

礦內通風學

蘇聯 阿·阿·斯闊成斯基院士 合著
維·波·闊馬洛夫教授
北京礦業學院編譯室翻譯
北京礦業學院通風安全教研組校訂



燃料工業出版社

礦 內 通 風 學

蘇聯 阿·阿·斯闊成斯基院士 合著
維·波·闊馬洛夫教授

北京礦業學院編譯室翻譯
北京礦業學院通風安全教研組校訂

蘇聯高等教育部審定作為高等礦業學校教材

燃 料 工 業 出 版 社

本書內容包括三個部分：第一部分「礦內大氣」，第二部分「礦井通風」，第三部分「礦井通風設計」。

本書闡述了礦井大氣的現代基本理論，總結了井巷通風的實際經驗，並對瓦斯與煤塵爆炸的防止和處理作了簡要的論述。

本書譯者為北京礦業學院編譯室許自新同志，校訂者為北京礦業學院通風安全教研組主任汪秦葵教授暨全組同志。譯者曾根據本書俄文1949年版將第三部分譯出，由本社出版，書名「礦井通風設計」，本書第三部分是根據1951年增訂本重譯的。

* * *

礦 內 通 風 學

РУДНИЧНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ

根據蘇聯國立煤礦技術書籍出版社(УГЛЕТЕХИЗДАТ)
1951年列寧格勒俄文第二版翻譯

蘇聯 А. А. СКОЧИНСКИЙ 合著
В. Б. КОМАРОВ

北京礦業學院編譯室翻譯
北京礦業學院通風安全教研組校訂

燃料工業出版社出版

社址：北京東長安街燃料工業部

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

編輯：張伯顏 程魁忠 校對：郭益華 王嘉瑜

書號197*煤81*850×1092 $\frac{1}{2}$ 開本*576頁*452千字*定價29,000元

一九五四年八月北京第一版(1—5,200冊)

版權所有★不許翻印

目 錄

第二版序言

第一版序言

第一篇 礦 內 大 氣

第一章 礦內空氣.....	9
第 1 節 礦內空氣和它的變態的概念.....	9
第 2 節 礦內空氣的主要合成成份.....	12
第 3 節 礦井空氣中的主要毒性混合物.....	27
第 4 節 礦井瓦斯或爆炸瓦斯.....	45
第 5 節 煤層與岩層的含瓦斯性及礦井的瓦斯含量.....	71
第 6 節 在一晝夜內礦井瓦斯放出量的變化及引起這種變化的因素.....	80
第 7 節 井巷空氣內許可的爆炸瓦斯含量與危險的爆炸瓦斯含量.....	84
第 8 節 礦內空氣中爆炸瓦斯含量的檢驗方法.....	85
第 9 節 防止礦井內爆炸瓦斯爆發的主要方策.....	100
第 10 節 防止煤礦內瓦斯與煤的突然噴出的主要方法.....	107
第 11 節 在地面存煤時預防瓦斯爆炸的方法.....	110
第二章 礦塵.....	110
第 1 節 總論.....	110
第 2 節 礦塵是職業性的一種危害物.....	111
第 3 節 礦塵是礦內爆炸的原因.....	131
第 4 節 對於礦塵參與井下爆炸問題的已往看法及現代看法.....	134
第 5 節 煤塵的可燃性與爆炸性.....	135
第 6 節 煤塵的引燃性與爆炸性以及這種性質的測定法與 這些方法的指標.....	138
第 7 節 煤塵爆炸程度所依從的因素以及礦塵對礦井巷道的危險性.....	139
第 8 節 煤塵爆炸的顯著特徵.....	146
第 9 節 天然的礦塵與井巷內的礦塵狀態.....	149
第 10 節 礦塵危險性的實際標準及礦塵爆炸性的實驗測定方法.....	153
第 11 節 在大型平窿，實驗礦井及化學試驗室內試驗煤塵.....	154
第 12 節 關於防止礦井內煤塵爆炸的主要方法的簡述.....	158

第 13 節	有關巷道的岩粉撒佈以及所使用的不燃性岩粉的補充論述	162
第 14 節	在地面的煤磚製造廠、選煤廠與井上房屋內的煤塵的爆炸	166
第三章	地下巷道的氣候條件	166
第 1 節	總論	166
第 2 節	影響礦井巷道內溫度的各項因素	169
第 3 節	空氣溫度對人所起的生理作用以及在井內進行工作時的 熱條件的標準	177
第 4 節	礦井內空氣調節與實施方法	186

第二篇 礦 井 通 風

導言	192
第一章 決定於地下巷道通風過程的空氣的基本性質	192
第 1 節 空氣的物理性質	192
第 2 節 基本法則（定律）	202
第 3 節 利用計算來確定空氣的比重	203
第 4 節 空氣狀態的變化	205
第二章 空氣溫度、濕度、壓力與風速的測量	206
第 1 節 礦井空氣溫度的測量	206
第 2 節 岩石溫度的測量	207
第 3 節 空氣濕度的測量	208
第 4 節 空氣壓力的測量	209
第 5 節 風速的測量	215
第 6 節 在巷道內風量的計算	225
第 7 節 決定風量的特種情況	226
第三章 氣體靜力學	229
第 1 節 深度加大時空氣壓力增加的計算公式的導出	229
第四章 空氣在井巷內流動的基本法則	234
第 1 節 伯諾里公式	234
第 2 節 層流與紊流	242
第 3 節 地下井巷中風流之型式	244
第 4 節 相似定律	245
第五章 礦山井巷的空氣動力的阻力	246
第 1 節 阻力的定律	246

第 2 節	摩擦係數 α 的求算法	259
第 3 節	礦山井巷的摩擦係數	262
第 4 節	阻力之單位	263
第 5 節	整個礦井的阻力	266
第 6 節	空氣比重之變化對於通風阻力值所生之影響	267
第 7 節	等積孔	267
第 8 節	礦井的通過能力	270
第 9 節	礦井與巷道的特性	271
第六章	局部阻力	273
第 1 節	由於局部阻力所引起的空氣壓力的損耗	274
第 2 節	局部阻力係數之值	275
第 3 節	扇風機的風峒	275
第 4 節	風橋	282
第 5 節	洞室的阻力	283
第 6 節	礦車的阻力	285
第 7 節	在設計通風時，如何進行局部阻力之計算	286
第七章	礦山井巷系統總阻力與風量分配	287
第 1 節	概論	287
第 2 節	在已知風量的分配情況或已定出風量的分配情況時如何 求算總阻力	288
第 3 節	串聯	291
第 4 節	並聯	293
第 5 節	巷道的角聯	298
第 6 節	通風巷道的混合式連接	303
第八章	自然通風	307
第 1 節	概論	307
第 2 節	礦內空氣的溫度	310
第 3 節	自然通風負壓的測量	311
第 4 節	用計算法來求出自然通風	314
第 5 節	影響自然通風之值的因素	320
第 6 節	自然通風的特性	323
第 7 節	自然通風對於礦井的與個別巷道的阻力之值及等積孔 之值所生的影響	324
第九章	扇風機	325

第 1 節	扇風機的類型	325
第 2 節	扇風機所發出的壓力與能力；扇風機的工作效率	330
第 3 節	扇風機的特性	332
第 4 節	扇風機的直徑、轉數與空氣比重的變化對於扇風機特性 曲線所生的影響	334
第 5 節	扇風機的橢圓特性曲線	335
第 6 節	礦井扇風機的工作	338
第 7 節	扇風機的裝置	339
第 8 節	影響礦井扇風機工作因素的分析	341
第 9 節	擴散器	343
第十章	利用數個扇風機的通風	345
第 1 節	扇風機的完整的特性曲線	345
第 2 節	扇風機的串聯工作制	347
第 3 節	扇風機在一個井筒上的並聯工作制	349
第 4 節	在不同的井筒內扇風機的並聯工作	352
第 5 節	主要扇風機與裝在某一平行風流內的地下扇風機的 同時串聯工作	357
第 6 節	扇風機與自然通風的同時工作	358
第十一章	風量之調節	360
第 1 節	變更扇風機供入礦井的總風量的方法	360
第 2 節	通過個別通風風流的風量之變更	363
第十二章	漏風	378
第 1 節	概論	378
第 2 節	漏風時的阻力定律與空氣滲透係數	379
第 3 節	通風裝置物的漏風特徵	383
第 4 節	漏風的分類	383
第 5 節	局部漏風	384
第 6 節	連續分佈的漏風	388
第 7 節	使用地下輔助扇風機時的漏風	396
第 8 節	通過風管的漏風	397
第 9 節	有漏風情況時的負壓計算法	401
第 10 節	漏風對於扇風機工作的影響	401
第十三章	準備巷道掘進時的通風（局部通風）	402
第 1 節	概論	402

第 2 節	利用縱向的風幘通風	405
第 3 節	利用平行巷道來通風	406
第 4 節	利用小斜風巷通風	408
第 5 節	利用風管（沒有扇風機）的通風法	409
第 6 節	應用扇風機通風	417
第 7 節	利用噴射器通風	423
第 8 節	水平巷道、上山巷道、下山巷道的通風	428
第 9 節	利用貫通地面的鑽眼通風	432
第 10 節	開鑿井筒與延深井筒時的通風	434
第 11 節	從恢復井筒中抽水時的通風法	436
第 12 節	巷道掘進時的通風計算法	439
第 13 節	在開掘長平窿與長石門時通風的計算法	446
第 14 節	漏風量的計算及風管直徑的選擇	449
第 15 節	風管的阻力；負壓的計算	450
第 16 節	扇風機的選擇	451
第十四章	通風建築物	453
第 1 節	概論	453
第 2 節	通風建築物之敘述	454
第十五章	通風狀態的稽考、負壓的測量	476
第 1 節	概論	478
第 2 節	對於進入礦內的風量與風速的檢查	479
第 3 節	負壓的檢查負壓的測量	482
第 4 節	通風的自動化管理與遠程管理	491
第十六章	礦井的通風服務	492
第 1 節	通風服務的組織	492
第 2 節	礦井通風服務的主要使命	493

第三篇 礦井通風設計

第 1 節	煤礦或金屬礦通風所需風量的計算	503
第 2 節	通風系統與扇風機裝置地點的選擇	519
第 3 節	各採礦區與各工作地點的風量分配	554
第 4 節	礦井總負壓的計算	555
第 5 節	扇風機的選擇	558

第 6 節	最有利的礦井巷道的尺寸.....	560
第 7 節	通風費用的計算.....	561
第 8 節	井下空氣的加熱與冷卻.....	561
附錄 I	在正常大氣壓與完全飽和狀態下，每 1 立方公尺與 每 1 公斤空氣中所含的水蒸汽量	564
附錄 II	根據乾溫度計與濕溫度計的指示數之差來求算 空氣的相對濕度.....	565
附錄 III	礦山巷道的係數 α 之值.....	565
附錄 IV	完全的圓形的自由氣流的紊亂擴散係數.....	576

第二版序言

〔礦內通風學〕第一版於1949年底發行後，於1951年間榮膺斯大林獎金一等獎，原書已早售盡。目前發行的第二版，仍係根據1947—1948年間的原著，但把最近三年來蘇聯科學與技術的新的重要的成就，補入書內，此外又根據第一版發行以來，各種刊物中所散見的書評以及煤礦技術書籍出版社於1951年間召集的會議上各方所發表的意見和希望，加以考慮修訂。

阿·阿·斯闊成斯基

維·貝·闊馬洛夫

第一版序言

採礦工業在斯大林五年計劃期間已經以全部工作的綜合機械化與電氣化爲目標而實施了最廣泛的技術再裝備。

在最近的三個五年計劃期間，有用礦物的採出量已經增加了很多倍。〔我們必須使我國工業能每年生產生鐵達五千萬噸；鋼達六千萬噸，煤炭達五萬萬噸，石油達六千萬噸〕^①。

我們的採礦工業的生產單位的規模，目前已經擴大，礦井的各項生產過程的工作強度已經增加而且還要增加，同時礦井的深度、瓦斯含量、岩石的溫度、煤塵的發生量也都要很快地增加起來。因此礦井的通風與地下巷道的氣溫調節工作就要發生很大的困難，而且礦井通風也就要變成一個非常發達的礦山科學的與技術的部門了。

礦工的生命、健康與勞動生產率在很大的程度上要受礦井（金屬礦與煤礦）的大氣條件，也就是指礦井的通風狀態的影響。可是對於人的關懷以及不斷的要求改善勞動條件，正是共產黨與蘇聯政府政策的顯著的特徵。

所以通風工作在蘇聯的礦井生產過程中，無論在過去與將來都佔着非常重要的地位。

^① 約·維·斯大林：〔在莫斯科城斯大林選區兩次選民大會上的演說〕，蘇聯外國文書籍出版局一九五〇年莫斯科中文版。

未來担任有用礦物產地的地下開採的蘇聯採礦工程師們不但應當懂得金屬礦與煤礦井內的通風技術，而且還應當會進行礦井通風方面的各種工程計算。他們應當徹底地了解礦井瓦斯的性質，對於瓦斯的放出過程、瓦斯的形成、瓦斯在地下井巷中的移動以及熱的交換與煤塵的構成過程，也都要有明確的認識。祇有在這種條件下，採礦工程師才能很好地指導現代礦井的工作，才能够對於斯達哈諾夫式的工作保證適當的大氣條件，在井內隨時變化的大氣條件下，才能够很快地與很正確地掌握情況，因為勞動者的生命、健康與工作效率都是要隨着這些條件為轉移的。

著者在選擇本書的材料以及進行解釋的時候，對於蘇聯採礦工程師的這些要求，已經盡量地照顧到；本書是根據 1948 年新改訂的蘇聯高等礦業學校的通風課程教學大綱來編著的。

在編著本教科書時，著者主要是取材於蘇聯學者與工程師們的工作成果。礦井通風理論的奠基者是我國的天才學者 M. B. 羅莫諾索夫 (Ломоносов)，他在 1745 年向俄羅斯科學院提出：「關於空氣在礦井內的自由運動」的一篇論文，這樣才破天荒地第一次把空氣在礦井內的自然流動的性質與規律加以說明。

特別是在最近的 15—20 年間關於礦井通風的研究，已有輝煌的成就。在蘇聯的礦井通風方面已經進行了廣泛的科學理論的研究工作與試驗工作，這種工作的進展大大地超過了其他國家在這一科學上的發展。

本書共分三篇，均由著者們共同整理：(1) 礦內大氣 (著者，阿·阿·斯闊成斯基)，(2) 礦井通風，(3) 礦井通風設計 (著者，維·貝·闊馬洛夫)。

我們考慮到目前關於礦內瓦斯與煤塵爆炸的防止方法，還沒有專書論述，因此我們就在本書內把礦井使用的預防瓦斯煤塵爆發與處理爆發事件的主要辦法很簡要地加以論述。

阿·阿·斯闊成斯基

維·貝·闊馬洛夫

1948 年 9 月 1 日

第一篇 礦內大氣

第一章 礦內空氣

第1節 礦內空氣和它的變態的概念

1.所謂礦內空氣就是指瀰漫於礦山井巷內的各種瓦斯與水蒸汽的混合物而言。最初它是由地面進入井巷的大氣，但是由於它逗留在井巷以內，它的成份就要發生各種變化。假如這種變化很小，以致礦內空氣的成份完全與正常的大氣毫無不同之處或差不多完全相同時，那麼就叫做新鮮的礦內空氣，在其他的情況下，則叫做污濁的礦內空氣。

正常的大氣是各種氣體的混合物：氮^①、氧、二氧化碳及水蒸汽，其中前三種的比例成份是很固定的： N_2 約為79%， O_2 約為20.96%， CO_2 約為0.04%（按體積計算）；可是空氣中的水蒸汽含量則是不同的（按體積計算，平均約為1%），但對於 $(N_2:O_2)$ ^②的比例並無何種影響。

2.正常的大氣，進入礦山井巷後，其成份就要發生若干變化。

一般來講，這種變化一方面是空氣內氧量的減少，另一方面是二氧化碳量以及與空氣混合的下列各種物體含量的增加：（1）有害氣體——窒息性氣體，有毒氣體，或爆炸性氣體（沼氣，氮，一氧化碳，

① 我們在這裏所講的氮，並不是單指着氮的本身，同時也指着與氮具有同樣不燃性的所謂稀有氣體如：氦、變性氫、氫、氬等等而言，因為在研究礦井通風有關的問題時，沒有必要再把這些氣體與氮分開。

但是應當指出的，就是根據地殼氣體內氮的較重同系體的含量與地殼氣體內所含的氮量的比例就可以判定這些氣體的生成原因。假如這種比例近似大氣的原成分時（1.18—1.20%），那麼就可以證明這些氣體的生成是大氣的成因。

② 有些研究礦內空氣的人員所採用的正常大氣的氣體成份為： N_2 —79.04%， O_2 —20.93%， CO_2 —0.03%（按體積計算）。

硫化氫^①等等)；(2)有害的水蒸汽(汞的蒸汽，砒的蒸汽等)；(3)礦塵與煤煙子。此外，空氣的濕度、溫度、氣壓與比重也都發生着變化(或增或減)。

空氣在礦內的污濁程度主要是取決於下列各因素：(1)開掘井巷時，井巷所通過的有用礦物層與岩層中的瓦斯含量；(2)空氣在井巷網路內的流動速度；(3)井巷的長度；(4)有用礦物與岩石是否易於吸收氧與易於氧化(礦物的其他性質也有關係)；(5)生產過程的種類。

假如其他的條件相同，那麼在下列的情況下，通過礦山井巷的空氣，其污損程度較劇：(1)空氣在礦井內(或在礦井的某些巷道內)的流動速度不大；(2)假如井巷網路的分支很少；而且同一風流需要通過很長的途徑時。

因此污濁的礦內空氣(甚至污濁程度不大的)中所含的 CO_2 與 N_2 的量，是與清潔的大氣中所含的量不同。所以我們可以把礦內空氣看成是由三個部分構成的：

礦內空氣 = 大氣 + 活躍性瓦斯 + 窒息性空氣。所謂活躍性瓦斯就是指在地下巷道內放出的或形成的而且是與礦內空氣混合的各種有毒瓦斯或爆炸性瓦斯，至於窒息性空氣則係指二氧化碳與氮的混合物而言，其在礦內空氣中的含量遠較大氣中的含量為多。窒息性空氣就是在礦山井巷中已經完全喪失了氧的空氣。

窒息性空氣一經混入礦內空氣，它就要減低空氣中的氧量，使人畜的呼吸與燈火的點燃發生困難，發生窒息作用與減低爆炸性瓦斯的爆炸性。

各種礦井內窒息性空氣的成分，其伸縮範圍很大： CO_2 是從5%到15% (有時更多)， N_2 是95%到85%。所謂窒息性空氣指數，

$K = \frac{\text{CO}_2}{\text{N}_2}$ ，其變化範圍也是很大的，但是對於一定的礦井來說(特

① 氫是礦井氣體中的一種稀有的混合物，由於它具有強烈的爆炸性，所以是危險的氣體。在某些煤礦內，它是與沼氣一同放出，有時也發生於電車頭蓄電池的地下充電室內。

別是對於礦井的某一個採掘區來說），指數 K 是一個非常固定不變的；這個指數的增或減，就是表示正常的礦井（或採掘區）瓦斯交換量已經破壞。

窒息性空氣不應看成是一種假設的東西，雖然在通風的井巷中，空氣內所含的窒息性空氣量一般是變化於不足 1% 到 20% 範圍以內，但是在死巷中，窒息性空氣量可能達到 80—90%，甚至更多。

在某些礦井內，曾有過經常地放出 100 % 的窒息性空氣的例子。即如在加利福尼亞的某一個金礦區，從火成岩的含碳素的一個岩層向巷道內放出的窒息性空氣量（其平均成份為 CO_2 —13.9%， N_2 —86.1%）很大，以致該處發生的這種氣體窒息死亡事件竟達 100 件之多。

莫斯科近郊煤田各礦的窒息性空氣的構成大概也很劇烈，因而在那裏發生一種所謂「瓦斯化」的現象，造成礦井工作的困難與工作人員的危險性。

3. 從下述的例子中我們可以看出，如何計算礦內空氣中的窒息性空氣含量以及如何根據着礦內空氣試樣的化驗室分析結果來判定窒息性空氣的成份。

例1. 煤礦井的總出風流，內含：

$$0.650\% \text{ CH}_4 + 0.305\% \text{ CO}_2 + 20.340\% \text{ O}_2 + 78.705\% \text{ N}_2 = 100\%.$$

進入礦井的大氣，其成份為：0.03% CO_2 + 20.93% O_2 + 79.04% $\text{N}_2 = 100\%$ 。氮的當量（Эквивалент）為氧的 20.34 公升（即在純淨的空氣中，與上述的 O_2 相當的 N_2 的體積）是：

$$\text{N}_2 = 79.04 \frac{20.34}{20.93} = 76.81 \text{ 公升}.$$

二氧化碳的當量為氧的 20.34 公升，是：

$$\text{CO}_2 = 0.03 \frac{20.34}{20.93} = 0.0291 \approx 0.03 \text{ 公升}.$$

因此該項出風流的不同成份為：

大氣

CO ₂ —0.03%	}	97.18%
O ₂ —20.34%		
N ₂ —76.81%		
活躍性瓦斯（沼氣）		0.65%
窒息性空氣 N ₂ =78.705—76.81=1.895	}	2.17%
CO ₂ = 0.305— 0.03=0.275		
		100%

窒息性空氣的成份：

$$N_2 = \frac{1.895}{2.17} \times 100 = 87.3\%.$$

$$CO_2 = \frac{0.275}{2.17} \times 100 = 12.7\%.$$

例2. 從密閉風牆所隔斷的採空區內，取出的空氣試樣的分析：

0.72% O₂； 7.47% CH₄； 11.03% CO₂， 80.78% N₂。

這種空氣的不同成份(%)爲：

大 氣	3.44
沼 氣	7.47
窒息性空氣	89.09

100

第2節 礦內空氣的主要合成成份

1. 氧——O₂

氧是一種無色、無味、無臭的氣體。其比重約爲 1.11（與空氣相比）。這種元素是非常活躍的：它很容易與很多種單純的氣體與複雜的氣體結合起來。氧是呼吸與燃燒的必需物。

地下井巷空氣中氧量減少的主要原因：（1）各種有機物體與無機物體（支架木材，岩石，有用礦物）的緩慢氧化過程，礦內爆炸性瓦斯與煤塵的燃燒與爆炸）；（2）除了在上述各過程中所構成的各種瓦斯以外，還有另外一些在井巷中以已成的狀態放出的瓦斯，如沼氣，二氧化碳等也與空氣混合。

次要的原因：人畜的呼吸以及火焰燈的點燃。

呼吸過程的本質就是進入我們肺部的空氣首先送到很小的氣胞的複雜系統內，這種氣胞（即所謂肺的氣胞）的壁膜很薄，而且都是血液所要通過的。空氣中的一部分氧就可以通過這些壁膜滲入血液內，而與血液同時輸送到全身。在血液循環的時候，血液就要喪失氧，而吸收二氧化碳，順着靜脈返回氣胞，同時二氧化碳就要滲入氣胞，當其脫離氣胞時，就要通過肺部及呼吸咽喉而排到大氣中。

在呼吸的過程中，在人體內還要產生一種熱量，計每 1 公升氧在變爲二氧化碳的時候，要產生大約 4.8 千卡的熱量。

人所吸入的空氣中的氧，祇有一部（大約 5 分之 1）進入血液內，而變為二氧化碳。因此，假如所吸的空氣中含有 79.00% N_2 ，20.96% O_2 及 0.04% CO_2 ，則呼出的空氣的成份為（粗略計算的約數）：79.00% N_2 ，17.00% O_2 及 4.00% CO_2 。

人們呼出的二氧化碳量通常要比我們從空氣中所吸取的氧量少一些，在呼出時所構成的每 4 份二氧化碳，約需消耗 5 份氧。

例如，假定吸入的空氣成份為：20.93% O_2 ，79.04% N_2 ，及 0.03% CO_2 ，則呼出的空氣通常為：16.60% O_2 ，79.17% N_2 及 4.23% CO_2 。

氧的量減少了 4.33%，而二氧化碳量則只增加了 4.2%（即略少）。

人所呼出的二氧化碳量與吸入氧量的比例就叫做呼吸係數 RK ，在目前所舉的例中，呼吸係數為： $4.2:4.33=0.965$ 。

RK 通常 = 0.8—0.9。但是假如人在極度興奮的狀態下或者在正在進行吃力的工作時，則 RK 可能要稍大於 1。

礦井的瓦斯交換過程適與上述的這個過程相似。大氣進入礦井後，通過了地下井巷的網路，其所喪失的氧量是大於所吸收的二氧化碳量。換句話說，就是礦井也有它自己的呼吸係數，一般地來講，這個係數是小於 1 的。但是假如礦內，二氧化碳的放出很劇烈，或者煤層吸收氧很利害，那麼這個係數也可能大於 1。

伯立索夫（Борисов）在斯闊成斯基的指導下，在頓巴斯煤田的某些礦井進行了調查工作，其結果證明各該礦井的平均呼吸係數等於 0.5，其變化範圍為 0.3 到 0.8。

根據闊瓦爾斯基（Коварский）在莫斯科近郊煤田各礦所進行的礦內空氣分析資料（1932 年）可以看出，各該煤礦的呼吸係數的變化範圍為 0.10 到 1.6。

人^①賴以維持正常的生命過程的必要氧量的多少，只有一部分是隨個人的體質（體重，年齡，體格）而不同，但主要地還是要取決於

① 人的呼吸並不是單賴肺部進行，而同時也賴皮膚的整個外表來呼吸。可是通過皮膚的氣體交換（毛孔透氣）大約為肺部的呼吸量的 1/100。成年人身體的外皮約為 1.75 平方公尺，可是氣胞外皮的面積約為 200 平方公尺。

第 1 組

觀測的對象——男子，體重為 63 公斤

表 1

狀 態	每分鐘呼吸次數	每次吸氣量 (公升)	每分鐘吸入空氣量 (公升)	每分鐘消耗的氧氣量 (公升)	每分鐘呼出的二氧化碳量 (公升)	呼吸係數 ΔK
(1) 平臥不動	16.8	0.457	7.7	0.237	0.197	0.829
(2) 站立不動	17.1	0.612	10.4	0.328	0.264	0.804
(3) 以每小時 3.2 公里的速度行走	14.7	1.271	18.6	0.780	0.662	0.849
(4) 以每小時 4.8 公里的速度行走	16.2	1.350	24.8	1.065	0.922	0.866
(5) 以每小時 6.4 公里的速度行走	18.2	2.060	37.3	1.595	1.398	0.876
(6) 以每小時 7.2 公里的速度行走	18.5	2.524	46.5	2.005	1.788	0.891
(7) 以每小時 8.0 公里的速度行走	19.5	3.145	60.9	2.542	2.386	0.938

第 1 組

觀測的對象——4 個男子 (A. B. B. Γ.) 體格與體重均不同。試驗的條件：4 個人都進行相同的工作，即先以每小時 8 公里的速度步行 10 分鐘，然後再在高達 4.4 公尺的梯子上，爬上再

爬下，一直到極度的疲乏時為止

表 2

I 試驗的對象	A	B	B	Γ
II 體重 (公斤)	66	89	83	67
III 觀測的結果:				
(1) 每分鐘呼吸次數	28	27	33	27
(2) 每次吸氣量 (公升)	2.67	2.29	2.23	2.51
(3) 每分鐘空氣消耗量 (公升)	75	62	77	68
(4) 所吸空氣中的氧氣 (%)	17.7	16.7	17.0	16.2
(5) 呼出空氣中的二氧化碳量 (%)	3.3	4.1	4.1	5.0
(6) 每分鐘消耗的氧氣 (公升)	2.50	2.66	3.04	3.19
(7) 每分鐘呼出的 CO ₂ 量 (公升)	2.47	2.56	3.15	3.38
(8) 呼吸係數	0.980	0.962	1.037	1.060