汉京超. 污水处理厂海绵城市设施设计方案研究与探索[J]. 净水技术, 2022, 41(11):154-159.
HAN J C. Research and exploration on the design scheme of sponge city facilities in WWTP[J]. Water Purification Technology, 2022, 41(11):154-159.

扫我试试?

污水处理厂海绵城市设施设计方案研究与探索

汉京超
(上海市政工程设计研究总院<集团>有限公司,上海 200092)

摘 要 结合污水处理厂工程进行海绵城市的建设具有独特优势。研究依托某污水处理厂的扩建工程,经方案评估,在扩建厂区约为 59 002.2 m^2 区域进行海绵城市的试点工程。通过本底条件分析、设施选型分析、设计分区划分、设施规模计算、平面布置及建设目标复核环节,将海绵城市设施有机融合进污水处理厂的扩建方案,达到了年径流总量控制率(75%)和年径流污染控制率(55%)的设计目标。同时在海绵设施选型、设计计算和运维方面提出思考和讨论,为污水处理厂的海绵城市建设提供重要参考借鉴。

关键词 污水处理厂 海绵城市设施 设计方案 径流总量控制 径流污染控制
中图分类号: TU992.3 **文献标识码**: A **文章编号**: 1009-0177(2022) 11-0154-06
DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2022.11.021

Research and Exploration on the Design Scheme of Sponge City Facilities in WWTP

HAN Jingchao
(*Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co., Ltd., Shanghai 200092, China*)

Abstract The construction of sponge city combined with wastewater treatment plants (WWTPs) project has unique advantages. Based on the expansion project of a WWTP, after scheme evaluation, the pilot project of sponge city was carried out in the expanded plant area (about 59 002.2 m^2). Through the analysis of background conditions, analysis of facility selection, design zoning, calculation of facility scale, general layout and review of construction objectives, sponge city facilities were organically integrated into the expansion scheme of a WWTP, and the design objectives of annual total runoff control rate (75%) and annual runoff pollution control rate (55%) were achieved. At the same time, the thoughts and discussions on the facilities selection, design calculation and operation and maintenance of sponge facilities were put forward, so as to provide an important reference for the construction of sponge city in a WWTP.

Keywords wastewater treatment plant (WWTP) sponge city facilities design scheme total runoff control runoff pollution control

近年来,海绵城市的建设理念逐步深入人心,海绵城市的示范应用也日益普遍,在排水工程规划设计中有机结合海绵城市建设理念成为一种趋势和必然。在宏观规划层面,通过构建“山、水、林、田、湖、草”的海绵生态空间格局,可为城市水环境整治提供重要保障[1];在宏观设计层面,专家指出基于海绵城市建设理念的排水工程设计需要着重考虑系统性、整体性和协同性[2];在大片区设计尺度上,也有一些针对老城和新城海绵城市试点区的建设方案研究[3];而在微观项目尺度上,如何结合市政排水厂站工程的特征,充分发挥污水处理设施的就近处理能力及构筑物功能特点,因地制宜地进行海绵城市建设,实现径流总量和径流污染的有效控制的相关

[收稿日期] 2022-01-20
[基金项目] 上海市 2021 年度“科技创新行动计划”项目(21230731100)
[作者简介] 汉京超(1986—),男,博士,高级工程师,研究方向为城市雨洪管理及排水工程规划设计,E-mail:jingchaohan@163.com。

研究仍不多见[4-5]。

本研究结合某污水处理厂扩建工程,经方案评估,在扩建厂区进行海绵城市的试点工程,将海绵城市设施有机融合进污水处理厂的扩建方案,有效实现了年径流总量控制率和年径流污染控制率,可为污水处理厂中海绵城市设计和建设提供重要参考借鉴。

1 项目背景

上海某污水处理厂一期工程已建规模为 8 万 m^3/d,预处理采用粗格栅+曝气沉砂池,二级处理采用 AAO 生物反应池+二沉池,深度处理采用高效沉淀池+高效纤维滤池,出水采用加氯消毒,并执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准。由于服务范围内污水量不断增加,同时未来有部分初期雨水也需要纳入污水处理厂,2018 年该厂启动了二期扩建工程,第一阶段先行实施 6 万 m^3/d,使全厂处理能力达到 14 万 m^3/d,排水标准仍执行一级 A 标准。

2 海绵城市设计总体方案

2.1 实施范围

污水处理厂一期占地面积约为 121 010.4 m^2,本次扩建工程除充分利用现状厂区内空地新建部分构(建)筑物外,需在厂区外规划预留用地中补充征地,面积约为 56 985.4 m^2。

为充分体现海绵城市建设理念,整体提升污水处理厂的径流总量控制及面源污染削减水平,考虑在污水处理厂扩建过程中进行海绵城市设施的示范建设,并对海绵城市设施的建设范围进行了分析评估,如表 1 所示。需要说明的是,若在扩建厂区建设海绵设施,适当考虑工程边界及实际汇水范围,服务面积约为 59 002.2 m^2。

表 1 海绵设施建设范围分析评估

Tab. 1 Analysis and Evaluation of Construction Scope of Sponge Facilities

比较项目	方案一:扩建厂区实施	方案二:现状厂区实施	方案三:全面实施
实施范围	扩建厂区	现状厂区	扩建+现状厂区
服务面积/m^2	59 002.2	121 010.4	177 995.8
现状改造工程量	极小,主要在扩建厂区实施,仅局部与现状厂区衔接处需要改造	较大,现状厂区未考虑海绵设施的用地、地面标高协同、地下管线路由及管位,改造工程量较大	最大,叠加新厂区和老厂区改造的工程量
实施难度	较低,新厂区系统考虑平面及竖向设计,障碍物少,实施难度低	老厂区现状设施已经建成,道路下管线较多,且路灯、电缆沟等现状设施阻隔、占位较多,同时大范围施工对现状污水处理厂正常运营造成影响较大,实施难度大	新厂区实施难度较低,但老厂区实施难度大,总体实施难度较大
展示效果	新厂区结合绿化及景观设计一起打造,景观效果好,展示度高	老厂区仅进行海绵设施新增改造,与现状绿化景观协调难度较高,展示效果略差	新老厂区均进行海绵设施建设,总体景观协调度提升,但老厂区内部展示效果一般
工程效果	较好,新厂区实现海绵建设要求,但老厂区未来需适时改造	较好,老厂区实现海绵建设要求,但新厂区未来仍需改造	最好,新老厂区全面建设成为海绵建设区
工程投资	较低	较高	最高
总体评价	可行性较高,优先推荐	可行性偏低,不推荐	可行性偏低,谨慎推荐

综合考虑现状改造工程量、实施难度、展示效果、工程效果及工程投资等因素,经综合评估,本次扩建工程海绵城市设施实施范围确定为扩建厂区。在扩建厂区进行示范建设后,可以结合运行效果及积累的养护管理经验,后续工程中择机在现状厂区内进行推广应用。

2.2 建设目标

按照《上海市水务设施(厂/站)海绵城市建设技术导则》(试行)[6],扩建厂/站的扩建部分年径流总量控制率应结合扩建内容和强度综合分析后确定,取值宜为 75%~80%。考虑到污水处理厂以污水处理为主要目标,平面上需要建设较多的建(构)筑物,年径流总量控制率确定为 75%。参照上海市年径流总量控制率与海绵城市设计降雨量的关系,对应设计降雨量为 22.2 mm,年径流污染控制率经综合考虑,确定为 55%。

2.3 本底条件分析

扩建场地属于潮坪地带地貌类型,表层土壤为杂填土和黏性土为主,表层下方为黏质粉土夹粉质黏土。土壤渗透系数在0.1~0.5 m/d,属弱透水性。场地潜水补给来源主要为大气降水与地表径流,地下水年平均水位埋深一般为0.50~0.70 m,设计时低水位埋深可取1.50 m,高水位埋深可取0.50 m。

同时,本工程为地上式常规污水处理厂,扩建厂区由于预留了部分远期建设用地,绿地所占比例超过50%。厂区总体地势平坦,室外设计高程为4.50 m,道路中心标高为4.45 m,主干道路宽度为7.0 m,道路横坡为2%,道路边缘标高为4.38 m。

2.4 设施选型

基于厂区高地下水位、低土壤渗透率的本底条件,并依托污水处理厂可自身实现对污染物就近处理的独特优势,本次海绵设施选择考虑以滞、净、排类型为主,并酌情设置渗蓄设施。为此,参照住建部《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》[7](简称《指南》)并经综合分析,重点选择了透水路面、复杂型生物滞留设施(以雨水花园为主)、植草沟、池顶绿化(位于生物反应池混凝土上盖)等,结合污水处理厂污水处理,实现年径流总量和径流污染控制的目标。对于超出设计降雨量的雨水径流,则主要通过溢流设施接入厂区雨水管外排至周边河道。

2.5 设计分区

根据本工程污水处理厂项目特征,拟充分结合扩建厂区的构筑物布置方案、绿化布置方案、道路走向等,有效利用污水处理厂污水处理设施能力,实现扩建厂区用地范围内的年径流总量和径流污染控制。结合地面高程、道路坡向及功能分区,将扩建厂区分为6个海绵分区,具体情况如表2和图1所示。普通不透水道路面积为4 274.9 m^2,透水路面面积为3 679.5 m^2,普通屋面、封闭水池面积为3 727.8 m^2,绿地面积为17 459.7 m^2,(类)开敞水池面积为8 685.4 m^2,预留桩基区域面积为8 685.4 m^2,远期待建区域面积为12 489.5 m^2,区域综合径流系数为0.445 3。

表2 6个海绵分区的下垫面分布

Tab. 2 Distribution of Underlying Surface of Six Sponge Zones

编号	面积/m^2	普通道路/m^2	透水路面/m^2	普通屋面、封闭水池/m^2	绿地/m^2	(类)开敞水池/m^2	预留桩基区域(近期不利)/m^2	远期待建区域/m^2	综合径流系数	主要建(构)筑物
1	3 526.9	477.9	564.8	-	2 484.2	-	-	-	0.291 7	预留远期建设用地
2	5 608.8	229.6	1 267.8	1 282.2	2 829.2	-	-	-	0.408 7	高效纤维滤池、变配电间
3	5 249.7	214.9	1 276.2	2 124.2	1 634.4	-	-	-	0.545 0	高效沉淀池、鼓风机房
4	13 680.1	896.7	293.9	-	-	-	-	12 489.5	0.432 8	预留远期建设用地
5	15 252.2	1 101.8	10.0	321.4	6 938.2	3 440.4	3 440.4	-	0.411 9	二沉池、二沉池配水井及污泥井
6	15 684.5	1 354.0	266.8	-	3 573.7	5 245.0	5 245.0	-	0.503 2	生物反应池

需要说明的是,为与远期扩建相结合并预留建设条件,在分区5提前实施了远期2座二沉池的桩基,在分区6提前实施了远期1座生物反应池的桩基。这两个区域近期实施桩基,远期则建设开敞水池或类开敞水池,因此,近期条件略不利,综合径流系数按近期偏不利情况计算,并按远期复核。分区4远期将建设其他处理设施,以封闭水池为主,因此,在综合径流系数计算时按照远期偏不利情况。

2.6 设施规模计算

对于选择海绵设施的设计调蓄容积,参照住建部《指南》[7]进行计算,如式(1)。

$$V = 10H\varphi F \tag{1}$$

其中:V——设计调蓄容积,m^3;

H——设计降雨量,mm;

φ——综合雨量径流系数,可进行加权平均计算;

F——汇水面积,hm^2(1 $hm^2 = 10^4$ m^2)。

本工程设计降雨量为22.2 mm,综合径流系数为0.445 3,汇水面积为59 002.2 m^2,经计算,扩建厂区理论所需调蓄量约为583.3 m^3。

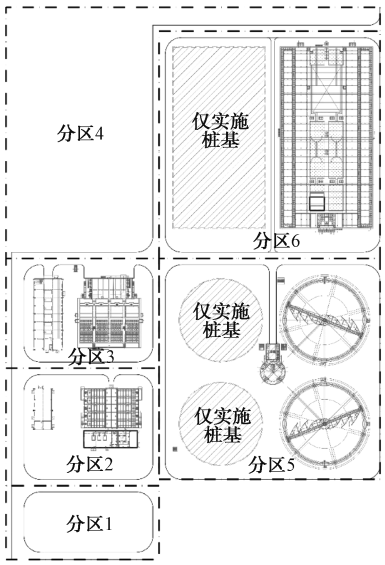

图 1 海绵城市设计分区

Fig. 1 Designed Partitions of Sponge City

对 6 个分区进行调蓄指标分解,如表 3 所示。分区 6 理论所需调蓄量最大,为 175.2 m^3,分区 1 所需调蓄量较小,为 22.8 m^3。

2.7 布置方案及建设目标复核

结合分区内平面布局、设施分布以及上文的海绵设施选型,对各个分区因地制宜地进行海绵设施布置,如图 2 所示。其中道路两侧的植草沟主要收集道路雨水及周边地块雨水,地块内部的植草沟和雨水花园主要收集地块内的雨水径流和经断接的屋面雨水,池顶绿化则主要设置于生物反应池厌缺氧池上方,用于收集池顶雨水。每个分区中起主要作用的海绵设施工程量如表 3 所示。扩建厂区雨水管道按照重现期为 5 年设计,雨水管网分布如图 3 所示。超出海绵设施滞蓄能力的雨水通过溢流井溢流至雨水管道中,经现状 DN1000 和新建 DN1500 排放口排入厂区北侧河道中。

表 3 分区调蓄指标分解

Tab. 3 Storage Task Decomposition of Sponge Zones

编号	分区总面积/m^2	综合径流系数	理论所需调蓄量/m^3	雨水花园/m^2	植草沟/m	(类)开敞水池/m^2	设计调蓄量/m^3
1	3 526.9	0.291 7	22.8	–	225	–	33.8
2	5 608.8	0.408 7	50.9	100	344	–	71.6
3	5 249.7	0.545 0	63.5	155	304	–	76.6
4	13 680.1	0.432 8	131.4	450	323	–	138.5
5	15 252.2	0.411 9	139.5	20	421	3 440.4	143.5
6	15 684.5	0.503 2	175.2	–	443	5 245.0	182.9

注:雨水花园设计调蓄深度为 0.3 m,考虑部分 1∶3边坡和溢流井占用空间,有效蓄水容积按设施设计平面积(m^2)乘以 0.2 m 的有效深度折算;植草沟设计宽度为 1.5 m,设计调蓄深度为 0.2 m,有效调蓄容积按长度(m)乘以 0.15 m^2 的有效截面积计算;(类)开敞水池调蓄容积按水池面积(m^2)乘以设计降雨量计算

需要说明的是,开敞水池(主要是二沉池)的雨水全部进入污水处理构筑物,由于全部产流、不产生下渗等,径流系数应取 1,但不汇流至雨水管网,径流量控制比例为 100%。类开敞水池区域主要指分区 6 的生物反应池,通过建设池顶绿化以及顶棚雨水收集装置将雨水全部引流进入生物反应池内,不产生雨水径流,因此,效果与开敞水池无异,而池顶绿化的效果可不单独计算。

经复核计算,通过建设 725 m^2 雨水花园、2 060 m 植草沟,结合开敞水池及 730 m^2 池顶绿化,累计雨水径流控制量约为 646.9 m^3,明显大于 583.3 m^3 的理论所需调蓄体积。且每个分区均能实现分区自身的控制目标,因此,上述平面布置方案可以有效满足 75%年径流总量控制率要求。

参照《指南》[7],加权平均计算本工程的年径流污染控制率,如表 4 所示。经计算,本工程年径流污染控制率为 59.8%,可以满足 55%的控制目标。

3 海绵城市设计相关思考

在污水处理厂进行海绵城市建设具有以下几个典型特点和优势:(类)开敞水池对径流总量控制及径流污染控制贡献较大、控制的污染雨水可就近处理、可利用再生水浇灌海绵设施、运行维护可以与污水处理厂绿化养护协同考虑等。同时,设计过程中还应注意以下要点。

3.1 海绵设施选型

结合本次海绵城市试点工程设计,认为污水处

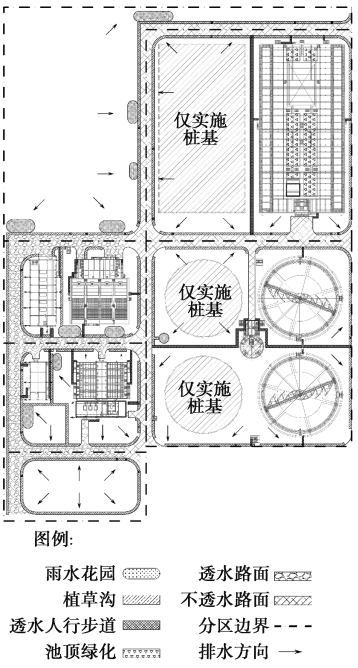

图 2 海绵设施分区设计

Fig. 2 Zoning Design of Sponge Facilities

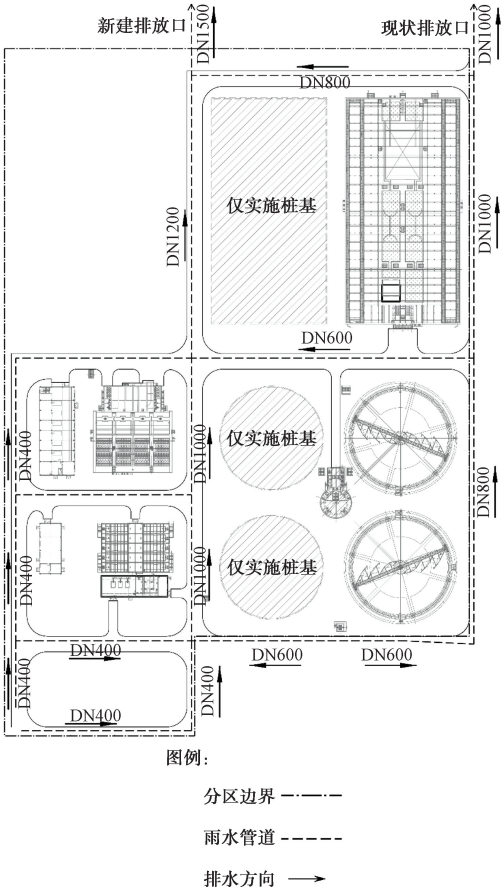

图 3 厂区雨水管网设计

Fig. 3 Design of Rainwater Pipe Network in the Plant Area

表 4 年径流污染控制率复核

Tab. 4 Review of Annual Runoff Pollution Control Rate

序号	设施	工程量	设施控制量/m^3	污染物去除率
1	雨水花园	725 m^2	145.0	80%
2	植草沟	2 060 m	309.0	70%
3	污水处理构筑物	8 680 m^2	192.8	95%

理厂的海绵城市设计应因地制宜进行设施选型。一方面,在污水处理能力有余量的前提下,宜充分发挥污水处理厂污染物可就近处理的优势,将污染较严重的初期雨水引入处理流程,有效助力年径流污染及径流总量控制率目标的实现;另一方面,应该充分考虑不同分区的功能特点进行布置,例如污泥处理处置区域周边以及主干运输通道路面污染一般较重[4],同时对于道路荷载要求较高,应优先采用不透水路面,慎用透水路面,且路面雨水优先考虑导入污水系统处理。此外,针对于地下水位偏高的问题,设施选型中也应充分考虑,并酌情设置防渗土工布隔离地下水。

3.2 海绵设施设计计算

对于污水处理厂的海绵设施效果计算,应当考虑近远结合,按照每个分区近远期中偏不利工况计算和建设设施,这样才能更好地新老衔接,从而避免海绵设施需要反复建设或者产生废弃工程。同时,应当充分考虑不同设施的具体情况,例如对于加盖除臭的生物反应池,如果可以建设池顶绿化,并将加盖池顶雨水进行有效收集和导流进池体,也可按开敞水池考虑效果。此外,对于开敞水池,由于不具有下渗效果,推荐径流系数按 1 考虑,同时径流量控制比例按 100%考虑,这样相对更加合理,也可以充分体现开敞水池高滞蓄量以及高污染物去除率的特点。如果开敞水池采用较低的径流系数,则其作用将被直接排除在海绵设施效果计算之外,显然与实际情况不符。

3.3 海绵设施的运维

关于海绵设施的运维,一方面,在设计阶段就应当充分考虑运维的难度和工作量。例如污水处理厂很多开关站、变配电间等构筑物由于安全以及防渗等原因,不适合建设屋顶绿化,但是生物反应池可以结合除臭、混凝土加盖等局部建设池顶绿化,不仅可滞纳雨水、美化景观环境,而且解决了屋顶绿化养护

不便的问题,一举多得。另外,污水处理厂还可以结合再生水利用进行海绵设施的养护和浇灌,更好地体现节水的理念。

4 结论

在污水处理厂中进行海绵城市的试点应用有其独特的特点和优势。本研究结合某污水处理厂的扩建工程,经方案评估,在扩建厂区进行海绵城市的试点工程。通过本底条件分析、设施选型分析、设计分区划分、设施规模计算、平面布置及建设目标复核环节,将海绵城市设施有机融合进污水处理厂的扩建方案,并达到了年径流总量控制率和年径流污染控制率。研究认为,污水处理厂的海绵城市设施选型应因地制宜,充分考虑污水处理厂自身污染处理能力以及不同建(构)筑物的功能和特点;海绵设施设计计算应当近远结合,按照偏不利工况考虑,同时开敞水池的计算应当合理选用径流系数及径流量控制比例;海绵设施的运维应当在设计阶段就提前考虑,并与厂区再生水回用有机结合。本研究可为污水处理厂中海绵城市建设提供重要参考借鉴。

参考文献

[1] 厉帅, 周凌, 郝新宇. 海绵城市规划中不同类型城市水环境整治策略[J]. 中国给水排水, 2020, 36(12): 31-36.
[2] 张辰. 基于海绵城市建设理念的排水工程设计[J]. 给水排水, 2019, 45(6): 1-5.
[3] 汉京超. 平原河网城市海绵城市试点区实施方案示范[J]. 环境工程, 2020, 38(4): 119-123.
[4] 程明涛, 薛峰. 浅议污水处理厂海绵城市设施建设设计方案[J]. 净水技术, 2020, 39(12): 127-131, 151.
[5] 李文强. 污水处理厂建设中海绵城市设计案例与分析——以遂宁某污水厂为例[J]. 净水技术, 2021, 40(s1): 170-175.
[6] 上海市水务局. 上海市水务设施(厂/站)海绵城市建设技术导则(试行): SSH/Z 10016—2018[S]. 上海, 2018.
[7] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)[R]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.

(上接第 101 页)

[22] MIAO F, LIU Z H, KANG X, et al. Electro-enhanced heterogeneous activation of peroxymonosulfate via acceleration of Fe(Ⅲ)/Fe(Ⅱ) redox cycle on Fe-B catalyst[J]. Electrochimica Acta, 2021, 377: 138073. DOI: 10.1016/j.electacta.2021.138073.
[23] JI J, YAN Q, YIN P, et al. Tuning redox reactions via defects on CoS_{2-x} for sustainable degradation of organic pollutants[J]. Angewandte Chemie International Edition, 2020. DOI: 10.1002/anie.202013015.
[24] YAN J, CUI, ZHRNG X, et al. Metal-free activation of H_2O_2 by g-C_3N_4 under visible light irradiation for the degradation of organic pollutants[J]. Physical Chemistry Chemical Physics, 2012, 14: 1455-1462. DOI: 10.1039/c1cp22820j.
[25] YAMASHITA T, HAYES P. Analysis of XPS spectra of Fe^{2+} and Fe^{3+} ions in oxide materials[J]. Applied Surface Science, 2008, 254(8): 2441-2449. DOI: 10.1016/j.apsusc.2007.09.06.
[26] KUMAR S, PRAKASH R, CHOUDHARY R J, et al. Structural, XPS and magnetic studies of pulsed laser deposited Fe doped Eu_2O_3 thin film[J]. Materials Research Bulletin, 2015, 70: 392-396. DOI: 10.1016/j.materresbull.2015.05.007.
[27] DO S H, KWON Y J, BANG S J, et al. Persulfate reactivity enhanced by Fe_2O_3-MnO and CaO-Fe_2O_3-MnO composite: Identification of composite and degradation of CCl_4 at various levels of pH[J]. Chemical Engineering Journal, 2013, 221: 72-80. DOI: 10.1016/j.cej.2013.01.097.
[28] XU L, WANG J. Magnetic nanoscaled Fe_3O_4/CeO_2 composite as an efficient fenton-like heterogeneous catalyst for degradation of 4-chlorophenol[J]. Environmental Science & Technology, 2012, 46: 10145-10153. DOI: 10.1021/es300303f.
[29] MIN K, EUN D P, JI M K, et al. Manganese oxide catalysts for NO_x reduction with NH_3 at low temperatures[J]. Applied Catalysis A: General, 2007, 327: 261-269. DOI: 10.1016/j.apcata.2007.05.024.
[30] MERCIER F, ALLIOT C, BION L, et al. XPS study of Eu(Ⅲ) coordination compounds: Core levels binding energies in solid mixed-oxo-compounds $Eu_mX_xO_y$[J]. Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena, 2006, 150(1): 21-26. DOI: 10.1016/j.elspec.2005.08.003.
[31] ZHANG Y, ZHOU J B, CAI W Q, et al. Enhanced photocatalytic performance and degradation pathway of rhodamine B over hierarchical double-shelled zinc nickel oxide hollow sphere heterojunction[J]. Applied Surface Science, 2018, 430: 549-560. DOI: 10.1016/j.apsusc.2017.06.325.
[32] CAI Y, LUO Y, SUN B C, et al. A novel plasma-assisted rotating disk reactor: Enhancement of degradation efficiency of rhodamine B[J]. Chemical Engineering Journal, 2019, 377: 119897. DOI: 10.1016/j.cej.2018.09.058.
[33] PANG Y X, KONG L J, CHEN D Y, et al. Facilely synthesized cobalt doped hydroxyapatite as hydroxyl promoted peroxymonosulfate activator for degradation of rhodamine B[J]. Journal of Hazardous Materials, 2020, 384: 121447. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2019.121447.