



矿井通风学

〔波兰〕维·布德雷克 著

中国工业出版社

〔波兰〕 维·布德雷克 著

矿井通风学

王省身 译

中国工业出版社

本书共分三篇：矿井通风的基础知识；矿内空气的流动；矿内空气的分配。

在这些内容的论述上，本书基本上概括了波兰学者的研究成果。书中的风流运动的基本理论和局部热风压理论均是建立在热力学的基础上的。在通风网路的研究、复杂网路的解算、通风机联合作业的分析等方面，作者都运用了不同于一般通风书籍的方法。书中对矿内空气的分配、通风系统的调节等方面也做了细致的研究。

本书可供矿业院校通风教研室的教师、煤矿系统的通风技术人员和研究人員参考。

Prof. Dr inż. Witold Budryk
WENTYLACJA KOPALNÍ
CZĘŚĆ I PRZEWIETRZANIE WYROBISK
(PAŃSTWOWE WYDAWNICTWA TECHNICZNE, KATOWICE, 1951)

* * *

矿 井 通 风 学

王 省 身 译

*

煤炭工业部书刊编辑室编辑（北京东长安街煤炭工业部大楼）

中国工业出版社出版（北京修麟园路西10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本850×1168毫米·印张10³/8·字数266,000

1964年8月北京第一版·1964年8月北京第一次印刷

印数0,001—2,240·定价(科七)2.40元

*

统一书号：15165·3021(煤炭-175)

譯 者 序

本书是根据波兰采矿学丛书的第十分册——矿井通风学摘譯而成。原作者維·布德雷克教授系波兰科学院院士。他毕生从事采矿学科的研究工作，具有丰富的理論知識和实践經驗，在采矿方面的理論著作甚多。

本书为作者名著之一，它的主要内容大多为波兰采矿工作者和作者个人的研究成果，独具特点。“矿內空气的流动”一篇中的风流运动的基本理論和局部热风压理論，均是建立在热力学的基础上的，这些理論是作者本人首先提出的；通风网路的研究，复杂网路的解算，通风机联合作业的分析等，都用了不同于一般通风书籍的方法。在“矿內空气的分配”一篇中，对通风系統的調节方法研究得相当細致。

波文原书第一次出版于1950年，当时曾把它列为波兰采矿高等院校的教科书，1961年經作者的学生斯·克諾特教授修訂后再版发行。新版本就波兰矿井风量計算标准，通风网路电力模拟計算方法，矿井通风管理及压能示意图的繪制方法等内容作了补充。

本书是根据1951年版摘譯的，事后又根据1961年新版作了补充修改。翻譯时选取了原书的特点突出的部分，也适当地照顾了全书的系統性和完整性，因而采取了整章整节摘譯的方法。原书中矿內空气的取样，瓦斯含量和涌出形式，矿尘，局部通风，一般通风构筑物等内容均未譯出。

初稿譯出后經我組黃元平、錢仲德、过熙泳、俞启香和赵以蕙等同志作了技术审閱，对于提高本书质量有很大的帮助。但是限于譯者的水平，譯文不确切甚至錯誤之处唯恐难免，希讀者給予指正。

北京矿业学院通风安全教研組

王 省 身 1963. 9.

前 言

世界上所有国家的采矿工作者一致认为，矿井通风对于保证正常生产，对于保证矿井安全，都有十分重要的直接作用。随着矿井的开采规模日渐扩大，井下的温度逐渐升高，瓦斯含量的不断增加以及煤的自然特性愈益加剧，合理地解决矿井通风问题，就显得特别重要了。同时，矿井通风对于提高矿工的劳动效率，保证矿工的安全和健康，也是极为重要的。

在人民波兰，我们亲自看到采矿工业的巨大发展，煤矿工业的建设逐渐进入世界先进行列，与此同时也深刻地体会到矿井通风的重要作用。另外采矿法中明确地提出了对矿井通风的要求，这就更加证明我国政府对通风工作的重视。

矿井通风是采矿工程中一个极为复杂的问题，必须用科学的态度来对待它。近几十年来，世界上许多科学工作者都在这方面进行着积极的研究工作。我们也不是落后的，我们为在这一问题的某些方面所获的居于世界首位的重大成就而感到骄傲。

本书的编写，一方面是为了汇集矿井通风的实际问题，同时也是为了综述有关这方面最重要的具有实际价值的科学成果。在本书的编写过程中，我们引用了一些国外的成果，首先是苏联学者在这方面所获得的成果。近二十年来，苏联学者在矿井通风的科学研究方面完成了巨大的工作，到目前为止，远远超越了其他国家的成就。特别值得提出的是苏联著名学者阿·斯闊成斯基及其学生所获得的重大成就。

維·布德雷克(W. Budryk) 1950年9月于克拉科夫

目 录

譯者序

前 言

緒論 1

第一篇 矿井通风的基础知識

第一章 矿內空气的成分 4

第1节 氧气 4

第2节 氮气 6

第3节 二氧化碳 7

第4节 一氧化碳 10

第5节 硫化氢 12

第6节 二氧化硫 13

第7节 氧化氮 13

第8节 矿井瓦斯 14

第9节 矿井瓦斯濃度的測定 21

第二章 矿內空气的湿度 26

第1节 空气的湿度 26

第2节 温度变化对空气湿度的影响 28

第3节 空气湿度及水蒸汽分压力的測量 30

第三章 矿內空气的压力 33

第四章 矿內空气的温度 35

第1节 空气压力的影响 35

第2节 岩石温度的影响 37

第3节 大气温度及通风强度的影响 41

第4节 其他因素的影响 42

第五章 劳动的热条件 43

第1节	卡他計	45
第2节	实效溫度	49
第六章	空气的重率	50
第七章	风流速度	52
第1节	規定的許可风速	52
第2节	风速計	53
第3节	皮托管	58
第4节	普通压差計及精密压差計	62
第5节	风量計及自記风压計	67
第6节	热量风速計	68
第7节	测量风速的其他方法	70
第八章	平均风速的測量及风量計算	71
第1节	风速測量及风量計算方法	71
第2节	测风站	78
第九章	矿井所需风量的計算	79
第1节	根据空气成分变化計算风量	79
第2节	根据炸药消耗量計算风量	81
第3节	根据井下工作人数計算风量	83
第4节	根据产量計算风量	85
第5节	所需风量及主要通风巷道断面計算的实例	86

第二篇 矿內空气的流动

第一章	流体在管路中流动的方程式	91
第1节	不可压缩流体的流动	91
第2节	可压缩流体的流动	93
第二章	机械风压作用下的空气流动規律	95
第1节	通风机风压	95
第2节	用热力图綫研究通风机的靜压	98
第3节	安設通风机的管路中的压降变化情况	101
第4节	通风机的功率	102
第三章	自然因素作用下的空气流动規律	103
第1节	热风压	103

第2节	空气成份变化的影响	109
第3节	自然通风	110
第4节	全矿自然风压的计算	112
第5节	热风压的简化算法	116
第6节	矿内局部自然风压	119
第四章	矿内空气流动时的热交换	121
第五章	流体动力相似定理	126
第六章	风压损失	128
第1节	风压损失的测量	128
第2节	摩擦阻力所引起风压损失的计算方法	134
第3节	摩擦阻力系数	137
第4节	风流内物体的阻力	139
第5节	木支架巷道的阻力系数	143
第6节	阻力系数的实验数据	147
第7节	局部阻力	149
第七章	矿井通风计算单位	157
第1节	阻力单位	157
第2节	表征通风容易度的计量单位	158
第3节	各种计算单位的选择	160
第八章	风路的连接及风阻计算	162
第1节	风路的风阻	162
第2节	风路的串联连接	163
第3节	风路的并联连接	164
第九章	通风网路	166
第1节	通风系统的分类	166
第2节	通风系统图	167
第3节	一台通风机工作的正常连接通风系统的分析	171
第4节	一台通风机工作的简单角联通风系统的分析	177
第5节	一台通风机工作的复杂角联通风系统的分析	187
第6节	两台通风机工作的简单正常连接通风系统的分析	194
第7节	两台通风机工作的, 由二级分支巷道组成的正常连接通风系统的分析	203

第8节	两台通风机工作的简单角联通风系统的分析	207
第9节	多台通风机工作的通风系统的分析	209
第10节	电力模拟在通风网路计算中的应用	212
第11节	漏风的影响	215
第12节	自然风压的影响	217
第十章	通风机	218
第1节	通风机的类型	218
第2节	通风机的特性曲线	226
第3节	空气重率、通风机型号和转速变化的影响	232
第4节	通风机的等效率特性曲线	237
第5节	无因次特性曲线	238
第十一章	在通风网路中只有一台通风机工作时的情况	241
第1节	矿内通风状况的确定	241
第2节	通风机工况的调节	242
第3节	漏风的影响	243
第4节	自然风压的影响	245
第十二章	多台通风机的联合运转	248
第1节	管路特性曲线	248
第2节	串联连接的特性曲线	249
第3节	利用两台通风机串联通风	251
第4节	两台通风机串联连接但作用方向相反时的工作情况	255
第5节	并联连接的特性曲线	258
第6节	正常连接通风系统的特性曲线	259

第三篇 矿内空气的分配

第一章	矿井通风设计的一般原则	265
第1节	井筒位置的选择	266
第2节	压入式或抽出式通风	268
第3节	主扇安设在地面或井下	269
第4节	上行风流或下行风流通风	270
第5节	具有自然特性煤层的通风	271
第6节	降低风阻的方法	272

第二章 通风系統的組成	273
第三章 巷道风阻計算方法	276
第1节 根据巷道基本参量計算风阻法	277
第2节 实测风压法計算风阻	277
第3节 增設附加阻力物計算风阻法	277
第四章 风量計算	281
第五章 通风系統的調节	282
第1节 一般原則	282
第2节 在一个通风机工作的通风系統中利用調节风門調节风量	283
第3节 在两台以上的通风机联合运轉的通风系統中利用調节风門調节风量	288
第4节 安設輔扇的通风系統的調节及混合調节	291
第5节 矿井等积孔及总风阻	294
第六章 通风机的选择	296
第1节 一般原則	296
第2节 举例	297
第七章 风峒、反风装置及井下安設通风机的問題	304
第1节 风峒	304
第2节 反风装置	307
第3节 关于井下安設通风机的問題	309
第八章 矿井通风状况的检查	312
第1节 矿井空气成分, 劳动热条件以及风量的檢查	312
第2节 矿井风压的檢查	314
参考文献	318

緒 論

矿井通风学是采矿科学的一个分支，其内容包括：为創造舒适的工作气象环境而應該采取的各种方法与措施；保証人們的健康、安全和高效率地进行劳动而采取的各种方法与措施。

在矿井里，維持一个舒适的工作环境，不仅要從矿內空气的成份上着眼，使之合乎要求，而且也要使其他的一些因素符合要求，如空气的温度、湿度、压力、流动速度、电离度等。

矿內空气的成份，一方面取決于进入矿井的大气成份，另一方面取決于它在井下流动时所发生的各种变化。

所謂“大气空气”是由下列各种气体混合組成：

氧	20.93%(按所占体积計算)
氮	78.10%
氫, 变性氫, 氦, 氖, 氙等	0.93%
二氧化碳	0.03~0.04%

除此而外，大气空气尚含有少量的水蒸气，尘土的微粒，宇宙尘以及其他局部地区出現的少量气体。

在地球上經常进行着一系列的放出与吸收气体的化学物理反应过程。虽然在這些过程中有些气体互相抵消了，如动物吸收氧(O_2)，放出二氧化碳(CO_2)，而植物則相反。但保持大气成份不变的主要原因还是以下两点：

1. 大气的存在量十分巨大 (5.1×10^{15} 吨)，人兽呼吸所消耗的氧量只占其中很少一部分，每年約为其总量的0.00000002%。

2. 大气有特別大的流动性，各种气体具有一定的扩散性。

正是由于以上种种原因，所以人們不需要为地面上空气成份的变化而担心。但是在一个封閉的有限空間內，人兽的呼吸，各种生产过程以及各种物质的聚积，都可能成为产生有害气体的源

泉。为此，就需要不断地从外部输入新鲜空气，排除污浊的空气，使得有害的气体在这个封闭的空间内维持在允许浓度以下，从而保证在其中长久工作的人们不受危害和引起任何疾病。

根据苏联的规定，在空气中各种有害气体，蒸汽和尘埃的允许含量如表 1 所示。

表 1 各种有害气体、蒸气、微尘在空气中的允许浓度标准(苏联)

有 害 气 体	允许浓度 (克/米 ³)	有 害 气 体	允许浓度 (克/米 ³)
丙酮	0.2	铅及其化合物	0.00001
甲醇	0.03	金属汞	0.00001
乙醇	1.0	二硫化碳	0.01
戊醇	0.1	硫化氢	0.01
氨	0.02	硫化气体①	0.02
苯胺	0.005	松节油	0.3
砷化氢	0.0005	一氧化氮	0.005
苯，甲苯	0.1	氧化锌	0.005
汽油，白节油，矿物油	0.3	一氧化碳	0.02
四氯化碳	0.05	三氯乙烯	0.05
二氯乙烷	0.05	烟草微尘	0.003
甲醛	0.005		

① 在熔化和洗选含硫物质时允许含量为0.04。

在矿井里，通风工作具有重要的意义。因为矿井不仅为不透气的岩层所包围，而且它与地面的连通孔道也极为狭小。同时，在井下发生着一系列可吸收氧和放出有害气体、尘粒的过程。另外由于采矿工程不断延深，岩石温度也就逐渐增高，加以井下巷道内缺乏阳光照射，这对人体的生理机能有一定的不良影响。所有这些都会使井下空气成份和性质不同于地面大气。

为了在井下创造一个正常的大气条件，必须对矿井空气进行不断的“净化”，也就是所谓的“矿井通风”，排除有害气体；加热或冷却矿内空气。除此而外，甚至需要将空气干燥或湿润；利用电气化学设备清洗空气。有时在空气里散布带有香味的物质，使之具有松柏的清香气味。

矿内空气中各种气体的特性如表 2 所示。

表 2 矿井空气中各种气体的特性

气 体 名 称	化学符号	分子量	在标准 状态时 的重率	相对于 空气的 比 重	气体 常数 (R)	气体的比热		$\frac{c_p}{c_v}$
						c_p	c_v	
干空气		(28.95)	1.293	1	29.27	0.24	0.172	1.40
氧	O ₂	32.00	1.429	1.105	26.50	0.218	0.156	1.4
氮	N ₂	28.03	1.251	0.967	30.26	0.249	0.178	1.40
二氧化碳	CO ₂	44.00	1.964	1.518	19.27	0.210	0.165	1.28
一氧化碳	CO	28.00	1.250	0.967	30.29	0.250	0.179	1.398
硫化氢	H ₂ S	34.09	1.523	1.177	24.85	0.245	0.183	1.337
二氧化硫	SO ₂	64.07	2.860	2.212	13.24	0.154	0.123	1.25
氨气	NH ₃	17.03	0.760	0.588	49.79	0.53	0.41	1.29
沼气	CH ₄	16.03	0.715	0.553	52.90	0.590	0.460	1.28
乙烷	C ₂ H ₆	30.05	1.342	1.037	28.21	0.413	0.338	1.22
乙烯	C ₂ H ₄	28.03	1.251	0.968	30.25	0.40	0.32	1.25
乙炔	C ₂ H ₂	26.02	1.162	0.899	32.59	0.37	0.29	1.26
氢	H ₂	2.016	0.090	0.069	420.60	3.405	2.420	1.407
水蒸汽	H ₂ O	18.02	0.804	0.622	47.06	0.500	0.390	1.28

全书共分三篇：

第一篇，矿井通风的基础知识；

第二篇，矿内空气的流动；

第三篇，矿内空气的分配。

第一篇 矿井通风的基础知识

第一章 矿内空气的成分

第1节 氧 气

地面空气中氧的含量按体积计算约为21%，按重量计算约为23%。氧极易与其他元素化合，根据它的反应速度的不同可以分为：

1. 氧化——缓慢的化合。
2. 燃烧——在化合的过程中伴有发光的现象。
3. 爆炸——在化合过程中迅速的燃烧并发出声响。

当氧与其他元素化合时，一般是发生放热反应。放出热量的多少，一方面决定于参与反应的物质，另一方面决定于氧化生成的物质，而与反应速度无关。但是在缓慢氧化过程中，放出的热量由于逐渐被周围的介质所吸收，因此并无显著的热力现象。

一个人所需要的氧量，部分决定于体质和身材，但主要是决定于人的精神状态与劳动强度。矿工在休息的时候需要氧量一般不少于0.25升/分，在工作时则为1~4升/分。在工作班内平均所需氧量为1~1.25升/分。马匹所需氧量为人的6~8倍，但是在采矿规程中所定的量较少，仅为4~5倍。

最利于呼吸的氧气压为159毫米汞柱，相当于大气压力为760毫米汞柱时氧含量为21%时的分压力。由于人体器官具有一定的适应性，所以在氧气分压力相当低时(65~90毫米汞柱)仍能进行正常的呼吸。不过，这必须是空气中的氧气分压力在逐渐降低，而且要求空气中除氧以外的气体由氮气或其他惰性气体所组成不能再掺杂其他有毒有害气体。当空气压力为760毫米汞柱

时，65~90毫米汞柱分压力的氧折合成体积含量，约为9~12%。

矿内空气压力一般是大于地面气压的。因此在氧含量按体积计算較低的情况下，仍然可以保持正常的氧的分压力。

空气中氧含量的降低可能引起人体机能的反应如下：

在17%时，从事紧张的工作会感到心跳和呼吸困难；

在15%时，失去从事重劳动的能力；

在12%时，感到明显的缺氧现象，人的生命开始受到威胁；

在10%时，感到憋气，头疼头晕，对人的生命已有严重的威胁；

在9.5%时，如果没有其他有害的气体参与，在半小时之后可能使人失去知觉；

在7%时，在相当短促的时间内即可能使人失去知觉和死亡。

火焰对于氧含量降低时的反应如下：

空气中的氧含量为19%时，汽油灯焰降低1/3。

为17%时，汽油灯熄灭。

为16%时，电石灯焰变弱并发烟。

12%时，（更严格的說是在11~13%之間）

电石灯熄灭。

从上列数据来看，在汽油灯熄灭的时候，人們还能呼吸并維持生命，所以矿灯的熄灭可以作为危险的預兆。从这一点来看，汽油矿灯比蓄电池矿灯仍有其优越的地方。而电石灯是不能作为測定空气中氧含量的工具的，实际工作中也曾經发现过在窒息死亡的矿工身旁仍有电石灯点燃着。

采矿規程上規定：在井下工作地点，空气中的氧含量不能低于19%（苏联規定不能低于20%）。

在矿井里，空气流动过程中氧含量减少的原因有：

1. 掺入了井下的各种气体；

2. 在各种氧化过程中如人畜的呼吸、火焰灯的点燃、木材的腐烂、煤炭的氧化等吸收了部分的氧，生成了大量二氧化碳（ CO_2 ）。

严重缺氧的空气叫作“浊气”，它含有过量的 $\text{CO}_2 + \text{N}_2$ 的混合气体。

前面已经述及，当空气中氧含量降低时灯焰光度变弱。因此可以利用汽油矿灯作为测定氧含量的工具，氧含量降低 0.1%，

汽油矿灯的灯焰减低 3.5%。

在非瓦斯矿井里，比较准确地测定空气中氧含量的方法是利用海尔达氧气检定管 (Turka Haldane'a) (图 1)。

测定时用很细的蜡烛 (1.5 毫米) 在有刻度的玻璃管中自上而下的移动，由于管内空气受热而产生一股自下而上的气流。空气含氧量愈低，生成的气流愈小。所以蜡烛在管中下移一段较短距离便自行熄灭。根据蜡烛熄灭时所在的位置即可确定空气中的氧含量。海尔达管上的刻度是按空气温度为 18°C 、湿度为 100% 时制成的，其误差仅为 $\pm 0.2\%$ ，

所以在使用过程中，海尔达

管的精确度是受着空气的湿度，温度以及其中 CO_2 ， CH_4 的含量影响的 (当空气的湿度为 100%，温度为 30°C 时，读数即已不准确)。

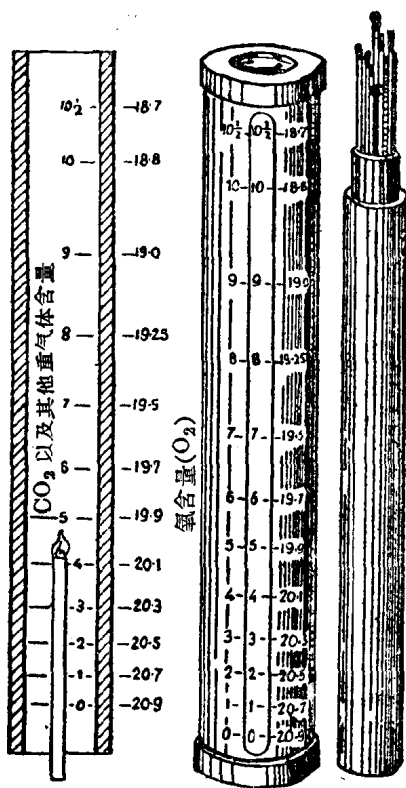


图 1 海尔达(Haldane'a)氧气检定管

第 2 节 氮 气

地面空气中氮气的含量按体积计算约为 79%，按重量计算约

占77%。在燃燒和呼吸的过程中，氮气是一种不参与反应的惰性气体。矿井空气中氮气含量多是由于氧含量减少而形成相对的增加。除此而外，井下有机物的分解和放炮工作（1公斤黑火药产生87升 N_2 ，1公斤硝酸铵炸药生成135升 N_2 ）也能使空气中的氮气含量稍有增加。在鉀盐矿床和其他含炭的矿物岩石中有时也放出少量的氮气。

在烟煤矿井从圍岩裂隙噴出的沼氣中常混有一定量的氮气，有时也会遇到純氮噴出現象。这可能是由于岩石裂縫中的空气在氧化过程中含氧量消耗殆尽，生成的二氧化碳下沉，以致剩下的仅为氮气。从矿床的圍岩中也有长期放出氮气的現象。

在生产矿井里，空气中氮气的含量一般是保持不变的(79%)但有时会略有减少。根据多次的調查研究可以认为矿井空气中的氮气含量在77~80%之間。只有在上山盲巷中，由于长久不通风而可能有多量的氮气聚积。这同样是由于空气中的氧气被消耗而二氧化碳下沉所形成的。

第3节 二 氧 化 碳

地面空气中二氧化碳(CO_2)的正常含量一般是0.03~0.04%，在矿井空气中 CO_2 的含量較多，它是由以下原因形成的：

- 1.人畜呼吸，火焰灯的点燃，放炮，內燃机运轉等。
- 2.木材等有机物质和无机物质的分解，有用矿物如煤的緩慢氧化，和 CO_2 与 CH_4 从岩石裂隙和孔洞中一同放出。
- 3.火灾与瓦斯煤尘爆炸。

只有在第一条中所列举的各种原因所形成的 CO_2 增加量可以进行粗略的計算。如一个工人在井下每小时平均呼出的 CO_2 量約50升。而馬匹为人的6~8倍(采矿安全規程規定4~5倍)。油灯点燃每小时用油15克时生成 CO_2 量約为20升/小时。汽油矿灯(耗油量为6~7克/小时)与电石灯(消耗电石量为10~14克/小时)生成 CO_2 量为10升/小时。含有75%硝石的1公斤的黑火药爆炸时可