

实验步骤

整个实验操作按照实验内容分为 5 大流程模块，合计 27 步，其中交互性的线上操作 13 步，线下操作 14 步。

流程模块 1：废水特性分析

线下操作 3 步，线上操作 5 步。

步骤 1，废水初步定性（线下操作）：要求学生能够对废水定性，主要是废水的可生化性、毒害性等；废水来源由系统随机给出，包括石油炼制废水、印染废水、铁矿选矿废水等三类。系统中这里是进水间，如图 1 所示。

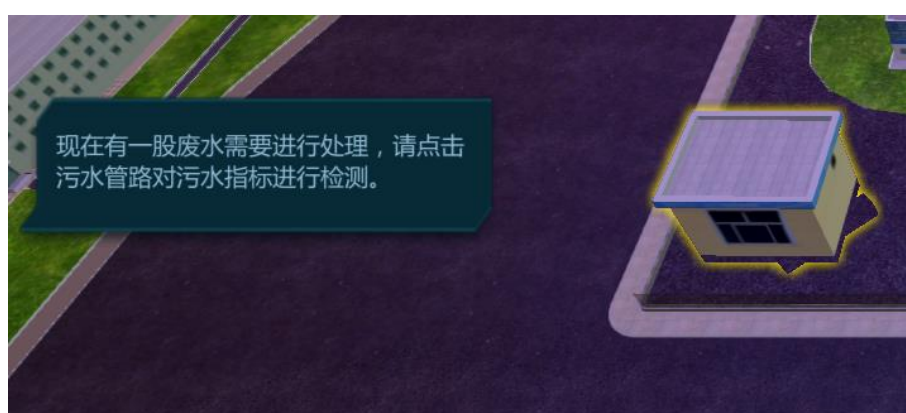


图 1 系统中的进水间

步骤 2，主要污染物判定（线下操作）：要求学生能够通过物料衡算、过程分解等指出主要的污染物。

步骤 3，明确废水的主要污染特征（线下操作）：要求学生能够明确主要污染物种类、数量级等特征。

步骤 4，拟定废水主要水质指标（线上操作）：要求学生能够明确指出反映污染物主要特征的水质指标，目前设有 COD、BOD、pH 值、水温、SS、色度等 6 个指标。根据系统提示进行选择，如图 2 所示。每种废水的水质指标类型系统已经确定，在学生选择完成后，系统会显示正确答案。如果选择有误，此项步骤将不计分。系统以正确选择为准，继续下一步。

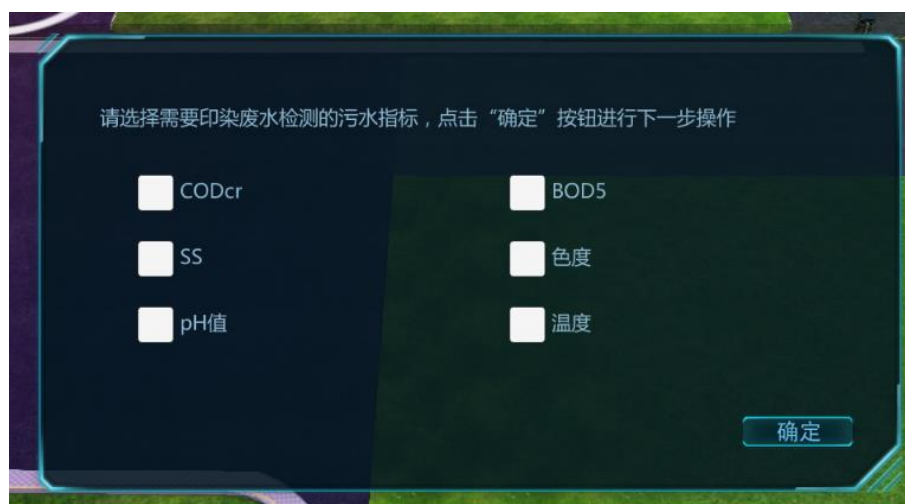


图 2 水质指标拟定

步骤 5, 选择主要水质指标的测定方法 (线上操作): 要求学生能够正确的选择主要水质指标的测定方法。根据系统提示进行选择, 如图 3 所示。每种水质指标都有一个 A 类方法可以选择, 学生选择完成后, 系统将会给出正确答案。如果学生选择错误或者选择的不足, 此步骤将不计分。系统以正确选择为准, 继续下一步。



图 3 水质指标检测方法选择

步骤 6, 选择水质指标测定需要的仪器 (线上操作): 要求学生能够根据选择的测试方法, 正确的选择水质指标所需的仪器。系统会根据学生选择的检测方法, 自动弹出选择框, 由学生进行仪器选择, 如图 4 所示。学生选择完成后, 系统将会给出正确答案。如果学生选择错误或者选择的不足, 此步骤将不计分。系统以正确选择为准, 继续下一步。

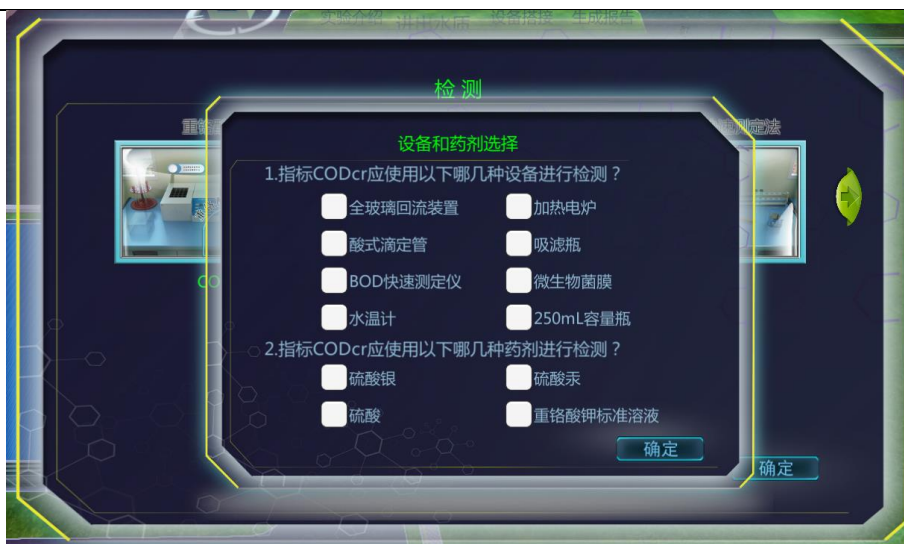


图 4 水质指标检测所需仪器和药剂选择

步骤 7，选择水质指标测定需要的试剂（线上操作）：要求学生能够根据选择的测试方法，正确的选择水质指标所需的试剂。如图 4 所示。操作方法同上。

步骤 8，主要水质指标数值的确定（线上操作）*：要求学生能够给每个选定的水质指标一个相对合理的参数值，如图 5 所示。学生选择完成后，系统将会给出参考的数值范围。如果学生拟定的数值不在系统设定的范围内，系统不计分。并以学生输入的水质参数为准，继续下一步。*备注：部分水质指标数值也可以通过实验室的实际检测获得，具体根据废水来源情况决定。



图 5 水质指标检测所需仪器和药剂选择

流程模块 2：确定污染物排放限值

线下操作 1 步，线上操作 3 步。

步骤 9，确定废水排放标准（线上操作）：要求学生能够根据废水来源和特性，

选择正确的废水排放标准，并为后续工艺选择奠定基础；只能选择一个正确项，其它备选方案不可选，如图 6 所示。如果选错标准，系统将不计分，并给出正确答案，按照正确答案继续下一步。

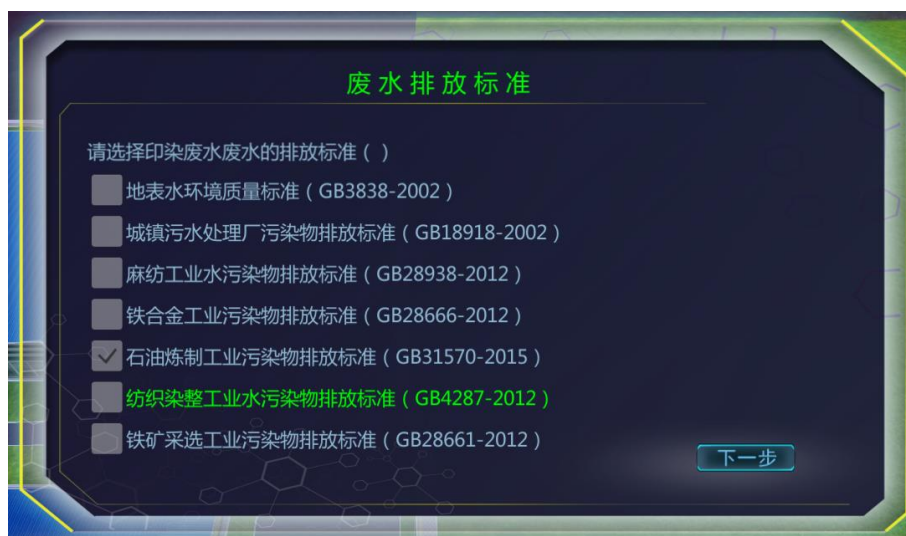


图 6 废水排放标准选择

步骤 10，确定废水产生企业类型（线上操作）：要求学生拟好企业类型，包括“新建”和“现有”两类，系统设置的是“新建”，如图 7 所示。如果选错企业类型，系统将不计分，并给出正确答案，按照正确答案继续下一步。

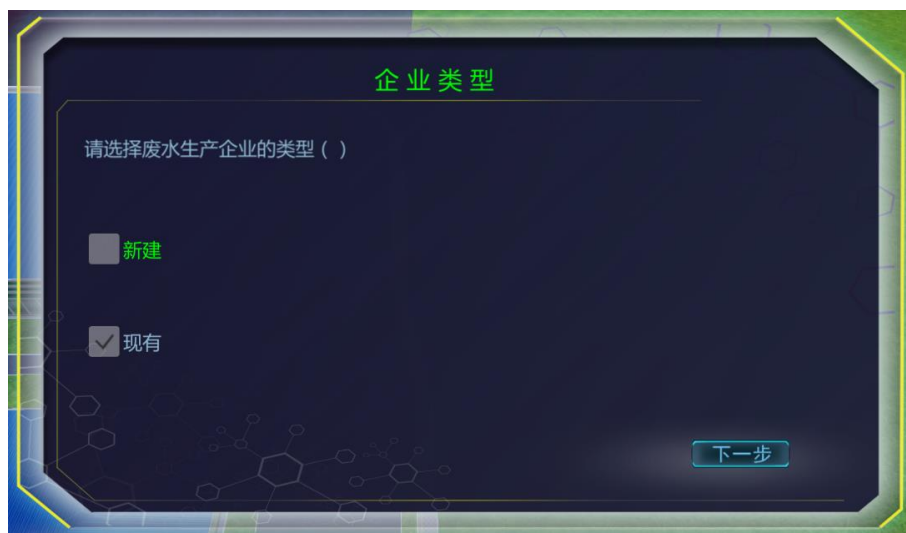


图 7 企业类型选择

步骤 11，确定废水排放形式（线上操作）：要求学生根据布置现场确定排放形式，包括“直接排放”和“间接排放”两类，系统的布置现场为“直接排放”，如图 8 所示。如果选错废水排放形式，系统将不计分，并给出正确答案，按照正确答案继续下一步。

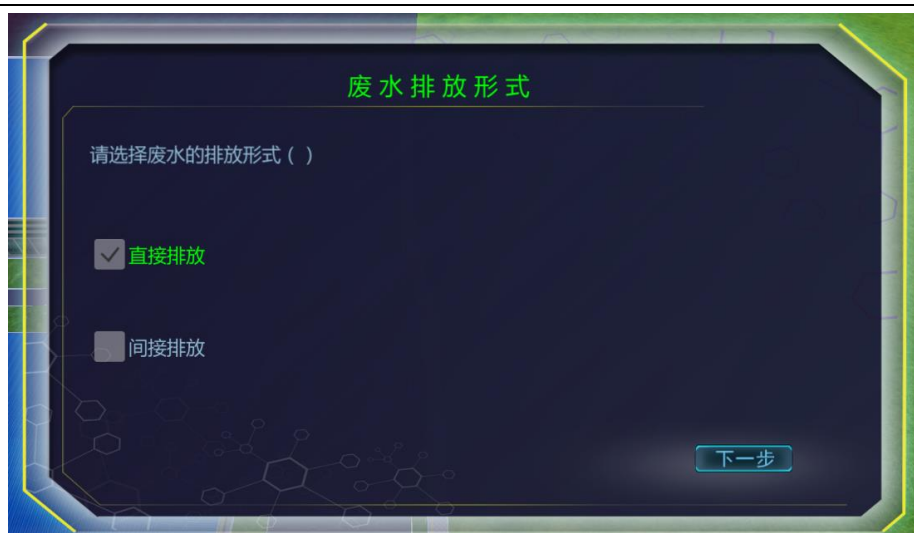


图 8 废水排放形式选择

步骤 12，确定废水排放浓度限值（线下操作）：选择完成后由学生自行查阅相关标准，给出选定的水质指标排放限值（系统内部也会记录正确的排放限值）。

流程模块 3：工艺方案的制定与实施

线下操作 3 步，线上操作 2 步。

步骤 13，初步分析不同工艺类型的工艺特性（线下操作）：要求学生根据水质特征确定主要的工艺类型（比如物理法、化学法及生化法等）。

步骤 14，根据主要水质指标分析可采用的工艺类型（线下操作）：要求学生根据水质特征明确具体的工艺设备。

步骤 15，确定工艺的主要去除水质指标（线下操作）：要求学生明确指出所选择工艺的主要去除对象以及效率。

步骤 16，依据拟定的运行条件选定工艺（线上操作）：要求根据前述条件明确具体的工艺种类及工艺组合。学生在工艺选择框挑选工艺类型，如图 9 所示。选择好工艺后，进行工艺连接，如图 10 所示。



图 9 可供选择的工艺类型



图 10 工艺选择与流程构建

步骤 17，拟定工艺的运行条件（线上操作）：要求学生设计恰当的工艺运行条件，比如曝气量、药剂剂量等，如图 11 所示。

填充率(%)	60	50-90
接触反应时间(h)	8	5-12
气水比(曝气量/进水量)	5	2-10

	进口	出口
流量	0.0	0.0
COD(mg/L)	0.0	0.0
BOD(mg/L)	0.0	0.0
SS(mg/L)	0.0	0.0
色度(倍数)	0.0	0.0
pH值	0.0	0.0
水温(°C)	0.0	0.0

确定

图 11 工艺参数的拟定

流程模块 4：工艺效率对比

线下操作 6 步，线上操作 2 步。

步骤 18，预估工艺处理后废水主要水质指标（线下操作）：要求学生能够根据所选工艺初步判断主要水质指标的去除效率等情况。

步骤 19，运行工艺流程（线上操作）：记录模拟仿真实验处理后废水主要水质指标变化情况（由系统自动完成）。图 12 所示是各水质指标的沿程变化。

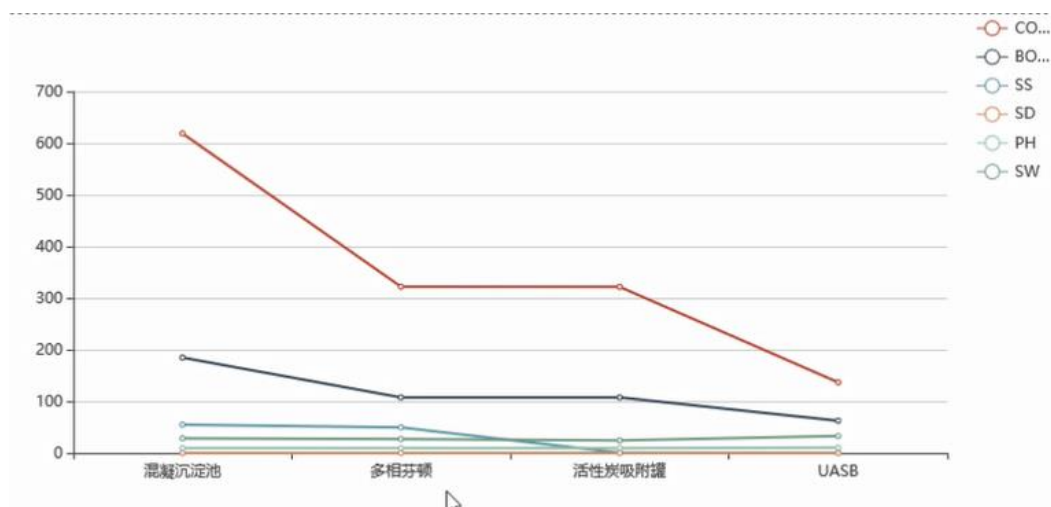


图 12 水质指标沿程变化情况

步骤 20，分析工艺特性和主要水质指标之间的匹配情况（线下操作）：要求学生能够根据预估、仿真数据，分析所选择的工艺和主要水质指标之间是否匹配，处理后水质指标是否达到要求，水质指标变化和工艺特性之间是否一致。

步骤 21，分析工艺的主要技术指标（线下操作）：包括去除效率、去除负荷等；要求学生能够根据仿真实验结果计算工艺处理效能。

步骤 22，初步的工艺经济成本分析（线下操作）：要求学生能够根据工艺运行条件等估算工艺运行的经济成本。

步骤 23，分析最佳的废水处理工艺方案或者组合方案（线下操作）：要求学生能够根据前述结果分析最佳的工艺方案。

步骤 24，进一步实验分析组合后处理效果（线上操作）：要求学生能够通过改变运行参数，对最佳工艺方案进行进一步验证和优化。*备注：系统提供工程流程重建功能，学生可以根据需要重新拟定工艺流程、工艺运行参数等。

步骤 25，确定最佳工艺方案（线下操作）：拟定废水处理工艺的运行控制策略；要求学生能够结合验证实验确定最佳工艺方案。

流程模块 5：实验报告

线下操作 1 步，线上操作 1 步。

步骤 26，查看系统实验报告（线上操作）：实验完成，系统根据学生操作给出系统数据及结果分析报告。图 13 所示是系统出具的实验报告（局部）。

(2) 数据处理：

进水水质	出水水质	排放限值	达标与否	去除率
COD _{Cr} : 1000mg/L	COD _{Cr} : 313.1mg/L	COD _{Cr} : 60	COD _{Cr} : 未达标	COD _{Cr} : 31.3%
BOD ₅ : 200mg/L	BOD ₅ : 48.3mg/L	BOD ₅ : 20	BOD ₅ : 未达标	BOD ₅ : 24.2%
SS : 200mg/L	SS : 3501.4mg/L	SS : 70	SS : 未达标	SS : 1750.7%
色度 : 300倍	色度 : 135.8倍	色度 : -	色度 : -	色度 : 45.3%
pH值 : 10	pH值 : 11.8	pH值 : 6~9	pH值 : 未达标	pH值 : 118.0%
水温 : 30℃	水温 : 22℃	水温 : 40℃	水温 : 达标	水温 : 73.3%

图 13 系统出具的实验报告（局部）

步骤 27，撰写实验报告（线下操作）：撰写格式符合有关规定、内容符合专业要求的实验报告；要求学生能够按照学校的有关规定和专业要求撰写实验报告。