

基于全流程最优的工业园区企业废水处理技术评估

由于排水去向的不同，一般的行业水污染技术评估方法对工业园区内企业废水处理技术评估并不适用。为此，本文尝试基于工业园区废水处理全流程最优的角度，以工业园区末端污水处理厂出水稳定达标为目的，通过引入BOD/CO_{Dcr}比、占标率等提出新的评价指标，建立了园区企业废水处理技术的评估方法，并用该评估方法在天津某工业园区企业废水处理技术进行了应用，结果显示园区企业废水处理技术中评分较低(<70分)的均含有生化处理工艺段，反映出工业园区企业层级过度生化处理加剧了园区末端污水处理厂的碳源缺乏问题，并不利于园区污水处理的总体的稳定达标，因而建议园区企业废水处理应尽量减少生化处理的选用。同时，该结果也表明所构建的评估模型科学合理、符合实际。

工业废水排放量大、危害性高，筛选或优化工业废水处理技术，并对工业废水进行水污染物排放控制是缓解我国水污染严峻形势、改善水环境的重要技术措施之一。环境技术评估(Environmental Technology Verification)是应用科学的方法和指标体系进行环境技术筛选与评估，是国际通行的一种筛选水污染防治最佳实用技术的重要手段。

“十一五”期间我国开展了对化工、冶金、轻工、纺织、制药等行业的水污染防治技术评估，其评价指标体系构建上主要考虑的是经济、技术、资源能源以及对外环境的影响指标。随着工业园区的不断发展，越来越多的企业都已经或将要迁入工业园区。工业园区的废水处理一般为园区内企业处理后再排入末端集中式污水处理厂进行集中处理。

现有的企业水污染防治技术评估时，很少有考虑企业废水处理对后续污水处理的影响，这种评估方法对位于工业园区内的企业污水处理技术的评估与筛选则不适用。

因此，本研究考虑园区企业出水对后续污水处理的影响，基于工业园区废水处理全流程最优对园区企业废水处理技术评估进行探讨。在以往行业水污染防治技术评估指标体系的基础上，增设BOD/COD_{Cr}、有毒有害污染物等会对末端水厂处理效果产生影响的指标，并运用层次分析法进行综合评价，以期为我国工业园区水污染防治技术与管理的优化提供借鉴与参考。

1 工业园区企业废水处理技术评估方法建立

工业园区企业废水处理技术评估可以概化为一个涉及多因素的多指标综合评价问题，可适用的多指标综合评价法包括：定性评价法如德尔菲法、基于统计定量评价方法(如：主成分分析法、因子分析法、聚类分析)、基于目标规划的定量评价法(如：消去转换算法ELECTRE、数据包络分析法DEA、逼近理想点法TOPSIS)、定性定量相结合的评价方法(如：层次分析法AHP、模糊数学方法FCA、灰色关联分析法GIA、人工神经网络法ANN)等。本文采用应用较为广泛的层次分析法进行综合评价，该方法属于一种系统分析方法，具有简单实用、对问题进行层层分析、充分利用专家智慧等优点。

1.1 评估指标体系构建原则和框架

评估指标体系的建立是开展技术评估的基础环节，大致流程为：确定评估目标、确定评估指标预选集、确定评估指标体系。而评估指标体系则需遵循“全面系统性、科学准确性、可比性、可操作性、独立性、代表性”等基本原则。

工业园区企业废水处理技术评估的指标体系构建中采用了文献调研与专家咨询相结合方式。采用频度统计法和理论分析法对文献中的指标体系设置情况进行分析，选用频度较高的指标作为指标预选集，通过定性分析并遵循指标体系的构建原则从指标预选集中进行指标筛选，进行专家咨询和技术咨询、独立性检验对指标体系进行调整，最终确定构建的评估指标体系分为目标层、准则层、一级评价指标层、二级评价指标层四个层次(表1)。

1.2 工业园区企业废水处理技术评估指标体系

现有的废水处理技术评估模型多是从“技术性能、经济性能、操作管理性能、环境影响性能”四方面进行指标体系构建，前三个性能指标属于对技术本身评价，而环境影响性能指标则是技术的二次污染也即对外环境的影响。

对于工业园区内的企业废水处理技术评估而言，从工业园区废水处理的全流程最优角度出发，就是最终实现园区末端污水处理厂的稳定达标，园区企业废水处理可以看作园区末端污水处理厂的“预处理”，因而，园区企业级的废水处理应该支撑工业园区末端污水处理厂的稳定达标，基于此，本研究中针对工业园区企业废水处理技术评估指标体系构建中，增加了“对园区末端污水处理厂影响”的指标。

这里，引入了“全流程最优”的概念，“全流程”就是指工业园区内废水从园区内企业预处理到园区末端污水处理厂处理排放这一全流程，于是，“全流程最优”就不是单纯评价企业采用的处理技术的污染物去除率的高低为最优，而是怎么对园区末端污水处理稳定达标最有利为最优。

工业园区末端污水处理厂绝大多数都是以生化工艺为主的处理工艺，影响其出水稳定达标的最突出问题有两个：一个是碳源不足，另一个是有毒有害污染物的影响。当然，园区企业废水处理对常规污染物排放量过高甚至过低以及水量的大幅度变化，这些因素也会影响工业园区末端污水处理厂稳定达标。

故而，在工业园区企业废水处理技术评估指标的设置上，本研究对这些因素进行了重点考虑。碳源不足就是废水中可生物降解的有机物不足支撑生化工艺中的生物降解过程的进行，一般可生物降解的有机物可以用BOD来表示，而总的有机物可以用CODCr来代表，进而用BOD/CODCr这一指标来表征碳源不足的状况。

工业园区企业废水处理显然不是像行业废水处理那样，污染物去除率越高越好，考虑到充分发挥工业园区末端污水处理厂的规模化、集约化效果，工业园区层面的对可生化降解的有机物而言，并非去除率越高越好，而是在末端污水处理厂可接纳范围内不过度处理为好，这样有助于解决末端污水处理碳源缺乏问题，基于此，本研究中在“对园区末端污水处理厂影响”指标下设置“BOD/CODCr提高率”这一指标。

对于有毒有害污染物而言，显然企业废水处理排水中其浓度越低越好，以降低对末端污水处理厂的生化系统的冲击。工业园区产业结构复杂、废水水质成分尤其是有毒有害物质复杂，对末端污水处理厂造成冲击有毒有害物质各不相同，若将企业中所有有毒有害物质的去除程度都列为评价因子，那么不同企业的评价因子及因子数会出现极大差异，实质上无法开展技术评估。

为此，本研究中采用企业废水中对末端污水处理影响最大5种有毒有害物质的去除率来表征有毒有害物质去除对末端污水处理的影响，这样虽然评价的因子所代表的污染物可能有所不同，但都是所评价对象排放废水的主要有毒有害物质，同时评价因子的个数也变得相同。然而，如何识别和筛选影响最大的有毒有害物质，我们引入了“污染物占标率”这一指标来表征。与之类似，对于常规污染物，我们也采用了污染物占标率来表征。

污染物占标率是评价对象的出水水质与相关排放标准的比值。难降解有毒有害物质污染占标率主要为了选择对末端污水处理厂影响较大的指标，即：根据计算的占标率将难降解有毒有害物质指标从大到小排序，选前5项指标，该指标为逆向指标即值越小得分越高。

对于常规污染物而言，工业园区企业废水中常规污染物的出水浓度接近企业排水标准或者说末端污水处理厂可接纳的最高限值为优，所以对“常规污染物占标率”计算(1-占标率)并从小到大排序，选取前5项常规指标，该指标为逆向指标即值越小得分越高。将选取的前5项指标以各自占标率的比重作为权重加权求和处理，具体计算公式如式(1)、式(2)。

$$R_1 = \sum_{i=1}^5 \frac{r_i'}{\sum_{i=1}^5 r_i'} \cdot r_i' \quad r = \frac{a_i}{s_i} \quad (1)$$

$$R_2 = \sum_{i=1}^5 \frac{r_i''}{\sum_{i=1}^5 r_i''} \cdot r_i'' \quad r'' = 1 - r' \quad (2)$$

式中： a_i 为水质检测的第*i*个指标值； s_i 为第*i*个指标的标准值； r 为占标率； r' 为各指标占标率中最大的5项； R_1 为难降解有毒有害物质占标率指标值； R_2 为常规污染物占标率指标值。

此外，针对对园区末端污水处理厂的影响，本研究中还设置了水质水量调节效果以及企业事故水池的缓冲能力等相关指标。

1.3权重确定

采用德尔菲法对技术领域以及经济领域共15位专家进行专家咨询，用层次分析法进行权重确定，在yaahp软件中输入判断矩阵，软件计算求得各指标权重并进行一致性检验。计算得一致性(CR)=0.0005<0.1满足一致性检验，得出各指标权重(表1)。

表1各指标权重

目标层	准则层	权重	指标层	权重	二级指标层指标	权重	组合权重		
工业园区 企业废水 处理技术 评估	技术性能	0.26	技术特性	1	特征污染物年达标率	0.25	0.065		
					技术稳定性	0.25	0.065		
					技术成熟度	0.25	0.065		
					流程简洁性	0.25	0.065		
	经济性能	0.15	投资成本	0.334	吨水投资成本	1	0.050		
					运行维护成本	0.333	吨水运行维护成本	1	0.050
					占地面积	0.333	吨水占地面积	1	0.050
					操作管理难易程度	0.6	设备完好率(%)	0.4	0.022
	操作管理性能	0.09	自动化程度	0.2	污水处理站运行人数	0.6	0.032		
					自动化程度	1	0.018		
					监控情况	0.2	监控情况	1	0.018
					对外环境影响性能	0.09	二次污染	1	固废产率(%)
	固废处理难易度	0.4	0.036						
	厂界臭气	0.1	0.009						
	厂界噪声	0.1	0.009						
	对园区末端污水处理厂影响性能	0.41	对园区集中污水处理的影响	1	水质水量调节效果	0.1663	0.069		
					企业事故水池的缓冲能力	0.0857	0.034		
					BOD/CODcr提高率	0.1663	0.069		
常规污染物占标率					0.25	0.103			
							难降解有毒有害物质占标率	0.333	0.137

1.4线性加权综合评价

通过实际调研以及相关标准查阅，将各指标划分为五个等级区间，利用极差法将各指标数据标准化，参考模糊数学中隶属度的概念对各单项指标进行赋分，综合得分如式3。

$$S = F(w, S_i) = \sum w_i \cdot S_i \quad (3)$$

式中： w_i 为第*i*个指标的组合权重； S_i 为第*i*个指标的单项得分。

1.5新方法与原方法比较

本研究中构建的工业园区企业废水处理技术评估方法(新方法)，与原行业水污染防治技术评估方法(原方法)相比较，主要体现在评估指标体系的构建上除了原方法中“技术性能、经济性能、操作管理性能、环境影响性能”等四类指标外，还考虑工业园区企业的特殊性，增设了“对园区末端污水处理厂的影响”指标。包括：“水质水量调节效果、企业事故水池缓冲能力、BOD/CODCr提高率、常规污染物占标率、难降解有毒有害物质占标率”等5项指标，其中BOD/CODCr、常规污染物占标率的设置是考虑园区末端污水处理厂的碳源缺乏问题；难降解有毒有害物质的指标的设置是为了考虑难降解有毒有害物质对园区末端污水处理厂的影响问题等。

显然，这些指标的设置是基于工业园区废水全流程最优的思想，对工业园区内企业废水处理技术的评估更为客观，更符合工业园区的实际情况。

2应用实例

以天津某综合型工业园区为例，该工业园区的末端污水处理厂的污水处理技术是以生化工艺为主，具体工艺为：进水 旋流沉砂池 厌氧池 缺氧池 生物膜流动床 二沉池 纤维转盘过滤 紫外线消毒 出水。通过函调、实地调

研

以及专家咨询获取相关数据，选择7种典型企业废水处理技术进行评估。首先对相关数据进行标准化处理，然后用表1的指标体系及权重进行评价(新方法)，结果如表2所示。为了对比，我们还用不考虑对末端污水处理厂的影响情况下的指标体系(也即：原行业废水处理技术评估方法，原方法)进行了计算，结果如图1。

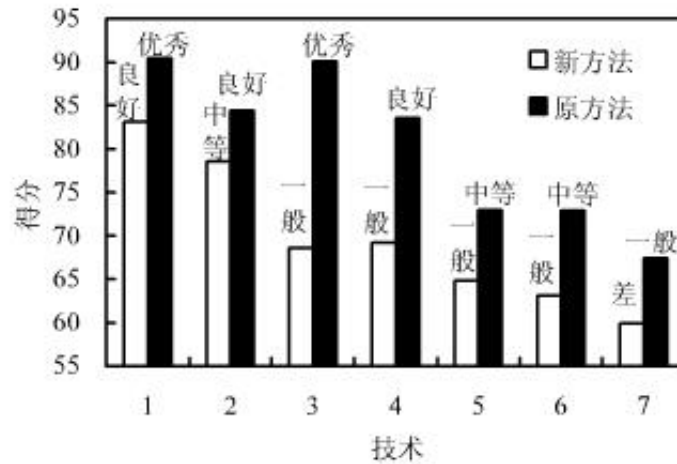


图1 两种指标体系评价结果对比
表2天津某工业园区7种废水处理技术及评价结果

序号	技术流程	行业	技术性 能	经济性 能	操作管理 性能	对外环境 影响	对园区末端污水 处理厂影响	总分
1	进水→混合废水储存槽→1次反应槽→2次反应槽→3次反应槽→絮凝池→沉淀池→中和槽→中间槽→砂滤罐→出水	电子及配件	90.79	97.70	90.89	76.86	72.58	83.12
2	进水→调节池→混合反应池→气浮→沉淀→石英砂过滤→出水	橡胶	81.09	97.15	84.07	72.77	70.20	78.55
3	进水→化学处理→斜管→生物曝气系统→二沉池→出水	颜料制造	88.02	98.17	97.22	75.03	37.79	68.61
4	进水→调节池→污水提升泵→机械反应设备→沉淀设备→水解池→好氧池→二沉池→出水	专项化学品制造	83.23	94.77	71.04	77.97	48.54	69.17
5	进水→调节池→物化气浮→MBBR→物化气浮→精密过滤→超滤→RO→二级接触氧化→絮凝沉淀→深度处理→出水	日化品制造	67.54	79.56	75.63	74.48	53.27	64.85
6	进水→调节池→厌氧进水池→囊式厌氧池→厌氧出水池→兼氧池→复合曝气池→中间沉淀池→混合絮凝池→最终沉淀池→流量计量槽→出水	化学药品、原料药制造	68.65	87.42	66.13	67.49	49.17	63.15
7	进水→均化→生化处理→加药→反应固液分离→排泥→上清液→消毒→中水处理→出水	汽车及零配件制造	54.99	97.54	61.18	55.21	49.96	59.89

由表2可知，总体上本研究中的7种典型废水处理技术得分较低，这也符合目前园区企业废水处理技术的实际情况，本研究中只有不含生化工艺段的技术1和技术2的得分尚可，这也体现出目前工业园区企业废水处理技术选择中对末端污水处理厂的考虑较少，技术3到技术7均采用以生化工艺为主，企业层面的“过度”生化处理，加大了园区末端污水处理厂的处理难度。

表3：7种技术“对园区末端污水处理厂影响”下级指标得分

技术	水质水量调节效果	企业事故水池缓冲	BOD/COD _{Cr} 提高	常规污染物占标率	难降解有毒有害物质	对园区末端污水处
		能力	率		质占标率	
1	70.28	20	69.78	70.12	90.237	72.58
2	35.154	34.584	82.71	66.18	93.375	70.20
3	76.23	20	29.542	43.92	22.53	37.79
4	79.905	59.552	23.104	77.23	21.03	48.54
5	64.112	20	36.358	60.79	59.02	53.28
6	83.533	79.98	22.406	72.17	20	49.17
7	75.3387	28.49	39.51	76.78	27.69	49.96

表3对各技术的各个评价指标得分进行了详细比较。因为技术3至7中含有的生化环节，使B/C降低，加重了园区末端污水处理厂脱氮处理时碳源不足，造成“BOD/COD_{Cr}提高率”这一指标得分较低。由于技术1、技术2对难降解有毒有害

物质的去除效果较好，避免了对末端污水处理厂的不利影响，“难降解有毒有害物质占标率”指标得分较高。

技术1、技术2的对园区末端污水处理厂影响指标得分处于中等状态是由于其调节池的容积较小使水质水量调节效果不佳，且企业未建设事故水池或其容积太小，使其对事故水的缓冲作用不佳，由此可能对末端污水处理厂产生不利影响等原因。显然，在对工业园区企业废水处理技术评估时对基于全流程最优化的角度进行评估是较为科学的，在工业园区的企业废水处理技术中不含生化工艺段的技术对工业园区废水处理全流程最优化更有利。

图1列出了应用新方法及原方法的对比图，总体上采用本研究的新方法，各技术综合得分均有不同程度的降低，这是由于新方法考虑了对园区末端污水处理厂影响所致，对于工业园区企业废水处理技术评估而言，应用原来的行业废水处

理技术评估方法对技术“高估(over-estimated)”，例如：技术3和技术4用原评估方法评价等级为优、良，而用新的方法评价等级为一般，显然技术3与技术4存在典型的过度处理的问题。

实际上，目前该园区末端污水处理厂存在着稳定达标困难问题，利用原方法评价7项技术的平均分为81，属于良好水平，这显然与末端污水厂现状污水处理相矛盾，而新的评估方法平均分为69，属于一般水平，显然这更符合工业园区实际。进而，如果根据这一评估结果，对于园区企业废水处理进行改造，减少企业层面的过度生化处理，就会在整个工业园区水处理的全过程实现最优化。

3结论

3.1本研究基于工业园区企业废水处理到园区末端污水处理厂这一全流程最优的角度对园区企业废水处理技术评估进行探讨，重点对评估指标体系构建进行了研究，针对工业园区碳源不足这一问题提出了BOD/COD_{Cr}这一指标，同时针对主要污染物的筛选提出了占标率这一指标，并对单纯以污染物去除率高低作为评价指标进行了改进，以达标时“常规污染物占标率”指标及“难降解有毒有害物质”占标率指标最低为最优。这些改进有利于末端污水处理规模效益的稳定发挥。

3.2利用所提出新的指标体系建立的评估方法，以天津某园区为例，和原来评估方法进行了实证研究。目前该园区存在末端污水处理厂难以稳定达标的问题，而对所选择的7项园区企业废水处理技术评估发现，新方法评价的平均分为69分(一般水平)，低于原方法的81分(良好水平)，显然新方法更符合园区实际，也表明园区企业废水处理技术应该进一步改进优化，尤其是应该适当减少生化工艺在园区企业废水处理中的选用。

3.3上述评估指标体系及评估方法既可以为新入园的该类企业在选用废水处理技术上提供参考，也可以对现有的技术进行结果分析，提出改进意见，确保园区末端污水处理厂稳定高效运行。（作者：要亚静，卢学强，邵晓龙，刘红磊，李慧，檀翠玲）

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/118956.html>