

文章编号：1006-6616 (2002) 04-0289-08

中国气候雪线空间分布特征

蒋复初^{1, 2}, 吴锡浩^{1, 2}, 王书兵^{1, 2}, 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：气候雪线的空间分布规律既受高度地带性和纬度地带性限制，也受区域性气候的控制。雪线空间格局变化实质上是水热条件变化的反映。本文主要依据我国106个气象站的气象资料，从年均温、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，进而探讨中国大陆气候雪线的空间分布特征。

关键词：气候雪线；年均温；年降水量；固态降水率

中图分类号：P532

文献标识码：A

雪线与森林线、高度多年冻土下界线（冰缘线）和山地寒漠土上界线（土壤线）等同为重要的自然地理要素。雪线是气候的产物，雪线高程受纬度地带性（温度）、垂直地带性（温度和降水）和地方性气候（主要是降水）的多重性控制。从雪线全球性空间分布分析，雪线高度与纬度的关系甚为密切^[1]。雪线空间分布实质上是水热条件纬度地带性变化的反映^[2]。在我国，由于地形复杂，气候的东西方向存在十分明显的差异^[3]，尤其是青藏高原的存在，使得现代地形雪线在青藏高原地区呈环状分布^[4]，改变或破坏了雪线的纬度地带性分布规律。因此，在无地形雪线的地区，气候雪线如何分布就成为一个值得研究的课题。本文主要依据气象资料研究我国理论气候雪线的空间分布特征。

1 研究依据

雪线的先决条件是温度年均温低于0℃。年均温在0℃以上的变化，主要决定于当地的降水量。一般情况下，温度与海拔高度成反比关系，随着高度的增大，大气温度随之降低。气候雪线的高程除和纬度密切相关外，还与该区的年均温、年降水量和固态降水率（降雪率）密切相关。决定降水中是降雨还是降雪的主要条件是大气温度，据研究，月固态降水率与月均温的相关关系式^[5]：

$$P_{sm} = \frac{101}{1 + 0.141e^{0.452T_m}} \quad (1)$$

式中： P_{sm} 为月固态降水率， T_m 为月均温， e 为常数（ e 指数）。

收稿日期：2002-08-20

基金项目：国家重点基础研究发展规划项目（编号：G1999043401），国土资源部基础研究项目（编号：991005）

作者简介：蒋复初（1949-），男，研究员，从事第四纪地质与环境研究。

据我国西部地区的气候雪线的温度和降水资料研究表明,在理论上雪线年均温(T_a)与年降水量(P_a)、年均温(T_a)与年固态降水率(P_{sa})以及年均温(T_a)与年降雪量(S_a)之间的相关关系可分别用下列回归方程表示^[5]:

$$T_a = -9.22 + 0.00407 P_a \quad (2)$$

$$T_a = 16.2 - 0.269 P_{sa} \quad (3)$$

$$T_a = -9.67 + 0.00604 S_a \quad (4)$$

雪线分布与年均温低于 0°C 、足够的年降水量和年降水中有足够的降雪量这3个基本条件有关。降雪量 $S_a = P_a \times P_{sa}$,代入(4)式,因此气候雪线水热因子中3个气候因子的函数关系又可用下列线性回归方程表示:

$$T_a = -9.67 + 0.00604 P_a \times P_{sa} \quad (5)$$

从理论上, $T_a \leq 0^\circ\text{C}$, $P_a \geq 50\text{mm}$, $P_{sa} \geq 60\%$ 是雪线成立的3个必要条件。当山峰高于气候雪线而出现多年积雪时,雪层的积累-消融平衡主要决定于夏季温度,尤其是7月的平均温度。我国以藏东南波密地区气候雪线的7月均温最高,约 7.4°C ,我们以 $T_7 < 7^\circ\text{C}$ 作为气候雪线存在的附加条件。雪线气候因子的3个必要条件和1个附加条件作为雪线存在的保证条件。即某一地区只有在全部满足这4个条件的高度上才可能形成雪线。

上述5个方程虽然是据我国西部地区的气候雪线的温度和降水资料获得的,但因其中 T_a 、 P_a 和 P_{sa} 随地区间气温年较差、大气环流特征和季风气候类型等的变化而变化,从而具有普遍意义。所以,用方程(5)并配合4个保证条件,可用来确定气候雪线的年均温和高度。

2 高程计算

据我国106个气象台站的高空和地面气候资料,利用上述5个关系式,进行逐个气象台站气候雪线理论高程的计算。其步骤如下:

第一步,按100m的垂直间距,分别计算出各气象台站不同高度的月均温和年均温。

第二步,根据年平均温度与年降水量的方程(2),结合不同地区降水的垂直变化和最大降水高度,分别计算出不同高度可能的最小年降水量。

第三步,按地面台站的月降水量和年降水量据方程(1)分别计算出各月降水率和月均温,再据方程(3)分别计算出不同高度的月固态降水值和年固态降水率。

第四步,根据方程(5)并充分考虑4个保证条件,分别确定能同时满足这4个气候因子条件的年均温和高度,即是气候雪线的年均温和海拔高程。为使气候雪线能优化成立,将其保证条件提高为: $T_a \leq -0.5^\circ\text{C}$, $T_7 \leq 7^\circ\text{C}$, $P_a \geq 50\text{mm}$, $P_{sa} \geq 65\%$ 。

计算的气候参数和理论雪线高程列于表1中。

在进行上述计算的过程中,发现我国的气候雪线水热平衡条件存在3种类型。

类型I:当 $P_{sa} \leq 65\%$ 和 $T_7 < 7^\circ\text{C}$ 时,可按方程(3)确定气候雪线的年均温及其对应的高程,主要分布于我国南部。

类型II:当 T_a 和 P_{sa} 符合式(3)的函数关系时,已有 $T_7 \leq 7^\circ\text{C}$ 的地点,按方程(5)确定气候雪线的年均温及其对应的高程;若 T_a 、 P_a 和 P_{sa} 能满足式(5)时, $T_7 \leq 7^\circ\text{C}$,则按 $T_7 \leq 7^\circ\text{C}$ 的年均温和高程修正,包括了我国西部现代雪线分布区和东部的中部地区。

表 1 中国气候雪线高程与气候参数表

Table 1 Altitudes of the climatic snowline and the major climatic parameters

序号	气象台站	纬度	经度	地面高程/m	平均温度/°C				年降水量 /mm	固态降水率(%)	雪线高程 /m
					1月均温	7月均温	年均温	年较差			
1	海拉尔	49°13'	119°45'	612.9	-25.5	5.8	-10.6	31.3	< 50	65.0	2900
2	嫩江	49°10'	125°13'	222.3	-25.7	5.4	-11.6	31.1	< 50	67.4	3000
3	阿勒泰	47°44'	88°05'	735.1	-17.3	5.2	-6.9	22.5	600	83.3	3200
4	塔城	46°44'	83°00'	548	-15.6	3.7	-6.2	19.3	600	89.2	3400
5	哈尔滨	45°41'	126°37'	171.1	-25.6	5.4	-10.6	31.0	< 50	65.0	3200
6	克拉玛依	45°36'	81°51'	427	-16.0	2.7	-6.7	18.7	600	79.0	3600
7	北塔山	45°22'	90°32'	1650.1	-18.6	1.6	-8.7	20.2	200	90.1	3800
8	伊宁	43°57'	81°20'	662.5	-15.2	3.9	-5.4	19.1	800	88.2	3600
9	长春	43°54'	125°13'	236.8	-25.1	5.4	-10.4	30.6	< 50	64.5	3400
10	乌鲁木齐	43°54'	87°28'	653.5	-17.2	2.2	-7.6	19.4	400	92.9	3900
11	锡林浩特	43°51'	116°05'	989.5	-24.1	5.3	-9.6	29.4	< 50	68.2	3500
12	二连浩特	43°39'	112°00'	964.8	-21.3	5.2	-8.6	26.5	300	65.7	3400
13	通辽	43°36'	122°16'	178.5	-24.3	5.3	-9.8	29.6	< 50	64.7	3500
14	延吉	42°53'	129°28'	176.8	-24.3	6.0	-9.6	30.3	< 50	66.6	3300
15	哈密	42°49'	93°31'	737.9	-19.5	1.6	-8.6	21.1	200	90.1	4200
16	赤峰	42°16'	118°58'	571.1	-23.2	5.1	-9.2	28.3	100	67.3	3600
17	老东庙	42°13'	101°22'	935.5	-20.6	1.9	-9.6	22.5	< 50	88.7	4300
18	沈阳	41°46'	123°26'	41.6	-23.9	5.1	-9.6	29.0	< 50	68.7	3600
19	库尔勒	41°45'	86°08'	931.5	-18.2	0.5	-8.5	18.7	200	93.3	4400
20	库车	41°43'	82°57'	1099	-18.1	0.7	-8.6	18.8	200	94.0	4500
21	哈日奥日布格	41°43'	104°00'	953.5	-21.6	0.8	-9.6	22.4	< 50	89.3	4400
22	临江	41°43'	126°55'	332.5	-23.9	5.1	-9.4	29.0	< 50	67.1	3600
23	野马街	41°38'	96°53'	1962.7	-19.0	1.9	-8.5	20.9	200	83.4	4300
24	呼和浩特	40°49'	111°41'	1063.3	-20.5	5.4	-7.6	25.9	500	65.0	3700
25	巴彦高勒	40°20'	107°00'	1055.1	-20.3	2.9	-8.7	23.2	200	80.2	4200
26	敦煌	40°08'	94°47'	1138.7	-19.3	1.5	-8.9	20.8	100	89.9	4600
27	东胜	39°50'	109°59'	1460.4	-20.2	3.1	-6.8	23.3	600	79.9	4200
28	北京	39°48'	116°28'	31.2	-20.9	4.6	-8.2	25.5	400	67.5	3800
29	酒泉	39°46'	98°31'	1477.2	-18.5	2.5	-7.9	21.0	300	87.4	4400
30	喀什	39°28'	75°59'	1288.7	-19.2	-0.8	-10.1	18.4	< 50	98.0	5000
31	若羌	39°02'	88°10'	888.3	-20.4	-1.1	-10.7	19.3	< 50	96.4	5100

续表 1

序号	气象台站	纬度	经度	地面高程/m	平均温度/°C				年降水量/mm	固态降水率(%)	雪线高程/m
					1月均温	7月均温	年均温	年较差			
32	张掖	38°56'	100°35'	1482.7	-18.2	2.6	-7.7	20.8	400	85.2	4400
33	冷湖	38°50'	93°23'	2733	-22.4	-1.4	-11.9	21.0	< 50	97.5	5200
34	大连	38°48'	121°13'	15.6	-20.8	5.2	-6.2	26.0	800	68.3	3900
35	民勤	38°43'	103°06'	1367	-18.5	2.4	-8.1	20.9	300	86.6	4500
36	银川	38°31'	106°16'	1111.5	-18.2	3.5	-7.4	21.7	500	80.0	4300
37	茫崖	38°22'	90°09'	3138.5	-21.0	-2.8	-12.1	18.2	< 50	98.8	5200
38	太原	37°47'	112°33'	777.9	-18.1	4.7	-6.7	22.8	700	72.2	4000
39	和田	37°08'	79°56'	1374.6	-19.9	-2.2	-11.1	17.7	< 50	99.1	5400
40	邢台	37°04'	114°30'	76.8	-18.8	4.5	-6.9	23.3	700	67.1	4000
41	西宁	36°45'	101°38'	2296.2	-15.1	3.5	-6.2	18.6	700	82.0	4500
42	济南	36°41'	116°59'	53	-18.7	5.9	-6.9	24.6	700	65.5	4200
43	延安	36°36'	109°30'	957.6	-17.2	3.8	-6.7	21.0	600	79.4	4300
44	都兰	36°20'	98°02'	3191.1	-18.9	2.2	-8.3	21.1	300	89.0	5000
45	格尔木	36°12'	94°38'	2806.1	-18.1	2.3	-8.0	20.4	300	88.1	5200
46	青岛	36°04'	120°19'	82.2	-17.2	5.3	-6.1	23.0	900	69.1	4100
47	兰州	36°03'	103°53'	1517.2	-15.4	4.1	-5.2	19.5	900	77.8	4400
48	平凉	35°25'	106°38'	1346.6	-15.9	3.5	-6.6	19.4	600	80.5	4500
49	甘南	34°55'	103°04'	2887	-14.7	3.4	-5.7	18.1	900	78.5	4500
50	郑州	34°43'	113°39'	110.4	-16.5	4.5	-5.9	21.0	900	70.8	4400
51	西安	34°18'	118°56'	396.9	-15.7	3.5	-6.0	19.2	700	83.1	4600
52	徐州	34°17'	117°18'	43	-16.5	4.8	-5.8	21.3	900	71.6	4400
53	吉迈	33°48'	99°48'	3967.5	-16.2	2.7	-6.8	18.9	600	85.0	4900
54	射阳	33°46'	120°15'	1.9	-15.1	5.8	-4.5	20.9	1300	65.3	4200
55	武都	33°23'	104°41'	1070.1	-13.5	3.8	-5.0	17.3	900	81.1	4700
56	玉树	33°06'	96°45'	3702.6	-15.3	2.6	-6.3	17.9	700	84.5	5200
57	汉中	33°04'	107°02'	508.3	-14.5	3.8	-5.7	18.3	800	83.0	4700
58	南阳	33°04'	112°35'	129.8	-12.7	5.0	-4.3	17.7	1200	71.1	4300
59	阜阳	32°56'	115°50'	31.2	-14.5	5.2	-4.4	19.7	1200	72.5	4400
60	安康	32°43'	109°02'	250	-13.1	4.9	-4.9	18.0	1000	78.2	4500
61	南京	32°00'	118°48'	8.9	-13.1	6.0	-3.3	19.1	1400	72.0	4300
62	合肥	31°51'	117°17'	23.6	-13.9	5.7	-3.5	19.6	1400	74.4	4300
63	甘孜	31°38'	99°59'	3393.5	-14.0	3.4	-4.6	17.4	1000	79.4	5100

续表 1

序号	气象台站	纬度	经度	地面高程/m	平均温度/°C				年降水量 /mm	固态降水率(%)	雪线高程 /m
					1月均温	7月均温	年均温	年较差			
64	那曲	31°29'	92°03'	4507	-16.2	2.9	-6.5	19.1	700	78.4	5500
65	达县	31°16'	107°28'	345	-10.7	5.4	-2.8	16.1	1500	73.9	4500
66	昌都	31°11'	96°59'	3240.7	-14.9	2.3	-6.1	17.2	700	82.7	5300
67	上海	31°10'	121°26'	4.5	-11.5	6.6	-2.2	18.1	1800	70.2	4100
68	宜昌	30°42'	111°05'	70	-10.7	6.1	-2.3	16.8	1800	68.2	4400
69	成都	30°40'	104°01'	505.9	-11.7	3.0	-3.8	14.7	1300	74.9	4800
70	武汉	30°38'	114°04'	23.3	-10.9	6.2	-2.1	17.1	1700	71.6	4300
71	恩施	30°16'	109°22'	437.2	-9.8	5.6	-1.9	15.4	1800	71.4	4400
72	拉萨	29°42'	91°08'	3658	-12.4	2.6	-4.9	15.0	1000	77.7	5600
73	重庆	29°31'	106°29'	351.1	-9.0	5.7	-1.9	14.7	1800	71.0	4300
74	波密	29°25'	95°46'	2750	-9.3	7.4	-0.9	16.7	2300	58.6	4600
75	衢县	28°58'	118°52'	66.1	-18.4	6.7	-0.5	15.1	2100	72.3	4200
76	宜宾	28°49'	104°32'	340.8	-8.3	5.0	-2.5	13.3	1700	69.2	4700
77	南昌	28°40'	115°58'	46.7	-8.4	6.3	-1.4	14.1	1900	69.2	4700
78	察隅	28°39'	97°28'	2327.6	-8.3	5.8	-0.8	14.7	2000	73.4	4300
79	定日	28°35'	86°37'	4300	-15.3	0.1	-8.1	15.4	300	91.5	5800
80	长沙	28°12'	113°04'	44.5	-7.9	5.9	-0.8	13.8	1900	75.5	4400
81	西昌	27°53'	102°18'	1590.7	-7.6	4.9	-1.3	12.5	2000	65.2	4700
82	芷江	27°27'	109°38'	266.5	-7.4	5.0	-1.1	12.4	1900	76.3	4600
83	邵武	27°20'	117°28'	191.3	-7.2	5.2	-0.5	12.4	2000	74.7	4400
84	丽江	26°52'	100°26'	2393.2	-7.6	4.2	-1.6	11.8	2000	66.1	4700
85	威宁	26°52'	104°17'	2237	-7.2	3.9	-1.8	11.1	1800	73.7	4800
86	贵阳	26°30'	106°37'	1150	-6.8	3.9	-1.3	10.7	1800	76.6	4800
87	福州	26°05'	119°17'	84	-6.2	4.5	-0.5	10.7	2100	74.0	4500
88	赣州	25°50'	114°50'	123.8	-5.8	4.6	-0.4	10.4	2000	76.8	4600
89	郴县	25°45'	112°59'	184.9	-6.4	4.1	-0.8	10.5	1800	81.2	4700
90	桂林	25°20'	110°18'	166.7	-5.5	4.3	-0.5	9.9	1900	76.9	4700
91	腾冲	25°07'	98°29'	1647.8	-6.6	3.9	-1.3	10.5	1900	72.4	4800
92	桃园	25°03'	121°13'	48	-6.2	3.4	-0.8	9.6	1800	82.2	4500
93	昆明	25°01'	102°41'	1891.4	-6.6	2.9	-1.7	9.5	1700	77.8	5000
94	厦门	24°31'	118°09'	40	-4.8	3.3	-0.4	8.1	2000	76.7	4700
95	百色	23°55'	106°32'	163	-5.2	2.1	-1.6	7.3	1600	82.2	5100

续表 1

序号	气象台站	纬度	经度	地面高程/m	平均温度/°C				年降水量/mm	固态降水率(%)	雪线高程/m
					1月均温	7月均温	年均温	年较差			
96	梧州	23°29'	111°18'	119	-4.7	2.7	-0.9	7.4	1800	81.0	4900
97	汕头	23°21'	116°40'	4	-4.4	2.4	-0.7	6.8	1800	80.1	4900
98	广州	23°08'	113°19'	6.3	-4.4	2.6	-0.6	7.0	1800	82.0	4900
99	南宁	22°49'	108°21'	75	-4.3	2.5	-0.7	6.8	1800	81.7	5000
100	思茅	22°40'	101°24'	1302.1	-4.2	2.8	-0.5	7.0	2000	76.5	4900
101	河口	22°30'	103°57'	132	-3.9	2.3	-0.6	6.2	1800	82.0	5000
102	东港	22°28'	120°20'	8	-3.8	1.6	-0.6	5.4	1700	89.3	4700
103	香港	22°19'	114°10'	66	-4.7	1.6	-0.9	6.3	1800	80.6	4800
104	阳江	21°52'	111°58'	23.3	-4.0	2.4	-0.4	6.4	1800	81.5	4900
105	海口	20°00'	110°25'	14.1	-2.7	1.1	-0.5	3.8	1800	85.4	5100
106	西沙	16°50'	112°20'	4.9	-2.7	0.2	-0.5	2.9	1700	88.5	5200

类型Ⅲ：当 T_a 、 P_a 和 P_{sa} 随高度增加而变化时，因 P_{sa} 滞后满足必要条件而不符合式 (5) 的函数关系，则按 $P_{sa} = 65\% \sim 70\%$ 确定气候雪线的年均温及其高程，包括东北全区和华北大部分地区。

3 气候雪线的空间分布特征

研究气候雪线的空间分布规律是认识我国自然环境区域性差异的一个重要方面。将 106 个气象台站上空的气候雪线调和标定在地理底图上，结合现代地形雪线分布区气候雪线高程，绘制成中国现代气候雪线高程等值线图 (图 1)。

分析图中气候雪线的空间展布，显示以下几个特征：

(1) 西部的青藏高原及其边缘地区，4800m 等值线以上的气候雪线呈环状分布，雪线的最高值 (6000m ~ 6200m) 位于藏西北的阿里地区。气候雪线高程的相对低值区分布在藏东南波密-察隅一带，雪线高程，呈一近 SN 向的槽谷。

(2) 我国东部地区的气候雪线高程自北向南逐渐增高，从 2300m 增加到 5100m，并在长江中下游地区存在一个近 EW 向展布的低值槽谷 (4200m ~ 4400m)。我国东南部与西北部比较，长江中下游的气候雪线高程与北天山和东天山的气候雪线高程相近；台湾和南岭 (4500m ~ 4700m) 与西秦岭、祁连山和南天山基本一致。

(3) 气候雪线高程东西差异显著，在北纬 35° 线上等值线的差异最大，东部最大为 4100m，西部 6200m，差异高达 2100m。沿北纬 30° 线气候雪线高程东部最大为 4100m，西部 5900m，差异亦达 1800m。

(4) 在北纬 25° 线以南和北纬 40° 线以北，气候雪线的东西差异不太明显，同纬度的气候雪线高程仅比东部高 100m ~ 300m，显示纬度地带性特征明显。

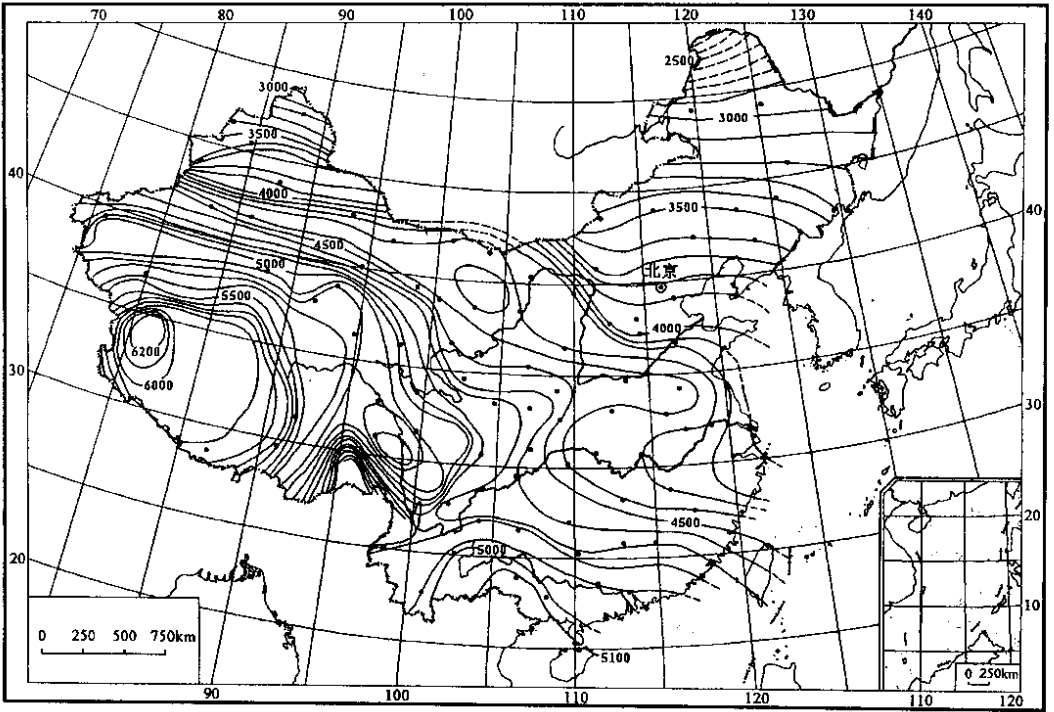


图 1 中国现代气候雪线高程等值线图

Fig.1 Altitude isoclines of the modern climatic snowline in China

4 几点认识

(1) 雪线位置的纬度决定了当地的年均温和年较差，从而对雪线的水热条件起重要的影响作用。同时雪线高度取决于降水的垂直分布、温度年较差和年分配的垂直变化，同时也对雪线气候条件起反馈作用。

(2) 影响雪线的气候条件有温度、年均温、年分配、年较差、降水、年降水量、年分配、年固态降水度、年降雪量等诸多因子。温度的年较差在很大程度上决定了温度的年分配，是一个具有主导意义的影响因子。雪线年降水量也是一个决定雪线温度和高程的重要条件，而由降水的年分配和温度的年分配相结合所决定的固态降水率则是雪线能否存在的基本因素。对无现代雪线地区气候雪线高度的确定，不能据单一或少量气候指标来推定另一地点的气候雪线高程。

(3) 我国气候雪线的空间格局与分布特征，是现今地形地貌和气候条件所决定的。在第四纪不同时期，随着构造地貌和冰期气候的演变，气候雪线的空间分布格局和特征也会随之发生变迁。青藏高原对气候的深刻影响，改变了西部地区气候雪线的高度和温度的纬度地带性变化规律。

参 考 文 献

- [1] 蒋忠信. 雪线地带性的定量分析 [J]. 冰川冻土, 1984, 6 (2): 27 ~ 36.
- [2] 牛文元. 自然地带性的理论分析 [J]. 地理学报, 1982, 35 (4): 288 ~ 297.
- [3] 吴锡浩. 环境研究中的中国大陆东西气温差异问题 [J]. 矿物岩石地球化学通讯, 1987, (4): 203 ~ 205.
- [4] 中国科学院兰州冰川冻土研究所, 施雅风主编. 中国冰雪冻土图 [M]. 北京: 地图出版社, 1988.
- [5] 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, 第五集 [C]. 北京: 地质出版社, 1988. 174 ~ 182.

CHARACTERISTICS OF SPACE DISTRIBUTION OF THE CLIMATIC SNOWLINE IN CHINA

JIANG Fu-chu^{1 2}, WU Xi-hao^{1 2}, WANG Shu-bin^{1 2}, FU Jian-li

- (1. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;*
2. *State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710075, China.*)

Abstract : The regulars of space distribution of the climatic snowline are both controlled by the changes of altitude and latitude, and by the changes of regional climate. In substance, the changes of setup of climatic snowline in space are a reflection of variations of the hydrothermal condition. According to the climatic data obtained from the 106 weather stations in China, the heights of the climatic snowline have been computed and studied on the basis of the correlatable functions between of the annual mean temperature, the annual precipitation and the rate of solid-state precipitation, and the characteristics of the climatic snowline in the space have been discussed.

Key words : climatic snowline ; annual mean temperature ; annual precipitation ; rate of solid-state precipitation