

# El Chichón 火山的太阳辐射效应\*

金龙

(江苏省气象科学研究所)

## 提 要

利用1964—1983年冬季无云条件下的太阳辐射资料分析发现,1982年3月底至4月初,墨西哥 El Chichón(厄·奇冲)火山爆发后,对到达地球表面的太阳直接辐射、散射辐射以及总辐射产生了显著和持续的影响。这种影响特征与近百年来的几次巨大火山爆发所引起的辐射效应是一致的,这主要是因为火山气溶胶对太阳辐射的强大反向散射和吸收作用,改变了大气透明度所造成的。

## 一、引 言

在影响气候变化的众多因子中,强大的火山爆发是气候变化的一个重要的外部强迫因子。著名气候学家 Lamb, Budyko<sup>[1]</sup> 都曾系统地研究和总结了火山活动对气候的影响。

近年来,由于激光雷达、卫星和飞机等探测技术的发展,使得对于平流层气溶胶的成份、浓度变化以及分布状况有了进一步的了解。尤其是这次厄·奇冲火山的爆发,为深入研究火山爆发的气候和辐射效应提供了一个很好的机会。因为厄·奇冲火山不仅是近百年来最强的火山<sup>[2]</sup>,而且它是在各种最完备的现代探测手段监视下爆发的,因而成为人们关注的研究课题<sup>[3,4]</sup>。本文利用我国一些日射站碧空条件下的辐射资料,来分析厄·奇冲火山对我国太阳辐射的影响,以期研究厄·奇冲火山对我国的温度影响作先行一步的讨论。

## 二、资 料 和 方 法

到达地球表面的太阳直接辐射和散射辐射受到很多因素的影响。然而,厄·奇冲火山爆发对太阳辐射的影响,主要是因为能够在平流层停留较长时间的火山气溶胶对太阳辐射的反向散射和吸收引起的。

由实际辐射资料分析发现,云量、云状、太阳高度角以及大气中水汽含量的变化对到达地面的直接辐射和散射辐射影响极大。例如在中午时刻,中云(Ac)条件下散射辐射可比碧空时大3—4倍。因此,为了真实反映平流层火山气溶胶的影响,必须尽可能地消除上述影响因素。为此,我们考虑,水汽含量最少的冬季无云、日面状况为 $\odot^2$ 条件下的太阳直接辐射和散射辐射资料较为合适。并且为了避免太阳高度角变化的影响,又统一取中午

\* 本文于1986年11月10日收到,1987年6月1日收到最后修改稿。

时刻(观测时间为12点30分)的辐射观测值。然而,在大部分测站符合上述标准的资料,不但在逐年整个冬季分布不均,而且样本数也相差很大。我们知道,在同样的正午时刻,冬季12月和2月的太阳高度角也相差很大(尤其是在高纬度),这对太阳辐射强度会有很大影响。再考虑到资料的代表性和符合标准的样本数的可能性,按上述标准,我们在冬季各月的各旬中选择了2个这样的直接辐射和散射辐射值,共18组数据组成每年冬季的代表值。

为了分析厄·奇冲火山对不同气候区域以及平原地区和青藏高原辐射状况影响的差别,以及火山气溶胶的影响范围。我们按上述标准,在我国平原地区自北向南选取了7个日射站的资料,青藏高原选择了3个站(见图1)。这10个站的日射观测,一般自1960年前后开始,但是在1960—1964年8月期间,日射观测时间提前了1个小时,所以我们舍去了1964年8月以前,非均匀的零星资料,着重讨论1964年冬季至1983年冬季的情况。

### 三、厄·奇冲火山对太阳辐射的影响

根据卫星和高空气球的探测结果估计,位于墨西哥南部(17.3°N, 93.2°W)高度为1134m的厄·奇冲火山喷发后约一个月,平流层气溶胶多达1500至2000万吨<sup>[5]</sup>。并且这种浓密的火山气溶胶大约在火山爆发后一个月,就迅速地在20°—40°N纬带里扩散到全球<sup>[6]</sup>。下面我们分别讨论厄·奇冲火山所产生的这种浓密的火山气溶胶,对我国的直接辐射、散射辐射和总辐射的影响。

当强大的火山爆发后,大量的火山灰云喷入平流层内,使行星反射率增大,大气透明度下降。作者曾根据由布格-朗伯定律导出的太阳辐射削弱方程,计算了我国10个站的大气复合透明系数(见表1<sup>[7]</sup>)。其结果发现,由于厄·奇冲火山的爆发,使1982年冬季的大气透明度( $P_2$ )发生了急剧的下降,距平百分率为-14.3%,负距平与20年 $P_2$ 值标准差的

表1 1964—1983年冬季我国10个站的平均大气透明度( $p_2$ )  
及其距平百分率、距平和标准差的比值

年 份	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973
$p_2$	0.756	0.777	0.773	0.776	0.757	0.783	0.773	0.773	0.776	0.782
$\frac{p_i - \bar{p}_2}{\bar{p}_2} \%$	0.4	3.1	2.7	3.1	0.5	3.9	2.7	2.7	3.1	3.9
$p_i - \bar{p}_2 / \sigma_p$	0.09	0.73	0.61	0.70	0.12	0.91	0.61	0.61	0.70	0.88
年 份	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
$p_2$	0.767	0.760	0.759	0.768	0.748	0.751	0.724	0.722	0.645	0.698
$\frac{p_i - \bar{p}_2}{\bar{p}_2}$	1.9	0.9	0.8	2.0	-0.7	-0.3	-3.8	-4.1	-14.3	-7.3
$p_i - \bar{p}_2 / \sigma_p$	0.43	0.21	0.18	0.46	-0.15	-0.06	-0.88	-0.94	-3.28	-1.67

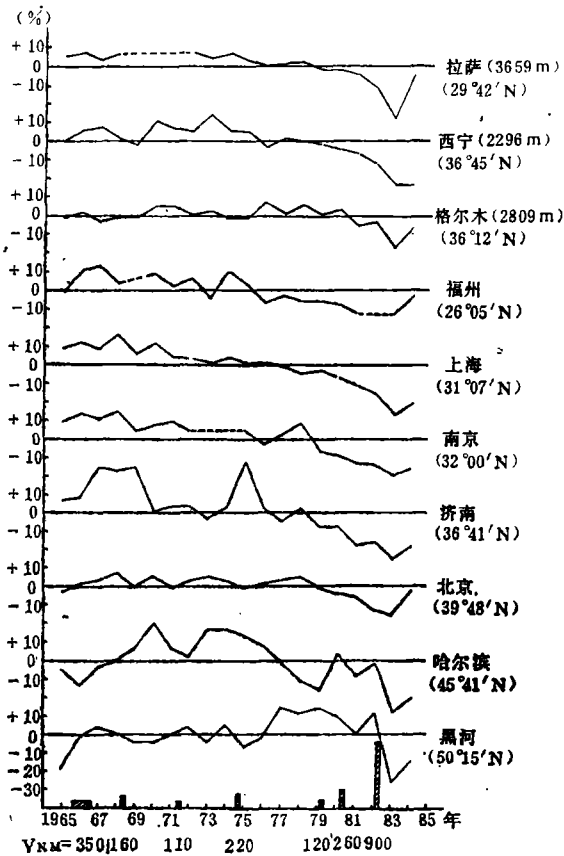


图 1 各站冬季直接辐射年际变化以及各火山尘  
幕指数( $V_{x,m}$ )

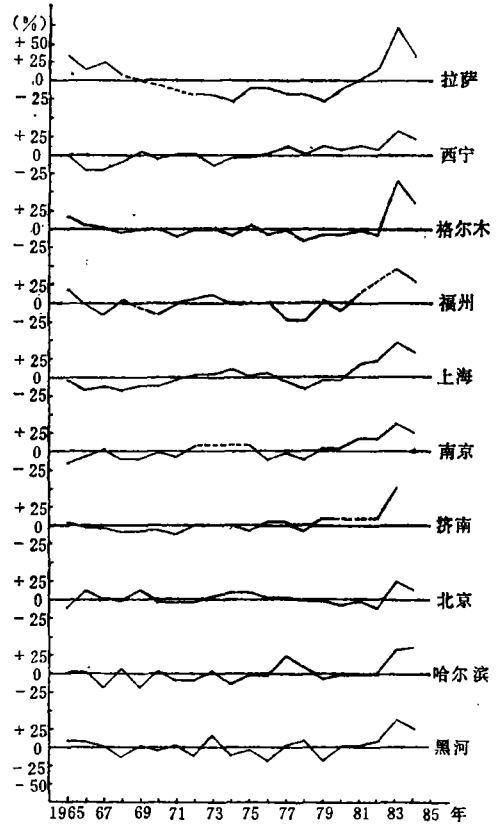


图 2 各站冬季散射辐射年际变化

比值为-3.28,并且1983年冬季的  $P_2$  值也受到了严重的影响。然而其余年份的距平绝对值均小于方差值。厄·奇冲火山爆发对大气透明度的这种严重削弱,显然会直接影响到地球表面的太阳直接辐射强度。

图 1 给出了我国10个站,各站 1964—1983 年冬季的直接辐射年际变化曲线。由图可以看到,这每一个站都清晰地留下了厄·奇冲火山的影响痕迹。在1982年冬季(图中横坐标为1983年,以下皆同) 10 个站的直接辐射都无一例外地出现了最低值,其中下降最大的青藏高原拉萨站,距平百分率达到了-28.1%,下降最小的福州站距平百分率为-12.4% 见表2。1982年冬季,这10个站的平均下降值为-21.9%。

进一步统计发现,1982年和1983年冬季,10 个站平均的直接辐射负距平达到了标准差的3.1倍和1.6倍,而其余年份的平均负距平除个别年略大于标准差外,均未超过标准差。高原 3 个站和平原 7 个站的平均直接辐射距平与标准差的比值也是如此(图略)。由此可见,厄·奇冲火山爆发所引起的直接辐射减少,远大于直接辐射正常的年际变化。这种对太阳直接辐射的显著削弱作用也出现在北半球的其它地区。例如,日本14个站,1982年12月的平均直接辐射(观测时间为正午12点)比1950—1983年的平均值下降了20%<sup>[4]</sup>。夏威夷的直接辐射也同样因为厄·奇冲火山的影响下降了20%以上<sup>[8]</sup>。这说明厄·奇冲火山

的影响范围是相当大的。

与直接辐射情况相反,由于厄·奇冲火山气溶胶对太阳辐射的强大散射作用,使到达地面的散射辐射量急剧增大。如图2所示,自1964年冬季至1983年冬季,我国10个站的散射辐射,除哈尔滨站是1983年冬季略大于1982年外,其余站均以1982年冬季的散射辐射最大。与直接辐射相类似的是,仍然以青藏高原站的变化最显著,拉萨和格尔木的距平百分率达到了60%以上,增强最小的北京和哈尔滨在20—30%之间。就平均情况而言,无论是在高原和平原地区以及10个站的平均变化曲线上(图略),除了1982,1983年冬季平均的散射辐射距平远超过标准差,其余年份的距平均小于标准差。如果除去厄·奇冲火山影响极其显著的1982,1983年冬季的散射辐射值计算标准差,也同样可以看到,1982,1983年冬季的散射辐射正距平值达到了标准差的11.4倍和6.6倍。这种严重的影响主要与该火山爆发所形成的火山气溶胶浓度和物理特性有关。近年来大量的平流层激光探测发现,在火山爆发后2—3个月内,喷入平流层的大量火山灰就沉降下来<sup>[6]</sup>。长期停留在平流层的火山气溶胶云主要是由硫酸气溶胶组成。一般直径为0.1—1 $\mu\text{m}$ <sup>[1]</sup>。厄·奇冲火山的硫含量很高,在3月28日和4月4日的2次喷发,分别在20 km和26 km高度上形成了大规模的火山云,大量的硫气体与平流层中的水蒸汽产生光化学反应,形成了浓密的硫酸微滴云雾。这种硫酸微滴的直径很小,平均在0.1 $\mu\text{m}$ 左右<sup>[9]</sup>。但是它对太阳辐射的散射能力极强,所以造成了到达地球表面的散射辐射急剧增加。

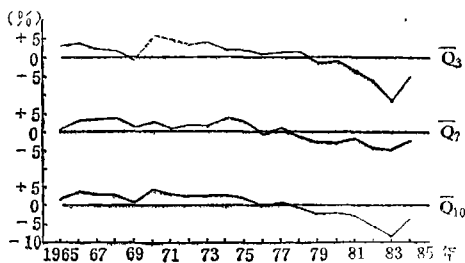


图3 平均总辐射的 annual 变化

到达地面的太阳总辐射是由散射辐射和直接辐射组成。由前面的分析知道,火山气溶胶对太阳直接辐射和散射辐射的影响具有相反的作用。因此,在研究火山爆发的气候效应,特别是考虑对温度的影响时,显然更直接的是应当注重总辐射的变化。Budyko<sup>[1]</sup>曾分析了2个30 a时段(1888—1917年和1918—1947年)的辐射

和热量收支,发现第二时期比第一时期的总辐射增加了0.3%,而相应的温度高出了0.33°C。

图3给出的分别是10站平均和高原3个站以及平原7个站平均的太阳总辐射年际变化曲线,其主要特征是:(1)由于直接辐射是总辐射的主要组成部分,因此,平均总辐射( $\bar{Q}$ )与平均直接辐射( $\bar{S}$ )的主要变化趋势十分一致。(2) $\bar{Q}_{10}$ ,  $\bar{Q}_7$ 和 $\bar{Q}_3$ 的年际变化中,同样是在1982年冬季出现了最低值。不过,总辐射所受影响程度要明显小于散射辐射和直接辐射。10个站平均的总辐射值在1982年冬季下降了9.3%,而青藏高原3个站平均的总辐射下降值为11.8%,远大于平原7个站的平均下降值6.7%。这主要是因为冬季在高原上,大气透明度最高<sup>[7]</sup>,海拔又高,受对流层气溶胶、水汽的影响比平原小。所以对平流层火山气溶胶的影响更为敏感,造成了高原上的直接辐射和散射辐射的减少和增加比平原地区更为明显。然而在高原上直接辐射占总辐射的比例为85%远大于平原地区,因此高原上直接辐射下降比平原大也使得总辐射的减少比平原显著偏多。

总辐射是辐射平衡的一个重要分量。厄·奇冲火山爆发对我国10个站总辐射的影响自

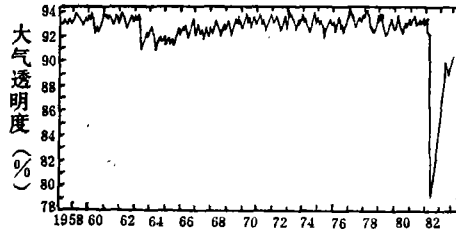


图 4 夏威夷Mauna Loa 200—3000 nm 谱带大气透明度(Selkirk和Newell)

表 2 1982年冬季太阳直接辐射距平百分率(%)

站 名	黑河	哈尔滨	北京	济南	南京	上海	福州	拉萨	格尔木	西宁
百 分 率	-25.8	-27.0	-14.2	-24.0	-20.1	-27.1	-12.4	-28.1	-17.0	-23.0

然要影响到辐射平衡的变化,国内外许多作者研究了火山活动对温度的影响。Rubock<sup>[10]</sup>曾利用能量平衡模式估计,厄·奇冲火山对全球和南、北半球的平均温度可能存在显著和持续的影响。但是火山活动对温度影响的主要过程,首先是因为火山气溶胶改变了大气透明度和行星反照率,进而影响了地表辐射收支,最后导致了温度变化。因此,研究火山爆发的气候效应,对于辐射状况的讨论是至关重要的。

#### 四、厄·奇冲火山辐射效应的比较分析

在近百年北半球中纬度的火山尘霾指数序列<sup>[8]</sup>中,厄·奇冲火山灰尘霾指数  $V_{N \cdot M} = 900$ ,仅次于1883年喀拉卡托(Krakotoa)火山和1902年圣玛丽亚(SantMaria)火山,是近80年来最强的一次火山爆发。它的爆发非但使直接辐射明显下降,散射辐射急剧增加,而且这种影响的持续时间也很长。厄·奇冲火山是于1982年3—4月爆发,实际上1982年1月底已在平流层探测到浓密的“神秘云”气溶胶层。然而,直至约2年以后的1983年冬季(1983年12月至1984年2月)我国10个站的散射辐射仍然增大了25%,直接辐射减少了12.4%,总辐射也仍然偏低4.1%。厄·奇冲火山对太阳辐射的这种严重、持续的影响特征与近百年来几次巨大火山爆发的影响特征是一致的。根据北半球中纬度年平均太阳直接辐射资料<sup>[11]</sup>分析发现,1883年喀拉卡托火山( $V_{N \cdot M} = 1000$ )爆发后,在1885年太阳直接辐射下降了15%。本世纪最强的1902年圣玛丽亚火山( $V_{N \cdot M} = 1200$ )以及1912年卡特迈(Katmai)火山( $V_{N \cdot M} = 750$ )在爆发后的1—3年内,使直接辐射分别下降了15%和11%。而在1963年2月,阿贡(Agung)火山( $V_{N \cdot M} = 600$ )爆发后,一直到1964年底,在东欧、北美和夏威夷Mauna loa的太阳直接辐射分别下降了10%、6%和6%<sup>[1]</sup>。北半球中纬度年平均直接辐射在1964—1965年也发生了显著的下降。与此相反,在近百年中,除了上述 $V_{N \cdot M} \geq 600$ 的几次巨大火山外,其余火山均未引起直接辐射的明显变化,这于近20年来我国10个站的辐射资料情况是一致的。1964年以来也有多次火山爆发,但除了厄·奇冲火山灰尘霾指数达到了900以外,其余火山尘霾指数均小于350,且均未引

起太阳辐射的明显变化(图 1—3)。但是,图 1—3 的另一种长期变化趋势也十分清晰,即直接辐射和总辐射有逐年下降的趋势,而散射辐射则有上升趋势。设在 Larc(37°N)的激光雷达探测结果<sup>[3]</sup>也清楚地表明,厄·奇冲火山所引起的自对流层顶至 30 km 高度上的气溶胶反向散射,远大于近年来其它几次火山气溶胶的影响。因此我们认为,一般单独强度不大的火山爆发的影响,很难在到达地球表面的辐射变化中辨认出来。这主要是因为,一些强度不大的火山爆发后,虽然激光雷达也常能探测到平流层气溶胶浓度的增加。但是由于对流层内的气溶胶浓度比平流层要大得多。从地面到两公里高度内的气溶胶浓度约为平流层的 120 倍<sup>[12]</sup>。更重要的是,对流层的气溶胶浓度受风、对流运动以及降水等影响,变化极大。再加上大气中水汽含量的变化,这些足以掩盖强度不大的火山气溶胶对到达地球表面的辐射量的影响。

这种不同强度的火山爆发对太阳辐射的不同影响,与大气透明度的年际变化十分一致。无论是我国近 20 年冬季的大气透明度<sup>[7]</sup>以及具有代表性的夏威夷 Mauna loa 1958—1983 年的大气透明度<sup>[13]</sup>(图 4),还是日本 14 个站 1950—1983 年冬季的大气透明度<sup>[4]</sup>,都清楚地显示出厄·奇冲火山爆发对大气透明度的强烈影响。1963 年阿贡火山的影响也十分清晰。而在此期间的其它火山影响均无法从大气透明度的年际变化中明确辨认。1906—1936 年苏联巴甫洛夫斯克的早期大气透明度资料<sup>[14]</sup>(表 3)也同样表明,除了  $V_{N \cdot M} \geq 480$  的二次大火山外,其余  $V_{N \cdot M} \leq 260$  的各次火山爆发均未引起大气透明度的变化。

由以上分析可以看到,近百年来不同时期的碧空条件下的太阳辐射资料,大气透明度

表 3 巴甫洛夫斯克的年平均大气透明系数( $p_1$ )与火山尘雾指数( $V_{N \cdot M}$ )

年代	1906	1907	1908	1909	1910	1911	1912	1913	1914	1915	1916	1917	1918	1919	1920	1921
$V_{N \cdot M}$	480*						750*	*	*				260			160
$p_1$	0.754	0.710	0.741	0.770	0.741	0.738	0.570	0.690	0.710	0.734	0.738	0.714	0.741	0.751	0.721	0.748
年代	1922	1923	1924	1925	1926	1927	1928	1929	1930	1931	1932	1933	1934	1935	1936	平均
$V_{N \cdot M}$								230		110						
$p_1$	0.748	0.760	0.754	0.748	0.765	0.752	0.757	0.745	0.754	0.750	0.755	0.754	0.745	0.757	0.754	0.738

资料以及近年来,激光雷达在平流层的直接探测资料都充分说明,象厄·奇冲这样一类巨大火山爆发后,使大气透明度发生显著变化,并相应地对太阳辐射产生显著影响。但是需要说明,本文所讨论的近百年来几次巨大火山,不包括在南半球中高纬度爆发的大火山。因为本文所分析的所有辐射和大气透明度资料都是北半球不同地区,不同时期的资料。已有研究结果<sup>[12]</sup>认为,1963 年在 8.3°S 爆发的阿贡火山对大气透明度的影响,南半球比北半球约大 10 倍。最近的卫星观测结果<sup>[6]</sup>表明,在厄·奇冲火山爆发后一个月,火山气溶胶沿南北方向和东西方向的扩散速度之比为 1:18。这一珍贵的观测资料说明,火山爆发的所在纬度,对太阳辐射和大气透明度的影响是相当重要的。

## 五、讨 论

厄·奇冲火山的爆发,对我国的太阳直接辐射和散射辐射以及总辐射产生了显著和持续的影响,并且这种影响特征与近百年来的各次巨大火山爆发的辐射效应是一致的。厄·奇冲火山对散射辐射和直接辐射的影响具有相反的作用,但是最终使到达地球表面的总辐射明显减弱,尤其是青藏高原总辐射的下降更为明显。国内外许多大气环流模式和大气环流统计事实的研究结果表明,夏季青藏高原对大气环流的热力作用非常强烈。因此,厄·奇冲火山爆发引起的青藏高原热源分量——总辐射的异常变化,可能对温度、大气环流产生影响。

厄·奇冲火山爆发后,除了对太阳辐射有明显影响外,可能还存在其它一些影响机制。例如,火山爆发的近期内,由于火山尘的下降,使底层大气的气溶胶浓度增加,从而增强了对太阳辐射的吸收能力。同时对地表外逸长波辐射也有抑制作用,因而可能使地面温度增高。最近有人分析发现,厄·奇冲火山爆发后引起了平流层臭氧的变化。有关这些问题的研究,将有助于对大气环流和气候变化的进一步认识。

## 参 考 文 献

- [1] Budyko, M. I., Climatic changes, 80-97, American Geophysical Union, Washington, D. C., 1977.
- [2] MacCracken, M. C., and F. M. Luther, Radiative and climatic effects of the Elchichon eruption, Proceedings of the fifth conference on atmospheric radiation, American Meteorological Society, 346-349, October 31- November 4, 1983.
- [3] McCormik, M. P., Aircraft and ground-based lidar measurements of El Chichón stratospheric aerosols, proceedings of the seventh annual climate diagnostics workshop, NOAA., Washington, D. C., 386-389, October 18-22, 1982.
- [4] 气象庁, 近年における世界の異常気象の実態調査とその長期見通しについて(III), 197-205, 気象庁総務部企画課気候変動対策室, 東京, 1984.
- [5] Rampion, M. R., and S. Self, The atmospheric effects of El Chichón, *Scientific American*, 250, 1, 34-43, 1984.
- [6] Matson, M., and A. Robock, Satellite detection of the 1982 El Chichón eruptions and stratospheric cloud, proceedings of the seventh annual climate diagnostics workshop, NOAA, Washington, D. C., 359-370, October 18-22, 1982.
- [7] 金龙, El Chichón 火山爆发对我国大气透明度的影响, 科学通报, 32, 8, 599-601, 1987.
- [8] 徐群, 近百年北半球中纬度火山灰尘幕指数的估量, 地球物理学报, 28, 6, 558-568, 1985.
- [9] Hirono, M., and T. Shibata, Enormous increase of stratospheric aerosols over Fukuoka due to volcanic eruption of El Chichón in 1982, *Geophy. Res. Lett.*, 10, 2, 152-154, 1983.
- [10] Robock, A., Energy balance climate model calculations of the effects of the El Chichon eruption, proceedings of the seventh annual climate diagnostics workshop, NOAA., Washington, D. C., 415-422, October 18-22, 1982.
- [11] Пивоворова, Э. И., Использование данных наземных радиационных наблюдении для изучения прозрачности атмосферы. *Метеорология и Гнэралогия* № 9, 24-31, 1977.
- [12] 山元龍三郎, 最近の火山活動と気候, 気象研究ノート, 140, 71-80, 1980.
- [13] 王绍武, 美国第八届气候诊断年会, 气象科技, 第一期, 31-38, 1985.
- [14] 康德拉捷也夫, К. Я., 太阳辐射能, 188-203, 科学出版社, 1962.

## SOLAR RADIATIVE EFFECT OF THE EL CHICHÓN VOLCANIC ERUPTION

Jin Long

*(Jiangsu Research Institute of Meteorological Science)*

### Abstract

Using the data of the clear-sky solar radiation observed between winter 1964 to winter 1983, it is shown from the analysis that significant and sustained change of the direct radiation, scattered radiation and total radiation in China are caused by the El Chichón volcanic eruption between 28 March and 4 April 1982. The effect feature is found to be consistent with the radiative effect caused by a few great volcanic in last 100 years. The primary cause was the changing of the atmospheric transparency as a result of the strongly back scattering and absorption of radiation by the volcanic aerosol.