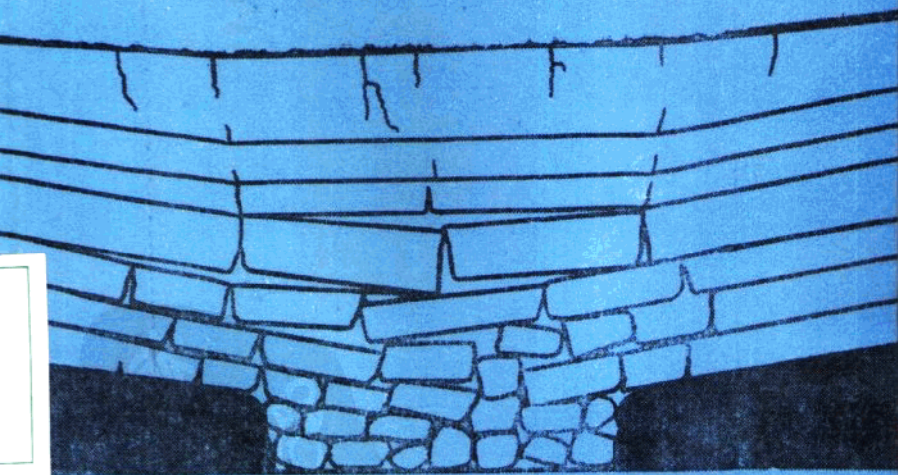


# 矿业工程岩层控制

[美] Z·T·比尼斯基教授 著

孙恒虎 孙继平 马燕合 译

高尔新 张式平 校



中国矿业大学出版社

TD325  
B-561

# 矿业工程岩层控制

〔美〕Z·T·比尼斯基教授 著

孙恒虎 孙继平 马燕合 译

高尔新 张式平校

中国矿业大学出版社

STRATA CONTROL  
IN MINERAL  
ENGINEERING

Z.T. BIENIAWSKI  
A.A. BALKEMA/ROTTERDAM  
1987

**矿业工程岩层控制**

[美] Z·T·比尼斯基教授 著  
孙恒虎 孙继平 马燕合 译  
高尔新 张式平校

---

中国矿业大学出版社 出版发行

江苏省新华书店经销

中国矿业大学印刷厂印刷

开本850×1168毫米1/32 印张 6.6 161千字

印数：1 - 1500册

1990年12月第一版

1990年12月第一次印刷

---

ISBN 7-81021-504-3

---

TD·102

定价：5.00元

## 前 言

20年代，美国煤炭年产量平均为5.3亿吨左右，煤矿事故死亡人数每年为2500多人。与此相比，1985年煤炭产量超过8.8亿吨，而死亡人数却降为67人，同时工伤率减小到每20万工时6。根据以往的统计资料，地下采矿中四分之三的致命伤亡是由采场顶板和两帮的崩落以及运输事故造成的。可见，采矿事故大幅度减少的主要原因之一，是由于岩层控制技术更加有效，或者说，对岩体特性、顶板支护机理以及采掘过程有了更深入的了解。由此可见，岩层控制技术越有效，生产就越安全，经济效益就越好。

岩层控制工程是矿业工程的主要工程之一，它涉及采矿工程、隧道工程或石油开采中的地下开拓问题。如果没有行之有效的岩层控制技术，经济合理的采矿和石油生产是不可能的。

矿业工程是一个广义的术语，它包括各种矿物及燃料，如煤炭、石油与天然气等的勘探、开采和精选的全过程。因此，地质勘探、采矿和采油、选矿和冶炼、采掘工艺、岩石力学、蓄油库工程和矿业工程管理都是矿业工程的重要方面。

“岩层控制”这一术语的应用要追溯到35年前，即1951年在比利时列日（Liege）召开的第一届岩石压力国际会议。这次会议后来又命名为第一届国际岩层控制会议（the First International Conference on Strata Control）。最初，岩层控制主要涉及沉积地层（岩层）中的煤炭开采，60年代初该术语开始普及并应用于各种类型的地下采矿，特别是硬岩中开采。这在1963年出版的经典文集《矿山岩石力学和岩层控制》（见书刊目



师不仅需要高水平的技术修养，而且需要对与此有关的各个方面有全面的了解。这对培养其创造力，扩大知识面和积累专业技术之外的资料以用于专业决策，都将是十分需要的。

本书十个主要专题是：

1. 岩层控制对矿业和能源开发的重要性；
2. 岩层控制技术发展现状；
3. 岩层的锚杆加固；
4. 岩柱的稳定问题；
5. 底板破坏的控制；
6. 长壁采煤法中的岩层控制；
7. 岩爆机理及其控制；
8. 岩层控制在矿井设计与施工中的应用；
9. 石油地下开采——能源开发的革新；
10. 贮藏库开掘——核废料排弃的地下深埋贮藏处理。

作者十分感谢在本书写作过程中得到的所有帮助。特别是宾州大学 H·Regvnald Hardy Jr, 教授提出了许多建设性意见；Mr·Robert M·Belesky 对第五章中底板破坏机理、Mr·Glenn A·Nicholson对第八章中矿井施工、Dr·Marek Mrugala 对图表绘制都作出了贡献，在此一并致谢。本书是在宾州大学研究生课程岩层控制工程基础上写作而成的。定稿完成于在斯坦福大学任客座教授的休假期间。

我的妻子 Elizabeth 对本书参考文献、书刊目录和标注提供了最大帮助；我的秘书 Carol Fee 打印了手稿，使我能够按时完成，在此表示感谢。

我对上述帮助再次致以衷心的感谢。

Z. T. 比尼斯基

注：Z. T. 比尼斯基系美国宾夕法尼亚州立大学采矿与矿物资源研究所主任。

Ac-4166

# 目 录

## 前言

<b>第一章 岩层控制对矿业和能源开发的重要性</b> .....	( 1 )
1.1 矿物和金属的重要地位.....	( 1 )
1.2 能源供需情况.....	( 3 )
<b>第二章 岩层控制技术发展现状</b> .....	( 12 )
2.1 主要采矿方法概述.....	( 12 )
2.2 岩石工程的设计原则.....	( 17 )
2.3 工程地质资料的重要性.....	( 21 )
2.4 最新进展.....	( 24 )
2.5 美国岩层控制新动向.....	( 27 )
2.6 其它进展.....	( 28 )
<b>第三章 岩层的锚杆加固</b> .....	( 30 )
3.1 围岩-支护相互作用机理.....	( 30 )
3.2 锚杆支护的发展.....	( 32 )
3.3 机械锚杆.....	( 33 )
3.4 树脂锚杆.....	( 38 )
3.5 岩石锚杆系统设计宗旨.....	( 39 )
3.6 实例.....	( 58 )
<b>第四章 岩柱的稳定问题</b> .....	( 62 )
4.1 岩柱稳定和刚度.....	( 62 )
4.2 大型岩柱现场试验.....	( 68 )
4.3 岩柱强度的确定.....	( 83 )
<b>第五章 底板破坏的控制</b> .....	( 95 )
5.1 历史回顾.....	( 95 )

5.2	承载力分析.....	( 98 )
5.3	承载能力的现场确定.....	( 108 )
5.4	底板岩层的变形特性.....	( 110 )
5.5	底鼓因素分析.....	( 110 )
5.6	让压煤柱的底板破坏控制.....	( 114 )
<b>第六章</b>	<b>长壁采煤法中的岩层控制.....</b>	<b>( 115 )</b>
6.1	美国的长壁采煤法.....	( 116 )
6.2	岩体力学.....	( 119 )
6.3	设计思想.....	( 130 )
6.4	长壁开采引起的地表沉陷.....	( 137 )
<b>第七章</b>	<b>岩爆机理及其控制.....</b>	<b>( 138 )</b>
7.1	目前研究水平.....	( 138 )
7.2	岩爆事故的记载.....	( 140 )
7.3	观测和数据分析.....	( 143 )
7.4	能量平衡.....	( 145 )
7.5	岩爆机理——动能源.....	( 148 )
7.6	岩爆危害的控制.....	( 150 )
<b>第八章</b>	<b>岩层控制在矿井设计与施工中的应用.....</b>	<b>( 152 )</b>
8.1	建井技术.....	( 152 )
8.2	竖井掘进中岩层控制设计指南.....	( 164 )
<b>第九章</b>	<b>石油地下开采——能源开发的革新.....</b>	<b>( 169 )</b>
9.1	定义.....	( 170 )
9.2	重油埋藏分布与开采史.....	( 170 )
9.3	重油的开采方法.....	( 173 )
9.4	油页岩开采.....	( 175 )
9.5	水下巷道采油.....	( 176 )
9.6	开挖洞室贮存石油.....	( 178 )
<b>第十章</b>	<b>贮藏库开掘——核废料排弃的地下深埋贮藏 处理.....</b>	<b>( 181 )</b>



10.1	工程目的	( 182 )
10.2	美国核废料排弃工程现状	( 182 )
10.3	贮藏所场址勘测	( 188 )
10.4	贮藏所现场试验	( 191 )
10.5	贮藏所设计方案	( 205 )
10.6	贮藏所设计中的岩层控制	( 205 )
10.7	工程地质问题	( 206 )
	参考文献(略)	( 207 )

# 第一章 岩层控制对矿业和能源开发的重要性

有效的岩层控制就是保持岩体中地下开挖空间的稳定性，所以，成功的岩体控制与成功的矿业工程是相辅相成的。因为，如果掘进的巷道不稳定，就不能通达矿体，更不能进行采矿，从这个角度来看，矿业和能源开发中岩层控制的重要性就显而易见了。采矿工程和该项工程的其它分支的相互关系，见图1-1。

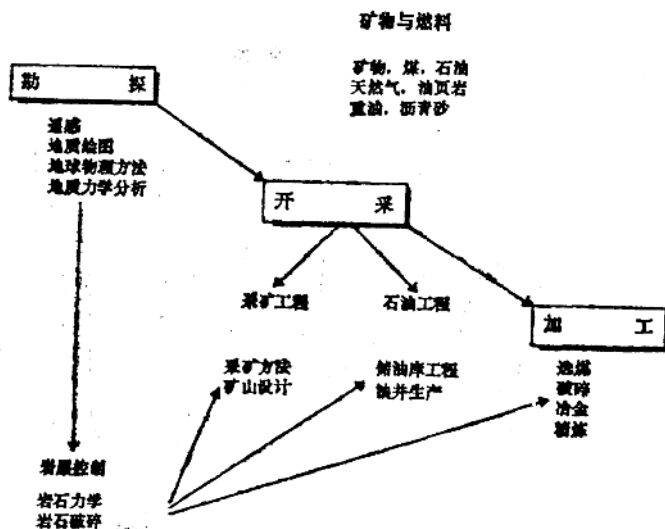


图1-1 矿业工程一览

## 1.1 矿物和金属的重要地位

美国人口占世界人口的6%，却消费了世界非能源矿物的23%和燃料矿物的30%。在大多数美国人关心能源的同时，很少有人

认识到：今天，美国工业36种重要的不可燃矿物中有22种是依靠进口的。1985年美国不得不进口73%的铬、88%的铂、95%的钴和97%的钽和锰。与此同时，美国依靠进口的石油却只有40%。

从国际上看，苏联及其盟国的重要矿物在很大程度上可以自给。而美国19种重要矿物供给量的50%以上是靠进口（Morgan, 1981）。这些重要矿物包括对国防与能源工程特别重要的六种元素：铬、钴、钨、镍、铂和钽。F-15、F-16战斗机的发动机所用的材料中，进口材料占的比例为：钛-35%、钴-93%、钽-90%、钨-100%、铝-94%、铬-91%、镍-73%。

这些材料的储备大多数是不充足的，将会由于生产国家的禁运、战争、或叛乱而中断。例如，赤道以南的非州南部拥有世界上铬的95%、钨的86%、钒的64%、锰的53%、铂的52%。石油输出国组织控制着世界石油产量的52%。

美国各种法规要求对国防十分重要的或在国内短缺的某些金属要有一定的储备。美国已储备79种金属和矿物、如用于国防，也只能满足1~4年的需要。然而，矿物与金属材料不仅仅对国防有重大意义。统计资料表明，美国每个公民每年需要10t以上不可燃矿物材料。没有这些材料，便没有在生产中所必须的化肥、工具和动力。1982年，美国每3.1万亿美元产值需要的矿物原料如下（Morgan, 1983）：

- 900亿美元的国产原油；
- 410亿美元的进口原油；
- 170亿美元的进口精炼石油；
- 450亿美元的国产天然气；
- 230亿美元的国产煤炭；
- 10亿美元的国产铀矿石；
- 1960亿美元的国产不可燃精矿；
- 240亿美元的进口不可燃精矿。

由于国际问题正危及着战略矿物原料的供应，环境保护的限制对美国国内金属生产有很大的影响。所以尽管矿藏勘探将会找到越来越多的重要的战略材料，但受到环境保护的限制而禁止开发。然而采矿资料表明，自1776年以来受采矿影响的区域仅占美国48个州领土的0.3%，而且这部分区域中仅三分之一面积上的矿产资源已被回收利用（如图1-2所示）。采矿业通过以环境保护所能接受的方式和适当的采后恢复，使紧迫需要的矿物原料得以开采。

能源和矿物原料有密切的相互关系。随着矿物品位持续降低，这种关系越来越明显。譬如，现在每生产5kg铜，需要采出1t矿石，并且，为了分离出铜，要消耗大量能源用于破碎矿石。一般地说，仅粉碎矿石的能耗就超过了美国总电力的1%。研究新的工艺，减小能耗，有效地提炼精矿的工作，目前正在美国许多大学进行。这些大学承担了自1978年开始的“采矿和矿物资源研究”项目。

## 1.2 能源供需情况

在美国，煤炭占已知可采能源的四分之三。美国的煤炭资源比石油输出国组织拥有的石油还多。西方世界煤炭资源的一半以上在美国。目前，世界已探明煤炭储量如下（据国家煤炭协会1985）：

### 世界煤炭储量

美国	30.8%
苏联	23.1%
欧州	21.4% (西欧14.4%, 东欧7.0%)
中国	13.5%
澳大利亚	4.2%
亚州 (苏联、中国除外)	3.0%

非洲	2.6%
加拿大	0.9%
拉丁美洲	0.5%

1982年，供应美国能源需求的来源如下：

30%来自国产石油

13%来自进口石油

24%来自天然气

23%来自煤炭

5%来自水电

5%来自核电

在美国能源的供应量中，尽管煤炭仅占20%，或相当于每天740万桶原油（见图1-3），而且，目前用煤炭发电仅占54%，但

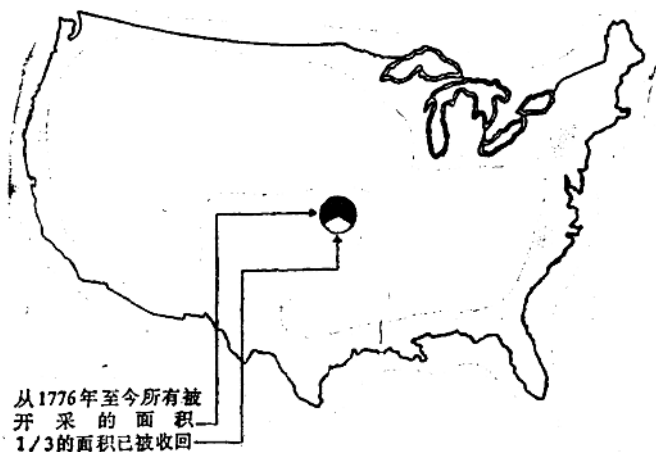


图1-2 采矿使用的面积，美国总面积23亿英亩之中的不到600万英亩（少于0.3%）用于采矿，其中1/3已被回收。其它用途：农田13亿英亩，公共土地5.25亿英亩，城市0.346亿英亩，机场和铁路0.065亿英亩（数据承蒙全美专业地质工作者学会提供）。

这是由于受到对环境保护、对净化天然气价格以及对石油价格的控制的影响。这一系列的问题导致对煤炭需求降低，从而使煤炭生产受到限制。因此，美国煤炭储存与煤炭消耗之间极不平衡。

1978年世界总能耗相当于90亿t.e.c. (t.e.c.是指按发热量为29.3MJ/kg计算的标准吨煤)。根据目前估计，1986年能耗将为130亿t.e.c.，到2000年至少为180亿t.e.c.。怎样满足这些要求呢？目前的迹象表明，新的能源如太阳能、地热、风力和潮汐将不会有很大的发展(图1-3)。因此，以后的主要能源还是以石油、天然气和煤炭为主；此外，核能也是必不可少的(Russell, 1984)。

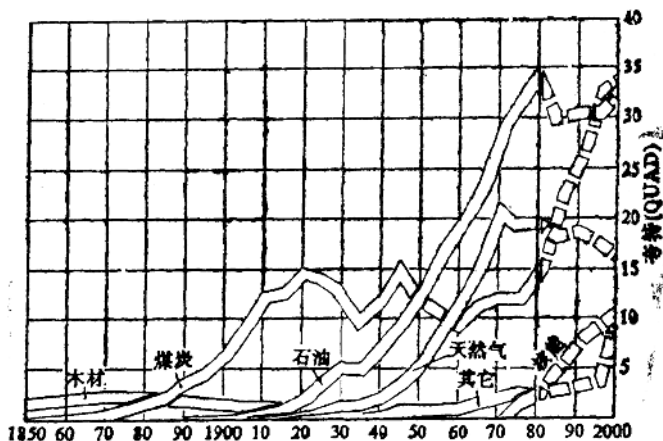


图1-3 美国能源供应发展趋势(国家地质局提供)

在今后的20年中(Hayes & Trisco, 1980)，美国的石油和天然气产量将有所减少，核能将占美国能源需求量的11%，“新”能源(太阳能等)占6%表1-1、表1-2给出了能源供给情

表1-1 美国每年提供的能源, 单位夸特 (quad)

年 份	石油		天然气		煤 炭	水 力	核 能	其它	合 计
	美国	进口	美国	进口					
1940	7.5	—	2.7	—	12.5	0.9	—	1.4	25.0
1950	13.5	—	6.2	—	12.9	1.4	—	1.2	35.2
1960	16.8	3.3	12.5	0.2	10.1	1.7	—	1.0	45.6
1970	22.8	6.7	21.2	0.8	12.7	2.7	0.2	1.0	68.1
1980	20.5	15.2	10.4	0.1	15.8	2.7	2.9	1.1	78.7
1990	17.0	14.9	18.0	0.9	24.4	4.5	7.7	2.0	89.5
(预测)									
2000	20.5	11.6	16.0	1.3	35.2	6.0	11.3	6.1	108.0

表1-2 美国每年消耗的能源, 单位夸特 (quad)

	1990 (实际)	1985 (估计)	1990 (估计)	1995 (估计)	2000 (估计)
石 油	31.8	30.4	29.5	29.4	29.3
天 然 气	13.1	15.2	16.6	17.5	18.1
煤 炭	3.7	4.0	4.3	4.7	5.2
电	6.0	8.1	9.4	10.9	12.6
回收利用	1.0	1.5	2.1	2.8	3.8
其 它	1.5	0.6	0.9	1.0	1.0
损失折算*	21.0	25.5	26.7	34.0	38.0
总 计	78.7	85.3	89.5	100.3	108.0

\* 该项能耗的增长是由于在能量形式转换过程中利用不当而造成的 (见图1.5)

资料来源: Heyes和Trisco (1980); 全美石油学会 (1981); 全国地理学会 (1982)

况, 单位为夸特 (图1-4和图1-5相同)。注意, 1夸特相当于 $10^{12}$ 立方英尺天然气,  $1.7 \times 10^8$ 桶石油,  $4 \times 10^7$ t 烟煤或 $2.93 \times 10^8$ 度电。近似地说, 1夸特相当于每天用100万桶石油, 6个月的总量, 相当于80亿加仑汽油——供1000万辆汽车使用一年。或者形象地说, 产生1夸特能量所需的煤炭装满在一列火车中, 其火车长度相当于从纽约到西雅图距离的两倍, 即大约等于8000km。

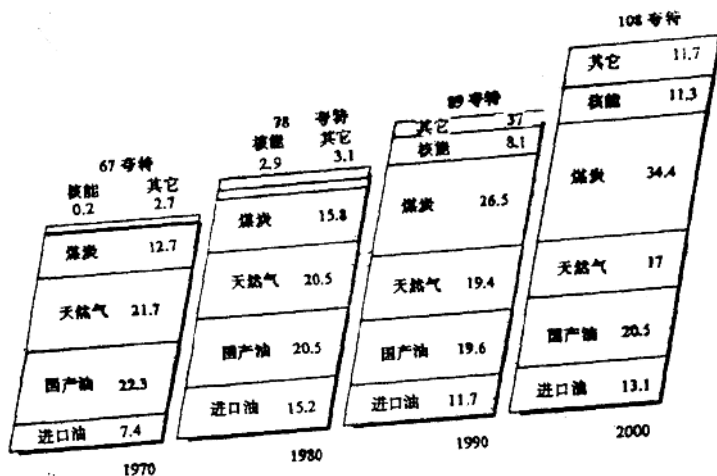


图1-4 1970年-2000年间美国的能源结构(国家地质局提供)

美国拥有2500亿吨煤炭储量,相当于 $10^{12}$ 桶石油。按目前耗能速度计算可用几百年。事实上,它占美国探明可采能源储量的80%以上,(见表1-3。现已在31个州发现煤炭资源并有26个州

表1-3 已知美国可开采的常用能源储量(根据BTU数据)

资 源	百分比(%)
煤 炭	81.7
油 页 岩	7.2
铀的氧化物	4.2
天 然 气	3.5
石 油	2.8
天然液体	0.6



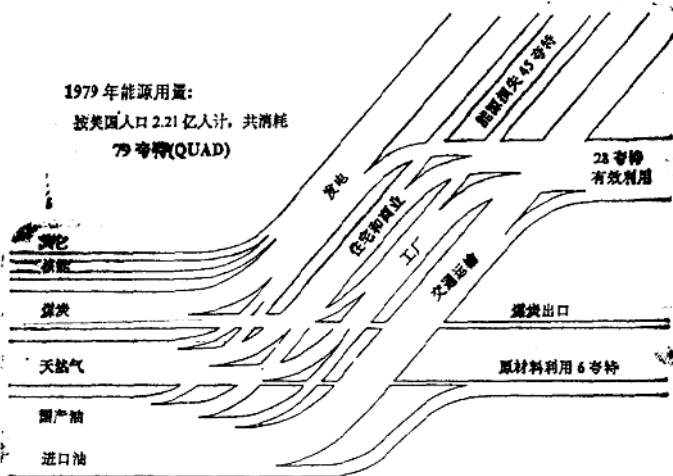
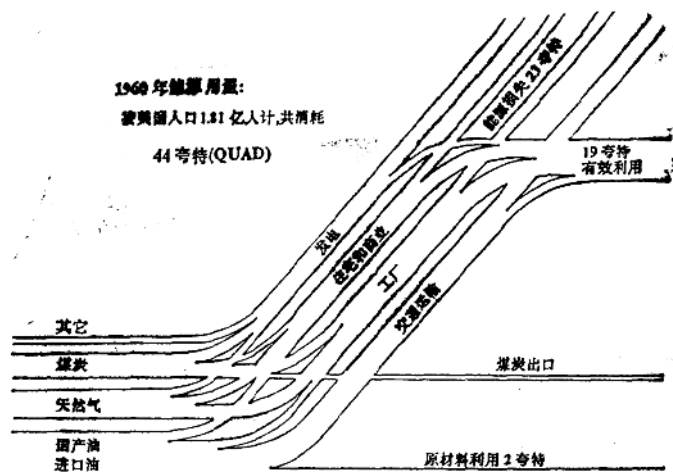


图1-5 1960年和1979年美国的能源消耗(国家地质局提供)

注: 1979年能源损失45夸特(下图), 这比美国1960年的能源消耗还大。其中大量的热量在内燃机燃烧、管道输送及蒸气机推动涡轮机工作的能量转换过程中被浪费掉。