

1100475

第一届全国劳动保护科

学技术学术会议材料

编号: 210—9

高温矿井的环境保护

陈代龙

化工部化工矿山设计研究院设计一室

一九八三年四月

高温矿井的环境保护

摘 要

高温是我国一些煤矿、金属矿、化学矿、铀矿等存在的严重的环境污染问题。高温矿井的环境保护是当前有待加强研究的项目。本文从劳动卫生、生理卫生和环境科学的角度，研讨了矿井高温对人体的影响与危害和对采矿技术经济效益的影响，对我国和美、苏、日、东德等国目前评价高温矿井环境的标准作了评价。简介了我国高温矿井的环境保护，并对高温矿井的环境标准和制冷降温技术的研究提出了建议。

建国以来，我国的采矿工业有了很大的发展，但随之高温矿井也就逐渐增多。目前，高温已成为一些煤矿、金属矿、化学矿、铀矿等存在的严重的环境污染问题。据统计，分布在全国20个省区的煤矿约有40对生产和待建矿井存在着热害。拿河南平顶山矿区来说，便有约70%的煤储量地处高温。八矿-430米水平掘进工作面的气温达33℃。金属矿中的岫岩铅矿-坑60米中段的气温达37℃；铜山铜矿目前有的采准工作面的矿石温度达100℃。气温则高达45℃待开发的章岗铁矿395米深处的钻孔水温达44~46℃；储量5亿多吨的罗河铁矿也是一个高温矿床。化学矿中的向山硫铁矿井下工作面的气温30~60℃，矿石温度平均40℃，高者竟达90℃。乃至发火自燃。711铀矿井下空气的温度曾达43.6℃。等等。

高温危害着人们的健康与安全，高温使采矿技术经济效益变坏，高温使得这些矿床的开采很困难，直至使一部份矿产资源无法开采利用而被损失。然而，发展能源需要煤炭，需要铀矿石；发展农业需要大量的化学矿石生产化肥；发展工业需要铁、铜、锡等金属矿石；国防现代化更需要多种矿产品。因此，高温矿床开采技术与高温矿井的环境保护，就成为我国需要加强研究的项目、搞好高温矿井的环境保护，将造福矿工，促进四化。

一、矿井高温的危害

1. 高温对人体的影响。这是一个涉及人体生理卫生学、劳动卫生学、热力学、现代医学和环境科学的问题。

(1) 对人体散热的影响。

人体在新陈代谢过程中不断产生热量。但其基础代谢率则因人而异(表1)。在正常条件(气温 $18\sim 25^{\circ}\text{C}$)下,由于中枢神经系统的调节,人体产热与从外界吸收的热量是和向外界散发的热量经常处于平衡状态的,并由此而使体温维持相对恒定。如果气温超过 30°C ,人体代谢加强,产热随之增加。

人体产生的热量经呼吸道等途径向外界散发的比重一般不超过3%,

表1 我国正常人的基础代谢率。 千卡/时·米²

年龄	11~15	16~17	18~19	20~30	31~40	41~50	51以上
男	46.7	46.2	39.7	37.7	37.9	36.8	35.6
女	41.2	43.4	36.8	35.0	35.1	34.0	33.1

主要通过皮肤表面以辐射、对流、蒸发散发。在正常环境中其比重相应为45%、30%和25%。这种散热自然与人体皮肤的面积(成人 $1.5\sim 2.0$ 米²,我国成人人均 1.57 米²)有关。随着气温的增高和环境物体表面温度的增高,经对流和辐射散热便减少,如超过 25°C 则更是大大减少,而经蒸发散热的比重则增加。但在高湿(相对湿度接近100%)环境,如气温超过皮肤温度,则对流和蒸发散热过程均近停止。

人体的代谢热是随着劳动强度的增加而增加的,而劳动强度国内有的单位建议按劳动日内平均能量消耗值来划分(表2)。据测定,矿工

在井下从事各种劳动时的代谢量为其基础代谢量的倍数是，装岩 4~5 倍。

表 2 根据劳动日内平均能量消耗值划分的劳动强度标准

分 类	千卡/分/米	千卡/时/米	千卡/时/人*	注
轻	~1.33	~80	~128	*按我国人均 体表面积 1.57米 ² 计。
中	1.33~2.00	80~120	128~192	
重	2.00~2.83	120~170	192~270	
极 重	2.83~3.66	170~220	270~352	
超 重	3.66~	220~	352~	

推车 2.5 倍，凿岩 3.2 倍，运料 4~6 倍，拉锯 6.8 倍。由此可知，井下矿工的劳动强度绝大部分属重和超重以上。在南非金矿，矿工的代谢率见表 3。在高原矿井中，当气温一定、风速一定时，空气冷却人体的能力即气冷一定值（表 4）。这样，为促进对流和蒸发散热，人们常用加强通风，即增加风量也就是加大风速的办法来维持体热的平衡。但风速不能无限增大，因为当气流高于人的体温，风速过大时，汗的蒸发快于汗的分泌，热就会传入人体；在比较干燥的矿井，风速超过 2 米/秒

表 3 南非矿工的代谢热（皮肤面积 1.75 米²）

工 种	代 谢 热 千卡/时·米 ²
装 岩 工	232 ± 52
凿 岩 工	155 ± 43
粉 矿 清 理 工	103 ± 34
卷 扬 司 机	69 ± 34
基 础 值	36.8 ~ 37.8

表4

气 冷 率

千卡/米²

湿球温度 ℃	风 速 米/秒	平均皮肤温度		
		35℃	36℃	37℃
34.5	0.5	11.2	46.4	84.3
	1.0	18.9	71.4	126.4
	1.5	25.8	92.0	160.0
33.5	0.5	44.7	80.8	117.8
	1.0	68.8	121.3	175.4
	1.5	88.6	153.9	222.7
32.5	0.5	77.4	113.5	161.4
	1.0	117.0	169.4	223.6
	1.5	147.9	214.1	282.0
31.5	0.5	109.2	145.3	183.2
	1.0	162.5	215.0	269.2
	1.5	205.5	271.8	339.7
30.5	0.5	140.2	176.3	213.3
	1.0	206.4	259.7	313.9
	1.5	261.4	326.8	394.7

时还会有矿尘四起、污染环境之弊；同时，随着风量的增加，风压将以其二次方增大，风机功率以其三次方上升，会使经济效果变坏。

(2) 对人体皮肤温度和体温的影响：

人体的皮肤温度，我国成人在地面正常气象条件（环境温度23℃时）下，足为27℃，手30℃，躯干32℃，头33℃，南非的矿工约为35℃。

在高温矿井，随着气温的升高人体的皮肤温度也升高（图1），继而使体温升高（表5）。在我国，当气温超过 35°C 时，特别是 38°C 以上时，体温升高者显著增加。体温增高的幅度视作业时间的长短，劳动强度的大小与对高温环境的适应能力而异，它可超过 38°C 。体温升到 39°C 以上时，人就会难以忍受而遭“热击”（即得热射病，也就是热中风）。尤其是皮肤温度升到 37°C 时，体内温度就会达 40°C 以上，此时如风速在3米/秒或以上，就会产生烧灼感，就有迅即遭受热击危及生命安全之险。在南非的金矿，当空气湿球温度超过 33°C 时，就有可能产生“热击”。

图1 人体的皮肤温度与环境温度的关系

表 5 气温对人体温度的影响

气温、湿球温度、℃	体温升高℃
到 29	0.11 ~ 0.66
29.5 ~ 31.7	0.33 ~ 0.77
32.2 ~ 34.5	0.66 ~ 1.55
34.5 以上	1.44 ~ 1.90

(3) 对水盐代谢的影响。

人体蒸发散热主要靠出汗。皮肤温度 34℃ 时，出汗 1 升约可散热 0.58 千卡。安静人在气温 30℃ 时便开始发汗。一个成人盛夏的日排汗量约为 1 升。而劳动强度大的高温作业工人的日出汗量可达 5 ~ 10 升。这样，虽然一方面散热量增加了，但另一方面却使大量的氯化钠、水溶性维生素（维生素 B、C 等）及其它矿物盐类随之排出。人体的正常水盐代谢平衡由于丧失大量水盐而破坏，致使出现循环衰竭、热痉挛等病变。

(4) 对心血管系的影响。

人体出汗过多会使血液浓缩，皮肤血管扩张，血压下降，进而使心率（人的生理上限为 150 次/分）加快。一般气温升高 1℃ 心率增加 10 次。气温超过 35℃ 时，心率将加快 60%，致使心脏负担加重。

(5) 对消化道的影。

皮肤血管扩张充血，内脏贫血和血液浓缩，使消化酶、消化液的分泌减少。胃肠道蠕动受抑制，血中氯化物含量降低使胃酸下降，而大量

饮水则又使胃液稀释，故极易引起消化不良和其他胃肠道疾患。

(6) 对肾脏的影响。

成人在正常情况下，经肾脏排出的水分占全部排出量的50~70%，而高温作业时仅占10~15%，尿量减少，尿液浓缩，肾脏负担大大加重，致有时尿液中可出现蛋白、管型和少量红细胞等。

关于矿井高温对人体的影响，我国某矿曾在气温35~45℃、相对湿度95~100%的工作面专门进行了试验。参加试验的人数为100人，年龄20~48岁，试验15~45分钟后，高温组出现头昏的100%，眼花的58%，大汗的51%，头痛乏力的45%，恶心的42%，抽筋的41%，心悸的39%，胸闷气短的35%，体温剧增的30%，注意力分散的24%，呕吐的18%，耳鸣、昏倒的各15%。对照组和高温组口温、脉搏变化的观测结果如表6。

前述高温对人体的影响，只要环境参数不超过一定的限度都是机能性的，离开高温环境便可恢复常态。但如上所述，若超越限度，那就有害人体直至危及生命。如南非金矿，早在1924年就出现了“热击”事故。其后仅1976年前的9年内发生的“热击”事故便有92起。日本北海道七个煤矿井下的事故率，30℃以上高温工作面较30℃以下工作面多1.5~2.3倍。我国某矿在建设时遇到46℃热水后，从事高温作业的矿工体质明显下降，关节炎患者增多。

2. 开采硫化矿床时高温会使矿石氧化加剧，放热升温。黄铁矿(FeS_2)、闪锌矿(ZnS)等在高温下更易和周围介质(空气、水)中的

表 6 我国某矿井高温对人体的影响

序号	组别	试验人员		试 验		环 境		口 温 变 化 °C	
		地点	人数	年龄	气温 °C	水温 °C	空气相对湿度 %	空气相对湿度 %	口 温 变 化 °C
1	高温组	1	100	20~48	35~45	43~47	900	95~100	36~36.4 36.5~36.9 37~37.4
		2			29~38	37~43	700	90~95	4 39
2	对照组	3	30	20~39	19.5~23			90~95	1 10 15

续上表

序号	口温变化 °C		脉搏变化 次/分		脉搏变化 次/分		脉搏变化 次/分		脉搏变化 次/分	
	37.5~37.9	38.0~38.4	38.5~39	<60	61~70	71~80	81~90	91~100	101~110	111~120
1	39	12	6	1	2	8	11	23	19	21
2	4	0	0	0	2	7	6	13	1	0

100

表 7

硫化物氧化放热量

化 学 反 应	放 热 量	
	千卡/克分子	千卡/克
$\text{FeS}_2 \rightarrow \text{FeSO}_4$	311	2.59
$\text{FeS} \rightarrow \text{FeSO}_4$	198	2.25
$\text{CuS} \rightarrow \text{CuSO}_4$	171	1.78
$\text{PbS} \rightarrow \text{PbSO}_4$	190	0.79
$\text{ZnS} \rightarrow \text{ZnSO}_4$	186	1.91
$\text{Ag}_2\text{S} \rightarrow \text{Ag}_2\text{SO}_4$	164	0.66
$\text{CdS} \rightarrow \text{CdSO}_4$	185	1.28

氧结合而放出大量热(表7);煤氧化放出的热量也很大,在煤巷、回采工作面内可达13~15千卡/时·米²。其结果不但使井下温度更为升高,且使空气中的氧减少,毒气(SO_2 、 H_2S 、 CO 、 CO_2 等)增加,如西林铅锌矿工作面 SO_2 的浓度达0.2克/升,产生酸性水,腐蚀设备材料,有时会酿起火灾,威胁生命安全,毁损国家财产。我国大多数煤矿都有自燃发火危险,抚顺煤矿在日伪统治时期平均每年发火160次,解放时尚有火区31处,冻结煤量达1630万吨。解放后建的陈家山煤矿投产不到一年就发生了6次火灾,松树山铜矿井下已发生火灾100多次,其中仅1954年3月至1965年10月便发生火灾58次之多。向山硫铁矿自1955年至1979年发生的火灾达67次,特别是1962年洪水淹没三个月后的64~65年竟发生了17次火灾。此外,西林铅锌矿、大厂锡矿、湘潭锰矿、潭山硫铁矿等井下均曾发生过火灾,使矿产资源

和国家财产遭受了不同程度的损失。

3. 矿井高温使机器设备、特别是内燃设备和电气设备的工作条件恶化。排热困难。致设备效率降低。寿命缩短。用于常温工作的电缆、电机、电器时。甚至会使绝缘受损。爆破器材也会因受热变质。威胁安全。

4. 矿井高温使工效下降。采矿技术经济效果变坏。

工效与矿井环境的关系如图2、表8。

图2 工效和矿井环境的关系

a—湿卡他度(据官崎团作); b—有效温度(实线据Hasse, 虚线据W.H. Carrier); c—湿球温度(据Wyndham)。

科拉金矿井下空气的温度为 $43\sim 49^{\circ}\text{C}$ 。该矿湿球温度超过 28.3°C 时。矿工工效便开始慢慢下降。超过 32°C 便急剧下降。 33.6°C 降低25%。 35°C 降50%。 36.7°C 降75%。

表 8

工效与温度、湿度、风速的关系

相对湿度 (%)	风 速 (米/秒)	温 度 (°C)	升高 1°C 工效下降%
80	2	>18	5
100	2	27	10
80	2	30	12

(据 В.Штоцес, В.Церник)

工效下降一方面是由于自然生理反应, 人体乏力所致; 另一方面则是由于温度升高, 工时缩短。如东德规定干球温度 36°C, 湿球温度 25~28°C, 风速小于 0.5 米/秒时, 一天只工作 5 小时, 每周只工作 29 小时。

随着工效的下降, 劳动时间的缩短, 生产定额也就降低。我国铜山铜矿规定, 工作面气温 27~33.9°C, 降低 20%; 34~39.9°C, 降低 30%; 40°C 以上, 降低 40%。从而最终导致采矿费用增加。其值,

$$B_0 = A \times \varepsilon \times K_T, \text{ 元/年}$$

式中, A —— 高温工作面的年产量, 吨;

ε —— 采矿成本, 元/吨;

$$K_T = \frac{1}{K} - 1 \text{ —— 生产定额高温系数,}$$

K —— 生产定额变更系数 (表 9)。

我国某矿在正常情况下, 月可掘进 100 米。遇到 46°C 热水后, 工效大为降低, 多年进尺月平均只有 30~40 米, 掘进成本高 2~3 倍。

在高温矿井作业, 国内国家还要支付高温作业费。如日本有数个煤

表 9

K 与 K_T 值

苏 联			中 国 (铜山铜矿)		
工作面气温, °C	K	L_T	工作面气温, °C	K	K_T
26.1~28	0.90	0.11	27.5~33.9	0.80	0.25
28.1~30	0.80	0.25	34.0~39.9	0.70	0.43
30.1以上	0.70	0.43	40.0以上	0.60	0.67

据 А. И. Пахоменко 等

作者 1982 年 9 月调查计算

煤矿就是如此。1972 年一煤矿以日元计的付费标准是：27°C—55，
28~29°C—65，29~30°C—75，30~31°C—100，31~32°C—120，
32°C 以上每增加 1°C 再加 50 日元。

综上，为了保护工人的健康与安全，提高劳动效率，改善采矿经济效果，为保护矿产资源和国家财产，对高温矿井进行降温，保护和改善其环境便是必然的了。而其中需要首先解决的问题便是制订高温矿井的环境标准。

三 高温矿井的环境标准

矿井空气的温度、湿度和风速是评价矿井环境质量的主要气象参数。

人体感觉舒适的温度即至适温度一般夏天为 $19\sim 24^{\circ}\text{C}$ ，冬天为 $15\sim 22^{\circ}\text{C}$ ；欧美有的国家以有效温度计的至适值：从事轻体力劳动时为 $15\sim 17\sim 20^{\circ}\text{C}$ ，从事重体力劳动时则比此值低 3°C 。这样的标准，高温矿井是难以达到的。

大家知道，至适湿度一般在 $40\sim 60\%$ 。按照湿度，可将高温矿井分为两类：

湿热型：矿井环境的特点是气温和湿度均高。金属矿、煤矿、钠矿和一些化学矿的高温矿井的湿度往往高达 $90\sim 98\%$ ，甚至 100% ，均属此类。

干热型：其特点是湿度低（ $30\sim 40\%$ 以下）而温度高。属此者有盐、碱矿等。如东德的钾矿井下湿度一般仅 30% ，苏联的钾矿亦同。

当湿度达到饱和状态时人们可以忍受的最高极限湿球温度是 33.3°C ，故作业环境最好不超过 32.3°C 。

关于高温矿井的风速，据研究对于干燥矿井的人员作业地点有人建议取 $0.76\sim 2.28$ 米/秒，对于潮湿矿井可高于此值，有时可提高到 $1\sim 1.5$ 米/秒或 $2.5\sim 3.5$ 米/秒。在我国的煤矿，采用的至适风速如表10。

表10 我国煤矿的至适风速

空气温度 °C	至适风速, 米/秒
<15	<0.5
15~20	<1.0
20~22	>1.0
22~24	>1.5
24~26	>2.0

表11 国外矿井空气最高容许温度

国别	最高容许温度, °C	备 注
日 本	37	煤 矿
波 兰	28	煤 矿
苏 联	25	煤矿, 湿度 > 90%
	26	煤矿, 湿度 ≤ 90%
	25	化学矿, 金矿
美 国	28	湿度 90%
	30	湿度 80%
荷 兰	>30	工作 6 小时
	>35	禁止作业
美 国	34	有效温度, 煤矿
比利时	31	有效温度, 超过禁止作业
南 非	31.5	湿球温度, 深3000米, 风速不小于1.5米/秒, 金矿
新西兰	23.3	湿球温度, 工作 7 小时
	23.8	湿球温度, 工作 6 小时
西 德	32	煤矿, 有效温度, 超过禁止作业
	>28	工作 6 小时
	>29	工作 5 小时, 77年3月起执行
赞比亚	31	湿球温度, 罗卡纳铜矿
英 国	27.8	湿球温度
	29.4	有效温度

世界各国根据矿井空气的温度、湿度和风速等制定了不同的矿井环境标准（表11、图3）。有的国家在規定采准和回采工作面的最高容许温度时，还对相对湿度和风速作了考虑（表12）。

苏联采准和回采工作面的最高容许气温，℃

表12

最大风速，米/秒	空气相对湿度 %		
	60~75	76~90	>90
0.25	24	23	22
0.50	25	24	23
1.00	26	25	24
2.00	26	26	25

有的研究指出，相对湿度很大而风速为4米/秒时，最低极限温度约为18~20℃。温度过高固然不行，温度过低，温差过大，同样有害。气温低于15℃，人体代谢加强，产热增加。但当温度过低时，产热少于排热，人体体温便下降。在低温环境，如果人体温度低于25℃，生命安全便无保障。这样，在高温矿井采用制冷法降温时，对不同场所的制冷温差有的国家便有所限制（表13表14）。

表13 苏联人员升降井底车场内空气制冷降温允许温差℃

地面气温	32	30	28	26	24	22	20	18
井底车场内最低允许气温	9	8	7	6	5	4	3	2
温差	23	22	21	20	19	18	17	16