

裴少阳,周丹,保广裕,等. 青海省公路沿线能见度时空变化特征及其影响因素[J]. 干旱气象, 2017, 35(6): 1004-1010, [PEI Shaoyang, ZHOU Dan, BAO Guangyu, et al. Spatial and Temporal Variation Characteristics of Highway Visibility in Qinghai Province and Its Influencing Factors [J]. Journal of Arid Meteorology, 2017, 35(6): 1004-1010], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-06-1004

青海省公路沿线能见度时空 变化特征及其影响因素

裴少阳¹, 周丹¹, 保广裕¹, 申燕玲²

(1. 青海省气象服务中心, 青海 西宁 810001; 2. 青海省气象科学研究所, 青海 西宁 810001)

摘要:基于青海省公路沿线附近青海境内50个气象站点2004—2015年能见度地面观测资料和DEM数据,采用梯度距离平方反比空间插值方法,进行能见度的时空特征分析,在此基础上结合大雾、大风沙尘暴、短时强降水等观测资料,对能见度变化成因进行天气学分析。结果表明:(1)青海省公路沿线年、季、月、日平均能见度大体呈东西低、中间高的空间分布特征,其中玉树东部、果洛州、海南州、海北西部、海西中东部地区平均能见度最好,有利于公路交通线路的安全运行,而西宁地区、海东市、黄南州、海北中东部、格尔木地区平均能见度最差,对公路交通运行安全影响较大,应注意防范;(2)全省年平均能见度在17.4~48.8 km之间,能见度的月变化特征显著,但日变化特征不明显;(3)造成青海省能见度时空变化的主要天气现象有大雾、大风沙尘暴和短时强降水。

关键词:青海省;能见度;变化特征;成因

文章编号:1006-7639(2017)06-1004-07 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-06-1004

中图分类号:P461, P427.2

文献标志码:A

引言

公路交通运输作为国民经济和社会发展的重要基础,在切实保障人民基本生产生活、有力支撑社会经济发展等方面意义重大。现代公路运输体系所追求的快速、高效与安全,在很大程度上受气象条件的影响和制约,随着运输量的增加和极端天气事件的频繁出现,公路运输的安全运营风险日益严重^[1],公路运行安全和高效管理需求对气象条件的敏感性和依赖性日趋增大^[2-6]。因此,掌握复杂气象条件的时空分布特征及其对公路运输安全的影响,不仅能够减少生命财产损失,而且有利于提高公路沿线交通气象预警、预报能力。

青海省属于典型高原大陆性气候,影响交通运输安全的大雾、沙尘暴、雪灾和大风等灾害性天气频发^[7],加之公路交通线路多位于高海拔的河谷、沙漠戈壁、无垠草原之中,交通线路自身危险等级较高。在上述灾害性天气影响下,道路能见度下降,造

成驾驶人员可视距离变短,给交通运输安全带来极大风险,特别是恶劣气象条件下低能见度对公路车辆行驶构成的威胁不亚于对航空的影响。近年来,众多学者开展了能见度对交通运输影响的研究^[8-13]。如王博妮等^[10]通过对2013年3月18—19日江苏省一次平流雾天气过程的成因分析,评价了平流雾对交通及预报服务质量的影响;汤继涛等^[12]利用GFS分析场数据和WRF中尺度数值模式,对2011年6月17—18日发生在江苏省南部地区覆盖沪宁、沿江及宁常高速公路的一次大暴雨天气过程进行数值模拟及诊断分析,并探讨其对交通能见度的影响;白永清等^[13]统计分析了2006—2008年汉宜高速公路交通事故的月际和日变化特征,采用多项式曲线拟合气象条件与事故指数的关系,确定了事故突发增长的临界气象指标。可见,影响能见度的恶劣天气条件与大气环流以及其他气象要素关系密切,有一定的规律可循。

青海省位于青藏高原东北部,公路交通运输是

收稿日期:2017-05-26;改回日期:2017-08-22

基金项目:青海省气象局2015年预报员专项(青气预函201508)资助

作者简介:裴少阳(1963—),女,工程师,从事专业气象预报服务研究。E-mail:498082018@qq.com。

通信作者:周丹(1989—),从事干旱气象、专业气象预报服务研究。E-mail:www.zhoudan.6666@163.com。

其最重要的运输通道,交通运输环境安全与否直接影响全省人民的生产生活,而目前对青海省公路沿线能见度研究尚不多见。故本文基于青海省公路沿线附近青海境内 50 个气象站点 2004—2015 年能见度及其他气象要素地面观测资料,采用梯度距离平方反比空间插值方法进行能见度的时空特征分析,并对能见度变化特征成因进行天气学分析,旨在为作好交通沿线能见度预报提供有利参考。

1 研究区概况

青海省位于青藏高原东北部,总面积 72.1 万 km^2 ,东西长约 1 200 km,南北宽约 800 km,与四川、西藏、甘肃、新疆 4 省(区)毗邻,是内地“援藏”、“援疆”的重要门户,也是联系大西北和大西南的重要通道。截止 2016 年底,青海省公路总里程达 78 579 km(图 1)。按技术等级划分,等级公路里程达 45 575 km,其中高速公路 3 500 km,二级及以上公路 42 075 km。按行政等级划分,国道 4 812 km,省道 8 993 km,县道 9 478 km,乡道 14 455 km,其他道路 40 841 km。青海省远离海洋,是典型的高原大陆性气候,太阳辐射强,降水量少而集中,且区域差异性大,冬季严寒而漫长,夏季凉爽而短促。年平均气温 2~9 $^{\circ}\text{C}$,年平均降水量为 250~550 mm。气象灾害类型多样,主要为大雾、沙尘暴、雪灾和大风。境内山脉高耸,地形多样,河流纵横,全省 87% 以上的区域海拔在 3 000 m 以上^[14]。许多公路交通线路均位于高海拔的河谷、沙漠戈壁、无垠草原之中,交通线路自身危险等级较高。

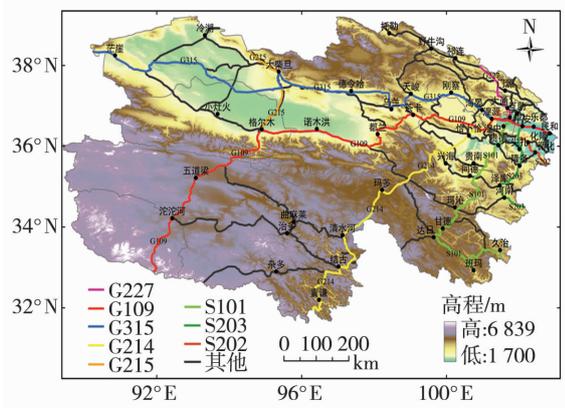


图 1 青海省主要公路交通线路分布

Fig. 1 The distribution of main road traffic routes in Qinghai Province

2 数据与方法

2.1 数据

根据交通线路实际运行情况,青海省主要的公路交通线路有 G109(京拉线)、G315(西莎线)、G214(西景线)、G227(宁张线)、G215(红格线)、S101(西久线)、S202(平大线)和 S203(平赛线)。选取上述 8 条公路沿线附近青海境内 50 个气象站点 2004—2015 年 4 个时次(02:00、08:00、14:00、20:00(北京时,下同))及日平均能见度地面观测资料 and 全省数字高程模型(DEM,分辨率 90 m)资料,统计各站点年、季、月平均能见度的时空变化特征,公路交通线路和气象站点分布见图 1。其中,能见度观测采用了透射能见度仪,该仪器通过测量发射器和接收器之间水平空气柱的平均消光(透射)系数而推算出能见度,并不需要对大气作任何假设就可以探测大气的透过率或消光系数,其采样体积大,测量精度高,对真实能见度状况反应灵敏。所有站点资料均经过均一化检验,对个别站点的缺测数据主要采用了均值替换法^[15]进行插补处理,经订正处理后的 50 个站点资料具有较好的连续性和一致性。

此外,还选取同期上述 50 个气象站点大风沙尘暴发生日数资料和 9 个代表站(西宁、民和、海晏、同仁、格尔木、德令哈、共和(恰卜恰)、玛沁和结古)大雾日数资料,以及 2010 年 10 月 15 日 08:00 和 2005 年 7 月 11 日 08:00 500 hPa 高度场资料。

季节定义为:上一年 12 月至当年 2 月为冬季,当年 3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月为秋季。

2.2 研究方法

受经济、自然和人力条件的限制,气象站点有限且分布不均,这往往需要利用站点数据,通过空间插值由点及面得到每个栅格的数据,以实现区域气候研究。常用的插值方法主要有反距离权重法、样条函数法和克里金法等^[16],在很多领域这些方法都能够较好地反映区域差异。然而,气象资料属于地理空间中的自然地理要素,具有空间结构的连续性和简便性^[17],更多地受到海拔高度、地形的影响。青海省地域辽阔,海拔高差大、地貌类型复杂多样,故本文采用梯度距离平方反比法(gradient plus inverse distance squared, GIDS)进行气象要素的空间插值,该方法能充分反映气象要素受海拔、地形的影响^[18]。其计算公式^[19]如下:

$$Z = \left[\sum_{i=1}^n \frac{Z_i + (X - X_i) \times C_X + (Y - Y_i) \times C_Y + (E - E_i) \times C_E}{d_i^2} \right] / \left[\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^2} \right] \quad (1)$$

式中: X 与 X_i 分别为待估点与气象站点的 X 轴坐标值; Y 与 Y_i 分别为待估点与气象站点的 Y 轴坐标值; E 与 E_i 分别为待估点与气象站点的海拔高程; d_i 为待估点到第 i 站点的大圆圆弧距离; n 为用于插值的站点数目; C_X 、 C_Y 和 C_E 分别为站点气象要素值与 X 、 Y 和海拔高程 E 的回归系数,本文通过计算逐月各站点能见度与经度、纬度和海拔高程的复相关系数确定。

3 公路沿线能见度时空分布特征

3.1 能见度年、季分布特征

从青海省 2004—2015 年平均能见度的空间分布(图 2)看出,青海省年平均能见度空间上大体呈东西低、中间高的分布特征,全省年平均能见度在 17.4 ~ 48.8 km 之间,年平均能见度最大值出现在曲麻莱,其次是贵南(48.5 km)、玛多(47.7 km)和班玛(47.6 km),最小值出现在民和。结合图 1 分析可知,G315 线天峻—德令哈段、G109 线共和—格尔木段、G214 线共和—清水河段、S101 线贵南—班玛段的年平均能见度最好;G315 线民和—刚察段、G109 线西宁—共和段、G214 线西宁—共和段、G227 线民和—门源段、S101 线西宁—贵德段、S202 线西宁—平安段和 S203 线平安—河南段的年平均能见度最差,对交通运行安全影响较大。

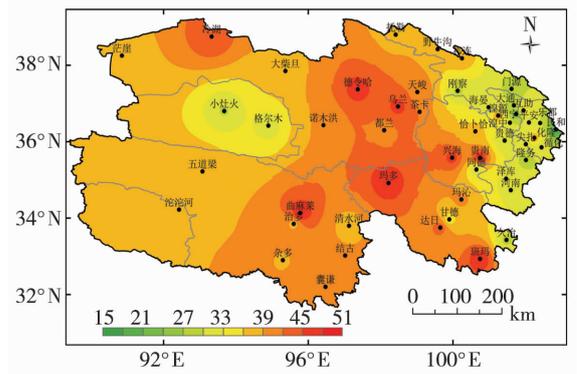


图 2 2004—2015 年青海省年平均能见度的空间分布(单位:km)

Fig. 2 Spatial distribution of annual average visibility in Qinghai Province during 2004 - 2015 (Unit:km)

图 3 是青海省各季节平均能见度的空间分布。可看出,青海省各季节平均能见度也呈东西低、中间高的分布特征。平均能见度的区域差异夏季最小,最高值与最低值相差 27.7 km;冬季区域差异最大,最高值与最低值相差 35.4 km。秋、冬季平均能见度整体高于春、夏季,尤其是西部地区。四季中,春、夏和冬季的最大能见度均出现在中南部的曲麻莱地区,而秋季最大值出现在中东部的贵南地区;东部民和地区能见度最差,四季平均能见度均为全省最小值。结合图1分析可知,四季中,青海省G315线天

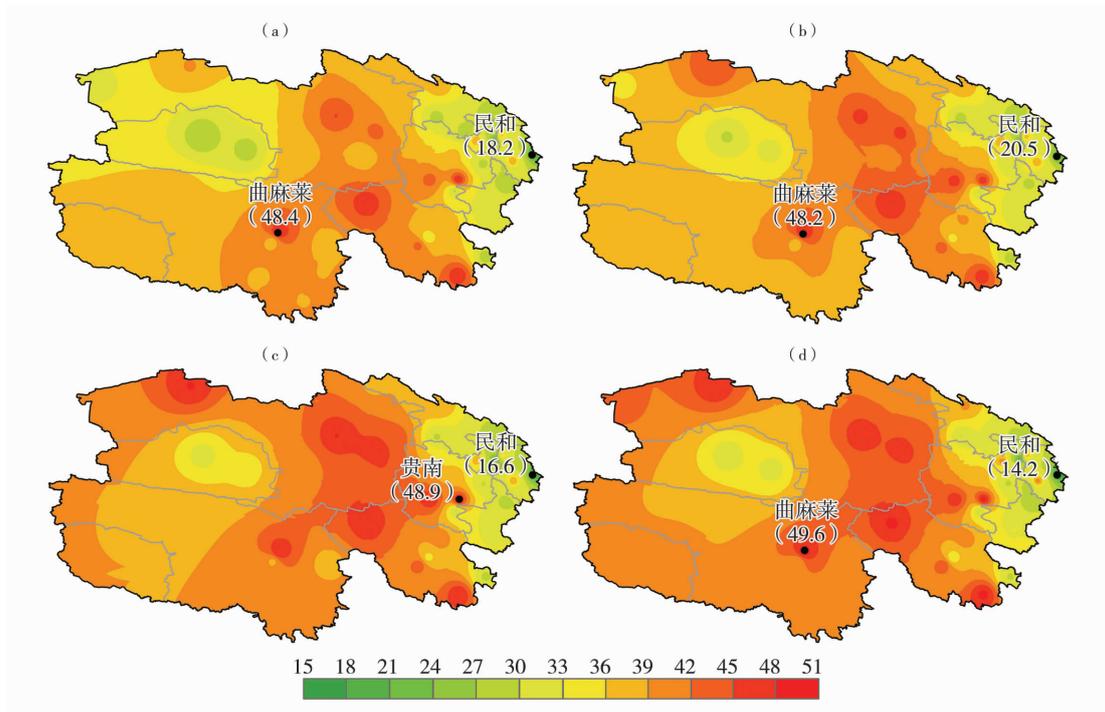


图 3 2004—2015 年青海省各季平均能见度的空间分布(单位:km)

(a) 春季;(b) 夏季;(c) 秋季;(d) 冬季

Fig. 3 Spatial distributions of seasonal average visibility in Qinghai Province during 2004 - 2015 (Unit:km)

(a) spring, (b) summer, (c) autumn, (d) winter

峻—德令哈段、G109线共和—格尔木段、G214线共和—清水河段、S101线贵南—班玛段的平均能见度最好;G315线民和—刚察段、G109线西宁—共和段、G214线西宁—共和段、G227线民和—门源段、S101线西宁—贵德段、S202线西宁—平安段和S203线平安—河南段的平均能见度最差,对交通安全影响较大。

3.2 能见度月分布特征

依据青海省2004—2015年平均能见度空间分布图,选取东、西部地区平均能见度较低的王宁、民和、海晏、同仁、格尔木[图4(a)]和中部地区平均能见度较高的德令哈、共和、结古、玛沁[图4(b)]共9个站点进行能见度的逐月变化分析。

青海省东、西部平均能见度较低站点中,西部的格尔木和东部的民和平均能见度月变化曲线

表现为单峰型,而东部的海晏则表现为双峰型,其余两站月变化幅度不大。其中,海晏月平均能见度从1月的最大峰值34.9 km开始急剧减小,至5月降到最低值23.5 km后开始持续增加,7月达到次峰值32.4 km,随后略有减少后再次增加;民和月平均能见度自1月的13.7 km开始持续增加,至6月达到峰值21.4 km后逐渐减小;西宁和同仁两站的平均能见度月变化幅度不大,分别在21.0 km和28.0 km上下波动;格尔木月平均能见度自4月开始逐渐增大,至10月达到峰值34.8 km后持续减小。可见,海晏、民和及格尔木站月平均能见度峰值出现时间差异较大。其中,民和平均能见度夏季最好,冬季最差;格尔木平均能见度秋季最好,春季最差;海晏平均能见度冬季最好,春季最差。

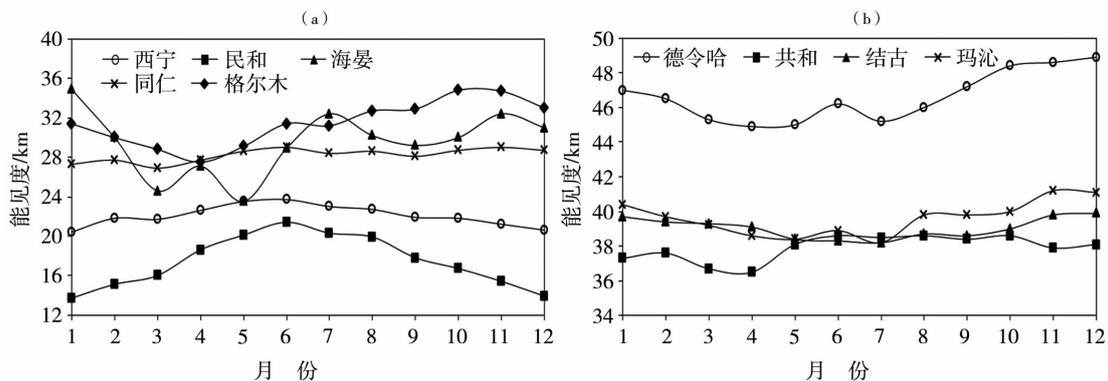


图4 2004—2015年青海省东、西部(a)和中部(b)代表站点月平均能见度变化

Fig. 4 Changes of monthly average visibility at representative meteorological sites in the east and west (a) and central area (b) of Qinghai Province during 2004-2015

青海中部平均能见度较高站点中,结古、玛沁、德令哈站月平均能见度变化特征相似,均呈先减后增的单峰型变化,峰值和谷值分别出现在12月和5月,且变化幅度结古、玛沁、德令哈依次逐渐增大;共和站月平均能见度变化曲线也表现为单峰型,但峰值出现在6月,谷值出现在4月。

综上所述,青海省各地月平均能见度高值区与低值区存在明显差异,高值区平均能见度的月变化幅度不大,低值区平均能见度的月变化幅度较大,季节性特征显著。

3.3 能见度日分布特征

图5是青海省2004—2015年02:00、08:00、14:00、20:00能见度空间分布。整体来看,青海省公路沿线各地上述4个时刻的能见度也表现出东西低、中部高的空间分布特征,能见度最大值均出现在曲麻莱,最小值均出现在民和,且这4个时刻能见度

的空间分布差异较小,说明青海省能见度的日变化较小。对比4个时刻的能见度分布发现,14:00与20:00、02:00与08:00的能见度分布相似,但14:00和20:00的能见度整体较02:00和08:00的偏高,其中西宁以东区域偏高明显,其他区域无明显差异。

由此可见,青海省02:00、08:00、14:00、20:00平均能见度日变化不明显,平均能见度日变化中各时次能见度最大值均出现在曲麻莱,最小值均出现在民和。结合图1分析可知,G315线天峻—德令哈段、G109线共和—格尔木段、G214线共和—清水河段、S101线贵南—班玛段的日平均能见度最好;G315线民和—刚察段、G109线西宁—共和段、G214线西宁—共和段、G227线民和—门源段、S101线西宁—贵德段、S202线西宁—平安段和S203线平安—河南段的日平均能见度最差,对交通安全影响较大。

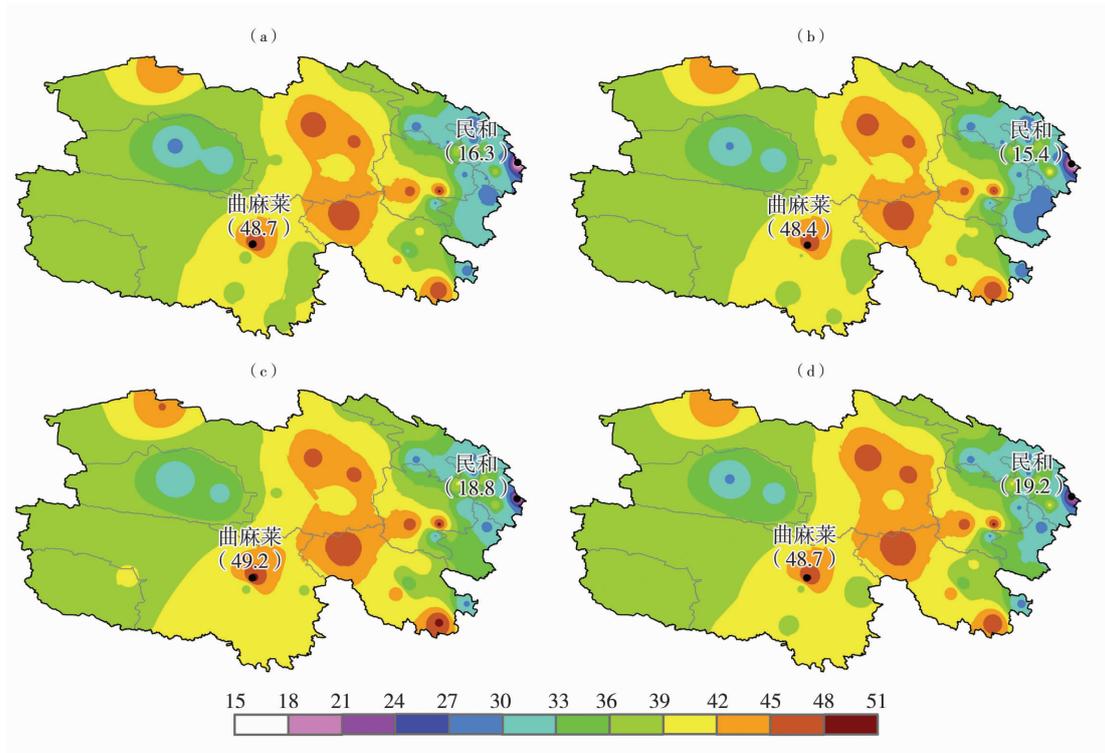


图5 2004—2015年青海省02:00(a)、08:00(b)、14:00(c)、20:00(d)能见度空间分布(单位:km)

Fig. 5 Spatial distribution of visibility at 02:00 BST (a), 08:00 BST (b), 14:00 BST (c) and 20:00 BST (d) in Qinghai Province during 2004 – 2015 (Unit: km)

4 能见度影响因子

4.1 大雾对能见度的影响

研究表明,大雾是影响能见度的首要气象要素^[11]。表1列出青海省2004—2015年代表站大雾日数的月分布。可看出,青海省各代表站大雾天气主要集中在5—10月,占大雾总日数的84.4%,其中7月、8月和9月大雾天气出现的次数较多,分

别占总日数的15.1%、16.2%和14.5%。总体来看,青海省各代表站大雾日数自3月开始逐渐增加,5月骤然增加后持续上升,9月达到峰值后开始逐渐下降,大雾天气主要出现在春末、夏季和秋初。从空间分布(图略)来看,大雾天气主要出现在海北东部、海东、西宁、黄南、格尔木地区,这与海北东部、海东、西宁、黄南、格尔木等地区能见度较差相一致,表明这些地区的大雾天气对能见度影响较大。

表1 2004—2015年青海省代表站大雾日数的月分布

Tab. 1 Monthly distribution of heavy fog days at representative meteorological stations in Qinghai Province during 2004 – 2015

站点	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	总计
西宁	0	1	0	1	2	1	4	2	1	1	0	2	15
民和	1	0	0	1	1	2	2	0	1	2	0	0	10
海晏	0	0	1	2	1	0	3	2	3	3	1	0	16
同仁	0	0	2	1	3	5	2	4	1	4	0	0	22
格尔木	0	0	1	1	8	3	8	14	6	2	0	0	43
德令哈	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	3
共和	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
玛沁	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2
结古	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	3

单位:d

研究表明,造成青海省大雾天气的环流形势主要有北部型和南部型2种^[7,20]。图6给出青海省北部和南部大雾天气过程08:00 500 hPa环流形势,发现500 hPa表现的环流形势完全不同。其中,北部大雾过程期间08:00 500 hPa高度场上,欧亚中高纬度为2槽1脊型,乌拉尔山到里海、咸海和巴尔喀什湖附近为低压槽[图6(a)],新疆至青海上空受一致的西北气流控制,风速较小,青海北部风速在 $8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下,且 $T-T_d\leq 4.0\text{ }^\circ\text{C}$;南部大雾过程期间08:00 500 hPa高度场上,欧亚中纬度以纬向环流为主,且多中短波槽脊活动[图6(b)],中国西北地区为高压控制,青海南部为弱的偏西风气流,风速不足 $6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,且 $T-T_d\leq 3.0\text{ }^\circ\text{C}$ 。

4.2 大风沙尘暴对能见度的影响

大风沙尘暴对能见度的影响也较大,其发生期

间地区能见度急剧下降。依据青海省大风沙尘暴发生日数资料,2004—2015年间柴达木盆地、唐古拉山区、海西西部出现大风沙尘暴的天数最多,冷湖、茫崖、格尔木、五道梁和小灶火地区达45 d以上,其中冷湖地区达90 d以上,大风沙尘暴成为影响上述地区能见度最主要的因素。研究表明,造成青海省大风沙尘暴天气的500 hPa环流形势主要有蒙古冷槽型、巴湖低槽型、西北气流型、西亚横槽型、西风急流型^[21-22]。大风沙尘暴天气的影响系统一般与冷低压槽、强冷锋和飑线等中小尺度系统配合。总体而言,强冷空气的卷入使西伯利亚冷槽强烈发展,为大风、沙尘暴的发展提供动力条件,同时西伯利亚冷槽分裂成短波槽的垂直结构为大风、沙尘暴提供动量下传机制,且地面冷锋后部形成的大风为沙尘暴的发生创造基本条件。

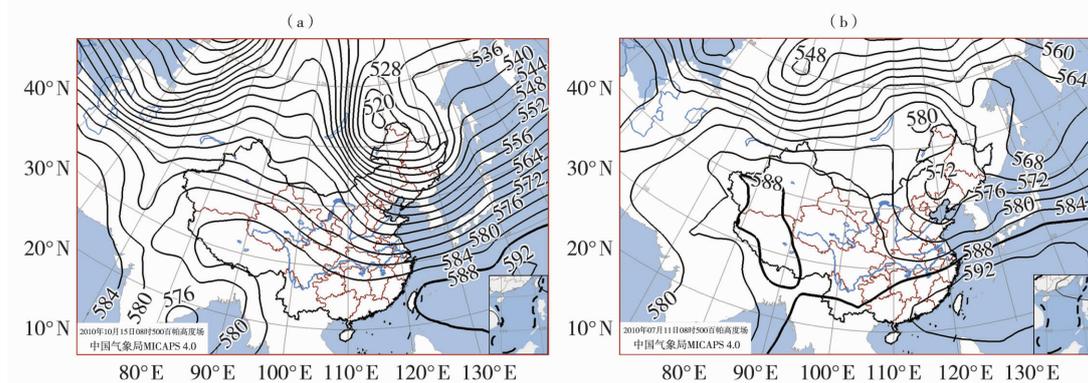


图6 青海省北部(a)和南部(b)大雾天气过程08:00 500 hPa环流形势(单位:dagpm)

Fig. 6 The circulation situations on 500 hPa of heavy fog weather at 08:00 BST in northern (a) and southern (b) Qinghai Province (Unit:dagpm)

4.3 短时强降水对能见度的影响

短时强降水对能见度影响较大,其发生期间交通事故的发生率明显增加。根据青海省系统性降水的特点,造成短时强降水的天气形势主要有南北槽叠加型、两高一低型、西风槽型、高原切变型、副高东退型^[23]。在短时强降水发生区域,前期基本受副热带高压影响,对流层中低层处于高温高湿状态下,其中发生在6 h以下天气过程内的短时强降水主要触发机制是中尺度低压、辐合线和干线,而发生在6 h以上的主要触发机制是短波槽和切变线。短时强降水发生前,青海大部区域不稳定能量聚积,大气层结不稳定,中低层有强的水汽辐合,不同时段下的强降水水汽源地有所不同,其中2 h内的强降水水汽源地主要在新疆,6 h内的主要在孟加拉湾,6 h以上的主要在孟加拉湾和南海,中低空相对湿度均较大。发生在不同时段下的短时强降水天气,中低层风的

垂直切变强,且风随高度顺转,造成降水天气过程。短时强降水造成能见度的突降,对交通安全运行有很大影响。

5 结论

(1)青海省公路沿线年、季、月、日平均能见度大体呈东西低、中间高的空间分布特征,能见度最大值出现在曲麻莱,最小值出现在民和。全省年平均能见度在17.4~48.8 km之间,季节平均能见度在14.2~49.6 km之间。公路沿线各地月能见度的季节变化特征显著,而日变化特征不明显。

(2)青海省G315线天峻—德令哈段、G109线共和—格尔木段、G214线共和—清水河段、S101线贵南—班玛段的年、夏季、秋季、6—10月、每日20:00的平均能见度最好,有利于交通线路的安全运行;G315线民和—刚察段、G109线西宁—共和段、

G214 线西宁—共和段、G227 线民和—门源段、S101 线西宁—贵德段、S202 线西宁—平安段和 S203 线平安—河南段的年、春季、冬季、上一年 12 月至当年 4 月、每日 08:00 的平均能见度最差,对交通运行安全有较大影响,应注意防范。

(3)造成青海省能见度空间差异的主要天气现象有大雾、大风沙尘暴和短时强降水。上述天气现象发生过程期间,其能见度急剧下降,交通事故的发生率明显增加。

青海省地处青藏高原东北部,地势高耸,地貌形态格局多样,大陆性高原气候特征显著,天气变化多样,是全国气候和生态环境脆弱区之一。同时,青海省经济较落后,科学技术实力较弱,各方面发展均滞后于全国水平。本研究对部分天气状况的成因分析不够完善,后续工作还需定量地深入分析与能见度相关的各种灾害性天气成因,从根本上提高这些灾害性天气的预报与服务工作,为青海省经济发展和减轻气象灾害损失提供些许科学依据。

参考文献:

- [1] 康延臻,王式功,杨旭,等. 高速公路交通气象监测预报服务研究进展[J]. 干旱气象,2016,34(4):591-603.
- [2] 刘聪,卞光辉,黎键,等. 交通气象灾害[M]. 北京:气象出版社,2009.
- [3] 刘东,马社强,牛学军. 我国高速公路交通事故特点分析[J]. 中国人民公安大学学报(自然科学版),2008,14(4):65-68.
- [4] 罗慧,李良序,胡胜,等. 公路交通事故与气象条件关系及其气象预警模型[J]. 应用气象学报,2007,15(3):350-357.
- [5] 宁贵财,康彩燕,陈东辉,等. 2005—2014 年我国不利天气条件下交通事故特征分析[J]. 干旱气象,2016,34(5):753-762.
- [6] 魏璐. 河南省 2011 年高速公路气象服务效益评估[J]. 气象与环境科学,2013,36(2):47-51.
- [7] 罗生洲,汪青春,戴升. 青海省气象灾害的若干气候特征分析[J]. 冰川冻土,2012,34(6):1380-1387.
- [8] 吴彦,陈春艳,路光辉. 沿天山高速公路冰雪灾害分析及其对交通安全的影响[J]. 沙漠与绿洲气象,2013,7(5):66-70.
- [9] 邵振平. 郑州机场能见度变化特征及雾的成因分析[J]. 气象与环境科学,2014,37(1):75-82.
- [10] 王博妮,袁成松,陈鹏,等. 2013 年初春一次平流雾过程对江苏交通的影响分析[J]. 气象与环境科学,2015,38(1):46-53.
- [11] 王博妮,濮梅娟,田力,等. 江苏沿海高速公路低能见度浓雾的气候特征和影响因子研究[J]. 气象,2016,42(2):192-202.
- [12] 汤继涛,袁成松,包云轩,等. 一次苏南大暴雨过程数值模拟及其对交通能见度的影响[J]. 气象科学,2014,34(3):275-281.
- [13] 白永清,何明琼,刘静,等. 高速公路交通事故与气象条件的关系研究[J]. 气象与环境科学,2015,38(2):66-71.
- [14] 郭广,张静,马守存,等. 1961-2010 年青海省人体舒适度指数时空分布特征[J]. 冰川冻土,2015,37(3):845-854.
- [15] 周丹,张勃,任培贵,等. 基于标准化降水蒸散指数的陕西省近 50 年干旱特征分析[J]. 自然资源学报,2014,29(4):677-688.
- [16] 朱求安,张万昌,赵登忠. 基于 PRISM 和泰森多边形的地形要素日降水量空间插值研究[J]. 地理科学,2005,25(2):233-238.
- [17] 李军,周成虎. 地学数据特征分析[J]. 地理科学,1999,19(2):158-162.
- [18] 周义,覃志豪,包刚. GIDS 空间插值法估算云下地表温度[J]. 遥感学报,2012,16(3):492-504.
- [19] NALDER I A, WEIN R W. Spatial interpolation of climatic Normals: test of a new method in the Canadian boreal forest[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1998,92(4):211-225.
- [20] 田成娟,党永秀,祁得兰,等. 近 34 年青海省雾霾天气空间特征分布[J]. 青海气象,2015(2):25-27.
- [21] 马学莲,党永秀. 2010 年 3 月 19 日青海省大风、沙尘暴天气过程诊断分析[J]. 青海科技,2011(1):20-23.
- [22] 李锡福. 青海省沙尘暴天气气候特征及成因分析[J]. 青海气象,2001(2):14-19.
- [23] 田成娟,朱平,马琼,等. 青藏高原东北部两次区域性大到暴雨对比分析[J]. 高原山地气象研究,2017,37(1):1-6.

(下转至 1026 页)