

供氧方式对 SBR 法硝化反应控制参数的影响

彭永臻 王淑莹

(北京工业大学)

曾 薇

(哈尔滨工业大学市政环境工程学院)

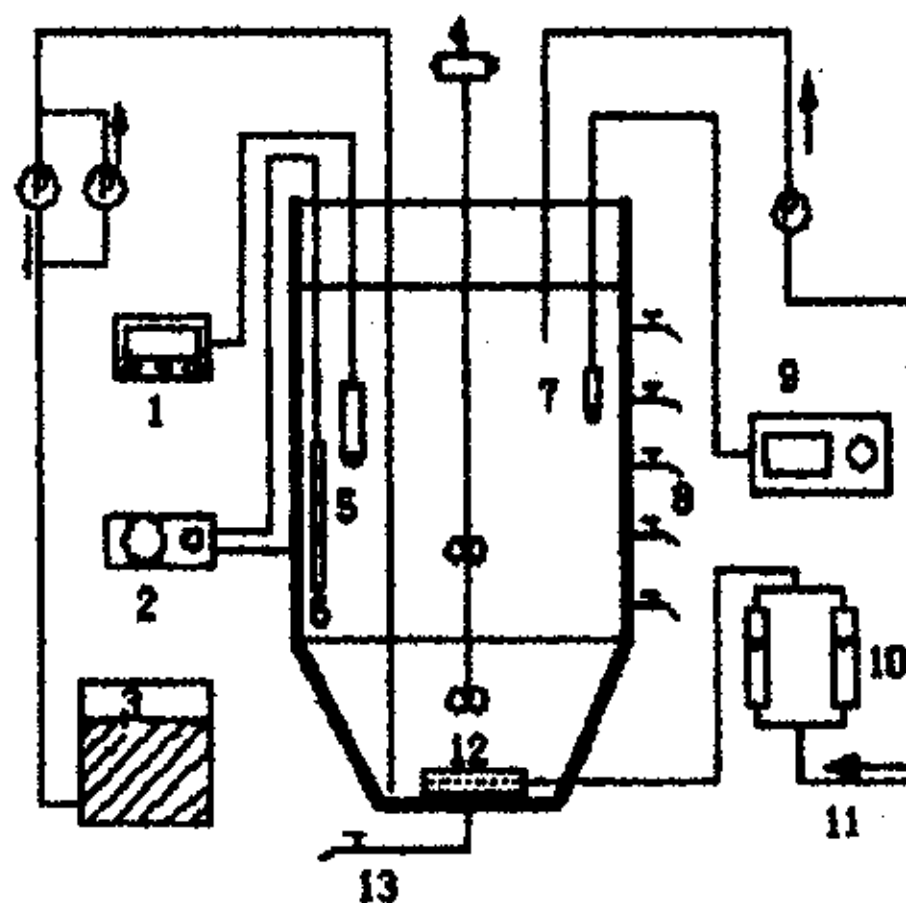
SBR 法由于运行方式的特殊性,使其具有一系列连续流无法比拟的优点,日益受到重视。特别是八十年代以来,SBR 法用于处理间歇排放的、水质水量变化较大的工业废水取得了很大成功并被广泛应用。SBR 法的自动控制问题一直是人们研究和关注的热点,因为只有将 SBR 法的控制提高到更高的层次,使系统的运行更为稳定可靠,才能充分发挥 SBR 的优势。而寻找一些即可以简单的在线检测,又可以指示反应进程的控制参数是解决 SBR 自动控制问题的关键。国内外的学者研究表明,活性污泥法中 DO、ORP 和 PH 的变化规律能从不同角度不同程度反映有机物降解,脱氮除磷生化反应的进程,因此,以它们作为控制参数是可行的,但这些研究多是针对连续流活性污泥法。SBR 脱氮系统的大部分反应过程处于好氧状态,曝气量的大小和曝气时间的长短对于保证出水水质,节省能耗至关重要。因此,研究了在不同供氧方式下,包括曝气量恒定的条件下,DO、ORP 和 PH 在好氧过程的变化规律及其作为反应时间控制参数的可行性,为解决 SBR 法的自动控制问题提供依据。

1 试验研究材料和方法

试验采用石油化工废水,原废水主要含有乙酸、偏苯三酸及苯酐等多种有机化合物,呈强酸性,处理前调节 PH 值为 6~7。SBR 首先处于好氧状态,主要进行硝化反应,同时也去除少部分有机物,并控制硝化反应至亚硝酸型硝化结束。然后缺氧反硝化,反硝化通入原水作为碳源。每套反应器装置如图 1 所示。反应器高 70cm,直径 30cm,有效容积 38L。采用鼓风曝气,转子流量计调节曝气量控制 DO 浓度;温控仪和加热器控制水温;在线检测 DO、ORP 和 PH,并根据这些参数的变化情况在一定的时间间隔内取样测定 COD、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 MLSS 等指标。

2 试验结果与分析

试验考察了不同的供氧方式,即反应阶段控制曝气量恒定和 DO 恒定时对好氧过程 DO、ORP 和 PH 变化规律的影响。



1. 氧化还原电位; 2. 温度控制仪; 3. 污泥池;
4. 搅拌器; 5. ORP 传感器; 6. 温度传感器;
7. 溶解氧仪传感器; 8. 排水口; 9. 溶解氧仪;
10. 转子流量计; 11. 压缩空气; 12. 曝气器;
13. 排泥管

图 1 SBR 试验系统与控制示意图

2.1 控制反应周期内曝气量恒定

SBR 硝化反应初始 NH_4^+-N 为 32mg/L , COD 为 130mg/L 。SBR 每个反应周期曝气量恒定, 在 $0.4\text{m}^3/\text{h}$ 的恒定曝气量下稳定运行多个周期后, 又在 $0.6\text{m}^3/\text{h}$ 的恒定曝气量下运行多个周期。SBR 在两档不同曝气量下的稳定运行情况如图 2(a)、(b)、(c) 所示。控制污泥浓度 (MLSS) 为 3000mg/L 左右。由于硝化反应被控制在亚硝酸型硝化反应, NO_3^--N 的浓度在 1mg/L 以下, 所以图中没有给出。

SBR 的好氧反应可分为以下几个阶段: 在反应初期, 大约 $20\sim 30\text{min}$ 左右, 去除少量 COD 和硝化反应同时进行, DO 在此阶段出现了一个稳定期。在曝气量为 $0.4\text{m}^3/\text{h}$ 的周期中, 此阶段的 DO 值持续在 0.5mg/L 以下的较低水平。受较低的 DO 限制, 硝化进行的程度较小, 30min 时的 NO_2^--N 仅为 2mg/L 。在曝气量为 $0.6\text{m}^3/\text{h}$ 的周期中, 此阶段的 DO 平台持续在 2mg/L 左右, DO 不再是硝化反应的限制因素, 硝化反应的速率也相应提高, 20min 时的 NO_2^--N 就增加为 5.6mg/L 。由此可见, 增加两档不同的恒定曝气量的试验结果发现, 在反应初期 DO 稳定期持续的时间随曝气量的增大而减少, 这是由于 DO 充足的情况下, 加快了 COD 的降解速率。此阶段的 ORP 一直在升高, 但升高的速率越来越小。PH 值小幅度增长或基本稳定。虽然硝化反应消耗碱度, 但由于前 30min 硝化的程度较小, 而且 COD 降解过程中产生的 CO_2 从混合液中逸出, 体系本身具有一定的缓冲能力, 并没有引起 PH 的下降。

当 DO 出现稳定期并持续二三十分钟之后, 会出现一个小的跳跃, 此时 COD 基本降到最低值。由于 COD 不再降解, 污泥中大量异养菌进入了内源呼吸期, 使耗氧速率迅速减少, 引起 DO 突然升高。受 DO 这种变化的影响, ORP 也产生一个小的跳跃。在之后的反应过程中主要进行硝化反应, COD 基本不再降解, 只在小范围内波动。DO 经过小的跳跃之后开始

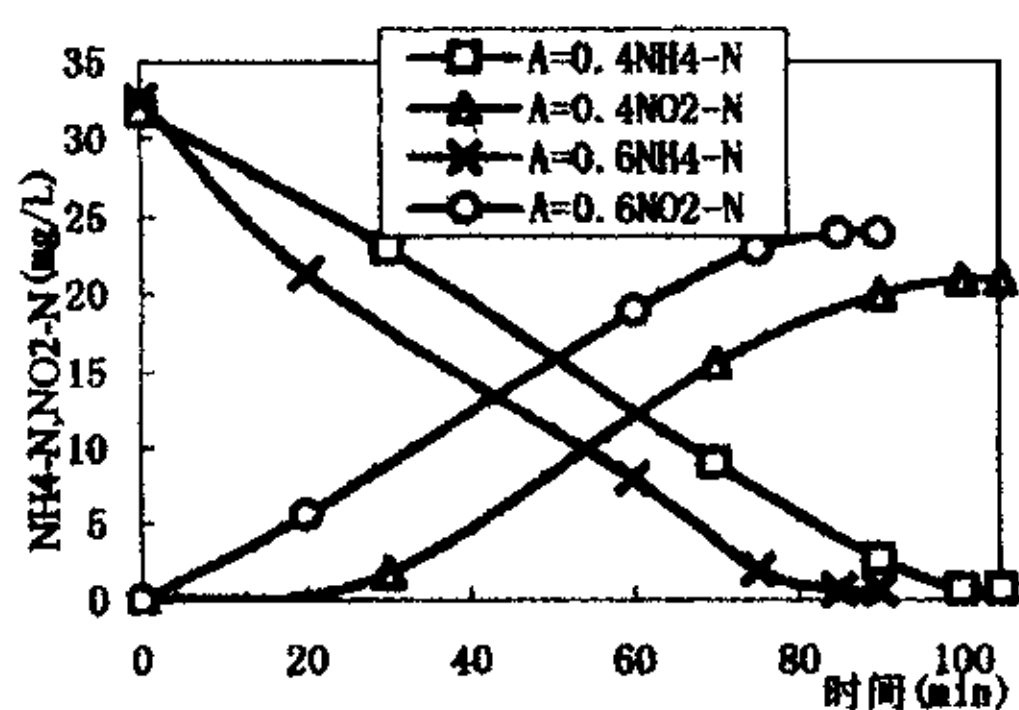


图 2(a) 曝气量恒定条件下 NH_4^--N , NO_2^--N 变化

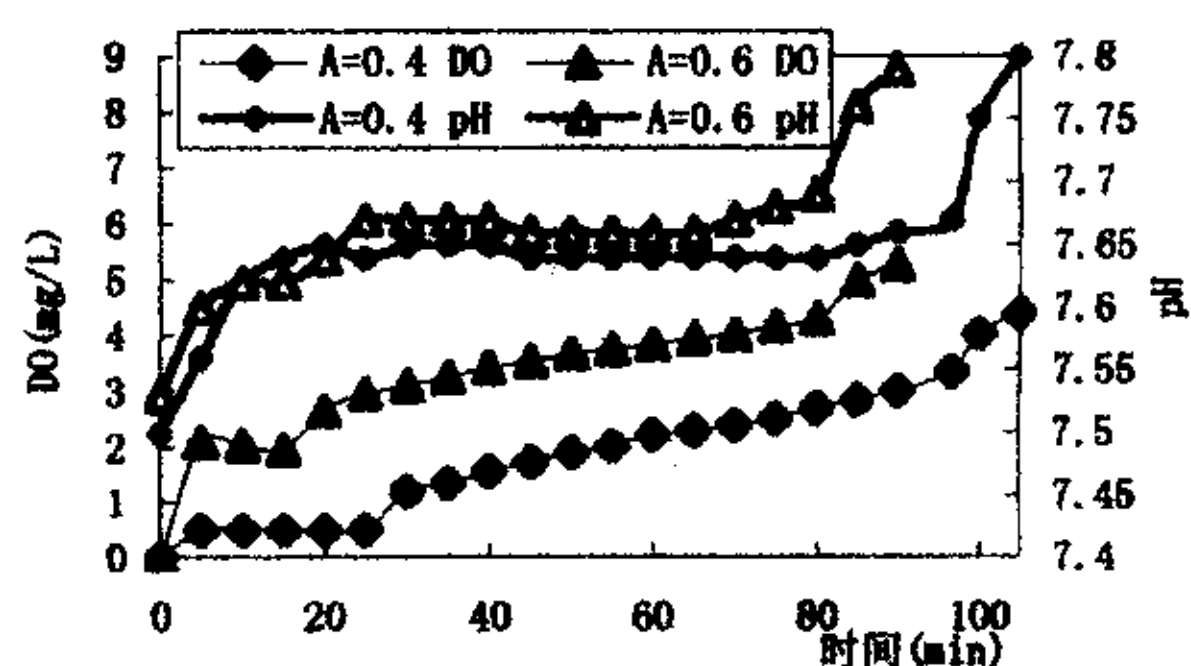


图 2(b) 曝气量恒定条件下 DO, pH 变化

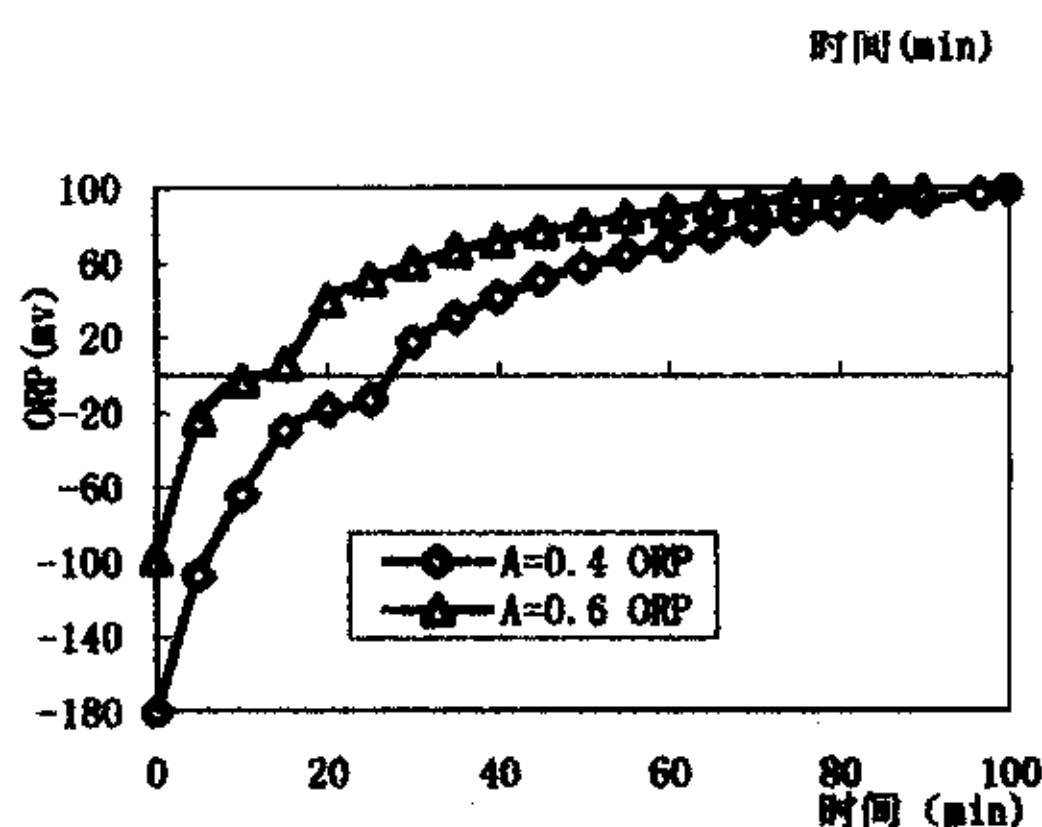


图 2(c) 曝气量恒定条件下 ORP 变化

以基本相同的速度逐渐升高,这是由于在硝化反应过程中,随着 $\text{NH}_4\text{—N}$ 浓度的降低,硝化反应速率和耗氧速率减小,在曝气量恒定的条件下,必然引起混合液中 DO 的增加;ORP 也是逐渐升高,但升高的速度越来越小;PH 在硝化反应的进行中基本稳定或有所下降。由于混合液中碱度充足,硝化反应消耗的碱度不足以引起体系内 PH 大幅度下降。

当 $\text{NH}_4\text{—N}$ 减小到 5mg/L 以下时,DO 升高的速度和幅度增大,这是由于较低的 $\text{NH}_4\text{—N}$ 浓度使硝化反应速度进一步降低,耗氧速率也更小;ORP 升高的速度变得更为缓慢;PH 也略有升高,但不是很明显。当 $\text{NH}_4\text{—N}$ 浓度接近 0mg/L 时,DO 又会出现一个小的跳跃,但跳跃幅度不是很大,而 PH 突然升高,ORP 基本稳定。此时硝化反应基本结束,使耗氧速率又一次明显减小,引起 DO 升高。由于硝化反应结束,不再消耗碱度,而且继续曝气使 CO_2 逸出,所以 PH 在硝化反应结束时突然升高。

从图 2(a)、(b)、(c)中还可以看出,在 SBR 进水 COD、 $\text{NH}_4\text{—N}$ 浓度相同的条件下,曝气量较大的周期,反应时间较少,但减少的幅度不是很大。这是由于 SBR 硝化反应过程中 DO 逐渐升高的,DO 对反应速率的影响主要体现在反应前期 DO 浓度较低的时候,当 DO 升高到 2mg/L 以后,曝气量和 DO 不再成为反应速率的影响因素。尽管反应时间的差别不是很显著,但 DO、PH 在 SBR 硝化反应结束时的突然升高可以指示反应时间的变化。根据这种变化规律,停止曝气,进入缺氧反硝化阶段。因此,DO、PH 可以作为 SBR 好氧硝化反应时间的可靠的控制参数。

2.2 控制反应周期内 DO 恒定

反应周期内恒定曝气量的条件下,SBR 硝化反应过程中 DO 逐渐长高,当 DO 超过 2mg/L 以后,即使不同的周期控制不同的曝气量,对后期反应速率的影响不是很显著。为了更好的考察 DO 对 SBR 硝化反应过程的影响,在 SBR 的每个反应周期中逐渐减少曝气量,使 DO 基本恒定,不同周期 DO 恒定在不同水平。

SBR 硝化反应初始 COD、 $\text{NH}_4\text{—N}$ 分别为 190mg/L 、 52mg/L 。每个周期通过改变曝气量控制 DO 恒定。试验中分别控制 DO 在 0.7mg/L 、 1.8mg/L 和 2.6mg/L 三个不同的水平。控制 MLSS 为 3000mg/L 左右,水温 30°C 。硝化反应属于亚硝酸型硝化反应, $\text{NO}_3\text{—N}$ 由于浓度较低而忽略不计。在每档 DO 浓度下,都经过多个周期的运行,并得到稳定的运行结果。DO、ORP、PH、COD、 $\text{NO}_2\text{—N}$ 和 $\text{NH}_4\text{—N}$ 随时间变化情况如图 3(a)、(b)、(c)所示。

每个周期内 DO 基本稳定在一个水平。ORP 的变化规律与恒定曝气量的条件下大部分相同,在反应过程中 ORP 一直在升高,但升高的速度越来越小,在反应结束时基本稳定。不同的是在反应前期($20 \sim 30\text{min}$)ORP 并没有产生小的跳跃,这是受 DO 恒定的影响。而且 DO 恒定值较高的周期,ORP 的整体测量值也相对较高,这说明混合液中 DO 的大小是影响 ORP 绝对测量值的重要因素。PH 的变化规律与恒定曝气量的条件下基本相同。PH 在反应的前期略有升高,然后由于硝化反应消耗碱度而缓慢下降。当 $\text{NH}_4\text{—N}$ 接近 0mg/L 时,PH 突然升高,标明硝化反应的结束。

比较三档不同 DO 的反应周期,将反应过程 DO 的恒定值由 0.7mg/L 提高到 1.8mg/L ,硝化反应速率由 $0.12\text{kgNH}_4\text{—N/kgMLSS} \cdot \text{d}$ 提高到 $0.25\text{kgNH}_4\text{—N/kgMLSS} \cdot \text{d}$,反应时间缩短了 50%。而过程 DO 的恒定值由 1.8mg/L 提高到 2.6mg/L ,反应时间没有发生明显的变化。这说明在 $\text{DO} < 2\text{mg/L}$ 的范围内,DO 是硝化反应的限制因素,硝化反应速度随 DO 的升高而明显加快。相对于曝气量恒定,DO 恒定对硝化反应速率影响更大。当 DO 超过 2mg/L ,DO 不再是硝化反应速率的主要影响因素。因此,硝化反应过程中控制 DO 在 2mg/L 左右

比较合适, 过高则增加运行费用, 造成浪费, 过低则抑制硝化反应的进行。试验中还发现, 在 DO 为 0.7mg/L 的周期, 由于 DO 浓度低, 发生了同步硝化反硝化现象, 在硝化反应结束时 $\text{NO}_2\text{-N}$ 为 35mg/L。而 DO 为 1.8mg/L 的周期, 硝化反应结束时 $\text{NO}_2\text{-N}$ 为 43mg/L。但两个周期反硝化的时间仅由 16min 延长到 20min。由此可见, 为达到同步硝化反硝化的目的而故意降低 DO 浓度, 并不是经济合理的。

综合上述分析, 在反应周期内 DO 恒定的条件下, SBR 硝化反应结束时 pH 值的突然升高能够可靠的指示硝化反应时间的变化, 可以作为 SBR 曝气结束的控制信号。ORP 在硝化反应结束时没有明显的变化。

3 结论

(1) 采用 SBR 法处理氮浓度较高的化工废水, 反应过程即包括好氧硝化, 又包括缺氧反硝化, 而好氧与缺氧之间的状态切换是过程控制的关键。试验研究表明, DO、ORP 和 PH 的变化规律能从不同角度不同程度地反映硝化反应的进程, 以它们作为控制参数是可行的。

(2) 在曝气量恒定的条件下, 当 $\text{NH}_4\text{-N}$ 较低或接近 0mg/L 时, DO 升高的速度和幅度增大, 表明硝化反应的结束; 无论是在曝气量恒定还是 DO 恒定的条件下, 在 $\text{NH}_4\text{-N}$ 接近 0mg/L 时, PH 都会突然升高, 可以以此作为 SBR 曝气过程应当结束的控制信息; ORP 在 SBR 的好氧硝化过程中一直在升高, 但升高的速度越来越慢, 直至趋于平稳。因此, ORP 对 SBR 曝气过程结束的指示作用不是很明显, 但可以作为参考。

(3) DO、ORP 和 PH 是 SBR 法运行控制的重要参数, 用 DO 仪、ORP 仪和 PH 计进行在线检测具有响应快、精度高、费用低及易于与计算机接口等优点。所以, 用 DO、ORP 和 PH 作为 SBR 法的运行控制参数, 可将 SBR 工艺的自动控制提高到更高的层次, 对于 SBR 法的运行管理、节省费用等具有重要意义。

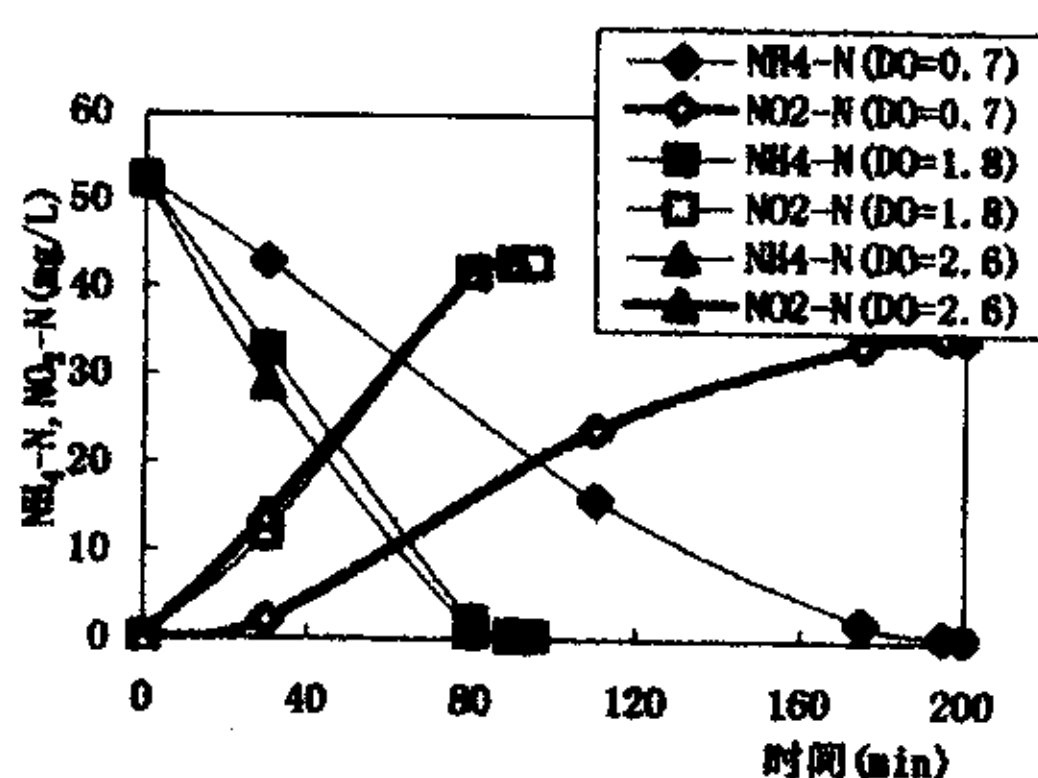


图 3(a) DO 恒定条件下 $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ 变化曲线

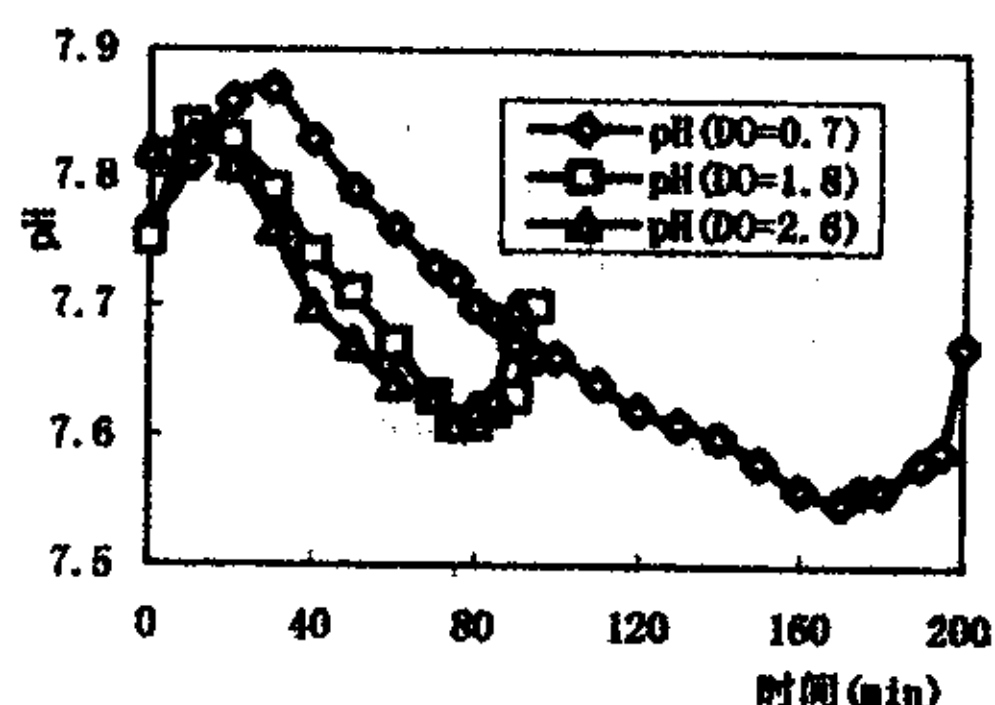


图 3(b) DO 恒定条件下 pH 随时间变化

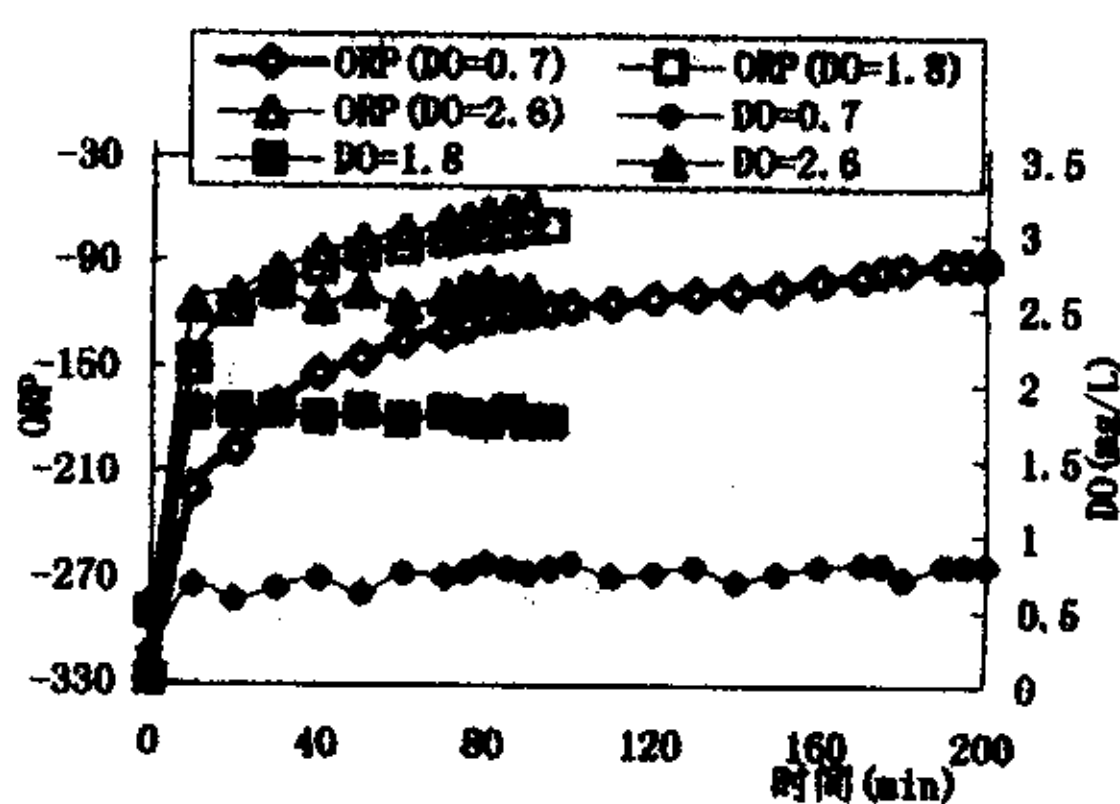


图 3(c) DO 恒定条件下 DO, ORP 变化曲线