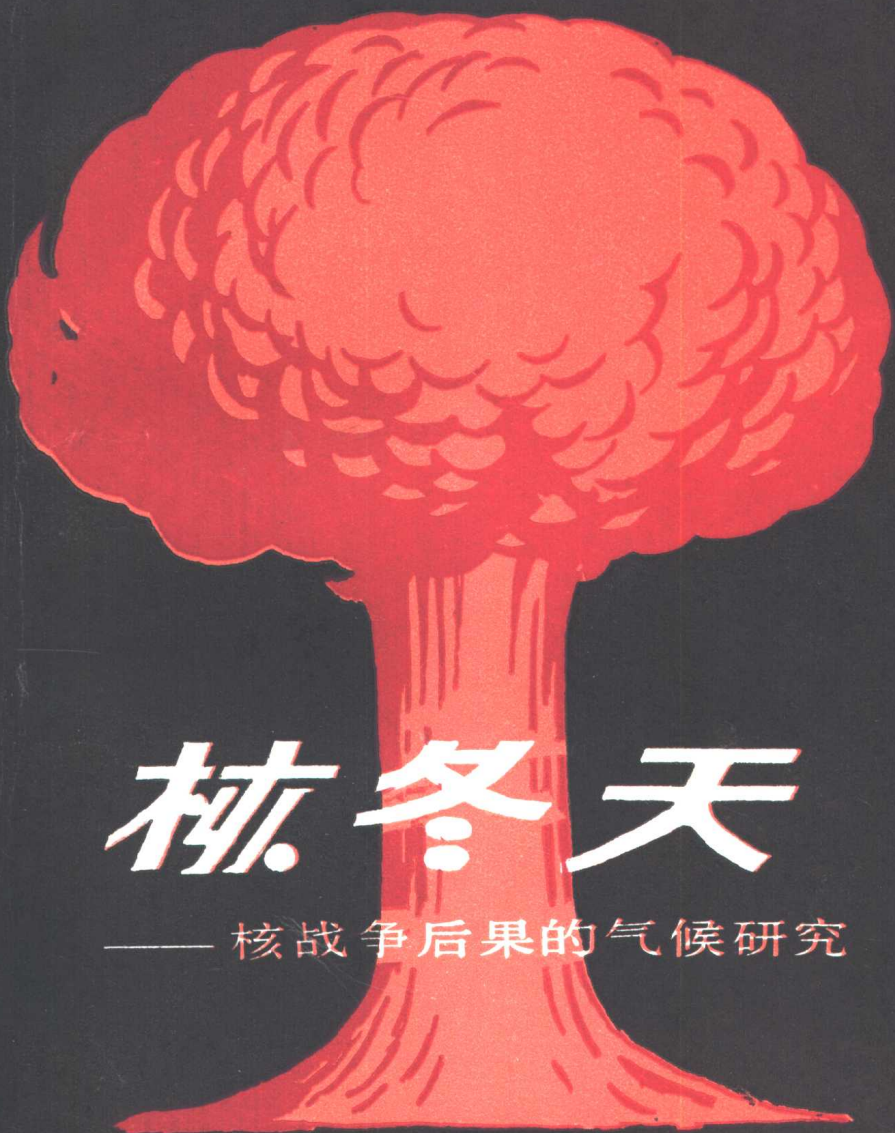




核冬天

——核战争后果的气候研究

· 气象科技情报研究所编 · 气象出版社 ·

核冬天

—核战争气候后果的研究述评

气象科技情报研究所编

气象出版社

内 容 简 介

“核冬天”是1982年以来，在研究万一发生热核战争时，核爆炸对天气气候影响的一个假说。一场热核战争引起的大范围燃烧与地面扬尘，飘浮在空中的大量烟尘阻挡了太阳照射，地面气温将急剧下降，全球将进入持久严冬。这灾难不仅降落在交战双方，还将涉及全世界。

“核冬天”假说一提出，立即引起世界各国的关注。两年多来，频繁召开各种国际会议，开展学术讨论。本文集在广泛总结了“核冬天”方面研究成果的基础上，撰写了综合评述，并译出几篇主要著作。

本文集可供关心这方面问题的读者对“核冬天”假说的主要研究结果、现状及存在的问题有一基本的概括的了解。

核 冬 天 ——核战争后果的气候研究 气象科技情报研究所编 * * * 气 象 出 版 社 出 版

(北京西郊白石桥路46号)

北京市彩虹印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

开本：787×1092 $1/32$ 印张：8.5 字数：145千字

1985年12月第1版 1985年12月第1次印刷

统一书号：13194—0285 印数：1—2,000

定 价：1.70元

前 言

“核冬天”是1982年以来新提出的关于核爆炸对天气气候影响的一个假说。与过去不同，它的新内容是：未来一场核战争将引起大面积的城市、森林等燃烧与地面扬尘，大量烟尘布满对流层大气并进入平流层大气，使天空变成幽暗，全球地面平均气温将下降到 -20°C 左右。由此，核战争不仅造成交战双方目标区内的巨大破坏，而且将严重地影响到全球气候，波及到全世界。

由于显然的政治影响，“核冬天”假说刚提出，立即引起了世界各国的注视，特别是美苏两国。两年多来，频繁地召开各种国际会议，开展学术讨论。我国科学家曾多次被邀请参加会议，我国对“核冬天”的态度和观点也受到各国的密切注视。

“核冬天”假说是有一定科学依据的。近十多年来，大气气溶胶的气候效应研究也是全球气候研究计划中一个重要课题。不少结果表明，历史上火山爆发喷出的烟尘，曾对全球平均气温的变化有一定影响。当然，“核冬天”是一个复杂的科学问题，目前的假说中，在核爆炸烟尘的物理化学特性的假定方面还有不少不确定性因素。更重要的是，核爆炸烟尘在大气中形成、输送和消除的过程，涉及到从中小尺度、次天气尺度、天气尺度直到大气环流的多尺度大气过程的综合效应。绝非仅用一个大气环流模式所能模拟的。尽管如此，“核冬天”研究的现有结果表明，大气气溶胶粒子的

·辐射效应对天气气候的影响是一个值得重视的问题。

本文集在广泛总结了近两年多来“核冬天”方面的重要文献资料的基础上，撰写了综合评述，并对几篇主要著作，翻译了全文及部分章节。这些材料将有助于读者全面了解“核冬天”研究方面的主要结果、现状与问题。

目前，“核冬天”方面的学术活动主要由国际科联(ICSU)环境问题科学委员会(SCOPE)所主持，其主要活动内容都刊载在“SCOPE ENUWAR Newsletter”上。1986年下届国际科联全体大会上还将对“核冬天”问题作出结论性报告。关于更详细的内容读者还可参阅1984年由康奈尔大学M.A. Harwell教授所著“Nuclear Winter”，以及1985年，美国科学院组织了18位专家编写的专著：“The Effects on the Atmosphere of a Major Nuclear Exchange”。

国家气象局气象科学研究院
院长 周秀骥 1985年6月

核 冬 天

目 录

前 言

- 一、国外有关核战争对大气影响研究述评…………… (1)
- 二、大规模核战争可能引起的气候影响…………… (38)
- 三、多次核爆炸的全球影响——核冬天…………… (60)
- 四、核战争的气候影响…………… (82)
- 五、采用三维模式模拟核战争对全球气候的影响… (103)
- 六、核战争对大气的影响及其相互作用…………… (124)
- 七、核战争和某些类似的自然现象可能引起的气候
 后果…………… (168)
- 八、有关核爆炸对大气成分和气候影响研究的带注
 释的参考资料…………… (180)

国外有关核战争对大气 影响研究述评

殷显曦 忻贤华

引 言

自从本世纪四十年代中期第一颗原子弹在日本广岛爆炸之后，关于核爆炸对大气成分和气候影响问题引起了科学家们的关注。但当时对于空气和水是否会受到核爆炸的影响这一众所关心的问题，一些非常有名的核物理学家多是持否定态度。在后来的几十年中，研制了威力更大的核装置，一颗百万吨级爆炸当量的氢弹约能释放 5×10^{16} 焦耳的能量，这至少相当于第一颗原子弹的1,000倍。大量的核试验提供了一些关于核爆炸后大气物理过程的资料，一些科学刊物讨论了单颗核爆炸对大气影响的纯技术问题。但是，许多气象学家仍不相信，孤立的核爆炸对天气影响的时效会超过几个小时，并且认为这种影响只限于局部地区及特殊的气象条件之下。因此，人们一般认为，核战争爆发后主要是在交战双方目标区内造成大量伤亡和经济损失，未介入战争的国家则不会受到伤害。但最近几年来这种看法有了很大改变。1980年瑞典皇家科学院的环境科学杂志《Ambio》编辑部开展关于核战争对人和生态影响的征文活动。1982年西德的 Crutzen和Birke 在该杂志上发表了题为“核战争后的大

气：中午的黄昏”的文章^[1]。他们根据数值模拟结果指出：由多颗核爆炸所造成的大火形成的热物质，以及爆炸点周围地区由汽化的土壤所形成的气溶胶将从源地向四周充分扩散，并将在几周或更长的时间内使空气的混浊度加大，对北半球大部地区到达地面的太阳辐射都有显著影响，从而引起气候变化。此后，美国的 TTAPS 研究组*（1983^[2]，1984^[3]）及苏联的 Aleksandrov 和 Stenchikov（1983^[4]）等相继发表了他们关于核战争的气候影响的数值模拟结果。他们的共同结论是大规模的核战争将引起严重的全球天气和气候变化。简单说，地面核爆炸会使大量尘埃进入大气层，空中核爆炸能使大量烟雾进入大气。在核战争后，进入大气层的太阳辐射的大部分将在高空为核尘埃和烟所吸收，从而使高层大气升温，而到达地面的太阳辐射则显著衰减，天空变得幽暗，地面辐射平衡遭到破坏，即地面放射的长波辐射大于到达地面的太阳辐射，从而使地面温度迅速下降，甚至低达零下20—25℃。人们把这种由核战争引起的地面强烈降温现象称作“核冬天”（Nuclear Winter）。

这些数值模拟结果的发表，进一步引起人们对核战争气候影响的关注。尽管对于“核冬天”的真实性目前还存在争议，有待进一步研究，但它已引起许多国家科学家们的重视。1983年5月世界气象组织第九次大会审议了“核武器的应用对地球大气和气候的可能影响”这一问题，指出世界气象组织应该对此作出评价。而且认为世界气候计划中的某些

* TTAPS 研究组由美国不同学科的5位科学家组成，他们是：R. P. Turco, O. B. Toon, T. P. Ackerman, J. B. Pollack 及 C. Sagan。TTAPS 是他们5人姓氏的字头缩写。

研究和解决这类困难问题有关，当联合国的有关机构提出咨询时，世界气象组织将就其职能之内的有关科学问题作出回答。同时，国际科学联盟理事会（ICSU）的环境问题特别委员会（SCOPE）已开始进行关于核战争对环境影响的国际评价工作，并在伦敦英国皇家学会召开了工作组会议，草拟了“核战争的环境后果研究计划”（ENUWAR）。1983年10月31日美苏两国的科学家各自在华盛顿和莫斯科利用通信卫星首次召开了“核战争以后的世界”电视讨论会。同年11月在美国旧金山及瑞典皇家科学院分别召开了关于核爆炸的地球物理和地球化学后果的专题讨论会，及关于“核冬天”的研讨会。这些学术会议报告了一些已有的研究成果并准备在已有资料的基础上作进一步研究。1984年8月，美国的《科学》杂志及英国的《自然》杂志先后发表了一些关于“核冬天”的不同观点的评论文章。同年11月，国际科联和世界基督教争取和平联合会在意大利召开了关于核战争后果及其防止的学术讨论会，我国陶诗言同志参加了这次会议。1985年2月，国际科联又在日本东京召开关于核战争后果的学术讨论会，我国周秀骥同志参加了这次会议。在这两次学术会议中，许多国家尤其是美苏两国的科学家报告了他们的研究成果，日本科学家则着重提出了他们关于广岛和长崎经受核爆炸后的惨重后果的教训。根据国际科联的计划，1985年3月和10月，还将在澳大利亚和美国的华盛顿再次召开研讨会，提出关于“核冬天”的最后报告，并将于1986年国际科联的下届全体大会上对“核冬天”的实际意义作出较肯定的判断。

由上述可见，关于“核冬天”的研究已成为当前国际科

学界所关心的问题。本文将简介近年来关于核战争对大气影响方面的研究结果，并提出一些粗浅看法。

一、核爆炸对大气影响的研究概况

在本世纪五十年代和六十年代，关于核爆炸对大气影响的研究侧重于单颗核爆炸所释放能量的影响、原子云的发展和消散及放射性物质的扩散等过程，例如Holzman (1951)、Martin (1954)、Mason (1955)、Arakawa和Tsutumi(1956)、Bojkov (1957) 及 Machta (1963) 等。此外也有一些工作涉及核爆炸对大气电导率的影响^[5]。七十年代开始研究核爆炸对大气臭氧层的影响。由试验可知，当空气加热到约2300K时，氮分子将分解并且作为一种平衡成分将产生大量的氮氧化物(NO)。通过 NO 和 NO_2 ，臭氧(O_3)和氧原子(O)可能催化转换为分子氧(O_2)。因此，在因核爆炸造成的火球中或其周围出现的空气剧烈加热将产生大量的 NO_x ，它在迅速冷却之后变稳定，并在以后的几天或几周中大量破坏平流层的臭氧，从而使到达地面的紫外线显著增加，这将会影响人类的健康，对动物和植物都会产生不利的影响。一般认为，每个百万吨级爆炸当量的核爆炸会产生5000吨 NO_x 。根据Glasstone和Dolan(1977)研究，由一个百万吨级爆炸所造成的火球云在前几分钟内以超过100米/秒的速度上升，在6分钟内达到20公里的高度。根据Chang和Wuebbles(1984)的研究，臭氧变化的物理过程可分作4个阶段：从核爆炸产生 NO ，平流层中核云稳定化，由于 NO_x 的催化作用破坏臭氧，以及 NO_x 的弥散和消除。Hampson (1974)最早研究了多颗核爆炸对臭氧层可能造成的破坏，此后，MacCracken和

Chang (1975) 及 Whitten 等 (1975) 的报告断定, 10,000 百万吨级的核交战会使北半球平流层的臭氧含量在长达数年之久都处于严重减少 (约 25%) 的状态。而 Chang 和 Wuebbles (1984) 估计, 假设核战争的级别为 10,606 百万吨, 则北半球臭氧峰值的减小约为 51%, 最大的臭氧损耗出现在约 6 个月内, 5 年后臭氧损耗小于 10%, 然后恢复原状。应指出的是, 在上述这些计算中还未考虑化学、辐射和动力学过程之间的耦合作用, 因而这些结论具有一定的不确切性。此外, 为确定大气中臭氧含量的变化趋势, 有些工作研究了七十年代整个大气柱中臭氧含量的测量结果。例如 Reinsel (1981) 等通过对资料的时间序列的统计分析后断定, 在北半球因核试验所造成的臭氧减少的最大值约为 2—4%。

进入八十年代以来, 西德的 Crutzen 和 Birks (1982) 提出了一个新的概念, 他们认为, 一场全面的核战争引起的森林大火所产生的烟, 足以长达数星期或更久地切断北半球大部地区的太阳光; 由其他一些物质如煤气、石油和城市大火所产生的烟对辐射的影响也是极其重要的, 其效果可以引起大面积地区的地面急剧降温。他们的文章和论点在世界有关科学界中引起了震动, 使人们认真地意识到一场大规模的核战争所造成的气候影响远比过去认为的要严重得多。此后, 美国的 TTAPS 研究组 (1983, 1984) 利用一维全球辐射-对流模式 (RCM) 进行了更为全面的研究。他们进一步研究了由半球尺度的烟云引起的大气和地面温度的显著变化, 确认了 Crutzen 和 Birks 关于气溶胶的气候效应的重要性这一基本观点, 并利用气溶胶模式模拟了由各类核战争产生的气溶胶的演变及其影响。他们指出, 在多颗核弹爆炸之后, 大陆

中部地区的地面温度会在几个月内下降几十度，而海洋表面温度的降低值不超过 3°C 。值得指出的是，TTAPS 对大陆和海洋表面降温的模拟是通过假设不同的地面热容量进行分别计算的结果。他们所采用的一维辐射-对流模式基本上是求水平变化的平均值，并将一些象温度和气溶胶浓度等物理量看作只是高度的函数。这样的模式只是提供了全球平均的气候状况，没有考虑区域性或季节变化，对起源于某一地区的扰动如何通过大气的相互作用再对其他地区产生影响也无法解决。但尽管如此，TTAPS (1983, 1984) 的研究仍不失为一项有代表性的工作。

通过对不同的但可比较的大气烟注入量，利用较高维的模式进行计算，从而扩展了 TTAPS (1983) 的结论。MacCracken (1983)[6] 报告了从一维辐射-对流模式及两维（纬度/高度）统计-动力模式得到的结果。一维模式的结果是陆面约降温 30°C ，这和 TTAPS (1983) 的结果非常一致；而两维模式的结果是在烟层下的陆地区域降温约 15°C 。Covey (1984) 等通过具有固定海面温度的三维模式，说明在核战争后冬季、春季和夏季的大气环流发生了区域和全球性的变化[7]。他们假定光学厚度为 3 的情况若维持 1—3 周，则无论在那个季节，核战争将会使对流层中部发生强烈的辐射加热，地面会显著冷却（约 30°C ）。他们认为，由气溶胶引起的大气辐射加热所造成的环流变化，可使气溶胶的传播远超过开始形成烟的高度和纬度带。近来，美苏科学家 S. L. Thompson、V. V. Aleksandrov、G. L. Stenchikov、S. H. Schneider、C. Covey 及 R. M. Chervin (1984) 在瑞典 Ambio 杂志上联合发表了“用三维模式模拟核战争的全球气候影响”一

文[8]，介绍了美国用国家大气研究中心（NCAR）的9层全球大气环流模式（GCM）及苏联用科学院计算中心的2层全球大气环流模式（CCAS）模拟核战争气候影响的研究结果，它们和TTAPS（1983）的结论基本一致。S. L. Thompson 等断定，“如果由核战争引起的烟和尘埃大量地存在于数公里高度内的大气中，有些地区的陆地温度将剧烈下降，中层大气温度将升高，并将引起大气环流的严重变化”。这就意味着北半球大部地区将处于冻结温度之下，这种严寒甚至会扩展至南半球。

1983年初，美国国防部要求国家研究理事会（NRC）对核爆炸的大气效应作出评价。为此，国家研究理事会成立了由有关学科专家组成的核爆炸大气效应委员会，在已有工作的基础上对核战争的气候影响进一步作了较系统的研究。最近（1985年初），美国科学院出版社出版了该委员会的最后报告——《大规模核战争对大气的影响》一书[9]。此书根据迄今最详细和最广泛的科学证据，考虑了尘埃、烟和化学物质的气候后果，研究了核战争对全球大气的长期影响，提出了结论性的意见，并就今后的研究提出了建议。从此书的内容看，无疑它已成为当前关于核战争对气候影响的一部专著，对于今后这方面的研究具有一定的参考价值。

综上所述，自从五十年代以来，关于核爆炸或核战争对大气或气候的影响研究是逐步深入的。尤其是八十年代以来随着气候模拟研究的发展，使核战争的大气影响的研究达到了一个新的水平。但应指出的是，在这些模拟研究中所采取的假设具有一定的不确切性，并且烟尘分布也不相同，因而对这些模拟研究难于进行确切的比较。目前，这方面的研究

也仍处在继续深入的过程中。

二、核战争的可能规模与核气溶胶

近30年来，尽管美苏都在谈论限制战略核武器及进行裁军谈判，但它们从未间断核爆炸试验。世界核武库的数量与爆炸当量均在不断发展，从全世界的核武库看，目前美苏两国共有近50,000个核弹头，其中用于摧毁主要军事目标的战略核弹头约17,000个，用于起威胁作用的战术核弹头约30,000个。在美国大陆约有1000多个导弹发射井，为此，苏联对准美国每个发射井的核弹头至少有两颗；同时，苏联拥有约1,400个导弹发射井，而美国也有相应的核弹头瞄准这些发射井^[3]。美苏两国核武器的总爆炸当量达 1.5×10^{16} 吨 TNT，因此，一旦爆发核战争，爆炸的威力和影响后果是可想而知的。在关于核爆炸后果的研究中，过去多是根据一般核试验资料，限于单颗核爆炸的影响；近几年来为探索核战争的影响，已开始进行多颗核爆炸后果的研究。在这些研究中，一般是根据美苏两国的核实力，设想和预测可能发生的核战争规模。例如美国TTAPS研究组的设想规模如表1^[3]所示。

表中所列各种类型的核战争，除最下一行的未来核战争外，均处于两个超级大国的核实力范围之内。在TTAPS的研究中，所设想核战争的规模为100—25,000百万吨爆炸当量，而以5,000百万吨作为基本型核战争*。

地面或近地面核爆炸会使大量细微的尘埃粒子进入空中，例如TTAPS基本型核战争注入大气的尘埃量可达

* 但美国国家研究理事会(NRC)所采取的基本型核战争的总爆炸当量为6,500百万吨^[3]。

表 1 核战争规范模式分类

假想的不同规模的核战争	总爆炸当量 (百万吨)	地面爆炸占总量百分数 (%)	城市或工业目标占总量百分数 (%)	每个核弹头的爆炸当量 (百万吨)	爆炸弹头的总数 (百万吨)	拦截弹头的数量 (百万吨)	尘埃颗粒的厚度 (百万吨)
1. 基本型核战争	5,000	57	20	.1—10	10,400	225	65
2. 低当量空中爆炸	5,000	10	33	.1—1	22,500	300	15
3. 全面核战争	10,000	63	15	.1—10	10,160	300	130
4. 中规模核战争	3,000	50	25	.3—5	5,433	175	40
5. 有限程度核战争	1,000	50	25	.2—1	2,250	50	10
6. 对一般军事目标的核攻击	3,000	70	0	1—10	2,150	0	55
7. 对“硬”军事目标的核攻击	5,000	100	0	5—10	700	0	650
8. 对城市的核攻击	100	0	100	.1	1,000	150	0
9. 未来的核战争	25,000	72	10	.1—10	28,300	400	325

9.6×10^8 吨，其中 80% 可注入平流层。由核火球发出的强烈光辐射足以点燃相当大范围内的一切可燃物质，从而使大量的烟进入空中，例如基本型核战争注入大气的烟量可达 2.25×10^8 吨，其中 5% 进入平流层。这些大量的尘埃和烟形成核气溶胶悬浮于空中，形成核云——尘埃云和烟云，从而严重地影响大气的光学特性。表 1 右面 4 栏是各类核战争所产生的烟灰云和尘埃云中的次微米 (Submicrometer) 粒子数量及其对大气透明度的影响情况。

气溶胶云对辐射的影响主要取决于气溶胶粒子的大小、气溶胶的浓度和复折射率以及它在空中的滞留时间。气溶胶云影响地球辐射平衡的主要方式是吸收或散射太阳辐射、反射太阳辐射以及吸收或放射红外辐射。而衡量气溶胶对大气影响的基本指标是气溶胶的“光学厚度”或不透明度（光学

厚度 $\tau = -\ln \frac{I}{I_0}$ ， I_0 为透过气溶胶层之前的太阳辐射强度，

I 为透过气溶胶层之后的太阳辐射强度， $\ln$ 表自然对数）。

由于辐射的衰减取决于吸收和散射，故光学厚度又可分作吸收光学厚度、散射光学厚度及衰减（吸收加散射）光学厚度，一般常用的光学厚度指的是衰减光学厚度。显然，气溶胶层对太阳辐射的消弱能力愈强，则光学厚度愈大。由表 1 可见，各种类型核战争形成的核气溶胶云的光学厚度一般在 0.1—6 之间。

大家都知道，大气中的水汽和二氧化碳对太阳辐射基本上是透明的，而对地面放射的红外辐射则具有强烈的吸收作用。因此，对地球来说，大气具有一种保温作用常称为温室效应 (Greenhouse effect)，又称之为花房效应。但是，如果

大气中的气溶胶粒子的平均直径小于标准红外波长（约10微米），则这种气溶胶的红外不透明度小于其可见光不透明度，即阻挡太阳辐射而使地面的红外辐射易于散逸到宇宙空间，从而产生一种“反温室效应”（anti-greenhouse effect）——使高层大气变热而使地面变冷^[3]。根据在核试验过程中收集到的核云中的尘埃和烟的样品分析说明，有相当数量的尘埃粒子的尺度为次微米；在核大火产生的烟中，约有90%以上的烟粒子其直径小于1微米。由表1也可看出，由各类核战争注入大气中的次微米烟和尘埃粒子的数量是相当大的。由此可见，核气溶胶将会对地球产生明显的反温室效应，这也正是出现“核冬天”的最基本的物理机制。

气溶胶层对可见光和红外辐射的影响还取决于气溶胶的浓度。到达地面的太阳辐射强度随大气中吸收性强的细微粒子的数量而按指数律减小，但到达地面的红外辐射主要取决于大气温度而不是气溶胶的数量，因此当大气中存在大量气溶胶时，它造成的主要气候影响是使地面急剧地变冷^[3]。此外，气溶胶对气候的影响还决定于它在大气中滞留时间的长短。一个大的光学厚度维持的时间愈长，它所造成的气候影响也愈深远。气溶胶粒子从大气中清除的过程一般包括因重力作用而下落、被一些物体表面所粘附以及被云水、雨和雪所冲刷。对于“湿”清除而言，气溶胶粒子的生命期取决于云形成的频率和不同高度的降水。在正常大气中，几公里高度以内的气溶胶粒子有时可在几天内被冲刷掉。在对流层高层（5公里以上）粒子的平均生命期增加到几个星期或更长。在平流层（12公里以上）很少形成云，所以小粒子的生命期一般可达一年或更长。由此可见，核战争将会造成较长