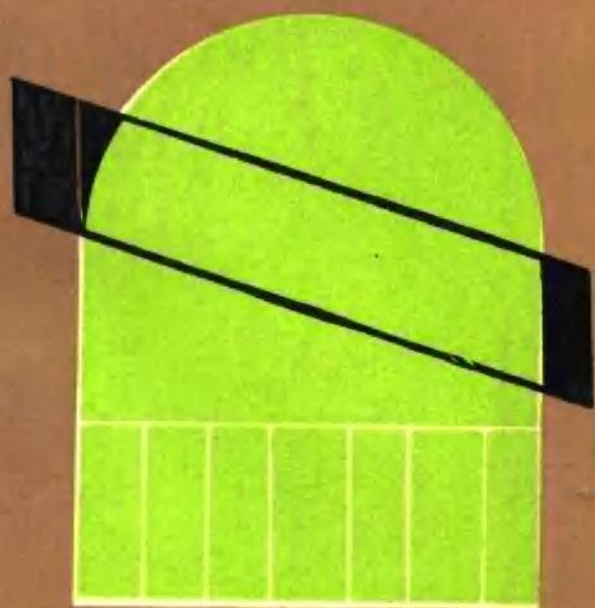


# 深矿井采准巷道 矿压控制

〔苏〕 И.Л.切尔尼亚克    Ю.И.布尔恰科夫



TD32

10

2

# 深矿井采准巷道矿压控制

〔苏〕 И.Л.切尔尼亚克 Ю.И.布尔恰科夫著

常 惊 鸿 译

刘 听 成 校

煤 炭 工 业 出 版 社



B 65567

## 内 容 提 要

本书根据深矿井采准巷道围岩发生的力学作用,阐述了选择矿压控制方法和手段的基本原则,探讨了大断面巷道掘进和支护的特点,对于不同的矿山地质和采矿技术条件下采准巷道应采取的支护和维护方法及手段提出了建议。

本书可供煤矿设计、建井和采煤工程技术人员参考。

责任编辑:邓 荷 香

И.Л.Черняк Ю.И.Бурнаков  
УПРАВЛЕНИЕ ГОРНЫМ ДАВЛЕНИЕМ  
В ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТКАХ  
ГЛУБОКИХ ШАХТ  
Москва "НЕДРА" 1984

\*

深矿井采准巷道矿压控制

〔苏〕 И.Л.切尔尼亚克 Ю.И.布尔恰科夫 著

常 惊 鸿 译  
刘 听 成 校

\*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街21号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

\*

开本  $850 \times 1168^{1/32}$  印张  $10^{1/16}$

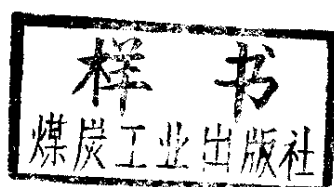
字数 263 千字 印数 1—1,690

1989年6月第1版 1989年6月第1次印刷

ISBN 7-5020-0025-9/TD·26

书号 2938

定价 4.50元



## 译 者 的 话

采准巷道矿压控制一直为各国煤矿工程技术人员所重视，随着煤炭工业的发展，开采水平不断加深，深矿井矿压控制的重要性更加突出。由于它涉及生产和安全工作的各个方面，所以研究深矿井采准巷道的矿压控制，寻求合理的控制方法是必要的。

《深矿井采准巷道矿压控制》一书以地质力学为基础，较系统地论述了采准巷道矿压显现的规律性和围岩变形的机理，在分析各种矿山地质和采矿技术因素影响的基础上提出了适合采准巷道维护条件的岩石分类法和预测岩石移动的方法，并介绍了苏联目前控制矿压所采取的新方法和手段。本书的特点是以实践为依据，在应用大量矿井观测结果的基础上对采准巷道围岩状况进行全面深入的综合分析，论证资料充分，概念明确。本书总结了苏联在采准巷道矿压控制方面的最新科研成果，反映了目前苏联在矿压控制方面的最新水平，现翻译出版，以供我国采矿工程技术人员借鉴和参考。

西安矿业学院刘听成教授对本书的译稿作了详细的审校工作，在此表示衷心地感谢。

由于译者水平所限，不妥之处，敬请读者批评指正。

译 者

一九八七年二月

## 前 言

由于采矿工作不断向深水平转移，使苏联主要煤田的煤层开采条件大为恶化。

在深矿井，采准巷道的维修和重新支护费用大大增加，防治煤和瓦斯突出及冲击地压和降温方面的措施变得更为复杂。矿山地质条件的复杂化和开采深度的增加，对于主要巷道和采准巷道矿压显现的最大影响首先表现在巷道围岩移动的增加。有些巷道在整个服务期间顶板岩石移动达1000~1500mm，而底板则达3000mm以上。岩石移动量的增加，导致巷道断面缩小和必须进行翻修。例如，在顿巴斯一些矿井中，采准巷道断面不能满足安全技术要求的占巷道长度的15%。个别情况下要使巷道能正常使用，其维护费用每米达100卢布。

近几年来，在改进已采用的和研制新的护巷方法和手段方面完成了一系列科研和设计工作。无煤柱护巷在煤层开采时得到了广泛推广。1982年有52%的煤炭用这种方法采出，而最有效的沿空留巷方案约采出煤炭40%。已制定的保护和支护采准巷道的典型说明书中，促进了开采煤层时成功地应用了无煤柱护巷。近些年来，用金属支架、装配式钢筋混凝土支架和锚杆支架支护的巷道长度有所增加（占支护巷道总长度的80%左右），已经研制出并且正在应用具有高承载力和新式可缩接头的新型支架支护的回采巷道断面积有很大增加。

尽管在采准巷道矿压控制方面取得了一定成绩，但巷道的状况仍是不好的，特别是在靠近回采工作面的地段状况更差。所以在制定和作出技术决策的同时，必须进一步深入研究采准巷道矿压显现的基本规律，使它能为选择最有效的护巷方法及手段确定地质力学原则和原始依据。

莫斯科矿业学院从1964年开始，对深矿井采准巷道的稳定性和改进护巷方法及手段进行了综合研究。在此期间，对于在不同

矿山地质条件和采矿技术条件下掘进和维护的采准巷道围岩的变形积累了丰富的资料，获得了有关支承压力显现规律的新资料，针对采准巷道维护条件制定了岩石分类法和顶、底板岩石移动的预测方法，查明了岩体与支架相互作用的规律性，提出并肯定了一些有效地控制矿压的新方法和新手段。

本书列举了所完成的研究成果，并总结了采准巷道矿压控制方面的最新科学和实践成就。

进行井下观测并整理各个阶段观测成果的工作是由А.И.什梅列夫、В.А.格里亚杜希、Р.А.弗鲁姆金、В.П.波普特尼科夫等人分别担任的，作者在此向他们表示最诚挚的谢意。

本书由И.Л.切尔尼亚克和Ю.И.布尔恰科夫为主编写，В.Ф.切尔卡索夫、Д.И.布赫纳及Д.В.贝尔曼等人参加了部分编写工作。

作者对在本书编写过程中提出许多宝贵意见的教授、科学技术博士Г.А.卡特科夫表示衷心地感谢。

# 目 录

## 第一篇 采准巷道矿压控制的地质力学基础

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| <b>1. 煤层开采的矿山地质条件</b>        | <b>1</b>   |
| 1.1. 矿山地质资料的收集和整理方法          | 1          |
| 1.2. 矿山地质条件的分析结果             | 2          |
| <b>2. 采准巷道矿压显现的基本规律</b>      | <b>11</b>  |
| 2.1. 进行回采工作时岩层移动的一般形式        | 11         |
| 2.2. 支承压力                    | 13         |
| 2.3. 支承压力显现的周期性              | 16         |
| 2.4. 支承压力带的边界和尺寸             | 24         |
| 2.5. 采准巷道中岩石移动的一般特征          | 31         |
| <b>3. 采准巷道围岩变形的规律性</b>       | <b>49</b>  |
| 3.1. 与时间有关的岩石变形和强度性质的评价      | 49         |
| 3.2. 利用仪器观测的井下研究方法           | 57         |
| 3.3. 未受回采工作影响巷道的观测结果         | 58         |
| 3.4. 巷道初次利用时支承压力带中的观测结果      | 65         |
| 3.5. 在工作面后方掘巷时岩体变形的观测结果      | 78         |
| 3.6. 巷道二次利用时支承压力带中岩体变形的观测结果  | 86         |
| 3.7. 未受回采工作影响的巷道围岩变形机理       | 91         |
| 3.7.1. 岩体变形的类型               | 91         |
| 3.7.2. 巷道工作面对岩体变形过程的影响       | 95         |
| 3.7.3. 回采工作影响带外巷道围岩的破坏       | 102        |
| 3.8. 巷道初次利用时支承压力带中岩石的变形机理    | 106        |
| 3.9. 在工作面后方掘进的采准巷道中顶板岩石的变形机理 | 114        |
| 3.10. 巷道二次利用时支承压力带中顶板岩石的变形机理 | 120        |
| 3.11. 采准巷道顶板和底板岩石的分类         | 123        |
| <b>4. 提高采准巷道稳定性的地质力学基础</b>   | <b>130</b> |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 4.1. 采准巷道的布置和保护·····     | 130 |
| 4.2. 采准巷道的维护·····        | 135 |
| 4.3. 岩体性质的控制·····        | 137 |
| 4.4. 采准巷道中矿压控制方法的分类····· | 138 |

## 第二篇 采准巷道稳定性的预测

|                                          |     |
|------------------------------------------|-----|
| <b>5. 矿山地质因素和采矿技术因素对采准巷道稳定性的影响</b> ····· | 141 |
| 5.1. 矿山地质因素的影响·····                      | 141 |
| 5.1.1. 岩石的结构和成分·····                     | 141 |
| 5.1.2. 巷道布置的深度·····                      | 146 |
| 5.1.3. 煤层厚度·····                         | 152 |
| 5.1.4. 顶底板岩石的强度·····                     | 153 |
| 5.2. 采矿技术因素的影响·····                      | 153 |
| 5.2.1. 巷道掘进方法·····                       | 153 |
| 5.2.2. 巷道断面·····                         | 156 |
| 5.2.3. 时间和回采工作面推进速度的影响·····              | 158 |
| <b>6. 采准巷道顶底板岩石移动量的预测</b> ·····          | 160 |
| 6.1. 利用贝叶斯公式的概率统计预测法·····                | 160 |
| 6.1.1. 回采工作影响带外巷道顶板岩石移动的预测·····          | 166 |
| 6.1.2. 采准巷道与回采工作面连接处顶底板岩石移动的预测·····      | 168 |
| 6.1.3. 在工作面后方掘进的采准巷道顶底板岩石移动的预测·····      | 176 |
| 6.2. 利用复相关的概率预测统计法·····                  | 186 |
| 6.2.1. 巷道与回采工作面连接处顶底板岩石移动的预测·····        | 188 |
| 6.2.2. 应用连续式开采法时采准巷道顶底板岩石移动的预测·····      | 191 |
| <b>7. 采准巷道的布置和保护</b> ·····               | 196 |
| 7.1. 在围岩中布置巷道·····                       | 196 |
| 7.2. 在已冒落的矸石中布置巷道·····                   | 198 |
| 7.3. 沿采空区布置巷道·····                       | 200 |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 7.4. 在采空区中布置和掘进巷道·····      | 201        |
| 7.5. 用有限可缩量的人工构筑物保护巷道·····  | 202        |
| 7.6. 用可缩性人工防护物保护巷道·····     | 204        |
| 7.7. 对选择采准巷道布置和保护方法的建议····· | 209        |
| 7.8. 无煤柱护巷时采区开采的工艺方式·····   | 212        |
| <b>8. 采准巷道的维护</b> ·····     | <b>217</b> |
| 8.1. 金属棚子·····              | 217        |
| 8.2. 锚杆支架·····              | 230        |
| 8.3. 支架阻力对采准巷道稳定性的影响·····   | 234        |
| 8.3.1. 实验工作的概况、对象和方法·····   | 234        |
| 8.3.2. 未受回采工作影响的巷道·····     | 237        |
| 8.3.3. 巷道初次利用时的支承压力带·····   | 245        |
| 8.3.4. 巷道的二次利用·····         | 260        |
| 8.3.5. 跟随工作面掘进巷道·····       | 268        |
| 8.3.6. 实验结果·····            | 271        |
| 8.4. 加强支架的应用·····           | 276        |
| 8.4.1. 加强支架参数的确定·····       | 276        |
| 8.4.2. 加强支架的使用效果·····       | 280        |
| 8.5. 支架背后空间的充填·····         | 283        |
| 8.6. 利用主动力的作用控制顶板岩石·····    | 284        |
| 8.7. 大断面巷道的维护效果·····        | 288        |
| 8.8. 不用保护措施的采准巷道的维护·····    | 295        |
| <b>9. 岩体应力状态的控制</b> ·····   | <b>296</b> |
| 9.1. 借助煤层打钻控制·····          | 296        |
| 9.2. 借助爆破工作控制·····          | 300        |
| 9.3. 岩石巷道的上部预采·····         | 309        |
| <b>参考文献</b> ·····           | <b>312</b> |

# 第一篇 采准巷道矿压控制的 地质力学基础

---

## 1. 煤层开采的矿山地质条件

### 1.1. 矿山地质资料的收集和整理方法

矿压显现的特征和强度，以及与此有关的采准巷道的稳定性，与许多矿山地质因素和采矿技术因素有关，这是目前所公认的。在设计采准巷道的合理布置和维护方法时必须考虑矿山地质因素，其中某地区特定地层的岩石成分特征，也就是所谓岩相，具有最重要的意义。

为了评价顿巴斯煤田“顿涅茨-马凯耶夫”矿区和“红军”矿区各矿的矿山地质条件，对采准巷道的矿压显现进行了观测，并对含煤地层的剖面进行了岩相分析。分析是利用有关矿山地质情况的资料进行的，这些资料是在乌克兰煤炭地质生产联合公司和生产矿井通过勘探钻孔和生产钻孔收集到的。

这些资料包括1009个“钻孔-层”围岩的岩石组成、开采深度和强度的情况。此外还利用了到1980年底为止70对矿井659个生产钻孔的矿山地质资料，这些矿井开采34个煤层，它们分别是 $h_2, h_3, h_4, h_6, h_7, h_8, h_{10}, k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7, k_8, l_1, l_2, l_3, l_4, l_6, l_7, l_8, m_1, m_2, m_3, m_4^1, m_5, m_9, f_1, n_1, g_2, C_{10}^2, C_{11}, C_{13}$ 。其中“顿涅茨”煤炭联合公司“扎夏德科”矿开采 $m_3$ 煤层，高尔基矿开采 $h_8$ 和 $h_{10}$ 煤层；“马凯耶夫”煤炭联

合公司“波琴科夫”矿开采 $m_3$ 煤层，“巴扎诺夫”矿开采 $m_3$ 煤层；“红军”煤炭联合公司“斯达哈诺夫”矿开采 $l_3$ 和 $l_7$ 煤层；

“托列兹”无烟煤公司“进步”矿开采 $l_8$ 煤层。在以上各矿和其他一些矿的采准巷道中进行了现场观测和生产实验。

由煤层地质柱状图收集矿山地质资料时，选出有关煤层厚度，以及直接顶和老顶岩石厚度、深度，岩石单轴抗压强度等数据。对于煤层底板仅限于收集第一个岩层的情况。

其次，将所收集到的材料按照直接赋存于煤层上部的顶板岩石的不同岩性进行分组。所组成的四个组中每组范围内分出直接顶、老顶和底板第一个岩层。

借助电子计算机用数学统计法整理原始资料和分组结果。同时按每种因素确定下列统计指标：平均值、均方误差和离散系数。为了确定矿山地质因素的分布特征和分布范围，对其中某些因素绘制了分布直方图和分布曲线。

由于在分析中利用了不同对象的二个试样的矿山地质因素：一个按勘探钻孔的地层柱状图，另一个按现采矿井生产钻孔的地层柱状图，故必须检验实验材料的均质性，即它属于同一个总体组合。某些因素利用 $\chi^2$ 的准则进行验算，证实了这样的假设，即用1009个和659个“钻孔-层”的这两种试样属于同一个总体组合。

## 1.2. 矿山地质条件的分析结果

顿巴斯“红军”矿区和“顿涅茨-马凯耶夫”矿区矿山地质条件的研究表明，这两个矿区开采的主要煤层群有100个以上的可采煤层。煤层倾角 $10^\circ \sim 25^\circ$ ，煤的牌号由Ⅱ至T。顿巴斯这两个矿区煤层赋存基本上稳定。有些煤层因褶曲和小断层破坏而较复杂，使采区巷道沿煤层倾斜和仰斜掘进发生困难。

中石炭纪煤系地层的岩石成分见表1-1。

从表1-1中可以看出，中石炭纪地层多半由砂质泥岩组成。含煤最多的煤组是 $C_1^1$ ， $C_2^1$ 和 $C_3^1$ ，其煤层相对厚度为 $0.5 \sim 1.8\text{m}$ 。

表 1-1

| 煤 系<br>(自下而上) | 煤系厚度、<br>m | 岩 石 成 分, %             |      |     |     |
|---------------|------------|------------------------|------|-----|-----|
|               |            | 泥质岩和粉砂岩<br>(砂质页岩和泥质页岩) | 砂 岩  | 石灰岩 | 煤   |
| $C_2^1$       | 500        | 78                     | 19.7 | 2.0 | 0.3 |
| $C_2^2$       | 470        | 79                     | 19.9 | 0.6 | 0.5 |
| $C_2^3$       | 470        | 64                     | 33   | 0.9 | 2.1 |
| $C_2^4$       | 280        | 65                     | 33   | 1.3 | 0.7 |
| $C_2^5$       | 405        | 60                     | 36   | 2.2 | 1.8 |
| $C_2^6$       | 315        | 69                     | 25   | 3.5 | 2.5 |
| $C_2^7$       | 480        | 70                     | 27   | 2.1 | 0.9 |

整理煤层直接顶底板岩石的原始资料所得到的结果列在表1-2中。

对煤层开采深度原始资料的分析表明, 当均方差为238m, 离散系数为47.2%时, 被研究的矿区平均开采深度为505m。根据置信概率为68.3%可以认为, 顿巴斯这两个矿区平均开采深度位于287~743m的范围内。

比较表1-2中所列出的数据证明, 无论是根据生产钻孔还是勘探钻孔的资料, 其相互之间的数值差别不大。只是当煤层顶底板为泥质页岩时, 抽样量的对比出现较大的差别, 它们分别占据用于分析的“钻孔-层”总数的61.9/53.6%和17/10.8%。由抽样的非均质性所产生的差别可以认为是非本质的, 何况顶底板中砂质泥岩在总量(86%左右)中的差别不超过10%。

对于顶底板岩石各层厚度的分布特征和分布范围可用分布直方图和分布曲线来表示。在绘制直方图之前, 按间隔和每个间隔的频率将每一种统计组合进行分类。

图1-1所列出的分布直方图和分布曲线是在分类以后绘制的, 它相对应的开采煤层的直接顶板分别为泥质页岩、砂质页岩、砂岩和石灰岩。从分布直方图和分布曲线可以看出, 对于泥质页岩

表 1-2

| 岩 石   | “钻孔-层”<br>的数目 | 占总数百分比    | 统 计 指 标      |              |                |           |            |
|-------|---------------|-----------|--------------|--------------|----------------|-----------|------------|
|       |               |           | 岩层最小厚度,<br>m | 岩层最大厚度,<br>m | 岩层厚度<br>平均值, m | 均方差,<br>m | 离散系数,<br>% |
| 顶 板   |               |           |              |              |                |           |            |
| 泥质页岩  | 625/353       | 61.9/53.6 | 0.38/0.5     | 27.7/29.4    | 5.02/6.62      | 4.5/4.84  | 89.6/73.1  |
| 砂质页岩  | 295/187       | 29.2/28.4 | 0.88/1.1     | 31.6/17.43   | 6.63/6.7       | 4.47/3.92 | 67.4/58.5  |
| 砂 岩   | 58/77         | 5.7/11.8  | 0.5/1.0      | 43.2/30      | 14.8/13.3      | 10.4/7.58 | 70.2/56.7  |
| 石 灰 岩 | 31/42         | 3.2/6.2   | 1.3/1.4      | 11.3/5.5     | 4.71/3.4       | 2.37/0.82 | 50.3/24.1  |
| 底 板   |               |           |              |              |                |           |            |
| 泥质页岩  | 116/71        | 17/10.8   | 0.5/0.7      | 20.9/11.5    | 2.31/2.2       | 2.4/2.2   | 104/100    |
| 砂质页岩  | 504/491       | 73.5/74.5 | 0.6/0.6      | 25.0/36.6    | 5.06/5.25      | 4.63/5.5  | 91.5/104.8 |
| 砂 岩   | 65/97         | 9.5/14.7  | 1.0/0.98     | 30.2/25.0    | 8.05/8.3       | 9.6/7.6   | 119.2/91.8 |
| 煤 层   |               |           |              |              |                |           |            |
| 煤     | /659          | /100      | /0.5         | /2.95        | /1.1           | /0.47     | /42.3      |

注：分子为勘探钻孔中“钻孔-层”的数据，分母为现有矿井生产钻孔中的数据。

岩、砂质页岩和砂岩来说，这些图形与正态分布偏差甚大。

将标准分布曲线的计算数据与实际数据相比较可以发现，利用对数正态分布可以足够的精度去确定泥质页岩的分层厚度，而对于砂质页岩和砂岩可用魏布尔分布(全苏国家标准11.007-75)。

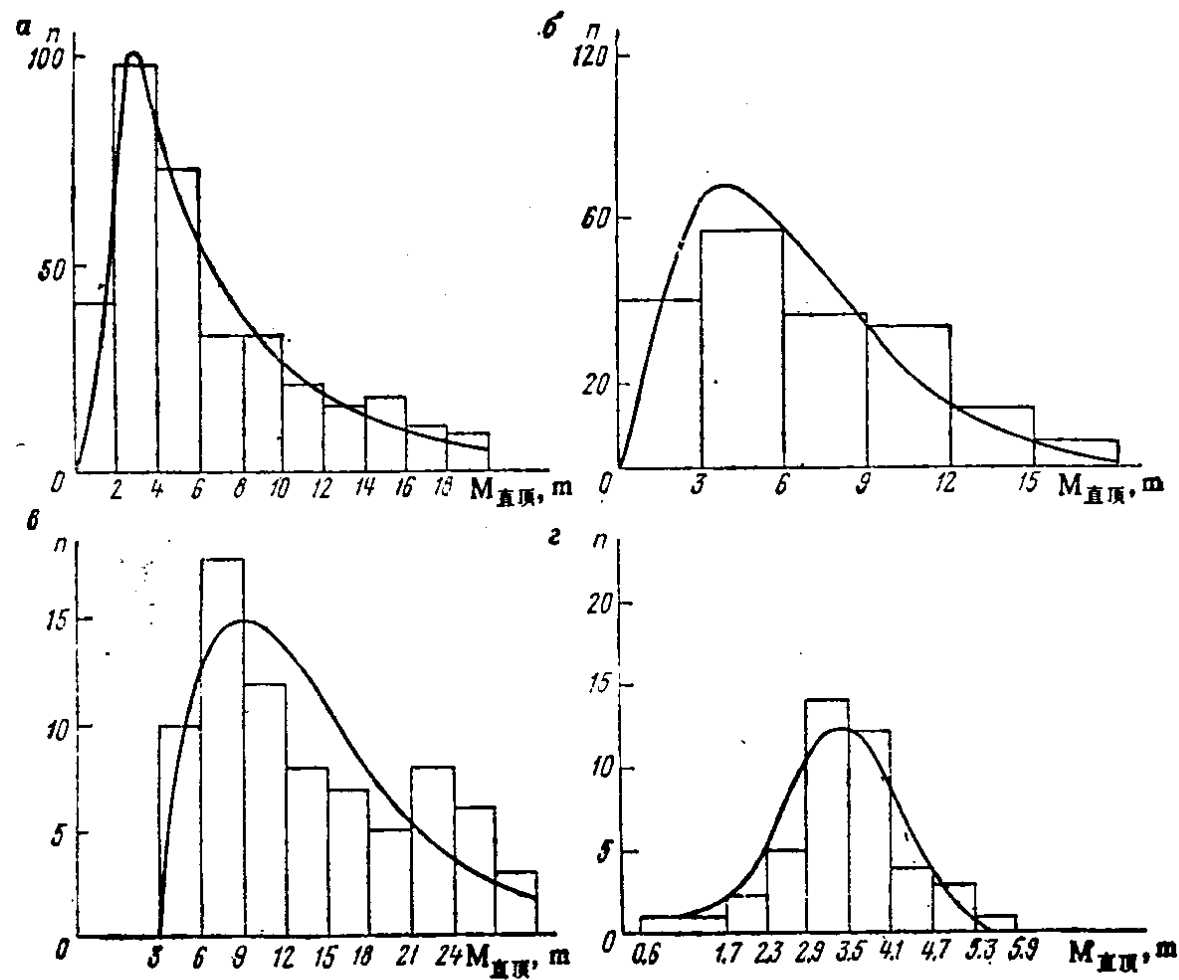


图 1-1 直接顶岩石的分布直方图和分布曲线  
a—泥质页岩，b—砂质页岩，c—砂岩，z—石灰岩

可以认为，经验分布与正态分布偏差的原因之一是由于每一种组合的非均质性。这就是说，两个或大量的标准抽样可归纳入一种抽样，每个标准抽样都具有各自的主要参数值：抽样量、平均值和均方误差。在我们所研究的情况中，泥质页岩、砂质页岩和砂岩的平均厚度在被开采的煤层中变化很大。如果所有抽样中泥质页岩直接顶平均厚度为6.62m，则对 $h_{10}$ 煤层为11.2m，对 $m_3$

煤层为9m，对 $l_7$ 煤层为3.4m，即与全部抽样平均值相差甚大。这类煤层要占泥质页岩全部抽样的30%以上。如果按这类煤层直接顶岩石厚度绘制分布曲线，则将得到正态分布曲线。

石灰岩的直方图就是一个证明，这种石灰岩的全部抽样都取自 $h_8$ 煤层直接顶板。从图1-1中可见，经验分布的形式接近于正态分布。为了检验经验分布和理论分布的一致性，采用了最常用的一致的准则——所谓 $\chi^2$ 准则。用电子计算机按标准程序计算的经验和理论间隔频率及统计参数可确定 $\chi^2$ 值，它等于1.762，自由度的数目为1。借助于表可对自由度数目等于1的情况求出，当 $\chi^2 = 1.642$ 时， $\rho = 0.2$ ；当 $\chi^2 = 2.71$ 时， $\rho = 0.1$ 。因而当 $\chi^2 = 1.762$ 时，待求的概率 $\rho$ 近似地等于0.19。这个概率不是最小值，故理论和经验频率间的偏差可以认为是偶然的。因而可以认为，石灰岩直接顶板岩石厚度按正态规律分布。

下面来研究当煤层的直接顶板为泥质页岩、砂质页岩、砂岩和石灰岩时，在把矿山地质因素按勘探钻孔分类以后，再来研究这些因素经整理后的结果。

表1-3是当泥质页岩直接赋存在煤层下部时根据所收集到的有关直接顶和老顶资料整理得出的结果。

从表1-3中可以看出，采准巷道赋存深度有68.3%的情况是在351~1135m之间，而煤层厚度变化在0.62~1.68m之间。从这样的置信概率可以认为，泥质页岩直接顶板第一层的厚度变化在0.59~9.59m之间，而其单轴抗压强度为16.4~42.2MPa。在大多数情况下，这种分组中直接顶板整个岩层都由泥质页岩组成，达到的最大厚度为27.7m。泥质页岩也可能是老顶，它出现的情况占7%。老顶中泥质页岩的平均厚度为6.6m，而其单轴抗压强度为31.3MPa。

直接顶的第二岩层有26%的情况（619个“钻孔-层”中有160个）是砂质页岩，其平均厚度为4.46m，平均单轴抗压强度为33.2MPa。

砂质页岩以后直接顶有5%的情况为泥质页岩，其平均厚度

表 1-3

| 因 素         | 统 计 指 标   |            |           |           |            |
|-------------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|
|             | 最小值       | 最大值        | 平均值       | 均方差       | 离散系数,<br>% |
| 埋藏深度, m     | 171       | 1620       | 743       | 392       | 52.7       |
| 煤层厚度, m     | 0.1       | 3.2        | 1.15      | 0.53      | 46.0       |
| 直接顶:        |           |            |           |           |            |
| 第一层, 泥质页岩   | 0.3/10.1  | 27.7/71.2  | 5.09/29.3 | 4.5/12.9  | 88.4/44.1  |
| 第二层, 砂质页岩   | 0.6/10.1  | 31.0/80.4  | 4.46/33.2 | 3.61/13.1 | 80.9/39.4  |
| 第三层, 砂岩     | 0.7/      | 6.5/       | 2.32/     | 1.27/     | 54.7/      |
| 直接顶板总厚度, m  | 2.1       | 28.0       | 11.3      | 6.51      | 57.6       |
| 岩石平均强度, MPa | 9.2       | 67.8       | 30.3      | 11.9      | 39.4       |
| 老顶:         |           |            |           |           |            |
| 第一层         |           |            |           |           |            |
| 砂质页岩        | 0.83/16   | 31.6/106.0 | 6.63/53.6 | 4.47/17.6 | 67.4/33.4  |
| 砂岩          | 1.0/13.0  | 35.4/155.4 | 10.0/71.6 | 10.2/24.6 | 102/34.8   |
| 石灰岩         | 0.2/22    | 6.8/155.5  | 2.09/59.6 | 1.52/36.1 | 73.0/60.6  |
| 第二层         |           |            |           |           |            |
| 泥质页岩        | 1.0/      | 24.9/      | 10.0/     | 6.37/     | 63.7/      |
| 砂质页岩        | 0.8/16.8  | 19.2/117.0 | 5.25/43.9 | 4.0/19.4  | 76.2/44.2  |
| 砂岩          | 0.9/28.9  | 21.5/196.0 | 4.61/85.8 | 3.71/34.0 | 80.5/39.6  |
| 第三层         |           |            |           |           |            |
| 泥质页岩        |           |            |           |           |            |
| 砂质页岩        | 1.1/      | 12.0/      | 5.5/      | 2.97/     | 54.0/      |
| 砂岩          | 0.8/41.8  | 23.5/215.3 | 11.8/84.9 | 7.14/42.0 | 60.4/49.4  |
| 直接底:        |           |            |           |           |            |
| 第一层         |           |            |           |           |            |
| 泥质页岩        | 0.5/7.6   | 16.2/59.6  | 2.31/21.5 | 2.45/8.65 | 106/40.2   |
| 砂质页岩        | 0.6/11.1  | 25/82.0    | 5.06/39.1 | 4.63/16.6 | 91.4/42.5  |
| 砂岩          | 0.75/24.5 | 50.2/150.0 | 8.55/71.8 | 9.89/30.7 | 115/42.8   |

注：分子为岩层厚度（m），分母为抗压强度（MPa）。

为2.32m。而直接顶的第三岩层基本上都是砂岩。

在所研究的组内，老顶的第一岩层有40%是砂质页岩，其平均单轴抗压强度为53.6MPa，比直接顶强度高70%。老顶第一岩层为砂岩的情况占43%，其平均厚度为10m，而强度为71.6MPa。石灰岩占老顶的10%，其平均厚度为2.09m，而单轴抗压强度为

59.6MPa。老顶的第二和第三岩层可能会遇到厚度不等的泥质页岩、砂质页岩和砂岩，同时相互的组合方式也不同。

整理这一组的原始资料表明，当泥质页岩直接赋存于煤层之上时，有30%的情况是煤层底板会遇到泥质页岩，55%的情况为砂质页岩，15%为砂岩。煤层底板中泥质页岩的平均厚度为2.31 m，而单轴抗压强度为21.5MPa。大多数情况下煤层底板为砂质页岩，其平均厚度为5.06 m，而抗压强度为39MPa。

表 1-4

| 因 素        | 统 计 指 标  |            |           |           |            |
|------------|----------|------------|-----------|-----------|------------|
|            | 最小值      | 最大值        | 平均值       | 均方差       | 离散系数、<br>% |
| 埋藏深度, m    | 146      | 1570       | 637       | 313       | 49.2       |
| 煤层厚度, m    | 0.42     | 2.62       | 1.06      | 0.43      | 45.5       |
| 直接顶:       |          |            |           |           |            |
| 第一岩层, 砂质页岩 | 0.38/2   | 20/79.8    | 6.20/34.3 | 3.80/15.1 | 61.2/43.9  |
| 第二岩层, 泥质页岩 | 0.5/7    | 15.3/57.8  | 2.75/27.8 | 2.94/10.2 | 107/36.9   |
| 直接顶总厚, m   | 0.38     | 21.4       | 7.12      | 4.13      | 58         |
| 平均强度, MPa  | 2        | 79.5       | 35.1      | 13.9      | 39.6       |
| 老顶:        |          |            |           |           |            |
| 第一岩层       |          |            |           |           |            |
| 砂质页岩       | 0.9/17.1 | 20.9/148.0 | 7.63/67.4 | 5.12/24.1 | 67.1/35.8  |
| 砂岩         | 0.7/25   | 42.2/186.0 | 8.5/70.7  | 8.77/28.6 | 104/40.4   |
| 第二岩层       |          |            |           |           |            |
| 泥质页岩       | 1.0/15.8 | 16.4/52.8  | 7.6/31.5  | 4.6/11.5  | 60.1/36.5  |
| 砂质页岩       | 0.8/15.9 | 24.3/93.5  | 5.26/48.5 | 4.17/19.4 | 79.3/40.1  |
| 直接底:       |          |            |           |           |            |
| 第一岩层       |          |            |           |           |            |
| 泥质页岩       | 0.5/7.4  | 20.9/31.1  | 1.92/18.7 | 2.40/6.08 | 125/32.5   |
| 砂质页岩       | 0.6/13.5 | 21.4/99.8  | 4.62/40.4 | 3.88/14.7 | 84.1/36.3  |

注：分子为岩层厚度（m），分母为抗压强度（MPa）。

表1-4为第二组原始资料的整理结果，这时煤层直接顶为砂质页岩。该组中直接顶的第一岩层厚度有68.3%的情况是变化在2.4~10m之间。直接顶的第二岩层只有在15%的情况是泥质页岩。