

核战争的气候效应

曹鸿兴 刘四臣

(中国气象科学研究院, 北京, 100081)

提 要

本文综述了发生核战争时的气候效应, 尤其是全球规模核战争造成的“核冬天”——大幅度降温、大范围干旱和光照不足导致农业、生态的灾难性后果。文中着重论述了数值模拟的结果。此外, 对科威特油田大火——“小核冬天”的模拟研究也作了介绍。

关键词: 气候影响; 核冬天; 数值模拟。

一、引 言

1982年发表了Crutzen和Birks的文章^[1], 揭开了“核冬天”研究的序幕。以后美国 and 苏联的科学家各自并联合就核战争对全球的气候影响进行了研究^[2, 3]。1988年联合国提出了一个报告, 指出大规模核战争将给人类带来灾难性后果; 估计全球性的核大战将造成约40亿人的死亡, 其中10亿为直接杀伤, 30亿为由“核冬天”而使人冻死、饿死和瘟疫而死亡; 报告呼吁各国政府共同努力, 防止核大战。至此, “核冬天”研究达到高潮, 以后并继续有这方面的深入研究。

1991年海湾战争和科威特油田大火, 激起了人们再次重视“核冬天”的科学预测^[4, 5]。因为它现实地演出了“核冬天”假设中的各幕, 尽管其在规模上是局地性的。

二、“核冬天”的物理成因

大规模核战争引起大范围的燃烧爆炸, 大城市中贮存的煤、石油以及建筑物等会燃烧, 在乡村, 庄稼、草地、森林都会燃烧, 其结果是大量烟尘注入大气层, 使大气成分在数周内发生巨大变化。核爆炸通过以下一些机制产生核烟尘: (1)核大火产生的烟云; (2)喷发和粉碎土壤粒子; (3)使土壤和石块汽化, 然后重新凝聚成细核, (4)吹起地面尘埃和燃烧留下的烟粒。根据对烟尘样品大小的测试分析表明, 核爆炸后所产生的烟尘粒子的尺度为次微米, 在核大火产生的烟中有90%以上粒子的直径小于 $1\mu\text{m}$, 有5%的烟粒可进入平流层。核爆炸引起的尘埃中有相当一部分粒子的直径小于 $1\mu\text{m}$, 在这些粒子中约有二分之一会进入平流层。这些烟尘粒子会在高空停留数月。由于大量核烟尘粒子形成的气溶胶会悬浮于空中, 阻挡太阳辐射到达地面而使红外辐射容易发散到太空, 因此, 地面辐射平衡遭到破坏, 这样, 到达地面的太阳辐射通量就不能与地表面放射出来的长波辐达到平衡, 必将导致高层大气升温, 地面温度迅速下降乃至到达冰点以

1991年10月16日收到, 1992年4月27日收到修改稿。

下,即核气溶胶对大气产生显著的反温室效应。这就是“核冬天”形成的基本物理机制。

核气溶胶对气候影响持续的时间取决于它在空气中停留的时间。一般来说气溶胶粒子从大气中清除的过程主要是重力下降、物体表面粘附以及云雨的冲刷作用。正常大气中在对流层中下层几公里高度以下由于云雨发生气溶胶粒子有时可在几天内被冲刷掉,而在对流层中上层的气溶胶粒子可滞留几周或更长时间。在平流层(12km 以上)很少有云形成,所以核烟尘粒子生命期可达一年或更长。对流层的烟尘层会使地面温度短期内突然降低,而平流层的细颗粒尘埃则会使地面降温持续一年或更长时间,从而引起长期气候效应。

另一方面,当地面温度下降到冰点以后,陆地表面的水将冻结成冰,这时,气候系统中为大家所熟知的“温度—冰—反照率”正反馈机制的起作用,从而大大加深了核战争的气候效应^[6]。

三、气候效应的数值模拟

至今,国内外科学家采用不同的模式对核战争的气候影响进行了许多模拟研究,其中有 TTAPS 的核战争分类模式、粒子微物理模式和—维辐射对流模式^[7]、能量平衡模式^[7]以及大气环流模式(GCM),在 GCM 中有美国国家大气研究中心(NCAR)、苏联科学院计算中心(CCAS)、英国气象局(UKMO)^[8]和美国俄勒冈大学(OSU)^[9]的三维模式。现将模拟结果综合如下:

1. 下垫面降温

各种模拟研究都证实,由于核气溶胶的反温室效应必将引起下垫面温度下降,不同模式的物理过程繁简和假设不一,其结果仅表现为降温幅度的差异。各类核战所引起的最低陆地温度大约出现在核爆后的 3—4 周内,对于基本型核战争,即相当于 5000MT (百万吨)爆炸量的战争,大约在 3 周以后陆地温度可降至 -23°C ,冰点以下的气温可持续数月之久。海洋上,由于其热惯性大,降温持续时间长,但降温幅度一般小于 3°C 。由于季节和使用模式的差异,降温持续时间和幅度也有所不同。图 1 是一维能量平衡模式对全球下垫面降温的模拟结果^[7],图中曲线表明,降温明显地与季节有关,夏季降温最严重,春秋次之,冬季最小;陆地下垫面降温大,降温迅速,但持续时间短。海洋下垫面降温小且缓慢,但持续时间长。

地面温度的迅速下降将带来长期的气候影响,这种影响来自下垫面光学性质分布的变化,这些变化会引起反照率、热惯性和蒸发能力的改变。Robock (1984)曾用能量平衡模式对这种影响进行评估,结果表明,北半球中高纬度降温的回升要长达几年才恢复到正常情况,这主要因海冰面积增加改变了海洋的热惯性。由核烟尘污染了的脏雪在中低纬对降温影响不大,但在高纬盛夏时影响显著。Mitchell 和 Slingo 研究了土壤深层热通量对降温的影响^[10],它可减少地面降温约 20%。但大气层结稳定性的效应相反且量级相当,故两种物理因子的温度效应恰好抵消。

2. 高层大气升温

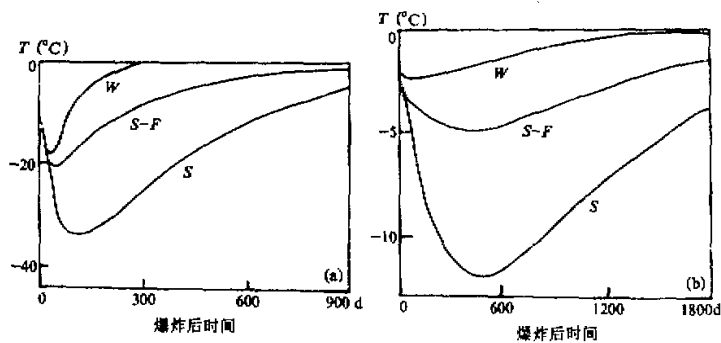


图1 核爆炸后全球平均降温变化
S: 夏季, S-F: 春秋季, W: 冬季. (a) 陆地, (b) 海洋.

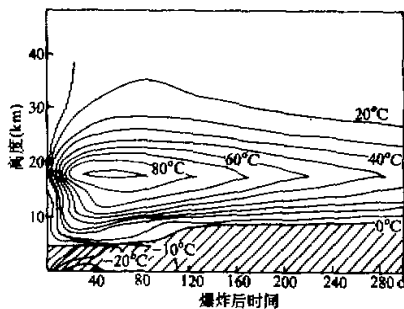


图2 基本型核战争后北半球对流层和平流层的温度变化(°C)
阴影区为降温区

大降温的出现时间.

由于大气中的核气溶胶强烈地吸收太阳短波辐射, 将使气温升高. 图2是TTAPS 模拟得出的基本型核战争引起的垂直温度分布随时间的变化^[3], 由图可见, 核烟尘对气温的影响使对流层高层温度明显升高, 增温 80 °C、对流层低层温度明显下降. 高空升温主要是由于那里的烟尘强烈地吸收太阳辐射, 高层大气热容量小, 初始温度较低, 红外放射小, 散失热量少, 故造成大幅度增温. 由于位于对流层高层和平流层的烟尘粒子可滞留较长时间, 所以增温可持续数月甚至一年. 表1给出了几种不同模式对高空升温的模拟结果^[10], 由表可见, 高空增温可增加数十度, 出现在对流层高层或平流层, 高空最高增温出现时间落后于地面最

表1 高层温度的变化

个 例	区 域	季 节	最大升温 (°C)	最大值时间 (d)	最大值高度 (km)
NRC *基本型	30—70 °N	年 平 均	+85	43	11
NRC 半球基本型	0—90 °N	年 平 均	+65	47	11
NRC 快速半球 降水清除	0—90 °N	年 平 均	+35	30	11
TTAPS 基本型	0—90 °N	年 平 均	+95	55	17

* 美国国家科学理事会

3. 地面太阳辐射通量减少

核大战后地面太阳辐射通量都将急剧减少. 对于基本型核战争, 核战开始后两周或

更长时间内,半球平均的地面太阳辐射通量小于正常值的 10%,这时的平均亮度低于阴沉天气的亮度。对于严重型核战(10000MT)可使北半球约有 40 天的平均亮度低于光合作用所需光照的最低值,大约在两个月内平均亮度低于只够维持植物新陈代谢光合作用的亮度。

4. 大气环流异常

NCAR 和 CCAS 都对北半球发生核战争以后数周内的经向环流做了模拟^[3, 10], CCAS 的结果是,热带地区的 Hadley 环流会演变成一个单独的强单体,这意味着核爆炸后全球风系发生了深刻变化,这是由于核烟尘吸收太阳辐射被强烈加热,在北半球副热带出现强上升运动所致。NCAR 利用其大气环流模式对核战争的环流影响按不同季节进行了更细致的模拟,4 月份(春季)的结果与 CCAS 的年平均情况类似,核战后 16—20 天,双圈环流已变成巨大的单圈环流,赤道侧的烟尘边界处为上升运动,环流单体上部平均经向风速可达 2—4m/s,在 30°S 出现强下沉运动,但对 1 月份的模拟结果则不太相同,NCAR 模式模拟出的未受影响的 1 月份经圈环流为一强北半球单体,赤道地区上升,北半球副热带下沉,受烟尘影响后,北半球单体大为减弱,这可能是由于 1 月份 30°N 以北太阳辐射较弱对环流影响较小。

5. 干旱的出现

大规模核战争后大气环流和热力结构都发生了巨大变化,降水必然要受到严重影响。由于高层大气升温,大气静力稳定度显著增加,气温升高后相对湿度下降,从而抑制了对流发展,至少在大陆上是如此。由于下垫面降温较大,将使水汽蒸发显著减少,静力稳定度的增加不利于水汽向上输送,从而抑制了对流和云的形成,随之降水将显著减少。核战争后海陆热力差异显著增强,将导致类似于冬季风的盛行风出现,使大陆出现长时间大范围干旱。海洋上的情况虽有所缓和,但对流也可能只限于边界层,因高层为大气增温所抑制。

四、农业、生态效应

“核冬天”可使地面温度持续数月低于冻结温度,光照低、高剂量有毒污染物以及臭氧耗竭使紫外辐射入侵地面,将会对生物圈产生严重破坏^[11]。由于各种动植物和微生物约有 2/3 生存在南北纬 25 度以内,若出现突然降温,这些生物将面临绝种的危险。在生长季节温度降低 1—5℃ 就会使农业产量显著下降^[12],核战后第一个生长季节的农业生产将遭到彻底摧毁,其恢复需要很长时间。低温、光照弱对生态系统的影响更是致命性的。由于生态系统是一个相互依存、相互竞争的系统,一旦食物链中断,就会导致另一生物的大批死亡。

五、对我国的影响

运用 Ghan 等的数值试验结果^[9, 13],我们就核冬天对我国的影响进行了研究^[14, 15]。

核战后, 全国月平均气温均为降温, 其中以当年 7 月降温最显著, 局部地区也有升温的, 尽管这主要应归结于模式缺陷, 但也说明了核战对温度影响的不均匀性, 作为示例, 图 3 给出了在 50Tg ($1\text{Tg} = 10^{12}\text{g}$) 烟注入时 7 月温差 (模拟值减去控制试验值) 分布, 降温在

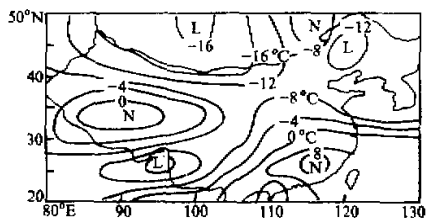


图 3 基本型核战争时我国 7 月温度的变化

单位: $^{\circ}\text{C}$; L, 冷; N, 暖

我国北方大, 南方小, 高原降温小, 沿海小, 我国东南部有颇大的增温区, 150Tg (相当于基本型核战争) 烟注入时温度变化型大体上与 50Tg (相当于有限程度核战争) 的类似, 只是降温幅度更大。

受核战影响, 我国降水趋于减少但分布不均, 150Tg 时全国平均 7 月减少 1.8mm/d. 与降温合在一起, 核战后, 我国总体上将出现干冷天气, 在 50Tg 烟注入时, 以淮河—秦岭—巴颜喀拉山为界, 该界以南为降水增加区, 以北为减少区, 最大减少区在华北, 最大增加区在长江中下游, 在 150Tg 烟注入时, 该界线向南移到了长江—唐古拉山一线, 但降水量增减情况几乎与 50Tg 时相同, 无论降水增加区、还是减少区均在我国东部地区, 即在我国发展水平较高的地区, 降水变化无论增减都将给农业、水资源、生态、社会—经济带来巨大冲击。

六、科威特油井大火——“小核冬天”

1991 年 1 月海湾战争爆发, 2 月当伊拉克军队撤退时点燃了 732 口油井, 油井每天燃去 $8.4 \times 10^4\text{t}$ 石油, 相当于科威特战前石油产量的 4 倍, 油井燃烧了约 10 个月, 燃烧期间, 科威特上空浓烟滚滚, 阳光屏蔽, 黑烟区宽 100km, 长数百公里, 连下游方向的伊朗也覆盖在内, 喜马拉雅山上也发现了向东随气流扩散的烟粒, 估计注入大气的烟尘量相当于有限程度核战争的 1/20 — 1/50, 所以, 可以把科威特油井大火称为一次“小核冬天”。

Browning 等先用烟云上升的模式研究烟云的初始状况^[4], 然后用 UKMO 的中尺度天气预报模式来估算几百公里范围内的烟云和白天地面降温; 对几千公里范围内的烟云用 UKMO 的长距离扩散模式来模拟, 在用欧洲中期预报中心的轨迹分析法获得大尺度烟尘分布后, 再用 UKMO 大气环流模式积分 5 个月, 以确定大火对亚洲季风的影响, 模拟所得结果为, 油井大火所生烟尘通常限在对流层 4—5km 以内, 在不稳定层结条件下个别可达 8km 以上, 在烟尘遮日的影响下, 科威特周围 200km 以内白天气温下降 10°C , 从局地效应来看与有限程度核战争的冬季降温处于同一量级, 5 个月的积分表明, 对流层—地表系统出现净加热, 导致亚洲季风略有加强, 季风雨也稍有增加, 但不超过季风的自然变率, 只是对印度的农作物仍有一定影响^[16]。

Bakan 等用汉堡全球海气耦合模式来研究科威特油井大火的影响, 烟尘水平分布由一个示踪模式得到, 并用基于米氏散射理论的辐射方案来计算烟尘分布对辐射的反馈作用, 大火历程从 1991 年 2 月 15 日起持续到下一年 1 月, 烟尘垂直扩散用一个中尺度模

式计算,烟上升不超过 2—4km,与从卫星观测所得不超过 3km 相吻合,模拟结果表明,局地降温在 7 月可达 4℃,在 5 月于青藏高原出现显著异常加热,增温达 5℃.印度季风的减弱不明显,相反在 5 月还出现了降水增强区,6 月降水增强区东移到青藏高原.就总体而言,对季风降水的影响小于自然变率.一年积分结果表明,油井大火对海洋无甚影响,除近烟源区以外,全球气候响应不显著的原因是,烟注入高度较低,只有约 0.3% 的烟注入平流层,因此烟尘在 20 天内即被雨水或干沉降清除,这与“核冬天”的情景是不同的.

若将烟排放量人为加大 4 倍,积分一年即可得显著的全球气候响应,这提醒我们,象科威特油井大火这样的事件,离全球性影响已不很远了,可见地球气候是多么脆弱!

赵忠慈等用一个二层大气加海洋混合层的 GCM 模式对科威特油井大火进行了积分^[17],大火异常试验的做法是让 45—90°E、22—34°N 范围内地面接收的太阳入射通量减少,中心减少 40%,减少幅度向下游逐渐降低,边缘为 1%.同时令对流层低层的太阳辐射增加.模拟结果表明,降温最大达 4—6℃,印度、巴基斯坦和原苏联南部气温也降了 1℃.降水变化在局地 and 下游印度季风区均不大明显.由于在历程中 6 月初又加入了菲律宾和日本火山爆发,因此对我国 1991 年夏季洪涝影响是三者的综合结果.

七、结 语

综上所述,自“核冬天”的科学假设提出以来,通过许多数值模拟、观测分析乃至现场试验,基本结论已得到.其主要结果可归纳如下:

(1) 大规模核战争可使地面降温迅速下降数十摄氏度,并在数周内保持在冰点以下,降温影响可达一年以上.

(2) 由于大气热力结构发生了根本性改变,大气环流也将发生显著变化.如双环 Hadly 环流变成一个强单体.

(3) 高层大气升温,低层降温,使大气静力稳定度增加,从而抑制对流和降水,造成干旱.

(4) 由于烟尘屏蔽,光照不足,急剧降温和长时间冰冻以及强紫外线辐射将使农业绝收,生态受到灭绝性破坏.

“核冬天”研究对国际政治军事产生转折性的影响,这就是,即使先发制人的第一次核打击取胜的国家,也将在“核冬天”下受到惩罚,其严厉程度不亚于敌方.

尽管对“核冬天”还有争议^[10],这是由于数值模拟中还有许多不定因素,但一次全面核战争灾难性后果的总图象已很清楚,象降温等已为观测事实所证实^[10].由于“核冬天”与火山爆发、森林大火、火星上全球性尘暴等相类似,对这类现象的研究将增进对“核冬天”的了解.

参 考 文 献

- [1] Crutzen, P. J. and Birks, J. W., 1982, The atmosphere after a nuclear war: twilight at noon, *Ambio*, 11, 114—125.

- [2] Turco, R. P. et al., 1983, Nuclear winter — global consequences of multiple nuclear explosion, *Science*, **222**, 1283 — 1292.
- [3] Aleksadrov, V. V. and Stenchikov, G. L., 1983, On modelling of the nuclear war, *The Proceeding on Applied Mathematics*, The Computing Centre of USSR Academy of Science, 22pp.
- [4] Browning, K. A. et al., 1991, Environmental effects from burning oil wells in Kuwait, *Nature*, **351**, No. 6325, 363 — 367.
- [5] Bakan, S. et al., 1991, Climate response to smoke from the burning oil wells in Kuwait, *Nature*, **351**, No. 6325, 367 — 371.
- [6] 曹鸿兴, 刘玉河, 1989, 核冬天、生物灭绝与人类文明毁灭, 天地生综合研究, 中国科学技术出版社, 370 — 373.
- [7] 刘玉河、曹鸿兴, 1989, 用一维能量模式模拟“核冬天”, 气候学研究, 纪念么枕生教授从事气象和执教 50 周年专辑, 邹进上主编, 气象出版社, 259 — 266.
- [8] Mitchell J. F. B. and A. Slingo, 1988, Climatic effects of nuclear war: the role of atmospheric stability and ground heat fluxes, *J. Geophys. Res.*, **93**, 7037 — 7045.
- [9] Ghan, S. J., 1991, Chronic climate effects of nuclear war, *Atmospheric Environment*, **25A**, 2615 — 2625.
- [10] 气象科技情报研究所, 1985, 核冬天, 气象出版社, 12 — 18, 23 — 27, 124 — 167.
- [11] 陶诗言, 1985, 近两年来美苏有关核战争对全球气候影响研究的进展, 气象科技动态, 第 1 期.
- [12] Harwell, M. A. and T.C. Hutchinson, 1985, *Environmental Consequences of Nuclear War, SCOPE* 28, Vol. II: Ecological and Agricultural Effects, John Wiley and Sons, 271 — 358.
- [13] Ghan, S. J. et al., 1988, Climate response to large atmospheric smoke injections, *J. Geophys. Res.*, **93**, No. D7, 8315 — 8337.
- [14] 曹鸿兴, 1990, 核冬天概述, 中国科学技术蓝皮书第 5 号, 气候, 国家科学技术委员会, 科学技术文献出版社, 216 — 220.
- [15] 曹鸿兴、王永中、林芸美, 我国的“核冬天”气候模拟, 将发表于《气候学研究》第三辑, 么枕生主编, 气象出版社.
- [16] Pearce F., 1991, Indian farmer face smoke, *New Scientist*, **129**, No. 1754, 24 — 25.
- [17] 赵忠慈等, 1992, 科威特油井大火对全球和中国气候影响的数值试验与初步结果, 气象科技, 第 1 期, 9 — 13.
- [18] 高素华等, 1991, 核烟尘对区域气候影响的初探, 中国气候变化对农业影响的试验与研究, 气象出版社, 21 — 24.

Climatic Effects of a Nuclear War

Cao Hongxing Liu Sichen

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing, 100081)

Abstract

A review of climatic consequences of a nuclear war, in particular, the “nuclear winter” induced by the global nuclear war, i.e., the drastic temperature decrease, the drought over broad areas and the disaster of agriculture and ecology due to the insolation decrease, is presented in this paper. We focus in detail on results of its numerical simulation. In addition, simulations of the oil fire in Kuwait, a small “nuclear winter”, are also presented.

Key words: Climatic impact; Nuclear winter; Numerical simulation.