

黑龙江省

城市大气颗粒物来源解析研究

主 编：伍跃辉

副主编：陈 威 邢延峰

HEILONGJIANGSHENG
CHENGSHI DAQI KELIWU
LAIYUAN JIEXI YANJIU

中国环境出版社

黑龙江省城市大气颗粒物 来源解析研究

伍跃辉 主编

中国环境出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

黑龙江省城市大气颗粒物来源解析研究/伍跃辉主编. —北京: 中国环境出版社, 2017.5

ISBN 978-7-5111-3161-4

I. ①黑… II. ①伍… III. ①城市空气污染—粒状污染物—污染源—研究—黑龙江省 IV. ①X513

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 088342 号

出版人 王新程
责任编辑 孟亚莉
文字编辑 张倩
责任校对 尹芳
封面设计 岳帅

出版发行 中国环境出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
010-67112735 (第一分社)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2017 年 5 月第 1 版
印 次 2017 年 5 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 16.75
字 数 342 千字
定 价 90.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

《黑龙江省城市大气颗粒物来源解析研究》

编 委 会

主 编：伍跃辉

副主编：陈 威 邢延峰

主要编写人员：（按姓氏笔画排序）

于亚玲	于维河	土 妹	马玉坤	马 丽	王永光	王丽娜
王克兢	王尚军	王 勇	王晓燕	王继民	王鹏杰	王德智
白利明	白利彦	白显坤	白爱飞	刘 蕊	孙铭阳	孙越天
朴德雄	江志强	牟学军	闫光谱	初卫星	张万峰	张晓梅
张爱华	张 蕊	李文菲	李永亮	李经纬	李 爽	李 雷
杨伟东	陈世权	陈玉芳	陈 芳	周爱申	孟庆庆	林宪策
范思铭	姚长浩	姜 波	姜景阳	姜 鹏	胡丽娜	贵 伟
赵 月	赵 伟	赵宝吉	赵彦博	赵 然	唐建华	夏立新
秦 鹏	耿印印	袁国新	贾立明	郭 欣	郭洪超	顾 平
曹立松	曹 胜	隋士英	龚 起	蒋智伟	韩 冬	慎庸键
魏庆斌						

前 言

目前,我国大气复合污染形势日趋严峻,特别是可吸入颗粒物和细颗粒物污染已经成为政府和公众关注的焦点问题。据资料统计,全国约有80%以上城市环境空气质量未达到《环境空气质量标准》(GB 3095—2012)。2015年8月29日修订通过的《中华人民共和国大气污染防治法》中规定,地方各级人民政府应当对本行政区域内的大气环境质量负责,制定规划,采取措施,控制或者逐步削减大气污染物的排放量,使大气环境质量达到规定标准并逐步改善。各地政府都面临着扭转环境空气质量恶化趋势的前所未有的巨大压力。

为有效地控制颗粒物污染和提高大气环境质量,阐明大气颗粒物污染水平、特征及其主要来源,科学有效地推进大气污染防治工作,首先需要对颗粒物的来源进行判别和解析,并将各类污染源对大气颗粒物污染的贡献值进行定量计算,这就是大气颗粒物来源解析技术。通过源解析技术可以量化区域内的各类污染源对大气颗粒物污染的贡献,从源头上提出具有针对性的污染控制对策和措施,对产业结构的科学决策及环境污染防治措施的制定都有积极的指导和参考意义。源解析技术现已作为一种重要的手段,应用于城区、区域乃至全球的大气环境研究。因其应用广泛,近年来在国内外得到了越来越多的关注。

黑龙江省是国内第一个以全省为单元开展大气颗粒物来源解析探索性工作的省份,从2013年到2015年,历经两年的采样分析,完成了13个省辖城市18个环境受体点位、704个各类污染源点位的采样工作,共采集样本3000余个,有效数据5万余个,研究成果及数据已应用于《黑龙江省大气污染防治专项行动方案(2016—2018年)》《哈尔滨市大气污染防治专项行动方案(2016—2018年)》及相关颗粒物污染防治措施中。

随着监测工作的深入，我们对黑龙江省省辖城市大气污染现状有了较为深刻的认识，本书以《大气污染防治法》为依据，以《环境空气质量标准》（GB 3095—2012）为基础，以《大气颗粒物来源解析技术指南（试行）》为指导，突出为环境管理服务的指导思想，注重研究成果的应用性，紧密联系黑龙江省大气污染防治要求，提高黑龙江省环境综合决策的科技支撑能力，为政府和环境管理部门有重点、分步骤地制定大气污染管理措施等提供科学依据，对开展区域源解析工作及全国源解析业务化体系的形成具有借鉴意义。

由于编者水平所限，书中难免存在一些疏漏和不足之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2016年8月

目 录

第 1 章 总论.....	1
1.1 研究目的和意义.....	1
1.2 指导思想及研究内容.....	2
1.3 研究区域及技术路线.....	3
第 2 章 黑龙江省概况.....	5
2.1 自然环境概况.....	5
2.2 社会经济概况.....	6
2.3 环境空气质量现状及主要问题.....	15
第 3 章 受体模型的基本理论.....	19
3.1 源解析技术介绍.....	19
3.2 化学质量平衡 (CMB) 受体模型及其算法.....	20
3.3 二重源解析技术.....	27
3.4 正定矩阵因子分解模型 (PMF) 原理与方法.....	28
第 4 章 污染源与受体样品采集和处理.....	33
4.1 大气颗粒物排放源类的识别和分类研究.....	33
4.2 大气颗粒物排放源类样品的采集.....	37
4.3 受体样品采集点位的设置及采样.....	57
第 5 章 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 化学成分特征分析	59
5.1 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 质量浓度特征	59
5.2 水溶性无机离子组分特征.....	64
5.3 OC/EC 组分特征.....	83
5.4 元素组分特征.....	99

5.5	PM _{2.5} 和 PM ₁₀ 化学质量闭合与组成特征	122
第 6 章	源成分谱特征分析	131
6.1	源成分谱的组成	131
6.2	源成分谱中化学组分含量水平特征分析	154
6.3	二次颗粒物源成分谱的建立	156
6.4	源成分谱的特征组分分析	157
6.5	小结	174
第 7 章	CMB 来源解析结果分析	176
7.1	参与拟合源类的化学组分的选择	176
7.2	源贡献值拟合优度分析	177
7.3	PM ₁₀ 和 PM _{2.5} 来源解析结果分析	177
7.4	CMB 与 PMF 解析结果对比分析	200
7.5	小结	202
第 8 章	区域传输贡献模式研究	204
8.1	研究背景与目标	204
8.2	研究方法	204
8.3	模拟效果评估	210
8.4	模式来源追踪结果分析	219
8.5	PM ₁₀ 和 PM _{2.5} 外来传输贡献分析	225
第 9 章	PM ₁₀ 和 PM _{2.5} 污染防治对策	238
9.1	燃煤源污染防治对策	238
9.2	扬尘污染控制对策	241
9.3	移动源尾气尘污染防治对策	242
9.4	工业源污染防治对策	245
9.5	生物质燃烧源污染防治对策	246
9.6	二次颗粒物污染防治对策	247
9.7	大气污染管理对策	247
9.8	典型案例分折	248

第 10 章 结论及建议.....	257
10.1 主要结论	257
10.2 建议	258

第1章 总论

1.1 研究目的和意义

我国大气复合污染形势日趋严峻,特别是可吸入颗粒物和细颗粒物污染已经成为政府和公众关注的焦点问题。据资料统计,全国约有80%以上城市环境空气质量未达到《环境空气质量标准》(GB 3095—2012)。2013年9月10日,《国务院印发关于大气污染防治行动计划的通知》(国发〔2013〕37号),明确提出具体目标:到2017年,全国地级及以上城市可吸入颗粒物浓度比2012年下降10%以上,优良天数逐年提高。同时,国务院与各省(区、市)人民政府签订大气污染防治目标责任书,将目标任务分解落实到地方人民政府和企业,并构建以环境质量改善为核心的目标责任考核体系。2015年8月29日修订通过的《中华人民共和国大气污染防治法》中规定,地方各级人民政府应当对本行政区域的大气环境质量负责,制定规划,采取措施,控制或者逐步削减大气污染物的排放量,使大气环境质量达到规定标准并逐步改善。各地政府都面临着扭转环境空气质量恶化趋势前所未有的巨大压力。

黑龙江省经济快速发展,生产总值由2008年的8314.4亿元到2014年的15039.4亿元,增幅接近一倍。能源消耗和机动车保有量逐年增加,2013年黑龙江省原煤消耗总量超8683万t(折算成标准煤为6202万t),占一次能源消费比例的66.5%以上;机动车保有量增至400万辆,且每年以10%左右的速度增长,其中有50万辆黄标车仍占较大比例。

2014年,全省可吸入颗粒物年均浓度为 $68\mu\text{g}/\text{m}^3$, SO_2 年均浓度为 $25\mu\text{g}/\text{m}^3$, NO_2 年均浓度为 $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。同比可吸入颗粒物年均浓度降低 $1\mu\text{g}/\text{m}^3$, SO_2 年均浓度升高 $2\mu\text{g}/\text{m}^3$, NO_2 年均浓度保持不变。此外,全省城市大气污染季节特征明显,2014年自动监测数据表明,采暖期 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_x 浓度分别为非采暖期的1.7倍、2.6倍和1.6倍。可见,全省大气颗粒物污染依然形势严峻,特别是采暖期亟须开展颗粒物污染防治工作。

省政府高度重视全省大气污染治理工作,陆昊省长近两年就大气污染防治工作做过11次重要批示,主管省长做过近30次重要批示。2013年11月2日,陆昊省长主持召开全省大气污染治理专题会议,决定投入2亿元专项资金用于黑龙江省大气污染治理。2014年年

初, 黑龙江省人民政府制定了《黑龙江省大气污染防治计划》: “力争到 2017 年, 主要大气污染物排放总量显著下降, 重点企业全面达标排放, 优良天数逐年提高, 基本消除重污染天气, 全省可吸入颗粒物浓度比 2012 年下降 5% 以上”。

为阐明黑龙江省城市大气颗粒物污染水平、特征及其主要来源, 科学有效地推进大气污染防治工作, 黑龙江省环保厅组织开展了全省大气颗粒物污染现状及其来源解析的研究工作, 确定污染治理重点, 量化各类污染源对大气颗粒物的贡献, 从源头上提出具有针对性的污染控制对策和措施, 从而为政府和环境管理部门有重点、分步骤地制定污染管理措施并为污染控制策略行动提供科学依据。

1.2 指导思想及研究内容

1.2.1 指导思想

防治大气污染, 应当以改善大气环境质量为目标, 坚持源头治理。本项目以《大气污染防治法》为依据, 以《环境空气质量标准》(GB 3095—2012) 为基础, 以《大气颗粒物来源解析技术指南(试行)》为指导, 同步进行 PM_{10} 及 $\text{PM}_{2.5}$ 的来源解析, 突出为环境管理服务的指导思想, 注重研究成果的应用性, 紧密联系黑龙江省大气污染防治需求, 提高黑龙江省环境综合决策的科技支撑能力, 为大气污染防治行动计划实施提供科学依据。

1.2.2 主要研究内容

本项目对黑龙江省环境空气质量现状及目前存在的主要问题进行调查。采集 13 个省辖城市 9 类主要污染源(土壤尘、道路尘、城市扬尘、水泥尘、煤烟尘、工业尘、机动车尾气、生物质燃烧源及餐饮油烟)样品及非采暖季、采暖季两季环境受体样品; 利用 X 射线荧光光谱(XRF)、离子色谱(IC)、热光碳分析仪分析污染源与环境受体样品中的 21 种元素、8 种离子及 3 种碳组分, 获得污染源源谱数据与环境样品成分谱数据; 应用化学质量平衡(CMB)模型、正定矩阵因子(PMF)模型、空气质量模式(WRF-NAQPMS)等方法计算出每个季节 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 的源贡献值及分担率并分析其时空分布特征。基于源解析结果, 提出全省各省辖城市及各区域扬尘、土壤尘、煤烟尘、工业尘、机动车尾气、生物质燃烧源、二次颗粒物等的污染控制对策。

1.3 研究区域及技术路线

本项目以黑龙江省省辖 13 个市地市区为大气颗粒物来源解析的主要区域。

1.3.1 项目技术路线

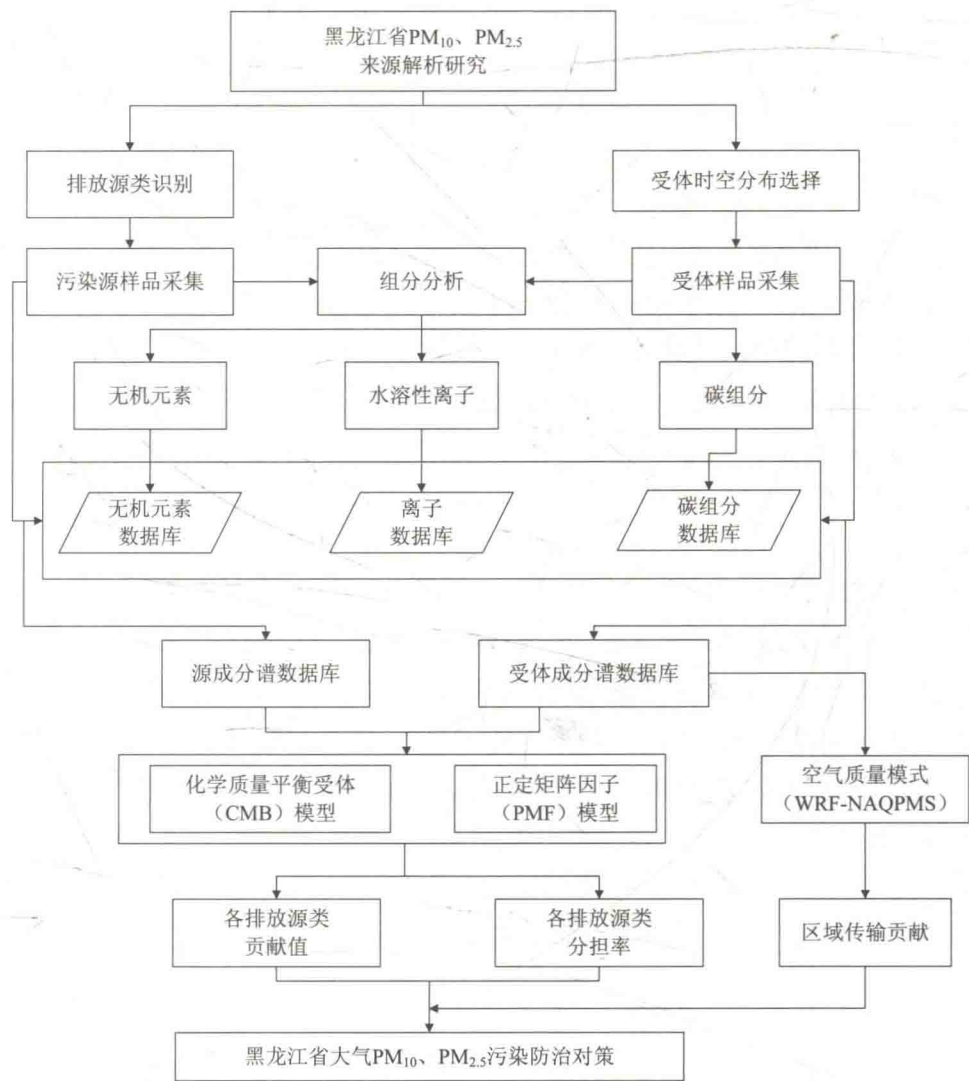


图 1-1 项目研究的技术路线

1.3.2 成果提交方式

- (1) 项目工作报告
- (2) 项目技术报告
- (3) 源与受体成分谱数据库

第2章 黑龙江省概况

2.1 自然环境概况

2.1.1 地理特征

黑龙江省，简称黑，省会哈尔滨。位于中国东北部，是中国位置最北、纬度最高的省份，东经 $121^{\circ}11'$ ~ $135^{\circ}05'$ ，北纬 $43^{\circ}26'$ ~ $53^{\circ}33'$ ，东西跨 14 个经度，南北跨 10 个纬度。北、东部与俄罗斯隔江相望，西部与内蒙古自治区相邻，南部与吉林省接壤。全省土地总面积 45.4 万 km^2 ，居全国第六位。边境线长 2 981.26 km，是亚洲与太平洋地区陆路通往俄罗斯和欧洲大陆的重要通道，是我国沿边开放的重要窗口。

2.1.2 地形地貌

黑龙江省地势复杂多样，地貌特征为“五山一水一草三分田”。地势大致是西北、北部和东南部高，东北、西南部低，主要由山地、台地、平原和水面构成。西北部为东北—西南走向的大兴安岭山地，北部为西北—东南走向的小兴安岭山地，东南部为东北—西南走向的张广才岭、老爷岭、完达山脉。兴安山地与东部山地的山前为台地，东北部为三江平原（包括兴凯湖平原），西部是松嫩平原。黑龙江省山地海拔高度大多在 300~1 000 m，面积约占全省总面积的 58%；台地海拔高度为 200~350 m，面积约占全省总面积的 14%；平原海拔高度为 50~200 m，面积约占全省总面积的 28%。有黑龙江、松花江、乌苏里江、绥芬河等多条河流；有兴凯湖、镜泊湖、五大连池等众多湖泊。

2.1.3 气候概况

黑龙江省属于寒温带与温带大陆性季风气候。全省从南向北，依温度指标可分为中温带和寒温带。从东向西，依干燥度指标可分为湿润区、半湿润区和半干旱区。全省气候的主要特征是春季低温干旱，夏季温热多雨，秋季易涝早霜，冬季寒冷漫长，无霜期短，气候地域性差异大。降水表现出明显的季风性特征。夏季受东南季风的影响，降水充沛，冬季在干冷西北风控制下，干燥少雨。

全省年平均气温多在-5~5℃，由南向北降低，大致以嫩江、伊春一线为0℃等值线。不小于10℃积温在1800~2800℃，平原地区每增高1个纬度，积温减少100℃左右；山区每升高100m，积温减少100~170℃。无霜冻期全省平均介于100~150天，南部和东部在140~150天。大部分地区初霜冻在9月下旬出现，终霜冻在4月下旬至5月上旬结束。年降水量全省多介于400~650mm，中部山区多，东部次之，西、北部少。在一年内，生长季降水约为全年总量的83%~94%。降水资源比较稳定，尤其夏季变率小，一般为21%~35%。全省年日照时数多在2400~2800h，其中生长季日照时数占总时数的44%~48%，西多东少。全省太阳辐射资源比较丰富，与长江中下游相当，年太阳辐射总量在 $44\times 10^8\sim 50\times 10^8\text{J/m}^2$ 。太阳辐射的时空分布特点是南多北少，夏季最多，冬季最少，生长季的辐射总量占全年的55%~60%。年平均风速多为2~4m/s，春季风速最大，西南部大风日数最多，风能资源丰富。

2.2 社会经济概况

2.2.1 行政区划

黑龙江省现辖1个副省级城市为省会哈尔滨市，有11个地级市分别为齐齐哈尔、牡丹江、佳木斯、大庆、伊春、鸡西、鹤岗、双鸭山、七台河、绥化、黑河，1个地区行署为大兴安岭地区，132个县（市、区）。“十二五”期间行政区划见表2-1。

表 2-1 黑龙江省行政区划 单位：个

地市	市地辖区	县级市	县	自治县
全省	69	17	45	1
哈尔滨	9	2	7	0
齐齐哈尔	7	1	8	0
鸡西	6	2	1	0
鹤岗	6	0	2	0
双鸭山	4	0	4	0
大庆	5	0	3	1
伊春	15	1	1	0
佳木斯	4	2	4	0
七台河	3	0	1	0
牡丹江	4	4	2	0
黑河	1	2	3	0
绥化	1	3	6	0
大兴安岭	4	0	3	0

2.2.2 人口

2014 年年末，全省常住总人口为 3 747 万人，人口密度（含加格达奇和松岭区）为 81 人/km²。全年出生人口 28.25 万人，出生率为 7.37‰；死亡人口 24.76 万人，死亡率为 6.46‰；自然增长率为 0.91‰。

常住人口中城镇人口为 1 841.7 万人，占总人口比重为 49.15%；乡村人口为 1 905.3 万人，占总人口比重为 50.85%。

常住总人口中 0~14 岁的人口为 449.23 万人，占 11.72%；15~64 岁的人口为 2 998.17 万人，占 78.22%；65 岁及以上的人口为 385.60 人，占 10.06%。

2010—2014 年，全省人口变化情况见表 2-2，全省人口分布情况见表 2-3。

表 2-2 全省人口变化情况

年份	总人口/万人	自然增长率/‰
2010	3 833.4	1.52
2011	3 834.0	1.07
2012	3 834.0	1.27
2013	3 835.0	0.78
2014	3 747.0	0.91

表 2-3 全省人口分布情况

地区	年底总户数	总人口/万人	非农业人口/万人	农业人口/万人
全省	14 901 691	3 747.0	1 841.7	1 905.3
哈尔滨	3 893 041	987.3	481.3	506.0
齐齐哈尔	2 104 355	553.2	196.5	356.8
鸡西	770 640	183.6	117.6	66.0
鹤岗	509 782	107.0	86.6	20.4
双鸭山	637 536	149.0	95.8	53.2
大庆	1 066 271	278.0	145.7	132.3
伊春	537 975	122.9	106.9	16.0
佳木斯	935 837	232.9	117.7	115.1
七台河	329 961	88.2	51.9	36.3
牡丹江	1 007 739	256.6	141.9	114.7
黑河	713 373	169.7	98.3	71.4
绥化	2 126 382	553.2	147.1	406.1
大兴安岭	205 455	49.9	43.2	6.7
绥芬河	28 575	7.0	5.8	1.1
抚远	34 769	8.5	5.3	3.3

2.2.3 土地利用

黑龙江省土地总面积 47.3 万 km^2 (含加格达奇和松岭区), 占全国土地总面积的 4.9%。全省耕地面积 15 940 850.84 hm^2 , 占全省土地总面积的 33.87%; 林地面积 23 245 157.92 hm^2 , 占 49.39%; 草地面积 2 034 742.68 hm^2 , 占 4.32%; 城镇村及工矿用地面积 1 219 694.67 hm^2 , 占 2.59%; 交通运输用地面积 592 760.97 hm^2 , 占 1.26%; 水域及水利设施用地面积 2 182 354.05 hm^2 , 占 4.63%; 园地面积 44 930.08 hm^2 , 占 0.09%; 其他土地面积 1 808 771.03 hm^2 , 占 3.85%。

根据全省土地利用情况及农业区划, 全省大致可分为四个区域: 中西部主要为旱地, 包括哈尔滨、齐齐哈尔、大庆、绥化; 西北部主要为林地, 包括大兴安岭、黑河、伊春; 东北部主要为旱地, 包括鹤岗、双鸭山、佳木斯、七台河、鸡西; 东南部主要为林地及旱地, 包括牡丹江。

2.2.4 产业结构

黑龙江省是国家重点老工业基地、国家重要商品粮基地。2014 年, 全年实现地区生产总值 15 039.33 亿元, 比上年增长 5.6%。全省第一、第二、第三产业的比例达到 17.4 : 36.8 : 45.8, 以第二、第三产业为主, 第二产业以工业为主。

全省产业结构发展不平衡, 传统产业居主导地位, 数量多、比重大、覆盖面广。没有摆脱靠资源吃资源的粗放型的发展方式, 致使 2014 年部分地市生产总值出现了负增长, 主要城市为鹤岗、双鸭山、伊春三个资源城市。第二产业负增长的城市也全部为资源型城市, 主要有鸡西、鹤岗、双鸭山、伊春、大兴安岭。

黑龙江省 2014 年三产结构见表 2-4。

2.2.5 工业布局

全省工业生产布局充分依托于地区资源优势及原有工业基础和区位优势, 现已形成东部煤炭工业基地(鸡西、鹤岗、双鸭山、七台河)、中部机电工业基地(哈尔滨、齐齐哈尔、牡丹江)、中西部冶金、石化工业基地(齐齐哈尔、大庆)、森林工业基地(大、小兴安岭地区)、食品、轻纺工业基地(哈尔滨、佳木斯)、电力工业基地(哈尔滨、齐齐哈尔、东部煤炭工业区)、冶金工业基地(齐齐哈尔、双鸭山)、建材工业基地(哈尔滨、齐齐哈尔、牡丹江、鸡西)的工业布局。