

假 拉 肖天贵 边巴扎西 等 著

西藏地区强对流天气 及短时临近预报系统研究

 气象出版社
China Meteorological Press

西藏地区强对流天气及 短时临近预报系统研究

假 拉 肖天贵 边巴扎西 等 著

内容简介

本书概括了西藏高原强对流天气及短临预报的研究进展,分析了西藏地区强对流天气的主要影响系统及雷暴、强降水、冰雹、暴雪等的主要特征,并从短时临近预报的角度和西藏地区观测资料的特殊性从天气学、统计学、数值预报、云图特征、三维云模式等多方面提出了预警指标、预报模型及技术方法。

本书可供从事气象、农业、水利、林业、环境资源以及灾害科学研究、教学和灾害管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

西藏地区强对流天气及短时临近预报系统研究/假拉,肖天贵,边巴扎西等著.
北京:气象出版社,2011.5
ISBN 978-7-5029-5216-7

I. ①西… II. ①假…②肖…③边… III. ①强对流天气-短期天气预报-研究-西藏 IV. ①P456.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 086105 号

Xizang Diqu Qiangduiliu Tianqi ji Duanshi Linjin Yubao Xitong Yanjiu

西藏地区强对流天气及短时临近预报系统研究

假 拉 肖天贵 边巴扎西 等 著

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室:010-68407112

网 址:<http://www.cmp.cma.gov.cn>

责任编辑:李太宇

封面设计:燕 彤

责任校对:永 通

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:787 mm×1092 mm 1/16

字 数:460 千字

版 次:2011 年 5 月第 1 版

定 价:60.00 元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68406961

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终 审:周诗健

责任技编:吴庭芳

印 张:18

彩 插:4

印 次:2011 年 5 月第 1 次印刷

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换。

《西藏地区强对流天气及短时 临近预报系统研究》编写组

主编：假 拉 肖天贵 边巴扎西

成员：假 拉 肖天贵 边巴扎西 周筠珺 朱克云
李国平 范广洲 董一平 普布次仁 马艳鲜
袁东升 张 杰 向卫国 白爱娟 代华光
林志强 唐叔乙 周振波 罗布坚参 赵 滨
胡初阳 张 博 德 庆 次仁德吉 金荣花
王明欢 白彬人 瞿 婵 孙 凌 杨 静
李 展 李 哲 刘 畅 赵鹏国 胡 荣
张 恒 肖光梁 吴 俞 吴 瑶 何劲夫
张 雷 燕亚菲 周 瑾 吴添圆 刘 琳
陶 勇 任景轩 裴春明 徐维新 刘辉权
张东海 陈宏华 周 琳 何 晗 杨 查
圣 剑 周丽娟 刘林春

序 一

青藏高原因其特殊的地理环境及显著的热力作用和动力作用,不仅是全球气候的扰动源,也是天气系统的“改造所”和新生系统的产生源地。青藏高原不仅对全球气候变化有着重要影响,也对引发我国东部地区的灾害性天气系统有着重要的作用,这就形成了独特的高原天气及系统演化特征。作为青藏高原主体地区的西藏,其强对流天气具有不同于东部平原和一般山地地区的独特特征:突发性强、频率高、强度高、结构特殊、预报难。例如,2009年国庆期间发生在西藏安多的强降雪过程造成当地的交通中断,多处建筑设施被毁,极大地影响了人们的正常生活和工作。这种灾害性天气频繁发生及其重大影响,使研究青藏高原的业务工作者对高原强对流天气及其短时临近预报的问题更为关注。

2009年,在成都信息工程学院与西藏自治区气象局业务研究和人才培养的全面局校合作的工作中,成都信息工程学院的大气科学学院与西藏自治区气象台共同开展了“西藏强对流天气短时临近预报预警系统”项目研究,取得了西藏地区雷暴、强降水、暴雪、冰雹、大风等强对流天气的系统研究成果。现选其中34篇论文成为这部研究论文集。论文集的研究论文体现出了鲜明的系统性和实践性。该论文集中2篇关于研究进展的论文,全面概括了高原强对流天气的研究现状;9篇强对流天气的时空分布特征及影响系统研究论文,提供了西藏高原强对流天气的主要影响系统等天气学背景;21篇利用天气学、统计学、数值预报产品、云图特征、雷电特征、自动气象站资料、三维云模式等获得的预报方法和预报指标的研究论文,提供了比较丰富的预报模型,对西藏地区强对流天气短时临近预报预警系统的设计及实现提供了实用的方法体系;2篇关于系统设计的研究论文,对西藏强对流天气的短时临近预报预警系统的基本框架进行了说明。论文集提供的预报方法模型中,三维云模式、对流云系模型、V-30模型、WPD模型等都是具有创新性的预报方法,故研究结果具有一定的先进性。论文集的研究成果,提供了西藏地区强对流天气短时临近预报预警系统平台实现的重要基础内容,对促进西藏强对流天气短时临近预报工作的进一步开展和预报水平的提高有重要的现实意义。

该论文集成果的集成和作者群体也反映出局校合作中优势互补的特色:气象局一线预报员获得了许多新的方法信息,学校师生也实现了理论和实践的有效耦合,

从实践中对气象问题及理论有了更加深入的认识,锻炼和培养了人才团队,这种人才培养和研究模式值得进一步推广。

我们期望,作者们能在系统研究的基础上,出版更多有关西藏天气与气候方面的论著,为中国天气与气候学添光增彩。

李泽椿^①

2011年5月

^① 李泽椿,中国工程院院士。

序 二

随着全球气候变暖,概率明显增加的各种极端气候事件和气象灾害事件对世界范围内的人民生命财产造成了巨大的损失。自 20 世纪 80 年代以来,高原主体的西藏地区也发生了四次重要的极端天气气候事件:1983 年的夏季大旱、1997—1998 年冬季藏北的雪灾、1998 年盛夏楚河至雅鲁藏布江中游地区大涝、2009 年国庆期间发生在西藏安多的强降雪过程。这些极端天气气候事件的发生严重影响了西藏地区农牧业生产、经济发展和社会稳定,并造成交通运输中断、多处建筑设施被毁,极大地影响了人们的正常生活和工作。因此,对西藏极端天气气候事件尤其是强对流天气系统的短时临近预报预警系统的研究具有重要的意义。

2008 年,西藏自治区气象局与成都信息工程学院在人才培养、科研业务方面进行了全面的局校合作。西藏自治区气象科学研究所、气候中心、信息中心和气象台等单位与成都信息工程学院开展了六个方面的业务科研项目的研究,各部门开展了几十次的业务交流活动,大大促进了气象局的业务发展。本论文集就是西藏自治区气象台与成都信息工程学院的大气科学学院合作的“西藏强对流天气短时临近预报预警系统”项目的部分研究成果总结。该项目对西藏地区雷暴、强降水、暴雪、冰雹、大风等强对流天气进行了较为系统的研究,完成了近 40 篇总结论文及预报预警系统平台的建设,对西藏气象台的业务预报有重要的促进作用。从《西藏地区强对流天气及短时临近预报系统研究》论文集中的 34 篇论文可见,项目不仅研究了西藏地区强对流天气的时空分布特征、环流特征及主要影响系统,而且从天气学、统计学、数值预报产品、云图特征、雷电特征、自动气象站资料、三维云模式等方面提出了西藏强对流天气的短时临近预报方法和预报指标,为业务预报系统平台提供了基础性的建设内容。比较以往的研究工作,该论文集不仅较为系统地总结了西藏地区强对流天气的研究成果,而且在提供的预报方法模型中,三维云模式、对流云系模型、V-30 模型、WPD 模型等都是具有创新意义的新的预报方法,其研究结果具有先进性。

局校合作是一项双赢的有益的业务研究方式的尝试:对气象局来说,业务人

员通过交流和共同研究提高了业务水平、获得了新知识新信息;对学校来说,师生通过交流和学习改善了人才培养模式,大大促进了学生理论知识与实践认识的有机结合及预报实践能力的提高。相信通过这种模式的持续合作,西藏气象事业一定会取得更大的成绩。

宋善允^①

2011年5月

^① 宋善允,西藏自治区气象局局长。

前 言

青藏高原大约占我国陆地面积的四分之一,平均海拔 4000 m 以上,是世界上最高大、地形最复杂的高原。青藏高原独特的地形条件使其具有不同于平原地区和一般山地的天气特征。在 20 世纪 70 年代和 90 年代,国家曾组织过两次对青藏高原的大型野外科学考察实验,对高原地区的环流特征、天气系统、影响系统、热源性质、高原季风、南亚高压等进行了较为深入的研究,揭示了不少新的事实,取得了非常重要的成果,奠定了青藏高原气象学重要的理论基础。进入 21 世纪后,在全球性持续变暖的气候背景下,极端气象事件的频繁发生引起了国内外专家的高度关注。特别是在高原地区,多发的强对流天气对公路、铁路和通信等造成了严重的直接危害,对社会经济的发展构成了严重威胁。因此,对高原地区强对流天气及其短时临近预报问题的研究就显得极为重要。

西藏地区的强对流天气不同于东部平原地区,也不同于一般山地地区。由于西藏地区地形复杂,藏北高原、藏南谷地以及藏东高山峡谷等不同自然区域,其强对流天气过程,如短时强降水、雷雨大风和冰雹等发生的频率大为增加,往往造成严重的气象灾害。西藏南部边缘地区和藏北地区常常出现强降雪天气过程,造成暴雪灾害。西藏高原也是我国大风最多的地区之一,大风日数比我国同纬度东部地区多几倍甚至数十倍。大风引发沙尘、破坏房屋、树木、农作物、草原植被、电力、通讯等设施。西藏高原冰雹天气出现频繁,雹日多,居全国之首,而且比同纬度其它地区要高出十几倍甚至几十倍。由此可见,西藏地区的强对流天气表现出突发性强、频率高、强度高、影响大、预报难的特点,对其系统研究是提高西藏地区气象水平的重要途径之一。

2009 年,在西藏气象局和成都信息工程学院局校合作的框架下,大气科学学院与西藏气象台开展了“西藏强对流天气短时临近预报预警系统”项目的研究,主要包括两项内容:预报模型和系统平台建设。该论文集即是西藏强对流天气短时临近预报模型研究的主要结果的集成。论文集的研究成果包括三个方面的内容:第一,比较全面地概括了高原强对流天气及短时临近预报的研究现状;第二,获得了西藏地区强对流天气的时空分布特征、环流特征及主要影响系统等天气学背景知识;第三,利用天气学、统计学、数值预报产品、云图特征、雷电特征、自动气象站

资料、三维云模式等提出了多种预报方法和预报指标,提供了比较丰富的预报模型,对西藏地区强对流天气短时临近预报预警系统的设计及实现提供了有效的模型内容。该论文集还显示出实践性和创新性两个重要的特点:第一,论文集中 21 篇论文都是预报模型及相关研究结果,表明论文集中的预报实践性特征尤其突出;第二,论文集提供的预报方法模型中,三维云模式、对流云系模型、V-3 θ 模型、WPD 模型等都是具有创新意义的预报方法,故研究结果具有一定的创新性和先进性。

该论文集的出版是一次较为系统的西藏地区强对流天气及短时临近预报研究成果的总结,将为今后高原天气的进一步研究提供重要基础,也为西藏地区强对流天气短时临近预报预警系统平台的建设提供了重要的模型方法体系的内容。而这次研究项目的局校合作机制也是值得推广的,对促进天气预报水平的提高有重要的现实意义。

编著者

2011 年 5 月

目 录

序一

序二

前言

西藏高原强对流天气及短临预报研究进展·····	肖天贵 假拉 肖光梁(1)
Research into Meteorological Disaster Risk Regionalization in	
Tibet ·····	JIA Lha XIAO Tianguai(13)
A Study of GIS Based Risk Assessment of Meteorological Disasters in	
Tibet ·····	JIA Lha XIAO Tianguai(24)
Wave Energy Signal Features and Prediction Research of the Continuing Heavy Rain Process in Sichuan	
Basin ·····	XIAO Tianguai JIN Ronghua WANG Minghuan JIA Lha(37)
雷暴预报研究进展·····	孙凌 周筠珺 杨静(49)
近 30 年西藏地区雷暴的时空分布特征研究 ·····	燕亚菲 肖天贵 周瑾等(54)
西藏地区强对流天气的主要影响系统研究·····	白彬人 陶勇 肖天贵等(64)
2006 年夏季 FY2C 降水估计效果检验分析 ·····	代华光 普布次仁 罗布坚参(72)
西藏地区强对流系统云系天气学模式研究·····	朱克云 张杰 任景轩等(77)
数值预报产品在西藏地区降水预报中的应用·····	唐叔乙(89)
T639 模式西藏地区预报效果的检验评估 ·····	赵滨 假拉 张博等(99)
中国西南及其周边地区雷电活动的特征分析·····	周筠珺 孙凌 杨静等(112)
改进的 Scofield-Oliver 方法及其降水估计的应用 ·····	林志强 假拉(119)
基于卫星资料与 GIS 的西藏地区日降水插值研究 ·····	假拉 林志强(125)
孟加拉湾热带风暴移动路径的一种客观预报方法·····	林志强 边巴扎西 唐叔乙(133)
拉萨市降水概率预报方法·····	林志强 德庆 次仁德吉(140)
两次雷暴的地闪及降水宏微观特征分析·····	周筠珺 瞿婵 李展等(143)
基于 Google Earth 的气象多参数综合显示系统 ·····	周筠珺 李展 瞿婵等(155)
复杂地貌区域内的地闪特征分析·····	刘畅 赵鹏国 周筠珺等(161)
三维冰雹云模式对那曲冰雹天气过程的数值模拟研究·····	李哲 周筠珺 假拉等(170)
三维对流云模式对成都一次强对流天气过程的数值模拟研究 ···	周筠珺 李哲 瞿婵等(179)
Fisher 型逐步判别分析的强降水预报——以林芝地区为例····	张雷 肖天贵 燕亚菲(185)

基于自动站气象要素资料的西藏地区降水量预报模型·····	肖天贵 吴俞 吴瑶(190)
基于常规气象要素的昌都冰雹预报研究·····	黎玥君 肖天贵 司林青等(195)
基于潜在蒸发量对青海湖流域干旱气候以及影响因素的分析 ···	白爱娟 假拉 徐维新(199)
基于人工神经网络方法的雅鲁藏布江地区强降水预报·····	燕亚菲 肖天贵 张雷(209)
人工神经网络在林芝地区强降雪预报中的应用·····	肖天贵 燕亚菲 张雷等(218)
西藏秋季强降雪天气过程中的扰动能量传播特征研究·····	肖天贵 假拉 张恒(223)
V-3Theta 图在西藏强对流天气预报中的应用 ·····	向卫国 周琳(231)
利用拉萨单站观测资料的强对流天气预警指标研究·····	袁东升 何晗(237)
利用林芝单站观测资料的强对流天气预警指标研究·····	袁东升 杨查(244)
利用昌都单站观测资料的强对流天气预警指标研究·····	袁东升 圣剑(253)
高原切变强对流天气的预警方法研究·····	袁东升 周丽娟(259)
西藏地区强对流天气短临预报预警系统的设计及实现·····	肖天贵 假拉 周振波等(269)

青藏高原强对流天气及短临预报研究进展*

肖天贵¹ 假 拉² 肖光梁¹

(1. 成都信息工程学院大气科学学院, 成都 610225; 2. 西藏自治区气象台, 拉萨 850000)

摘 要:青藏高原是全球气候的扰动源,也是天气系统的改造所和新生系统的重要源地,其重要表现就是高原地区的强对流天气突发性强、频率高、强度大、影响大、预报难。由于高原特殊的地理环境及显著的热力作用和动力作用的影响,高原强对流天气具有不同于东部平原地区的独特特征,其研究具有重要意义。本文概述了青藏高原地区尤其是西藏地区强对流天气研究的进展,包括高原地区强对流天气气候特征,高原强对流天气的环流背景及影响系统,针对强对流天气的预报技术、相关短临预报系统等,为进一步的研究工作和短临预报系统建设提供一个研究背景。

关键词:青藏高原;西藏地区;强对流天气;短临预报;研究进展

青藏高原大约占我国陆地面积的四分之一^[1],平均海拔 4000 m 以上,是世界上最高大、地形最复杂的高原,被誉为“世界屋脊”。青藏高原独特的地形条件使其具有不同于平原地区和一般山地的天气特征。在 20 世纪 70 年代和 90 年代,国家曾组织过两次对青藏高原的大型野外科学考察实验^[2,3]取得了非常重要的成果,对高原地区的环流特征、天气系统、影响系统、热源性质、高原季风、南亚高压等进行了较为深入的研究,揭示了不少新的事实,为青藏高原进一步的天气气候研究奠定了重要的理论基础。进入 21 世纪后,在全球性持续变暖的气候背景下,极端气象事件的频繁发生引起了国内外专家的高度关注;特别是在高原地区,多发的强对流天气对公路、铁路和通信等造成了严重的直接危害,对社会经济的发展构成了严重威胁。2009 年国庆期间发生在西藏安多的一场强降雪过程造成当地的交通中断,多处建筑设施被毁,极大的影响了人们的正常生活和工作。在这种强天气频繁发生和天气气候无缝预报需求的背景下,人们对强对流天气及其短临预报的问题更为关注。本文是这方面的基础工作之一,对高原地区强对流天气及其特征和短临预报系统的研究进行概述,为进一步的研究工作和短临预报系统建设提供一个研究背景。

1. 青藏高原强对流天气气候特征

许多研究表明^[4,5],近 50 年青藏高原显著的气候变化主要表现为两个方面:一是气温的升温速率显著高于中国和世界平均水平;二是降水总量增加趋势明显,但又呈现出时间和空间分布不均匀的特征。在这种背景下,由于西藏地区地形复杂,藏北高原、藏南谷地以及藏东高山峡谷等不同自然区,其强对流天气过程,如短时强降水、雷雨大风和冰雹等发生的频率大为增加,往往造成严重的气象灾害。如西藏南部边缘地区和藏北地区常常出现强降雪天气过程,造

* 发表于《成都信息工程学院学报》2011 年第 2 期。

成暴雪灾害;如西藏高原也是我国大风最多的地区之一,大风日数比我国同纬度东部地区多几倍甚至数十倍,大风引发沙尘、破坏房屋、树木、农作物、草原植被、电力、通信等设施;又如西藏高原冰雹出现频繁,雹日多,居全国之首,而且比同纬度其他地区要高出十几倍甚至几十倍。所以首先需要研究高原强对流天气的气候特征。

1.1 高原强降水的气候特征

高原地区显著的气候特征表现为湿季和干季分明。假拉,杜军等^[6,7]的研究指出西藏大部分地区的盛夏(7—8月)降水量在 100 mm 以上,在典型的雨季常出现连续性强降水天气,造成山洪暴发,水位猛涨,发生不同程度的洪涝灾害。沿雅江一线、那曲大部地区、昌都地区北部、林芝地区大部发生洪涝的频率在 30% 以上;昌都地区中南部、南部边缘地区、贡嘎、浪卡子、尼木、南木林、申扎发生重涝的概率则低于 10%;其他地区发生重涝的频率在 13.3%~16.7% 之间。

王遂镡^[8]等研究青藏高原东北侧夏季强降水指出,高原东北部强降水的分布明显受到地形的影响,年均强降水次数自东向西呈阶梯性递减趋势,分别在其东北部的的外流河谷地区和其东南部的四川北部地区存在大值中心;年降水量呈东南多西北少的分布特征,柴达木盆地的年降水量最少。湛芸^[9]等研究青藏高原东北部强降水气候特征时指出,高原东北部地区强降水的特点是单站暴雨多,局地性强,时间短,强度大;高原东北部的外流河谷地区两侧山脉的年降雨量较大,年均强降水日数较多,河源处相对较小,具有河谷地形的降水特点;高原东北部强降水出现的时段相对来说比较集中,具有北方暴雨的特征,主要集中在 7 月和 8 月,这两个月出现的站次占总站次的 60% 以上;强降水日数和站数具有明显的年代际变化特征,近 10 年来区域性强降水的次数有所增加;强降水天气过程大都具有夜发性的特点。白虎志^[10]等研究青藏高原及临近地区的气候特征指出,青藏高原东南地区的降水特征呈双峰型,西北地区的降水特征呈单峰型;西南部地区存在明显的“高原梅雨”、伏旱和秋雨。

1.2 高原雷暴的气候特征

西藏年雷暴日数为 10~87 d,具有出现次数频繁、生命史短的特点。假拉等总结了西藏雷暴的空间分布特征^[6]沿雅江一线大部和那曲地区是西藏高原雷暴最多的地区,年雷暴日在 70 d 以上,属强雷暴区。在雷暴多发区有两个高值中心:一个在索县,年雷暴日数达到 87 d;另一个在贡嘎,年雷暴日数为 82 d。阿里地区西南部、林芝地区、昌都地区中部、南部边缘地区年雷暴日数相对较少,年雷暴日在 20 d 以下,属于少雷暴区,其中波密年雷暴日仅 9.5 d,为全区最少。唐小萍等^[10]分析也表明,西藏高原中部地区是雷暴多发区,东南部、西北部及南部边缘地区雷暴相对较少;西藏雷暴多发区有三个高值中心:是索县、江孜,另一个高值中心则在贡嘎。可见索县和贡嘎确实是西藏雷暴的高值中心。

西藏雷暴日还有显著的季节变化和日变化特征。高庆华等^[11]指出从季节看,西藏大部地区的雷暴主要出现在 4—10 月份,占全年雷日数的 90% 以上,个别地方达到 100%;1 月份西藏雷暴日数开始明显增多,雅鲁藏布江中游至尼木段、那曲地区大部,以及定日、八宿、察隅 6 月增多最快,其他地区 5 月增多最明显。10 月份随着干季的到来,各地雷暴日数迅速减少。唐小萍^[12]等也分析证实了这种季节变化的特征,认为西藏雷暴随季节变化迅速,大部分地区雷暴日数集中出现在 4—9 月份,而且以 6 月和 10 月变化最快;雷暴出现频繁,持续时间短;西藏地区初、终雷暴的间隔日数大都在 100 d 以上,那曲地区、东北部、雅江中下游地区雷暴间隔

时间较长在 160 d 以上,其余地区间隔时间相对较短。从雷暴发生的日变化看,西藏全区雷暴平均出现的时间主要在 13:00—02:00 之间,约占雷暴发生的 98%,03:00—12:00 仅占 2%。从区域分布来看,昌都地区、沿江一线主要出现在 13:00—02:00,林芝地区和南部边缘地区主要出现在 14:00—20:00 以及 02:00,阿里地区主要出现在 12:00—05:00,而那曲地区主要出现在 12:00—03:00。郗秀书^[13]等也指出,高原雷暴 93.5% 的雷暴过程发生在当地时间 13:00—22:00 时之间,68% 发生在当地时间 13:00—18:00 之间。雷暴的生命史较短,如果定义雷暴过程持续时间为从第一次闪电到最后一次闪电之间的时间,则最短的只有 8 min,最长的有 111 min,大约有 41.9% 的雷暴持续时间小于 30 min。高原上不仅雷暴多,而且在一个雷暴日内,雷暴出现次数频繁,一天中发生 2 次以上雷暴过程的雷暴日约占 1/3,2003 年 8 月 11 日曾发生了 5 次雷暴过程。在所观测到的完整雷暴过程中,有 60% 的雷暴过程伴随有降雹过程降雹,持续时间在 10 min 以内,大多数约 5 min。

1.3 高原暴雪的气候特征

大雪和暴雪过程是形成雪灾的重要天气过程。普布卓玛^[14]在西藏高原雪灾中期成因研究中指出:在 20 世纪 70 年代,那曲地区中西部以轻、中度雪灾为主,索县以中、重度雪灾为主要年际特征,嘉黎出现重雪灾 2 年;南部边缘地区除聂拉木为重雪灾为主外,其他各地均为轻灾;阿里地区西南部轻、重雪灾各出现一次。在 20 世纪 80 年代,西藏大部分地区出现雪灾的频数有所增加,如那曲地区、南部边缘地区出现 1 次重雪灾,聂拉木、嘉黎出现了 3 次重雪灾。进入 20 世纪 90 年代,那曲地区大部、南部边缘地区雪灾频数仍有不同程度的增加,其中聂拉木、嘉黎分别发生了 6 次和 4 次重雪灾,这说明两地雪灾有加重的趋势。从雪灾出现的区域性频次特征来看,马林、张青梅^[15]得出那曲地区中东部、昌都地区西北部、日喀则地区南部、阿里地区西南部雪灾频率在 20% 以上,其中那曲地区东部为 42.5%~72.5%,聂拉木为 57.5%;那曲地区西部、山南地区南部雪灾率为 15.0%~17.5%;沿江一线河谷农区、林芝地区无雪灾。重雪灾发生频率那曲地区东部可达 10%~27.5%,其中嘉黎县频次更高,平均 3—4 年一遇;南部边缘地区以聂拉木发生重雪灾的频率最大达 32.5%,错那、隆子出现频率最小为 2.5%,平均 40 年一遇;阿里地区发生重雪灾的频率平均为 2.5%~7.1%,其中普兰最大,平均 14 年一遇。

董文杰^[16]等曾在研究高原东部牧区雪灾气候特征指出,高原东部牧区雪灾主要发生在巴颜喀拉山南缘和东麓地区;东部牧区雪灾在一年之中有 3 个高发月:11 月、3 月和 2 月,雪灾期可从上年 10 月延到当年 5 月长达 8 个月,期间重雪灾发生的几率最大。青藏高原东部牧区的雪灾近 30 年来呈上升趋势。从 1968—1976 年冬春,雪灾的发生率较低,为一较长时段的雪灾发生的低值期,其中 1971 年冬春发生的雪灾最少;此后有 3 个高峰期和 2 个低谷期:1977、1982 和 1988 年冬春为 3 个峰值年份,1988 年冬春发生的雪灾最多;1981、1985 年冬春为 2 个低值年份,1989—1992 年冬春处于相对低发期,从 1993 年开始又进入高发期。在定义了后冬雪灾(发生在 1—5 月的雪灾)和前冬雪灾(发生在 10—12 月的雪灾)概念后,分析表明,1970 年代是前冬雪灾的高发期,1980 年代末到 1990 年代是后冬雪灾的高发期。

1.4 高原冰雹的气候特征

多冰雹是西藏高原天气的重要特点之一。刘雪松^[20]得出一些重要的气候特征:西藏年冰雹日数为 1~34 d,夏季冰雹出现频繁,雹日之多居全国之首,且比同纬度其他地区要高出十几

倍,甚至几十倍。西藏冰雹出现最多的地区是那曲地区,大部分县的雹日在 18 d 以上,其中申扎、班戈、安多、那曲至索县一带可达 25 d 以上,多雹中心的那曲可达 34 d 以上;多雹区基本上与多雷暴区相吻合,但中心位置较雷暴偏西。西藏地区次多雹中心在浪卡子、定日、隆子等藏南山原湖盆一带,为 10—20 d。而在林芝地区、昌都地区的怒江中游、普兰至帕里一带,沿雅鲁藏布江南岸冰雹较少,年冰雹日不足 5 d,其中察隅、八宿等地 1971—2000 年来未出现冰雹。

西藏冰雹还具有降雹季节性强、雹日高度集中的特点。李世奎等^[17]研究指出西藏大部分地区的冰雹出现在 4—10 月份,尤主要集中在 6—10 月份,约占全年冰雹日的 70%~80%,个别地方甚至可达 100%,属于典型的夏雹型。西藏冰雹的月季变化分两种类型:一种为单峰型,阿里地区、那曲地区西部、沿江一线属于这类型;林芝地区中西部降雹日也呈单峰型,冰雹主要出现在 3—6 月,4 月为降雹高峰期。另一种为双峰型,主要分布在那曲地区东部、昌都地区北部、当雄等地,冰雹多出现在 5—10 月,6 和 9 月为两个峰值,7 和 8 月相对较低。西藏冰雹的日变化也相当大,历史资料统计分析,西藏冰雹主要出现在白天,且集中出现在 13:00—20:00,占降雹总次数的 60%以上;21:00—08:00,各地虽有冰雹出现,但其概率很小。

张核真^[18]等也利用西藏 30 年有关冰雹资料进行了分析,指出西藏的藏北、藏南各有 1 个多雹区;各地冰雹具有季节性强、随季节变化迅速、雹日高度集中、以小冰雹(直径 $D < 0.5$ cm)为主和降雹持续时间短(时间 $t < 10$ min)等特点;冰雹造成的危害中部大于东、西部,农区大于牧区。次仁尼玛^[19]利用山南地区主要农区气象站 1980—2007 年逐日冰雹发生频次资料,对该区域冰雹发生的时间、范围和分布规律进行了分析得出:沿江一线除贡嘎外,月冰雹峰值出现在 6—7 月之间,5、8 月次之;南部农区的冰雹峰值出现在 9 月,6、7 月次之;年累计冰雹日数南部明显多于沿江一线,而沿江一线中却存在着中间多、两头少的现象;泽当农区冰雹频数存在着比较明显的准 2 年、准 6 年和准 9 年的周期振荡,还存在着准 15 年的年代际周期特征,贡嘎农区年冰雹频数在 90 年代中期之前存在着准 3 年和准 5 年的周期震荡以及贯穿 28 年的准 15 年周期,加查农区年冰雹频数既具有与沿江其他农区较为一致的准 3 年和准 6 年周期,同时还具有自己独特的准 12 年周期,隆子农区年冰雹频数具有准 2 年、准 6 年和准 9 年的周期特征。

1.5 高原大风的气候特征

西藏高原年大风日数远比同纬度其他地区多,年平均为 0—150 d。假拉,肖天贵^[22]在做西藏的区域气象灾害研究时指出西藏的大风主要分布在阿里地区、那曲地区和昌都地区西北部。那曲地区、阿里地区东北部在 100 d 以上,其中安多最多,为 149 d,有些年份甚至可达 283 d(1976);那曲地区东部、拉萨市北部、阿里地区中西部、昌都地区西北部、日喀则地区西南部、山南地区南部为 50—100 d;林芝地区大部、山南地区东南部不足 10 d,而林芝地区的东南边缘地区大风日数更少。显示出西北部多,东南少,高山、平原多,低山、峡谷少的特点。西藏大风的季节变化规律也比较明显,冬、春季多,夏、秋季少。西藏大风主要集中在 10 月—翌年 5 月,尤以 2—4 月最多,占全年的 26%~70%,其中又以 3 月份最多。7—9 月份大风日数明显减少,藏北一线占全年的 10%~25%,沿江一线河谷农区占全年的比例低于 9%。西藏大风日数的月际变化可以分为 3 种类型:第一种为单峰型,阿里地区大部,沿江一线、昌都地区大部属于这一类型,峰值出现在 3 月,7—8 月大风最少;第二种为丁青的双峰型,5 月份大风最多,为第一峰值达 9.4 d,9 月份为第二峰值月,平均为 6.4 d,11 月—翌年 1 月其大风相对较少;第

三种为嘉黎的“乙”字型,1—6月大风日数较多,平均每月大风日数为4 d,10月份最少,平均仅有1.4 d,87%的年份平均大风日数不足2 d。大风多发区那曲地区大风天气主要出现在08:00—20:00,并且冬春季白天大风日数的比例都在75%以上,最高月份可达96%。08:00以前和20:00以后极少出现大风天气。

白虎志^[21]等在做青藏高原及青藏铁路沿线大风沙尘日数时空特征时指出:高原上的大风及沙尘日数冬春季多、夏秋少,在高原主体上冬季比春季略多;青藏高原大风日数高发区域主要集中在高原中部地区,除高原南部、东部边缘及柴达木盆地东部的年大风日数在40 d以下外,高原主体多年平均年大风日数一般都在60 d以上,以托托河为中心的地区年平均大风日数在100 d以上。这种整体分布特征与高原主体地区受高空急流的影响有关,而高原边缘及柴达木盆地等的大风则是地面冷锋等影响的结果。

2. 青藏高原地区强对流天气的环流背景和影响系统

2.1 强对流天气的环流背景

假拉,肖天贵^[23]等指出西藏强对流天气出现的大尺度环流形势大体为两槽一脊型、两脊一槽型、横槽转竖型、东高西低型、纬向波动型五种类型。

两槽一脊型。脊前槽后的西北气流引导冷空气快速南下,使高空温度下降。同时冷空气的下沉作用又促使云层消散,有利于低层辐射增温,这种高层降温与低层增温同时出现的机制,引起大气层结稳定度的急剧下降,导致西藏地区出现对流不稳定区,造成西藏高原的强对流天气。

两脊一槽型。槽底不断分裂冷空气东移南下,高空锋区随之南压 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{E}$,南支槽配合发展,槽前有西南气流,或由藏西南低压配合发展,大量暖湿气流携带大量能量被带入高原,使高原水汽变得丰富且能量加强,冷暖气流在西藏高原西南部交汇,形成锋面,使暖湿空气被抬升,空气不稳定能量加强释放,造成藏南强对流天气。

横槽转竖型。脊前横槽位于西西伯利亚到巴湖附近,冷空气在横槽中聚积,使横槽南侧形成强大的锋区,锋区强大的抬升作用使空气的不稳定度加强。南支槽发展较弱,南部暖湿空气随弱的偏南气流被带入高原,使高原水汽得以补充。随着高压崩溃南垮,横槽转竖,冷空气一举爆发南下,造成高原大范围强对流天气。

东高西低型。这种环流形势下,由于东部高压坝的阻挡,在西藏存在一明显的辐合区,强烈的辐合上升运动造成西藏大范围的强对流天气过程,且具有降雪强度大、维持时间长、灾害严重等特点。

纬向波动型。在大低压的西南部,巴湖到帕米尔高原有较强的冷空气堆积。当中纬度槽脊与帕米尔高原短波槽脊同位相叠加时,经向度加强。槽后西北气流引导巴湖冷空气南下,与西藏南部的西南暖湿气流结合,使暖湿空气被抬升,使空气不稳定能量加强释放,易造成西藏南部强对流天气过程。

2.2 强对流天气的影响系统

影响西藏高原的强对流天气的主要天气系统主要有:高原切变线,高原低涡,高原低槽。

2.2.1 高原切变线

朱乾根等^[24]指出夏半年在青藏高原地区经常出现的500 hPa切变线是高原地区的最重