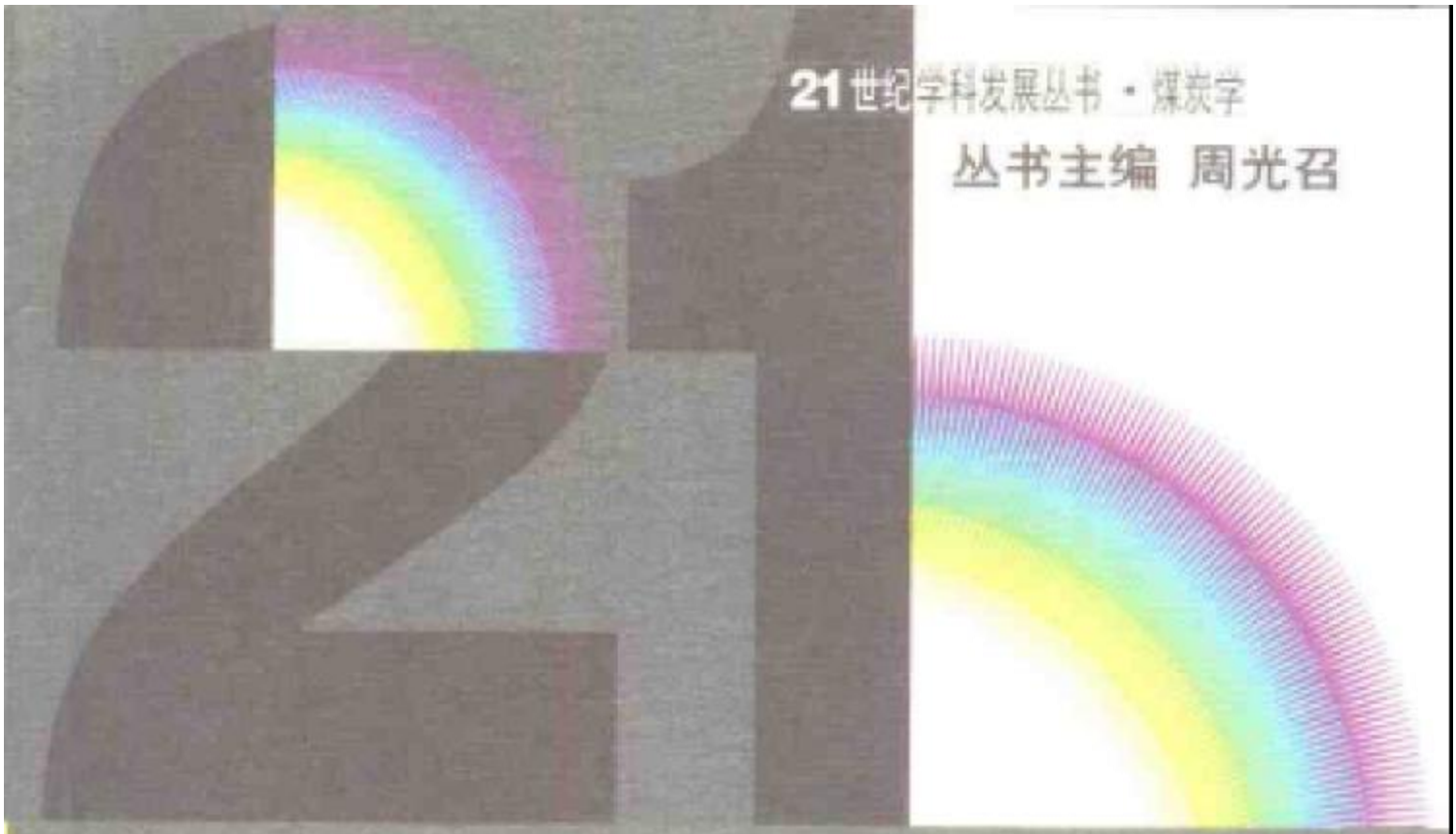
21世纪学科发展丛书·煤炭学

丛书主编 周光召



煤海探究

山东科学技术出版社

21世纪学科发展丛书·煤炭学

丛书主编 周光召

21

煤海探究

汪理全 杜计平 编著

山东科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

煤海探究:煤炭学/汪理会,杜计平编著.—济南:山东科学技术出版社,2001.4
(21世纪学科发展丛书)
ISBN 7-5331-2858-3

Ⅰ.煤… Ⅱ.①汪…②杜… Ⅲ.煤炭-基本知识
Ⅳ.TD82

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第13004号

21世纪学科发展丛书·煤炭学

丛书主编 周光召

煤海探究

汪理全 杜计平 编著

出 版 者:山东科学技术出版社
(济南市玉函路16号)
邮 编:250002
电 话:(0531)2065109
网 址:www.lkj.com.cn
发 行 者:山东省新华书店
印 刷 者:山东人民印刷厂
版 次:2001年4月第1版第1次印刷
印 数:1—3000
规 格:850mm×1168mm 32开本
印 张:5.5
插 页:4
字 数:113千
ISBN 7-5331-2858-3/TD·7
定 价:12.60元

(如印装质量有问题,请与印刷厂联系调换)

前　言

可以提供能量和做功的自然资源称为能源。

能源是人类生存和发展之本，是人类生产、生活和社会发展的物质基础，是现代化建设的主要动力，是生产力。长期以来，人们应用的石化能源——煤炭、石油和天然气均属非再生能源，随着开采量的加大，总有枯竭之时。因此，当今人们担心石化能源将危及人类社会发展。本书以翔实的科技知识和通俗生动的语言，介绍了能源的基本知识；论述了近50年（2050年前）的能源消费构成及需求预测；论述了煤炭是全球重要的石化能源，更是我国的主要能源。我国煤矿在一次能源消费结构中一直占70%以上，居主导地位。在未来的50年内，煤炭的能源基础地位不会改变，煤炭工业是现代能源的强大支柱。

我国是世界上开发和利用煤炭最早的国家。长期以来，逐渐形成了独具特色的中国当代采煤技术。我们的祖先开发和利用煤炭的伟大成就，是我国四大发明——造纸、印刷术、指南针及火药问世以前对人类文明做出的具有划时代意义的伟大创造和巨大贡献！本书以翔实的科

前言

技知识介绍了煤炭的成因及煤炭的应用前景、中国古代采煤技术、现代采煤技术、新技术在煤矿生产建设中的应用、洁净开采技术以及煤炭工业可持续发展的美好前景。

本书有三个基本特点。一是具有严谨的科学性。例如，预测近50年能源消费构成及发展前景时，引入了最新的科研成果，有理有据，启迪思索。二是先进性。例如，介绍能源基本知识时，与国际接轨，读者得之大有裨益。三是紧密结合当前能源发展及煤炭生产实际，及时传播新技术、新思想，并提出煤炭工业面临的新问题，具有广泛的实用性。

本书是在中国科协、中国煤炭学会倡导和支持下编写的。在编写过程中，得到了胡省三、成福康、张自劭、许振先等同志的大力支持，在此深致谢忱！

《煤海探究》涉及的科学领域很广泛，需要多方面的科技知识和素养。限于我们的水平，疏漏之处恳请读者不吝指正。

编者

2001年3月10日

《21世纪学科发展丛书》编辑委员会、出版委员会名单

一、丛书主编、副主编

主　　编：周光召

常务副主编：张玉台

副 主 编：徐善衍　常志海　张　泽　宋南平
宫本欣　马　阳

二、丛书编辑委员会

主　任：庄逢甘

副主任：闵桂荣　杨　乐　张　泽　宫本欣　马　阳

委　员：（按姓氏笔画排序）
王　铸　孙永大　刘　珩　朱道本　仲增墉
陈学振　张　鲁　汪稼明　李慧政　金明善
周　济　胡序威　赵　逊　相重扬　徐世典
谢荣岱　薛全福
各分册编审委员会主任（名单略）

三、丛书出版委员会

主　任：宫本欣

副主任：陈学振　张　鲁　李慧政

委　员：（按姓氏笔画排序）
王　铸　王昭顺　尹　铭　史　彬　刘传喜
张力军　宋德万　隋千存　董　正　韩　春
鲁颖淮

序

周光召

人类已跨进了新的千年，21世纪的曙光将给全球带来灿烂辉煌的新篇章。回顾过去的20世纪，科学技术的创新与进步引发了人类经济、社会的巨大变革，由此又带来了全球翻天覆地的变化。马克思曾在《资本论》中指出："生产力的发展，归根结底总是来源于发挥着作用的劳动的社会性质，来源于社会内部的分工，来源于智力劳动特别是自然科学的发展"，人类社会实践有力地证实了这一精辟论断。

随着科学技术在近现代的蓬勃发展，新思维、新理念、新发现推动着新兴学科、交叉学科不断涌现。许多传统学科一方面派生出新的分支学科，另一方面又在与其他学科的融合中形成新的综合性学科。展望21世纪，信息科学技术、生物科学技术、纳米科学技术将成为发展迅速，带动社会经济科技快速进步的前沿学科。环境、能源、材料、航天、海洋等科学技术将继续发展，解决人类面临的持续发展课题。社会进步和经济发展的需求为人类今后如何驾驭科学技术的骏骑，如何继续攀登科技巅峰提出了新的课题。

一个国家的科技水平不仅体现在少数科学家的科技成就中，更要体现在广大群众对科学技术的理解、掌握和应用之中。"科技先行，以人为本"有赖于公众科技文化素质整体水平的提高。因此，弘扬科学精神、传播科学知识和科学方法

就成为科技工作者又一不可推卸的、任重而道远的职责。中国科学技术协会作为党领导下的科技群团组织，肩负着促进学科发展、推动科技进步和普及科学知识、提高全民科技文化素质的重要责任。编写《21世纪学科发展丛书》是使这种重要责任有机融合的一次新尝试。科学普及的对象可分为若干社会群体，其中青少年群体的科普教育尤为重要，因为他们是21世纪的后备人才，是攀登科技高峰的生力军。让广大青少年了解自然科学和技术科学的发展历程、卓越成就，对人类文化、社会、经济发展的巨大贡献，培养他们对科学技术的兴趣、爱好，以及为科技事业献身的精神，是老一辈科技工作者义不容辞的责任，也是我们编撰此套丛书的初衷所在。因此，专家学者们对编著此套丛书表现了极大的热情与关注。68个全国性学会参与了丛书的组织编写，很多院士、知名科学家在百忙中亲自挥笔，运用通俗的语言、生动的描绘、深入浅出的方式，将科学的奥秘揭示给读者。全套丛书介绍了60多个不同学科的起源、发展历程、著名科学家、重大科技成就，以及未来学科发展的态势，为广大读者特别是高中以上文化程度的各阶层读者提供了一套科学性、知识性、前瞻性、趣味性和可读性相统一的科普读物。希望通过浏览这套丛书，不仅能够帮助广大青少年读者拓宽知识领域，而且对于他们选择未来发展方向起到引导和参考作用。同时，此套丛书通俗易懂，也适合其他不同社会群体的干部与公众阅读。丛书将由山东省出版总社于2001年分两批出版发行。

跨入21世纪的中华民族将面临重新崛起的机遇和挑战，衷心地祝愿充满希望的一代丰获知识的硕果，为我国的繁荣富强贡献出才智和力量，作出无愧于伟大中华的重大业绩！

2001年1月16日

目录

第一章　煤炭的地位与作用 ……1
第一节　乌金史话 ……2
一、火的应用与煤炭的发现 ……2
二、石涅、石墨、石炭与煤炭 ……3
三、马可·波罗眼中的中国煤炭 ……6
四、《天工开物》与煤炭开采 ……7
五、明清时代煤炭科学技术 ……9
第二节　煤炭是能源家族中的老大 ……12
一、从柴草时期到煤炭时期 ……12
二、全球重要的石化能源 ……16
三、我国主要的能源 ……18
第三节　工业的粮食 ……21
一、我国能源消费构成 ……21
二、煤炭是重要的化工原料 ……24
三、水煤浆——煤代油新型燃料 ……26
四、煤层气 ……28
第二章　煤海沧桑 ……31
第一节　太阳的杰作 ……32

目录

一、乌金何处来 …… 32
二、遥远的成煤年代 …… 34
三、含有化石的沉积岩 …… 37
四、煤的孪生兄弟 …… 38
五、标准煤与煤质指标 …… 40
第二节　形态各异的煤层 …… 42
一、煤层赋存状况 …… 42
二、煤层的厚度变化 …… 43
三、煤层的产状要素 …… 45
四、褶皱与断层 …… 48
第三节　大地茫茫宝藏何在 …… 50
一、祖先的秘诀 …… 50
二、煤田地质勘探三步曲 …… 52
三、煤炭储量家族 …… 54
第三章　开发宝藏的战略部署 …… 57
第一节　煤田与井田 …… 58
一、煤田——矿工耕耘的田地 …… 58
二、井田和矿区 …… 59
三、"蛋糕"的大小与形状 …… 59
四、井型大小与寿命长短 …… 61
第二节　井田内的再划分 …… 62
一、井田划分为阶段 …… 62
二、采区与带区 …… 63
三、前进式与后退式 …… 64
四、下行与上行 …… 65
第三节　井下浏览 …… 65
一、地面工业场地 …… 66
二、入井之门 …… 67
三、井底车场 …… 69

四、运输大动脉 …… 71
五、采区、区段与采煤工作面 …… 72
六、双巷掘进与无煤柱护巷 …… 76
七、下一阶段如何开采 …… 77
第四节　开拓的问题 …… 78
一、井筒三姊妹 …… 78
二、开采水平与上下山阶段开采 …… 81
三、上山阶段和下山阶段开采的比较 …… 82
四、运输大巷如何布置 …… 83
第四章　打开通向宝藏的通道 …… 87
第一节　钻眼、爆破与装岩 …… 88
一、井巷断面 …… 88
二、钻眼与爆破 …… 89
三、从大铁锹到装岩机 …… 90
四、从煤电钻到联合掘进机 …… 91
第二节　发展的巷道支护 …… 92
一、从木棚到金属棚 …… 92
二、砌碹——古老的建筑艺术 …… 93
三、锚杆支护家族 …… 94
第五章　不尽乌金滚滚来 …… 97
第一节　长壁与短壁 …… 98
一、从煤壁的长度说起 …… 98
二、走向长壁与倾斜长壁 …… 99
第二节　开采与岩层运动 …… 100
一、顶板三兄弟 …… 100
二、采空区的处理方法 …… 101
三、初次来压与周期来压 …… 102
四、"三带"的形成 …… 103
第三节　从手工作业到综合机械化开采 …… 105

目录

一、祖先的采煤方法……106
二、打眼放炮采煤……106
三、像蛇一样可以弯曲的刮板输送机……107
四、滚筒采煤机采煤……108
五、普采和炮采工作面顶板管理……109
六、地下钢铁长城……111
第四节　厚煤层如何开采……114
一、在人造的假顶下采煤……114
二、大采高液压支架的应用……115
三、把顶部的厚煤层放下来……116
四、砂子与煤层的换位……117
第五节　急倾斜煤层如何开采……119
一、在柔性梁掩护下作业……120
二、水平分层与水平分段……122
三、用仓把煤先储存起来……123
第六节　高压水射流的应用……124
一、水枪威力大……124
二、漏斗式与小阶段……125
三、水煤浆是如何处理的……126
四、建设水采矿井的条件……127
第六章　征服自然灾害……129
第一节　给矿井装一个排风扇……130
一、瓦斯功过……130
二、预防瓦斯爆炸……131
三、通风的任务……132
四、扇风机……133
五、风流调节……134
第二节　冒顶对策……135
一、压垮型冒顶……135

二、把顶板护好 …… 136
三、从复合顶板离层说起 …… 137
第三节　煤炭自燃与防治 …… 138
一、发火的内因与外因 …… 138
二、煤炭自燃预防 …… 139
第四节　水灾的预防 …… 140
一、水源与通道 …… 140
二、矿井防水 …… 141
第五节　矿尘的危害与防治 …… 142
一、矿尘的危害 …… 142
二、如何与矿尘作斗争 …… 142
第七章　蓝天白云下开采 …… 145
一、露天开采概貌 …… 146
二、采煤与剥离 …… 147
三、露天开采的优缺点 …… 148
第八章　煤炭开采展望 …… 151
第一节　煤炭工业可持续发展 …… 152
一、煤炭仍然是我国的主要能源 …… 152
二、煤炭工业可持续发展的内涵 …… 153
三、发展高产高效开采技术 …… 153
四、提高煤炭资源采出率 …… 155
五、深矿井开采的问题 …… 156
六、多层次发展 …… 158
第二节　煤炭开采与环境污染 …… 159
一、地下开采与地表塌陷 …… 159
二、矸石问题 …… 159
三、水资源损失与污染 …… 160
四、大气污染 …… 160
五、露天开采带来的问题 …… 160

第三节　发展洁净煤开采技术 ……161
一、减少矸石地面排放 ……161
二、煤炭地下气化 ……162
三、煤层气的开发与利用 ……163
四、减少地表下沉 ……165
主要参考文献 ……167

第1章

21世纪学科发展丛书

煤炭的地位与作用

第一节　乌金史话

中国是世界上发现和利用煤炭最早的国家。早在7000多年前，我国的煤精制品就已进行批量生产了。我们的祖先发现和利用煤炭的伟大成就，是我国四大发明——造纸、印刷术、指南针和火药问世以前对人类做出的具有划时代意义的伟大创造和巨大贡献！

一、火的应用与煤炭的发现

中国古人是如何发现煤炭的呢？这与火的应用紧密相关。火，远在人类诞生以前就存在于自然界中了。譬如，雷电引燃森林草木发火，火山爆发引起易燃物质发火，以及煤层露头自燃发火。人类初期害怕天然大火。随着岁月的推移，人们发现：由于天然大火烧过之后，残留下被烧死的野兽味美、易咽食和消化；黑石头发火后，冒烟、烤热周围岩石，可以御寒。这就启发人们要利用火，保存火种，逐渐懂得了用火帮助狩猎、御寒、驱赶野兽、变生食为熟食，改变了早期原始人类“茹毛

饮血”的生活。

我国用火的历史，大约已经超过100万年。在距今170万年前的元谋人遗址中就发现有炭屑。在古人用天然火的漫长岁月中，又发明了敲击燧石、钻木摩擦等人工取火方法，这一发明改善了人类的生存环境。“就世界性的解放而言，摩擦生火还是超过了蒸汽机。因为摩擦生火第一次使人支配了一种自然力，从而最终把人同动物分开。”

煤是可燃矿物，有的煤燃点很低，有的煤用火柴可以引燃。雷电或火山爆发引起的天然大火在燃烧森林的同时，也可能引燃煤层露头（即煤层露出地表的部分）；古人在煤层露头处用火也可引燃煤层。煤层露头处，煤呈破碎状态，与空气接触，会发生氧化反应，煤在氧化过程中放出一定热量，当热量聚积而散失较少时，煤的温度就升高，当温度达到煤的临界温度时，煤就开始燃烧，即煤的自燃现象。如吐鲁番附近的“火焰山”就是乌鲁木齐煤田B组煤自燃引起的。又如，大同煤田侏罗纪煤层早在第四纪早更新世（Q_1），即距今约200万年前就开始自燃。仅在雁崖3号和11号煤层古火区就已烧掉了大约2000万吨煤，燃烧特征十分明显。上述现象启发人们，煤可以着火，可以燃烧。经过漫长的用火实践，大约在新石器时代，中国人逐步发现了煤是非常好的燃料，从而开创了开发和利用煤炭的新纪元。

二、石涅、石墨、石炭与煤炭

1973年，沈阳市文物管理办公室在沈阳市北陵附近的新乐遗址下层，发现一处房址。在房内及附近探沟中，发现了很多煤精制品。其中有：圆泡形饰25件，

规格不一，最大的直径5厘米、高2厘米，最小的直径2厘米，通体磨制光滑，顶圆厚，边薄如刃；耳珰形饰6件，长3.0～3.5厘米，呈束腰圆锥形，如现代跳棋子；煤精半成品和煤块97块，有的可见明显切割加工的痕迹。经中科院考古研究所鉴定，沈阳新乐遗址下层属新石器时代。这批煤制品原料来源于抚顺煤田，这证明抚顺煤田的煤早在新石器时代就已被发现和利用了。这批煤制品是世界上用煤最早的历史见证，它说明中国最迟在六七千年以前就发现和使用了煤炭。这是中国人民开创的人类利用煤炭的新纪元，是对人类文明做出的伟大贡献！

中国发现和利用煤炭的历史悠久，不同的历史时期，煤炭有不同的名称，如石涅、石墨、石炭及煤炭。

春秋战国时期，约公元前500年，煤炭称为石涅。《山海经》是春秋战国时代的著名地理著作，该书有三处记载石涅："女床之山，其阳多赤铜，其阴多石涅"，"岷山之首，曰女几之山，其上多石涅"，"风雨之山，其上多白金，其下多石涅"。据考证，女床山即陕西"凤翔府岐山"，该区赋存烟煤。女几山为蜀群双流女伎山，今四川双流和什邡煤田。风雨山则为四川通江、南江和巴中一带，产煤之地。《山海经》中关于煤的记载，证明了中国人民长期用煤的实践经验和科学知识。

魏晋时期，我国古代煤炭开发和利用有了初步发展。当时称煤为石墨，之后又出现了石炭这一名称，石墨与石炭这两个名称并用了很长时期。到了南北朝时期，煤称为石炭的名称才普及。这个时期已出现了煤井和相应的采煤技术。煤炭不仅用于生活，还用于冶铁等行业。煤的产地遍及南方和北方，甚至边陲新疆。正如

古书《水经注》中描写的那样庞大的规模："屈茨（今新疆库车一带）北二百里有山，夜则火光，昼日但烟，人取此山石炭，冶此山铁，恒充三十六国用。"这说明当时我国采煤业及用煤炼铁业已相当发达。

隋唐时代，中国采煤行业有较大进步，开采技术日渐成熟，煤炭广泛用于冶金、陶瓷、民用燃料等。从唐代开始，我国采煤知识逐渐传播到国外。唐代来华的日本留学僧园仁在《入唐求法巡礼行记》中写道："太原府……晋山，遍山有石炭，近远诸州人尽来取烧。"该书在日本产生很大影响。这也说明，在唐代，中国煤炭知识已传入日本。日本现今还称煤炭为石炭。

宋代，我国的煤炭事业在开采技术、规模和应用方面都出现了兴旺发达的势头。宫廷委派官吏专门管理煤炭生产和买卖，煤炭广泛用于冶铁、陶瓷、砖瓦等行业作燃料。最重要的是当时已经使用了焦炭，炼焦技术日臻完善，这表明我国煤炭事业步入了崭新的阶段，开采技术更为丰富。如鹤壁古煤矿的开采技术配套齐全，对井筒位置选择与开凿、巷道布置、采煤工作面、采煤方式、井下照明、运输、提升、排水以及生产管理等技术均较完善。

宋代，普遍称煤为石炭，至南宋末年，出现了"煤"的名称。到了元代，"煤"的名称才得到普及，且有黑煤、石炭煤、白煤等名称。元政府为了解决首都——大都（今北京）的燃料问题，计划重开金口河，把西山的煤运到京城来。左丞相脱脱奏曰："京师人烟百万，薪刍负担不便。今西山有煤炭，若都城开池河上，受金口灌注，通舟楫往来，西山之煤，可坐至于城中矣。""遂起夫役，大开河五六十里。"可见，当时煤炭的名称已深入人心。从那时起，煤炭这一名称一直沿

用至今。

三、马可·波罗眼中的中国煤炭

元代，意大利人马可·波罗旅行来到中国。马可·波罗是世界上最著名的旅行家。他在中国游历了很久，几乎游遍了全中国，对中国的文明和风土人情有广泛的了解。他到过煤炭开采较发达的陕、甘、晋、鲁等地。中国采煤及用煤情况给他留下了深刻的印象和美好的回忆。他在《马可·波罗游记》中写道："整个契丹省到处都发现有一种黑色石块，它挖自矿山，在地下呈脉状延伸，一经点燃效力和木炭一样，而它的火焰却比木炭更大更旺，甚至可以从夜晚燃烧到天明，仍不会熄灭。这种石块，除非先将小块点燃，否则平时并不着火。若一旦着火，就会发出巨大的热量。"文中写的"契丹"就是中国，"黑色石块"就是煤。马可·波罗还在文中写道："诚然，这个国家并不缺少木材，但是如此众多的人口，炉灶也多，而且燃烧不止，加上人们又勤于沐浴，这样必然造成木材数量供不应求，每个人一星期至少洗三次热水澡。每逢冬季，只要力所能及，甚至是一日一浴。凡身有职位或家庭富裕的人，家中都备有一个火炉，以供自己取暖之用。像这样大的燃料消耗，木材资源势难满足供应；然而这些黑色石块却取之不尽，而且价格十分低廉。"上述描述说明了中国宋末元初时期，煤炭开采规模几乎"到处都有"，煤炭使用广泛，而且成为代替木材的主要燃料；也说明了马可·波罗过去从未见过煤炭，更不了解煤炭，以至于到中国后对煤特别感兴趣，惊奇地称煤炭是可燃的"黑色石块"。正因如此，他又进行了调查研究，将煤炭的火力、价格、供求、资源等与木炭相比，得出了煤代替木炭成为主燃

料的结论。这也说明了中国用煤远比欧洲用煤的历史悠久。其实，到元代，中国发现和使用煤炭已经超过5000年了。一个外国旅行家，到过叙利亚、伊朗等许多国家，他把中国燃烧“黑色石块”作为奇闻写进游记，带回他的祖国，传播到欧洲和世界各地。这是中国人民对世界各国开发煤炭做出的重大贡献！

四、《天工开物》与煤炭开采

明代，“京师百万之家，皆以石煤代薪。”中国人民在长期的煤炭开发实践中，对煤炭的认识不断加深，开采和利用技术不断提高，开创了前所未有的成果，形成了世界上独具特色的中国古代采煤技术。明代杰出科学家宋应星所著的《天工开物》就是一部总结我国古代工农业生产技术的科学技术巨著。其中，《天工开物·燔石》卷中，详细记叙了中国古代采煤技术：“凡取煤经历久者，从土面能辨有无之色，然后掘挖。深至五丈许，方始得煤。初见煤端时，毒气灼人。有将巨竹凿去中节，尖锐其末，插入炭中，其毒烟从竹中透上，人从其下施镬拾取者。或一井而下，炭纵横广有，则随其左右阔取。其上支板，以防压崩耳。”如图1-1所示。由此可知，明代以前已掌握了煤矿地质、开拓、采煤、支护、通风及瓦斯排放、提升、排水、煤炭利用等古代采煤技术。

煤矿地质知识是煤炭开采的前提。到明代，我国煤矿地质知识已十分丰富。当时能用岩石学的观点把煤分为几种，如《天工开物》中根据煤的块度分类：“煤有三种，有明煤、碎煤、末煤。明煤大块如斗许，燕齐秦晋生之。……碎煤有两种，多生吴楚，……末煤如面者，名曰自来风。”如何找到煤呢？要从石质和土色来

找煤，《天工开物》说：“凡取煤经历久者，从土面能辨有无之色。”地下有煤，岩石的黑颜色就可以作为找煤的标志。如煤层露头附近，表土变黑，黑色就是找煤层的标志。

开拓部署。井筒打至煤层后，就布置巷道和采煤工作面。《天工开物》中讲：“或一井而下，炭纵横广有，则随其左右阔取。”即顺煤层走向左右开掘巷道及采煤工作面采煤。

支护。采煤之后的顶板（煤层上面的岩层）必须支护。《天工开物》中讲：“其上支板，以防压崩耳。”由图1－1可知，井下采煤有人支上板，以防顶板垮塌，安全采煤。

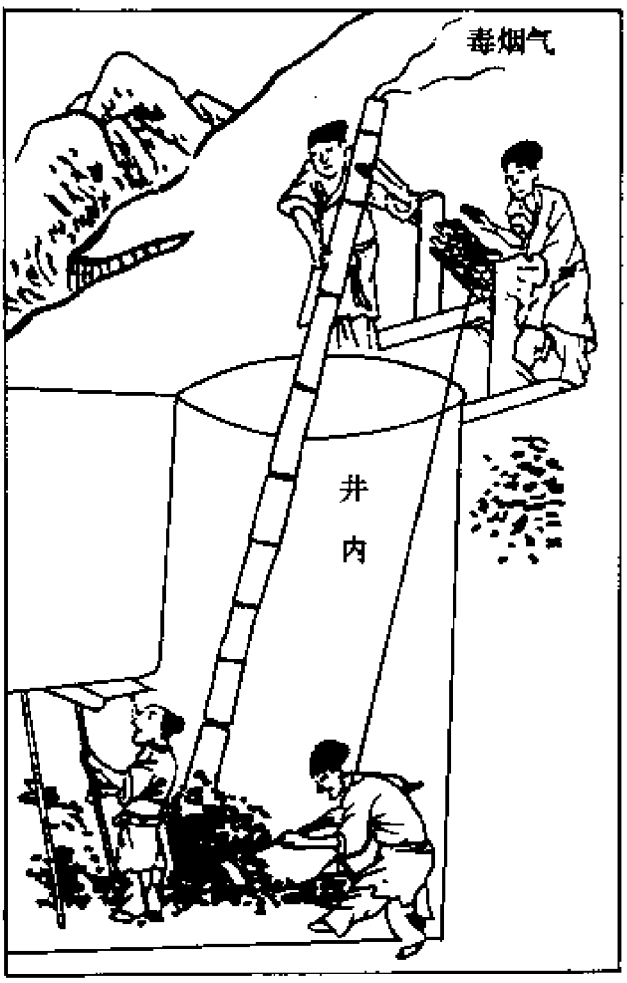


图1－1 《天工开物·燔石》卷南方挖煤图

运输提升。古代煤矿运输一般采用人拖筐、肩挑，再用辘轳提上来，如图1－1所示，井口有一辘轳，一人在摇木把，将煤筐放入井下，装煤后再提上来。

通风与瓦斯排放。井下采煤必须保证空气流通，将瓦斯排放到安全浓度以下，以保安全。《天工开物》中

说："初见煤端时，毒气灼人。有将巨竹凿去中节，尖锐其末，插入炭中，其毒烟从竹中透上。"这里指的"毒气"即现在煤矿中的瓦斯。它是在煤形成过程中产生的气体混合物。主要成分是甲烷（CH_4），此外还有一氧化碳（CO）、二氧化碳（CO_2）及硫化氢（H_2S）等。沼气无色、无味、无臭，比空气轻。在空气中的浓度达到5%～16%时，遇火会燃烧爆炸。井下瓦斯如何排出呢？见图1－1，用凿通的大竹筒插入井下，将瓦斯从竹筒中吸出井外；竹筒内空气和瓦斯上升，井内空气构成了对流，形成通风系统。

排水。井下采煤必须排水。在鹤壁宋代古煤井中就用辘轳提水。元王祯《农书》卷十八记载："辘轳，圆转木也，井上立架置轴，贯以长毂，其顶嵌以曲木，人乃用手掉转，缠绠于轴，引取汲器，或用双绠，而顺逆交流，虚者下，盈者上，更相上下，次第不辍，见功甚速，汲于井上。"提水常用牛皮囊汲之。

宋应星所著《天工开物》系统记载了地质、开拓、采煤、支护、通风及瓦斯排放、运输提升、排水等煤炭开采技术。现在的煤矿开采技术，正是在过去煤炭开采技术基础上发展起来的。

五、明清时代煤炭科学技术

中国人民经过数千年煤炭开采实践，至明清时代已近完善，有许多发明创造形成了独具特色的中国古代采煤技术。当时在煤炭技术及组织管理等方面均处于世界领先水平。

井筒开凿。古代采煤有多种形式。若煤层露头浅，露天开采，称之煤穴。另一种沿煤层露头向里打平硐或斜井采煤。李时珍讲的"横入十余丈取之"就是指平

硐。还有一种就是开凿立井，将井筒打到煤层，进行开采。正如宋应星讲的“或一井而下，炭纵横广有，则随其左右阔取。”同时，井筒位置选择要准确，穿过岩层后加固。“凡攻炭，必有井干，虽深百尺而不挠。”“视其井之干，欲其确尔而坚也。否，则削。”

开拓部署。井筒通到煤层后，掘进巷道和采煤工作面进行采煤。这就是古人讲的“已得炭后旁行其隧”，“井得炭而支行”。“隧”即主要巷道；“支行”即自主要巷道通往采煤工作面的巷道。鹤壁古煤矿的开拓方法是将井田划分为若干小块，后逐个回采。这就是古代房柱式采煤方法。古代采煤一般以掘为采，在掘巷道中采煤，工作面短而巷道长。古代采煤工作面的名称有的叫煤窝，有的称膛子。古代落煤称为攻煤、伐煤。使用工具有凿、锤、镐、钎等。顺煤层节理，先掏槽后凿打剥落。

井巷支护。井下采煤后，煤层顶板必须支护，否则会垮塌。支护形式各异。“硐中镶木，土山窝路，资以撑柱，上头、下脚，横长二三尺左右，两柱高不过五尺，大必过心二寸外。用木四根，谓之一架。”这就是框式支架结构。

通风与瓦斯排放。井下采煤，必须保证井下空气流通，以供给新鲜空气，排出瓦斯。古代煤矿井下通风多采用自然通风。自然通风又分双井通风和单井通风。双井通风，凿井筒两个，一个进风，另一个出风，出风井位于高处，就形成了自然通风系统。单井自然通风如何实现呢？单井通风古代叫表风法，即在方形井筒的一角，用片石砌成一个三角形的回风道，回风道高出井筒，上方形如烟囱，风从井口进入井下，经用表墙隔出的回风巷达到地表，形成流通风路。现在，房柱式采煤

法就用风幛隔出回风通道。人工通风的方法，就是用风车、风扇等往井内扇风。至清代，出现了风筒，有的风筒是用竹编的，有的是用荆条编制外面涂泥，还有用木板做成的风筒。

瓦斯排放。沼气比空气轻，相对空气的比重为0.544，井下空气温度高些，可靠气压差来排放瓦斯。同时也利用竹筒形成自然通风系统。这与现在抽放瓦斯的原理一致，只是设备不同而已。

运输与提升。古代煤矿井下运输主要靠人力和畜力。运输工具有用木或竹或荆条做成的拖筐或拖车，有的拖车下安有小轮。用人拉拖筐或用骡、驴、马拉拖车运煤。提升工具有辘轳、绞车等，用人力或畜力转动辘轳提升东西。明清时期，煤矿绞车不少，云南昆明附近煤井就是“以绞车上起。”

矿井排水。井下的水必须排干方可采煤。古代煤矿排水工具有牛皮囊装水，用辘轳或绞车提至地面。还有用唧筒排水。《天工开物》中说：“井及泉后，择美竹长丈者，凿净其中节，留底不去，其喉下安消息，吸水入筒。”这种唧水筒南方应用十分普遍。

煤炭的利用。经过长期开采和利用煤炭的实践，对煤炭性能认识进一步提高，主要表现在以下四个方面。其一，认识了煤的可燃性。中国人民对煤炭可燃性的认识可以追溯到新石器时代，先后出现了石涅、石墨、石炭、煤的名称。《天工开物》根据发热量及用途将煤分为铁炭、饭炭、炊炭。《天工开物》又讲：“炎平者曰铁炭，用以冶锻，入炉先以水沃湿。”可以燃得更旺。其二，发明了炼焦技术。烟煤被加热后，产生胶质体，有一定粘结性。古人将结性的煤称为油煤、肥煤、肥炭、粘炭等。在此认识前提下，发明了炼焦技术。至宋

代，炼焦技术日渐成熟。其三，对井下瓦斯有了认识。认为井下瓦斯是“毒气”，通风不良时可使人中毒。煤燃烧不充分，产生的一氧化碳会使人中毒，并有解毒的药方。其四，古人对煤中含硫有了认识，对煤的利用有重要作用。

古人对煤的认识不断提高，对煤的应用也日益广泛，几乎所有用燃料的部门和行业都用上了煤炭。冶铁行业炼铁的燃料，煤炭占7/10。陶瓷、烧砖、烧石灰、煮盐、冶炼其他金属等均用煤炭作燃料。此外，煤还用于医药、建筑、提炼硫磺、制墨写字、印刷等等。这显示了中国古人在煤炭利用方面的高超技能。

明代于谦有一首《咏煤炭》诗，全诗写道：

凿开混沌得乌金，藏蓄阳和意最深。
爝火燃回春浩浩，洪炉照破夜沉沉。
鼎彝元赖生成力，铁石犹存死后心。
但愿苍生俱饱暖，不辞辛苦出山林。

诗中称煤炭为乌金，它富含光和热，把煤放入炉中，其熊熊火焰照破沉沉夜间。为了造福人类，化为灰烬以后，依然存在一颗铁石般赤诚的心。全诗表现了煤炭为了人类的温饱，不辞辛苦出山林，献出全部光和热、自我牺牲的高尚品质，抒发了诗人报效祖国的爱国之心。

第二节　煤炭是能源家族中的老大

一、从柴草时期到煤炭时期

能够提供能量和做功的自然资源称为能源。

能源是一个庞大的家族，它拥有各种形式的能量，并在一定条件下，可以转化为人类所需要的不同形态的能

量。

若按能源开发和制取方式，可分为一次能源与二次能源。一次能源，即自然界天然存在、直接开采可以利用的能源，如煤、石油、天然气、水力等。二次能源，即由一次能源加工转换成另一种形态的能源产品，如焦炭、煤气、电力、各种石油制品等。

如果按能源在当代人类社会生活中的地位及利用史，通常将一次能源又分为常规能源和新能源。所谓常规能源，就是在不同的历史时期和科学技术水平下，已经被人们长期广泛应用的能源。世界上长期应用的五大常规能源有水力、煤炭、石油、天然气及核裂变能。所谓新能源，就是许多古老的能源，若采用先进技术和方法能广泛应用的能源，如太阳能、海洋能、生物质能等。

若按能源的形式和存在的特征，通常又把常规能源和新能源分为再生能源与非再生能源。再生能源，就是自然界里存在一些可以不断再生、循环使用，并有规律地得到补充的能源，如水力、风力、地热等。非再生能源，就是经过几亿年形成的，开采后短期内无法恢复、不能循环再生的能源，如煤炭、石油、天然气等随开采量加大，总有枯竭之日。

综上所述，能源分类可归结为：

- 能源
  - 一次能源
    - 常规能源
      - 再生能源　水力
      - 非再生能源　煤、石油、天然气、核裂变能
    - 新能源
      - 再生能源　太阳能、风力、海洋能、生物质能等
      - 非再生能源　核聚变能
  - 二次能源　焦炭、电力、煤气等、煤油、重油、汽油等各种石油制品、蒸汽、余热等

能源的种类很多，各种能源的品位、质量及发热量均不相同。国际上通常采用两种能源度量单位：

(1)标准煤：发热量为29.27兆焦，低位热量的任何能量均可折算为1千克的标准煤。

(2)标准油：发热值为41.8兆焦，低位热量的任何能源均可折算为1千克标准油，能源折算系数 E 为：

$$E=\frac{\text{某种燃料的实际发热值(兆焦/千克)}}{\text{标准燃料发热值(兆焦/千克)}}$$

例如，某矿生产的原煤发热量为20.9兆焦/千克，则

$$E=20.9/29.27=0.714$$

即该矿生产的1吨煤，只相当于0.714吨标准煤。

能源是人类生存和发展之本，是人类生产、生活和社会发展的物质基础。迄今为止，人类社会的发展经历了三个能源时期：一是柴草时期，1875年以前，人们多使用柴草作为能源，也使用煤、石油、天然气等石化能源；二是煤炭时期，1875～1967年间，世界一次能源消费结构中，煤炭占62%，这段时期称为煤炭时期，见表1－1；三是石油时期，1967年以后，世界一次能源消费结构中石油超过了煤炭(见表1－1)，人们称为石油时期。

当前，石化能源急剧减少，有的能源资源即将枯竭。因此，必须向多能源结构过渡。目前，能源的开发利用逐步从以煤、石油、天然气为中心向太阳能、原子能、海洋能、地热能、氢能等新能源过渡。

能源是现代化经济建设的主要动力，是生产力。人类社会和经济建设的发展证明，能源的增长率与国民经济产值的增长率成正比例关系。这一关系以能源消费弹

性系数 ε 来表示。

$$\varepsilon=\frac{\text{能源消费增长率}(\%)}{\text{国民经济产值增长率}(\%)}$$

若 ε 等于 1，即能源消费增长率与国民经济产值增长率相等；若 ε 大于 1，则能耗多，产值少；若 ε 小于 1，则能耗少，而产值高。

能源与人民生活息息相关。

人均能耗：每人每年平均消耗的能源数量，以吨/人·年表示。人均能耗是衡量一个国家和地区经济发展和人民生活水平的综合指标。科学家们统计研究指出：人类维持最低生活水平，人均能耗为 0.4 吨标准煤/人·年；丰衣足食的现代化生活，需要 1.2～1.3 吨标准煤/人·年；高级的现代化生活，需要 2～3 吨标准煤/人·年。

表 1－1　世界能源消费比重

年　份	消费比/%			
	煤　炭	石　油	天然气	水力和核能
1950	61.2	26.9	10.1	1.8
1955	54.5	31.2	12.3	1.9
1960	49.9	33.0	14.9	2.1
1965	41.6	38.3	17.7	2.3
1970	34.9	42.9	19.8	2.4
1975	31.8	44.4	20.7	3.0
1980	30.6	44.1	21.8	3.5
1985	33.3	39.5	22.5	4.7
1990	32.4	38.7	23.9	5.0
1995	27.1	39.8	23.2	10.0

二、全球重要的石化能源

煤炭是全球重要的石化能源。专家们研究认为，世界能源的构成可分为三大类：石化燃料（又称矿物燃料），如煤、石油、天然气、油页岩等；核燃料，如裂变、聚变、海水中重氢的转换；其他能源，如太阳能、水力、地热能、海洋能、生物质能等。

从18世纪产业革命以来，在世界范围内，煤炭逐渐成为主要能源，如表1－1所示。后来，由于石油和天然气开采量不断加大，煤炭在能源利用中的地位退居第二位，一直延续至今。

为什么说煤炭是全球最重要的石化能源呢？

首先，煤炭是世界上储量最丰富的常规能源。专家们估算，煤约占地下埋藏石化燃料资源的90%以上，世界煤炭总储量约为10.8万亿吨，有的认为有16万亿～20万亿吨，甚至还有的认为地质储量可达30万亿吨。按现在的消耗水平，可用3000年以上。国际能源机构公布的探明可采储量如表1－2所示。

表1－2　石化能源可采储量

项目 / 品种	全球储量	中国储量	中国所占比例/%	中国占世界/%	人均储量比例/%
煤炭	10316	1145	11.1	3	51
石油	1383	33	2.4	11	11
天然气	139.7	1.7	1.2	19	5

注：煤、油储量单位为亿吨，气储量单位为万亿米^3。

由表1－2可知，当前世界煤炭可采储量为10316亿吨。90年代以来，世界煤炭产量为44亿～47亿吨之间。由此可见，按这种消耗水平，煤炭可采储量还可开采约240年。地质学家叶连俊教授于1980年在《光明日

报》上公布的世界地壳能源寿命估计，如表 1－3 所示。

表 1－3　世界地壳能源寿命估计表

能源名称	储量寿命	潜在储量寿命
铀	2000 年时将耗掉现有储量的 87%	
天然气	2000 年时将耗掉现有储量的 73%	
石油	不超过 25～40 年	
煤	不超过 30～190 年	150～250 年
油页岩及沥青砂	不超过 39～48 年	110～200 年

由表 1－2 和表 1－3 可知，煤炭的储量及服务年限都超过其他石化燃料。

其二，煤炭资源分布广，世界煤炭储量分布：亚洲 58%，北美 30%，欧洲 8%，澳大利亚 3%，南非约 1%。主要分布于 76 个国家和地区，60 多个国家进行煤炭规模性开采。在世界一次能源消费中，煤炭约占 30%。1991 年世界主要产煤国家中，煤炭在本国一次能源消费中的比例分别为：美国 23.1%，德国 33.2%，英国 30.6%，欧共体 22.4%，前苏联 24%，中国为 76.1%。

其三，石油、天然气储量比煤少，服务年限仅有 25～30 年。

其四，煤炭是世界经济发展的重要支柱之一。当今世界电力的 45%～50% 由燃煤电站提供，目前世界发电煤耗仍以每天 8 万吨的速度递增。1991 年美、英、德、加四国用于发电的耗煤比例分别是 87%、78.3%、63.5%、96.6%。据统计资料，煤炭衍生物可生产 2.5 万种工业产品。冶炼、电力、化工及民用工业等都离不开煤炭。

煤炭生产是世界各主要产煤国家就业和社会稳定的

重要保障。世界煤炭生产每年提供约1200万个就业岗位。美国每一个煤炭就业岗位可以为社会提供7个新的就业机会。

当前世界煤炭贸易（商品煤）产值约为1500亿美元。1994年世界煤炭贸易量达4亿吨以上（亚太地区为1.9亿吨），贸易额在160亿美元以上。亚太地区煤炭出口量已超过了欧洲。

其五，开发新能源前景光明，但需时间。太阳能、地热能、海洋能、生物质能等，能源潜力大，但多数处于萌芽试验阶段。按目前科学技术发展程度，新能源和再生能源要实现产业化，50年内很难形成。在今后50年内，核聚变能也不可能有较大面积的推广。新能源不可能代替常规能源，仅能补充10%左右。

世界能源委员会估测：2020年世界一次性能源的石油当量为171亿吨，其中煤炭为48亿吨石油当量，比90年代初期翻一番。因此，煤炭将再次登上世界第一能源的冠军地位。

三、我国主要的能源

煤炭是我国的主要能源。

经勘探查实，我国含煤面积为55万千米^2，煤炭探明储量为986300兆吨，其中相当于世界能源委员会定义的探明可采储量为114500兆吨，其中烟煤占75%，无烟煤占12%，褐煤占13%。我国煤矿遍及2/3以上的县市，全国煤炭储量分布如表1－4所示。由表1－4可知，煤炭的84%集中于我国的西北部。

我国煤炭探明可采储量114500兆吨，当前煤炭年

表 1－4　全国煤炭储量分布情况表　（单位：亿吨）

地　　区	累计探明储量	保有储量	生产、在建矿井占有储量	尚未利用精查储量
全国合计	10229	10038	1925	856
一、华北地区（不含内蒙古东四盟）	4673	4602	817	290
二、东北地区（含内蒙古东四盟）	769	728	212	186
三、华东地区	577	543	244	88
四、中南地区	319	290	133	38
五、西南地区	860	844	173	111
六、西北地区	3031	3031	346	143

产量 12 亿吨左右。按国民经济发展对煤炭的需求量推算，我国煤炭储量可开采约 500 年。

根据最近第二次油气资源评价，石油的总资源量为 940 亿吨，天然气资源量为 38 万亿米^3。油气资源的地理分布如表 1－5 所示。

表 1－5　油气资源的地理分布

地　区	石油资源量/亿吨	天然气资源量/万亿米^3
东北区	159	1.33
华北区	189	2.67
中部区	38.5	11.52
新疆区	205	10.75
海上	246	8.09

由表 1－5 可知，油气资源主要分布在华北、西北和东北地区。全国陆上天然气总储量中的 75% 集中于西北地区，约 22 万亿米^3。我国石油资源赋存情况如表 1－6 所示。

我国石油、天然气探明储量分布如表 1－7 所示。

表 1－6　石油资源赋存情况

深度/米	资源量/亿吨	比例/%
< 2000	127.5	18.37
2000 ~ 3500	356.4	51.35
3500 ~ 4500	103.2	14.88
> 4500	102.5	14.78

表 1－7　石油、天然气的探明储量

地　区	石油/亿吨		天然气/万亿米^3	
	总资源量	探明	总资源量	探明
渤海湾	188.4	71.69	2.12	0.52
松辽	128.9	56.23	0.88	0.26
塔里木	107.6	2.39	8.39	0.08
准噶尔	69.4	13.19	1.23	0.14
鄂尔多斯	19.1	4.97	4.18	0.19
四川	1.14	0.25	7.36	0.40
吐哈	15.8	1.76	0.37	0.06
柴达木	12.4	1.88	0.29	0.05

由表 1－7 可知，石油、天然气资源量探明程度很低，石油仅占 17%，天然气占 7%。即石油为 152 亿吨，天然气为 1.7 万亿米^3。世界能源委员会估计更低，石油为 32.6 亿吨，天然气为 1.127 万亿米^3。近期探明储量在增加，1998 年西部天然气累计探明储量已达 1.31 万亿米^3。我国目前石油产量为 1.5 亿吨，按回收率 30% 估计，则 32.6 亿吨石油储量供应不到 10 年的开采量。油气的潜力只能是加强勘探，提高回收率。因此石油、天然气接近枯竭。

我国水能资源丰富，全国蕴藏量达 6.76 亿千瓦，

可开采量达3.78亿千瓦，年发电量为19000亿千瓦时，居世界首位，但大部分集中于西南地区，占67.8%，中南地区占15.5%，西北地区占9.9%，华东地区占3.6%，东北地区占2%，华北地区占1.2%。当前我国水能开发利用仅为7.8%。水电建设投资大，工期长。

核能。铀是核能的基础。一座100万千瓦电站，每天烧煤9600吨，烧气为8万米^3，用U_{235}核燃料3.4千克，即1千克铀相当于2800吨的煤。我国铀资源储量约170万亿吨以上。一座100万千瓦级压水堆核电站，每年需换入低浓铀约30吨，折合天然铀约150吨，按发电机组运行寿命30~40年考虑，则每台100万千瓦机组全寿期加上首炉燃料消耗天然铀约5000~6500吨。据此推算，到2020年，要实现5000万千瓦装机容量，则需天然铀25万~33万吨。近期矿产预测，铀基本可以保证。

我国在一次能源的总资源中，煤炭占94.3%，石油、天然气占5.7%，煤炭是水力的3.3倍，是石油和天然气的17倍。近几年来，在我国一次能源消费中煤炭占75%左右，居主导地位，在未来50年内，煤炭的能源基础地位不会改变，煤炭工业是朝气蓬勃的支柱产业。

第三节　工业的粮食

一、我国能源消费构成

煤炭是工业的粮食，是人类生产、生活和社会发展的可靠物质基础。让我们回顾一下第一次能源革命：1765年，瓦特发明蒸汽机后，开始利用煤炭做燃料，

驱动火车、机器、轮船等，开创了工业、交通运输业等新型产业。后来又发明了以石油产品为燃料的内燃机。蒸汽机和内燃机的应用，极大地提高了人们利用能源的能力，构成了第一次能源革命，推动了社会前进。

19世纪70年代，人们成功地制造了电动机和发电机，后来又建立了中心电站，解决了长距离输电的问题。电能的应用构成了能源的第二次革命。当时，也是以煤为燃料，推动蒸汽机得到电力。电能应用开创了人类社会文明的新纪元，发明创造了电灯、电话、电报、广播、电影、电视等，从而极大地改变了人类生活方式。

上述两次能源革命都以煤为燃料，都依赖煤炭工业的发展。那么，现在煤的作用又如何呢？从表1－1可知，世界一次能源消费中，煤炭占30%左右。我国一次消费构成中，煤炭一直占70%以上，如表1－8所示。

表1－8　我国一次能源消费构成

年份	产量						产量构成/%			
	总量/兆吨	煤炭/兆吨	石油/兆吨	天然气/亿米^3	总发电量/亿千瓦时	水电/亿千瓦时	煤炭	油	气	水电
1950	31.74	43	0.20	0.07	46	7	96.7	0.9	0	2.3
1955	72.95	98	0.97	0.17	123	24	95.9	1.9	0	2.2
1965	188.24	232	11.30	11.0	67.5	104	88.0	8.6	0.8	2.6
1975	487.54	482	77.10	88.5	1958	476	70.6	22.6	2.4	4.4
1985	855.47	872.3	124.91	129.3	4017	924	72.8	20.9	2.0	4.3
1995	1290.34	1360.7	150.05	180	10070	1906	75.3	16.6	1.9	6.2

我国是当今世界上最大的煤炭生产和消费国，近50年内煤炭的主导地位不会改变，中国能源近50年的构成如表1－9所示。

我国专家对今后能源需求进行预测结果如表1－10

表 1－9　中国能源近 50 年的组成

能源名称	2000 年	2010 年	2030 年	2050 年
煤炭/%	73.67	68.22	54.05	48.6
石油/%	15.72	14.91	13.77	5.0
天然气/%	2.68	4.15	6.10	5.0
水能/%	7.36	9.24	9.87	19.4
核能/%	0.46	3.31	13.47	16.0
新能源/%	0.10	0.17	2.75	6.0

表 1－10　中国能源需求预测

项目＼年	1990	2000	2010	2020
总量/兆吨	1256	1670	2260	2794
煤炭/兆吨	1055	1400	1770	2100
石油/兆吨	115	200	260	320
天然气/亿米^3	215	350	1200	1600
水能/亿瓦	360	720	1100	1800
核能/亿瓦	—	27	200	400
生物质能/兆吨	267	250	309	367

所示。

由表 1－10 可看出，2010 年煤炭预计需求量 17.7 亿吨，2020 年煤炭 21.0 亿吨。发展煤炭工业在过去、现在和将来对国民经济发展都具有重要意义。正如列宁讲的："没有煤炭工业，任何现代工业和任何工厂都是不可设想的。煤炭是工业的真正粮食。没有这种粮食，工业就会陷于瘫痪；没有这种粮食，铁路运输业就会处于极悲惨的境地，无论怎样也恢复不了；没有这种粮食，各国大工业就会崩溃、瓦解，就会退到原始野蛮状态。"

二、煤炭是重要的化工原料

人们常常给煤炭以“乌金”、“工业的粮食”的美称。众所周知，煤可以作为燃料，冶炼钢铁、发电供暖、做饭等等。其实，把煤用作燃料是极大的浪费，太不合算了！煤炭是多种高分子化合物和矿物质组成的混合物。煤浑身是宝！

原煤，经过选煤厂洗选之后，得到精煤、中煤和尾煤。其精煤用于炼焦，焦炭用于冶炼及化工原料，同时还得到多种化工产品，如焦油、粗苯、硫氨、炭黑、煤气等。其中煤用于工业交通运输、发电等，这些行业产生的灰渣可综合利用。其尾煤可作燃料及综合利用。

煤的有机质部分的主要元素有C（碳）、氢（H）、氧（O）、氮（N）、硫（S）、磷（P）。根据煤中主要元素——C、H、O含量的测定，得出一套实验式，用元素表示煤的组成：

泥炭：$C_{16}H_{18}O_5$；褐煤：$C_{16}H_{14}O_3$；

烟煤：$C_{15}H_{14}O$；无烟煤：$C_{13}H_4$。

用化学方法加工，可得到各种化工原料。

泥炭，通过低温干馏，可得到半焦、焦油和煤气；如采用气化方法，可得到煤气；若采用炭化、活化方法，可得到活性炭等重要化工原料。

褐煤，是一种只经过成岩作用而变质作用不充分的煤。褐煤含水量较高，发热量较低，用途却非常广泛。褐煤在高温下，具有较强的化学反应性能。若采用成型焦化方法，可得到褐焦炭，广泛用于气化原料和冶金焦；若采用溶剂抽提法，则可得到褐煤蜡。褐煤蜡是制作涂料、油漆、橡胶添加剂、润滑油和高级蜡纸的原料；若采用低温干馏法，可得到半焦、煤气、焦油；若

采用气化法，可得到煤气；若采用炭化、活化法，可得到活性炭；若采用轻度氧化，可得到腐植酸，它可作肥料，改良土壤，促进农作物生长，褐煤腐植酸用于打地质钻中的泥浆调整剂，调节和维护泥浆的工艺性能，提高钻探效率；若采用液化，可得到优质动力液体燃料。

烟煤，经过高温炼焦，可得到焦炭、煤气、焦油等化学产品；若采用气化，则可得到煤气；通过低温干馏，可得到焦油、半焦及煤气；若采用炭化、活化法，可得到活性炭、分子筛；如采用加氢液化，可得到液体燃料及化工原料。

将固体煤加氢使之转化为液体燃料的技术，早在第二次世界大战期间就已研制成功。现在应用有效的煤液化法有溶剂精炼煤法（SRC－Ⅰ、SRC－Ⅱ）、氢煤法、供氢溶剂法（EDS法）等。采用这些方法均可利用褐煤、长焰煤和气煤等年轻煤种生产低灰低硫的高热值燃料；液化的重质产品可用于炼焦粘结剂及制造电极、碳纤维、碳化硅、电石等各种碳素材料，为冶金、化工及航天工业服务。

无烟煤，采用气化法，可得到煤气、合成气；如用团压法，可得到型煤，用作气化原料；若采用炭化、活化方法，可得到活性炭、分子筛及工业净化剂；若采用高炉喷吹，可代替焦炭，降低炼铁焦比。

焦炭用处非常广。除用作冶炼钢铁和其他金属外，还是非常重要的化工原料。如把焦炭、无烟煤和石灰石一起放在电炉里加热到1800～2000℃，可制成电石。电石与萤石等混合粉碎成细末，加热到800～1000℃进行氧化，就生成石灰氮，这是一种含氮量为35%的高效氮肥，水解后就生成尿素，还可用作杀虫

剂、除草剂等；利用石灰氮和电石，可以生产出聚氯乙烯、三氯乙烯、氯丁橡胶、三聚氰胺、维尼纶、醋酸、醋酸纤维等多种有机合成产品；用电石可以制作染料、溶剂、电影胶片、炸药、香料等；若在炽热的焦炭里通入水蒸气，可以得到水煤气，它的主要成分是一氧化碳和氢。如将水煤气中的氢分离出来，则可合成氨，是氮肥的主要原料。一氧化碳和氢的混合气体，用镍作催化剂可转变为甲烷；用氧化铬、氧化锌作催化剂可制成甲醇；用钴、铁作催化剂可得到合成汽油，同时产出固体石蜡。若将石蜡氧化可制成脂肪酸，用它可制成不怕硬水的超级肥皂，并得到人造油脂、醋酸、丁脂等产品。这些产品广泛用于制造食用香料、塑料、乳化剂、特殊涂料、印刷、医药等化学工业中。

煤焦油，含有480多种化学成分，主要有甲苯、苯、萘、蒽等。用焦油可制造炸药、染料、化肥、农药、塑料、合成纤维、合成橡胶、香料、电影胶片等产品。

专家们研究推算，从1000万吨煤中，可提供煤气32亿米^3、粗苯10万吨、焦炭770万吨、粗酚4000吨、粗吡啶550吨、萘1.8万吨、防腐油7万吨、沥青18万吨。若把煤加工成焦油能增值10倍，加工成塑料增值90倍，制成染料增值375倍，制成药品增值750倍，制成合成纤维则增值1500倍！

从煤中可以提取硫和微量元素三四十种。例如每吨煤中可回收锗20克、镓30～50克。我国褐煤和年轻烟煤中富集铀、钒、镓、锗等稀散元素。这些稀散元素都是工业和国防工业不可缺少的贵重金属。

三、水煤浆——煤代油新型燃料

明代杰出科学家宋应星在《天工开物》中讲："炎

平者曰铁煤，用以冶锻，入炉先以水沃湿”。明代李诩在《戒庵老人漫笔》中记载：“北京诸处多出石炭，俗称水和煤，炭之可和水而烧也。”可见，一些煤在燃烧时先加一些水，可使炉火燃得更旺。我国古代早已掌握了水分与煤混合燃烧技术。

水煤浆的研制始于1973年，当时美国学者弗迪克在一次试验中，发现粒度小于7毫米的炼焦煤，与水混合可以在环形管内呈悬浮的煤浆。这种煤浆可保持3个月不沉淀。这是因为经过浮选的煤的表面粘有乙醇或煤油，可以形成小气泡，能形成悬浮煤浆。但这种水煤浆还不像油那样稳定、均匀及流动。之后，美国、日本的科学家研究成功了水煤浆药剂——煤浆添加剂。一种以煤代油的新型燃料——水煤浆问世了。

1983年，国家教委将“水煤浆的制备、储运和燃烧技术”列为重点攻关项目，并在中国矿业大学实验室研究成功，很快发展到工业性试验。我国已在抚顺矿务局建立了水煤浆制备厂，年产5万吨水煤浆。枣庄矿务局八一制浆厂，年产2万吨水煤浆。

水煤浆的原料为优势精煤，灰分小于8%，成浆后的低位发热量为18810千焦/千克以上。如何制作水煤浆呢？先将低灰精煤粉碎得到细粒煤粉，通过各个粒度级匹配，再加水和添加剂，经搅拌而成。水煤浆中的固体煤粒与水的比例大约为7:3，其中1%为添加剂。添加剂的作用是使固体煤粒与水能融溶在一起，不易分开。添加剂分子的一端拉着煤分子，另一端拉着水分子。这样才可使水煤浆较长时间不发生沉淀，使用时像石油一样很好地流动、排泄、泵送、雾化和燃烧。

水煤浆是煤代油的新型液体燃料，有广阔的发展前景。在石油、天然气接近枯竭的时代，水煤浆将会发挥

巨大作用。

四、煤层气

煤层气是煤层形成过程中经过生物化学及物理作用生成的以甲烷为主的烃类气体。煤层气平均成分为：甲烷占93.2%、重烃占2.6%、二氧化碳占3.1%、氮占1.1%；平均发热量为37兆焦/米^3。是一种高效、优质、清洁的燃料。

煤层气在煤中赋存的状态：（1）吸附在煤孔隙的内表面上；（2）以游离态分布在煤的孔隙中，其中大部分存在于裂隙中；（3）溶解于穿过煤层而且流动的地下水中。一般情况下，煤化作用过程中生成的气体，首先满足吸附，然后是游离和溶解折出。在一定温度和压力下，这三种状态的气体处于统一的动态平衡体系中，又称瓦斯。

就煤层气藏而言，煤层既是气源岩，又是储集岩。煤层是一种有机质高富集的可燃有机岩石，是多孔介质。煤储层是一种具有双重空隙结构的裂隙——孔隙型储层，具有空隙性、渗透性、饱和性及毛细管性。煤的裂隙和孔隙发育，吸附力强，比表面积大，每吨煤的内表面积高达1亿~4亿米^2。覆岩压力和地下水压力，封闭煤基质中所吸附的甲烷，形成煤层气藏。

煤层气的主要成分为甲烷(CH_4)。甲烷的临界温度为-82.7℃，只要温度比-82.57℃高，不管压力加到多大，都不能将甲烷转化为液体；当温度等于-82.57℃，压力升到4.6兆帕时，甲烷才开始变为液体。因此，在常温下，不可能将甲烷液化。

煤层气在泥炭化作用和煤化作用的全过程中，都

有煤层气生成。根据煤有机质热演化程度的不同，煤的生成可划分未成熟、成熟、过成熟阶段。相应各个阶段生成的煤层气分别为生物气、热解气和裂解气。生物气是在泥炭至褐煤阶段生成的，主要成分为甲烷，极少含有重烃物质。这时期，1 吨褐煤形成时可产生 38～68 米^3 煤层气。热解气是长焰煤至瘦煤阶段生成的，主要成分为甲烷，但重烃（乙烷、丙烷）明显增加。在焦煤和部分肥煤阶段是重烃产率最高的时期。裂解气是在贫煤至无烟煤阶段生成的，主要成分以甲烷为主，重烃含量极少。这段时期，1 吨无烟煤能产生 346～422 米^3 煤层气。

我国煤层气资源十分丰富，初步勘测储量为 30 亿～35 亿米^3。近些年来，煤矿井下抽放煤层气每年达 6 亿米^3 以上。迄今，全国已钻成煤层气勘探和生产的实验井 100 余口，最高日产气量达 1 万米^3 以上。规划到 2010 年煤层气产量力争每年达到 100 亿米^3 以上，为 21 世纪提供清洁能源。

第2章

21 世纪学科发展丛书

煤海沧桑

第一节　太阳的杰作

一、乌金何处来

“乌金”、“黑色的金子”这是人们对煤炭的赞美。那么，乌金——煤是怎样形成的呢？

众所周知，煤是古代植物沉积后经成煤作用生成的，也是一种储存下来的太阳能。古代成煤植物吸收了太阳能，繁茂成林，死亡后沉积在泥潭沼泽中，经过地层覆盖、成岩、变质形成煤炭；其间要经过几千万年甚至数亿年的漫长岁月。

煤是古代植物遗体经成煤作用后转变成的固体可燃矿产。从植物死亡、堆积到转变为煤的演变过程，以及在这个演变过程中经受的各种作用，称为成煤作用。

成煤作用大致可分为两个阶段。

第一阶段：泥炭化阶段。

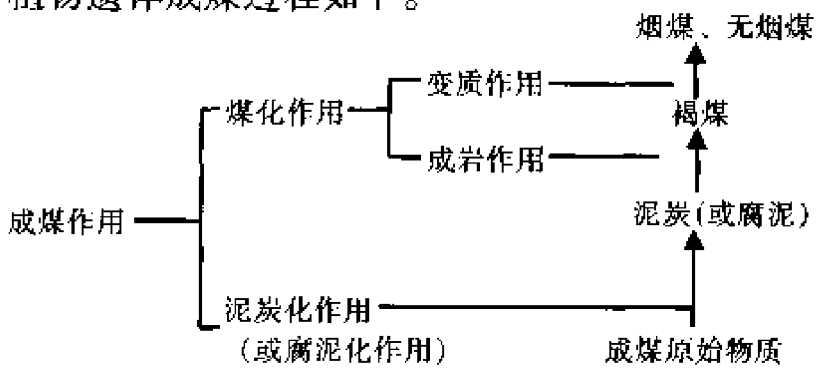
亿万年前，地球上气候温暖潮湿，在泥炭沼泽、湖泊及浅海滨岸到处植物繁茂。植物不断繁殖、生长和死

亡堆积在水中，新植物又生长起来。这样，一批一批的植物生长、死亡和堆积，在水中的植物就越堆越厚。植物遗体在水中经“厌氧菌”的生物作用，不断分解、化合和聚积。这一阶段主要是生物地球化学作用，结果使高等植物形成泥炭，低等植物形成腐泥。因此，成煤作用的第一阶段称为泥炭化或腐泥化阶段。

第二阶段：煤化作用阶段。

随地壳的沉降，已经形成的泥炭或腐泥上面的覆盖物越来越厚，泥炭或腐泥经过高温高压作用，泥炭层压紧失水，碳(C)含量增加，氢(H)、氧(O)、氮(N)含量逐渐减少，体积压缩到原来的1/5～1/10，经过复杂的物理化学作用，就形成了褐煤。泥炭或腐泥被掩埋后，在压力、温度等因素作用下，转变为褐煤的作用，称为成岩作用。褐煤形成后，如果地壳仍不断下沉，在温度和压力不断增高的物理化学作用条件下，褐煤内部的分子结构、物理和化学性质等随之而变化，碳(C)含量相对增多，氢(H)、氧(O)、氮(N)含量进一步减少，腐植酸完全丧失，形成烟煤，并进入变质阶段。如果烟煤受到更高的温度和压力的长期作用，就会变质为无烟煤。褐煤在地下受温度、压力、时间等因素的影响，转变为烟煤或无烟煤、石墨等的地球化学作用称为变质作用。煤的成岩作用和变质作用，合称为煤化作用。

植物遗体成煤过程如下。



在地球演变的历史进程中，某些地域必须同时具备以下条件，且彼此相互配合，持续时间长，才可能形成有开采价值的煤层：

第一，温暖潮湿利于植物生长和繁殖的适宜的气候条件。

第二，植物的大量繁殖是成煤的必要条件。

第三，大面积沼泽化的自然地理环境。

第四，地壳运动的良好配合。地壳运动影响聚煤盆地中泥炭层的形成、保存和转化。泥炭层的形成要求地壳缓慢下沉，其下沉速度大致等于植物遗体的堆积速度，这种均衡状态持续越久，形成的泥炭层越厚。如果地壳下沉速度大于植物遗体堆积速度，则沼泽水体不断加深，聚煤作用中断，泥炭层就被泥沙覆盖，遂形成煤层顶板或夹矸。反之，地壳下沉速度小于植物遗体堆积速度，则泥炭层面不断升高，在“喜氧菌”作用下，泥炭就会遭到风化剥蚀不能成煤。如果地壳下沉速度时快时慢，则可能形成煤层群。

二、遥远的成煤年代

地球形成迄今已有45亿年以上的历史。地球不断地运动、发展，地壳也不断变动。在不同的地质历史时期，有不同的生物、矿物资源的形成和发展。为便于矿产资源的寻找和开发，对地层建立了统一的名称和地质年代，如表2－1。地质年代是将地球史从古至今划分为两个宙、五个代：隐生宙包括太古代、元古代；显生宙包括古生代、中生代和新生代。代又分为纪，纪又分为世。宙、代、纪、世是国际统一的地质年代单位。与地质年代单位相对应的地层单位是宇、界、系、统，它是国际统一的地层单位。

人类社会的历史以年为计算单位，而地球的历史是以百万年为计算单位的，后者是前者的100万倍。由表2－1可知，距我们最近的一个时代就是新生代。新生代又分为三个纪，其中的第四纪至现在只有200万～300万年的历史。我们人类祖先就是在这个时期出现的。

地质历史中形成煤炭资源的时期，称为聚煤期或成煤期。在我国地质历史上，曾多次出现过利于成煤的地质条件。地球历史上最早一个代叫太古代。这个时代，最低等的原始生物刚刚产生，没有植物，谈不上煤的生成。元古代，我国最古老的煤——石煤，就在这个时代生成。石煤的年龄最大，而灰分很高。

古生代的石炭纪、二叠纪，孢子植物繁盛，是主要聚煤期之一。这个时期形成的煤田有开滦、井陉、峰峰、本溪、太原、淮南、焦作、平顶山、淄博、贵州西部、兖州、徐州等。这些煤田的煤的年龄有2.7亿～3.5亿岁了！

中生代的侏罗纪，裸子植物繁茂，是主要聚煤期之一。这个时期形成的煤田有大同、阜新、鹤岗、新疆、北票、萍乡、门头沟、辽源、鸡西等。这些煤田的煤的年龄也有1.3亿～1.8亿岁了！

新生代的第三纪，被子植物繁茂。这个时期形成的煤田有抚顺、云南小龙潭、台湾省的新竹等。这些煤田的煤虽是煤中之小弟，但年龄也有200万～6000多万岁了！

现在世界上绝大多数的煤，都是在古生代的石炭纪和二叠纪、中生代的侏罗纪、新生代的第三纪形成的。

因各煤田形成的具体环境和条件不同，所以各煤田的范围大小、煤层数目、煤层间距、储量以及埋在地下的赋存状态等差别甚大。要想把煤采出来，就必须弄清

与煤层相关的岩层及其赋存情况。

表 2-1 地质年代(地层年代)表

时代及相应的地层				距今年龄(百万年)	生物开始繁殖时期	
宙(宇)	代(界)	纪(系)			植物	动物
显生宙(宇)	新生代(界)(Kz)	第四纪(系)(Q)		2	被子植物大量繁殖,为成煤提供原始物质	古人类出现哺乳动物
		第三纪(系)(R)	晚第三纪(系)	22.5		
			早第三纪(系)	65		
	中生代(界)(Mz)	白垩纪(系)(K)		137	被子植物裸子植物极盛,为成煤提供原始物质	爬行动物
		侏罗纪(系)(J)		195		
		三叠纪(系)(T)		230		
	古生代(界)(Pz)	晚古生代(界)	二叠纪(系)(P)	280	裸子植物孢子植物极盛,为成煤提供原始物质	两栖动物
			石炭纪(系)(C)	350		
			泥盆纪(系)(D)	400		
		早古生代(界)	志留纪(系)(S)	440	裸蕨植物海藻大量繁殖,为石煤的形成提供原始物质	鱼类无脊椎动物
			奥陶纪(系)(O)	500		
			寒武纪(系)(E)	610		
隐生宙(宇)	元古代(界)(Pt)	震旦纪(系)(Z)		2500	菌藻类	
	太古代(界)(Ar)			4500		

三、含有化石的沉积岩

地壳是由岩石组成的，岩石是由矿物组成的。根据成因可分为岩浆岩、沉积岩和变质岩。煤就赋存在沉积岩中。

沉积岩是在地壳表层环境中常温常压条件下形成的岩石。它主要由暴露于地表的已经形成的岩石（岩浆岩、变质岩和沉积岩）经受外力地质作用（风化及剥蚀），被破碎或分解成碎屑物质和可溶物质等，经流水和风的搬运作用，沉积、压紧、胶结，变成坚硬的岩石。组成沉积岩的物质中，还有大量的生物遗体、火山喷发物质及宇宙物质等。这样就形成了沉积岩。

沉积岩的重要特征是具有层理。因先后沉积的物质的成分、粒度、颜色等均不相同，故沉积岩就出现成层现象，称为层理。岩层是沉积岩系的基本组成单位。同一岩层具有基本均一的成分、颜色、结构和层理构造。岩层与岩层之间的界面谓之层面，上者为上层面，下者为下层面。上下岩层面之间的垂直距离称为岩层的厚度。岩层常以岩性命名，常见的沉积岩有砾岩、砂岩、泥岩、粘土岩、石灰岩及煤层等。

沉积岩中含有结核和化石也是沉积岩的重要特征。结核是一种成分、结构或颜色与围岩截然不同的矿物集合体。结核在沉积岩中有时呈团块状、椭球状或不规则的块状。在煤层上下的石灰岩中常可见到燧石结核。在煤层或煤层顶底板的碳质页岩中，也常见到黄铁矿结核、菱铁矿结核等。在抚顺矿务局的煤层中常见到煤精。煤精是一种由藻类等低等植物和某些高等植物的残体联合组成的腐植泥煤。煤精质地均匀致密，色黑而乌亮，质轻却韧性大，用它雕琢的工艺美术品美观大方，

光泽细腻，朴实古雅。在抚顺煤层中也发现有琥珀。琥珀是一种树脂化石。远古的森林沉积深埋地下，经过几千年的生物、物理、化学等一系列地质作用，树的木质部分变成了煤，而各种植物分泌出来的树脂则变成了琥珀。琥珀的颜色有血红色、金黄色、褐色及黄色。有的琥珀里面包裹有昆虫、白蚁、苍蝇等，有的展示出被树脂体胶粘时的形态，千姿百态，栩栩如生！

含煤岩系，是指含有煤层并有成因联系的沉积岩系。它是在一定的古地理、古构造及古气候条件下形成的一套具有共生关系、多相组合的沉积物。因此，它具有独特的沉积特征，富含植物化石。其颜色多呈灰色、灰绿或灰黑色。在煤层的顶底板常见到植物枝叶、根茎等化石。煤系岩石常有砾岩、粘土岩、碳质泥岩、石灰岩、铝土岩、油页岩、赤铁矿等。

沉积岩在地壳表层分布最广，其覆盖面积占地表总面积的75%。有许多重要矿产资源，例如煤、油页岩、盐矿、铝土矿、石油、天然气、沉积铁矿等都储集在沉积岩中。据统计，当前全世界每年开采的矿产资源有75%来自沉积岩。

四、煤的孪生兄弟

我国含煤岩系中，与煤层伴生的有膨润土、油页岩、铝土矿、铁矿、钾矿等。因此，人们称这些伴生矿产是煤的孪生兄弟。

膨润土，常与煤层伴生。煤系地层中的粘土岩，在弱酸性沉积环境下，形成絮凝或非絮凝的高岭土，在成岩作用期间，由于各种原因，改变了岩石孔隙水的酸碱值和离子浓度，使高岭土转变为蒙脱石，从而形成膨润土。广西宁明膨润土是在古湖泊中沉积的。宁明膨润土

矿的矿床面积达20千米^2，总储量5亿吨以上，矿体有10层，单层厚度为0.6～5米。膨润土具有良好的粘结性、吸附性、催化活性、触变性、悬浮性和阳离子交换性等。因而广泛用作粘结剂、吸附剂、吸收剂、填充剂、催化剂、触变剂、洗涤剂、增稠剂等，已在许多部门广泛应用。

油页岩是一种固体可燃有机岩，主要由藻类等低级生物腐泥作用形成，其形成环境与成煤环境相似，常与煤伴生。抚顺第三纪煤系中伴生的油页岩储量大，是抚顺炼油厂的主要原料。油页岩由碳、氢、氧、氮、硫等元素所组成，与煤相同，但发热量仅为煤的1/5～1/2。油页岩主要用于提炼石油和化工原料。

铝土，又名铝矾土矿。铝土矿主要由一水硬铝石、一水软铝石及三水铝石等矿物组成。我国华北石炭二叠纪煤系地层中赋存有铝土矿，层厚1～2米，最厚达10米，如阳泉的铝矾土矿等。铝矾土是提炼铝的重要原料，也是制耐火砖的重要原料。

我国煤系地层中，常伴生有菱铁矿、褐铁矿和赤铁矿。菱铁矿形成环境与煤层相似，常赋存在煤层顶底板附近，呈薄层状、透镜状等。如四川等地中生代中有“威远式”菱铁矿，一般以结核状赋存。华北地区石炭二叠纪煤系地层中赋存有“山西式”赤铁矿和黄铁矿伴生，矿体呈鸡窝状。重庆、贵州等地侏罗纪煤系地层中赋存有“綦江式铁矿”。铁矿石主要用于冶炼及化工原料。

与煤伴生的还有钾、锰、磷等。如华东地区，矿床由含钾长石砂岩、煤层等组成，主要用于生产钾肥。在贵州等地的晚二叠纪煤系地层中，煤层底板的黑色粘土页岩与菱铁矿伴生，形成锰铁矿。当锰含量高时，用于

冶炼锰；当锰含量低时，用作炼钢熔剂。煤中的稀散元素如锗（Ge）、镓（Ga）、铍（Be）、锂（Li）、钒（V）、铀（U）等在电子工业、宇航及原子能等尖端技术中广泛应用。

五、标准煤与煤质指标

标准煤，又称“煤当量”，国际能源的统一计量单位。凡能产生29.27兆焦低位热量的任何能源均可折算为1千克标准煤。

煤的种类很多，各种煤的品位、质量及发热量均不相同。我国规定，对煤质进行评价的常用指标有煤的工业分析（如测定水分、灰分、挥发分及固定碳）和工艺性质（如粘结性、发热量等）等。

1. 水分（*W*）

煤中含有一定水分。根据水在煤中的存在状态，分为内在水分和外在水分。内在水分是指吸附和凝聚在煤粒内部毛细孔中的水分。外在水分是在煤炭采、运、储存及洗选过程中附在煤粒表面的水分。煤的内在水分和外在水分的总和称为全水分。这是评价煤质的基本指标之一。

2. 灰分（*A*）

煤的灰分是煤样在规定条件下完全燃烧后所剩得的残留物。灰分越低煤质越好。按煤中灰分多少，可将煤分为低灰分煤（灰分小于15%）、中灰分煤（灰分等于15%～25%）和高灰分煤（灰分大于25%）。煤的灰分增加运费，降低发热效率，影响煤的工业用途。因此，煤的灰分是评价煤质的主要指标之一。

3. 挥发分（*V*）和固定碳（*FC*）

煤在隔绝空气的条件下加热到（900±10）℃并经7

分钟后，从煤中有机物质分解出来的液体和气体产物称为挥发分。其主要成分是甲烷、氢及碳氢化合物等。煤中挥发分产率因煤的成因类型及煤的变质程度而变化。腐泥煤的挥发分为 60% ~ 90%，褐煤为 40% ~ 55%，烟煤为 10% ~ 50%，无烟煤挥发分小于 10%。煤的挥发分反映煤中有机物质的性质及煤的许多重要特征。所以它是评价煤质的重要指标。

在测定挥发分时，残留的固态产物称为焦渣。焦渣的形状和特征反映了煤的粘结、熔融和膨胀性能。从焦渣中减去灰分后的残留物称为固定碳，其化学成分主要是碳元素。

4. 发热量（Q）

煤的发热量是指单位质量的煤在完全燃烧时放出的热量，其单位常用千焦/克或兆焦/千克。它是计算热平衡、耗煤量和热效率的依据。煤的发热量随其变质程度增高而增高，随灰分和水分增加而降低。

5. 胶质层厚度（Y）

胶质层厚度是反映煤的粘结性的指标。凡是有粘结性的煤，在隔绝空气条件下加热到一定温度（350℃以上），其有机质开始分解、软化成胶质体，然后随温度继续升高（510℃以上）胶质体又固结成多孔的半焦，最后形成焦炭。在此过程中，煤的粘结性越强，其胶质层厚度越大。因此，可用胶质层最大厚度值来表示煤的粘结性。煤的粘结性是评价炼焦用煤的主要指标。

6. 粘结指数（$G_{R \cdot L}$）

粘结指数也是反映煤的粘结性的指标。粘结指数测定方法是：用 1 克煤样与 5 克标准无烟煤，混合后快速加热炼成焦炭，称其总重为 g，然后将焦块放在特制的转鼓内转动两次，每次 5 分钟，每次转磨后用 1 毫米的

圆孔筛筛分，并称筛上大于1毫米的焦粒重量分别为 g_1 和 g_2，则

$$G = 10 + \frac{30g_1 + 30g_2}{g}$$

当测得的 G 小于18时，煤样和标准无烟煤的配比为3克:3克，测定方法同前，则

$$G = 10 + \frac{30g_1 + 70g_2}{5g}$$

同胶质层厚度一样，许多煤的用途均用粘结性指标。

7. 合矸率

合矸率是指矿井所产煤炭中大于50毫米的矸石重量占全部煤量的百分率。

第二节　形态各异的煤层

一、煤层赋存状况

要想开采煤炭，必须了解煤层在地下的赋存状况。

首先让我们看看煤层的形状。煤层在生成初期，一般是水平或近水平层状形态，在一定范围内连续完整。由于地壳运动，煤层和它周围的岩层发生了变形和变位，造成不同程度的破坏。煤层由层状变成了非层状，如串珠状煤层、鸡窝状煤层、煤层分岔、尖灭等，如图2－1所示。

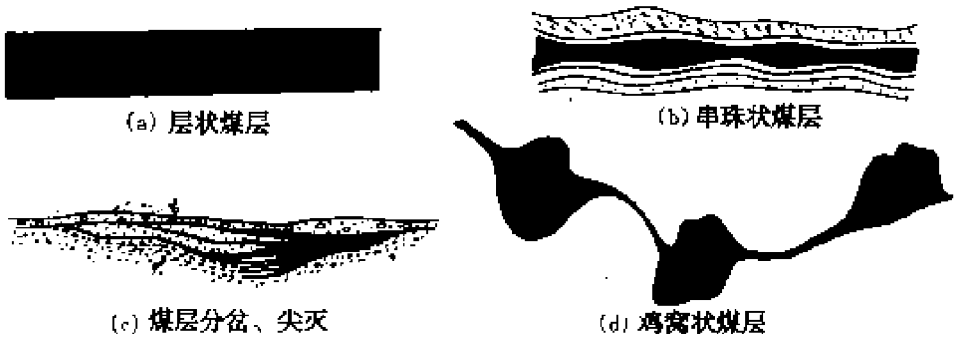
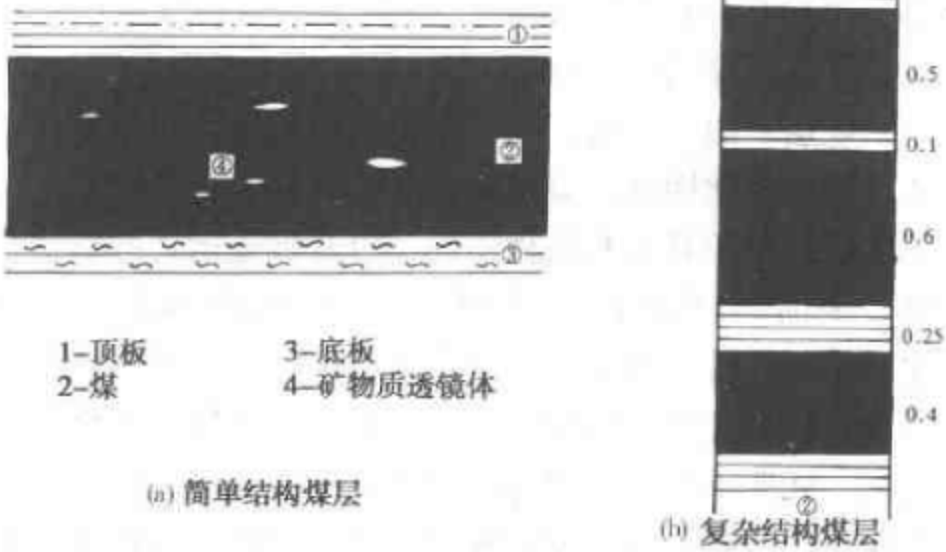


图2－1　煤层的形状

其二，再看看煤层的结构。煤层结构是指煤层中夹矸的数量和分布特征。煤层中，有时含有厚度较小的岩层，这些岩层称为夹矸。根据煤层中有无较稳定的夹矸层，将煤层分为两类：煤层中不含夹矸或夹矸很少，但可能有较小的矿物质结核的煤层称为简单结构煤层；含夹矸层较多的煤层称为复杂结构煤层。如图 2－2 所示。



←图 2－2 煤层的结构

其三，煤层的顶板与底板。赋存在煤层之上的邻近岩层，称为顶板。赋存在煤层之下的邻近岩层，称为底板。

二、煤层的厚度变化

人们都称抚顺露天矿是个“煤海”，那么“煤海”的煤层有多厚呢？

煤层顶板与底板之间的垂直距离称为煤层的厚度。地质勘探发现：新疆东部沙尔湖地区最厚一层煤达 163.3 米；云南小龙潭煤矿的煤层平均厚度为 116 米，最厚处达 222 米；抚顺的煤层平均厚度为 36 米，最厚

处达120米以上。因此，称这些厚煤层所在地区为“煤海”。勘探还发现：澳大利亚维多利亚煤田的厚煤层达240米。

其实，上述这样厚的煤层毕竟是很少的。一般煤层厚度在数米之间，有的煤厚只有几厘米，被视为“煤线”，它可以起到指示层位的作用。

煤层厚度分为总厚度和有益厚度。总厚度包括所有煤分层和夹矸层厚度总和。有益厚度是煤分层厚度的总和，不包括夹矸层厚度。如图2－2所示的复杂结构煤层，其总厚度为1.85米，有益厚度为1.5米。

煤层一般呈层状，在一定范围内连续，厚度变化不大，变化规律明显，煤层结构简单，称为稳定煤层。由于煤层的沉积环境和条件不同，以及地壳运动的影响各异，因而煤层厚度变化很大。如果煤层厚度有一定变化，但规律性较明显，结构简单，大范围可采，可采范围内厚度变化不大的煤层，称为较稳定煤层。若煤层变化大，无明显规律，且煤层结构复杂的煤层，称为不稳定煤层。若煤层厚度变化极大，呈鸡窝状，不连续，很难找到规律，可采段分布零星的煤层，称为极不稳定煤层，如图2－1(c)、(d)所示。

煤层厚度及其变化对采煤方法和设备选型影响甚大，必须对煤层进行分类。

根据当前的开采技术条件，我国将煤层按厚度分为三类：

薄煤层　　最小可采厚度至1.3米；
中厚煤层　　1.3～3.5米；
厚煤层　　3.5米以上。

现代技术和经济条件下，可开采的最小煤层厚度，称为煤层最低可采厚度。主要取决于煤层产状、煤质、

开采方法和当地对煤需要程度。我国煤层的最低可采厚度如表 2－3 所示。

表 2－3　煤层最低可采厚度

煤种	倾角		
	<25°	25°～45°	45°
炼焦用煤	0.60 米	0.50 米	0.40 米
动力用煤	0.70 米	0.60 米	0.50 米
褐煤	0.80 米	0.70 米	0.60 米

煤层厚度为何差别如此之大？原来，植物在沼泽中形成泥炭时，地壳下沉的速度正好与植物遗体不断堆积的速度一致，地壳下沉的空间正好被植物遗体填补上，于是泥炭层越积越厚。这种“平衡”关系，直到植物遗体堆积停止才中断。此种情况下形成很厚的煤层。若泥炭堆积速度与地壳下沉一致的时间短，之后地壳下沉速度又大于泥炭堆积速度，形成的煤层就较薄。还有一个问题：为何同一煤层有厚有薄呢？这主要是泥炭沼泽基底的高低不平；成煤期间沼泽基底下沉不均衡；河流及海水冲蚀；地壳运动使煤层变为褶皱和断层等地质构造，在运动的挤压下发生塑性流变；岩浆侵入煤层侵蚀煤层等等。掌握煤层厚度变化的规律，对于煤炭开采有重要指导作用。

三、煤层的产状要素

煤层形成初期一般是水平状态的，因地壳运动使煤层和岩层变倾斜了。煤层在地下的空间状态及特征如何描述呢？通常用煤层的走向、倾向及倾角来描述。煤（岩）层的走向、倾向及倾角叫做煤层的产状要素。煤层的产状要素如图 2－3 所示。

走向　煤层层面与水平面的交线叫走向线。走向线

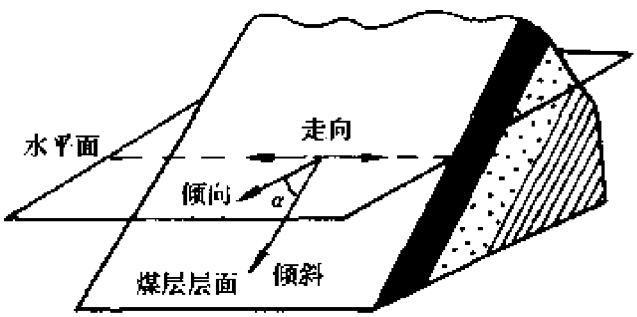


图 2-3 煤层产状要素

延伸的方向称为走向。走向通常用走向线的方位角表示，如东西走向、南北走向等。

倾向　煤层层面上与走向线垂直向下的倾斜线的水平投影所指的方向。

倾角　煤层或岩层层面与水平面之间的夹角叫煤层或岩层的倾角。倾角变化在 0°～90°之间。煤层倾角越大开采越困难。因此，必须按倾角大小分类。

根据当前的开采技术水平，我国将煤层按倾角分为四类：

近水平煤层：小于 8°；

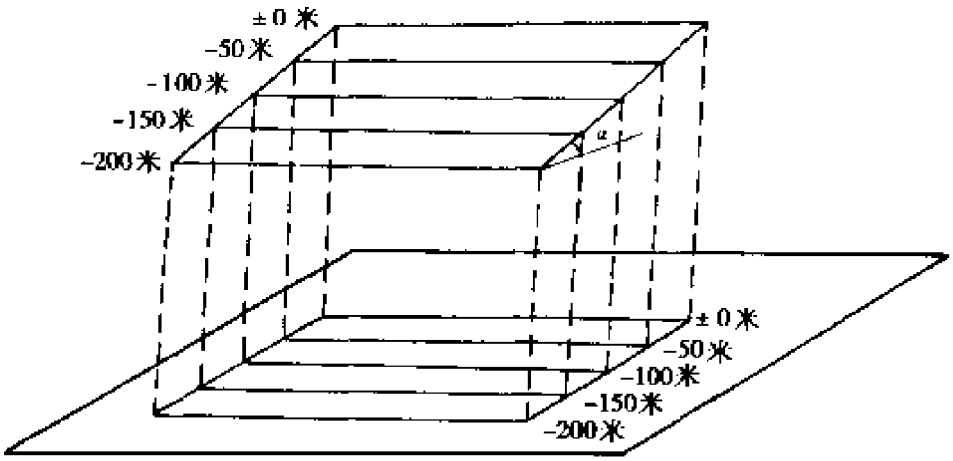
缓倾斜煤层：8°～25°；

中倾斜煤层：25°～45°；

急倾斜煤层：45°～90°。

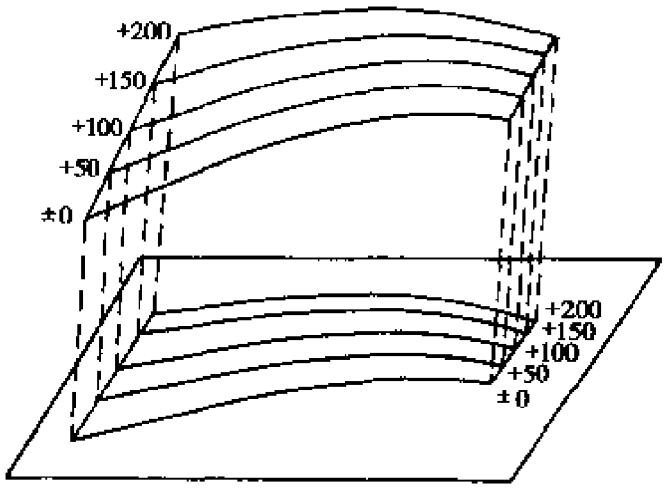
如果煤层为一平整长方块，与水平面的夹角为 α，如图 2-4 所示。煤层的上部标高为 ±0 米，下部标高为 -200 米。用一定间隔（如 50 米）的水平面，切割煤层的底面，得出一组走向线，此处为 5 条，把这一组走向线投影到一个水平面上，得到的图形就叫煤层底板等高线图。上下两个水平面间的垂直距离称为等高距。图 2-4 上的等高距为 50 米，走向线 5 条。由于煤层为一平整长方块，所以煤层底板等高线图也是个长方形，其长度与煤层走向相等，其宽度比煤层倾斜长度小。如果煤层倾斜长度为 H，则煤层底板等高线图上的宽度为 $H \cdot \cos\alpha$。

如果煤层不是长方块，其底板等高线图就不是长方



← 图 2-4 煤层底板等高线图概念之一

形了，如图 2-5 所示。从图 2-5 可以看出：左边煤层倾角较小，而底板等高线图上的等高线间距较大；右边煤层倾角较大，而底板等高线图上的等高线间距就较小。图 2-5 表示等高距为 50 米，等高线为 5 条。



← 图 2-5 煤层底板等高线图概念之二

要真正画出煤层底板等高线图，还要靠钻探资料。如图 2-6 所示，为了勘探煤层，在该地区布置 4 条勘探线，共打 12 个钻孔。每个钻孔只见一个煤层，其煤层底板标高如图 2-6 中所示。普查已掌握煤层露头为 +20，煤层风化带从 +20 至 ±0。图中勘探线及钻孔位置、煤层底板标高已知道，据此资料，用插入法即可画出煤层底板等高线图。

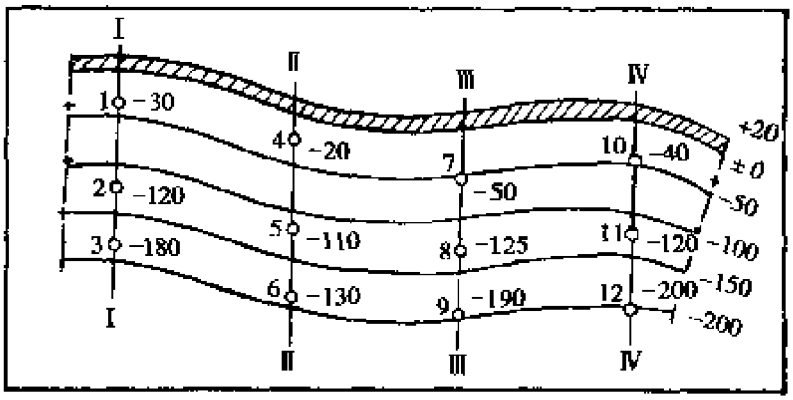


图 2-6 煤层底板等高线图概念之三

四、褶皱与断层

由于地壳运动而造成的煤层和岩层的空间形态，称为地质构造。常见的地质构造有褶皱构造与断层。

褶皱构造　煤层及岩层受到水平挤压后，变成弯曲形状，但仍保持其连续性，这种构造形态称为褶皱构造，如图 2-7 所示。

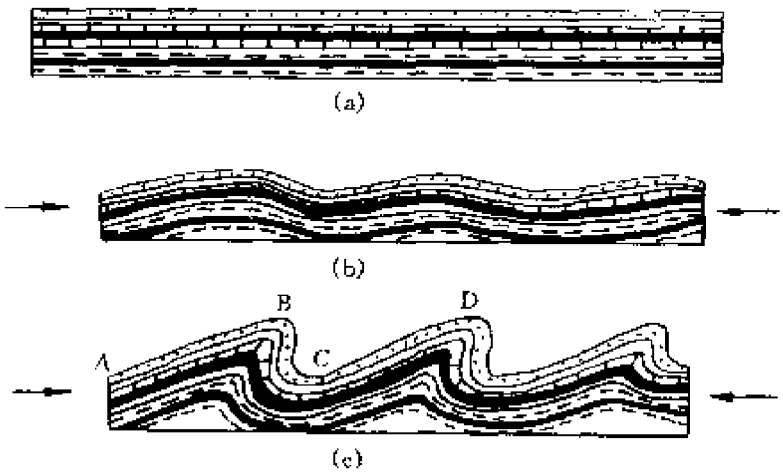


图 2-7 褶皱构造形态示意图

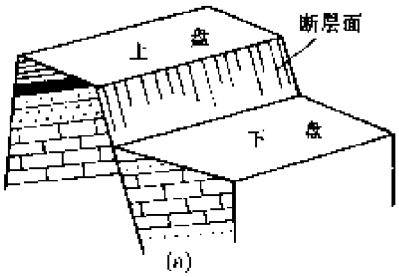
褶皱构造的基本单位叫褶曲，即褶皱构造中的单个弯曲。褶曲的基本形态是背斜和向斜。背斜是岩层层面向上凸起的弯曲，向斜是岩层层面凹下的弯曲。背斜和向斜在位置上往往是彼此相连的。背斜中心部分是老岩层，两侧岩层渐新。反之，向斜中心部分为新岩层，而

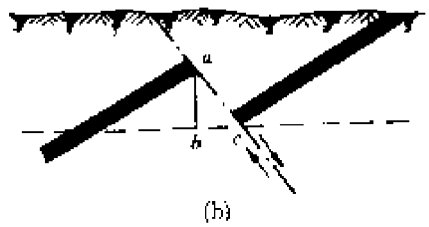
两侧岩层依次渐老。

断层　煤层或岩层受地壳运动作用力，若作用力超过煤（岩）层的强度，就会产生断裂，失去了连续性和完整性的构造形态称为断裂构造。断裂后两侧岩层发生了明显位移的断裂构造称为断层。断层对煤矿开采影响很大。

为描述断层的性质、位置及空间形态，我们用断层面、断盘、断距等断层要素来描述，如图 2－8 所示。

断层面：岩层沿之断裂滑动的面。断层面可能是平面，也可能是曲面，如图 2－8(a)示。





← 图 2－8　断层示意图

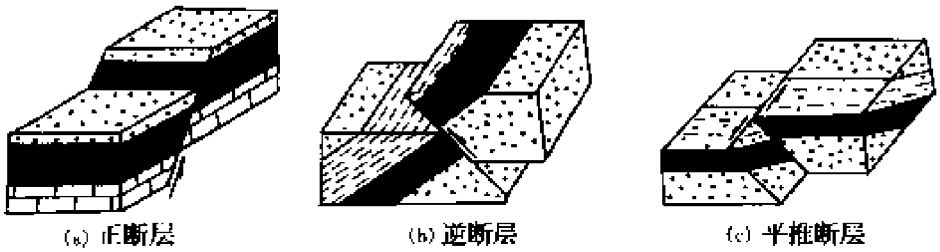
断盘：断层面两侧的岩层或岩体。当断层面倾斜时，位于断层面上方的断盘称为上盘；位于断层面下方的断盘称为下盘。

断距：断层两盘相对移动的距离。断距可分为垂直断距（又称落差）和水平断距，如图 2－8(b)所示。

根据断层上下盘相对移动的方向，可分为：

正断层：岩层断裂后，上盘相对下降，下盘相对上升，如图 2－9(a)所示。

逆断层：岩层断裂后，上盘相对上升，下盘相对下



← 图 2－9　断层类型

降，如图 2－9(b)所示。

平推断层：断层两盘沿水平方向移动，如图 2－9(c)所示。

断层使煤层不连续，在煤层底板等高线图上的表示法如图 2－10 所示。

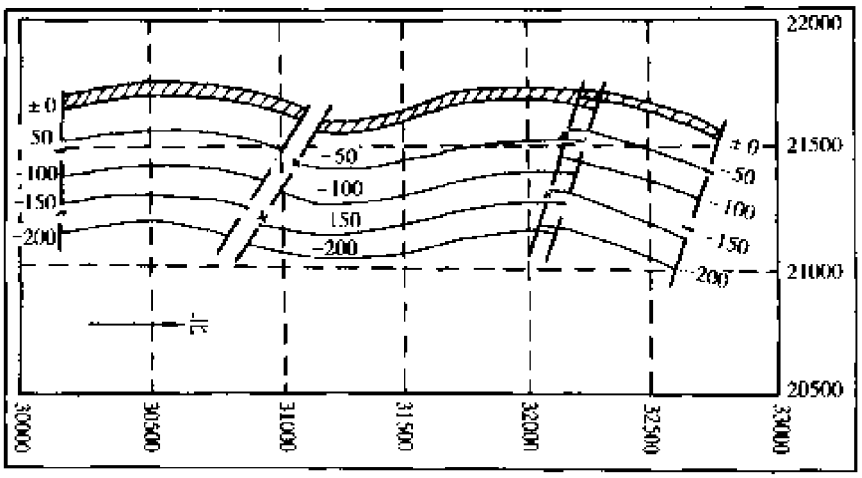


图 2－10　煤层底板等高线图概念之四

从图 2－10 可以看出，煤层走向是南北走向、倾向东；从南到北煤层由向斜过渡到背斜，又过渡到向斜；在煤层南部有一个正断层，因煤层等高线不连续、缺失，在煤层北半部有一逆断层。煤层等高线必有一段重复。

由上可知，煤层底板等高线图是表示煤层赋存情况非常重要的图纸。有了它就可较好地掌握煤层赋存特征。

第三节　大地茫茫宝藏何在

一、祖先的秘诀

煤埋在地下，地层既十分深厚，又十分辽阔，怎样才能找到煤呢？

我们知道，世界任何事物之间都是彼此相关联的。

如前所述，我们已掌握了古代植物成煤的基本规律和地质特征，采用前人找煤的实践经验，运用现代先进科学技术，就可以把煤找到。

首先，找煤层露头。煤在形成时呈层状。由于地壳运动，煤层可能露出地表，露出地表的部分称为煤层露头。根据这种特征，当你走进山区，往往会发现半山腰有条黑线似的东西，那就是煤层露头。这是找煤的最好标志，如图 2－11 所示。

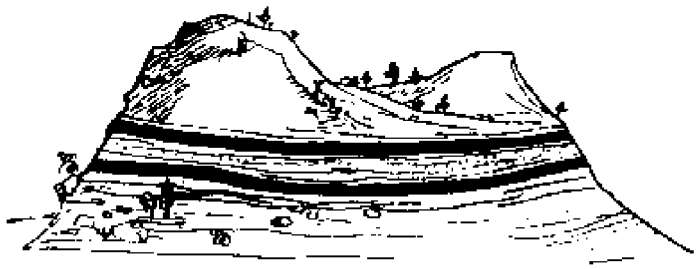


图 2－11 煤层露头

煤层露头附近的煤层，长年累月受到大自然的日晒夜露、风雨吹淋，煤层逐渐风化，煤厚变薄，生成一条“煤线”，甚至被土覆盖。煤质变劣，不易点燃，甚至变成褐色粉末状物质。煤层露头长期暴露在空气中，可能氧化发热而自燃。煤自燃一则发出烟，二则能把周围的岩石烤焦，所以见到红色或淡黄色的“火烧岩”也可能找到煤层露头。根据煤层露头可以找到煤层。

其二，找含有植物化石的沉积岩。煤是由古代植物变来的。在煤层的顶板和底板岩石里，常常有古代植物遗留下来的遗体和痕迹，如植物的根、茎、叶等化石。如果我们在山上找到了含有植物化石的沉积岩，也可能找到煤层。

其三，寻找老煤窑及矸石堆。一般有煤的地方，很早就有劳动人民开采过。但古代手工采煤，规模小，只能采出地表附近的煤。找到古煤窑或矸石堆，也可能找到煤层。

其四，找桦树类植物生长的地区。有煤的地方往往土壤的温度较高，地下水较丰富，特别适宜植物生长，尤其桦树类植物生长繁茂的地区。桦树往往是找煤的标志。

此外，如果发现山沟小河流出的水中有小煤屑或浮在水面的煤沫子，沿山沟小溪往上游寻找，往往可能找到煤藏地。古代一些地名，如煤炭山、煤炭岭、煤窑沟等，也是找煤的“向导”。可能很早以前劳动人民在这些地方发现过煤，并开采过煤，因此而得名。

上述种种自然现象，能否揭露出煤层的赋存特征呢？只能说找到了煤，但不能揭露煤层的储量及构造等赋存状态。要掌握煤层的赋存状态、储量及煤质等，必须采用地质勘探技术。

二、煤田地质勘探三步曲

开发煤炭资源以前，必须应用各种手段寻找煤炭，了解煤层的赋存状况、煤质、储量及开采条件等，这些工作称为煤田地质勘探。

煤炭工业建设一般分为远景规划、矿区总体设计及矿井设计三个阶段。与其相对应的煤田地质勘探分为煤田普查、矿区详查和井田精查，常称为煤田地质勘探三步曲。

1. 煤田普查　分为普查找煤和普查勘探。

普查找煤就是找到煤系，圈定含煤地区的范围。其结果要对有无煤炭资源作出结论。

普查勘探是在具有远景的含煤区域内进行。目的就是找出有工业价值的含煤地段。普查范围很大，常与煤田的自然边界相适应。其结果要为煤矿建设的远

景规划及矿区划分提供依据。

2. 矿区详查　根据建设的需要和普查结果，选择资源条件好、开发条件有利的矿区进一步查明资源情况，为矿区总体设计提供依据。

3. 井田精查　在设计部门已经划分的井田范围内，对煤层开采的各种地质条件进行更深入的了解，为矿井设计提供依据。

常用的煤田地质勘探方法有：

地质测量　对煤层露头和人工露头进行测量和描述，并把煤系地层、煤层产状和构造线等绘制在地质地形图上。地质测量工作在煤田地质勘探的各阶段都要进行。

探掘工程　对覆盖较薄的地区，用人工挖掘的方法揭露岩层、煤层和构造。常用探槽、探井和探巷。

地球物理勘探　简称物探，是利用具有不同的磁性、密度、电阻率、弹性波传播速度、放射性等物理性质的岩层和矿床对地球物理场产生的异常，来查找煤层，圈定含煤地层，推断地质构造。常用的方法有地震勘探法。地震勘探法是根据人工爆炸所产生的震波，根据不同岩层中传播速度的差异来研究地层分布情况。主要用于探明煤系地层埋藏深度、构造形态。在有利的情况下，可以控制较大规模的断层。反射波法地震勘探如图 2－12 所示。

钻探　利用钻机打钻孔，在地层内钻出一个垂直的、直径为 100 毫米的钻孔来，通过采取岩芯、煤芯来判断煤层埋藏的深度、煤层厚度、煤层储量及煤层周围的岩石性质等，如图 2－13(a)所示。表示一个钻孔内煤层、岩层相互位置关系及厚度的图叫钻孔柱状图，如图 2－13(b)所示。根据勘探线上各个钻孔柱状图就

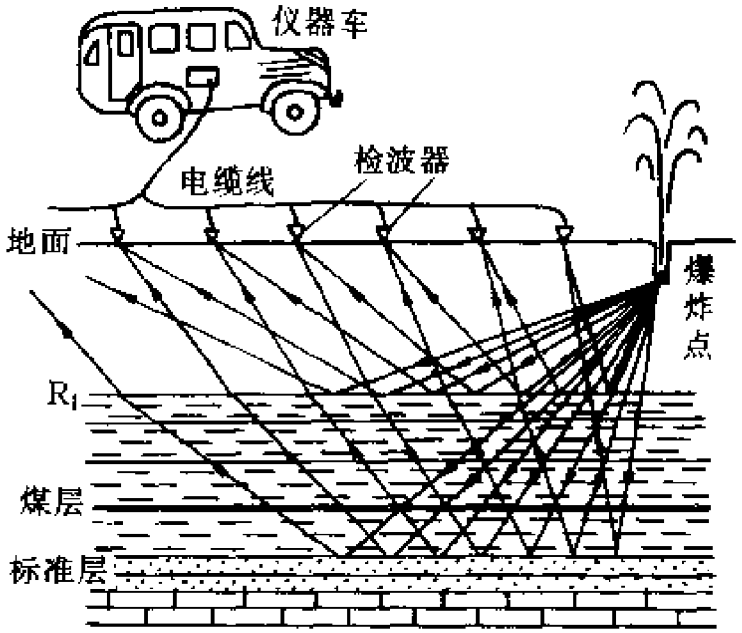


图 2－12　反射波法地震勘探示意图

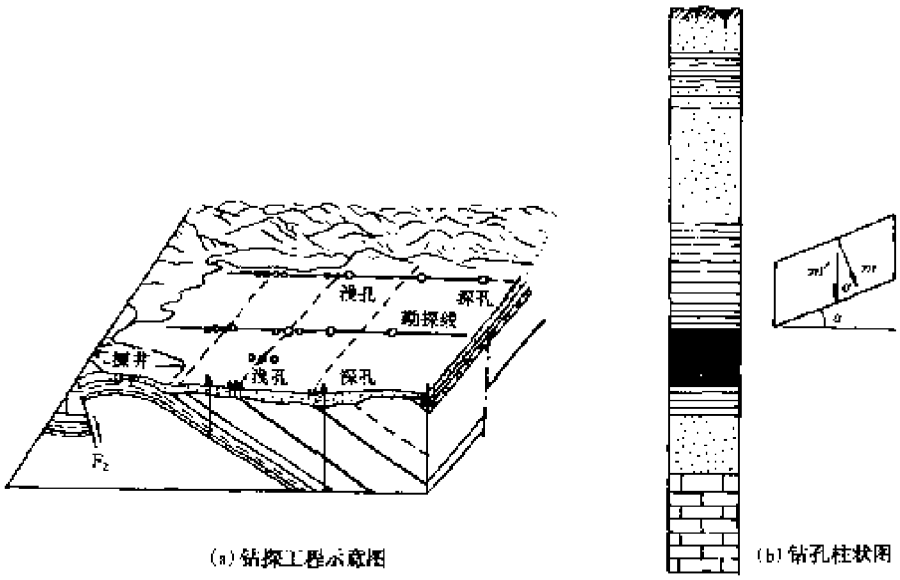


图 2－13　钻探示意图

可以分析出煤层的赋存情况。

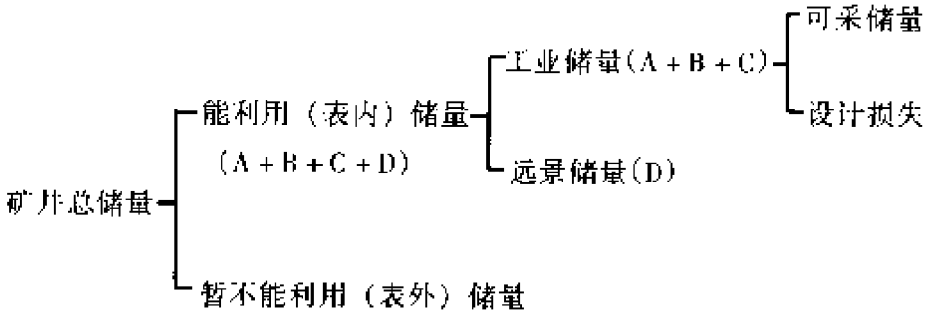
三、煤炭储量家族

煤炭储量即煤炭的埋藏量，它是煤层面积、厚度和煤的容重的乘积。

矿井储量是指矿井内所埋藏的具有工业价值的煤炭数量。根据对煤炭资源勘探的研究程度、工业要求和开

采技术条件，矿井总储量分为四级：A 级、B 级、C 级和 D 级。储量划分级别以后，一定级别的储量就不再是单纯的数量概念，而是还包含一定勘探程度的概念。所谓勘探程度，是指对地质情况的了解和对地质变化的控制程度。

根据我国能源政策和煤炭资源情况，按当前煤矿开采技术水平，矿井储量又作如下分类：



1. 矿井总储量：在井田边界范围的一定深度内，具有工业价值的全部煤炭储量称为矿井总储量或地质储量。

2. 能利用（表内）储量：是指平衡表内的储量，即符合当前煤炭开采技术经济条件，可以被开采和利用的那一部分储量，也称能利用的储量。

3. 暂不能利用（表外）储量：是指平衡表外的储量，即指因灰分高、厚度薄、水文条件复杂以及在当前技术经济条件下暂时不能开采的储量。

4. 工业储量：是指平衡表内 A + B + C 级储量的总和，是矿井设计的依据。

5. 远景储量：是指平衡表内勘探程度较低的 D 级储量，由于勘探程度不够，有待进一步勘探，提高储量级别后才可利用，是矿井远景规划的依据。

6. 可采储量：是工业储量中可以采出的那一部分储量。

7. 设计损失：为了安全而留在井下的安全煤柱、隔离煤柱，以及采煤、运输过程中的损失煤量等不能采出和利用的储量。

第3章

21世纪学科发展丛书

开发宝藏的战略部署

第一节　煤田与井田

一、煤田——矿工耕耘的田地

类似于大多数农作物生长于农田，农民在其中辛勤耕种一样，煤炭赋存于地下的煤田中，煤矿工人则在煤田中日夜耕耘。

煤田是在漫长的地质年代中形成的，我们把同一地质时期形成，并大致连续发育的含煤岩系分布区叫做煤田。

煤田的面积一般有几十到几百千米^2。由于生成的年代和沉积环境不同，煤田的大小和储量有很大的差异。富量煤田是煤田中的富翁，其含煤面积大，储量丰富。而限量煤田是煤田中的贫民，含煤面积小，储量十分有限，多数情况下只能由一个矿井开采。就我国已勘察出来的煤田来说，有范围广阔的鄂尔多斯盆地煤田，跨陕西

预测储量 6449 亿吨；有范围不大位于山东省中部的肥城煤田，含煤面积 98 千米^2，储量 10.9 亿吨；还有范围狭小，零星分布的面积不足 10 千米^2，储量更少的煤田。

二、井田和矿区

像农田要划归不同的集体或个人耕种一样，富量煤田要划分成若干部分，每一部分由一个矿井开采，否则技术上和经济上都是不合理的；限量煤田可由一个矿井开采。

划归为一个矿井开采的一部分煤田或全部煤田称为井田。为了便于行政管理，从技术和经济有利出发，将邻近的若干矿井划归为一个行政机构统一管理。一般情况下，我国开发矿区的行政管理机构为矿务局或矿业有限责任公司，而统一规划和开发的煤田或其中一部分煤田叫做矿区。

富量煤田一般划归一个矿区，如平顶山煤田划归为平顶山矿区，抚顺煤田划归为抚顺矿区，此时煤田的范围就是矿区的范围。少数富量煤田划归几个矿区，如渭北煤田划分给铜川、韩城、浦白和澄合矿区。有的矿区则可能包含几个限量煤田。

按矿区开发规模，我国将年产量在 1000 万吨以上的矿区归为大型矿区，300 万～1000 万吨之间的为中型矿区，小于 300 万吨的为小型矿区。

三、“蛋糕”的大小与形状

说到过生日，人们容易想到生日蛋糕，蛋糕有大有小，形状各有不同。如果把由煤田中划分出来的井田比作一块生日蛋糕的话，这块“蛋糕”的大小和形状差异

更大。这些差异一方面受地质条件和自然条件影响，另一方面则由人为因素决定。

生产能力大的矿井所需的基建投资多，对国民经济影响大，要求的服务年限也长一些，也就是说“蛋糕”要做大得一些。相反，生产能力小的矿井，其“蛋糕”可以做得小一些。就井田这块“蛋糕”的形状来说，一般情况下为长条形，井田的走向长度要大于倾斜长度，这样有利于开采。我国大型矿井的走向长度约为 7～15 千米，中型矿井约为 4～7 千米，小型矿井约为 1.5～5 千米。

为避免开采后对地面铁路和建筑物的破坏，以及地面水流入井下对矿井自身造成危害，铁路下、城镇下、河流下和湖泊下一般不开采，而留煤柱保护。铁路、河流、湖泊和城镇的边界往往作为井田的边界。

为消除断层对开采的不利影响，井田的边界往往以落差大的断层为界。

以地质条件和自然条件划分井田的方法如图 3－1 所示。

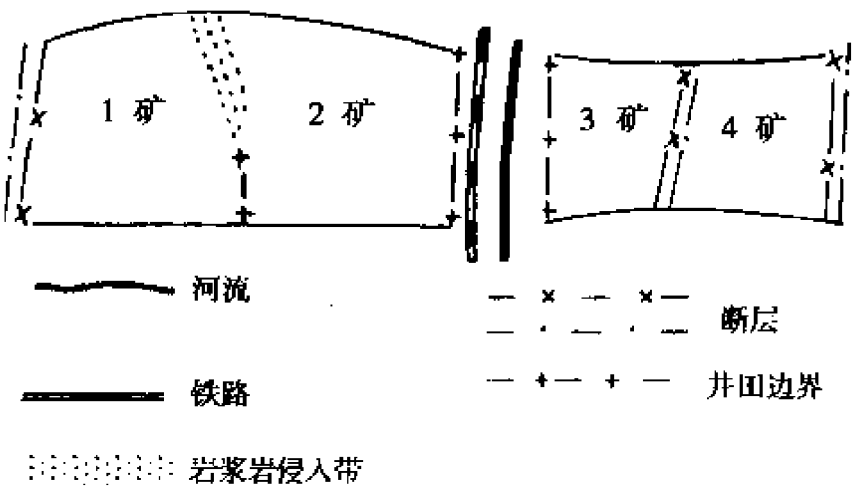


图 3－1　以地质条件和自然条件划分井田

四、井型大小与寿命长短

矿井设计生产能力是设计中规定的矿井年产量，它是煤矿生产与建设的重要指标，在一定程度上综合反映矿井的生产技术面貌。我国按矿井设计生产能力大小将矿井分为大、中、小三种类型：

大型矿井年产 120 万、150 万、180 万、240 万、300 万、400 万吨及以上；

中型矿井年产 45 万、60 万、90 万吨；

小型矿井年产 9 万、15 万、21 万、30 万吨。

对于具体的矿井来说，常常将矿井设计生产能力称为井型。对于储量丰富、地质构造简单、开采技术条件好的矿区应建大型矿井，对于相反的条件宜建中小型矿井。

矿井的寿命长短用矿井的服务年限来反映，矿井的可采储量和设计生产能力确定后，其服务年限可用如下公式表示：

$$T=\frac{Z_k}{AK}$$

式中：A——矿井设计生产能力，万吨/年；

Z_k——矿井可采储量，万吨；

T——矿井服务年限，年；

K——储量备用系数，一般取 1.2～1.4。

在可采储量 Z_k 一定的条件下，矿井服务年限 T 与设计生产能力 A 在数学上成反比关系，实际操作时要求两者相适应，即大型矿井的服务年限要长一些，小型矿井的服务年限可以短一些，为此，国家按设计生产能力不同，对矿井服务年限做了相应的规定，见表 3－1 所示。

表 3-1 矿井设计生产能力与服务年限的关系

矿井设计生产能力（万吨/年）	服务年限（年）	
	缺煤地区	非缺煤地区
300及以上	≥50	≥70
120～240	≥40	≥60
45～90	≥30	≥50
30	≥20	≥30

第二节 井田内的再划分

吹灭生日蜡烛后，生日蛋糕要切成块让大家分享。由于井田的面积较大，井田内的煤层不可能一下子全部采出来，类似把整个蛋糕切成适宜客人吃的小块一样，井田必须再划分成若干适宜开采的最小开采单元，以便有计划地按顺序开采，这就是井田内的再划分。

井田内的再划分与采煤方法有关，我国主要采用长壁体系采煤法，与长壁体系采煤法相适应的井田内再划分的方法如下：

一、井田划分为阶段

阶段是沿一定标高划分的一部分井田，如图3-2所示，在井田范围内，沿煤层倾向方向，按一定的标高，把井田划分为三个长条，每一个长条叫一个阶段。阶段的走向长度就是井田的走向长度，阶段斜长受煤层倾角影响较大，近水平煤层的阶段斜长可以超过1000米，而急倾斜煤层的阶段斜长一般为80～150米。

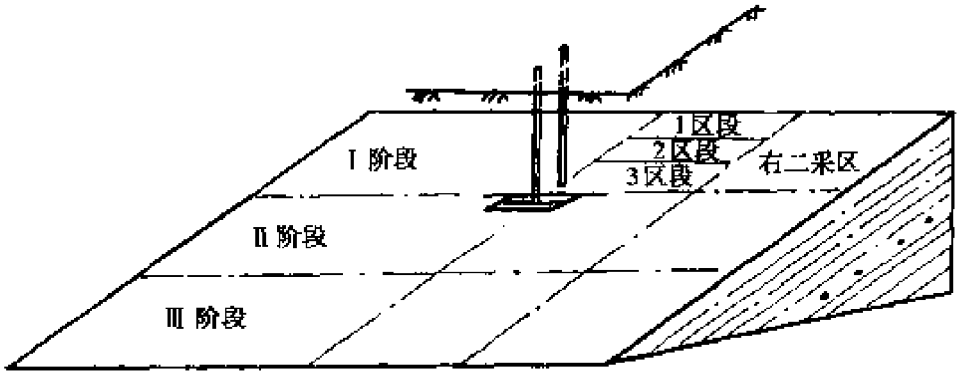


图 3-2 井田划分为阶段，阶段划分为采区

二、采区与带区

阶段的尺寸仍然很大，还不能将整个阶段内的煤层一下子采完，阶段内还必须进一步划分。阶段内的划分方法有两种：一是划分为采区，二是划分为带区。煤层倾角较小时，阶段内既可以划分为采区，又可以划分为带区；煤层倾角较大时，阶段内只能先划分为采区，然后再将采区划分为区段。

在阶段范围内，沿煤层走向方向把阶段划分为若干具有独立生产系统的开采地段，每一块段叫一个采区，这种方法叫分区式划分。

如图 3-2 所示，以井筒为中心，Ⅰ阶段的右翼被划分为两个采区。与阶段的走向长度相比，采区的走向长度要小得多，一般在 400～2000 米之间，而采区的倾斜长度仍然是阶段的倾斜长度。

在采区范围内，沿倾斜方向把采区划分成若干个长条，每个长条都适合于布置一个回采工作面，我们称每一个长条为一个区段，区段是最小开采单元，其斜长一般在 100～200 米之间。如图 3-2 所示，Ⅰ阶段中的右一采区被划分为 3 个区段。

煤层倾角较小时，阶段还可以划分成带区。什么是带区呢？如图3-3所示，井田分为两个阶段，在阶段范围

内，沿煤层走向方向把阶段划分为若干长条，这些长条都适合于布置回采工作面，每一个长条被称为一个分带，按这种方法划分的阶段范围叫带区。分带实际上是将区段转了90°，其走向长度一般也在100～200米之间。

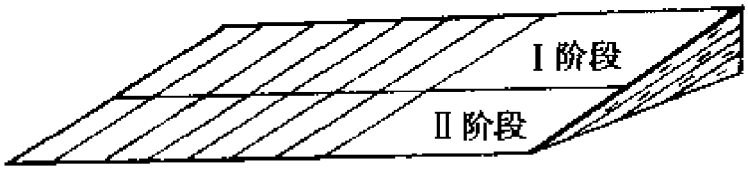


图3-3 井田划分为阶段，阶段划分为带区

由于煤层倾角变化等原因，同一个矿井中的不同开采区域可能采用不同的划分方法。

三、前进式与后退式

阶段内划分成采区或带区后，还需要确定先采哪个采区或分带，后采哪个采区或分带，即需要确定开采顺序。采区或带区在井田走向方向上的开采顺序有前进式和后退式之分，是相对于运输煤炭的井筒位置来说的。如图3-2所示，先开采井筒附近的采区或分带，后开采远离井筒的采区或分带，称为采区或分带前进式开采顺序；与此相反，采区或分带后退式开采顺序是先开采远离井筒的采区或分带，后开采井筒附近的采区或分带。井筒位于井田走向中央时，前进式开采顺序就是先开采靠近井田中央的采区或分带，后开采位于井田边界附近的采区或分带，而后退式开采顺序与此相反。

两种开采顺序的差异在于矿井初期工程量与投产期不同。采用后退式开采顺序时，远离井筒的采区或分带开采需要预先开掘大量的井巷工程，新建矿井就需要较多的初期工程量、初期投资和较长的投产期；而采用前进式开采顺序时，新建矿井只要在井筒附近完成较少的工程量，井筒附近的采区或分带就可以很快投入生产。因此，新投产的矿井其采区间或分带间多采用前进式开

采顺序；只有在投产时间已经很长的老矿井中，某一阶段内所需的井巷工程已经开掘到井田走向边界时，该阶段内的采区间或分带间才可能采用后退式开采顺序。

四、下行与上行

先采煤层埋藏较浅的部分，后采煤层埋藏较深的部分，这种先浅后深的开采顺序称为下行开采顺序，反之，称为上行开采顺序。下行与上行开采顺序涉及到阶段间、区段间和煤层间的开采顺序。

煤层有一定倾角时，若先采较深阶段或区段内的煤层时，则浅部阶段或区段内的煤层有下滑的趋势，这将给开采工作带来一定困难，煤层倾角愈大，这种不利影响愈明显，为避免这种不利影响，阶段间和区段间一般都采用下行开采顺序，只有在近水平煤层条件下，阶段间或区段间有时才采用上行开采顺序。

另外，决定阶段间的开采顺序时，还必须考虑建井时的初期工程量。埋藏深度较大的阶段开采所需的井筒较长，为减少井筒初期工程量，缩短投产期，井田内各阶段之间一般也采用下行开采顺序。

井田内开采多层煤层时，先采下面的煤层有可能破坏上面的煤层，无论井田内、阶段内、采区内，还是区段内或分带内，煤层间的开采顺序一般也采用下行开采顺序，即先采上面的煤层，后采下面的煤层。

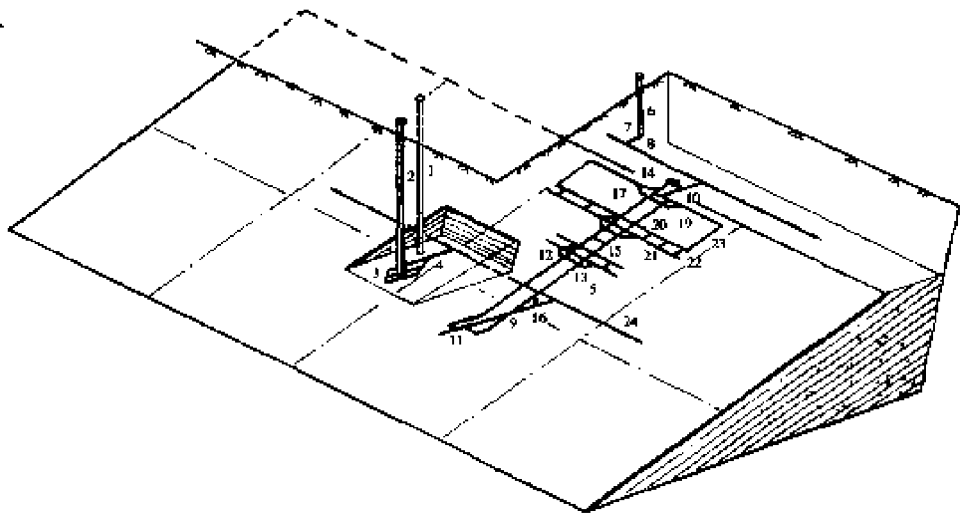
第三节　井下浏览

煤矿井下是一个神奇的地下世界，这里巷道纵横交错，生产系统繁忙有序。你要想知道这个地下世界真正是一个什么样子，就需要到井下各处去看看。

某井田开采多层煤层，其中的一层中厚煤层如图3—4所示，井田划分为两个阶段，每个阶段划分为四个采区，每个采区再划分为三个区段。一对竖立的井筒位于井田中央，先开采的第一阶段上部布置有阶段回风大巷，下部布置阶段运输大巷。采区走向中央布置运煤和铺轨道的斜巷，分别叫做采区运输上山和轨道上山。区段的上部和下部分别布置区段轨道平巷和区段运输平巷。

按照图3－4所示，由地面的提升机下到井底，通过井底车场、阶段运输石门、阶段运输大巷、采区上山，将把你从地面工业场地领到采煤工作面。

图3－4　立井开拓示意图



1－主立井 2－副立井 3－井底车场 4－阶段运输石门 5－阶段运输大巷 6－回风井 7－阶段回风石门 8－阶段回风大巷 9－采区运输石门 10－采区回风石门 11－采区下部车场 12－采区轨道上山 13－采区运输上山 14－采区绞车房 15－采区变电所 16－采区煤仓 17－采区上部车场 18－采区中部车场 19－区段轨道平巷 20－区段运输平巷 21－下区段轨道平巷 22－联络巷 23－采煤工作面 24－掘进工作面

一、地面工业场地

进入井田范围，多数情况下你可以看到高耸的井塔，飞转的天轮，装车的地面煤仓……这就是井筒周围的地面工业场地。

地面工业场地多位于井田中央，由一组建筑物和构筑物组成。

主井担负着全矿提升煤炭的任务，提升到地面的煤炭经选矸后变为原煤，原煤有的直接由胶带输送机走廊运至地面储煤仓，然后转运到铁路装车外运，有的原煤运往洗煤厂，经洗选加工，变为精煤后再运往铁路装车煤仓。

副井担负着人员、材料、设备和矸石从地面到井下或井下到地面的升降任务，它的周围有材料仓库和机修厂。

办公大楼是矿井生产的决策和指挥中心，福利大楼是矿工上下井换衣、洗浴和就餐的地方。

工业场地内的地面变电所承担矿井上下的电力供应工作，地面空压机房把空气压缩后源源不断地送到井下，以驱动岩巷开掘用的风动设备。工业场地内还有一些生活设施。

二、入井之门

井筒是入井之门，是联系地面和井下的咽喉，上下班的矿工通过井筒进入井下各个工作地点，从采煤工作面开采出来的煤炭经过井筒提升到地面，材料、设备和新鲜空气通过井筒源源不断地送往矿工工作的地点。一个矿井至少要有两个井筒，一个用来提升煤炭，叫做主井；另一个用来向井下运送材料设备和上下人员，叫做副井。只有两个井筒的情况下，主副井还要分别担负引入新鲜风流和排放污浊风流的任务。

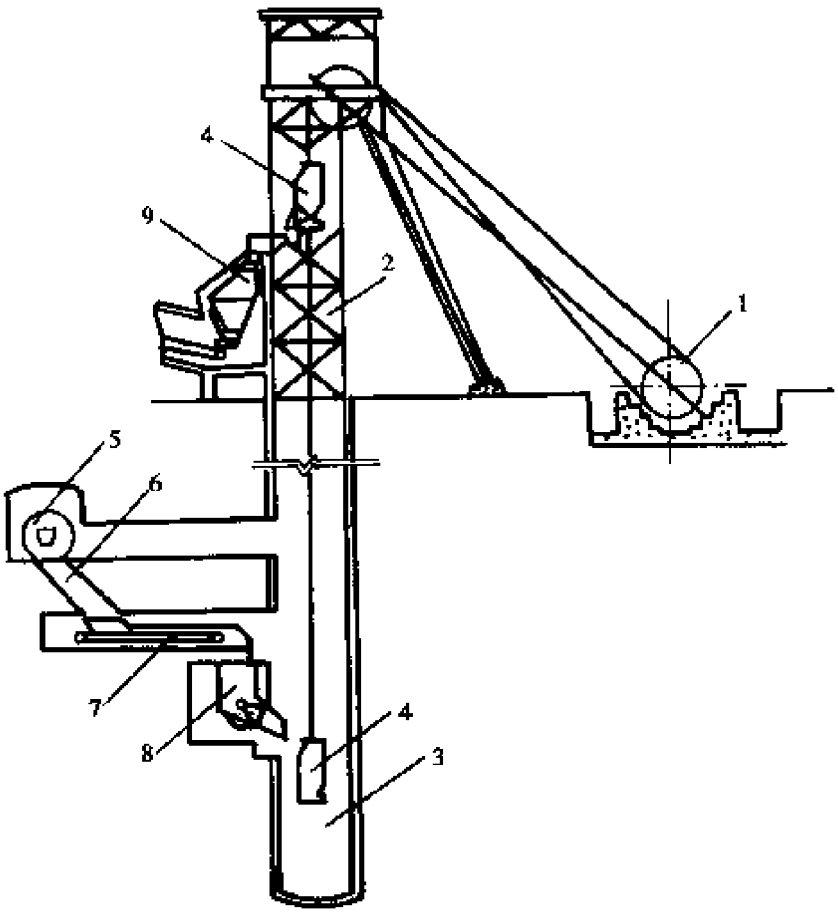
煤矿的立井像农村的水井，但在尺寸上要比水井大得多。一般水井的直径小于 1 米，而立井的直径往往达到 5～6 米以上。从深度上来看，我国已开凿了一批千

米以上的深立井。

如图 3－4 所示的立井开拓示意图中，井田内有3个立井，位于井田中央的一对立井除了提升煤炭、升降材料设备和上下人员外，还担负引入新鲜风流的任务，叫进风井。开凿于井田上部边界的立井用于排放污浊风流，叫做回风井，简称为风井。

主立井中一般采用箕斗提升煤炭，箕斗在井筒中提升一次的载煤量有 4 吨、6 吨、9 吨和 12 吨之分，大型箕斗的载煤量可达到 16 吨。箕斗如同一个直立的长方形箱子，上部开口用于井下装煤，提升到地面后底部可以打开卸煤，箕斗提升系统如图 3－5 所示。

图 3－5　箕斗提升系统



1－提升机 2－井架 3－井筒 4－箕斗 5－翻笼 6－井底煤仓 7－给煤机 8－装载设备 9－卸载设备

我们是从地面乘罐笼由副立井进入井下的，副立井中用罐笼升降材料设备和上下人员。罐笼提升系统与箕斗提升系统类似，只是用罐笼代替箕斗作为提升容器，单层普通罐笼的结构如图 3－6 所示，矿工可直接进入罐笼上下井，而材料设备和矸石要装在矿车内，然后进入罐笼升降。罐笼的载重量有 1 吨、1.5 吨和 3 吨之分。

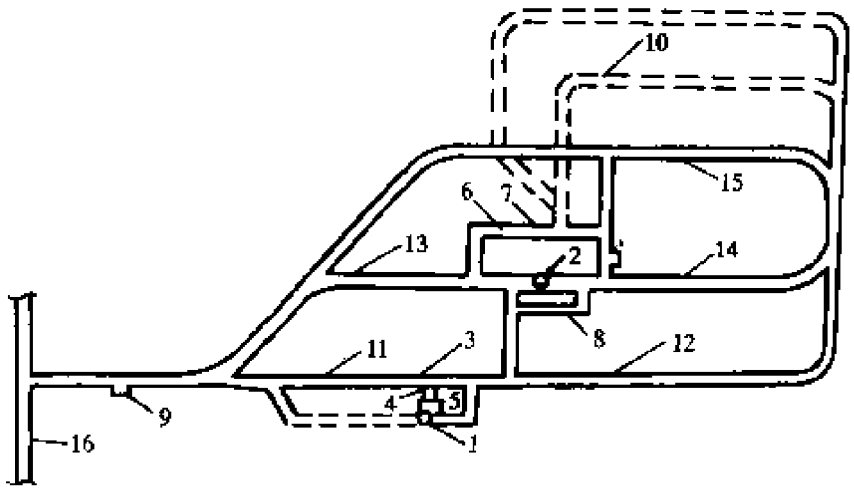


←图 3－6　单层普通罐笼

三、井底车场

如图 3－7 所示，从副立井乘罐笼下到立井井筒底部，你可以看到一个巨大的车场，我们把它叫做井底车场。此处，矿车来来往往，穿梭不息。

井底车场的一部分是调度矿车用的若干巷道，这些巷道内铺设着钢轨，如空重车线、调车线、储车线和绕道等；另一部分是为生产和管理服务的各种硐室，如中央变电所、水泵房、水仓、电机车



←图 3－7　立井刀式环行井底车场

1－主井 2－副井 3－翻笼硐室 4－煤仓 5－箕斗装载硐室 6－中央变电所 7－中央水泵房 8－等候室 9－调度室 10－水仓 11－主井重车线 12－主井空车线 13－副井重车线 14－副井空车线 15－绕道 16－阶段运输大巷

库、炸药库、井底煤仓、箕斗装载硐室和调度室等。井底车场的形式很多，但无论采用什么形式，其通过能力应大于矿井生产能力的30%。

图3-7为主立井采用箕斗提升，副立井采用罐笼提升的刀式环行井底车场。

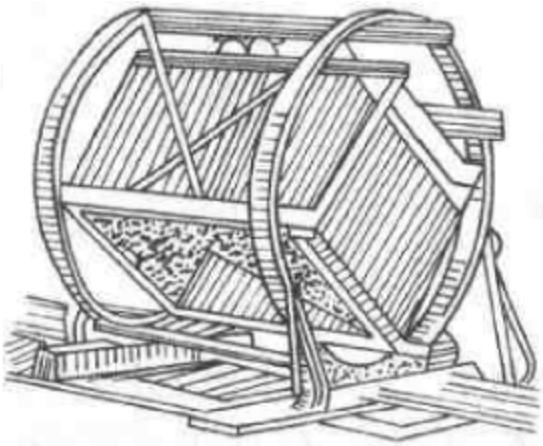
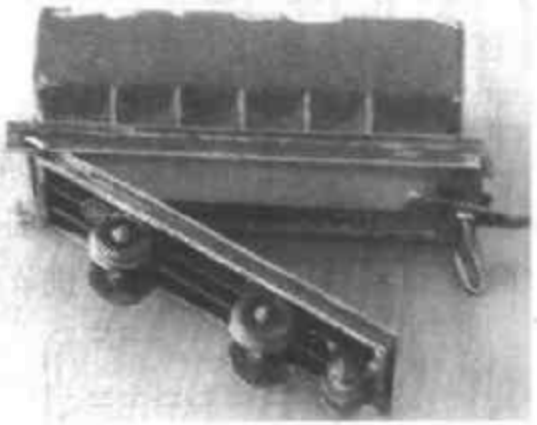


图3-8 固定箱式矿车与翻笼

运煤列车进入井底车场，经重车线进入卸煤点，卸煤后，经空车线驶出井底车场。

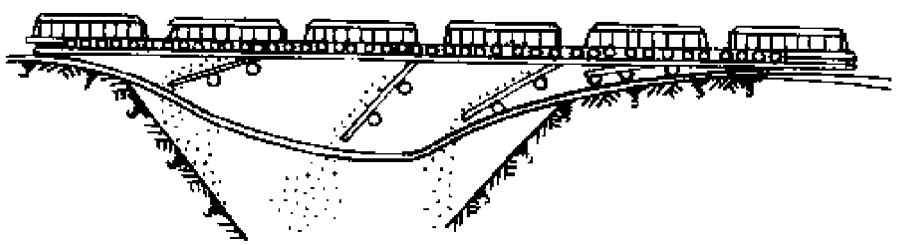
固定箱式矿车卸煤时，需要逐个推入翻笼内，翻笼连同矿车旋转360°，将车内煤炭自动卸入煤仓内，如图3-8所示。



(a)

图3-9 底卸式矿车

如图3-9(a)所示，底卸式矿车的底部可以打开，正常行驶时，底部为闭合状态，如图3-9(b)所示。底卸式矿车进入卸煤点需要卸载时，底部沿着卸载坑内的曲轨自动打开，煤快速卸入煤仓，矿车通过卸载



(b)

坑后又自动复原。底卸式矿车可以整列车驶过卸载点自动卸载，大大缩短了运行时间，提高了运输能力，实现了整个运输环节的自动化。近年来，我国不少大型矿井采用了3吨或5吨底卸式矿车运煤。

四、运输大动脉

由图3－4，从井底车场出来，我们来到阶段运输石门。

石门是与煤层走向垂直，并开掘在岩石中的水平巷道。按服务范围和作用不同，井下有各种各样的石门，如采区石门和区段石门。阶段运输石门是连接井底车场和运输大巷的石门，也叫主石门。

走出主石门，我们可以看到井下交通运输的大动脉——运输大巷。运输大巷是为整个阶段服务并沿着煤层走向方向开掘的水平巷道。

运输大巷担负着井下煤炭、矸石、物料和人员的运输以及通风、排水和敷设各种管线的任务。

我国煤矿的运输大巷一般采用轨道矿车运输，这样的运输大巷如图3－10所示，就像地面的铁路运输一



←图3－10　轨道矿车运煤的运输大巷

样，井下运输大巷内的电机车牵引着矿车列车沿着钢轨行驶。低瓦斯矿井的大巷运输一般采用架线式电机车；为防止电火花引爆瓦斯，高瓦斯矿井采用蓄电池电机车。架线式电机车如同地面铁路的电气化机车，由大巷上部的架空线获得动力，只是机车的体积小一些。电机车牵引的固定箱式矿车有1吨、1.5吨和3吨之分。井下轨道的形式和地面铁路的轨道相同，只是使用轻型钢轨，轨距也较小，有600毫米和900毫米之分。

我国一部分大中型矿井的运输大巷采用胶带输送机运煤，而矸石和物料仍采用矿车运输。胶带输送机的带宽多在0.8～1.2米范围内，1.2米宽的胶带输送机其运输能力可达1000吨/小时。

胶带输送机运煤的运输大巷如图3－11所示。



图3－11　胶带输送机运煤的运输大巷

阶段运输大巷不是水平的，为了有利于运输和排水，一般使大巷向井底车场方向有0.3%～0.5%的下坡，这样，矿井水可以从大巷中的水沟流向井底车场，装满煤炭或矸石的列车驶向井底车场时，也不是十分费力。

五、采区、区段与采煤工作面

沿着运输大巷步行或乘运人的矿车可以到达采区。

如图 3－4 所示，在新投产的矿井中，生产采区往往就在主副井筒附近，而在一些老矿井中，工人下井后要乘坐二三十分钟飞快行驶的载人车才能到达采区。

在图 3－4 中，生产的采区划分为二个区段，采区运输石门和采区回风石门开掘在采区走向中央，分别与阶段下方的运输大巷和阶段上方的回风大巷相连。图中只显示了一层煤，实际生产时，不管有几层煤，只要两条采区石门足够长，每一煤层都可以这样布置。将图 3－4 中生产的采区放大成图 3－12。

如图 3－12 所示，采区中的主要巷道是布置在采区走向中央的两条倾斜巷道，运煤的叫做运输上山，运送物料和排放矸石的叫轨道上山。

运输上山下端与采区运输石门和采区煤仓相连，上端与采区回风石门相连。倾角较小时，该上山内多

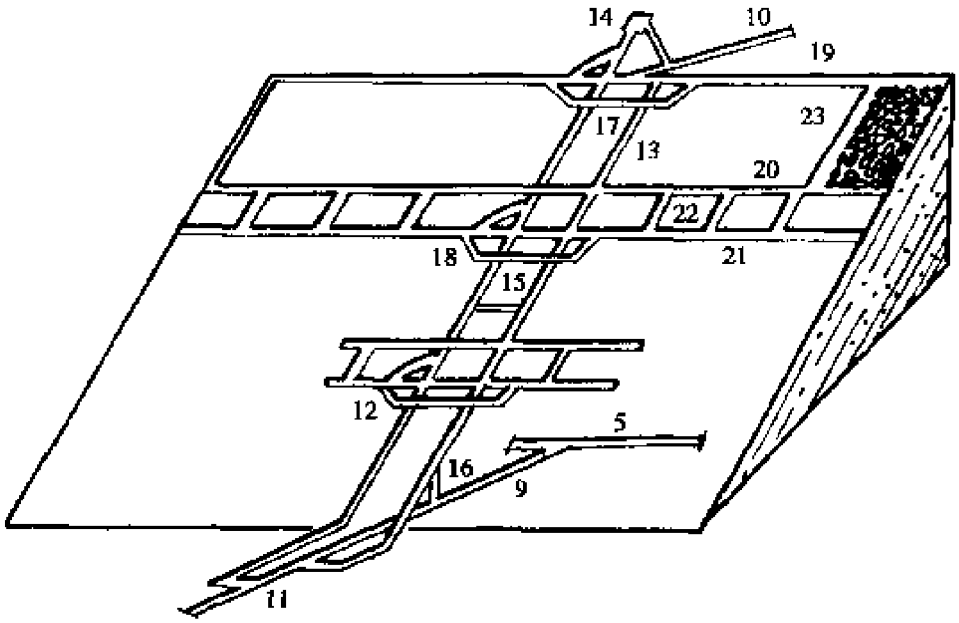


图 3－12　单一煤层上山采区巷道布置

5－运输大巷 9－采区运输石门 10－采区回风石门 11－采区下部车场 12－采区轨道上山 13－采区运输上山 14－采区绞车房 15－采区变电所 16－采区煤仓 17－采区上部车场 18－采区中部车场 19－区段轨道平巷 20－区段运输平巷 21－下区段轨道平巷 22－联络巷 23－采煤工作面

用胶带输送机运输。倾角较大时，煤炭可以在上山中自溜。轨道上山内多铺设轨道，用矿车运输，其下端与采区下部车场相连，上端与绞车房和采区上部车场相连。

区段上部有区段轨道平巷，该平巷除运送材料和设备外，还要排放经过工作面来的污浊风流，因此又叫区段回风平巷。区段下部有区段运输平巷，一般情况下，该平巷内多用胶带输送机运输。采区上部车场和中部车场将采区上山与区段平巷相连。

将区段运输平巷和区段回风平巷开掘至采区边界，而后连通，连通的这段斜巷叫开切眼。在开切眼内安装采煤、运煤和支护设备后，采煤工作就可以从开切眼内开始。此时的开切眼就变为采煤工作面。我们把与采煤工作面直接相连的区段运输巷、区段回风巷及开切眼称为回采巷道。

如图3－13所示，采煤机骑在刮板输送机上沿着工作面煤壁截煤，沿工作面全长铺设的刮板输送机将截割下来的煤运至工作面下端，在采煤和运煤的同时，矿工还要用支柱支护顶板，以使采煤工作在支架维护出来的临时空间中进行。

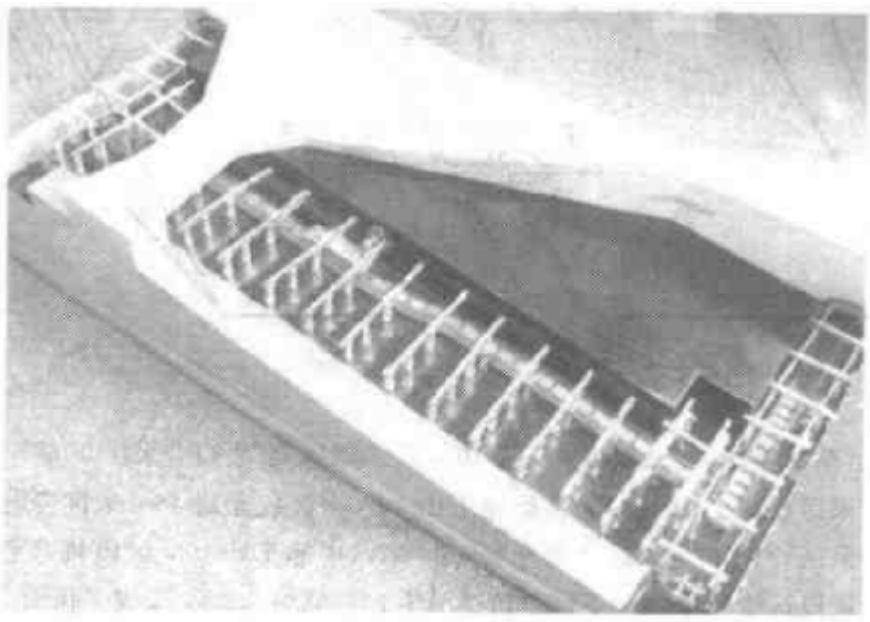


图 3－13　普通机械化采煤工作面

采区主要生产系统包括运煤、通风和辅助运输系统。采煤工作面的煤由区段运输平巷转运到采区运输上山，进入采区煤仓后，在采区石门中装矿车，通过运输大巷进入井底车场，由主井提升至地面。

为了冲淡瓦斯，带走粉尘和烟雾，使井下工作人员呼吸到足够的新鲜空气，地面的空气由副井进入井下，通过井底车场、运输大巷进入不同工作地点。在图 3－12 中，新鲜风流经运输大巷、采区运输石门、轨道上山、中部车场、下区段的回风平巷、联络巷、本区段的运输平巷进入采煤工作面。

尽管井下的空气与地面的空气不同，我们仍把经过工作面之前的风流叫做新鲜风流，而把之后的风流叫做污浊风流。污浊风流经过本区段的回风平巷直接或通过上部车场进入采区回风石门、阶段回风大巷，由回风井排放到地面。

新鲜风流能够从地面进入井下是由回风井一侧的扇风机造成的，它一刻也不停地运转着。井下空气能按采矿工程师设计的路线流动是由于各种通风设施控制的结果。

采煤工作面所需的物料由副井进入井底车场，通过运输大巷、采区运输石门进入轨道上山，采区绞车房的绞车将其提升到采区上部车场，由区段回风平巷送达工作面。

在第一区段内的工作面停采后，为保证第二区段能及时投产，在第一区段生产期间就要开掘为第二区段服务的回采巷道。开掘期间，矸石运行的方向与物料相反。

与区段间的接替类似，邻边井筒的采区投产后，就要准备距井筒远一些的采区，这就需要向井田两翼延伸

运输大巷和回风大巷，开掘采区石门、采区上山和采区车场等一系列巷道。

高产高效的矿井往往有一个或两个采煤工作面生产，多条巷道和硐室在掘进，许多人在井下紧张地工作。

六、双巷掘进与无煤柱护巷

图 3－12 中，第二区段的轨道平巷 21 和第一区段的运输平巷 20 是同时开掘的，两条平巷之间留一定宽度的煤柱，这种掘进和布置方式叫区段平巷双巷掘进。掘进期间，21 超前 20 先掘一段距离，可以起到探路的作用。第一区段生产期间，第二区段的回风平巷 21 可以为第一区段引入新鲜风流，排放积水和运入材料。

在第二区段的回风平巷 21 上方留有煤柱不采，目的是保护该平巷，使之易于维护。实践证明，当煤柱宽度较大时，煤柱损失太大，而几米或十几米宽的煤柱，有时不仅不能很好地保护巷道，反而在受第一区段工作面开采影响后更难维护。20 世纪 80 年代以来，我国一些煤矿应用了区段间无煤柱护巷技术。

无煤柱护巷方式之一是沿采空区边缘保留巷道，简称沿空留巷，如图 3－14 所示，在上区段工作面推进过程中，用木垛、矸石带或其他巷旁支护形式将上区段的运输平巷保留下来，作为第二区段的回风平巷，使相邻工作面之间取消了煤柱。沿空留巷减少了巷道掘进量，节约了

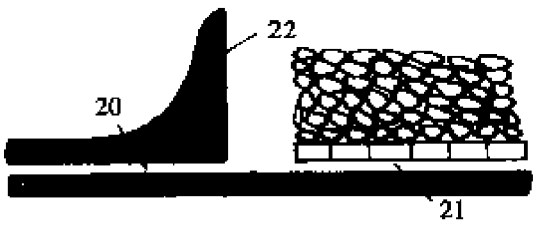


图 3－14　沿空留巷

20－上区段运输平巷 21－下区段回风平巷 22－上区段采煤工作面

掘进时间，但留巷期间巷道维护难度较大，该技术多用在薄煤层中。

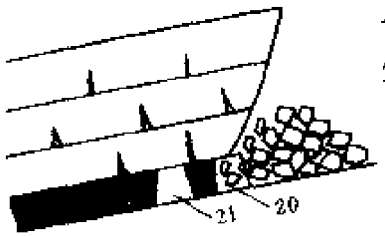


图 3－15　沿空掘巷

20－上区段运输平巷 21－下区段回风平巷

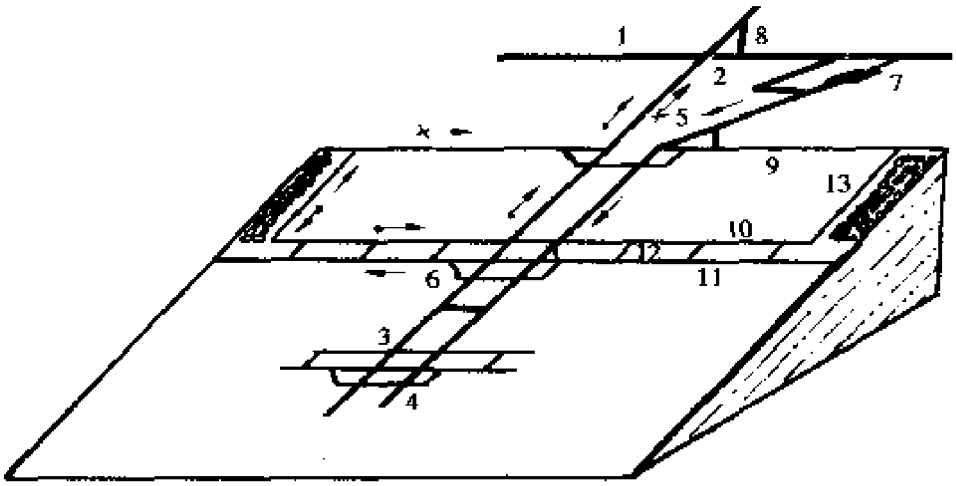
无煤柱护巷方式之二是沿空掘巷，如图 3－15 所示，上区段的运输平巷采用单巷掘进方式，随采煤工作面推进而报废，准备下区段时，下区段的回风平巷紧靠采空区边缘重新开掘。其上方不再保留煤柱。沿空掘巷减少了煤柱损失，改善了巷道维护状况，多用在中厚及厚煤层中。

七、下一阶段如何开采

由采区上山返回运输大巷后，你已经了解一些煤矿井下生产的概况。现在的问题是图 3－4 中的第二阶段如何开采？

为接替第一阶段生产，第二阶段开采时巷道布置有两种可能。其一是延深主副立井到第二阶段下部边界的标高处，而后像第一阶段一样，开掘井底车场和主石门，在第二阶段下部边界开掘第二阶段的运输大巷，再按第一阶段的方式开掘采区上山和区段平巷，而后布置工作面。生产期间，第一阶段的运输大巷可用做第二阶段的回风大巷。其二是不延深主副立井，而是通过原有的运输大巷和采区石门，在采区走向中部由上向下开掘两条倾斜巷道，如图 3－16 所示，用来运煤的倾斜巷道叫采区运输下山，铺轨道用于运送物料的倾斜巷道叫采区轨道下山。沿采区石门和两条下山开掘采区上部和中部车场，而后开掘区段平巷，采煤工作面的布置同第一阶段。生产期间由轨道下山引入新鲜风流，运输下山排放污浊风流。

一图 3－16
单一煤层下山
采区巷道布置



1－运输大巷 2－采区石门 3－采区运输下山 4－采区轨道下山 5－采区上部车场 6－采区中部车场 7－采区绞车房 8－采区煤仓 9－本区段回风平巷 10－本区段运输平巷 11－下区段回风平巷 12－区段联络巷 13－采煤工作面

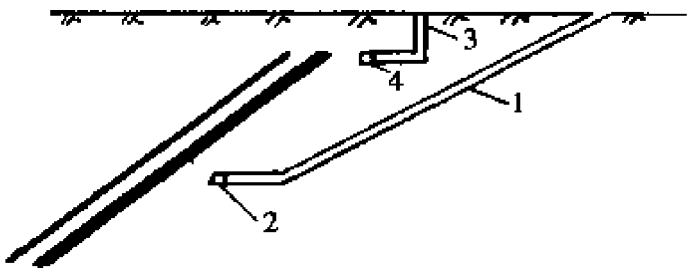
第四节　开拓的问题

井田开拓涉及阶段内的再划分方式、由地表进入井下的形式、井底车场形式、开采水平设置及运输大巷布置等一系列问题，是整个矿井开采的全局性战略部署，对矿井建设、资源合理利用、矿井生产面貌和技术经济效果将长期产生影响。井田开拓离不开开拓巷道，开拓巷道指的是为全矿或阶段服务的巷道，如主副井筒、井底车场、运输大巷、回风大巷等井巷。

一、井筒三姊妹

除了由立井从地面通达地下之外，还可以由倾斜开凿的斜井和水平开凿的平硐通达地下。

图 3－17 是斜井开拓，除了由主副斜井进入地下外，井田内阶段和采区划分以及大巷布置同图 3－4 中立井开拓的井田。



←图 3－17　斜井开拓

1－斜井 2－阶段运输大巷 3－回风井 4－阶段回风大巷

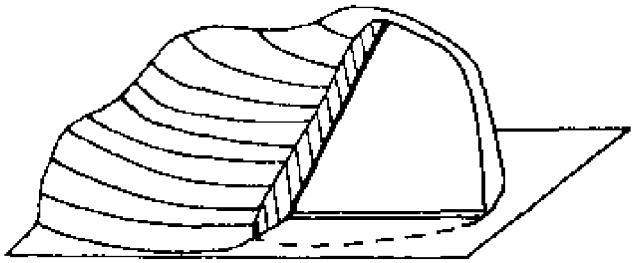
主斜井常常采用胶带输送机提升煤炭，运送人员和物料的副斜井多采用绞车牵引矿车提升。斜井可以开凿在煤层中，也可开凿在煤层底板岩层中。前者掘进速度快，使用期间维护费较高。后者掘进速度慢，使用期间维护费比较低。在煤层中或在岩层中开凿斜井还受煤层倾角和运输设备的影响。

用普通胶带输送机提升时，为防止煤炭沿胶带下滑，斜井倾角不宜大于 17°，采用大倾角胶带输送机时，斜井倾角可达 25°。当煤层倾角与运输设备要求的倾角不一致时，斜井只能开掘在岩层中。

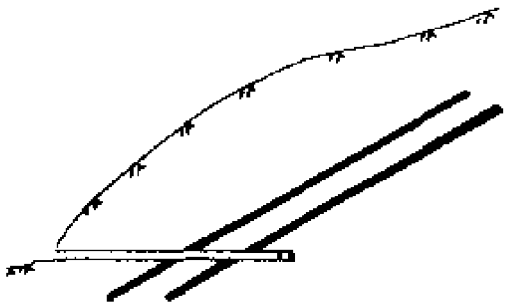
与立井相比，斜井开掘容易，井口设备比较简单。在煤层埋深相同的条件下，斜井的井筒较立井长，相应的排水、通风和维护等费用也较立井高，斜井采用胶带输送机提升时运输能力较大。煤层埋藏愈深，斜井由于长度较大带来的缺点愈突出。当表土层含水多或有流砂层时，斜井通过它比较困难。因此，当煤层埋藏较浅以及水文地质条件较简单时，可以采用斜井。

行驶在山区的火车往往要穿过山洞隧道，煤矿中的平硐同穿山隧道完全一样，埋藏在山岭地带的煤层可以采用平硐开拓，而平原地带是无法采用平硐的。如图 3－18 和图 3－19 所示，平硐可以沿煤层走向开掘，也可以垂直或斜交煤层走向开掘，前者相当于运

—图 3－18　沿煤层走向开掘的平硐



—图 3－19　垂直煤层走向开掘的平硐



输大巷，后者相当于阶段运输石门。

平硐是最简单最有利的进入煤层的方式，平硐施工简单，施工速度快，井下生产的煤可由平硐直接拉到地面，设备简单，环节少，运输能力大，不需设井底车场，更无需设水泵房和水仓，因此，埋藏在山区的煤层，只要平硐标高以上有足够的储量，就应优先采用平硐。

在某些条件下，采用单一的井筒形式在技术上有困难或在经济上不合理时，宜采用综合开拓，即主副井采用不同的井筒形式。常见的综合开拓形式是主斜井和副立井开拓形式，以胶带输送机为提升设备的主斜井在经济上和技术上优越性很强，而立井作为副井弥补了副斜井辅助提升和其他方面的不足。主平硐和副立井也是一种综合开拓形式。

我国国有重点煤矿中不同井筒形式的比例如表3－2所示。

表 3－2　不同井筒形式比例

立井/%	斜井/%	平硐/%	主斜井副立井/%
29.22	39.57	10.18	21.04

二、开采水平与上下山阶段开采

煤矿生产过程中，开采水平是一个经常涉及到的概念，开采水平指的是运输大巷及井底车场所在的水平位置及所服务的开采范围。

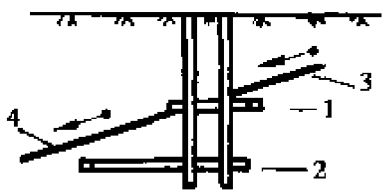
开采水平这个概念有两层涵义。一是指运输大巷和井底车场所在水平面的位置，这个位置经常由标高来反映，如－50米和－300米开采水平指的是在标高为－50米和－300米的水平面上分别建有井底车场和运输大巷。二是指开采水平所服务的开采范围，在图3－4中，井田划分为两个阶段，第一阶段下部建有井底车场和运输大巷，这是一个开采水平。第二阶段开采时，若不延深井筒和再开掘井底车场和运输大巷，如图3－20所示，这个开采水平既服务于第一阶段，又服务于第二阶段。这样，开采水平之上和之下的阶段分别称为上山阶段和下山阶段，上山阶段和下山阶段内的采区分别称为上山采区和下山采区，下山采区内生产的煤要由运输下山汇集到上端外运。



← 图 3－20　单水平上下山阶段开采

1－开采水平 2－上山阶段 3－下山阶段

图 3－4 中的第二阶段开采时，若要延深井筒，并在第二阶段下部再开掘井底车场和运输大巷，井田内就设置了两个开采水平，分别服务于第一阶段和第二阶段，每个阶段中的采区均为上山采区，如图 3－21 所示，各阶段生产的煤均由运输上山汇集到下端外运。



← 图 3－21　两水平上山阶段开采

1－第一开采水平 2－第二开采水平 3－第一水平上山阶段 4－第二水平上山阶段

我国开滦矿区的赵各庄煤矿和林西煤矿已开采到第13和第12开采水平。

开采水平的设置要解决两个问题：一是要考虑一个开采水平是否既服务于上山阶段，又服务于下山阶段；二是要决定阶段斜长。

阶段斜长愈长，井田内总的开采水平数目愈少，所需的阶段石门、井底车场和运输大巷的工程量愈少，这些井巷工程中占用的设备和资金也就愈少。从技术上看，采区轨道上山和下山中的辅助提升对阶段斜长有一定限制，采区绞车房内提升绞车的滚筒直径不能太大，因而限制了滚筒所能缠绕的钢丝绳长度，从而也限制了阶段斜长。滚筒直径为2米的绞车所能提升的最大长度为1100米，因此开采缓倾斜和倾斜煤层时，阶段斜长一般小于1100米。

三、上山阶段和下山阶段开采的比较

井田划分为多个阶段的情况下，就需要考虑是采用上山阶段开采还是上下山阶段开采。

不知你注意到没有，上山阶段开采在技术上有许多优点，煤由高处运往低处，消耗的动力少，运输能力大；矿井水可以自流；上山掘进工序简单，作业环境好，安全；上山开采通风线路短，新鲜风流一般要先经过未开采的区段，变成污浊风流后才经过已采的区段，漏风少。下山阶段开采在技术上有许多缺点，由于煤要从下端运往上端，下山运输消耗的动力多，运输能力小；矿井水必须由水泵排放，排水费用高；下山掘进时装运困难，工序复杂，速度慢，涌水多时作业条件明显变差；下山通风线路长，新鲜风流先要经过已采的区

段，容易漏风。因此，我国多采用上山阶段开采和上下山阶段开采相结合的开采方法，而不采用单采下山阶段的开采方法。

尽管下山阶段开采在技术上有许多缺点，在经济上却是有利的。采用下山阶段开采可以减少井田内开采水平总的数目，从而减少了阶段运输大巷、阶段运输石门和井底车场的工程量，可节约许多基建费用，同时增加了开采水平服务年限。

下山阶段开采在技术上的困难程度随煤层倾角变化而变化，煤层倾角愈小，下山阶段开采的缺点愈不明显。在上下山阶段相结合的开采方法中，你也许已经知道了一个阶段作为下山阶段开采的主要应用条件：煤层倾角小于16°，瓦斯含量低，涌水量小。

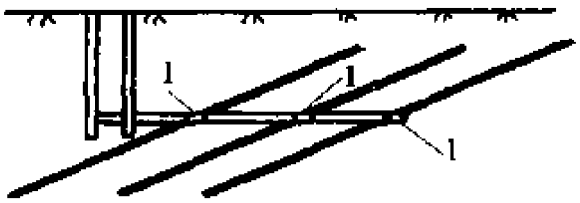
四、运输大巷如何布置

运输大巷的长度几乎接近井田的走向长度。开掘1米运输大巷需要几千元，还要花费铺设轨道和各种管线的费用。当开采多层煤时，运输大巷的布置方式对整个开采水平的工程量和使用期间的维护费都有较大影响。因此，如何布置运输大巷必须仔细推敲。运输大巷在开采水平上的布置方式有分煤层布置、集中布置和分组集中布置。

如图3－22所示，分煤层布置方式是在每层煤层中都布置运输大巷，各煤层之间采用主石门联系，这种布置方式显然增加了大巷的工程量。

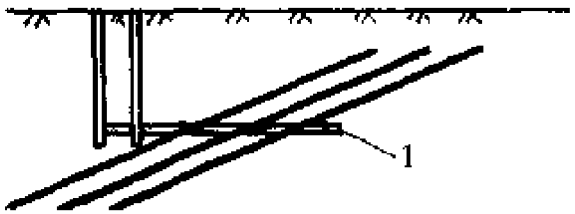
如图3－23所示，集中布置方式是只布置一条服务于所有煤层的运输大巷，各煤层间由主石门和采区石门联系。图3－4中的煤层若与其上部或下部的煤层

一图 3－22　分煤层运输大巷布置



1－分煤层运输大巷

一图 3－23　集中运输大巷布置

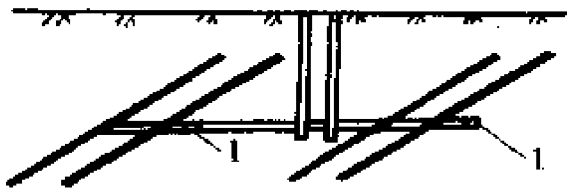


1－集中运输大巷

间距较大时，尽管集中大巷减少了大巷的工程量，但采区石门总的工程量也是较大的。

如图 3－24 所示，分组集中大巷兼有分煤层大巷和集中大巷布置方式的部分特点，将间距较近的煤层分为一组，每组煤层布置分组集中大巷，煤层组间采用主石门联系，组内的煤层采用采区石门联系，这样布置大大减少了大巷和采区石门的工程量。

一图 3－24　分组集中运输大巷布置



1－分组集中运输大巷

建国初期，我国主要采用分煤层大巷布置方式，随着生产发展和采掘技术的提高，逐渐采用了分组集中或集中大巷布置方式。采用分组集中布置的分组间距一般大于 70 米，当煤层间距小于 50 米时一般采用集中大巷布置。

除了布置方式外，还有将大巷布置在煤层中和岩层中的问题，布置在煤层中的大巷开掘速度快，但容

易变形，使用期间维修费高，煤层愈厚和愈软，维修费愈高。布置在岩层中的大巷开掘速度慢，但不容易变形，使用期间的维修费也较低。我国一些矿区的岩石大巷一般布置在煤层底板中，距煤层 10～30 米。大巷变形的难易程度与开采深度有关，开采深度愈大，大巷愈容易变形。从世界各国技术发展来看，在浅部开采，煤层大巷是发展趋势；在深部开采，一般大巷要布置在坚硬的岩石中。

第4章

21世纪学科发展丛书

打开通向宝藏的通道

为了开采已经探明的地下煤层宝藏，必须事先打通从地面到地下煤层的一系列通道，这些通道称为井巷，开凿通道的过程称为掘进。矿井投产后，随着采煤工作面和采区不断更替，还要继续不断地及时准备好各种井巷，以保证矿井正常和持续生产。为了解掘进过程，我们先从掘进的基本知识开始。

第一节　钻眼、爆破与装岩

一、井巷断面

井下有各种形状的巷道，有的是拱形，有的是梯形，还有的是不规则形。一般来讲，服务时间长的巷道多用拱形，服务时间短的巷道多用梯形，立井基本上都采用圆形断面。巷道断面大小主要依据用途来决定，高度以人员通过安全、方便为原则，净宽由三部分组成，包括设备的宽度，人行道的宽度，设备之间和设备与巷道之间的安全间隙。除运输外，巷道还要兼负通风的任务，为了保证巷道内不飞沙走石、煤尘

风扬，巷道的断面不能太小，为了不增加开掘巷道的工程量和引起支护困难，巷道的断面尺寸也不能太大。目前，我国煤矿的巷道断面尺寸有五六米^{2}的，也有二十几米^{2}的。

二、钻眼与爆破

破碎煤岩是掘进的主要问题，目前使用的破岩方法有钻眼爆破法和机械破岩法。由于岩层比煤层坚硬，开掘岩石巷道几乎都是采用钻眼爆破法。开掘岩石巷道的过程为：在岩层中钻出一些炮眼，炮眼内放置炸药，炸药引爆后炸出要求的巷道断面尺寸，将炸碎后的岩块运走，然后支护。

早先打眼都用人力，一个矿工用铁锤不停地撞击钢钎，另一个矿工握着钢钎，拉动的同时并让它不断转动。这样，随着钢钎慢慢钻入岩石中，炮眼也就形成了。人工打眼需要很长的时间才能凿出一个炮眼来。现在矿工使用凿岩机在岩巷中钻眼，它的钻眼原理与手工钻眼相同，只是使用的动力是压缩空气，因此又叫风钻。

凿岩机钻眼需要一定的推力，这个力由气腿提供，气腿同时又是支撑凿岩机的构件，工人只要轻轻扶着凿岩机，炮眼很快就会钻出来。在岩石较硬和断面较大的巷道中掘进时，可用凿岩台车。凿岩台车上安装着若干台凿岩机，这些凿岩机可以自动操作，同时开动，这样大大提高了钻眼效率。

煤矿最常用的炸药是硝铵炸药，每100～150克装成一卷，每个炮眼内装若干药卷，其中一个药卷内装有雷管，炮眼的剩余部分用炮泥堵塞。工作人员撤出掘进工作面后，由专职放炮员用发爆器使电雷管通电

后引爆炸药。

为了获得爆破后比较平整的巷道周边，需要采用光面爆破法。这种爆破法的特点是在巷道周边上增加炮眼布置的数量，装填适当数量的炸药，使爆破均匀。

三、从大铁锹到装岩机

爆破后的岩石碎块堆积在巷道的底板上，每个工作班都要放炮，每次爆破后的岩石都要及时地由矿车运走，这样才能及时地架设支架和向前继续延伸巷道。

过去是人工用大铁锹装岩，为了易于铁锹插入破碎的岩石，巷道底板上铺一块铁板，一个矿工用铁耙子把破碎岩石耙到铁板上，另一个矿工从铁板上用大铁锹把破碎的岩石装入矿车。这样装岩矿工劳动强度极大，装岩时间约占掘进时间的60%～70%以上。为了加快装岩速度，减轻矿工体力劳动，人们研制了装岩机。现在，多用铲斗装岩机或耙斗装岩机装岩。

如图4－1所示，铲斗装岩机工作时，先将铲斗放下，装岩机带着铲斗冲向破碎的岩石，铲斗装满岩石后，将岩石装入后面的矿车。

耙斗装岩机的耙斗像一个巨型铁耙子，在铰车牵引下可以前后移动，每耙动一次，能把0.2～0.3米

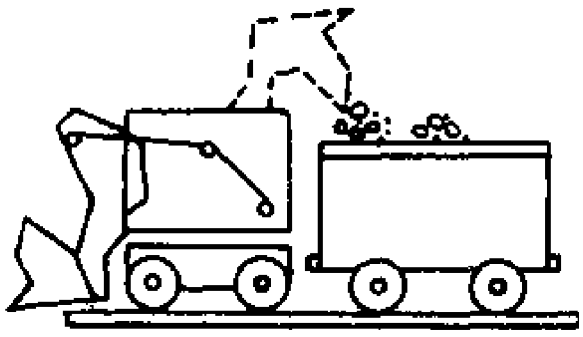


图4－1　铲斗装岩机装岩

^{3}的破碎岩石耙到一个前低后高的铁槽中，槽的后端底部开口，破碎岩石可以从开口处直接落到下面的矿车内，耙斗耙动三四次便可装满一辆矿车。

四、从煤电钻到联合掘进机

由于煤层较软，用钻眼爆破方法在煤巷中掘进时，可用煤电钻来打眼。煤电钻类似于在木板上或金属上钻眼的手电钻，只是稍重一些，机身旁有两个环形把手，旁边连着一根裹着橡胶的电缆，机身前端可插一根 1～2 米长的钎杆，钎杆类似于手电钻的钻头，样子很像食用的麻花，因此又叫麻花钎子。



图 4－2　煤电钻钻眼

如图 4－2 所示，煤电钻钻眼时，工人握住把手，把钎杆对着煤壁，然后按动按钮，麻花钎杆就快速转动起来，钎杆前端锋利的钻头使钻孔中的煤破碎，只要 1～2 分钟，煤层中就可以钻出一个 1～2 米深的炮眼来。

为了加快掘进速度，适应采煤工作面快速推进的要求，20 世纪 70 年代前后，一种既能破碎煤岩，又能自动地把煤岩装入矿车的联合掘进机问世了。这种联合掘进机也叫综掘机，在煤层巷道中使用效果最为显著。联合掘进机像一辆坦克，靠履带行走，但向前端伸出的可不是炮筒，而是一个截割头，截割头上安装着合金钢截齿，截割头转动时，锋利的截齿截割煤巷前面的煤壁，碎落下的煤落在联合掘进机机身前端，机身前端下方两个活动的钢爪不停地摇动，将碎煤不断地扫入自身的输送机，尔后卸入机身后部的矿车。这样，既不必打眼放

炮，同时又完成了碎煤的装车工作，减少了工序，节省了人力，提高了掘进速度，一天可以掘进几十米巷道，我国高产高效矿井的回采巷道多是这样开掘出来的。

第二节　发展的巷道支护

巷道开掘后，在上覆岩层重力的作用下，周围的岩石就要向巷道内挤压，使巷道产生变形甚至破坏，为了保持所需的巷道断面，必须用支架把开掘出来的巷道空间支护起来，支架的作用是阻止和延缓周围的岩石向巷道内移动，保持巷道有足够的安全工作空间。

巷道支护材料有木材、石材、水泥、混凝土和金属材料等。巷道支护形式大致可分为棚子、砌碹和锚喷。

随着科学技术的发展，巷道支护材料和支护形式都发生了很大的变化。

一、从木棚到金属棚

棚子也叫框式支架，基本形式是由两根柱腿支撑一根顶梁。由于木材取材容易，加工方便，木棚是最早使用的支护形式，木棚支护如图 4－3 所示。20 世纪 50 年代和 60 年代早期，我国煤矿巷道多用这种支护。

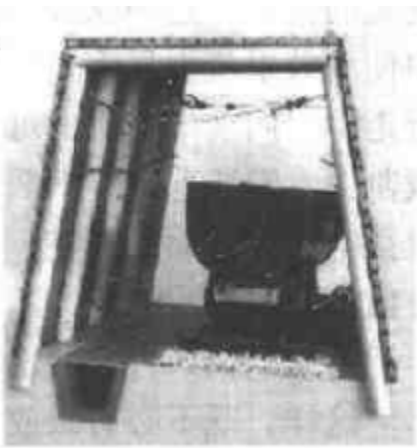


图 4－3　木棚支护的巷道

由于木棚支撑强度低，井下长时间使用容易腐烂，

不能有效地控制顶板，再加上木材供需矛盾突出，我国逐步发展了钢筋混凝土预制棚和金属棚。

混凝土预制棚承载能力大，加工容易，但由于比较笨重，运输、架设和回撤均不方便，所以逐步被金属棚代替。

金属棚有刚性和可缩性之分，当巷道围岩变形较大时，刚性支架会出现变形，严重时会受到破坏而失去支撑能力。为避免严重变形和破坏，支架在支护围岩的同时，应当具有可缩性。

金属棚由矿用工字钢或U型钢制成，U型钢是为制造可缩性支架设计的，棚子多为拱形，当支架承受的压力很大时，U型支架在接头处就会发生相对错动。U型钢拱形支架支护的巷道见图3－11。矿用工字钢多用于制造刚性梯形棚子，由于来源广，造价低，加工简单，矿井中使用的比例仍然很大。近年来，我国一些矿区研制了工字钢梯形可缩支架。

二、砌碹——古老的建筑艺术

在锚喷支护大量使用前，料石或混凝土砌碹支护在服务年限较长的巷道中，使用得非常普遍。砌碹是一种古老的建筑方法，我国著名的赵州桥就是用砌碹的方法建造的。砌碹用于煤矿井下支护的历史也有一二百年了。由于能够长期承受巨大的载荷而不被破坏，砌碹支护多用于开拓巷道和一些硐室，像斜井接近地面的一段井筒，就必须砌碹。井下砌碹的基本形式是直墙拱顶。拱的形式有半圆拱、三心圆拱和全圆拱。全圆拱能承受四周的压力，受压均匀，当然坚固无比。立井井筒的断面是圆形，多采用全圆拱砌碹支护。砌碹技术要求很高，料石的规格要整齐划一，砂

浆要搅拌均匀，灰缝要饱满，砌块的茬口要符合标准。

井下料石砌碹支护的巷道见图 3－10，看了该图后，你一定惊叹砌碹这种古老的建筑艺术。

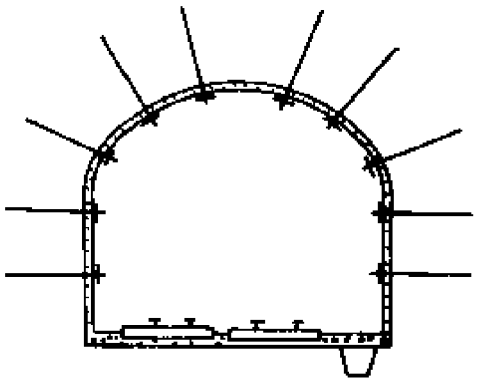
三、锚杆支护家族

长期以来，人们把架设各种形式的支架作为维护巷道的主要手段，无论棚子还是砌碹，架设初期基本上对巷道周边的岩石不提供支护力，只有在巷道周边岩石变形后，随着变形增加，这些支架对周边岩石的支护力才增加。这类支护不能积极地发挥围岩本身的承载能力，而是靠支架被动地承受载荷，锚喷支护形式的出现改变了这种局面。

锚杆是一种锚固在岩体内部的杆状结构物，按杆体的材料不同可分为木锚杆、竹锚杆、金属锚杆、钢筋混凝土锚杆及聚酯锚杆。采用锚杆支护巷道，就是在巷道掘进后向围岩中钻锚杆眼，然后将锚杆安设在锚杆眼内，对巷道周边的岩石予以人工加固。锚杆安装后，即对巷道周边的岩石提供支护力，随着变形增加，支护力也不断增加。

在锚杆支护的基础上，为防止岩石松动和风化，可再喷一层 100～200 毫米厚的砂浆或混凝土，构成锚喷支护。采用锚喷支护的双轨巷道如图 4－4 所示。

当巷道埋深较浅而岩石又坚硬时，有时不需要打锚杆，只喷射砂浆或混凝土便能使巷道保持很好的维护状况，这样的支护叫喷浆支护或喷射混凝土支护。由于喷射的砂浆或混凝土粘结力强，能与岩层紧密结合，故能充填巷道周边岩石的裂隙与凹穴，起到防止围岩松动与风化的作用。



←图 4－4　锚喷支护的双轨巷道

对于松软破碎的岩层，除了打锚杆外，喷射混凝土前，巷道周边上还要铺金属网，金属网的作用是提高混凝土的整体性。金属网可用铅丝或钢筋预先编好，用托板固定或绑扎在锚杆端头。这样的支护形式称为锚网喷支护。

我国煤矿巷道锚喷支护技术开始于 20 世纪 50 年代，70 年代以来，在发展可缩性金属支架的同时，迅速地发展了锚喷支护。1996 年，锚喷支护的巷道达到 29%。

近年来，锚索支护技术在我国煤矿中发展很快。锚索使用的主要材料是高强度的钢绞线，与普通锚杆 1.4～2.2 米的长度相比，锚索要长的多，可达十几米，甚至数十米，能够锚入深部较稳定的岩层中，对岩层所加的预紧力可达数十吨到上百吨。锚索对大断面硐室的支护和难维护巷道的加固具有明显的优越性。

第5章

21 世纪学科发展丛书

不尽乌金滚滚来

近年来，我国每年生产煤炭约11亿吨，这些煤炭的95%是从地下开采出来的，地下开采也叫井工开采。

地下生产煤炭的车间叫采煤工作面，直接进行采掘的煤层暴露面叫煤壁。煤炭开采是沿着采煤工作面中的煤壁进行的。

第一节　长壁与短壁

一、从煤壁的长度说起

按煤壁或采煤工作面的长短，采煤方法大体上可分为长壁和短壁两大体系。顾名思义，长壁体系的工作面较长，我国一般为120～180米，发达采煤国家的工作面长度多在200米以上。见图3－12和图3－13，长壁工作面两端各有一条巷道用于通风和运输，随着工作面向前推进，原来是煤的空间，开采后要专门处理。

短壁体系也叫柱式体系，短壁工作面的长度一般

小于 50 米，如图 5－1 所示，短壁体系采煤法是在煤层内开掘一系列宽为 5～7 米左右的煤房，煤房之间留有一定宽度的煤柱。煤柱作为暂时或永久的支撑物。房式采煤法只采煤房而不回收煤柱。房柱式采煤法既采煤房又回收房间煤柱。短壁体系采煤法工作面长度不大，但同时生产的工作面数目较多，原来是煤的的空间，开采后处理比较简单，有时可以不处理。短壁工作面通风条件较差，采出率较低。我国、前苏联、波兰、德国和英国等广泛采用长壁体系，而短壁体系主要用在美国、澳大利亚、加拿大和南非等国。

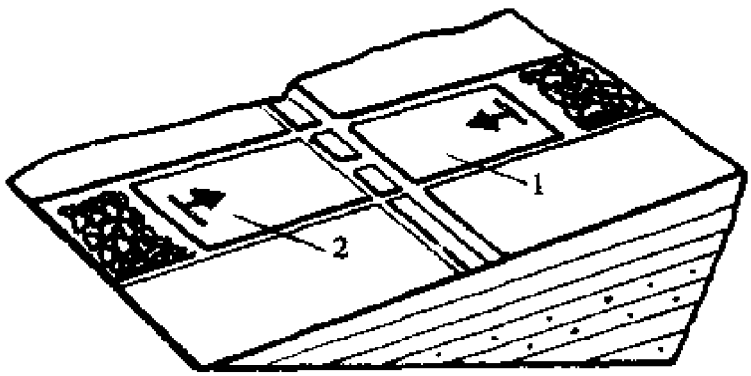


←图 5－1　短壁工作面

二、走向长壁与倾斜长壁

见图 3－12 和图 3－13，采煤工作面沿倾斜布置，沿走向推进，工作面两端的回采巷道基本上是水平的，且与采区上下山相连，这样布置的工作面称走向长壁工作面，相应的采煤法叫走向长壁采煤法。

如图 5－2 所示，阶段内划分成分带后，将工作面



←图 5－2　倾斜长壁工作面

1－俯斜长壁开采 2－仰斜长壁开采

沿走向布置，沿倾斜推进，两侧的回采巷道是倾斜的，并且直接与水平大巷相连，这样布置的工作面叫倾斜长壁工作面。采煤工作面向上推进称为仰斜长壁开采，向下推进称为俯斜长壁开采。

你已经注意到了倾斜长壁开采取消了采区上下山，分带斜巷直接与大巷相连，简化了生产系统，减少了掘进工程量，在一定的地质条件下，肯定能给矿井带来明显的经济效益。

我国已有100多个矿井采用倾斜长壁采煤法。实践证明，在煤层倾角小于12°的条件下，采用倾斜长壁采煤法经济效益最好，随着煤层倾角加大，经济技术效果逐渐变差。

第二节　开采与岩层运动

一、顶板三兄弟

单一薄及中厚煤层中布置的长壁工作面推进到一定距离后，工作面前方和后方分别是实体煤壁和采空区，上方和下方分别是顶板和底板，为了保证有一个安全生产的临时工作空间，在煤壁与采空区之间的一段距离内，必须使用人工支护物支护顶板。

根据煤层之上岩石的性质、与煤层的相对位置和对开采工作的影响，顶板又进一步分为伪顶、直接顶和基本顶。

伪顶是三兄弟中的软骨头，离煤层最近，厚度小于0.5米，极不稳定，暴露出来后往往来不及支护就要垮落。

把位于煤层或伪顶之上，具有一定稳定性，撤去人工支护物后能自行垮落的岩层叫做直接顶。

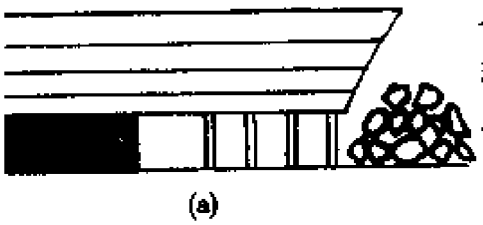
基本顶也叫老顶，是顶板三兄弟中的硬骨头，它的厚度大，强度高，位于直接顶或煤层之上，撤去人工支护物后难于垮落。

通常，煤层之上既有伪顶、直接顶又有基本顶。有时候煤层之上既没有伪顶又没有直接顶，只有基本顶。

二、采空区的处理方法

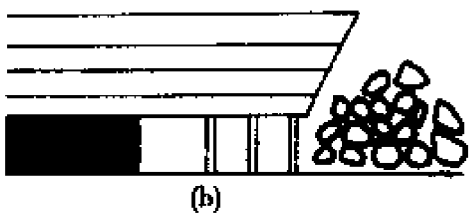
随着长壁工作面不断向前推移，地下煤层采空后的面积愈来愈大。采空区内全部由人工支护物——支柱或支架来支撑，在技术上是困难的，在经济上是不合理的，采空区必须进行处理。采空区的处理方法有垮落法、充填法和煤柱支撑法。无论在国内还是在国外，垮落法是处理采空区广泛使用的方法。

简而言之，垮落法就是要让原来由支柱或支架支撑的顶板岩层有计划地垮落下来，以保证工作面顶板有最小的悬顶面积，减轻顶板对支柱或支架的压力。



←图 5－3　垮落法处理采空区

如图 5－3 所示，当维护临时工作空间的最后一排支柱撤除后，在重力作用下悬空的直接顶垮落在采空区的底板上，处理采空区的这道工序被称为采空区回柱放顶。



a 回柱放顶前的工作面　b 回柱放顶后的工作面

用充填材料充填采空区的岩层控制方法称为充填法，在建筑物下、铁路下和水体下采煤时，常常采用这种顶板管理方法。如图 5－4 所示，我国抚顺、阜新等矿区采用矸石作为充填材料，以水力为输送



←图 5－4　充填法处理采空区



一图 5－5　煤柱支撑法

动力，通过管线充填采空区。

如图 5－5 所示，煤柱支撑法就是在采煤工作面推进一定距离之后，留下适当宽度的煤柱支撑顶板的岩层控制方法，这种煤柱又称作刀柱。煤柱支撑法通常使用在基本顶厚而坚硬，且煤层之上无直接顶或直接顶很薄的条件下。我国北京矿区和大同矿区在厚层难冒坚硬顶板条件下，开采时采用过这种顶板管理方法。

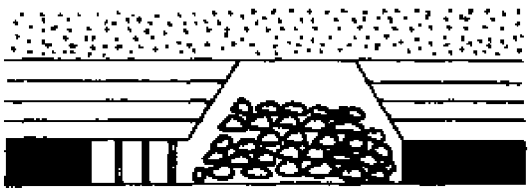
三、初次来压与周期来压

长壁工作面从开切眼开始采煤后，随着不断地撤去支柱或前移支架，直接顶跨度不断增加，并逐渐冒落，随时会堆集在煤层底板上。直接顶垮落后的体积要比原体积大，我们把这种现象叫做岩石的碎胀现象，把岩石垮落后的体积与原体积之比叫做岩石的碎胀系数。

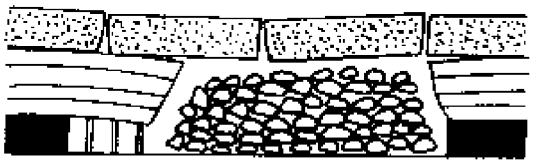
当开采的煤层较薄，而直接顶的厚度又较大时，直接顶垮落后就能把采空空间填满，随后的基本顶弯曲和断裂对采煤工作面影响较小。

如图 5－6 所示，当开采的煤层较厚或直接顶的厚度较小时，直接顶垮落后不能充填满采空区，在初始状态，基本顶如同一个两端都能得到支撑的双支梁。

随着工作面推进，双支梁的跨度不断加大，如图 5－7 所示，当达到极限跨距后开始折断下沉，并引起



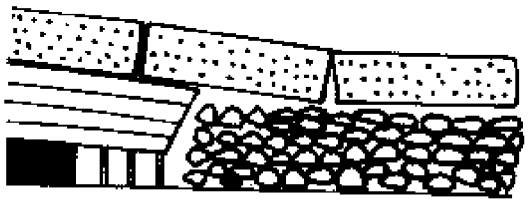
一图 5－6　直接顶垮落后不能充填满采空区



←图 5－7　基本顶初次来压

直接顶下沉加快，支柱受力增大，甚至折断，煤从煤壁脱落，有时能听见岩层破断的声音。我们把基本顶第一次折断引起的这些现象统称为基本顶初次来压显现。

基本顶初次折断后，随着工作面推进，基本顶如同悬臂梁，如图 5－8 所示，在采空区侧悬伸的长度由小



←图 5－8　基本顶周期来压

到大，达到极限跨距后折断下沉，工作面继续推进，基本顶周期性地折断下沉。工作面周期性地呈现直接顶下沉加快、支柱受力增大、煤从煤壁脱落等基本顶来压显现，我们把这些现象叫做基本顶周期来压。

若煤层之上的直接顶很薄或无直接顶，基本顶的初次来压和周期来压将显现得十分强烈。

四、“三带”的形成

采用垮落法管理顶板的长壁工作面，煤层采出一定面积后，采空空间上方的岩层在重力作用下产生变形和移动，并且要波及到地表。由于开采空间与上覆岩层的距离不同，不同位置处岩层的变形和移动有一定差异，采空空间上方的岩层一般自下而上形成垮落带、裂隙带和弯曲下沉带，近水平或缓倾斜煤层开采后上覆岩层中形成的“三带”如图 5－9 所示。

回柱或前移支架后，直接顶逐层冒落，形成 2～4

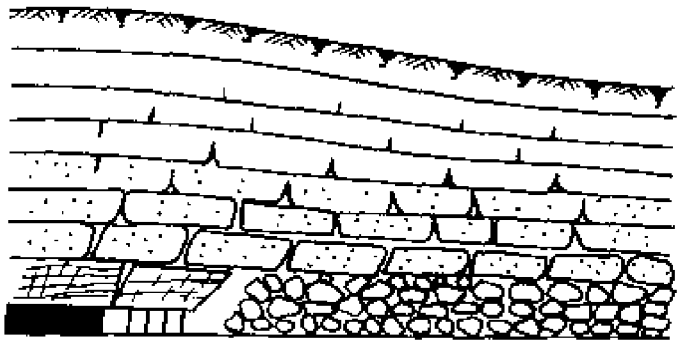


图5-9 采空空间上方岩层中的“三带”

倍煤层开采高度的垮落带。由于先冒落的岩层具有较大的自由空间，垮落带中愈是靠近底板的岩石愈不规则，排列也愈杂乱，碎胀系数也愈大。由于岩石碎胀作用，后冒落的岩层具有的自由空间愈来愈小，冒落过程中受到的限制愈来愈大，上部的垮落带岩层基本上保持了原来的层状排列，但各岩块之间不能传递水平力。垮落带岩层的初始碎胀系数为1.3～1.5。

垮落带之上是裂隙带，该带是在垮落带岩层被压实过程中逐渐形成的。裂隙带中的岩层被接近垂直的裂隙和岩层之间的离层破断成块，但排列整齐。我国著名的采矿专家钱鸣高院士认为：裂隙带各岩块之间有可能互相咬接而形成力的平衡，即形成一种由岩块堆砌互相挤压的“梁”式结构物，这种结构有可能保护采煤工作空间，使工作面处于较小的压力范围之内，从而提出“砌体梁”力学模型。就长壁工作面采空空间上方岩层结构，我国著名的采矿专家宋振骐院士则提出以岩层运动为中心的传递岩梁力学模型。

弯曲下沉带是裂隙带之上直至地表的岩层，弯曲下沉带的岩层只发生整体性的、成层的移动，岩层不产生裂隙或只产生微小的裂隙。

“三带”的范围与煤层开采厚度、埋深、顶板管理方法和岩石性质有关。采用充填法管理顶板时，没有垮落带，

只有裂隙带和弯曲下沉带。当开采煤层的厚度较大而埋深又浅时，有可能只有垮落带和裂隙带，而没有弯曲下沉带。

第三节　从手工作业到综合机械化开采

随着社会的发展和科学技术的进步，采煤技术也是以从简单到复杂，由落后向先进的顺序发展的。我国采煤方法的发展是在不断改善长壁工作面顶板管理方法和提高机械化程度的过程中实现的。

1840 年以后，沦为半封建半殖民地的我国煤矿，采煤方法落后、原始，靠开掘巷道出煤，采煤工作依靠工人繁重的体力劳动。

我国煤矿推广长壁采煤方法是从新中国成立后开始的，在推行过程中，我国十分重视发展机械化采煤，以减轻工人繁重的体力劳动。20 世纪 60 年代中期，我国研制了单滚筒采煤机，与可弯曲刮板输送机配套，采用金属摩擦支柱和金属绞接顶梁支护顶板，形成当时的普通机械化采煤工作面，使采煤工作面的破煤、装煤、运煤实现了机械化。

为了更快更好地发展我国的综合机械化采煤技术，从 1973 年开始，在成套引进先进国家的长壁工作面综合机械化设备的同时，研制了综合机械化采煤配套设备，目前已形成较完整的设计、制造和科研体系。综合机械化采煤使采煤过程全部实现了机械化，矿工只要控制开关手把，煤就能源源不断地开采出来。我国从 1993 年开始组织高产高效矿井建设，到 1995 年已建成 56 个高产高效矿井，这些矿井实现了一矿一个采煤工作面或一矿两个工作面的生产模式。我国神华集团的大

柳塔矿学习国外高产高效矿井的先进经验，走高起点、高投入、高产出和高效益的道路，全矿350人，由一个工作面保证产量，工作面长220米，推进长度可达4000米，月产97万吨，2000年实际产量达840万吨。

一、祖先的采煤方法

我国古代的劳动人民很早就能够通过各种方法在地下寻找和挖掘煤炭。古代由于生产技术落后，人们用铁镐或铁铲刨煤，用荆条或竹子编的筐子把煤背出来或拖出来。如果进入井下的巷道不是平的和斜的，而是立井，就像人们用水桶在水井中提水一样，用辘轳把装满煤的筐子提升到地面来。这种采煤和运煤的工作十分繁重，效率也很低，安全也没有保障。

火药的发明促进了爆破技术的发展，17世纪火药开始在煤矿使用，钻眼工具的出现，使采煤技术发生了根本变化，从而采煤进入了打眼放炮的阶段。

二、打眼放炮采煤

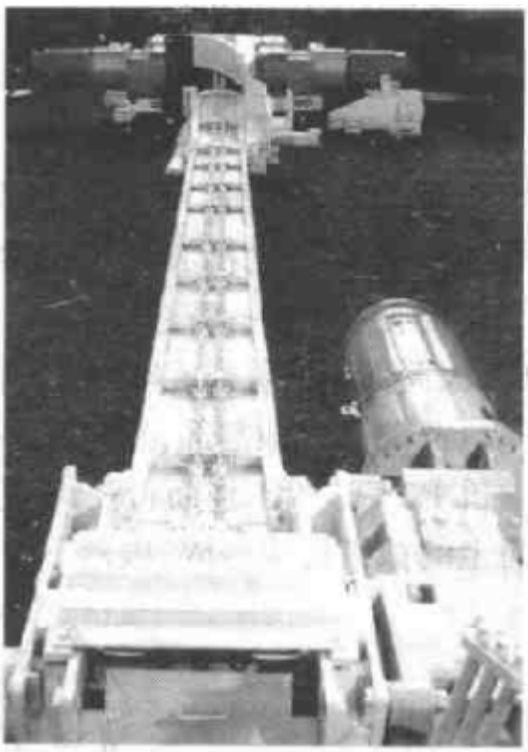
打眼放炮采煤，就是沿着长壁工作面煤壁，用煤电钻先在煤体内钻出直径为40毫米左右、长度为1～2米的若干炮眼，钻眼工具和过程见图4－2，而后根据煤层厚度、硬度以及顶板情况，在每个炮眼中装入炸药和引爆炸药的雷管，炮眼外端用黄泥填塞，雷管端的脚线引出炮眼口外，待工作面内的矿工撤退到安全地点后，放炮工用专门的起爆器引爆炸药，将煤从煤壁崩落下来，这种方法叫做打眼放炮采煤法，简称炮采。

放炮后崩落下来的煤堆积在底板上，矿工要用大铁锹把它们装入沿工作面全长铺设的可弯曲刮板输送机运出。假设煤层厚2.5米，爆破一次工作面推进1.5米，

每个矿工负责 10 米长的一段，煤的容重按 1.3 吨/米^3 计算，一个矿工要往刮板输送机内装将近 50 吨的煤，可见人工装煤工作非常繁重。

炮采采煤方法机械化程度低，破煤、装煤、支护等工序要由人工完成，工人劳动强度大，产量小，效率也低。但由于使用的设备简单，能适应复杂多变的地质条件，在不稳定煤层中，或在地质构造复杂的条件下，或回收矿井的边角煤时，仍然得到广泛应用。

三、像蛇一样可以弯曲的刮板输送机



←图 5－10　可弯曲刮板输送机

可弯曲刮板输送机是长壁工作面运煤的设备，沿采煤工作面全长铺设。在普通机械化采煤工作面，它还是采煤机沿工作面行走的导轨。如图 5－10 所示，可弯曲刮板输送机由机头、机尾和机身组成，装有电动机的机头为机身运煤提供动力，大功率刮板输送机往往机尾也装有电动机。机身由一节一节的铁槽连接而成，铁槽分上下两层，内有铁链，每隔一定距离系有一块刮板。电动机启动后，机头的链轮带着链条和刮板沿铁槽运行，把煤从机尾向机头方向运出，卸煤后的空链和刮板从下层铁槽返回机尾。

可弯曲刮板输送机的单节铁槽如图 5－11 所示，由于整个机身是由一节节铁槽的凸出部分插入相邻铁槽的

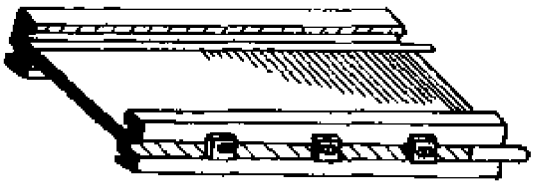


图 5-11 可弯曲刮板输送机的单节铁槽

凹出部分拼接而成的，相邻两节铁槽在平面上可以弯曲一定角度，只要不大于3°，仍能正常运行。工作面已经装完煤的一段可以先移向煤壁，未装完煤的一段仍可留在原来的位置，这样，整个输送机可以逐段像蛇一样在工作面弯曲。可弯曲刮板输送机运输能力大，便于移动，在垂直面上也可以弯曲，对于起伏不平的底板有很好的适应性。

四、滚筒采煤机采煤

滚筒采煤机是普通机械化采煤工作面和综合机械化采煤工作面破煤和装煤的主要设备，就其结构来说，有单滚筒和双滚筒之分，单滚筒采煤机结构示意图如图5-12所示，中间是电动机部；一端是牵引部，用来牵引采煤机沿工作面行驶；另一端是截割部，由减速箱、摇臂和滚筒组成，滚筒上缠绕着螺旋叶片，叶片上排列着截齿。双滚筒采煤机两端都有截割部，采煤时，采煤机骑在可弯曲刮板输送机上，一边沿工作面行驶，一边使螺旋滚筒旋转，螺旋滚筒上的截齿使煤破碎，破落下来的煤靠弧形挡煤板挡住，

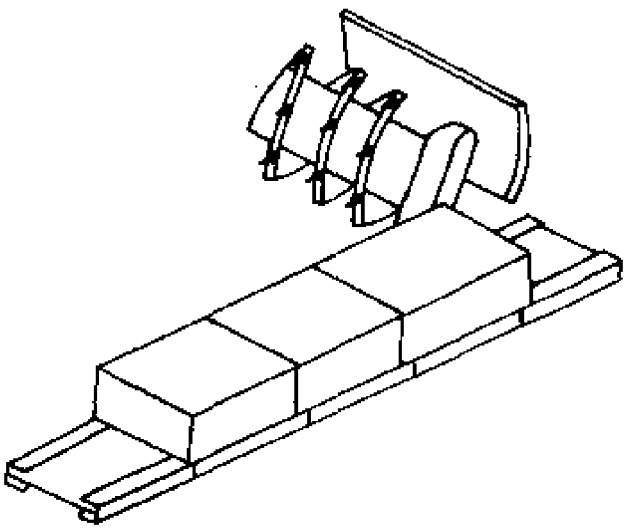


图 5-12 单滚筒采煤机

随采煤机运行装入可弯曲刮板输机，然后运出工作面。

采煤机的装煤原理类似于螺杆和螺母相对转动时的移动关系，我们知道螺杆转动时，螺母将沿螺杆的轴向方向移动。采煤机的螺旋滚筒相当于螺杆，被截割的煤壁和弧形挡煤板相当于螺母，只要滚筒旋转的方向合适，截割后的煤必然要移动到刮板输送机内。

对于较厚的煤层来说，双滚筒采煤机的前滚筒截割顶部的煤，后滚筒截割底部的煤，采煤机沿工作面行驶一次，可以将全部厚度的煤层截割完毕。若在较厚的煤层中使用单滚筒采煤机，往往是采煤机上行割顶部的煤层，下行割底部的煤层，往返一次才能将全部厚度的煤层截割完毕。

由于使用了采煤机和刮板输送机，采煤工作面的破煤、装煤和运煤实现了机械化。

五、普采和炮采工作面顶板管理

长壁工作面生产过程主要包括破煤、装煤、运煤、支护及采空区处理等工序，前三道工序是为了把煤从工作面采出来，后两道是为了控制顶板，通常叫做顶板管理。

普采是普通机械化采煤的简称，与炮采的主要区别是由采煤机完成破煤和装煤的工序。

炮采工作面人工清理完爆破后的碎煤后，或者普采工作面由采煤机完成破煤和装煤的工序后，为了继续生产，需要将刮板输送机推向煤壁，还需要把煤壁附近新暴露出来的顶板用支架支护，以防止顶板岩石塌落下来。长壁工作面最早使用的支柱是木支柱，20 世纪 60 年代初，我国开始推广了单体金属摩擦支柱，摩擦支柱靠活柱与柱筒间的摩擦力支撑顶板。与木柱相比，摩擦

支柱整体承载能力较高，能及时支护采煤机截割后或放炮后悬露的顶板，金属摩擦支柱的应用使木材消耗大幅度下降。这种支架的不足之处是支设初期对顶板产生的支撑力较小。

20世纪70年代后期，我国发展了单体液压支柱，液压支柱由活柱和油缸组成，靠油缸中注入高压液体使活柱伸出支撑顶板。目前，普采工作面多使用单体液压支柱。由于单体液压支柱比单体摩擦支柱更先进，人们习惯上把用单体液压支柱支护的普采工作面叫做高档工作面。

当顶板破碎时，支柱上面还需架上顶梁，最早的顶梁是木顶梁，目前普遍使用金属绞接顶梁，这种顶梁的长度有0.8米、1米和1.2米三种。习惯上把支柱加顶梁的支架叫做棚子，只有支柱而没有顶梁的支架形式叫做点柱。



图5-13 单体摩擦支柱支护的工作面

单体金属摩擦支柱加金属绞接顶梁支护的工作面如图5-13所示，单体液压支柱加金属绞接顶梁支护的工作面如图5-14所示。

我们把由支柱维护出来的工作空间宽度叫做控顶距，最小控顶距必须至少有3排支柱维护，靠煤壁的空当是刮板输送机的机道，中间的空当是人员行走的通道，靠采空区一侧的空当可用于贮放支护材料。最大控顶距往往由4排或5排支柱维护，采空区回柱放顶就是要把最小控顶距以外的一排或



—图 5－14　单体液压支柱支护的工作面

两排支柱撤除，让采空区的顶板垮落。

采空区回柱放顶是比较危险的工作，必须由有经验的矿工操作。

普采工作面实现了破煤、装煤和运煤的机械化，但是，支护顶板和处理采空区还必须靠人力。一根单体液压支柱的重量有 50 千克，一根金属绞接顶梁的重量也有 30 千克，矿工必须把靠近采空区一侧的一排或两排支架撤除，搬运到煤壁附近重新架设，支护刚暴露的顶板。一个普采工作面有七八百根甚至上千根沉重的支柱和顶梁，这些都要靠人力撤除、搬运和架设，完成这些工作不仅劳动强度大，而且要花费大量的时间，这将影响采煤工作面产量和效率大幅度提高。由此可见，顶板管理已经成为限制普采工作面高产高效的最薄弱环节。

多少年来，煤矿科研工作者一直在探索着研制一种新型的无需人力搬运的现代化支架，以代替单体支柱控制顶板，这也是几百万煤矿工人梦寐以求的愿望。

六、地下钢铁长城

综合机械化采煤工作面用来支护顶板和处理采空区的自移式液压支架简称为液压支架，它的雏形是将若干单体液压支柱用共同的顶梁和底座联在一起。液压支架

的出现，把长壁工作面的支护技术从手工发展到机械化。液压支架与可弯曲刮板输送机和采煤机配合使用，使采煤过程中的破煤、装煤、运煤、支护和采空区处理全部实现了机械化，综合机械化采煤简称综采。

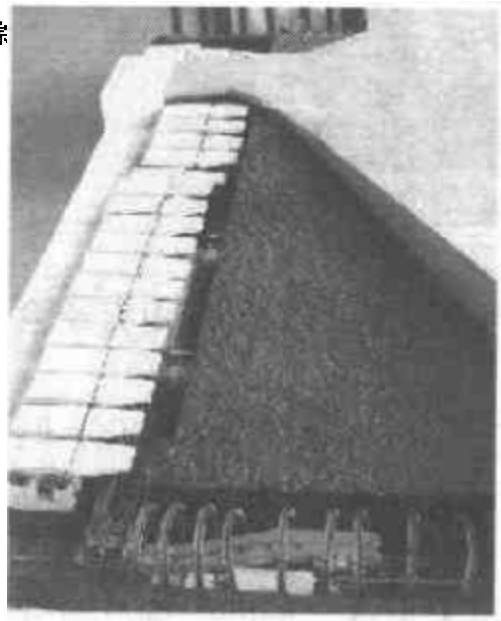


图 5－15　综采工作面布置

液压支架是由钢铁制造的庞然大物，自身重几吨到十几吨，如图 5－15 所示，一百多架液压支架布置在长壁工作面，犹如一段地下钢铁长城，如图 5－16 所示，工作面内的采煤机、刮板输送机以及矿工在它的保护下可以安全地运行和操作。

为了适应各种顶板条件，科研人员和生产厂家设计和制造了各种各样的液压支架。按照液压支架与顶板岩层的作用关系，大体上可分为支撑式、掩护式和支撑掩护式液压支架。



图 5－16　综采工作面

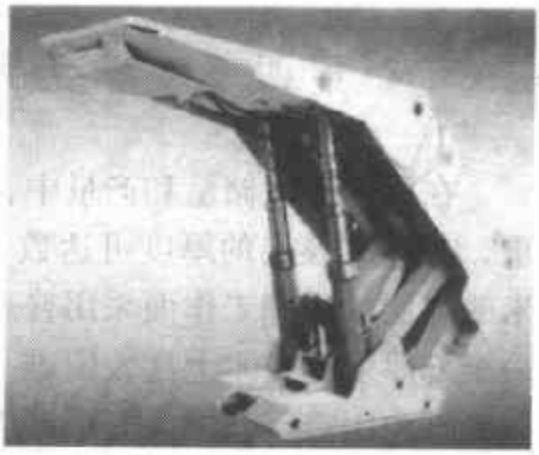
如图 5－17 所示，支撑式液压支架的支柱是垂直于顶梁和底座安装的，一个支架对顶板提供的支撑力可达 500 吨以上，这是多么大的力量。这种支架的支护性能

好，适合于坚硬顶板条件下使用。



←图 5－17 支撑式液压支架

若遇到松散破碎的顶板，采空区悬顶并不大，这种情况下并不需要支撑力很大的液压支架，而是需要液压支架将采空区冒落矸石与工作空间隔开，这种条件下常用掩护式液压支架。掩护式液压支架的支柱和后部的掩护梁都是倾斜布置的，这类支架支撑力虽不大，但具有很好的防护性能。



←图 5－18 支撑掩护式支架

如图5－18所示，支撑掩护式液压支架兼有支撑式和掩护式支架的特点，既具有较大的支撑能力，又具有良好的掩护性能，常使用在介于坚硬顶板和破碎顶板之间的顶板条件下。

作为一个采矿工程师，必须熟知顶板条件，选择好液压支架。

液压支架底座下方的推移千斤顶一端与工作面的刮板输送机相连，另一端与液压支架的底座相连，通过推移千斤顶，液压支架可以前移，这就是为什么叫自移式液压支架的原因。

采煤机截割煤壁后，为了及时支护新暴露出来的顶板，需要移架的液压支架降柱，此时刮板输送机固定不动，推移千斤顶的油缸前移，带动液压支架前

移，移到预定位置后，液压支架升柱支撑顶板，支架后方采空区的顶板垮落，完成了既支护顶板又处理采空区的工序，再以已支撑顶板的液压支架为支点，伸出推移千斤顶，可以将刮板输送机推向煤壁。

液压支架所有的这些动作都是通过控制液压阀门而实现的，这样，破煤、装煤、运煤、支护与采空区处理在综采工作面简化为采煤、移架和推移刮板输送机三道工序。

液压支架的出现，标志着煤炭工业机械化大生产的开始，使采煤工作面实现了高产、高效、安全和文明生产。

第四节　厚煤层如何开采

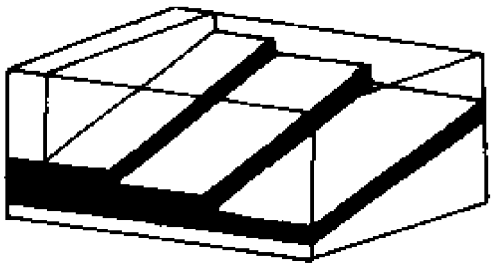
在我国煤炭储量和产量中，厚煤层几乎占一半的比重，有些厚煤层的厚度可达数十米。开采厚度超过3.5米的煤层，长壁工作面采用普通支架和普通工艺一次开采全部厚度在技术上比较困难，因为开采高度愈大，顶板管理愈困难。我国在开采厚煤层的实践中，找到许多新的开采方法。

一、在人造的假顶下采煤

对于近水平缓斜和倾斜厚煤层，我国最早采用倾斜分层下行垮落采煤法，如图5－19所示，将厚煤层划分成若干与煤层层面相平行的分层，分层厚度为1.8～2.5米，工作面沿走向或倾斜推进，分层间采用自上而下的开采顺序，各分层内均采用垮落法管理顶板。

上分层开采与单一薄及中厚煤层中开采基本相同。值得注意的是：开采下分层时，工作面上方的顶板是破碎

的岩石，整个工作面生产要在已垮落的岩石下面进行。不知道你是否已想出解决这一问题的办法。



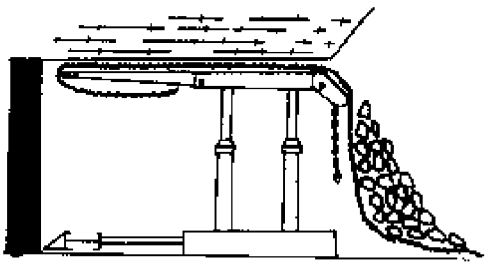
← 图 5－19　厚煤层倾斜分层

科技工作者想到了层间铺设人工隔离物，开采第一分层时，在回柱放顶前铺设，我们把人工隔离物称为人工假顶。第一分层以下的各分层利用已预先铺好的人工假顶，隔开上面垮落下来的顶板岩石，第二分层及以下各分层工作面的采煤工作在人工假顶下进行。

人工假顶的种类很多，最早使用的是木板，盛产竹子和荆条的地方常常用竹笆和荆笆。由于木板价格较高，竹笆和荆笆容易腐烂，目前我国各主要矿区广泛使用金属网或塑料网，网孔是正方形的称为经纬网，网孔是菱形的称为菱形网，网宽约1米，长5～10米不等，成卷状运到工作面。

金属网和塑料网的铺设方法有铺顶网和铺底网之分。

综采工作面铺顶网的情况如图5－20所示，在液压支架移架前，工人卷开吊挂在液压支架顶梁前端上方的金属网，待液压支架移架后，还要把相邻的金属网用铁丝联在一起。



← 图 5－20　综采工作面铺顶网

二、大采高液压支架的应用

我国很多矿区的主采煤层厚度在3.5～5米，这些煤层若采用分层综采，由于采高较小，影响经济效益；若采用放顶煤综采，煤层厚度又相对较薄。针对这类煤层，从20世纪80年代，我国开始发展了大采高一次采

全厚综采技术，引进、研制和试验了大采高液压支架和采煤机，相继在官地矿、范各庄矿、东庞矿、大柳塔矿和张小楼矿投入使用。

和矿工身高相比，大采高液压支架如同一个钢铁巨人，它与采煤机和刮板输送机配套使用，必然能够带来良好的经济技术效果。

东庞煤矿开采4.7米厚的煤层，使用可以达到5米采高的液压支架，工作面最高月产达到14.2万吨。

与倾斜分层综采相比，大采高一次采全厚综采降低了巷道掘进率，减少了人工假顶材料和劳动力投入，在合适的地质条件下是一种有发展潜力的厚煤层开采方法。

三、把顶部的厚煤层放下来

目前，放顶煤采煤法能把厚度超过6米的煤层一次采出来。放顶煤采煤法的实质就是在厚煤层底部布置一个普通的长壁工作面，用常规方法开采，利用顶板的压力或辅以人工松动方法，使支架上方的顶煤破碎成散体后从支架上方或后方放出，经刮板输送机运出工作面。缓倾斜厚煤层综采放顶煤一次采全厚开采如图5－21所示。

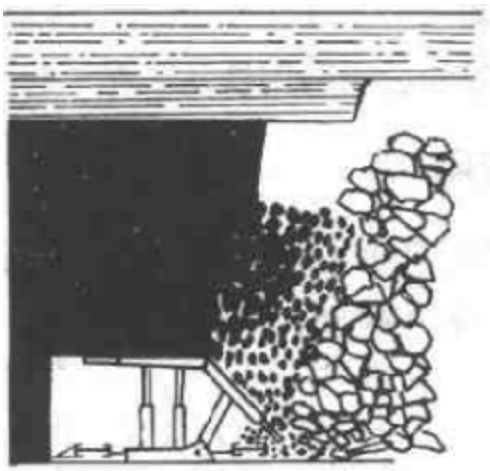


图5－21　厚煤层综采放顶煤一次采全厚开采

厚煤层底部采煤工作面的采煤机截割放顶煤液压支架前方的煤壁，截割下来的煤由液压支架前方的刮板输送机运出，液压支架后方还有一部刮板输送机，负责运出后方放落下来的

顶煤。

一次采全厚放顶煤开采一般适用于厚度 6～12 米的缓斜厚煤层，这是我国目前使用的主要放顶煤方法。

预采顶分层放顶煤开采是先沿厚煤层顶部布置一个普通长壁工作面，而后沿厚煤层底部布置放顶煤工作面，将两个工作面之间的顶煤放出，顶分层开采时往往铺金属网，以便放顶煤工作面放煤时能将采空区的矸石和煤层隔开。这种放顶煤方法一般适用于厚度大于 12 米，直接顶坚硬或瓦斯含量高的缓斜厚煤层。

放顶煤开采取决于放顶煤支架，根据放煤口位置不同，综采放顶煤液压支架有顶部开天窗式和后部插板式两种。

国外 20 世纪 40 年代开始应用放顶煤采煤方法，综采放顶煤开采曾一度成为东欧地区厚煤层开采的主要方法。由于各种原因，欧洲主要产煤国家并没有取得很好的技术经济指标，20 世纪 80 年代以后，国外放顶煤开采方法只在极少数矿井中使用。我国 20 世纪 80 年代引进了综采放顶煤技术，目前，一些高产高效的工作面多集中在放顶煤工作面，一些综采放顶煤工作面年产已超过 300 万吨。到 20 世纪 90 年代初，我国综采放顶煤开采技术已走在世界前列，并已向国外输出成套技术。

四、砂子与煤层的换位

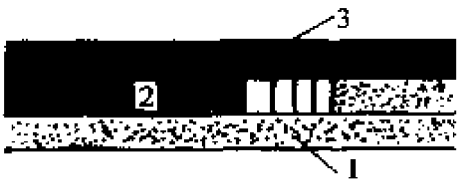
长壁工作面回柱放顶或移架后顶板垮落，原来是煤的空间由上覆岩层占据，从而引起上覆岩层发生移动、变形和破坏，这一过程要波及到地表。地表下沉的最大值往往要达到煤层开采厚度的 60%～90%。我国抚顺矿区，有些煤层的厚度达到 50 多米，如果采用垮落法开采，地表就要至少下沉 30 米，这样大的下沉值将使

地面建筑物全部遭到破坏。为了保护地表及地面建筑物，有些厚煤层开采需要采用充填法处理采空区。

用水流的力量通过管线将充填材料输送到采空区的采煤方法叫水力充填采煤法。

水力充填采煤法往往采用上行开采顺序，如图5－22所示，按倾斜分层的方法将厚煤层分层后，各分层按由下向上的顺序开采。采用这样的开采顺序，顶板总是实体煤，而不是充填材料。

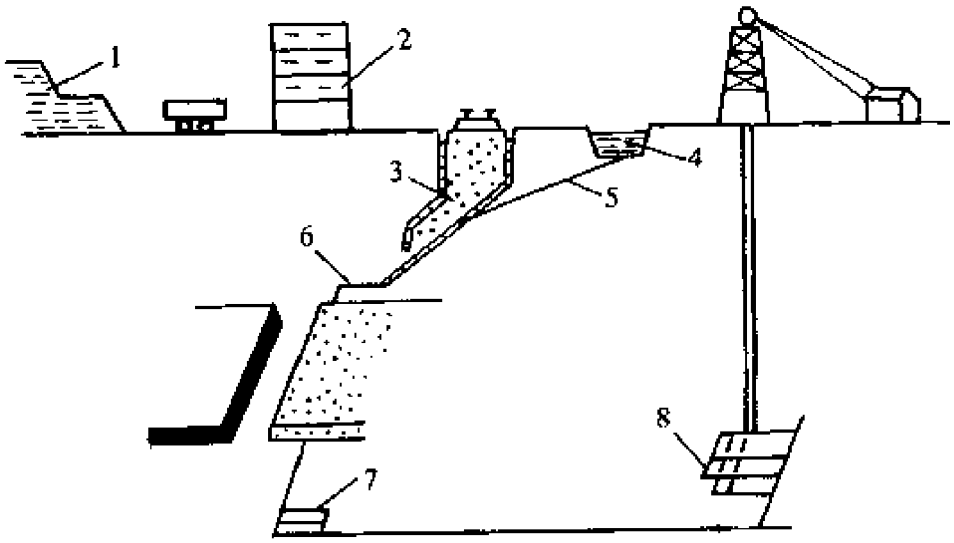
图 5－22 上行开采顺序



1－先开采的分层 2－正在开采的分层 3－未开采的分层

为了能把采空区充填满，充填材料的需求量十分可观。我国常用的充填材料有河砂、山砂、洗选后的矸石和经过破碎后的岩石。以图 5－23 为例说明水力充填系统，将采砂场采集的岩石材料送入地面破碎车间，加工成能够满足水力管路运输的颗度后，装入矿车运输到砂仓贮存。工作面需要充填时，在注砂室内将成品砂与水混合成砂浆，砂浆经充填管路流入采空区，砂石停留在采空区支撑顶板，而输送砂石的充填水流出采空区，进

图 5－23 水砂充填系统示意图



1－采砂场 2－破碎厂 3－注砂室 4－水池 5－水管 6－充填管路 7－沉淀池 8－水仓

入井下沉淀池，经过澄清后，流入井下中央水仓，再用地面水泵排至地面贮水池，以便循环使用。

我国水力充填工作面大部分采用炮采，少数采用普采，充填工作面的破煤、装煤、运煤和支护工序与垮落法相同，由于采用充填法管理顶板，工作面基本上没有周期来压，顶板移动和下沉量也较小，支护密度也可以减小，但增加了充填工序。

水力充填采煤法可以提高采出率，能有效地减少地面下沉，在建筑物下、铁路下和水体下开采是一种行之有效的开采方法。由于这种采煤方法成本高、投资大，近年来应用的比重有所下降。

第五节　急倾斜煤层如何开采

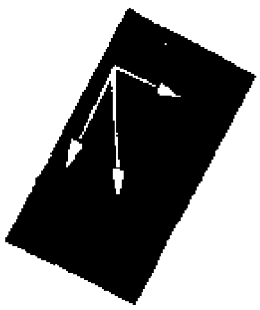
急倾斜煤层开采的特点是由煤层倾角加大引起的。

只有经受了剧烈的地质变动，成煤时期形成的近水平煤层才可能变为急倾斜煤层。一般来说，急倾斜煤层中的地质构造比较复杂，煤层也不稳定。这限制了井田、阶段、采区及区段的划分和尺寸。

开采下来的煤和垮落的矸石会自动下滑，这简化了煤在工作面和采区上山中的运输，但煤和矸石向下滚动容易冲倒支架和砸伤人员。

采煤工作面机械化开采以及行人、运料和操作各工序均比较困难。

如图 5－24 所示，顶板沿倾斜方向的分力增大，垂直于层面方向的分力减小，容易引起支架和底板岩层不稳定。

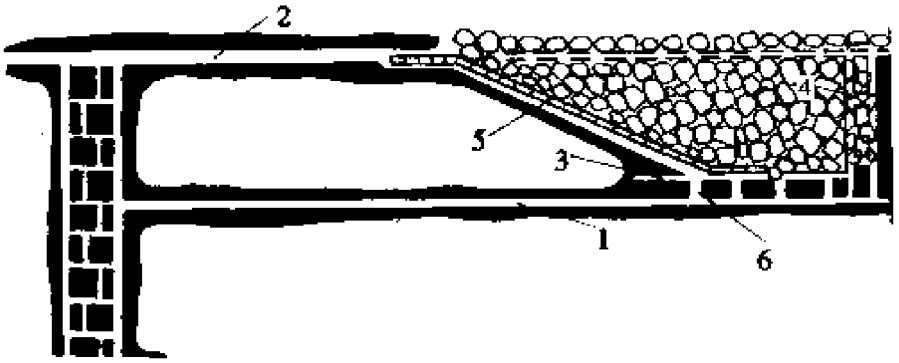


←图 5－24　垂直于层面方向的顶板重力分力减小

一、在柔性梁掩护下作业

伪倾斜柔性掩护支架采煤法是20世纪60年代淮南矿务局科研所的研究人员发明的，这种采煤方法已成为我国开采急倾斜煤层的主要方法，其采区巷道布置与缓倾斜煤层相同，只是上山的数目增加到三条，分别用于运煤、运送材料和行人，为避免煤和矸石下滑对行人造成伤害，行人的上山分段折线布置。

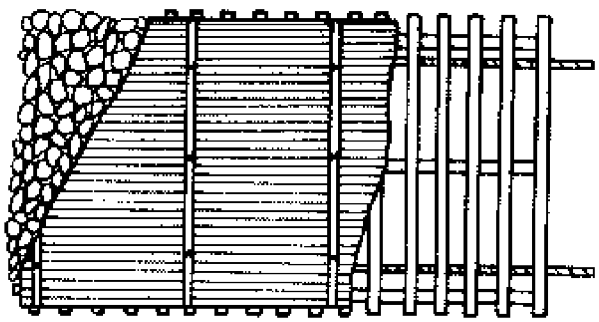
如图5－25所示，伪倾斜柔性掩护支架采煤法是在区段内布置一个伪倾斜长壁工作面，伪倾斜角为25°～30°，工作面沿煤层走向推进，用柔性掩护支架将工作面与采空区隔离，工人在掩护支架下采煤。



→图5－25 伪倾斜柔性掩护支架采煤法

1－区段运输平巷 2－区段回风平巷 3－超前平巷 4－开切眼 5－掩护支架 6－溜煤眼

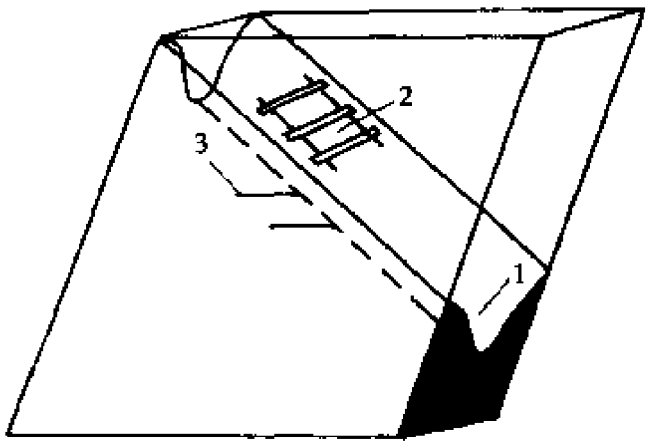
如图5－26所示，柔性掩护支架由工字钢、钢丝绳、金属网或竹笆、荆笆组成，工字钢长度略小于煤层厚度，垂直于煤层顶底板放在钢丝绳上面，用螺栓



→图5－26 柔性掩护支架

和夹板将工字钢和钢丝绳连接为一个柔性整体。

区段运输平巷与区段回风平巷掘至采区边界后，开掘两条切眼与这两条平巷相连，从采区边界开始在区段回风平巷中挖地沟，地沟上部朝上山方向不断铺设柔性掩护支架，在开切眼内打眼放炮，随着煤炭崩落，地沟上部的柔性支架逐渐调斜，调斜后的地沟放大后如图5－27所示。



← 图 5－27
调斜后的地沟

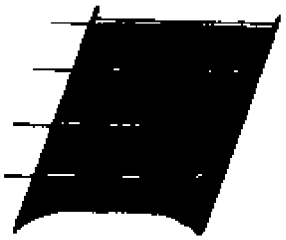
1－地沟 2－掩护支架 3－炮眼

地沟上下端分别与区段回风平巷和运输平巷相连。正常生产期间，工人站在地沟内打眼放炮，破碎后的煤沿着地沟下滑到工作面下口，经溜煤眼落到区段运输平巷。随着工作面向前推进，地沟上部的柔性掩护式支架由自重和上面垮落矸石的推力，始终紧靠着工作面，工人在工作面前方的区段回风平巷内不断安装和接长支架，当支架落到最低位置后，工人在区段运输平巷上面的超前平巷内拆除支架、回收工字钢梁，并运到区段回风平巷内，准备再次使用。

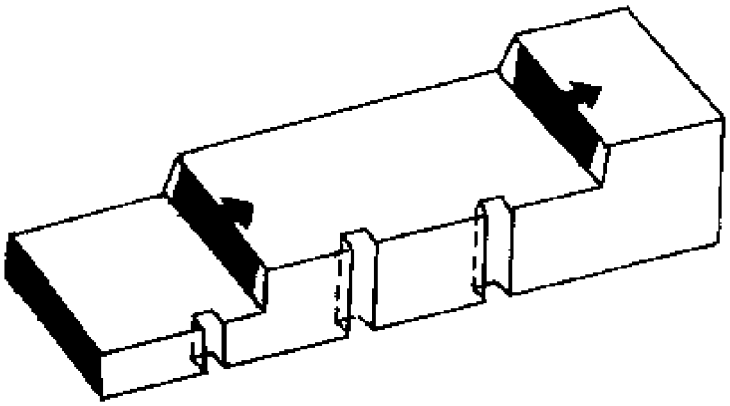
伪倾斜柔性掩护支架采煤法适应于倾角大于55°、厚度在1.5～6米之间且厚度变化不大的煤层。这是为什么呢？因为当煤层倾角变小或者厚度变化较大时，掩护式支架的下放就会遇到困难。

二、水平分层与水平分段

如图 5－28 和图 5－29 所示，水平分层采煤法是把急倾斜厚煤层划分成若干与水平面相平行的分层，每个分层厚度为 2～3 米。根据煤层厚度，在每个分层内布置 1～2 条用于通风、行人和运料的分层回采巷道，形成采煤工作面，工作面的长度就是顶底板间的水平距离。同时，在沿煤层底板或在煤层厚度中央布置溜煤眼，溜煤眼沿煤层走向的间距为 5～6 米，各分层回采巷道与溜煤眼相连，除了溜煤外，溜煤眼还用于通风。



一图 5－28 水平分层



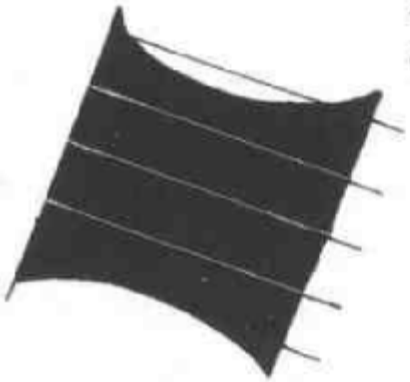
一图 5－29 水平分层采煤法

只要上下分层工作面保持一定距离，几个水平分层工作面可以同时开采。工作面落煤一般采用爆破方法或风镐，因工作面较短，爆破后的煤一般由人工装入工作面附近的溜煤眼内，工作面支护形式与普采相同，各分层工作面采用垮落法管理顶板，第一分层要铺金属网，以后的各分层在金属网下开采。

水平分层采煤法能适应煤层厚度和倾角变化，安全，采出率高，但掘进巷道多，通风复杂，运料困

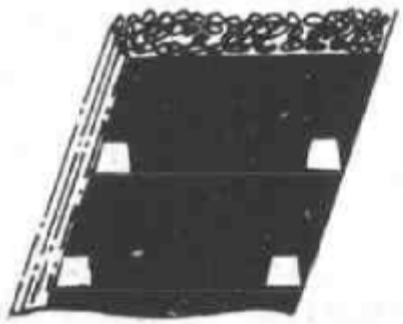
难，装煤劳动强度大。

为了减轻装煤工作量，不少矿井把水平分层工作面改为斜切分层工作面，使工作面向溜煤眼方向倾斜，斜切分层如图 5－30 所示。



← 图 5－30 斜切分层

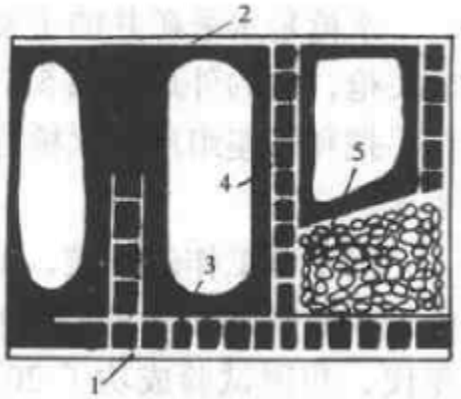
水平分段放顶煤采煤法是放顶煤采煤法在急倾斜特厚煤层中的应用。该采煤法类似于水平分层采煤法，其差别是按一定高度把急倾斜特厚煤层划分为分段，而不是划分为分层。如图 5－31 所示，在分段底部布置长壁工作面，分段上部的煤炭由工作面后方放出运走，这样，各分段依次自上而下使用放顶煤采煤工艺进行开采。



←图 5－31 急倾斜特厚煤层水平分段放顶煤巷道布置

三、用仓把煤先储存起来

仓储采煤法的特点是，在区段范围内，沿走向每 15～25 米划分一个仓房，采落的煤暂时储存在采空区内，待全部仓房采完后再全部放出。仓储采煤法如图 5－32 所示。



← 图 5－32 仓储采煤法

1－区段运输平巷 2－区段回风平巷 3－采煤平巷 4－斜巷 5－工作面

采煤工作从采煤平巷开始，沿倾斜向上，逐步把工作面调成 10°～20°的伪倾斜角。工作面采用打眼放炮落煤，破碎后的煤暂时支撑顶板，因此，工

作面内不必大量支护。

仓储采煤法工序简单，产量大，效率高，经济效益好。但是，在顶板破碎、容易垮落的情况下，煤矸容易混杂，当底板不平、煤层倾角不大、有顶板淋水时，煤炭不易放出，另外煤层容易自燃时，仓储法为其自燃创造了条件。这样，我们就知道了仓储采煤法的适用条件：顶板不易垮落，底板平整，煤层倾角50°以上，且不易自燃，顶板淋水少。

第六节　高压水射流的应用

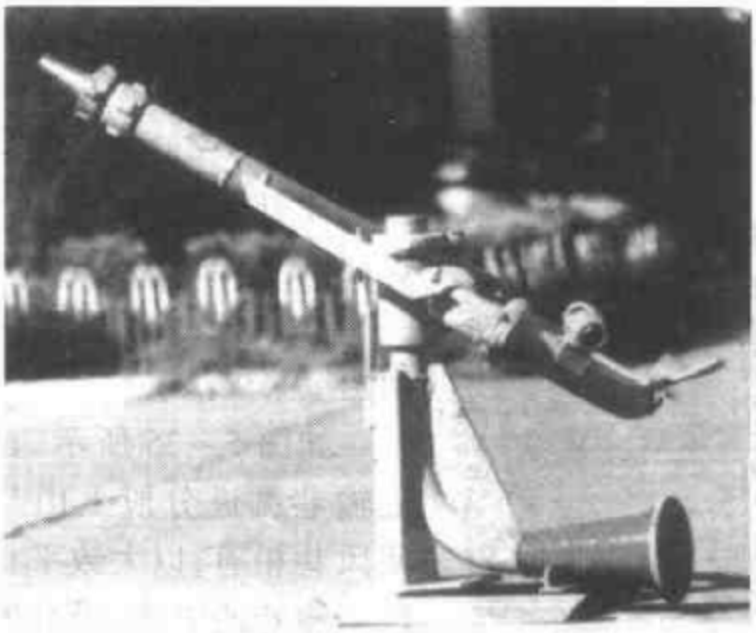
童年的时候，我们都开心地玩过水枪，挤压装满水的塑料水枪，水射流可喷出枪口几米远。把水射流技术应用于煤矿井下生产，就成为水力采煤。

水力采煤是利用水力完成矿井生产中采煤、运输、提升等生产环节的全部或部分工作的开采技术。我国自1956年开始试验水力采煤，目前已发展到比较成熟的阶段，现在已有十几个矿区采用过水力采煤技术。

一、水枪威力大

水枪是水采矿井的主要采掘设备，样子有点像重型机关枪，它的外形如图5－33所示，由喷嘴、枪筒、操作手把和底座组成。水枪通过高压输水管路与高压水泵相连。

当水枪工作的时候，工人打开水门，高压水进入水枪，由喷嘴射出来的高压水射流冲击煤体。20世纪70年代，我国试验成功了20兆帕高压大射流水力落煤技术，现在落煤水射流压力已普遍在10兆帕以上。高压水射流就像一个坚硬的楔子插入煤壁，使煤体变形和



← 图 5－33
水枪

破碎。

水枪喷嘴的有效射程为 5～15 米，落煤效果随距离加大而降低。

水枪破碎下来的煤和水混合为煤浆，由水采工作面流出。通过操纵手把和转动接头，枪筒可以向任何方向回转，因此水枪射出的高压水射流可射向煤壁不同的位置。水枪既可以用于水采工作面采煤，也可以用来掘进巷道。一台水枪自身的重量只有100多千克，而它一天却能采煤2500吨以上，你看它的威力有多大。

二、漏斗式与小阶段

水采漏斗式采煤法又叫做倾斜短壁采煤法，如图 5－34 所示，区段运输巷以 7%～9% 的坡度开掘，以便煤水能自溜。自区段运输巷沿倾斜向上开掘若干开采眼，水枪设在开采眼中，自下而上后退冲射两



←图 5－34　漏斗式水力采煤法巷道布置

侧的煤体。两侧的煤体和开采眼形成漏斗状的边界，采落的煤与水枪喷出的水混合后，沿开采眼流出工作面，矿工在开采眼内的支架保护下工作。漏斗式采煤法一般多用于开采倾角为7°~15°的煤层。

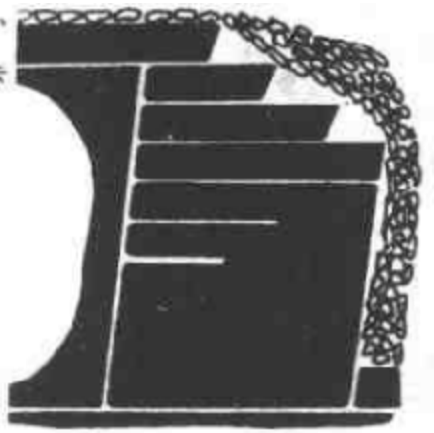


图5-35 小阶段水力采煤法巷道布置

小阶段采煤法又叫做走向短壁采煤法。

如图5-35所示，自区段运输巷掘进分段上山与区段回风巷相通，以大致平行于区段运输巷的方式，沿分段上山自下而上每隔10~20米开掘回采巷。采煤时后退冲采回采巷上方的煤壁。

与漏斗式采煤法相比，在顶板或煤壁突然塌落的情况下，小阶段采煤法更显得安全一些，特别是在煤层厚度和倾角较大的条件下。凡适于水采条件且倾角大于12°~15°的煤层均可应用这样的巷道布置方法，尤其是倾角较大的煤层应用此法更为有利。

三、水煤浆是如何处理的

工作面采落的煤与水混合后，沿着铺设在倾斜巷道里的金属溜槽流向煤水硐室，在煤水硐室入口处设有脱水筛，筛下品进入采区煤水仓，粒度超限的筛上品由破碎机破碎，使其粒度符合要求后运送回采区煤水仓。采区煤水仓中的煤浆由煤水泵经煤水管路送往井底车场的煤水仓，再用煤水泵沿着铺设在井筒中的管路将其提升到地面选煤厂，在这里进行洗选和脱水，煤与水分离后，水返回井下可以循环使用。水采矿井中的水如人体中的血液，在井上井下不停地循环，帮助我们进行井下

的破煤和运煤工作。

四、建设水采矿井的条件

水力采煤有许多优点，如生产过程简单，有较大的增产潜力，设备投资少，生产能力高等。开采条件好时，一套设备年产量可达100万吨，可与综采媲美。水力采煤最明显的优点是对地质变化有较强的适应能力，特别是在地质构造复杂、厚度或倾角变化大的煤层中应用，同样条件下可取得比旱采更好的技术经济效果。另一方面，水力采煤也存在一些需要进一步解决的问题，如怎样提高采出率和减少巷道掘进率，如何把通风系统完善和研制电能消耗少的设备。

我国煤炭资源丰富，埋藏条件多种多样，相当一部分煤层适于使用水力开采，但是，要想采用水力采煤，所在地区的水源必须丰富，这是水力采煤的必要条件。

在旱采机械化开采有困难的倾斜、急倾斜煤层中，在地质构造复杂、煤层厚度中厚以上、倾角和厚度变化大的煤层中，应用水力采煤有助于解决这些条件下特殊开采的问题。

在顶板比较稳定、瓦斯含量小、煤质比较软、倾角7°～35°、煤厚3～8米的煤层中，应用水力采煤能够取得很好的经济效益。

第6章

21 世纪学科发展丛书

征服自然灾害

煤矿井下生产条件复杂，在采煤的同时，还要不断地同各种自然灾害作斗争。

第一节　给矿井装一个排风扇

一、瓦斯功过

矿井瓦斯是指井下由煤层和岩层中散发出来的以甲烷为主的气体，瓦斯又叫沼气或煤层气。瓦斯是古植物成煤过程中有机物被细菌分解后产生的，利用相同的原理，一些缺煤地区用秸草在沼气池中发酵也能产生用于生火做饭的沼气。

瓦斯本身是一种优质、洁净和高效的能源，可作为工业与民用燃料，经过加工还可作为化工原料，如制造炭黑、甲醛等。长期以来，在煤矿生产过程中，瓦斯一直作为有害气体被排放到大气中，仅有少量从井下抽取利用。

瓦斯是无色、无味的气体，比空气轻，故容易积聚在井下巷道的顶部、顶板塌落后的顶部和长壁工作

面的上部。瓦斯本身没有毒，但井下空气中瓦斯浓度高了，氧气的浓度自然要降低，这就容易使人缺氧窒息。瓦斯不能助燃，但在空气中达到一定浓度时，遇火能燃烧或爆炸。瓦斯爆炸是煤矿主要灾害之一，其爆炸的浓度界限为5%～16%，9.5%时爆炸威力最大。

煤岩体中的瓦斯通过三种形式进入采掘空间。最基本的形式是瓦斯涌出，瓦斯从各个暴露面上均匀而缓慢地涌向采掘空间。从煤体和岩体裂隙中大量瓦斯异常涌出的现象叫瓦斯喷出；而产生严重后果的形式是煤与瓦斯突出；在地应力和瓦斯的共同作用下，破碎的煤岩和瓦斯由煤体或岩体内突然向采掘空间抛出，这一过程在极短时间内发生，并伴随强烈的声音和巨大的动力效应。

我国煤矿用相对瓦斯涌出量和涌出形式来划分瓦斯等级。矿井瓦斯等级按照平均每产1吨煤所涌出的瓦斯量和瓦斯涌出形式划分为三级。

低瓦斯矿井　　10米^{3}及以下；

高瓦斯矿井　　10米^{3}以上；

煤与瓦斯突出矿井　有过一次煤与瓦斯突出。

不同等级的瓦斯矿井，供风标准、设备选型及瓦斯管理制度等均有所不同。

二、预防瓦斯爆炸

国内外已有不少由于瓦斯爆炸造成人员伤亡和严重破坏生产的例子。因此，必须采取有效的预防措施，避免发生瓦斯爆炸事故。

瓦斯爆炸必须具备三个条件，即瓦斯浓度、火源和氧的浓度，三者缺一都不会发生瓦斯爆炸。由于必须源源不断地向井下提供新鲜风流，所以预防瓦斯爆炸只能

从防止瓦斯集聚和消除火源着手。

防止瓦斯集聚的主要措施是：加强通风，把瓦斯冲淡到煤矿安全规程允许的浓度以下；加强瓦斯检查，当瓦斯浓度高于规定值时要及时处理；对瓦斯含量大的煤层进行瓦斯抽放，以降低瓦斯涌出量。

防止引燃瓦斯的主要措施是：井口及井下禁止一切明火；瓦斯矿井中开采要使用防爆型或安全火花型设备；使用安全炸药；把井下发火区管理好。

三、通风的任务

煤矿生产以地下作业为主，井下工作环境与地面大不相同。地面空气进入矿井后，在成分上将发生一系列变化。

井下空气中氧的浓度是不断减少的。首先，井下人员要呼吸氧气，而且在劳动时需要呼吸更多的氧气。井下的木材、竹笆、煤层和岩石等有机物和无机物的氧化都直接消耗氧气。此外，各种有害气体涌入采掘空间也相对降低了氧的浓度。井下生产过程中经常遇到一些其他气体，一氧化碳、二氧化硫、二氧化氮和硫化氢是有毒的，对人体直接有害；二氧化碳虽对人体无害，但冲淡了井下氧气的浓度。采煤和掘进期间，采掘工作面都要产生大量的粉尘，炸药爆破产生的烟雾也要混入井下的空气中。

与地面相比，井下空气中的温度、湿度和压力也要发生变化。

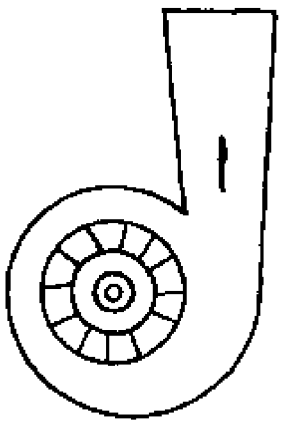
为了保障矿工身体健康和进行安全生产，为了不断提高劳动生产率，必须源源不断地供给井下充足的新鲜空气，以冲淡和排除有害气体和矿尘，创造良好的气候条件，这是矿井通风的基本任务。

四、扇风机

要想使井下空气流动，必须使矿井的进风井口和出风井口之间造成压力差，迫使地面新鲜风流由进风井口流入井下，经采掘工作面，变成污浊风流后再由出风井口排出，承担这项工作的机械设备叫主扇风机。

矿井主扇风机的工作方式有抽出式通风和压入式通风两种。在抽出式通风的矿井中，井下任何一点的空气压力都小于井外同标高的压力，一旦扇风机停止运转，井下压力会稍微提高，这可抑制瓦斯向采掘空间涌出，对矿井安全很重要。压入式通风则相反，井下任何一点的空气压力均比地面同一标高的大气压力大，一旦扇风机停止运转，井下空气压力会降低，这有可能导致采空区瓦斯在压力减小后大量涌出，使矿井安全受到威胁。因此，我国煤矿一般都用抽出式通风方式，如同给厨房装排风扇一样，一般在地面出风井口装备有主扇风机。

煤矿现在使用的扇风机有离心式和轴流式两种。如图 6－1 所示，离心式扇风机像一个旋转的空气泵，动轮叶片中的空气随旋转产生离心力，被甩入螺形外壳，并从扩散器排出。



←图 6－1　离心式扇风机

如图 6－2 所示，轴流式扇风机像飞机的螺旋桨，由机壳和带叶片的工作轮组成，工作时，空气沿平行于其轴的方向进入扇风机。

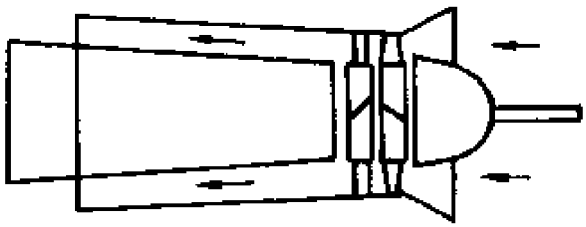


图 6－2　轴流式扇风机

五、风流调节

为了让井下风流按拟定的路线流动，保证供给各个工作地点需要的风量，就必须使用各种通风设施来控制风流方向和风量大小。

风墙是切断风流或封闭采空区、防止瓦斯向巷道外扩散的一种构筑物，风墙又叫密闭，建筑在报废的巷道中，目的是阻止风流通过。临时风墙可以用木板或帆布等材料做成，永久风墙用砖、料石或水泥等材料修筑。为防止漏风，永久风墙必须牢固和密实。

如图 6－3 所示，风门是既要切断风流，又能行人和通过矿车的构筑物。凡连接进风巷道和回风巷道之间的巷道，就需要安装风门。井下的风门和我们房间内的单扇门差不多，一般由木板、金属或复合材料制成。为了减少风门开启时的漏风，每处至少设有两道风门，以便当其中一道风门打开后，另一道风门还关闭着。风门的正常工作状态是关闭状态，安装时，风门的开启方向应逆着风流。

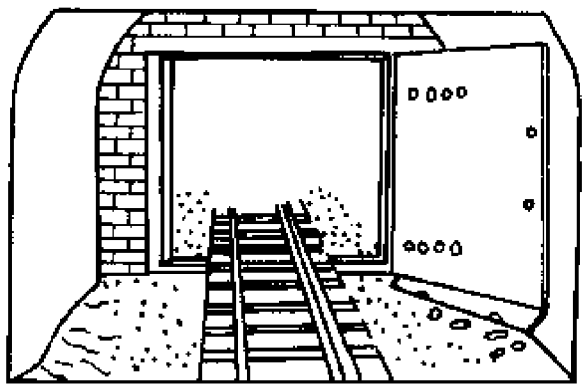


图 6－3　风门

如图 6－4 所示，风桥如同立交桥，是使井下进风风流与回风风流交叉隔开的构筑物，风桥多用砖、料石或混凝土做成。

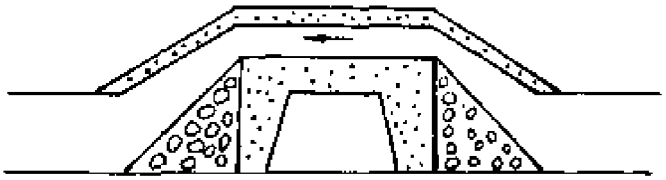


图 6－4　风桥

风窗是用来控制通过风量的构筑物，窗口的大小可以调节，以控制用风地点所需的风量。

第二节　冒顶对策

冒顶指的是采掘空间内或井下其他工作地点顶板岩石发生坠落的事故。冒顶轻则影响生产，重则可能造成人员伤亡。由于多数冒顶发生在采煤工作面，尤其是普采和炮采工作面，因此，减少和杜绝采煤工作面的冒顶对于安全生产有重要意义。

防止采煤工作面冒顶，一是要依靠先进的支护手段，二是要有科学的顶板管理方法。随着综采开采范围逐步扩大和单液压支柱的推广，我国采煤工作面的支护手段发生了根本变化。另一方面在深入认识冒顶机理的基础上，采用科学的顶板控制设计方法以及配套的支护质量和顶板动态监测技术，我国采煤工作面冒顶事故逐年减少，中国矿业大学岑传鸿教授在科学地管理顶板方面做出了巨大的贡献。

一、压垮型冒顶

压垮型冒顶与基本顶活动有关，基本顶往往通过直接顶使工作面支架失效，从而导致直接顶冒落。

当基本顶岩块的全部重量由支架承担时，若支架的

支撑力不足，就会被压坏而导致冒顶。

如图 6－5 所示，在基本顶断裂、下沉、旋转和触矸过程中，若支架的可缩量不足，也可能被压坏而导致直接顶冒顶。

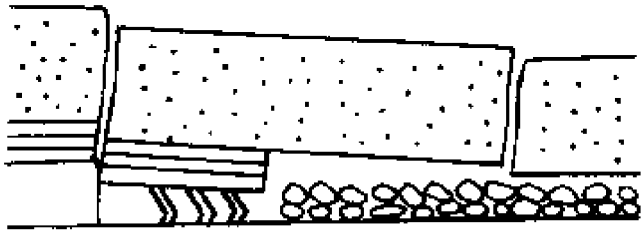


图 6－5　支架可缩量不足导致基本顶压坏支架

为了预防压垮型冒顶，要求支架的支撑力应能平衡垮落带岩层的重量，支架的可缩量应能满足裂隙带基本顶下沉的要求。由于木支柱几乎不可缩，所能提供的支撑力也小，故压垮型冒顶多发生在木支柱支护的工作面。单体液压支柱的可缩量大，支撑力高且稳定，最大高度为 2 米的支柱其可缩量可达 0.76 米，支撑力可达 30 吨，这些优良的力学特性对于预防普采工作面压垮型冒顶是非常有效的。

二、把顶板护好

如图 6－6 所示，在煤层倾角较大且直接顶又破碎的条件下，如果采煤工作面某个地点发生局部漏冒而没有及时采取有效措施，破碎顶板就有可能从这个地点开

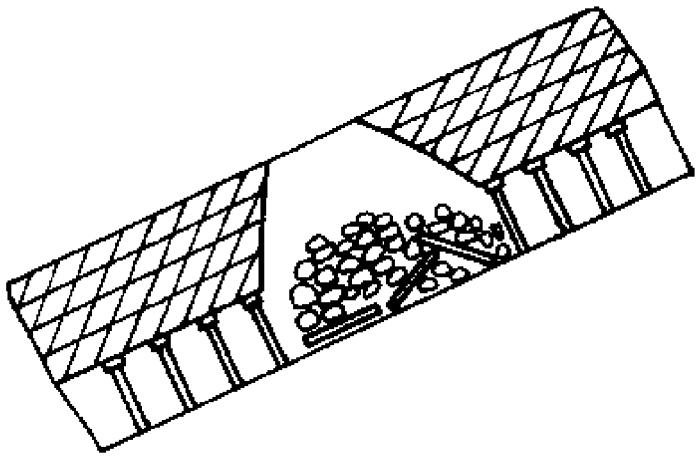


图 6－6　工作面漏垮型冒顶

始沿工作面往上全部漏空，造成支架失稳，导致工作面漏垮。

在保证支柱有足够支撑力和可缩量的前提下，普采和炮采工作面防止漏垮型冒顶事故在于提高支柱的密度，背严背实顶板，把直接顶护好。为了把直接顶护好，除了要缩小支柱的柱距外，还可以分别或同时采取这样的措施：用撑棍、竹笆或荆条背顶沿顶板铺金属网，加紧贴煤壁的支柱，甚至预先注浆加固煤壁前方的顶板。

为了防止出现局部冒顶，严禁放炮和推移刮板输送机等工序推倒支柱。

三、从复合顶板离层说起

近几年来，复合顶板推垮型冒顶占一定比重。复合顶板是由下软上硬的岩层组成，软硬岩层之间的粘结力较弱。

在工作面某一支护区域内，支柱支设后，最初对顶板提供的支撑力较小，在自重的作用下，下位软岩层随支柱下缩而下沉，而上部的硬岩层未下沉或下沉较慢，软硬岩层之间必然要分离，我们称之为"离层"，如图 6－7 所示。离层达到一定量后，一块独立的岩块从岩层中分离出来，该岩块和下面的支柱形成一个不稳定结构，当一定

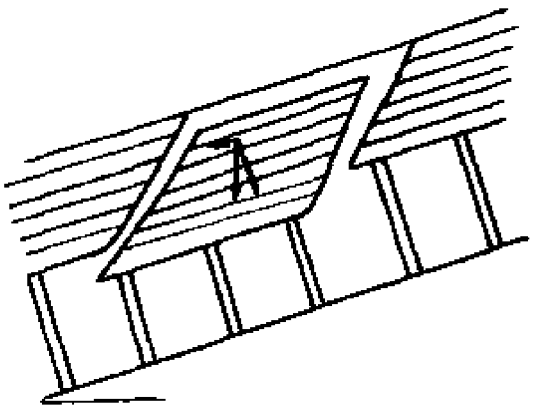


图 6－7　下位软岩层离层与断裂。

的条件满足时，独立的岩块将顺着岩层层面方向垮落，推垮工作面。从支护的特点来说，这种复合顶板推垮型臂顶支架的稳定性不够，不能很好地抵抗来自岩层层面方向的推力。

由于支柱的初始支撑力小而导致复合顶板离层，反过来又使支架不稳定，为解决这个问题，必须提高单体支柱对顶板的初始支撑力，简称初撑力，使初撑力不仅能支撑住顶板下位的软岩层，而且能使软岩层贴紧硬岩层，让其间的摩擦力足够阻止软岩层下滑，从而使支架本身也得到稳定。

目前，在我国一些矿区，单体液压支柱的初撑力已提高到 90 千牛(约 9 吨)。由于摩擦支柱提高初撑力非常困难，因此，无论炮采还是普采工作面，只要是复合顶板，都应采用单体液压支柱支护。

第三节　煤炭自燃与防治

一、发火的内因与外因

煤炭能在常温条件下与空气中的氧气发生氧化作用而产生热量，这些热量若不能很好地散发而不断地聚积，则煤体温度就会上升，氧化作用加速，从而导致煤炭自燃，煤炭自燃也称为煤炭自然发火。

我国煤矿井下火灾的 90% 以上是由煤炭自燃引起的，煤炭自燃对井下生产有很大威胁，因为自燃过程中有时无明显火焰，但能产生大量的一氧化碳和其他有害气体。由于不容易找到火源的准确位置，增加了灭火的困难。

煤炭自燃需要一定时间，在一定条件下，煤炭从接触空气到自燃所需的时间称为自燃发火期，这是反映煤

炭自燃严重程度的一个指标。引起煤炭自燃的因素很复杂，但煤炭自燃要有四个必要条件，即煤要有自燃倾向性、以破碎状存在、有连续供氧条件和热量能够不断积聚条件。

煤的自燃倾向性指的是煤在常温下具有氧化能力的内在属性，它是由煤的化学物理性质决定的，这是煤炭自燃的内在因素，其余的条件多与开采有关，也与地质因素有关，是煤炭自燃的外部因素。

采煤方法的影响主要取决于采空区遗留的残煤量、煤层切割情况、煤柱破坏程度及采空区封闭的难易程度。

空气流通不仅使煤氧化，同时也能把氧生成的热量带走。风速过小，供氧不足，风速过大，热量不能积聚，都不会发展为自燃火灾。只有在既有风流流通而风速又不大的情况下，煤才可能自燃。

开采水平上布置岩石大巷，煤层间采用采区石门联系，留煤柱少，封闭容易，自燃发火的危险性就小。

影响煤炭自燃的地质因素有煤层厚度、倾角和埋深。煤层的厚度和倾角愈大，自燃危险性愈大。煤层埋藏深度增加，煤的原始温度增加，也使自燃危险性增加。

在影响煤炭自燃的各种因素中，由自然条件决定的因素是难于变更的，而生产技术因素取决于人的主观能动性，只要减少遗煤及其堆积，防止煤柱压裂，减少漏风，加快采煤速度，就能够防止煤炭自燃。

二、煤炭自燃预防

针对煤炭自燃的四个必要条件，只要消除或改变其中一个或一个以上条件，就可以预防煤炭自燃。

合理选择采煤方法，把主要巷道布置在岩石中或自

然发火危险性较小的煤层中，少切割煤层，少留煤柱，提高采出率，加快工作面推进速度，以便在自然发火以前采完并完全封闭采空区。

加强通风管理，及时封闭采空区及废旧巷道，减少漏风。

对采空区进行预防性灌浆，即用水、砂子、黄土或粉煤灰按一定比例配制成泥浆，灌注到可能发生自燃的采空区，灌入的泥浆一方面能将残留的碎煤包裹起来，隔绝空气，另一方面也能冷却煤体。

近几年来，国内外开始使用阻化剂来防止煤炭自燃，这种方法是用一种或几种物质混合后的液体灌注到易于自燃的地点，以降低煤的氧化能力，阻止煤的氧化进程。在煤矿中，比较有效的阻化剂有消石灰、氯化钙与水玻璃，某些工业废料如纸浆废液、石油副产品的碱乳浊液也可以作为阻化剂。

第四节　水灾的预防

在矿井建设和生产过程中，地面水和地下水都可能通过各种渠道进入井下，凡是流入矿井的水流统称为矿井水。

矿井正常生产期间，矿井水必须排放到地面，排水费用使吨煤成本增加，大量突然涌入的矿井水还可能造成水灾事故。

一、水源与通道

井下涌水的发生，必须具备水源和涌水通道两个条件。

矿井水源按其来源分为地面水和地下水两类。地面

的河流、湖泊、水库、池塘、沟渠里的积水或季节性的雨水和山洪都叫地面水，地面水如果通过通道与井下沟通时，就会流入井下。地下水又分含水层水、断层水和采空区水。地下基岩之上一般都有较厚的冲积层，冲积层往往含水。农村水井中的水多取自冲积层。基岩中的某些岩层含水也比较丰富，如砾岩、砂岩和石灰岩岩层。这些岩层中的水若和地面水连通时，对矿井威胁更大。断层附近的岩层通常比较破碎，容易积水，一些断层往往是矿井涌水的通道。

井下采空区和废旧井巷中常有积水，采空区的水一般都在待采区域的上方，所以静水压力很大。采掘工作面接近积水的采空区时，必须采取措施。

上述水源往往不是孤立存在的，而是相互补给的。各种水源进入采掘空间的可能通道有：断层破碎带，陷落柱，开采形成的裂隙带，废旧井巷，没有封好的旧钻孔。

二、矿井防水

在与矿井水作斗争的过程中，必须坚持预防为主、防排结合、有疑必探和先探后掘的原则。

防止地面水进入井下是矿井防治水的一项重要措施，是保证矿井安全生产的第一道防线。矿井建设时，井口标高要高出当地历年最高洪水位；要想尽一切方法疏干矿井范围内的河流、湖泊和沟渠中的水，甚至将河流和沟渠改道。

在水体下开采时，要确定好开采上限，保证裂隙带不波及强含水层和地表水，把防隔水煤岩柱留好。根据落差大小，断层两侧要留有足够宽度的煤柱。

掘进工作面接近被淹井巷、溶洞、含水断层、含水

丰富的岩层或有透水征象时，必须进行探水，探到水源后，要设法将水有计划地放出。

为使井下局部地区的涌水不至影响其他地区，在适当地点要构筑防水闸门和水闸墙。在水源数量大的地区，通过钻孔，可以将水泥浆或化学浆液注入涌水通道，从而达到堵住补给水源通道的目的。

第五节　矿尘的危害与防治

一、矿尘的危害

煤矿在采掘和运输等生产过程中会产生大量的矿物微粒，即矿尘，这些微粒或已沉落或仍在井下空气中飞扬。

尽管矿尘的颗粒很小，但对井下安全生产和人身健康都有较大危害。

井下工作人员如果长期呼吸过量的煤尘和岩尘，轻者可引起呼吸道炎症，严重时可导致尘肺病，该病是目前危害较大的一种矿工职业病，患者往往表现出气喘、咳嗽和一般体弱的症状。

作业地点矿尘过多会影响视线，不利于及时发现事故隐患。

一定条件下，煤尘遇外界明火或电火花等高温热源时，会引起燃烧或爆炸。煤尘爆炸一旦形成，爆炸波能把巷道中的落尘扬起，使之成为爆炸延续与扩大的尘源来源。煤尘爆炸时会产生大量的一氧化碳。并不是所有的煤尘都有爆炸危险，通常无烟煤的煤尘就没有爆炸危险。

二、如何与矿尘作斗争

随着采掘机械化水平的提高，生产地点产生的矿尘量也大量增加，人们与矿尘作斗争的方法和手段也愈来

愈先进。在与矿尘作斗争的过程中，往往要采用综合防治措施。

煤层注水、水炮泥封钻孔、湿式凿岩是从源头上减少尘源的措施。

采煤前通过钻孔往煤壁内注水，以增加煤层的水分含量。

煤层中布置的炮眼装药时，用盛水的塑料袋代替炮泥，借炸药爆炸时产生的压力将水注入煤层。

在岩层中用凿岩机钻眼时，用水不断冲洗炮眼内破碎的粉尘。

这些措施都能减少开采、放炮和掘进时的粉尘生成量。

喷雾洒水是采掘工作面和煤炭运输过程中降低矿尘、防止落尘飞扬和净化空气的重要措施。中国矿业大学姜学云教授发明的二次负压降尘技术已达到国际领先水平，目前已广泛地使用在综采工作面。

供给采掘工作面足够的风量，可使井下空气中的矿尘及时排除。

为了将已经发生的煤尘爆炸限制在较小的范围内，阻止其继续传播与发展，可以在巷道中设置岩粉棚或水槽棚。在靠近巷道顶部安装台板，每块台板上放置一定数量的不燃性岩粉，煤尘爆炸时，爆炸波将台板震翻，岩粉弥漫在巷道中，这些岩粉能吸收大量热量并隔断火焰，从而阻止爆炸继续发展。目前，水槽棚已逐渐代替了岩粉棚，巷道顶部吊挂的柔性水槽中装满了水，水槽震翻后可形成水幕，其隔爆原理同岩粉棚。

最后一种防尘措施，就是个人防尘，为了防止粉尘直接进入人体，除采取上述措施外，在采掘工作面长期工作的矿工要坚持戴防尘口罩。

第7章

21世纪学科发展丛书

蓝天白云下开采

一、露天开采概貌

对于地下埋藏不深、厚度又比较大的煤层，挖去覆盖在上面的表土和岩石后，这些煤层就敞露在蓝天白云下，直接自地面将它们开采出来称为露天开采，这样开采的煤矿称为露天煤矿。露天开采方法自古就有，但只是在半个多世纪以来才获得大规模应用。国外露天开采的产量比重较大，我国露天开采的产量约占总产量的3%～5%，较著名的露天煤矿有抚顺西、海州、霍林河、伊敏河、平朔和元宝山等大型露天煤矿。

我国义马北露天煤矿如同一个由梯田组成的巨大盆地如图7－1所示，该矿开采的煤层平均厚度8.2米，



图7－1 义马北露天煤矿

最大厚度 22 米。

站在露天煤矿场地边缘，可以看到矿场里的岩石层次分明，最上面是表土层，之下是岩层，最下面是又黑又亮的厚煤层。钻机在岩层和煤层上钻孔，装药放炮后，巨大的电铲把松散的岩石或煤装进车箱里，电机车把一列列装满岩石和煤的列车拉走……在蓝天白云下的开采场地上，可以看到各种各样的大型设备正在运转。

二、采煤与剥离

在露天开采过程中，为了满足采运作业需要，往往把开采场地划分成若干台阶，台阶有十多米高，露天煤矿场地内台阶可能有几个到十几个。

露天开采是采煤和剥离两部分作业的总称。剥离就是要挖掉煤层上面的岩土。采掘设备的切割力是有限的，除软岩可以直接采掘外，对中硬以上的煤岩必须预先松碎后方能采掘。为了完成松碎煤岩的工作，要在岩石上钻孔，钻孔内装药，利用炸药爆炸的威力把煤岩松碎，利用采掘设备将松碎后的煤岩铲挖出来，并装入运输设备运走。有的运输设备是汽车，有的是火车，还有的是胶带输送机。运输设备将煤运至卸煤站或选煤厂，岩土运往指定的排土场卸掉。

露天煤矿采煤和剥离两部分作业是靠各种各样的大型机械设备完成的，最主要的机械设备是用来钻孔、挖掘和运输煤炭的设备。

电铲的生产能力决定于它的铲斗容积，目前国内使用的一般为 3～21 米^3，多为 3～4 米^3，我国现在已能生产铲斗容积为 12 米^3 的电铲。美国最大的铲斗挖掘机容积为 137.5 米^3。

铁路运输在我国露天煤矿中所占比重较大。我国露天煤矿使用的自卸卡车载重量有7吨、20吨、32吨、68吨、100吨和154吨之分。美国已使用了350吨的载重卡车。

我国霍林河露天煤矿的单斗铲与卡车如图7-2所示。

图7-2 霍林河露天煤矿单斗铲与卡车



三、露天开采的优缺点

与地下开采相比，露天开采有许多优点：生产规模大，一个现代化的露天煤矿一年可生产几千万吨煤；生产空间不受限制，可以使用各种各样的大型设备，生产过程易于机械化和自动化；劳动效率高，相当于井下工人的5～10倍；采出率高，能采出90%以上的煤；成本低，一般只是地下开采成本的1/3～1/2；木材、金属和电力消耗少；光线充足，空气新鲜，作业安全，劳动条件好。

露天开采的缺点是：外部排土场往往占用较多的土地和耕地；吨煤基建投资较高；受气候条件影响较大，严寒、风雪、酷暑、暴雨会影响生产；对环境污染较严

重；对矿床赋存条件要求严格，覆盖层太厚或埋藏较深的煤层尚不能用露天开采。

露天开采的优点是主要的，当条件合适时，应尽量采用露天开采。露天开采是我国发展煤炭工业的主要方向之一，从我国煤炭资源的情况来看，适于露天开采的煤田不少，而且储量十分丰富。

第8章

21 世纪学科发展丛书

煤炭开采展望

第一节　煤炭工业可持续发展

一、煤炭仍然是我国的主要能源

在我国的能源资源中，煤炭是水力的3.3倍，是石油和天然气的17倍，占到73.4%，在化石能源资源中，煤炭占到94.3%，石油和天然气仅占5.7%。

我国石油和天然气等资源有限，水电、核能的发展不能从根本上解决能源问题，煤炭在今后很长的时期内仍然是我国的主要能源。

我国煤炭消费占一次能源消费总量的70%～75%，居主导地位，而且在未来相当长的时期内不会改变。煤炭提供了75%的工业燃料，76%的发电燃料，80%的民用商品能源，60%的化工原料，因此，煤炭工业是支撑国民经济发展和保障人民生活的基础产业。

经过半个多世纪的努力，我国煤矿生产和建设发展迅速，开采技术不断进步。在21世纪里，再经过几代人的努力奋斗，我们一定能够高效地发展我国现代化煤

炭工业，从而，进一步改变煤矿生产技术面貌，使我国煤矿开采技术从总体上赶上国际先进水平。

二、煤炭工业可持续发展的内涵

发展是人类社会永恒的主题，19世纪以来，在生产力极大提高和经济规模空前扩大的同时，由于自然资源过度开发与消耗以及污染物的大量排放，导致全球性的资源短缺、环境污染和生态破坏，加剧了人类与自然界的矛盾，对社会经济发展和人类自身构成新的威胁。在这种情况下，人类提出可持续发展战略。

煤炭工业可持续发展的内涵主要包括以下几点：

以矿区为基础，实现矿区的经济、社会资源及环保的相互协调发展；向社会提供洁净燃料、原料及电力；在运用市场机制、依靠科技进步、寻求可替代资源基础上，调控煤炭资源最佳耗竭率，以保证煤炭替代资源尚未出现的历史时期内，煤炭仍可开发利用。

实施煤炭工业可持续发展战略，要解决好以下问题：

1. 以经济效益为中心，开发和应用高产高效开采技术，促进煤炭工业经济增长方式由粗放型向集约型转变。

2. 减少环境污染及资源的损耗，开发和应用洁净生产和高采出率的开采技术。

3. 合理利用煤炭，开发和应用洁净煤技术，使煤炭高效、洁净地燃烧及转化。

三、发展高产高效开采技术

煤炭工业可持续发展的核心仍然是发展问题，“发展才是硬道理”。只有实现高产高效开采，才能从根本

上转变煤炭工业经济增长方式，高产高效开采技术是提高煤矿、采煤工作面产量、效率和效益的技术总称。高产高效开采技术发展的方向是综合机械化和机电一体化。与此相适应，地下开采技术进一步呈现出扩大规模、集中生产和简化生产系统的趋势。

实现采煤工作面高产高效开采有两条途径，一是通过加大采煤工作面设备的生产能力和提高开机率来实现。当前世界综采技术装备向大功率、高强度、高速度、高可靠性和机电一体化方向发展。采煤机的功率已达到1500千瓦，最大牵引速度已达35米/分，刮板输送机功率达到1800千瓦，最大运输能力达3500吨/时。综合机械化采煤设备的电液控制可使采煤机、液压支架和刮板输送机紧密结合为一个整体，最终可以实现不经常有人的自动化采煤工作面和计算机辅助采煤。

实现采煤工作面高产高效的另一途径是在特厚煤层中采用综合机械化放顶煤开采技术，这是一条投资少、产量高、低消耗、高效益，适合我国国情的技术途径。

随着我国煤矿机械化程度的进一步提高，设备向重型化、功率向大型化方向发展，生产集中化程度也将进一步提高。通过减少开拓和准备巷道，简化运输和通风系统，减少同时生产的水平、采区和工作面数目，矿井生产系统向高度集中和简单可靠方向发展，我国必将出现更多的一矿一面或一矿两面、生产高度集中的现代化矿井，这是我国煤矿技术改造和新井建设的模式。

在生产集中的前提下，扩大矿井规模主要是增大矿井生产能力，我国已有年产900万吨的井工矿井和年产1500万吨的露天煤矿，还要建设更多的年产300万吨以上的大型矿井，要相应地加大阶段垂高或斜长、采区尺寸和采煤工作面长度。一个工作面的可采储量达到数

百万吨，才能更好地适应高产高效的需要，这就要求工作面长度更长和推进的距离更远。

为保证矿井生产能力能充分地发挥，要求从工作面到地面或到井底车场的煤炭运输实现连续化，同时要有与之相适应的辅助运输系统，满足人员、设备、材料和矸石运输的要求，使矿车轨道运输逐渐向单轨吊车、卡轨车及无轨方向发展。

为实现矿井和采煤工作面高产高效开采，还必须进一步开发和完善安全、地质、运输、监测和监控等技术保障系统。

四、提高煤炭资源采出率

煤炭是不可再生的资源，为了子孙后代，在高产高效开采的同时，还要千方百计地提高采出率。我国是煤炭储量大国，预测的地质储量可达 9543.94 亿吨，居世界第二位，工业储量为 1145 亿吨，居世界第三位。但我国又是煤炭储量小国，探明人均可采储量仅为世界人均水平的一半。我国煤炭资源一方面近期可供建井和生产矿井开采的后备资源紧张，另一方面煤炭资源的采出率不尽如人意。

由于煤炭资源长期以来无偿占用，不少矿井采易弃难。有的煤矿片面追求高效率，将煤层顶部或底部的部分煤炭放弃不采。有的未经经济评价就将一些开采难度较大的煤层或块段划出开采范围之外。我国薄煤层储量占煤炭储量的 20%，而历年产量所占的比例仅为 10% 左右，这是一些矿井对薄煤层放弃不采的结果。

近年来，一些乡镇煤矿为了与国有重点煤矿争资源，常常侵入国有重点煤矿井田内开采，这些煤矿多采用原始的采矿方法，以掘进代替采煤，采出率只有

10%～15%，一些乡镇煤矿这样开采一方面造成资源极大浪费，另一方面导致国有重点煤矿缩短了服务年限。

改革开放以来，农村经济发展较快，随着农村新村及乡镇企业的发展，村庄下压煤逐年增多，由于村庄搬迁费用增加，许多煤矿无力迁村，不得不放弃开采村庄下的煤炭资源，致使一些矿井不得不提前报废。

为解决我国煤炭资源保护问题，必须开发和应用高采出率的开采技术。在矿井开拓部署方面，要研究矿井内的各种煤柱如何合理设置，以减少煤柱损失，并要发展各种煤柱回收技术。

在采煤工艺方面，要完善和应用无煤柱、不留顶、底煤的开采工艺，发展薄煤层、难采煤层的采煤工艺。

随着厚煤层、中厚煤层以及易采煤层的总量逐渐减少，薄煤层和难采煤层的开采必须列入议事日程。由于薄煤层和难采煤层的工作条件差，产量不高，设备初期投资大，经济效益低，我国在这些煤层中机械化开采一直发展缓慢，目前以炮采为主，由于这些煤层必须开采，今后我们应大力发展在这些煤层中开采的自动化和半自动化设备，使这些煤层的开采向无人工作面方向过渡。

在特殊条件下的开采方面，要研究和扩大建筑物下、铁路下、水体下和承压水上煤层合理开采技术、不迁村开采技术，使“三下一上”开采的比例逐年增加。

一句话，为了子孙后代，所有的煤矿都必须改善和提高煤炭资源采出率。

五、深矿井开采的问题

煤炭资源从浅部开始开采，随着煤炭采出，开采煤层的埋藏深度必然要增加。开采规模的扩大和机械化水

平的提高加速了矿井向深部发展。1980 年我国煤矿平均采深为 288 米，1995 年为 429 米，年平均增加 9 米。我国大部分煤炭资源赋存于深部，埋深大于 600 米和 1000 米的分别占 73% 和 53%，这就是说，我国相当一部分矿区或矿井或迟或早要进入深部开采。

国内外对煤矿深井的深度标准无明确规定，多数国家把深部开采的起点定在 700～800 米的范围内。

国外最深的矿井为原西德的伊本比伦矿，1996 年埋深 1713 米。在我国的国营重点煤矿中，采深大于 700 米的已有 50 处，采深超过 800 米的已有 25 处，采深超过或接近 1000 米的已有十几处。我国的深矿井主要分布在开采年代较长的老矿区，特别是东部矿区。

随着向深部发展，矿井逐渐出现了矿压显现强烈，冲击地压危险加大，瓦斯涌出量增加，地温升高，提升和勘探困难，生产技术效果和经济效益下降等问题。

解决这些问题需要采取一系列技术措施，由此提出和形成的深矿井开采技术，既是我国当前一些矿区和矿井面临的问题，也是我国煤炭工业在长远发展中需要十分重视的问题。

在深矿井开采的诸多问题中，矿压和地热是深矿井开采的主要障碍，并且也是其他一些问题产生的直接和间接原因。

开采深度愈大，上覆岩层的重量愈大。1000 米高的岩柱产生的压强大约是 26 兆帕，在采煤工作面开采影响下，有可能使这个压力还要增加几倍，在这样大的压力下，巷道是非常容易变形和破坏的，巷道的变形和破坏就是前面所说的一种矿压显现。在高压力作用下，煤岩体就好像被压缩的弹簧，采掘作业触动这个弹簧后，有时候弹性能突然释放出来，这就是所说的冲击地

压，冲击地压发生时常伴有煤岩体抛出、巨响及气浪现象。冲击地压发生的次数随采深增加而增加。

影响深矿井开采的另一主要因素是地热。在恒温带以下，岩石温度随深度增加而增加，一般深度每增加100米，地温就要增加1.8℃～4.8℃。在徐州三河尖煤矿埋深700多米的大巷中，岩石温度为36.9℃。

煤矿到底能开采多深？这取决于采用的矿压和地温控制技术，以及采用这些技术后矿井在经济上的承受能力。经济上的合理性很大程度上将成为确定深矿井最大开采深度的重要因素。

从技术和安全角度来看，最大开采深度还没有达到极限，通过改革巷道布置，减少开采影响，改善支护形式，加快工作面推进速度以缩短巷道维护时间，并采用保护巷道的卸压技术，可以明显改善深部巷道的维护状况。

对于深矿井的地热问题，通过改进通风系统，增加风量，或采用空气调节系统，将冷却水经管道送入采掘工作空间附近，冷却这些地方的空气，可以达到降温的目的。

新汶孙村矿在20世纪80年代就建立了地面集中制冷站，该站的运行满足了深部采掘工作面降温的需要。

随着深矿井开采技术的不断发展，埋藏在地球深部的煤炭也将被开采出来，为人类发光放热。

六、多层次发展

我国煤田地质条件类型多种多样，地区经济技术发展不平衡，管理体制也各有不同。从我国国情出发，在现有采煤方法和工艺的基础上，要多层次发展，把综合机械化采煤作为发展方向，加快更新和完善普通机械化

采煤设备，积极试验和研究新的开采工艺和新的开采方法，因地制宜地发展水力采煤，加快发展露天煤矿。

第二节　煤炭开采与环境污染

一、地下开采与地表塌陷

煤田开发和矿区建设将对地表造成破坏。井下垮落开采后，地表要形成大面积塌陷区，对耕地和民居造成破坏，特别是厚煤层开采会使地表塌陷严重。

地表塌陷最大深度一般为煤层开采厚度的 60% ~ 90%，塌陷面积是煤层开采面积的 1.2 倍左右。至 1996 年，全国有 40 万公顷土地塌陷，平均每采 1 万吨煤要塌陷 0.2 公顷土地，塌陷面积平均每年增加 2 万公顷，而复垦率仅为 22%。

采空区上方地表大面积塌陷，使地表植被局部死亡。在西北地区，地下开采加重了水土流失；在南方地区，塌陷区则变成了一片水塘。

二、矸石问题

煤矸石是煤炭开采过程中排出的主要固体废物，一般为出煤量的 20% 左右，现已积存 30 亿吨，每年仍有 1.5 亿 ~ 2 亿吨排向地面。全国已累计堆积了 1000 多座矸石山。另外，煤炭洗选过程中也要产生矸石。

大量矸石或堆于地表，或抛于山谷，或弃于河道。矸石不仅占用耕地，而且在烈日下很容易自燃，自燃产生的二氧化硫及氮氧化物严重地污染空气，并成为夏季热污染的一个污染源。弃于河道中的矸石污染地表水源，对河道泄洪造成障碍。

三、水资源损失与污染

地下的井巷要穿越各种含水层，开采引起的裂隙带也要波及一些含水层。开采引起的岩层移动一定程度上破坏了地下水资源，造成地下水位下降，流入井下的水受到不同程度的污染，并大量地被抽放到地面。

井下和地面选煤厂等生产的工业废水，国有重点煤矿一年的排放量约22亿吨，这些污水必然要污染矿区附近的江河、湖泊，地面矸石山中的有害物质也要渗入地下，排入河流，对地下水造成污染，这也加剧了部分矿区工农业生产和生活用水本来就不足的困难。

四、大气污染

由回风井直接排放到大气中的井下污风，含有大量粉尘、烟雾和有害气体，我国每年通过井下通风向大气中排放的瓦斯约有60亿米^3，向大气中排放的粉尘约达40万吨。装运过程中，煤炭的散落飞扬、土法炼焦、煤和煤矸石自燃等产生的粉尘和有害气体对大气环境造成一定程度的污染。

五、露天开采带来的问题

近年来，我国露天开采有了较大发展。露天开采时，平均每采出万吨原煤就破坏土地约0.22公顷，其中挖掘破坏0.12公顷，外排的剥离物占用土地0.1公顷，一般开采一吨煤，剥离堆积物达5~6吨。

在露天开采的矿区，土地、水源、植被及自然景观均发生了较大的变化。

第三节　发展洁净煤开采技术

所谓煤炭清洁开采，简而言之就是在生产高质量煤炭的同时，又做到把对矿区环境的污染减少到最低程度。

一、减少矸石地面排放

减少矸石排放量有两条途径，一是减少岩石巷道的掘进量，二是将矸石在井下尽可能地就地处理。

在浅矿井和中深矿井中，本着多做煤巷、少做岩巷的原则，可以消除或大量减少井下矸石的排放量，改善矿井地面环境。

煤炭工业科学技术发展为一定条件下矿井采用全煤巷开拓和采区准备提供了可能。

工作面单产的提高打破了依靠区段内多分层开采来增加产量的模式，为区段内各分层服务的区段岩石集中巷已失去作用。

采煤工作面快速推进，生产高度集中，极大地缩短了巷道维护时间。

支护技术和支护材料的发展，对改善巷道维护状况能发挥重要作用。

胶带输送机的发展以及新的辅助运输装备的出现，打破了完全依赖轨道矿车运输的格局，这些运输设备对巷道的起伏已无严格的要求。

通过各种方法，将岩石巷道在开掘与维修过程中产生的矸石尽可能地在井下就地处理，使矸石不出井或少出井。

若能在采煤的同时向采空区充填矸石，井下大量的

矸石便不愁没有排放场所，采空区这样处理，还可以减少地表下沉。对于急倾斜厚煤层，井下的矸石可直接运往工作面上部，在顶板未垮落前对采空区进行自溜充填。对于其他倾角的煤层，需要采用风力、水力或机械充填的方法向采空区充填，矸石目前未能向采空区大量充填的主要原因是充填要增加充填投资和费用，要加大吨煤成本。

如图 8－1 所示，半煤岩巷道掘进时，开挖的宽度要大于巷道使用时的宽度，巷道掘出后的矸石，由人工或机械充填于巷道两侧被挖的煤层空间中，这样可以处理一部分掘进产生的矸石。井下专门破碎后的矸石可用做铺轨、混凝土施工、巷旁充填和支架壁后充填。

随着科学进步和技术发展，向地面少排放矸石和不排放矸石的问题将一步一步得到解决。

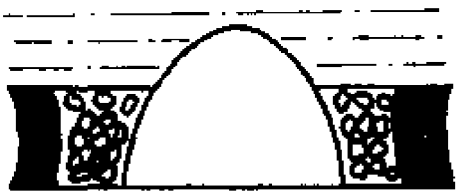


图 8－1　半煤岩巷道的矸石充填

二、煤炭地下气化

煤炭地下气化是将地下煤炭通过热化学反应在原地转化为可燃气体的开采技术。将开采煤炭变为开采可燃的煤气是煤炭开采技术上质的变化，它的技术核心与传统的采煤方法不同，一个是化学的，一个是物理的。

煤炭地下气化的设想是俄国著名的化学家门捷列夫最先提出来的，他在 1888 年预言："随着时间的推移，这样的时代可能要实现，即煤炭不必从地下开采出来，而在地下转化为可燃气，用管道送至遥远的地方。"

煤炭地下气化的原理与煤炭地面气化的原理相同，所不同的是后者在专门的煤气炉中进行，而前者则在地

下，在种种不同的自然条件下进行，必须考虑煤层埋藏的水文地质条件、顶底板岩性、煤层的构造和性质、埋藏深度和特征，因而难度要大得多。

煤炭地下气化就是在煤层中开掘若干巷道，在其两端用巷道或钻孔把它们连通起来，然后一端点火鼓风，另一端抽放煤气。

煤炭地下气化不仅极大地减少了井下工程和艰苦作业以及安全防范，而且消除了煤炭燃烧对生态环境的不利影响和危害。

1938 年，前苏联的戈尔洛夫卡地下站在世界上首先实现了煤炭的地下气化，此后世界各国都在积极研究和试验，探索发展煤炭地下气化的有效技术途径，近年来，这项开采技术有了较大的进展，有望在不太长的时间里进入商业化应用。

我国于 1958～1960 年先后在 16 个矿区进行过煤炭地下气化的试验研究，由于各种原因，这些研究到 1962 年都中止了。从 1984 年开始，中国矿业大学余力教授承担了煤炭气化新技术研究的课题，并先后在徐州马庄、新河和新汶孙村进行现场实验，经过实践，积累了一定的经验和教训，获得了较好的效果，为发展我国煤炭地下气化打下了良好的技术基础。

三、煤层气的开发与利用

煤层气就是赋存于煤系地层中的瓦斯，它和煤炭是一母所生，本身是一种优质的洁净能源，其热值比城市的煤气高一倍多，遗憾的是，在井下生产过程中，它往往被作为有害气体大多排放到大气中。自美国于 20 世纪 80 年代解决了从地面用立井开发煤层气技术以后，煤层气的开发与利用日益受到各国关注。

我国煤层气储量丰富，据最新计算结果，埋深1500米以内，褐煤以上煤级，且具有开发意义的煤层气总量为24.80万亿米^3。煤层气可以作为民用燃料，也可以代替煤发电，作为化工原料，煤层气是合成氨的重要原料，可以制造甲醇、乙炔等。

我国煤矿已有的煤层气开发方法多是井下抽放方法，目前井下抽放煤层气的矿井已有100多处，年抽放量近5.6亿米^3。从中国的实际情况出发，应加强井下抽放方法的改进研究，邻近层抽放和采空区长孔抽放是井下抽放技术的发展方向，同时应发展地面钻井方法为主的煤层气开采技术。由地面钻孔抽放长壁工作面采空区煤层气如图8－2所示。

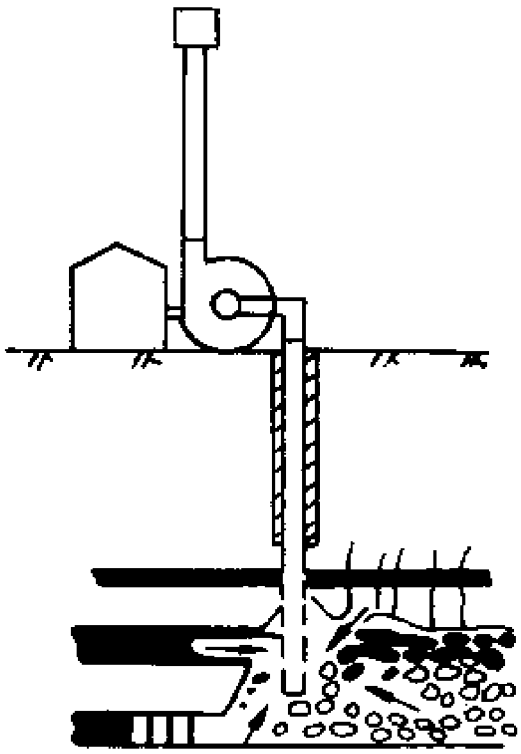


图8－2　地面钻孔抽放采空区煤层气

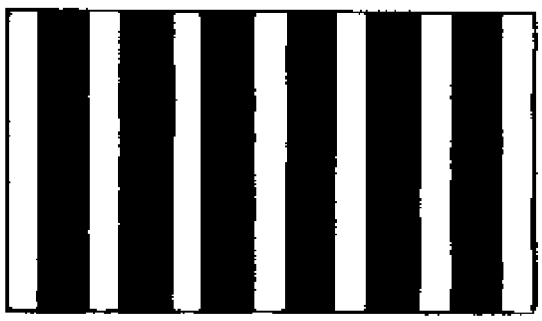
预计在21世纪，我国的煤层气开采技术将会得到迅速发展，开发与利用的规模在能源结构中将占有相当比例。

四、减少地表下沉

为减少由于煤层开采引起的地表下沉，在开采技术上有两条途径：一是对采空区充填，二是采用条带采煤法。

用充填法管理顶板能够有效地减少地表沉陷，水砂充填采煤法是国内外早已应用多年的成熟技术，该采煤法在我国尚不能广泛应用，其中一个原因是地面塌陷引起的损失不计入吨煤生产成本。这样，与垮落法处理采空区相比，除了充填设备投资和耗费大量的充填材料外，充填水的处理也增加了充填吨煤成本，充填法的吨煤成本往往要比垮落法高 20% 左右。

如图 8－3 所示，将被开采的煤层划分为若干条带，然后相间开采，采出条带开采后，由保留条带支撑上覆岩层。条带采煤法开采是以降低采出率为代价的，采出率一般为 30% ～60%，采出率愈高，地表下沉愈大，煤层埋藏深时，保留条带的宽度也需要相应增加，因此，条带采煤法的采深不能太大，一般小于 400 米。



←图 8－3　条带划分

如图 8－4 所示，为避免地表出现波浪形下沉，采出条带不能太宽，往往应小于 1/3 埋深，为了能有效地支撑上覆岩层，保留条带还应有足够的强度和稳定性。



图 8－4　地表波浪形下沉

我国徐州沛城煤矿在县城下开采的煤层厚度为 3.6 米，采出条带与保留条带的宽度分别为 20 米和 25 米，开采后地面最大下沉为 87 毫米，该矿成功地在县城下进行了条带开采试验。

主要参考文献

1. 《中国古代煤炭开采史》编写组．中国古代煤炭开采史．北京：煤炭工业出版社，1986
2. 恩格斯．反杜林论．北京：人民出版社，1970
3. 刘林．宋应星和《天工开物》．北京：科学普及出版社，1987
4. 《中国近代煤矿史》编写组．中国近代煤矿史．北京：煤炭工业出版社，1990
5. 汪理全．煤层群上行开采技术．北京：煤炭工业出版社，1995.8
6. 煤炭科学院北京煤化学研究所．工业的粮食煤．北京：煤炭工业出版社，1985
7. 陈昌荣．地质学基础．徐州：中国矿业大学出版社，1994
8. 杜计平，苏景春．煤矿深井开采的矿压显现及控制．徐州：中国矿业大学出版社，2000.4
9. 范维堂．可持续发展与煤炭科技新趋势．第六届全国采矿学术会议论文集．北京：煤炭工业出版社，1999.10
10. 王国法．液压支架技术．北京：煤炭工业出版社，1999.9
11. 徐永圻．煤矿开采学．第2版．徐州：中国矿业大学出版社，1999.8
12. 杜计平．条带采煤法在急倾斜厚煤层城下开采中的应用．Coal 煤，1999.4
13. 侯朝炯，郭励生，勾攀峰．煤巷锚杆支护．徐州：中国矿业大学出版社，1999.2
14. 陆士良，汤雷，杨新安．锚固力与锚固技术．北京：煤炭工业出版社，1998.11
15. 李金柱．煤炭工业可持续发展的开发与利用技术．北京：煤

炭工业出版社，1998.9
16. 岑传鸿．采场顶板控制及监测技术．徐州：中国矿业大学出版社，1998.8
17. 煤炭科技名词审定委员会．煤炭科技名词．北京：科技出版社，1997.2
18. 史国华．采煤概论．徐州：中国矿业大学出版社，1994.8
19. 陈炎光，陆士良．中国煤矿巷道围岩控制．徐州：中国矿业大学出版社，1994.5
20. 陈炎光，钱鸣高．中国煤矿采场围岩控制．徐州：中国矿业大学出版社，1994.5
21. 王玉浚，张先尘，韩可琦．矿区最优规划理论与方法．徐州：中国矿业大学出版社，1993.10
22. 中国煤矿支护改革编委会．中国煤矿支护改革．北京：煤炭工业出版社，1992.7
23. 陈炎光，徐永圻．中国采煤方法．徐州：中国矿业大学出版社，1991.8
24. 中国煤炭学会科普委员会．煤海探秘．中国煤炭学会科普委员会编辑出版，1990.12
25. 徐永圻．中国采煤方法图集．徐州：中国矿业大学出版社，1990.5
26. 岑传鸿．采煤概论．徐州：中国矿业大学出版社，1989.11
27. 马维绪，伊常德．液压支架．北京：煤炭工业出版社，1984.4
28. 山西矿业学院开采方法教研室．煤矿知识．北京：煤炭工业出版社，1980.9
29. 中国矿业学院等院校．采煤学．北京：煤炭工业出版社，1979.11
30. 煤矿通风与安全编写组．煤矿通风与安全．北京：煤炭工业出版社，1979.6