

青藏铁路高影响天气指标及实况数据订正反演^①

格央^{②*} 德庆卓嘎^{③**} 次旦巴桑*

(* 西藏自治区气象台 拉萨 850000)

(** 西藏自治区气象服务中心 拉萨 850000)

摘 要 针对青藏铁路运营对气象服务的需求,在吸收国内外交通运输气象预报服务研究成果的基础上,对地质灾害、结冰、积雪、雷电、暴雨等 8 个铁路高影响天气要素进行了研究。采用分区数学建模方法建立了适用于青藏高原铁路的交通气象指数预报模型,并基于遥感技术和 GIS 空间分析工具,用统计分析方法进行了铁路沿线天气实况的订正反演。根据这项研究成果,实现了对西藏铁路沿线降雨、降雪、大风等高影响天气要素的客观预报和实况反演,有效提高了青藏高原铁路气象灾害预报预警监测能力,对提高铁路的运营率有重大意义。

关键词 青藏铁路, 高影响天气, 预报方法, 订正反演, 实况数据

0 引言

西藏是全国铁路交通受气象灾害影响最为严重的地区之一,但铁路交通气象保障方面的课题还是空白。研究积雪、强降雨、冰雹和大风等突发性灾害天气,建立相关天气指标,开展实况数据反演,利于提高气象灾害预警预报监测能力。针对重大的天气过程,及早做出预报,制作出具有针对性和时效性的专业气象服务产品,及时通知政府决策和相关职能部门,能有效保障青藏铁路安全畅通,减少损失,提高铁路管理水平和应急处置能力。基于这种考虑,本研究进行了青藏铁路高影响天气指标及实况数据的订正反演。

1 资料及统计分析方法

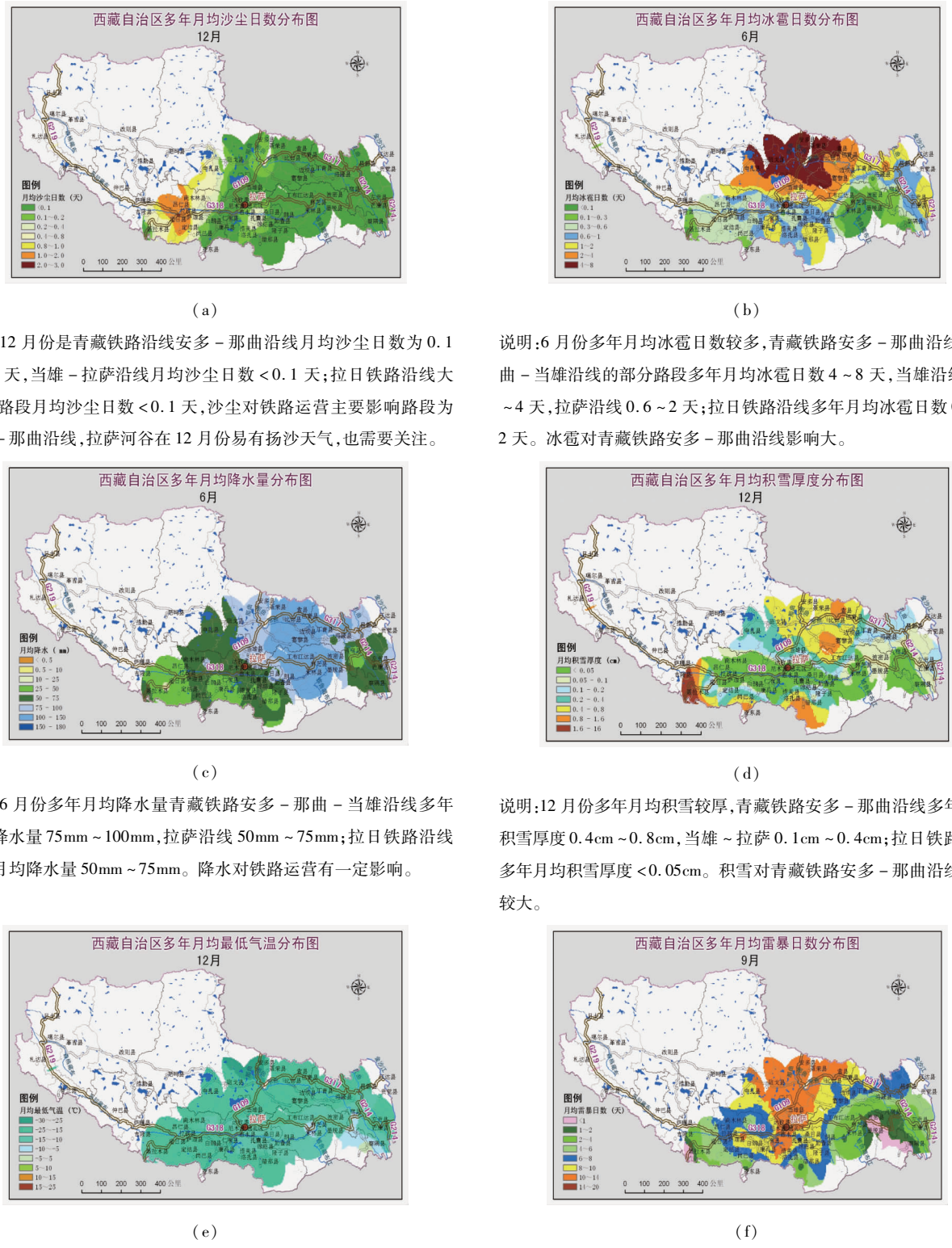
本文使用了 1981-2010 年灾害性天气观测数

据,进行了 30 年气候的统计,天气影响要素有沙尘、霜冻、冰雹、降水、积雪、最高温度、最低温度和雷暴。结合西藏气候背景及特点,特别是青藏铁路沿线地区气候背景及特点,对大风、暴雪、雷暴等突发性灾害天气在内的高影响天气要素进行了分析研究,寻找影响铁路交通的关键气象要素、区域特征和重点季节,建立青藏铁路交通气象因子库和完整的业务运行所需基础数据库。从天气学和气候学等角度确定青藏铁路不同气象因子预报的关注重点和关键时段。图 1 为铁路交通气象灾害多年历史统计组图。

2 青藏铁路高影响天气指标建立

通过 30 年资料的分析,我们确定了地质灾害、结冰、积雪、雷电、暴雨、沙尘、大风和低温 8 个对铁路有高影响的灾害类型^[1-3],并采用分区数学建模方法,依据一定的规则划分为若干区间及相应的等级,对每种灾害划分了 6 个等级,建立了青藏铁路交

① 国家气象局“气象关键技术集成与应用项目”(CAMGJ2012M47)资助。
② 女,1972 年生,高工;研究方向:决策气象和行业气象研究;E-mail: geyangls@ aliyun. com
③ 通讯作者, E-mail: dechin123 @ aliyun. com
(收稿日期:2016-03-18)



说明:12 月份是青藏铁路沿线安多 - 那曲沿线月均沙尘日数为 0.1 ~0.2 天,当雄 - 拉萨沿线月均沙尘日数 <0.1 天;拉日铁路沿线大部 分路段月均沙尘日数 <0.1 天,沙尘对铁路运营主要影响路段为 安多 - 那曲沿线,拉萨河谷在 12 月份易有扬沙天气,也需要关注。

说明:6 月份多年月均冰雹日数较多,青藏铁路安多 - 那曲沿线及那 曲 - 当雄沿线的部分路段多年月均冰雹日数 4 ~8 天,当雄沿线为 2 ~4 天,拉萨沿线 0.6 ~2 天;拉日铁路沿线多年月均冰雹日数 0.6 ~ 2 天。冰雹对青藏铁路安多 - 那曲沿线影响大。

说明:6 月份多年月均降水量青藏铁路安多 - 那曲 - 当雄沿线多年 月均降水量 75mm ~100mm,拉萨沿线 50mm ~75mm;拉日铁路沿线 多年月均降水量 50mm ~75mm。降水对铁路运营有一定影响。

说明:12 月份多年月均积雪较厚,青藏铁路安多 - 那曲沿线多年月 均积雪厚度 0.4cm ~0.8cm,当雄 - 拉萨 0.1cm ~0.4cm;拉日铁路沿线 多年月均积雪厚度 <0.05cm。积雪对青藏铁路安多 - 那曲沿线影响 较大。

说明:12 月份多年月均最低气温青藏铁路安多 - 那曲沿线 -30℃ ~ -25℃,当雄沿线 -25℃ ~ -15℃,拉萨沿线 -15℃ ~ -10℃;拉日 铁路沿线多年月均最低气温 -25℃ ~ -10℃。冬季最低气温对铁路 沿线有影响,主要影响路段安多 - 那曲 ~当雄,在有降水过程时,整 个青藏铁路和拉日铁路由于气温低,易形成且较长时间维持路面结 冰的状况,对铁路运营有不利影响。

说明:9 月份多年月均雷暴日数青藏铁路沿线 10 ~14 天;拉日铁路 沿线拉萨 - 尼木沿线 10 ~14 天,尼木 - 日喀则沿线 6 ~10 天。9 月 份雷暴对铁路运营影响较大,要加强关注

图 1 铁路交通气象灾害多年历史统计组图

通气象指数预报模型。每种灾害性天气我们划分了 6 个区间,分别代表 0、1、2、3、4、5 级,其中 0 级代表无灾害,1~5 级分别代表轻微、轻度、中度、强、剧烈的等级。具体的分区见表 1。

由于不同的灾害对铁路交通的影响是不同的,根据影响程度,我们分别对每种灾害设定了权重系数 W_j 、灾害等级 C_i 、灾害种类设定 T_j 及灾情危险度 W_{ij} 。

表 1 西藏自治区铁路气象灾害分级表

灾害性天气种类	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
大风(m/s)	8.1~12.0	12.0~16.0	16.0~20.0	20.0~30.0	30.0~100.1
结冰(mm)	0.0001~1.0	1.0~2.0	2.0~5.0	5.0~10.0	10.0~100.1
暴雨(mm)	5.0~10.0	10.0~29.0	29.0~49.0	49.0~79.0	79.0~100.1
积雪(cm)	5.0~10.0	10.0~29.0	29.0~49.0	49.0~79.0	79.0~100.1
雷电(am)	5.0~10.0	10.0~29.0	29.0~49.0	49.0~79.0	79.0~100.1
地质灾害(%)	5.0~10.0	10.0~29.0	29.0~49.0	49.0~79.0	79.0~100.0
沙尘(μg/m³)	500~22500	22500~67500	67500~112500	11250~157500	157500~202500
低温(℃)	0~-5	-5~-10	-10~-20	-20~-30	<-30

针对地质灾害、结冰、积雪、雷电、暴雨、沙尘、大风、低温 8 种灾害:

权重系数 $W_j = [10,9,8,7,6,5,4,3]$ 。权重系数的确定是根据青藏铁路沿线灾情历史数据分析得出的,按照历史灾情数据的灾种数量由高到低排序,确定权重系数依次为 $[10,9,8,7,6,5,4,3]$ 。

灾害分类系数 $T_j = [1,2,4,6,3,0,7,5]$ 。编程时为区分不同灾害种类设定,设定了 T_j ,与不同的灾害对应 $T_j = [1,2,4,6,3,0,7,5]$,其值对结果无影响。

灾害级别 $C_i = [1,2,3,4,5]$
灾情危险度 $W_{ij} = W_j \cdot C_i \cdot 100 + C_i \cdot 10 + T_j$ 。
对每种灾害的灾情危险度 W_{ij} 进行计算,得出西藏自治区铁路交通气象灾害类型及危险度级别划分(表 2)。

3 铁路沿线实况数据订正方法研究

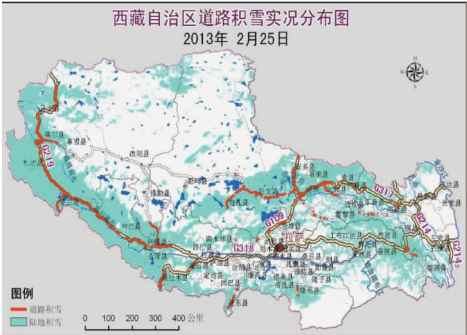
本文做青藏铁路沿线实况数据订正反演主要是基于遥感技术以及 GIS 的空间分析工具,利用统计分析方法进行道路天气实况的反演^[4,5]。目前主要有道路积雪、气温、风速和降水的实况反演产品。

3.1 铁路路段积雪实况

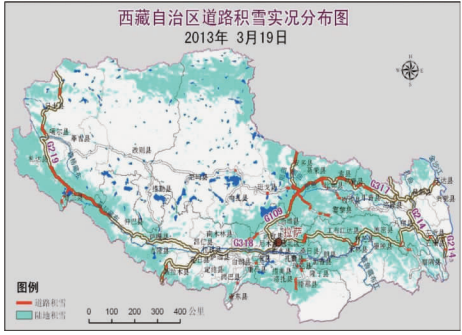
铁路路段的积雪实况将通过卫星数据的网上下载、全区积雪反演、铁路沿线积雪反演三个步骤来实现,做出的图清晰实用。实况积雪反演组图见图 2。

表 2 西藏自治区铁路气象灾害类型及危险度级别划分

灾害类型/级别	1	2	3	4	5
地质灾害	1011	2021	3031	4041	5051
结冰	912	1822	2732	3642	4552
积雪	814	1624	2434	3244	4054
雷电	716	1426	2136	2846	3556
暴雨	613	1223	1833	2443	3053
沙尘	510	1020	1530	2040	2550
大风	417	827	1237	1647	2057
低温	315	625	935	1245	1555
地质灾害	11	23	32	37	40
结冰	9	21	30	36	39
积雪	7	19	27	34	38
雷电	6	16	26	31	35
暴雨	4	13	22	28	33
沙尘	3	12	17	24	29
大风	2	8	14	20	25
低温	1	5	10	15	18



(a) 2013 年 2 月 25 日



(b) 2013 年 3 月 19 日

图 2 铁路沿线积雪实况反演组图

3.2 铁路路段实况气温网格化订正方法:

采用以下公式进行铁路路段实况气温网格化订正:

$$\begin{aligned} T_1 &= a_1 \cdot lon_1 + a_2 \cdot Lat_1 + a_3 \cdot Ele_1 + a_4 \cdot \theta_1 \\ &\quad + a_5 \cdot BT_1 \\ T_2 &= a_1 \cdot lon_2 + a_2 \cdot Lat_2 + a_3 \cdot Ele_2 + a_4 \cdot \theta_2 \\ &\quad + a_5 \cdot BT_2 \\ &\quad \vdots \\ T_n &= a_1 \cdot lon_n + a_2 \cdot Lat_n + a_3 \cdot Ele_n + a_4 \cdot \theta_n \\ &\quad + a_5 \cdot BT_n \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} T_{i,j} &= a_1 \cdot lon_{i,j} + a_2 \cdot Lat_{i,j} + a_3 \cdot Ele_{i,j} \\ &\quad + a_4 \cdot \theta_{i,j} + a_5 \cdot BT_{i,j} \end{aligned} \quad (2)$$

其中 a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 站点上有待进一步率定的系数; n 为站点数; $T_1, T_2, \dots, T_n$ 为站点上气温; $Lon_1, Lon_2, \dots, Lon_n$ 为站点上的经度; $Lat_1, Lat_2, \dots, Lat_n$ 为站点上纬度; $Ele_1, Ele_2, Ele_3, \dots, Ele_n$ 为站点上高程; $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$ 为太阳遮阳角, B 为辐射亮温, $T_{i,j}$ 为格点上气温(见图3 ~ 图5), $Lon_{i,j}$ 与 $Lat_{i,j}$ 格点

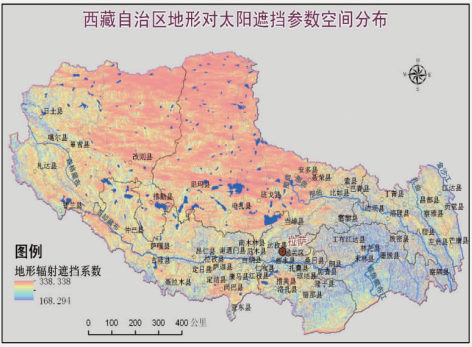


图 3 9 月月平均太阳遮挡参数

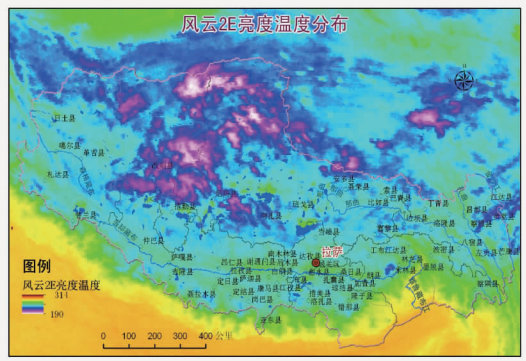


图 4 太阳辐射亮温分布图

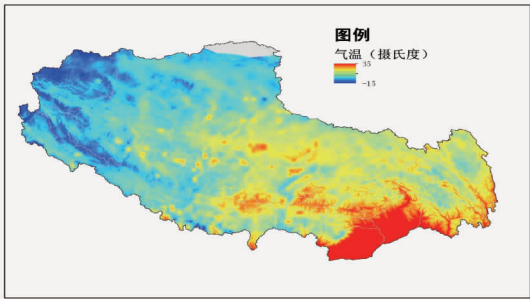
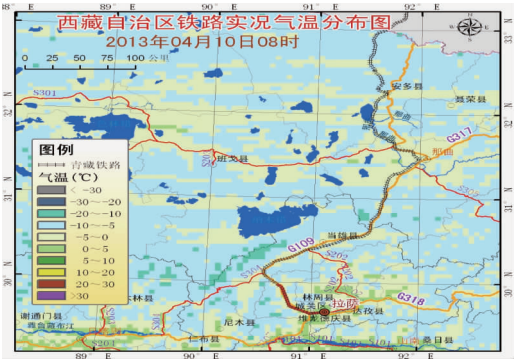


图 5 输出的逐 1 小时实况温度空间分布

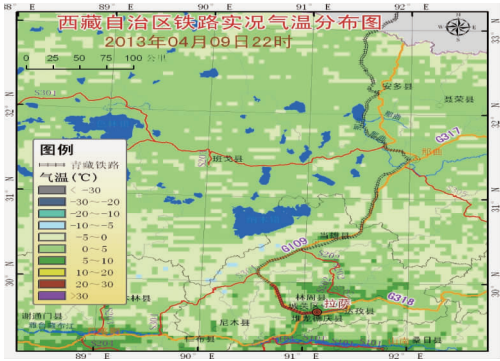
所在经度和纬度, $Ele_{i,j}$ 为格点上的高程。在得出 a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 的值后, 就可以换算出需要时刻的实况温度, 得出气温实况反演图(见图 6)。本订正公式使用的是 9 月份中午 12 点的月平均太阳遮挡参数。

3.3 铁路路段风速实况订正方法

目前西藏有 150 个站的风观测资料, 用内插的方法来做风的实况分析。主要遵循以下 3 点: (1) 站点密的地方直接内插 W_1 , 比如拉萨、日喀则、林芝等地区; (2) 站点稀疏的地方用 T639 的 0



(a) 2013年4月10日08时



(b) 2013年4月9日22时

图6 铁路沿线气温实况反演组图

场风的数据值 W_2 和内插值 W_1 , $W = W_1 \cdot \alpha + W_2 \cdot (1 - \alpha)$, 目前我们用的 α 值为0.5, 经过后期的精度验证后, 此值可以更改; (3) 无站点的地方用 T639 的 0 场的风的数据值 W_2 。青藏铁路拉萨段用的是直接内插的方法, 安多-那曲-当雄沿线由于站点较为稀疏, 用的是内插值和 0 场值的平均值。拉日铁路和拉林铁路开通以后, 这两段铁路由于观测站点较为密集, 可以直接内插。其中, 站点稀疏和无站点的地方需要对数据值和内插值进行修订估算 (见图 7)。

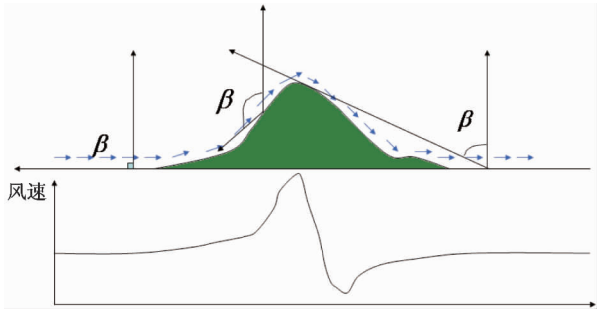


图7 铁路沿线3小时间隔风速估算模型

$$W_{cal} = a(1 - \cos(\beta))(W_{model} + b)$$
$$\beta = f(W_d, Slop, Dist)$$

式中, β 与风向, 坡度和距离有关, $a(1 - \cos(\beta))$ 为地形遮挡系数, 当地形平坦时, β 接近 90 度, 此时 $(1 - \cos(\beta))$ 接近于 1, 相当于模式风速乘 1, 没有影响。在山后地区, 地形阻挡, β 为锐角, $(1 - \cos(\beta)) < 1$, 此时风速会降低。在山前迎风坡, 地形抬升, β 为钝角, $(1 - \cos(\beta)) > 1$, 此时风速会增加; 当风向变化时, 迎风坡和背风坡会调整, 所以需要依据风向来定, 最后, 依据模式的风向, 确定用

哪个风向的 $a(1 - \cos(\beta))$ 的值乘以模式风速就是订正出来的值。得出的 W_{cal} 就是基于自动站和 T639 模式预报的西藏自治区 3 小时间隔风速估算值, 可以输出的逐 3 小时实况风速空间分布 (见图 8 和图 9)。

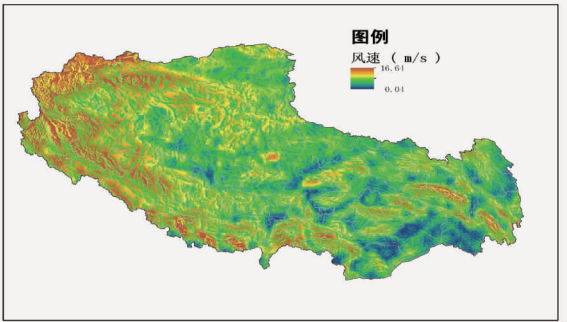


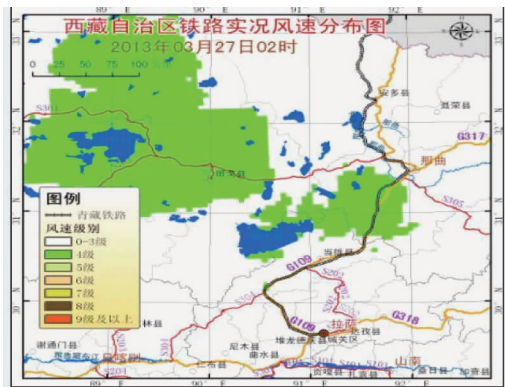
图8 输出的逐3小时实况风速空间分布

3.4 铁路路段降水实况

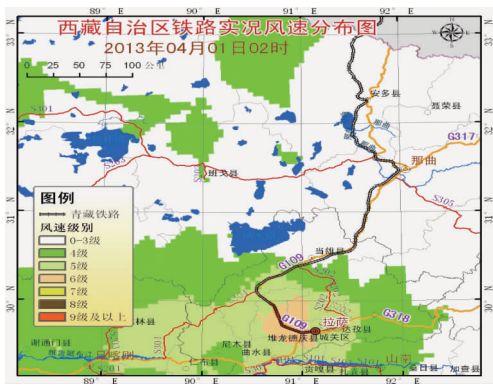
站点密的地方直接内插, 站点稀疏的地方用卫星估算降水和内插值的平均, 无站点的地方直接用卫星估算降水。最终得出铁路沿线降水实况反演图 (见图 10)。

4 结 论

(1) 根据青藏铁路高影响天气预报指标, 对 T639 模式输出产品的客观化解释与订正, 完成青藏铁路沿线大风、降水、气温等要素的客观化分析预报模型, 编程建立运行系统, 可制作精细化格点预报产品, 包括图形和文字产品。

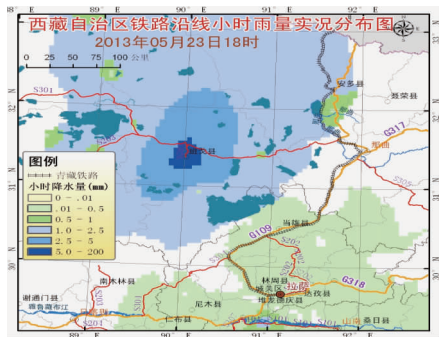


(a) 2013 年 3 月 27 日 02 时



(b) 2013 年 4 月 1 日 02 时

图 9 铁路沿线风速实况反演组图



(a) 2013 年 5 月 23 日 18 时



(b) 2013 年 5 月 17 日 08 时

图 10 铁路沿线降水实况反演组图

(2) 在实时的欧洲 METTOP 卫星数据的基础上,完成基于卫星遥感数据分裂窗算法和融合全区 150 个自动站资料的逐小时气温实况、降水实况反演模型,完成青藏铁路沿线气温、降水实况估算,可制作图片和文字产品;建立基于自动站和 T639 模式预报的青藏铁路沿线 3 小时间隔风速估算模型,可完成青藏铁路大风天气监测制图与大风影响路段文字稿的自动生成。

(3) 通过建立的青藏铁路高影响天气预报指标及实况数据订正反演方法,可以制作出具有针对性和时效性的专业气象服务产品,有效保障青藏铁路安全畅通,提高铁路管理水平和应急处置能力。

(4) 由于数据系列太短(截至 2015 年 12 月,利用项目组开发研制的“青藏铁路交通气象研究服务系统”,已经开展 1 年半的青藏铁路专业气象服务),对产品系统性的精度验证工作还没有开展。

(5) 由于西藏铁路交通建设的飞快发展,未来

几年将逐步开通多条新的线路,需要通过交通或扫描数字化的方式对铁路分布的 GIS 格式进行更新;在数据资料逐步完善的情况下,将开展沙尘、雷电及结冰预报研究工作。

参考文献

[1] 德庆卓嘎,格央,尼琼. 青藏铁路西藏段沿线高影响天气预报服务研究. 西藏大学学报, 2014,2:102-106

[2] 徐月顺,当周卓玛,裴少阳. 青藏铁路青海段沿线连阴雨天气预报服务研究. 青海科技, 2010,5:58-61

[3] 张静,保广裕,徐月顺. 青藏铁路沿线青海境内旬降水气温预报方法研究. 青海农林科技, 2012,3:18-21

[4] 潘迪夫,刘辉,李燕飞. 青藏铁路格拉断沿线风速短时预测方法. 中国铁道科学, 2008,29(5) :129-133

[5] 胡泽勇,程国栋,谷良雷. 青藏铁路路基表面太阳总辐射和温度反演方法. 地球科学进展, 2006,21(12): 1304-1313

Revised inversion of the index and live data of the high impact weather along Qinghai Tibet railway

Kel Yang^{*}, Dechin Dorgar^{**}, Tsedan Basang^{*}

(^{*} Meteorological Station of Tibet Autonomous Region, Lhasa 850000)

(^{**} Meteorological Service Center of Tibet Autonomous Region, Lhasa 850000)

Abstract

To meet the demands of the operation of the Qinghai Tibet railway for meteorological services, influences of high impact factors including geological disasters, ice, snow, lightning, heavy rain, etc. on weather along the Qinghai Tibet railway were studied based on absorbing the domestic and foreign research results of the meteorological forecast service. A traffic meteorological index forecast model for Tibet plateau railway was established by using the partition mathematical modeling method. The method for statistical analysis was used to carry out the correction and inversion of the live weather along the railway based on the remote sensing technology and GIS spatial analysis tools. According to the results of this research, the objective prediction and inversion of rainfall, snowfall, wind and other high impact weather factors along the Tibet railway were performed and the ability of forecasting and early warning monitoring the meteorological disasters in the region along the railway was effectively improved. It has a great significance to improving the operating rate of the railway.

Key words: Qinghai tibet railway, high impact weather, forecast method, revised inversion, live data