

新型塑料合成沙物理和运动特性试验研究

汪明娜, 孙贵州, 郑文燕

水利部长江水利委员会长江科学院, 武汉 430010

[摘要] 在泥沙实体模型试验中, 模型沙的选用及其物理和运动特性的确定直接关系到泥沙运动及河床变形的相似性和试验成果的精度。多年来采用的各种模型沙存在一些难以克服的缺陷。成功研制成一种物理性质可控制、能批量生产的亲水性树脂基合成模型沙材料(简称 PS 或 EPS), 尝试为模型沙研究开辟新途径, 也为解决泥沙模型试验选沙难题提供了参考。

[关键词] 塑料合成沙; 模型沙; 物理和运动特性; 试验研究; 起动流速

[中图分类号] TV149

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2007)10-0039-05

Experimental Research on Physical and Kinetic Characteristics of the New Compound Sand Made from Plastic

WANG Mingna, SUN Guizhou, ZHENG Wenyan

Scientific Research Institute of the Yangtze River, Changjiang Water Resources Commission, Ministry of water Resources of China, Wuhan 430010, China

Abstract: In a test of the sand physical model, it is very important to select the model sand with appropriate physical and kinetic characteristics, which is directly related with the similarity of the sediment movement and the change of river bed and with the accuracy of the experimental results. All available model sands are not satisfactory in one way or another. In this paper, a kind of hydrophilic resin compound model sand (PS or EPS) is successfully developed, whose physical characteristics can be controlled and which can be produced in bulk. This new hydrophilic resin sand (PS or EPS) can meet various requirements in the model sand selection.

Key Words: compound sand made from plastic; model sand; physical and motional characteristics; experimental research; pick-up velocity

CLC Number: TV149

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2007)10-0039-05

在河工动床模型试验中, 对模型沙要求满足粒径比尺相似、泥沙运动相似中的悬移相似及起动相似, 条件要求严格。而模型沙的选用及其物理和运动特性的确定直接关系到泥沙运动及河床变形的相似性和试验精度, 因此是模型试验成果可靠性的关键。多年来, 常用的模型沙有天然沙、塑料、木屑、精煤、褐煤、粉煤灰、电木粉、滑石粉、核桃壳粉等。其缺陷如下: 天然沙不易按粒径比尺配制, 达不到相似性的要求; 塑料沙易滑动, 水下休止角小, 亲水性差, 成形困难; 木屑长期使用易腐烂

变质, 粒径形状与天然沙相差甚远; 精煤、粉煤灰、电木粉等容重较大的模型沙, 在试验中均发现较细部分因絮凝、板结, 起动有一定困难, 颜色灰暗, 不易观察, 且可能造成环境污染。又由于常用模型沙几何形状、颜色、容重等物理特性固定, 不能人为调整, 模型设计中往往为了满足模型某一特性需要而使部分相似条件偏离, 给模型设计带来很大的限制性。所以, 选沙工作目前仍是困扰实体模型设计的一大难题。

泥沙实体模型是长江防洪模型的重要组成部分, 在

收稿日期: 2006-09-07

基金项目: 长江防洪模型利用世界银行贷款专项

作者简介: 汪明娜, 女, 湖北省武汉市后九万方长江科学院河流研究所, 高级工程师, 主要从事河流泥沙及环境保护研究;

E-mail: wmn214@163.com

长江防洪模型项目可行性研究和初步设计阶段,为配合实体模型设计,在收集了国内外使用过的各种模型沙性质的基础上,根据该模型研究对象的特点及相似条件,由长江科学院与武汉理工大学联合,经过 2 年的反复探索,成功研制出一种物理性质可控、价格适中、能批量生产的亲水性树脂基合成模型沙(简称塑料合成沙)材料,为模型沙研究开辟了新途径,也为解决泥沙模型试验选沙难题提供了方便。

1 塑料合成沙的成分及主要物理特性

塑料合成沙主要成分为聚酯乙烯树脂(简称 PS 或 EPS)、超细活化碳酸钙和滑石粉等,采用超微细无机粉体材料与高分子交联复合技术及亲水基团反应技术,经先进的反应挤塑成型和超细粉体加工工艺制作而成。通过调节 PS 与碳酸钙组成比例,合成沙容重可在 $1.1\sim 2.4\text{ t/m}^3$ 范围内调节;复合过程加入少量的改性剂和分散剂,可增加其亲水性,减少絮凝,改善板结性能;可染改不同的颜色。塑料合成沙的主要特性见表 1,资源来源于文献[1]。

表 1 塑料合成沙主要特性简明表

Table 1 Characteristic parameters of the compound sand made from plastic

颗粒形状	密度	干容重	沉降特性	起动特性	综合评价
具有不规则的外形和棱角,通过高温冷却磨角加工处理,其圆度有所增大;与天然沙几何形状随粒径的变化总体趋势基本一致;便于试验观察,可染成各种颜色	在自来水浸泡过程中,沙样体积不随时间变化;不同粒径沙样密度测试值为 1.38 t/m^3 ,波动范围为 $\pm 0.02\text{ t/m}^3$,密度稳定	干容重随粒径增大而增大, $d_{50}=0.12\sim 1.76\text{ mm}$,干容重变化为 $0.55\sim 0.73\text{ t/m}^3$	满足泥沙粗细颗粒基本沉降规律	$d_{50}=0.39\text{ mm}$ 沙样在 $5\sim 30\text{ cm}$ 水深下起动流速(少量动)为 $10.6\sim 14.4\text{ cm/s}$,扬动流速为 $16.3\sim 20.8\text{ cm/s}$	加工操作方便,可为调整密度、颗粒大小、颜色等;考虑环境美观等因素,塑料合成沙相对较优

2 物理特性试验

考虑长江防洪实体模型相似律要求,共配制 7 组容重为 1.38 t/m^3 、中值粒径 $d_{50}=0.12\sim 1.73\text{ mm}$ 试验沙样,级配见图 1。中值粒径 d_{50} 及非均匀系数 $\eta=\sqrt{d_{75}}/\sqrt{d_{25}}$,见表 2 数据,资料来源于文献[1]。

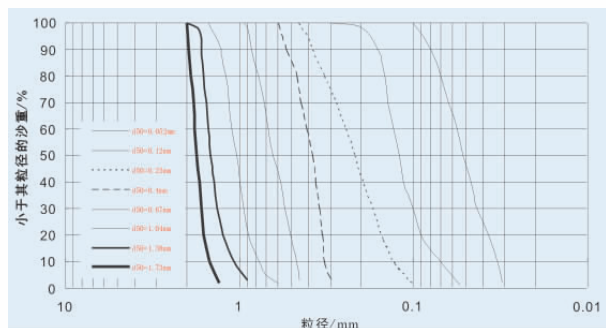


图 1 塑料合成沙级配曲线

Fig. 1 Relation curves of grades for the compound sand made from plastic

2.1 容重试验

干容重的物理意义是单位体积内(包括孔隙)干燥泥沙的重量,用 γ_s' 表示。

$$\gamma_s' = \frac{W_s}{V} \gamma_s \left(1 - \frac{V_w}{V} \right) \gamma_s (1 - \varepsilon) \quad (1)$$

式中 $(1-\varepsilon)$ 为含沙率,等于单位体积内泥沙颗粒所占的体积。模型沙的容重 γ_s 可以看成是不变的常数, γ_s' 的变化实际上就是孔隙率 ε 的变化。沙样的容重用比重瓶测定。由于沙样颗粒中存在空隙,因而颗粒容重是指空

隙含水饱和而其表面不含水的情况下的单位体积重量。在常温情况下,塑料合成沙在自来水的浸泡过程中,沙粒本身并不随时间变化(膨胀或收缩),不同粒径范围的沙粒容重基本稳定,平均为 1.38 t/m^3 ,其波动范围为 $\pm 0.02\text{ t/m}^3$,测定结果见表 2,资源来源于文献[1]。

表 2 塑料合成沙容重测定成果表

Table 2 Determination of bulk density of the compound sand made from plastic

沙样	中值粒径 d_{50}/mm	非均匀 系数 η	容重 $\gamma/(\text{t}\cdot\text{m}^{-3})$	稳定干容重 $\gamma/(\text{t}\cdot\text{m}^{-3})$
1	0.12	1.128	1.365	0.559
2	0.23	1.360	1.379	0.590
3	0.39	1.134	1.380	0.615
4	0.67	1.090	1.380	0.645
5	1.04	1.142	1.375	0.725
6	1.38	1.077	1.368	0.734
7	1.73	1.057	1.360	0.734

2.2 水下休止角试验

泥沙休止角是反映泥沙重力特性的一个重要因素。影响泥沙休止角的因素来自环境介质和泥沙主体两方面,可认为是粒径的平均粒径、不均匀系数、颗粒的形状系数、颗粒表面光滑度、颗粒容重、介质容重及介质黏性系数的函数。测试结果分别为空气中休止角 $28^\circ\sim 36^\circ$,水下 $27^\circ\sim 35.4^\circ$,在同一空气或水介质下,自然休止角随粒径增大而增大,试验成果见表 3,资料来源于文献[1]。点绘 d_{50} 与休止角 φ 的关系,用二次曲线拟合,得到空气中自然休止角。

$$\varphi = 31.27 + 12.18 \lg d + 8.47 (\lg d)^2 \quad (2)$$

水下自然休止角

$$\varphi = 32 + 10.82 \lg d + 6.81 (\lg d)^2 \quad (3)$$

试验沙样水下及水上休止角范围为 $27^\circ \sim 36^\circ$, 略小于天然沙, 远大于一般的塑料沙, 因此塑料合成模型沙塑造初始地形容易成型, 能较好地模拟河床冲淤形态。

表 3 不同粒径塑料合成沙休止角试验成果表

Table 3 Experimental results for the angles of rest by different sizes of compound sands made from plastic

沙样	容重 $\gamma_s / (\text{t} \cdot \text{m}^{-3})$	非均匀 系数 η	粒径 范围 /mm	d_{50} /mm	休止角 $\varphi / ^\circ$		室温 $/ ^\circ\text{C}$	水温 $/ ^\circ\text{C}$
					空气中	水中		
1	1.380		0.03~0.09	0.052	62.0	55.0	21.0	18.0
2	1.365	1.128	0.07~0.30	0.120	58.8	50.6	21.7	18.3
3	1.379	1.360	0.15~0.45	0.230	56.2	27.8	21.8	19.7
4	1.380	1.134	0.30~0.58	0.390	48.5	31.4	21.6	18.5
5	1.380	1.090	0.45~0.95	0.670	45.6	33.5	20.1	18.0
6	1.375	1.142	0.60~1.43	1.040	40.5	36.8	20.3	19.5
7	1.368	1.077	0.90~2.00	1.380	38.5	41.7	18.6	17.0
8	1.360	1.057	1.25~2.00	1.730	34.0	43.5	19.8	17.9

2.3 耐水性能试验

将 $40 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ 沙样置于沸水中煮沸 20 min, 而后取出冷却 5 min 后放入冷水中浸泡 20 min, 此为一个循环。依次进行 20 次循环。试验结果显示试验前后的沙样尺寸稳定、质量略有增大、颜色稍变浅, 表明塑料合成沙的耐水性能较好 (表 4), 资源来源于文献[1]。

表 4 耐水性能试验成果表

Table 4 Experimental results of water-resistant properties of the compound sand made from plastic

序号	试验前			试验后		
	颜色	尺寸/cm×cm×cm	质量/g	颜色	尺寸/cm×cm×cm	质量/g
1	灰绿	7.97×0.98×0.41	4.711	灰白绿	7.73×0.98×0.41	4.751
2	灰绿	7.98×0.98×0.42	4.799	灰白绿	7.80×0.98×0.42	4.832
3	灰绿	7.98×0.98×0.42	4.875	灰白绿	7.78×0.98×0.42	4.908

3 运动特性试验

3.1 起动流速试验

起动流速试验在长 30 m、宽 0.5 m、高 0.35 m、底坡为 0.03% 的变坡玻璃水槽中进行。试验观测段长为 2 m。试验前先将塑料合成沙用水浸泡 5~7 d, 平铺于水槽内观测段厚为 5 cm。试验水深变幅为 5~30 cm, 水温变化范围在 $22 \sim 26 \text{ } ^\circ\text{C}$ 之间。流速视床面沙粒的运动状态分为 4 种, 判别标准如下。

个别动——槽中纵向床面上有个别颗粒开始作间歇性移动。

少量动——槽中纵向床面上出现少量颗粒的间歇性滚动, 可连续观测到其运动状态; 床面上单位面积 (如 10 cm^2) 移动的颗粒数目是可数的。

普遍动——床面上出现大面积颗粒滚动, 其运动速度和连续性均比少量动增强; 床面上单位面积内移动的颗粒不可数。

扬动——整个床面上的颗粒呈带状形式运动。带状不停地向左右两边摆动, 在带状体头、尾端附近有颗粒从床面上扬起翻滚, 呈烟雾或浑浊状。

试验成果见表 5, 资料来源于文献[1]。图 2 为各粒径组起动流速与水深的关系。从图中可以看出, 起动流速均随水深增大而增大, 起动流速与水深之间的变化规律

仍然符合公式 $U_c = K_m \sqrt{\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} g d} \left(\frac{h}{d} \right)^{\frac{1}{6}}$ 所示的指数关

系。试验结果表明: 起动流速指数的变化范围在 $1/5 \sim 1/7$ 之间, 平均值约为 $1/6$ 。其中较细的塑料合成沙流速指数略大, 为 $1/6$; 而较粗的流速指数略有减小, 一般小于 $1/6$, 表明水深对起动流速的影响程度有所减弱。在张瑞瑾的起动流速公式基础上, 拟合各种情况下的起动流速计算值与实测值基本吻合, 表明大于 0.1 mm 的塑料合成沙能满足泥沙起动规律。用水槽试验实测的起动流速资料进行塑料合成沙起动流速公式的拟合, 求得其起动流速公式如下。

$$U_{\text{少量动}} = \left(\frac{h}{d} \right)^{0.141} \left(17.6 \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} d + 0.16 \times 10^{-7} \frac{10+h}{d^{0.885}} \right)^{0.5} \quad (4)$$

式中, h 为水深; d 为泥沙粒径; γ_s 为泥沙容重; γ 为水容重。试验分析表明, 塑料合成沙的 4 种运动状态的起动流速变化规律一致。对应的起动流速具有线性关系, 都可采用类似式 (4) 的形式表达。

表 5 起动流速试验成果表

Table 5 Experimental results for pick-up velocity

中值粒径 d_{50}/mm	各种起动状态平均流速 $U_c / (\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$			
	个别动	少量动	普遍动	扬动
0.052	6.78~9.40	9.20~12.53	12.10~15.60	15.40~19.60
0.12	5.80~8.00	8.60~11.00	11.60~14.13	14.00~16.78
0.23	6.20~9.00	8.47~12.00	11.51~15.20	14.33~18.00
0.39	7.73~10.40	10.60~14.42	14.07~18.35	16.27~20.78
0.67	8.40~13.24	11.87~17.00	15.40~20.40	18.58~23.53
1.04	13.80~18.00	17.15~21.67	20.20~24.80	22.93~27.73
1.38	15.00~19.60	18.60~23.13	21.60~26.07	24.53~28.60
1.73	18.33~22.53	22.40~27.00	25.33~30.22	29.40~34.71

3.2 静水沉速试验

3.2.1 粗颗粒静水沉速试验

用垂直沉降管测定, 试验成果见表 6。实测沉速为 $7.61 \sim 0.42 \text{ cm/s}$, 沉速均随粒径的减小而递减。表中按公式计算值与实测沉速值作对比可知: 当 $Re (= \omega d / \nu) > 1.0$,

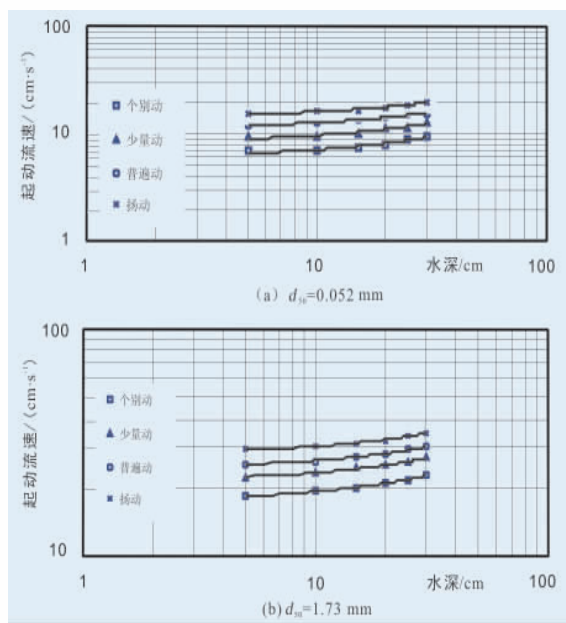


图2 塑料合成沙起动流速与水深关系

Fig. 2 Relation between pick-up velocity and water depth for the compound sand made from plastic

斯托克斯公式计算值偏大,而与张瑞瑾公式计算值较接近;当 $Re < 1.0$, 张瑞瑾公式计算值偏小,斯托克斯公式计算值接近实测值。

表6 粗颗粒塑料合成沙沉速试验成果表

Table 6 Experimental results on the great size settlements velocity for the compound sand made from plastic

序号	粒径/mm		沉速/(cm·s ⁻¹)			雷诺数
	d_{50}	范围	试验值	张瑞瑾公式	斯托克斯公式	
1	2.245	2.50~2.00	7.61	8.88		190.5
2	1.796	2.00~1.60	7.38	7.76		147.8
3	1.514	1.60~1.43	6.93	6.97		119.6
4	1.123	1.25~1.00	6.73	5.66		86.2
5	0.850	0.90~0.80	4.49	4.53		43.5
6	0.537	0.63~0.45	2.98	2.86		18.2
7	0.259	0.30~0.22	1.11	0.98	1.58	3.3
8	0.137	0.15~0.125	0.42	0.30	0.44	0.7

3.2.2 细颗粒静水沉速试验

粒径小于 0.10 mm 塑料合成沙的沉速采用沉降历时线法测定。取 40 个沙样,用自来水(水温 20.1 °C)浸泡透,把沙样置于筒内,加水至 2 200 mL,并搅拌均匀。通过测量不同的初始浓度、水深、沉降历时的含沙浓度变化,绘图分析计算不同粒径的群体沉速,见表 7。可见,小于 0.1 mm 塑料合成沙沉速在 0.002 4~0.35 mm 之间,与斯托克斯公式计算值基本一致。

3.2.3 絮凝特性试验

泥沙模型试验的悬浮质浑液,基本上是由细小的模

表7 细颗粒塑料合成沙沉速试验成果表

Table 7 Experimental results on the little size settlements velocity for the compound sand made from plastic

粒径 d_{50}/mm	初始含沙浓度 $S_0=5 \text{ g/L}$		斯托克斯公式
	运动粘滞系数 $\nu/(\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	试验沉速值 $\omega_T/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	
0.100	0.010 08	0.350 0	0.231 0
0.080	0.010 08	0.200 0	0.167 0
0.050	0.010 08	0.056 0	0.057 0
0.025	0.010 08	0.015 5	0.014 4
0.015	0.010 08	0.005 3	0.005 2
0.010	0.010 08	0.002 4	0.002 3

型沙颗粒和水构成浑水体系。如果颗粒之间的间距正好处于分子引力范围内,颗粒就会因分子引力的作用发生絮凝。影响絮凝的主要因素有:① 模型沙颗粒的化学成分、在水中的带电性质及带电数量;② 颗粒大小和级配;③ 含沙浓度;④ 介质的性质,包括电解质 Ca^{2+} 及 Mg^{2+} 离子的性质及含量等。长江属少沙河流,泥沙模型试验中悬移质含沙量较小,故浓度变化对絮凝的影响不大,絮凝主要受水质、颗粒大小与级配的影响。

试验结果表明:塑料合成沙 $d_{50}=0.017 \text{ 6 mm}$,沉降介质中 $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ 含量为 0~150.4 mg/L,水体含沙浓度为 4 g/L,絮凝临界粒径 $d_m=0.010 \text{ mm}$ 、絮凝强度 $\psi=0\sim 0.225$, $M_d=0.994\sim 1.136$ 。

3.3 阻力试验

模型沙的阻力特性直接影响模型的阻力相似,模型沙的阻力包括沙粒阻力和沙波阻力。前者主要取决于模型沙的粒径,后者与水力因子有关。模型沙阻力采用综合糙率系数 n 表达,利用曼宁公式计算 n 值。本试验共进行 28 组水槽阻力试验,断面平均流速变化范围为 10.02~21.73 cm/s。能坡变化范围为 0.002 9%~0.043%,糙率系数 n 在 0.013~0.021 之间。

成果分析如下:① 当断面平均流速为 10~12 cm/s 时,床面平整,泥沙处于未起动状态,为静平床, n 为 0.013~0.015;② 当流速 11~15 cm/s 时,床面开始出现零星、断续、细小、蛇曲状沙纹,继续加大约 14~17 cm/s 时,沙纹将逐渐连在一起,有的地方横断面形成较规则的平行分布的沙纹,高度约 1~3 mm, n 为 0.015~0.018;③ 流速 17~21 cm/s 时,沙纹的长度和高度逐渐增加,横断面沙纹逐渐突出,水流流线从沙纹的顶部稍后与床面分离,背水面开始出现漩涡,迎水面冲刷携带泥沙受重力及环流作用,粗颗粒泥沙停留在背水面上侧、堆积增高,细颗粒泥沙旋起扬走,逐渐形成沙垄,水流阻力增大, n 为 0.018~0.021;④ 在 10~30 cm 水深下形成完整的沙波,长度约为 11~30 cm,沙波高度约为 2~4 cm,背

水坡角在 $25^{\circ}\sim 65^{\circ}$ 之间,其中沙波平均波高随水深增大而减小,沙波波长随水深增减无明显变化。

4 结论

河工实体模型试验中,模型沙的选用历来就是泥沙模型设计的难题之一。而模型沙的选用直接关系到模型的泥沙运动及河床变形相似性等试验成果的可靠性。因此,研究、制作和分析选用新的模型沙是提高泥沙模型试验精确度和可靠性的关键。模型沙的特性涉及到物理、化学等学科的基础理论,因此是一项综合性研究课题。当前惯常使用的各种模型沙都有某些不足,或存在某种难以克服的缺陷。国内外水利科研单位,都着力谋求在模型沙上探索新的合成材料,以满足河工模型试验的高要求。

本课题研究制作的塑料合成沙,经试验测定,比目前常用的模型沙有较大的改进和明显的优点:① 物理性能稳定,亲水性好,颗粒容重及颜色可人为调配,可重复利用,使用寿命长;② 粒径范围广,且颗粒形态与天然沙相似;③ 起动流速、沉降速度试验成果表明,其基本水力学参数具有良好的规律性,水下休止角较大(在 $27.8^{\circ}\sim 55^{\circ}$ 之间),细颗粒塑料合成沙絮凝作用较小,容易形成稳定的床面形态;④ 在水槽试验中形成的床面

综合阻力(糙率 n)为 $0.013\sim 0.021$;⑤ 无污染、无毒害(毒性试验,用 SPF 级昆明小鼠),使用安全;⑥ 原料充沛,加工工艺简单,价格适中,适合大规模生产。这是一种性能良好的新型模型沙,具有很大的推广应用价值和前景。

经初步模型验证试验(上荆江沙市河段盐卡河湾长约 18 km)塑料合成沙的各项特性均能满足长江防洪模型设计的要求,可达到模拟相似性要求。

细颗粒塑料合成沙絮凝作用较小。试验观察发现,粒径小于 0.1 mm 细颗粒塑料合成沙在起动过程中,随时间增长,其表面形成一层非常薄的粘性薄膜,对起动有一定影响。细颗粒塑料合成沙与天然细颗粒泥沙都存在的表面薄膜现象是共性的,其原因有待进一步研究。

参考资料(References)

- [1] 长江水利委员会长江科学院. 长江防洪模型项目实体模型选沙试验报告[R]. 武汉, 2005, 12.

Changjiang Water Resources Commission, Scientific Research Institute of the Yangtze River. Report on experimental select the model sand of physical model for the flood control model of Yangtze River[R]. Wuhan, 2005, 12.

(责任编辑 李慧政)

·科技智力游戏·

如果您在 6 月 15 日前将本栏目答案连同期刊所附调查表寄至本刊编辑部,您将有机会获得自下期至 2008 年底的《科技导报》一套。

轻松一刻——填空补白

本游戏供读者读刊闲之余自娱自乐,并获取一些小知识。读者可根据下面“横”行、“纵”列的文字提示,分别填上相应的文字。答案见下期。

纵:

1. 人物名,隋末唐初将领罗艺之子,《隋唐演义》中英雄榜排名第七。
2. 成语典故名,出自西汉·刘向《战国策·魏策二》,比喻谣言重复多次,就能使人信以为真。
3. 学术期刊名,中华医学会会刊,始终发挥本领域内的学术导向作用,为推动我国医药卫生事业的发展 and 医学人才培养等作贡献。
4. 热血马的一种,产自北部欧亚大陆,既是长距离的骑乘马,也是跳跃和盛装舞步马。传说它前脖部位流出的汗呈血色;史载该马“日行千里”,又名“大宛马”、“天马”等。
5. 古代军队官职,中郎将的一种,东汉后期三国时代,统领军队的勇猛武将多用此名。
6. 形容能带来吉祥和好运的人、动物或物品。
7. 花名,又名孔雀仙人掌,原产于中美洲墨西哥。以娇丽轻盈的姿态,艳丽的色彩和幽雅的香气,深受人们喜爱。它在盛夏时开花,是窗前、阳台和厅厅点缀的佳品。
8. 明清时衙门里捕役和快手的合称,他们负责缉捕罪犯、传唤被告和证人、调查罪证等。
9. 以蚕豆或大豆为原料的酱的一种。
10. 著名相声贯口,内容涉及近 400 种菜式名称。

横:

- 一、元末明初小说家、戏曲家,章回体古典小说《三国演义》的作者,号湖海散人。
- 二、我国特有亚种虎,又名厦门虎,南中国虎,属于国家一级保护野生动物。目前该种虎濒临野生灭绝。
- 三、拨弦乐器的一种,按本身构造及用途的不同可分为西班牙类和夏威夷类,该西班牙类乐器是当今最普及的一种,又可细分为古典、民谣和电式 3 种。
- 四、宋元明清时期的哲学思潮,又称道学。它产生于北宋,盛行于南宋与元、明时代,清中期以后逐渐衰落。其中以程颐、朱熹的思想学说影响最为广泛。
- 五、中国物理学会主办的学术期刊,1984 年创办,英文版月刊,该刊坚持国际上高级快报类刊物的选稿原则,强调研究成果的首创性及对推动其他研究的重要性,连续三届获得国家期刊奖。
- 六、史书名,西晋陈寿的作品,主要记载魏、蜀、吴三国鼎立时期的历史。
- 七、乐曲名,原是“四川扬琴”(曲艺的一种)的开场音乐,内容表现古代将军升帐的威严庄重、出征的矫健轻捷、战斗的激烈紧张。
- 八、蒙古民族杰出的军事家、政治家,名铁木真,元朝开国皇帝。
- 九、豆类的一种,属豆科豌豆属,又称荷兰豆、剪豆。以食用嫩荚为主,原产地中海沿岸及亚洲西部。

一	1		3						
			二		5		三	6	
								8	
			四			五			10
六	2				七		7		
八			4			九		9	

上期答案

恰	恰	舞							
	似				管				
	一	休		大	仲	马			
	江			观			君		琵琶
	春	色	满	园	关	不	住		
	水				关		长	歌	行
徐	向	前			雕		江		
	东		雷		鸠		尾	张	
	流	星	雨			南		三	
		宿				海	陆	丰	

(供稿 李建才 责任编辑 赵佳)