

中等專業學校教學用書

采 矿 工 程

下 冊

K. B. 巴甫洛夫 著

冶金工業出版社翻譯組 譯校

冶金工業出版社

中等專業學校教學用書

採 礦 工 程

下 冊

K. B. 巴甫洛夫 著
冶金工業出版社翻譯組 譯校

冶金工業出版社

本書原書是蘇聯冶金工業部教育司審定的礦冶中等專業學校教科書，並經蘇聯勞動後備部教學方法司同意作為採礦學校工長在職學習的教科書。

中譯本分上下冊出版，上冊主要敘述鑿岩爆破、礦床勘探和鑽探等知識。

下冊分礦山支护及巷道掘進兩篇，分別敘述地層壓力的理論和計算，各種支柱的結構、材料和架設方法，以及各種巷道的掘進方法、施工組織和設備。

本書可供中等專業學校作為教科書，亦可供高等學校學生及礦山工程技術人員參考。

本書由重工業出版社翻譯組侯煥閔、蔡本裕譯校。

К. В. ПАВЛОВ: ГОРНЫЕ РАБОТЫ

採礦工程（下冊）

冶金工業出版社翻譯組 譯校

1957年2月第一版 1957年2月北京第一次印刷 5,036冊

$787 \times 1092 \cdot \frac{1}{25}$ · 240,000字 · 印張12 · 定價(10) 1.30元

冶金工業出版社印刷廠印

新華書店發行

書號0543

冶金工業出版社出版（地址：北京市燈市口甲45號）

北京市書刊出版業營業許可証出字第093號

中等專業學校教學用書

採 礦 工 程

下 冊

K. B. 巴甫洛夫 著
冶金工業出版社翻譯組 譯校

冶金工業出版社

本書原書是苏联冶金工業部教育司审定的矿冶中等專業学校教科書，並經苏联劳动后备部教学方法司同意作为採矿学校工長在职學習的教科書。

中譯本分上下冊出版，上冊主要敘述鑿岩爆破、矿床勘探和鑽探等知識。

下冊分矿山支护及巷道掘進兩篇，分別敘述地層壓力的理論和計算，各種支柱的結構、材料和架設方法，以及各種巷道的掘進方法、施工組織和設備。

本書可供中等專業学校作为教科書，亦可供高等学校學生及矿山工程技術人員參考。

本書由重工業出版社翻譯組侯煥閔、蔡本裕譯校。

К. В. ПАВЛОВ: ГОРНЫЕ РАБОТЫ

採矿工程（下冊）

冶金工業出版社翻譯組 譯校

1957年2月第一版 1957年2月北京第一次印刷 5,036冊

$787 \times 1092 \cdot \frac{1}{25}$ · 240,000字 · 印張 12 · 定價 (10) 1.30元

冶金工業出版社印刷廠印

新华書店發行

書號0543

冶金工業出版社出版（地址：北京市灯市口甲45號）

北京市書刊出版業營業許可証出字第093號

目 录

第四篇 礦 山 支 護

第十六章 矿山岩石压力 (地層压力)	7
§ 79 矿山岩石力学原理与地層压力	7
§ 80 自然平衡拱与应力的分布	8
§ 81 水平巷道中的地層压力	10
§ 82 矿柱所負荷的压力	16
§ 83 傾斜巷道中的地層压力	18
§ 84 垂直巷道中的地層压力	18
第十七章 矿山支柱材料	24
§ 85 主要的支柱材料种类	24
§ 86 木材及其性質	24
§ 87 混凝土及其拌制	32
§ 88 天然石材和人造石材	42
§ 89 金屬及其它材料	44
第十八章 矿山支柱的結構	45
§ 90 巷道的支撐方法	45
§ 91 矿山支柱的种类	45
§ 92 回採巷道支柱	46
§ 93 水平巷道支柱	55
§ 94 垂直巷道支柱	66
§ 95 傾斜巷道支柱	76
第十九章 巷道支护工作	78
§ 96 木支柱的制作	78

§ 97	回探巷道支护	80
§ 98	水平巷道木支柱的架設	80
§ 99	水平巷道石材支柱和混凝土支柱的砌筑	84
§ 100	支护水平巷道时的特殊工作	89
§ 101	井筒的支护	90
§ 102	井筒的装备和梯子格	98
§ 103	井口以及井筒与其它巷道联接处的支护	106
§ 104	倾斜巷道和天井的支护	107

第五篇 巷道掘进

第二十章 水平巷道掘进

§ 105	水平巷道掘进工作概說	109
§ 106	掘进循环的各项作業	110
§ 107	水平巷道横断面的形状与尺寸	112
§ 108	砲眼組与砲眼深度	117
§ 109	掏槽分类与砲眼排列方式	120
§ 110	鑿岩生产率	125
§ 111	掘进巷道时的爆破工作組織	127
§ 112	岩石清理方法	130
§ 113	水平巷道工作面的通風	146
§ 114	水平巷道掘进工作組織	151
§ 115	水平巷道掘进工作标准循环圖表	152
§ 116	巷道快速掘进法	156
§ 117	巷道掘进工作中的工业劳动衛生	170

第二十一章 倾斜巷道掘进

§ 118	斜井的掘进	173
§ 119	天井的掘进	177

第二十二章 井底車場巷道和峒室的掘进.....182

- § 120 井底車場巷道和峒室的用途.....182
- § 121 峒室的形狀和尺寸.....183
- § 122 井底車場的开辟.....188
- § 123 各种峒室的掘进方法.....189
- § 124 矿倉的掘进.....191
- § 125 井底車場巷道掘进进度計劃的原則.....192

第二十三章 垂直巷道掘进.....194

- § 126 豎井的类型和用途.....194
- § 127 井筒橫断面的形狀和尺寸.....194
- § 128 准备时期和地面的装备.....202
- § 129 井口的掘进.....204
- § 130 掘进设备和井架.....206
- § 131 井筒的主要掘进方法.....210
- § 132 鑿岩組織.....213
- § 133 压缩空气的生产和輸送.....215
- § 134 井筒掘进工程中採用的炸藥和爆破方法.....218
- § 135 井筒掘进工程中的岩石清理.....221
- § 136 掘进提昇設備.....227
- § 137 通風方法和通風設備.....237
- § 138 井筒掘进工程中的排水和照明.....238
- § 139 信号設備.....242
- § 140 掘进工作組織.....244
- § 141 苏联井筒快速掘进.....246
- § 142 井筒的延深.....249
- § 143 井筒掘进工程中的矿山測量.....258

第二十四章 矿山的修理和恢复.....260

§ 144	巷道崩落的原因	260
§ 145	巷道的小修	260
§ 146	整理並重新支护崩落場的方法	262
§ 147	井筒支柱的修復	265

第二十五章 困难自然条件下的巷道掘进工程.....267

§ 148	井筒特殊掘进法分类	267
§ 149	插樁支柱	268
§ 150	沉箱法和压气法（压气沉箱法）	273
§ 151	人工降低地下水位法	275
§ 152	堵塞矿山岩石裂縫法	277
§ 153	冻结法	280
§ 154	大直径井筒的鑽进法	282
§ 155	水平巷道的护板掘进法	286

第二十六章 矿山工作組織的一般性問題.....289

§ 156	巷道掘进組織的基本方針	289
§ 157	掘进工作的技术經濟指标	290
§ 158	劳动力的組織和工資	291
§ 159	掘进工作單位費用的核算	293
§ 160	关于掘进巷道时加速流动資金周轉的概念	297
§ 161	矿山地面布置总平面圖概說	297

第四篇 矿山支护

第十六章 矿山岩石压力（地層压力）

§ 79 矿山岩石力学原理与地層压力

地壳中的岩石由於每一微粒在周圍物質的压力下压缩而处于应力状态。

現在我們來說明这一点。設在地表之下深 H 处有一假定水平面 $b-b$ （圖 161, a ）。这一深度上岩石的任一微粒受到周圍压力作用，皆处于应力平衡状态。其原因如下：完整地層中的矿山岩石，沒有外力的影响就不会移动、弯曲和变形。但只要在微粒的任一方面掘进巷道（圖 161, b 中的 $b-b_1$ 面），从而該处岩石变动时，应力平衡状态也就发生变化，而岩石微粒就向巷道方面移动。

如观测所証明：在掘进巷道的影响下，巷道周圍的岩石起先是微微弯曲，然后岩石中生出細小的裂縫，並且有不大的石块开始塌落，最后，巷道便崩落。掘进巷道后在岩層中發生的这种現象称为变形。

为避免这种变形發展並为避免發生崩落起見，將掘进的巷道用各种支柱加以支护。支柱負荷了地層压力，从而阻止岩石崩落。

由於掘进巷道而在矿山岩層中發生的一种現象，使巷道周圍的矿山岩石变形，这种现象称为地層压力。

必須指出，矿山岩石变形的性質和量取決於各种不同的因素，其中包括矿山岩石的物理机械性質、巷道距地表的深度、横断面的形狀和尺寸、支护方法及其它。

探討完整地層中矿山岩石內各力的相互作用，研究自然平衡



圖 161 岩層中的应力

被破坏时岩石状态的变化，这就是矿山岩石力学这门科学所研究的问题的范围。

在研究掘进巷道时的地層压力这一方面，俄国和外国的科学家出版了许多著作。但是这一领域内最有价值的著作，其作者是俄国的科学家，即 M. M. 普罗托吉雅柯诺夫教授、П. M. 齐姆巴烈维契教授、A. H. 丁尼克院士、B. Д. 斯列薩列夫教授及其他许多人。

普罗托吉雅柯诺夫教授远在 1908 年，就在分析外国各派地層压力理論时写道：“每一位作者都有一套独创的、关于所發生的各种現象之性質的概念，对此不得不为之惊詫。……結果問題竟变成了这样：一个人，只要他提出一套假說，他就算是猜对了”。在以后出版的关于地層压力的著作中，另一位科学家齐姆巴烈维契教授在論述許多这一类的理論时肯定地指出，这些理論“包含着許多假定性”，从而未获得实际的应用。

由此可見，在二十世紀前，能用来解决支柱計算問題的地層压力理論可以說是沒有的。

本世紀初（1908—1912 年），M. M. 普罗托吉雅柯诺夫教授在进行了一系列的試驗研究和理論研究之后，制訂出了举世聞名的严整的地層压力理論。

这一理論称为**矿山岩石自然平衡拱理論**。

§ 80 自然平衡拱与应力的分布

在岩層中掘进巷道后該处矿山岩石的状态分为两个时期。

第一个时期的特点，是岩石微粒失去原始应力状态，且在巷道周围形成“自然平衡拱”。

第二个时期的状态就是自然平衡拱形成后的岩石状态。

兹举例说明。

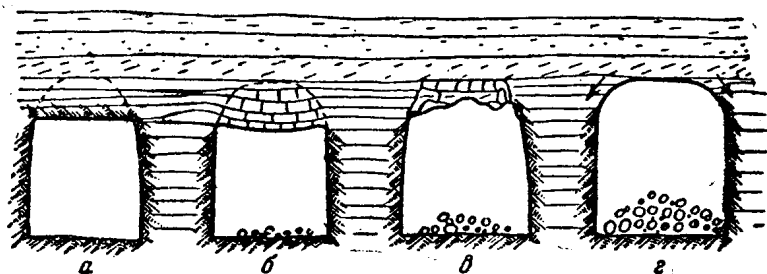


圖 162 地層压力逐漸增長的示意圖

設有一剛掘进的梯形巷道 a (圖 162)。如該巷道不加支护，則頂板岩石在上部岩層重量的影响下，开始失去原始应力平衡状态並开始弯曲 (b)。弯曲到一定限度（極限抗弯强度）后，頂板岩石中便产生極細的裂縫。这些裂縫不断扩大並不断造成新的裂縫，这样就使各微粒之間的联系力遭到破坏。結果便發生崩落 (c)。崩落后，巷道頂板常常呈拱形。該拱范围以外的岩石所受到的已不是弯曲力，而是沿拱曲線作用的壓縮力 (d)。这一新形成的拱形巷道比梯形巷道穩固。

就是在用支柱支护的巷道，在自然平衡拱范围内的岩石中也發生同样的現象。但架設在巷道中的支柱能使頂板弯曲和裂縫形成的过程較緩慢，从而阻止岩石崩落。在这种情况下，自然平衡拱形成前的这一段時間里，支柱所負荷的压力逐漸增加，到形成前的一刹那达到最大。

支柱負荷的压力逐漸增加的时期称为**初次地層压力期**。

在这一时期，自然平衡拱尚未形成（拱內各应力正在进行再分布），且支柱所負荷的压力大於自然平衡拱內岩石的重量。拱形成后，支柱所負荷的压力減小到某一（多少較稳定的）数值。

初次压力的数值和初次压力时期的長短随岩石的物理性質和

巷道的尺寸而变。

在內摩擦角較小的脆弱岩石中，初次压力的数值比坚硬的岩石中大，且初次压力期較短；在坚硬的岩石中則相反，初次压力时期較長，而初次压力数值較小。岩石脆弱时，为避免支柱在初压时期內折断起見，常常採用所謂“可縮性支柱”。

第二时期內压力之所以減小，是因为由於自然平衡拱的形成，支柱所負荷的只是位於拱內的那部分岩石的压力。

因为拱內岩石的体积和重量是稳定的（在拱穩固时），所以支柱所負荷的压力也几乎保持稳定不变。这一压力称为**二次地層压力**或**穩定地層压力**。

穩定压力保持不变的时期称为二次地層压力期。

§ 81 水平巷道中的地層压力

近代關於水平巷道支柱所負荷的地層压力的理論分为以下兩種：

1) 以自然平衡拱形成这一原則为基础的理論，認為自然平衡拱能保护支柱不受上部岩石的压力，並使压力与拱內岩石的重量相等。

2) 以其它原則为基础的理論（流体靜力学理論、彈性理論、压力曲線理論）。

自然平衡拱的理論認為自然平衡拱把上部岩石的重量轉送於巷道兩帮。这种理論在分析水平巷道頂板岩石崩落現象方面是最簡單的。因此自然平衡拱理論应用甚广。在計算工作实践中使用这种理論所得出的結果很圓滿。这一种理論中最有名的，是普罗托吉雅柯諾夫教授的理論。

普罗托吉雅柯諾夫教授的理論。根据普罗托吉雅柯諾夫教授的理論，在用支柱支护的水平巷道頂板中形成釋压拋物線拱 AOB（圖 163）。該拱的高度用下式求算：

$$b = \frac{a}{f},$$

式中 b —— 拱的高度；
 a —— 巷道寬度的一半；
 f —— 矿山岩石的
 硬度系数，
 其数值如表
 4 和 5 所示，

巷道頂板支柱所負
 荷的压力与拱內岩石的
 重量相等；該压力攤到
 巷道每一單位長度上的
 数值用下式求算：

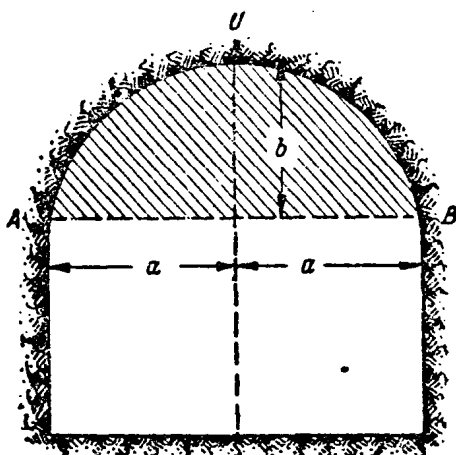


圖 163 普罗托吉雅柯諾夫拟訂的自然平衡拱

$$P = \frac{4}{3} r \frac{a^2}{f}, \quad (21)$$

式中 r —— 矿山岩石的容重。

在現場上，根据这一压力的数值而架設的支柱，其效果大多都很良好。

岩柱理論。在距地表不深的水平巷道，不存在形成自然平衡拱的条件。根据許多科学家的見解，在这种場合，巷道上部有垂直岩柱，該岩柱以通过巷道兩帮的兩個垂直面为界；而巷道支柱所負荷的压力便等於这一岩柱的重量減去各滑动面上摩擦力数值而得的差。茲举例說明。設有一水平巷道，其寬为 $2a$ ，距地表的深度为 H （圖 164）。

設岩石为松散岩石，則根据流体靜力学压力定律，巷道支柱所負荷的压力等於岩柱的重量（該岩柱的底面积等於巷道寬度乘巷道單位長度的积，高等於巷道距地表的深度）。但是沿岩柱垂直面作用的摩擦力显然会对岩柱的下沉發生一定程度的阻力。

因此支柱所負荷的地層压力等於岩柱重量与摩擦力的差：

$$P = Q - 2 D \operatorname{tg} \varphi, \quad (a)$$

式中 D 值根据土壤压力理論，用下式求算：

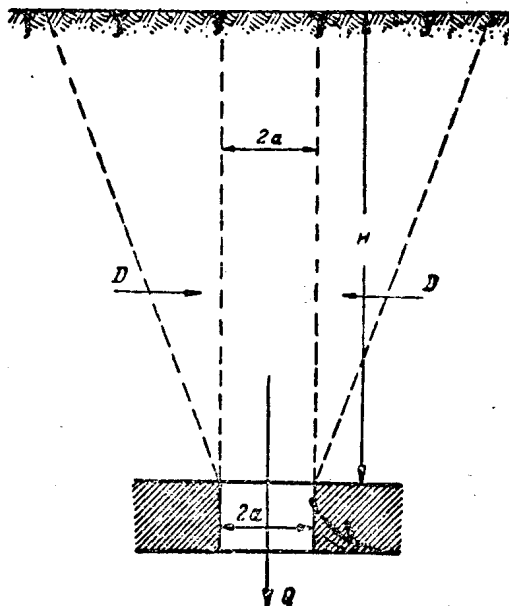


圖 164 根据岩柱重量理論支柱所負荷的压力

$$D = \frac{r \times H^2}{2} \times \operatorname{tg}^2 \frac{90^\circ - \varphi}{2}, \quad (6)$$

式中 Q ——岩柱重量；

φ ——滑动摩擦角；

r ——岩石的容重。

岩柱重量 Q 可用下式求算：

$$Q = 2raH. \quad (B)$$

把 Q 和 D 代入公式 (a) 並加以相应地运算后，得出用来求算地層压力的下一公式：

$$P = 2raH \left(1 - \frac{H}{2a} \operatorname{tg}^2 \frac{90^\circ - \varphi}{2} \operatorname{tg} \varphi \right). \quad (22)$$

这一公式只是在水平巷道的深度符合於下一公式时才适用：

$$H = \frac{2a}{\operatorname{tg}^2 \frac{90^\circ - \varphi}{2} \operatorname{tg} \varphi}. \quad (23)$$

但实际上这一深度不得超过 20—35 米。

斯列薩列夫教授的理論。斯列薩列夫教授提出了一种理論，認為地層压力的数值应根据压力曲線（圖 165）来求算。該曲線是下列几种力的合力線：即高达地表的岩柱之重量，側帮压力和底板压力。

根据斯列薩列夫教授的公式，支柱所負荷的压力数值为：

$$P = \frac{4}{3} \gamma \times a \times b, \quad (24)$$

式中 γ 和 a —— 和前几个公式中相同；

b —— 巷道頂板中拱的压力曲線的最大高度，用下式求算：

$$b = \frac{a^2}{H \times \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)}, \quad (25)$$

式中 H —— 巷道距地表的深度；

φ —— 岩石的內摩擦角。

在这样的条件下，拱的穩固性以下式表示：

$$\alpha \leq \varphi,$$

式中 α —— 压力曲線上任一点的切線与垂直於岩石可能移动方向的直線的夾角。該角用下式求算：

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2a}{H \times \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)}. \quad (26)$$

今列出若干例題以說明水平巷道支柱所負荷的地層压力計算方法。

例題 1。有一巷道，其寬 $2a = 4$ 米，其周圍岩石的容重 $\gamma = 2.5$ 吨/立方米，硬度系数 $f = 4$ 。試求其頂板地層压力的数值，並求拱的高度。

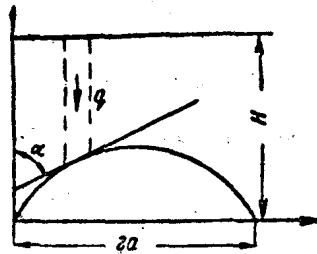


圖 165 根据斯列薩列夫的理論制訂的压力曲線

根据普罗托吉雅柯諾夫教授的公式 (21)，每 1 米長巷道上的地層压力数值为：

$$P = \frac{4}{3} \tau \frac{a^2}{f} = \frac{4}{3} \times 2.5 \times \frac{4}{4} = 3.34 \text{ 吨。}$$

拱的高度为：

$$b = \frac{a}{f} = \frac{2}{4} = 0.5 \text{ 米。}$$

例題 2。 有一巷道，其寬 $2a = 2.5$ 米，距地表的深度 $H = 12$ 米。其周圍岩石的硬度系数 $f = 2$ ，从而摩擦角 $\varphi = 40^\circ$ （見上冊中表 5——譯者）。岩石容重 $\tau = 1.6$ 吨/立方米。

試求頂板地層压力的数值。

預定用公式 (22) 来解題，因此先求出能保証公式 (22) 适用的極限深度：

$$H_1 = \frac{2a}{\operatorname{tg}^2 \frac{90^\circ - \varphi}{2} \operatorname{tg} \varphi} = \frac{2.5}{\operatorname{tg}^2 \frac{90^\circ - 40^\circ}{2} \operatorname{tg} 40^\circ} = 14 \text{ 米。}$$

因为 H_1 大於 H ，可以应用公式 (22)。每 1 米長巷道上的地層压力数值为：

$$P = 2\tau aH \left(1 - \frac{H}{2a} \operatorname{tg}^2 \frac{90^\circ - \varphi}{2} \operatorname{tg} \varphi \right) = 2 \times 1.6 \\ \times 1.25 \times 12 \left(1 - \frac{12}{2.5} \operatorname{tg}^2 \frac{90^\circ - 40^\circ}{2} \operatorname{tg} 40^\circ \right) = 6.7 \text{ 吨。}$$

例題 3。 有一巷道，其寬 $2a = 3.0$ 米，距地表的深度为 30 米；岩石的硬度系数 $f = 3$ ($\varphi = 50^\circ$)，岩石容重 $\tau = 1.8$ 吨/立方米。試用斯列薩列夫的方法求出該巷道所負荷的地層压力数值。

1. 用公式 (25) 求出本題条件下拱的高度 b ：

$$b = \frac{a^2}{H \times \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)} = \frac{1.5^2}{30 \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{50^\circ}{2} \right)} \\ = \frac{2.25}{30 \times 0.132} = 0.58 \text{ 米。}$$