

河北师范大学

硕士学位论文

承德市近50年沙尘灾害时空分布格局研究

姓名：李云强

申请学位级别：硕士

专业：自然地理学

指导教师：常春平

20110910

摘要

沙尘灾害以及沙漠化严重威胁人类赖以生存的土地资源,严重制约人类社会的可持续发展并受到世界范围的关注。承德市位于北京的北部偏东,承德市是我国北方地区受风沙灾害危害较为严重的地区之一;同时,承德市位于首都北京与北部最近的沙地浑善达克沙地中间,是沙地扩张南侵的必经之路,因而成为抵御沙尘危害守卫首都北大门的要塞。建国以来,由于人口压力的持续增大,大量林草地被开垦,特别是在丰宁和围场的坝上区域,土地退化严重,风沙灾害连续出现,加剧了土壤风蚀和草场退化,造成了较严重的经济损失和社会影响。

本文基于 1960-2009 年承德市 9 个气象站的气象数据和相关社会经济资料,试图探讨承德市风沙灾害的时空分布特征,揭示风沙灾害空间分布规律和演化规律,为科学防治风沙灾害和减少风沙灾害的危害提供参考价值,提高承德市作为首都绿色北大门的战略地位提供决策支持。

研究发现:

1、沙尘灾害在承德市的空间差异十分明显:扬沙天气的发生日数以丰宁县最多,多年平均达到 3.85 次/年;兴隆县发生次数最少,多年平均仅为 0.35 次/年。浮尘天气的发生日数以丰宁县最多,多年平均达到 2.25 次/年;兴隆县发生次数最少,多年平均仅为 0.15 次/年。沙尘暴天气的发生日数整体比较少,以地处区域西北端的丰宁县为最多,多年平均达到 0.65 次/年;其中兴隆县和宽城县沙尘暴发生次数多年平均 0 次/年。

2、三种沙尘灾害发生的空间分布除了整体上呈现由西北到东南递减趋势外,均有一个突出的舌形等值线。这条等值线基本上沿着“丰宁——滦平——承德县”的方向向东南延伸,这正好与滦河河谷的基本走向一致;其中浮尘天气的延伸梯度最大,沙尘暴天气次之,扬沙天气的延伸梯度最小。

3、从近 20 年沙尘天气发生的时间分布上来看,1997-1999 年、2003-2004 年为沙尘灾害的平静期;1990-1996 年、2000-2002 年、2005-2010 年为沙尘天气的高发时段,特别是 2000-2002 年这一时段是近 20 年以来沙尘灾害最为集中和强烈的时期。

4、自 1960 年以来,承德市各个监测站的年均风速经历一个剧烈震荡过程中的小幅上升,持续了约 10 年左右;自 1970 年以后,承德市各县区的年均风速持

续下降，一致经历了大约 20 年的持续下降后，在 1990 年前后，平均风速的减小趋势放缓并出现了一定的波动，在这一过程中，地区间的风速差距也趋于不断扩大，各个站点间年平均风速的极差在不断增加。

5、从季节尺度而言，沙尘天气的发生呈现出“双峰一谷”型的变化曲线，每年以春季沙尘天气发生的频次最多，冬季有一个沙尘天气（主要是扬沙和浮尘天气）的次高峰。

关键词：承德市 沙尘灾害 时空分布 对策

Abstract

Dust hazards and desertification has a serious threat of land resources of human survival, has seriously hampered the sustainable development of human society and has aroused the worldwide attention. Chengde City, located north east of Beijing, is one of the regions which is subject to sandstorms more seriously in northern of China. Meanwhile, Chengde City is in the middle of the capital of Beijing and the nearest Hunshandake sand in north, which is the only way of southward expansion of sand. Thus it become a northern gate of the fortress guarding against the dust hazard. Since the founding of our nation, due to the sustained increase of population pressure, a large number of cultivated, forest and grass, especially in Fengning and paddock of the dam area, severe land degradation, sandstorms consecutive has increased soil erosion and pasture degradation and result a serious economic losses and social impacts.

Based on the 1950-2009 meteorological data and socio-economic data of nine years in Chengde City. We attempts to explore the temporal and spatial distribution of sandstorms of Chengde city, reveal the law of the spatial distribution and evolution of sandstorms, provide a reference value for the scientific controlling sandstorm and reducing sandstorms disaster and provide decision support.for Chengde City as the green northern gate of the strategic position .

The study found:

1、 the spatial differences of the dust hazard in Chengde City are obvious: the occurrence number of blowing dust weather days is most in Fengning County, average of 3.85 times / year. The occurrence number of blowing dust weather days is least in Xinglong County, average of only 0.35 times / year. The occurrence number of dust weather days is most in Fengning County , average of 2.25 times / year. The occurrence number of dust weather days is least in Xinglong County, average of only 0.15 times / year. The occurrence of dust storm days is relatively small on the whole, most located in the northwest side of the region for up to Fengning County, for many years an average of 0.65 times / year, and the occurrence number of dust storm days which Xinglong County and kuancheng , average of 0 times / year.

2、 In addition to three kinds spatial distribution of dust disasters show the overall decreasing trend from northwest to southeast.It has a prominent tongue-shaped contour. This contour is basically along the "Fengning - Luanping - Chengde County," extending to the Luan River in the direction of the southeast, which coincide with the same basic trend of the valley; the largest extended gradient weather is dust, sandstorms is the second, blowing weather is the smallest.

3、 From the dust weather occurrence of Nearly 20 years time distribution, in 1997 -1999, 2003 -2004, there is a period of quiet; there is a High-risk period of the dust weather in 1990-1996, 2000- 2002,2005- 2010, especially during -2000-2002 years ,this time is the focus and strong dust disasters of the period since nearly 20 years.

4、 Since 1960, the annual average wind speed of each monitoring stations in chengde experienced a sharp shock, in the process of a modest increase for about a decade or so; Since 1970, the average annual wind speed of chengde county continues to decline, about 20 years of continued to decline consistently.From around 1990, the decrease of the average wind speed slowed and appeared certain wave. In the process, the gap of wind speed in different area tends to be growing , the range of annual average wind speed between site is growing constantly.

5、As far as the scale of the season, the dust weather presents a "twin peaks happened a valley" type curve. / year in spring dust weather happened most frequently and in winter has a Secondary peak of dust weather (mainly dust blowing weather and floating dust weather)

Key words: Chengde City ; Dust disaster ; spatial and temporal distribution; Countermeasure

1 绪 论

1.1 研究背景以及意义

沙尘灾害以及沙漠化严重威胁人类赖以生存的土地资源,严重制约人类社会的可持续发展。目前,风沙灾害以及由此引起的土地沙质荒漠化成为全球最为严重的生态环境问题之一,对区域环境、自然资源、社会经济以及居民的日常生活造成威胁,并受到世界范围的关注。

联合国统计数字显示:全世界每年发生沙尘暴约 180 次以上,中亚、中非、北美和澳大利亚为全球四大沙尘暴多发区^[1]。北美沙尘暴主要发生在美国和加拿大。上世纪 30 年代美国西南部大草原的过度开垦、放牧和 20 世纪 50 年代哈萨克斯坦的大量开垦荒地,造成极其严重的沙尘暴灾害^[2]。1934 年 5 月 11 日,发生在美国西部草原地区的“黑风暴”被列为 20 世纪十大自然灾害之一,其影响之深、损失之大令人咋舌。20 世纪 50 年代至 60 年代,前苏联大规模的开垦及移民,引发了 60 年代的干旱并导致了严重的地表风蚀,连续遭到黑风暴的袭击,其中 1700 万公顷土地严重受灾。后续影响波及我国内蒙古和北京地区^[3]。澳大利亚有六个沙尘暴高发区:澳大利亚中部、昆士兰中部、纳勒博东部和澳大利亚西海岸。非洲尤其是中非,是世界上又一大沙尘暴多发区^[4]。非洲撒哈拉沙漠南缘萨赫勒地区,在 20 世纪 70 年代初至 20 世纪 80 年代中,由于连续大旱、草原破坏、田地荒芜、风沙蔓延、尘沙四起,农业生产遭到巨大破坏,千百万人流离失所,景象十分悲惨^[2]。

沙尘天气作为风沙灾害的一种现象,一般分为浮尘、扬沙、沙尘暴和强沙尘暴四类,其中沙尘暴对人类的危害最大。沙尘暴的发生和强度的变化除了与风力等气象条件有着密切关系外,还与其途经区域下垫面沙源物质的丰富程度和分布范围有着必然的联系^[5]。在同样的风力条件下,下垫面的性质决定着风沙活动的形成与强度^[6]。当地表沙源中断,沙尘暴发展过程中沙尘辐射冷却的正反馈过程就会中断^[7],使得沙尘暴过程减弱或停止。

由于独特的地理环境,风沙灾害已成为中国北方的生态灾难,严重影响城市人居环境改善与区域可持续发展的实现。中国北方约有 70 个城市,172 个县(旗)驻地

和24 000个村庄常年遭受沙尘暴、扬沙和浮尘的侵害^[8]。据统计,在1954-2002年期间,中国北方共出现了223例较为典型的强沙尘暴事件,50年代的六年间发生了41次,60年代发生了48次,70年代发生了58次,80年代发生了48次,90年代发生了29次,本世纪头三年共发生了15次^[9]。60年代特大沙尘暴在我国发生过8次,70年代发生过13次,80年代发生过14次,而90年代至今已发生过20多次,并且波及的范围愈来愈广,造成的损失愈来愈重^[10]。

承德市地处内蒙古高原和燕山山脉过度地带,400mm等降水量线穿境而过,气候条件的空间差异巨大。承德市位于北京的北部偏东,是北京北部最近的沙地浑善达克沙地南侵的必经之路,因而成为抵御沙尘危害守卫首都北大门的要塞。承德市是我国北方地区受风沙灾害危害较为严重的地区之一,建国以来,由于人口压力的持续增大,大量林草地被开垦,特别是在丰宁和围场的坝上区域,土地退化严重,风沙灾害连续出现,加剧了土壤风蚀和草场退化。2000年以来,灾害性沙尘天气明显增多,造成了较严重的经济损失和社会影响。但目前有关承德市风沙灾害的研究还不多见,有关承德市沙尘天气总体时空分布特征研究仍未开展。本文基于1960-2009年承德市9个气象站的气象数据,试图探讨承德市风沙灾害的时空分布特征,揭示风沙灾害空间分布规律,明确气象因素、地面状况对沙尘天气的影响,为科学布局防沙治沙空间格局、减少风沙灾害的危害提供参考依据。

1.2 国内外研究进展以及存在的问题

19世纪中期人类就开始认识到沙尘暴现象和大气粉尘输送过程,Ehrenberg在1847年描述了从非洲输送到欧洲大陆的大气粉尘^{[11][13]};从20世纪20年代以来,开始关注风沙灾害的时空分布、成因及监测与对策,特别近几十年来,关于沙尘天气方面的研究日益增多^{[12][13]}。20世纪70年代,对沙尘天气的研究主要从影响沙尘天气的热辐射方面进行的,80年代以来,开始大尺度气候角度分析沙尘天气^{[14][15][16]}。

随着研究手段的不断改进和人们对环境质量的更大关注,定量研究成为沙尘天气研究领域内的热点。气象因子是沙尘天气形成的必要条件,气象资料成为研究沙尘天气的必要手段。单纯依据气象资料逐步建立起来的沙尘天气预测模型^{[17][18]},由于没有涉及到下垫面影响因素,如土壤湿度和沙尘浓度这两个关键参

量的观测资料，模型的应用受到限制。因此一些学者^[19、20]开始尝试利用风速、降水等气候因子和下垫面因子建立综合气候影响指数模型，综合分析气候因素对沙尘天气频率格局的影响，并取得一定进展。然而沙尘天气的形成是一个复杂的物理过程，涉及到大气运动与地表状况等诸多因素^[21]，精确预测沙尘天气仍有很大的困难，沙尘天气的综合气象指数模型仍处于探索阶段。

目前，确定沙尘天气发生有两种手段，一方面是通过能对能见度长时间序列的试验观测，初步揭示出沙尘天气的发生规律，但由于大气的能见度受到烟雾、降雨、降雪等因素的干扰，单纯采用能见度资料评估沙尘天气存在一定的困难；另一方面是通过测定大气颗粒物浓度评估沙尘天气，沙尘天气持续时间与大气颗粒物浓度有很好的相关性，并逐渐得到重视，但由于缺少多个站点长期连续的观测资料，对沙尘天气强度及其影响程度的综合评价受到很大限制，该领域的研究成为科学前沿的热点和难点^[22、23]。

我国有关沙尘暴的记载最早见于公元前115年^[24]。史书中将沙尘暴及相关的沙尘天气记为“黄砂”、“雨尘土”、“雨土”、“黄上”、“黄霆”等^[25]。近代沙尘暴研究主要从第四纪地质学的角度，通过研究黄土与粉尘沉积，主要成果是黄土风成说的形成。刘东生先生等通过大量的研究工作，对黄土高原的风成学说作了进一步的阐明，提出了我国黄土粉尘的搬运和堆积与强冷锋等不同尺度的大气活动有密切关系，从而奠定了黄土风成说的基础^[26]，张德二根据历史记载、现代沙尘暴资料及浮尘天气过程分析指出：我国西北干燥沙漠地带是形成沙尘的主要沙源地^[27]。

随着我国生态环境建设力度的加强，从国家层面上加大了灾害性沙尘天气等气象灾害的关注，从沙尘暴发生机制，沙尘暴整治，沙尘暴发生的历史序列等方面开展了一系列研究，为探索治理沙尘暴方面提出了诸多建设性的意见，为沙尘灾害的预防提供了极大的理论基础。史培军等^[28]利用遥感和地理信息系统等技术对我国风沙灾害的现状、作用机制进行了探讨，指出沙尘暴天气与波动中减少的降水和日益扩大的土地沙化面积有关，要尽快的建立起沙尘灾害的检测评价体系。唐红玉等^[29]、赵红岩等^[30]、杨续超等^[31]从青藏高原季风变化、地温变化、亚洲地区对流风场和沙尘天气之间的响应关系建立了沙尘天气发生的初步规律：青藏高原冬季风的强弱与我国北方地区春季沙尘暴的强弱存在正相关关系^[29]；沙

尘暴的发生频率与3.2m处的低温的高低存在负相关关系^[30]；我国北方春季强沙尘暴日数与西西伯利亚地区春季的大风日数有很好的正相关关系^[31]，可以作为沙尘暴短期预报的一个指标。钱正安等^[32]周自江等^[33]通过分析我国北方近五十年沙尘暴分布规律，得出中国北方的沙尘暴源区主要分布在河西走廊和阿拉善高原、南疆盆地南缘以及内蒙古中部地区，沙尘暴频数变化的特点是20世纪60-70年代波动上升，80-90年代波动减小、2000年后又急剧上升。

与此同时，学者也从某个别地区沙尘天气的发生特点进行了实证研究，如周明煜^[34]、曲绍厚^[35]、刘毅^[36]等从北京地区的沙尘暴发生特征，分析北京沙尘天气特征、沙尘来源、灾害特征等，指出北京上风向地区在1999-2002年期间，平均气温高于往年平均值，而降水量却低于历史平均值；华北北部沙漠荒地在1998年面积不断扩大的，1998年以后，尤其是2001年开始退耕还林还草后，地表植被条件改善，在历史同样的气象条件下，发生的沙尘暴次数相对减少；干土层越厚，植被覆盖越差，沙尘暴发生的次数就越频繁，反之亦然。牛生杰^[37]研究了贺兰山地区沙尘暴的物理结构，讨论了强风的动力作用、近地面不稳定层结的热力作用和沙尘物质源特征，探索了特定地区环境下的沙尘暴生成机制。刘立超^[57]等研究了沙坡头地区沙尘天气发生时大气的物理特征，研究表明，不同天气条件(背景大气、浮尘、扬沙和沙尘暴)下TSP浓度存在倍数关系和量级的差异，其质量浓度随粒径分布特征也明显不同。

沙尘天气对大气环境质量也产生了重要的影响，并引起了广泛的关注^[38, 39]，尤其是单次和两次沙尘天气的个别天气过程受到了部分学者的高度关注^[40, 41]，研究表明：对流层中低层螺旋度值的大值区与沙尘暴区具有较好的一致性，对沙尘暴的预报有一定的指示意义。

一些学者也对沙尘物理性质对大气环境的影响进行了研究：周明煜^[42]等人的研究表明沙尘天气过程造成的主要大气污染是TSP，而对于二氧化硫等气态污染物有很好的扩散作用。刘毅^[43]指出沙尘天气显著的年际变化与沙尘源区及主要输送通道上的气象条件密切相关。杨东贞^[44]指出风沙期间的大气气溶胶主要来源于自然源并且以局地尘源为主，人为排放的气溶胶作用相对微弱。陈静生^[45]认为沙尘天气的兴衰既与气候波动有关，也与人类的经济活动破坏生态环境平衡有关。

叶笃正先生^[46]在研究我国华北沙尘天气的成因与治理对策时指出影响华北地区的沙尘天气主要发源于内蒙古中西部和河北西北部。毛睿^[47]探讨了春季天气变率对华北沙尘暴频次的影响,认为春季的天气变化越频繁、温差起伏越大,沙尘暴的发生次数就越多。安月改^[48]分析了京津地区近50年浮尘天气气候变化特征,结果表明高原、平原扬沙天气的多发区和易发区;冬、春季节的扬沙天气分别占全年扬沙天气的57%、25%。尤凤春^[49]就河北省的沙尘暴天气成因进行了分析并指出:近年来河北省地区春季降雨持续偏少,气温持续偏高,为沙尘暴的形成提供了有利条件,造成沙尘暴明显偏多的主要原因在于有利的大气环流形势和较强冷空气频繁南下。

河北地处我国沙尘天气多发区西部干旱半干旱地区的下风向,上风向地区对本区沙尘天气究竟有多大影响备受关注。河北沙尘天气的路径主要是东北路径、西北路径和西部路径,其中西部路径和西北路径是影响河北的主要路径^[50]。中亚及外蒙古是影响河北的境外沙尘源地,广阔的西北和内蒙古地区是影响河北的境内沙尘源地,包括八大沙漠、四大沙地、沙化草原及裸露耕地等是沙尘产生的主要源地^[51]。河北各类裸露农田、沙荒地、建筑工地和其他裸地在气旋尾部上升气流的扰动下亦形成了边界层的近距离输送,即本地沙源。区域性沙尘天气的大部分沙源来自当地,小部分沙源来自于境外沙源及上风向的境内外来沙源^[52]。

承德市位于北京的北部偏东,承德市由于良好的气候条件和多年的封育,植被条件与同纬度的张家口,大同等地相比要优越的多,燕山南坡地区的多年降水量在 550-700mm 左右,是华北地区的一个降水中心。种种优越条件使之成为首都北京重要的水源地之一。与此同时,承德市位于首都北京与北部最近的沙地浑善达克沙地中间,是沙地扩张南侵的必经之路,因而成为抵御沙尘危害守卫首都北大门的要塞。

承德市是我国北方地区受风沙灾害危害较为严重的地区之一,建国以来,由于人口压力的持续增大,大量林草地被开垦,特别是在丰宁和围场的坝上区域,土地退化严重,风沙灾害连续出现,加剧了土壤风蚀和草场退化。2000 年以来,灾害性沙尘天气明显增多,造成了较严重的经济损失和社会影响。但目前有关承德市风沙灾害的研究还不多见,有关承德市沙尘天气总体时空分布特征研究仍未开展。本文基于 1960-2009 年承德市 9 个气象站的气象数据和相关社会经济资料,

试图探讨承德市风沙灾害的时空分布特征，揭示风沙灾害空间分布规律和实践演化规律，为科学防治风沙灾害和减少风沙灾害的危害提供参考价值，提高承德市作为首都绿色北大门的战略地位提供决策支持。

2 研究区概况与研究方法

2.1 研究区概况

2.1.1 自然条件

承德市最早以蒙古语命名为“哈伦告鲁”，或“哈伦郭勒”，意译为“热河”，因此承德又名“热河”。承德市位于河北省东北部（图 2.1），位于东经 $115^{\circ}54'$ — $119^{\circ}15'$ ，北纬 $40^{\circ}12'$ — $42^{\circ}37'$ ，地区行政区域面积 39702.4 平方公里。该地占河北省土地面积的 21.15%，与北京市、天津市，辽宁省朝阳市、内蒙古自治区赤峰市毗邻。是国家级历史文化名城。该地地势自西北向东南倾斜，地貌切割破碎，山脉纵横，地形复杂，属于燕山与内蒙古高原过渡带。承德市整个地面景观分三个部分，即南部高山区、中部低山丘陵区 and 北部坝上高原区。承德市属中温带大陆性季风型、半干旱半湿润燕山山地气候，降水充沛，植被资源条件较好，森林覆盖率达 56%。但由于长期生产活动的干扰和干旱的影响，已成为华北地区的重要风沙物源区[53]。

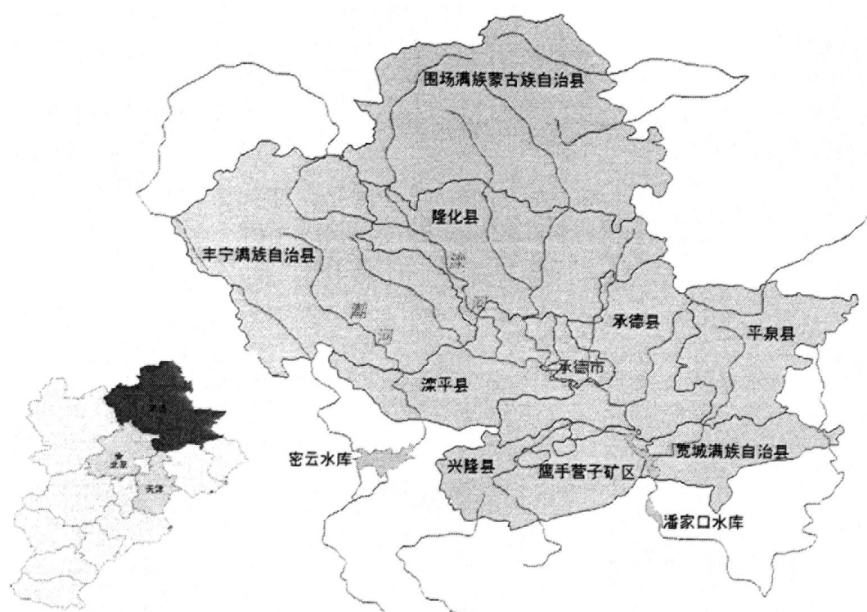


图 2.1 承德市地理位置示意图（引自张赛，2009）

承德市区域内气候条件差异巨大，其中降水由东南向西北递减（如图 2.2），高大的燕山山脉阻挡了夏季从海洋吹向陆地的湿润气流，形成了普遍的地形雨，

雾灵山成为本市乃至华北北部的一大降雨中心，各县市的近 50 年的降水分布如图 2.3、图 2.4 所示。

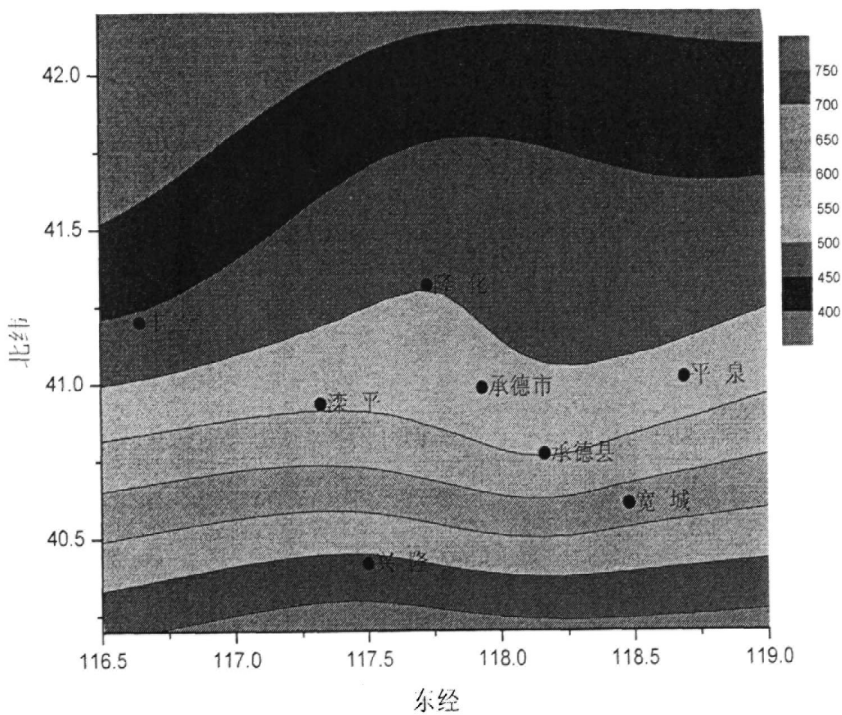


图 2.2 承德市各县区多年平均年降水量等值线示意图 (mm)

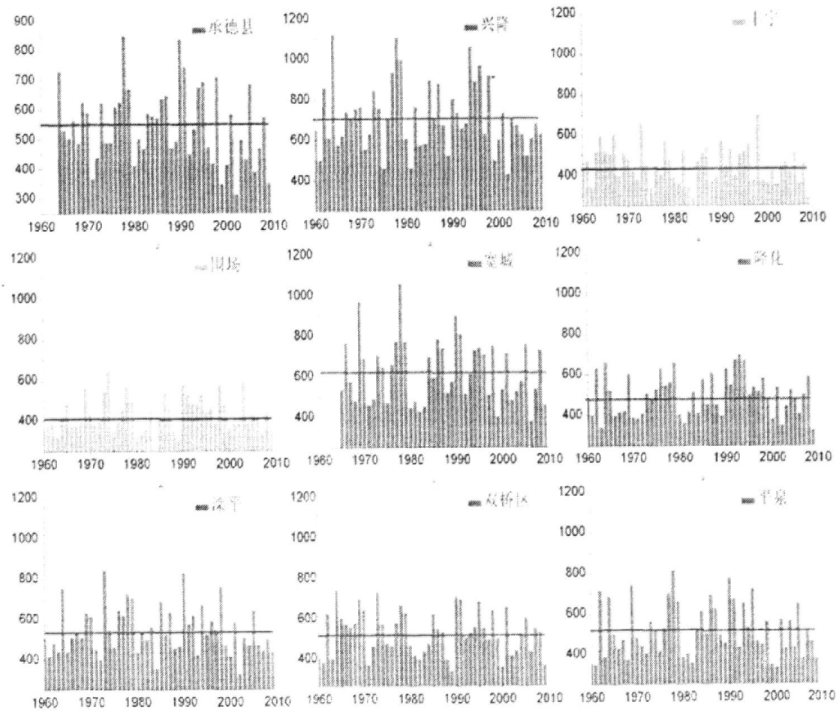


图 2.3 承德市各县区多年平均年降水量

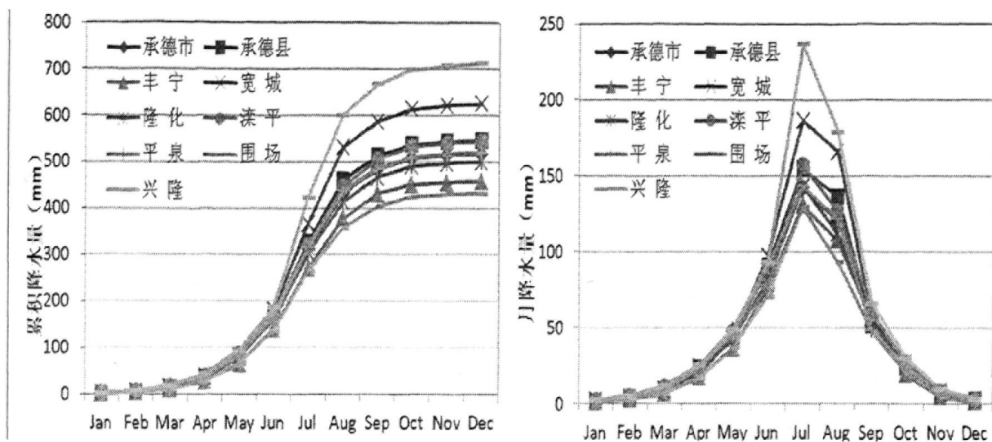


图 2.4 承德市各县区降水量特征

承德境内主要有滦河、潮河、辽河和大凌河四大水系（如图 2.5）。北京密云水库和唐山潘家口水库的主要供水水系是滦河、潮河，这两条河水量丰富，水质较好，是京津地区的重要供水水源。滦河是潘家口、大黑汀水库上游的主要供水源，发源于丰宁县，流经内蒙古多伦县，再经承德的围场、隆化、滦平、双滦、双桥、承德县等地，最后注入潘家口水库。该河干流全长 876.8 公里，总面积 27371.26 平方千米，是潘家口、大黑汀水库控制面积的 77%。潮河流域位于密云水库上游，包括潮河、白河和蓟运河。密云水库的主要河流—潮河，其发源于承德丰宁境内，途径滦平县后汇入北京密云水库。潮河干流在承德境内 190 公里，总面积 6000 多平方公里，是密云水库控制总面积的 40.9%。

承德地下水资源量为 14.1 亿立方米（1980-2000 年），地表水多年平均径流量为 34.1 亿立方米（1956-2000 年序列），扣除重复计算量，该区多年平均水资源量是 35 亿立方米，可开采地下水量为 2.58 亿立方米，水资源人均量为 978 立方米。是河北省人均水资源量最高的地区[54]。2006 年，承德市林地草地面积 276 万公顷，其中林地面积 194 万公顷，草地面积 82 万公顷，是三北防护林和首都周围绿化的重点地区。各个县区的林草地面积比例见表 2.1，一般都在 80%以上，个别的在 95%以上，是全国林草地高覆盖的地区，尤其在半干旱半湿润地区，这一比例更是领先于区域内的很多县市。究其原因，一方面是该地区良好的自然条件，相对丰沛的降水，另一方面是轻微的人为干扰。由于历史上，自清朝立国以来，非常重视承德周边地区的植被保护，严禁采伐，这里的森林覆盖率保持了相

当的水平，尽管清朝覆灭后政策的因素消失，森林开始被采伐，但是降水及产汇流条件，使得承德市拥有较强的水源涵养能力，承德市的森林覆盖率仍然保持在很高的水平。

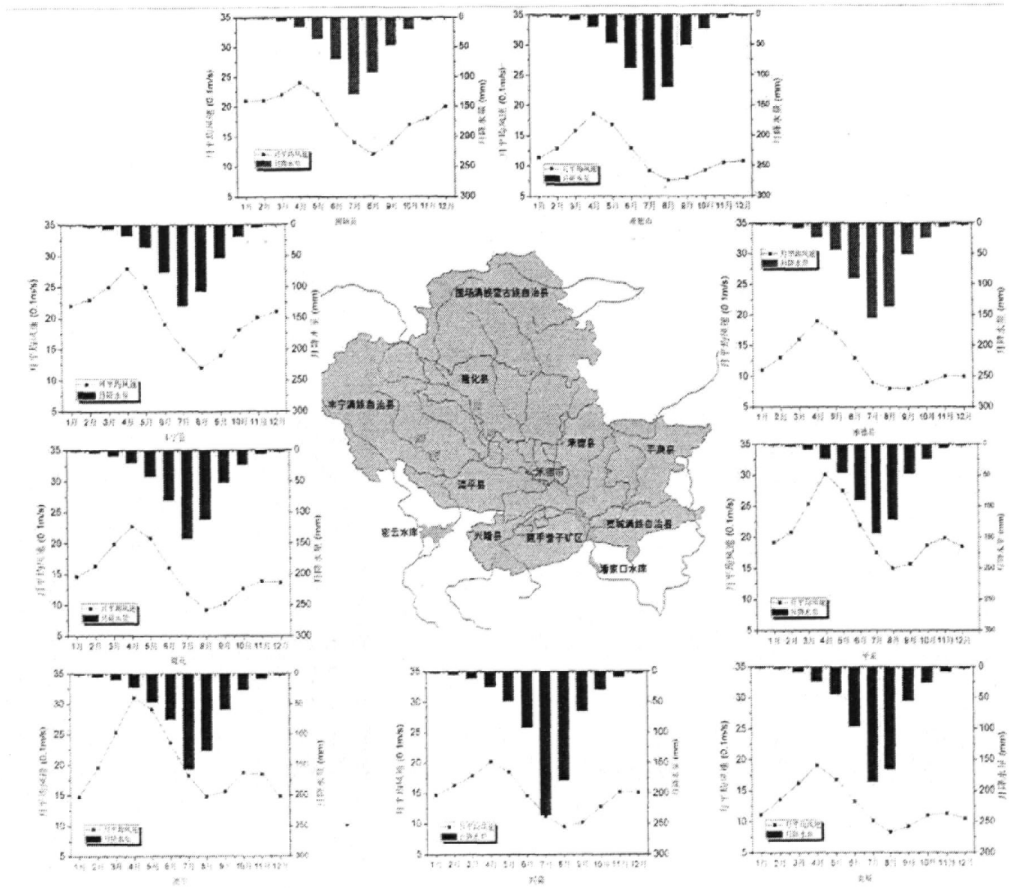


图 2.5 承德市各县区月降水量和月均风速

2.1.2 社会经济状况

本区总面积 3.95 万公顷，总人口 369.38 万人（2008 年），包括承德市 8 县 3 区及省属林场、牧场和自然生态保护区。行政区为双桥区、双滦区、鹰手营子区；8 县分别为丰宁、围场、宽城、隆化、滦平、平泉、兴隆、承德县；省属林、牧场和自然保护区分别为塞罕坝机械林场、御道口牧场、孟滦林管局、雾灵山国家级自然保护区。由于受地理、环境和社会等条件的影响，多年来承德市社会经济一直处于落后状态，社会经济发展水平远远落后于周边的京津地区，同时也落后于河北省其他地区。近年来，该区的经济社会建设取得了较大进展：2009 年地区生产总值 1814.8 亿元，地方财政收入 98 亿元，农民人均纯收入 0.57 万元，城

镇居民人均可支配收入 1.6 万元。与河北省其他地区有一定的差距。承德市区域属典型北方山区，交通不是很便利，以农业为主，工业受地理位置约束基础较弱，自然灾害频发，制约了地方社会经济的发展。到 2010 年，全市仍有 6 个国家级县和一个省级扶贫县，有 365 个村仍未脱贫，全市贫困人口约 64 万人[55]。

表 2.1 承德市县区人口以及自然资源状况

县区	总人口	耕地面积		林地面积		草地面积	
	万人	公顷	百分比	公顷	百分比	公顷	百分比
市区	50.9	——	——	114,211	95.0%	6,638	5.6%
承德县	46.3	30,185	9.9%	218,893	70.1%	62,801	21.1%
丰宁	39.4	65,258	14.3%	289,930	62.6%	108,596	23.1%
宽城	24.2	8,067	5.5%	109,934	70.1%	38,010	24.6%
隆化	42.6	39,404	9.5%	251,335	61.4%	120,020	29.5%
滦平	33.1	15,252	5.4%	132,005	48.5%	124,020	45.5%
平泉	47.3	39,505	18.5%	172,665	81.3%	753	0.5%
兴隆	32.2	7,150	3.1%	189,335	79.9%	40,682	17.3%
围场	53.0	52,000	6.2%	457,777	54.8%	326,000	39.0%

注：人口、耕地面积为 2008 年经济年鉴，林地面积、草地面积为 2006 年农业调查数据

多年来，承德在生态环境建设方面做出了巨大的努力，取得了明显效果。据张骞转引河北省气候中心的承德地区气候环境分析评估报告 [56]，以 2000 年为基点，与 2006 年~2008 年的平均状况比较，承德地区气候环境条件有较为明显的改善。沙尘天气、大风天气、大于 35℃ 的高温日数均呈现减少趋势，夏季平均日最高气温降低 1.5℃，年降水量增加 8.3%。多年的环境治理和建设使得承德区内林草覆盖率明显提高，生态环境改善效果明显，在涵养水源、调节气候、净化环境、建设首都外围绿色生态屏障方面发挥了重要作用。密云水库长期保持 II 类水质，自 2003 年以来蓄水量也在持续增加。

2.1.3 沙尘灾害概况

承德毗邻京津，既是京津地区的水源主要供应地，又是阻挡北部风沙侵入京津的关口，加强这里的生态环境建设显得格外重要。特别是草场退化比较严重的

坝上地区，以丰宁县为例，频繁发生的沙尘暴、扬沙等灾害性天气带来了巨大的经济损失和生态损失。2000 年，整个中国北方受到了强沙尘天气的袭击，承德市沙化土地面积达到 1129 万亩，占总面积的 19%。以风沙灾害最为严重的丰宁县为例（如图 2.6），平均每年约有 1 次沙尘暴天气发生，进入新世纪的前三年，沙尘暴平静了约 10 年后重新展现威力，平均每年近 4 次强沙尘天气过程以及为数更多的浮尘扬沙天气。距北京仅有 170 公里的丰宁小坝子乡曾出现了荒山、农田连片沙化，部分农房被沙漠掩埋的现象，而且沙源不断向南部扩展，对北京天津城市带构成了严重威胁。

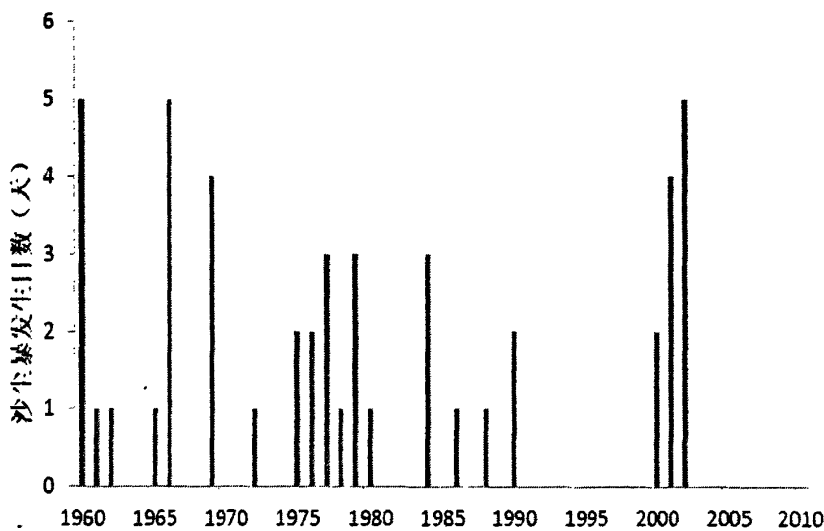


图 2.6 丰宁县 1960-2009 年沙尘暴年发生日数

2.2 研究方法与技术路线

2.2.1 研究方法

（1）理论与实证研究相结合。本研究运用自然地理学、气象学、气候学和可持续发展等理论，以大量观测数据为依据，立足承德市风沙灾害的现状，进行了大量文献检索和数据分析，力求研究成果的理论指导性和现实可行性。结合台站气象数据，分析承德市风沙灾害年内、年际分布特征和空间分布规律，从而探讨治理土地沙化和防治沙尘灾害性天气的解决办法。具体研究方法如下：

（1）应用地理学统计方法，分析承德市风沙灾害年内、年际分布特征，揭示风沙灾害空间分布规律。

（2）自然科学与社会科学相结合。在分析造成土地沙质荒漠化自然因素基础上，从人文及社会经济科学角度，深入分析造成风沙灾害的社会、经济、政策

及制度等方面因素，并从经济学角度，提出政府在土地沙质荒漠化防治中应发挥的作用。

2.2.2 技术路线

在研究区气象资料、土地利用现状数据收集和统计整理的基础上，通过相关的统计分析，研究承德市各县区沙尘灾害发生的区域差异性和时间变化特征，讨论该区沙尘防治的基本途径。

2.2.2.1 气象站点与相关资料收集

本研究选取承德市、承德县、丰宁、围场、滦平、宽城、平泉、遵化、兴隆 9 个气象台站。每个气象台站选取 1960-2009 年的气象资料，包括：各月风沙灾害（沙尘暴、扬沙、浮尘）发生日、风速、降水量。同时通过经济年鉴和统计报表提取了社会经济数据资料。

2.2.2.2 沙尘天气气象资料分析

（1）分析承德市沙尘灾害的时间分布特点，包括年际的变化规律和季节的变化特点并探讨这种变化可能的原因。

（2）分析承德市沙尘天气的空间分布特征并分析造成空间变化的影响因素。

（3）分地形区分析各区域沙尘天气发生的特征。

（4）探讨年降水量和沙尘天气发生日数之间的相关关系。

整个论文的技术路线如下图所示：

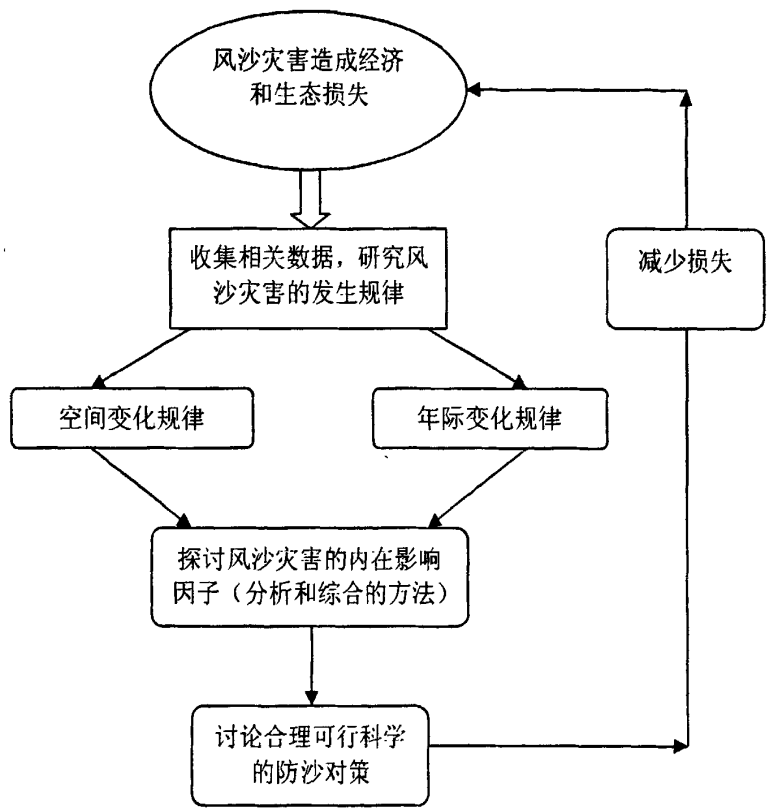


图 2.7 论文研究的技术路线图

3 结果与分析

3.1 承德沙尘灾害发生的空间特征

尽管承德市在周边地区中属于高植被覆盖区,但是由于沙尘天气是一个区域性的天气过程,承德市又处于浑善达克沙地南下的必经之路,因此每年都有沙尘灾害的发生。

3.1.1 扬沙、浮尘、沙尘暴发生的空间特征及其原因分析

尽管沙尘灾害在承德市各县都有发生,但是区域内沙尘灾害发生的空间差异十分明显,表 3.1 反映了承德市各县区多年来的沙尘灾害情况以及多年的平均降水量。扬沙天气的发生日数以丰宁县最多,多年年平均达到 3.85 次;其次为滦平县,多年年平均为 2.45 天,每年发生次数在 1 次以下的县区为承德县、宽城县和兴隆县,其中兴隆县发生次数最少,多年平均仅为 0.35 次/年。浮尘天气的发生日数以丰宁县最多,多年平均达到 2.25 次/年;其次为承德县,多年平均为 1.5 天/年,每年发生次数在 1 次以下的县区为平泉县、宽城县、隆化县和兴隆县,其中兴隆县发生次数最少,多年平均仅为 0.15 次/年。沙尘暴天气的发生日数整体比较少,1960-2010 年的资料显示,沙尘暴年均发生日数依然以地处区域最西北端的丰宁县为最多,多年平均达到 0.65 次/年;其次为承德县和滦平县,多年平均为 0.25 天/年,其中兴隆县和宽城县沙尘暴发生次数多年平均 0 次/年,本世纪初期连续几年发生的强沙尘天气过程也未曾给兴隆县和宽城县带来沙尘暴天气,这可能与当地林地面积比较大、处在燕山南麓,为西北风的下风向和显著的地形起伏有关。

表 3.1 承德市各县区多年沙尘灾害

县 区	扬沙日数	浮尘日数	沙尘暴日数	多年平均降水量 (mm)	多年平均风速 (0.1m/s)
承德市	1.65	1.35	0.3	516	12
承德县	0.75	1.5	0.25	546	12
丰 宁	3.85	2.25	0.65	457	20
宽 城	0.9	0.8	0	624	13
隆 化	1.5	0.25	0.15	499	15
滦 平	2.45	1.35	0.25	544	20
平 泉	1.15	0.75	0.2	519	21
围 场	2.4	1.05	0.15	431	19
兴 隆	0.35	0.15	0	711	15

另外，通过分析各个县区沙尘天气和多年平均降水量以及平均风速之间的关系，可以看到沙尘天气与降水量之间存在比较明显的相关（如图 3.1 ），其中多年平均降水量与多年扬沙天气日数的相关性最强，呈现幂函数相关，相关系数可达 0.73，其次为沙尘暴发生日数与降雨量之间的相关，相关系数为 0.62，而浮尘天气与年均降水量之间的相关最差，仅为 0.33。初步分析认为，年均降水量多的地区，地表植被比较好，形成沙尘灾害的当地沙源收到明显的遏制，导致在降水量比较丰沛的地区沙尘暴、扬沙和浮尘的发生频率比较少。对于相关系数的差异，可能与贡献沙源的组成有关，沙尘暴、扬沙等比较强烈的沙尘天气因为当地沙源的贡献比较少，地表植被的固沙作用起到了很好的作用，

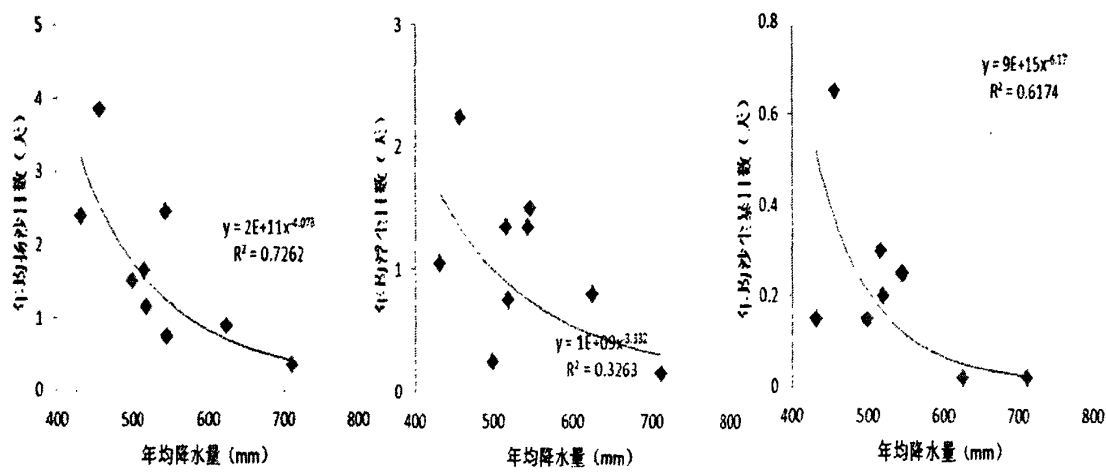


图 3.1 沙尘天气与当地降水量之间的关系

由图 3.2 可以看出，承德市的沙尘天气、浮尘天气以及沙尘暴天气的年发生日数由西北到东南方向递减，这可能是与沙尘灾害发生的时期主要集中于春季，这时候蒙古高压尚未消退，整个中国北方盛行北风，加之西北坝上地区的植被条件相对较差，降水条件也较差，各种因素共同导致了承德市的沙尘灾害呈现出由西北到东南递减的总体趋势。

同时我们还可以看到，三种沙尘灾害天气除了整体上呈现由西北到东南递减趋势外，均有一个突出的舌形等值线。这条等值线基本上沿着“丰宁——滦平——承德县”的方向向东南方延伸。其中浮尘天气的延伸梯度最大，沙尘暴天气次之，扬沙天气的延伸梯度最小。笔者认为这可能与下垫面地形条件有关。因为“丰宁——滦平——承德县”一线正好是滦河河谷的基本走向，二者近乎重合。事实上，滦河河谷确实为沙尘天气得以发生和发展提供了很好的条件。主要有以下几个方面的理由：第一，滦河的河谷走向是西北东南走向，恰好与春季时的盛行风向一

致，有利于大风在河谷内穿越，峡谷的管道效应促进了风力的增强，提高其向下游输沙的能力。第二，滦河河谷西北高东南低，这样的地形非常适合风场的维持和发展，为风沙的远距离输送提供了非常好的条件。第三，发生沙尘灾害的春季，河谷内的河道基本是干涸的，河道中的植被由于水位的消落也低于周边，这样大量的松散物质就暴露在强风之下。这样的研究结果与肖嗣荣 2000 研究河北省沙尘天气时得到的结论相似（图 3.3）^[57]：洋河、潮河、白河等河流的河谷成为风沙灾害快速推进的重要通道。

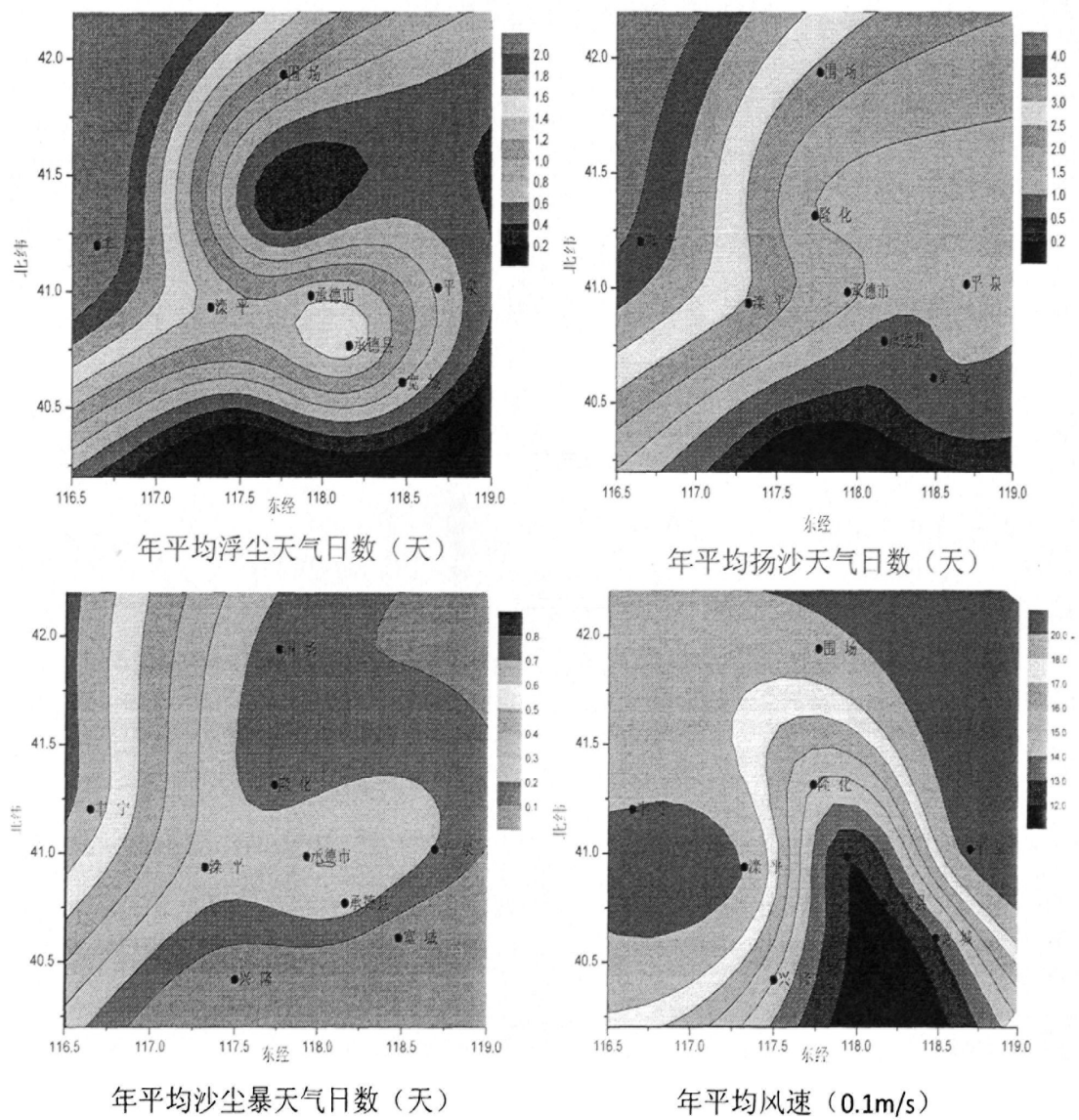


图 3.2 承德市沙尘天气空间分布图

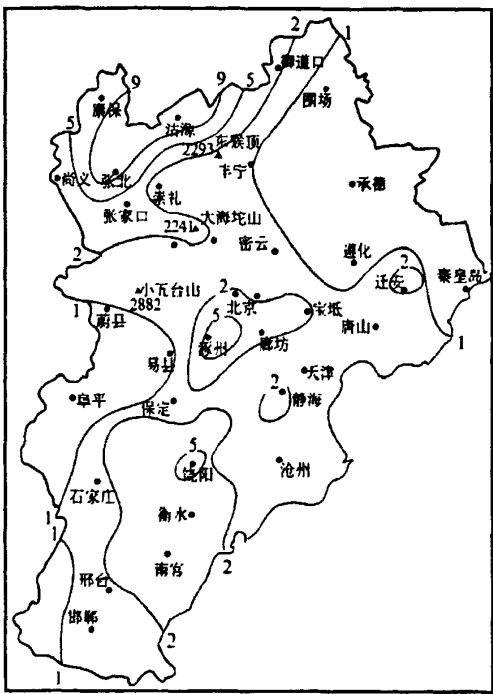


图 3.3 1960-1999 年年平均沙尘暴日数分布图（肖嗣荣，2000）

3.1.2 近 50 年月平均风速变化的空间特征分析

近 50 年来，受到全球气候变化的影响，承德市各个观测站的年均风速以及各个月份的平均风速有不同承德的减少。对承德市 9 个监测站的数据进行分析发现：风速变化的整体趋势趋于一致，均为减小趋势，但是县区间的差异和各个月份之间的减少幅度变异很大。具体分析结果如下

就承德市各个监测站整体而言（如图 3.4-a），自 1960 年以来，各个监测站的年均风速经历一个剧烈震荡过程中的小幅上升，持续了约 10 年左右；自 1970 年以后，承德市各县区的年均风速持续下降，一致经历了大约 20 年的持续下降后，在 1990 年前后，平均风速的减小趋势放缓并出现了一定的波动，在这一过程中，地区间的风速差距也趋于不断扩大，各个站点间年平均风速的极差在不断增加，县区之间的变化程度有所不同。

就承德市各个监测站个体而言（如图 3.4-b）1985 年以前，风速最高的三个站分别是平泉（23 次最高）、滦平（14 次最高）、丰宁（12 次最高），围场也曾有两次处于 9 个观测站年均风速之首（表 3.2）。1994 年以前，观测站年均风速之首平泉，个别年份是滦平，而 1994 年以后，丰宁转而开始成为风速最高的测站，并占据了大部分年份（大于 90%）。除承德市的年平均风速在 2000 年以后有上升，承德县在 2008 年以后有较大幅度的升高以外，其他测站均表现出在 1970

年以前振荡上升, 后逐渐下降的特点。其中围场和丰宁的降低幅度较小, 承德县、滦平、宽城、隆化、平泉五站的 50 年的年均风速极差比较大, 在 1.5m/s 左右; 围场和丰宁测站的多年年均风速极差比较小, 约为 0.7m/s 左右。

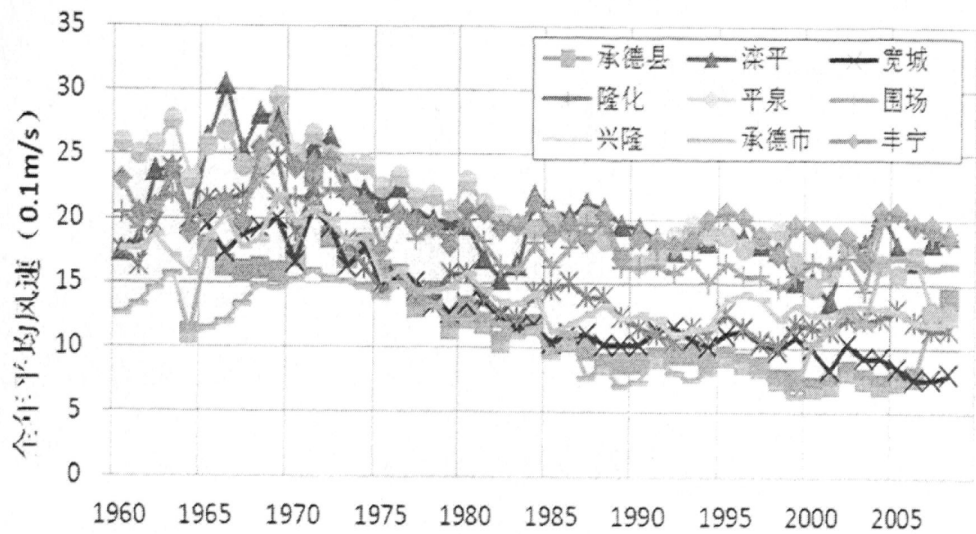


图 3.4-a 承德市各县区多年年平均风速变化

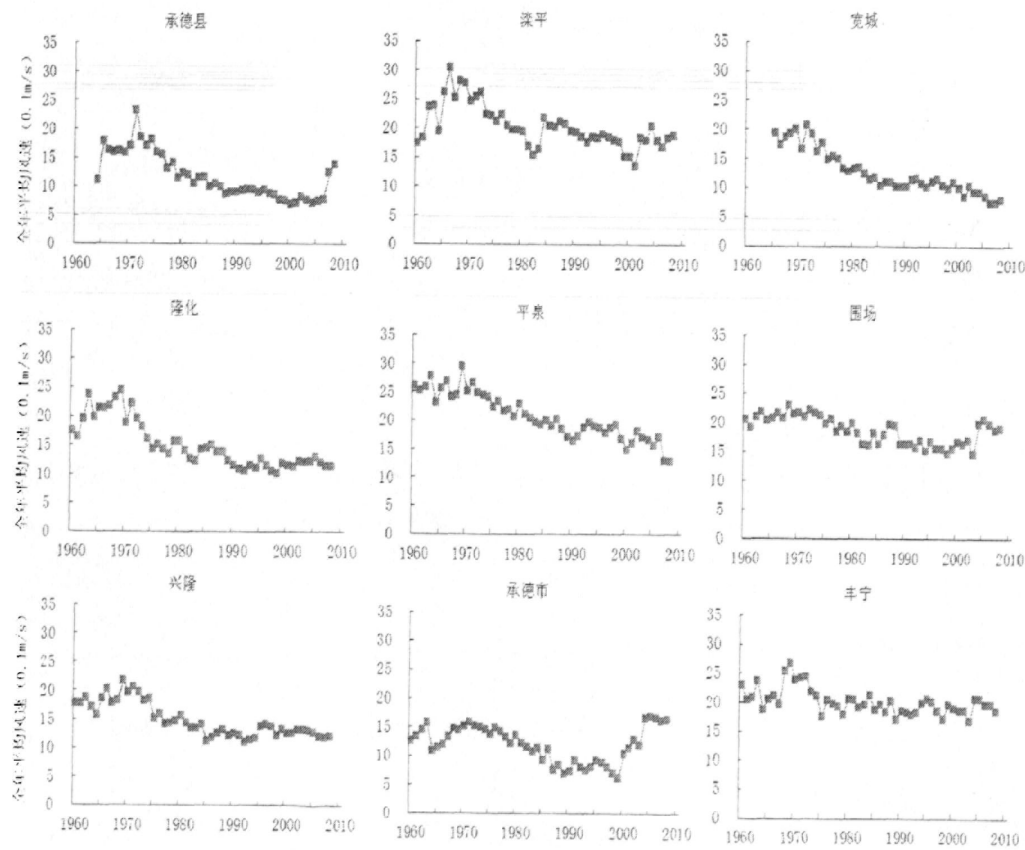


图 3.4-b 近 50 年来承德各县区平均风速变化

表 3.2 反映出承德市各县区平均风速的大小的次序情况。平泉为近 50 年来平均风速最大的县区，53 年的气象资料中，平泉有 23 年位居首位，其次分别是滦平、丰宁，各有 14、12 年位居首位。承德市为近 50 年来平均风速最小的县区，53 年的气象资料中，承德市有 28 年位居末位，其次分别是承德县和宽城，各有 18、10 年位居末位。

表 3.2 各县区位于平均风速居首位和末位的年份数

年份	承德县	滦平	宽城	隆化	平泉	围场	兴隆	承德市	丰宁
风速居首位年份数	0	14	0	0	23	2	0	0	12
风速居末位年份数	18	0	10	0	0	0	0	28	0

3.2 承德市风沙灾害的时间演变特征及成因分析

3.2.1 沙尘灾害的年际变化特征分析

通过统计分析发现（表 3.3），承德市各县区 1960 年以来沙尘灾害性天气几乎每年都有发生，六十年代至七十年代全市各县区浮尘天气发生次数最多，其中丰宁县 1970—1979 年出现浮尘天气日数为 67 次。八十年代以来全市扬沙天气发生次数较多，丰宁县 1980—1989 年累计扬沙次数为 54 次。而全市沙尘暴天气以六、七十年代发生次数较多，八、九十年代相对较少，而近 10 年沙尘暴出现次有所增多。图 3.5 为近 20 年来承德市各县区三种沙尘灾害的逐年比较图，从图中可以看出，就承德市 9 个测站群体特征而言，自 1990 年以来的二十年，沙尘天气大致经历了三个高发期和两个平静期。1997-1999 年、2003-2004 年为沙尘灾害的平静期；1990-1996 年、2000-2002 年、2005-2010 年为沙尘天气的高发时段，特别是 2000-2002 年这一时段是近 20 年以来沙尘灾害最为集中和强烈的时期（见表 3.4），从沙尘暴发生的空间规模和次数规模来讲就远远高于其他时段，除兴隆和宽城以外，几乎所有测站都发生了沙尘暴灾害性天气，浮尘和扬沙天气更是在所有的测站都有发生。

从图 3.6、3.7、3.8 可以更加明显的看到：丰宁、围场、承德市、滦平是沙尘天气发生的主要区域。研究时段内，丰宁测站三种灾害性天气的发生次数分别为扬沙 23 天，浮尘 25 天，沙尘暴 11 天；围场测站三种灾害性天气的发生天数分别为扬沙 17 天，浮尘 10 天，沙尘暴 3 天；市区测站三种灾害性天气的发生天数分别为扬沙 16 天，浮尘 16 天，沙尘暴 6 天；滦平测站三种灾害性天气的发生天数分别为扬沙 16 天，浮尘 4 天，沙尘暴 2 天；兴隆测站和宽城测站虽能免于沙尘暴的危害，但是扬沙天数仍分别达到了 8 天和 3 天，浮尘天气也分别达到了

7天和1天。

2000-2002 年这一时段是承德市近 20 年以来沙尘灾害最为集中和强烈的时期，从沙尘暴发生的空间规模和次数规模来讲就远远高于其他时段。究其原因，一是与大尺度气候背景有关，诸多学者研究指出 60 年代特大沙尘暴在我国发生过 8 次，70 年代发生过 13 次，80 年代发生过 14 次，而 90 年代至今已发生过 20 多次，并且波及的范围愈来愈广，造成的损失愈来愈重。二是 1999 年以来华北北部平均气温高于往年平均值，而降水量却低于历史平均值，与连年干旱密切相关。

2005-2010 年间，承德市扬沙和浮尘天气进入了一个新的高发时期，但沙尘暴却一次也没有发生，究其原因：2000 年以来，国家在本地区实行严格的退耕还林还草工程，大量的农田改变为草地和林地，耕地面积从 34 万公顷锐减至 27 万公顷，至 2009 年，耕地面积已经不足 26 万公顷，大范围的改变了地表的植被状态，因本地沙源是沙尘暴最主要的构成部分，变农田为草地和林地后，有效的降低了本地沙源对风沙流的补给。

表 3.3 承德市各县区逐年代沙尘灾害日数（单位：天）

年代	沙尘类型	承德市区	承德县	丰宁	宽城	隆化	平泉	围场	兴隆	滦平	合计
60 年代	浮尘	24	14	51	13	13	13	5	48	34	215
	扬沙	18	14	43	2	11	1	38	23	14	164
	沙尘暴	2	4	17	0	12	6	1	0	0	42
70 年代	浮尘	37	12	67	35	25	21	20	39	13	269
	扬沙	26	12	85	1	15	9	28	18	3	197
	沙尘暴	4	5	12	3	6	2	3	0	0	35
80 年代	浮尘	11	4	19	10	19	11	6	17	19	116
	扬沙	17	4	54	8	8	29	22	16	4	162
	沙尘暴	0	4	6	0	4	0	0	0	8	22
90 年代	浮尘	8	11	21	12	6	13	7	7	4	89
	扬沙	7	7	38	11	3	20	10	18	3	117
	沙尘暴	0	0	2	0	1	0	0	0	3	6
近 10 年	浮尘	22	17	28	8	3	13	6	13	2	112
	扬沙	24	3	45	11	23	30	15	27	4	182
	沙尘暴	6	5	11	0	2	4	3	0	2	33

表 3.4 承德市各县区 2000-2003 年沙尘天气

		承德市	围场	滦平	隆化	宽城	丰宁	承德县	兴隆	平泉
扬沙	2000	4	4	5	2	2	3	2	2	2
	2001	4	5	6	2	2	10	4	1	8
	2002	4	8	5	9	4	10	1	0	1
	小计	12	17	16	13	8	23	7	3	11
浮尘	2000	3	2	2	1	1	9	2	0	1
	2001	6	3	1	0	3	5	3	0	2
	2002	7	5	1	1	3	11	8	1	2
	小计	16	10	4	2	7	25	13	1	5
沙尘暴	2000	0	0	1	0	0	2	0	0	0
	2001	1	1	0	1	0	4	2	0	0
	2002	5	2	1	1	0	5	3	0	4
	小计	6	3	2	2	0	11	5	0	4
合计		34	30	22	17	15	59	25	4	20

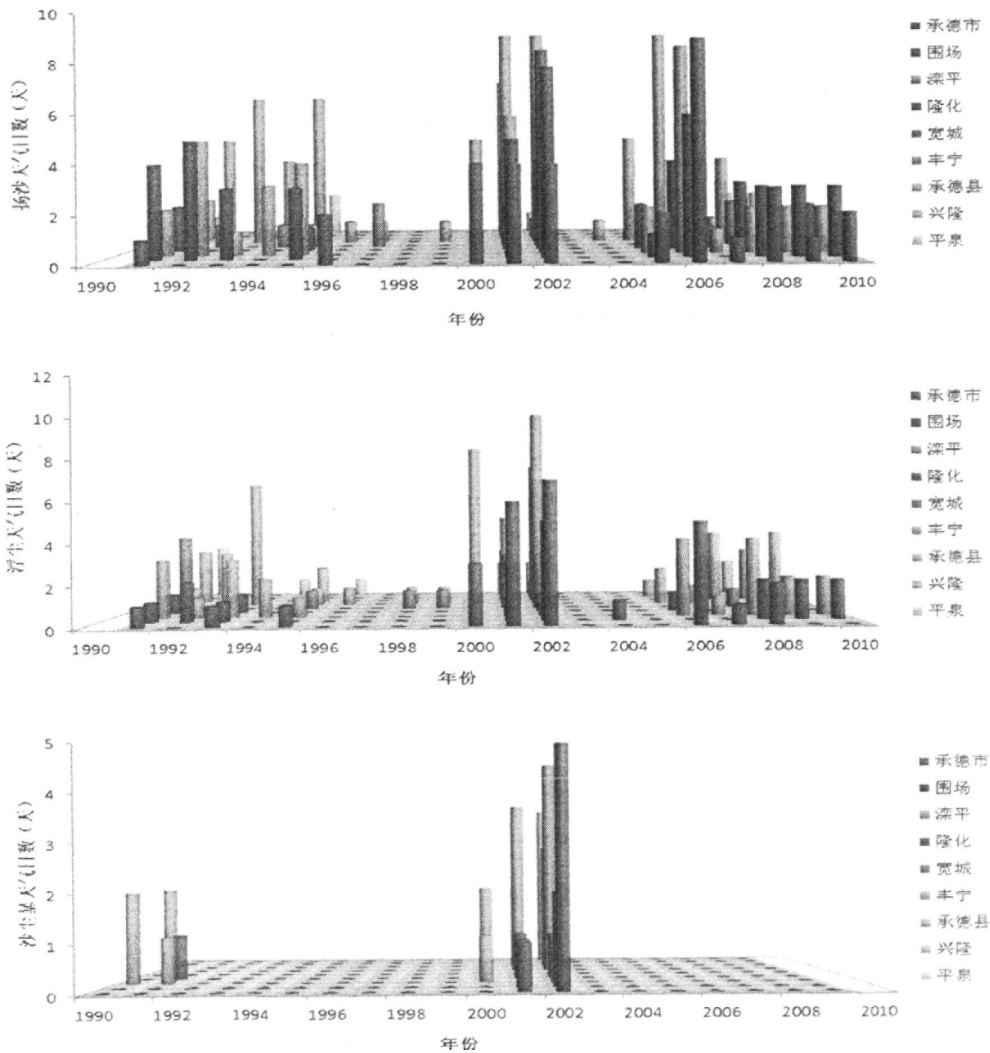


图 3.5 1990-2010 年承德市各县区沙尘灾害发生次数

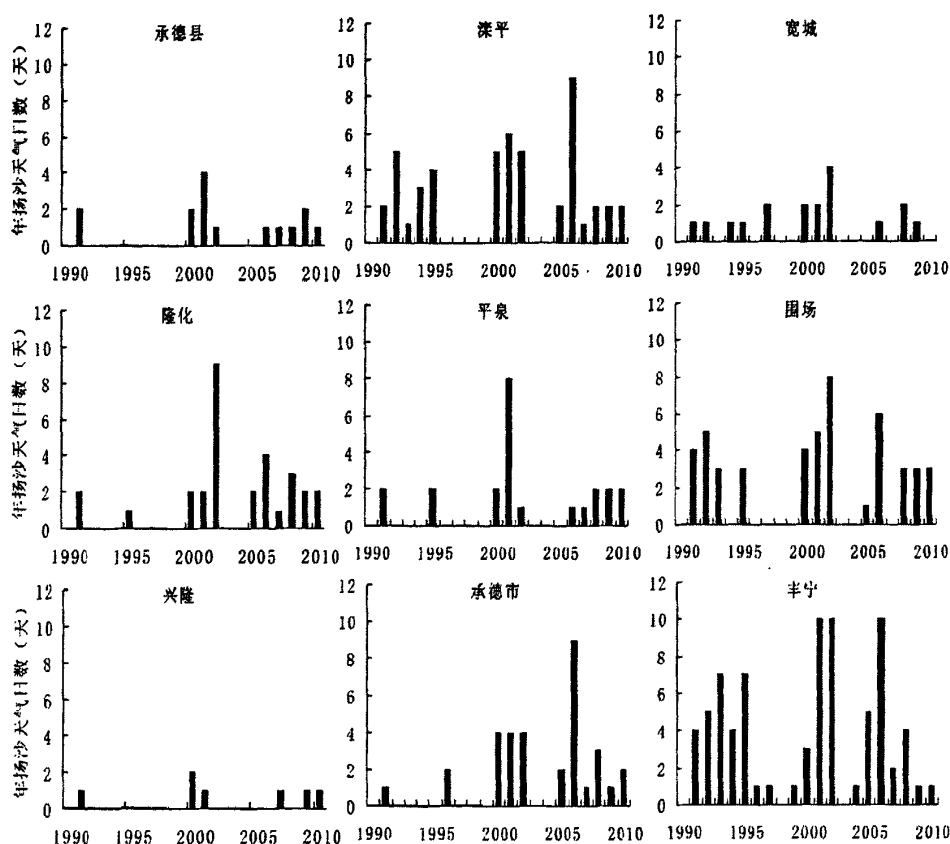


图 3.6 近 20 年来承德各县区年扬沙天气日数变化

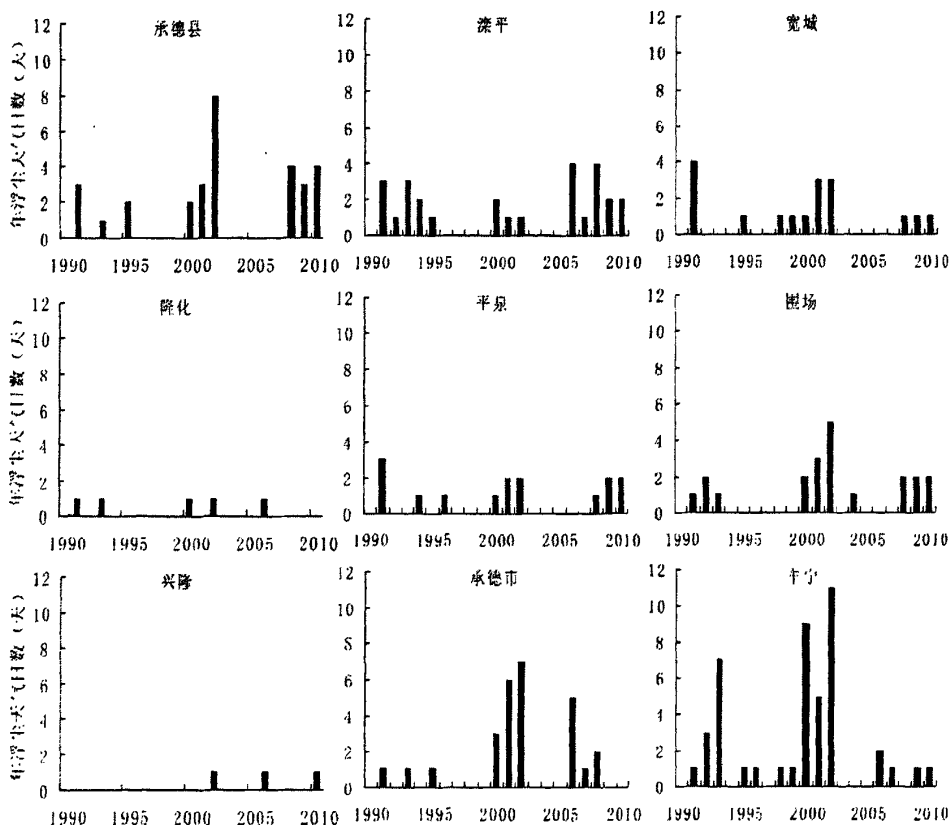


图 3.7 近 20 年来承德各县区年浮尘天气日数变化

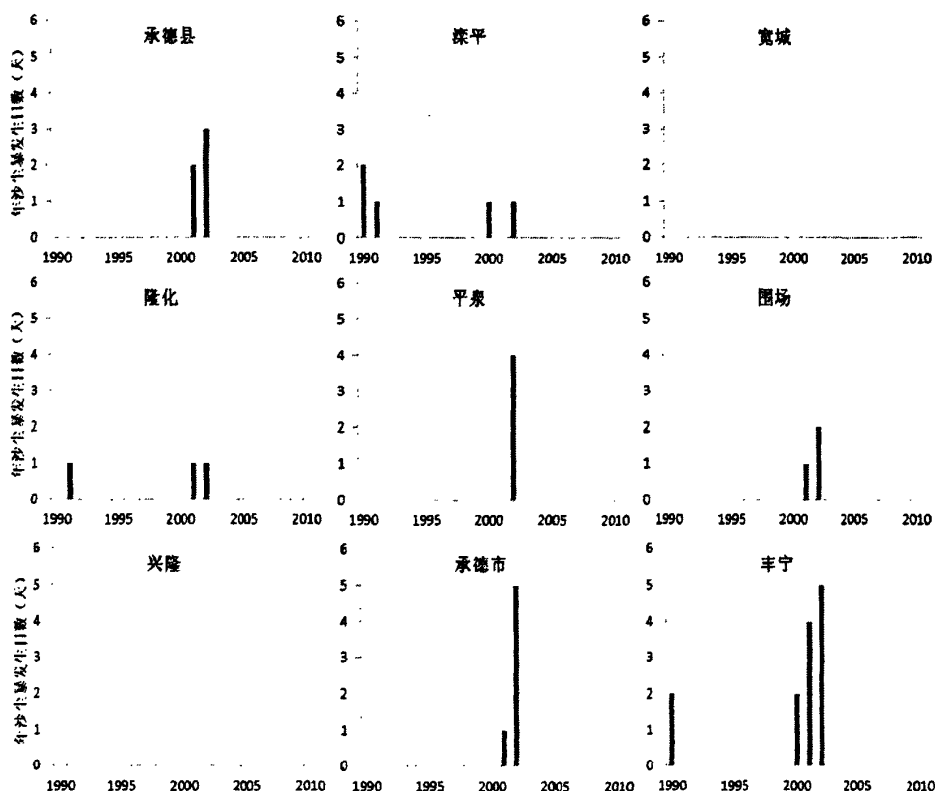


图 3.8 近 20 年来承德各县区年沙尘暴天气日数变化

3.2.2 沙尘灾害的季节变化特征分析

从季节尺度上看，沙尘天气的发生呈现出“双峰一谷”型的变化曲线（如图 3.9、图 3.10），每年以春季沙尘天气发生的频次最多，冬季有一个沙尘天气的次高峰，其中沙尘天气发生频次最多月出现在 4 月。具体的，沙尘暴天气的主要发生峰值出现在 3、4、5 三个月份，1 月也是滦平、丰宁测站的沙尘暴发生时段（主要受 2000-2003 年沙尘暴的影响，其余年份罕有 1 月份发生沙尘暴天气）；浮尘和扬沙天气的主要发生峰值时段也为 3、4、5 月份，并以 4 月份为最高，发生次数的次高峰位于 11 月，但发生次数规模和范围相对春季时段而言显著降低。造成上述特征的原因分析如下：

一方面受到大气环流的影响，3、4、5 月份正是我国北方气温逐渐转暖的季节，日照时间不断增加，该时期气温波动比较大，空气湍流活动剧烈，大气层结不稳定，容易形成持续的强风场。从更大的尺度上讲，春季是海陆气压场大调整的时期，从蒙古高压中心分离出来的冷空气气团常常会带来大风降温天气过程，也是导致发生沙尘天气的重要因素之一。

另一方面，春季是北方气温、低温逐渐升高的时期，这一时段的蒸发旺盛，降水又很少，地表植被覆盖度最低且土壤干燥，遇到不稳定的空气流动，失去植

被保护的表层土壤在不稳定的空气流动中抵御风沙能力十分有限，特别容易起沙形成沙尘天气。

此外，人类活动对于这一时期的沙尘天气也有很大的贡献。在农牧交错带地区，农业生产以犁播等传统耕作措施为主，4、5月份正好是春播的季节，又处于大风频发时期，二者的耦合加剧了农田土壤的风蚀，大片无植被的农田变成了稳定的风沙补给源地，有力的促进了沙尘天气的发生。春季也是各种建筑工程开始施工的时期，地面开挖形成了许多裸露的沙土地，形成了又一重要的沙尘源。

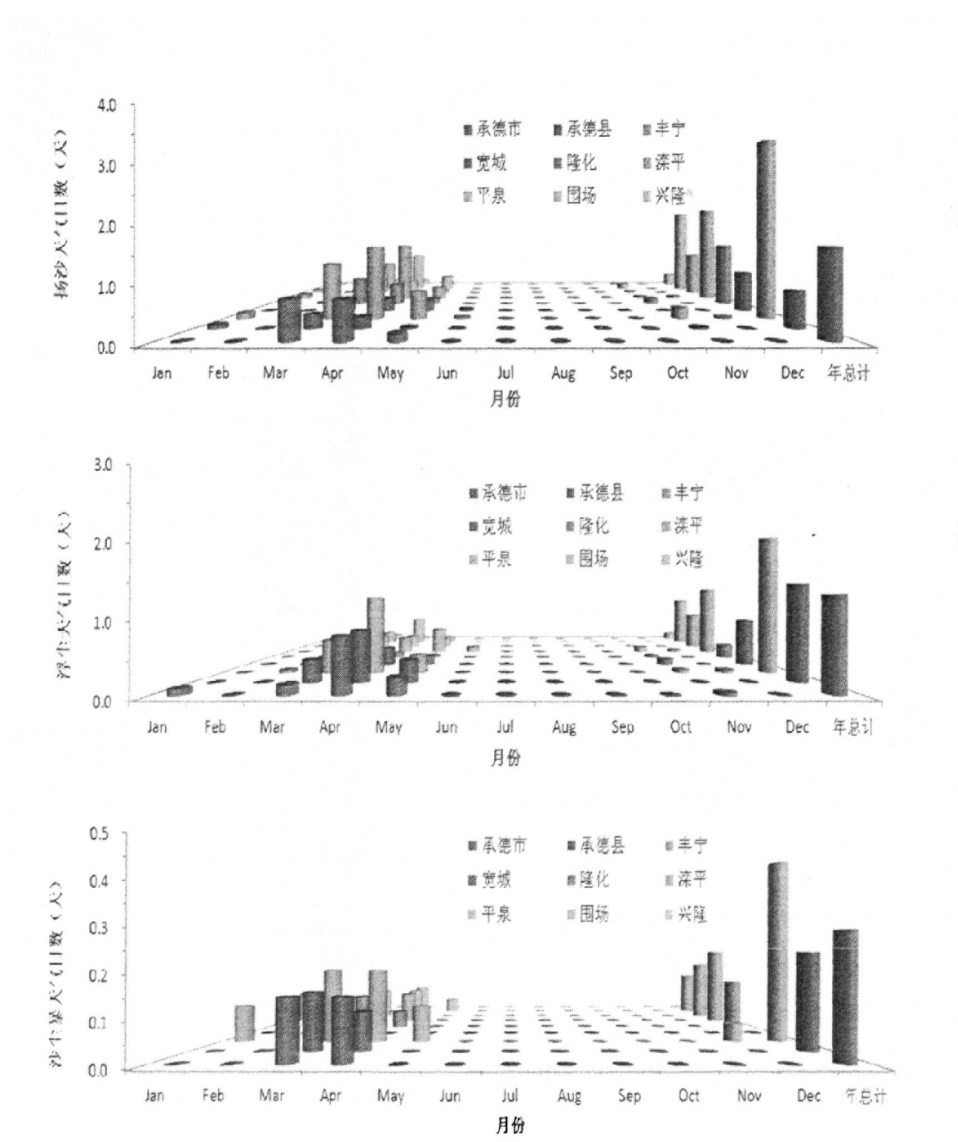


图 3.9 承德市各县区各月份沙尘天气出现次数

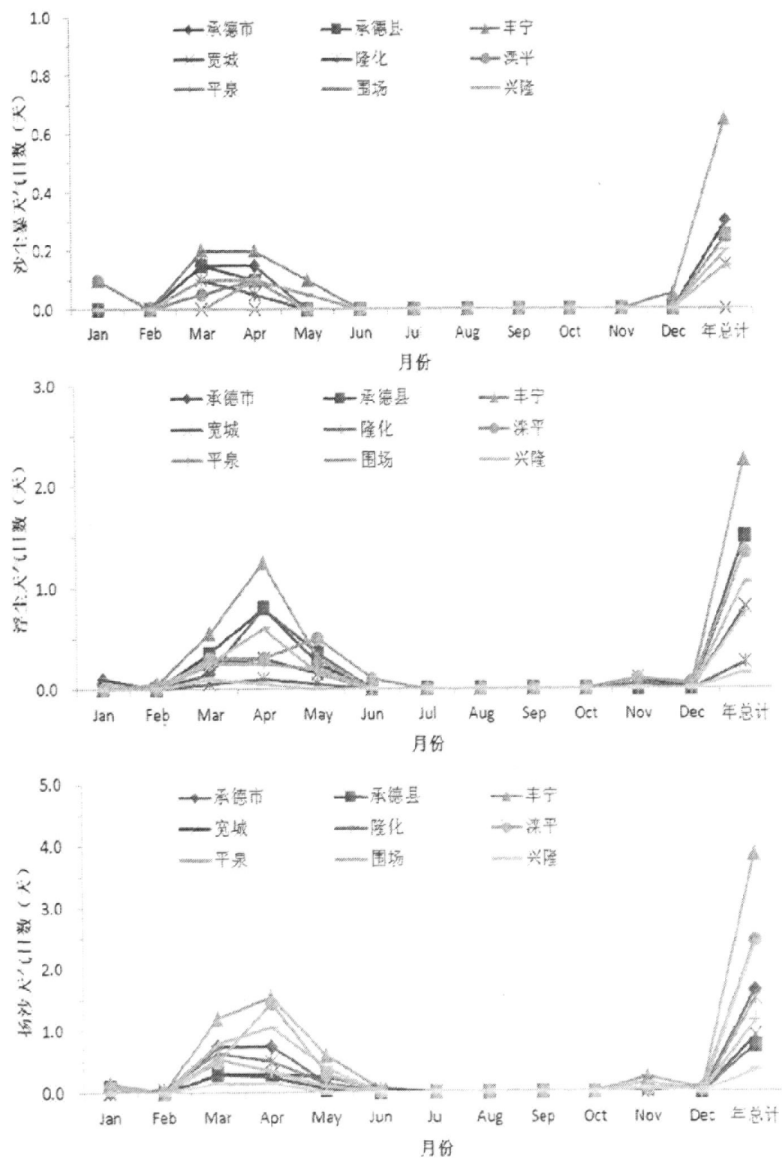


图 3.10 承德市各县区沙尘天气发生的年内特征

3.3 沙尘天气成因综合分析

沙尘天气是一种风与沙相互作用的天气现象,给人类的生产生活带来了巨大的影响,破坏生态脆弱区的生态环境。究其原因,主要有两个方面的因素:一方面,它的形成是一个自然的过程,与地区气候大背景密切相关,同时还与近年来的气候变化等因素有着不可分割的关系。另一方面,不合理人类活动加剧了沙尘灾害发生的频度和广度。人口膨胀导致的过度开发自然资源、过量砍伐森林、过度开垦土地是沙尘暴频发的主要原因。

沙尘天气特别是沙尘暴作为一种高强度的风沙灾害,并不是在所有有风的地方都能发生,只有那些气候干旱、植被稀疏的地区,才有可能发生沙尘暴。其形成一是要在近地面形成强风;二是在对流层低层不稳定,存在强对流;三是有丰富的地面沙尘物质。承德市沙尘天气的发生发展受到各方面因素的制约。

3.3.1 下垫面物理特性

近 50 年来,我国沙化土地面积有加速扩展的趋势。全国土地沙化面积扩展的速度已从七十年代的 1500 多平方公里,增加到八十年代的 2000 多平方公里和九十年代的 2400 多平方公里。二十世纪七十年代以来,在西藏自治区的塔里木河下游、内蒙古自治区的阿拉善、青海省的柴达木盆地东南地区,沙化土地面积年均扩大速度达 3%以上。乌兰察布的后山地区、农牧交错地带的毛乌素沙地、河北的北部坝上地区,沙化面积年均扩展速度达 8%以上^[57, 58]。中国风沙灾害加剧与在气候趋于暖干化的大气候背景有关,特别是河北坝上地区的风沙灾害可能与近几十年华北地区的暖干化趋势有直接的关系^[59]。戈壁、沙漠和荒漠化土地本身就是沙尘暴发生和发展的物质来源;加上草场过载和开垦更加加剧了沙尘的危害。经研究,地表植被覆盖状况是影响土壤侵蚀的主要因素之一,对于冰雪、水域和植被覆盖度高的地区,很少会发生土壤的风力侵蚀。如果地表裸露,则会使得暴露的土壤遭受风的侵蚀。尤其在空气干燥、多风少雨的冬春季时期,由于冬春季农田的大面积翻耕造成表层土壤的疏松,形成了重要沙源;同时,该季节正是居民修造房屋和矿山开工的时节,居民点的建筑沙石以及开挖的坑面,形成了丰富的地表沙源,成为沙尘暴灾害得以加剧的重要物质基础。

坝上高原是承德市主要的沙尘暴发生区,也是入侵京津的风沙的重要沙源补给区。该地区成土母质以玄武岩为主,土壤质地多为沙壤或沙土质地表。山地坡陡,谷深,山体岩石为花岗岩、石英沙岩、片麻岩、石灰岩等。其中一些地区山体岩石风化严重,植被覆盖度低,水土流失严重。尤其在空气干燥少雨的冬春季,对于处于坝上地区的丰宁来讲,冬春季节由于农田休耕,地表裸露,翻耕后的农田表层土壤疏松,成为重要补给沙源;同时,冬春季节时草地枯黄,枯草容

易随风飘扬，保护地表土壤的功能极为有限，成为第二项补给沙源。2000 年以后，国家在本地区实行严格的退耕还林还草工程，大量的农田改变为草地和林地，耕地面积从 34 万公顷锐减至 27 万公顷，以后每年随着退耕还林还草工程的深入开展，至 2009 年，耕地面积已经减少至不足 26 万公顷（如图 3.11），大范围的改变了地表的植被状态，在很大程度上抑制了沙尘灾害的发生，从图 3.5 可以看到，2000-2002 年期间，各监测站的三种沙尘天气均出现了显著的高值，该时段的沙尘灾害的强度可见一斑。但是我们看到，2005-2010 年间，扬沙和浮尘天气进入了一个新的高发时期，特别是扬沙天气日数规模与 2000-2002 年时段的相当，但沙尘暴却一次也没有发生，这可能与 2000 年以后的地表植被条件改善有关。沙尘暴的沙源构成中，本地沙源是其最主要的构成部分，变农田为草地和林地后，有效的降低了本地沙源对风沙流的补给。

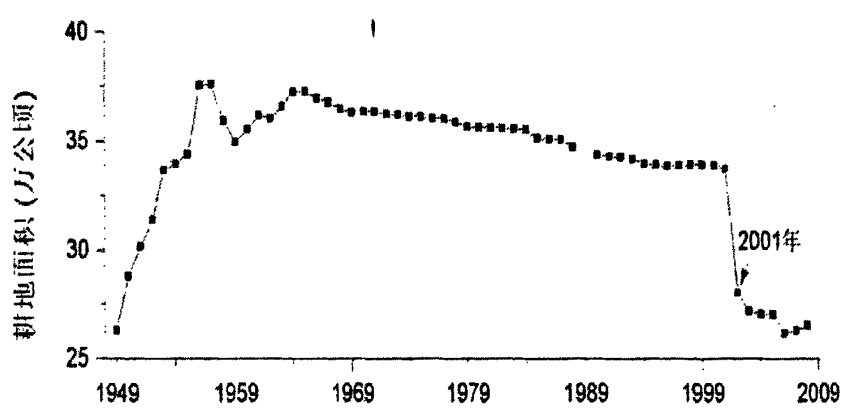


图 3.11 建国以来（1949-2009）承德市耕地面积动态

3.3.2 急速增加的人口

1978年承德市人口为260万人，而到了2009年则扩张到370万人（如图3.12）。由于人口基数大，在短期内人口的增长将成为不可逆转的大势，能够有所下降的也只是增长的速度。人口急剧扩张的同时，耕地面积却因为日益扩大的城市建设用地和退耕还林还草等项目而日益萎缩。特别是2000年推行退耕还林还草政策之后，耕地面积出现了急剧的下降（如图3.11）。

人口增加意味着对物质需求的增加。为满足这种日益增加的物质需求，人类必然要不断加重土地的承载力，以提高总的生产水平；而土地的面积却又在不断的萎缩，其结果是导致原本就极度脆弱的生态系统失衡，植被破坏，土地生产力水平下降，并形成恶性循环。

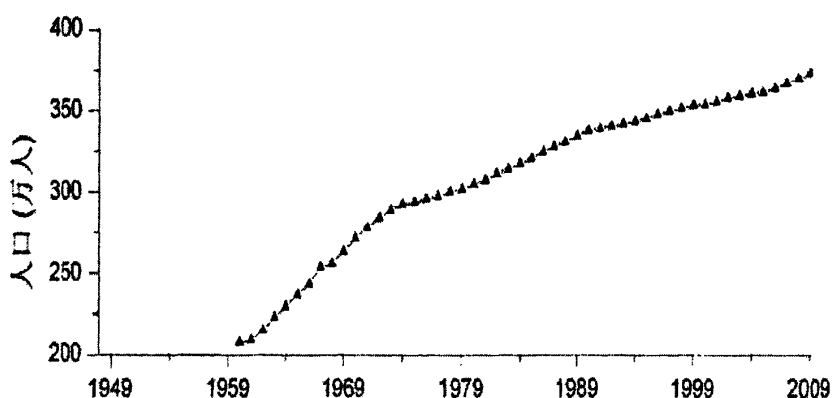


图 3.12 近 50 年（1960-2009）承德市人口动态

3.3.3 城镇建设的影响

随着城市化进程的不断加快，大量耕地和林草地变成城乡建设用地，特别是林草地开发为建设用地后，由于林草地对于削弱风速的作用高于建筑，因此土地利用方式的这种改变明显降低抵御风沙灾害的能力。

农田、林草地向城市用地转变过程中，伴随土地利用性质的改变，同时也改变了周围植被的水热生长环境，由于城市风等的影响，加大了城市周边空气的不稳定度，湍流比先前未经破坏时旺盛。这样大风来袭时地表的尘土就更加容易进入大气，形成浮尘等沙尘天气。而迅速扩张的城市化建设过程中形成了许多土壤裸露的施工现场，场内松散的土壤成为又一沙尘源，与此同时，城乡建设过程中还产生了大量的建筑垃圾，这些建筑垃圾得不到有效处理，往往形成新的沙尘源。

3.3.4 区域风场

一般情况下，在大尺度的天气形势、中尺度系统风场线与局地热力不稳定条件的相互作用下，极易形成沙尘暴这种天气现象。

首先，大尺度天气形势下，较强冷空气带来的剧烈大气扰动是形成沙尘天气的动力因素，是浮尘、扬沙和沙尘暴形成的必备条件。使冷空气推动暖空气加速运动的动力是强冷空气形成的强的气压和变压梯度，从而形成地面大风。它的强弱决定着空气中沙尘粒径的大小、沙尘的数量以及沙尘天气影响的强度和范围。实测表明强冷空气的形成与大尺度环流有密切的关联，例如欧洲大槽的东移、欧亚经纬向环流的转变或高空低压槽过境等都可能诱发冷空气南下形成强冷锋天气活动，它是沙尘暴天气发生的主要动力。北方地区，在季节转化的春季和秋冬季节，多数是位于西伯利亚的冷空气在我国境内由西北向东南大范围经过而形成

大风降温天气，造成我国北方地区春秋季节冷锋活动最为频繁，也构成了承德市沙尘灾害的主要动力源。

其次，中尺度系统对沙尘灾害天气的发生也起到重要的作用。研究表明：沙尘灾害天气总是与中尺度干飚线或低压有密切的联系：即在裸露的地形、下垫面和大尺度环流背景具备的情况下，中尺度天气系统是沙尘灾害天气产生的直接条件。

第三，局地大气层结不稳定条件也有利于强对流的发生和发展，对于加强对流性天气过程具有一定动力补充。下垫面热力属性的差异是在独特的地貌结构和一定的天气系统作用下而形成的，这种差异容易形成局地小尺度热力性涡旋，而在春季，这种现象较其他季节表现的频繁。同时，一般在午后由于下垫面地面辐射加热增强，气层极易不稳定，更容易激发热力性对流，使沙尘天气的势力加强。空气的流速在山地夹平原和山地夹盆地等独特的地貌结构下可以显著的加大，易形成大风天气，有利于沙尘天气的发生。承德市沙尘天气空间分布上表现出了特征正好印证了这一结论（如图3.2），沙尘以舌形沿着“丰宁——滦平——承德县”的方向向东南方延伸，舌尖的位置一直达到平泉附近，基本上对应了滦河的主河道。

4 沙尘灾害的防治与适应对策

沙尘灾害的产生有其自然背景,也有人类活动的影响。在沙尘灾害的防治中,一方面,要充分考虑减少人类活动对生态环境的压力和影响,同时要尊重自然界自身的发展规律;另一方面,也要投入必要的人力、财力和物力,以提高单位面积土地的承载力。按照人与自然和谐发展共处的原则,在防治过程中逐步改善人与自然的关系,转变生产方式,发展循环经济,统筹协调各方面资源,使之逐步融洽协调,不可以片面采取行政力量强硬干预。针对承德市的沙尘灾害特点,下文详细论述承德市沙尘灾害防治的基本途径。

4.1 调整土地利用结构,合理配置农林牧生产比例

调整农林牧用地比例,减少旱作农田面积,增加林草用地比例是防沙治沙的首要任务。把二十五度以上陡坡地和沙地完全退耕,用于种植树木、牧草,改良植被。同进配置一部分退耕田地用于防风固沙林网和乡村防护林经济林建设,再划一部分土地种植高产生态草地,用于畜牧业发展之用。

其次是种植结构的调整。引导农民,一方面加大经济作物在农业种植结构中的比重,如:果品、薯类、药材、蔬菜等经济价值较高的作物,另一方面要合理进行夏粮与大秋作物的配置,以充分利用水热同季的优势。对人工草地和林地而言,增加新的高产、高适口性品种,像紫云英、无芒雀麦、饲用玉米等都可在本区种植。林地种植结构中应逐步减少白杨、桦树比重,多种植沙棘、杏树、苹果、樟子松、落叶松等乡土树种以及其他经济林。

第三要加大产业结构调整力度。种植结构调整是改变产的问题,但加工及销售等产业结构是保持可持续发展的强劲动力。要选择对环境压力小而经济效益大的项目,利用和开发本地资源优势,通过发展规模生产,延长产业链条,带动产业结构的调整。扶持和培育奶牛、肉类等专业农牧市场或工业市场,建立产、加、销一体的可持续发展经济体系。重点是搞好农林牧产品的深加工和进行多层次开发,变初级产品为中级和高级产品,提高产品的附加值,以获得更大的社会经济效益。

4.2 加强植被保护、恢复与重建

执行严格的山林保育封育制度。加强冬季和春季的樵采管理，尤其是河谷地区的林木采伐，做好水土保持工作，严格冬春季节的山林樵采工作，遏制河谷地区沙源对于风沙灾害形成的作用。控制家畜数量，减轻草地压力，按照草地产草量确定草地的载畜量，加快人工草地建设。对植被破坏比较严重的地区，全面推行禁牧或在冬春秋三季实施舍饲，夏季放牧。对严重退化草地进行全面封育，禁止放牧和樵采利用。加强草地病、虫、鼠的防治，减少对植被的危害。通过施肥、灌溉、轻耙、补播和适度刈割等措施，加强退化植被的培育改良和人工植被建设。

4.3 实行合理的人口规划，减轻人口对资源环境的压力

根据当地的自然条件与经济发展水平，确定不同地区资源环境的现实承载力和潜在承载力，制定相应的人口发展规划，确定当前和未来中长期的适宜人口容量，指导人口有计划的增长，使当地社会经济和环境发展逐步适应人口增长的需要。对那些沙尘灾害已经极为严重，不适于居民继续居住的乡村、集镇和生态价值极为重要的偏远村庄，要按照国家的大政方针，逐步实行持续的移民政策，有计划的将当地农牧民搬迁到附近或其他适宜居住的地方，妥善安排其就业和生活。通过移民和输出劳务，减少直接依赖于土地的农业人口，让土地宽裕出来，进行必要的生态环境改造，改变环境状况。

4.4 进行乡村发展规划，节约利用土地资源

伴随我国城市化进程持续推进，承德市的农村人口必将逐步减少。合理的进行乡村发展规划一方面可以推动农村地区脱贫致富，整合可供农村发展所需的各种资源；另一方面，广大的农村地区通过科学合理的管理可以成为强有力的防风固沙的屏障。通过退耕还林还草工程的实施，逐步将生态脆弱的承德坝上地区建设成为京津地区的天然屏障。在燕山山区的县市中，做好原生林和经济林的管理，合理布置林果产业保护和增加地表植被，有效增加下垫面对于沙尘的粘滞力，减轻沙尘灾害对下游的危害，通过产业的良性循环实现保持水土的目的。

在区域统筹规划的基础上，本着节约土地、提高整体环境质量和利于乡村经济发展的原则，规划乡村建设布局方案，以乡为单位，进行编制。包括经济、教育文化、交通、环境等内容的规划，并征得当地居民的同意；以国家投入为主，按照实际情况的要求，加强乡村交通、电力、电信、教育、集市商贸的基础建设，

通过提供补贴的方式，鼓励和吸引偏远小村落搬迁，并切实安排好搬迁居民的生活生产问题。

5 结论与讨论

本文基于 1960-2009 年承德市 9 个气象站的气象数据和相关社会经济资料，试图探讨承德市风沙灾害的时空分布特征，揭示风沙灾害空间分布规律和演化规律，得出了如下结论：

1、沙尘灾害在承德市的空间差异十分明显：扬沙天气的发生日数以丰宁县最多，多年平均为 3.85 次/年；兴隆县发生次数最少，多年平均仅为 0.35 次/年。浮尘天气的发生日数以丰宁县最多，多年平均为 2.25 次/年；兴隆县发生次数最少，多年平均仅为 0.15 次/年。沙尘暴天气的发生日数整体比较少，以地处区域西北端的丰宁县为最多，多年平均为 0.65 次/年；其中兴隆县和宽城县沙尘暴发生次数多年平均 0 次/年。

2、三种沙尘灾害发生的空间分布除了整体上呈现由西北到东南递减趋势外，均有一个突出的舌形等值线。这条等值线基本上沿着“丰宁——滦平——承德县”的方向向东南延伸，这正好与滦河河谷的基本走向一致；其中浮尘天气的延伸梯度最大，沙尘暴天气次之，扬沙天气的延伸梯度最小。

3、承德市各县区 1960 年以来沙尘天气几乎每年都有发生，六十年代至七十年代全市各县区浮尘天气发生次数最多，八十年代以来全市扬沙天气发生次数较多，而全市沙尘暴天气以六、七十年代发生次数较多，八、九十年代相对较少。从近 20 年沙尘天气发生的时间分布上来看，1997-1999 年、2003-2004 年为沙尘灾害的平静期；1990-1996 年、2000-2002 年、2005-2010 年为沙尘天气的高发时段，特别是 2000-2002 年这一时段是近 20 年以来沙尘灾害最为集中和强烈的时期。

4、自 1960 年以来，承德市各个监测站的年均风速经历了一个剧烈震荡过程中的小幅上升，持续了约 10 年左右；自 1970 年以后，承德市各县区的年均风速持续下降，一致经历了大约 20 年的持续下降后，在 1990 年前后，平均风速的减小趋势放缓并出现了一定的波动，在这一过程中，地区间的风速差距也趋于不断扩大，各个站点间年平均风速的极差在不断增加。

5、从季节尺度而言，沙尘天气的发生呈现出“双峰一谷”型的变化曲线，每年以春季沙尘天气发生的频次最多，冬季有一个沙尘天气（主要是扬沙和浮尘天气）的次高峰。

6、讨论：沙尘灾害的产生有其自然背景，也有人类活动的影响。所以要充分考虑减少人类活动对生态环境的压力和影响，同时要尊重自然界自身的发展规律，投入必要的人力、财力和物力，以提高单位面积土地的承载力，不可违背自然规律盲目作为。研究承德市风沙灾害的时空分布特征，总结防沙治沙工作中的经验和教训，须坚持尊重自然规律，以人为本，综合林业、农业、草原、水利、农村能源、生态移民等多项措施，保护优先，以防为主，分类施策，建设生态屏障，从而遏制沙尘天气对京津地区的危害。

参考文献

- [1]王炜, 方宗义. 沙尘暴天气及其研究进展综述[J]. 应用气象学报,2004,15(3): 369.
- [2]吴焕忠. 我国沙尘暴灾害述评及减灾对策[J]. 农村生态环境,2002,18(2): 4.
- [3]林志. 沙尘暴—大自然的惩罚. 防灾博览[J]. 2006,(3): 23
- [4]炜, 方宗义. 沙尘暴天气及其研究进展综述,应用气象学报[J]. 2004,15(3): 369.
- [5]范一大, 史培军, 王秀山等. 中国北方典型沙尘暴的遥感分析[J]. 2002,17(2):281-288.
- [6]史培军, 严平, 袁艺. 中国北方风沙活动的驱动力分析[J]. 第四纪研究, 2001, 21(1): 41-47.
- [7]史培军. 华北农牧交错带夏季降水变率及其与前期下垫面热力状况的关系[J]. 自然资源学报, 2001, 16(3):211-215.
- [8]岳耀杰, 王静爱, 易湘生等. 中国北方沙区城市风沙灾害危险度评价—基于遥感、地理信息系统和模型的研究[J]. 自然灾害学报,2008,17(1):16.
- [9]周自江, 章国材. 中国北方的典型强沙尘暴事件(1954-2002 年) [J]. 科学通报, 2003, 48(11): 1225-1226.
- [10]史培军, 严平, 高尚玉等. 我国沙尘暴灾害及其研究进展与展望[J]. 自然灾害学报, 2000, 9(3): 75-76.
- [11]史培军, 严平, 高尚玉等. 我国沙尘暴灾害及其研究进展与展望. 自然灾害学报, 2000, 9(3): 75-76. 转引 Ehrenberg C G. The sirocco dust that fell at Genoa on the 16th May 1846[J]. Q.J. Geol. Soc. Lond, 1847, 3: 25-26
- [12]Idso S. Thermal blanketing: a case for aerosol-induced climatic alteration. science, 1974, 186: 50-51.
- [13]Duce R A, Unni C K, Ray B J. Long range atmospheric transport of soil dust from Asia to the tropical North Pacific: Temporal variability. Science, 1980, 209: 1522-1524.
- [14]Pye K. Aeolian Dust and Dust Deposits[M]. London, Academic Press. 1987.
- [15]Toon O B, Turco R P, Westphal D, Malone R, Liu M S. A multidimensional model for aerosols: Description of computational analogs. J. Atm. Sci, 1988, 45(15): 2124-2143.
- [16]Littmann T, Steinrucke J. Atmospheric boundary conditions of recent Saharan dust influx into Central Europe. Geo. Journal, 1989, 18: 399-406.
- [17]Shao Y. A model for mineral dust emission. J. Geophys. Res, 2001, 106: 20239-20254.
- [18]Lu H, Shao Y. Toward a quantitative prediction of dust storms: an integrated

- wind erosion modeling system and its applications. *Env. Modelling and Software* 2001, 16, 233-249.
- [19] Yu B, Hesse P P, Neil D T. The relationship between antecedent climatic conditions and the occurrence of dust events at Mildura, Australia. *Journal of Arid Environments*. 1993, 24: 109-124.
- [20] Raupach M R., McTainsh G H., Leys J F. Estimates of dust mass in some recent major Australian dust storms. *Australian Journal of Soil and Water Conservation*. 1994, 7(3): 30-35.
- [21] Yaping Shao, Ann Henderson-Sellers. Validation of soil moisture simulation in landsurface parameterization schemes with HAPEX data. *Global and Planetary Change*, 1996, 13: 11-46.
- [22] John E Stouta , Jeffrey A Lee. Indirect evidence of wind erosion trends on the Southern High Plains of North America. *Journal of Arid Environments*, 2003, 55: 43-61.
- [23] Lee J A, Allen B L, Peterson R E, Gregory J M, Moffett K E. Environmental controls on blowing dust direction at Lubbock, Texas, USA. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1994, 9: 37-449.
- [24] 钱正安, 贺慧霞, 瞿章等. 我国西北地区沙尘暴的分级标准和个例谱及其统计特征[A]. 方宗义, 朱福康, 江吉喜等. 中国沙尘暴研究[C]. 北京: 气象出版社. 1997. 1-10
- [25] 全浩. 关于黄沙研究与进展[J]. 环境科学研究, 1994, 7(6): 1-8
- [26] 刘东生等. 黄土与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1985: 303 - 336.
- [27] 张德二. 我国历史时期以来降尘的天气气候学初步分析闭[J]. 中国科学 D 辑, 1984, 24(3): 278-288.
- [28] 史培军, 严平, 高尚玉等. 我国沙尘暴灾害及其研究进展与展望[J], 自然灾害学报, 2000, 9(3): 72-77.
- [29] 唐红玉, 马振峰, 史津梅. 青藏高原季风变化及其与中国北方春季沙尘暴的关联[J], 自然灾害学报, 2008, 17(3): 112-117.
- [30] 赵红岩, 杨瑜峰, 梁东升等. 中国北方沙尘暴与地温场的相关分析[J], 中国沙漠, 2007, 27(3): 509 - 514.
- [31] 杨续超, 刘晓东. 中国北方强沙尘暴活动与亚洲地区对流层风场的联系[J]. 气候与环境研究, 2006, 1(1): 94-101.
- [32] 钱正安, 宋敏红, 李万元. 近 50 年来中国北方沙尘暴的分布及变化趋势分析[J]. 中国沙漠, 2002, 22(2): 106-112.
- [33] 周自江, 王锡稳, 牛若芸. 近 47 年中国沙尘暴气候特征研究. 应用气象学报, 2002, 13(2): 193-200.

- [34]周明煌, 曲绍厚, 宋锡铭. 北京地区尘暴过程的气溶胶特征[J]. 科学通报, 1981, 26(4):609-611.
- [35]曲绍厚, 李玉英, 周明想. 北京地区一次尘暴过程的来源[J]. 环境科学学报, 1984, 4(1): 80-85.
- [36]刘毅, 周明煜. 北京及近中国海春季沙尘气溶胶浓度变换规律的研究[J]. 环境科学学报, 1999, 19(6):642-647.
- [37]牛生杰等. 贺兰山地区沙尘暴沙尘起动和垂直输送物理因子的综合研究[J]. 气象学报, 2002, 60(2), 194~203.
- [38]周允华, 项月琴. 北京地区大气浑浊度的测量和沙尘污染的初步研究[J]. 环境科学, 1984, 5(5): 50-54.
- [39]方修琦, 李令军, 谢云. 沙尘天气过境前后北京大气污染物质量浓度的变化[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2003, 39(3):407-411
- [40]李令军, 高庆生. 2000年北京沙尘暴源地解析[J]. 环境科学研究, 2001, 14(2):1-3.
- [41]方翔, 郑新江, 陆均天等. 2002年春季北京沙尘天气成因及源地分析[J]. 国土资源遥感, 2002, 4:17-22.
- [42]周明煜, 曲绍厚, 宋锡铭等. 北京地区一次尘暴过程的气溶胶特征[J]. 环境科学学报, 1981, 1: 208-219.
- [43]刘毅, 周明煜. 北京及近中国海春季沙尘气溶胶浓度变换规律的研究[J]. 环境科学学报, 1999, 19(6): 642-647.
- [44]杨东贞, 颜鹏, 徐祥德. 北京风沙天气的气溶胶特征[J]. 应用气象学报, 2002, 13(增刊): 185-194.
- [45]陈静生, 邓宝山, 贾振邦. 关于“外来尘”对北京大气质量影响的研究[J]. 中国环境科学, 1984, 4(1):10-17.
- [46]叶笃正, 丑纪范. 刘纪远, 等. 关于我国华北沙尘天气的成因与治理对策[J]. 地理学报. 2000, 55 (5) :513-521.
- [47]毛睿, 龚道溢, 范一大. 春季天气变率对华北沙尘暴频次的影响[J]. 地理学报 2005, 60(1):513-521.
- [48]安月改, 刘学锋, 杨贤. 京津地区近 50 年浮尘天气气候变化特征分析[J]. 河北气象, 2004, 23(7): 25-28.
- [49]尤凤春, 史印山, 付杜琴, 等. 河北省沙尘暴天气成因分析[J], 高原气象, 2005, 24(4): 642-647
- [50]史培军. 我国风沙灾害加剧的成因分析及防沙治沙科技对策[J]. 科学技术部, 2000.

- [51] 胡培兴. 治沙止漠建屏障,绿色护卫北京城[J].林业经济,2003,7:20-23.
- [52] Wang,X.M., Dong,Z.B., Zhang,J.W., Liu,L.C., Modern dust storms in China: an overview, Journal of Environments, 2004, 58:559-574.
- [53] 河北省水资源评价[N].河北省水利厅, 2004
- [54] 承德 2008 年国民经济和社会发展统计公报[N].2008
- [55] 肖嗣荣, 刘学锋, 刘芳圆. 河北省沙尘暴时空分布特征及其防治对策研究[J].地理学与国土研究, 2000,(03):22-28.
- [56] 杨青, 何清. 塔里木河流域的气候变化、径流量及人类活动间的相互影响[J].应用气象学报, 2003,(03):309-314.
- [57] 龚道溢,史培军.华北农牧交错带夏季降水变率及其与前期下垫面热力状况的关系[J].自然资源学报,2001,16(3):211
- [58] 胡金明, 崔海亭, 唐志尧.中国沙尘暴时空特征及人类活动对其发展趋势的影响[J].自然灾害学报,1999,8(4):49
- [59] 刘景涛,郑明倩. 华北北部黑风暴的气候学特征[J] 气象,1998,24(2):39-

致 谢

河北师大这所具有百年历史和光荣传统的省重点大学让我不能忘怀，气象许多前辈都是从这所大学毕业，并在气象岗位一展才华，为气象事业做出了卓越贡献。作为气象晚辈能亲受本校研究生教育倍感骄傲。衷心感谢师大给我的学习机会，感谢资环学院各位教授用求真务实的治学态度和渊博的学识让我在知识的海洋里畅游！

衷心感谢导师常春平教授，我的论文是在常老师的精心指导下完成的。从论文的选题、开题、研究的技术方法，到最后的定稿，都得到了常老师的细心指正。我学术上的每一点进步都倾注了常老师的辛勤和汗水，在此向常老师致以最诚挚的谢意！

感谢班主任马常银老师。花甲之年的马老师不辞辛苦，对我们的学习细心关照，每次面授不分节假日都坚守在工作岗位，为我们外地学生周到服务，关心倍致，道一声马老师您辛苦了！

感谢单位领导和同事们，是他们给了我这次学习机会，并给我创造了宽松的学习和研究环境。感谢王贵龄前辈，是他为我作论文提供了大量资料。感谢于化龙对我在写作方法上的指导和帮助。

还要感谢我的妻子和女儿。是她们的鼓励和支持，让我不被家庭琐事所牵绊，得以顺利完成学业。我永远深爱着你们！

同时还要衷心的感谢在百忙之中抽出时间审阅本论文的各位专家、教授！

感谢有这样一个空间，让我有机会对所有默默关心和帮助我的人说声谢谢！

李云强

2011年9月8日