

全国煤矿安全培训统编教材

矿井通风

国家煤矿安全监察局人事培训司 组织编写

B 类

中国矿业大学出版社

全国煤矿安全培训统编教材

矿 井 通 风

(B 类)

编写	刘长久	王 辉	
审定	秦跃平	顾孔利	周心权
	罗正时	方裕璋	

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书简要介绍了矿井通风的基础知识,重点阐述了煤矿通风系统的基本知识以及煤矿通风工作中的安全技术与安全管理方法,并结合事故案例进行了分析。

本书是煤炭企业机电和运输区队长,采煤、掘进、机电和运输班组长,安全检查员、爆破工、瓦斯检查员、采煤机司机、主提升机司机、主运输带式输送机司机、井下电钳工、绞车操作工、输送机司机、电机车司机、采煤工、掘进工、通防工、信号把钩工和矿山救护队员进行上岗培训的统编教材,也可作为煤矿工程技术人员和院校师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

矿井通风/刘长久,王辉编. —徐州:中国矿业大学出版社,2002.6(2005.1重印)

全国煤矿安全培训统编教材

ISBN 7 - 81070 - 496 - 6

I. 矿… II. ①刘…②王… III. 矿山通风—技术培训—教材 IV. TD72

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第029788号

书 名 矿井通风

编 写 刘长久 王 辉

责任编辑 张乃新

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

印 刷 北京京科印刷有限公司

经 销 新华书店

开 本 850×1168 1/32 印张 2.625 字数 59 千字

版次印次 2002年6月第1版 2005年1月第3次印刷

印 数 10001~11000 册

两册定价 15.00元(本册定价 6.00元)

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

全国煤矿安全培训统编教材编审委员会

总顾问	路德信			
主任	黄玉治			
副主任	周心权	闫永顺		
委员	王树鹤	付建华	梁嘉琨	石少华
	李文俊	安里千	段刚	陈国新
	蔡卫	徐景德	王金石	王素锋
	瓮立平			

出版说明

搞好煤矿安全生产是保护国家财产和人民群众生命安全的一件大事，它关系到国民经济的发展和社会的稳定。随着我国社会主义市场经济体制的发展，煤炭工业面临着良好的发展机遇，煤炭企业正在向高产、低耗、安全和集约化生产方向发展。但是，煤炭企业安全生产形势仍较为严峻：一方面，煤矿开采水平正在不断加深，生产条件更加复杂化；另一方面，一些煤炭企业仍然存在着盲目追求最大经济效益、不重视安全生产的行为。因此，依法加强对煤矿企业安全生产的监察，通过培训全面提高煤矿企业从业人员的安全素质，是非常必要的。

为了适应我国煤炭工业管理体制改革的需要，国务院于1999年成立了国家煤矿安全监察局，建立了新的煤矿安全监察管理体制。国务院批准的《煤矿安全监察管理体制改革的实施方案》中，赋予国家煤矿安全监察局“组织、指导煤炭企业安全生产技术培训工作，负责煤炭企业主要经营管理者安全资格认证工作”的职能。2000年经国务院批准，又成立了国家安全生产监督管理局，国家煤矿安全监察局与其合署办公。国务院批准的《国家安全生产监督管理局（国家煤矿安全监察局）职能配置、内设机构和人员编制规定》中，赋予国家安全生产监督管理局（国家煤矿安全监察局）“组织、指导本系统安全生产监察人员、煤矿安全监察人员的培训、考核和全国企业安全生产技术培训工作；依法组织、指导并监督特种作业人员的考核工作和企业经营管理者安全资格考核工作”的职能。

为了履行好国务院赋予我们的有关安全培训方面的职能，规范煤矿安全生产技术培训工作，保证培训质量，在总结安全培训工作

经验,借鉴国外发达国家矿山安全培训课程体系的基础上,国家煤矿安全监察局人事培训司组织有关高校、安全技术培训中心和煤炭企业等单位的教授、专家和安全工程技术人员编写了这套模块式“全国煤矿安全培训统编教材”。这套教材不仅反映了传统的煤矿安全生产技术知识,也引进了成熟的煤矿安全生产新知识、新技术,并且针对培训对象的工作类别、专业和文化程度的不同,就其撰写文体、内容深度和广度的差异分为A、B两类。A类教材内容较深,强调内容的科学性、新颖性和实用性,主要适用于国家煤矿安全监察人员、从事煤矿安全培训的教师、煤炭企业主要经营管理者及安全专职管理人员、区(队)长等;B类教材内容较浅,强调内容的实用性,主要适用于班(组)长、各种作业人员(含特种作业人员)、企业安全检查员等。模块式教材避免了不同工种系列的同一课程教材内容的重复,便于选择较合适的作者重点撰写,内容覆盖面广,融科学性、实用性、系统性于一体,是对各类煤矿安全人员进行安全资格培训(复训)和考核的统编教材,也是各类煤矿安全人员上岗后不断巩固、提高安全生产知识的工具书,同时,也可供有关管理人员、工程技术人员及大专院校的师生参考。

本套教材在编审过程中,得到了中国矿业大学(北京校区)、华北科技学院、焦作工学院、黑龙江科技学院,有关省级煤矿安全监察局、煤矿安全技术培训中心、煤炭企业等单位的大力支持。在此,谨向上述单位表示谢意。

本书由刘长久、王辉编写,由秦跃平、顾孔利、周心权、罗正时和方裕璋审定。

国家煤矿安全监察局人事培训司

2002年2月

目 录

第一章 井下空气和风流	(1)
第一节 井下空气的成分及其安全标准	(1)
第二节 井下气候条件	(8)
第三节 井下空气的主要物理性质	(12)
第四节 风流的流动状态及类型	(14)
思考题	(15)
第二章 通风系统	(16)
第一节 矿井通风系统	(16)
第二节 采区通风	(25)
第三节 掘进通风	(30)
第四节 风量的计算和调节	(39)
第五节 漏风及其防治	(50)
第六节 反风技术	(52)
思考题	(56)
第三章 通风阻力	(57)
第一节 摩擦阻力和局部阻力	(57)
第二节 降低矿井通风阻力的措施	(58)
思考题	(59)
第四章 通风动力	(61)
第一节 自然通风	(61)
第二节 机械通风	(62)
第三节 通风机的联合作业	(65)
思考题	(67)

第五章 风流的测量	(68)
第一节 巷道中风流的分布规律	(68)
第二节 井下风流的测定	(68)
思考题	(74)
参考文献	(75)

第一章 井下空气和风流

在煤炭地下开采史中，多有记载井巷中的大气使人中毒、窒息或发生爆炸的事例。这主要是由于井下空气的特殊成分造成的。井下空气的主要来源是地面的新鲜空气。新鲜空气无色、无味和无臭，是维持生命所必需的，并能助燃。新鲜空气在进入井下沿着井巷流动的过程中混入了大量的有毒、有燃烧性和爆炸性的气体，这些混入的气体有的是煤炭生产过程中形成的，有的是从煤岩层中涌出的。同时，地面的新鲜空气进入井下后，它的温度、湿度和压力等也发生了一系列变化。

煤矿通风的任务是向井下各工作场所连续不断地输送适量的新鲜空气用以冲淡并排出从井下煤岩层中涌出的或在煤炭生产过程中形成的一切有毒的、有窒息性的、有燃烧或爆炸性的气体、粉尘和水蒸气；调节煤矿井下的气候条件，创造良好的生产环境，保证井下机械设备的正常运行，保障井下作业人员身体健康和生命安全，并使生产作业人员得以充分发挥劳动效能和促进劳动生产率的提高，达到安全生产的目的。

第一节 井下空气的成分及其安全标准

地面空气是由于空气和水蒸气组成的。在正常情况下，地面空气组成成分比较稳定，按体积百分比计算，各组成成分为：氧气（ O_2 ）—20.96%；氮气（ N_2 ）—79.00%；二氧化碳（ CO_2 ）—0.04%。地面空气除上述成分外，还含有约1%的水蒸气，其含量是随着地区、季节和气候条件的变化而变化的。

地面空气还含有少量的尘埃等杂物，这些杂物仅在大城市或大工业区的空气中变化较大。故不把这些不稳定量的水蒸气、杂物等计入干空气成分之中。

地面空气进入井下后，因发生物理和化学变化，使其成分种类增多，各种成分的浓度也发生了变化。就一般煤矿而言，井下空气成分的种类有氧气 (O_2)、氮气 (N_2)、甲烷 (CH_4)、二氧化碳 (CO_2)、一氧化碳 (CO)、硫化氢 (H_2S)、二氧化硫 (SO_2)、二氧化氮 (NO_2)、氢气 (H_2)、氨气 (NH_3)、水蒸气和浮尘等。在煤矿的日常生产中，氧气是井下作业人员所必需的，必须保持足够的浓度。其余的气体，超过一定浓度时，对人体是有害的，必须把它们的浓度降低到没有危害的浓度以下。甲烷是煤矿井下普遍存在的气体，也就是人们日常所说的瓦斯，在一定浓度范围内具有爆炸性，也是煤矿井下最危险的气体之一。至于其余几种气体，由于各矿的具体条件和所处的生产时期的不同，各矿的井下空气成分的种类和浓度都不相同。

一、井下空气主要成分及其性质

(一) 氧气 (O_2)

氧气是无色、无味和无臭的气体，对空气的相对密度为 1.11，氧微溶于水，是一种非常活泼的元素，能与很多元素发生氧化反应，是人、动物呼吸和物质燃烧不可缺少的气体，是空气的主要成分之一。必须供给井下足够的风量，以保证井下空气中有足够的氧含量。但因为氧是很活跃的元素，易使其他物质氧化，并能助燃，故应阻止空气进入采空区和火区，以防止氧对煤炭氧化而自燃。

人的生命是靠吸入空气中的氧气来维持的，人体正常的耗氧量与人的体质、神经和肌肉紧张程度有关。人在休息时所需氧量约为 0.25 L/min ，工作和行走时需氧量为 $1\text{ L/min} \sim 3\text{ L/min}$ 。当空气中氧含量减至 17% 时，在静止状态下对人体影响甚小，而在紧张工作时就会感到强烈心跳和气喘；当氧含量减

到 9%~12% 时, 人很快就会进入昏迷状态, 若不及时救治会有生命危险; 当氧含量减到 6%~9% 时, 人很快就失去知觉, 若不及时救治就会死亡。

我国《煤矿安全规程》(以下简称《规程》) 中第 100 条规定: 在采掘工作面的进风流中, 氧气浓度不得低于 20%。

(二) 氮气 (N_2)

氮气是一种无色、无味和无臭的惰性气体, 对于空气的相对密度为 0.97, 微溶于水, 不助燃也不维持人的呼吸。氮气在通常情况下无毒, 但空气中氮气含量很多时, 因氧含量相对减少会使人窒息死亡。

井下空气中氮气含量增加的原因: 有机物质的腐烂、爆破工作 (每公斤硝化甘油炸药爆炸时可产生 135 L 的氮气) 或从煤层层中与瓦斯同时涌出。在一般的矿井中, 氮含量变化很小。

二、井下空气中的有害气体及其安全标准

(一) 二氧化碳 (CO_2)

二氧化碳是无色、略带酸臭味的气体, 对空气的相对密度为 1.25。由于比空气重和很难与空气均匀混合, 所以常积聚于巷道的底部。二氧化碳不助燃也不供人呼吸, 略有毒性, 易溶于水。由于溶于水生成碳酸, 故对眼、鼻、喉的粘膜有刺激作用。

二氧化碳对人的呼吸起刺激作用, 当肺气泡中二氧化碳增加 2% 时, 人的呼吸将增加一倍。人在快步行走或紧张劳动时所以气喘和呼吸频率增加, 就是因为体内氧化过程加快后, 二氧化碳生成量增加, 使血液酸度加大而刺激神经中枢, 引起频繁呼吸。根据这个道理, 在急救毒气中毒的人员时, 应首先使他吸入含有 5% 二氧化碳的氧气, 来刺激他加强呼吸。

当空气中二氧化碳含量增加时, 则使氧气含量相对减少, 不但会使人中毒, 而且会因空气中含氧量少而窒息。我国《规程》规定: 采掘工作面的进风流中, 二氧化碳浓度不超过

0.5%；矿井总回风巷或一翼回风巷中瓦斯或二氧化碳浓度超过0.75%时，必须立即查明原因进行处理。采区回风巷、采掘工作面回风巷风流中二氧化碳浓度超过1.5%时，必须停止工作，撤出人员，采取措施，进行处理。

井下空气中二氧化碳的主要来源：

- (1) 井下有机物质（如坑木等）的氧化分解。
- (2) 煤或岩石缓慢氧化和矿井水与酸性岩石的分解作用。
- (3) 从煤岩层中涌出。如我国的阳泉四矿、双鸭山岭西一井及萍乡高坑煤矿都曾有过二氧化碳从煤岩层中涌出过。
- (4) 煤自燃、井下发生火灾或煤尘、瓦斯燃烧爆炸时都要产生大量的二氧化碳。

另外，井下空气中二氧化碳的次要来源是人员呼吸和爆破工作等。

(二) 瓦斯 (CH_4)

瓦斯是煤矿中从煤岩层内涌出的各种气体的总称，它的主要成分为甲烷 (CH_4)。它是一种无色、无味和无臭的气体，对空气的相对密度为0.554。因为比空气轻，所以，它常积聚于巷道的顶部、独头上山巷道或冒落的高顶处。它微溶于水，不助燃也不供呼吸，无毒，但空气中瓦斯含量较大时，因缺氧会使人窒息。瓦斯的分子直径远小于煤或岩石的孔隙，所以瓦斯易从煤岩层穿过而进入井巷中。纯瓦斯不燃烧也不爆炸，只有和适量的空气混合后才有燃烧性和爆炸性。瓦斯的爆炸极限为5%~16%。

尽管煤矿瓦斯具有窒息性、燃烧性和爆炸性，若将井下空气中的瓦斯含量控制在安全含量以下，并杜绝一切引燃引爆的火源，煤矿瓦斯的窒息、燃烧或爆炸事故是可以避免的。

(三) 其他有害气体

1. 一氧化碳 (CO)

一氧化碳是一种无色、无味和无臭的气体，对空气的相对

密度为 0.97, 由于它的相对密度与空气相近, 所以它能均匀地和空气混合, 微溶于水 (在正常情况下, 100 个体积水中能溶 3 个体积的一氧化碳)。在常温常压下, 一氧化碳的化学性质不活泼, 但空气中一氧化碳浓度达 13%~75% 时具有爆炸性。

一氧化碳有极毒性。人体血液中的血红蛋白是专门吸收空气中的氧供周身各部组织用来维持生命的。但血红蛋白有一个特点, 即它和一氧化碳的亲合力比和氧气的亲合力约大 250~300 倍, 所以当它一遇到一氧化碳时就首先将其吸收, 而阻碍了和氧气的正常结合, 因而使人体各部细胞缺氧中毒、窒息, 严重时则死亡。当发生一氧化碳轻微中毒时, 中毒者会发生耳鸣、心跳、头昏、头痛等症状; 严重中毒时则会出现四肢无力、哭闹、呕吐等症状, 甚至死亡。

井下空气中一氧化碳的来源:

- (1) 爆破工作。1 kg 炸药爆炸后可产生一氧化碳 100 L。
- (2) 井下火灾。1 m³ 木材燃烧后可产生 500 m³ 的一氧化碳。可见煤炭在燃烧后可产生更多的一氧化碳。
- (3) 煤尘、瓦斯燃烧或爆炸。当井下煤尘和瓦斯爆炸时, 虽然爆炸冲击波会伤害人, 但产生的一氧化碳对人的伤害更为严重。

2. 氮氧化合物

煤矿井下空气中氮氧化合物的来源主要是爆破工作。炸药爆破后可产生大量的一氧化氮和二氧化氮。而一氧化氮极不稳定, 一遇空气即被氧化为二氧化氮。二氧化氮是一种褐红色有强烈窒息性的气体, 对空气的相对密度为 1.57, 易溶于水而产生有腐蚀性的硝酸, 所以对人的眼、鼻、呼吸道及肺部组织有强烈腐蚀作用, 严重的可引起肺水肿。二氧化氮中毒后一般需经 6 h 才能发作, 就是在危险含量以下, 虽只感到呼吸器官受到刺激, 开始时咳嗽, 但经过 20 h~30 h 后就会发生严重的支气管炎、呼吸困难、吐黄痰, 严重时肺水肿、呕吐, 以至死亡。

放炮后人体易受一氧化碳和二氧化氮的毒害。因这两种气体对人体毒害的病理作用不同，所以对它们采用的急救措施也不同，在进行急救时须区别这两种气体的中毒。二氧化氮中毒的症状是：指甲及头发变黄，而一氧化碳中毒时是面颊易出现红斑点或嘴唇呈现桃红色。

3. 二氧化硫 (SO_2)

二氧化硫是一种无色、有强烈的燃烧硫磺气味的气体，易溶于水，对空气的相对密度为 2.2，所以常积聚于巷道底部或倾斜巷道的下部。二氧化硫对人的眼、鼻、呼吸道及肺部组织有强烈的刺激腐蚀作用，使喉咙和气管发炎，呼吸麻痹，严重时可引起肺水肿。

4. 硫化氢 (H_2S)

硫化氢是一种无色有臭鸡蛋味的气体，对空气的相对密度是 1.19，易溶于水，在一般的情况下一个体积的水中能溶解 2.5 个体积的硫化氢，故它常溶于巷道的积水中。硫化氢有燃烧、爆炸性，当空气中硫化氢达到 6% 时遇火源能爆炸。硫化氢有强毒性，能使血液中毒，对眼睛粘膜有强烈的刺激作用。

5. 氢气 (H_2)

氢气是一种无色、无味和无臭的气体，对空气的相对密度为 0.07，故是最轻的气体。氢气难溶于水，不供呼吸，在空气中浓度达到 4%~74% 时具有爆炸性。井下空气中氢气主要来源于蓄电池机车的电池充电过程所放出的氢气；有的矿内火灾区域或矿层内也可以放出氢气。

6. 氨气 (NH_3)

氨气是一种具有氨水臭味，易溶于水的极毒气体，对空气的相对密度为 0.6。它能刺激皮肤及上呼吸道而引起咳嗽、头晕，严重时失去知觉，以致死亡。在矿井中主要来源于火区。

我国《规程》第 101 条对矿井有害气体的具体规定见表 1—

表 1—1 矿井有害气体最高允许浓度

名 称	化学符号	最高允许浓度/%
一氧化碳	CO	0.002 4
氧化氮 (换算成二氧化氮)	NO ₂	0.000 25
二氧化硫	SO ₂	0.000 5
硫化氢	H ₂ S	0.000 66
氢	H ₂	0.5
氨	NH ₃	0.004

三、井下空气主要成分对风量的要求

煤矿井下空气成分的最大特点是瓦斯和二氧化碳含量大,为了把它们冲淡到允许的安全浓度,这两种气体对风量的需要量也往往是最大的。因此它们也是确定矿井风量的主要依据。我国《规程》中规定依据这两种气体的涌出量和涌出形式来划分矿井的瓦斯或二氧化碳的等级,以便分级计算矿井风量和进行管理。

矿井瓦斯涌出分为普通涌出和特殊涌出两种形式。瓦斯的普通涌出是煤岩层中的瓦斯在压力的作用下缓慢持续不断地以渗透方式穿过煤岩层进入井巷中。瓦斯的特殊涌出又可分为瓦斯的喷出和煤与瓦斯的突出两种。瓦斯喷出是指煤层中大量瓦斯在压力状态下,从煤、岩层的裂隙中,在一定时间内(短时间或长达几年)连续喷出的现象。而煤与瓦斯突出是指煤层中大量瓦斯在压力状态下,在很短时间(几秒或几分钟)内煤与瓦斯大量喷发,并带有冲击动力效应的现象。

(一) 划分等级的依据

绝对涌出量是在单位时间内 CH₄ 或 CO₂ 涌出的体积量,单位为 m³/min。事实上,CH₄ 或 CO₂ 的涌出程度和煤炭产量有关,绝对涌出量没有反映出这种关系。矿井瓦斯涌出的严重程度可用相对瓦斯涌出量来衡量。

相对瓦斯涌出量,即指在正常生产的情况下,矿井平均日

产一吨煤的瓦斯涌出量, 单位为 m^3/t 。

我国《规程》第 133 条规定: 矿井瓦斯等级按瓦斯相对涌出量 q_0 、矿井绝对瓦斯涌出量 q 和涌出形式划分: 低瓦斯矿井 ($q_0 \leq 10 \text{ m}^3/\text{t}$ 且 $q \leq 40 \text{ m}^3/\text{min}$)、高瓦斯矿井 ($q_0 > 10 \text{ m}^3/\text{t}$ 或 $q > 40 \text{ m}^3/\text{min}$) 和煤与瓦斯突出矿井。

(二) 划分等级的要求

根据实测的矿井 CH_4 或 CO_2 的绝对涌出量和相应时间内的煤产量, 计算出 CH_4 或 CO_2 的相对涌出量, 按《规程》的有关规定, 划分成表 1—2 所示的矿井瓦斯或二氧化碳等级和按等级供给矿井风量的标准, 这个标准就是矿井日产一吨煤所需供给的风量, 其单位是 $(\text{m}^3/\text{min}) / (\text{t}/\text{d})^{[1]}$ 。

表 1—2 矿井瓦斯或二氧化碳等级及矿井风量标准

CH_4 或 CO_2 的相对涌出量	矿井的瓦斯等级	按等级供给矿井风量的标准
$\leq 10 \text{ m}^3/\text{t}$	低瓦斯矿井	$1 \sim 1.25 (\text{m}^3/\text{min}) / (\text{t}/\text{d})$
$> 10 \text{ m}^3/\text{t}$	高瓦斯矿井	$\geq 1.5 (\text{m}^3/\text{min}) / (\text{t}/\text{d})$ 同时按矿井总回风流中的 CH_4 和 CO_2 都 $\leq 0.75\%$ 计算
	煤与瓦斯 (或岩石与二氧化碳) 突出矿井	$\geq 1.5 (\text{m}^3/\text{min}) / (\text{t}/\text{d})$ 同时按矿井总回风流中的 CH_4 和 CO_2 都 $\leq 0.75\%$ 计算

矿井按瓦斯分级, 不仅是为计算矿井所需风量, 而且是为了采取不同的安全生产措施。矿井按二氧化碳分级的作用, 则只是为了计算矿井所需的风量。若某矿的二氧化碳等级大于瓦斯等级, 则按二氧化碳的供风标准计算矿井所需风量, 而按瓦斯等级制定安全生产措施。

第二节 井下气候条件

井下气候条件是指井下空气的温度、湿度和风速三者综合

所给予人的舒适感觉程度。因为人体无论劳动或休息时都不断产生热量和散失热量，但人体总需保持正常的体温，如果由于某种原因破坏了人体的这个热平衡，就会引起人体的不舒适。但是，人体的这个热平衡是否能保持，除人体本身的生理条件外，还直接受其所处环境气候条件的影响。因此，井下气候条件的好坏，对人体健康和劳动生产率的提高有着重要影响，是保证矿井安全生产的重要因素，同时也是矿井通风的基本任务之一。

一、井下空气温度

井下空气温度是井下气候条件的重要因素之一。它与人体温度差的大小，直接影响身体向外散热的快慢。温度过高或过低不但会使人感到不舒适，甚至会危害身体健康。最适宜的温度为 $15^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ 。《规程》规定：采掘工作面的气温不得超过 26°C ；机电硐室的气温不得超过 30°C ；冬季总进风的气温不得小于 2°C ，即除机电硐室外井下风流的气温允许在 $2^{\circ}\text{C} \sim 28^{\circ}\text{C}$ 的范围内变化。当井下气温超过规定时，应采取加热或降温的措施。

井下气温除随季节变化和与地理位置有关外，还要受地层岩石温度、通风强度等因素的影响。在一般情况下，井下气温在上述范围内变化，大致有以下规律。

在进风路线上，冬季冷空气进入井下，冷空气与地层进行热交换，风流吸热，地层散热，因地温随深度逐渐增加且风流下行受压缩，故沿线气温逐渐升高；夏季与冬季情况相反，沿线气温逐渐降低。即在进风路线上，气温随四季而变，和地表气温相比，有冬暖夏凉的现象。在采掘工作面，由于物质的氧化程度大、机电设备多、人员多以及爆破工作等，致使产生较大的热量，对风流起到加热的作用，气温逐渐升高，且常年变化不大，故采掘工作面好比恒温加热器。在回风路线上，因地温逐渐变小，风流向上流动体积膨胀，使气温逐渐降低，且常