

文章编号: 1006-6616 (2003) 04-0303-10

中国大陆多年冻土线空间分布基本特征

蒋复初^{1,2}, 吴锡浩^{1,2}, 王书兵^{1,2}, 赵志中¹, 傅建利¹

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

2. 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710075)

摘要: 本文主要根据多年冻土与气候参数的相关关系, 结合现代多年冻土分布, 依据我国 104 个气候台站的气象数据, 计算出年平均温度、年较差和多年冻土线理论海拔高度, 研究我国多年冻土线空间分布特征。中国大陆多年冻土线高程明显受高度地带性和纬度地带性控制, 自北向南海拔高度逐渐增大。东部地区的多年冻土线高程从东北的 < 1200m, 至海口附近增到 5700m; 西北地区的多年冻土高程从阿尔泰山的 2600m, 至昆仑山增至 4500m 左右, 要比东部同纬度的冻土线高出 1400 ~ 800m; 青藏高原的多年冻土线高程基本上稳定在 4500 ~ 5000m。在此基础上, 进而探讨了我国现代气候多年冻土线与气候雪线之间的关系。

关键词: 多年冻土线; 气候雪线; 分布特征

中图分类号: X141

文献标识码: A

中国的晚新生代环境变迁是在北半球大冰期气候逐步来临和急剧变化的背景上发生的。多年冻土线、雪线与森林线等自然地理要素, 是重要的气候环境指标, 它们的高度与纬度分布受气候垂直地带性和水平地带性的控制。研究今、古多年冻土线、雪线与森林线的时空分布, 是正确认识自然环境及其变化的可靠定量方法之一。为了重建中国晚新生代特征时段古环境及其变迁, 我们依据有关气象资料, 对我国大陆现代气候雪线、多年冻土线和森林线进行了初步研究。根据我国主要气象站的高空和地面气象资料, 利用年均温、年降水量和固态降水率之间的相关函数计算出气候雪线高程, 探讨了我国大陆气候雪线的空间分布特征^[1]。在此基础上, 本文主要依据气象资料研究我国多年冻土线的理论海拔高程及其空间分布特征, 进而讨论多年冻土线与气候雪线的高差及其分布格局。

1 我国现代冻土分布的基本特征

冻土一般是指温度在 0℃ 或 0℃ 以下, 并含有冰的各种岩土和土壤。从冻土热物理学观点, 冻土是岩石圈—土壤—大气圈系统热量交换过程中形成的。多年冻土的空间分布格局变

收稿日期: 2003-11-11

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目 (批准号: G1999043401), 中国科学院知识创新工程项目 (批准号: KZCX2-108) 和国土资源部基础研究项目 (批准号: 991005)

作者简介: 蒋复初 (1949-), 男, 研究员, 第四纪地质学专业。

化反映了水热条件变化。自然界许多地理、地质因素参与这一过程,影响和决定冻土的形成与发展,其中气候就是重要的因素之一。按土的冻结状态保持时间的长短,冻土一般又可分为短时冻土、季节冻土和多年冻土三种类型^[2,3]。周幼吾等对我国多年冻土的基本特征和发育的地带性、区域性规律已有深入研究,根据决定多年冻土发育的主导条件,纬度地带性和高度地带性,将我国多年冻土划分出高纬度多年冻土和高海拔多年冻土两种类型。现代多年冻土约占全球陆地面积的25%。在我国多年冻土主要分布在东北、西部高山和青藏高原,多年冻土的面积约为 $2.15 \times 10^6 \text{ km}^2$,占国土面积的22.3%,季节冻土则遍布大部国土^[2-4]。

我国东北地区多年冻土分布区大致位于北纬 $46^{\circ}30'$ 以北,包括大兴安岭针叶林区、小兴安岭针阔混交林区、松嫩平原北部森林草原区及呼伦贝尔—锡林郭勒高原干草原区北部。气候上属于我国最寒冷的寒温带和中温带的北部。多年冻土南界西段在呼伦贝尔高原,新巴尔虎右旗—阿尔山南端一线,位于年平均气温 0°C 等值线北侧;中段沿五叉沟—巴林—嫩江南一线,大致与年平均气温 0°C 等值线相吻合;东段则围绕小兴安岭南端向南弯曲,位于年平均气温 $0 \sim 1^{\circ}\text{C}$ 等值线间。

西部高山和青藏高原冻土区多年冻土主要分布在阿尔泰山、天山、祁连山与青藏高原上,其分布下界主要受海拔高度所控制,同时具有明显的纬度地带性变化,多年冻土界线上年平均气温 $\leq -2^{\circ}\text{C}$ 。从整个西部高山高原冻土区看,由阿尔泰山至喜马拉雅山,下界高度南北相差3000m左右^[5,6]。

关于高海拔多年冻土分布下界、规律,及其与气温、经纬度和雪线的关系,程国栋等、徐学祖等和邱国庆等进行过探讨,并给出了数学模式和统计公式^[7-10]。邱国庆等根据天山地区15个气象站的资料统计计算,多年冻土下界处年平均气温为 -1.83°C 。实际资料验证,天山冰川站和奎先达坂地区,多年冻土下界处(海拔3050m)的年平均气温为 -2°C ^[2]。

2 基本数据与图件

在现代气候条件下,年平均气温与多年冻土带界限有一定的相关性。多年冻土的发育与否决定于年平均温度及其年较差,据研究^[11],年平均温度(T_a)与年较差(T_{ar})的相关方程为 $T_a = 7.721 - 0.330T_{ar}$ 。年平均温度反映了各地区地表太阳辐射、热量平衡和大气环流的特点,其分布明显受到纬度、经度(海陆分布)和海拔高度的制约。一般来说,年平均地表温度 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 是多年冻土形成与保存的必要条件。

在自然带谱上,多年冻土的最低或最南分界线为多年冻土线。由于多年冻土主要受温度及其年分配的影响,受降水等气候因子及植被、岩性等因素的影响相对较小,因而气候冻土线在一时一地的高程是相对稳定的。一般可分别以岛冰和连续多年冻土带的南界或下界来代表。在我国东北,多年冻土区南界以年平均温度 0°C 等值线的轴线在 $0 \sim \pm 1^{\circ}\text{C}$ 之间摆动^[12]。在西部高山、高原,多年冻土带下界大致与年平均气温 -2°C 等值线相当^[2]。秦岭的多年冻土线年均温接近或略低于 0°C 。总的说来,西部高原和高山地区由于气温年较差大多偏小,因而多年冻土线的年均温要比东部地区的年均温低 2°C 左右。

根据多年冻土线自然带标志线与相关气候参数的定量关系,东部地区以年均气温 0°C 、西部地区以年平均气温 -2°C 为多年冻土发育的基本条件。依据我国104个气候台站的气象数据,结合现代多年冻土分布高程,计算出年平均温度、年较差和多年冻土线理论海拔高度列于表1,进而编制出中国现代多年冻土线高程等值线图(图1)。

表1 中国气候多年冻土线与气候雪线高程及气候参数

Table 1 Altitudes of the limit of permafrost and climatic snowline and major climatic parameters in China

序号	气象站	多年冻土线					气候雪线*					雪线-冻土线高差与温度差	
		温度(°C)				高程 (m)	温度(°C)				高程 (m)	年均温差 (°C)	高差 (m)
		1月	7月	年均温	年较差		1月	7月	年均温	年较差			
1	海拉尔	-27.3	19.4	-2.2	46.7	612.9	-25.5	5.8	-10.6	31.3	2900	-8.4	约2300
2	嫩江	-20.7	16.3	-2.0	37.0	1200	-25.7	5.4	-11.6	31.1	3000	-9.6	1800
3	阿勒泰	-14.9	9.6	-2.7	24.5	2600	-17.3	5.2	-6.9	22.5	3200	-4.2	600
4	塔城	-12.3	7.9	-2.8	20.2	2800	-15.6	3.7	-6.2	19.3	3400	-3.4	600
5	哈尔滨	-19.7	15.3	-2.0	35.0	1500	-25.6	5.4	-10.6	31.0	3200	-8.8	1700
6	克拉玛依	-12.5	7.0	-3.0	19.5	3000	-16.0	2.7	-6.7	18.7	3600	-3.7	600
7	北塔山	-13.8	8.4	-3.0	22.2	2800	-18.6	1.6	-8.7	20.2	3800	-5.9	1000
8	伊宁	-12.5	6.7	-2.8	18.2	3200	-15.2	3.9	-5.4	19.1	3600	-2.6	400
9	乌鲁木齐	-13.1	7.0	-3.1	20.1	3200	-17.2	2.2	-7.6	19.4	3900	-4.5	700
10	长春	-19.2	14.4	-2.0	33.6	1800	-25.1	5.4	-10.4	30.6	3400	-8.4	1600
11	锡林浩特	-18.9	14.0	-2.2	32.9	2200	-24.1	5.3	-9.6	29.4	3500	-7.4	1300
12	二连浩特	-17.5	12.5	-2.2	30.0	2500	-21.3	5.2	-8.6	26.5	3400	-6.4	900
13	通辽	-18.5	13.8	-2.2	32.3	2100	-24.3	5.3	-9.8	29.6	3500	-7.6	1400
14	延吉	-19.3	14.0	-2.0	33.3	1800	-24.3	6.0	-9.6	30.3	3300	-7.6	1500
15	哈密	-14.8	8.5	-2.9	23.3	3300	-19.5	1.6	-8.6	21.1	4200	-5.7	900
16	赤峰	-17.1	12.6	-2.3	29.7	2400	-23.2	5.1	-9.2	28.3	3600	-6.9	1200
17	老东庙	-15.5	9.5	-2.9	25.0	3300	-20.6	1.9	-9.6	22.5	4300	-6.7	1000
18	沈阳	-18.3	12.8	-2.3	31.1	2200	-23.9	5.1	-9.6	29.0	3600	-7.3	1400
19	库尔勒	-14.0	6.1	-3.2	20.1	3700	-18.2	0.5	-8.5	18.7	4400	-5.3	700
20	哈日奥日布格	-15.7	9.4	-2.8	25.1	3300	-21.6	0.8	-9.6	22.4	4400	-6.6	1100
21	库车	-13.2	7.1	-2.9	20.3	3700	-18.1	0.7	-8.6	18.8	4500	-5.7	800
22	临江	-19.6	13.2	-2.4	32.8	2000	-23.9	5.1	-9.4	29.0	3600	-7.0	1600
23	野马街	-14.3	8.9	-2.7	23.2	3400	-19.0	1.9	-8.5	20.9	4300	-5.8	900
24	呼和浩特	-16.7	11.3	-2.4	28.0	2800	-20.5	5.4	-7.6	25.9	3700	-5.2	900
25	巴彦高勒	-15.5	10.1	-2.6	25.6	3200	-20.3	2.9	-8.7	23.2	4200	-6.1	1000
26	敦煌	-13.8	8.6	-2.5	22.4	3700	-19.3	1.5	-8.9	20.8	4600	-6.4	900
27	东胜	-17.1	7.6	-2.7	24.7	3500	-20.2	3.1	-6.8	23.3	4200	-4.1	700
28	北京	-16.1	11.3	-2.5	27.3	2700	-20.9	4.6	-8.2	25.5	3800	-5.7	1100
29	酒泉	-14.0	8.6	-2.7	22.6	3600	-18.5	2.5	-7.9	21.0	4400	-5.2	800
30	喀什	-12.6	6.7	-3.0	19.3	4000	-19.2	-0.8	-10.1	18.4	5000	-7.1	1000
31	若羌	-13.0	6.8	-2.9	19.8	4000	-20.4	-1.1	-10.7	19.3	5100	-7.8	1100
32	张掖	-14.0	8.3	-2.7	22.3	3600	-18.2	2.6	-7.7	20.8	4400	-5.0	800
33	冷湖	-14.4	8.2	-2.8	22.6	3900	-22.4	-1.4	-11.9	21.0	5200	-9.1	1300
34	大连	-17.1	9.4	-2.3	26.5	3100	-20.8	5.2	-6.2	26.0	3900	-3.9	800

续表 1

序号	气象台站	多年冻土线					气候雪线*					雪线-冻土线高差与温度差	
		温度(°C)				高程 (m)	温度(°C)				高程 (m)	年均温差 (°C)	高差 (m)
		1月	7月	年均温	年较差		1月	7月	年均温	年较差			
35	民勤	-14.3	8.8	-2.6	23.1	3600	-18.5	2.4	-8.1	20.9	4500	-5.5	900
36	银川	-14.3	9.0	-2.7	23.3	3500	-18.2	3.5	-7.4	21.7	4300	-4.7	800
37	茫崖	-13.3	7.8	-2.8	21.1	3800	-21.0	-2.8	-12.1	18.2	5200	-9.3	1400
38	太原	-14.8	8.9	-2.9	23.7	3300	-18.1	4.7	-6.7	22.8	4000	-3.8	700
39	和田	-11.7	5.3	-3.2	16.9	4300	-19.9	-2.2	-11.1	17.7	5400	-7.9	1100
40	邢台	-14.7	9.2	-2.5	23.9	3200	-18.8	4.5	-6.9	23.3	4000	-4.4	800
41	西宁	-13.3	6.6	-3.1	19.9	4000	-15.1	3.5	-6.2	18.6	4500	-3.9	500
42	济南	-14.9	9.4	-2.8	24.3	3400	-18.7	5.9	-6.9	24.6	4200	-4.1	800
43	延安	-14.1	7.9	-3.0	22.0	3600	-17.2	3.8	-6.7	21.0	4300	-3.7	700
44	都兰	-13.7	8.2	-2.7	21.9	4200	-18.9	2.2	-8.3	21.1	5000	-5.5	800
45	格尔木	-13.2	7.3	-2.9	20.5	4300	-18.1	2.3	-8.0	20.4	5200	-5.1	900
46	青岛	-14.4	9.0	-2.7	23.4	3400	-17.7	5.3	-6.1	23.0	4100	-3.4	700
47	兰州	-13.0	7.2	-2.7	20.4	3900	-15.4	4.1	-5.2	19.5	4400	-2.5	500
48	平凉	-13.1	7.4	-2.8	20.5	3800	-15.9	3.5	-6.6	19.4	4500	-3.8	700
49	甘南	-12.6	6.1	-3.2	18.8	4000	-14.7	3.4	-5.7	18.1	4500	-2.5	500
50	郑州	-13.5	7.8	-2.8	21.3	3800	-16.5	4.5	-5.9	21.0	4400	-3.1	600
51	西安	-13.2	6.8	-3.1	20.0	4000	-15.7	3.5	-6.0	19.2	4600	-2.9	600
52	徐州	-13.7	8.0	-2.9	21.7	3800	-16.5	4.8	-5.8	21.3	4400	-2.9	600
53	吉迈	-13.2	6.0	-2.7	19.2	4300	-16.2	2.7	-6.8	18.9	4900	-4.1	600
54	射阳	-13.7	7.4	-3.0	21.1	3900	-15.1	5.8	-4.5	20.9	4200	-1.5	300
55	武都	-11.1	5.2	-3.1	16.2	4400	-13.5	3.8	-5.0	17.3	4700	-1.9	300
56	玉树	-12.2	5.7	-3.1	17.9	4700	-15.3	2.6	-6.3	17.9	5200	-3.2	500
57	汉中	-12.1	5.7	-3.1	17.8	4300	-14.5	3.8	-5.7	18.3	4700	-2.6	400
58	南阳	-11.5	6.6	-2.9	18.1	4000	-12.7	5.0	-4.3	17.7	4300	-1.4	300
59	阜阳	-13.1	6.8	-3.0	19.9	4100	-14.5	5.2	-4.4	19.7	4400	-1.4	300
60	安康	-11.9	6.4	-3.0	18.3	4200	-13.1	4.9	-4.9	18.0	4500	-1.9	300
61	南京	-12.7	6.5	-2.8	19.2	4200	-13.1	6.0	-3.3	19.1	4300	-0.5	-100
62	合肥	-13.4	6.2	-3.0	19.6	4200	-13.9	5.7	-3.5	19.6	4300	-0.5	-100
63	甘孜	-11.6	4.7	-3.1	16.3	4900	-14.0	3.4	-4.6	17.4	5100	-1.5	200
64	那曲	-15.1	7.7	-3.0	22.8	4700	-16.2	2.9	-6.5	19.1	5500	-3.4	800
65	达县	-11.2	4.8	-3.4	16.0	4600	-10.7	5.4	-2.8	16.1	4500	0.6	-100
66	昌都	-11.5	5.3	-2.8	16.8	4800	-14.9	2.3	-6.1	17.2	5300	-3.3	500
67	上海	-12.0	6.0	-2.7	18.0	4200	-11.5	6.6	-2.2	18.1	4100	0.5	-100
68	宜昌	-11.5	5.1	-3.2	16.6	4600	-10.7	6.1	-2.3	16.8	4400	0.9	-200
69	成都	-10.6	4.1	-3.3	14.7	4700	-11.7	3.0	-3.8	14.7	4800	-0.5	100

续表1

序号	气象台站	多年冻土线					气候雪线 [*]					雪线-冻土线高差与温度差	
		温度(°C)				高程 (m)	温度(°C)				高程 (m)	年均温差 (°C)	高差 (m)
		1月	7月	年均温	年较差		1月	7月	年均温	年较差			
70	武汉	-11.3	5.1	-3.1	16.4	4500	-10.9	6.2	-2.1	17.1	4300	1.0	-200
71	恩施	-11.1	4.0	-3.1	15.1	4700	-9.8	5.6	-1.9	15.4	4400	1.2	-300
72	拉萨	-10.2	4.4	-2.7	14.6	5300	-12.4	2.6	-4.9	15.0	5600	-2.2	300
73	重庆	-10.7	4.2	-3.5	14.9	4900	-9.0	5.7	-1.9	14.7	4600	1.6	-300
74	霁县	-10.8	3.5	-3.3	14.3	4800	-18.4	6.7	-0.5	15.1	4200	2.8	-600
75	宜宾	-9.3	4.0	-3.6	13.3	4900	-8.3	5.0	-2.5	13.3	4700	1.1	-200
76	南昌	-10.5	3.6	-3.1	14.1	4800	-8.4	6.3	-0.8	14.7	4300	2.3	-500
77	定日	-12.8	6.5	-3.0	19.3	4900	-15.3	0.1	-8.1	15.4	5800	-5.1	900
78	长沙	-9.9	3.3	-3.1	13.2	4900	-7.9	5.9	-0.8	13.8	4400	2.3	-500
79	西昌	-9.9	2.9	-3.6	12.8	5100	-7.6	4.9	-1.3	12.5	4700	2.3	-400
80	芷江	-9.5	2.9	-3.2	12.4	5000	-7.4	5.0	-1.1	12.4	4600	2.1	-400
81	邵武	-9.7	2.4	-3.2	12.1	4900	-7.2	5.2	-0.5	12.4	4400	2.7	-500
82	丽江	-9.6	2.2	-3.6	11.8	5100	-7.6	4.2	-1.6	11.8	4700	2.0	-400
83	威宁	-8.8	2.3	-3.3	11.1	5100	-7.2	3.9	-1.8	11.1	4800	1.5	-300
84	贵阳	-8.8	1.7	-3.5	10.5	5200	-6.8	3.9	-1.3	10.7	4800	2.2	-400
85	福州	-9.0	1.1	-3.6	10.1	5100	-6.2	4.5	-0.5	10.7	4500	3.1	-600
86	赣州	-8.7	1.3	-3.5	10.0	5200	-5.8	4.6	-0.4	10.4	4600	3.1	-600
87	郴县	-9.0	1.5	-3.4	10.5	5200	-6.4	4.1	-0.8	10.5	4700	2.6	-500
88	桂林	-7.9	1.6	-3.2	9.5	5200	-5.5	4.3	-0.5	9.9	4700	2.7	-500
89	腾冲	-7.8	1.9	-3.3	9.7	5200	-6.6	3.9	-1.3	10.5	4800	2.0	-400
90	桃园	-8.3	0.6	-3.3	8.9	5000	-6.2	3.4	-0.8	9.6	4500	2.5	-500
91	昆明	-7.3	1.4	-3.6	8.7	5300	-6.6	2.9	-1.7	9.5	5000	1.9	-300
92	厦门	-6.3	0.0	-3.5	6.3	5300	-4.8	3.3	-0.4	8.1	4700	3.1	-600
93	百色	-7.1	0.1	-3.7	7.2	5500	-5.2	2.1	-1.6	7.3	5100	2.1	-400
94	梧州	-6.6	0.0	-3.8	6.6	5400	-4.7	2.7	-0.9	7.4	4900	2.2	-500
95	汕头	-6.8	-1.0	-3.8	5.8	5500	-4.4	2.4	-0.7	6.8	4900	3.1	-600
96	广州	-6.9	-0.6	-3.7	6.3	5500	-4.4	2.6	-0.6	7.0	4900	3.1	-600
97	南宁	-6.4	-0.2	-3.4	6.2	5500	-4.3	2.5	-0.7	6.8	5000	2.7	-500
98	思茅	-6.3	-0.2	-3.5	6.1	5500	-4.2	2.8	-0.5	7.0	4900	2.0	-600
99	河口	-6.0	-0.8	-3.7	5.2	5600	-3.9	2.3	-0.6	6.2	5000	3.1	-600
100	东港	-5.8	-1.8	-3.7	4.0	5300	-3.8	1.6	-0.6	5.4	4700	3.1	-600
101	香港	-5.8	-1.2	-3.6	4.6	5300	-4.7	1.6	-0.9	6.3	4800	2.9	-500
102	阳江	-5.8	-0.9	-3.5	4.9	5500	-4.0	2.4	-0.4	6.4	4900	3.1	-600
103	海口	-5.1	-2.3	-3.6	2.8	5700	-2.7	1.1	-0.5	3.8	5100	3.1	-600
104	西沙	-4.2	-3.1	-3.7	1.1	5800	-2.7	0.2	-0.5	2.9	5200	3.2	-600

*气候雪线的数据详见参考文献[1]。

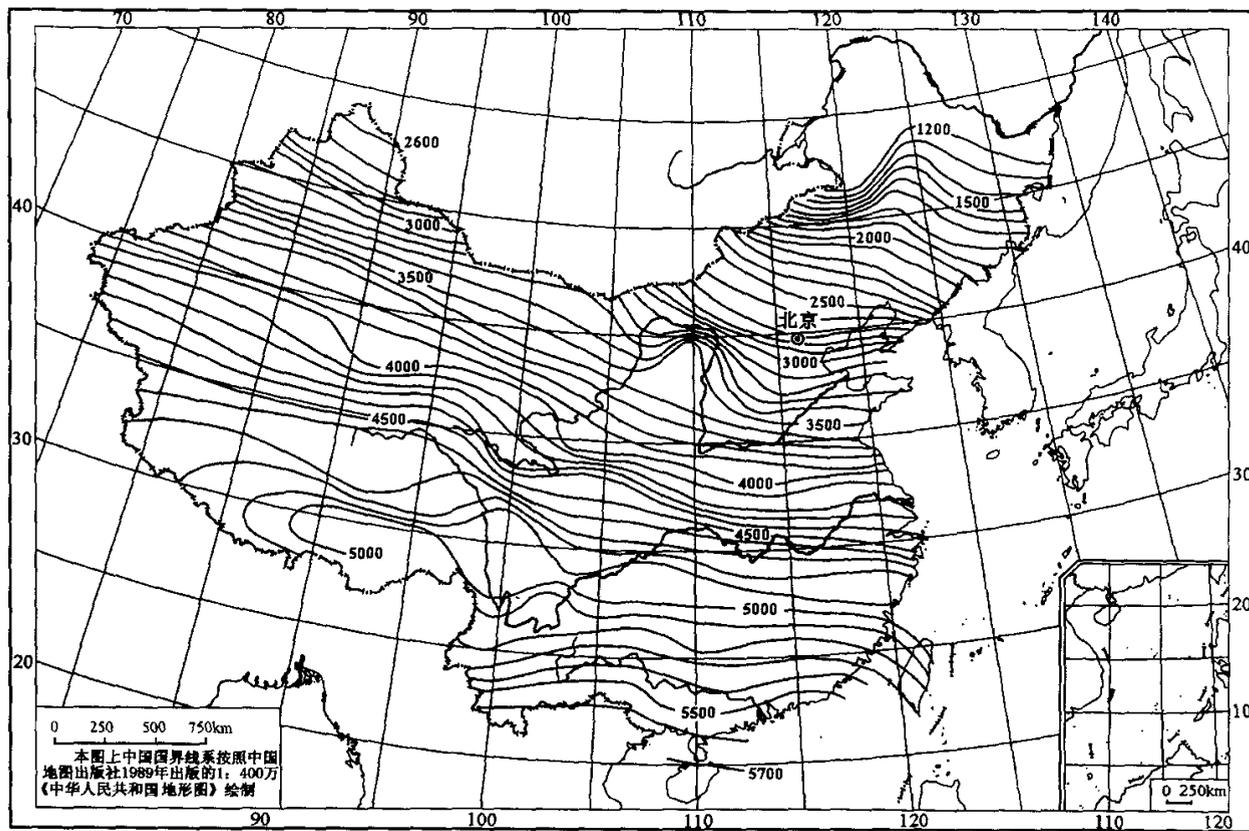


图1 中国现代气候多年冻土线高程等值线图

Fig.1 Altitude isolines of the limif of permatrost in China

3 多年冻土线空间分布特征

分析图1中多年冻土线的空间展布, 显示如下特征:

多年冻土线高程明显受纬度地带性控制, 自北向南海拔高度逐渐增大, 且东西方向多年冻土线的时空变化, 在不同纬度有不同的表现。东部地区的多年冻土线高程从东北北部的 < 1200m, 至沈阳 2200m、北京 2700m、南京 4200m、福州 5100m, 海口附近则升到 5700m, 明显具纬度地带性特色。西北地区的多年冻土高程从阿尔泰山的 2600m, 至昆仑山增至 4500m 左右, 要比东部同纬度的冻土线高出 1400 ~ 800m。其原因可能是西北地区气温年较差及其直减率均比东部偏高, 随着气候大陆度的增加, 多年冻土线的高程亦在增加。青藏高原的理论多年冻土线高程基本上稳定为 4500 ~ 5000m, 与高原的平均高度相近, 高原已进入了冰冻圈。

我国境内多年冻土线的空间分布格局, 不仅东、西方向, 而且南、北之间均存在差异, 不能直接对比。它的分布格局同时受水平(纬度)地带性和垂直(高度)地带性的控制。

4 多年冻土线与气候雪线的关系

多年冻土线与气候雪线等自然带标志线的空间分布受不同的地理与气候因素影响, 它们的高程有明显差异。在研究我国多年冻土线和气候雪线高程分布特征^[1](图2)的基础上, 根据它们之间的高差(表1)编制了气候雪线与多年冻土线高差等值线图(图3), 以探讨其相互关系与影响。

气候雪线与多年冻土线 0m 高差等值线大致沿墨脱—巴塘—成都—南京一线近东西向分布。由 0m 等值线向北, 气候雪线高程均高于多年冻土线。西部高差最大的地区位于青藏高原北部至塔里木盆地南部, 可达 1100 ~ 1400m; 最小位于伊犁谷地, 约 400m。东部地区的多年冻土线与气候雪线高差, 基本上由南向北递增, 而且愈向北高差愈大, 至大兴安岭地区为 2000m 左右, 在黑龙江北部两者的高差可达 2200m 以上。0m 等值线向南, 气候雪线高程低于多年冻土线, 南昌—九江地区约低 500m, 海口约低 600m。

雪线与冻土线高度高差的变化梯度最大的地区在黄河与长江之间的地带, 显示为密集的梯度带。其变化幅度最大处沿东经 120°线附近, 雪线与多年冻土线的高差从内蒙古海拉尔的 2300m 减至福建福州的 -600m, 南北相差 2900m。

5 认识与讨论

多年冻土的发育主要决定于辐射—热量平衡, 它通过土壤热交换来实现, 制约多年冻土线的高度和温度的年平均气温和年较差, 既因黄赤交角的变化而变, 又与地球磁场强度的变化有关, 并随大气环流和季风气候的强弱和迁移而异。多年冻土线的时空分布主要反映 10³ ~ 10⁴ 年尺度的古气候变化, 根据标志性的冰缘现象和多年冻土线的移动重建古气候是可靠的, 但需要有年代标尺和空间位置才能进行对比分析。

由于我国东、西部地区年平均气温与大陆度等气候要素的差异, 致使多年冻土线和气候雪线的高程存在较大差异。对一个地区气候雪线和冻土线高度的确定, 不能据另一地区的气

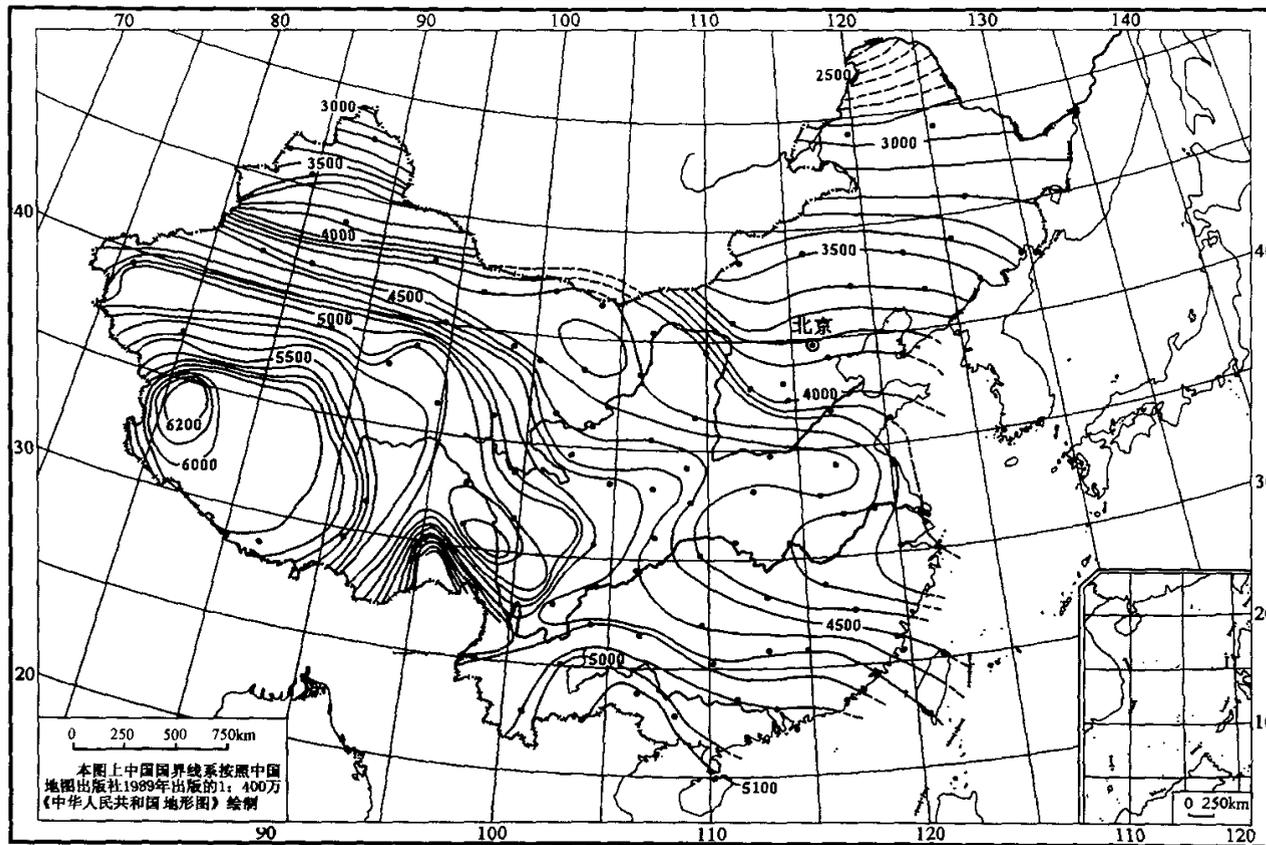


图2 中国现代气候雪线高程等值线图^[1]

Fig.2 Altitude isolines of the modern climatic snowline in China

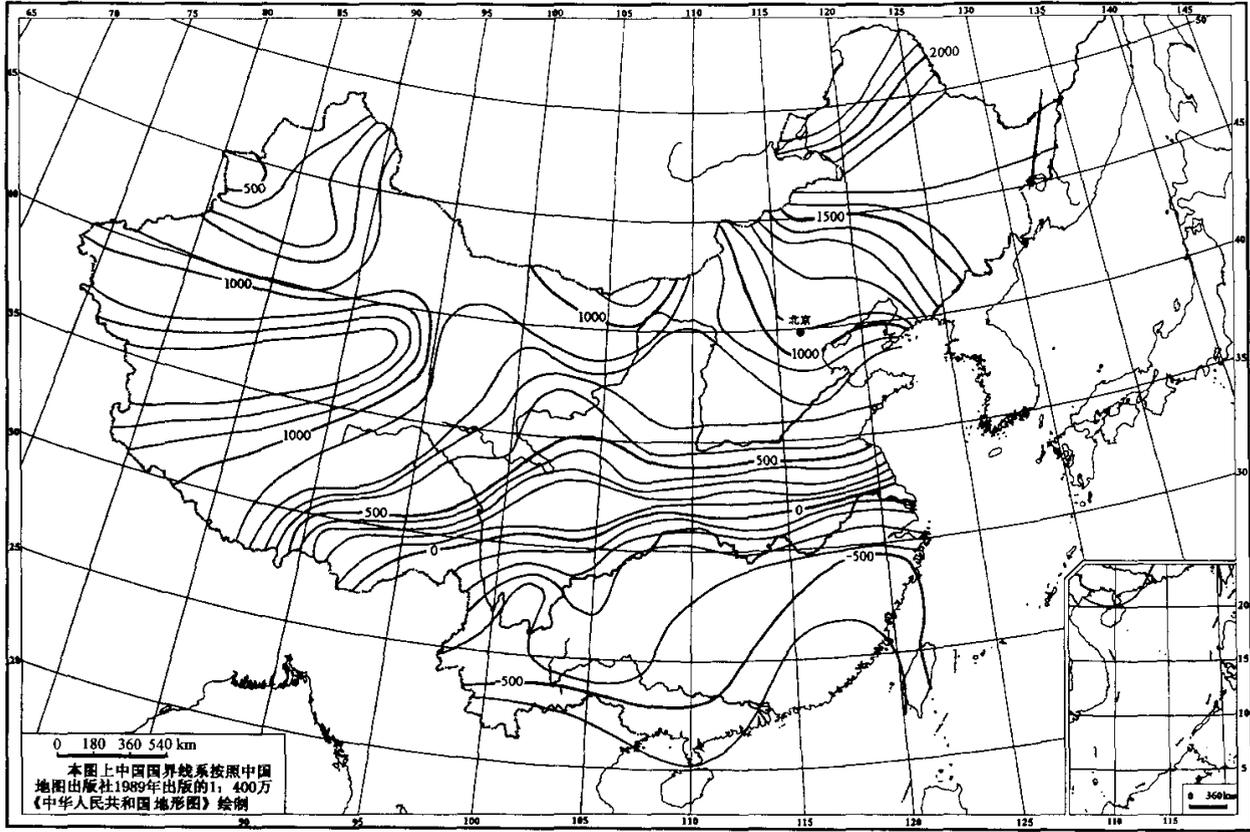


图3 中国现代气候雪线与多年冻土线高差等值线图

Fig.3 Isolines of height difference between the modern climatic snowlines with the limits of permafrost in China

候指标来推定，尚需综合考虑。
多年冻土线和气候雪线分布格局的空间结构关系和特征，综合体现了在现今中国大陆地

势、地形、地貌背景上季风与非季风区的气候对自然生态环境的不同影响,为定量理解过去全球或区域气候变化对不同地区乃至不同地点生态环境的影响提供了认识依据。

参 考 文 献

- [1] 蒋复初, 吴锡浩, 王书兵, 等. 中国气候雪线空间分布特征 [J]. 地质力学学报, 2002, 8 (4): 289~296.
- [2] 周幼吾, 郭东信, 邱国庆, 等. 中国冻土 [M]. 北京: 科学出版社, 2000. 37~62.
- [3] 中国科学院《中国自然地理》编委会. 中国自然地理(地貌) [M]. 北京: 科学出版社, 255~300.
- [4] 施雅风主编. 中国冰雪冻土图 [M]. 北京: 地图出版社, 1988.
- [5] 周幼吾, 郭东信. 我国多年冻土的主要特征 [J]. 冰川冻土, 1982, 4 (1): 1~19.
- [6] 程国栋. 我国高海拔多年冻土地带性规律之探讨 [J]. 地理学报, 1984, 39 (2): 185~191.
- [7] 程国栋, 王绍令. 试论中国高海拔多年冻土带的划分 [J]. 冰川冻土, 1982, 4 (2): 1~17.
- [8] 徐学祖, 王家澄. 中国冻土分布及其地带性规律的初步探讨 [A]. 中国土木工程学会第二届全国冻土学术会议论文选集 [C]. 兰州: 甘肃人民出版社, 1983. 3~12.
- [9] 邱国庆, 程国栋. 中国的多年冻土—过去与现在 [J]. 第四纪研究, 1995, (1): 13~23.
- [10] Qiu Guoqing. Development condition of alpine permafrost in the Mt. Tian Shan, China [A]. In: Proceedings of the Sixth International Conference on Permafrost [C]. Beijing, 5~9, July 1993. Guangzhou: South China University of Technology Press, (1): 533~538.
- [11] 吴锡浩, 赵文龙. 固态降水率及其与气候雪线的关系 [A]. 第四纪冰川与第四纪地质文集(五) [C]. 北京: 地质出版社, 1988. 174~182.
- [12] 鲁国威, 翁炳林, 郭东信. 中国东北部多年冻土的地理南界 [J]. 冰川冻土, 1993, 15 (2): 214~218.

BASIC FEATURES OF SPATIAL DISTRIBUTION OF THE LIMITS OF PERMAFROST IN CHINA

JIANG Fu-chu^{1,2}, WU Xi-hao^{1,2*}, WANG Shu-bing^{1,2}, ZHAO Zhi-zhong¹, FU Jian-li¹

(1. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081;

2. State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710075)

Abstract: In this paper, according to the correlation between the permafrost and climatic elements, combined with distribution of the modern permafrost in China, the annual mean temperature, annual temperature range and heights of the limit of permafrost have been calculated and studied on the basis of the meteorological data obtained from 104 weather stations in China. The altitudes of spatial distribution of the limits of permafrost are obviously controlled by changes in altitude and latitude, and increase from north to south. The limit of permafrost in eastern China rises from < 1200 m in Northeast China to 5700 m in the Haikou area, Hainan; that in northwestern China rises from 2600 m in the Altay Mountains to 4500 m in the Kunlun Mountains, being 1400-800 m higher than that at the same latitudes in eastern China. The heights of the limit of permafrost are essentially maintained at 4500-5000 m on the Qinghai-Tibet Plateau. Lastly, the relations between the climatic limit of permafrost and modern climatic snowline are discussed.

Key words: limit of permafrost; climatic snowline; features of spatial distribution

* Deceased.