

2001年9月至2002年11月峨眉山降雨化学组成动态变化

王能峰¹, 漆继红², 贾疏源², 钟国华², 李晓东²

(1. 成都勘测设计院地质工程处, 成都 610072; 2. 成都理工大学, 成都 610059)

摘要: 2001年9月初在峨眉山从金顶气象站(海拔3070 m)到成都理工大学实习基地(海拔486 m)大约每隔100 m放置了一个雨水收集桶,共25个雨水采集点,并从2001年9月至今每月收集雨水分析。本文选取了2001年9月至2002年11月在25个雨水采集点采集的雨水样的阴阳离子, pH, EC(电导度)等分析结果进行研究,归纳了pH, PAi, EC以及主要的阴阳离子的变化规律,即它们的变化基本受季节变化以及高程的控制。

关键词: P426.6; P426.61⁺² 峨眉山; 雨水; 电导度; 离子

中图分类号: **文献标识码:** A

峨眉山的冷杉从20世纪70年代开始在金顶等区出现成片死亡,从此引起了中外众多专家学者的重视,并作了许多相关的研究工作,取得了大量的研究成果^[1]。而且对于这一地区的研究工作依然在进行着。

中日合作项目《峨眉山—成都大气污染及其对环境的影响》从2001年9月开始,将历时3年,而前人对于峨眉山未进行长时间的雨水采样分析,并详细研究峨眉山的大气污染以及污染物的起源。此次对峨眉山进行长时间的雨水采样分析,并研究峨眉山的大气污染以及污染物的起源,为今后进一步研究冷杉衰亡原因工作的顺利进行提供了大量的有价值的分析数据。对于峨眉山冷杉衰亡研究提供丰富资料。本文是对2001年9月至2002年11月在25个雨水采集点采集的雨水样的阴阳离子, pH, EC(电导度)等分析结果进行研究,归纳了pH, PAi, EC以及主要的阴阳离子的变化规律。

1 样品采集及分析

1.1 样品采集

雨水样品采集时间从2001年9月开始到2002

年8月作为一个分析年,每月采集一次雨水样品,采样地点从金顶气象站到成都理工大学实习基地。采样点的具体资料见表1。

1.2 分析方法

雨水样品的分析利用ICP分析了取样溶液的Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺离子,利用Metrohm compact IC761离子色谱仪分析了(F⁻、Cl⁻、SO₄²⁻、NO₂⁻、NO₃⁻),电导率(Ec)和pH值用电导测量仪(Horiba C-132型)和玻璃电极pH值仪(Horiba, Bill型)测定。

2 结果分析

2.1 EC(电导度)

峨眉山2001.9~2002.11雨水电导度的平均值为73.3(μs/cm),变化规律(图1)表现为每个月从高高程到低高程电导度总体呈波动上升趋势,其中2002.4~2002.7电导度总体比较小,2001.11、12,2002.1、2002.11月份电导度较大,表现出季节性变化的趋势,而且在每个月雨水的电导度随高程有三个变化阶段,从金顶开始EC逐渐增大,到2070 m左右达到最大,从2070 m到1700 m左右逐渐减

表 1 雨水采集点信息表

Table 1 Information of rain sampling places

点号	地点	GPS 高程 (m)	高程表 (m)	X	Y	点号	地点	GPS 高程 (m)	高程表 (m)	X	Y
1	金顶峨眉山气象站	3 070	3 060	0 338 668	3 268 275	14	华严寺内	1 910	1 900	0 340 732	3 272 907
2	金顶派出所	3 020	3 020	0 338 590	3 268 568	15	初殿	1 730	1 720	0 341 049	3 273 385
3	天门石	2 940	2 940	0 338 334	3 268 871	16	长老坪	1 630	1 610	0 341 323	3 274 045
4	太子坪衫衫小食店	2 860	2 860	0 337 889	3 269 107	17	息心所	1 470	1 460	0 342 123	3 274 351
5	梳妆台	2 740	2 750	0 338 078	3 269 326	18	石卡十里小食店	1 330	1 320	0 342 457	3 274 741
6	七里坡静林小食店	2 610	2 640	0 338 297	3 269 474	19	观心坡	1 230	1 220	0 342 669	3 274 728
7	接引殿索道公司	2 560	2 600	0 338 473	3 269 709	20	观音阁莲花小食店	1 010	1 020	0 342 931	3 274 989
8	白云寺白云小食店	2 460	2 440	0 338 595	3 270 972	21	强埂岗何家	860	860	0 344 314	3 274 829
9	连望坡海龙小食店	2 390	2 400	0 339 039	3 271 012	22	木鱼山茶场张文学家	814	810	0 344 648	3 275 189
10	大乘寺幽静小食店	2 260	2 260	0 339 287	3 271 297	23	两河口氡泉旅馆	588	600	0 345 386	3 275 528
11	罗汉坡山泉小食店	2 200	2 180	0 339 596	3 271 945	24	黄湾方家	500	500		
12	洗象池月夜小食店	2 070	2 060	0 339 458	3 272 187	25	实习基地内	486	500	0 350 050	3 273 720
13	钻天坡	2 000	2 000	/	/						

注: X、Y 为 GPS 定出的大地坐标位置。

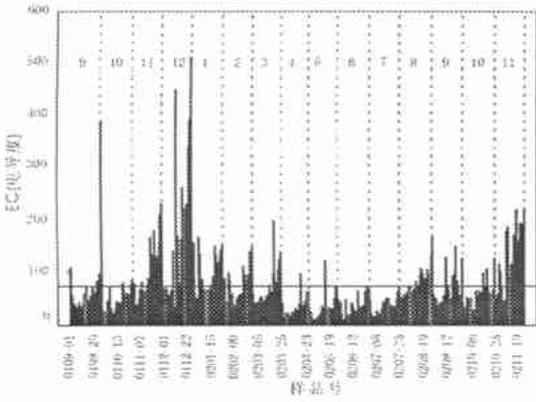


图 1 2001.9~2002.11 峨眉山雨水电导度变化图

(图中水平的直线为电导度的平均值, 单位为($\mu\text{s}/\text{cm}$), 竖线中间的数字为月份)

Fig. 1 Variation of EC in the rain samples collected in Mt. Emei

小, 1 700 m 到山底 486 m 又逐渐增加。

这一变化规律在 2001 年的 12 月(图 2) 雨水的电导度变化得到了很好的反应。在不同高程出现 4 个波峰, 其中 12 点代表的 2 070 m 左右高程和 25 点代表的 486 m 高程雨水的电导度是最突出的。

结合峨眉山降雨特点: 2 100~2 500 m 为峨眉山的“最大降雨高度带”, 在这一高度降雨时间最长, 降雨量最大, 从峨眉山多年平均降雨量($P_{\text{年}}$)的经验公式: $P_{\text{年}} = 2 179 - 0.000 212 5(H - 2 166)^2$ 得知^[2], 在 2 166 m 一些降雨量随高程的降低而减小, 在 2 166 m 以上则相反(图 3)。

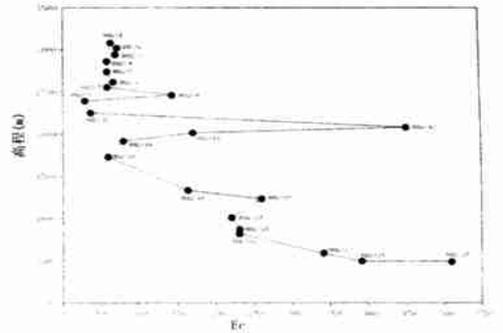


图 2 2001.12 月不同高程雨水电导度的变化

Fig. 2 Variation of EC in the rain samples collected from different height in Dec, 2001

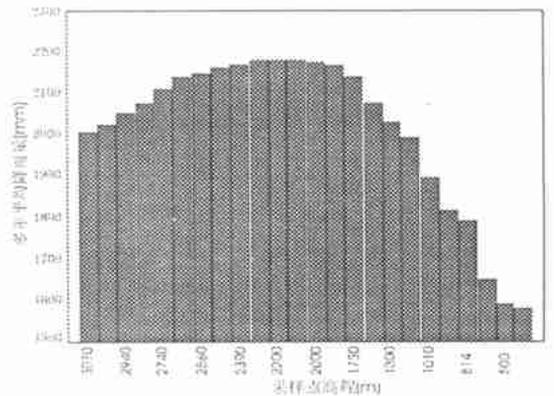


图 3 多年平均降雨量与高程的变化关系图

Fig. 3 The variable relation of multi-annual mean rainfall and height

峨眉山各个高程采样点雨水的 EC (mean) 在 2001.9~2002.11 这 15 个月中总体呈波状上升(图 4),其中 EC(min) 变化不大,但是 EC(max) 变化大,尤其以金顶、洗象池、观心坡以下的变化最为突出。

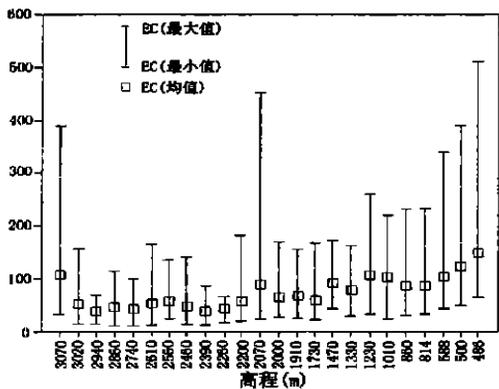


图 4 在不同高程 EC (mean) 、EC (max) 、EC (min) 变化高低图

Fig. 4 High-low of EC (mean) , EC (max) , EC (min) in different height

2.2 pH 和 PAi(真酸度)

峨眉山雨水 pH 平均值为 5.68, 标准方差为 1.04, PAi, 即真酸度, 也就是没有被中和的实际酸性度(input acidity), 它可用下式表示:

$$PAi = -\log(SO_4 + NO_3), PAi \text{ 的平均值为 } 3.94,$$

标准方差为 0.45。从图 3 看, PAi 要比 pH 小的多, 说明雨水在降落过程被大气中的阳离子中和了, 而且 PAi 和 pH 它们之间存在着一定的联系, 通过一元线性回归分析, 得出 $PAi = 2.971 + 0.17 * pH$ 。

从图 5 看, pH 在平均值上下存在明显的差异, 2001.10 到 2002.3 的雨水 pH 值小于其平均值, 从

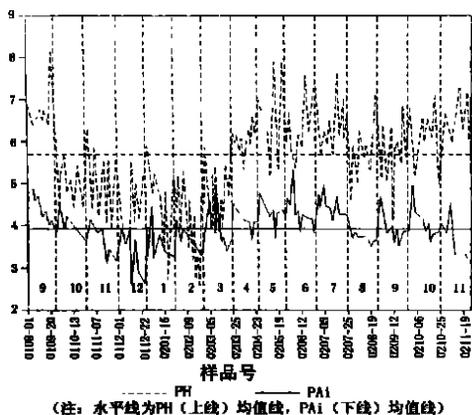


图 5 2001.9~2002.11 峨眉山雨水 pH、PAi 变化图 (竖线中间的数字为月份)

Fig. 5 Variation of PH and PAi in the rain collected in Mt. Emei

2002.4 到 2002.11 的雨水 pH 则大于其平均值。而从 2001.11 到 2002.2 和 2002.8 的雨水 PAi 才小于其平均值。而且 PAi 在每个月从山顶到山脚随着高程的下降而变小, pH 总体上变化趋势像 ω 型。

峨眉山各个高程采样点雨水的 pH (mean) 、pH (max) 、pH (min) 以及 PAi (mean) 、PAi (max) 、PAi (min) 在 2001.9~2002.11 这 15 个月中的变化(图 6、7)。

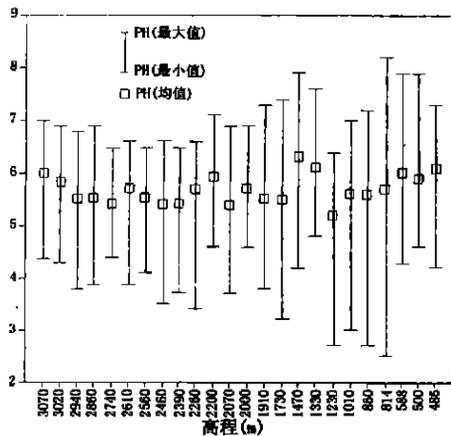


图 6 在不同高程 pH (mean) 、pH (max) 、pH (min) 变化高低图

Fig. 6 High-low of pH (mean) , pH (max) , pH (min) in different height

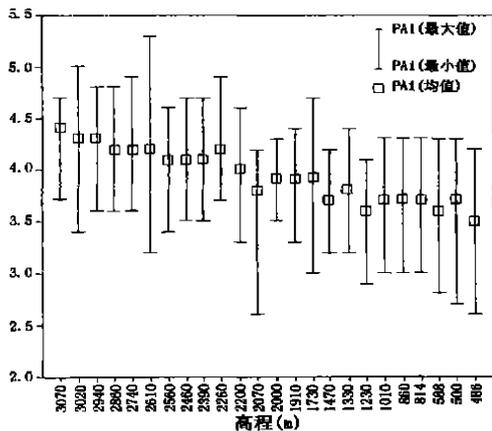


图 7 在不同高程 PAi (mean) 、PAi (max) 、PAi (min) 变化高低图

Fig. 7 High-low of PAi (mean) , PAi (max) , PAi (min) in different height

其中 pH (mean) 、pH (max) 、pH (min) 在华严寺 (1910 m) 以下变化幅度大。

PAi (mean) 、PAi (max) 、PAi (min) 总体呈下降趋势(表 2)。

表 2 不同高程 pH、PAi、EC 的均值、最小值、最大值

Table 2 Mean, min and max values of pH, PAi and EC in deferent height

点号	Height (m)	pH (mean)	pH (min)	pH (max)	PAi (mean)	PAi (min)	PAi (max)	EC (mean)	EC (min)	EC (max)
1	3 070	6	4.4	7	4.4	3.7	4.7	109	33	390
2	3 020	5.8	4.3	6.9	4.3	3.4	5	51.3	14	157
3	2 940	5.5	3.8	6.8	4.3	3.6	4.8	37.8	13	68
4	2 860	5.5	3.9	6.9	4.2	3.6	4.8	45.1	12	116
5	2 740	5.4	4.4	6.5	4.2	3.6	4.9	41.3	11	100
6	2 610	5.7	3.9	6.6	4.2	3.2	5.3	50.3	11	167
7	2 560	5.5	4.1	6.5	4.1	3.4	4.6	55.5	23	136
8	2 460	5.4	3.5	6.6	4.1	3.5	4.7	47.3	13	142
9	2 390	5.4	3.7	6.5	4.1	3.5	4.7	37	11	86
10	2 260	5.7	3.4	6.6	4.2	3.7	4.9	41.5	16	65
11	2 200	5.9	4.6	7.1	4	3.3	4.6	57.2	18	181
12	2 070	5.4	3.7	6.9	3.8	2.6	4.2	89.9	24	450

在 3 020 m、2 610 m、2 070 m、1 730 m 以及 588 m 等高程的变化幅度较大。

通过多元统计中的曲线回归对 PAi(mean) 和 Height(高程) 进行拟合, 确立了 PAi(mean) 和 Height(高程) 之间存在如下的关系:

$$PAi(\text{mean}) = 3.6192 - 8 \times 10^{-5}H + 1.4 \times 10^{-7}H^2 - 1 \times 10^{-11}H^3$$

式中, PAi(mean) 表示同一高程不同月份雨水 PAi 的平均值; H 表示高程(m)。

2.3 阴阳离子

在分析峨眉山雨水的阴阳离子组成时, 首先对各阴阳离子进行了聚类分析(图 8)。

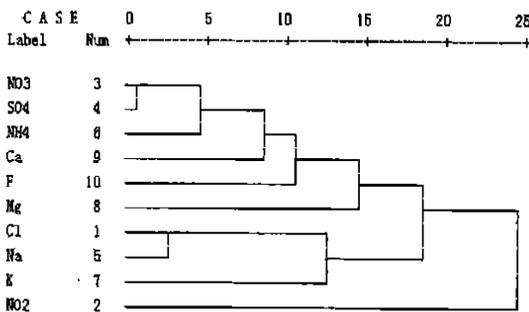


图 8 雨水中主要阴阳离子的聚类分析图

Fig. 8 Dendrogram of main anions and cations in rain collected in different height from Sep, 2001 to Dec, 2002

NO₃⁻ 与 SO₄²⁻ 属于同一来源, 可能是燃煤引起的。而汽车尾气中 NO_x 并不是峨眉山 NO₃⁻ 浓度的主要影响因素。通过相关分析, NO₃⁻ 与 SO₄²⁻ 相关系数达到了 0.921(积矩相关系数), 为显著^[3]。同时从 NO₃⁻ 与 SO₄²⁻ 的变化图(图 9) 大体可以看出两者

变化一致, 两者的浓度有随着高程的降低而升高的特点, SO₄²⁻ 浓度在 2001. 11、12 和 2002. 1、11 月变化显著(见图 10), 并且在 2 070 m 处冬季存在一个降雨云团, 云内洗脱作用导致了 SO₄²⁻ 浓度在 2 070 m 处突然升高, 与 2001. 12 EC 的变化一致, 说明了 2001. 12 雨水的 EC 变化主要由 SO₄²⁻ 变化引起的。SO₄²⁻ 的来源是: 在冬季, SO₄²⁻ 总体增加, 可能与附近的燃煤有一定关系, 显示出随季节变化的特征。另据柳泽文孝老师关于硫同位素的研究, 发现 SO₄²⁻ 浓度随高程降低而升高的原因为云下洗脱作用, 雨水在降落过程中吸收了周围的 SO₄²⁻ 所致^[4]。而夏季两者的浓度和变化均不大。

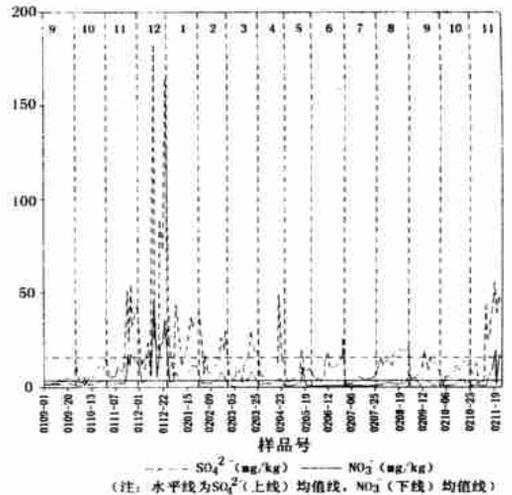


图 9 2001. 9~2002. 11 峨眉山雨水 NO₃⁻ 与 SO₄²⁻ 变化图
Fig. 9 Variation of anion NO₃⁻ and SO₄²⁻ in the rain collected in Mt. Emei from Sep, 2001 to Dec, 2002

而盐类 Na⁺ 与 Cl⁻ 属于同一来源(图 11)。可以明显的看出 Na⁺ 与 Cl⁻ 在 2001. 11、12 以

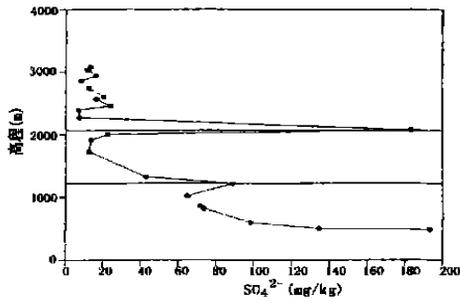


图10 2001.12月不同高程雨水SO₄²⁻浓度的变化

Fig. 10 Variation of SO₄²⁻ concentration in the rain collected from different height in Dec, 2001

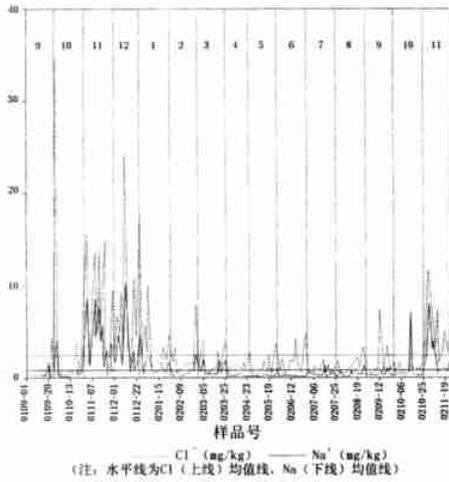


图11 2001.9~2002.11峨眉山雨水Na⁺与Cl⁻变化图

Fig. 11 Variation of cation Na⁺ and anion Cl⁻ in the rain collected in Mt. Emei from Sep, 2001 to Dec, 2002

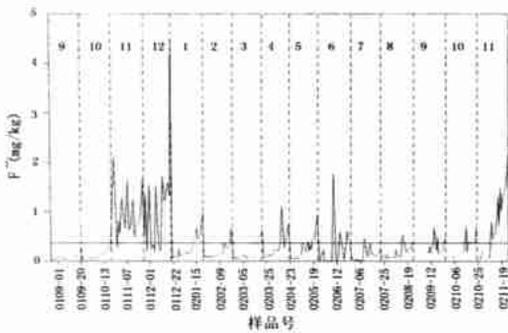


图12 2001.9~2002.11峨眉山雨水F⁻变化图

Fig. 12 Variation of anion F⁻ in the rain collected in Mt. Emei From Sep, 2001 to Dec, 2002

研究,盐的组分Na⁺与Cl⁻离子主要来源于峨眉山附近的自贡和吴通桥地区制盐厂的盐,青海地区的盐湖^[5]。而在11,12月份,在峨眉山盛行西北风,因此不能有力地说明峨眉山雨水中的盐组分Na⁺与Cl⁻主要来源于峨眉山东南方向的自贡和吴通桥地区制盐厂的盐,而可能来自青海的盐湖,很明显其变化与季节有关。

峨眉山雨水中F⁻的变化规律(图12)基本表现为每个月F⁻的含量随着高程的降低而上升,同时在2001.11、12和2002.11F⁻浓度变化明显,表现出受季节变化控制的规律。

Ca²⁺的平均浓度为7.6(mg/kg),Ca²⁺浓度的最大值为65.1(mg/kg),Mg²⁺的平均浓度为0.59(mg/kg),其最大值为6.9(mg/kg),NH₄⁺的平均浓度为2.2(mg/kg),其最大值为23.3(mg/kg)。总体上它们的含量不高。

3 结论

综上所述,峨眉山2001.9~2002.11雨水中化学组成变化规律具有如下的特征:峨眉山雨水中阴阳离子的动态变化存在时空变化规律,表现为受季节变化影响较大:冬季雨水中的EC迅速增加,pH、PAi降低,雨水中酸性物质增多。而且在不同的高程其变化幅度不同。而PAi基本上随着高程的降低而减小,两者之间的关系可以用式:PAi(mean) = 3.619 2 - 8 × 10⁻⁵H + 1.4 × 10⁻⁷H² - 1 × 10⁻¹¹H³表示。

冬季雨水中酸性物质主要来源于燃煤产生的硫化物等。

今后需要结合各点的降雨量和详细的气象资料以及同位素进行更为详实的研究。为以后研究峨眉山冷杉死亡提供帮助。

参考文献

- [1] 陈楚莹,廖利平. 峨眉山冷杉死亡原因的初步研究[J]. 应用生态学报,1992,3(1):1-8.
- [2] 刘开发. 峨眉山气候研究[J]. 绵阳农专学报,1992,9(4):43-48.
- [3] 黄海,罗友丰,等. SPSS 10.0 for windows 统计分析[M]. 人民邮电出版社,2001.
- [4] 柳泽文孝,贾疏源,等. 峨眉山雨水所含硫酸根的硫同位素组成[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2003,2(1):96-98.
- [5] 柳泽文孝,贾疏源,等. CHEMICAL CHARACTERISTICS OF

及2002.11月其含量出现显著的增加,这3个月Na⁺与Cl⁻的平均值分别高出总体平均值的1.26、2.56倍以上,随季节变化明显。据柳泽文孝老师的

THE DYNAMIC VARIATION OF CHEMICAL COMPONENTS IN RAIN SAMPLING IN Mt. EMEI FROM SEP, 2001 TO NOV, 2002

WANG Neng-feng¹, QI Ji-hong², JIA Shu-yuan², ZHONG Guo-hua², LI Xiao-dong²

(1. Chengdu Hydroelectric Investigation & Design Institute of SPC, Chengdu 610072, China;

2. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: We put 25 barrels to collect rain every 100 m from GOLD SUMMIT Weather Station (altitude 3 070 m) to Practice Base of Chengdu University of Technology (altitude 486 m), and we have been collecting rain samples since SEP, 2001. In this paper, the author selected the results of anions and cations, PH, EC and so on from SEP, 2001 to NOV, 2002 as analytic objects. The results show that their variations are controlled by seasons and altitude normally.

Key words: Mt. Emei; rain water; electric conductivity; Ion

作者简介: 王能峰(1977-),男,硕士,毕业于成都理工大学,现工作于成都勘测设计研究院地质工程处。