

Advanced Research into New Fields
of Mineral Engineering

矿业发展新域探索

— 张幼蒂论文选集

中国矿业大学出版社

自序

光阴似箭,日月如梭。自1952年迈进北京矿业学院大门以来,50年已经过去了。在这50年里,我始终在高校教育岗位上,为发展矿业而努力着,有幸实现了一代青年“为祖国健康工作50年”的宏愿。衷心感谢同事们、朋友们为此而促成了这本人论文集的出版。

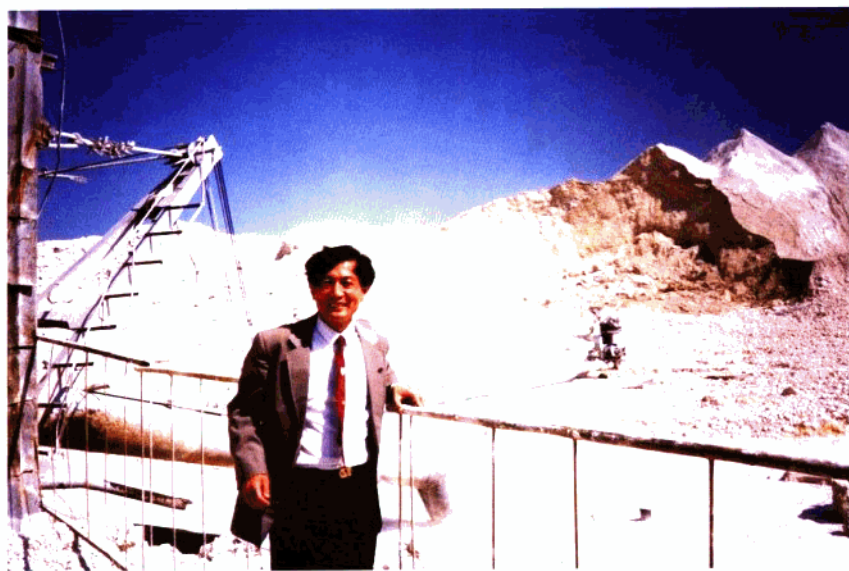
论文集编辑了42篇文章,其中中文发表26篇,英文发表16篇。内容包括了矿业开发总论,矿山工程有向图系统模拟及露天开采长远规划数学模型系列,矿山战略性优化设计,自动化卡车调度系统,露天矿剥采工程计划的优化,人工智能方法在矿业工程中的应用及开采工艺系统分析与优化等七个部分。它们大多是近20年来科学研究工作的成果。

采矿工业决非“夕阳工业”,全世界绝大部分能源及工业原料都取自矿产资源,而且矿业的这种基础地位在今后相当长的历史时期内不会改变。自然界发展永无止境,矿业科学技术的发展也来日方长。这是由于矿产资源是天然形成的,世界上没有任何两个完全相同的矿床;也由于科学技术不断进步,推动着矿业的发展变化,使矿山面貌日新月异。多年以来,正是基于上述观念,不断探索新的领域,使这些论文得以陆续问世。

这本论文集决不仅是我个人的成果。它体现着先辈学者航行灯塔的指引,受到过矿山丰富实践的滋养孕育,浸透着同行合作者的辛勤汗水与灵感创意。它是集体智慧的结晶,它是承前启后的阶梯。

谨以此书献给我敬爱的导师 A. II. Арсентьев 教授,献给矿业先驱者彭世济教授,献给矿业界的老朋友们!

张幼蒂
于中国矿业大学
2002年9月



1993年访俄罗斯KMA矿区



江山多娇



1988年А.И.Арсентьев教授来华访问



师生情深



1990年在第22届APCOM会议上
辛镜敏 R.V.Ramani Y.C.Kim 张幼蒂



1993年访德国福莱堡矿业大学K.Strzodka教授



在团结奋进的集体里



2001年第29届APCOM会议,国内外友人欢聚一堂

目 录

第一篇 矿业开发总论

Part 1 General Comment on Mineral Engineering

中国露天采煤的战略发展.....	张幼蒂 张达贤	(3)
世界露天开采技术发展特点及我国露天采煤科研 规划建议.....	张幼蒂 才庆祥 李克民 周昌寿	(9)
采矿系统工程及其发展趋势探讨	张幼蒂 王玉凌	(14)
矿业系统工程的发展与展望	张幼蒂	(19)
矿业集中化开发探讨	张幼蒂 姬长生	(26)
Development of Open Cut Coal Mining in China	Zhang Youdi Zhang Daxian	(35)
Opencast Mining for Coal in The People's Republic of China	Zhang Youdi Zhang Daxian	(42)
The Development of Mining Systems Engineering	Zhang Youdi Wang Yujun	(51)

第二篇 矿山工程有向图系统模拟及露天开采

长远规划数学模型系列

Part 2 Oriented Graph System Simulation for Mining Engineering and Mathematical Model Series for Surface Mine Long Term Planning

露天矿山工程的有向图系统模拟	张幼蒂 李克民 尚涛	(59)
倾斜矿床露天开采长远规划数学模型	张幼蒂 李克民 尚涛	(67)
露天开采长远规划数学模型系列	张幼蒂 李克民 尚涛	(76)
Oriented Graph Simulation for Long Range Surface Mine Planning	Zhang Youdi Li Kemin Shang Tao	(83)
A Series of Comprehensive Optimization Models for Surface Mine Long-Term Planning	Zhang Youdi Li Kemin Shang Tao	(93)
Computer Aided Design System for Long Range Planning in Open Cut Coal Mines	Zhang Youdi Li Kemin Zhang Ruixin Su Jing Hou Yinjie Li Shudong	(103)

第三篇 矿山战略性优化设计

Part 3 Mine Strategic Planning and Design Optimization

露天采矿模型合理支托结构.....	张幼蒂	(113)
-------------------	-----	-------

露天开采境界动态优化的探讨·····	张幼蒂	杨荣新	(118)
矿山设计决策的动态综合优化·····	张幼蒂		(124)
大型矿山生产规模及其相关决策要素综合优化·····	张幼蒂	姬长生	(130)
露天矿区分类及生态重建结构设计·····	张幼蒂	申闫春 才庆祥 姬长生	(138)
Optimization of Open Pit Limit With Dynamic-Economy Analysis ·····	Zhang Youdi	Yang Rongxin	(143)

第四篇 自动化卡车调度系统

Part 4 Automatic Truck Dispatching System

露天矿卡车调度优化准则·····	张幼蒂		(153)
计算机卡车调度优化数学模型的研究·····	张幼蒂	才庆祥 李曙光	(159)
计算机控制卡车实时调度的系统研究·····	张幼蒂	苏靖 李曙光	(164)
Optimization Criteria for Computer-Controlled Truck Dispatching System ·····	Zhang Youdi	Li Shuguang Cai Qingxiang	(170)
Complex Criterion for Real-Time Truck Dispatching ·····	Zhang Youdi	Su Jing Li Shuguang	(180)

第五篇 露天矿剥采工程计划的优化

Part 5 Surface Mine Production Scheduling Optimization

露天矿短期生产计划优化的综合方法·····	张幼蒂	才庆祥 吴力心 张达贤	(191)
露天矿剥采进度计划优化研究现状及发展趋势·····	张幼蒂		(197)
Combined Approach for Surface Mine Short Term Planning Optimization ·····	Zhang Youdi	Cai Qingxiang Wu Lixin Zhang Daxian	(205)
Application of Goal Programming in Open Pit Planning ·····	Zhang Youdi	Cheng Yiping Su Jing	(214)

第六篇 人工智能方法在矿业工程中的应用

Part 6 Application of Artificial Intelligence Method in Mineral Engineering

人工智能方法及其在采矿工程中的应用·····	张幼蒂	张瑞新 李新春	(225)
人工智能方法用于大系统优化决策·····	张幼蒂	李新春	(231)
综合集成化人工智能方法用于开采条件评价·····	张幼蒂	韩万林 李新春	(235)
Optimal Selection of Surface Mining Technology System Based on Integrated Artificial Intelligence Method ·····	Zhang Youdi	Li Xinchun Zhang Ruixin	(239)
AI-based Comprehensive Optimization Technology for Mining Systems Analysis ·····	Zhang Youdi	Zhang Ruixin Li Xinchun Han Wanlin	(246)
Application of Meta-synthetic AI Technique For Mining Conditions Evaluation ·····	Zhang Youdi	Han Wanlin Li Xinchun	(254)

第七篇 开采工艺系统分析与优化

Part 7 Mining Technology System Analysis and Optimization

采掘运输设备作业概率分析·····	张幼蒂	(263)
露天矿半连续运煤系统及其在我国应用前景·····	张幼蒂 张达贤 杨树才 王喜富	(269)
露天矿倒堆剥离工艺的发展及其应用前景		
——露天矿倒堆剥离开采方法系列论文之一·····	张幼蒂 李克民 尚涛 马军	(274)
倒堆剥离拉斗铲规格选择		
——露天矿倒堆剥离开采方法系列论文之二 ·····		
·····	张幼蒂 郭昭华 杨云浩 魏强	(280)
抛掷爆破与剥离台阶开采参数分析		
——露天矿倒堆剥离开采方法系列论文之四 ·····		
·····	张幼蒂 傅洪贤 王启瑞 夏松林	(285)
Semi-continuous Coal Haulage System in Chinese Surface Mines		
····· Zhang Youdi Zhang Daxian Li Xinchun Yang Shucui Wang Xifu		(292)
Systems Simulation for Dragline Selection in Open		
Cast Mines ····· Zhang Youdi Yang Yunhao Li Kemin		(298)

第一篇 矿业开发总论

Part 1 General Comment on Mineral Engineering

内容提要:

这一部分汇集了对矿业宏观研究与战略发展规划方面的 8 篇文章,内容可分为:

(1) 世界露天开采技术发展特点。我国露天采煤现状及其战略发展方针——战略布局西进;开发新区为主;开采规模高度集中化。

(2) 论述采矿系统工程(广义概念应称矿业系统工程)这一新兴学科分支的基本概念,发展历史与现状,所采用基础理论与技术,并以二维表格的形式对采矿系统工程研究内容与研究方法做了归纳。

(3) 根据国内外矿业发展的新形势,提出了矿业集中化开发的专论。现代矿业开发的趋势是集中化开采,集约化经营。论述了矿业集中化开发的若干基本特点;分析了矿业集中化开发的理论基础——规模经济原理;提出了对我国优势资源应加快集中化开发步伐的建议。

Synopsis:

There are 8 papers about macroscopic research and strategic development in mineral industry, the contents of which are as follows:

1. The worldwide surface mining development. Current status and strategic policy of chinese surface coal mining.

2. Introduction to mineral systems engineering. The basic concepts of this new learning branch. Its historical development, basic theory and technique, the application of mineral systems engineering. The research contents and methods for mineral systems engineering summarized by a 2—dementional table form.

3. Based on the development of mineral industry at home and abroad, intensive exploitation for mineral industry has been put forward. Current development tendency of mineral industry lies in intensive mining and intensive management. Some basic features of intensive exploitation for mineral industry are analyzed; large — scale production as the theoretical basis of intensive exploitation is introduced; it is suggested that the intensive exploitation for super resources should be speeded up in China.

这部分论文所依托的科研项目有《1991—2020 中国煤炭开发战略研究》(能源部科技进步一等奖获奖项目,1994)、《新建大型露天矿区总体规划决策要素研究》(煤炭科学基金项目)等。研究工作主要合作者有:张达贤、王玉波、姬长生、才庆祥、李克民、周昌寿、顾正洪等。

中国露天采煤的战略发展

张幼蒂 张达贤

摘要 露天开采较之井工开采具有其本身的一系列优点,加速发展露天采煤已成为世界性发展趋势。文中在概要分析我国露天采煤现状的基础上,提出了中国露天采煤未来数十年的战略发展意见。针对已查明适于露天开发的13个大型矿区做了分析预测:露天开发布局将以新区为主,重心西移;加大露天开发强度,开采规模将高度集中化。对于制约露天开发强度的诸因素,如地质资源保证程度、开采工艺及设备、煤电协调发展、建设资金等分别做了研究,并提出了关于发展方针的建议。

关键词 露天采煤 战略发展 开发布局 开发强度

1. 加速发展露天采煤——世界性发展趋势

第二次世界大战以后,随着技术进步及大型采矿设备的发展,露天采煤在全世界得到了迅速发展,其总年产量趋向于与地下开采量分庭抗礼(见图1)。几乎所有主要产煤国家均将露天开采作为提高煤炭产量及改善经济效益的重要手段。

国内外露天采煤的实践已充分证明了露天开采较地下开采具有下列特点:

(1) 生产能力大

目前我国矿井生产能力最高为400万~500万t/a,而新建的露天矿单坑生产能力均在800万~1500万t/a,今后计划兴建的露天煤矿以千万吨级为主。

(2) 建设周期短

我国千万吨级井工矿区建设周期一般需10余年,而同等规模的露天矿区建设周期仅需3~4年;移交至达产期,井工矿区约需5~8年,露天矿区仅需1~3年。故露天矿区建设速度约为井工矿区的3倍左右。在我国社会主义建设的关键阶段,这一时间差具有重要意义。

(3) 开采成本低

据阜新、哈密、鹤岗等矿务局内露天矿与矿井开采成本的对比资料,类似条件下露采成本比井工成本低13%~14%,有的竟达50%以上。

(4) 劳动生产率高

我国以综采为主的矿井全员劳动生产率20世纪末预计可达2~4t/工,而各大露天矿区全员劳动生产率将达12~25t/工,露天开采为井工开采劳动生产率的5~10倍。

(5) 吨煤投资低

据我国东北地区及晋陕蒙西区投资估算,露天矿吨煤投资比矿井平均低20%~30%。

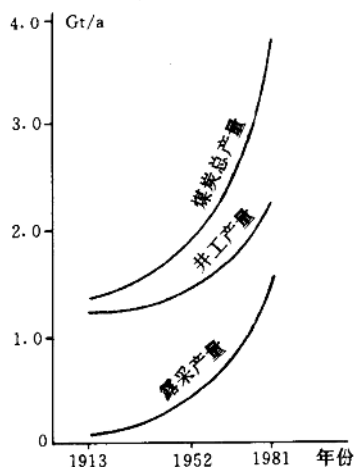


图1 世界煤炭产量的发展

(6) 煤炭资源回收率高

1989 年全国矿井资源平均回收率仅为 32%，其中统配煤矿为 50%，地方煤矿为 30%，乡镇煤矿为 10% 左右；而露天矿回收率一般均在 95% 以上。

(7) 劳动条件好，利于安全生产

我国露天煤矿百万吨死亡率仅为统配煤矿的 1/30，更为地方、乡镇煤矿所无法比拟。

露天开采与井工开采相比，也有其缺点，如占地面积大，环境保护要求高，气候影响开采作业等。这些问题是可以采取措施妥善解决的。总而言之，露天开采本身的优越性是确定优先发展露天开采方针的前提。

2. 我国露天采煤现状

我国露天采煤由于许多因素的制约未能得到迅速发展。露天采煤量在全国煤炭总产量中的比重一直停留在 5% 以内。20 世纪 80 年代以来，随着五大矿区（霍林河、伊敏河、平朔、准格尔、元宝山）相继建设，特别是平朔安太堡露天矿以 26 个月的时间建成年生产能力 1500 万 t、全员工效约 20 t/工的现代化露天煤矿，展示出露天开采的优越性，我国露天开采的发展已走出低谷。截至 1989 年末，我国统配及地方露天煤矿共 78 座，其总设计生产能力为 43.5 Mt/a。露天煤矿结构及年生产能力指标见表 1。

表 1 我国露天煤矿结构

露天矿类型	露天矿数目 /座	总设计能力 /Mt · a ⁻¹	露天矿平均生产能力 /Mt · (a · 座) ⁻¹
统配矿	22	37.08	1.685
地方矿	56	6.42	0.115
合计	78	43.50	0.558

注：表中乡镇煤矿未列入。

统配露天煤矿在 20 世纪 80 年代中的产量完成情况见图 2。从中可以看出露天采煤量近年迅速增长的趋势。14 座主要露天煤矿 1991 年若干重要生产指标如表 2 所列。

表 2 14 座主要露天煤矿 1991 年生产指标

矿名	煤炭产量 /Mt	剥离量 /Mm ⁻³	剥采比 /m ³ · t ⁻¹	工效 /t · 工 ⁻¹	矿名	煤炭产量 /Mt	剥离量 /Mm ⁻³	剥采比 /m ³ · t ⁻¹	工效 /t · 工 ⁻¹
安太堡	10.0	49.15	4.91	14.6	哈密	1.29	7.48	5.79	2.2
海州	5.735	11.86	2.07	—	鹤岗	1.17	8.10	6.93	2.44
抚顺	3.45	15.20	4.40	3.98	义马	1.00	2.65	2.65	3.49
霍林河	3.40	8.67	2.60	11.2	新邱	0.61	10.15	16.60	—
平庄	1.52	12.00	7.89	1.61	公务素	0.56	2.92	5.23	1.86
灵泉	1.32	9.24	6.98	1.14	大峰	0.52	1.66	3.21	2.68
伊敏	1.30	2.21	1.70	8.1	焦坪	0.33	2.18	6.54	1.12

在开采工艺方面，20 世纪 80 年代以前，我国露天煤矿中单斗铲—铁道工艺居统治地位，采出 90% 以上的物料。20 世纪 80 年代以后，单斗铲—卡车工艺发展迅速，目前铁道与卡车运输量大约平分秋色。表 2 所列 14 座主要露天煤矿中，58% 的煤及 43% 的剥离物由卡车运输，

42%的煤及 57%的剥离物则由铁道完成。此外,轮斗铲—胶带机连续工艺在小龙潭露天煤矿采煤及剥离工程中已有采用,而单斗铲—卡车—破碎机—胶带机组成的半连续工艺在抚顺及霍林河露天煤矿采煤系统中亦已投入生产使用。

3. 我国露天采煤的未来战略发展

(1) 开发布局:新区为主,重心西移
已查明适合露天开发的大型矿区共 13 个,可划分为如下三个区域:

- ① 晋陕蒙西区(中部区)。包括平朔、准格尔等 6 个矿区。
- ② 东北区。包括伊敏河、霍林河等 4 个矿区。
- ③ 西部区。包括云南省及新疆自治区 3 个矿区。

其中,晋陕蒙西区位置居中,煤炭储量丰富,煤质优良,交通运输条件较优,平朔、准格尔第一期工程已在进行。此区理应成为开发重点。

东北区是褐煤露天开发基地,主要向东北地区供煤供电。面对东北地区各老矿区逐渐萎缩的情况,为保证该地区经济发展,尽量减少关内煤炭东运,加大大地区露天开发强度势在必行。

西南区将成为供应南方诸省及向国外出口煤、电的能源基地。云南昭通等煤田具有优越的内部条件,充分发挥地方的积极性是大规模露天开发的重要前提。这一区域也具有建设大规模露天开发基地的条件。新疆煤炭资源十分丰富,露天开采有一定基础,且乌鲁木齐等矿区位于自治区能源消费中心,交通方便,有加速发展的必要性与可能性。

(2) 开发高度集中化

以上 13 个大型矿区露天开发总规模 30 年后预计将达 3 亿 t/a。其中各大区所占比例约为:中部区占 1/2;东北区占 1/3;西部区占 1/6。

开采集中化趋势明显增强。表 3 列出了各大区露天开发强度预测指标。13 个矿区共约 40 座露天矿,每座露天矿平均生产能力达 7.5 Mt/a,相当于目前水平的 4.4 倍。其中 7 个开发规模在 20 Mt/a 以上的特大矿区,开采高度集中化趋势更加明显。这些矿区平均生产能力一般在 10 Mt/a 以上。

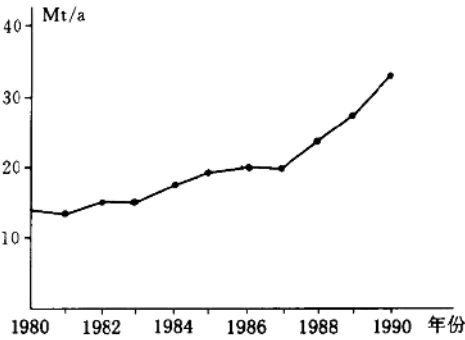


图 2 我国统配露天煤矿煤炭产量的发展

表 3 各矿区开发强度		
区域名称	露天矿数/座	平均每座生产能力/Mt·a ⁻¹
中部区	20	7.4
东北区	11	9.4
西南区	2	20.0
西北区	7	1.2
合 计	40	7.5

(3) 制约因素分析

① 地质资源保证程度

13 个矿区已规划露天开采的保有储量合计逾 300 亿 t,许多矿区尚待进一步查明潜力。

按照煤炭工业技术政策规定,大型矿区服务年限应不低于 90 年。按此规定再考虑一定储量备用系数,露天矿区产量规模与其保有地质储量之间比例应达 1 : 100 左右。据此衡量,几个以露天矿群为主的矿区,如平朔、准格尔、伊敏河、霍林河等,其露天开采保有储量仍较紧张。为此宜采取如下措施:

——加强有关矿区地质勘探工作,增加适于露天开采的保有储量。

——地质资源合理利用。由国家统一进行资源区划(统配、地方、乡镇开采范围划分);严格资源管理,严禁乱挖滥采;并在矿田划分及开采顺序、矿区总平面合理布局及开采工艺等方面,采取综合措施。

——加强各矿区总体设计规划工作,依据优先发展露天开采的方针,将技术经济上适于露天开采的矿田划归露天开采;即使目前开发尚有困难,也应在矿区总体规划或设计中留供远期露天开发。

② 开采工艺及设备

基于露天开采从本质而言是大量物料流的移运作业,露天开采工艺系统的效能对露天开采效益影响甚巨。对各露天矿区开采工艺选择有重大影响的因素有:矿区赋存条件、产量规模、资金、设备供给条件和国情等。

开采工艺选择应因时、因地制宜,不搞绝对化;设备应立足国内,近期视需要与可能进行适当引进;国产设备制造近期应以完整并发展千万吨(规模)级设备(包括连续和半连续作业设备)为主,远期应朝着大型化、连续化及综合工艺方向发展;设备制造系列应进一步补充、修正。

我国露天煤矿的发展历程表明,逐步实现露天开采设备的基本自给或国产化,形成适合于我国露天煤矿赋存条件的开采工艺设备系列,是促进我国露天煤矿迅速发展的重要条件。据此,对近期露天采煤主要设备制造系列提出以下建议(见表 4)。

表 4 设备制造系列建议表

设备类型	规格
单斗铲	12~23 m ³
卡 车	68 t, 108 t, 154 t
交流牵引机组	粘重 320 t
带式输送机	带宽 1.2~2.2 m 带速 3.5~5.5 m/s
移动式破碎机	2000~3500 t/h
轮斗铲	紧凑型 中型(3000~4000 m ³ /h)

③ 煤电运协调发展

13 个矿区煤炭大部分用于发电,少量为国内工业用煤或出口。可按煤矿与用户关系划分为下列三种类型:

——坑口电站型:即在煤矿附近就地建设发电厂,煤炭直接入厂发电,在体制上可实行煤电联营。

——外部电站型:电厂设在矿区外部,一般需要建设铁道专用线以运输煤炭,从而增加了煤炭外运环节及相应设备。

——外销型:煤炭具有多种用途而非发电为主者属此类型。

坑口电站、煤电联营方式具有下列明显优点:

- 由于煤炭就地加工利用,节省了外运环节,因此综合投资及生产费用均可大大降低。
- 铁道专用线运输能力往往成为矿区生产规模的制约因素,如采用坑口电站或以坑口电站为主,则这一约束可不考虑,便于扩大矿区生产规模。
- 煤电联营后煤炭与电力统一核算,有利于体现煤炭的真实价值,便于联营企业统筹提高经济效益。

因此,在条件允许时(如水源条件等),应尽量采用坑口电站及煤电联营体制。即使必须设置外部电站,也应尽量在矿区近距离路口处选择地址。

④ 建设资金

资金来源主要有:国家投资;地方集资;吸收外资;其他渠道,如银行贷款、发行债券等。

无论如何,国家投资在开发露天矿区资金来源中应占据主要地位。这是基于下述原因:大力开发露天煤矿是煤炭工业开发的重点;新开发的露天矿区储量丰富,规模宏大,技术装备先进,需要雄厚的资金支持;这些矿区的开发涉及大区之间的能源供需平衡,其资金需求涉及面广,需由国家统筹解决。

⑤ 其他因素

如水源、环境、地区经济人文的条件等。

水源条件从大部分矿区情况来看,经过加强水文勘探工作,已知水源水量基本可以满足建设电厂及煤矿的需求。个别矿区水源条件成为限制矿区规模的重要因素。

占地问题在内蒙、山西等矿区虽一般不涉及良田,但外部排土场及总平面布置不仅占地面积大,而且有时大量压煤,这在设计矿田划分、开采工艺及开采程序时应充分考虑。

劳动力条件是内蒙等地区发展中应予考虑的重要因素。在这些地区,优先发展露天开采,采用先进开采工艺以提高劳动生产率具有重要意义。

4. 发展方针及措施

为了加快中国露天采煤事业的发展,建议采取下列方针及措施:

——确认露天采煤是煤炭工业发展的主要技术方向之一,相应制定合理的露天采煤发展规划,加大煤炭露天开发强度。

——从中国露天矿区赋存条件及国情出发,发展露天采矿设备制造业,形成符合需要的设备系列。

——发展煤电联营,以加强煤矿的自我发展能力,并为发展褐煤露天开采所必需。

——重视煤炭资源保护,严格煤炭资源管理。

——重视环境保护和土地复垦工程,制定露天矿环境保护和土地复垦规范。

——国家投资应优先支持露天矿区的开发。

参考文献

- [1] 露天煤矿开发战略研究报告. 中国矿业大学, 1991
- [2] 中国煤炭工业年鉴. 1982年至1990年, 北京煤炭工业出版社

THE STRATEGIC DEVELOPMENT OF SURFACE COAL MINING IN CHINA

Zhang Youdi Zhang Daxian

ABSTRACT: There are a series of advantages for surface mining over underground mining. Intensively developing surface coal mining has been a tendency worldwide. Based on the analysis of the current status, the opinion on future strategic development of surface coal mining in China is put forward. The centroid of surface coal mining will be Westward; new large coal mining areas will dominate the overall open cut coal production; surface mining intensity will be enlarged with coal productive centralization to a high degree. The factors which influence the strategic development, such as coal resources, mining technology and equipment, power plant allocation, construction investment etc. are analyzed, some policies and measures for strategic development are recommended.

KEYWORDS: Surface coal mining, Strategic development, Overall arrangement of development, Mining intensity

(原载《中国矿业》,1993年第1期)