

文章编号 :1006-7639(2004)-01-0080-06

甘肃省冰雹云研究综述

渠永兴

(中国气象局兰州干旱气象研究所,甘肃 兰州 730020)

摘 要 本文简述了人工防雹在甘肃的发展历程,总结和概括了 40 多年来甘肃人工防雹科研进展和取得的主要成果。分析了人工防雹中存在的主要科学技术问题,并提出了解决这些问题的一些看法;最后,提供了较为丰富的甘肃人工防雹文献。

关键词 甘肃;冰雹云;研究;综述

中图分类号 P482 **文献标识码** A

引 言

甘肃位于我国黄土高原、内蒙古高原与青藏高原的交汇处,西南部祁连山和甘南高原处于青藏高原东北边缘,海拔 3 000m 以上。东南部的陇南山地属秦岭山脉的西延部分,海拔大部分在 2 000~3 500m。中部和东部的黄土高原,海拔大都在 1 500~2 500m。河西走廊海拔大都在 1 000~1 500m。总体呈现高山、高原、丘陵、盆地、河谷、戈壁、沙漠等多种地形地貌特征。地方性天气极为显著,季节和日变化十分明显。干旱、冰雹是农业生产的最大威胁^[1]。

永登防雹试验区位于甘肃省中部,黄土高原的西北边缘。居陇西黄土高原和祁连山地的交接地带,海拔大都在 1 700~4 000m 以上,地势西北高东北低。西北部的马雅雪山是祁连山脉余脉分支,地处天祝县高寒草原地带。海拔高度在 4 000m 以上,相对高度约 1 000m。山顶是石灰岩覆盖,有水池,山坡阴湿多水,海拔 3 800m 以上,3 800m 以下遍地草地,水气充沛。有利于雹云生成,是冰雹的主要源地之一^[2~3]。

1 甘肃人工影响天气的历史和发展

甘肃有组织的人工防雹、增雨工作始于 1958 年。20 世纪 60 年代以土炮防雹为主,20 世纪 70 年代初,形成了高峰,防雹工具也已由民间土炮、土火

箭、空炸炮发展到高炮、火箭,1972 年全省防雹作业点有 1 万多处,防雹火箭 4 万件;37"高炮 84 门。作业区域主要分布在武威地区以东。省气象局在永登设立了人工防雹试验研究基地^[4~8]。

永登防雹试验基地自 1971 年建立后,开展了为期 15a 的防雹试验。基地面积 760km²,1973 年启用 711 测雨雷达,1975 年配备 701 测风雷达。基地设有 13 个地面观测点,各点均配有压、温、湿、风和雨量等 5 个自记仪器,每天进行 5 次定时观测。基地探空站每天 1 次定时施放探空和不定时的入云探空。还开展地面气象观测、通讯、预报、雹情、冰雹切片、雹云录像等资料收集工作。取得了 1 000 多次降雹区环境场的无线电探空资料,100 多次进入雹云和雷雨云的探空资料,150 多次冰雹云过程近万张的测雨雷达探测雹暴的回波照片和探测数据,700 张冰雹切片的照片资料和 6 000 余份地面观测网点资料。1986 年建立了岷县人工防雹试验基地,开展冰雹云结构和高炮防雹作业指挥系统的研究。多年来,气象科技人员根据这些资料,对冰雹云的气流和温度结构、雹云的雷达回波特征、龙卷风回波特征、冰雹预报、雹云识别、雹云分类特征、人工防雹作业方法、防雹效果和防雹武器等方面进行了分析研究,取得了重要的科研成果。兰州高原大气物理研究所也在平凉开展防雹试验研究工作^[9]。

自改革开放以来,随着人工影响天气科学技术的发展,人工影响天气逐步受到各级政府的高度重

视投入逐步增加,作业规模有所扩大。目前,甘肃省开展高炮、火箭人工增雨、防雹作业的有 11 个地(市、州)49 个县(区)和兰州军区山丹军马场。拥有高炮 230 多门,大小火箭发射架 19 个,作业点 205 处,年耗弹近 5 万发。河西地区以增雨为主,中东部地区防雹增雨兼搞。在高寒阴湿多雹区和定西干旱多雹区都建立了高炮防雹增雨试验示范区,并把防雹增雨科研成果在全省作业中推广应用,使得冰雹造成的损失减少 40% 以上,为农业生产抗灾减灾做出了贡献。

2 甘肃冰雹天气气候特点

甘肃降雹主要特点是:南部开始早,东南和西北部开始晚。西南部和山区冰雹多,东南部冰雹少,日降雹时间自西北向东南推移。全省 4 个降雹中心分别在乌峭岭、玛曲、岷县、永登。河西走廊北部沙漠地区和陇南一带为少雹区,见图 1 和图 2。

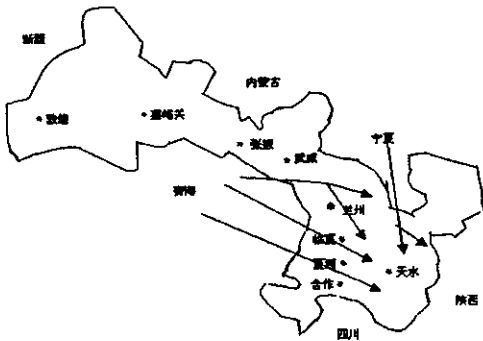


图 1 甘肃省冰雹路径示意图

Fig.1 The hailstorm path in Gansu province

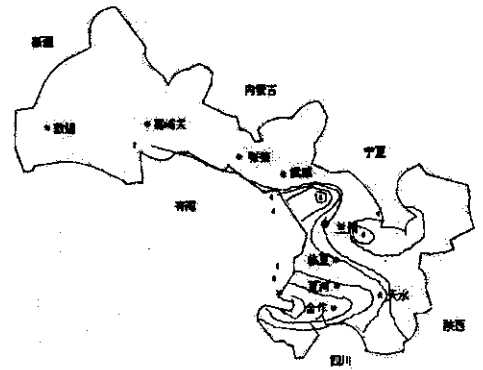


图 2 甘肃省冰雹年平均日数分布图

Fig.2 The distribution of annual mean days of hailstorm in Gansu province

影响甘肃省的主要雹源与路径有:

① 发源于祁连山区东部,由乌峭岭向东南方向移动,影响天祝、永登、兰州、皋兰、临夏等地。

② 发源于青海省的拉鸡山区和西倾山区,向东南方向移动影响临夏、甘南、岷县、宕昌等地。

③ 发源于宁夏贺兰山区,有时在六盘山加强,影响甘肃庆阳、平凉地区和天水地区的清水、张家川等地^[1,10]。

永登防雹试验区冰雹发生周期长。每年 4~10 月都可能出现,最早出现在 4 月 17 日,最迟 10 月 29 日,降雹次数多,每年平均有 20 多天雹日,冰雹频繁活动年份,有时可达 30 多天。就单点来说,川区年平均 3.6d 雹日,最多 9d;山区年平均 4.2d 雹日,最多 17d;林区年平均 3.3d 雹日,最多 8d。降雹季节集中,6~9 月是冰雹活动旺盛期,降雹时间多出现在 12~20 时,13 时~19 时最多,成灾的可能性大。6~9 月正是该区农作物生长的关键期和收获季节,又是冰雹活动盛期,一旦降雹就会造成灾害。

试验区冰雹云大部分从天祝县和青海移来。北部天祝县境内的毛毛山、马雅山(白疙瘩山)、雷公山海拔均在 4 000m 以上。相对高度>1 000m,加之山区气候阴湿,水汽充沛,有利于雹云生成,是冰雹的主要源地。另外,青海省的葱花岭也是一个雹源。试验区主要路径有 4 条。

(1) 毛毛山西侧或西板沟一带—坪城—清水—古山—秦川—西槽—皋兰县。

(2) 石板湾—石门岷—石家滩—缸子沟—金嘴—中堡—城关—柳树—大同—龙泉—西槽—树屏—皋兰县。

(3) 红崖沟—石家滩—缸子沟—大有—民乐—(通远—七山—红古区)或(连城—河桥—红古区)。

(4) 由葱花岭方向—连城—河桥—红古区^[2,11]。

3 甘肃冰雹天气学成因和特征

一般冰雹云的空间分布受盛行气流、天气系统、海拔高度、地形^[12~13]和下垫面性质等多种因素制约。6~7 月是甘肃降雹较多的月份。分析其原因,主要是初夏少雨,近地面气温升高,本区位于青藏暖高压前部,高空盛行西北气流,多冷空气活动,使层结不稳定,故易降雹。海拔高于 3 000m 的地区,6 月零度层离地面较低,云层温度较冷,不易形成大雹粒,但在温度最高的 7 月冰雹最多。

大范围的强降雹与特定的高空形势有关。在甘肃降雹的 4 类天气形势中,西北气流型降雹最多,占总降雹日数的 59%~71%,低涡、切变型次之,冷锋

型和西南气流型最少。前 3 类降雹形势的共同点是,西北方均有冷空气南下与下游槽结合,降雹区高空盛行西北气流,其层结特征是高空温度偏低造成深厚的不稳定。它们的区别在于影响系统强度和路径不同。第 4 类西南气流型,降雹范围较小,主要在青藏高原地区和甘肃的甘南等地。在西北气流型中,卫星云图上表现比较典型的是蒙古国上空有涡旋云系,在涡旋云系西南方(即青藏高原东北部)西北气流里有对流细胞、积云线或积云变稠密区。积云区西到柴达木盆地,北到河西走廊,东到甘肃东部,在祁连山区到甘南一带能看到大片积云区,在蒙古涡旋云系维持期间,将使河东产生连续几天的区域性冰雹天气^[10~21]。

4 甘肃冰雹云的气流结构

从地面风场分析,雹云过境,地面单站风会发生显著变化,风向转变或风速加大后几分钟到十几分钟即对应地面降雹。气象要素发生急剧变化,气压跃升、温度急降、湿度猛增,降水量迅速增大、地面降雹降雨。

中小尺度分析表明,降雹区在降雹前局地是一个辐合风场。多在 09:30 左右形成局地辐合运动,降雹区风向转为东南风,形成辐合区。中午辐合加强,局地增温加快,雷暴单体积聚衔接发展迅猛。这也是冰雹产生的多发时段,一旦降雹结束后,辐合风场也随之破坏,风向已转为西北风。

雹云中垂直气流速度随高度的分布近似抛物线,垂直气流速度随高度的增加而增大,在雹云中上部达到极大值,往上垂直气流速度又迅速减小,出云后有一段持续而微弱的下沉气流。强雹云中的垂直气流速度都超过 12m/s,最大值为 28m/s,造成重灾或特重灾。

综合探空、雷达和地面资料推测上升气流从雹云的移行前方右侧底部进入雹云,通过雹云主体从云层上部移行的前方离开雹云,下沉气流从雹云后部、云层中部进入雹云,又从雹云底部离开雹云。

雹云内高空风与 09 时空高空风对比分析,雹云内各层水平风速比 09 时测得的各层风速小得多,而海拔 12km 以上高空风速比 09 时探测结果偏大,雹云中下部以下的高空风与 09 时相比有较大的风向切变,雹云顶部位位于最大水平风速层下约 1km。

冰雹云的移向,与平均风向基本一致,略有偏角。从 09 时测风资料分析,近地层风向为 NEN,风

速约 3m/s;5.50~18km 为偏西气流;3~6km 有明显的风向切变,切变的极大值出现在 5~6km;6~12km 有明显的风速切变,风速切变极大值出现在 9~10km 高度;10~14km 为高空急流区;14km 以上风速迅速减小,风向作逆时针旋转;24km 以上为偏东气流。

5 甘肃冰雹云的温度结构

雷雨、冰雹日 09 时温度垂直分布是地面到 265hPa(约云顶高度),在同一高度上雹日比雷雨日温度偏低,尤其突出表现在 450~300hPa 之间,而高空 200~80hPa 雹日温度显著偏高,260~200hPa 雹日与雷雨日温度分布递减相同。

-20℃~-32℃ 层其各层离地高度:雹日比雷雨日低 21hPa,强雹日的各主要温度层处于最低处。进一步表明,高空有强降温,使云中自然成冰区大为增加,有利于冰雹的形成。

0℃层和-20℃的高度差 ΔH ,雹日比雷雨日小 7~9hPa,这表明雹日这层垂直温度梯度大,导致对流层中上各层大气不稳定。

雹云顶高所对应温度比雷雨云低 2~6℃,6 月份最为显著,雹云偏低 6.1℃,雹云强回波顶高所对应温度比雷雨云要低 10~16℃,7 月份最为显著,雹云偏低 16.3℃。所以,强回波顶高和对应的温度是区分降雹、降水强度较好的指标。

强回波负温区厚度随着雹云强度的不同有明显的差异,弱雹云强回波负温区厚度 3~300m,中等雹云为 4~460m,而强雹云可达 5~600m。分析表明:负温区越厚,则冰雹越强。雷雨云和雹云在强回波负温区厚度上有明显差异,雹云要厚 1~400m 左右,强雹云要厚 2~500m。

逆温层^[20]分析表明:雷雨云和弱雹云的雷达回波顶高可进入云顶附近的逆温层,但平均不会突破逆温层,而中等强度的雹云和强雹云由于上升气流强烈,比雷雨云和弱雹云大,其回波顶高可突破逆温层 600~800m,强雹云的强回波顶可进入逆温层中。

雹云和 09 时探空分析雹云内温度分布特点是雹云云顶温度要比雷雨云低 4~6℃,并随着雹云强度的增加,云顶温度明显下降,过冷却区域增加。也就是说云底温度和云顶温度很大程度上可以决定云内水相和降水性质。

雹云内外的温差随高度的变化近似抛物线分布。它与垂直气流速度随高度的分布很相似,雹云

内外的温差随高度而增大,在某一高度达到极大值,向云顶迅速减小,雹云的上半部维持较大的温差,最大温差层出现在 400~300hPa 之间,在同一高度雹云内的温度可以超过周围环境温度 1~5℃,目前测得最大差值为 5.1℃。

雹云内外温差随高度的变化趋势都是一致的,成抛物线分布,雹云上升气流内温度具有暖心结构。是因为水滴在发生冻结时,由于相变而释放潜热,增大了云内温度,当上升气流增大,则相变发生越剧烈,而释放的潜热就越大。云内外温差就越大,云内温度垂直分布是湿绝热递减的,温度曲线和露点曲线接近重合。上升速度最大值所在高度的温度为 $-14^{\circ}\text{C} \sim -32^{\circ}\text{C}$ [14~16, 22~24]。

6 甘肃的雹云回波分类

造成灾害性的强雹云回波往往具有独特的形态特征,对这些回波进行细致的研究,不仅有助于我们研究雹云的结构特征,而且在识别冰雹云方面具有实际意义 [25~36]。因为在实际探测和对雹云的催化作业中,发现降雹部位仅仅是回波很小的一个区域。一块冰雹云 PPI 回波尺度往往是几十 km^2 至 2 000 多 km^2 ,然而降雹部位只占水平面积的 1% 左右。当雹云种类不同,它的降雹部位也有显著差别。根据多年观测,我们把甘肃的雹云分为 4 类:强单体、多单体、中小系统单体和一般单体。

强单体是一类罕见的特强雹云,约占雹云总次数的 4%。在 PPI 上显示单一结构。它有 1 个主单体与其它 2 块单体合并组成仅有 1 个强反射率核的大单体,其水平面积约 2 000 多 km^2 。在 RHI 上具有典型的前悬回波、弱回波区和回波墙。这种雹云往往高空有强的冷空气侵入,中层有强烈的风速切变配合产生,会造成局地最严重的灾害。强单体回波具有降雹直径大(可达 5cm)持续时间长(生命史平均 7.5h)的特点,降雹持续时间 32min,地面积雹 22cm 厚,降水量 38.6mm。

多单体它常造成较大范围雹灾区,是一种最常见的较强冰雹云体,约占雹云总次数的 64%。多单体这类雹云往往出现在锋面、飑线、切变线影响下的雷暴中,由于天气系统和热力条件不同,回波带分单带、双平行带、平行短带、涡旋状回波 4 种类型,多单体是由多个单体有规则的排列成行成带的冰雹云体,新生单体不断在风暴辐合线中及移行前沿出现,并迅速发展,母云与新生云并存地向前面伸展,进入

成熟阶段,中间和移行右侧单体发展异常猛烈,引起地面降雹。此类雹云平均以 24km/h 的速度向 129° 方向移动,雹暴生命史约 5h,降雹持续时间 17min,平均最大直径 1.6cm。

中小系统单体,占总降雹次数的 13%。在 PPI 上它是由处于不同发展阶段的几个单体组成,其中每个单体都有新生、成熟、直至消亡的生命过程。在 RHI 剖面成弯柱状,略有悬挂。这类雹云往往出现在西北气流控制,高空槽或冷温度槽和地面切变线配合产生。在雷雨带移行前方存在孤立少动的雹云单体,造成范围中等,强度中等的冰雹灾害。引起局地中等冰雹灾害,冰雹直径 1.8~2.5cm,地面积雹 3~6cm,大冰雹成梨形,小冰雹多呈圆球形,降雹持续时间 19min,降雹次数平均 2 次,有时降雹带长达 16km,宽 6km,降雹部位位于中小系统单体移行的右后侧,后一条回波带,既主体云,不降雹只下雷雨。

7 人工防雹技术的复杂性

由于气象灾害的形成和变化的复杂性,人类虽经长期努力研究,但到目前为止还有许多问题没有搞清楚,还没有完全掌握它的形成机理和变化规律,因此还不能用人为的方法完全消除它。从这个意义上来说,人工影响天气技术远不是一个成熟的技术,还需要进行长期研究并不断完善。

人工防雹,就是对将要降雹的冰雹云施加人工影响,以减少和避免冰雹灾害。人工防雹的基本原理主要包括两方面:一是冰雹的形成原理;二是阻止冰雹形成的原理,也就是防雹原理。苏联科学家 G. Sulakvelidge 在 20 世纪 60 年代提出的累积带理论, K. Browning 和 F. Ludlam 提出的循环增长理论,这些理论给出了冰雹增长的概念模型,反映了一定类型冰雹云中冰雹的生长过程。后来 G. Sulakvelidge 又提出了过量播撒理论,即在冰雹云的适当部位和适当时间播撒碘化银等冷云成冰核催化剂,使它们争食云中有限的过冷水,抑制大冰雹的形成,达到减少或消除冰雹灾害的目的。在 20 世纪 60~70 年代,美国的 Simpson 又提出了动力催化的概念,认为在云中引入大剂量的成冰剂可使云中过冷水和雨水迅速冻结,从而释放潜热促进云体发展,增加降雨,减少冰雹。尽管这些理论有一定的局限性,但目前仍是我国防雹技术所依赖的理论。

经过我省科研工作者 40 多年的不懈努力,虽然我们在冰雹云的分类、预报、识别、数值模拟及其宏、

微观结构方面,在人工影响催化剂、作业工具及其作业方法方面以及冰雹云的探测仪器设备方面,都取得了很多成果^[38~41],但由于我们对雹云的认识还不够,还没有找到更有效的办法对雹云施加影响,现在的防雹减灾技术还不能完全阻止冰雹灾害的发生,因此它还不是一个完全成熟的技术,这就给具体作业带来困难。另外,由于雹云演变迅速,移动快,这就给防雹减灾作业带来更大困难。要求决策合理、作业迅速、作业方法先进、避免盲目性。如何在现有的防雹减灾技术基础上做到这点,提高防雹减灾效益,是每个从事防雹减灾工作者所面临的重要课题。

8 人工防雹的基本理论、作业方法、效果检验需要新的突破

冰雹形成理论和防雹理论基本上是一些物理概念模型,虽然得到了一些观测事实支持,能解释一定类型冰雹云中冰雹的形成,但我们应该通过观测和数值模拟对这些理论作更广泛的验证和鉴别,分析其适用条件和局限性,发展成定量的理论。

甘肃冰雹云有多种类型,其冰雹形成过程也不尽相同。我们应该从数值模拟的角度来分析这些类型适用的条件和局限性。进一步加强不同类型冰雹云结构和冰雹形成过程的观测研究、加强冰雹微物理结构和雹谱的观测研究,更要加强冰雹云和冰雹形成的数值模拟研究。

目前我省人工防雹的作业还是凭临场经验,炮点指挥者的云物理学知识、防雹经验和临场的判断直接影响防雹效果。为此,就要对各地冰雹云的特点和冰雹形成过程有很好的了解,对作业方法(作业时间、部位、剂量等)要有理论和采用模式计算。根据不同冰雹云类型,采用不同雷达探测的回波参数,用较完整的(先进的)冰雹云模式和现代人工防雹理论,计算出最佳作业技术参数,从而建立人工防雹专家系统。在实际现场应用时,把上述人工防雹专家系统与雷达探测,计算机和通讯设备藕合成人工防雹作业指挥系统。通过实践检验,不断提高和完善这个系统的有效性。这样,可以摆脱个人知识和经验的手工作业方法,采用由现代云物理学知识、现代化的计算机和通讯技术相结合的综合系统,实现人工防雹作业方法的客观化和定量化。

取得良好的效果是人工防雹的根本目的,我省科研工作者对防雹效果进行了有益的尝试^[42~43]。

效果的好坏也是检验人工防雹科学水平的重要标准。由于降雹是一种小概率事件,降雹的时空变率很大,用前后或左右对比方法进行的简单的对比说服力不强。国际上比较重视随机作业的效果检验,但在我省以实用为目的的人工防雹活动中是无法采用随机作业的。在效果检验方法应注重两个方面:一是加强发展定量的降雹预报,显著提高降雹量和落区的预报准确率;二是发展有云物理内容的统计检验方法,加强降雹状况和灾害的监测。

近一二十年来,数值模拟已应用到人工防雹各个环节,几乎可以模拟各主要类型云和降水的形成和演变过程^[44]。但是,在人工防雹的试验和作业过程中实际应用还很不够,人工防雹的预报、识别、作业到效果检验的各个环节仍然依赖于经验和统计分析结果。所以应该发挥数值模拟在人工防雹各个环节上的重要作用,提高人工防雹各个环节的科学水平,与现场观测、研究结果、计算机和通讯技术结合起来,发展有现代云物理成果,有现代化技术的能快速反应的人工防雹作业指挥系统。

参考文献:

- [1] 杨振东. 甘肃省农业气候资源分析和区划[M]. 兰州: 甘肃省气象局, 1982. 84-85.
- [2] 永登县农业区划委员会. 甘肃省永登县农业气候资源调查和区划报告[R]. 1985. 52-55.
- [3] 渠永兴. 永登上游地区冰雹源地环境场特征分析[J]. 甘肃气象, 2002(1): 40-41.
- [4] 甘肃省气象局. 甘肃省群众性人工防雹试验工作汇报[A]. 全国人工降水防雹科技座谈会报告选编(下)[C]. 中央气象局研究所, 1973. 1-6.
- [5] 兰州中心气象台. 岷县八郎地区冰雹活动规律的认识[A]. 全国人工降水防雹科技座谈会报告选编(下)[C]. 中央气象局研究所, 1973. 79-89.
- [6] 胡一仁. 甘 75-1 型双空腔防雹火箭[J]. 气象, 1976(4): 36-38.
- [7] 甘肃省永登县农机修理厂. 72—35 型土火箭简介[A]. 全国人工降水防雹科技座谈会报告选编(下)[C]. 中央气象局研究所, 1973. 318-321.
- [8] 兰州中心气象台. 三七高炮人工催化雹云试验情况汇报[A]. 全国人工降水防雹科技座谈会报告选编(下)[C]. 中央气象局研究所, 1973. 18-20.
- [9] 杨珍贵. 甘肃人工影响天气的历史、现状和前景[J]. 甘肃气象, 2000, 18(3): 28-29.
- [10] 王锡稳, 徐志华, 李晓霞. 甘肃降水和冰雹天气气候分析[J]. 甘肃气象, 1995, 13(2): 13-16.
- [11] 廖远程. 甘肃省降雹时段强度与区域的研究[A]. 全国减轻自然灾害论文[C]. 北京: 科学出版社, 1990. 491-495.
- [12] 杨先荣, 王劲松. 临夏州冰雹的地形因素[J]. 甘肃气象, 2000,

18(2):13-15.

[13] 兰州中心气象台. 地形对降水和冰雹分布的影响[A]. 全国人工降水防雹科技座谈会报告选编(下 I C). 中央气象局研究所 ,1973. 116-127.

[14] 甄长忠 李志楠. 永登防雹试验区冰雹活动的初步认识[A]. 科研报告[C]. 甘肃省气象研究所 ,1979. 2 :34-36.

[15] 李志楠. 永登地区冰雹预报[A]. 科研报告[C]. 甘肃省气象研究所 ,1980. 1 :23-25.

[16] 李志楠 李生柏 米学俊 ,等. 永登防雹试验区 6-8 月冰雹分析和预报[A]. 科研报告[C]. 甘肃省气象研究所 ,1981. 2 :41-43.

[17] 张久林. 甘肃强雹暴天气 500hPa 特征分析[J]. 甘肃气象 , 2000 ,18(3) :28-29.

[18] 樊晓春. 平凉地区冰雹气候特征及 500hPa 环流形势[J]. 甘肃农业 , 2000 (11) :44-45.

[19] 赵红岩. 甘肃省云量的气候特征[J]. 甘肃气象 ,1997 ,15(3) :23-25.

[20] 李尚成 杨珍贵. 定西防雹增雨试验的天气气候分析[J]. 甘肃气象 ,1994 ,12(1) :12-14.

[21] 李尚成. 定西防雹增雨试验区对流云活动特征分析[J]. 甘肃气象 ,1995 ,13(2) :32-34.

[22] 廖远程 李生柏. 冰雹云气流和温度结构分析[J]. 大气科学 , 1982 6(1) :103-108.

[23] 廖远程. 雹暴逆温层特性分析[J]. 高原气象 ,1986 (2) :42-44.

[24] 廖远程 ,周跃武 ,卢俊山 ,等. 露点与温度差对降雹的指示意义[J]. 气象 , 2000 ,24(11) :40-43.

[25] 廖远程. 甘肃冰雹云结构研究[M]. 北京 :气象出版社 ,1990. 42-49.

[26] 甄长忠 ,刘德荣. 1981 年一次龙卷回波分析[J]. 高原气象 , 1981 ,1(3) :57-62.

[27] 甄长忠. 78810 冰雹过程分析[J]. 大气科学 ,1981 ,5(4) :456-460.

[28] 廖远程. 弱雹暴与强雷雨的某些异同分析[J]. 高原气象 , 1988 ,17(4) :382-386.

[29] 甄长忠. 永登地区冰雹云和雷雨云雷达回波特征[A]. 科研报告[C]. 甘肃省气象研究所 ,1982. 3 :32-34.

[30] 龚乃虎. 平凉地区雹云回波移动特征[J]. 气象学报 ,1980 ,38(3) :281-287.

[31] 张鸿法 左洪超 郝秀书 ,等. 平凉冰雹云回波特性分析[J]. 气象学报 , 2002 ,60(8) :110-113.

[32] 周跃武. 岷县雹云雷达回波的某些特性分析[J]. 甘肃气象 , 1999 ,17(2) :30-32.

[33] 付双喜 ,刘世祥. 兰州地区冰雹降水的雷达回波特征分析[J]. 甘肃气象 , 2001 ,19(4) :41-42.

[34] 渠永兴. 雹云回波的一般特性统计分析[J]. 甘肃气象 ,1991 , (4) :35-37.

[35] 郭宏 史晓霞. 定西地区冰雹云和雷雨云雷达回波的统计分析[J]. 甘肃科技 , 2002 (3) :29.

[36] 廖远程. 强烈雹暴分析[A]. 全国云物理和人工影响天气研讨会论文集[C]. 北京 :气象出版社 ,1989. 77-79.

[37] 白肇烨 徐国昌 孙学筠 ,等. 中国西北天气[M]. 北京 :气象出版社 ,1988. 308-309.

[38] 渠永兴. 岷县对流的云回波参数的回归分析[J]. 甘肃气象 , 1988 (2) :10-12.

[39] 张久林. 用积云-维定长模式预报甘肃岷县冰雹的探讨[J]. 甘肃气象 ,1991 (3) :28-29.

[41] 李生柏. 天祝县打柴沟地区一次降雹过程的冰雹切片分析[A]. 全国云物理和人工影响天气研讨会论文集[C]. 北京 :气象出版社 ,1989. 56-58.

[42] 陈立祥. 甘肃人工防雹效果浅析[J]. 大气科学 ,1981 ,35(2) :25-229.

[43] 渠永兴. 岷县高炮防雹效果分析[J]. 甘肃气象 , 2003 ,21(2) :37-38.

[44] 黄美元 徐华英 周玲. 中国人工防雹四十年[J]. 气候与环境研究 , 2000 ,5(3) :318-322.

The Overview of Study on Hailstorm in Gansu

QU Yong-xin

(Institute of Arid Meteorology ,CMA ,Lanzhou 730020 ,China)

Abstract :The hail suppression history in Gansu has been introduced in this paper , and also the main achievements and problem have been concluded for 40 years , meanwhile some suggestions have been given.

Key words :Gansu ;hailstorm ;study ;overview