

# 柘林湾表层沉积物重金属分布及污染初步评价

乔永民<sup>1,2</sup>, 黄长江<sup>1</sup>

(1. 温州医学院 生命科学学院, 浙江 温州 3160041; 2. 暨南大学 水生生物研究所, 广东 广州 510632)

**摘要:** 研究了柘林湾表层沉积物样品中 7 种重金属元素的质量分数及分布特征, 并对其来源进行了分析。结果显示, 调查海区 Zn 的平均质量分数为  $113.0 \mu\text{g/g} \pm 6.5 \mu\text{g/g}$ 、Cr 为  $40.1 \mu\text{g/g} \pm 8.5 \mu\text{g/g}$ 、Mn 为  $837.9 \mu\text{g/g} \pm 168.6 \mu\text{g/g}$ 、Cu 为  $24.0 \mu\text{g/g} \pm 4.3 \mu\text{g/g}$ 、Pb 为  $57.7 \mu\text{g/g} \pm 11.3 \mu\text{g/g}$ 、Ni 为  $24.4 \mu\text{g/g} \pm 5.7 \mu\text{g/g}$ 、Fe 为  $3.7\% \pm 0.4\%$ 。重金属主要来源于陆源风化产物, 其质量分数反映了粤东地区的地质特点。分别以沉积物质量和香港环保署公布的标准, 对柘林湾表层沉积物重金属污染进行了评估, 结果表明: 只有 Pb 在部分站位达到中度污染水平, 其它重金属元素则只为轻度污染。

**关键词:** 柘林湾; 沉积物; 重金属

中图分类号: X55

文献标识码: A

文章编号: 1000 - 3096(2006)03 - 0041 - 05

粤东地区的柘林湾是一个具有典型亚热带特色的半封闭小型河口湾, 也是粤东最大规模的养殖区之一<sup>[1]</sup>。黄冈河是柘林湾唯一的地表径流输入源。由于柘林湾在生态学上的重要意义和在水产养殖方面的重要性, 2001 年启动的广东省重大科技兴海项目将其列为生态系统研究的示范区。重金属调查是其中的一项重要内容。作者首次报道了柘林湾表层沉积物的重金属质量分数、分布特征及其成因, 并对柘林湾表层沉积物的污染现状进行了评估。

## 1 柘林湾的地理概况

柘林湾位于闽粤交界处(图 1),  $116^{\circ}58' \sim 117^{\circ}05' \text{E}$ ,  $23^{\circ}31' \sim 23^{\circ}37' \text{N}$ , 面积  $68 \sim 70 \text{ km}^2$ , 三面为陆地包围。东西轴方向长, 南北窄。内湾与外湾之间由海山岛、西澳岛、汛州岛间隔, 形成了 3 个大小不等的口门, 由东向西依次为东小门、大金门和小金门, 这 3 个口门也是进入内湾的航道。其中与东小门直接相联系的是柘林港。柘林湾北有黄冈河流入海湾, 东为柘林镇。湾顶西部是粤东主要港口——三百门港的所在地。柘林湾的潮汐为典型的不规则半日潮, 平均潮差  $1.69 \text{ m}$ , 最大潮差  $3.06 \sim 3.33 \text{ m}$ , 涨潮历时大于落潮历时<sup>[2]</sup>。

## 2 材料与方法

### 2.1 样品采集

2002 年 8 月 24 日对柘林湾进行了一个航次的

底质调查。在柘林内湾和外湾共设置 11 个站位(图 1), 其定位采用全球卫星定位系统(GPS)。用彼德森采泥器(曙光 HNM<sub>1-2</sub>型, 采样面积  $0.1 \text{ m}^2$ ), 在每个站位采集表层沉积物样品, 用塑料勺取其中未受干扰的表层  $0 \sim 2 \text{ cm}$  泥样, 带回实验室,  $-20^{\circ} \text{C}$  保存, 备用。

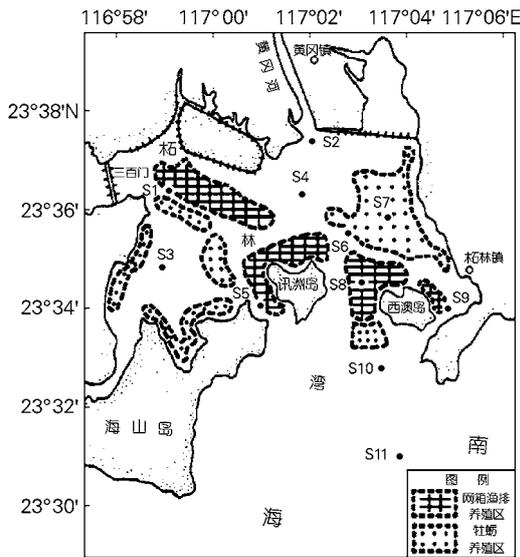
### 2.2 样品处理与重金属测定

泥样于室温条件下风干至恒质量, 用研钵将风干的样品磨碎, 以湿选法得到粒径  $> 63 \mu\text{m}$  和粒径  $< 63 \mu\text{m}$  的两个分样。其中, 后者用于重金属分析。样品以王水消化, 重金属测定在暨南大学分析测试中心进行, 以日立 180-80 型原子吸收分光光度计测定各重金属元素的质量分数, Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Cr, Ni 的全程序空白值分别为 0.022, 0.012, 0.003, 0.042, 0.021,  $0.005 \mu\text{g/g}$ 。以近海沉积物参考样品 GBW07314 进行分析质量控制, 测定相对标准偏差小于 10%。每份样品均测定平行双样, 取其平均值。

收稿日期: 2003 - 09 - 21; 修回日期: 2005 - 10 - 18

基金项目: 广东省重大科技兴海资助项目(A200005F20); 广东省自然科学基金(021260)

作者简介: 乔永民(1971 -), 男, 山东滨州市人, 主要从事海洋污染生态学研究; 黄长江, 通讯作者, E-mail: cjhuang5711@163.com



### 2.3 沉积物中总有机质的测定

总有机质 (TOM) 测定采用 Tam<sup>[3]</sup>的方法 (略有

修改), 以精确度为 0.0001 g 的分析天平 (Mettler Toledo AB204-N Switzerland) 准确称取 1.0000 g 粒径 < 63 μm 泥样于马弗炉中, 在 550 °C 的条件下灼烧 5 h。灼烧后的烧失量, 即为 TOM 的质量分数。

## 3 结果

### 3.1 柘林湾表层沉积物特征

粘土和粉砂质粘土是柘林湾内湾分布最广的沉积类型<sup>[2]</sup>, 占据中央及两边的大片潮滩地。其中, 粘土沉积物小于 8 φ 的细粒占 60 % 以上, 细粉砂级不足 30 %, 无砂粒级。近岸区域则以中粗砂为主, 含泥量少于 3%, 河口的 S2 站位和西澳岛附近的 S9 站位均属这种沉积类型。

柘林湾沉积物中 TOM 质量分数较高 (表 1, 图 2), 范围为 5.5 % ~ 10.4 %, 平均值为 9.3 % ± 1.4 %。其最高值出现在 S1 站位, 最低值和次低值分别出现在 S2 和 S9 站位。网箱养殖区的 S1, S5, S8 站位和牡蛎养殖区的 S6, S7 站位, TOM 的质量分数均在 9.5 % 以上, 平均值为 9.6 % ± 0.6 %, 略高于非养殖区的平均质量分数 8.74 % ± 1.83 %。

表 1 柘林湾表层沉积物重金属和总有机质质量分数

Tab. 1 Heavy metals and total organic matter contents in surficial sediments of Zhelin Bay

<i>c</i> (Zn)	<i>c</i> (Cr)	<i>c</i> (Mn)	<i>c</i> (Cu)	<i>c</i> (Pb)	<i>c</i> (Ni)	<i>c</i> (Fe)	<i>c</i> (TOM)
(μg/g)	(μg/g)	(μg/g)	(μg/g)	(μg/g)	(μg/g)	(%)	(%)
99.9~122.5	19.5~48.4	534.2~1038.1	15.1~33.8	34.6~69.1	10.7~29.8	2.8~4.1	5.5~10.4
(113.0±6.4)	(40.1±8.4)	(837.9±168.6)	(24.0±4.3)	(57.7±11.3)	(24.4±5.7)	(3.7±0.3)	(9.3±1.3)

注: *c* (Zn) 表示 Zn 的质量分数, 余类推 (表 2、表 4 同); 括号内表示平均值±标准偏差

表 2 柘林湾与其它海湾表层沉积物重金属质量分数比较

Tab. 2 Comparison of heavy metal contents in surficial sediments between Zhelin Bay and other Bays

海湾	<i>c</i> (Zn)	<i>c</i> (Cr)	<i>c</i> (Mn)	<i>c</i> (Cu)	<i>c</i> (Pb)	<i>c</i> (Ni)	<i>c</i> (Fe)
	(μg/g)	(μg/g)	(μg/g)	(μg/g)	(μg/g)	(μg/g)	(%)
柘林湾	113.0	40.1	837.9	24.0	57.7	24.4	3.70
红海湾 <sup>[4]</sup>	45.1	59.1	/	12.7	39.9	22.6	2.25
深圳湾 <sup>[4]</sup>	124.0	48.0	/	35.8	51.1	24.0	/
东山湾 <sup>[5]</sup>	231.0	/	592.0	17.5	38.3	38.8	3.60
湄州湾 <sup>[5]</sup>	243.0	/	730.0	19.2	47.0	44.0	3.21
兴化湾 <sup>[5]</sup>	425.0	/	611.0	16.2	40.5	28.3	2.97

### 3.2 柘林湾表层沉积物重金属质量分数

柘林湾表层沉积物各重金属元素质量分数范围见表 1, 其平均值与其它海域的比较结果见表 2。结果表明: 柘林湾表层沉积物 Mn, Pb, Fe 的平均质量分数分别为 837.9  $\mu\text{g/g}$ , 57.7  $\mu\text{g/g}$  和 3.7%, 与其它海湾相比, 质量分数最高; Cu 的平均质量分数为 24.0  $\mu\text{g/g}$ , 质量分数也相对偏高, 仅次于深圳湾。Zn, Ni 的平均质量分数分别为 113.0  $\mu\text{g/g}$  和 24.4  $\mu\text{g/g}$ , 质量分数则相对偏低, 与其它海湾相比, 仅高于红海湾。Cr 的平均质量分数为 40.1  $\mu\text{g/g}$ , 与其它海湾相比, 质量分数最低。

### 3.3 柘林湾表层沉积物重金属元素分布特征

柘林湾表层沉积物中 Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Cr 和 Ni 的平面分布见图 2。

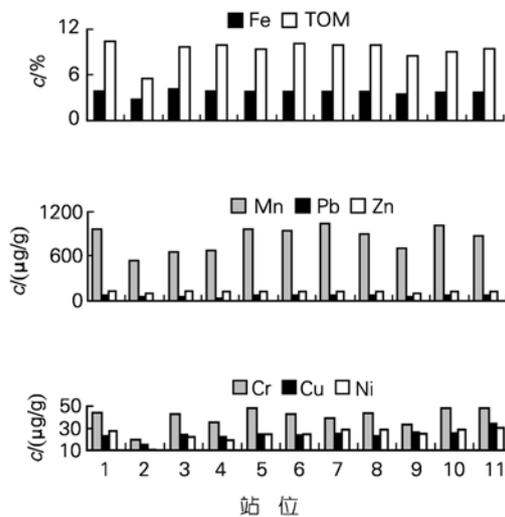


图 2 柘林湾表层沉积物总有机质与重金属的分布

Fig.2 The distribution of total organic matter and heavy metals in surficial sediments of Zhelin Bay

#### 3.3.1 Zn

各站位间分布比较均匀质量分数差异不大, 变异系数仅为 5.7%。最低值 99.9  $\mu\text{g/g}$  出现在黄冈河口的 S2 站位, 其最高值 122.5  $\mu\text{g/g}$  出现在网箱养殖区的 S8 站位, 约为最低值的 1.2 倍。其它各站位的质量分数在 103~117  $\mu\text{g/g}$  之间, 与整个海湾的平均值接近。

#### 3.3.2 Cr

各站位间的质量分数差异较大, 变异系数为 21.1%。最低值 19.5  $\mu\text{g/g}$  出现在黄冈河口的 S2 站位,

次低值 33.4  $\mu\text{g/g}$  出现在湾东部近湾口处的 S9 站位。最高值 48.4  $\mu\text{g/g}$  和次高值 47.8  $\mu\text{g/g}$  分别出现在外湾的 S11 和 S10 站位, 最高值约为最低值的 2.5 倍。养殖区的 S1, S5, S6, S8 和非养殖区的 S3 站位的质量分数均高于平均值 40.1  $\mu\text{g/g}$ 。

#### 3.3.3 Mn

各站位间的质量分数差异比较明显, 变异系数为 20.1%。最高值 1 038.1  $\mu\text{g/g}$  出现在牡蛎养殖区的 S7 站位, 约为黄冈河口 S2 站位最低值 534.2  $\mu\text{g/g}$  的 1.9 倍。养殖区, 除 S9 站位外, S1, S5, S6, S7, S8 站位的质量分数均高于平均值, 而在非养殖区, 除 S10 站位外, 其它各站位的质量分数则均低于平均值, 养殖区与非养殖区间的 Mn 的质量分数差异较为明显。

#### 3.3.4 Cu

在各站位间的质量分数差异较大, 变异系数为 18.1%。其最高值 33.8  $\mu\text{g/g}$  出现在外湾的 S11 站位, 约为 S2 站位最低值 15.1  $\mu\text{g/g}$  的 2.2 倍。其它各站位的质量分数在 22.0~25.7  $\mu\text{g/g}$  之间, 接近与整个海湾的平均值 24.0  $\mu\text{g/g}$ 。

#### 3.3.5 Pb

各站位间的质量分数存在一定的差异, 变异系数为 19.6%。其最低值 34.6  $\mu\text{g/g}$  和次低值 40.4  $\mu\text{g/g}$  分别出现在非养殖区的 S3 和 S4 站位, 最高值 69.1  $\mu\text{g/g}$  出现在网箱养殖区的 S5 站位, 约为最低值的 2 倍。养殖区 (S9 站位除外) 以及湾外的 2 个站位的质量分数均高于整个海湾的平均值 57.7  $\mu\text{g/g}$ 。

#### 3.3.6 Ni

在所研究的各重金属元素中, Ni 在各站位间的质量分数差异最大, 变异系数为 23.2%。其最高值 29.8  $\mu\text{g/g}$  和次高值 29.1  $\mu\text{g/g}$  分别出现在外湾 S11 和 S10 站位。最高值约为黄冈河口 S2 站位最低值 10.7  $\mu\text{g/g}$  的 3 倍。此外, 非养殖区的 S3, S4 站位的质量分数均低于平均值 24.4  $\mu\text{g/g}$ , 而养殖区各站位的质量分数则均高于平均值。

#### 3.3.7 Fe

作为常量元素, 在各站位的质量分数差异较小, 变异系数为 9.3%。与大多数重金属元素的分布相似, 最低值 2.8% 出现在黄冈河口的 S2 站位, 最高值 4.1% 出现在非养殖区的 S3 站位, 约为最低值的 1.5 倍。

### 3.4 柘林湾表层沉积物各重金属元素间及其与总有机质间的相关分析

对柘林湾表层沉积物各重金属元素间及其与 TOM 间进行相关分析, 相关矩阵见表 3。结果表明: TOM 与大多数重金属元素的相关性较好, 其中与 Fe 的相关性最强, 其次为 Zn 和 Cr, 均呈显著的正相关

表 3 柘林湾表层沉积物重金属、总有机质相关矩阵 (n=11)

Tab. 3 Correlation matrix of contents of heavy metals and total organic matters in surficial sediments of Zhelin Bay

物 质	Zn	Cr	Mn	Cu	Pb	Ni	Fe	TOM
Zn	1	0.690*	0.658*	0.170	0.180	0.583	0.783**	0.821**
Cr		1	0.739**	0.722*	0.375	0.833**	0.778**	0.780**
Mn			1	0.441	0.649*	0.818**	0.501	0.627*
Cu				1	0.228	0.753*	0.530	0.530
Pb					1	0.425	-0.162	-0.004
Ni						1	0.656*	0.732*
Fe							1	0.952**
TOM								1

\*:  $P < 0.05$ ; \*\*:  $P < 0.01$

关系, 与 Mn 和 Ni 呈较好的正相关关系, 而与 Cu, Pb 的相关性均不显著; 各重金属元素之间, Cr 与其它重金属元素的相关性较好, 仅与 Pb 的相关性不显著; Pb 则与其它重金属元素的相关性较差, 仅与 Mn 呈较好的正相关关系; Fe 与 Zn, Cr, Ni 呈显著的正相关关系; Cu 则仅与 Cr, Ni 呈较好的正相关关系; Zn 与 Cu, Pb, Ni 的相关性不显著。

### 3.5 柘林湾表层沉积物重金属污染评价

分别采用海洋沉积物质量标准 (GB18668—2002) 和香港环保署基于细粒级组分 (<63  $\mu\text{m}$ ) 中的重金属质量分数对沉积物污染的分级标准 (表 4), 对柘林湾表层沉积物的重金属污染进行了评价。结果显示, 柘林湾表层沉积物中 Zn, Cr, Cu, Pb 的平均质量分数, 以海洋沉积物质量标准评价, 均未超标,

表 4 海洋沉积物重金属污染评价标准

Tab. 4 Standard of heavy metal pollution in marine sediments

标 准	c (Zn)	c (Cr)	c (Cu)	c (Pb)	c (Ni)
第一类 <sup>a</sup>	≤150.0	≤80	≤35.0	≤60.0	/
第二类 <sup>a</sup>	≤350.0	≤150.0	≤100.0	≤130.0	/
第三类 <sup>a</sup>	≤600.0	≤270.0	≤200.0	≤250.0	/
无污染 <sup>b</sup>	<70	<25	<10	<25	<15
轻度污染 <sup>b</sup>	70~150	25~50	10~54	25~65	15~35
中度污染 <sup>b</sup>	150~200	50~80	55~64	65~70	35~40
重度污染 <sup>b</sup>	>200	>80	>64	>75	>40

注: a: 海洋沉积物质量标准 (GB 18668—2002); b: 香港环保署标准

达第一类沉积物标准, 但 Pb 在除 S2, S3, S4 和 S9

之外的各站位均达到了第二类沉积物标准; 以香港沉积物分级标准评价, Zn, Cr, Cu, Pb, Ni 也仅处于轻污染水平。就各站位而言, Pb 在除 S2, S3, S9 外的各站位均达到中度污染水平。

## 4 讨论

柘林湾是一小型河口湾, 沉积物主要来源于黄冈河携带的泥沙以及在东北强风作用下带入的风沙<sup>[2]</sup>。因此, 其中的重金属质量分数反映了黄冈河流域以及柘林湾周边区域的地球化学特征。首先, 粤东地区地处赤红壤地带, 富含 Fe, Al, 其成土母岩主要是花岗岩<sup>[6]</sup>, 同时, 柘林湾本区的裸露地层也主要是燕山三期至五期的各种花岗岩<sup>[2]</sup>。其主要矿物成分是长石和石英, 花岗岩中 92% 的 Pb 与长石有关<sup>[5]</sup>。因此, 当花岗岩被侵蚀、风化之后, 其中长石所含的 Pb, 将随其晶格由于强烈的淋溶作用的破坏, 直接或间接地被地表径流搬运入海。其次, 黄冈河的主要流经区域——饶平县, 是粤东地区 Cu, Pb 的主要矿区<sup>[7]</sup>, 矿石被侵蚀、风化后的产物在水流或风力的作用下进入海湾。因此, 柘林湾表层沉积物来源的地质特点, 可能是其中 Cu, Pb, Fe 元素质量分数高于其它海湾的主要原因。

沉积环境是决定沉积物重金属质量分数与分布的另一重要因素, 其特征取决于水动力条件, 沉积物本身的物理、化学与生物过程以及人为因子的干扰<sup>[5]</sup>。对于柘林湾而言, 在水动力作用较强的黄冈河口和湾东南部狭窄的水道, 能够吸附、络合重金属的粉砂和粘土等细粒级物质难以在此形成有效的沉积, 沉积物以中粗砂为主, 有机质质量分数较少。因此, 河口的 S2 和湾东部的 S9 站位的重金属质量分数较其它站位偏低。内湾及口门处的其它站位受人为设置的牡蛎桩

和网箱的影响,水交换作用较弱,进入海湾的细颗粒物随同养殖过程产生的大量废物都沉积于此。沉积物以粉砂和粘土为主,富含有机质,为重金属的富集提供了丰富的基质。因此,这些站位的重金属元素质量分数相对高于 S2 和 S9 站位。但差异并不明显,说明养殖过程对沉积物的重金属质量分数影响较小。外湾 S11 站位的 Cr, Cu, Ni 与湾内各站位相比,其质量分数较高。究其原因,一方面在淡水径流、潮流和波浪的共同作用下,内湾的部分沉积物在水流的作用下迁移至此,另一方面义丰溪、莲阳河等韩江的入海支流所携带的陆源物质也在此沉积。由于韩江的流域面积远大于黄冈河,并流经潮州、澄海等市区,城市污水被排入江中。这可能是导致 S11 站位的部分重金属元素质量分数偏高的主要原因。

柘林湾表层沉积物重金属污染评价表明,只有 Pb 在部分站位达到中度污染水平,除了地质方面的因素外,人为污染也不容忽视。柘林湾为粤东最大规模的养殖区,有“海上渔村”之称。每天都有大量的小型简易的机动渔船在湾内穿行,排放出大量的尾气,并且漏油现象严重,其中所含的 Pb 可能会对海湾造成一定的污染,但其影响程度如何,还有待进一步研究。

## 参考文献:

- [1] 黄长江, 陈善文, 何歆, 等. 2001~2002 年粤东柘林湾浮游动物的生态学研究[J]. 海洋与湖沼, 2003, 34(3): 117-130.
- [2] 蔡爱智. 粤东柘林湾的泥沙来源与沉积环境[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 1994, 33(4): 515-520.
- [3] Tam N F Y, Wong Y S. Spatial variation of heavy metals in surface sediments of Hong Kong mangrove swamps [J]. *Environmental Pollution*, 2000, 110(2): 195-205.
- [4] 甘居利, 贾晓平, 李纯厚, 等. 南海北部陆架区表层沉积物中重金属分布和污染状况[J]. 热带海洋学报, 2003, 22(1): 36-42.
- [5] 徐茂泉, 李超, 裴红娜, 等. 厦门海沧周边海域表层沉积物中重金属的地球化学特征[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 40(3): 758-763.
- [6] 王林乾, 陈大石, 萧有馥. 潮汕自然地理[M]. 广州: 广东人民出版社, 1992. 116-117.
- [7] 曹建劲. 粤东地区金属矿床成矿系列及成矿规律探讨[J]. 中山大学学报(自然科学版), 1996, 35(增刊 2): 118-120.

## A primary study on the distribution and pollution of heavy metals in the surficial sediments of Zhelin Bay

QIAO Yong-min<sup>1, 2</sup>, HUANG Chang-jiang<sup>1</sup>

(1. Collage of Life Science Wenzhou Medical University, Wenzhou 325027, China; 2. Institute of Hydrobiology Ji'nan University, Guangzhou 510632, China)

Received: Sep., 21, 2003

Key words: Zhelin Bay; sediment; heavy metal

**Abstract:** In present study, The contents of 7 kinds of heavy metals (Fe, Mn, Cu, Pb, Zn, Co, Ni) in surficial sediments of Zhelin Bay were determined, and their distribution and main resources were analyzed. The results showed that the mean contents of the heavy metals were: Zn 11.3  $\mu\text{g/g} \pm 6.5 \mu\text{g/g}$ ; Cr 40.1  $\mu\text{g/g} \pm 8.5 \mu\text{g/g}$ ; Mn 837.9  $\mu\text{g/g} \pm 168.6 \mu\text{g/g}$ ; Cu 24.0  $\mu\text{g/g} \pm 4.3 \mu\text{g/g}$ ; Pb 57.7  $\mu\text{g/g} \pm 11.3 \mu\text{g/g}$ ; Ni 24.4  $\mu\text{g/g} \pm 5.7 \mu\text{g/g}$ ; Fe 3.7%  $\pm 0.4\%$ . The main resources of heavy metals are from terrestrial weathering products and their contents reflected the ubiquitous geochemical characteristic of eastern Guangdong province. The pollution degree of heavy metals in surface sediment of Zhelin Bay was assessed, according to the criterion of marine sediment quality and the criterion of Hong Kong Environmental Protection Department, the result showed that the contents of Pb in a few stations made middle pollution, the other heavy metals made only slightly pollution in whole studied area.

(本文编辑: 刘珊珊)