沙 漠 与 绿 洲 气 象
Desert and Oasis Meteorology
第16卷 第5期
2022年10月

保广裕,张静,刘玮,等.京藏高速民和至西宁段冬季路面与地面最低温度变化特征及相关性研究[J].沙漠与绿洲气象,2022,16(5):94-101.
doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2022.05.013

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

京藏高速民和至西宁段冬季路面与地面最低温度变化特征及相关性研究

保广裕,张 静*,刘 玮,雷春苗,郑 玲,李宝华
(青海省气象服务中心,青海 西宁 810001)

摘 要:使用2018—2020年冬季12月—次年2月京藏高速民和至西宁段常规气象观测站和交通气象观测站逐日逐时气象观测资料,采用统计学线性趋势相关方法,对冬季逐月平均路面最低温度和地面最低温度的日变化特征及其相关关系进行了分析,建立了4站冬季各月路面最高和最低温度与地面最高和最低温度的相关性方程,旨在为路面温度精细化预报服务提供参考。结果表明:京藏高速民和至西宁路段4站冬季各月平均路面最低温度和地面最低温度达到最低值和最高值的时间并非完全相同;平均地面最低温度日出/日落的变化速率要高于平均路面最低温度,且平均地面最低温度的变化幅度要比路面最低温度变化幅度大。平均地面最低温度的最高值比路面最低温度的最高值超前1~2 h;一般情况下,常规气象观测站逐小时地面最低温度<0 ℃的时间维持15~18 h,交通气象观测站路面最低温度<0 ℃的时间维持8~22 h。应用统计学方法建立的朝阳站、汉庄站、高庙桥站和老鸦峡站最高和最低路面温度与最高和最低地面温度相关性方程具有很好的实际应用价值,检验预报准确率较高。

关键词:京藏高速;路面最低温度;地面最低温度;相关性方程;民和至西宁段
中图分类号:P468.021 **文献标识码**:A **文章编号**:1002-0799(2022)05-0094-08

随着社会经济的快速发展,交通运输成为现代经济社会发展的重要命脉。现代交通运输体系追求便捷、安全、通畅和高效的同时,很大程度上受到天气、气候因素的影响和制约,气象条件导致的交通事故与安全问题成为社会广泛关注的焦点[1-7]。国内许多学者利用公路交通沿线出现的交通事故资料和气象资料,采用各类科学方法建立公路交通气象预警服务模型及灾害性天气对公路交通影响等方面做了诸多研究[8-17]。SHAO等[18]认为当路面存在积水(雪),路面温度低于0 ℃时,路面将产生结冰。保广裕等[19-20]对青海省道路结冰变化时空分布特征及其影响等级进行研究,结合道路孕灾环境、承灾体和致灾因子,建立了青海省公路沿线强降雪灾害性天气风险等级区划模型。

京藏高速青海段沿线地形复杂多样,自然条件较差,气象灾害较多,冬季低温雨雪道路结冰引发的交通事故频发。目前青海省交通气象监测站点稀疏,气象服务保障能力相对较弱,缺乏对公路交通沿线路面温度等气象要素连续性变化的分析研究。故本文利用京藏高速公路交通沿线青海境内民和至西宁段2017年12月新建的交通气象观测站的路面温度和常规气象观测站的地面温度观测资料,运用统计学线性趋势相关方法,对冬季路面与地面最低温度的变化特征及相关性开展分析研究,为青海省公路交通沿线低温监测预警和交通运输安全保障提供参考依据。

收稿日期:2021-05-19;**修回日期**:2021-10-09
基金项目:青海省基础研究计划项目(2021-ZJ-762)
作者简介:保广裕(1967—),男,正高级工程师,主要从事专业气象预报和服务研究。E-mail:985022892@qq.com
通信作者:张静(1983—),女,高级工程师,主要从事气象预报和服务研究。E-mail:156095587@qq.com

1 资料和方法

选取京藏高速公路交通沿线青海境内的民和至西宁段,该路段呈东西走向,沿线附近共布设有 4 个常规气象观测站和 4 个交通气象观测站(图 1)。从东到西常规气象观测站为民和站、乐都站、平安站和西宁站;交通气象观测站为老鸦峡站、高庙桥站、汉庄站和朝阳站,其中朝阳站和老鸦峡站路面温度采用模拟路面,高庙桥站和汉庄站位于京藏高速路面上,路面温度采用红外探测仪逐日逐分钟连续观测数据中的路面温度的最高值和最低值,即为路面最高温度和最低温度。

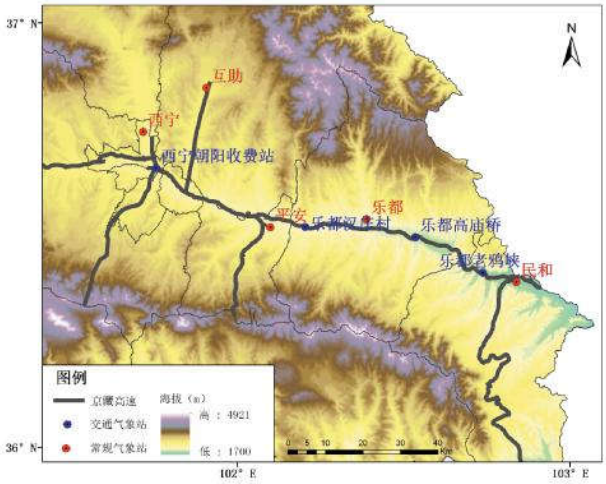

图 1 京藏高速公路民和至西宁段与气象观测站高程分布

本文选取京藏高速公路交通沿线青海境内民和至西宁段 2018—2020 年 1、2 和 12 月逐日逐小时 4 个交通气象观测站和 4 个常规气象观测站气象资料,包括逐小时整点 0 cm 路面/地面温度、逐日 0 cm 路面/地面最低温度和最高温度。冬季各月的日资料为 2018—2020 年逐日 24 h 观测资料的平均值。选择常规气象观测站与邻近交通气象观测站进行对比分析,即西宁站与朝阳站、平安站与汉庄站、乐都站与高庙桥站、民和站与老鸦峡站,相邻常规气象观测站和交通气象观测站点详细信息见表 1。运用统计学线性趋势及相关性研究方法,分别对路面和地面的最低温度、最高温度进行相关性分析,建立冬季各月路面最低温度与地面最低温度、路面最高温度与地面最高温度之间的一元线性回归模型[21—23]。

2 冬季路面最低温度与地面最低温度的变化特征

2.1 路面与地面最低温度的变化特征

冬季平均路面最低温度与地面最低温度的最低值出现在 08—09 时。

表 1 常规气象观测站和交通气象观测站点基本信息

站点名称	经纬度	站点类型	海拔高度/m
民 和	36°19′30″ N、101°50′20″ E	常规气象观测站	1 813.9
老鸦峡	36°20′49″ N、102°44′42″ E	交通气象观测站	1 813.0
高庙桥	36°26′28″ N、102°32′57″ E	交通气象观测站	1 918.0
乐 都	36°29′18″ N、102°24′15″ E	常规气象观测站	2 064.3
汉 庄	36°29′23″ N、102°16′28″ E	交通气象观测站	1 928.0
平 安	36°29′57″ N、102°05′52″ E	常规气象观测站	2 125.0
朝 阳	36°38′31″ N、101°46′34″ E	交通气象观测站	2 197.9
西 宁	36°39′52″ N、101°43′59″ E	常规气象观测站	2 434.2

12 月高庙桥站平均路面最低温度出现在 09 时,其余交通观测站的平均路面最低温度出现在 08 时,朝阳站与西宁站、汉庄站与平安站、高庙桥站与乐都站、老鸦峡站与民和站的平均路面最低温度值比平均地面最低温度值高 2.5、4.6、7.9 和 1.7 ℃。1 月朝阳站和老鸦峡站平均路面最低温度出现在 08 时,平均路面最低温度值分别为-10.6 和-8.0 ℃,高庙桥站和汉庄站平均路面最低温度出现在 09 时,平均路面最低温度值分别为-7.4 和-6.0 ℃,西宁站与朝阳站、平安站与汉庄站、乐都站与高庙桥站、民和站与老鸦峡站的平均地面最低温度值比路面最低温度值低 2.6、3.8、7.7 和 2.0 ℃(图 2)。2 月常规气象观测站平均地面最低温度与交通气象观测站平均路面最低温度出现在 08 时,西宁站与朝阳站、平安站与汉庄站、乐都站与高庙桥站、民和站与老鸦峡站的平均地面最低温度值比路面最低温度值低 3.8、6.5、10.9 和 2.4 ℃。上述各站平均路面最低温度与地面最低温度差异较大的原因可能与交通气象观测站点所在的地理位置及环境有关,高庙桥站和汉庄站位于京藏高速路面上,而朝阳站和老鸦峡站离路面相对较远,且采用未有车辆通行的模拟路面进行观测,故相邻的路面与地面最低温差值的差异较大。

日出后,冬季平均地面最低温度的升温速度快于路面最低温度的升温速度,平均地面最低温度比路面最低温度到达峰值的时间超前 1~2 h。

各常规气象观测站 12 月平均地面最低温度 14 时均达到最高值,而交通气象观测站平均路面最低温度在 15 时达到最高值。西宁站平均地面最低温度最高值比朝阳站平均路面最低温度的最高值高 1.1 ℃,平安站比汉庄站高 4.1 ℃,乐都站比高庙桥站高 8.1 ℃,民和站比老鸦峡站高 7.5 ℃。各常规气

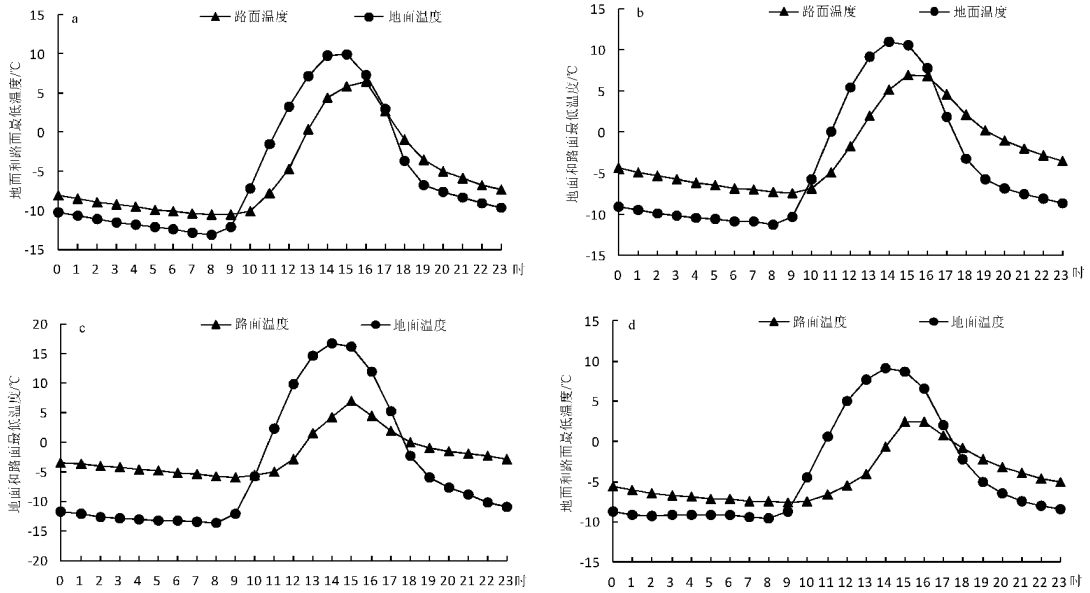

图 2　冬季 1 月逐小时平均路面最低温度和地面最低温度日变化曲线

（a 为西宁站和朝阳站，b 为平安站和汉庄站，c 为乐带站和高庙桥站，d 为民和站和老鸦峡站）

象观测站 1 月平均地面最低温度在 14—15 时达到最高值，交通气象观测站平均路面最低温度在 15—16 时达到最高值，朝阳站、汉庄站、高庙桥站和老鸦峡站平均路面最低温度的最高值分别为6.5、7.0、6.9 和 1.6 ℃，西宁站、平安站、乐都站和民和站的平均地面最低温度值分别为 9.9、11.0、16.8 和 9.1 ℃。各常规气象观测站 2 月平均地面温度在 14 时达到峰值，而交通气象观测站平均路面温度在 15—16 时达到峰值。10—17 时西宁站和朝阳站、乐都站和高庙桥站、民和站和老鸦峡站、平安站和汉庄站的平均地面最低温度明显高于平均路面最低温度，各站间最低温度的差值分别为 1.9~14.1、0.5~14.7、0.2~15.7 和 1.3~9.3 ℃。

冬季 1 月和 12 月平均地面最低温度< 0 ℃维持 17~18 h，平均路面最低温度< 0 ℃维持 18~22 h；2 月平均地面最低温度和路面最低温度< 0 ℃的时间均有所缩减。

12 月常规气象观测站逐小时平均地面最低温度< 0 ℃可维持 17~18 h，交通气象观测站逐小时平均路面最低温度< 0 ℃可维持 18~22 h。1 月常规气象观测站逐小时平均地面最低温度< 0 ℃维持 17~18 h，交通气象观测站逐小时平均路面最低温度< 0 ℃维持 18~22 h。2 月常规气象观测站逐小时平均地面最低温度< 0 ℃维持 15~16 h，交通气象观测站逐小时平均路面最低温度< 0 ℃维持 8~17 h。

日落时，冬季平均地面最低温度降温速度快于路面最低温度的降温速度，17—18 时平均地面最低温度< 0 ℃，而 17—20 时平均路面最低温度< 0 ℃。

12 月民和站和老鸦峡站、乐都站和高庙桥站在 18 时—次日 09 时平均地面最低温度比路面最低温度低 0.4~3.4 和 3.8~8.8 ℃，平安站和汉庄站、西宁站和朝阳站在 16 时—次日 09 时平均地面最低温度比路面最低温度低 3.4~5.9 和 0.7~3.1 ℃。1 月西宁站和朝阳站、民和站和老鸦峡站在 18 时—次日 09 时平均地面最低温度值比路面最低温度分别低 1.6~3.1 和 1.1~3.6 ℃，平安站和汉庄站、乐都站和高庙桥站在 17 时—次日 09 时平均地面最低温度值比路面最低温度值分别低 2.7~6.0 和 0.2~8.6 ℃。2 月西宁站和朝阳站、乐都站和高庙镇站、民和站和老鸦峡站 18 时—次日 09 时平均地面最低温度与路面最低温度差值分别为 0.5~4.3、3.5~11.2 和 2.6~5.6 ℃，平安站和汉庄站 16 时—次日 09 时地面最低温度值比路面最低温度值低 1.4~8.2 ℃。

2.2　不同站点路面最低温度的变化特征

从冬季各月交通气象观测站平均路面最低温度日变化曲线（图 3）可以看出，各交通气象观测站平均路面最低温度均有差异，但平均路面最低温度变化趋势基本一致。冬季 22 时—次日 10 时平均路面最低温度由高到低依次为高庙桥站、汉庄站、老鸦峡站、朝阳站，11—21 时平均路面最低温度变化比较复杂，09—15 时高庙桥站和汉庄站平均路面温度上升速度较汉庄站和老鸦峡站上升速度快，平均路面温度达到最高值后下降速度慢。各交通气象观测站平均路面最低温度值在 15—18 时达到最高，且11

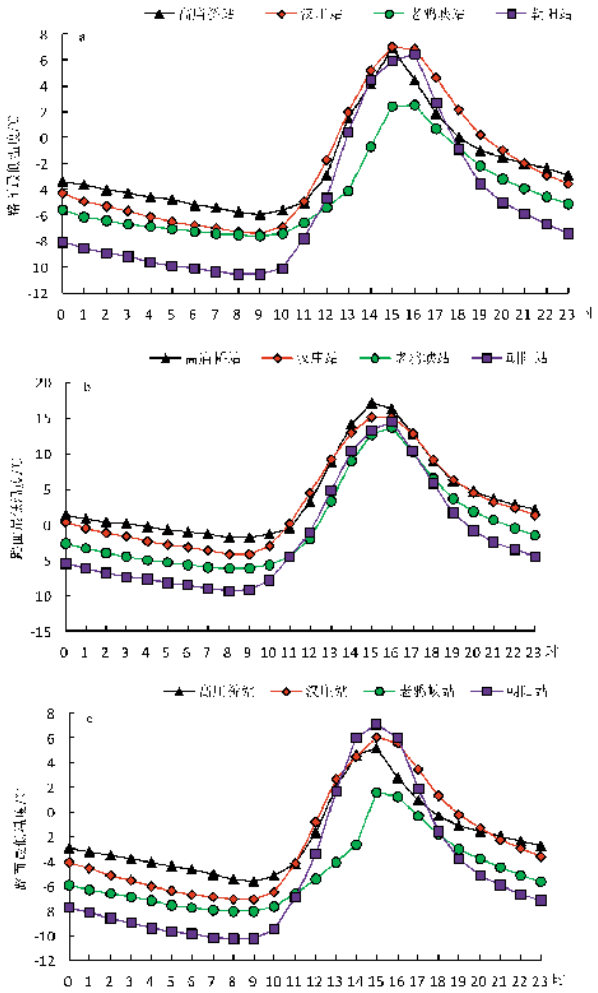

图 3　冬季各月交通气象观测站平均路面最低温度日变化曲线

(a 为 1 月,b 为 2 月,c 为 12 月)

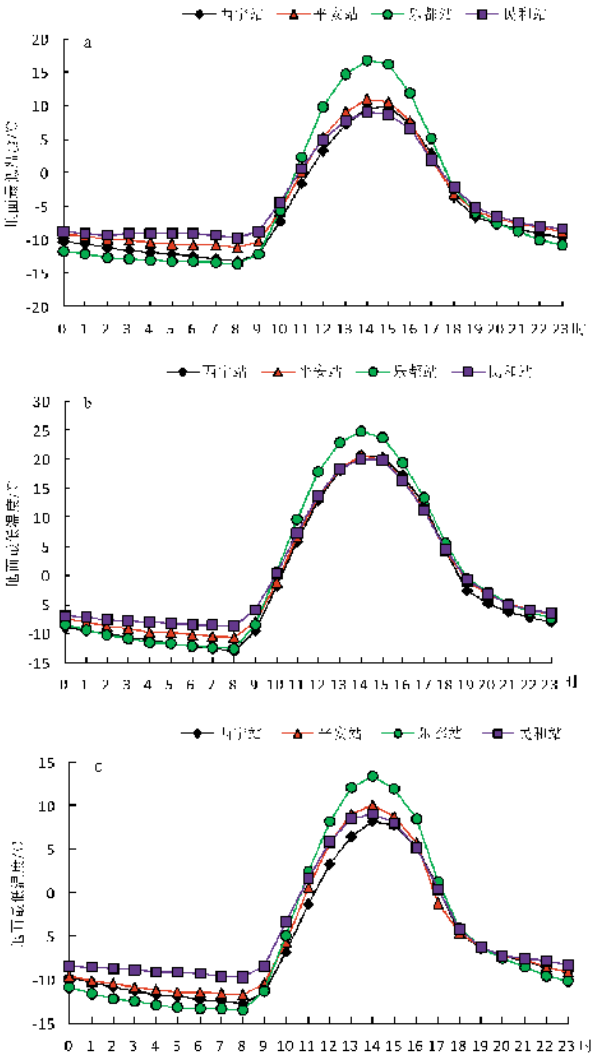

图 4　冬季各月常规气象观测站平均地面最低温度日变化曲线

(a 为 1 月,b 为 2 月,c 为 12 月)

时后的 4~5 h 平均路面最低温度的变化趋势最为接近。

冬季夜间平均路面最低温度高庙桥站高于汉庄站,汉庄站高于老鸦峡站,老鸦峡站高于朝阳站;白天老鸦峡站平均路面最低温度变化差异较大,高庙桥站、汉庄站和朝阳站平均路面最低温度变化基本一致。各交通气象站平均路面最低温度变化的差异是交通气象观测站的海拔高度、气象条件、地形和周边环境共同作用的结果。

2.3　不同站点地面最低温度的变化特征

从冬季各月常规气象观测站平均地面最低温度日变化曲线(图 4)可知,冬季平均地面最低温度变化趋势基本一致。西宁站、平安站、乐都站和民和站的平均地面最低温度昼夜差异较大,09—18 时各站平均地面最低温度升降变化趋势基本一致,乐都站平均地面最低温度在 11—18 时,高于其余 3 站。夜间各站平均地面最低温度变化幅度不大,平均地面最低温度由高到低依次为民和站、平安站、西宁站和乐都站,白天平均地面最低温度由高到低依次为乐都站、平安站、民和站和西宁站。日出至日落期间各站平均地面最低温度变化趋势呈抛物线,各站在日出日落时平均地面最低温度非常接近。

总之,冬季常规气象观测站逐小时平均地面最低温度变化趋势与交通气象观测站逐小时平均路面最低温度变化趋势一致,但一天中平均地面最低温度随日出/日落(升温或降温)的变化速率要高于路面最低温度,且平均地面最低温度的变化幅度比路面最低温度变化幅度大。平均地面最低温度白天回升速度快于路面最低温度,平均地面最低温度达到最高值后下降速度快于路面最低温度的下降速度。

日落后平均地面最低温度比路面最低温度下降速度快,同时从日出到日落,平均路面最低温度与地面最低温度间的变化幅度较大;而日出前和日落后,平均路面最低温度与地面最低温度相差明显减小。秦健等[24-25]研究沥青路面温度场的分布规律时发现,造成公路沥青路面温度变化的主要原因是气温和太阳辐射强度。

3 地面温度与路面温度的相关性研究

3.1 路面最低温度与地面最低温度相关关系

利用京藏高速公路交通沿线青海境内民和至西宁段 2018—2020 年 1、2 和 12 月逐日交通气象观测站路面最低温度和常规气象观测站地面最低温度资料,研究了朝阳站、汉庄站、高庙桥站和老鸦峡站逐日路面最低温度与西宁站、平安站、乐都站和民和站地面最低温度间的相关关系。图 5 是冬季 1 月各交通气象观测站路面最低温度与常规气象观测站地面最低温度相关关系图,图中 y 表示交通气象观测站路面最低温度,x 表示常规气象观测站地面最低温度。路面最低温度与地面最低温度有着较好的线性相关关系,西宁站、朝阳站、平安站、汉庄站、乐都站、高庙桥站与民和站、老鸦峡站 1 月相关系数分别为 0.78、0.61、0.76、0.88,路面最低温度与地面最低温度的相关性方程如表 2。同理建立了 2 和 12 月路面最低温度与地面最低温度相关关系。2 月朝阳站与西宁站、汉庄站与平安站、高庙桥站与乐都站、老鸦峡站与民和站的相关系数分别为 0.95、0.80、0.86、0.93,12 月朝阳站与西宁站、汉庄站与平安站、高庙桥站与乐都站、老鸦峡站与民和站的相关系数分别为 0.93、0.74、0.77、0.89。各方程均通过 0.001 的显著性水平检验。冬季低温雨雪诱发的道路结冰极易引发交通事故,因此应更加注重冬季路面低温预报模型的研究改进。通过相关性统计分析发现,朝阳站、汉庄站、高庙桥站和老鸦峡站 4 站路面最低温度与常规气象观测站地面最低温度间的相关性均十分显著。为检验路面最低温度与地面最低温度相关性方程,对 2021 年 1—2 月预报效果进行了检验,以预报值与实况值差的绝对值在 2 ℃范围内为准确,效果检验中朝阳站、汉庄站、高庙桥站和老鸦峡站逐日路面最低温度总体预报准确率分别为 86.4%、83.1%、78.0%和 84.8%。因此均具有较好的实用性和推广性,均可进行业务化使用。

3.2 路面最高温度与地面最高温度相关关系

利用京藏高速公路交通沿线青海境内民和至西宁路段 2018—2020 年 1、2 和 12 月逐日交通气象观测站路面最高温度和常规气象观测站地面最高温度资料,研究了朝阳站、汉庄站、高庙桥站和老鸦峡站逐日路面最高温度与西宁站、平安站、乐都站和民和站地面最高温度间的相关关系。图 6 是冬季 1 月各交通气象观测站路面最高温度与常规气象观测站地面最高温度相关关系图,图 6 关系式中 y 表示交通气象观测站路面最高温度,x 表示常规气象观测站

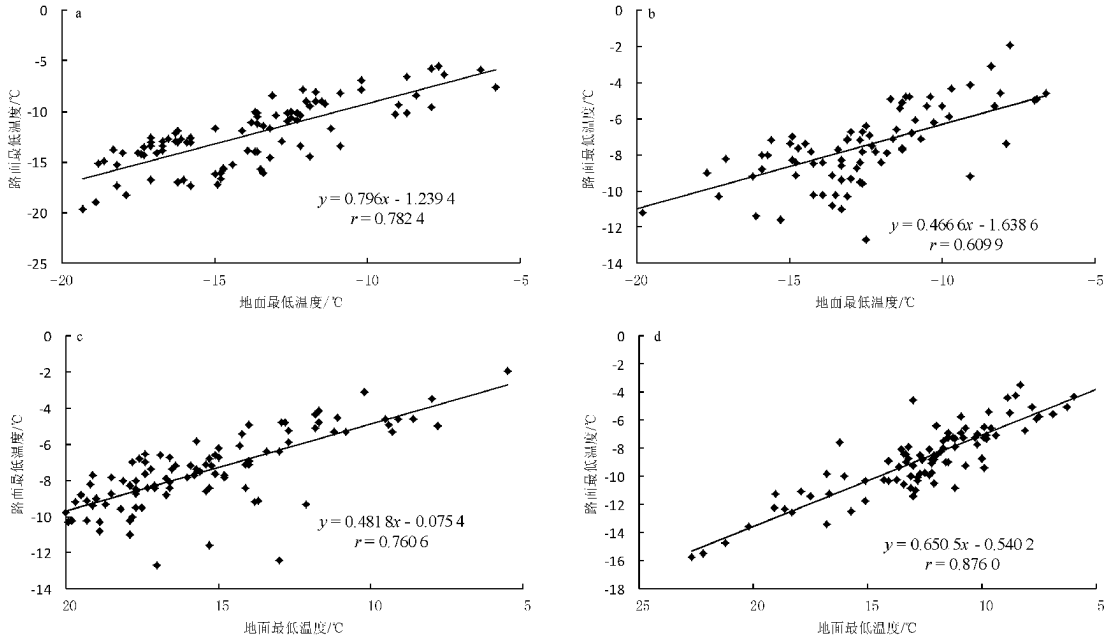

图 5 冬季 1 月交通气象观测站路面最低温度与常规气象观测站地面最低温度相关关系

(a 为西宁站和朝阳站,b 为平安站和汉庄站,c 为乐都站和高庙桥站,d 为民和站和老鸦峡站)

表 2　各交通气象观测站路面最低温度与常规气象观测站地面最低温度相关性方程

	1月	2月	12月
朝阳站与西宁站	y=0.796 0x−1.239 4	y=0.621 4x−1.013 8	y=0.652 2x−2.138 4
汉庄站与平安站	y=0.466 6x−1.638 6	y=0.568 2x+1.548 2	y=0.489 3x+1.858 8
高庙桥站与乐都站	y=0.481 8x−0.075 4	y=0.514 5x+2.423 8	y=0.486 7x+0.158 8
老鸦峡站与民和站	y=0.650 5x−0.540 2	y=0.701 7x+0.364 5	y=0.645 3x−1.654 3

地面最高温度。从图中可以看出路面最高温度与地面最高温度绝大多数均匀且集中分布在趋势线附近。同理可以建立 2 和 12 月各站路面最高温度与地面最高温度的相关关系,经计算,朝阳站 1、2 和 12 月路面最高温度与西宁站地面最高温度的相关系数分别为 0.92、0.56、0.66，汉庄站与平安站分别为 0.76、0.84、0.54，高庙桥站与乐都站分别为 0.84、0.78、0.75，老鸦峡站与民和站分别为 0.85、0.87、0.82，各站路面最高温度与地面最高温度相关系数均较高。因此,采用地面最高温度建立路面最高温度一元线性回归方程如表 3。各方程均通过了 0.001 的显著性水平检验。通过相关性统计分析发现,路面最高温度和地面最高温度的相关性十分显著。为检验路面最高温度与地面最高温度相关性方程,对 2021 年 1—2 月预报效果进行了检验,以预报值与实况值差的绝对值在 2 ℃范围内为准确，效果检验中朝阳站、汉庄站、高庙桥站和老鸦峡站逐日路面最高温度总体预报准确率分别为 83.1%、79.7%、76.3%和 71.2%。因此均具有较好的推广性和实用性,均可进行业务化使用。

表 3　各交通气象观测站路面最高温度与常规气象观测站地面最高温度相关性方程

	1月	2月	12月
朝阳站与西宁站	y=0.796 8x+0.692 2	y=0.537 4x+5.802 9	y=0.477 7x+5.885 4
汉庄站与平安站	y=0.548 2x+1.739 5	y=0.844 2x−0.916 2	y=0.396 4x+3.444 0
高庙桥站与乐都站	y=0.523 1x−0.463 8	y=0.753 8x−3.810 8	y=0.477 6x−0.480 4
老鸦峡站与民和站	y=0.716 3x−3.241 2	y=0.715 8x−0.461 1	y=0.344 1x+0.932 8

4　结论

通过分析京藏高速民和至西宁段冬季不同月份朝阳站、汉庄站、高庙桥站和老鸦峡站平均路面最低温度与西宁站、平安站、乐都站和民和站平均地面最低温度变化特征的基础上，利用统计方法建立了各交通气象观测站路面最低温度和路面最高温度相关性方程,得到以下结论：

(1)冬季交通气象观测站平均路面最低温度和常规气象观测站平均地面最低温度具有明显的日变化特征，平均路面最低温度和地面最低温度达到最低值和最高值的时间并非完全相同。平均地面最低温度随日出/日落(升温或降温)的变化速率要高于平均路面最低温度；并且平均地面最低温度的变化幅度要比路面最低温度变化幅度大。

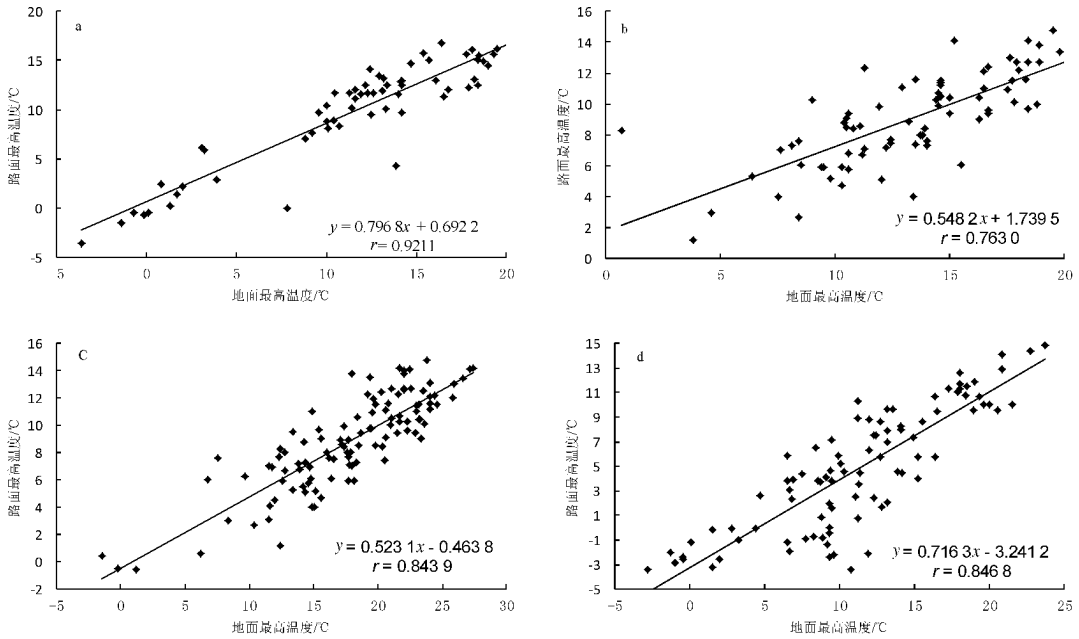

图 6　冬季 1 月交通气象观测站路面最高温度与常规气象观测站地面最高温度相关关系

(a 为西宁站和朝阳站,b 为平安站和汉庄站,c 为乐都站和高庙桥站,d 为民和站和老鸦峡站)

（2）白天平均地面最低温度回升速度快于路面最低温度，当平均地面最低温度达到最高值后下降速度也快于平均路面最低温度，平均地面最低温度最高值比路面最低温度的最高值超前1~2 h。一般情况下，平均地面最低温度< 0 ℃可维持15~18 h，平均路面最低温度< 0 ℃可维持8~22 h。

（3）日落后常规气象观测站平均地面最低温度的下降速度比交通气象观测平均路面最低温度下降速度快。从日出到日落，平均路面最低温度与地面最低温度间的温差较大，而日出前和日落后时段，平均路面最低温度与地面最低温差明显减小。

（4）平均路面最低温度和平均地面最低温度变化趋势基本一致，但各月平均路面最低温度和地面最低温度昼夜差异非常明显。采用统计方法建立冬季路面最低温度与地面最低温度和路面最高温度与地面最高温度相关性方程具有较好的使用价值，均通过了0.001的显著性水平检验。检验得到预报值与实况值差的绝对值在2 ℃范围内的准确率较高，该模型具有很好的应用价值。

参考文献：

[1] 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.

[2] 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.

[3] 王健，张月华.乌鲁木齐冬季清雪预报服务研究[J].沙漠与绿洲气象，2018，12（1）：82-85.

[4] 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.

[5] 李乃杰，李迅，董颜.冬季车辆热源对道面温度影响的估算[J].干旱气象，2017，35（4）：682-687.

[6] 张静，保广裕，周丹，等.基于回归模型的青藏铁路水害气象风险评估[J].沙漠与绿洲气象，2018，12（1）：53-60.

[7] 葛根巴图，魏巍，张晓，等.柴达木盆地极端气候时空趋势及周期特征[J].干旱区研究，2020，37（2）：304-313.

[8] 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，2007，18（3）：350-357.

[9] 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.

[10] 李建，顾婷婷，刘丹妮，等.杭金衢高速公路交通事故与气象条件的关系[J].暴雨灾害，2020，39（3）：312-316.

[11] 潘娅英，陈武.引发公路交通事故的气象条件分析[J].气象科技，2006，34（6）：778-782.

[12] 马筛艳，马金仁，孙卫武，等.银川市路面温度预报与爆胎指数预报方法研究[J].干旱气象，2013，31（4）：825-830.

[13] 贺芳芳，房国良，吴建平.上海地区不良天气条件与交通事故之关系研究[J].应用气象学报，2004，15（1）：126-128.

[14] 胡钰玲，康延臻，杨旭，等.2008—2015年北京高速公路道面结冰特征分析[J].冰川冻土，2017，39（4）：811-823.

[15] 田华，吴昊，赵琳娜，等.沪宁高速公路路面温度变化特征及统计模型[J].应用气象学报，2009，20（6）：737-744.

[16] 王洁，曲晓黎，张金满，等.基于序关系分析法的河北省交通事故天气条件分析[J].暴雨灾害，2020，39（4）：427-432.

[17] 吴晟，吴兑，邓雪娇，等.南岭山地高速公路路面温度变化特征分析[J].气象科技，2006，34（6）：783-787.

[18] SHAO J，LISTER P J.An automatednowcasting model or road surface tempature and state for winter road maintenance[J].Applied Meceor，1996，135：1352-1361.

[19] 保广裕，王文英，张景华，等.青海省路结冰变化时空分布特征及其影响等级划分 [J]. 气象科技，2016，44（1）：104-110.

[20] 保广裕，周丹，郑玲，等.青海省公路沿线强降雪天气灾害风险区划方法研究[J].沙漠与绿洲气象，2019，13（4）：109-116.

[21] 曲晓黎，武辉芹，张彦恒，等.京石高速路面温度特征及预报模型[J].干旱气象，2010，28（3）：352-357.

[22] 闫昕旸，王小勇，达选芳，等.甘肃高速公路山区段路面温度特征及其预报模型[J].干旱气象，2018，36（5）：864-872.

[23] 张曦，浩宇，梁佳，等.陕西省高速公路路面温度特征及预报模型[J].干旱气象，2019，37（6）：1028-1034.

[24] 秦健，孙立军.沥青路面温度场的分布规律[J].公路交通科技，2006，23（8）：18-21.

[25] 白永清，何明琼，刘静，等.高速公路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.

Variation Characteristics and Correlation of Minimum Temperature Between Road Surface and Ground Surface in Winter in Minhe to Xining Section of Beijing-Tibet Expressway

BAO Guangyu, ZHANG Jing, LIU Wei, LEI Chunmiao, ZHENG Ling, LI Baohua
(Qinghai Meteorological Service Center, Xining 810001, China)

Abstract Based on the daily and hourly meteorological observation data from conventional and traffic meteorological stations from December to February of the following year during 2018—2020, the diurnal variation characteristics and correlation of the monthly average road surface minimum temperature and the ground surface minimum temperature in winter were analyzed by using statistical linear trend correlation method, and the correlation equations between the maximum and minimum road surface temperature and the maximum and minimum ground surface temperature at four stations in winter were established, in order to provide a reference for fine forecasting service of road surface temperature. The results showed that the time when the monthly average road surface minimum temperature and ground surface minimum temperature reached the minimum and maximum values at the four stations of the Minhe to Xining section of Beijing-Tibet expressway in winter were not exactly identical. The sunrise/sunset variation rate of the average ground surface minimum temperature was higher than that of the average road surface minimum temperature, and the variation range of the average ground surface minimum temperature was larger than that of the road surface minimum temperature. The maximum value of average ground minimum temperature is 1~2 h ahead of the maximum value of average road minimum temperature. In general, the hourly ground surface minimum temperature of conventional meteorological observation stations is less than 0 ℃ for 15 to 18 h, and the hourly road surface minimum temperature of traffic meteorological observation stations is less than 0 ℃ for 8 to 22 h. The correlation equations between the maximum and minimum surface temperatures at Chaoyang station, Hanzhuang station, Gaomiaoqiao station and Laoyaxia station established by statistical method have good practical application value and the accuracy of test prediction is high.

Key words Beijing-Tibet expressway; minimum road surface temperature; minimum ground surface temperature; correlation equation; Minhe to Xining section