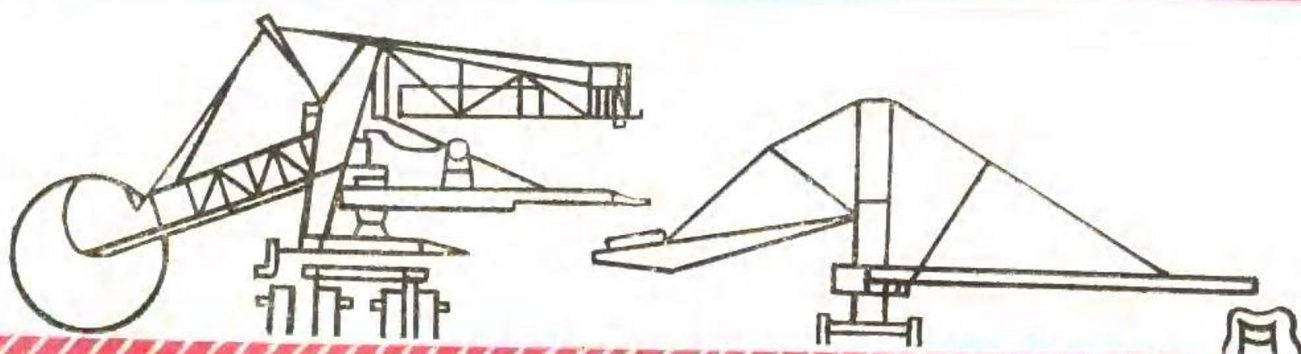


露天矿连续和半连续开采工艺

彭世济 张达贤 习永峰 编著



煤炭工业出版社

内 容 提 要

世界和我国的矿业实践证明,实现物流的连续化及扩大其应用范围是露天开采工艺发展的主要途径。也就是说,在软岩露天矿扩大全连续工艺的应用,而在中硬及硬岩露天矿则尽量采用半连续开采工艺。本书作者在大量积累和总结了国内外大量资料和经验的基础上写成这本书。全书分为八章,主要有:连续开采工艺的应用及发展;连续开采工艺的作业方法、开采参数及开拓运输系统;连续开采工艺设备选型及能力匹配;半连续工艺系统及其设备;半连续工艺系统计算机模拟等。

本书可供从事露天采矿的生产、设计、科研和管理方面的有关技术人员以及高等院校师生阅读参考。

责任编辑:王秀兰

露天矿连续和半连续开采工艺

彭世济 张达贤 习永峰 编著

煤炭工业出版社 出版
(北京安定门外和平里北街21号)
北京京辉印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

开本787×1092mm¹/₁₆ 印张12¹/₂

字数304千字 印数1—980

1991年3月第1版 1991年3月第1次印刷

ISBN 7-5020-0479-3/TD·436

书号 3259 定价 5.30元



前 言

物质生产的发展导致对矿物原料的更大需求。在固体矿物原料开采领域，露天开采占有极为重要的地位。由于露天开采本质上是物料流的移运作业，运输工艺环节在投资及作业费用方面均占总费用的60%左右，故露天开采效益的改善在很大程度上有赖于运输环节的改善。

世界及我国的矿业实践证明，实现物料流的连续化及扩大其应用范围是工艺发展的主要途径。即在软岩露天矿扩大全连续工艺的应用，而在中硬及硬岩露天矿则尽量采用半连续开采工艺。

“露天矿连续及半连续开采工艺”一书正是为着适应上述需要而编写的，相信其对我国露天开采工艺的发展有促进作用。鉴于我国在上述工艺领域的实践较少，根据我国露天矿山的赋存特点和国情条件，本书较多反映了对我们有参考价值的国外露天矿山的经验。

本书第1~4章由张达贤编写，5~7章由彭世济编写，第8章为习永峰编写。全书由张达贤进行统一整理。

本书编写过程中，得到各有关单位及个人的不少支持，中国矿业大学王忠强同志参与了部分书稿的校订、整理工作，编者对此均深致谢意！书中不当之处热诚欢迎读者予以指正。

编者

目 录

第一章 连续开采工艺的应用及发展	1
第一节 概述	1
第二节 典型露天矿介绍	6
第三节 矿岩切割阻力及岩性勘探工作	27
第四节 硬岩及严寒条件下的作业问题	31
第五节 设备组装、维修及移设	38
第二章 连续开采工艺的作业方法、开采参数及开拓运输系统	45
第一节 工作方式及工作面参数	45
第二节 组合台阶及其参数计算	49
第三节 运输系统及分流站布置	55
第四节 开采程序及推进方式	62
第五节 轮斗挖掘机特殊作业方式	69
第三章 连续开采工艺设备选型及能力匹配	75
第一节 连续工艺系统设备选型	75
第二节 环节能力计算及系统能力匹配	82
第三节 设备利用率及系统可靠度	86
第四节 剥采调节	92
第四章 螺旋钻及露天采矿机开采	93
第一节 螺旋钻开采	93
第二节 露天采矿机开采	97
第五章 半连续开采工艺的概念及应用	115
第一节 半连续开采工艺的概念及分类	115
第二节 露天矿半连续工艺流程的基本原理及其环节	120
第三节 应用半连续工艺的几个露天矿实例	125
第六章 半连续开采工艺系统及其设备	133
第一节 破碎机及其型式	133
第二节 破碎机组及其系统设备	136
第三节 高倾角胶带输送机	143
第四节 矿岩筛分	148
第七章 半连续工艺应用中的几个问题	150
第一节 矿岩块度	150
第二节 应用半连续工艺的露天矿深部开拓问题	152
第三节 破碎站位置及移设	158
第四节 半连续工艺设备的代替及效率	163
第五节 半连续工艺的选择及优化	166
第八章 半连续工艺系统计算机模拟	168

第一节	模型建立方法的选择.....	168
第二节	半连续工艺系统各环节模拟模型.....	169
第三节	露天矿卡车调度模型.....	173
第四节	半连续工艺系统模拟模型.....	177
第五节	半连续工艺系统模拟实验研究.....	180
附录	187
参考文献	195

第一章 连续开采工艺的应用及发展

第一节 概 述

以轮斗挖掘机-带式输送机-排土机(堆取料机)为代表的连续式开采工艺以其高效率、低成本而在软岩中获得了广泛应用。

连续开采工艺(又称为德国式开采法)的主要优点是:系统生产能力高、移运单位矿岩的能耗低、工艺过程易于实现自动化管理等;缺点是对矿床赋存和气候条件要求严格以及初期设备费高。正由于此,连续开采工艺最早在东、西德的褐煤露天矿中得到广泛应用,继后在苏联、捷克和斯洛伐克、罗马尼亚、波兰、希腊等欧洲国家应用,并扩展至北美、澳洲、亚洲等地区,从而表明了这一开采工艺的强大生命力。

表1-1为一些国家褐煤开采(主要采用连续开采工艺)的发展简况。表1-2则反映了生产集中化的趋势。表1-3为采用连续与间断开采工艺时剥离作业劳动生产率及单位开采费用指标间的对比。

表 1-1 部分国家的褐煤开采量 (Mt/a)

国 家	年 度					露采比重, %	2000年 预 计
	1950	1960	1970	1979	1983		
东 德	137	226	261	256	273	100	335
捷克和斯洛伐克	28	58	81	96	102	85	90
波 兰	4.8	9.3	32.8	38	43	100	124
保加利亚	5.8	15.4	29	28	34.4	80	60
匈牙利	1.2	24	24	23	22	33	35
罗马尼亚	1.1	3.4	14.1	22.4	37	54	70
南斯拉夫	11.1	21.4	27.8	41.7	58.5	56	120
希 腊	0.2	2.5	8.1	23.6	31	100	86
土耳其	0.7	1.7	4.4	14.1	20.4	75	35

多斗挖掘机包括链斗铲与轮斗挖掘机。

链斗挖掘机上有一条围绕斗架转动的链斗,它既是切割部件又是输送部件。正常情况下,切割动作沿整个阶段坡面从下往上进行。链斗挖掘机最适于挖掘运输平盘以下的20~40m深度的松散物料,它可提供小块物料并在挖掘过程中把物料混匀。

链斗挖掘机的生产能力范围是200~2000m³/h。最大型链斗挖掘机的最高能力可达10000m³/h。

由于链斗挖掘机的切割力小、斗链磨损快以及作业机动性差等原因,现时链斗挖掘机仅限于特殊情况下使用。

目前已可以制造生产能力不一的各种轮斗挖掘机,其理论小时能力可为500~20000m³/h。就结构而言,轮斗挖掘机可分为三种类型。

表 1-2 褐煤露天矿数量及平均年产量

年 度	露 天 矿 数	褐煤露天平均年产量 Mt	移运剥离物数量 Mm ³ /a	剥 采 比 m ³ /t
东德				
1935	64 ^①	1.3		
1957	55	3.8	9.0	2.35
1965	47	5.3	18.4	3.47
1979	32	8.0	32.6	4.1
1985	37	8.43	33.2	
捷克和斯洛伐克				
1935	41	0.2 ^②		
1957	28	0.9	2.9	3.23
1965	25	2.2	5.65	2.58
1979	26	3.1	7.5	2.42
西德				
1935	35 ^①	1.5	1.2	0.8
1957	28	3.4	4.3	1.26
1965	27	3.7	9.6	2.59
1979	15	8.7	25.6	2.94

① 目前领土范围, ② 包括地采矿。

表 1-3 东德褐煤露天矿不同剥离工艺劳动生产率与单位开采费用对比(1980年资料)

剥离物运输工艺类型	劳动生产率, m ³ /h		单位作业费用 马克/m ³
	直接作业人员	包括维修及辅助作业	
运输排土桥	110 (129)	52.2 (70)	1.05 (0.62)
带式输送机	66.5 (100.6)	24.8 (37.1)	2.44 (1.75)
轨道运输	19.3 (41.3)	10.9 (19.6)	3.33 (1.22)

注: ()中为最佳值; 采掘均为多斗铲。

1. 紧凑型轮斗挖掘机

该种轮斗挖掘机属中小型轮斗系列, 因其结构特点而具有最佳能力与重量比如图1-1。其特点为:

- (1) 行走机构为双履带式, 系因重量轻和斗臂短之故;
- (2) 该型轮斗挖掘机的配重架为旋转平台向后延伸构成。由于配重高度低, 设备总重心低, 故稳定性好;
- (3) 斗轮臂升降由油缸支撑;
- (4) 卸料臂为旋转平台支撑, 挂在机架上, 用液压缸升降。

紧凑型轮斗挖掘机的基本参数为:

斗轮臂回转半径	6 ~ 25m
小时生产能力	500 ~ 8000m ³ /h
重 量	50 ~ 1500t

2. C型框架轮斗挖掘机

紧凑型轮斗挖掘机的斗轮臂回转半径的上限约为 25m, 服务重量约为 1500t。如果由于

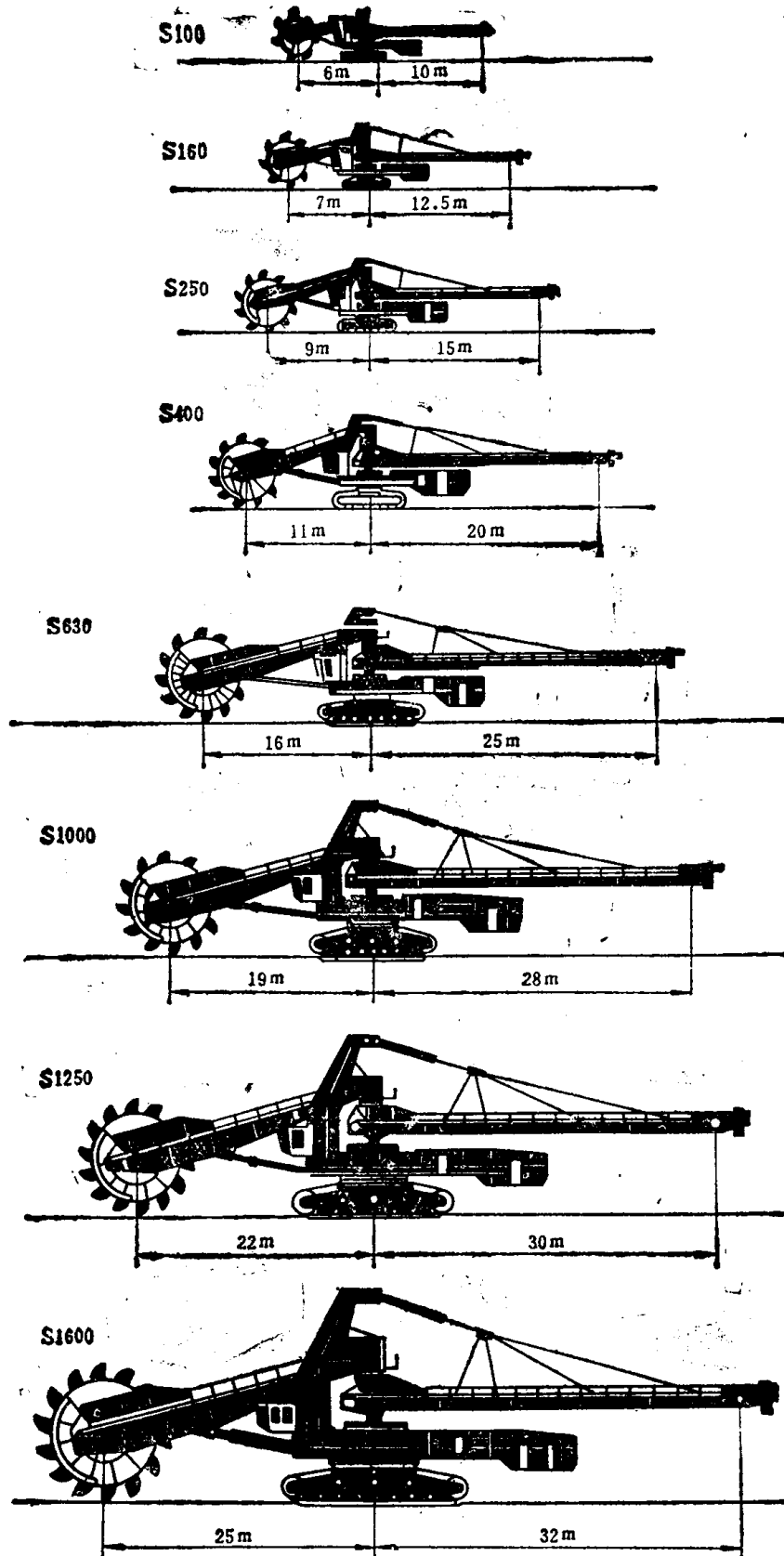


图 1-1 由 8 种基本型号组成的紧凑型轮斗挖掘机系列

挖掘高度的要求需要较长的臂架和重量超过双履带结构的限制，则可采用 C 型框架结构轮斗挖掘机，如图 1-2。

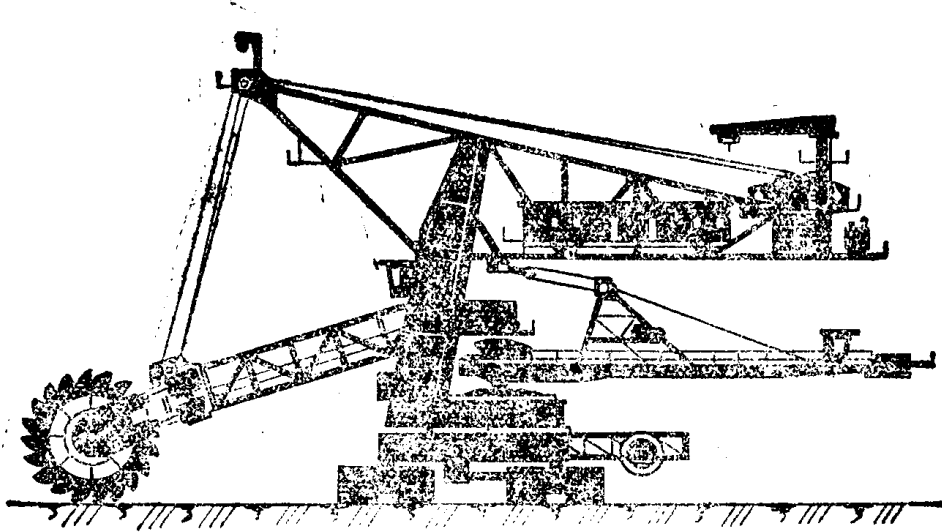


图 1-2 C型框架轮斗挖掘机

该型轮斗挖掘机的结构特点为：

(1) 挖掘机的底架，成三点支撑在单条的或多数为双履带上。履带的转弯由机械传动丝杆或液压缸控制；

(2) 配重平衡架在卸料臂的上方，悬挂在立柱上。它与立柱和转盘构成字母 C 的形状，故称 C 型框架设备；

(3) 斗轮臂架由钢丝绳系统控制，该系统悬吊在立柱上部。钢丝绳卷扬机本身放在平衡架上，作为配重的一部分；

(4) 卸载臂架由回转平台支撑，悬挂在立柱旁边，上下运动。

和紧凑型轮斗挖掘机不同，C 型框架轮斗挖掘机没有系列，所有参数都按特定使用条件匹配。其中最主要的参数具有如下范围：

小时理论能力	4000~10000m ³ /h
斗臂回转半径	25~45m
带宽	1.0~2.4m
重量	1500~4500t
有效能力	30000~100000m ³ (实)/d

3. 带有伸缩连接桥和转载机的大型轮斗挖掘机

这种型号轮斗挖掘机的能力大、采高大，其基本结构特征(图 1-3) 如下：

(1) 挖掘机的底盘支撑在每组为双履带或四条履带构成的三支点上。由液压缸控制一组或两组履带转弯；

(2) 挖掘机的上部机构用 A 型架支撑在旋转平台上。平衡架铰接在 A 型架上并用后面的钢丝绳支架拉紧；

(3) 斗轮臂架铰接在 A 型架上，并用前面的钢丝绳支架拉紧；

(4) 挖下来的物料经过斗轮臂上的胶带流到挖掘机中心，从这里经过旋转平台落到底盘上，物料从底盘侧向经中间连接胶带、伸缩连接桥流到转载机上，再由转载机上的另一条胶带送到平盘胶带输送机上。

上述结构形式的大型轮斗挖掘机也无标准规格尺寸。其最主要的数据如下：

小时能力	10000~20000m ³ /h
------	------------------------------

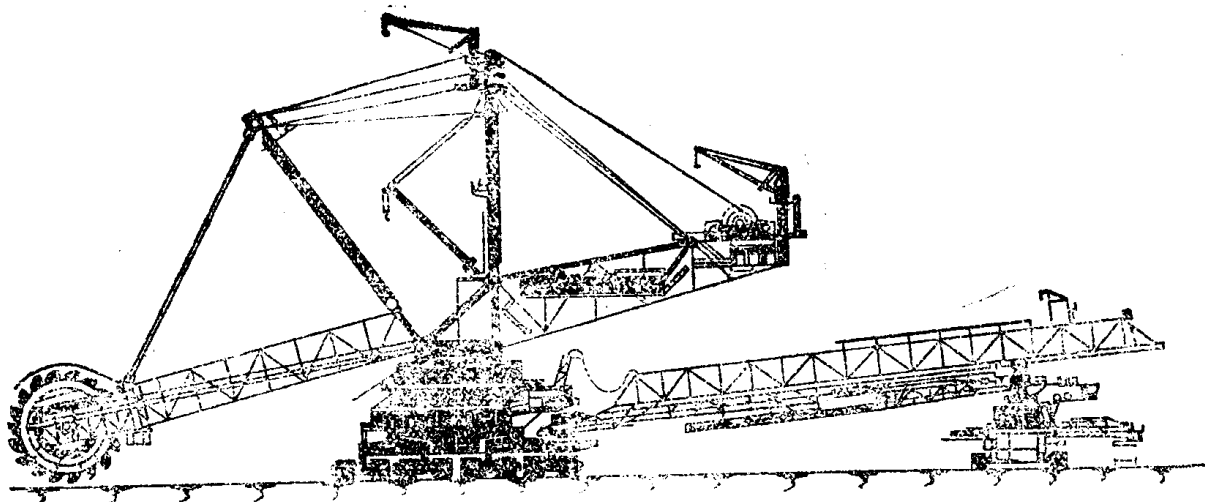


图 1-3 带有连接桥的大型轮斗挖掘机

带宽	2.4~3.2m
斗轮臂架回转半径	45~100m
重量	5000~14000t
有效能力	100000~240000m ³ (实)/d

对于连续开采工艺而言，矿床赋床条件，特别是矿岩硬度是连续开采工艺能否成功应用的基本条件。根据使用经验，用不同指标表示的轮斗挖掘机的适用范围如表 1-4 所示。

表 1-4 用不同指标表示的轮斗挖掘机的适用范围

岩性	抗压强度		面切割强度	震波速度	轮斗挖掘机能力
	kg/cm ²	kPa	kPa	m/s	
软	0~60	0~6000	0~300	<800	100%
很软	60~100	6000~10000	300~600		不爆破降低能力
中	100~150	10000~15000	600~1200	800~1000	爆破降低能力
硬	150~250	15000~25000	600~1200		爆破降低能力
特硬	>250	>25000			单斗挖掘机

据国外实践经验，轮斗挖掘机的有利应用范围按岩性言为软到很软。西德克虏伯公司认为，一般大于 10000kPa 的物料应不超过挖掘总量的 40~60%。西德奥凯公司则以爆破量应不超过总量的 60% 作为可能应用轮斗工艺的极限条件。

我国露天煤矿工程设计规范对连续开采工艺的应用条件作如下规定：

1) 采用连续开采工艺的露天矿，设计前必须具有挖掘物料的切割阻力、地耐力、耐磨物料（石英等）含量、气象以及硬岩或硬夹矸（抗压强度超过 10MPa）结构与分布资料。

2) 凡具有下列情况之一者，必须采取相应技术措施并进行技术经济论证后，方可采用连续开采工艺。

(1) 斗刃线切割力大于 140~160kN/m (140~160kg/cm)，相当于抗压强度 6000~8000kPa，或切片面切割力大于 150N/cm²，或存在不能直接挖掘而需要爆破的硬物料（抗压强度大于 10MPa）量达总采剥量的 50% 时；

(2) 耐磨性矿物含量超过 15~30%；

(3) 硬度大而致密的夹层，厚度超过 0.3~0.5m 以上或厚度小而密集的硬夹层；

- (4) 地耐力不能满足轮斗挖掘机对地比压要求，换填物料量很大时；
- (5) 气候寒冷，冬季最低气温在 -25°C 以下的地区和大风超过 30m/s 的地区。

第二节 典型露天矿介绍

如前所述，连续开采工艺已在软岩露天矿中得到了广泛应用，并取得了不断的完善与发展。另一方面，连续开采工艺的应用又受到矿岩硬度、物料性质、气候条件以及设备购置费用等因素的限制。因而，世界各国露天矿在应用连续工艺方面的成功经验对于我国露天矿山的开发具有借鉴意义。

本节简介了八个反映不同特点的矿山或矿区的基本情况及其在应用连续开采工艺方面的有益经验。

一、西德哈姆巴赫褐煤露天矿

在联邦德国，褐煤电厂的发电量占总量的23%以上。莱茵褐煤田是欧洲最大的煤田，面积 2500km^2 ，储量550亿t，其中能用目前技术装备经济采出的储量为35000Mt。

目前，该矿区由莱茵褐煤股份公司经营，有5个露天矿，年产量约120Mt，每个露天矿的年生产能力为 $20\sim 50\text{Mt}$ ，年剥离量为 $60\sim 160\text{Mm}^3$ 。由于莱茵矿区有利的地质赋存及气候条件，各矿均采用连续式开采工艺。

莱茵矿区位于杜塞尔多夫、波恩以及亚琛等城市为界的下莱茵湾内，如图1-4。

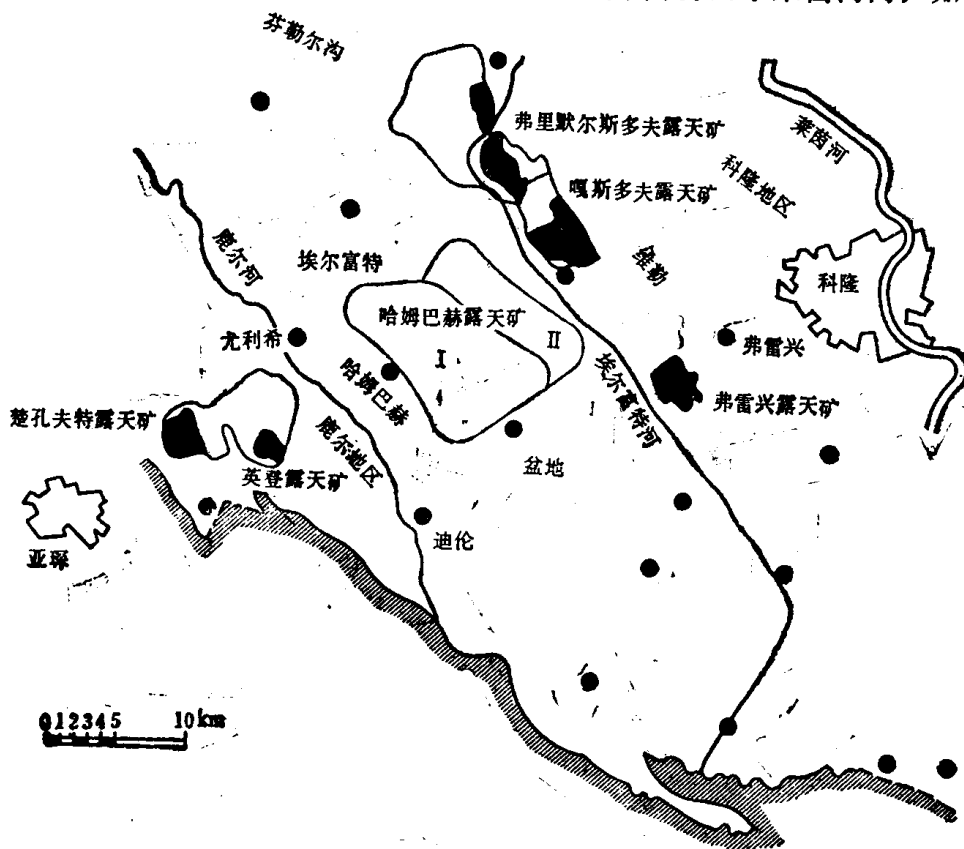


图 1-4 莱茵褐煤区

哈姆巴赫褐煤田大致位于莱茵矿区的中央。哈姆巴赫开采区地质上属于埃尔富特地块，位于一个缓斜坡上，西部以鲁尔河为界，标高为海拔 $+100\text{m}$ ，东部以埃尔富特谷为界，标高为海拔 $+60\text{m}$ 。哈姆巴赫开采区范围如图1-5，矿区面积达 110km^2 ，褐煤储量约为4500Mt。

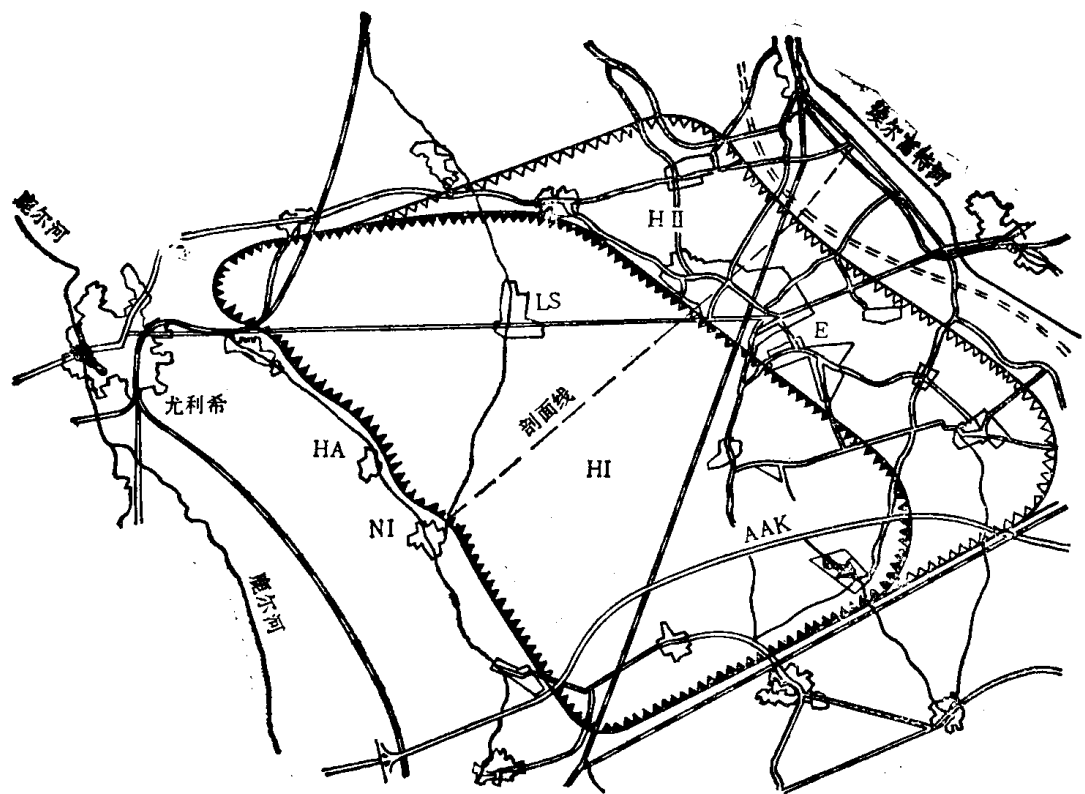


图 1-5 哈姆巴赫开采区

H I—哈姆巴赫 I 号露天矿；H II—哈姆巴赫 II 号露天矿；LS—利希-施泰因施特拉斯；E—埃尔斯多夫；
 HA—哈姆巴赫；NI—尼德齐尔；AAK—科隆-亚琛高速公路

煤层以1:20的坡度向东北倾斜。鲁尔边缘有一落差为 300m 以上的断层，成为露天矿的西南境界。有数个正断层穿过煤田，走向均为西北—东南。

煤层厚度由西南部的20m增至东部的70m。在开采区的中部和东部，主要煤层合并为一层，而南部和西部则为几层。煤质较好，发热量为 8.2~11.4MJ/kg，水分为 49~59%，灰分为 1.9~5%。

图 1-6 即为哈姆巴赫开采区地质剖面图。

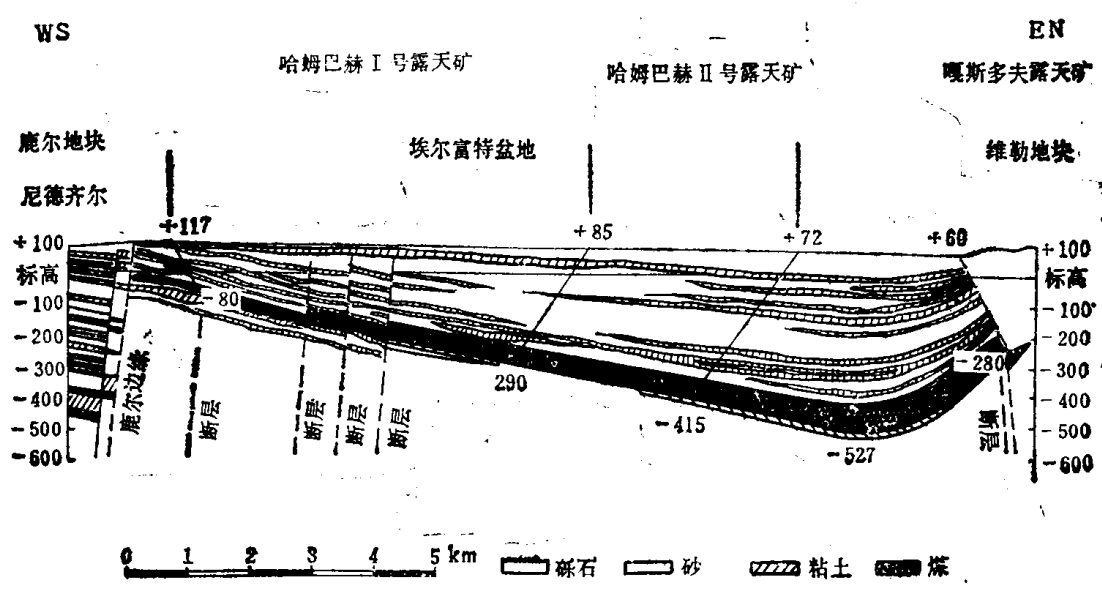


图 1-6 哈姆巴赫开采区地质剖面图

覆盖层主要由砾石和砂组成，约占总量的70%，其余为粘土。覆盖层总厚度为150~400 m，主采区内总剥离量达15400Mm³。剥采比由西向东增大，主采区平均剥采比为6.3m³/t，扩采区则达7.4m³/t。覆盖层为富含水层，为保证开采作业正常进行及边坡稳定，采区内布置了280个疏干井，年排水量达240Mm³。

哈姆巴赫露天矿是为接续莱茵矿区煤产量特别是为接替福尔图纳露天矿而于1978年开始建设的。至90年代中期，哈矿的煤产量将达50Mt，年剥离量为310Mm³，而成为世界上最大的露天煤矿。

由于产量规模巨大，莱茵地区是居民稠密区等原因，哈矿的开发面临许多特殊问题。

1. 开采边界、开采程序、剥离物排弃及环境改造

由于莱茵区是居民稠密区，故搬迁和环境改造原则对确定开采范围及选择分区开采程序有决定性影响。将哈姆巴赫煤田划分为主采区和扩采区（I、II号露天矿）对于搬迁和交通规划是有利的。

哈矿有近2700Mm³的外排量，从最经济角度而言应建立近距坑边排土场，但从环境改造出发并非最优决策。鉴于莱茵地区的特殊情况，尚应考虑尽可能用哈矿的外排量充填采尽的露天矿采空区，为复垦创造条件。为此，至1989年将大约1000Mm³的剥离物排到紧挨着露天矿的索菲茵高地的外排土场，并随排弃工程进展再创建起新的森林带。该外排土场的有利条件还在于今后能直接过渡到内排土场。其余的17亿m³剥离物经长距离胶带运送至14.5km外的福尔图纳和贝格海姆露天矿的剩余采空区，如图1-7。

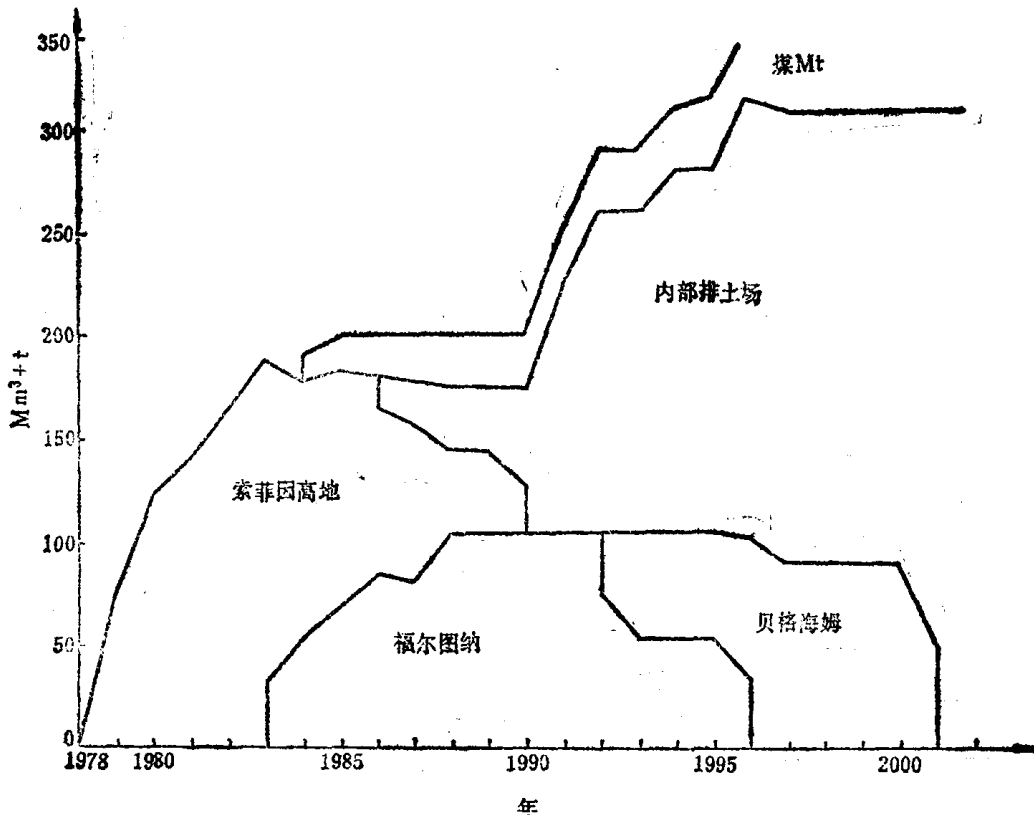


图 1-7 哈姆巴赫露天矿排弃量分配情况

由于哈矿位置直接紧邻城镇，必须创造一个有效保护邻接的居民区的环境，主要是防尘和防噪音措施。一是通过对易产生尘埃的煤面进行人工喷洒、凝固或加保护层；二是在城镇

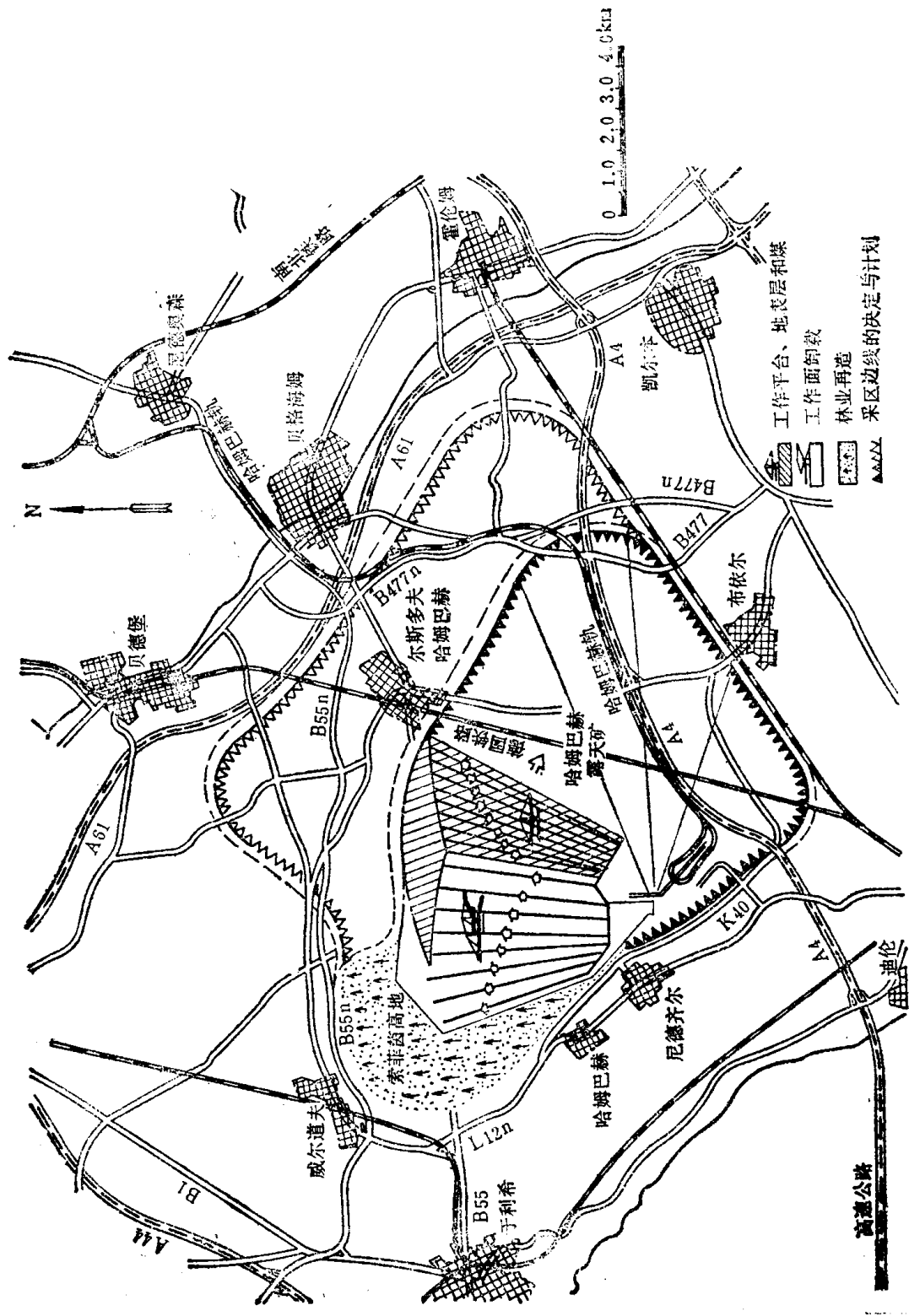


图 1-8 哈矿开采状况示意图

边缘构筑防护堤来防止噪音的侵入，并尽可能进行有效的绿化。

2. 露天装备

哈矿产量规模巨大，且剥采比高，故应采用最大能力的设备使开采费用趋于最小。据此，哈矿只使用 $240\text{km}^3/\text{d}$ 等级的设备。达产时，该矿使用8台轮斗铲、8台排土机和大约 120km 带式输送机。输送机带宽 2.8m ，带速为 7.5m/s 。该矿达产后的开采状态如图1-8所示。

从哈矿向相距约 30km 远的用户运输煤炭，决定采用一条 19km 长的准轨复线铁路，这条铁路线与作为南北铁路线的铁路系统相连接，可把莱茵范围内的所有露天矿和用户互相连接在一起，如图1-9。

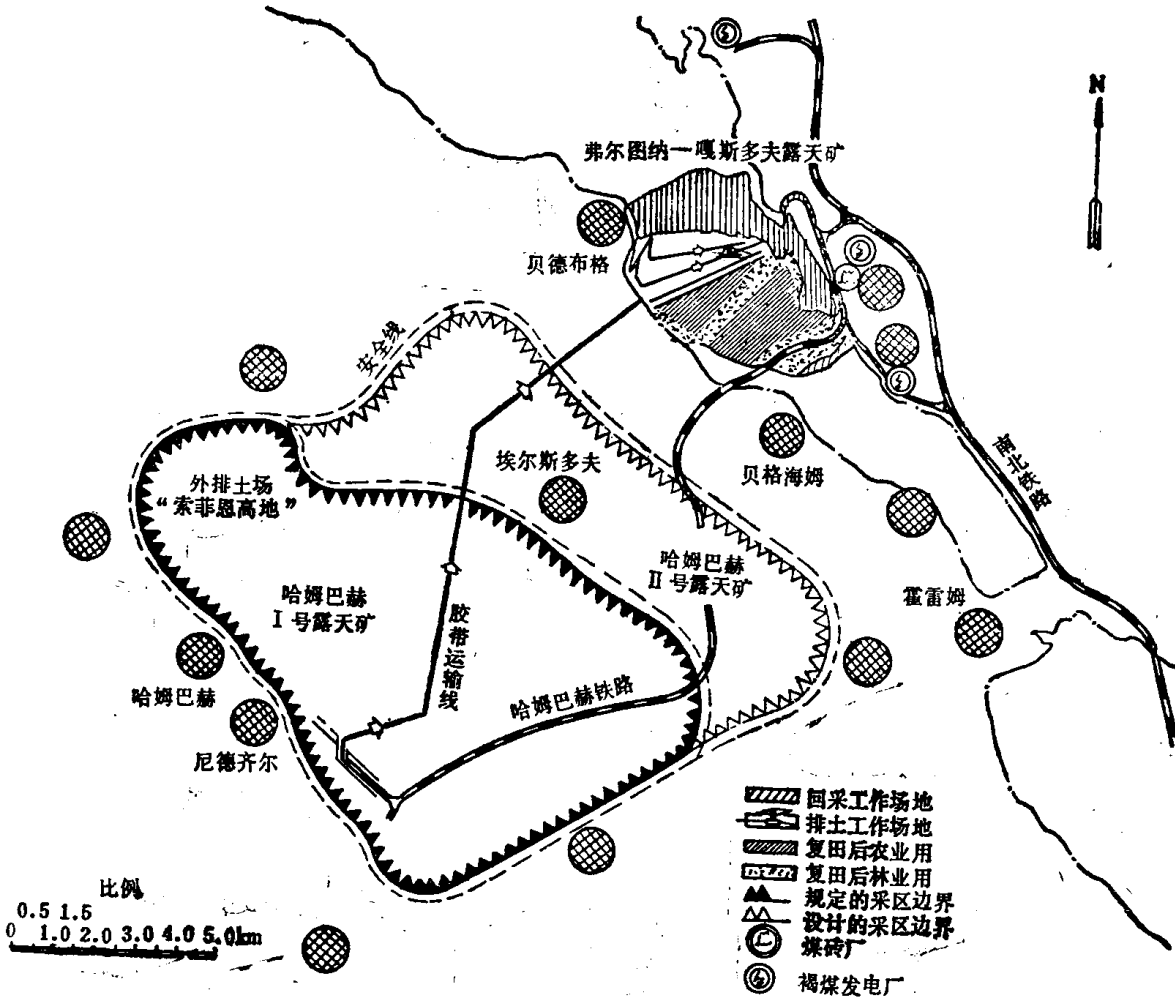


图 1-9 运煤铁路和剥离运输皮带机的线路布置

决定采用运煤铁路而不用输送机的理由为：

(1) 运煤铁路与现有南北铁路的铁路网相连接，为哈矿向所有用户供应煤炭创造了可能性；

(2) 铁路运输时，因较长时间运输中断所造成的生产危害较之带式输送机小。如与兴建两条运输机线对比，则铁路运输更为经济；

(3) 因其它露天矿产量下降而闲置的电机车和矿车可获利用；

(4) 可在哈矿和地处矿区中心的主机修厂间运送机械部件。

与此相反，对哈矿向福尔吐纳矿等采空区排土时的剥离物运输方式则决定采用输送机运

输，见图2-9，其主要理由如下：

(1) 每年外运量可达 $120Mm^3$ ，必须用 5 条铁路线来代替 3 条输送机线，以便在车流密度高的情况下，4 条铁路正常运转，而一条则用于维修；

(2) 由于哈矿与福尔吐纳矿的剥离物运输均采用输送机，如果中间插入一段铁路运输线路，则物料需进行两次转载，造成列车的装载、卸载费用的增加及技术上的困难；

(3) 在露天矿采空区充填结束后，输送机可移入露天矿中继续应用，而铁路设备则完全成为多余物。

由于选择了扇形推进方式及集中式分流站，所有的输送机线和供电导线都在回转站起始和终止。当采用伸缩机头来实现物料分配时，应力求使开采运输线路与运往排土机和煤仓的运输线路间的组合有更大灵活性。考虑了输送机的最优布置，设置了 54 个转载点。为选择所

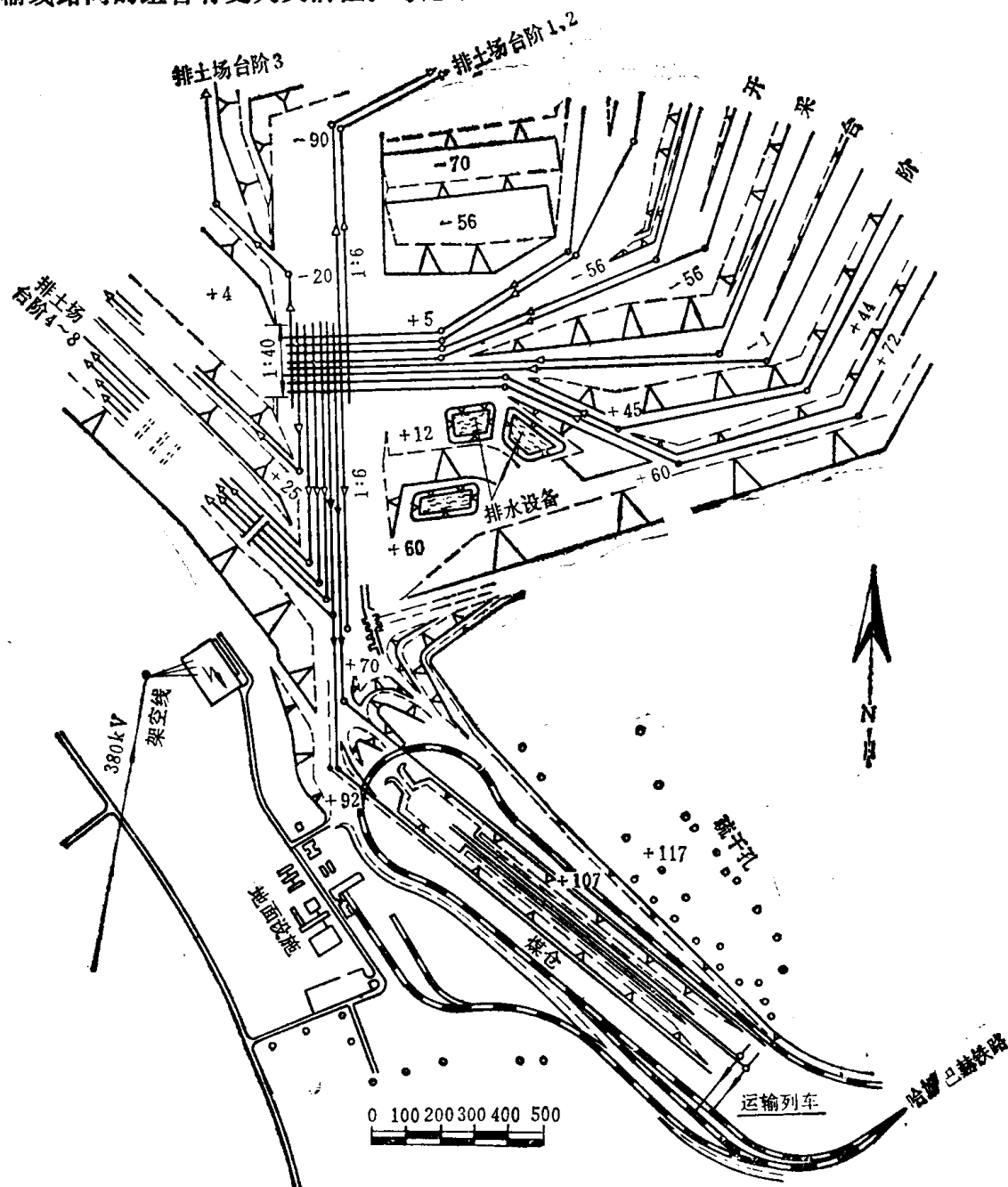


图 1-10 胶带集中站及煤仓布置图

有运输线路的各种最有利的组合路线,运用电脑控制,可为所有的挖掘机测得正确的卸载地点,并考虑到所有设备得到尽可能好地利用,使各种剥离物向排土场有目的排料,且使所有输送机的总电能消耗达到最小。

煤贮入布置在中间的两个地沟式煤仓内,每个煤仓的容量为250kt,并用日能力为100kt的堆取料机直接装入列车内。

图1-10即为哈矿胶带集中站及煤仓布置图。

从1978年开始建设以来,哈矿的建设完全达到了预期成果。大型开采机组的利用率不断上升,单台机组的最高日能力达 $371\text{km}^3/\text{d}$,年能力达 $60\text{Mm}^3/\text{年}$ 。达到设计生产能力时,哈姆巴赫矿采剥工人总效率可达 $650\text{m}^3/\text{工}$,采煤效率为 $92\text{t}/\text{工}$ 。

二、土耳其基斯拉夫褐煤露天矿

阿夫欣-埃尔比斯坦煤田是土耳其最大的褐煤矿区,褐煤储量为 3200Mt ,约占土耳其褐煤储量的二分之一。基斯拉科露天矿是矿区中最大的露天矿,褐煤储量为 578Mt ,煤层厚度 $10\sim 80\text{m}$,褐煤发热量为 $4.4\sim 5.2\text{MJ}/\text{kg}$ 。覆盖层为粘土和泥灰岩,剥离物中包含由砾岩及石灰岩构成的少量硬岩夹层。覆盖层与褐煤厚度比为 $2.7:1$ 。图1-11为该矿典型地质剖面图。

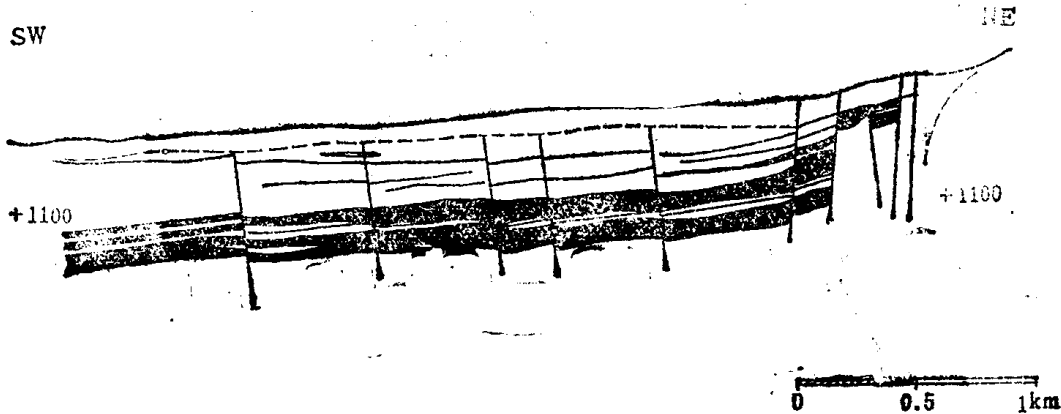


图 1-11 基斯拉科矿地质剖面图

基矿于1981年始建,褐煤设计产量为 $20\text{Mt}/\text{年}$,剥离量为 $54\text{Mm}^3/\text{年}$ 。1986年褐煤产量已达 12Mt ,剥离量为 34.5Mm^3 。

现有六个开采台阶,1~4为剥离台阶,5~6为采煤台阶。图1-12为露天矿开采状态及平面布置示意图。

选用的轮斗挖掘机型号为SchRs2300/5-32+VR,斗容 2300L ,理论能力为 $3000\text{m}^3/\text{h}$ (实方),配有长度为 $55\pm 5\text{m}$ 的可伸缩连接桥;排土机能力为 $5000\text{m}^3/\text{h}$ (实方);输送机带宽 1.8m ,带速 $5.2\text{m}/\text{s}$,输送机线长度为 53km 。

该矿轮斗铲因受非连续的、不规则的硬岩夹层及粘性物料的影响,致效率下降,斗齿磨损较快。

为了提高轮斗挖掘机效率,硬夹层赋存较规则时,采用以下作业方法(图1-13):使用半端式工作面由轮斗挖掘机挖掘上分层后,所揭露出的硬夹层用间断式辅助作业设备(松土机、前装机、液压铲、自卸卡车等)清理。考虑到爆破对连续作业系统可能导致的损坏,爆破方法仅在特殊情况下才予使用。