

中国科学技术情报研究所



大气污染、酸雨和森林的未来

科学技术文献出版社

一九八五年

责任编辑: 李泽清

102



大气污染、酸雨和森林的未来

中国科学技术情报研究所编辑

科学技术文献出版社出版

中国科学技术情报研究所印刷厂印刷

科学技术文献出版社发行

开本: 850×1168 1/32 印张: 1.625 字数: 30千字

1985年6月北京第一版第一次印刷

全年出版40期 总定价: 12元

目 录

引言.....	(1)
损坏标志的显露.....	(4)
探索污染的途径.....	(11)
计算损失.....	(22)
减少污染排放物.....	(30)
国际合作控制污染、保护森林.....	(39)
污染对其他方面的影响.....	(45)

大气污染、酸雨和森林的未来

引言

三亿年前，当欧洲和北美洲的许多地区都处于潮湿的热带气候时，速生树的森林就遍布在广阔的沼泽低地上了。巨大的“鳞皮树”同现今的树木并不怎么相象，它与现今的针叶树的祖先——雄伟的科达属巍然耸立在一起。这些树木死后，由于土中微咸水的保护而免于腐烂。时间和日益增长的沉积物压力促使树木和周围的草木转变成固态的碳物质，这就形成了现今的广阔煤田，其地区包括大不列颠诸岛、美国的阿巴拉契亚山脉、联邦德国和比利时的鲁尔流域，联邦德国和法国的萨尔—洛林流域以及苏联的顿涅茨流域。

由于命运的奇特转折，人类对这些巨大树木化石遗物的使用，现在正威胁着他们现今的子孙后代的身体能力和生产能力。过去十年间，科学家已积累了大量资料，说明化石燃料——石油和煤——燃烧和金属矿物冶炼而产生的大气污染物正在逐渐损害敏感的森林和土壤。现有的资料充分证明二氧化硫气体和臭氧对树木的损害。最近，酸的沉降物——通常称为酸雨——在敏感地区对森林构成了日益严重的威胁。酸沉降物是指在大气层中发生化学转变，尔后作为酸雨、酸雪或酸雾，或能形成酸的干粒子落到地

面的硫和氮的氧化物。虽然人们现在都知道酸沉降物杀害了斯堪的纳维亚和北美洲东部几百个湖泊里的鱼和植物，但它与森林破坏的联系却仍然是间接的。然而对欧洲和北美洲的病树和濒于死亡的树木的研究使这种联系不能予以忽视。

温带森林有一段很长的接受压力和酸化作用的历史，它提供了考察来自大气污染和酸雨的新压力的关键性背景知识。自从一万到一万五千年前最后的大陆性冰川作用结束以来，由于冰河退却，遗留下来的砾石、沙子和淤泥的贫瘠地层，慢慢地形成了土壤。原始植物、动物和微生物使这种土壤得到改良，帮助形成养分吸收和释放的错综复杂的循环。这些生物正如现今的一样，它们的死亡和分解，就在土壤中产生酸性物质。酸的产生比其他自然过程可能中和酸要快的地方，土壤就逐渐酸化。这一过程一直持续至今。

数百年来，人类利用和滥用森林生态系统加剧了这种自然的酸化作用。欧洲和北美洲的许多温带森林经历了数十年的过度烧荒、放牧和砍伐，现在正在逐渐恢复。例如到二十世纪初，美国新英格兰和阿第伦达克山脉的云杉——冷杉森林为用于造纸已几乎全都伐光。伐木经常继之以烧荒，破坏了森林地面。随着这些森林的恢复，土壤重新形成，自然就增加了土壤的酸性。

工业活动所产生的大气污染物和酸现在正以空前的规模和速度进入森林，大大增加了过去遗留下来的这些压

力，欧洲和北美洲的许多森林现在接收到的酸度比过去早期大气层降下的雨雪酸要多三十倍。人们知道现在欧洲和北美洲许多农业地区的臭氧水平经常位于损坏树木的范围内。虽然本世纪七十年代改善了大气纯度，但是许多地区的二氧化硫平均浓度高到足以减缓树木生长的水平。

对全世界森林损坏的综合考察表明，多种污染物——其中包括形成酸的硫酸盐和硝酸盐、气态二氧化硫、臭氧和重金属——单独或一道起作用，使得森林处于严重的压力之下，针叶和树叶变黄，过早地从树枝上掉下，树冠逐渐变稀、最后树木死亡。甚至没有明显损坏迹象的树木，其生长和生长力也可能衰减。此外，酸雨从敏感土壤中滤去养分的趋向可能逐渐损害树木长远未来的健康和生产力。总而言之，这些直接和间接的影响，不仅影响着木材供应，而且也影响着社会所依赖的整个生态系统的完整性。

北美洲人必须爬到美国东部的孤立山峰才能看到现在蔓延到中欧的这种大片树木患病和死亡的情景。联邦德国森林的损失现在是那个国家公民之中强烈的政治和感情问题。“森林消失”——照字义是森林的死亡——现在是一句口头语。一九八三年夏季的调查表明，联邦德国人民关心他们森林的命运胜过关心这年之后部署在他们领土上的潘兴导弹。波兰和捷克斯洛伐克的环境科学家们警告，如果增烧高硫煤的计划不受抑制，那么森林就可能变成荒地。

尽管科学家们还不能完全解释森林的这种损坏是怎样发生的，但是大气污染物和酸雨已超过了敏感的森林的对付能力使他们处于明显的受压状态之下。树木由于大气污染物，酸性和贫瘠的土壤、或有毒金属而衰弱，失去了对付诸如干旱、虫灾和严寒的抵抗能力。在某些情况下，光是污染物，就能使树木损坏或使其生长衰退。这种机制是复杂的，可能要再经过几十年的研究才能充分了解。但是这种间接证据的生长物乃是一个更能说明化石燃料的燃烧具有生态限制的标志，超过这个界限，社会就要付出一定的代价。

损坏标志的显露

在仅仅几年中，森林的损坏就以惊人的速度蔓延到中欧的许多地方。三百五十万到四百万公顷——大约为奥地利领土面积的一半——的树木显示出与大气污染物有关的损坏征兆。没有哪个国家比联邦德国更好地用资料记载下来在其领土上遭受的这种破坏损失。该国的森林覆盖面积为七百四十万公顷，大约占其领土面积的三分之一。根据一九八二年联邦粮食、农业和林业部长的广泛调查，森林的损坏估计达五十六万二千公顷，占联邦德国森林的8%。仅仅一年之后——一九八三年秋作了第二次调查，发现损坏的森林达二百五十多万公顷，占这个国家森林的34%（见表一）。这种增加有些是由于一九八三年更彻底的调

查结果，但是尽管如此，森林损坏的范围却明显扩大了。树木明显地损坏，典型地是采取以下形式：针叶变黄和过早减少、幼芽变形、根部变坏、树冠渐渐稀薄，最后变到最严重时，树木死亡。这种症状不但出现在不同树龄的树上，而且也出现在单种和混合种类的森林中。

表一 联邦德国森林1982—1983年的变化

种 类	损坏的面积		森林受影响的部分	
	1982	1983 (千公顷)	1982 (百分率)	1983
云杉	270	1,194	9	41
冷杉	100	134	60	76
松树	90	636	5	43
山毛榉	50	332	4	26
橡树	20	91	4	15
其他树木	32	158	4	17
总计	562	2,545	8	34

在森林稠密的联邦德国巴伐利亚州和巴登-符腾堡州——著名的“黑森林”故乡里，森林几乎损坏了一半。全国冷杉树受影响的占四分之三，比上一年增长60%。森林产品工业中最重要的云杉，其损坏率也从9%增加到41%。松树的损坏也有同样明显的增加。这三种针叶树共占联邦德国森林的三分之二，遭到了严重的损害。但是像山毛榉和橡树之类的硬木树也发现损坏现象。因为早期衰退的树木就已从森林中清除掉，所以受影响的树木比该调查的惊人结果所表明的还要严重。埃森国立控制污染研究所的乔

治·克劳斯博士最近指出：“德国几乎没有任何人否认森林生态系统存在着巨大危险。”

在邻国捷克斯洛伐克，森林损坏面积估计为五十万公顷。有人认为大约二十万公顷的树木受到严重损害。据报道，埃尔茨山脉四万公顷的树木已经死亡。布拉格东北部的克罗科诺塞国家公园有三万四千公顷森林，主要树木是云杉，这个公园里死亡的和垂死的树木清晰可见。不仅云杉濒于死亡，据报道那些树木几年前在无机土壤中就停止了再生长。在更北边的波兰，有五十万公顷森林受到影响。靠近克拉科夫的卡托维兹的森林研究人员说，将近十八万公顷的冷杉树已死或濒于死亡，里布尼克和切斯托霍瓦四周地区即波兰南部工业化地区的云杉树也完全消失了。环境科学家们警告，如果波兰继续执行增加高硫褐煤燃烧的现今工业化计划，那么到一九九〇年就可能损失森林多达三百万公顷。

虽然关于其他欧洲国家的森林损失还未作出估计，但是总起来说，他们增添了森林空前受到破坏的证据。一九八三年春季在荷兰地区发现了松树已遭到严重的损坏，该国东部广阔地区的松树和冷杉树正过早地失去针叶。法国和意大利也出现了被损坏的松树。有人认为民主德国大约12%的森林受到影响。罗马尼亚的专家们已注意到工业排放物损坏了这个国家六百三十万公顷森林的五万六千公顷。在瑞士的一些地区，据报道一九八三年内冷杉和云杉树分别有25%和10%都已死亡，更多的森林出现了受害

的征兆。多种估计也同样说明英国、奥地利和南斯拉夫的树木正受到大气污染的影响。

在一九八三年晚秋，树木损坏的早期征兆在北欧已开始显露。瑞典行将消失的湖泊首先引起了国际间对酸雨的注意，目前森林受害的现象也同样出现了。瑞典的政府和私人林务人员已报告说，主要在该国南部和西部地区也出现了类似于中欧森林衰退的症状。虽然还未得到官方对森林损坏的估计数字，但早期报告表明在某些地区30%的木材可能受到影响。据报道挪威南部的云杉也正显示出损坏的症状。苏联共产党报纸《真理报》最近揭露由于位于莫斯科东边1,300公里的陶里亚蒂汽车城的大气污染，造成广大地区的森林濒于死亡。据报道，伏尔加河流域的森林不久也可能变成荒地。

不能把对森林的这种大规模的破坏仅仅归咎于自然事件，科学家们已把注意力转向大气污染物——最近几十年中大大增加的外来压力。二氧化硫及其转变成的酸，位居一系列可疑污染物之首。调查联邦德国森林的科学家们发现，面朝西的山坡上的树木损坏较严重，这是因为它们易于受到更多的雨和雾的影响，从而或许易受到更多的酸沉积物作用的结果。靠近捷克斯洛伐克边界的巴伐利亚部分地区，患病的针叶树的针叶比那些健康树的针叶含更多的硫。在其他地区，受害的树木尚未显示出这种效应。此外，在酸碱土壤上和二氧化硫的大气浓度低的地区森林也正遭受损害。因此注意力越来越集中在气态氧化硫和氧化氮、

重金属和臭氧的混合效应上。随着明显地认识到不同的污染物和不同的机制可能是不同地区对森林损坏的关键因素，这一讨论正在逐步扩大。

虽然中欧森林遭受大量破坏，北美洲并不明显，但是那里的树木也受到大气污染的影响。美国阿巴拉契亚山脉东部和加利福尼亚内华达山脉森林损坏最为明显。野外和实验室的研究不仅证明了树木的患病和死亡，而且树木的生长率也在持续衰退。从弗吉尼亚和西弗吉尼亚的阿巴拉契亚山脉北连结到新英格兰的格林山脉和怀特山脉，红云杉正遭受严重损坏——树冠从外向里逐渐变稀。纽约、佛蒙特和新罕布什尔的高海拔森林即主要以云杉、胶冷杉和白桦成林的山峰上的森林损坏最为严重。由于这些高山森林的高降水率和针叶树拦截云水分的能力大，因此它们通常接收酸沉积物比低海拔森林要多三到四倍。另外，过去二十年间，这些森林的土壤已显出明显地增加了铅浓度，人们认为这几乎完全是来自大气的结果。

红云杉衰退的详细记录，是从佛蒙特州的格林山山脉的驼峰上研究中取得的。在那里，研究者们利用从一九六五年到一九七九年间的两个详细的树木目录发现，籽苗生成、树木密度和基础地面都已衰退大约一半。在一九七九年，驼峰上的云杉死了一半以上。一九八二年整个阿巴拉契亚山脉的调查使研究者们断定云杉正在各种各样森林的广阔地区上衰退。到目前为止，在新英格兰北部和加拿大的低海拔地区，还没有发现大批有商业价值的云杉树存在着这种

明显的衰退。从一九六五年以来，佛蒙特大学的植物学家休伯特·沃格尔曼鉴于驼峰上的树木大批衰退而发出警告说：“如果在仅仅几年内的这种损失对森林生产率的普遍减少是具有代表性的话，那么对木材工业的经济影响将是十分严重的。”

正如在中欧一样，酸沉积物与云杉的这种濒于死亡有关，尽管到目前为止证据仍然是间接的。对新泽西松树瘠地的三种松树的研究提供了到目前为止关于酸沉积物作用的最令人信服的证据。树木年轮的分析表明这些松树在过去二十五年中生长率急剧下降，从一百二十五年的树木年轮记录中看出，这种减少的现象，在别的地方并不明显。树木的生长率与附近小河里测到的酸度有密切关系，后者又是雨的酸度的一种很好标志。由于其他因素如旱灾、火灾、虫灾和臭氧显然不起作用，因此酸雨可能是损害树木的一个原因。研究人员断定，在树木生长的历史中没有其他事件“其影响如此广泛、持久而严重。”

尽管酸沉积物与树木损坏的关系还在讨论，但科学家们已确实证明了树木病害和死亡是由这种“光化学氧化剂”族的臭氧和其他污染物造成的。臭氧是由有阳光的情况下氧化氮和（主要由汽车发动机产生的）碳氢化合物起反应生成的。臭氧的形成常常与气候情况和地理位置密切相关；高浓度污染物加上向阳的条件是臭氧产生的一种很好的环境。

臭氧在加利福尼亚洛杉矶东部的圣贝那迪诺山已杀死

了几千株松树，而洛杉矶目前以黄褐色的光化学烟雾而臭名远扬。在本世纪中叶当发展中的城市地区产生的大气污染物由海风向东带出时，树木受害十分明显。在过去三十年间，由于污染变得十分严重，美国雄伟的黄松和耶氏松的损失明显地增加了。研究者们发现，这些高海拔的树木在六年间死了4—6%。该山脉的西部地区接受的污染物剂量较大，因此树木的损失也很大。此外，美国黄松核心部位的生长年轮表明，同一九一〇年到一九四〇年相比较，一九四一年到一九七一年每年径向增长减少了38%，这种减少是由于大气污染加重的结果。在接收到臭氧最大剂量的地区，三十年老松树的可销量下降了83%。研究者们从研究中得出结论“这种增长的减少，连同大气污染引起树木的死亡，就限制了圣贝纳迪诺山脉的木材生产。”

类似的森林损坏现象似乎也正在阿巴拉契亚山脉出现。现在估计在阿巴拉契亚和布卢里奇山脉南部往北到宾夕法尼亚和俄亥俄州的东部白松有4—5%濒于死亡。虽然在这里和圣贝纳迪诺山脉由于虫害再加上大气污染使森林遭受严重损坏，但是臭氧也是造成森林损坏的主要原因。除树木死亡之外，对阿巴拉契亚山松树的研究也表明松树的生长也存在显著减少的现象。

针叶变黄和过早的掉下，树冠变稀和最后树木的死亡都是森林受害的明显标志。对衰弱的树木年轮测定表明，在许多情况下，除这些明显征状外还伴随有树木生长的显著持续衰减。但是大气污染对森林影响的最令人不安的乃

是树木生长和生产率可能正在减少，而树木却根本没有显出病状。对阿巴拉契亚山脉生长的白松确证了这种“隐藏的损坏”之后，弗吉尼亚工学院和州立大学的研究家们得出结论“森林生长率的衰退，很可能是因为受到长期低水平的大气污染影响的结果，这种现象可能是在没被注意或未估计到的情况下发生的。”

中欧和美国个别地区的树木患病和死亡已经以一种惊人的速度扩展开来，而且到目前为止还没有显示出减缓的迹象。这种损害的最终严重性和程度是一个急迫的问题。当还没有显示受害迹象的森林仍然长期处在酸沉积物和高浓度污染物的影响下时，那么这种损害很可能蔓延开来。此外，如果树木生长衰退是在未被注意的情况下发生的，那末大气污染物很可能在悄悄地逐渐破坏广大温带森林地区的生产率。

探索污染的途径

虽然现在发生的森林损坏和生长衰退都牵涉到各种污染物，但是它们中的大多数都可归纳为在化石燃料燃烧和金属矿物冶炼时所发出的氧化硫和氧化氮。煤和石油含有硫和氮，当它们燃烧时就作为气态氧化物被释放进大气层。排出污染物的数量取决于这种燃料的含硫含氮量，至于氧化氮，则取决于燃烧温度和效率，例如，煤含硫量从少于1%变到多达6%。因此，燃烧一吨煤可能释放3-60

公斤硫。冶炼是一种将金属与其矿石分开的过程，当矿含有硫时，它也把大量的二氧化硫释放进大气层。普通的金属，如铜、镍、铅和锌，大都从含硫的矿石中冶炼出来。

在上世纪，化石燃料和冶炼的排放物已以空前的速度改变了大气的化学性质。现今大气层接收到来自人类活动地区的硫相当于它从海洋、沼泽地和火山天然地接收到的那样多——每年大约为七千五百万到一亿吨。这些排放物的大多数都是来自只占地球表面5%的人类活动地区，主要是欧洲、北美洲东部和东亚的工业地区。在这些地区，能量的燃烧和冶炼进入大气层的硫比自然界进入大气层的硫多4—19倍。例如一个冶炼厂——靠近加拿大安大略省萨德伯里的国际镍公司——每年排放出的硫比圣赫斯山最近最活动的火山爆发年时发射出的硫多两倍以上。氮化合物的排放物很难估计，但是来自许多工业地区的人类活动源的排放物也远远超过自然界源的排放物。在美国，有人认为人类活动地区的氧化氮在大气中占75—90%。

化石燃料发电厂、工业锅炉和有色金属冶炼厂，都是产生二氧化硫排放物的主要来源。这些排放源对总排放物的贡献在不同国家可能相差很大（见表二）。例如，在美国，发电厂占二氧化硫排放物的三分之二，而在联邦德国，发电厂占二氧化硫排放物一半以上。相反，加拿大发电厂只占二氧化硫排放物的6%，而十二个冶炼厂却排出几乎一半二氧化硫排放物。机动车辆排出硫化物很少，但其内燃机是工业国家中的最大氧化氮源。在美国、加拿大

和联邦德国，机动车大致占氧化氮总排放物的一半，而发电厂产生的氧化氮排放物只占总量的三分之一或少一些，而工业产生的氧化氮排放物大约占五分之一（见表三）。

表二 若干国家的二氧化硫排放物

	美国	加拿大 (百万吨/年)	联邦德国
排放物数量	24.1	4.77	3.54
排放物源		(百分率)	
发电厂	66	16	56
工业	22	32	28
冶炼厂	6	45	—
家庭 商业	3	4	13
运输	3	3	3
总计	100	100	100

表三 若干国家的氧化氮排放物

	美国	加拿大 (百万吨/年)	联邦德国
排放物数量	19.3	1.83	3.0
排放物源		(百分率)	
运输	44	61	45
发电厂	29	13	31
工业	22	20	19
家庭 商业	4	5	5
冶炼厂 其它	1	1	—
总计	100	100	100

化石燃料产生的污染大概能追溯一百多年前到工业革

命时期。房屋供暖和工厂燃料用煤产生了烟雾幕，持久地悬浮在欧洲和美国的许多城市上空。随着工厂和房屋数目的增加，这个问题就变得更加严重，于是许多城市开始控制城市烟雾。但是氧化硫和氧化氮的排放物，连同其他燃烧的污染，继续增加。一九五〇年许多国家转向燃烧高硫石油后，二氧化硫排放物开始在欧洲迅速增加。到一九七〇年，每年二氧化硫排放物已增加到五千万吨，是本世纪中叶水平的两倍半。同样，美国和加拿大的二氧化硫排放物在五十年代初到六十年代中期间增加了40%。

一九四八年美国宾夕法尼亚的多诺拉，一九五二年伦敦和六十年代初期纽约城的杀人剂污染事件把城市污染空气的危险事故带到民间。许多国家受到这些对人类威胁的刺激和对环境认识的深化，开始颁布了主要针对大气中二氧化硫及其粒子浓度的污染控制法。早期减少二氧化硫排放物的办法主要是用低硫化石燃料取代高硫化石燃料。到七十年代，有些国家开始要求新的工厂装配从大烟囱发射物中排除二氧化硫的设备。结果，六十年代中期北美洲二氧化硫排放物处于高峰状态，尔后美国就从此高峰下降14%，达到每年大约二千四百万吨。在加拿大，二氧化硫又恢复到五十年代中期水平，每年约为四百八十万吨。在欧洲二氧化硫排放物的水平也已稳定或略有下降，但其趋势各国不尽相同。

政府政策几乎根本没有注意氧化氮，没有把这种气体看作是对人类健康有着很大危害的污染物。这是因为二氧