

火山气溶胶的辐射影响

汪宏七 赵高祥

(中国科学院大气物理研究所, 北京, 100029)

提 要

本文应用辐射传输计算研究了火山气溶胶, 特别是大的火山爆发后短时期及火山周围地区内的火山气溶胶, 对到达地面的向下的总的太阳辐射通量、行星反照率及大气加热率的可能影响。

关键词: 火山气溶胶; 太阳辐射; 大气加热率。

一、引 言

1991年6月发生在菲律宾的皮纳图博火山喷发是本世纪最大的一次火山喷发。这次火山喷发对1991年6、7月份中国江淮流域发生的造成几十年未遇的洪涝灾害的特大降水是否有影响, 已引起人们普遍的关注。火山喷发时, 大量火山灰喷发到大气中, 火山喷发的 SO_2 气体也在大气中形成硫酸滴。这些由于火山喷发形成的气溶胶的散射、吸收和发射性质直接使大气的辐射收支受到影响, 同时气溶胶作为凝结核又影响作为辐射收支主要调节者云的性质。这种火山气溶胶对辐射收支的影响可能造成火山周围地区及全球的天气气候的变化。本文利用辐射传输计算对火山喷发形成的气溶胶对行星反照率、到达地面的总的太阳辐射通量、大气加热率随高度分布的影响进行了研究。

二、方法和模式

利用二流近似方法^[1], 我们对整个太阳辐射波段(0.2—3.58 μm)进行了辐射传输计算, 计算分135个波段和50层进行。计算中考虑了 O_2 , O_3 , H_2O , CO_2 等大气气体的吸收, 分子散射以及气溶胶的吸收和散射过程。考虑了气溶胶的光学厚度、单次散射反照率、不对称因子随波长的变化及地表反照率随波长的变化。给出了不同太阳天顶角(0° , 30° , 60° , 80°), 不同地表(海洋、沙地等)及不同模式大气下的行星反照率, 地面的向下太阳辐射通量以及大气加热率的垂直分布。

火山喷发到大气中形成的火山气溶胶的成分、浓度随空间和时间是变化的。不同的火山爆发, 喷发的高度和火山物质的量差异很大。在计算中我们采用了标准辐射大气(SRA)^[2]模式中的火山平流层气溶胶(VSA)廓线。对流层气溶胶采用海洋气溶胶(MAR

1991年8月17日收到, 9月26日收到修改稿。

-1)廓线, 高层气溶胶采用高层大气气溶胶(UAA)廓线. 这些气溶胶廓线的特性列于表 1. 表中给出了在波长 550nm 处的气溶胶消光系数的高度分布 σ_e 和各层的光学厚度 δ . 不同气溶胶成分光学特性随波长的变化均在计算中作了考虑^[2]. 为了探讨在象菲律宾皮纳图博火山那样大的火山爆发后的短时期内, 火山附近及周围地区火山气溶胶对太阳辐射的影响, 考虑到这种情况下, 平流层和对流层中可有大量火山喷发物, 我们计算了平流层气溶胶为一年内火山平流层气溶胶 VSA 廓线 10 倍、20 倍、30 倍、50 倍, 对流层气溶胶为海洋气溶胶 MAR-I 廓线和与平流层下层相同的火山气溶胶混合的情况, 作为比较, 对背景平流层气溶胶(BSA)的情况也作了计算. 所考虑的几种气溶胶情况列于表 2.

表 1 大气气溶胶廓线特性

气溶胶廓线	层(km)	气溶胶模式	δ (550nm)	σ_e (550 nm) km ⁻¹
MAR-I	0—2	海洋气溶胶	0.05	0.025
	2—12	大陆气溶胶	0.025	0.0025
BSA	12—20	平流层气溶胶	1.744×10^{-3}	2.18×10^{-4}
	20—30	平流层气溶胶	0.003	20km 2.18×10^{-4} 30km 3.32×10^{-5} 线性内插
VSA	12—20	火山灰	0.3	2.31×10^{-2}
	20—30			20km 2.31×10^{-2} 线性内插
	12—20	75% H ₂ SO ₄	0.1	7.68×10^{-3}
	20—30			20km 7.68×10^{-3} 线性内插
UAA	35	平流层气溶胶		2.45×10^{-5}
	40			8.00×10^{-6}
	45			4.02×10^{-6}
	50			2.10×10^{-6}

表 2 所考虑的几种气溶胶情况

	1	2	3	4	5	6	7
对流层	MAR-I	MAR-I	MAR-I	MAR-I + VSA<1 年 *10	MAR-I + VSA<1 年 *20	MAR-I + VSA<1 年 *30	MAR-I + VSA<1 年 *50
平流层	BSA	VSA 1—5 年	VSA <1 年	VSA<1 年 *10	VSA<1 年 *20	VSA<1 年 *30	VSA<1 年 *50
高层	UAA	UAA	UAA	UAA	UAA	UAA	UAA

三、 结果和讨论

表 3 给出了地表为海面, 大气为热带大气, 气溶胶分别为表 2 所列七种情况时, 在

太阳天顶角分别为 0° 、 30° 、 60° 和 80° 时到达地面的向下太阳辐射通量 $F_b^\downarrow$ ，在大气顶的向上太阳辐射通量 $F_t^\uparrow$ 及行星反照率 α 。由表 3 可见，在同样的太阳天顶角下，由于火山气溶胶的存在，气溶胶的散射作用，使得反射回天空的太阳辐射增大，行星反照率比背景气溶胶时明显增加。在太阳天顶角为 0° 时，由通常海面上空的 0.054 增至小于 1 年的火山气溶胶时的 0.074。在 1—5 年的火山气溶胶状况下，行星反照率为 0.061，仍较背景气溶胶时高。当考虑短时间局地的大浓度的气溶胶影响时，在海面上火山气溶胶的浓度增大，使行星反照率明显增大，但当气溶胶浓度特别大时，气溶胶浓度进一步增加引起的行星反照率的增加变得很小。太阳天顶角为 0° 左右，行星反照率最大约增大到 0.28 左右。

对于不同的太阳天顶角，由于随着太阳天顶角的增大，辐射通过的大气路径加长，大气对辐射的散射和吸收作用也变大。在大的太阳天顶角下，行星反照率也较大，在太阳天顶角为 80° 时通常海面上空的行星反照率为 0.258，有短于 1 年的火山平流层气溶胶时行星反照率增至 0.336，如果有浓度很大的火山灰存在时，行星反照率最大可高达约 0.5。

与海面的情况不同，在地表反照率高的情况下，气溶胶对行星反照率的影响，除了增加了对向下太阳辐射的向上反射外，同时还削弱了由地表反射的向上辐射的成分。此时，火山气溶胶是增加还是减小行星反照率与气溶胶的含量、地表及太阳天顶角有很大关系。不同地表对行星反照率的影响在气溶胶含量较小时是非常明显的。当火山气溶胶含量增大时，这种影响减小。当火山气溶胶含量特别大时，能够达到地面的辐射通量很小，地表反照率对行星反照率的影响极小。表 4 和表 5 分别给出了热带大气下地表为沙地及 1976 年美国标准大气下地表为雪地时各种气溶胶状况和不同太阳天顶角时的太阳辐射通量 $F_b^\downarrow$ 、 $F_t^\uparrow$ 和行星反照率 α 。与表 3 的结果相比，几种地表在气溶胶很厚时，行星反照率都非常接近。

表 3 到达地面的向下总太阳辐射通量 $F_b^\downarrow$ 、大气顶的向上辐射通量 $F_t^\uparrow$ (W/m^2) 和行星反照率 α

太阳天顶角 (度)		(1) (BSA)	(2) (VSA) 1—5 年	(3) (VSA) <1 年	(4) (VSA) <1 年 *10	(5) (VSA) <1 年 *20	(6) (VSA) <1 年 *30	(7) (VSA) <1 年 *50	(8) (VSA) <1 年 *100
0.0	$F_b^\downarrow$	1078.9	1070.8	1035.5	448.0	181.3	75.1	13.7	0.2
	$F_t^\uparrow$	73.8	82.6	100.2	318.4	365.2	376.3	380.7	382.2
	α	0.054	0.061	0.074	0.235	0.269	0.277	0.280	0.281
30.0	$F_b^\downarrow$	919.3	909.9	873.4	350.5	140.1	57.9	10.6	0.1
	$F_t^\uparrow$	72.9	83.4	103.5	314.2	352.2	361.1	364.6	365.9
	α	0.062	0.071	0.088	0.267	0.300	0.307	0.310	0.311
60.0	$F_b^\downarrow$	492.6	481.1	445.6	146.1	58.2	24.1	4.4	0.0
	$F_t^\uparrow$	79.2	91.8	113.1	251.1	267.6	271.5	273.3	274.1
	α	0.117	0.135	0.167	0.370	0.394	0.400	0.403	0.404
80.0	$F_b^\downarrow$	137.6	129.8	109.7	36.1	14.5	6.0	1.1	0.0
	$F_t^\uparrow$	60.9	69.3	79.3	112.1	116.3	117.4	117.9	118.2
	α	0.258	0.294	0.336	0.475	0.493	0.498	0.500	0.501

表4 热带大气和地表为沙地时的 $F_b^{\downarrow}$, $F_i^{\downarrow}$ 和 α

太阳天顶角 (度)		(1) (BSA)	(2) (VSA) 1—5 年	(3) (VSA) <1 年	(4) (VSA) <1 年 *10	(5) (VSA) <1 年 *20	(6) (VSA) <1 年 *30	(7) (VSA) <1 年 *50	(8) (VSA) <1 年 *100
0.0	$F_b^{\downarrow}$	1092.5	1086.1	1054.7	479.9	196.8	81.9	15.1	0.2
	$F_i^{\downarrow}$	345.3	350.1	348.1	365.6	374.1	378.1	380.8	382.2
	α	0.254	0.258	0.256	0.269	0.275	0.278	0.280	0.281
30.0	$F_b^{\downarrow}$	930.8	922.7	889.5	375.4	152.1	63.2	11.6	0.1
	$F_i^{\downarrow}$	304.6	311.0	312.8	351.1	359.1	362.4	364.7	365.9
	α	0.259	0.265	0.266	0.299	0.305	0.308	0.310	0.311
60.0	$F_b^{\downarrow}$	497.8	486.9	452.8	156.4	63.2	26.3	4.9	0.1
	$F_i^{\downarrow}$	190.9	200.8	210.7	266.5	270.5	272.1	273.3	274.1
	α	0.281	0.296	0.310	0.393	0.398	0.401	0.403	0.404
80.0	$F_b^{\downarrow}$	138.5	130.9	111.2	38.7	15.8	6.6	1.2	0.0
	$F_i^{\downarrow}$	80.0	89.2	98.4	115.9	117.0	117.5	117.9	118.2
	α	0.339	0.378	0.417	0.491	0.496	0.498	0.500	0.501

表5 1976 年美国标准大气和地表为雪地时的 $F_b^{\downarrow}$, $F_i^{\downarrow}$ 和 α

太阳天顶角 (度)		(1) (BSA)	(2) (VSA) 1—5 年	(3) (VSA) <1 年	(4) (VSA) <1 年 *10	(5) (VSA) <1 年 *20	(6) (VSA) <1 年 *30	(7) (VSA) <1 年 *50	(8) (VSA) <1 年 *100
0.0	$F_b^{\downarrow}$	1158.6	1153.2	1124.0	528.4	216.2	89.5	16.3	0.2
	$F_i^{\downarrow}$	578.0	580.8	561.8	397.7	377.6	378.2	380.6	382.2
	α	0.426	0.428	0.414	0.293	0.278	0.279	0.280	0.281
30.0	$F_b^{\downarrow}$	987.1	979.9	948.0	413.3	167.0	69.1	12.6	0.1
	$F_i^{\downarrow}$	502.3	506.3	492.3	376.0	361.7	362.5	364.5	365.9
	α	0.427	0.431	0.419	0.320	0.308	0.308	0.310	0.311
60.0	$F_b^{\downarrow}$	528.0	517.2	482.7	172.0	69.3	28.7	5.3	0.1
	$F_i^{\downarrow}$	294.5	301.4	299.8	276.5	271.5	272.1	273.2	274.1
	α	0.434	0.444	0.442	0.407	0.400	0.401	0.402	0.404
80.0	$F_b^{\downarrow}$	145.6	138.0	117.8	42.5	17.3	7.2	1.3	0.0
	$F_i^{\downarrow}$	105.9	113.6	118.5	118.3	117.3	117.5	117.9	118.2
	α	0.449	0.482	0.502	0.502	0.497	0.499	0.500	0.501

太阳辐射除了受到大气散射和气体吸收作用之外, 由于火山气溶胶的吸收特性(单次散射反照率小于1, 也即复折射指数的虚部不为零), 还受到气溶胶的吸收, 因此火山气溶胶使到达地面的太阳辐射通量减少. 由表3—5可见, 太阳天顶角为 0° 时几种地表下, 在平流层气溶胶为小于1年火山气溶胶廓线时, 到达地面的太阳辐射通量比背景平流层气溶胶时减少3%—4%左右, 在1—5年火山平流层气溶胶廓线下减少0.4%—0.7%左右, 当火山灰浓度为VSA<1年廓线的20多倍时, 到达地面的太阳辐射通量降为通常值的1/10左右.

被大气气体和火山气溶胶吸收的太阳辐射加热了大气, 大气加热率随不同的大气吸收气体分布及气溶胶分布而不同. 图 1 给出了地表为海面, 太阳天顶角为 60° 时热带大气、不同气溶胶状况下的太阳辐射加热率的垂直分布, 上下二部分曲线分别用上下二种不同的横坐标. 可以看到由于火山喷发的火山气溶胶的吸收, 在平流层和对流层上部的大气加热率大于背景气溶胶状况下的大气加热率, 火山气溶胶的浓度越大, 这些高度大气加热率的升高越高. 此时, 由于反射和上层大气的强吸收, 到达低层的太阳辐射通量显著减小, 当辐射通量降得很低时, 即使此时在低层气溶胶的浓度也很高, 大气的加热率也会低于平常时的值. 所以在大的火山爆发后短期内, 火山附近及周围地区, 在平流层和对流层上层的大气加热率升高, 对流层下层的大气加热率及到达地面的太阳辐射通量显著降低. 实际上, 不同火山的喷发所形成的火山气溶胶层差异很大, 随时间和地区的分布变化也很大, 因此大气加热率的垂直分布也有很大差别, 但用本文给出的几个模式的计算结果可以近似地给出火山气溶胶浓度对大气加热率分布的影响.

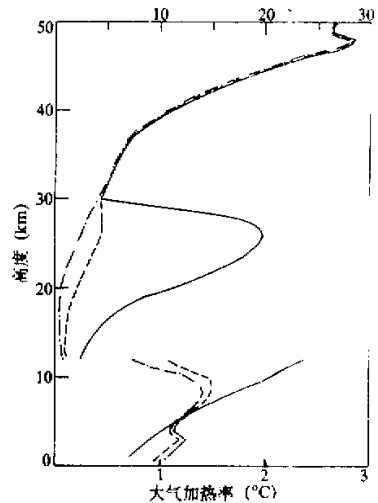


图 1 不同气溶胶状况下太阳辐射加热率

— · — 背景平流层气溶胶;
- · - · - <1 年火山平流层气溶胶;
—— <1 年火山平流层气溶胶 $\times 10$

四、小 结

1. 火山气溶胶削弱到达地面的太阳辐射通量. 当火山灰浓度为 VSA < 1 年模式的 20 多倍时, 到达地面的太阳辐射通量降为通常值的 1/10 左右.

2. 在低反照率的地表上, 火山气溶胶使行星反照率增加, 在高反照率的地表上, 火山气溶胶增加还是减少行星反照率取决于气溶胶的含量、太阳天顶角及地表等. 在火山气溶胶含量非常高时, 行星反照率与地表无关, 并与气溶胶的浓度关系不大.

3. 火山气溶胶使平流层和对流层上层的大气加热率增高, 当火山气溶胶含量很大时, 对流层低层的大气加热率降低.

参 考 文 献

- [1] Kerschgen, M., Pilz, U., and Raschke, E., 1978, A modified two-stream approximation for computations of the solar radiation in a cloudy atmosphere, *Tellus*, **30**, 429—435.
- [2] WCP, 1983, *Report of the Experts Meeting on Aerosols and Their Climatic Effects*, Eds. Deepak, A. and Gerber, H. E., World Climate Programme, WCP 55, World Meteorological Organization, 77—103.

The Radiative Effects of Volcanic Aerosols

Wang Hongqi Zhao Gaoxiang

(*Institute of Atmospheric physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100029*)

Abstract

Through radiative transfer calculations, the possible effects of volcanic aerosols on the downward solar radiation flux reaching the ground, the planetary albedo and the atmospheric heating rates are investigated.

Key words: Volcanic aerosol; Solar radiation; Heating rate.

最新“中国自然科学核心期刊”遴选结果公布——

《大气科学》再次入选，位次上升

中国自然科学核心期刊研究课题组最近公布了使用“引文法”鉴定的“1990—1991年中国自然科学核心期刊”100种,《大气科学》位居第21名,比在“1980—1986年中国自然科学核心期刊”中的位次上升了7位。这一结果是对1990、1991年中国出版的20种代表性学术期刊发表的学术论文所引用的各种中文自然科学期刊被引用量进行客观统计后得到的,详尽的评述发表在中国科学院自然科学期刊编辑研究会主办的《中国科技期刊研究》1992年第四期。

(中国自然科学核心期刊研究课题组)