

矿井降温指南

〔苏〕 A. H. 舍尔巴尼 等

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书详细介绍了各种矿井和地下工程风温等空气参数的计算与调节方法, 以及矿用制冷机、空气冷却器和水冷却器等矿井降温设备的选择与计算方法, 并列举了各种计算例题和计算必需的参考资料与图表。本书反映了苏联矿井降温的技术现状。它可供从事矿井和地下工程设计、科研和生产管理的工程技术人员参考, 也可作为有关矿业院校的教学参考书。

А. Н. Шербань, О. А. Кремнев

В. Я. Журавленко

РУКОВОДСТВО ПО РЕГУЛИРОВАНИЮ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ШАХТ

МОСКВА «НЕДРА» 1977

*

矿 井 降 温 指 南

黄翰文 译 王佑安 校

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16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 $850 \times 1168^{1/8}$ 印张 12 $^{3/4}$

字数 333 千字 印数 1—2,100

1982年2月第1版 1982年2月第1次印刷

书号15035·2446 定价1.60元

译者的话

本书书名直译是《矿井热状况调节指南》，考虑到书中所讲的矿井热状况调节，基本上就是我国习指的矿井降温，所以本书书名改译为《矿井降温指南》。

本书是苏联矿业文献科技出版社1960年出版的《矿井热计算与矿井降温设备设计参考手册》的第三版，1977年由莫斯科《矿藏》出版社出版。新版比原版，无论是书名、章节和内容都有很大的修改。

本书著者A.H.舍尔巴尼四十年代后期开始从事矿井热状况及其调节的研究，著述很多，是苏联矿井降温方面的主要学派代表。本书综合地反映了著者的基本学术观点。由于书中也注意搜集和评介了其他学者的研究成果，因而也在一定程度上反映了苏联近代的有关研究状况。

矿井降温问题，并不是每个国家都存在的。它与各国采矿工业发展的具体情况有关。苏联是一个比较寒冷的国家，比起南非等热带地区来，矿井降温问题的出现要晚得多，严重性也小得多。但是苏联较早地注意了由于开采深度增大将带来的高温问题，较早地开展了研究，并把研究成果反映到矿井设计之中，这一点是很可取的。

我国在五十年代，矿井降温只是个别矿井的需要，所出现的高温问题并不是深度所致；六十年代个别深矿井工作面风温超过安全规程标准；七十年代高温矿井数目开始增多。据调查，今后将有较多的新矿井会遇到高温的威胁。与此相应，我国也开展了矿井降温的研究工作，但这种研究尚处于初期阶段。在这种情况下，翻译出版本书，系统地借鉴国外经验是有益的，对其理论研究成果，应结合我国的国情加以运用。

译者的话

矿井降温包括防与治两个方面。在防的措施方面，书中论述不多，而在巷道风温计算方面篇幅相当大，甚至不厌其烦。我们倒可以从风温计算的原理和关系式中去分析井下风温的影响因素，从中探索防止风温升高的途径。书中对人工降温方法及设备有较详的论述，可启示我们去合理选择人工降温措施和设备，以避免盲目性。

原书内容的组织是不够严谨的，可能与内容的增补有关。原书的印刷错误较多，译者已适当地作了勘正，书中一般也不再加注。由于本人水平有限，错误在所难免，敬请读者批评指正。

序 言

随着开采深度的增加,由于各种热源(岩石冷却、空气压缩、氧化过程、机械设备做功)的放热作用、扩散过程和其它原因,井下空气的温度、焓和含湿量也不断增高。此外,在氧化过程强烈的浅煤矿和金属矿以及隧道建设中也都存在空气温度很高的情况。在所有这些情况下都有必要进行热状况的调节。

乌克兰科学院技术热物理研究所、马凯耶夫煤矿安全科学研究所、德涅泊尔彼特洛夫斯克矿业学院、哈尔科夫矿业学院、列宁格勒矿业学院、德涅泊尔彼特洛夫斯克工业研究所、顿涅茨煤炭研究所等单位,在矿井热状况调节方面进行了大量的研究工作,并在此基础上提出了矿井热交换理论、热计算方法和空气冷却装置的设计原则。

根据顿涅茨、德涅泊尔、罗斯托夫和南方等煤矿设计院的设计制造了用于700~1000米深的矿井空气冷却装置。实践证明,现有这些装置对于较大深度的矿井其降温效果并不大,所以本书新介绍了在工作面直接冷却空气用的制冷设备和空气冷却器的设计和选择的资料。

本书系统地叙述了各种矿井巷道的热计算方法,以供计算井下的空气参数、选择合理开拓方法、制定预防风流升温的技术措施以及设计矿井热状况调节装置时应用。本书还介绍了一些矿区的矿井气象参数、地温和煤、岩热物理常数的资料,列举了采用空气冷却设备的地下巷道热计算例题,汇编了矿井热计算和制冷机、空气冷却器、水冷却器等设备选择计算所必需的参考资料。

目 录

第一篇 矿井热状况的研究与调节方法

第一章 矿井空气参数选择的依据	1
1.1 矿井空气诸参数的变化对工人劳动生产率的影响	1
1.2 对矿井气候条件的卫生要求	2
1.3 各种巷道的空气参数标准	3
第二章 对矿井热状况调节系统和装置的技术要求	4
2.1 矿井空调的特点	4
2.2 对矿井空气冷却装置的技术要求	5
2.3 矿用制冷机的选择	7
第三章 矿井热状况的观测方法	9
3.1 矿井空气参数的测定	9
3.2 地温资料	11
3.3 岩石热物理常数	13
第四章 某些矿井的热状况	14
4.1 顿巴斯各矿井的热状况	14
4.2 克里沃罗格各金属矿井的热状况	18
4.3 永冻土区矿井的热状况	19
第五章 不用空气冷却设备的矿井降温方法	20
5.1 改善通风	20
5.2 减少各种热源放热	22
5.3 选择合理的开拓方式	24

第二篇 矿井空气冷却系统和冷却设备的选择

第六章 矿井空气冷却系统	27
6.1 概述	27
6.2 空气冷却设备布置在地面的冷却系统	27
6.3 在地面布置制冷机、在深水平冷却空气的冷却系统	28
6.4 在深水平布置制冷机、在地面排除冷凝热的冷却系统	29
6.5 在深水平排除冷凝热的冷却系统	30
6.6 联合式空气冷却系统	31
6.7 超深度长壁回采工作面空气冷却系统	32

6.8	独头巷道通风	33
6.9	地下工程通风	35
第七章	矿用制冷机	36
7.1	氟利昂和氨蒸汽压缩制冷机	36
7.2	空气制冷机	49
7.3	吸收式制冷机	52
7.4	制冷机的自动化设施	58
第八章	矿用空气冷却器	63
8.1	国外空气冷却器技术特征	63
8.2	对矿用空气冷却器的基本要求	64
8.3	接触式空气冷却器	64
8.4	表面式空气冷却器	65
第九章	工作面空气冷却器	70
9.1	国外工作面空气冷却器技术特征	70
9.2	对长壁工作面空气冷却器的要求	72
9.3	工作面空气冷却器风机	72
9.4	工作面空气冷却器结构	74
9.5	工作面空气冷却器的安设	79
第十章	矿用水冷却器	80
10.1	矿用制冷机的排热方法	80
10.2	利用矿井水冷却井下制冷机	82
10.3	利用回风流排热——蒸发式水冷却器	83
10.4	利用地表层排热	88
10.5	矿用高压液体换热器	90
10.6	喷水池和凉水塔	94
第十一章	矿井空气冷却装置	97
11.1	国外空气冷却装置的技术特征	97
11.2	制冷机布置在地面的空气冷却装置	97
11.3	井下空气冷却装置	100
11.4	移动式空气冷却装置	103

第三篇 矿井巷道和空气冷却装置热计算

第十二章	热计算方法总论	105
------	---------	-----

12.1	热计算方法评介	105
12.2	矿井空气参数基本数据的确定	109
12.3	岩石原始温度和热物理参数的确定	111
12.4	深矿井巷道热计算的步骤	115
12.5	矿井空气冷却装置的热计算步骤	117
第十三章 给热系数与不稳定换热、换湿系数		118
13.1	给热系数	118
13.2	不稳定换热系数	123
13.3	不稳定换热、换湿系数	132
13.4	对不稳定换热系数的修正	141
第十四章 矿井热源		144
14.1	围岩冷却放热	144
14.2	氧化放热	145
14.3	局部热源放热	146
14.4	运输机工作放热	147
14.5	矿车运输时矿物放热	149
14.6	运输机运输时矿物放热	152
第十五章 矿井巷道热计算		155
15.1	井筒热计算	156
15.2	水平与倾斜巷道热计算	164
15.3	水采矿井热计算	177
15.4	热水矿井热计算	182
15.5	不需人工降温的矿床临界开采深度的确定	187
第十六章 工作面热计算		190
16.1	缓倾斜煤层工作面热计算	190
16.2	急倾斜煤层工作面热计算	195
16.3	按围岩的热湿性质确定工作面风温	197
16.4	当均匀供给冷风时工作面风流参数的确定	199
16.5	工作面风流的分段冷却	203
16.6	当工作面有冷水管道的风温确定	206
第十七章 独头巷道热计算		208
17.1	独头巷道自由空间内和局扇风筒内风温的确定	208
17.2	独头巷道各种通风方式时的风温计算	214

17.3 独头巷道热平衡计算	218
第十八章 高温地下工程施工和使用阶段的热计算	225
18.1 单台局扇通风时的热计算	225
18.2 多台局扇通风时的热计算	233
第十九章 地下工程热过程模拟	237
19.1 巷壁与风流间给热过程的模拟	237
19.2 围岩冷却或加热时不稳定换热过程的模拟	237
19.3 岩体无限性的热模拟	238
19.4 进风井筒中风流同时被加湿时压缩过程的模拟	240
19.5 井下风流参数变化过程的模拟	241
19.6 长壁工作面风流参数变化时换热-换湿过程的模拟	243
第二十章 空气冷却器和水冷却器的热计算	245
20.1 概述	245
20.2 喷雾式空气冷却器热计算	245
20.3 表面式空气冷却器热计算	253
20.4 喷雾式和栅板式水冷却器热计算	263
第二十一章 矿用制冷机设备计算	268
21.1 制冷机产冷量的计算	268
21.2 制冷压缩机的选择	271
21.3 蒸发器的热计算	273
21.4 冷凝器的热计算	276
21.5 吸收式制冷机的选择	277
21.6 分级再生吸收式制冷装置的计算	282
21.7 隔热计算	284
21.8 设备和管道的水力计算	285
第四篇 热计算例题	
第二十二章 缓倾斜煤层矿井热计算例题	300
22.1 井下不同地点风温的确定	300
22.2 空气冷却器的位置确定与计算	308
22.3 制冷机产冷量的确定	311
22.4 制冷机设备和水冷却器计算	312
第二十三章 急倾斜煤层矿井热计算例题	315

23.1 井下不同地点风温的确定	315
23.2 空气冷却器计算	319
第二十四章 工作面热计算例题	321
24.1 根据围岩热湿性质确定工作面末端风温	321
24.2 沿工作面均匀供给冷风时工作面空气参数的确定	322
24.3 沿工作面安装冷却水管时工作面空气参数的确定	323
24.4 沿工作面分段冷却风流时分段长度的确定	324
24.5 沿工作面分段冷却风流时运输平巷和工作面的热 计算	325
第二十五章 深矿井人工降温经济效果的计算	329
25.1 采用固定式制冷机的经济效果	329
25.2 采煤工作面采用移动式空调机的经济效果	330
25.3 掘进工作面采用移动式空调机的经济效果	331
25.4 工作面采用空气冷却器的经济效果	332
附录	334
I. 地温增率	334
II. 岩石热物理性质	334
III. 隔热材料的基本性质	338
IV. 顿巴斯各矿区单位氧化放热量	339
V. 制冷剂性质	340
VI. 载冷剂性质	343
VII. 制冷机设备特征	350
VIII. 水的性质(不同相中)和干空气物理参数 (当 $p=1$ 公斤力/厘米 ² 时)	362
IX. 指数函数	365
X. 式(15.1)~(15.6)、(15.17)、(15.18)、(15.30)、 (15.31)中有关量计算值	370
XI. 式(15.55)、(15.56)中有关量计算值	378
XII. 曲线图和诺谟图	380
名词索引	391
参考文献	393

矿井热状况的研究与调节方法

第一章 矿井空气参数选择的依据

1.1 矿井空气诸参数的变化对工人劳动生产率的影响

无论在进行体力劳动或在静止时，人体都要放出热量。人体放热有对流、辐射和蒸发三种方式。人体放热量的大小取决于周围空气的参数、岩石的温度和工人工作的特点。如果空气的温度等于体表的温度，那么放热将全靠水分蒸发来实现。人体具有根据空气参数的变化调节其自身蒸发量的能力，使体温经常保持着平衡。当空气温度较高时，空气对人体的冷却作用随空气湿度的增高而减弱；当空气温度较低时，由于导热性的影响较大，其冷却作用却随空气湿度的增高而加强。无论是对流放热还是蒸发放热，放热量都随风速的增高而增加，在体表或衣服潮湿时更甚。

人体与空气及周围环境之间的辐射换热是按照它们绝对温度四次方差定律进行的。在正常条件下，体表(衣服及裸露的皮肤)的平均温度取为 $27\sim 28^{\circ}\text{C}$ ，衣服的黑体系数实际上等于0.9。

深矿井中，高温高湿的空气加上高温的环境形成了对人体热调节极为不利的条件，从而有可能引起人体的过热甚至热击。最坏的微气候常见于工作面。这里的空气温度主要取决于岩石的温度、入风的速度、温度和湿度以及空气的压缩程度。

矿井气象参数对矿工的健康和生产效率有很大的影响。根据B.H.安德留申科[3]、A.Л.列舍丘克[50、68]以及其他作者[61]的资料，空气的温度超过标准 1°C ，工人的劳动生产率便降低6~8%。因此，矿井气候条件的标准化乃是矿业卫生最急迫的研究课题之一。

1.2 对矿井气候条件的卫生要求

列宁格勒劳动保护研究所和顿涅茨劳动卫生和职业病科学研究所，在顿巴斯各深矿井进行了关于建立矿井气候标准的卫生方面的研究，研究了采煤条件、气候条件和矿工们在劳动过程中的生理变化。基于顿涅茨劳动卫生和职业病科学研究所的研究，提出了综合评价深煤矿井微气候的方法〔68〕。它反映了现行微气候标准的合理性，并反映了在不同湿度、风速和人体与环境辐射换热条件下，空气温度升高所引起的人体生理效应变化。

该方法对于深矿井采掘工作面上耐热和不耐热矿工的劳动作出了比较评价。

矿工的脉频、能量消耗、休息系数（以工作时间份数表示的休息时间）均随着空气温度的增高呈线性地增加，而劳动生产率则非线性地迅速下降。对于不耐热的工人，效果最好的温度比耐热的工人低4~6℃。每当生产能力降低（由于矿工长期劳累过度）和工时利用率降低（由于组织和技术原因）时，也发现那些表征人体工作负担的指标（脉频、呼吸、能量消耗）表面上比较低，这是由于长时间休息和工作速度大大放慢的结果，也是疲惫的身体对过重的劳动负担的保护性反应。可见，矿工在高温条件下劳动，不但极其劳累，而且也得不到所预期的效果。

上部水平的工人初次到高温条件下工作，深水平工人刚度过法定假日返回工作岗位的最初几天，都能发现类似热击的劳累过度现象。

人体对高温环境的初次适应过程，在温度接近27~30℃的情况下大约要延续一个月，对于度假返回的工人，其重新适应过程比第一次时间减少一半，而对于短期生病复工的工人，其重新适应的时间大致等于病前适应过程的时间。在初次适应过程和重新适应过程中，如果都减轻加于身体的工作负担，那么工人的劳动生产率均将非线性地提高。但经过适应过程以后，与正常热条件相比，其劳动生产率也有所降低，人体感到的劳动负担也较重。

1.3 各种巷道的空气参数标准

根据煤与油母页岩矿井安全规程规定，采掘工作面和井下其它生产巷道中的空气温度，当相对湿度小于90%时不应超过26℃；当相对湿度大于90%时不应超过25℃〔47〕。显然，在深部开采时，现行的工作面气候标准还有必要进行修改。

在列宁格勒劳动保护研究所和顿涅茨劳动卫生和职业病科学研究所研究的基础上，已经提出了矿井空气冷却装置设计暂行气候标准的建议。利用这个标准组织人工降温，可以使深矿井的气候条件标准化。该建议载明，在深度超过600~700米的采掘工作面，当相对湿度为85~98%、风速不小于3米/秒时，温度不超过28℃；风速不小于2.5米/秒时，温度不超过27℃；风速不小于2米/秒时，温度不超过26℃。

根据安全规程，在工人经常工作的生产巷道中，风温、风速应该符合表1.1规定的标准。

表 1.1 采掘巷道空气参数标准

最小风速 (米/秒)	对应于不同相对湿度的允许风温 (℃)		
	60~75%	76~90%	>90%
0.25	24	23	22
0.5	25	24	23
1.0	26	25	24
2.0	26	26	25

当开采深度很大的矿床时，井下工作地点的温度有时会超过允许的标准，从而需要冷却入风。这时为了预防工人过冷和伤风，也需要建立温度的卫生下限。

在人工降温过程中，工作面入风的温度，当风速为2~4米/秒时，不应低于22℃；风速为1.5~2.5米/秒时，不应低于21℃；风速为1~2米/秒时，不应低于20℃。人工降温地点的温度降幅不应超过以下允许的标准：人员升降井筒中的标准见表

1.2，一般巷道中的标准见表1.3。沿工作面全长的温度降幅应在5℃左右，平均风速应保证当达到温度上限时使直接从事采煤的工人感到满意。

表 1.2 井筒中的允许风温降幅

空 气 温 度 (℃)		温 度 降 幅 (℃)
井 口	井 底 最 小 值	
32	9	23
30	8	22
28	7	21
26	6	20
24	5	19
22	4	18
20	3	17
18	2	16

表 1.3 井下巷道中的允许风温降幅

冷却前的 温度(℃)	不同风速 (米/秒) 下的允许风温降幅 (℃)							
	2.0	1.75	1.5	1.15	1.0	0.75	0.5	0.25
32	20	18	16	14	12	10	8	6
30	19	17	15	13	11	9	7	5
28	18	16	14	12	10	8	6	4
26	17	15	13	11	9	7	5	3
24	16	14	12	10	8	6	4	2
22	15	13	11	9	7	5	3	1
20	14	12	10	8	6	4	2	0

第二章 对矿井热状况调节系统和装置的技术要求

2.1 矿井空调的特点

随着采矿工作的延深，由于热源放热量的增加、巷道风流运

动和温度分布特点的变化、巷道长度的增加和新水平的开拓等，使矿井热状况的调节大大复杂化。

在地面厂房和民房中，可以通过采用多种措施（如覆盖绝热物、安装排风道、装设遮热板等）来减小放热和放湿强度；而在矿井中，主要的和大多数的局部热源的放热强度却很难减少。目前虽然已经有了预防井下氧化放热、放湿的措施，但效果一直不大。同时要防止围岩放热，以及风流在垂直和倾斜巷道中下行时的压缩升温也是很困难的。

井下的风流运动只朝一个方向，其风速比地面厂房中要高得多，而且从井口到工作面沿途都在加热。在从井口到回采工作面长达2000~3000米的距离上，风温一直升高并可能超过允许限度。

某些工厂车间的工作地点温度可能特别高，通常都可采取空气淋浴或遮热措施；而在井下，由于工作面经常移动，采取这些措施则相当复杂。

在矿井条件下，随着巷道长度的增加和向深部开采的过渡，空气调节所需要的冷量不断增加，因而空气冷却装置的功率也越来越大。关于防止空气升温而获得正常空气参数的方法，如加大风量、减少巷道散热面积、由回风水平向工作面供风、减缓氧化过程和防止空气湿度增加等将在第五章专门叙述。

2.2 对矿井空气冷却装置的技术要求

空气冷却装置由制冷机和辅助设备组成。它通过制冷机消耗能量制造冷量来被人们利用。按消耗能量的方式，制冷机可分为压缩式、热效式和热电式。按工质的性质和状态，压缩机又可分为蒸汽的和气体的两种。

对空气冷却装置有下列要求：

它应保证进行人工降温的巷道，在有工人的整个期间内保持所要求的气温。冷却装置的设计产冷量，决定于进行冷却的工作面在整个生产期间的最大的需冷量，并考虑冷损和必要的备用。

每套冷却装置的制冷机台数应不少于两台。产冷量的备用率按制冷机的台数根据表2.1确定。

表 2.1 冷却装置的必要备用产冷量

冷却装置中 制冷机台数	产冷量备用率 (%)	停止一台机器时 的最大产冷率(%)
2	50	75
3	30	86
4	20	90
5	15	92

每套冷却装置都应预先考虑有自动控制装置、操作装置和检测仪表，制冷站应安装有带呼救信号的电话。只有持评定委员会证明，并且按安全规程要求受过训练的人员才许操作冷却装置。在矿井灾变时，冷却装置的工作状况应根据灾变消除计划来确定。

当制冷机布置在地面时，对冷却装置的一般要求是：

- 1) 制冷站离吸风口不应小于100米；
- 2) 在制冷机蒸发器中，沸腾的制冷剂与送到井下的或与风流接触的载冷剂之间应有中间载冷剂——水或盐水；
- 3) 氨制冷机只许在原有氨制冷机需要扩大制冷能力的特殊情况时应用；
- 4) 在氨制冷装置中，必须对载冷剂和冷却水中氨的含量实行连续检测，一旦在上述介质中发现氨时，便给出信号，并自动停机；
- 5) 氨制冷站的厂房应预先考虑安装自动化的安全装置。当空气中氨蒸汽浓度超过卫生标准时，安全装置便发出声、光信号，当达到最大允许浓度时，便自动使整个制冷站的电气设备断电（救灾风机和照明除外）。

当制冷机布置在深水平时，对冷却装置还有以下补充要求：

- 1) 井下制冷压缩机和水泵的电动机必须符合防爆规程的要

求;

2) 制冷剂的成分必须保证与空气、甲烷、煤尘不会构成有爆炸或火灾危险的混合物;

3) 制冷设备应尽量简单、高度可靠;

4) 冷凝器排水管必须布置在回风巷道中;

5) 载冷剂应采用盐水、澄清过的矿井水或饮用水;

6) 排除冷凝热应采用澄清过的、软化的矿井水;

7) 当矿井水量不足时,必须采用经水冷却器冷却过的循环水。同时可以用消防系统中的水来补充循环水;

8) 供电应按安全规程的要求进行。

制冷机硐室应进行独立通风。

制冷机应紧凑地安装在硐室中,所有设备有共用的基础,并应安有监测甲烷的仪表。

设计和安装矿井空气冷却设备时,必须考虑巷道变形的可能性。井下装置各个部分间的连接管道应当是柔性的,必要时应留有一定的补偿尺寸,以防止因巷道变形而破坏其接头的严密性。在井下巷道岩石不稳定的情况下,制冷机应布置在地面井口附近,把载冷剂(水或盐水)送到布置在工作面附近的空气冷却器。

2.3 矿用制冷机的选择

制冷机类型应根据所采用的人工冷却系统来选择,同时对每种具体的温度条件和需冷量进行具体分析。

对于布置在地面的制冷机,可以利用工业上生产的各种产品,其工作温度根据矿井条件确定。鉴于空气深冷的必要性,地面设备的蒸发温度比布置在井下的设备要低一些,可取为 $- (5 \sim 15) ^\circ\text{C}$,冷凝温度视所在地点的温度条件而定,变化在 $30 \sim 40 ^\circ\text{C}$ 。

对于地面条件最适用的是蒸汽压缩制冷机,主要是氟利昂压缩制冷机,氨压缩制冷机较罕见。真空蒸发式和蒸汽喷射式装置不适于这样低的蒸发温度。以空气为工质的装置和吸收式装置因