

中国西部现代雪线的趋势面分析

蒋 忠 信

(铁道部第二勘测设计院第三总队, 昆明)

关键词 趋势面分析 雪线 中国西部

雪线高度乃地表水热条件综合作用的结果, 既显示水平地带性规律, 又因海陆分布和地势起伏而呈现非地带性变化^[1]。本文以中国西部山地现代雪线高度为例, 试用趋势面分析的方法, 探讨雪线高度的变化规律及其主要影响因素, 以供同志们讨论。

一、雪线高度的变化趋势

我国青藏高原和新疆、甘肃地区是世界上山岳冰川最发育的区域之一, 探讨其现代雪线高度的地理变化规律具有较典型的意义。根据文献〔2〕、〔3〕, 我们在东经102.5°以西中国境内, 选取在地域分布上具代表性的雪线高度值25处, 作为本文分析的基础。它们的地理位置和雪线高度示于图1、表1。中国西部山脉多呈东西走向, 南、北坡雪线高度有差异。为消除坡向的影响, 采用的雪线高度多为南、北坡的平均值。仅对成为重要气候屏障的喜马拉雅山脉采用了北坡雪线高度值。念青唐古拉山东段的海洋性冰川区, 因受孟加拉湾暖湿气流的影响, 降水丰沛, 雪线偏低, 分析中未采用。

从图1可见, 雪线既有由南向北降低的变化规律, 也呈现由西向东降低的变化趋势。前者是纬度地带性的表现, 后者是海陆分布引起的非地带性变化。

纬度地带性规律在东经86.5°~88.5°带内表现较明显。如图2所示, 雪线高度 H (米)随纬度 ϕ (度)的增高而近于成比例地降低。直线回归方程为:

$$H = 10553 - 147.3\phi$$

相关系数 $r = 0.962$ (子样数 $n = 6$)。

笔者曾用正态频率分布函数来描述自然地带性规律^[6]。对北半球雪线, 这一函数式为:

$$H = 5450e^{-0.0007034(\phi - 20)^2} - 200 \text{ (单位米一度)}$$

上式是电算进一步优化的结果, 与文献〔5〕的结果略有差异。

本文探讨的中国西部地区位于北纬28°至50°之间。在这个纬度范围内, 上述高斯方程所代表的曲线段近似呈下降直线(图2), 直线方程为:

$$H = 8151 - 107.5\phi \quad r = 0.996 \quad (n = 12)$$

可见, 中国西部雪线呈现的纬度地带性规律与北半球雪线地带性模式是一致的, 服从于北半球总的地带性规律。中国西部雪线随纬度增高而降低的原因, 是由南向北气温下降、降水增多的综合影响结果。

图3显示中国西部沿东经87.5°线水热条件的变化: 年降水量除西藏南部外, 由南

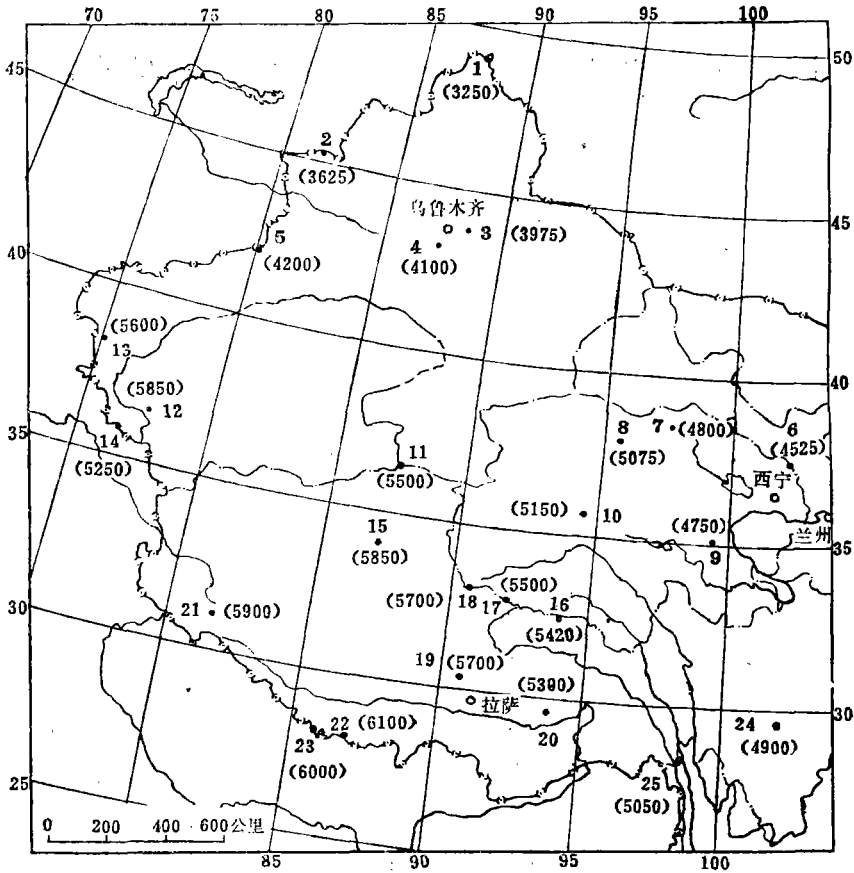


图 1 中国西部现代雪线资料略图

(序号同表 1; 括号内为雪线高度值(米))

Fig.1 Material sketch of the existent snowline in Western China

向北增加;一月平均气温除塔里木(北纬 40° 附近)外,由南向北降低。水、热状况变化的叠加,导致了雪线南高北低的变化趋势。

图 2 的对比也反映出中国西部雪线变化与北半球宏观规律有量的差异:一是雪线比北半球平均高度偏高;二是雪线随纬度增高而降低的速度比北半球平均速度要快。原因是中国西部规模巨大的高原、山地远离东方的太平洋,南方又有喜马拉雅山脉切断印度洋暖湿气流,因而大陆度高,气温的较差和地区差异大,降水稀少,致使雪线较高且变化较快。

中国西部雪线由西向东降低的变化趋势,与距太平洋这一水汽源地的远近相关。以中国东部海岸线的平均经度(东经 120°)为起算点,昆仑山各地雪线高度随距海岸线距离 L (公里)的变化示于图 4,呈现出正相关的直线变化规律,即距海岸线愈远,雪线愈高。直线方程为:

$$H = 3801 + 0.5537L \quad r = 0.983 \quad (n = 4)$$

图 4 虚线显示,昆仑山年降水量由西向东随接近东海岸线而逐渐增多,揭示出昆仑山雪线由西向东降低的重要原因。

表 1 中国西部现代雪线高度值
Table 1. The elevation of existent snowline in western China.

山脉或地区	序号	冰 川 区	雪线平均高度(m)	代表地点	北纬 ^[4]	东经 ^[4]
阿尔泰山	1	友谊峰哈拉斯冰川	3250		49.1°	87.8°
天山	2	阿拉套山	3625	东段	45.4°	81.6°
	3	博格达山	3975	博格达峰	43.8°	88.4°
	4	乌鲁木齐河源 1 号冰川	4100		43.2°	87.3°
	5	托木尔峰	4200		42.0°	80.1°
祁连山	6	冷龙岭	4525	4843峰	37.5°	102.2°
	7	大雪山老虎沟12号冰川	4800		38.5°	97.6°
	8	柴达木山	5075		38.0°	95.5°
昆仑山	9	阿尼玛卿山	4750	玛卿岗日	35.1°	99.4°
	10	昆仑山垭口	5150	西大滩	35.7°	94.5°
	11	木孜塔格山	5500		36.4°	87.4°
	12	西昆仑山	5850	叶城正南	36.6°	77.5°
帕米尔	13		5600*	慕士塔格	38.3°	75.2°
喀喇昆仑山	14	乔戈里冰川	5250		35.9°	76°6'
羌塘高原	15		5850*	玛依岗日	33.9°	87.1°
唐古拉山	16	东段	5420		32.5°	94.0°
	17	中段	5500	唐古拉山口	32.9°	92.0°
	18	各拉丹冬山	5700		33.1°	90.7°
念青唐古拉山	19		5700**	念青唐古拉峰	30.4°	90.6°
冈底斯山	20	尼洋河	5300		29.6°	93.8°
	21	西段	5900	岗仁波齐峰	31.1°	81.6°
喜马拉雅山	22	喜峰绒布冰川	6100		28.1°	86.9°
	23	希峰野博康加勒冰川	6000		28.3°	85.8°
横断山	24	贡嘎山海螺沟冰川	4900		29.6°	101°9'
	25	横断山	5050*	梅里雪山	28.4°	98.7°

* 为山脉或地区的平均值； ** 为山脉最大值。

二、雪线一次趋势面分析

为了综合表达中国西部雪线在纬向和经向上的变化规律，我们试用JB—3000型微机对雪线高度进行了一次趋势面分析。

一次趋势面是三维空间的一个平面，设其数学表达式为：

$$H = a_0 + a_1 L + a_2 \phi$$

式中雪线高度 H 以米计，距东海岸线距离 L 以公里计，纬度 ϕ 以度计。

这实质上是一个多元回归问题。以BASIC语言编写程序运算结果为：

$a_0 = 7800.235$, $a_1 = 0.4440547$, $a_2 = -110.1189$ 。故中国西部雪线的一次趋势面方程为：

$$H = 7800 + 0.444L - 110\phi$$

这一方程代表的平面以等值线（实线）方式显示于图 5，呈现出一个由西南向东北方倾斜的平面，从而综合反映了雪线由南向北沿纬向降低和由西向东沿经向降低的变化规律。其由南向北降低的速率（110）比东经86.5°~88.5°带的速率（147.3）要小，但仍略高于北半球的平均速率（107.5），表明中国西部雪线高度的变化规律与北半球总的

规律相当吻合。其由西向东降低的速度(0.444)则小于昆仑山的这一速度(0.554)。图5还显示,中国西部雪线沿纬向的变化速率比沿经向要大,说明纬度地带性是雪线变化的基本规律,经向变化则是叠加的次一级规律。

一次趋势面方程的残差分析于表2。观测值与趋势值之差为观测值的0.14%~14.15%,平均为5.36%。拟合度C为82.53%表明^[8],雪线沿纬向及经向的直线变化规律是总变化趋势中的主导部分,但还有更次一级因素发生影响,使雪线的实际变化与双向直线变化有一定偏离,呈现比向东北倾斜的平面更复杂的状况。图6也表明,天山及其以北,念青唐古拉山及其以南的各点,残差为负,其余中部各点,残差多为正。说明中部雪线比一次趋势面高,南北两侧低,因而需要进行二次趋势面分析。

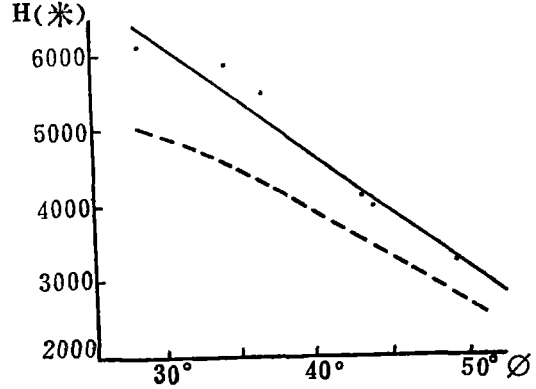


图2 中国西部东经86.5°~88.5°带雪线高度H随纬度φ的变化(实线)及其与北半球雪线地带性模式曲线(虚线)的对比
Fig.2 Change of the snowline elevation H(real line) with the latitude φ on 86.5°~88.5° E, long in Western China and contrast between it and curve (dotted line) of snowline zonality mathematical model in the northern hemisphere.

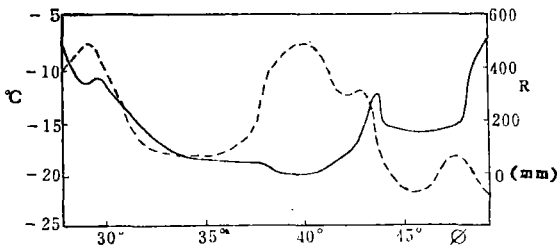


图3 中国西部东经87.5°线年降水量(实线)和一月平均气温(虚线)的变化(据文献[6]图2—7、2—9改绘)

Fig.3 Changes of annual precipitation (real line) and average temperature (dotted line) of January on 87.5° E, long in Western China

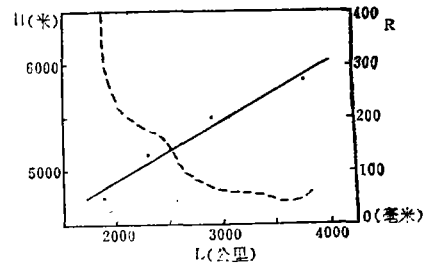


图4 昆仑山雪线高度H的经向变化(实线)及年降水量R的相应变化(虚线,据文献[6]图2—9改绘)

Fig.4 Change with longitude of snowline elevation H (real line) in Kunlunshang and corresponding change of annual precipitation R (dotted line)

三、雪线二次趋势面分析

二次趋势面是三维空间的一个曲面,设其数学表达式为:

$$H = a_0 + a_1 L + a_2 \phi + a_3 L^2 + a_4 L\phi + a_5 \phi^2$$

这实质上是多项式回归问题。采用双精度数用JB—3000微机进行运算,解系数矩阵采用主元素消去法。算得二次趋势面系数矩阵为:

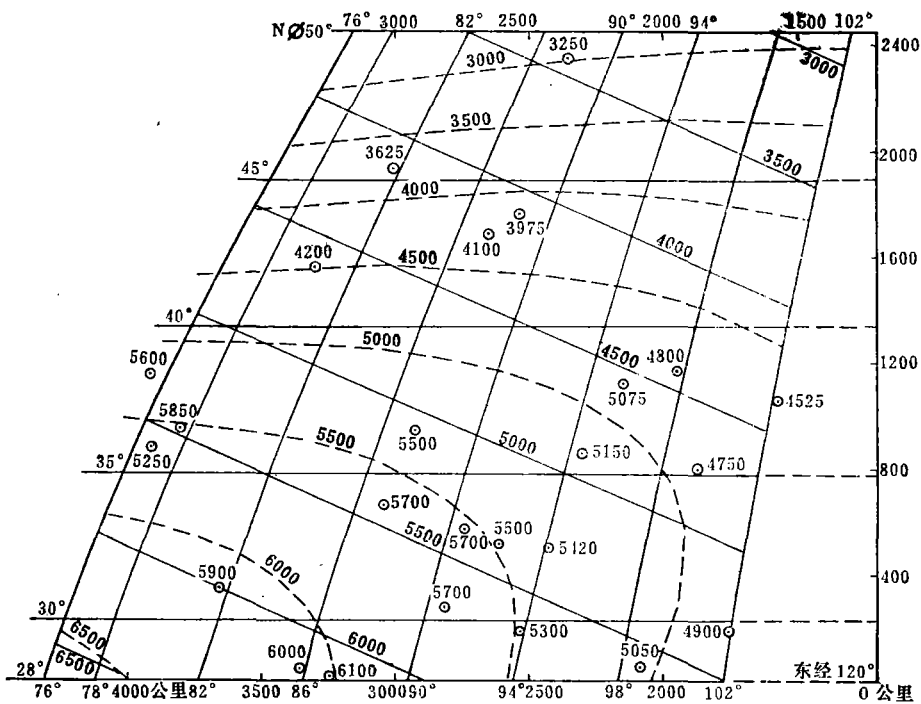


图 5 中国西部雪线的一次趋势面等值线（实线）和二次趋势面等值线（虚线）图
Fig.5 Isopleths of the first order (real line) and the second order trend surface (dotted line) on the snowline in Western China

表 2 一次趋势面方程残差分析 [7]

Table 2. Remnant difference analysis on first order trend surface equation

点号	观测值 H (m)	趋势值 $\hat{H}$ (m)	残差 ΔH (m)	点号	观测值 H (m)	趋势值 $\hat{H}$ (m)	残差 ΔH (m)
1	3250	3445	-195	17	5500	5342	158
2	3625	4138	-513	18	5700	5376	324
3	3975	4112	-137	19	5700	5708	-8
4	4100	4227	-127	20	5300	5672	-372
5	4200	4645	-445	21	5900	6002	-102
6	4525	4374	151	22	6100	6152	-52
7	4800	4433	367	23	6000	6172	-172
8	5075	4575	500	24	4900	5323	-423
9	4750	4772	-22	25	5050	5600	-550
10	5150	4899	251	回归平方和 $U = \sum (\hat{H} - \bar{H})^2$			11790090
11	5500	5097	403	剩余平方和 $Q = \sum (H - \hat{H})^2$			2494914
12	5850	5463	387	离差平方和 $l_{HH} = \sum (H - \bar{H})^2$			14285004
13	5600	5327	273	剩余标准差 $S = \sqrt{Q/N-K-1}$			336.8
14	5250	5587	-337	$F = U/K \cdot S^2$			51.98
15	5850	5421	429	拟合度 $C = (1 - Q/l_{HH}) \cdot 100\%$			82.53%
16	5420	5306	114	复相关系数 $R = \sqrt{1 - Q/l_{HH}}$			0.9085

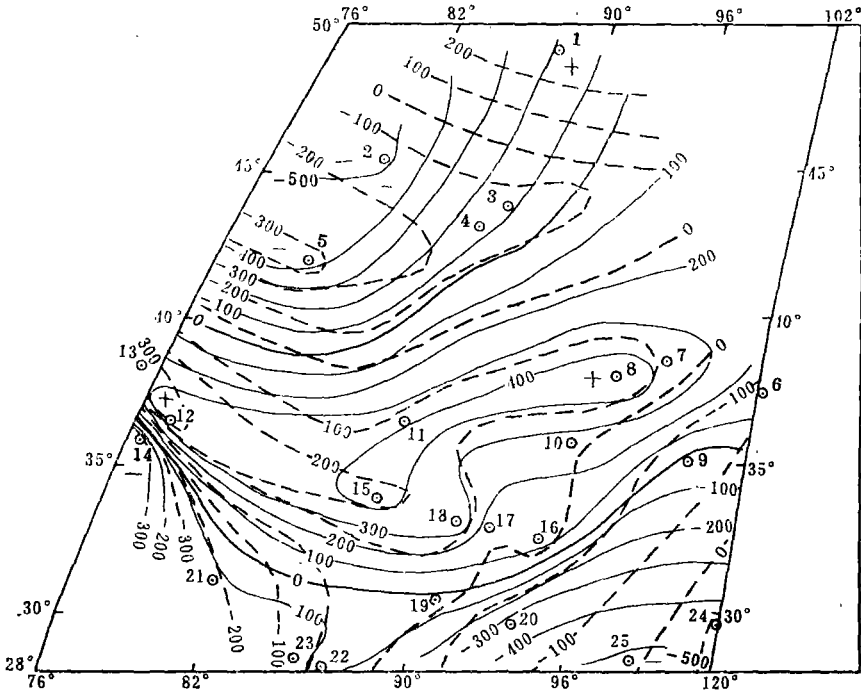


图 6 一次 (实线) 与二次 (虚线) 趋势残差图

Fig.6 Remnant differences of the first (real line) and the second trend (dotted line)

1.0875×10^7	-2221.16	6.1026×10^{10}	3.7818×10^8	-203056	5073682
-2221.16	777.558	-16539619	2008694	58058.6	-86611.02
6.1026×10^{10}	-16539619	3.4775×10^{14}	2.1162×10^{12}	-1.5777×10^9	2.8984×10^{10}
3.7818×10^8	2008694	2.1162×10^{12}	1.8932×10^{10}	1.4813×10^8	-5.9778×10^7
-203056	58058.6	-1.5777×10^9	1.4813×10^8	4366318	-6656627
5073682	-86611.02	2.8984×10^{10}	-5.9778×10^7	-6656627	14285004

运算结果为: $a_0 = -7554.667$, $a_1 = 2.957263$, $a_2 = 554.9386$, $a_3 = -1.151096 \times 10^{-4}$, $a_4 = -5.354288 \times 10^{-2}$, $a_5 = -6.991066$ 。故中国西部雪线二次趋势面方程为:

$$H = 2.957L + 554.9\phi - 0.0001151L^2 - 0.05354L\phi - 6.991\phi^2 - 7555$$

这一曲面的等值线以虚线表示在图5中, 曲面形态类似于一向东北方降低的“倾伏背斜”, 其南西~北东向轴部凸起, 向北西、南东两翼下降。

二次趋势面首先继承了一次趋势面由西南向东北降低的特征, 反映了雪线由南向北降低的纬向地带性和由西向东降低的经向变化。在此背景上, 叠置了喜山中段一唐古拉山—祁连山的北东向凸起带, 反映了地势轮廓对雪线高度的影响。中国地势可自高而低、自西而东分为三个大的地貌阶梯, 第一级阶梯青藏高原的东界, 以及第二级与第三级地貌阶梯的界线均为北东走向, 因而影响水热因子的地理分布, 使气温、降水量的等值线也沿北东向延伸, 导致雪线在北东向增高。

二次趋势面方程的残差分析如表3。各点的残差仅为观测值的0.08%~7.49%, 平均为3.14%, 比一次趋势面的5.36%有较大改善(图6)。残差平方和Q为944579, 仅为一次趋势面的37.86%; 拟合度C为93.39%, 比一次趋势面有大幅度提高。表明二

次趋势面比一次趋势面有较大改进，较真实地表达了中国西部雪线的分布实况。以祁连山其它冰川区雪线为例进行验证（表4），观测值与趋势值的残差甚小，仅为观测值的0.5%~3.2%，平均为1.6%。

可见，二次趋势面方程较客观地描述了中国西部雪线的地理分布，反映了由主到次的以下三方面变化规律：由南向北降低的纬向地带性变化；因距海远近引起的由西向东降低的经向变化；因地势阶梯格局引起的喜山中段至祁连山的高值带。因而，影响中国西部雪线的三个主要因素为：水平地带性、海陆分布和地势轮廓。

表 3 二次趋势面方程残差分析

Table 3 Remnant difference analysis on second order trend surface equation

点号	观测值H (m)	趋势值 $\hat{H}$ (m)	残差 ΔH (m)	点号	观测值H (m)	趋势值 $\hat{H}$ (m)	残差 ΔH (m)
1	3250	2971	279	17	5500	5473	27
2	3625	3771	-146	18	5700	5535	165
3	3975	4150	-175	19	5700	5687	13
4	4100	4268	-168	20	5300	5488	-188
5	4200	4503	-303	21	5900	6125	-225
6	4525	4632	-107	22	6100	6022	78
7	4800	4757	43	23	6000	6085	-85
8	5075	4887	188	24	4900	4799	101
9	4750	4925	-175	25	5050	5055	-5
10	5150	5146	4	回归平方和 U			13340425
11	5500	5346	154	剩余平方和 Q			944579
12	5850	5518	332	离差平方和 l_{HH}			14285004
13	5600	5227	373	剩余标准差 S			207.2
14	5250	5643	-393	F			137.3
15	5850	5630	220	拟合度 C			93.39%
16	5420	5376	44	复相关系数 R			0.9664

表 4 祁连山区雪线高度与趋势值的对比

Table 4 Contrast between snowline elevation and tendency value in Qilian Mountains

冰 川 区	地理位置			雪线高度 (m) [2]		
	代表地点	ϕ (°)	L (km)	观测值	趋势值	残 差
土尔根达板	察汗鄂博图岭	38.3	2080	4950	4830	120
党河南山		38.5	2110	4800	4824	-24
疏勒南山		38.2	1890	4800*	4753	47
托来山七一冰川		38.7	1835	4650	4686	-36
走廊南山	5547峰	39.2	1845	4500	4646	-146

*为北坡雪线值。

电算程序编写得高云辉同志帮助，谨此致谢。

参 考 文 献

- [1] 蒋忠信: 雪线地带性的定量分析, 《冰川冻土》, 6 卷, 2 期, 27—35, 1984.
 [2] 苏珍: 从我国现代冰川研究的一些结果看庐山第四纪冰川问题, 《冰川冻土》, 6 卷, 2 期, 83—88, 1984.
 [3] 施雅凤等: 中国冰川目录的进展与问题, 《冰川冻土》, 4 卷, 2 期, 27—33, 1982.
 [4] 施雅凤、任炳辉: 中国冰川研究发展简史, 《冰川冻土》, 5 卷, 1 期, 21—30, 1983.
 [5] 蒋忠信: 关于自然地带性数学模式之探讨, 《地理学报》, 37 卷, 1 期, 98—103, 1982.
 [6] 上海师范大学等: 《中国自然地理》, 上册, 人民教育出版社, 1979.
 [7] 中国科学院数学研究所数理统计组: 《回归分析方法》, 科学出版社, 1975.
 [8] 任明达、王乃梁: 《现代沉积环境概论》, 科学出版社, 1985.

TREND SURFACE ANALYSIS OF THE EXISTENT SNOWLINE IN WEST CHINA

Jiang Zhongxin

(The Second Institute of Railroad Survey and Design)

Key words: Trend surface analysis; Snowline; West China

ABSTRACT

The analysis of twenty five existent snowline elevation values in west China indicates that snowline elevation H (meter) presents zonality change declining from south to north with latitude ϕ (degree) and the change declining from west to east with longitude, which relates to distance L (kilometer) to east coastline. Therefore, first order trend surface equation of the snowline in west China is,

$$H = 7800 + 0.444L - 110\phi$$

Its goodness of fit is 82.53%. The equation shows a plane inclined southwest to northeast. Second order trend surface equation of the snowline in west China is,

$$H = 2.957L + 554.9\phi - 0.0001151L^2 - 0.05354L\phi - 6.991\phi^2 - 7555$$

Its goodness of fit reaches 93.39%. The equation represents really distribution law of the snowline in west China. Its form resembles a "overturning anticline" from southwest to northeast. The "raised axis" seems to be superimposed upon first order trend surface, which reflects the effect of relief. The snowline elevation in west China depends on horizontal zonality, the distribution of ocean and land, and the relief.

中国西部现代雪线的趋势面分析

蒋 忠 信

(铁道部第二勘测设计院第三总队, 昆明)

地理科学 7(1), p.1—9, 图6, 表4, 1987

中国西部现代雪线的一次趋势面, 为一向东北方倾斜的平面; 二次趋势面为一向东北方倾伏的“背斜”。表明纬度、距东海距离和地势是影响中国西部现代雪线高度H的主要因素。H决定于水平地带性、海陆分布和地势起伏。

... ..

洞庭湖水沙特性与湖泊沉积

林 承 坤

(南京大学地理系)

地理科学 7(1), p.10—18, 图1, 表7, 1987

洞庭湖是我国第二大淡水湖, 湖泊面积2740平方公里, 容积178亿立方米, 注入该湖的年平均迳流总量2900亿立方米, 年来沙量 184.83×10^6 吨。根据沙量平衡原理, 计算出其年平均沉积量 134.80×10^6 吨。洞庭湖沉积治理的根本措施是兴建长江三峡水库, 控制洪水, 减少入湖泥沙。

... ..

我国土壤中铜、锌、镍的背景含量和趋势分布

王 景 华

(中国科学院地理研究所, 北京)

地理科学 7(1), p.19—28, 图3, 表5, 1987

本文研究了我国21种主要土壤类型Cu、Zn、Ni的背景值, 探讨了18个地区土壤背景值的差异, 在大面积研究土壤背景值分布特征的基础上, 提出了我国土壤Cu的趋势分布, 圈定了Cu的高背景区与低背景区。

... ..

晚更新世末期以来辽东半岛东部海滨沉积与沉积环境的探讨

符文侠 何宝林 孙试斌 贾锡钧

(国家海洋局海洋环境保护研究所, 大连)

地理科学 7(1), p.29—34, 图3, 表1, 1987

本文通过沉积垂直序列和沉积年代的分析, 探讨晚更新世末期以来, 辽东半岛东部海侵趋势和沉积环境的变化。

... ..

弯曲河流形成条件的实验研究

洪笑天 马绍嘉 郭庆伍

(中国科学院地理研究所, 北京)

地理科学 7(1), p.35—43, 图3, 表1, 1987

本文主要通过曲流模型试验复演曲流过程和分析曲流形成的一些外部条件。着重讨论河谷几何原始状态、流量变幅和频率、泥沙运动特性及侵蚀基准面变化等因素对形成弯曲河道的影响。

... ..

三江平原地区商品粮生产潜力和发展规模的研究

王本琳 王瑞英 高景洲 齐晓宁

(中国科学院长春地理研究所)

地理科学 7(1), p.44—53, 图1, 表1, 1987

本文通过对三江平原粮食生产量、需要量和供需平衡的预测, 探讨了该区商品粮生产潜力和发展规模, 为保证商品粮稳定增长提出若干建议。