

# 矿山地热概论

煤炭工业出版社

## 内 容 提 要

本书主要包括：地热基础理论；地热测量方法及原理；地质勘探中地热工作方法；矿井热交换计算及降温技术等四个部分。总结了近几年我国煤炭、冶金系统矿山地热工作的经验，介绍了国外地热工作的新成果，可供从事矿山地质勘探工作、矿山安全工作的工程技术人员及有关专业的院校师生参考。

## 矿 山 地 热 概 论

中国科学院地质研究所地热室编著

\*

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787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张 14<sup>1</sup>/<sub>2</sub>

字数341千字 印数1—2,000

1981年1月第1版 1981年1月第1次印刷

书号15035·2343 定价1.80元

## 序 言

随着采掘工业的发展，矿井开采深度不断增大，地温逐渐增高，矿井热害问题将愈益受到重视。因此，煤炭部决定在今后煤田勘探中要普遍开展地温观测并将此任务纳入勘探规范。为了推动此项工作的开展，煤炭部地质局制订了《煤炭资源地质勘探地温测量若干规定》（试行），并组织编写了本书。

本书共十五章，主要内容包括四个部分：（一）地热基础理论；（二）地热测量方法及原理；（三）煤田勘探中地热工作方法；（四）矿井热交换计算及降温技术等有关的问题。

近十几年来，在地学领域内，关于地球内部结构及内部热状况问题积累了较丰富的资料，有了不少新认识，为地热学增加了新的内容，充实了基础理论。这些也是从事包括矿山地热在内的实际地热工作不可少的理论基础。本书以四章的篇幅（第二章至第五章）介绍地热基础理论。

地热测量是进行地热研究的最直接最基本的手段。国际上六十年代以来，由于地热测量方法的改进，大大有利于地热资料的积累。为使读者能系统了解地热工作的方法，本书第六章至第九章详细介绍这方面的内容，包括测温仪器，钻孔测温原理，矿井内原始岩温测定方法，岩石热导率测试方法及原理以及大地热流值的计算方法等。

第十章至第十二章为煤田勘探中地温工作方法，阐述煤田勘探中地热工作的任务，地温测量布置的原则和资料整理的方法并以几个典型煤田为例，进行地温状况的综合评述。需要指出的是，涉及煤田地温测量方法时，有些提法与《规定》不完全一致，例如关于“准稳态”测温和“稳态”测温问题，书中提出的稳定时间比较严格，而《规定》中的要求放宽了，请读者注意这一区别。

本书在编写中，也考虑到使地质和降温设计专业人员在煤田地温观测和矿井降温问题上有个共同语言。在当前缺少可供两个专业共同遵循的某些规定和规范的情况下，降温设计对地温工作的某些要求，可能需要通过双方协商来安排。本书十三、十四两章有关矿井热交换计算和降温技术的内容就是基于上述考虑安排的。其目的在于使地质工作者对这两方面的知识有个基本的了解。

虽然地热是矿井热害的主要热源，但在一定条件下，矿井地热又是可以利用的，这是矿山地热工作中应予注意的问题，本书最后一章简要介绍了矿井地热利用的途径。

本书编写是以近几年我国矿山地热工作的实践为基础，参考了国外地热工作的经验和新成果，引用了我国煤炭、冶金系统若干矿山地质勘探和地温测量的实际资料。

参加本书编写工作的有中国科学院地质研究所汪集暘、陈墨香、邓孝、熊亮萍、樊志成、杨淑贞、陆秀文、沈显杰、王钧同志，平顶山矿务局地质测量处余恒昌同志和辽宁煤炭研究所陈碧婉同志；中国科学院地质研究所汪缉安、黄歌山、张文仁、陆书玉、邵海辉同志参加了资料搜集工作。全书由邓孝、余恒昌二同志主编。煤炭工业部邯邢煤田地质勘探指挥部119队阎莉莉同志担负了全部图件的清绘工作。

本书在编写过程中，得到了数学地质组张菊明同志、煤炭科学院抚顺研究所常业钧、黄翰文、杨德源同志和长沙有色冶金设计院潘键同志的帮助，得到了煤炭部地质局刘崇礼和叶贵钧同志的大力支持和协助，于此，向这些同志致以衷心的感谢。

由于编者从事煤田地温工作时间不长，实践尚少，水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，希望得到读者指正。

# 目 录

序言 .....	邓 孝	
<b>第一章 绪论</b> .....	余恒昌	1
第一节 矿山热害 .....		2
第二节 矿井空气增温的热源 .....		3
第三节 热矿山的劳动环境 .....		8
第四节 地热工作的重要性 .....		10
<b>第二章 概说地球</b> .....	汪集暘	12
第一节 地球的生成 .....		12
第二节 地球的内部结构 .....		14
第三节 地球的物质组成 .....		16
<b>第三章 热传递的基本概念</b> .....	陈墨香	23
第一节 温度、温度场和热 .....		23
第二节 热传导 .....		24
第三节 热对流 .....		26
第四节 热辐射 .....		29
<b>第四章 地球的内热</b> .....	汪集暘	31
第一节 地表热场分布 .....		31
第二节 地球内部热状态 .....		38
<b>第五章 地壳的热状况</b> .....	陈墨香	46
第一节 地壳最上层的温度 .....		46
第二节 地壳的热性质 .....		50
第三节 影响区域地温场的各种因素 .....		55
<b>第六章 钻孔测温仪器</b> .....	熊亮萍	67
第一节 钻孔测温仪器的类型与特点 .....		67
第二节 几种常用钻孔测温仪的简单介绍 .....		69
第三节 保证测温精度的几个主要问题 .....		80
第四节 室内标定和检查导线绝缘程度 .....		86
<b>第七章 地温测量</b> .....	邓孝、樊志成	88
第一节 钻孔温度测量 .....		88
第二节 矿井内岩石温度的测定 .....		103
<b>第八章 岩石热物理性质的测定</b> .....	陆秀文、杨淑贞、沈显杰、熊亮萍、陈碧婉	109
第一节 岩石热导率的测定 .....		109
第二节 岩石比热及密度的测定 .....		121
<b>第九章 热流值的计算</b> .....	陈墨香	124
第一节 原理和方法 .....		124

第二节	计算实例·····	126
<b>第十章</b>	<b>煤田地质勘探中的地热工作</b> ·····邓孝、余恒昌	132
第一节	煤田勘探中地热工作的任务·····	132
第二节	测温钻孔的布置·····	133
第三节	岩石热物理性质测定的采样·····	135
第四节	钻孔测温应注意的问题·····	136
第五节	测温资料的整理·····	141
<b>第十一章</b>	<b>矿区地温类型及地温状况评述</b> ·····邓孝	146
第一节	矿区地温类型·····	146
第二节	矿区地温状况评述·····	148
<b>第十二章</b>	<b>矿区地温预测方法</b> ·····邓孝、余恒昌	172
第一节	矿区地温预测方法·····	172
第二节	预测实例·····	175
<b>第十三章</b>	<b>矿井风流与围岩的热交换计算概述</b> ·····陈碧婉	180
第一节	计算方法简评·····	180
第二节	风流与围岩的热交换计算·····	180
<b>第十四章</b>	<b>矿井降温技术简介</b> ·····余恒昌	191
第一节	概述·····	191
第二节	矿井降温技术·····	193
<b>第十五章</b>	<b>矿井地热的利用</b> ·····邓孝、王钧	204
第一节	利用地热预热矿井进风·····	204
第二节	矿井热水的综合利用·····	209
<b>附录</b>	·····	212
1.	本书中常见的符号·····	212
2.	热物理参数单位换算表·····	213
3.	岩石热物理性质·····	214
4.	水和干空气的热参数·····	217
5.	概率函数表·····	218
6.	煤炭资源地质勘探地温测量若干规定(试行)·····	219

参考文献

# 第一章 绪 论

人们从温泉、冒汽地面、火山喷发等许多地热显示以及深矿井高温等现象中，早已知道地球是个热体并预测地球内部存在着大量热能。地热问题从来都是地学界所关注的并广泛引起人们兴趣的问题。

描述深矿井中的高温现象，在文献中可追溯到十六世纪。一七四〇年，在法国对金属矿的地温进行了观测，可能是最早的地温观测。十八世纪末，英国开始系统地进行井下巷道温度观测。矿井测温揭示，随着深度增加地温逐渐升高。钻孔测温始于十九世纪后半叶，在一八八二至一九〇〇间，欧洲有两个深孔测了地温，一个孔深1959米，孔底温度为 $69.25^{\circ}\text{C}$ ；另一孔深2221米，孔底温度为 $83.4^{\circ}\text{C}$ 。两个孔的增温梯度都是 $3.12^{\circ}\text{C}/100$ 米。后来还从别的钻孔中测到增温梯度为 $3.0^{\circ}\text{C}/100$ 米。所以在一个相当长的时期内，都认为地壳岩石圈的增温梯度大体如此。此后，在许多地方，在不同的地质条件下，由不同热物理性质的岩石组成的剖面中都有了测温数据之后，这一概念才被修正。

地热资源的探寻和地热能的开发利用，对地热学的发展起了巨大的推动作用。一九〇四年，意大利在罗马西北的拉德瑞罗地区建成了世界第一个利用地下蒸汽的地热发电站。第二次世界大战后，许多国家地热田勘探和地热电站的兴建如雨后春笋，现已建成地热电站的主要国家有：美国、日本、意大利、冰岛、新西兰、墨西哥、中国和苏联等，总装机容量已超过100万千瓦，有几十个地热田进行了详细的勘探和试验研究。所有这些工作，使人们对于全球地热带分布和地热田的形成机制有了新的认识。

大地热流概念的建立及其测试工作的开展，在地热学的发展中具有重大的意义。一九三九年，布拉德（Bullard）和本菲特（Benfield）分别在南非和英国取得了首批热流数据。一九五二年开始了海洋热流测试。截至一九七五年底，全球共有热流数据5417个，其中陆地占30%略强，海洋占70%。大地热流的观测，为阐明全球地表热场和地壳深部热结构提供了重要论据，扩大了地热学的视野，并成为板块学说的有力支柱之一。

矿山始终是地热研究的重要阵地。世界各地许多深矿井，包括金属矿、煤矿和其他非金属矿山，都进行过或正在进行地热工作。世界上最深的矿井已超过3000米。矿山地热工作与大地热流和地热田的勘探开采相比，其特点在于地热研究有可能，也有必要做得更为深入细致，因为矿井热力学计算和矿井降温设计要求进行详细的地温测量与详细的地质条件研究相结合，从而使我们能够对地温场的特点与各种致热因素的内在联系有清晰的了解。

我国地热资源非常丰富而地热条件又十分复杂，系统的地热工作开始于新中国建立之后。从五十年代开始，油田勘探中规定有终孔测温的内容，一些油田已经积累了一些可贵的地温资料。在煤田勘探中，一些大型矿区在六十年代开始注意地温观测，已见到该时期有测温资料的煤田有：开平煤田、林南仓井田、元氏、邢台东庞勘探区、兖州东滩井田、淮南潘集井田、平顶山九宫山勘探区等，但这些测温工作均不甚系统。

从七十年代开始，在著名的地质学家李四光教授大力倡导下，掀起了一个大规模的地热普查和地下热水利用的高潮。北京、天津等大城市为供暖、工业用热而寻找和勘探地热

资源并取得成效；在广东省丰顺县和河北怀来县等地已先后建立了六个试验性地热电站；目前在西藏羊八井地区正在进行大功率地热电站的资源勘探工作，全国各地还开展了温泉的调查统计和研究工作，于此期间各地也先后建立了一些地热研究的专门机构。

近几年来，一些煤矿、金属和非金属矿山出现了井下热害问题。不少矿区和地质勘探队相继开展了地温观测工作。煤炭部系统矿井热害的发展趋势较为突出，引起了部领导机关更多的注意，有力地支持了地热工作的开展，从一九七五年至一九七八年分别召开过五次地温和降温工作技术座谈会，在普及地热知识，交流测温及降温技术，制订研究计划等方面起了促进作用。几年中较系统地进行地温测量的单位有：开滦唐山矿，钱家营勘探区，峰峰梧桐东井田，河南平顶山煤矿，新郑矿区，山东兖州东滩井田，黄县煤田，陕西韩城煤矿西高渠井田等，初步积累了经验。

纵观地热学的发展简史，可以看出来，这是一门蓬勃发展的富有生命力的年青学科，它既是地球科学中基础理论问题的一部分，又与社会经济实践密切相关。

## 第一节 矿山热害

矿山热害是由于井下空气温度升高、湿度增大而造成的一种灾害。矿井空气的气象条件达到何种程度开始出现热害，这在各国都有不同的规定。热害的严重程度主要是以从事重体力劳动的矿工身体散热条件的生理要求为依据的。不难想象，矿工的健康水平、个人的身体素质、年龄大小、工种差别、劳动强度都有千差万别，甚至我国东北和广东省的矿工由于长期在不同气候条件下生活，对同等湿热环境也有不同的感觉。另一方面，不同的社会制度条件下、不同的政治地位、不同的劳动热情以及其他心理因素，也会在一定程度上影响矿工对不良条件的耐受力。但是，不应当强调这些差别从而否认为矿井热害规定客观标准的必要性。

对矿山热害规定一个客观标准并对热害及时给予治理，这不仅仅只是一部分劳动者切身的利害问题，而且也是一个对待劳动人民的态度问题，因而必然会涉及企业和社会制度的根本性质。另一方面，由于热害标准的宽严直接与热矿山降温设计标准、降温技术及装备条件、劳动卫生、劳动保护、劳动定额和某些福利待遇有关，所以也必然与国民经济的发展水平和国家的技术状况有关，片面地强调任何一个方面都是不妥当的。

人在湿热空气中劳动，短时间内可能只有不舒适感，长时期以后，就可能发生某些疾病。如淮南九龙岗矿（深830米，工作面气温28℃左右），工人中高血压及心悸病患者较多，一九七四年，平顶山八矿东一石门（深510米，气温30℃左右）工作面出了温度为36℃的热水，水量仅12米<sup>3</sup>/时，竟使工作面气温上升至33~34℃，施工的工程兵战士中曾多次发生中暑昏倒及呕吐的病例，凡是在那里工作的人均患有传染性湿疹，几无幸免者，冬季感冒的发病率也特别高；广西合山矿务局里兰矿，由于井下有28~35℃的热水涌出，巷道内气温在22~29.6℃之间，出水点附近可达33℃，据一九七六年统计，井下工人有415人患各种皮肤病，也发生过多起中暑昏倒病例。

由于湿热环境可能引起人的某种机能障碍（如昏昏欲睡的感觉），所以采煤工作面的事故率多。据日本北海道七个矿井的调查，气温在30℃以上的工作面事故率比气温在30℃的高1.5~2.3倍。

高温环境还可降低劳动效率，据南非考拉尔金矿考查，当湿球温度达到33.6、35℃和



36.9℃时，矿工的劳动生产率分别降至75%、50%和25%；又据南非威特沃特斯兰金矿考察，当湿球温度达到33.3℃时，矿工的劳动生产率就降低一半。苏联煤矿为了刺激工人忍受高温环境，促进企业采取降温措施，规定当井下温度超限后相应降低劳动定额，增加工人的收入，每年还增加少量假日，具体规定如下：

工作地点气温℃	劳动定额降低%
26.1~28.0	11
28.1~30.0	25
> 30	43

这种规定也可在一定程度上反映气温升高与劳动生产率下降的关系。

应当指出，由于大型机械化、自动化矿井不断出现，矿山技术日益复杂化，井下复杂的脑力劳动已大为增加，湿热环境对脑力劳动的影响也十分严重，必须及时综合治理。

## 第二节 矿井空气增温的热源

空气由地面进入矿井，在其沿井巷运动的途中，要受到各种因素的影响，不断改变其温度、相对湿度、压力，从而也改变着空气的含湿量和含热量(焓)。影响空气热动力参数改变的主要因素有：矿井进风的温度和含湿量，空气沿垂直或倾斜巷道升降时的自然压缩或减压，地热的影响(包括岩层温度、地下水及地下热水的影响)，机电设备的生热量(包括电缆、电线、照明设施、机械摩擦碰撞等的生热量)，煤、矸石及支护材料氧化及其他化学反应热，人体散热等。下面分别介绍一下关于各种热源的一般知识。

### 一、矿井进风的温度和含湿量

矿井进风温度和含湿量是由矿井所在地的气候和气象条件决定的。矿井进风的温度和含湿量，在一年中和一昼夜间均作周期性变化。

进风温度决定着空气与巷道壁的温差，进风的相对湿度决定着空气进入井巷后是吸收水分还是丧失水分，这就关系到空气增温(或降温)的速度、矿井降温的难易和功耗大小。进风的温度和湿度，对浅而范围小的矿井影响较大。在极端干燥的大陆性气候区，甚至在相当深的矿井中，可以单靠水分蒸发吸热进行矿井降温。

因此，在新矿区的找矿、勘探过程中，如有迹象表明，在当地将出现矿井热害时，应当系统收集当地的气象资料。在附近无气象观测单位时，应当自行组织观测。降温设计所要求的气象资料内容见本书第十章。

### 二、自然压缩热

空气进入井筒并沿之下行，大气压力上升，空气受到压缩因而升高了温度(或者说，空气的位能损失转化为热量从而得到补偿)。假定在绝热条件下，即当空气在自然压缩过程中与其他热源(包括冷源)无任何热交换的情况下，其温升值 $\Delta\theta$ 可由下式表示：

$$\Delta\theta = \frac{A}{C_p} (Z_1 - Z_2) = \frac{Z_1 - Z_2}{427 \times 0.24} = \frac{Z_1 - Z_2}{100} \quad (1-1)$$

式中  $A$ ——热功当量，等于1/427千卡/公斤·米；  
 $C_p$ ——空气的定压比热，等于0.24千卡/公斤·℃；

$(Z_1 - Z_2)$ ——深度增加值(米)。

由(1-1)式可知,空气进入矿井后,深度每增加100米,气温即上升 $1^{\circ}\text{C}$ 左右,反之,空气上升时,每上升100米,将降低 $1^{\circ}\text{C}$ 。实际上,空气无论上升和下降均与巷道壁和矿井水进行热交换和湿交换,所以靠直接观测并不能查知这个关系。

空气自然压缩升温在深矿井中影响甚大。深达千米的矿井,空气到达井底时,其温升可达 $10^{\circ}\text{C}$ 。

### 三、地温的影响

地温随深度增大而升高,地层中的热量是通过矿井水与空气的质交换和热交换,岩壁与空气的热交换以及采掘工作面和采空区采落的、冒落的煤、岩与空气的热交换而进入空气的。

#### (一) 矿井空气与水的质交换和热交换

当矿井水与空气之间存在温差时,二者之间通过热传递使空气升温或降温的过程属于热交换(简称换热)。此外,空气和水之间还存在着质交换(亦称湿交换或换湿),即一部分水因吸热汽化而成为水蒸汽而进入空气,或空气中的水蒸汽因降温达到露点重新凝结为水而脱离空气,从而引起空气的温度、含湿量和焓的变化过程。

一克水汽化时吸收的热量为0.595千卡。如果一克水汽化所需的热量完全来自一立方米的空气,则这一立方米空气可因此而降温 $2^{\circ}\text{C}$ 。同时,这一克水所产生的水蒸汽也进入空气增加了空气的含湿量,汽化时所吸收的热量也进入空气并称之为潜热。潜热增加并不增加空气的温度,但可使空气的焓值增加。当空气冷却达到露点温度时,这一克水蒸汽又重新凝结为水而脱离空气,潜热也同时放出。放出的潜热可以阻止或减缓空气的冷却过程。

空气温度的升降及湿度的增减过程还与空气的压力和饱和度有关。在无外来热源影响下,空气中的含湿量变化,可以调节空气的温度;反之,空气温度的变化,也可以调节空气的含湿量。

空气进入矿井后,含湿量一般都是逐渐增加的,所以对空气起冷却作用。但事实上,由于还有岩壁散热使空气增温,所以人们在井下似乎感觉不出空气因增湿而降温的作用,因为两个过程同时进行,地热增温的效应更为强大,掩盖了前者。

矿井中各地水量大小,岩壁潮湿程度不同,水的蒸发汽化强度随时随地都在发生变化。水的汽化热可以来自空气,也可以来自围岩,也可兼而有之,或者部分来自热水等等。例如,掘进工作面新揭露的岩壁温度较高,壁上水的汽化热可能主要来自岩壁,通风日久后,岩壁温度下降,汽化热来自空气的比例就会日渐增加,长期通风后,同一岩壁的温度已经与空气温度相差无几,到了夏季,气温可能高于岩壁温度,这时汽化热又可完全来自空气。在矿井空气温度预测的热交换和湿交换计算中,全矿井水的汽化吸热与空气温度的关系是一个较为复杂而又难以处理的问题。

#### (二) 空气与岩壁的热交换

矿井愈深,巷道围岩的原始温度愈高。其与空气的温差愈大,单位时间内岩壁向空气传导的热量也愈大。岩壁一方面向空气散放热量,另一方面又从岩体深处得到热量补充。但由于岩石的热导率较低,巷道壁失去的热量总是大于由深处补充的热量,所以在巷道开

出后不久，围岩即被冷却而形成冷却层。此后，冷却层不断加厚，只要冷却层达到数米，就变成岩体向空气传热的巨大障碍。巷道围岩冷却层的厚度在风路始端最大，沿风流前进方向逐渐变薄，空气温度也逐渐上升，岩石与空气的温差逐渐变小，冷却层加厚的速度也逐渐缓慢并趋于消失，空气升温亦将停止。空气继续前进时，可能由于氧化热或其他热源的影响，其温度可能高于岩温，巷道壁因吸热而形成升温层。在回风风路中，来自矿井深部，吸收了大量显热和潜热的湿空气逐渐上升，虽然由于自然减压，其温度有所降低，但自然减压的温度降低仅为 $1^{\circ}\text{C}/100$ 米，加之空气降温去湿而放出潜热减缓了空气的降温速度，而地温梯度往往大于 $1^{\circ}\text{C}/100$ 米，所以在回风流中，空气与围岩的温差愈来愈大，升温层愈来愈厚，到回风末端达到最大。

在这里介绍一下井巷调热圈的概念。前已提及，矿井入风温度年复一年作周期性变化。在一定范围内，这种周期性温度变化导致矿井的岩壁温度随之而产生周期性变化。在夏季，气温高于岩温，岩壁从空气中吸热而升温，在冬季则向空气放出热量。巷道壁中这样一个随地表气温周期性变化而发生温度变化的圈层，对井下空气温度起着调节作用（夏天起降温作用，冬天起升温作用），所以称“调热圈”。这种调节作用使得井下气温变化幅度并不像地面那样大，而是随着空气进入井巷后前进的距离增加而逐渐衰减并在时间上产生相位滞后。

调热圈的厚度在风路始端最厚，向矿井深远处，随着巷道延长逐渐变薄，温度变化幅度也逐渐衰减，以至于完全消失。过了调热圈消失点以后，井下气温就不再受地表气温年变化的影响。在大而深的金属矿井中，由于风量和巷道截面面积较小，调热圈消失点可能位于过了井底车场不远的地方。在大而深的煤矿中，由于风量和巷道截面较大，调热圈消失点位于过了井底车场较远的地方。在浅而小的煤矿中，甚至在回风风路中，调热圈仍未消失。

不论调热圈是否存在，岩壁内的冷却层都是逐渐加厚的。因为在一年中，岩石向空气散放的热量总是大于其由空气中吸收的热量，所以，在可比条件下，矿井的年平均气温是逐年下降的。

### （三）采落煤、岩散热

采掘工作面新采落的煤和岩石以及采空区冒落的顶板，其温度与其存在于地层中的温度并无多大差别，但一经采落（不论是机采或炮采），其与空气接触散热的面积却在瞬间急剧增加。所以，每当采掘工作面落煤（冒顶、放炮）后，气温都要急剧上升。此外，由于长壁法采煤工作面与采空区是相连通的（全面充填法除外），煤、岩壁和顶、底板与空气的热交换面积大，工作面温升迅速，采空区内的热空气在风流影响下涌向工作面的中、上部，所以工作面中上部热害较下部严重，降温也较为困难。

回采工作面外运煤炭的散热决定于煤炭运输方式和运输方向与风流方向的相互关系。用矿车运输要比用链板运输机和皮带运输机散热面积小得多。在常规上行风的情况下，煤炭经下顺槽迎风外运，相对风速大，煤炭向着风温低的方向走，有利于二者保持较大的温差，所以热交换强烈，空气升温较快，风流把热量又送回工作面，这是回采工作面温度高的又一个因素。

矿井中煤、岩层与空气的热交换是空气升温的最主要因素之一。在巷道布署和通风参数既定的情况下，矿井自然温度场的状况和煤、岩的热物理性质是决定空气升温的重要地质因素，也是地质勘探部门应当提供的主要原始资料。

#### (四) 机电设备生热

矿井中的机电设备、电缆、电线、照明设施、机械摩擦碰撞等能量消耗，除少量用于提高荷载位能而作功外，大多转化为热能而进入风流并使之升温。在大型高度机械化矿井中，机电设备生热在空气升温的热源构成中占有较大的比例。

#### (五) 氧化热

煤、含碳含硫的围岩和支护材料的氧化热以及其他化学反应热，如：水泥凝固热，炸药爆炸热等也可构成空气升温的热源。当煤及其围岩有自燃发火倾向时，放出的热量更为可观。煤的氧化快慢决定于多种因素，如温度，湿度，风速，煤的颗粒大小，表面是否潮湿，煤层中或煤块上的裂隙发育程度，煤的物理化学特性，煤岩组份等等。苏联麦尔尼考夫1-2\*井K<sub>8</sub>煤层，被揭露一段时间以后，在煤壁内深0.5~3米范围内，温度可比当地气温和原始地温高几度；我国湖南白沙矿务局湘永煤矿五个井的温度普遍较高，其中铜角湾井最高。该井深380米，井下手摸煤壁感到热，碎煤落到脚面上感到烫，很可能是由于氧化生热造成的（该井已停采，未经详细调查）。

确定煤的氧化生热量不论是用计算法或实验法都是困难的。如果把碳的氧化视为缓慢的燃烧过程，一公斤碳氧化为CO<sub>2</sub>，放出的热量为8000千卡，则形成1米<sup>3</sup>CO<sub>2</sub>（在15℃，一个大气压下，其比重为1.8公斤/米<sup>3</sup>）时，产生的热量约为4500千卡。空气中CO<sub>2</sub>含量增加0.1%，即相当于一立方米空气吸收了4.5千卡的热量，此热量可引起空气的温升值  $\Delta\theta =$

$$\frac{4.5}{1.25 \times 0.24} = 15^\circ\text{C} \quad (\text{这里} 1.25 \text{和} 0.24 \text{分别为空气的比重和热容})。$$

但井下CO<sub>2</sub>还有别的来源，有的煤、岩层就能放出大量CO<sub>2</sub>，很难确定空气中的CO<sub>2</sub>增加有多少来自煤炭氧化。另外，氧化热也不一定完全被空气吸收，肯定还有一部分热量为煤、岩层所吸收。

#### (六) 人体散热

矿工在劳动中要放出热量，一个人每小时放出的热量约为180~250千卡。人体散热中显热放热量所占的百分数与风流的温度有关。风温为5℃时可达85%，20℃时为35%，35℃仅为7%。另一部分热量通过汗水蒸发以潜热形式进入空气。

上述各主要热源在矿井空气升温中所占的比例因矿井的深度、机械化程度、地温高低、地下水的水温和水量、巷道长短、产量大小等条件不同而有较大差异。但最主要的还是地热因素，岩石温度是由当地的地温梯度及深度决定的，所以深而大的矿井和浅而小的矿井其温度变化的曲线是不相同的（图1-1 a 和 b）。

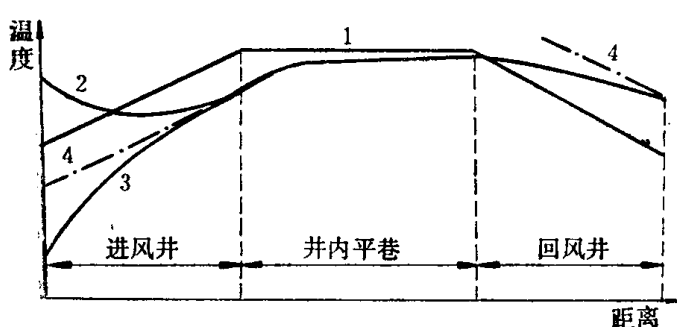


图 1-1a 大型深矿井空气温度变化示意

1—岩石温度；2—夏季最热时空气温度；  
3—冬季最冷时空气温度；4—渐近线

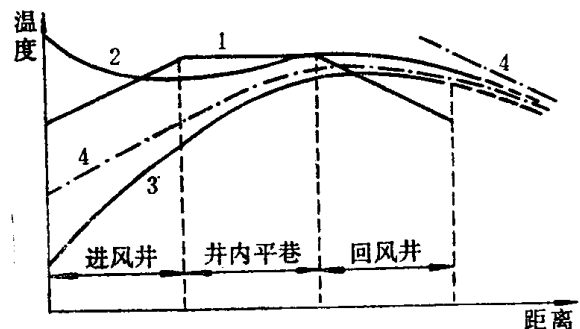


图 1-1b 小型浅矿井空气温度变化示意

1—岩石温度；2—夏季最热时空气温度；  
3—冬季最冷时空气温度；4—渐近线

由图1-1可见，在深而大的矿井中，空气温度有逐渐接近于岩温的趋势，在浅而小的矿井中空气温度受地表气温年变化的影响较大。

我国目前只有少数矿井做过空气升温的热源考察，数据如表1-1、1-2、1-3和表1-4。

表 1-1 广西合山矿务局里兰矿8224工作面热源考察

考 察 项 目	热量 (千卡/时)	占 %	备 注
主井入风量4120米 <sup>3</sup> /分 风流吸热总量	324000	100	该工作面标高为-170米，深约300米，地温为30.5℃
其 围岩散热	174670	54	
热水散热	91200	28	
自然压缩热	27500	8.5	
机电设备散热	21050	6.5	
中 人体散热	9580	3.0	

〔据《合山里兰矿综合降温研究》，1978年3月，合山矿务局，抚顺煤炭研究所〕

表 1-2 平顶山八矿-430米东大巷热源考察

考 察 项 目	热量 (千卡/时)	占 %	备 注
围岩及氧化热	60000	65	该巷为独头掘进巷道，工作面距入风井底1330米，风温31.6℃，垂深510米
机电设备散热	28000	31	
其 局扇及变压器	(22900)	(25)	
中 扒斗机	(5100)	(6)	
人 体 散 热	4000	4	

〔据戴国权同志考察报告，1975年〕

表 1-3 平顶山八矿-430米东一石门热源考察

考 察 项 目	热量(千卡/时)	占 %	备 注
热水散热	110000	56	该巷为独头掘进巷道，工作面距入风井底1165米，垂深510米，1974年12月初出热水12米 <sup>3</sup> /时，水温36℃工作面气温由32℃上升至34℃，全巷涌水量23米 <sup>3</sup> /时
机电设备散热	45000	23	
围岩及氧化热	38000	19	
人体散热	4000	2	

〔据戴国权同志考察报告，1975年〕

表 1-4 南非威特沃特兰金矿矿井热源构成

热 源	热 量 (百万千卡/时)	占 %	备 注
围岩及其他	4.9	46	该矿深1524米，地温梯度1℃/109.8米，井下工人4500人，风量151米 <sup>3</sup> /秒
自然压缩热	2.08	21	
人体散热	1.36	14	
机电设备散热	1.13	12	
电石灯照明散热	0.77	7	
合 计	9.93	100	

〔据《矿山设计》国外高温热水矿疏干降温概况(一)，马鞍山钢铁设计院，1976年〕

根据北票矿务局台吉矿-556.5~-687米下山掘进工作面考察,岩壁及落岩散热量约占工作面空气升温所需热量的64~70%。

上述表列数据均说明,围岩散热对矿井气温影响较大,当井下出现热水时,即使水量不大,也能严重恶化井下的气象条件。

### 第三节 热矿山的劳动环境

#### 一、人体散热与环境条件的关系

在正常条件下,人的体温比较稳定。不论在静止或劳动时,人体内部均进行新陈代谢产生热量。人体的生热量和从外界吸收的热量与向外界散放的热量应达到平衡使体温保持在36.5~37℃范围内。如果人体失热过多或散热不能顺利进行,热平衡遭到破坏,人就感到不舒适,甚至生病。体力劳动者的生热量大小与劳动强度有关。矿工的劳动强度较大,生热量也较大,因此要求有较好的散热条件。

人体散热主要有三种方式,即对流、辐射和蒸发。空气的温度、湿度和风速对人体散热均有较大的影响(气压也有一定影响,但比较次要,不予讨论),现分别讨论如下。

##### (一) 气温对人体散热的影响

在对流散热过程中,起主要作用的是体温与风温的温差和风速。当风温高于25℃时,对流和辐射散热即大为减少,风温达到37℃时,对流散热和辐射散热即趋于停止,此时人体主要靠出汗和汗水蒸发来散热。人体正常散热方式有较大的改变可引起人的不舒适感,外界温度继续升高时,人体将从外界吸热而使体温升高。

##### (二) 空气相对湿度对人体散热的影响

相对湿度直接影响人体蒸发散热。相对湿度超过80%时,人体蒸发散热已感困难,人就感到闷热难受,相对湿度低于30%时,人就感到干燥,发生粘膜开裂。最适宜的相对湿度为50~60%。多数热矿山空气的相对湿度可达到80~100%,所以,矿工散热的生理需要对井下其他气象因素就自然产生更高的要求。

##### (三) 风速对人体散热的影响

风速对人体对流和蒸发散热均有直接影响。当气温低于体温时,提高风速有利于散热。风速由0米/秒增至1米/秒以内时,对人体散热有显著影响;风速增至1~1.5米/秒范围内时,其影响程度有所降低;当风速超过2米/秒时,人就感到难受。如果干球温度超过人的体温,高风速可使汗水蒸发的速度超过人体出汗的速度时,外部热量可通过皮肤传入人体内部使体温上升。如风速大于3米/秒,人就感到皮肤有烧灼感,甚至导致中暑以至于死亡。

此外,环境温度如:煤、岩壁、工作面落煤和设备等的温度如高于人体温度时,这些高温物体还可通过辐射向人体传递热量。

以上因素是相互关联共同作用于人体的。只有将这些因素综合控制在一定条件下,人们才会感到舒适,才能充分发挥劳动效能。通常人体靠辐射,对流、蒸发散热量的比例是45%、30%和25%。过分改变人体散热方式,虽然也能达到散热的目的,但人体会感到不舒适,甚至非常难受。

## 二、高温环境的表示方法和各国矿山对矿井环境的规定

### (一) 高温环境的表示方法

由于井下空气的温度、湿度、风速、压力和环境温度共同作用于人体，为了评定劳动环境好坏，需要有一个科学的方法。国内外现在已有多种表示方法，兹简略介绍如下：

1. 干球温度 ( $\theta_{\text{干}}$ )。这是最简单的表示方法，如我国、苏联和欧洲一些国家都用干球温度来表示矿井内的环境条件。这种表示方法很不确切。

2. 湿球温度 ( $\theta_{\text{湿}}$ ) 和风速二者结合起来表示高温环境条件。此法比前者进了一步，也有直感性。

3. 卡他度。卡他度是用卡他计测定出一定条件下的降温速度，利用卡他常数计算而得的。卡他计贮液球不包湿纱布时测得的是干卡他度 ( $K_{\text{干}}$ )，包上湿纱布测得的为湿卡他度 ( $K_{\text{湿}}$ )。其中湿卡他度在矿井中较为常用，因为它模拟了人体对流和蒸发散热的条件，但不能反映辐射散热的条件。如已知空气的湿球温度  $\theta_{\text{湿}}$  和风速  $V$ ，则：

$$K_{\text{湿}} = (0.1 + 1.1V^{1/3})(36.5 - \theta_{\text{湿}}), \text{ 当 } V \geq 1 \text{ (米/秒) 时;}$$

$$K_{\text{湿}} = (0.35 + 0.85V^{1/3})(36.5 - \theta_{\text{湿}}), \text{ 当 } V \leq 1 \text{ (米/秒) 时。}$$

劳动中感到舒适的卡他度值见表1-5。

4. 等效温度  $\theta_{\text{eff}}$  (实效温度，同感温度，感觉温度)，是由美国暖通技术协会提出来的。方法是通过将大批测定的劳动者放在不同气象条件下统计他们对环境的感受并确定求得等效温度的图表。等效温度表示当风速为0、湿度为100%时与该环境有同样感觉的温度。这个方法在欧美已广泛应用，据早大房村的资料，其与  $K_{\text{湿}}$  的关系如表1-6。

表 1-5 劳动时舒适卡他度值的标准

劳动强度	$K_{\text{干}}$	$K_{\text{湿}}$
办公室劳动	5	14~15
轻体力劳动	6	18
一般体力劳动	8	25
重体力劳动	10	30

表 1-6 等效温度与  $K_{\text{湿}}$  的关系

$K_{\text{湿}}$ (毫卡/厘米 <sup>2</sup> ·秒)	$\theta_{\text{eff}}$ (°C)	条 件
5	约28	地表穿衣轻劳动， 湿度90%， 风速2米/秒
10	约20	
15	约12	
20	约 4	

西德煤矿禁止劳动的等效温度  $\theta_{\text{eff}} = 32^{\circ}\text{C}$ ，相当于  $K_{\text{湿}} = 3$  毫卡/厘米<sup>2</sup>·秒。

### 5. 热应力指数 (HSI)

热应力指数是用力学概念计算出散热系数，用数学概念由人体热平衡方程计算出热应力指数，再加上人的劳动强度概念而制订的综合性指标。此种方法最突出的特点是考虑了人体的基础代谢热、辐射、对流、出汗、呼吸散热、人体蓄热以及风温、湿度，风速等参数。

通过上述简单介绍，可以看出，热矿山井下环境的表示方法是一个不断为人们探索的课题，也是我国科技工作者应当注意的问题。

### (二) 国外矿山对井下环境条件的规定

各国对矿井环境条件的规定极不一致，而且常有变动，我们收集的资料不全，兹综合如表1-7。

表 1-7 国外矿井气象标准

国 别	标 准	备 注
美 国	$\theta_{eA} < 34 \sim 37^\circ\text{C}$	$\theta_{eA}$ —美国等效温度
比 利 时	$\theta_{eB} < 31^\circ\text{C}$	$\theta_{eB} = 0.9\theta_{干} + 0.1\theta_{湿}$
法 国	同 上	
荷 兰	$\theta_{干} < 30^\circ\text{C}$	
苏 联	$\theta_{干} < 25^\circ\text{C}$	
波 兰	$\theta_{干} < 28^\circ\text{C}$	
日 本	$\theta_{干} < 37^\circ\text{C}$	
新 西 兰	$\theta_{干} < 26.7^\circ\text{C}$	
西 德	$\theta_{干} < 28^\circ\text{C}$	1949年规定
东 德	$\theta_{干} < 28^\circ\text{C}$	
南非马茵哩夫	$\theta_{湿} < 33^\circ\text{C}$	

〔据抚顺煤炭研究所，1976〕

西德1965年规定  $\theta_{eff} 32^\circ\text{C}$  为正常工作气温的上限，所有煤矿工人均工作 6 小时。荷兰禁止在干球温度超过  $35^\circ\text{C}$  以上的环境中劳动，温度超过  $30^\circ\text{C}$  时，只工作 6 小时，但矿山监督长许可的场合不在此限。捷克规定以相对湿度 90% 气温为  $28^\circ\text{C}$ ，相对湿度 80% 气温为  $30^\circ\text{C}$  为标准。英国矿山没有明确规定，在国有化之前规定最高等效温度为  $70^\circ\text{F}$  ( $21^\circ\text{C}$ ) 及  $K_{干} = 7$  毫卡/厘米<sup>2</sup>·秒为通风标准，布罗米洛 (Bromilow, J.G) 建议以等效温度为  $85^\circ\text{F}$  ( $29.4^\circ\text{C}$ )，湿球温度  $82^\circ\text{F}$  ( $27.8^\circ\text{C}$ ) 作为工作面气温的上限。

从劳动保护与卫生的观点出发，应当为热矿山规定一个环境条件的上限，作为保护矿工的健康和矿井安全必须保证井下环境达到的最低标准。显然，这是一项极为复杂的课题。国外在这方面也开展了不少研究工作并有一些成果发表，这里就不一一介绍了。由于社会条件不同，美国、日本和南非等国都有一些关于高温矿井环境条件上限的规定，虽然都是通过科学的调查研究而确定的，但数据相差较大。我国应当有适合我国国情的规定，不能照搬别人的数据。

#### 第四节 地热工作的重要性

矿床的地温条件在资源勘探中是作为一个开采条件来研究的新课题。过去我国在煤田勘探中，由于浅部热害不突出，因此很少注意这方面的研究。这在国外也是如此。

开采有热害的矿产资源，要求了解并解决一系列新的问题，如：矿床的地温类型及致热因素、矿区地温场的研究方法，钻孔温度场的扰动和平衡理论，钻孔测温的方法和手段，岩石热物理性质测定方法和手段，矿井空气和各种热源的热交换计算方法及矿井气象条件的预测，井下湿热环境的表示方法和国家标准，热矿山的劳动卫生与劳动保护。热矿山降温的理论、技术以及降温设备和专用器材的研究和制造等。

据已接触到的国外资料来看，国外的热矿山尽管出现得较早，在许多技术问题上比我国先进，但也还没有达到在矿井设计前能够掌握完整的地温资料，在设计中周密安排降温技术措施的程度。许多国家也是在老矿井延深过程中出现了热害之后才开始进行地温观测并试验各种降温技术措施的。南非金矿当热害严重到多次造成工人死亡的程度时，才引起重视。可以认为，关于矿山热害程度的预测和治理的理论、技术问题至今仍处于广泛实践的



阶段，远远没有达到成熟的程度。

我国东北前几年就有一个金属矿井因遇热水而提前关闭停采。还有一些矿井由于事先没有地热资料，遇热害后被迫在很困难的条件下坚持边建设（生产）、边研究、边治理，其结果必然是成本高、效率低、进度慢，工人的健康受损失。

从我国煤矿发展的现状和前景来看，有热害矿井在数量上和热害严重程度均有大幅度增长的趋势。如何加强地热工作，力争做到在矿井设计时，就对热害治理有比较周详的考虑和安排，这是客观实践向我国煤炭工业科技人员提出的一个新课题，也是我国煤炭工业在实现四个现代化的征途中必须解决的重要问题之一。