

火力发电厂 燃料运输设施

[苏] Г.П. 安东扬茨 B.П. 契尔尼柯夫 O.Φ. 拉依弗里特著

马绍君 周相清译 景耕强校

1.7

电力工业出版社



内 容 提 要

本书依据大量资料,介绍了苏联火力发电厂输煤系统的设施和运行经验,各种设施存在的问题和解决的措施。内容包括动力煤的特性,供应方式,运输系统,解冻和疏松装置,卸煤装置,带式输送机,破碎设备,辅助机械,锅炉原煤斗,贮煤设施,计量,除尘,生产过程自动化,运行管理等。

可供发电厂、铁路、码头、大型厂矿的燃料或矿物运输专业的设计、安装、运行和管理人员阅读,也可供大专院校师生参考。

Г.Р.Антонянц В.П.Черников О.Ф.Райфельд
Топливо-транспортное хозяйство теп-
ловых электростанций
《Энергия》Москва 1977

火力发电厂燃料运输设施

[苏] Г.Р.安东扬茨 В.П.契尔尼柯夫 О.Ф.拉依弗里特 著
马绍君 周相清译 景耕强校

*

电力工业出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

850×1168毫米 32开本 9印张 237千字

1981年10月第一版 1981年10月北京第一次印刷

印数 0001—3000册 定价 1.15元

书号 15036·4229

译 者 的 话

本书依据大量的实际运行资料，介绍了苏联火力发电厂输煤系统的设施和存在的问题，以及解决这些问题所采取的措施。虽然所涉及的工艺系统和设备不一定都是最先进的，但它所提出的问题却是运行中普遍存在的，介绍的措施大都是可行的。

书中所介绍的虽然是苏联电厂输煤系统的情况和问题，但这些情况与我国电厂输煤系统的情况十分相似，这些问题在我国电厂输煤系统中也几乎是普遍存在的。因此，本书可供从事电厂、铁路、码头和大型厂矿的输煤专业的技术人员、运行工人以及管理人员阅读，亦可供输煤专业的设计、安装人员参考。

本书第十、十一两章由周相清同志翻译，其余各章和附录由马绍君同志翻译；全书译完后，由景耕强同志进行了认真的校订。在翻译过程中曾得到华泽文同志的帮助，在此表示衷心的感谢。

译 者

一九八〇年十月

序 言 (摘译)

动力技术发展的主要趋势是增加火力发电厂机组的容量,从而改善它的技术经济指标——降低单位造价、电能成本、定员系数和煤耗率。然而大型火力发电厂的绝对耗煤量却在大幅度地增长。目前一个燃煤电厂的日耗煤量达到3~4万吨,燃用油页岩的电厂达到4~6万吨。与此相应,输煤系统的生产率在最近20~25年已提高到1400~1600吨/时。

摆在电厂燃料运输设施工作人员面前的任务是相当重大的,因为新的大型火力发电厂输煤系统的生产率将提高到4000~5000吨/时。

随着燃料运输设备机械化和自动化水平的不断提高,对运行人员的技术水平提出了更高的要求。在燃料运输车间,要坚定不移地提高工程技术人员比例,高度重视劳动组织。然而必须指出,火力发电厂燃料运输车间的设备运行水平和劳动组织水平仍然明显地不如电厂主要车间。

在火力发电厂中,与燃料的供应、卸下以及厂内运输有关的一些问题,对整个电能生产过程的紧张性有着重大影响,这些问题的解决不仅具有心理上的意义,而且具有经济意义。

火力发电厂燃料运输设施的种种问题,在文献[2, 3]中有详尽的阐述。然而目前火力发电厂燃料运输车间的设备已在很大程度上得到了更新,并且积累了丰富的运行经验。这些经验部分地反映在文献[4]中。

在本书里,作者着重介绍燃用固体燃料的火力发电厂燃料运输设施的先进运行经验。

第一章由Г. П. 安东扬茨和О. Ф. 拉依弗里特执笔,第四~第六章和附录二——В. П. 契尔尼柯夫,第九章和附录三——О.

Φ.拉依弗里特和Γ.P.安东扬茨,其余各章和附录——Γ.P.
安东扬茨。

目 录

译者的话

序言 (摘译)

第一章 火力发电厂燃料运输设施的一般概念 1

1-1 动力煤的特性 1

1-2 火力发电厂的燃料供应方式 7

1-3 火力发电厂的输煤系统 11

第二章 煤的解冻和疏松装置 14

2-1 解决煤冻结的方法 14

2-2 装有热风器的对流式解冻装置 16

2-3 快速加热车辆的暖房 23

2-4 辐射式暖房 28

2-5 机械疏松器 34

第三章 卸煤装置 40

3-1 翻车机 40

3-2 容煤量较大的卸煤装置 51

第四章 带式输送机 58

4-1 带式输送机概述 58

4-2 输送带的选择及其接头 60

4-3 消除输送带跑偏的方法 73

4-4 带式输送机的装料设备 78

4-5 带式输送机的卸料装置 87

4-6 带式输送机的清扫装置 90

4-7 带式输送机的张紧装置 96

4-8 带式输送机的制动装置 99

4-9 带式输送机的带负荷起动 100

第五章 破碎设备 104

5-1 锤式碎煤机	104
5-2 齿盘式碎煤机	112
5-3 齿辊式碎煤机	114
5-4 筛子	115
第六章 输煤系统的辅助机械	120
6-1 给煤机	120
6-2 吸铁器	124
6-3 木屑分离器	139
6-4 煤样选取和精制设备	149
第七章 锅炉原煤斗	164
7-1 煤斗的结构	164
7-2 煤斗中的落煤装置	167
7-3 煤斗的嫌水性覆盖层	170
第八章 贮煤设施和煤的计量	174
8-1 发电厂煤的贮备	174
8-2 煤场作业的机械化	179
8-3 发电厂中煤的计量设备	183
第九章 输煤系统中的除尘设备	187
9-1 发电厂输煤系统的除尘	187
9-2 煤转运点的密封	190
9-3 吸尘装置	192
9-4 蒸汽和水力除尘装置	197
9-5 泡沫除尘装置	199
9-6 沉积煤尘的清扫	203
第十章 输煤系统生产过程的自动化	207
10-1 用于输煤系统自动化的器件	207
10-2 输煤机械的自动控制	219
10-3 锅炉原煤斗的自动装煤	230
10-4 输煤系统控制设备和控制盘的布置	235
第十一章 燃料运输车间的运行组织	240
11-1 燃料运输车间的组织机构	240

11-2	输煤工段各工作岗位的职责	242
11-3	燃料运输车间的运行指标	254
附录一	各种解冻装置的技术经济比较	257
附录二	带式输送机驱动装置功率计算和 电动机选型实例	263
附录三	生产厂房空气含尘浓度的测定	271
附录四	带式输送机安装、运行要求	275
参考文献		277

第一章 火力发电厂燃料运输

设施的一般概念

1-1 动力煤的特性

火力发电厂燃用的主要煤种的特性列于表1-1，该表是根据文献[7]和电站部技术改进局（ОПГРЭС）的资料编制的。

目前火力发电厂燃用的煤有两种开采方法：井下开采和露天开采。主要趋势是不断增加露天开采的煤量。苏联有若干埋藏浅的大型煤床，适合于露天开采。在露天开采中可以应用强大的现代化技术，例如生产率达5000吨/时的斗轮挖掘机，与井下开采相比，可以使采煤成本降低到 $1/5 \sim 1/10$ 。

煤的开采方法首先影响到它的粒度组成。露天开采的煤通常都是不分级的原煤。当电厂来煤是这种原煤时，车皮卸煤往往发生困难。尺寸达1.0~1.5米的大块煤在卸煤棚内卸车时会卡在车门上，当用翻车机卸煤时会卡在煤斗的篦子上。电厂为了克服这些困难所采用的方法，将在第三章中叙述。从露天煤矿运来的大块煤与使用斗式挖掘机有关。使用斗式挖掘机时，它所挖掘出来的煤全部直接装车运到电厂。相比之下斗轮挖掘机在这方面要好得多。采用斗轮挖掘机时，煤的最大块度不超过300毫米。这与斗轮本身宽度大致为300毫米以及在斗轮挖掘机上装有粗碎机有关。

煤根据其粒度组成划分为若干等级（表1-2）。

煤的牌号划分取决于其结焦性、挥发分的大小和非挥发性残渣特性。按照苏联国家标准ГОСТ 17070-71，煤的牌号划分，举例列于表1-3。

发电厂燃煤的性质和规格

表 1-1

煤	牌 号	低位发热量 (大卡/公斤)	水 分 (%)			灰 分 (%)		挥发分 (%)	堆积比重 (吨/米 ³)	可磨性系数 <i>K₁₀₀</i>
			工 作 质	最 大	冻 结	工 作 质	最 大			
顿涅茨	Д	4840	13	20	13	20	30	43	0.83	1.13
顿涅茨	Т	6550	5	9	5	15	27	13	0.86	1.9
顿涅茨	АШ	6010	7	10	5	17	30	4	1.01	0.95
里沃夫斯克-沃伦斯克	Г	4950	10	—	3.5	22	—	38	0.9	1.22
莫斯科近郊	Б	2510	33	37	27	24	45	45	0.81	1.75
比秋尔斯克	Д	4340	11	15	10	25	35	39	0.92	1.15
巴什基尔斯克	Б	2240	52	60	35	10	30	63	0.62	1.8
鲍戈斯洛夫斯克	Б	2840	28	33	22	22	35	48	0.81	1.1
车里雅宾斯克	Б	3770	17	24	14	25	40	43	0.84	1.3
艾基巴斯杜茨	СС	3850	8	—	6	37	—	32	0.96	1.3
卡拉干达	Ж	5320	7.5	12	6	25	32	38	0.93	1.4
安格林斯克	Б	3450	35	40	30	11	25	34	0.74	1.9
库兹涅茨克	Г	6440	8	12	6	9	16	40	0.8	1.3
库兹涅茨克	СС	6640	7	10	6	7	12	30	0.87	1.99
库兹涅茨克	Т	6130	7	9	6	17	22	11	0.89	1.5
纳扎洛夫斯克	Б	3060	40	—	33	7.5	—	48	0.73	1.0
别列卓夫斯克	Б	3570	35	—	32	5	—	48	0.76	1.24
契列姆霍夫斯克	Д	4660	14	18	14	22	30	45	0.89	1.3
古辛诺 奥扎尔斯克	Б	4460	26	—	21	13	—	45	0.9	1.3
阿杰斯克	Б	4100	25	—	23	13	—	45	0.8	1.2
拉依契辛斯克	Б	3070	37	45	32	10	21	43	0.69	1.37
阿尔捷莫夫斯克	Б	3120	28	32		22	35	49	0.83	0.92

表 1-2 煤 的 分 级

等级名称	等级代号	煤块尺寸 (毫米)	等级名称	等级代号	煤块尺寸 (毫米)
毛石块	Π	100	葵子块	C	6 ~ 13
拳头块	K	50 ~ 100	细 粒	Ш	< 6
核桃块	O	25 ~ 50	原 煤	P	不限
小 块	M	13 ~ 25			

表 1-3 煤 炭 牌 号 的 划 分

牌号名称	符 号	结 焦 性	挥发分 (%)	非挥发性残渣特性
长焰煤	Л	无或弱	33 ~ 37	粉末状, 发粘的, 弱结焦
气 煤	Г	明 显		中等结焦
气肥煤	ГЖ	较 好		从中等结焦到好的结焦和熔化
肥 煤	Ж	好	25 ~ 37	结焦好, 熔化
焦 煤	K	明 显	20 ~ 30	
焦肥煤	KЖ	较 好		
第二种焦煤	K ₂	较 差		从好的结焦和熔化到发粘
弱结焦煤	CC	较 差		粉末状, 发粘, 弱结焦
瘦焦煤	OC	差	14 ~ 24	结焦, 没有粉末
瘦煤	T	无或结焦痕迹	9 ~ 17	弱结焦, 粉末状

煤的所有性质中, 对于火力发电厂燃料运输设施的运行条件最为重要的是松散性。表示煤的松散性的几个重要指标是: 煤的自然堆积角; 流动系数; 初始剪切应力; 附着力 (煤粒与制约表面的粘着力的大小); 内摩擦 (煤粒之间的粘着力的大小)。

这些指标在文献 [4] 中有详细的叙述。应该指出, 为了实用起见, 象文献 [4] 和更早的著作 [8] 所采取的那样, 把所有的固体燃料按松散性划分成两类 (松散性好的和粘结性的) 是不够的。

根据运行经验, 发电用的主要煤种可按松散性划分为四类, 列于表1-4。至于哪几类煤有必要采取这样那样的技术措施和组织措施, 下面将作进一步的说明。

从表 1-4 可以看出，一个具体煤种在松散性方面究竟划归哪一类，起决定影响的是它的含水率。按照苏联国家标准 Г О C T 17070-71，煤完全失去松散性时的实际含水率，称为煤的松散性水分(从前称为极限含水率)。当含水率超过这个数值时，煤的松散性可能再度出现。但是，这个现象应该更确切地称为流动性。四类煤的松散性水分的近似值列于表1-4。

第 I 类煤具有高度的松散性，是因为它的松散性水分的数值超过了其最大含水量(即这些煤所能含有的水量)。

随着灰分的增加，煤的松散性会变坏。然而，灰分的影响实

表 1-4 煤 按 松 散 性 分 类

类 别	特 性	种 类	牌 号	含水率 (%)
I	松散性好的煤	艾基巴斯杜茨 纳扎洛夫斯克 阿钦斯克 安格林斯克	CC Б Б Б	7.0以下 40.0以下 22.0以下 35.0以下
II	中等松散性的煤	艾基巴斯杜茨 纳扎洛夫斯克 阿钦斯克 顿涅茨 库兹涅茨克 安格林斯克 巴什基尔斯克 顿涅茨 顿涅茨	CC Б Б AIII, T T, CC Б Б AIII T	7.0 40.0 22.0 6.0以下 7.0以下 35.0 45.0以下 6.0~8.0 6.0~10.0
III	松散性不好的煤	库兹涅茨克 萨哈林斯克 莫斯科近郊 拉伊契辛斯克 巴什基尔斯克	T, CC Б Б Б Б	7.0~12.0 20.0以下 33.0以下 37.0以下 45.0~55.0
IV	粘 结 煤	所有矿的泥煤 含粘土的莫斯科近郊煤 顿涅茨 顿涅茨和库兹涅茨克 萨哈林斯克 拉伊契辛斯克 巴什基尔斯克	— Б AIII T, CC Б Б Б	10.0 33.0 10.0 12.0 20.0 37.0 55.0

实际上要比水分的影响小得多。因为相对而言，灰分的波动范围较小。但灰分中含有黏土的煤(莫斯科近郊煤、巴什基尔斯克煤等)除外。

对煤的松散性有明显影响的是其中细小煤粒的含量。这是因为，与大块煤相比，细小煤粒的含水率较高，由于这个原因，细小煤粒之间的粘着力也较大。应当注意到，从车厢里卸煤时，煤里细小颗粒的含量将增加 8 ~ 10%，而从一台机械到另一台机械的每次转运，细小颗粒的含量也将增加 2 ~ 3%，同时必须注意到煤的自然分离现象，即各种不同粒度的煤块在堆放时的不均匀分布。图 1-1 是煤自由撒落在露天场地上时煤块分离的例子。

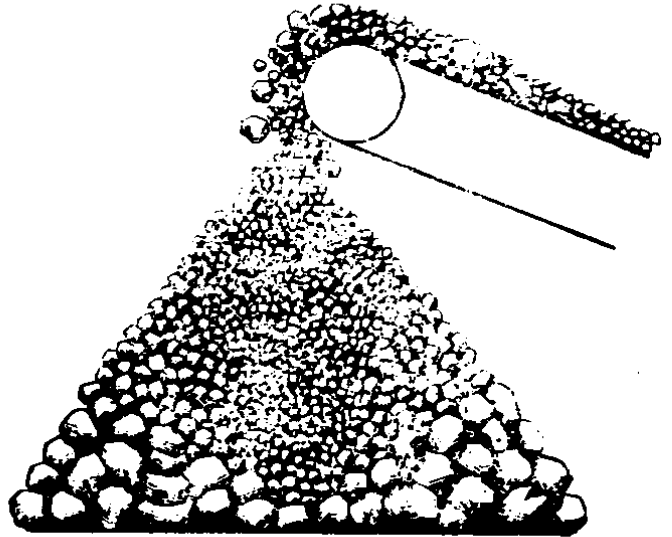


图 1-1 煤的自然分离

特别值得注意的是煤的松散性与煤在煤斗、露天煤场中贮存的特点和期限之间的关系。按松散性划入 III、IV 类的煤在贮存时产生的压实效应是很不利的。这时，下层的煤因受上层煤的压力而变得非常密实。

在每年的寒冷季节，具有首要意义的是煤的冻结性，这主要取决于煤的含水率。按照苏联国家标准 Г О С Т 17070-71，存在有一个煤的冻结水分(以前称为安全含水量)，当煤的含水率相当于冻结水分时，即使长期处在严寒环境下也不会冻结。这是因为煤的这种结合水分的冻结温度低于 -50°C 。煤的冻结水分的数值列于表 1-1。只有煤中存在 0°C 时就会冻结的游离水分时，才会引起煤的冻结，并在运到电厂时发生困难。煤在车皮中的冻结深度取决于煤中游离水分的含量、外界温度和煤的运输距离。一般电厂来煤的冻结深度为 100 ~ 200 毫米，冻结层很少达到 0.5 米。来车中煤冻成整块的情况极少。

煤的运输距离对其冻结的影响可以拿艾基巴斯杜茨煤为例。当把它运到耶尔马科夫斯克发电厂①时，并未产生与冻结性有关的任何问题。然而同一露天采矿场的煤运到较远的乌拉尔，就必须建解冻装置，因为煤在车帮和车门上冻住了。

煤的机械强度可用实验得到的相对可磨性系数 $K_{\text{м}}$ 来评定，其数值列于表1-1。由于破碎装置的运行条件不同，用这些系数来确定能量消耗与煤的机械强度的关系实际上是不可能的。 $K_{\text{м}}$ 的数值按下式确定

$$K_{\text{м}} = \frac{\Theta_{\text{ст}}}{\Theta_{\text{н}}} \quad (1-1)$$

式中 $\Theta_{\text{ст}}$ ——风干状态的标准煤从规定的块度磨碎到规定的细度所消耗的能量；

$\Theta_{\text{н}}$ ——同样情况下磨碎试验煤所消耗的能量。

通常均以指标与牌号为A III的顿涅茨煤最接近的煤作为标准煤。由表 1-1 可以看出，标准煤可以认为是最坚硬的煤。其余的煤强度都比较低，因此它们的可磨性系数都大于 1。

从运行的观点看，煤的磨蚀性对锤式碎煤机的锤头、运转站中的挡板和落煤管、犁式卸料器的犁片等的磨损的影响，比之煤的机械强度对碎煤时的能量消耗的影响，意义更大。

煤的磨蚀性主要取决于煤中是否有坚硬的岩石、砂、硫铁矿等杂质。磨蚀性最强的煤之一是艾基巴斯杜茨煤。然而评价煤磨蚀性的系数暂时还没有。

当煤在电厂的露天煤场贮存时，会发生煤中有机物的氧化过程，最终可能发生煤的自然。按照文献[9]，煤按照氧化趋向分成四类：

很不容易氧化的煤；

不容易氧化的煤；

容易氧化的煤；

① Г П Э С 国营区域发电厂，均简译为发电厂 —— 译者。

很容易氧化的煤。

与煤的自燃有关系的问题，详见第七章和第八章。

煤的自燃是与进行得很缓慢的氧化过程相联系的，可以采取相应的预防措施以及当发现自燃火源时加以扑灭的措施。

煤的爆炸危险性是煤具有的另一种不愉快的特性。按照文献[10]，在输煤系统中发生爆炸危险的条件是，各种燃料粉尘的可燃质挥发分在20%以上。煤粉爆炸会使操作人员遭到伤亡，设备遭到损坏，造成十分严重的后果。

发生爆炸的先决条件是要有点燃煤尘-空气混合物的火源，这种火源可能是：明火，电焊的火焰或是烧红的铁渣，煤自燃时阴燃的煤粒，电气设备合闸时的火花，受电器沿滑线滑动时的火花等。

必须根除可能出现的点燃煤尘-空气混合物的火种。然而防止煤尘爆炸的最好办法是创造条件使煤尘根本不产生。这样的条件是：保证输煤车间含尘量不超过10毫克/米³的卫生标准；经常清扫车间，最好是用用水冲。

1-2 火力发电厂的燃料供应方式

发展国民经济的计划性，完全可以实行各种燃料的科学的分区消费，在这个基础上计算燃料开采和运输的公共费用。

让我们举例说明上述问题。例如，我们要为拟在新西伯利亚地区建造一座热电厂选择燃料基地，现有的热电厂燃用最近的并早已开采的库兹涅茨克煤田的煤。与之竞争的是艾基巴斯杜茨和坎斯克-阿钦斯克煤田的煤。功率为60万千瓦的热电厂每年需要燃用80万吨标准煤。对于每个煤田的自然煤的需要量列于表1-5。

我们按文献[11]的数据来确定每年用于煤炭开采和运输的费用 $S_{\text{доб+тр}}$ 和基建投资 $K_{\text{доб+тр}}$ ①。进行技术经济计算时，可根据折算费用（计算

① 此处代号 S 为运行费， K 为基建投资。注脚 доб+тр 系指包括开采和运输费用在内——译者。

费用) $З_{np}$ 的大小来选择最佳方案。 $З_{np}$ 按下式确定:

$$З_{np} = S_{\text{ноб} + \text{тп}} + E_n K_{\text{ноб} + \text{тп}} \tag{1-2}$$

式中 E_n ——标准的基建投资经济效益系数, 等于0.12。

计算表明, 最佳方案是用纳扎洛夫斯克煤供应新的热电厂。艾基巴斯杜茨煤在开采方面与纳扎洛夫斯克煤指标接近, 但距建造热电厂的地区较远。库兹涅茨克煤虽然比其他煤源近, 但是它的开采费用昂贵。

当研究现有的火力发电厂改烧其他煤种时, 必须计算输煤设备和锅炉设备的改造以及除尘和除灰的费用。计算这些费用以后, 也许会发现改烧其他煤种在经济上是不合算的。

表 1-5 热电厂燃料供应方案的技术经济比较

煤 田	热当量	每年自然煤耗量 (千吨)	成 本 (卢布/吨)		单 位 基 建 投 资 (卢布/吨)		每年开采和运输费用 (百万卢布)	开采和运输方面的基建投资 (百万卢布)	折算费用 (百万卢布)
			开采	运输	开采	运输			
库兹涅茨克	1.14	910	2.4	0.6	14.3	3.7	2.73	16.4	4.69
艾基巴斯杜茨	1.64	1310	0.7	1.1	4.5	5.9	2.36	13.6	3.99
坎斯克-阿钦斯克 (纳扎洛夫斯克)	2.18	1740	0.5	0.8	2.5	4.1	2.26	11.5	3.64

注 热当量值(折算值)引自文献 [11]。

在确定了该发电厂的燃料基地以后, 同相应的煤炭销售管理局签订正式的供煤合同。

在文献[12]中详细地分析研究了煤炭数量和质量验收规程、冻煤验收规程等, 同时还列举了文件和应提交的申请书的格式。

往火力发电厂运煤有几种方法。

经济上有利的是水路运输。然而在苏联水路运煤用得很少, 因为煤炭的基本流向与河流的子午线方向不一致。

当运距在 5 ~ 10公里以内时, 汽车运输才是经济的; 带式输送机运煤也一样。但是考虑到将在坎斯克-阿钦斯克和艾基巴斯杜茨煤田附近建立大型燃料-动力综合基地, 这些运煤方法可能有发展前途。选择它们之中的哪一种方式, 应该通过技术经济比较来确定。同时应当考虑到载重量 110吨的汽车自卸拖车现已投入运行。

在国外——英国、法国很多情况下都采用水力运煤，美国已在运行的输煤管道长达 170 公里^①。苏联别洛夫斯克电厂试用了水力输煤。但是，煤的脱水和干燥困难，所以，未能推广使用。

苏联火力发电厂最常用的运煤方式仍然是宽轨（1524毫米）铁路运输。根据苏联车辆制造科学研究所的资料，在国家铁路上运行的计有60种车厢和敞车。

用来运煤的大都是“底开门”（гондола）型敞车^②，如图 1-2 a。为了方便起见，以后这类车辆一律称为车皮。主要车型的特性列于表1-6。

表 1-6 火力发电厂用车皮的特性

载重量 (吨)	轴 数	车体材料	自 重 (吨)	外形尺寸 (米)			附 注
				缓冲器之 间的长度	宽	高	
60	4	木材和金属	22.5	13.89	3.27	3.27	已取消生产 无车门
93	6	金 属	31.5	16.0	3.2	3.78	
125	8	金 属	46.0	20.24	3.14	3.9	

“漏斗”（хopper）型敞车^③（示于图 1-2 б）用得不多，因为只能用来运送 I、II类松散性的比较干燥的煤。只有不经过国家干线运煤的某些电厂才用自卸（думпкаp）型车皮^④。

有时组织循环直达列车运煤（车皮只在电厂和供煤企业之间往返）。这时全部车皮的利用率不超过0.5，但是车皮中不会有上

① 目前美国正在运行的输煤管道——布莱克迈萨管道长达437公里；
② “гондола”型敞车在美国叫做“gondola”，是指无门平底敞车，而图 1-2 所示为底开门车；
③ “хopper”型敞车，即英文“hopper”的译音，英文原意为“漏斗车”；
④ “думпкаp”英文叫做“dump car”，为“倾卸车”的意思，而不是一般所指的自卸车——译者。