

采用出厂水水质综合评价指数 (FDWQI) 评价上海市生活饮用水水质

周晓鹏¹, 毛洁¹, 应亮¹, 王懿霖¹, 陈国光², 阎威武³, 童祯恭⁴

摘要: [目的] 研究出厂水水质综合评价指数 (finished drinking water quality index, FDWQI) 能否综合反映上海市生活饮用水出厂水的实际情况。[方法] 运用 FDWQI 对上海市 13 家市级水厂的出厂水水质卫生情况进行评价。[结果] 以长江水为水源的水厂全年 FDWQI 平均值为 20.19, 每月的评价结果“优”、“良”各半, 以黄浦江上游水为源水的水厂全年 FDWQI 平均值为 24.25, 每月的评价结果以“良”为主。FDWQI 在春季波动较小, 冬季变化差异大。[结论] FDWQI 的结果与本市水质情况基本吻合, 但其科学性、客观性还有待在今后实际应用中进一步验证。

关键词: 生活饮用水; 出厂水; 出厂水水质综合评价指数

Evaluation of Finished Water Quality in Shanghai with Finished Drinking Water Quality Index ZHOU Xiao-li¹, MAO Jie¹, YING Liang¹, WANG Yi-ling¹, CHEN Guo-guang², YAN Wei-wu³, TONG Zhen-gong⁴ (1. Health Supervision Institute of Shanghai Municipal Health Bureau, Shanghai 200031, China; 2. Shanghai Water Quality Monitoring Center, Shanghai 200002, China; 3. Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China; 4. East China Jiaotong University, Nanchang, Jiangxi 330013, China)

Abstract: [Objective] To investigate if the finished drinking water quality index (FDWQI) can comprehensively reflect the actual situation of finished water quality in Shanghai. [Methods] FDWQI was used to evaluate finished drinking water quality of 13 municipal waterworks in Shanghai. [Results] The average annual FDWQI of the waterworks, of which the water source is the Yangtze River, was 20.19, and the “excellent” and “good” monthly evaluation results were half-and-half. The average annual FDWQI of which the water source is upper stream of the Huangpu River was 24.25, and the monthly evaluation results were mainly “good”. FDWQI showed minor fluctuation in summer and major fluctuation in winter. [Conclusion] FDWQI results are consistent with the water quality in Shanghai. However, the scientificity and objectivity of FDWQI need to be validated in the future application.

Key Words: drinking water; finished water; finished drinking water quality index (FDWQI)

生活饮用水是关乎民生的大事。随着上海市经济高速增长, 国际化大都市形象日益显现, 生活饮用水的卫生安全已经成为市政府改善城市生活环境、促进经济社会可持续发展的重要工作之一。2007 年《国家环境与健康行动计划》(2007—2015) 对环境信息工作建设提出要求, 要构筑一个能加强公共卫生监督监测信息利用效率, 更有效预防和及时应对处置突发公共卫生事件的信息平台。自 2007 年起, 本市卫生监督部门开始着手建设“上海市生活饮用水卫生监督预警控制平台”, 用于生活饮用水水质的监测预警。

在建设平台最为核心的预警功能时, 如果采用指标合格率来评价水质, 由于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)^[1] 指标繁杂, 有 106 项之多, 既不利于消费者了解水质整体概况, 也不利于进行水质直观判断^[2]。因此, 如果采用水质综合评价

法, 通过对大量原始监测数据的综合计算, 形成能综合反映水质好坏的一个数值作为预警对象, 则不仅能充分利用水质监测数据, 还可为卫生行政部门决策层提供信息支持, 也可向不具有专业知识的公众提供能够理解的水质监测信息^[3-4]。

目前, 本课题组经过前期研究建立了一个以 13 项水质指标组成的生活饮用水出厂水水质综合评价指数 (finished drinking water quality index, FDWQI), 本项目拟将 FDWQI 应用于上海市生活饮用水出厂水水质的综合评价, 根据生活饮用水卫生监督管理原则和要求, 检验该 FDWQI 是否能综合反映上海市水厂出厂水的实际情况, 以便为上海市生活饮用水卫生监督预警控制平台的水质卫生安全预警提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

以 2008 年上海市中心城区所有 13 家市级水厂的出厂水水质监测数据为材料。每月采集出厂水水样 1 件进行检测, 共计 156 件水样。13 家水厂的供水量占全市近 70%, 供应全市约 80% 的人口。13 家水厂中有 5 家使用长江水水源, 8 家使用黄浦江上游水水源。

1.2 方法

1.2.1 水质检测方法 采用《生活饮用水卫生标准检验方法》

[基金项目] 上海市公共卫生三年行动计划 公共卫生预警项目 (编号: 3.10.5.1); 上海市卫生局科研课题基金项目 (编号: 2009201)

[作者简介] 周晓鹏 (1978—), 女, 硕士生, 主管医师; 研究方向: 生活饮用水和健康相关产品卫生监督; E-mail: zhouxiaoli@hs.sh.cn

[作者单位] 1. 上海市卫生局卫生监督所, 上海 200031; 2. 上海市供水调度监测中心, 上海 200002; 3. 上海交通大学, 上海 200240; 4. 华东交通大学, 江西 南昌 330013

(GB/T 5750—2006) 检测。

1.2.2 FDWQI 计算方法

1.2.2.1 指标的选择 以上海水源水质特征、历年水质监测数据再结合专家经验, 选择有代表性的指标。目前, 黄浦江上游水源水存在有机污染和氨氮、铁、锰、酚含量较高, 色度略高、Ames 试验呈阳性的特征; 长江水源水氨氮、铁、锰、酚的含量有时偏高, 冬季咸潮影响时, 氯化物超标较严重^[5]。往年, 本市出厂水超标较为严重的指标为锰、浑浊度、耗氧量^[6]。因此, 选择最直观反映水质外观和口感的色度、浑浊度、臭和味、氯化物, 以及影响人体近、远期健康的菌落总数、总大肠菌群、余氯、三氯甲烷、四氯化碳; 本市历年指标合格率较低的铁、锰、耗氧量、氨氮指标共计 13 项。

1.2.2.2 指标权重的确定 采用层次分析法^[7-8]确定指标权重。先将 13 项指标分为微生物、毒理学、感观性状、消毒和非常规指标共 5 层。再选择水务、给排水、环境卫生、卫生监督等行业, 对生活饮用水水质监测和管理具有丰富工作经验的专家 9 名, 以打分表格的问卷形式向专家咨询各指标的重要性, 打分结果按 9 标度法进行赋值后形成矩阵, 求矩阵的特征向量, 归一后即指标权重。5 个指标层的权重和 13 项指标的权重见表 1。

表 1 指标层和指标的权重

指标层	层权重	指标	指标层内权重
微生物指标	0.200	菌落总数	0.250
		总大肠菌群	0.750
毒理学指标	0.300	四氯化碳	0.500
		三氯甲烷	0.500
		浑浊度	0.136
		色度	0.254
		臭和味	0.085
感观性状指标	0.300	铁	0.085
		锰	0.136
		氯化物	0.051
		耗氧量	0.254
消毒指标	0.120	余氯	1.000
非常规指标	0.080	氨氮	1.000

1.2.2.3 单项指标分值的计算 采用综合污染指数评价法^[9]计

算单项指标分值, 运用以下公式对原始监测数据做无量纲化处理。将标准限值分成 K 级标准, 划分指标分值范围: 第一级 ($k=1$) 以标准限值 25% 以内为 0~20 分, 第二级 ($k=2$) 以标准限值 26% 至 50% 为 21~40 分, 第三级 ($k=3$) 以 51% 至标准限值为 41~60 分, 第四级 ($k=4$) 超标 50% 以内为 61~80 分, 第五级 ($k=5$) 超标大于 50% 为 81~100 分。有两个指标较为特殊, 总大肠菌群未检出取 0 分, 检出直接取 70 分, 臭和味“无”取 0 分, “微弱”取 30 分, “弱”取 50 分, “明显”取 70 分, “强”取 90 分。

$I_i = [(C_i - S_{ik}) / (S_{ik+1} - S_{ik})] \times 20 + I_{ik}$ 。式中: I_i 是单项指标分值, C_i 是指标的检测值, S_{ik} 是第 k 级标准值, S_{ik+1} 是第 $k+1$ 级标准值, I_{ik} 为第 k 级指标分值范围的下限值。

1.2.2.4 FDWQI 值的计算 FDWQI 值的计算参考了 Brown 水质指数^[9] 评分的加权法思路, 所不同的是本项目中 FDWQI 要经过两次加权处理。先分别计算 5 个指标层的综合指数, 其中, 微生物指标层、毒理学指标层对水质影响较大, 取该层中单项分值最大值作为该层综合指数值, 而感观性状指标层、消毒指标层和非常规指标层, 是将层内各单项指标分值乘以层内指标权重后合计得出该层综合指数。最后, 将各层综合指数与层权重相乘后合计即得出 FDWQI 值。

1.3 统计学分析

水质原始监测数据和 FDWQI 值均采用 Excel 2007 录入和计算。

2 结果

2.1 FDWQI 的计算结果 (表 2, 表 3)

13 家水厂 156 件水样中有 41 件的 13 项指标均合格, 不合格的指标主要集中在耗氧量、氨氮、臭和味。其中, 5 家以长江水为水源的 60 件水样中, 有 19 件不合格, 以 1 项指标超标为主, 全年 FDWQI 平均值为 20.19, 最小值 17.92, 最大值 23.75; 8 家以黄浦江上游水为源水的 96 件水样中, 有 87 件不合格, 以 1 项和 2 项指标超标各半, 全年 FDWQI 平均值为 24.25, 最小值 22.56, 最大值 26.74。除凌桥水厂外, 4 家以长江水为水源的水厂出厂水年平均 FDWQI 水平低于以黄浦江上游水为水源的水厂, 与长江水水质好于黄浦江上游水水质的情况基本相符。

表 2 两种水源水 13 家水厂 FDWQI 计算结果

月份	长江水源水					黄浦江上游水源水							
	凌桥	泰和	吴淞	月浦	闸北	长桥	杨树浦	居家桥	临江	陆家嘴	闵行	南市	杨思
1月	22.76 ^a	16.43	12.66	13.50	10.19	27.07 ^b	29.89 ^b	30.42 ^c	25.40 ^b	27.05 ^c	25.25 ^b	25.25 ^b	26.29 ^b
2月	23.35 ^a	16.51	17.79	16.41	18.65 ^a	26.83 ^b	26.23 ^b	29.27 ^b	24.27 ^b	24.64 ^a	25.02 ^a	26.15 ^a	25.33 ^a
3月	21.48 ^a	13.56	15.12	15.67	16.81	26.34 ^b	21.83 ^a	21.92 ^b	23.55 ^a	19.47 ^a	25.38 ^b	23.93 ^b	23.07 ^b
4月	20.09 ^b	14.56	17.14 ^a	17.09	17.32	27.94 ^c	22.42 ^b	22.76 ^a	23.55 ^b	19.01	27.23 ^b	26.72 ^b	19.76 ^a
5月	25.30 ^a	22.81	23.28	23.18	20.51	25.12 ^b	23.78 ^b	23.10 ^a	24.56 ^a	23.38 ^a	25.56 ^c	22.45 ^a	22.22 ^b
6月	22.11 ^a	22.48	19.17	23.62	19.21	28.28 ^c	21.70 ^a	24.79 ^b	24.94 ^c	22.92 ^a	26.47 ^a	23.95 ^a	23.12 ^b
7月	27.37 ^a	23.95	24.05	27.58 ^a	20.75	28.70 ^c	21.79	23.01	23.22 ^a	22.90	25.70 ^a	26.98 ^a	26.32 ^a
8月	23.05 ^a	19.03	17.26	18.78	17.26	25.24 ^a	21.89	23.98	22.45 ^a	22.61	22.67 ^a	25.74 ^a	23.13 ^a
9月	27.08	25.69	25.27	26.14	23.41	29.26 ^c	21.20 ^a	25.68	23.35 ^a	24.73 ^a	20.01 ^b	26.66 ^b	24.98 ^b
10月	23.21 ^a	16.94	19.56 ^a	16.19	16.96	22.65 ^b	21.10 ^b	21.24 ^a	22.49 ^a	20.88	24.34 ^b	24.38 ^b	20.24 ^a
11月	21.66 ^a	17.58	22.14	17.29	12.81	27.24 ^a	22.81 ^c	23.24 ^a	24.06 ^a	21.20 ^a	25.58 ^b	26.52 ^c	24.42 ^b
12月	27.49 ^b	23.07 ^a	26.38 ^a	23.72 ^a	21.10 ^a	26.16 ^b	21.16 ^a	23.31 ^a	22.25 ^b	21.89 ^a	23.45 ^b	25.23 ^b	24.40 ^a
平均值	23.75	19.38	19.99	19.93	17.92	26.74	22.98	24.39	23.67	22.56	24.72	25.33	23.61

[注] ^a: 代表 1 项指标不合格; ^b: 代表 2 项指标不合格; ^c: 代表 3 项指标不合格。

在表 2 中挑选出 FDWQI 值、5 个指标层综合指数值或 13 个单项指标分值为最大的水样共 11 件, 见表 3。其中仅有 4、7、9、10 号 4 组数据的单项指标分值与相对应的指标层综合指数值同为最大值(因消毒指标层和非常规指标层仅包含一个指

标, 不作比较)。FDWQI 值最大的 11 号数据中仅有臭和味、氨氮 2 项指标分值为最大值, 且其他数据中也同时有这两个指标的最大分值, 说明 FDWQI 的大小与个别指标的关系不大, 而与各项指标均有联系。

表 3 11 组水质监测数据计算结果

序号	FDWQI 值	指标层综合指数值					单项指标分值												
		微生物 指标	毒理学 指标	感官性 指标	消毒 指标	非常规 指标	菌落 总数	总大肠 菌群	四氯 化碳	三氯 甲烷	浑浊度	色度	臭和味	铁	锰	氯化物	耗氧量	余氯	氨氮
1	22.14	0	42.40	9.30	41.00	21.33	0	0	42.40	23.60	10.00	10.00	0.00	2.67	8.00	13.76	13.33	41.00	21.33
2	22.76	0	11.00	20.21	45.00	100.00	0	0	4.80	11.00	15.00	10.00	0.00	2.67	16.00	40.16	44.00	45.00	100.00
3	23.31	0	8.60	36.82	47.40	50.00	0	0	4.80	8.60	35.00	40.00	0.00	21.33	20.30	25.92	63.00	47.40	50.00
4	23.41	9	42.50	16.04	8.00	38.67	9	0	2.40	42.50	20.00	28.00	0.00	5.33	8.00	5.12	17.33	8.00	38.67
5	24.40	0	7.20	39.36	49.60	56.00	0	0	6.80	7.20	65.00	40.00	0.00	2.67	20.30	26.88	63.00	49.60	56.00
6	25.25	1	4.80	33.22	47.00	100.00	1	0	3.60	4.80	20.00	32.00	0.00	2.67	20.30	26.56	71.00	47.00	100.00
7	27.08	0	44.10	15.73	44.10	48.00	0	0	6.40	44.10	10.00	28.00	0.00	8.00	8.00	8.00	20.00	44.10	48.00
8	28.28	0	8.00	40.00	49.00	100.00	0	0	5.60	8.00	20.00	40.00	0.00	13.33	60.80	23.68	65.00	49.00	100.00
9	29.26	0	15.00	39.43	56.00	77.60	0	0	4.80	15.00	20.00	40.00	30.00	2.67	44.00	20.16	66.00	56.00	77.60
10	29.27	4	6.20	43.24	47.00	100.00	4	0	6.00	6.20	55.00	40.00	30.00	5.33	44.00	26.88	60.00	47.00	100.00
11	30.42	0	16.60	40.13	45.00	100.00	0	0	3.20	16.60	25.00	32.00	30.00	18.67	56.00	26.56	61.00	45.00	100.00

[注] 标红的数据为 FDWQI、各指标层指数或指标分值中的最大值。

2.2 FDWQI 随时间变化的趋势

选取闸北水厂、长桥水厂全年共 24 个水样的 FDWQI, 分别代表以长江水、黄浦江上游水为水源的水厂, 观察 FDWQI 随时间变化的趋势, 见图 1。闸北水厂的出厂水全年水质好于长桥水厂。尽管 2 家水厂的水源不同, 但是随时间变化的趋势大致相同, 都呈现出两端(冬季)波动较大, 中间(夏季)变化差异较小的特征, 这与水源水质的季节性变化基本符合。

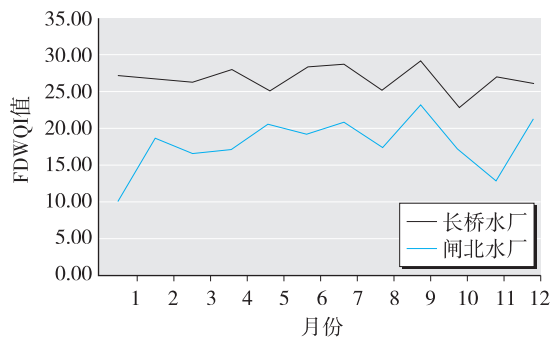


图 1 2 家水厂 FDWQI 时间变化趋势

2.3 FDWQI 的评价结果

将 FDWQI 值进行分级, 综合评价水质, 以 $FDWQI \leq 20$ 为“优”, $20 < FDWQI \leq 40$ 为“良”, $40 < FDWQI \leq 60$ 为“合格”, $FDWQI > 60$ 为“差”。13 家水厂的 FDWQI 经评价, 5 家以长江水为水源的水厂除凌桥水厂全年评价结果为“良”外, 其他 4 家水厂全年评价结果为“优”、“良”各半; 8 家以黄浦江上游水为水源的水厂, 全年评价结果以“良”为主, 仅极个别月份评价结果为“优”, 且为“优”的 FDWQI 处在临界值 20 附近。

3 讨论

本研究使用的 FDWQI 在数据处理和计算上结合了层次分析法、综合污染指数评价法, 融入了这两种方法的优点。层次

分析法适合分析复杂问题, 该方法是用一定标度把人的主观判断进行客观量化而把定性问题进行定量分析的一种简单实用的评价方法^[10], 分层确定权重, 再以组合权重计算综合指数的方法减少了传统主观定权存在的偏差, 弥补了单独使用水质综合污染指数法没有考虑各污染因子对水质影响程度不同的缺点^[7]。综合污染指数评价法的评价过程系统全面, 易于理解, 计算简单^[11], 监测数据能得到充分利用, 微生物指标层、毒理学指标层取单项指标分值的最大值参与 FDWQI 最后结果的计算, 避免了具有重要意义的超标情况被掩盖的风险, 该方法还考虑了水质分级, 提高了检测数据的归一化准确度, 虽不如模糊数学法、灰色系统法、物元分析法等不确定性方法能真实地反映水环境的模糊性^[12]、复杂性、非线性, 但是综合污染指数评价法的结果更为直观、易于理解和计算, 使最终的评价结果更具体化、细致化。

13 家水厂的出厂水不合格指标主要集中在耗氧量、氨氮, 与其他指标相比意义较小, 因而权重也较小, 所以, 经评价全年水质平均水平处于“优”、“良”水平。从 FDWQI 的评价结果来看, 与本市的水质实际情况基本相符。出厂水水质最主要的影响因素是水源^[6]。从表 2 的 FDWQI 计算结果可以看出, 各水厂出厂水水质好坏与其水源水质情况基本一致。通过水厂之间的横向比较, 可发现除凌桥水厂外, 其他 4 家采用长江水作为水源的水厂全年平均 FDWQI 在 19 左右, 较 8 家采用黄浦江上游水作为水源的水厂小, 评价结果均为“优”, 出厂水水质较好, 而 8 家采用黄浦江上游水作为水源的水厂全年平均 FDWQI 在 23、24 左右, 评价结果为“良”, 出厂水水质相对较差, 这与长江水氨氮值与耗氧量较低, 水质较好, 而黄浦江水氨氮值与耗氧量较高, 水质较差的实际情况相符。再者, 凌桥水厂虽然使用水质较好的长江水为水源, 但全年平均 FDWQI 为 23.75, 与 8 家使用黄浦江上游水水源的水厂类似, 这是因为凌桥水厂的水源比较特殊, 取水口处于黄浦江汇入长江处, 水源实质上是

长江水和黄浦江水的混合,导致水源水质介于长江水和黄浦江水之间,FDWQI 也真实地反映出了这一情况。最后,FDWQI 还反映出了水源水质和某些指标在时间上的变化规律,比如,13 家水厂的 FDWQI 普遍呈现出夏季波动小,冬季差异大的现象,这与夏季为丰水期水量较大,水源水质较好,冬季为枯水期水量较小,水源水质较差,以及氨氮指标合格率随温度升高而上升的情况相吻合。

FDWQI 的计算结果是水质监测数据的综合反映,而并非仅关注单项指标超标。从本项目 11 组水质监测数据计算结果来看,11 号数据没有特有的最大单项指标分值,即没有个别指标的极端值,经查询原始检测数据发现,耗氧量 3.10 mg/L、氨氮 1.20 mg/L 均超过标准限值,锰 0.09 mg/L 接近标准临界值,余氯 1.50 mg/L 虽然符合标准,但水平较高也会对人体健康造成威胁,因此,耗氧量、氨氮、锰、余氯的指标分值均处在较高水平,都为 FDWQI 值作出了贡献,结果 FDWQI 成为了最大值,说明这件水样的水质整体情况最差。1~10 号数据中都有超标最严重的单项指标,而 FDWQI 值都不是最大的,所以,FDWQI 给出的是一个直观、量化的综合结果,解决了单项指标合格率片面性的缺点。但是,综合评价同时也是对个别指标的弱化,存在掩盖极端特殊情况的风险。因此,在水质预警上可考虑将 FDWQI 和有重要意义的单项指标结合,互相取长补短。

综上所述,本研究初步建立起的 FDWQI 易于理解和计算,能将大量分散的水质检测数据转换为一个综合反映水质状况的量化数值,通过运算一年的水质监测数据和水质评价的尝试,FDWQI 基本与本市出厂水水质实际情况符合,可用于上海市生活饮用水卫生监督预警控制平台的出厂水水质预警上。通过比较不同空间、时间的 FDWQI,能找出水质状况的薄弱环节,为各级政府部门制定相关政策提供技术支持,同时还能满足公众对城市生活饮用水水质信息公开的要求,为普通公众提供一个便于理解的水质卫生整体情况评价结果。下一步,将着重于 FDWQI 的实际应用研究,通过更多的水质监测数据分析 FDWQI 的季节变化趋势,以及与水源水质状况、水厂制水工艺

改变和水厂供水量之间的一致性检验,对 FDWQI 的科学性、客观性做进一步的验证,以使 FDWQI 更真实地反映本市出厂水水质综合情况,并在水质卫生监督预警上发挥更好的作用。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国卫生部. GB 5749—2006 生活饮用水卫生标准[S]. 北京:中国标准出版社, 2006.
- [2] 袁志彬, 王占生. 建立适合我国国情的饮用水水质指数[J]. 城市环境与城市生态, 2003, 16(6): 185-186.
- [3] 毛洁. 上海市饮水水质信息公开的现状与建议[J]. 上海预防医学, 2008, 20(10): 521-523.
- [4] 应亮. 上海市生活饮用水水质指数研究[J]. 环境与职业医学, 2010, 27(4): 229-231.
- [5] 乐林生, 吴今明, 鲍士荣, 等. 上海市安全饮用水保障技术[J]. 给水排水, 2005, 31(9): 5-10.
- [6] 毛洁, 应亮, 王懿霖. 2006 年上海市集中式供水水质现况调查[J]. 环境与健康, 2007, 24(9): 701-703.
- [7] 郭彦英, 邓云峰, 任珺. AHP 法在地表水水质综合评价指标权重确定中的应用[J]. 兰州交通大学学报: 自然科学版, 2006, 25(3): 70-72, 76.
- [8] 葛刚. 层次分析法评价濠河水质研究[J]. 环境保护科学, 2000, 26(6): 38-41.
- [9] 姚志麒. 水质指数研究进展. 国外医学卫生学分册[J], 1979(4): 215-221.
- [10] 夏豪, 黄川友, 梁川. 层次分析法在重庆东汇水库水环境质量评价中的应用[J]. 东北水利水电, 2005, 23(12): 31, 46-47.
- [11] 曹蕾, 徐霞君. 水质指数法在原水水质评价中的应用[J]. 中国农村水利水电, 2006(4): 8-9.
- [12] 保金花, 黄勇. 水质综合评价方法研究综述[J]. 水利科技与经济, 2008, 14(8): 639-642.

(收稿日期: 2011-01-20)

(英文编审: 黄建权; 编辑: 洪琪; 校对: 张晶)

【招聘启事】

上海市检测中心招聘启事

招聘单位: 上海市检测中心

招聘部门: 生物与安全检测实验室; 网址: <http://www.apm.sh.cn/tech.aspx>

招聘岗位: 技术和检测研究(1人)

专业要求: 博士毕业, 公共卫生或卫生毒理专业。有系统的毒理学基础知识, 熟练掌握健康风险评估技术, 具有良好的团队协作精神

条件待遇: 面谈, 在职或应届符合条件的人员均可

简历投递: E-mail: yinhw@apm.sh.cn

联系人: 殷浩文主任; 电话: 021-50798120