化氮和硫来说大大提高了,只有在燃料燃烧和燃烧产物清除工艺中采取完全新的措施才能解决。

在六十年代中期,苏联欧洲部分的电网明显出现了一种倾向,在夜间和休息日由于电能消费大大降低,负荷曲线愈来愈降低。经过8—10年之后,这种情景便导致了部分电网,特别在苏联的西北,中部和南部的电网,冬季休息日深夜的最低负荷降至星期一白天最大负荷的55—58%。据预测表明,这种倾向可持续到近15—20年。当时电力需求的非均匀性增长,过去是由较差的旧式发电设备来承担,而在苏联部分统一电网新机组的基本投资量用在热电站建立大型热电机组

和建设调节范围有限的基础凝汽式30万、80万千瓦超临界参数机组上。因而，在七十年代初，如何补偿电力负荷曲线变化的问题，首先是如何应付夜间和星期日最低电力负荷就成为整个电力技术最严重的问题之一了。

由于科学研究和调试机构、电站和制造厂家的努力，全部凝汽式设备（K9C-90，16万、20万和30万千瓦机组）的机动性能都得到了改进。因而，在某种程度上已经消除了这个问题的尖锐性。1980年以后，又决定在苏联欧洲部分基本负荷的原子能发电站和火力发电站投入大量新设备，采取有力措施改进欧洲联合电网发电设备的结构。作为主要措施是制造那种专用的高机动性凝汽式动力机组，把它们按所谓“半尖峰”负荷曲线运行，即实行二班制。当电网负荷下降时就把它们停下来。这一问题，我们在许多文献中曾不止一次地强调指出，制造这种高机动性能设备的必要性和技术经济的合理性，并要求在1990年前需使设备容量达到欧洲联合电网安装容量的8—10%。

半尖峰机组和蒸汽燃气联合装置（ИГВ），因为它们的运行工况特殊，对苏联动力工程来说，在很大程度上则是一种新的设备型式。因此在设计前就已经做了极为广泛的科学技术和技术经济的研究，求得符合苏联电力系统条件下的主要技术参数和热力系统所需的这种设备的最佳型式。同时又考虑符合动力系统负荷曲线调节条件的机动性特点以及符合半尖峰机组和蒸汽燃气联合装置的预计运行工况。结果证明，制造单机大功率（50—80万千瓦）高机动性装置能满足电力系统现代这样较高要求的可能性。

众所周知，经济性是动力设备技术水平最重要的指标之一。自从首批30万千瓦机组采用240公斤/厘米²，565/565℃的超临界蒸汽参数以来，其燃料单位消耗比16—20万千瓦亚临界蒸汽参数机组低5.8%。后来，因为要保证其更高运行可靠性而又把这些机组

新蒸汽和再热蒸汽温度降至目前的540/540℃，于是或多或少地减少了经济上的好处。在这样的蒸汽参数条件下向单机大功率机组过渡，显然不可能提高热效率。

在气体动力学方面，采用了更为现代化的汽轮机通流部分，首先是低压缸和更经济的辅助设备。这在一定程度上可以补偿50万和80万千瓦大型机组由于过热参数降低所造成的经济性损失。到1990—2000年那个时候，这些机组在全部火力发电厂的电力生产中将占显著的地位，其经济性也会比现在的30万千瓦机组高1.5—2.0%。

在向单机大功率机组过渡时，按照可靠性和经济性的指标使机组运行工况达到自动控制程度的问题具有很重要的意义。对于大型机组来说，实现具有最大热经济性的自动控制操作，这是节省燃料和提高机组可靠性的重大来源所在。目前实现这样控制的现实性大有可能了。因为在大型机组操作过程控制系统中采用了以电子计算机为基础的信息计算成套设备，它们具有按照经济指标形成设备状态的信息和自动计算经济指标的功能。由于它们具有高精确的效能向运行人员提供关于主要设备和整机的真实经济信息以及操作参数与最佳值偏离原因的分析结果，因此可以提高机组的运行质量。

到目前为止，首批六台80万千瓦气体重油机组和两台煤粉机组（其中一台已改为烧重油），还有五台50万千瓦煤粉机组正在某些电站中顺利地运行着。首批这些机组的样机都在所需的范围内进行了起动调试和研究工作。设备和设计所反映出来的一些缺点已经得到消除。有一些机组的运行技术经济指标已经达到设计要求，其他一些机组已接近设计要求。因此，这些机组的试制、使用的第一阶段实际上已经结束了，因而可以进行总结，用以判断下一个容量级机组的实际效率，以及判断上述机组在制造和使用中那些情况是正确的，那些情况是不正确的。

在本书中叙述了捷尔任斯基全苏热工研究所与其他机构一起在装备凝汽式电站的50万和80万千瓦机组的制造、掌握使用和提高效率方面以及在研制新型高机动性专用发电站设备方面所进行的科研与设计工作的主要成果。

关于化学水规范和发电机组金属可靠性的科研分析结果将在另一书中阐述。

本书是由研究所的很多研究成员共同合作而编成的。书中还引用了其他机构专家们在报刊中所发表的大量资料。书中的很多章节是同这些机构的专家们合写的，仅有几个章节是由我们自己撰写的。

书中在很大程度上反映出下列单位的工作成果，诸如全苏电力设计院（ТЭП）、全苏电力技术生产联合体、波尔祖诺夫中央锅炉透平研究所（ЦКТИ）、《红色锅炉工人生产联合体—塔干罗格锅炉厂（ТКЗ）、奥

尔宗尼启则—波托尔机器制造厂（ЗПО）、巴尔纳乌尔锅炉厂（БКЗ）、透平生产联合体—列宁格勒金属工厂（ЛМЗ）、哈尔科夫基洛夫透平厂（ХТИЗ）、动力网设计研究所（ЭСП）、塞尔兰透平厂（СТЗ）、卡鲁日透平工厂（КТЗ），很多电站和其他一些机构。

主编本书的是：技术科学博士 В. Е. 多罗舒卡教授和技术科学副博士 Б. Б. 鲁宾。编者和技术校对各是：技术科学副博士 Г. И. 莫谢耶夫（《50万和80万千瓦凝汽式动力机组的火力发电站》）、技术科学副博士 Р. А. 彼特罗先生和 К. Я. 波费罗夫（《锅炉装置》）、技术科学博士 Я. М. 鲁宾什捷英教授、技术科学副博士 Н. Ф. 果马罗夫（《汽轮机装置》）、技术科学副博士 Б. И. 什姆科列尔（《50万和80万千瓦机组的变工况》）。

锅炉装置分册

目 录

原 序

第二篇 (原书) 锅炉装置

第三章 大型机组火力发电站的燃料供应基地…………… (1—17)

3—1 火力发电站的燃料平衡

3—2 动力燃料的质量

3—3 大型机组燃料的基本特性和特点

3—4 新开采的煤矿

第四章 大型机组燃料的供给和制备系统…………… (18—48)

4—1 固体燃料的供给系统

4—2 大型机组的制粉系统

4—3 向燃烧设备的送粉系统

4—4 液体燃料的制备和输送系统

4—5 向重油输入添加剂的系统

第五章 燃烧坎斯克—阿钦煤的锅炉机组…………… (48—85)

5—1 坎斯克—阿钦煤矿物质的特性及特点

5—2 别列佐夫煤的燃烧情况

5—3 清除大容量锅炉炉膛水冷壁的外部沉积

5—4 80万千瓦机组Π—67型燃用坎斯克—阿钦褐煤锅炉的主要设计方案
及结构特点

5—5 燃用坎斯克—阿钦煤大型机组锅炉的汽水系统

第六章 燃烧埃基巴斯图兹煤的锅炉机组…………… (85—113)

6—1 埃基巴斯图兹煤矿物质的特性

6—2 埃基巴斯图兹煤的燃烧

6—3 配50万千瓦单元机组的Π—57型锅炉及其试运阶段的初步总结

6—4 燃烧埃基巴斯图兹煤炉膛的热交换

6—5 水力系统的选择和水冷壁温度工况可靠性的保证

6—6 鳍片式受热面在燃烧埃基巴斯图兹煤锅炉上的应用

6—7 燃用埃基巴斯图兹煤锅炉受热面灰份的磨损

第七章 燃烧库兹涅茨克和顿涅茨克烟煤的锅炉…………… (113—137)

7—1 库兹涅茨克和顿涅茨克烟煤的矿物质特性

7—2 库兹涅茨克煤和顿涅茨克煤的燃烧试验

7—3 燃烧库兹涅茨克和顿涅茨克烟煤时降低氧化氮排放量的途径

7—4 烧含硫煤时受热面的低温腐蚀

7—5 燃烧库兹涅茨克煤和顿涅茨克煤的80万千瓦机组ТНП—804型锅炉

第八章 燃液体和气体燃料的锅炉..... (137—179)

8—1 配80万千瓦单元机组的 ТГМП—204 型锅炉

8—2 燃油、气大型锅炉的水力系统

8—3 燃油、气锅炉受热面的外部腐蚀

8—4 燃油、气锅炉排烟温度和空气预热温度的选取

8—5 空气预热装置

8—6 液体和气体燃料大型锅炉的炉内换热特性

8—7 配80万千瓦机组的 ТГМП—204 型锅炉初期运行阶段的总结

8—8 重油燃烧时氧化氮生成过程的研究及其降低的途径

8—9 锅炉受热面的清洗

8—10 配50万千瓦半尖峰负荷单元机组的 ТМП—501 型锅炉

第二篇 锅炉装置

* 编者按：这里的译文是我们从苏联1979年出版的《50和80万千瓦动力机组锅炉—
* 汽轮机装置》一书中选译的第二篇即第三、四、五、六、七、八章。原书中其他章
* 节译文请见哈尔滨汽轮机厂《汽轮机技术》编辑部选译的《汽轮机装置》专辑。
*

第三章 大型机组火力发电站的 燃料供应基地

3-1 火力发电站的燃料平衡

苏联是拥有固体燃料（煤、油页岩和泥煤）、石油和天然气的国家〔3—1〕。一部分燃料资源分布在苏联的亚洲，主要是林斯基、登古斯卡、坎斯克—阿钦以及库兹涅茨煤田。在苏联欧洲，开采动力用煤主要有顿涅茨、莫斯科近郊和彼尔尔煤田。

西伯利亚已被开采和准备开采的煤田，大约占全苏的37%，而且大部分蕴藏在库兹涅茨煤田。东西伯利亚煤田的产量占21%以上。有工业价值的产煤区是坎斯克—阿钦、伊尔库茨和米努辛煤田。

沿海区的煤产量比较多，大约占全苏产量的4.3%，中亚细亚煤的产量有限，不超过1.5%。

苏联的油页岩产量也很多。有工业价值的产区分布于波罗的海沿岸和列宁格勒一带。

— 固体燃料的储量现在是完全可以信赖

的，因为煤的产量主要是通过矿层深度估算的，它的误差主要取决于估算方法。天然气和石油的产量常常有变化，因此，对天然气和石油的产量只能大概预测。煤气和石油主要产地位于西西伯利亚地区（秋明省、科米苏维埃社会主义自治共和国、奥列布洛格省、乌拉尔和中亚细亚）。

燃料工业部门的迅速发展，满足了国民经济对燃料的要求。在1955~1975年之间，燃料总的开采量从447.5增加到1502.3百万吨*（表3—1，图3—1）〔3—2〕。

表中的数据表明，随着燃料资源开采的绝对增长，燃料的构成也发生了变化。变化的主要特点是：煤的开采份额显著下降，从1955年的69.5%降至1975年的27.3%，因而石油和天然气工业得到了迅速的发展。在这一段时间内，石油和天然气的产量各自增至48.1和22.2%。1980年，煤的开采量应该上升到780~810百万吨〔3—3、3—4〕，石油至620—640百万吨（其中包括液化煤气），天然气增至4000~4350亿米³（表3—1）。

各类燃料的产量

表3-1

年份	总计 (百万吨)	煤		油页岩		泥煤		石油		煤气	
		百万吨	%	百万吨	%	百万吨	%	百万吨	%	百万吨	%
1955	447.5	310.8	69.5	3.3	0.7	20.8	4.7	101.2	22.6	11.4	2.5
1960	664.1	373.1	56.2	4.8	0.7	20.4	3.1	211.4	31.8	54.4	8.2
1965	933.1	412.5	44.2	7.4	0.8	17.0	1.8	346.4	37.1	149.8	16.1
1970	1195.2	432.7	36.2	8.8	0.7	17.7	1.5	502.5	42.1	233.5	19.5
1975	1502.3	410.0	27.3	9.7	0.6	26.5	1.8	722.1	48.1	334.0	22.2
1980	1937.7	471.2	24.3	9.9	0.5	25.2	1.3	920.0	47.5	511.4	26.4

（1980年计划开采）

※注：这里以及表3—1和3—2中百万吨指的是换算成标准燃料

火力发电站燃料平衡的构成

表3-2

燃 料	1965年		1970年		1975年		1980年(计划开采)	
	百万吨	%	百万吨	%	百万吨	%	百万吨	%
总 共	170.1	100.0	260.2	100.0	367.1	100.0	—	100.0
其中包括:								
煤	105.3	61.9	124.5	47.8	163.8	44.6	—	45.8
油页岩	2.9	1.7	4.9	1.9	6.7	1.8	—	1.6
泥煤	9.4	5.5	8.2	3.2	7.6	2.1	—	2.6
液体燃料	21.1	12.4	60.1	23.1	109.1	29.9	—	28.0
煤气	31.4	18.5	62.5	24.0	79.1	21.6	—	22.0

由于石油和天然气产量急剧增长,使火力发电站燃料的平衡构成发生了变化(表3—2,图3—2)。固体燃料(煤、油页岩和泥煤)份额由1965年的69.1%下降到1975年的48.5%,其中煤的份额由61.9%下降到44.6%,而重油和天然气的份额到1975年增至51.5%。应当指出,重油和天然气在火力发电站燃料平衡中的增长,对国家总的燃料平衡份额是不大的。1974~1975年,火力发电站重油的消耗换成标准燃料稳定在110百万吨水平上,到1980年燃用重油的份额有了

一定的下降。根据合理使用天然气燃料资源这个总的趋势,天然气和固体燃料的消耗将有增长。

供给苏联欧洲火力发电站的煤,主要来源于顿涅茨和莫斯科近郊的煤田。可以预料到,为了满足电力的需求,还需要提高顿涅茨煤的产量。在1975年,为了保证火力发电站的需要,曾往苏联欧洲输送14百万吨库兹涅茨煤。到1980年库兹涅茨煤的供应量还会增长。

苏联亚洲需要的动力燃料完全依靠库兹

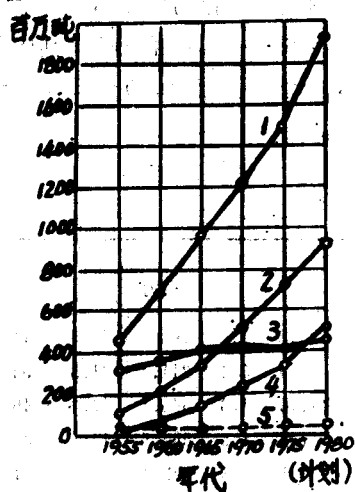


图3-1 1955~1980年各类燃料的产量, 百万吨
(换算标准燃料)

1—总产量; 2—石油; 3—煤; 4—煤气; 5—泥煤+油页岩

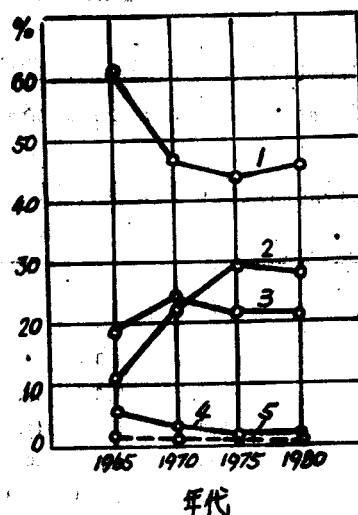


图3-2 火力发电站燃料平衡的构成

1—煤; 2—重油; 3—煤气;
4—泥煤; 5—油页岩

涅茨煤、埃基巴斯图兹煤、坎斯克—阿钦煤和依尔库茨煤。1975年火力发电站所燃用库兹涅茨煤在137百万吨的总产量中占40百万吨，西伯利亚火力发电站约燃用23百万吨。尽管库兹涅茨煤产量有计划地增长，但对这一工业区电站需用量来说，它的增长还是不快。

埃基巴斯图兹煤用量比重大大增长。在1975年，44.3百万吨埃基巴斯图兹煤在乌拉尔电站燃用23.5百万吨，哈萨克斯坦火力发电站燃用20.8百万吨。如果考虑到乌拉尔火力发电站和哈萨克斯坦电力建设的发展，到1980年，埃基巴斯图兹煤用量还会增加。

《苏联国民经济发展的基本方向》〔3—3〕报告中指出，必须扩大建设坎斯克—阿钦煤矿动力—燃料的综合利用。

3-2 动力燃料的质量

固体燃料 1975年苏联电力部各电厂生产电能和热能所消耗的原煤达275.3百万吨，其中各类牌号的无烟煤和烟煤181.6百万吨，褐煤93.7百万吨。苏联电能生产的特点是燃用低质煤：1978年所有煤的平均含水量为16.0%，灰份（干质）31.1%。多杂质煤的发热值是比较低的，4060大卡/公斤，而无烟煤和烟煤的平均灰份 A^c 为32.6%，发热值 $Q^P_H = 4620$ 大卡/公斤。

根据干质灰份的含量，将火力发电站所燃用的煤加以整理分类（按1975年统计数据）。

灰份含量，%	
15以下	8.2%
15~20	23.9%
20~25	5.0%
25~30	15.1%
30~35	6.8%
35以上	41.0%

近十年来，动力用煤的煤质不断下降，这是由于所开采的煤层薄而质量差，以及露天开采数量增多的缘故。与此同时，也由于

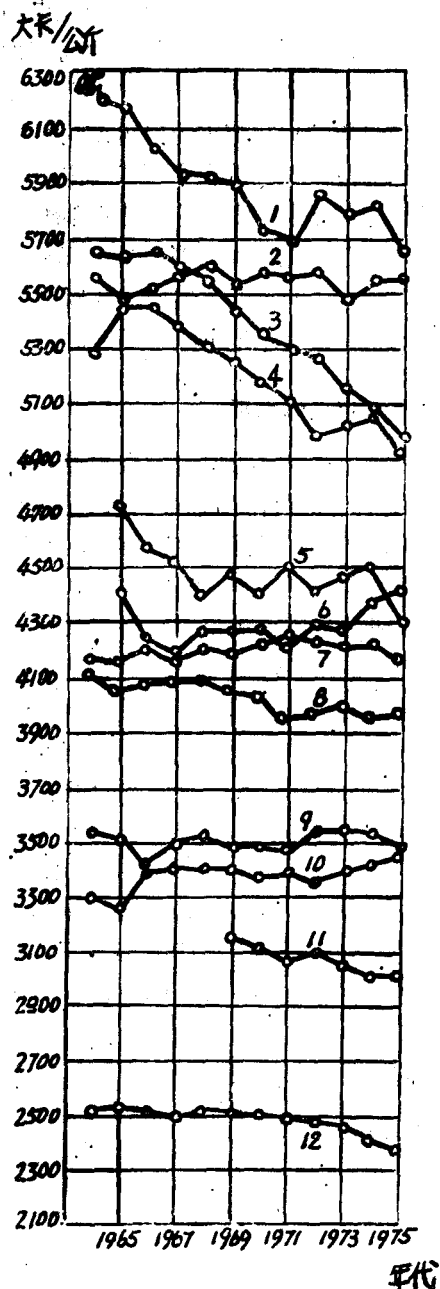


图3-3 1965~1975年煤发热值 Q^P_H 的变化

1—顿涅茨T煤；2—库兹涅茨煤；3—顿涅茨 $A_m + A_{cm}$ 煤；4—里沃夫沃雷诺煤；5—卡拉干金煤；6—契列姆霍夫煤；7—阿塞依煤；8—埃基巴斯图兹煤；9—坎斯克—阿钦煤；10—契利亚宾煤；11—哈拉诺尔煤；12—莫斯科近郊煤。

工业用煤的优选和精制加工,使得动力用煤没有挑选的余地。因此,向火力发电站供给高灰份的矿物质煤(筛余煤、中间产物和煤渣)显著的增长。

1961年到1978年火力发电站用煤质量的变化示于表3-3。从表中可以看出,灰分:顿涅茨A_{III}煤增加8%、顿涅茨T煤增加4%、里沃夫沃雷诺煤增加10%、契列姆霍沃夫煤增加5%、莫斯科近郊煤增加3%等等。因此,发热值也逐年地下降(图3-3)。

液体和气体燃料

1975年苏联火力发电站大约消耗80百万吨重油(实际计算)和673亿米³天然气。

长期以来,重油发热值实际上是常数(表3-3),而其他一些质量指标(粘度、含水量、机械杂质和灰份等)略有改善。

近年来,各炼油厂在全苏热工研究所和全苏石油工业科学技术研究所的倡导和参与下采取了许多措施,从而使重油灰份由0.3降为0.02—0.14%。大部分出产的重油,其灰份均小于0.07%。

正如试验研究表明,灰份从0.15降低到

0.05%时,可将标准燃料的单位耗量减少0.3克/千瓦小时,从而使功率为240万千瓦的火力发电站每年大致可节约52万卢布和4000吨天然燃料。

1975年,各炼油厂由于贯彻一系列先进措施,制订了重油标准:ГОСТ 10 585—75,有效期限从1977年1月~1982年1月。ГОСТ规定锅炉用重油牌号40、100、40B和100B,并附有国家质量标号(表3-4)

表3-4中重油品质实际上尚未得到ГОСТ批准。1975—1976年生产的全部重油特性见表3-5。

从表3-4和3-5对照比较中可以看出,发热值通常比ГОСТ 10 585-75规定的标准高20—350大卡/公斤。

应该指出,电站用重油是用铁路油罐车输送,而且在冬季卸车要采用蒸汽加温。因此,电站燃用的重油,其特点是比炼油厂的含水量要高。这正是表3-3和3-5重油发热值在一定程度上有所不同的原因。

在100号标准重油的浓度不超过1.015克/厘米³的情况下,浓度介于0.839~0.975之间。低硫份重油的密度是最低的,而高硫份

1961—1978苏联电力部各电厂所用燃料的特性

表3-3

燃 料	1961年			1965年			1970年			1978年		
	W ^P , %	A ^c , %	Q ^H , 大卡/公斤	W ^P , %	A ^c , %	Q ^H , 大卡/公斤	W ^P , %	A ^c , %	Q ^H , 大卡/公斤	W ^P , %	A ^c , %	Q ^H , 大卡/公斤
煤种:												
①顿涅茨煤A _{III} +AC _{III}	7.5	20.2	5810	8.3	21.9	5640	8.4	25.4	5360	9.9	23.9	4660
②顿涅茨T煤	5.2	18.2	6340	5.2	20.6	6158	6.2	24.6	5730	7.9	29.1	5180
③库兹涅茨煤	9.8	19.2	5640	10.9	20.0	5480	9.9	19.8	5590	10.5	20.9	5440
④埃基巴斯图兹煤	7.3	39.0	4120	7.1	39.9	4080	6.0	41.3	4030	6.1	41.8	3980
⑤彼尔尔煤	11.1	28.1	4620	—	—	—	8.4	31.4	4560	10.5	34.6	4230
⑥莫斯科近郊煤	32.1	35.8	2510	31.8	36.7	2520	31.8	37.1	2490	31.8	42.8	2210
⑦契利亚宾煤	17.4	36.3	3350	17.2	37.2	3250	15.9	37.6	3360	14.8	38.0	3350
⑧里沃夫—沃雷诺煤	10.9	21.3	5290	8.3	23.1	5450	7.9	26.6	5180	7.0	35.6	4470
⑨坎斯克—阿钦煤	34.4	9.7	3580	34.4	11.8	3510	35.2	10.0	3470	35.1	10.6	3480
⑩阿塞依煤	—	—	—	26.8	15.4	4150	24.2	17.0	4210	22.6	19.1	4170
⑪机碎泥煤	48.1	11.9	2060	47.8	11.7	2090	49.4	12.3	2010	52.5	12.4	1800
⑫波罗的海沿岸油页岩	13.1	47.9	2540	12.8	49.1	2280	12.6	48.8	2310	12.1	50.3	2090
⑬重油	—	—	9650	—	—	9580	—	—	9560	—	—	9600
⑭气体	—	—	8130	—	—	8220	—	—	8230	—	—	8200

重油的密度是最高的。

锅炉重油品质 表3-4

指标	标准牌号			
	质量 标号 40B	质量 标号 40	质量 标号 100B	质量 标号 100
温度80℃时粘度不大于: 标准粘度, BY	6.0	8.0	10.0	16.0
与粘度相应的动粘度, CCT	43.8	59.0	73.9	118.0
灰份, %, 不大于:	0.04	0.12	0.05	0.14
机械杂质, % 不大于	0.07	0.80	0.20	4.5
水含量, % 不大于	0.3	1.5	0.3	1.5
含硫量, %, 不大于:				
低硫份的重油	0.5	1.0	0.5	1.0
中等硫份和高硫份重油	2.0	3.5	2.0	3.5

低硫份重油的硫含量为0.38% (平均值), 当不超过1%标准时, 不会高于0.53%; 中等硫份重油的硫含量为1.65% (平均值), 当不超过2%标准时也不会超过1.98; 高硫份重油的硫含量为2.65% (平均值), 当标准规定为3.5而允许规范为4.2%时, 不会超过3.7%。

重油的粘度比ГОСТ标准的要求低得多, 如1976年40号重油, 按标准规定在80℃条件下不超过8°BY, 普通重油不超过6°BY, 低硫份重油的平均粘度值2.1° (1.7—4.3), 中等硫份油4.1°BY (1.9—5.0°BY)。

100号重油与上述情况相类似。按标准规定在80℃时不超过15.5°, 普通重油不超过10°BY, 低硫份重油的平均粘度值为4.0 (1.9—6.7), 中等硫份重油的为6.6 (1.2—8.6), 高硫份重油的为8.8°BY (3.9—11.4°BY)。

在1969—1973年期间, 重油粘度总的趋势是下降。

机械杂质含量已达到国家质量标准的要求: 40B号重油为0.07%, 100号重油为0.20%。在绝大多数情况下, 平均机械杂质含量—低硫份重油为0.04 (0.01—0.07), 中等硫份重油为0.04 (0.02—0.05), 高硫

份重油为0.10% (0.01—0.14%)。

绝大多数炼油厂出产的重油含水量是不大的, 只有个别炼油厂出产的重油含水量占0.5%。

重油在开式坩埚中闪点温度与ГОСТ要求是一致的 (40号重油不低于90, 100号重油不低于110℃)。

凝固温度符合ГОСТ标准, 但都是很高的, 尤其是低硫份重油。重油灰份基本上符合ГОСТ要求 (40号重油不超过0.04, 100号重油不超过0.05%)。

40号重油平均灰份的数值是: 低硫份重油和中等硫份重油的灰份为0.03 (0.02—0.04), 而奥尔斯克炼油厂生产的重油为0.06%; 高硫份重油为0.04% (0.02—0.06是古比雪夫炼油厂生产的高硫份重油)。对100号重油来说, 低硫份重油的平均灰份数值0.03 (0.02—0.05), 中等硫份重油的为0.04 (0.02—0.03), 高硫份重油的为0.05% (0.02—0.07)。

火力发电站用天然气的质量实际上没有变化 (表3-3)。但应当指出, 近年来, 向伏尔加河流域和中亚细亚火力发电站供给的天然气, 含硫量是呈硫化氢的形态。

3—3. 大型机组燃料的基本特性和特点

大多数80万千瓦大型机组电站都建于西伯利亚, 燃用坎斯克—阿钦煤田的褐煤。该处煤田有30个以上大型产煤基地。国家在这一煤区将建立燃料—动力综合利用基地, 并建设许多电厂, 其总功率达5000万千瓦。

坎斯克—阿钦煤田是由别列佐夫、意塔特、阿班和乌留浦等产地扩展而建成的。

根据ВТИ研究的结果〔3-5〕, 确定了坎斯克—阿钦煤田主要产地煤的物理化学特性 (见表3-6)。

坎斯克—阿钦煤的特点大致是: 低干质灰份 (3.5—15%), 高水份 ($W^p=32-44\%$), 含硫量少 (0.3—0.9%), 燃料的

工作基发热值 Q_{H}^{P} 为3000—3700大卡/公斤。

坎斯克—阿钦煤田的开发第一阶段最大产地之一的别列佐夫供应基地，是露天开采的。

别列佐夫的基本煤层厚度为10—70米。

最大煤层厚度位于西南部分作业区。别列佐夫1^号露天矿开始建设时煤层的构造简单，它的平均厚度40米，地层深度由几米到250米。

苏联炼油厂生产的低硫份、中等硫份和高硫份重油的物理化学指标(极限值与平均值)表3-5

指 标	重油牌号	出厂年代	高硫份	中等硫份	低硫份
密度 ρ_{4}^{20} , 吨/米 ³	40	1975	0.942	0.924	0.917
		1976	0.948	0.923	0.906
		1975	0.956	0.926	0.919
		1976	0.957	0.938	0.920
80℃时标准粘度, °BY	40	1975	5.8	2.8	2.3
		1976	5.6	4.2	2.4
		1975	8.9	3.3	4.03
		1976	9.04	6.00	4.4
含硫份量, %	40	1975	2.6	1.4	0.40
		1976	2.6	1.6	0.36
		1975	2.7	1.7	0.43
		1976	2.6	1.8	0.36
灰份, %	40	1975	0.06	0.02	0.027
		1976	0.05	0.04	0.023
		1975	0.05	0.03	0.033
		1976	0.05	0.04	0.034
含水量, %	40	1975	0.11	0.08	0.03
		1976	0.12	0.18	0.27
		1975	0.14	0.02	0.05
		1976	0.12	0.19	0.23
机械杂质, %	40	1975	0.13	0.03	0.08
		1976	0.08	0.09	0.04
		1975	0.14	0.03	0.10
		1976	0.09	0.11	0.04
在开式坩锅中闪点温度, °C	40	1975	119.0	115.0	118.0
		1976	125.0	117.0	114.0
		1975	136.0	119.0	143.0
		1976	138.0	138.0	—
凝固温度, °C	40	1975	+11.0	—	+17.0
		1976	+15.0	+18.0	+16.0
		1975	+19.0	+22.0	+33.0
		1976	+21.0	+23.0	—
发热值 Q_{H}^{C} , 大卡/公斤	40	1975	9780	9980	9970
		1976	9770	9820	9940
		1975	9780	9940	9960
		1976	9740	9780	9900

别列佐夫煤的特点,灰份低(平均7%)。根据克拉斯诺雅尔地质管理局的数据,钻孔取出的灰份3—12%,而50%钻孔的取样表明,灰份在5%以下,83%在7.5%上下。按照列宁格勒国家矿井设计院普列哈诺夫采矿学院的计算,开采前10年,商品煤的平均灰份5%—5.8%。因此,据估计供给电站的煤

质其灰份在5%以下。

高水份煤($W_{\text{CP}}^{\text{P}} = 33\%$)经长途铁路运输冬季会使煤结冻。因此,根据BTM的计算方法所求出的煤的极限水份指标($W_{\text{KP}}, \%$)和安全湿度值($W_{\text{G}}, \%$)分别为39%和32%。

就硫的含量而言,本煤属于低硫类范畴,

它的平均含量/ $S_{O_6}^C$ /为0.3%，折合硫份 $S''=0.08$ 。

别列佐夫煤具有明显的机械强度，其可磨系数为 $K_{AO}=1.3$ 。它能很快的自燃，并具有最大的爆炸危险。

地表层上的煤常被氧化。在所开采的别列佐夫采煤场1^{*}作业区，被氧化（碳黑）的

煤层深度15~28米，地表层的煤层平均厚度41米，其中基本煤层（38米）是密实的没有被氧化的煤，而上边的一层平均厚度3—4米，称之为碳黑煤。碳黑煤无论在面积上还是在深度上的分布都是不均匀的，内在杂质也各有不同。

碳黑煤就其性质而言与基本煤质有显著

坎斯克—阿钦煤矿主要产煤区煤的物理化学特性

表3-6

指 标	产 地								
	伊尔沙	那扎罗夫	别列佐夫 $A^C, \%$		意塔特	巴兰达特	波果托尔	阿班	乌留浦
			7	4					
$W^P, \%$	33.0	39.0	33.0	33.0	40.5	37.0	44.0	33.5	33.0
$W^{PH}, \%$	12.0	13.0	11.7	11.7	12.8	11.5	13.6	—	12.0
$A_{CP}^C, \%$	9.0	12.0	7.0	4.0	11.5	7.0	12.0	12.0	7.0
$S_{O_6}^C, \%$	0.3	0.7	0.3	0.3	0.7	0.3	0.9	0.5	0.3
$S^F, \%$	0.3	0.8	0.3	0.3	0.8	0.3	1.0	0.6	0.3
$C^F, \%$	71.5	70.0	71.0	71.0	69.5	71.5	69.5	71.0	71.0
$H^F, \%$	5.0	4.8	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9
$N^F, \%$	1.0	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1.0	0.7
$O^F, \%$	22.2	23.6	23.1	23.1	24.1	22.6	23.9	22.5	23.1
$V^F, \%$	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0
Q_{60}^F , 大卡/公斤	6750	6520	6600	6600	6550	6700	6550	6650	6600
Q_{PH}^F , 大卡/公斤	3740	3110	3740	3740	3060	3540	2820	3520	3740
K_{AO}	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.2	1.3

的不同。就外观来说，是疏松的、无光泽、容易破碎，并具有高水份（38—48%）。炭份平均20%，硫的含量略高（0.3~1%）。炭黑煤的有机杂质成份不定稳，碳含量（63%）和氢含量（3.7%）较低。因此，工作基发热值从3740降为1810大卡/公斤。如果考虑到炭黑煤的分布状况，完全有可能作为商品煤出售到市场供给火力发电站，降低煤的平均质量。

意塔特一波果托尔产煤区位于坎斯克—阿钦煤田的西部。它的周围有三个大型煤矿即波果托尔煤田、意塔特煤田和巴兰达特煤田。以上三个产煤区开采的煤层同是一个《意塔特》煤层。人们把波果托尔产煤区称之为《厚煤层》区。这里的煤层最厚达67米，平均煤层厚度为32米。煤层有利于露天开采，开采的倾斜角度为10°，但在最近几

年中没有开采，因为这里的煤质比其他产煤区和坎斯克—阿钦煤田普遍低，波果托尔煤特点是水份高（ $W_{cp}^P=44\%$ ），灰分（ $A_{CP}^C=12\%$ ），硫含量（ $S_{O_6}^C=0.9\%$ ），在坎斯克—阿钦全部煤田中其煤质的变化比较小，发热值 $Q_{PH}^F=2820$ 大卡/公斤。以意塔特一波果托尔产煤区为例，可以观测到意塔特地区煤层煤质的变化程度，再向南伸展煤的水份逐渐减少，发热值和炭含量都有增长。例如，意塔特产区煤的特点是： $W^P=40.5\%$ ， $Q_{PH}^F=3040$ 大卡/公斤。在意塔特产煤区范围内《意塔特》煤层平均厚度44米，开采的倾斜角度5—8°。为了开发备用煤田，详细地勘探和开拓了意塔特产区的一些矿段。在意塔特一波果托尔煤的区域中，巴兰达特产煤区到意塔特的直线带一带是最有发展前景

的。在巴兰达特产地区域内,《意塔特》煤层的厚度达100米,平均厚度为58米。煤层的构成简单,煤层向南伸展。巴兰达特产地也和意塔特一样,详细地勘探了藏煤的地带。巴兰达特地区比波果托尔和意塔特地区的煤具有更高的质量。阿班地区的煤矿特色是煤层分布面积特广,很大面积适合露天开采,这里被开采煤层的厚度分两种即《厚煤层》和《下部煤层》。《厚煤层》的最深处从1.5到25米,它的平均厚度为12米,《下部煤

层》从0.6到14.5米厚。在《厚煤层》下边,煤层之间距离约20米,在《下部煤层》下边,平均厚度为6米。煤层几乎成水平线,倾斜角度仅有2—3°。

煤灰的化学成分(表3—7)表明,坎斯克—阿钦煤田全部煤的特点是,煤灰中含氧化钙(CaO)高,变化范围由阿班地区的25%一直到低灰份煤质的别列佐夫煤的60%,而且钙与煤的有机物质化合在一起,成为腐殖酸盐。

坎斯克—阿钦煤矿煤的平均化学成份及其灰熔点特性

表3-7

指 标	产 地								
	那扎罗夫	伊尔沙—波罗金	别列佐夫		巴兰达特	意塔特	波果托尔	阿班	乌留浦
			7	4					
$A^c, \%$	12.0	9.0	7.0	4.0	7.0	11.7	12.0	12.0	7.0
$\text{SiO}_2, \%$	30.0	47.0	30.0	15.0	27.0	35.0	37.0	46.0	30.0
$\text{Al}_2\text{O}_3, \%$	13.0	13.0	11.0	10.0	11.0	13.0	13.0	11.5	11.0
$\text{Fe}_2\text{O}_3, \%$	18.0	8.0	9.0	6.0	9.0	14.0	15.0	13.0	9.0
$\text{CaO}, \%$	33.0	26.0	42.0	60.0	43.0	33.0	29.0	25.0	42.0
$\text{MgO}, \%$	5.0	5.0	6.0	7.0	9.0	4.0	5.0	3.0	6.0
$\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}, \%$	1.0	1.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.5	2.0
$t_1, ^\circ\text{C}$	1200	1180	1270	1500	1300	1200	1150	1140	1270
$t_2, ^\circ\text{C}$	1230	1210	1290	—	1320	1220	1170	1160	1290
$t_3, ^\circ\text{C}$	1240	1230	1310	—	1340	1240	1190	1180	1310

因为含煤的岩石是粉砂岩和泥板岩,主要含有丰富的砂土质,它的特征可用 CaO 含量与灰份的比例关系来表示(图3—4),煤的灰分越少,灰份中 CaO 含量就越多。

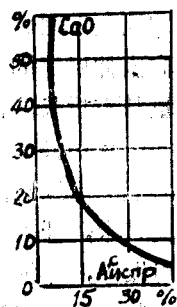


图3-4 坎斯克—阿钦煤田煤的 CaO 与 $A^c_{\text{усп}}$ 的含量关系

属于碱性的和超碱性的低灰份煤的成份。煤灰成份的变化与二氧化硅 SiO_2 取代氧化钙有关系〔3-6〕。这对灰份熔点特性有重大影响。整个来说,坎斯克—阿钦煤的灰份属于易熔化的,如阿班地区和波果托尔地区生产的煤,或者说灰熔点偏低。与含 CaO 55—65%低灰份的别列佐夫煤明显的区别,就是后者的熔点温度在1500℃以上。

较易熔化的灰份含15—25%氧化钙,其熔点温度小于1200℃,相当于燃料的灰份10—15%。在燃料灰份减少时,由于灰份中氧化钙浓度增加,所以熔化特性急剧增长,而当灰份在 $A^c = 4 \sim 6\%$ 时,软化温度 t_2 和熔化温度 t_3 均超过1500℃。

为了更有效的利用坎斯克—阿钦煤,建立了大型动力生产装置来获取焦油、煤气和

半焦炭（热煤炭），经过加工再供给国内中心区，这是经济的。尤其是按照克 尔 日 札诺夫动力科学研究所（ЭНИН）方法，经过热加工即在600—700℃温度下处理可获得这样的产物：半焦炭， $V^r = 12\%$ ， $O^p_H = 6500$ 大卡/公斤（原煤重量的29%）。它是一种粉末形态，它的细度 $R_{90} = 70\%$ ；半焦炭的细度可在原煤破碎过程中调正；

煤气的发热值为5000大卡/米³（10%），轻的和中等的焦油发热值为9200大卡/公斤（9%），在加工过程中损失燃料10—13%。

目前，在某一热电站中建了一台ЭТХ-175型装置，专门用来供给工业生产用的半焦炭和其他产品。预计每年可加工一百万吨原煤，这一发电站应该提供半焦炭、焦油和煤气的加工生产、运送和储存技术，并把各产区获得的坎斯克—阿钦煤的半焦炭供给锅炉燃用。这对生态保护也是必要的。

在苏联乌拉尔和欧洲部分，建造了烧库兹涅茨和顿涅兹烟煤的若干台80万千瓦机组。

从库兹涅茨煤田将得到气煤（ГСШ）的筛余物和烧结不好的煤（СС），即普通煤和筛余物以及被氧化的I级煤（ОКИ）。

库兹涅茨煤田气煤筛余物，1976年总产量为4.6百万吨，其中用于火力发电站2百万吨。在将来的发展中气煤需要进一步地扩大露天开采，继续建设新的露天矿和改造以往建的煤矿。

目前，苏联电力部所属各电厂所用的气煤筛余物，其灰份平均为12.7%，而ICCP牌号煤的灰份平均为13.2%，2CCP—17.4%。近10年来，除了考虑到火力发电站燃用库兹涅茨煤基本指标稳定性之外，同时还必须予料到今后煤质的下降，其中也包括开采厚度不大和有较高灰份的上述牌号煤。此外，几乎在所有的露天矿都增加了选煤装置来分选多级用煤，同时也要使火力发电站用的多灰

份的筛余物尽可能减少。

譬如，地下开采的ГСШ煤，灰份平均含量15.5%，最大含量22%，工作基的燃料发热值5570大卡/公斤（当 $A^c = 22\%$ 时）。对露天开采的ГСШ煤来说， $A^c_{пред}$ 还要大—25%，发热值5110大卡/公斤。对地下开采ICCP牌号煤（筛余物）来说，干质燃料的灰份为20%，最大含量为30%，发热值5000大卡/公斤。对露天开采的同一牌号煤来说，可予计灰份为13—17%，最大含量为20%，发热值为5800大卡/公斤。

除此之外，送到火力发电站去的还有表层被氧化的劣质煤：1CCPOKI和2CCPOKI

库兹涅茨煤田煤质的物理化学特性

（露天开采）

表3-8

指 标	牌 号			
	ГСШ	СС	1CCPOKI	2CCPOKI
WP, %	10.0	10.0	12.0	10.0
W ^{гн} , %	—	—	—	—
A ^c _{CP} , %	15.0	15.0	13.0	17.0
S ^c _{ог} , %	0.4	0.4	0.4	0.3
S ^c _{ог} , %	0.5	0.5	0.5	0.4
C ^r , %	81.5	85.5	84.0	85.0
H ^r , %	5.7	4.7	4.5	4.5
N ^r , %	2.7	2.0	2.0	2.1
O ^r , %	9.5	7.3	9.0	8.0
V ^r , %	40.0	27.0	27.0	23.0
Q ^r ₆ , 大卡/公斤	8000	8200	7850	8000
Q ^p _H , 大卡/公斤	5800	6140	5730	5720
K _{AO}	1.2	1.5	1.6	1.6
化学成份, %:				
SiO ₂	58.0	54.0	61.0	57.0
Al ₂ O ₃	23.5	28.0	26.0	26.0
Fe ₂ O ₃	7.0	10.3	10.0	6.2
CaO	5.0	2.5	8.0	5.7
MgO	1.5	1.2	1.0	0.9
K ₂ O+Na ₂ O	3.0	2.3	2.2	2.9
灰熔点, ℃:				
t ₁	1150	1300	1300	1260
t ₂	1350	1400	1350	1350
t ₃	1400	1500	1430	1460

牌号, 其水份含量为 12 % 和 10 %, 灰份为 13 % 和 17 %, 发热值各为 5260 和 5165 大卡/公斤。

II 级氧化煤。其数量在增加, 它的特性很不好, 把它供给大型机组使用是不允许的。这种煤只有在库兹涅茨煤区内的火力发电站燃用。露天开采的 ГСIII 和 СС 牌号库兹涅茨煤的特性示于表 3—8。

80 万千瓦大型机组同样也燃用顿涅茨气煤的筛余物 (ГСIII)。

目前, 气煤最主要的开采区是: 巴甫洛格拉得煤矿 (西顿巴斯)、红军战士煤矿、顿涅茨—马凯耶夫煤矿、阿尔马兹诺—马尔耶夫煤矿和位于顿巴斯中部的西北中心矿区。1976 年普通气煤总的开采量约 28 百万吨。按照煤质总的下降趋势, 顿巴斯煤田普通气煤的煤质近 20 年来发生了显著地变化, 主要原因是由于煤的水份和灰份的增长。根据 1957 年数据 [3-7], 普通气煤的水份是比较低的 (7 %), 灰份 (17 %), 煤的工作基发热值高 (5900 大卡/公斤), 煤质显著变坏是在 1970—1975 年之间, 这是由于煤炭工业开采到“岩石质层”。按照 1976 年数据, 在水份 $W^p = 10\%$ 时, 气煤的平均灰份为 28 %。因此, 普通煤的发热值从 5900 降至 4890 大卡/公斤, 也就是说低了 1000 大卡/公斤。

被开采的普通煤煤质的下降和加工工作量的增加 (选煤和分筛等), 使 ГСIII 煤质发生了最深刻的变化。在目前, ГСIII 煤的平均计算灰份为 32 %, 最大灰份为 37 %, 燃料的发热值为 4510 大卡/公斤 (当水份 11 % 时), 煤质稍差的燃料 $Q^p_{H_2} = 4140$ 大卡/公斤。

顿涅茨煤田含硫量的变化, 介于 0.7 ~ 5.5 % 之间。从总的趋势来看, 在煤床的西南方向, 煤的含硫量在减少 (表 3—9)。

普通气煤的平均含硫量 $S^{p_{O_2}} = 3.2\%$, 在选煤的过程中, 高硫份筛余物 (ГСIII) 硫

份平均升高到 3.6 %。

ГСIII 煤具有良好的反应性能, 特点是挥发份为 41 %, 它属于易爆性燃料范畴。

ГСIII 煤具有显著的硬度 ($K_{A0} = 1.3$)。ГСIII 煤的灰份含酸性的二氧化硅 ($SiO_2 = 50.4\%$), 含铝 ($Al_2O_3 = 24.3\%$), 含钛 ($TiO_2 = 0.7\%$), 含碱性的氧化铁 (Fe_2O_3

在含硫量不同百分数下气煤的蕴藏结构

表 3-9

煤 区	在含硫量不同百分数下硫份等级蕴藏量, %				
	约 1.5	1.5-2.5	2.5-3.5	> 3.5	
	I	I	II	IV	
巴甫洛格拉得煤矿	31.0	42.0	21.0	6.0	
红军战士煤矿	25.0	30.0	23.0	22.0	
顿涅茨—马凯耶夫煤矿	32.0	30.0	23.0	15.0	
中心煤矿	16.0	16.0	34.0	34.0	
阿尔马兹诺—马尔耶夫煤矿	10.0	13.0	31.0	46.0	

$= 16.7\%$) 以及含碱基金属氧化物 ($CaO = 2.8\%$), $MgO = 1.1\%$, $K_2O = 2.9\%$, $NaO = 1.1\%$)。

各种组合要素在含量上的变化, 取决于含铁数量的变化, 首先铁与煤中黄铁矿硫份的存在有关, 而黄铁矿硫份的分布又没有一定的规律性。

灰份的熔化特性主要取决于灰份中氧化铁 Fe_2O_3 的含量 (图 3—5)。气煤灰熔点的特性平均为: $t_1 = 1180^\circ C$, $t_2 = 1240^\circ C$, $t_3 = 1280^\circ C$ 。

经过对灰熔化粘度的分析得知, 灰份具有很弱的结晶能力, 原因是由于含有氧化物 SiO_2 和 Al_2O_3 物较高, 而易于形成玻璃结晶形态。根据熔化粘度 200^{II} 所规定的标准液态排渣温度 $t_{H.ж}$ 基本上为 1350—1500 $^\circ C$, 但建议设计温度取 $t_{H.ж} = 1400^\circ C$ 。

适于露天开采的、储煤量较大的埃基巴