第16卷 第6期 环 境 化 学 Vol. 16, No. 6
1997年 11月 ENVIRONMENTAL CHEMISTRY November 1997

聚合铝的形态稳定性及其动电特性的研究[1)]

栾兆坤 曲久辉 汤鸿霄

(中国科学院生态环境研究中心，国家重点环境水化学实验室，北京，100085)

摘 要

本文采用改进的 Al-Ferron 快速测定法研究了混凝过程中铝盐与聚合铝水解形态的转化规律及稳定性，并对混凝反应过程中铝与聚合铝溶解-沉淀形态分布与理论溶解度进行了对比，同时采用流动电流技术直接测定了铝盐与聚合铝絮凝剂的荷电状况，最后对发生在混凝过程中铝与聚合铝最佳凝聚形态进行了讨论.

关键词：聚合氯化铝，形态转化及稳定性，流动电流，最佳絮凝形态.

已往大量研究表明，铝盐在混凝过程中形成的水解形态，尤其是水解聚合形态对负电荷胶体颗粒表面的专属吸附/电中和脱稳作用，是导致水体胶体颗粒聚集成粗大絮体颗粒而迅速沉降的重要先决条件[1-3]. 由于混凝过程中絮凝剂的凝聚絮凝效率明显取决于絮凝剂的水解形态分布特征，因此，了解混凝过程中铝盐与聚合铝水解形态分布特征及其动力学稳定性的差异，对于进一步提高聚合铝的混凝效率，阐明其凝聚絮凝作用机理都具有重要而实际的意义.

水解与凝聚动力学研究表明，混凝过程中铝的水解反应速度与其电中和/吸附脱稳速度大致同步进行，即在投加后微秒或秒级瞬间内完成[3,4]. 因此，确切地表征发生在混凝反应过程中铝盐及聚合铝絮凝剂生成形态的转化规律及其分布特征是十分困难的，关键在于研究发展一种能够进行瞬时跟踪检测其水解形态动态变化特征的分析测定方法.

本文主要论述了采用 Al-Ferron 逐时络合比色法并结合电泳迁移度和流动电流检测技术等方法，综合地表征发生在凝聚絮凝反应过程中，氯化铝（AC）和聚合氯化铝（PAC）所形成的水解形态分布特征、稳定性及其动电特性，并对混凝过程中铝盐与聚合铝凝聚作用形态及机理的差别进行了讨论.

1 材料与方法

絮凝剂：聚合铝絮凝剂是在实验室微量滴碱条件下制备的，铝浓度为 0.1mol·l^{-1}，碱化度（B）为 2.5. 铝盐凝聚剂采用分析纯 $AlCl_3 \cdot 6H_2O$，配制成浓度为 0.1mol·l^{-1}的溶液[5].

水解形态表征分析方法：采用 Al-Ferron 逐时络合比色法，其络合比色液采用改进的

1) 国家自然科学基金资助项目（批准号：29477280）.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

一次混合加入法，在DU650型精密分光光度计于370nm处进行逐时络合比色测定，分析测定浓度为10^{-5}—10^{-4}mol·l^{-1}. 详细操作及标准Ferron比色液的配制见文献[5,6].

水解形态荷电特征研究方法：实验是向不含颗粒物的清水中投加氯化铝和不同B值的聚合铝絮凝剂后，采用SC-30S型流动电流检测器（SCD）检测其流动电流值（SC）的变化[7]. 方法是在一容积为5L的有机玻璃水槽中注入4L 1∶1的去离子水：自来水后，将流动电流检测器探头全部浸入水中，并插入pH电极. 实验过程中以无极变速搅拌器进行匀速搅拌（约60—70r·min^{-1}）. 在开启流动电流传感器获得稳定的检测值后，用微量移液器连续定量地投加不同B值聚合铝絮凝剂，并以0.1mol·l^{-1}盐酸或氢氧化钠溶液调节至稳定的pH值，即时检测记录pH及相应流动电流的变化. pH测定采用Orion pH计，测定精度为±0.02pH.

2　结果与讨论

2.1　混凝反应过程中铝与聚合铝的形态转化特征及稳定性

图1是在pH6.0时，AC和PAC-25分别在快搅30s及快搅30s随之慢搅15min后未过滤和经0.45μm过滤后（F）样品的Al-Ferron逐时络合动力学曲线的对比. 从图1可见，AC在快速混合30s后和30s快速混合随之15min慢速混合后，对比未过滤和经0.45μm滤膜过滤后（F）的Al-Ferron逐时曲线具有明显的差别. 经0.45μm滤膜过滤后的Al-Ferron逐时反应曲线十分低，说明在30s快速混合后，所投加的AC凝聚剂中绝大部分铝已转化成氢氧化铝初级沉淀微粒，计算滤液中残留溶解态铝只有7—15%. 从图1还可见，PAC-25无论是在快速混合30s，还是在30s快速混合随之15min慢速混合后，未过滤和经0.45μm滤膜过滤后（F）的Al-Ferron逐时络合曲线无明显差别，80%以上的聚合铝可透过0.45μm滤膜，表明聚合铝在快速混合过程中仍主要是以可溶性的预水解聚合形态存在.

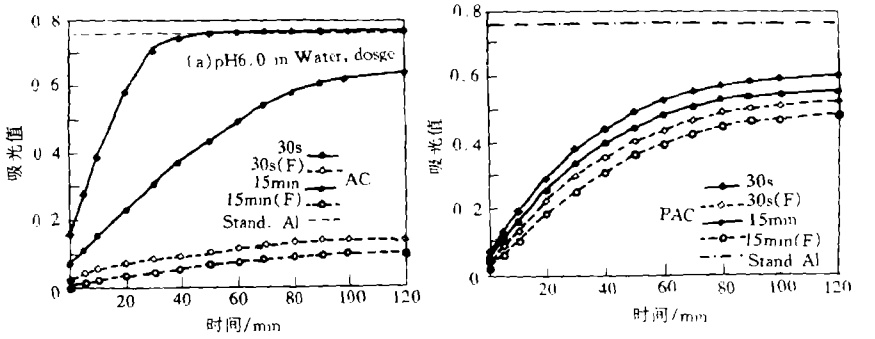


图1　AC与PAC-25水解形态在混凝混合过程中的Al-Ferron逐时络合曲线

Fig. 1　Comparison of the Al-Ferron timed complex colorimetric curves for the hydrolyzed species of AC and PAC-25 in the coagulation processes at pH6.0(F) is the sample after filtered with 0.45μm filter membrane

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

图 2 表示了在不同 pH 条件下，1×10^{-4}mol·l^{-1}的 AC 凝聚剂在快搅 30s 后经 0.45μm 滤膜过滤后滤液中的 Al-Ferron 逐时动力学曲线. 由图 2 可见，随水的 pH 值升高，滤液中的 Al-Ferron 逐时动力学反应曲线迅速下降，表明经 0.45μm 滤膜过滤后滤液中溶解态铝含量随 pH 升高而明显降低. 在 pH4.6 和 5.1，30s 过滤后滤液中溶解铝含量分别为 84.4%和 56.3%，在 pH6.2 和 6.9 时，其滤液中溶解铝含量仅为 15%和 4%. 此外，从图 2 还可见，在 pH4.6 和 pH>6 时，Al-Ferron 逐时络合曲线趋势平稳，而在 pH5.1 时，Al-Ferron 逐时动力学反应曲线则显示逐渐缓慢上升趋势，表明在 pH4.6 和 pH>6 的滤液中的溶解态铝主要以单体形态存在，而在 pH5 附近，则大约 60%是属于低聚合形态，即 Al_{b1}形态.

图 3 是在混凝搅拌条件下，分别投加 5.4mg·l^{-1}的 AC 或 PAC-25 后，用碱调至 pH8.0 使之产生絮体微粒后，再用酸调至 pH4.0，然后立即取样测定的 Al-Ferron 逐时络合曲线. 由图 3 可见，AC 初生絮体微粒的 Al-Ferron 逐时络合曲线基本呈平缓不变趋势，而 PAC-25 初生絮体微粒的 Al-Ferron 逐时络合曲线呈逐渐缓慢升高趋势. 这表明，AC 与 PAC-25 在混凝过程中所生成的初生絮体微粒结构是完全不同的，AC 的初絮体颗粒主要是以其单体形态组成，而 PAC-25 则是以其预水解聚合形态组成的.

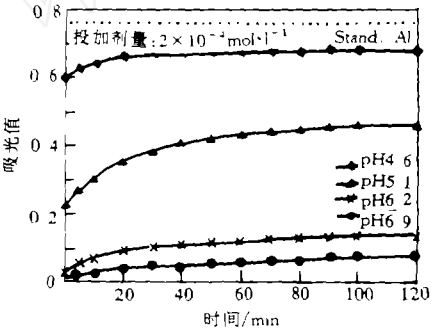


图 2 不同 pH 条件下 AC 凝聚剂在快搅 30s 的 Al-Ferron 逐时络合反应曲线

Fig. 2 Comparison of the Al-Ferron timed complex colorimetric curves for the hydrolyzed species of AC coagulant at different pH values and after the rapid mixing of 30s (with 0.45μm filter membrane)

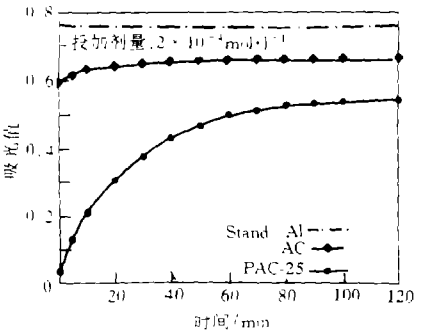


图 3 AC 与 PAC-25 经 0.45μm 滤膜过滤后的 Al-Ferron 逐时络合动力学曲线

Fig. 3 Comparison of the Al-Ferron timed complex colorimetric curves for the redissolved precipitates of AC and PAC-25 coagulant after coagulation by acidify and filtered with 0.45μm filter membrane

2.2 混凝反应过程中铝与聚合铝溶解-沉淀形态分布与理论溶解度的对比

图 4 是在投加剂量分别为 1×10^{-4}和 2×10^{-4}mol·l^{-1}时，快搅 30s 随之慢搅 30min 后，取样过滤（0.45μm）后测定滤液中的溶解铝浓度，然后绘制 AC 和 PAC-25 实测溶解度数据与理论计算溶解度的对比. 图中理论溶解度曲线引自文献 [8]，主要以表 1 所示的四种单体形态作为理论计算基础. 从图 4 可见，在慢速混合 30min 后，水中 AC 溶解形态的变化基本符合其理论计算曲线变化的趋势，即随 pH 增加，水中溶解形态含量逐

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

渐降低，在 pH6—7 范围，绝大部分 AC 的生成形态是以 $Al(OH)_3(am)$ 初级沉淀微粒形式存在的. 在 pH5 以下优势赋存溶解态主要为 Al^{3+}，$Al(OH)_2^+$，在 pH8 以上主要生成物为 $Al(OH)_4^-$. 上述实验结果表明，在快速混合 30s 后，AC 就已迅速生成无定型氢氧化物 $Al(OH)_3(am)$ 初级粒，并且随 pH 值升高，$Al(OH)_3(am)$ 初级微粒迅速增加，而溶解态铝的含量则迅速降低. 因此，从图 1 至图 3 由 Al-Ferron 逐时络合法所直接测定的 AC 在混凝各反应阶段或不同 pH 条件下 Al_a 类的水解形态，实际所反映的或是其溶解性水解形态与 $Al(OH)_3(am)$ 初级沉淀微粒的混合物（pH＜6.0），或是 $Al(OH)_3(am)$ 初级沉淀微粒（pH6—8）. 表明在混凝过程中，不同混合时间或不同 pH 条件下，铝盐凝聚剂所生成的 $Al(OH)_3(am)$ 初级沉淀微粒随 pH 及剂量而表现出不同的化学反应活性. 同时也表明采用 Ferron 逐时络合法不仅可定量测定水中各类溶解态铝形态，而且还可测定出 $Al(OH)_3(am)$ 沉淀初级微粒反应活性.

表 1　理论计算的单体铝形态及其水解常数[8]

Table 1　Aluminum hydrolysis reactions and constants

化学反应式	pK
$Al^{3+}+H_2O=Al(OH)^{2+}+H^+$	$pK_{1,1}=4.99$
$Al^{3+}+2H_2O=Al(OH)_2^++2H^+$	$pK_{1,2}=10.1$
$Al^{3+}+4H_2O=Al(OH)_4^-+4H^+$	$pK_{1,4}=23$
$Al^{3+}+OH^-=Al(OH)_3(am)$	$pK_{SO}=31.6$

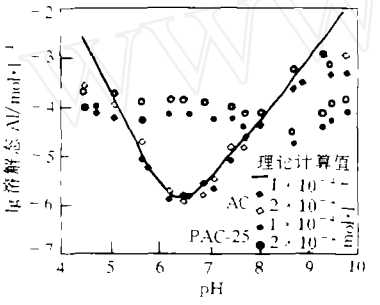


图 4　AC 和 PAC-25 实测与理论溶解度的对比

Fig. 4　Comparison of experimental solubility data for AC and PAC-25 and theoretical solubility of aluminum in equilibriun with Al(OH)(am)

由图 4 明显可见，PAC-25 絮凝剂在 pH8 以下没有明显可见的沉淀物生成迹象，绝大部分可透过 0.45μm 滤膜，表明投加于水中的 PAC-25 絮凝剂的水解聚合形态基本保持不变，而在 pH8 以上时才有明显减低，但在 pH9 以上时又迅速回升. 因此，$AlCl_3$ 与 PAC-25 的实测与理论溶解度的曲线变化对比结果表明，PAC-25 中 Al_{13} 形态的水解沉淀趋势与以无定型 $Al(OH)_3(am)$ 的理论溶解度相悖，且具有较高稳定性和明显延迟沉淀趋势.

2.3　铝和聚合铝的流动电流（SC）特征

图 5 是向水中分别投加铝盐（AC）和不同 B 值的 PAC 絮凝剂后，流动电流（SC）的响应值随投加浓度的变化. 由图 5 可见，在同样投加剂量条件下，不同 B 值的 PAC 水溶液的 SC 响应值随 B 值增加而增大，且均比 AC 显示出更高的 SC 响应值. 这种现象在 SC 的等电点（SC＝0）时表现尤为突出. 为达到等电点，需投加铝盐约 0.15 Al mmol·l^{-1}，而 B 值为 1.0，1.5，2.0 和 2.5 的聚合铝则分别为 0.1mmol·l^{-1}，0.07mmol·l^{-1}，0.05mmol·l^{-1}和 0.04mmol·l^{-1}，因此，流动电流的检测结果可直接证实 AC 与 PAC 絮凝剂在投加水中后的水解聚合形态所带荷电量的状况，即 AC 水解形态的荷电量为最低，而 PAC 水解形态的荷电量则随 B 值增大而明显增加，但在 B＞2.0—2.5 时，其荷电量增加逐渐减缓.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

当向水中投加0.03mmol·l^{-1}的PAC-25和AC后，在充分混合并达到稳定不变的流动电流值（SC）时，逐渐地改变pH，并检测不同pH条件下AC与PAC-25的SC响应值的变化，结果如图6所示. 由图6可见，在向水中分别投加0.03mmol·l^{-1}的PAC-25和AC后，在pH约7.5时达到稳定的SC响应值分别为－1.04和－3.41mA. 在此基础上用稀酸逐渐降低溶液pH值，在含PAC-25的水溶液中，最初的pH降低使SC响应值明显增强，但pH达到6左右时则出现暂稳现象，然后朝相反方向变化，即随pH的继续降低反而导致SC响应值逐渐减弱. 而在投加AC的水溶液则无此现象发生，含AC的水溶液的SC响应值随pH降低而不断上升，直到pH降至3.1时，SC响应值仍呈上升趋势. 这些结果反映了水中这两种不同类型的铝絮凝剂的形态所带电荷随pH的不同变化状况. AC水解形态的电荷随pH升高而逐渐地下降，尤其在pH>7则迅速下降. 而PAC-25水解聚合形态的电荷在pH5—6范围具有最高电荷，在此pH以下或以上虽有些降低，但仍显著地高于AC水解形态的电荷.

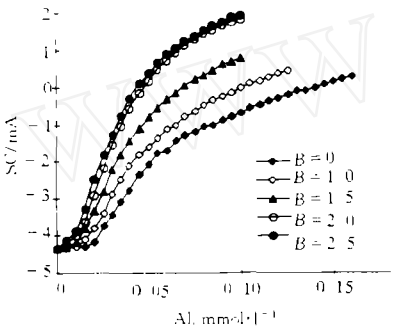


图5 AC与不同B值的PAC的SC值随投加浓度的变化

Fig. 5 Changes of streaming current values (SC) *vs* concentrations of AC and PAC with different B values

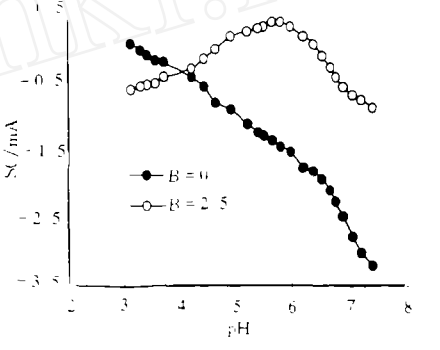


图6 在相同投加剂量条件下，AC与PAC-25的SC值随pH的变化

Fig. 6 Changes of streaming current values (SC) *vs* pH for AC and PAC-25 at the same concentration

2.4 混凝过程中铝盐与聚合铝凝聚作用形态的差别

长期以来，在传统铝盐及聚合铝的凝聚絮凝作用方面，一直存在某些不清楚的认识与争论[1—4,10]. 这主要表现在：1）在混凝过程中，铝盐凝聚剂究竟以何种形态与胶体颗粒相互作用而导致其凝聚絮凝作用. 大多数研究主要是以铝的化学热力学平衡数据来推测其水解生成形态. 因此一些研究认为只是生成的单体形态或带电凝胶沉淀形态的作用结果，而另一些研究则认为是水解聚合形态作用的结果，但对究竟会形成何种水解聚合形态尚无确论. 2）大量的水处理实践已表明，聚合铝絮凝剂与传统铝盐混凝剂相比，混凝效能往往提高2—3倍，如此显著差别的原因何在？对此尚无定论，详细系统地研究则更少. 多数研究仍以传统铝盐凝聚剂的研究结果来解释其混凝过程中所发生的各种现象，因而对其产生高效凝聚絮凝效能及较宽的pH作用范围得不到合理明确地阐述. 3）目前一般认为，在人工控制的预制条件下可以得到有利于混凝的最佳形态，投加后摆脱了水

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

化学及混合条件的影响，即可发挥其高效作用，但这一推论并未得到实验的证实.

实际上，混凝过程金属盐凝聚剂的投加剂量都是在超出其理论溶度积，如 $K_{sp}=[Al][OH]_3$ 的一个至几个数量级条件下进行的. 因此，从理论上讲，只要溶液中的离子积超过其 K_{sp} 值便可形成沉淀. 然而，在混凝过程中，当铝盐凝聚剂投加到水中后，一方面，由于稀释和 pH 值升高导致水解反应迅速进行及形态转化. 另一方面，各水解产物化合态则在混合中被水中颗粒物或胶体所吸附. 这两个反应，即水解与吸附脱稳过程几乎是同步进行的，都发生在微秒或秒级瞬间. 因此，在混凝过程中了解 Al(Ⅲ)的水解动力学反应速率及瞬间生成形态，对于确定其最佳凝聚形态及其凝聚絮凝作用机理具有十分重要的意义. 表 2 综合概括了有关 Al(Ⅲ)的水解反应动力学速率 ($t_{1/2}$).

表 2　Al（Ⅲ）水解反应动力学速率 ($t_{1/2}$)

Table 2　Kinetics of Al（Ⅲ）reactions ($t_{1/2}$)

形成的水解形态	单体形态(Al_a)	二聚形态(Al_2)	聚合形态(Al_{13})	无定形沉淀物	结晶沉淀物
分子式	$Al(OH)_2^+$	$Al_2(OH)_2^{4+}$	$Al_{13}O_4(OH)_{24}^{7+}$	$Al(OH)_3(am)$	$Al(OH)_3(s)$
反应时间($t_{1/2}$)	$10^{-4}s$	≤1s	数分钟	1—7s—1 年	24h—数月

从表 2 的 Al(Ⅲ)水解反应动力学速率可见，Al^{3+} 的水解形成单体形态(Al_a)仅发生在 $10^{-4}s$ 内，形成二聚体(Al_2)或无定形沉淀物 $Al(OH)_3$ (am) 也只发生在 1—7s 间，而形成 Al_{13} 水解聚合形态则需要数分钟. 因此，从生成 Al_{13} 水解聚合形态动力学反应速率来讲，混凝过程中所投加的铝盐不可能生成 Al_{13} 水解聚合形态. 其次，从 Al_{13} 水解聚合形态生成条件来讲，已有的研究表明，滴碱或加碱过程中导致铝溶液瞬时碱过饱和而生成 $Al_x(OH)_{3x-1}^-$ 阴离子是生成 Al_{13} 聚合形态的首要条件，混凝过程中铝盐的投加量一般在 10^{-4}—$10^{-6}mol\cdot l^{-1}$. 在此剂量范围内，pH 值只有在 8.5 以上时，才可能导致 AlO_4^- 生成环境. 在一般水处理 pH 范围内 (pH6—8) 并不具备导致 Al_{13} 聚合形态的生成环境. 因此，混凝过程中铝盐不可能导致高电荷的 Al_{13} 聚合形态的生成，它只能生成单体和低聚形态，或 $Al(OH)_3$(am)初级沉淀微粒，这也是导致铝盐凝聚絮凝效能明显低于聚合铝的重要原因.

由于在实际混凝过程中，铝的水解与电中和/吸附脱稳作用发生在同一数量级，即微秒瞬间完成，而达到化学热力学平衡过程可能需要较长时间，因此，混凝过程中形成最佳凝聚脱稳形态似乎不能依据其水解-沉淀化学热力学平衡理论来推测，而应根据其水解反应动力学速率来推断. 综合上述研究及讨论结果，在混凝过程中铝与聚合铝可能进行的水解反应历程及其凝聚作用形态的差别如图 7 所示.

由图 7 可见，在 pH<6.0，在快速混合阶段，投加铝盐 (AC) 凝聚剂将迅速水解生成单体 Al_a 形态，并可迅速转化拥有最高正电荷的水解聚合形态，且拥有最高正电荷. 在 pH>6.0，其初生沉淀微粒已达到 90%，而水中的溶解形态则主要是单体形态. 但根据上述铝的水解反应动力学速率，实际上在 30s 快速混合后所测定的水解形态已是凝聚过程中的滞后形态. 因此，发生在此之前的水解反应必定将会导致更多的单体形态或低聚

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

形态生成. 即使在等电点，也并非仅以单一的中性沉淀微粒存在，而仍会存在一定量的单体形态. 因此，混凝过程中反应时间及 pH 值对决定铝盐水解形态动力学及其最佳凝聚形态是至关重要的因素.

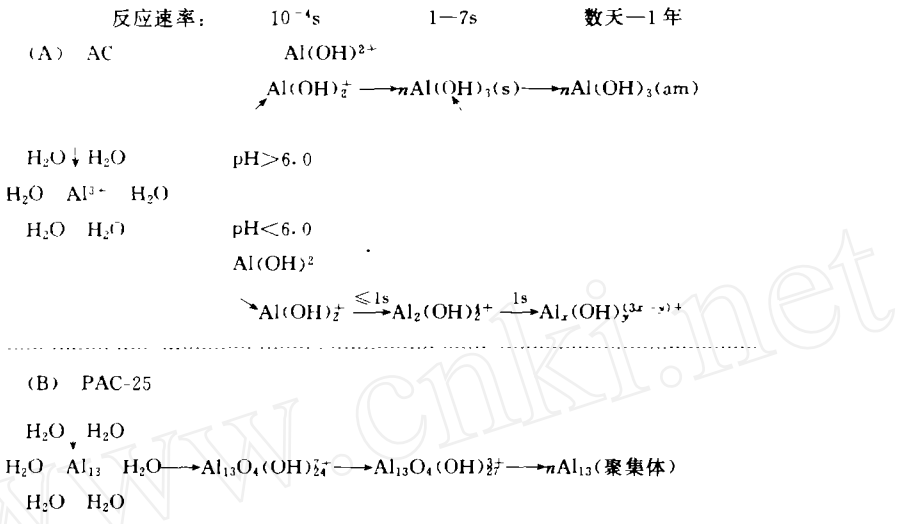


图 7 混凝过程中铝盐与聚合铝可能进行的水解反应历程及凝聚作用形态的差别

Fig. 7 Difference in the hydrolyzed reaction processes and coagulating species for AC and PAC-25 coagulants

当 PAC-25 投加到水中后，其水解形态主要是以预聚合生成的高电荷的 Al_{13}聚合形态，随 pH 及反应时间的延长而导致其电荷逐渐降低，最终生成氢氧化铝初生凝聚沉淀微粒，但从高电荷 Al_{13}聚合形态生成氢氧化铝凝聚沉淀微粒是十分缓慢的过程，而且在结构上与 AC 生成的氢氧化铝初生沉淀微粒是不同的. 铝盐生成的氢氧化铝初生微粒主要是单体形态组成和较低的 SC 和 EM 值. 而 PAC-25 所形成的絮体微粒则是由水解聚合形态组成并具有较高的正电泳值. 这与 Benschoten 等的研究结果是一致的[9]. 最近的研究结果表明[10]，铝盐在混凝过程中形成的初生微粒呈绒毛状蓬松多孔絮状结构，其粒径为 25—100μm，而 PAC 的絮体微粒则呈球状链束聚集结构，其聚集体可到 300—500μm.

实际水处理过程中所涉及聚合铝高效凝聚絮凝作用的问题可能还要复杂得多. 但上述研究结果至少从三个方面证实聚合铝与铝盐在混凝过程中的水解形态的差别：1）预聚合形态明显地消除了混凝过程的物理化学条件，如溶液的 pH、碱度、混合反应时间对其水解形态转化的强烈影响；2）预聚合形态相对稳定，显著地减缓其水解进程，延迟沉淀并形成与铝盐聚合不同电荷及溶解特征的絮体颗粒；3）预聚合形态与传统铝盐的水解形态相比，不仅拥有较大体面比，而且拥有更高的电荷，因而可提供更迅速、更强烈的电中和/吸附凝聚作用及粘结架桥絮凝作用. 这些都是导致聚合铝高效絮凝作用的重要原因，有关聚合铝凝聚絮凝效能及作用机理将另外详细论述.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3 结论

本文采用改进的 Al-Ferron 快速测定法和流动电流技术，研究发生在混凝过程中铝盐与聚合铝水解形态的转化规律及稳定性，以及其荷电状况. 得到了重要的结果，主要在于：

(1) 用改进的 Al-Ferron 快速测定法及流动电流技术研究发生在凝聚絮凝过程中铝与聚合铝水解形态的转化及稳定性，以及其形态电荷，虽然还尚不能达到表征发生在微秒或数秒瞬间的生成形态特征，但至少在确定 30s 快速混合及随后的慢速混合阶段的水解生成形态的稳定性及电荷方面取得了重要的研究进展，这些研究结果对阐明实际混凝过程中铝盐的赋存水解形态及确定聚合铝最佳凝聚絮凝形态，无疑具有十分重要意义.

(2) 混凝过程中铝盐（AC）水解形态转化强烈地依赖于水质及混合条件，尤其混合时间和溶液的 pH 值. 它在 pH＜6.0，快速混合阶段可生成拥有最高正电荷的优势水解聚合形态为 Al_{b1} 形态，并具有较高正电荷. 增加反应时间导致低电荷的水解形态生成. 在 pH＞6.0，铝盐水解生成单体形态可直接转化为氢氧化铝初生凝胶微粒. 铝盐的水解反应不会生成具有高价正电荷的 Al_{13} 形态，这也是导致铝盐凝聚絮凝效能明显低于聚合铝的重要原因之一.

(3) 与传统铝盐的水解形态相比，预聚合作用导致了最佳凝聚絮凝形态，如 Al_{13} 聚合形态的生成. 这种 Al_{13} 预聚合形态具有较高的稳定性，消除了混凝过程的水化学环境条件，如溶液 pH、碱度以及混合条件、反应时间、稀释作用等对其形态转化的影响，可显著地缩短其水解/吸附动力学反应时间，同时它还拥有较大体面比和更高的电荷，因而可提供更迅速更有效的电中和/吸附脱稳作用及粘结架桥絮凝作用. 这些都是导致聚合铝高效凝聚絮凝作用的重要原因.

参 考 文 献

[1] 汤鸿霄，无机高分子絮凝剂的基础研究. 环境化学，1990，**9**（3）：1—12

[2] 汤鸿霄，无机高分子絮凝剂研究中的化学问题. 中国环境科学学会学术会议优秀论文选编，1991，p293—297

[3] Hahn H H, Stumm W, Kinetics of Coagulation with Hydrolyzed Aluminum. *Jour, Colloid and Inter. Sci.*, 1968, **28**: 133

[4] Stumm W, O'Melia C R, Stoichiometry of Coagulation. *J. Am. Water Works Assoc.*, 1968, **60**: 514

[5] 冯利，栾兆坤，汤鸿霄，铝水解聚合形态研究方法的对比. 环境化学，1993，**12**（5）：373

[6] 栾兆坤，冯利，汤鸿霄，铝水解聚合形态分布的定量模拟研究. 环境科学学报，1994，**13**（6）：39

[7] 曲久辉，水中无机阳离子混凝剂的电动检测特性研究. 环境化学，1996，15（3）：1

[8] O'melia C R, Dempsey B A, Coagulation Using Polyaluminum Chloride. 24th Ann Pubic Water Supply Engrs. Conf., Champaigh, 1982

[9] Benschoten J E V, Edzwald K, Chemical Aspects of Coagulation Using Aluminum Salts, I, **1**, *Water Resch.* 1990, **24**（12）：1519

[10] Bottro J Y et al., Flocculation of Silica Colloids with Hydroxyaluminum Polycations, Relation between Floc Structure and Aggregation Mechanisms. *Langmuir*, 1990, **6**: 596

[11] O'Melia C R et al., Polymeric Inorganic Coagulants AWWA, Denver, Colo., 1989

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

SPECIES STABILITY AND ELECTROKINETIC CHARACTERISTICS OF POLYALUMINUM CHLORIDE IN COAGULATION AND FLOCCULATION PROCESSES

Luan Zhaokun *Qu Jiuhui* *Tang Hongxiao*

(Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, State Key Laboratory of Environmental Aquatic Chemistry, Beijing, 100085)

ABSTRACT

Species stability and electrokinetic characteristics of polyaluminum chloride (PAC) in the coagulation and flocculation processes were studied by Al-Ferron timed complex colorimetric method and streaming current. Results show that hydrolyzed species of traditional coagulants (AC) formed in the coagulation and flocculation processes were different to the polymerized species of PAC, whether to charge or size were lower than the PAC. The hydrolyzed species of AC were unstable and depended upon the coagulation conditions such as concentration, pH and mixing time. On the contrary, the polymeric species in PAC were relatively stable over pH ranges and the mixing time. Solubility studied showed that AC precipitation is adequately described by amorphous $Al(OH)_3$ (s) solubility, but PAC is retained upon precipitation and yields a different floc particle. It is also demonstrated that the superior Al_{13} species seems not to form in the hydrolysis of alum under coagulation and flocculation processes because some special conditions are required for the formation of the Al_{13} species.

Keywords: polyaluminum (PAC), species stability and electrokinetic characteristics, Al-Ferron colorimetric method and streaming current, optimal flocculation species.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net