

管琴, 徐亮, 李青平, 等. 青海初秋一次雨雪天气过程数值模拟分析 [J]. 陕西气象, 2015 (5): 9-14.

文章编号: 1006-4354 (2015) 05-0009-06

青海初秋一次雨雪天气过程数值模拟分析

管 琴¹, 徐 亮¹, 李青平², 祁 艳¹, 尤桑杰¹, 冯晓丽², 彭英超²

(1. 青海省气象台, 西宁 811000; 2. 黄南州气象局, 青海同仁 811399)

摘 要: 利用中尺度数值模式 WRFV3.6 对 2014 年 10 月 10—11 日发生在青海省境内的一次雨雪天气进行了数值模拟及实况对比分析。研究表明, 模式对造成此次雨雪相态变化降水过程的 500 hPa 及地面天气影响系统的位置及移动路径模拟效果较好, 并成功模拟出 15 日青海省雨雪天气过程雨带、雨雪强度中心。通过对模式每小时输出物理量的分析发现, 此次雨雪相态的变化主要是由地面冷空气引起; 雨雪过程的水汽来源主要为近地层的偏东气流和 500 hPa 的偏南气流; 雨雪天气过程中上升运动不强; 出现降雨天气时, 近地层 (100 m 以下) 的雨水含量比较大; 出现雨夹雪时, 近地层有少量的冰晶含量, 但未接地; 出现降雪天气时, 近地层雪晶及霰含量较大, 并且接地; 利用地面大气层中冻结部分降水混合比在可凝结成降水的水汽混合比中的比例作为降水相态判据指标, 进行青海地区降水相态的预报是可行的。

关键词: 青海; 雨雪; 相态; 层结; 微物理量

中图分类号: P435

文献标识码: A

在秋末冬初或冬末春初转换季节, 青海省境内冷暖空气活动较为频繁, 温度变化常常会使降水相态发生改变。降水量级相同, 但降水相态不同, 降水过程的影响差异很大, 因此降水相态的预报至关重要^[1]。李江波等^[2]对 2007 年 3 月一次春季强寒潮的降水相态变化结合历史个例做了

分析, 认为多普勒天气雷达反射率回波图上零度层亮带高度迅速下降, 可作为从液态降水向固态降水转换的判据之一。白惠星等^[3]研究了北疆地区一次雨转雪天气过程, 认为高空横槽转竖时所携带的强烈冷平流造成了雨转雪天气的发生。许彤等^[4]对仙桃机场的 2 次雷雨转雨夹雪天气进行

收稿日期: 2015-04-07

作者简介: 管琴 (1977—), 女, 汉族, 江苏如皋人, 硕士, 工程师, 主要从事数值模拟及天气预报。

- [6] 梁生俊, 马晓华. 西北地区东部两次典型大暴雨个例对比分析 [J]. 气象, 2012, 38 (7): 804-813.
- [7] 侯建忠, 张弘, 杜继稳, 等. 台风与高原东北侧冷锋暴雨的环境场及云图特征 [J]. 气象科技, 2006, 34 (1): 41-46.
- [8] 武麦风, 肖湘卉, 曹玲玲, 等. 两次台风远距离暴雨过程的对比分析 [J]. 暴雨灾害, 2013, 32 (1): 32-37.
- [9] 武麦风, 梁生俊, 李春娥. 渭河流域三次暴雨过程水汽和上升运动的垂直结构比较 [J]. 暴雨灾害, 2010, 29 (3): 245-250.
- [10] 刘子臣, 梁生俊, 张建宏. 登陆台风对黄土高原东部暴雨的影响 [J]. 高原气象, 1997, 16 (4): 402-409.
- [11] 张弘, 陈卫东, 孙伟. 一次台风与河套低涡共同影响的陕北暴雨分析 [J]. 高原气象, 2006, 25 (1): 52-59.
- [12] 井喜, 李强, 屠妮妮, 等. 黄土高原一次中尺度突发性暴雨特征及成因 [J]. 暴雨灾害, 2013, 32 (3): 242-248.
- [13] 刘勇, 杜川利. 黄土高原一次突发性大暴雨过程的诊断分析 [J]. 高原气象, 2006, 25 (2): 302-308.

了分析,认为 850 hPa 温度场 0°C 线经过本机场可作为降水相态发生变化的一个判定依据。孙晶等^[5]利用中尺度模式 MM5,模拟了 1999 年 11 月 23—24 日辽宁雨转雪过程,认为辽宁雨转雪为气、液、固三相粒子相互作用的过程。全国广大气象工作者从不同角度对其当地春季或初冬雨转雪天气进行了分析,对当地雨转雪预测提供了很好的依据。

本文利用 WRF 中尺度数值预报模式产品和 NCEP $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 再分析资料,对 2014 年 10 月 10—13 日青海省出现的一次雨转大到暴雪天气过程进行了诊断分析,为今后青海地区雨转雪天气过程的预报和服务提供有益参考。

1 模式简介及资料来源

利用中尺度数值模式 WRFV3.6,采用双向二重嵌套网格,水平分辨率分别为 21 km、7 km;模拟区域以 (35.32°N , 96.50°E) 为中心,垂直方向为 31 层;粗网格格点数 124×91 ,覆盖中国西北地区,细网格格点数为 274×205 ,覆盖青海省;采用 Purdue Lin 微物理过程方案,rrtm 长波辐射方案,Dudhia 短波辐射方案,Monin-Obukhov 地面层方案,Noah 陆面过程,YSU 边界层参数方案,浅对流 Kain-Fritsch (new Eta) 积云参数化方案;积分步长为 60 s。使用空间分辨率为 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 、时间间隔为 6 h 的 NCEP 资料作为初始场和背景场,模拟时间为 2014-10-10T20—11T20 (北京时),同时利用 MICAPS 资料和青海省 50 个地面自动气象站的观测资料作为实况分析数据。

2 天气过程概述

2.1 天气实况

10 月 10 日 08 时,青海省境内出现了降水天气(除海西西部和玉树南部外),较大降水出现在西宁、海东、海北、海南和黄南地区。截止 13 日 08 时,累计过程降水量最大值为 30.9 mm,出现在湟中,其次是互助和贵南,分别为 27.6 mm 和 24.7 mm,西宁二十里铺、大通、泽库等 10 个测站降水量超过 15 mm,其中全省 16 个测站累计降水量超过 10 mm,其余测站为 0.2~9.9 mm。13 日 08 时青海省内大部分积雪已

经融化,只有互助和久治分别有 7 cm 和 5 cm 的积雪。雨雪天气时伴随降温,西宁、海东、海北等地区 72 h 内日平均气温下降 8°C 以上,出现寒潮^{[6]108} (青海标准)。在该降水、降温天气过程中,10 日 20 时—11 日 08 时,同仁观测站记录的天气现象有阵雨(10 日 20—21 时)、雨(10 日 21—23 时)、雨夹雪(10 日 23 日—11 日 02 时)、雪(11 日 02—05 时)、阵雪(11 日 05—08 时)及结冰,10 日夜间到 11 日凌晨,同仁出现明显降水相态转变。

2.2 天气形势分析

2014 年 10 月 9 日 08 时,500 hPa 天气图(图略)上,欧亚大陆为两槽一脊型,巴尔喀什湖有一低槽发展,槽内冷中心强度为 -40°C ,东亚蒙古国上空为高压脊控制,东北地区到日本海有一低槽存在,南疆到青海省唐古拉山区间有一高空锋区,若羌与沱沱河两测站温差 8°C 。20 时,巴尔喀什湖低槽东移至新疆一带,槽内冷中心强度达 -42°C ,青海省西部高空锋区明显加强,若羌与沱沱河两测站温差达 11°C 。10 日 08 时,高原东部受西南气流控制,巴尔喀什湖低槽及其冷中心位置略有北抬,锋区进一步加强,若羌与沱沱河两测站温差达 13°C ,同时青海西部受巴尔喀什湖低槽底部冷空气和西南气流的影响,开始出现降水。从地面天气图的冷高压演变来看,此次过程前期(8 日 08 时—9 日 14 时),冷空气在巴尔喀什湖堆积加强,9 日 20 时,冷空气翻越阿尔金山,经茫崖进入柴达木盆地(西路)开始影响青海省大部分地区,10 日 08 时,另一股冷空气沿河西走廊向东南方向移动,从祁连山东西两边入侵并南压扩散(西北路径)影响青海省大部分地区,两股冷空气在高空槽配合下形成此次雨雪及降温天气过程。

3 模拟结果分析

3.1 高度场及风矢量场

高度场和风矢量场能直观地反映出冷空气移动和水汽来源,对青海高原上中小尺度系统的反映也更明显。图 1 为模式输出的 10 日 20 时、11 日 20 时 500 hPa 高度场、风矢量场。10 日 20 时 500 hPa (图略)上模式基本模拟出了影响此次

过程的贝加尔湖大槽及其底部分裂出的小槽、大风带及高空槽等系统，其位置与实况场十分接近，但较实况更为详细的是在唐古拉山北侧(36°N)有明显的偏北风与偏西风切变，在柴达木盆地东部、青海湖附近有气旋性辐合，玉树的东北部有温度槽；11日08时500 hPa模式模拟的贝加尔湖大槽东移，大槽底部分裂小槽移至祁连山东段，青海西北部大部分地区冷平流比较明显，但是较实况更为详细的是切变线东部、格尔木附近高原低值系统形成，柴达木盆地东部有一弱的高原浅槽，同时冷暖平流交汇在西宁—贵德—果洛西部一线；11日20时，500 hPa模式模拟出高原上多高空短波槽活动，其中一短波槽在青海省西部，另一个短波槽在青海省的东北部，但是较实况更为明显的是西藏东北部的高原低值系统，青海省阿尼玛卿雪山北部的东西向切变线及海南州与黄南州交界的弱低值系统。总体来看此次雨雪天气个例形势模拟基本与实况一致，但比实况更为详细。

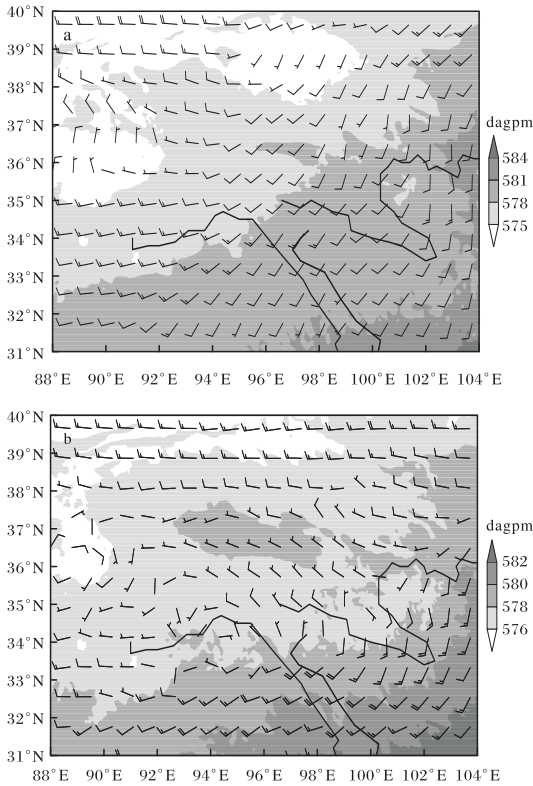


图1 20时500 hPa模拟风场及位势高度场
(a 2014-10-10; b 2014-10-11)

3.2 降水量

从模拟降水量(图2)与实况降水量(图略)对比分析可以看出，模式基本上模拟出本次雨雪过程强降水(雪)区的走向及降水(雪)中心的位置。本次降水(雪)呈东北—西南走向，降水(雪)中心在青海省东北部地区，其中玉树中部的降水(雪)相对比较大，模拟结果显示海西西部未出现降水，模拟结果基本与实况吻合。

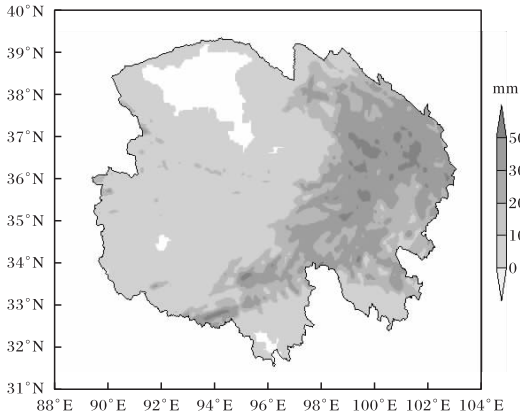


图2 2014-10-10T20—11T20模拟降水量

通过以上分析，可以认为本次模拟试验对此次雨雪天气过程的主要影响系统及其移动路径和移动速度、24 h降水量预报都有较成功的模拟，下面利用WRF模式输出结果，对该次过程的降水相态变化特征进一步诊断分析。

4 雨雪天气过程的诊断分析

4.1 温度及层结

从地面2 m温度模拟值与实况值对比分析结果来看，2 m温度的模拟值与实况温度值的相关性为0.90，也就是说模拟值与实况值之间的变化趋势基本一致。但是2 m温度的模拟值比实况值整体偏低1℃左右，存在系统性误差。从模拟结果上看，地面冷空气的入侵及夜间辐射降温是降水相态发生变化的原因之一，尤其是在青海省的北部地区。

沿36.82°N做时间—高度温度剖面图(图略)，98°E~104°E温度变幅较大，其余地区温度变幅较小。从模拟的温度平流演变来看，600 hPa以下以冷平流为主，500 hPa及以上青海北部以弱的冷平流为主，其余大部分地区以暖

平流为主。从单站气象要素模拟结果来看,北部的祁连山区(如海北州托勒)600 hPa以下基本以冷平流为主,温度一直比较低,10日20时—11日08时基本维持在 -5°C 左右,且温度变化较为平缓,该地的降水相态为雪;中部(如黄南州同仁站,因500 hPa以上温度变化平缓,故只给出500 hPa以下温度变化,如图3)及东北部地区(如海东市互助站)10日20时—11日08时,地面不断有冷空气入侵,暖平流底部不断被抬升,10日20时—11日02时近地层 0°C 层迅速降低,11日02时—11日20时600 hPa及以下温度一直低于 0°C ,在 0°C 层高度迅速降低期间,该地区的降水相态发生了变化,由雨转为雨夹雪再转为降雪天气;南部(如玉树州囊谦)600 hPa及以下温度一直在 0°C 以上, 0°C 层高度基本维持在500 m,近地层温度变化比较平缓,以暖平流为主,降水相态以雨为主。

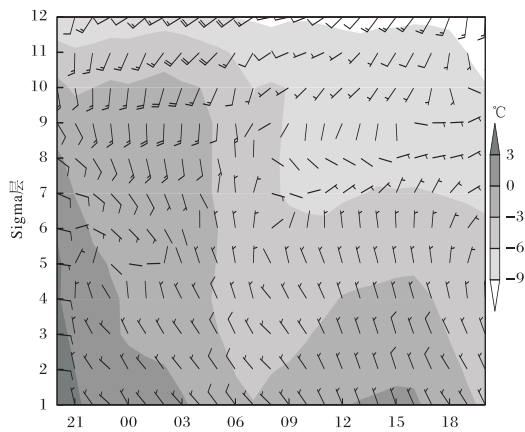


图3 2014-10-10T20—11T20 黄南同仁站
500 hPa以下模拟温度及风场

从不同高度层气象要素模拟的结果来看,600 hPa及以下有冷平流活动,500 hPa以上温度变化比较平缓,因此此次青海大范围降温主要来源于近地层冷空气,近地层冷空气造成的 0°C 层高度迅速降低^[2]是降水相态发生变化的原因之一,同时 0°C 高度也决定了降水相态的类型。

4.2 水汽条件

从模拟比湿和风向风速叠加图来看,10日20—23时黄南南部—果洛北部—柴达木盆地东部有一来自东南方向的地面水汽输送通道,并且

随着温度逐步降低,空气的水汽含量不断增加;11日00时沿河湟谷地、青海湖北部又有弱偏东水汽输送,两支气流源源不断地输送水汽至青海东北部地区,造成青海省东北部暴雪天气过程。10日20时,500 hPa模拟(高原上水汽来源分析500 hPa^{[6]251-252})图上存在两条水汽输送带(图4),其中一条从玉树西南部到柴达木盆地东部(西北部水汽带),另一条从果洛南部经黄南到祁连山区(东部水汽带),并且水汽通量的大值区与低层辐合线位置一致;随着时间的推移(10日21时—11日01时),西北部水汽带变窄东移,与东部水汽带有合并的趋势。11日02—03时两支水汽在青海省东北部和乌鞘岭一带辐合,04—08时东部水汽带逐渐消失,西北部水汽带东移且北段变窄。在500 hPa平均水汽通量图上,水汽基本上由孟加拉湾经玉树西南部输送到青海东北部地区(图略)。从互助测站相对湿度随时间变化来看,降水发生前低层湿度在70%以下,随着西部水汽输送带东移,500~600 hPa水汽向下传送,低层水汽加强,互助站10日夜间到11日早晨出现大到暴雪天气。

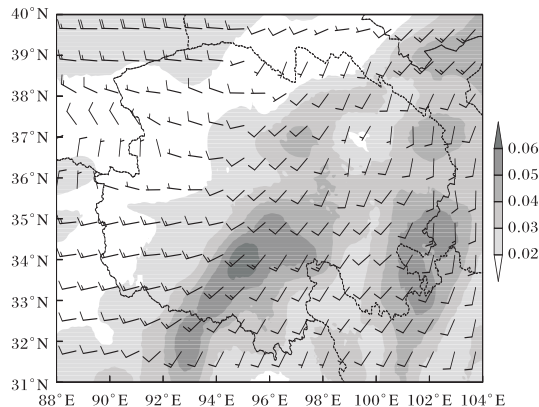


图4 2014-10-T20 500 hPa水汽通量
(单位为 $\text{g}/(\text{hPa} \cdot \text{m} \cdot \text{s})$)及风场

4.3 垂直速度场

从500 hPa及以下层次模拟的垂直速度场上来看,青海西北部地区在初期(10日20时—11日01时)以弱上升运动为主,后期(11日13—20时)以弱下沉运动为主;其他地区在模拟期间基本以弱上升运动为主。沿 36.82°N 的垂直速度剖面图上,10日20时(图5a)500 hPa以

下, 91°E 以西以上升运动为主, 92°E (柴达木盆地东部边缘) 附近有一狭窄的下沉运动区域, 102°E 附近有一弱的垂直风向切变区域, 其余大部分地区以上升运动为主; 随着冷空气的东移 (10 日 21 时—11 日 01 时), 96°E 以西地区上升运动减弱, 下沉运动逐渐被上升运动代替, 同时 98°E~104°E 中小尺度系统比较活跃; 11 日 02 时 500 hPa 以下有三个较狭窄下沉区域 (98°E、101°E、103°E 附近); 后期 (11 日 15—20 时) 500 hPa 以下除柴达木盆地附近外其余大部分地区维持弱上升运动。从互助站模拟结果来看 (图 5b), 10 日 20 时—11 日 08 时, 600 hPa 以下以弱的上升运动为主, 上升速度为 0~0.05 m/s,

期间 10 日 20—23 时降水相态以雨为主、10 日 23 时—11 日 02 时降水相态以雨加雪为主、10 日 23 时—11 日 02 时降水相态以雪为主; 11 日白天, 高层以下沉气流为主, 中低层以弱的上升气流为主, 期间降水相态以雪为主。整个模拟期间, 互助站 500~600 hPa 上升速度较大, 其中最大上升速度出现在 11 日 02 时 550 hPa 左右, 同时伴随 0 °C 层气温的迅速下降。总体来看, 此次降水相态转换过程中垂直速度的绝对值基本维持在 0.2 m/s 以内, 垂直上升运动范围及风向切变区域基本在地面到 500 hPa 左右, 同时降雨期间的垂直上升速度要大于降雪期间的垂直上升速度。

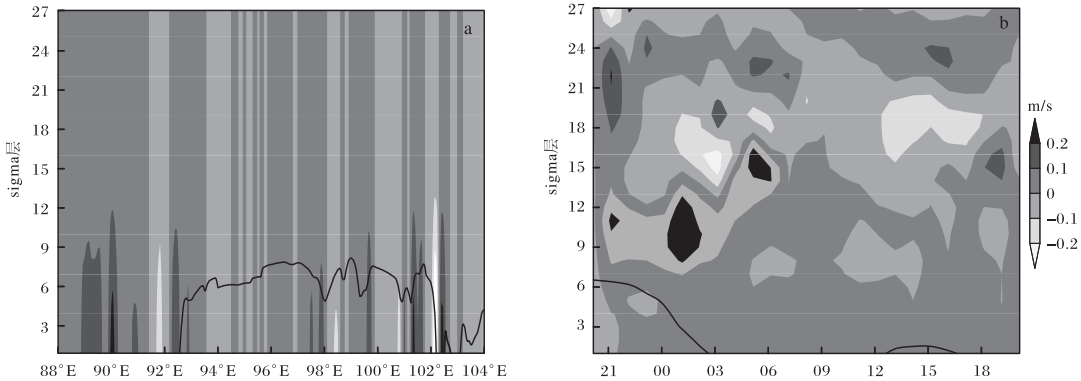


图 5 垂直上升速度剖面图 (阴影, 加粗折线是 0 °C 线)
(a 2014-10-10T20 沿 36.82°N 剖面; b 互助站 2014-10-10T20-11T20 剖面)

4.4 云微物理量特征

根据模拟地面大气层云微物理量中冻结部分降水粒子在可凝结成降水的水汽粒子中的比例 (简称 “SNF 值”^[1]) 可知, 若该值为 0, 则降水类型为纯雨; 若该值为 1, 则降水类型为纯雪或冰粒。从最低 sigma level^[7] (25 m 左右高度层) 模拟的不同云微物理量含量与实况降水相态做对比分析 (图略) 可以看出, 雨水含量在可凝结成降水的水汽粒子中占的比例较大时, 降水相态以降雨为主, 而冰晶、雪晶及霰含量在可凝结成降水的水汽粒子中占的比例较大时, 降水相态以降雪为主。如 10 日 21 时, 雨水含量的大值区主要在海西东部、海北南部、西宁、海东西南部、黄南、海南北部, 实况为这些地区此时出现降雨天气; 冰晶、雪晶及霰含量大值区主要在唐古拉山

北部及祁连山区, 实况为这些地区主要出现降雪天气; 同时 10 日 22 时—11 日 08 时, 青海省东北部雨水含量明显减少, 同时冰晶、雪晶及霰等含量明显增加, 这也说明在此期间该地出现雨转雪相态的转变, 模拟基本与实况相符。

从同仁站微物理量剖面图随时间演变结果来看 (图略), 模拟的初始时刻 (10 日 20—23 时) 雨水含量比较高, 且与地面相接, 降水相态以雨为主; 11 日 02 时—11 日 08 时, 霰粒子增加明显, 并且冰晶粒子接地, 降水相态以雪为主; 10 日 23 时—11 日 02 时、11 日 09—17 时, 近地层中含有冰晶, 但是没有接地, 此阶段测站降水相态以雨夹雪为主。由此可见: 出现降雨天气的时候, 近地层的雨水含量比较大; 出现雨夹雪的时候, 近地层有少量的冰晶含量, 但是没有接地;

出现降雪天气的时候,雪晶及霰含量比较大,并且接地。

5 降水相态预报方法

崔锦等^[1]针对 SNF 值进行了大量试验,认为比值在 0.85 以上,降水相态为雪;而介于 0 到 0.85 之间,降水类型为雨夹雪或者雨、雪(霰、冰粒等)混合态;比值为 0,降水类型为雨。从本个例模拟的 SNF 值来看,初始时刻(10 日 21 时,图 6),柴达木盆地大部,海西东部、海南、西宁、海东大部、黄南、果洛大部地区、玉树部分地区以降雨天气为主,随着时间的推移,青海省东北部地区降雪的可能性明显增加,11 日 08 时,除了玉树南部、果洛中南部以降雨的形式为主,其他大部分地区以降雪天气为主。整个模拟期间,果洛的南部 SNF 值<0.85,说明该地以降雨为主,从模拟结果还可以看出青海省东北部在 10 日 20 时—11 日 08 时出现明显降水相态转变,从与实况的对比结果来看,雨雪相态的转变时段和出现范围与模拟结果吻合,但是 SNF 值在青海的阈值还有待通过大量的个例分析来进一步验证。

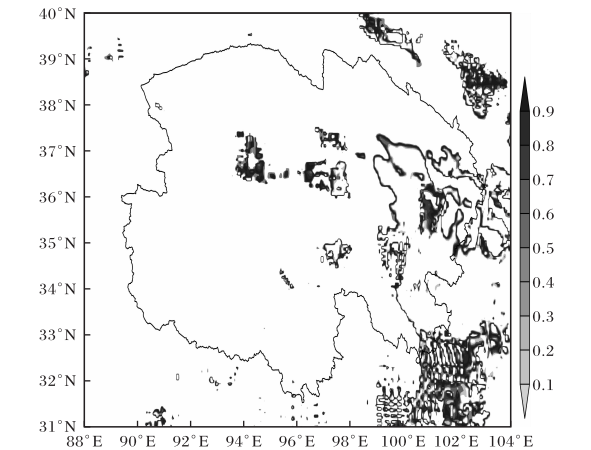


图 6 2014-10-10T21 WRF 模拟的 SNF 值分布图

6 结论

- (1) 模式对这次降水过程 500 hPa 及地面影响系统的位置、移动路径,雨带及强度中心的模拟较为理想。
- (2) 从温度及温度层结等方面可以得出,此

次降水相态的变化主要是前期气温偏高,后期地面有冷空气侵入,加之夜间辐射降温导致青海省东北部局地出现大到暴雪天气过程,而非高层冷平流影响。

(3) 从 500 hPa 层及以下的水汽条件来看,地面 2 m 的偏东气流源源不断将暖区的水汽输送到青海省东北部地区,同时 500 hPa 的偏南气流越过巴颜喀拉山脉向青海省的东北部输送,其中水汽来源以 2 m 的偏东气流为主。

(4) 从垂直速度场的模拟结果来看,大到暴雪天气过程中整层的上升运动不强,降水相态的变化主要由于 0℃层高度的迅速下降引起。

(5) 从模拟的微物理量并结合地面天气现象观测结果来看,出现降雨时,近地层雨水混合比较大;出现雨夹雪时,近地层有少量的冰晶含量,但是没有接地;出现降雪天气时,雪晶及霰含量比较大,并且接地。利用 SNF 值作为判据指标进行青海地区降水相态预报是可行的。

参考文献:

[1] 崔锦,周晓珊,陈力强,等.利用 WRF 模式制作东北地区冬季降水相态预报[J].气象与环境学报,2011,27(6):1-6.

[2] 李江波,李根娥,裴雨杰,等.一次春季强寒潮天气的降水相态分析[J].山东气象,2010,30(3):15-18.

[3] 白惠星,王旭.2000 年北疆地区初雪天气分析[J].新疆气象,2001,24(1):7-8.

[4] 许彤,田丰.仙桃机场雷雨转雨夹雪天气的分析[J].广西气象,2001,27(4):34-36.

[5] 孙晶,王鹏云,李想,等.北方两次不同类型降雪过程的微物理模拟研究[J].气象学报,2007,65(1):29-43.

[6] 王江山.青海天气气候[M].北京:气象出版社,2004:108、251-252.

[7] WRF ARW Users GuideV3[EB/OL].(2014-09-18)[2015-03-28].<http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/supports/tutorial.html>.