

文章编号:1006-7639(2005)-03-0034-05

甘肃省永登地区一次强单体冰雹过程分析

渠永兴¹, 孙旭映¹, 冀兰芝², 韩玲³

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020;

2. 兰州中心气象台, 甘肃 兰州 730020; 3. 榆中县气象局, 甘肃 兰州 730100)

摘要:根据 2003 年 7 月 8 日发生在甘肃省永登县境内的一次强单体冰雹过程, 从天气学背景、雷达回波的演变特征出发, 分析了该过程回波高度和含水量、高度和强度的跃增变化以及强单体特殊的结构特征。分析结果表明, 垂直剖面上强反射率区的范围及伸展高度对雹云的发展有重要作用。强反射率区对应着云中含水量集中区域, 只有含水量累积区位于云中过冷区中时才利于冰雹的生长; 一旦回波出现 55 dBz 并高度达到 4 km 以上, 降雹随即产生; 强单体雹暴是一种发展非常强烈, 有着特殊结构的强雷暴。上述结果对冰雹预警有重要意义。

关键词:冰雹; 强单体; 过程分析; 甘肃永登

中图分类号: P458.1

文献标识码: A

引言

2003 年 7 月 8 日 14 时和 16 时左右, 甘肃省永登县的金嘴、武胜驿、大有、民乐、通远、连城 6 乡镇分别遭受不同程度的冰雹袭击。这次过程降雹密度大, 持续时间长, 冰雹最大直径 1 cm, 该县金嘴乡遭受最为严重, 受灾面积 2 667 hm²。这次过程该县受灾面积 4 410 hm², 成灾 4 328 hm², 绝收 2 715 hm², 减产 684.34 万 kg。另外乌鞘岭及兰州、临夏、甘南出现小到中雷阵雨。

1 天气背景

2003 年 7 月 6~8 日, 500 hPa 高空图上, 西西伯利亚到新疆为高压脊, 从泰梅尔半岛一直到东亚地区为低压控制, 青藏高原东北侧及毗邻地区位于中西伯利亚到蒙古锋区的南部、新疆脊前冷平流控制之中。从 700~300 hPa 上, 长波槽随高度后倾, 在兰州到陇南之间有东西向的切变线, 风速垂直切变较强, 使低层暖湿空气的不稳定能量释放。另外, 在 700 hPa 上四川盆地到甘肃河东有偏南气流发展, 低层湿度较大, 也为冰雹天气的形成提供了有利条件。

地面天气图上, 甘肃河东地区无明显的高压或

低压中心, 基本上为均压场。乌鞘岭、兰州至华家岭均有切变线活动, 切变线增强了地面的对流上升运动。由于地面温度午后迅速升高, 有利于对流天气发展, 形成了 6~9 日雷雨、冰雹天气。

综上所述, 中、高层的冷平流, 低层暖湿空气, 风速垂直切变加强, 地面的切变线发展造成了这次冰雹的发生、发展。

2 雷达回波演变情况

所用雷达是成都信息工程学院新技术研究所 2001 年改装的 711XDR-21 型 X 波段数字化雷达, 波长 3 cm, 发射功率 75 kW。此雷达架设在甘肃省永登县气象局内, 位于 103.15°E, 36.45°N, 最大探测半径为 120 km。

7 月 8 日本地出现 2 次降雹过程。

第一时段(13 时 02 分至 14 时 16 分)。13 时 02 分, 在永登车路沟有回波单体出现, 回波面积约 100 km², 强中心回波强度 45 dBz, 0 dBz 高度 9.4 km。13 时 22 分在奖俊埠处出现 51.2 dBz 的强中心, 0 dBz 高度 9.3 km。13 时 42 分永登民乐一带回波强度 55 dBz, 0 dBz 高度 10 km, 45 dBz 高度 6.2 km, 55 dBz 高度 4.9 km。13 时 50 分在清沙岭处回波强度 55 dBz, 回波移速加快, 50 dBz 范围扩大。

收稿日期: 2005-04-19; 改回日期: 2005-07-22

资助项目: 甘肃省人工增雨防雹作业体系工程建设科技开发第三批项目“测雨雷达现场指挥作业研究”和科技部 2002 年社会公益研究项目“西北地区人工防雹消雹技术”(2002DIB10046)等资助

作者简介: 渠永兴(1951-), 男, 山西祁县人, 工程师, 主要从事人工影响天气的研究工作。E-mail: quyongx@163.com

0 dBz 高度 9.9 km, 45 dBz 高度 6.4 km, 55 dBz 高度 5.5 km。回波符合作业指标, 见图 1、图 2、图 3。我们立即通知防雷办公室民乐、金嘴炮点所在地进行作业。这一时段由于回波还不是很强加上作业及时, 农作物没有大的损失。

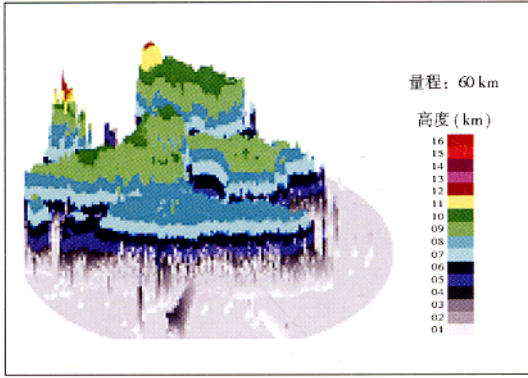


图 1 第一时段立体扫描图

Fig. 1 The radar CAPPI in the first period from 13:57 to 14:01 on 8 July 2003

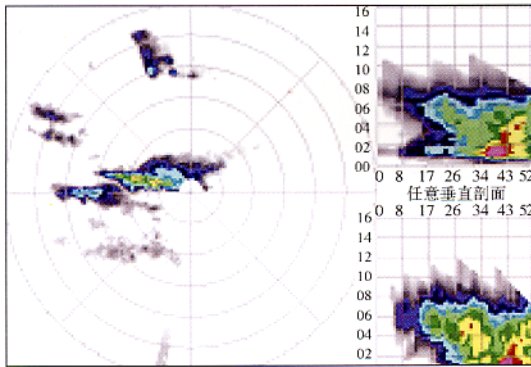


图 2 第一时段剖面图

Fig. 2 The section of the radar echo in the first period from 13:57 to 14:01 on 8 July 2003

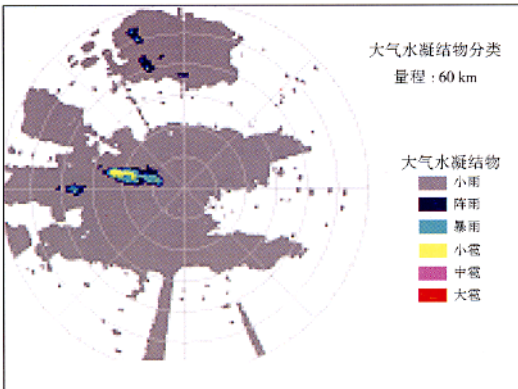


图 3 第一时段冰雹预报图

Fig. 3 Hai Prediction in the first period from 13:57 to 14:01 on 8 July 2003

第二时段(15 时 34 分至 16 时 46 分)

15 时 34 分雷达观测发现在五台岭附近, 回波强度 36.9 dBz。0 dBz 高度 10.7 km。16 时 07 分在永登的阴山庄、兑角处出现 450 km² 的强单体, 0 dBz 高度 10.2 km, 45 dBz 高度 6.2 km, 50 dBz 高度 4.5 km。RHI 具有明显的悬挂特征。液态水含量 2.0 g/m³ 伸入 4.6 km。我们立即通知永登县防雷办安排武胜驿、阴山庄、民乐、新民炮点作业。16 时 11 分强单体回波继续发展, 最大强度 47.5 dBz, 45 dBz 形成多个中心, 其中在兑角、西川子一带形成回波带。0 dBz 高度 11.8 km, 45 dBz 高度 7.0 km, 50 dBz 高度 5.8 km。液态水含量 2.0 g/m³ 伸入 6.0 km。有悬挂特征。16 时 13 分至 16 时 30 分回波加剧发展, 出现了 56.2 dBz 的指状特征(图 4), 指状在回波移行方向右侧, 这时 0 dBz 高度 10.6 km, 45 dBz 高度 8.0 km, RHI 呈现超级单体冰雹云高显的典型特征: 穹窿结构(图 5)。

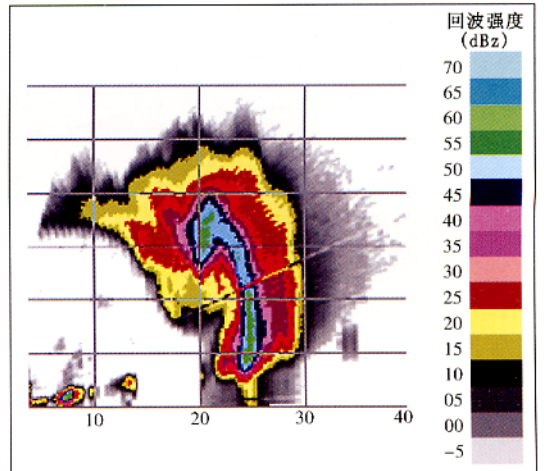


图 4 7 月 8 日 16:25 雷达 PPI(仰角 5.6°)
Fig. 4 The radar PPI at 16:25 on 8 July 2003

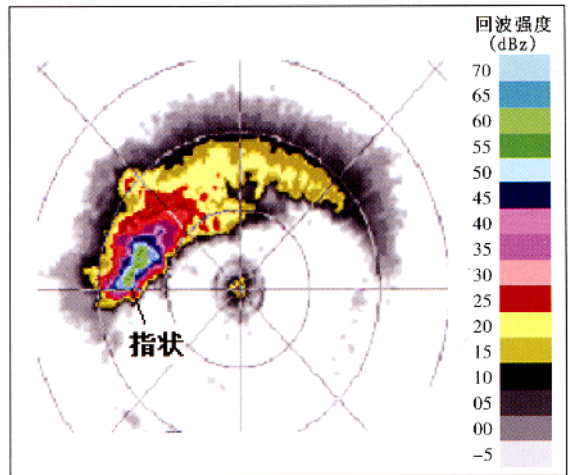


图 5 7 月 8 日 16:14 RHI(方位角:289°)
Fig. 5 The radar RHI at 16:14 on 8 July 2003

回波主体粗壮高大、上大下小、气势旺盛,云砧伸出约 15 km,悬挂状回波强中心达到 55 dBz 以上,悬挂状回波后面有一高大的回波墙,并出现无回波区,无回波区缺口伸到 4 km 以上,入流气流上部 8 km 左右正是强回波顶部所在,回波强度的梯度很大,达到约 10 dBz/km。实况是大冰雹就降在回波墙处永登县的阴山庄、兑角、金嘴、武胜驿、大有、民乐等地。16 时 46 分回波逐渐减弱,55 dBz 范围分成几个中心。0 dBz 高度 9.0 km,45 dBz 高度 4.7 km,55 dBz 高度 2.6 km。这块强单体冰雹云回波维持了近 2 h,从 15 时 34 分开始到 17 时左右减弱。最后这块强单体冰雹云回波逐渐减弱,消失在连城一带。

由于在 16 时 07 分至 16 时 25 分这一时段没有申请到作业时间,致使庙儿坪、金嘴、民乐、新民等地炮点周围严重受灾。

3 基本分析

3.1 回波高度和液态含水量变化

图 6、7 是 2 个时段,不同强度下的高度随时间演变图。从第一时段回波演变情况看,13 时 06 分至 13 时 40 分,0 dBz 高度前后变化不大,40、45、50 dBz 高度依次下降,至 13 时 42 分,当回波出现 55 dBz 强中心并回波高度达到 4.9 km 以上时,40、45、50 dBz 回波高度迅速上升见图 7,这是冰雹产生的重要时段。从液态含水量变化看(图 8、9),13 时 42 分,液态含水量随高度也迅速增大。

从第二时段和第一时段比较,0 dBz 回波高度第二时段明显比第一时段高,酝酿、发展阶段比较平稳,而降雹后回波高度迅速降低。40、45、50 dBz 回波高度前后变化也不一样,第一时段回波高度变化

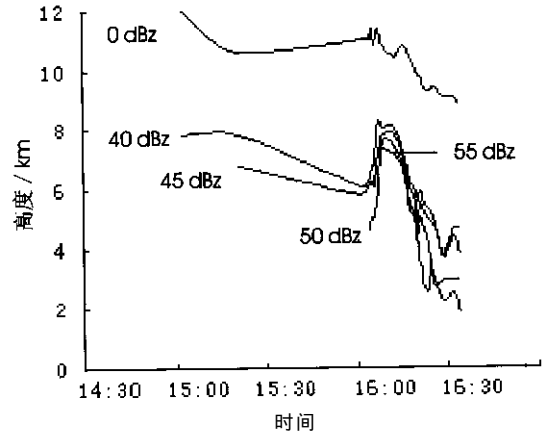


图 7 第二时段高度随时间演变图

Fig. 7 The temporal variation of radar echo height in the second period

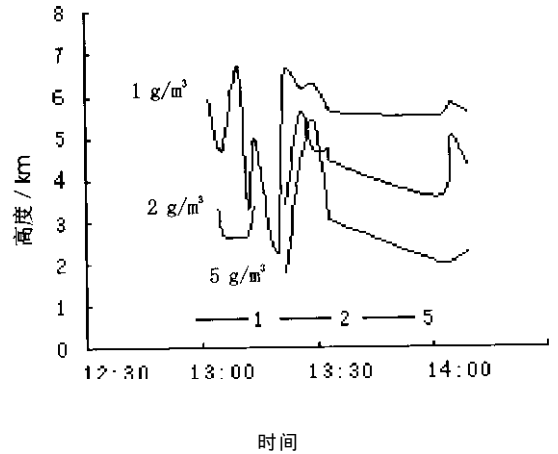


图 8 第一时段液态水含量变化

Fig. 8 The liquid water content change in the first period

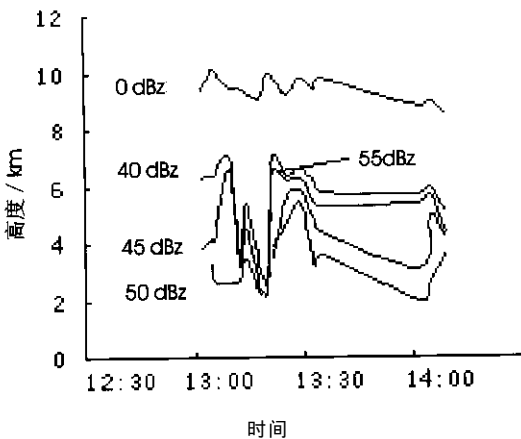


图 6 第一时段高度随时间演变图

Fig. 6 The temporal variation of radar echo height in the first period

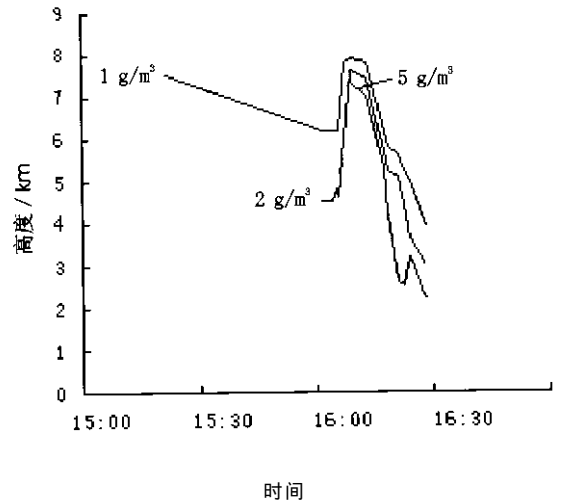


图 9 第二时段液态水含量变化

Fig. 9 The liquid water content change in the second period

大起大落,第二时段变化比较平缓。从液态含水量变化可以看出,弱降雹的液态含水量集中在6 km以下,而较强降雹液态含水量大多集中在6 km以上。液态含水量所处的高度不同,说明了大小水滴所处的温度、冻结程度、冰雹数量不同。由于冰雹胚胎是由过冷却的大水滴冻结形成的,而这样大小水滴的自然冻结温度约为 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$,这就要求冰雹云顶必须达到这个高度,考虑到云内外有 $4\sim 6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度差,加上云顶和回波顶之间的差异,因此一般要求雹云回波顶所在环境温度约在 $-25\sim -30\text{ }^{\circ}\text{C}$ [1~2]。

观测和分析表明,垂直剖面上强反射率区的范围及伸展高度对雹云的发展有重要作用。强反射率区对应着云中含水量集中区域,但是只有当含水量累积区位于云中过冷区中时才利于冰雹的生长。因而强回波区在云中的部位及其范围大小对于冰雹能否生长以及能长多大都有直接关系。

3.2 高度和强度的跃增变化

特别强调的是,2个时段的共同点是,一旦出现回波强中心55 dBz并达到4 km高度以上,降雹随即产生。这种情况反映了回波的合并过程非常迅速。从分离的单体到完全合并成一块单体一般只需十几分钟,合并后地面出现降雹也只需几分钟或十几分钟时间,这个过程进行的速度很快。文献[3]采用中国科学院大气物理研究所开发的三维冰雹云分档模式,模拟研究了这次冰雹形成和增长的微物理过程。模拟结果表明,在降雹前 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 附近高度,上升气流最大值下方的云雨区域中出现雹霰和雪花,雨水向雹/霰的匀质冻结、雪团收集云水并且向雹/霰转化、雪与雪聚合、雹霰碰并雨滴和云滴而长大的多种微物理过程发生的良好环境;上升气流最大值上方云雨区域的冰晶最大值中心已经抬升到 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、10 km的高度,云冰和云水的撞并、冰晶和冰晶聚合等冰晶的核化和繁生微物理过程容易出现在这个环境,位于上层的冰晶集聚区域对整个云体起到了冰雹核的自然播撒作用。随着云中雹/霰对云滴、雨滴、冰晶、雪的碰并云体长大;雨、雹/霰开始降落,紧接着 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 附近(5 km高度)处出现闭合的下沉气流区域,强烈的下层上升气流使得云体中的下沉气流仅仅是一个小的闭合区域,这个闭合的下沉气流区域持续到36 min,正是这个闭合区域和雹霰质粒的最大值中心有很好的对应。良好动力环境是长成大冰雹的必备条件,在这里有充分的时间,在已有的水

物质条件和温度条件下发生冰雹长大的各类微物理过程。当冰雹长大降落到脱离云体时,受到降雹/霰、降雨的脱拽,云体中下沉气流触地,地面开始降雹。

合并意味着能量的集中,辐合上升范围加大。使负的不稳定能量增大,抑制了正的不稳定能量的过早释放,维持了强对流云的发展,为冰雹形成和长大的各类微物理过程的发生提供了充足的时间和足够的空间范围,而冰雹形成和长大过程中在空中的潜热释放又加热了云中大气,促进云中上升气流。云中的水分条件是冰雹产生的物质基础,合并后由于暖湿空气的不断补充使云体降水效率会大大增加,其降水量会超过合并前云体各自降水量的几倍至几十倍。同时,回波合并后其顶高增加,强度也明显增大,正说明云体合并不仅使能量集中,而且促使其迅猛释放,因而回波合并是强对流风暴形成的重要原因。需要注意的是,在雹云形成之前,先有回波的生消酝酿过程,最后才突然发展形成雹云回波,这种方式形成的雹云往往是很强烈的 [4~5]。

3.3 特殊的结构特征

强单体雹暴是一种发展非常强烈,且有特殊结构的强雷暴,在云体中低层,雷达回波的水平尺度可达几十千米;维持时间也很长,可达几小时;通常向环境风向的右侧移动,也称右移风暴;它降雹强烈、范围大,常伴有强风、局地暴雨等,甚至有时会出现下击暴流或龙卷。造成的灾害严重并有以下结构特点:

(1)PPI上显示单一结构。它有一个主单体与其它2块单体合并组成仅有一个强反射率核的大单体;在RHI上具有典型的前悬回波、弱回波区和回波墙,在RHI剖面上顶高可伸展到10 km以上,强回波顶高8 km。这些特征形态能准定长持续 $>1\text{ h}$,雹云回波前沿清晰、明亮,后部一大片羽毛状 [6]。

(2)在RHI上的回波墙,它是最强反射率区,位于云体的右后部。在PPI剖面图上,一般具有典型的指状回波,指状及其主体回波连接处的部分为高反射率的强回波区,是大冰雹的主要降落区域,这是云体最强区 [7]。

(3)在RHI的右侧有一个持久的水平尺度约为几到十几千米的弱回波区,呈圆锥状。为雹暴的强上升气流区,它在低层有时被称为“入流缺口”。这些特征表明有一支强大而有组织的斜上升气流支持。大量的水汽被带到水分累积区,小水滴通过上

下运动,不停地碰撞、增大、破裂,再碰撞、增大、破裂,如此反复,使得水分累积区增厚。回波特征表明水分累积区上界温度在 -30°C 以下,回波顶温度达到 -40°C 左右,回波负温区厚度达 7 km 左右,回波负温区厚度与正温区厚度之比约为 2 。此时水滴则冻结成霰胚,霰胚继续在水分累积区内上下运动,小冰雹变成大冰雹,待上升气流托不住时,就从水分累积区降落下来,在下降过程中不断蒸发、融化,没有融化的霰块降落到地面,造成重大灾害。

4 总 结

(1) 中、高层的冷平流,低层暖湿空气,风速垂直切变加强,地面的切变线发展造成了这次冰雹的发生、发展。

(2) 强单体垂直剖面上强反射率区的范围及伸展高度对雹云的发展有重要作用。强反射率区对应着云中含水量集中区域,但是只有当含水量累积区位于云中过冷区中时才利于冰雹的生长。

(3) 一旦出现回波强中心 55 dBz 并达到 4 km 高度以上,降雹随即产生。这种情况反映了回波的合并过程非常迅速。从分离的单体到完全合并成一块单体一般只需十几分钟,合并后地面出现降雹也只需几

分钟或十几分钟时间,这个过程进行的速度很快。

(4) 强单体雹暴是一种发展非常强烈,且有特殊结构的强雷暴。PPI上显示单一结构,有一个强反射率核的大单体;在RHI上具有典型的前悬回波、弱回波区和回波墙,在PPI剖面上,一般具有典型的指状回波,指状及其主体回波连接处的部分为高反射率的强回波区,是大冰雹的主要降落区域,这是云体最强区。

参考文献:

- [1] 雷雨顺,吴宝俊,吴正华. 冰雹概论[M]. 北京: 科学出版社, 1978. 61—63.
- [2] 章澄昌. 人工影响天气概论[M]. 北京: 气象出版社, 1992. 77—82.
- [3] 康凤琴,张强,渠永兴,等. 青藏高原东北侧冰雹微物理过程模拟研究[J]. 高原气象, 2004, 23(6): 378—379.
- [4] 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. 334—335.
- [5] 龚乃呼,瞿章. 平凉地区雹云回波移动特征[J]. 气象学报, 1980, 38(3): 281—287.
- [6] 廖远程. 甘肃冰雹云结构研究[M]. 北京: 气象出版社, 1990. 42—49.
- [7] 甄长忠. 78810冰雹过程分析[J]. 大气科学, 1981, 5(4): 456—460.

Analysis on a Strong Single Hail Occurred in Yongdeng County of Gansu Province

QU Yong-xing¹, SUN Xu-ying¹, JI Lan-zhi², HAN Ling³

(1. Key laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020, China;

2. Lanzhou Central Meteorological Observatory, Lanzhou 730020, China;

3. Yuzhong County Meteorological Service of Gansu Province, Lanzhou 730100, China)

Abstract: According to the synoptic background and the evolution characteristics of radar echoes of a strong single hail event occurred in Yongdeng county of Gansu Province on July 8, 2003, the jumping change of echo height, intensity and liquid water content, and the special structure features of the strong single hail were analyzed in this paper. The results show that the range and extension height of strong reflectivity area on vertical section are important to hailstorm development. While the strong reflectivity area is corresponding to abundant water area in cloud, and only water content accumulating area being in the super-cooled region in the cloud can be benefit to hail development. Once the echo intensity reached 55 dBz and its height was above 4 km , hail falls immediately. The strong single hail with special structure developed very strongly. Above conclusions are significant to hail monitoring and prewarning.

Key words: hail; a strong single hail; process analysis; Yongdeng county in Gansu province