

# 城市污水组分的表征与污水处理厂全厂模型校正

## Characterization of municipal wastewater and plant-wide model calibration of WWTP

杨宁 DHI China

### 摘要：

国际水协 (IWA) 发表的活性污泥模型 (ASM) 已经得到广泛的研究和应用，成为辅助污水处理研究、设计、优化和运行控制的有力工具。普遍认为，ASM 应用的难点和关键在于进水组分的测试表征以及模型校正过程。为此，开发实用的表征方法和模型校正程序是进一步应用活性污泥模型的迫切任务。

在大量的研究和实践基础上，近年来欧洲和北美的研究和应用机构提出了若干个模型校正导则，分别为美国 Water Environment Research Foundation (WERF)，荷兰应用水研究基金会 (STOWA)，比利时根特大学应用数学、生物计量与过程控制系 (BIOMATH)，以及奥地利/德国的 Hochschulgruppe (HSG)。2004 年第四届 IWA 大会组织了新的课题组，致力于以这四个校正导则为基础，建立一个实用的能够被广泛接受的 ASM 类型模型应用的方法和框架，目前该课题的工作仍在进行之中。本文对上述四种模型校正导则进行比较和评价，提出应用上述导则的思路。

进行污水处理厂全厂模型校正可分为如下阶段：I) 确定校正目标。进行污水处理厂优化或者升级改造、设计、达标排放、节能降耗、开发控制策略、这些不同的目的所需要的信息和工作量及资金投入差别很大；II) 收集信息，数据分析以及过程表征，这一步最为消耗时间与费用，其中在现场进行的动态采样分析与实验室实验是进行准确校正的必要步骤；III) 建模，进行稳态模拟和校正；IV) 动态模拟和校正，评估。上述四种校正方法具有很多共同点，如要求模型校正的目的要清晰，强调数据质量检验和验证（修正）的重要性，并且在模型校正后都要进行类似的验证过程。HSG 方法仅描述了进行模型校正的框架，没有开发具体的污水成分表征实验方法，而另外三种方法中进水组分表征，动力学参数的测量方法不同，设计动态的采样与分析方案不同，模型参数的校正方法也是不同的。下面分别阐述。

### 1. BIOMATH 校正导则

BIOMATH 导则详细的描述了对污水处理厂沉淀，水力流态及生化单元的校正过程。这种方法对进水组分，动力学和计量学参数主要采用呼吸计量方法测量。呼吸计量是一种机理方法，通过分析生物量对污水不同组分污水的响应来确定目标参数，而 STOWA 中的物化方法直接研究污水的物质特性。呼吸计量试验得到的结果非常丰富，只有进行模拟，才能比较直观的分析 and 解读实验中获得 OUR 图线，以及定量的确定易生物降解 COD (S<sub>S</sub>) 和慢速生物降解 COD (X<sub>S</sub>)。此外，活性污泥污水处理厂运行中胞

内贮存现象是越来越显著的。于是，将 X<sub>S</sub> 降解与细胞内贮存的多聚物 X<sub>STO</sub> 的利用过程区分开来就变得非常困难，这给确定进水中的 S<sub>S</sub> 和 X<sub>S</sub> 带来很大的不确定性。

总的来说，根据 OUR 测量来估计动力学和计量学参数精确度较高。这种方法的困难在于校正过程需要进行模拟，因此要使用专门软件，对人员经验要求也比较高。

敏感性分析是提高模型校正效率的重要工具，通过敏感性分析能找出对运行过程和结果影响最大的参数。优化实验设计（OED）是一个用于设计和比较现场动态采样分析与批式试验的工具，能够提高数据收集过程中的参数精确度。因为不是所有的建模与模拟软件都有专门的 OED 模块，因此目前使用该工具要求较高的专业能力。

BIOMATH 导则不像 STOWA 和 WERF 那样非常强调数据校正方法的细节。从 BIOMATH 导则的结构来说，没有很清晰地阐述如何根据校正目的来确定具体校正步骤。而 WERF 导则根据不同的校正目标提出不同的校正步骤，这对模型校正经验不足的人员来说是非常有益的。

总体上来说，BIOMATH 导则的思路是从原理出发，开发最准确的校正方法，但不够简单易用。BIOMATH 导则是四种模型校正导则中最为复杂的，对经验不足的使用者来说不太容易上手。一旦 OED 和敏感性分析工具能被整合入校正过程，那么实现一个全自动的校正程序就会变得容易多了。

## 2. STOWA 导则

总体上 STOWA 方法是所有方法中最直接，最实用，最简易的方法。该导则具体的阐述了沉降过程和生化过程表征和校正，然而对曝气池的水力流态等问题没有充分阐述。

STOWA 导则对进水组分的表征使用 BOD 测量和物化方法。物化方法分析结果的可重现性和一致性较好，但是 BOD 测量在确定和假设惰性颗粒组分  $f_p$  时不够稳定。由于 BOD 测量确定了污水的可生化性，而这又是确定进水 COD 其他组分的关键，因此这一缺陷是 STOWA 导则应用中的主要问题。

Weijers 使用一个经过简化的 ASM1 模型来模拟和解读 BOD 变化曲线，效果较好，说明这种方法可以有效弥补 STOWA 导则的不足。任何能提高 BOD 测量准确性的手段都可以显著提高 STOWA 导则的可用性。STOWA 导则没有具体阐述如何进行稳态模型校正。各种研究都表明稳态校正的结果对于校核物料平衡是非常有用得，特别是用来校正系统泥龄的污泥平衡，因此这也是 STOWA 方法的不足。STOWA 导则没有详细阐述如何进行生物量表征，即确定进水中的初始自养菌与异养菌浓度。并且，也没有具体阐述如何设计现场动态取样与分析，而这一步是模型校正分析最昂贵的步骤。

STOWA 导则未在模型校正过程中使用数学/统计方法，如 OED 方法，由于数学方法可用来优化设计和比较现场动态取样分析和实验室批式试验，节省人力物力，因此是有意义的。

### 3 . HSG 导则

HSG 导则阐述了模型校正的总体框架，因此是普遍适用的。但是 HSG 方法没有介绍具体的进水组分以及动力学参数试验手段，也没有提供如何进行校正具体 ASM 模型的细节，案例研究也很少见，因此实用意义不如其他三种方法。HSG 导则是唯一的给出了报道完整校正过程格式的导则，这是一个显著的优点，可以提高阅读和研究不同校正方法的水平。

### 4 . WERF 导则

WERF 导则对进水组分和生物量的表征有详细的实验方法阐述，但没有考虑沉降和流态问题。此外，WERF 导则没有结构化的阐述如何进行不同校正步骤层次，因此易读性不好。WERF 导则没有详细讨论二沉池中可能发生的生物反应，特别是反硝化过程，这可能是一个重要缺陷。

WERF 介绍的实验方法很详细地阐述了如何确定硝化过程参数，特别是自养菌的增长与衰减速率，这填补了到目前为止这方面的文献较少的缺陷。但是，WERF 的实验方法采用 SBR，不及呼吸测量试验迅速省力。

WERF 导则介绍了如何设计现场动态取样分析方案，然而普遍性不足，对实践者帮助不大。除此之外，WERF 导则建议的动态取样分析时间也较短，仅有 1-2 天时间，这么短的时间显然不能充分反映处理厂的长期动态过程。

WERF 导则总结了大量的实际规模污水厂模型校正实例。提出了分层次模型校正方法，使得经验不足的研究者可以根据校正目标选择校正步骤。其中，层次 2 阐述了如何根据历史数据来进行校正，这对初学者或者经验不足的使用者来说特别有用。因此 WERF 导则与 STOWA 导则是特别适用于刚刚进行模型学习与实践的研究者。

### 5 . 应用思路与方法

欧美国家上百年的污水处理经验和近几十年来的模型研究基本上解决了污水组分表征的问题，对活性污泥模型的应用起到了很大推进作用。国内的污水处理厂在运行经验，稳定运行，数据积累与质量方面尚有一定的差距，要利用 ASM 模型指导设计和运行，应开展水质表征与模型校正方法的基础研究。尽管 ASM 模型描述的是活性污泥过程，但在模型表述方法和模型结构已经被证明是具有普遍应用价值的。结合我国特点，对上述四种模型校正准则的研究和分析表明，开发完整的测试方法和测试程序是最重要的。呼吸计量已被证明是最准确的表征方法，应得到广泛采用。应用数学与统计手段可减少模型校正的时间和工作量，提高效率与准确度，使用者应掌握一定的数学知识和专业软件使用能力。

**关键词：**活性污泥模型，模型校正，污水处理厂，污水组分表征，BIOMATH，STOWA，HSG，WERF