



基于蓝铁石结晶的污水强化除磷法连续流试验研究

研究生：王珏； 导师：程翔 副教授

研究背景

磷作为生命中的能量载体，在生物圈中的生命活动和无生命部分之间起到中介作用。由于磷资源的有限性，同时污水中磷的过度排放又造成水体的功能衰退，污水的磷回收应是解决这一矛盾的最佳选择。在目前污水除磷和磷回收的研究中，结晶法得到越来越多的关注。

研究内容

- 通过搭建包括A²/O单元与含铁运行的污泥厌氧消化单元PRVC型污水生物处理工艺系统A²/O-PRVC，处理生活污水，探索PRVC过程的效能及其与污水主体生物处理系统的相互作用：
- ① 探究PRVC型污泥厌氧消化系统中Fe(III)的还原作用
 - ② 考察PRVC出水回流至主体处理系统后Fe在各处理单元的形态与分布
 - ③ 考察PRVC对于污泥厌氧消化过程及污泥脱水性能的影响
 - ④ 研究PRVC对主体生物处理系统中铁对脱氮除磷及污泥性质的影响

研究方法

本研究主要模拟城市污水厂生物处理系统，通过向污泥厌氧消化系统投加无定形态 α -FeOOH，并将含铁消化液回流至A²/O反应单元，考察Fe在各单元中的形态及分布，分析投加Fe(III)对A²/O反应单元脱氮除磷效率及对污泥减排（MLVSS和SVI₃₀）、对消化污泥脱水效率（污泥比阻）等的影响。

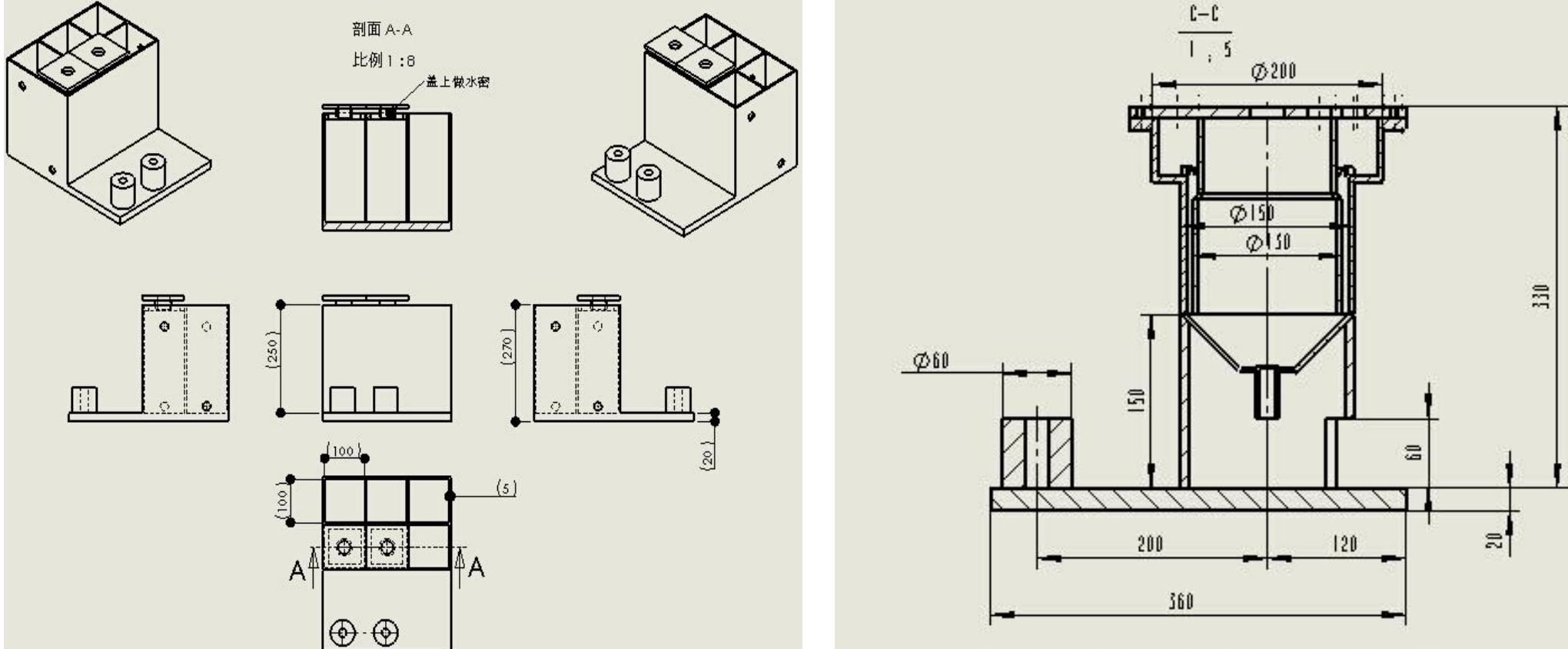
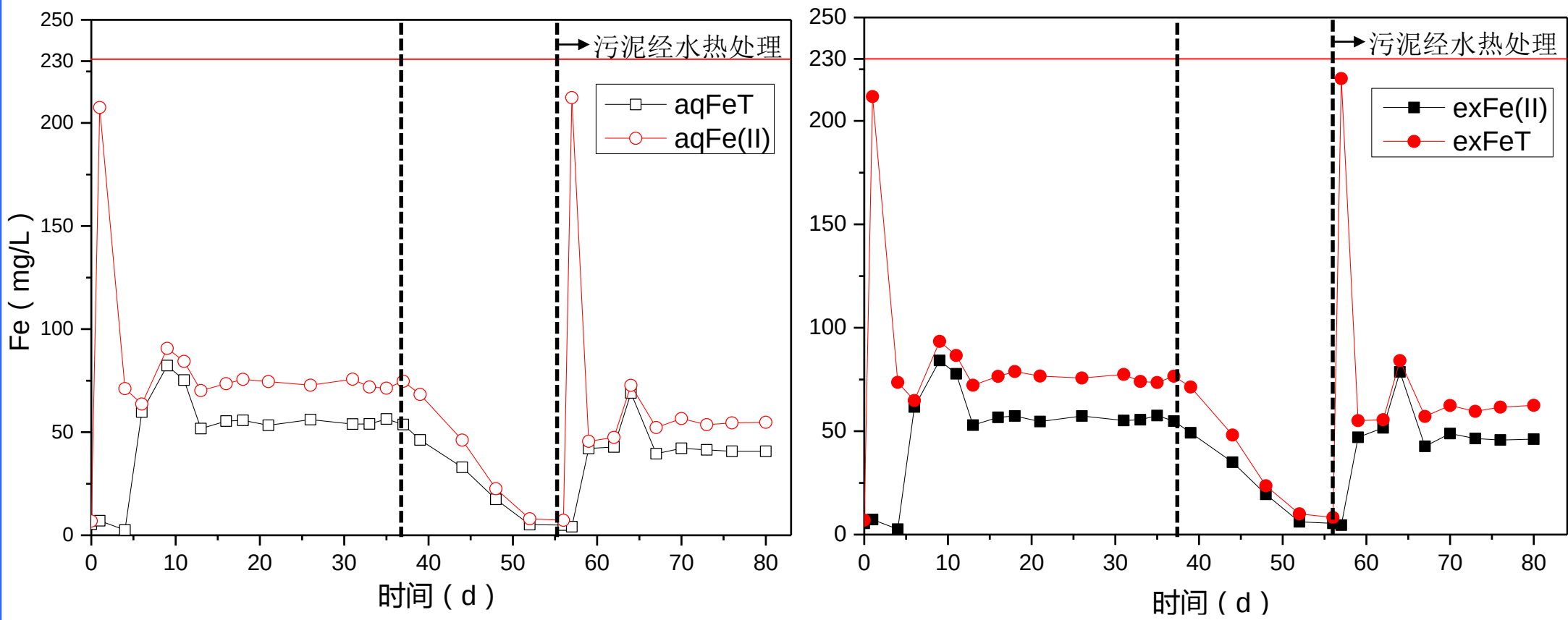


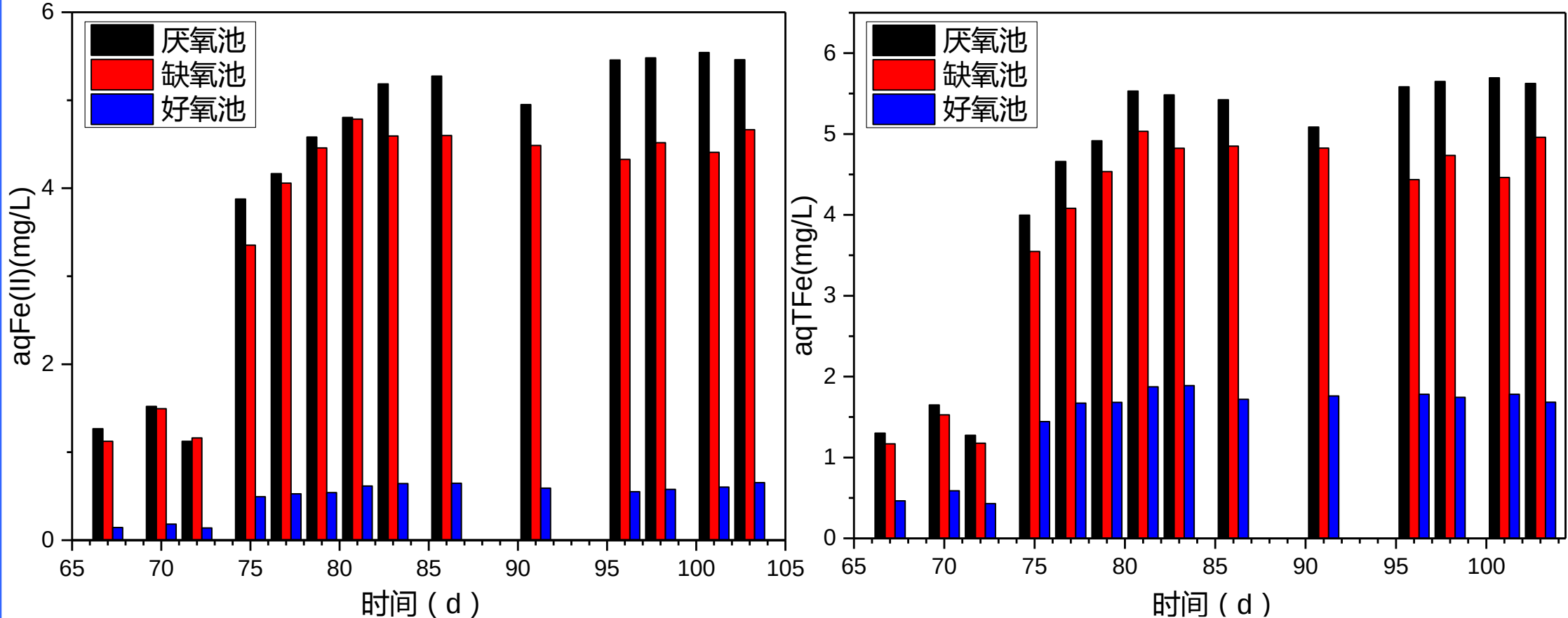
图1. A²/O反应单元和PRVC系统污泥消化池设计与尺寸

研究结果

A²/O-PRVC系统中Fe(III)的还原



消化池中液相的Fe(III)得到了充分的还原，存在的Fe以Fe(II)为主（73.97%）。不可提取态Fe的主要物相产物为Fe(II)的沉淀物。Fe³⁺的还原作用微生物反应过程，电子供体为污泥酸化过程产生的VFAs。



A²/O各单元中的Fe主要以溶解态的形式存在。在厌氧池和缺氧池的还原性条件下，Fe主要以Fe(II)的形式存在；好氧池DO较高（6.2mg/L），Fe主要以Fe(III)的形式存在。

A²/O-PRVC系统中磷的去除

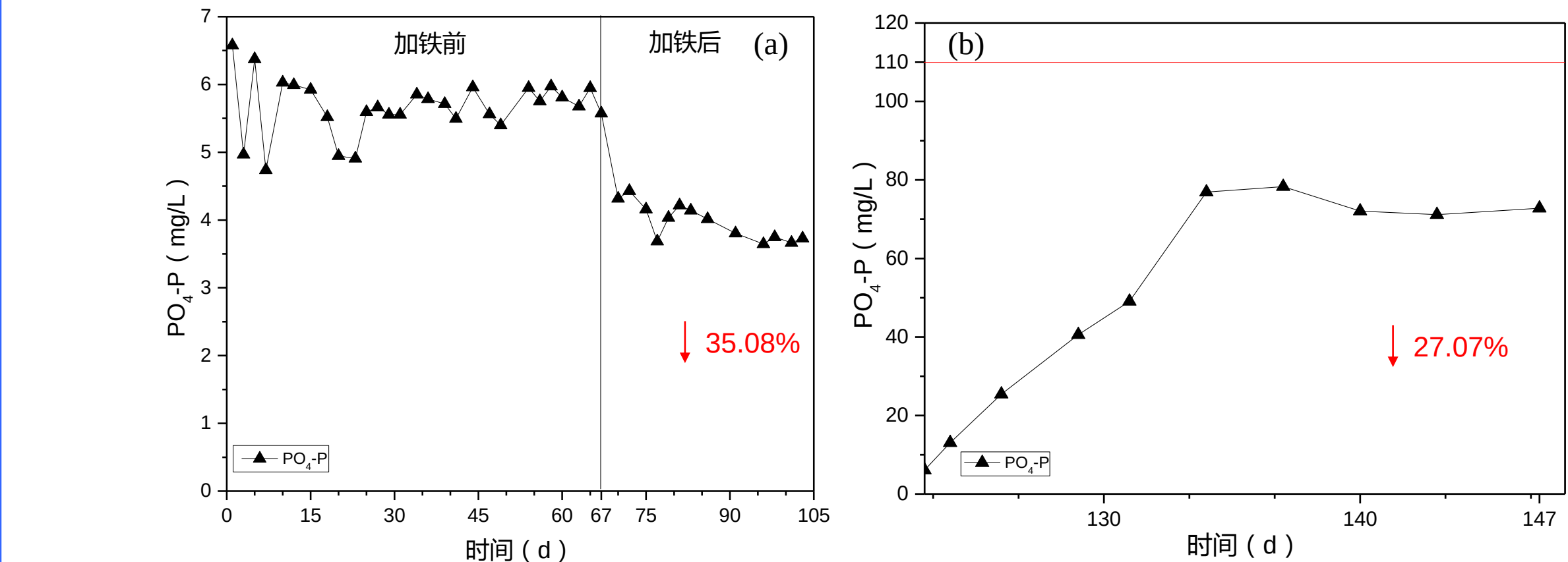
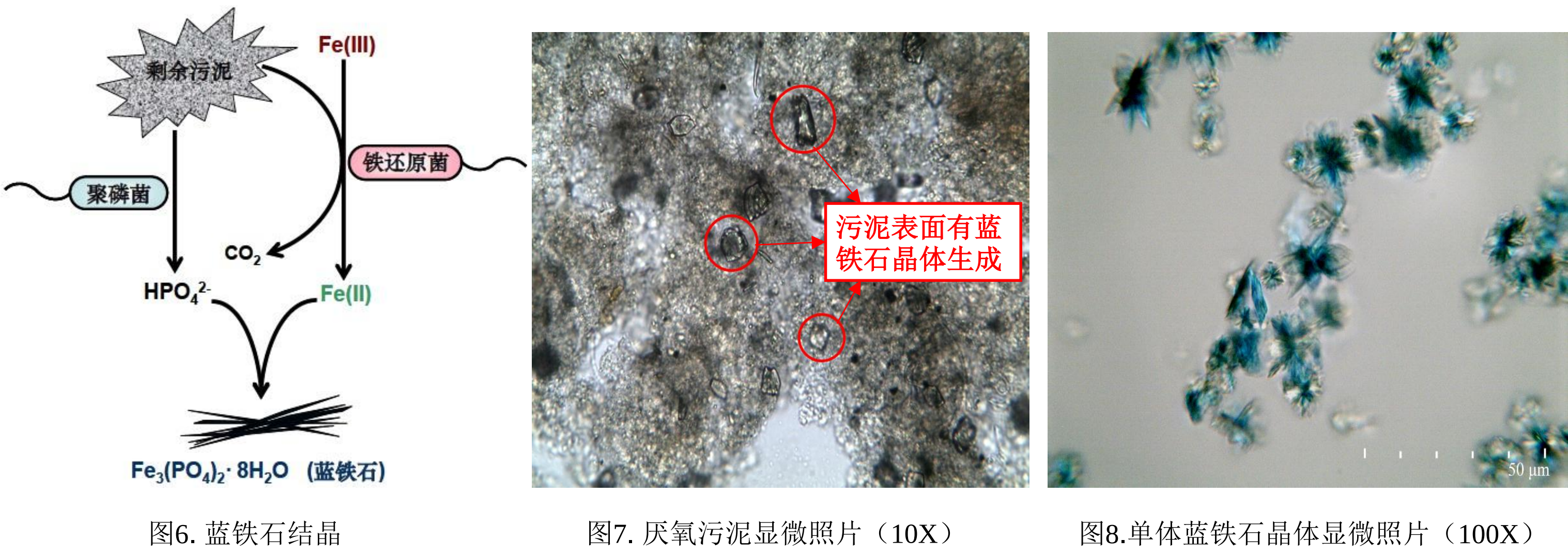
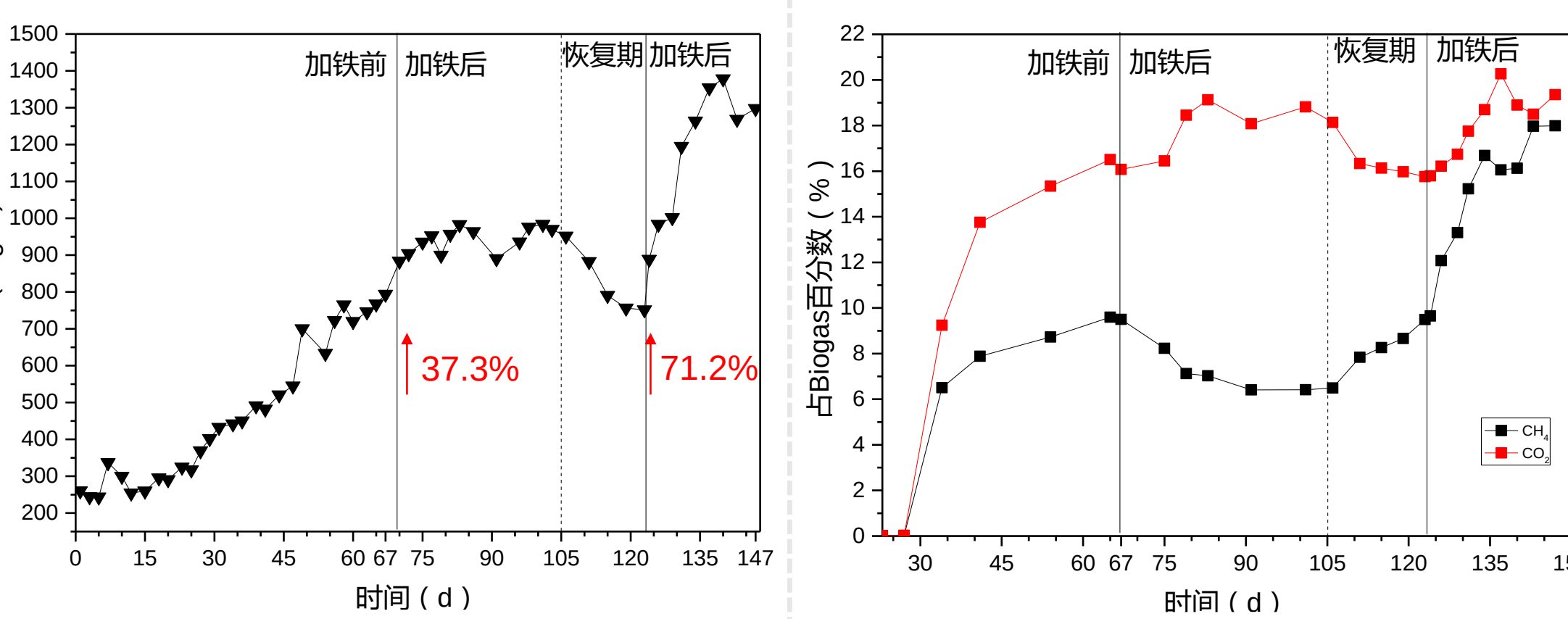


图5.厌氧消化系统磷酸根含量的变化：（a）污泥未经水热处理 （b）污泥经水热处理

磷酸根可以与Fe形成结晶或沉淀，以稳定化合物的形式，如FePO₄和Fe₃(PO₄)₂·8H₂O

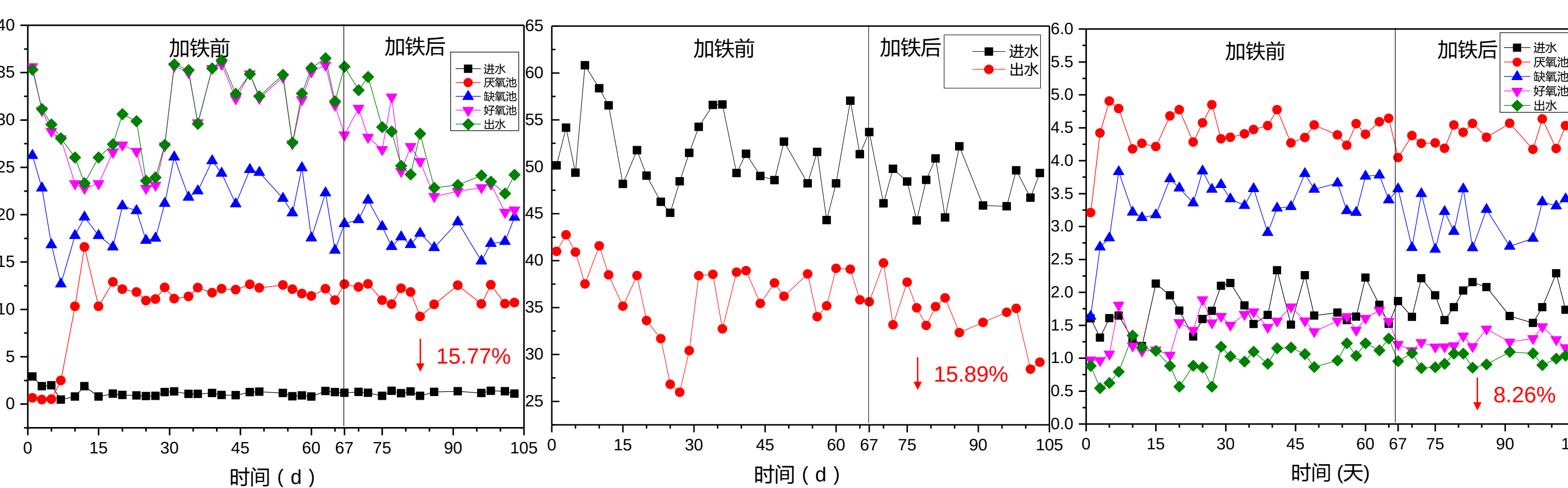


Fe(III)投加对污泥厌氧消化系统效能的影响



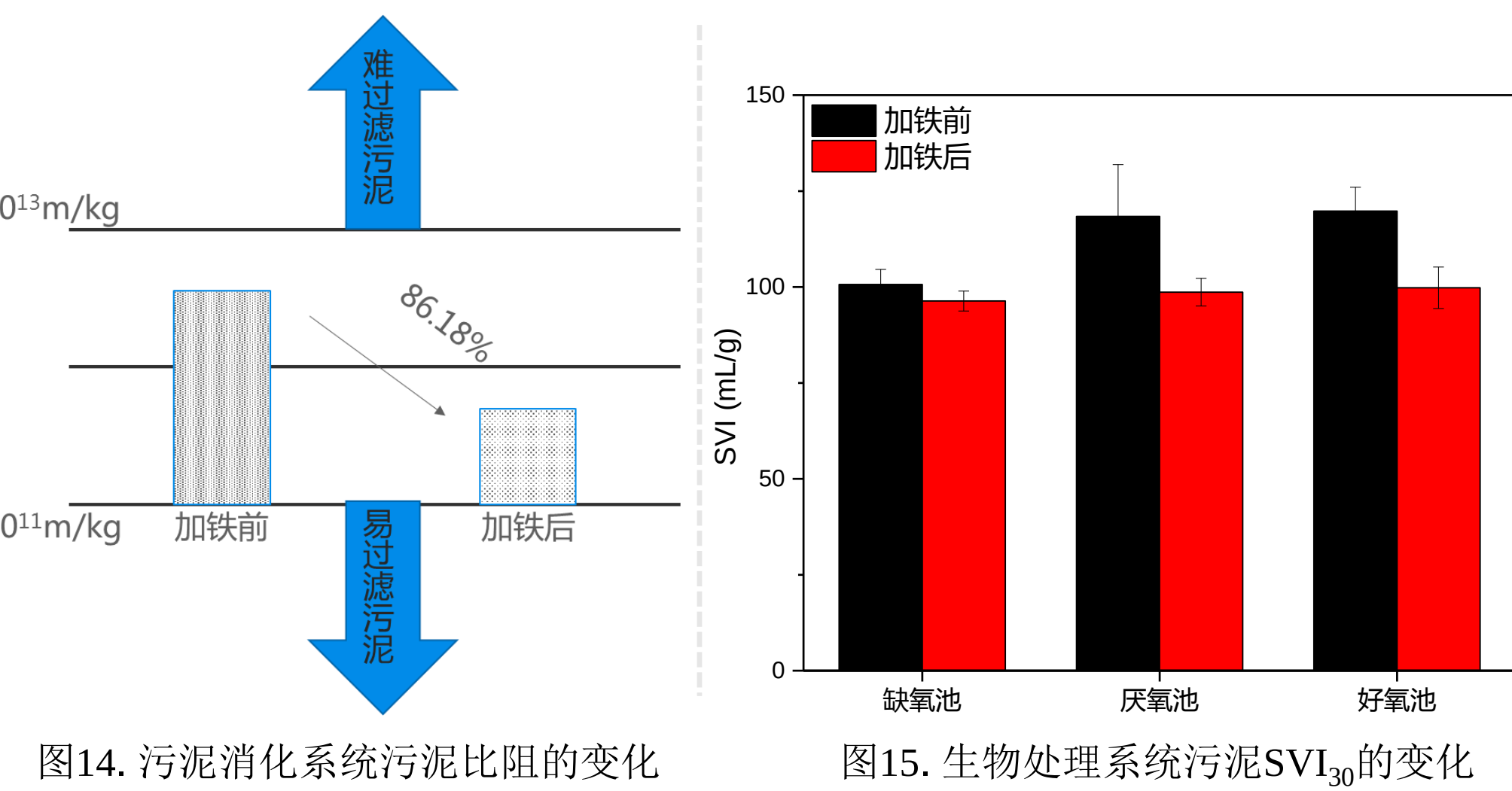
污泥热解后，乙酸型产甲烷菌将乙酸分解，使系统内二氧化碳和甲烷的含量增加。经水热处理后污泥液相中Ni（辅酶F₄₃₀和辅酶B₁₂的重要组成部分）、Co（促进微生物细胞合成）含量增加，甲烷产量进一步提高。

含铁消化液回流对生物主体处理系统脱氮除磷的影响



在厌氧或缺氧环境下，硝酸盐与亚硝酸盐的生物还原与Fe(II)的氧化可同时发生，即NO₃⁻-依赖型Fe(II)氧化：10Fe²⁺+2NO₃⁻+24H₂O→10Fe(OH)₃+N₂+18H⁺（ΔG = -75.9）。由此可见，对于COD：N比不足污水的脱氮，PRVC过程可在一定程度上强化总氮去除的作用。

Fe(III)投加对A²/O-PRVC系统污泥性质的影响



- ① 铁盐本身具有吸附性能，能够有效附着在污泥表面，使污泥在沉降的过程中结合紧密，有利于污泥沉降；
- ② 污泥表面本身具有负电性，铁盐能够有效中和污泥表面电荷，也有利于污泥沉降。

研究结论

1. 投加FeOOH至厌氧消化系统后，主要去向可能为Fe(II)的沉淀物，而液相的Fe以溶解态Fe(II)为主。含铁消化液回流至A²/O系统，系统各单元中的Fe主要以溶解态的形式存在，厌氧池和缺氧池以Fe(II)的形式为主，好氧池中的Fe主要为Fe(III)。
2. 投加Fe(III)对污泥消化产酸发酵过程有一定的促进作用，对产甲烷菌有轻微的抑制作用。
3. 污泥消化系统中Fe(III)的投加及其还原可使系统的除磷效率提高35.1%，在污泥表面观察到蓝铁石晶体生成。消化池含铁上清液回流后，生物主体处理系统的除磷效率亦有所提高。Fe(II)可作为电子供体促进了缺氧池的反硝化作用，整体系统总氮去除率升高了15.9%。
4. 投加FeOOH可有效改善消化污泥脱水性能，含Fe运行时消化污泥比阻下降86.2%。消化池含铁上清液回流至生物主体处理系统后，污泥的浓度上升11.86%，沉降性能也有小幅提高。

课题来源

国家自然科学基金：基于蓝铁石结晶的城市污水/污泥磷回收新技术及其过程机理（51478040）

主要研究成果：

- （1）Bing Chen, Xiang Cheng, Jue Wang, Dezhi Sun. Phosphate recovery via iron(III) bioreduction-induced vivianite crystallization. 3rd Water Research Conference, 2014.
- （2）Xiang Cheng^{a*}, Jue Wang^a, Bing Chen^a, Yu Wang^b, Jiaqi Liu^a. A novel method of phosphorus recovery from sludge digestion via vivianite crystallization. IWA, 2016.