

北方某污水处理厂 Bardenpho – MBBR 改造运行分析

吴迪, 李闯修

(青岛思普润水处理股份有限公司, 山东 青岛 266555)

摘要: 在不停产、不减产的情况下,北方某污水处理厂采用 Bardenpho – MBBR 工艺实施了二次扩建提标改造,强化去除 TN,保证了出水水质稳定达到国家一级 A 标准。2017 年 1 月—8 月,污水厂先后经历了冬季低温、夏季高水质负荷冲击、雨季高水力冲击等阶段,但系统出水水质仍可优于国家一级 A 标准,出水 BOD_5 、COD、 $NH_4^+ - N$ 、TN 平均值分别为 2.7、18、0.5、7.4 mg/L,平均去除率分别为 99%、97%、97.1%、87%。伴随着进水水质的剧烈变化,进水负荷波动较大且无规律性,最大 BOD_5 负荷为 $1.8 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,最大 TN 负荷为 $0.34 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,连续 10 d 内最大负荷是最小负荷的 3~5 倍,24 h 内负荷升高 30%,在以上不利条件下,通过控制 DO 浓度、排泥等综合调整措施,确保了系统的稳定运行。生化池沿程氮素分析表明,在总氮和氨氮去除率分别为 85.9%、99.5% 的条件下,调整反硝化碳源在前、后缺氧段的投加比例,前、后缺氧段可分别去除 30.5% 和 25.9% 的硝酸盐氮,另外有 27.4% 的总氮在好氧段被去除,推测发生了同步硝化反硝化作用。MBBR 负荷高、抗冲击负荷能力强、处理效果好,适用于污水厂提标、提量升级改造。

关键词: 污水处理厂; 升级改造; 低温; 水质负荷冲击; 水力负荷冲击; MBBR

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)09-0106-06

Operation Analysis of Bardenpho – MBBR Upgrading and Retrofitting in a Northern Wastewater Treatment Plant

WU Di, LI Chuang-xiu

(Qingdao Spring Water-treatment Co. Ltd., Qingdao 266555, China)

Abstract: A wastewater treatment plant (WWTP) in the north China was upgraded and retrofitted for the second time without stopping production and reduction, where Bardenpho – MBBR process was used to strengthen the removal of TN and the effluent quality stably met the first level A standard in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plants* (GB 18918 – 2002). From January to August in 2017, the WWTP successively experienced low temperatures in winter, high water load impact in summer and high hydraulic impact during rainy season, but the effluent quality was still superior to the first Level A standard. The average concentrations of BOD_5 , COD, $NH_4^+ - N$ and TN in effluent were 2.7 mg/L, 18 mg/L, 0.5 mg/L and 7.4 mg/L, and the average removal rates were 99%, 97%, 97.1% and 87%, respectively. Along with wild fluctuation of influent quality, the influent load fluctuated in wild range without regulation. The maximum BOD_5 and TN loads reached $1.8 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ and $0.34 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ respectively. The maximum load was 3 to 5 times to the minimum load for 10 days, and the load increased by 30% in 24 hours. Under the above adverse conditions, the system was stable by controlling DO concentration, sludge discharge and other comprehensively adjusting measures. According to nitrogen analysis along the biochemical tank, 30.5% and 25.9% nitrate was removed in pre-

anoxic zone and post-anoxic zone respectively by adjusting carbon adding ratio when TN and ammonia nitrogen removal rates were 85.9% and 99.5% respectively. At the same time, over 27.4% TN was removed in the aerobic tank, where simultaneous nitrification and denitrification was speculated to take place. MBBR has the advantages of withstanding high load, strong anti-shock loading capability and good treatment efficiency, which is suitable for WWTP upgrading and retrofitting.

Key words: wastewater treatment plant; upgrading and retrofitting; low temperature; water quality load impact; hydraulic load impact; MBBR

北方某污水处理厂,设计规模为 $17 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,其中一期为 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 、二期为 $9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,2010 年采用 $A^2/O - \text{MBBR}$ 工艺进行升级改造,出水水质稳定达到国家一级 A 标准。随着城市的发展,污水厂日常进水量已逼近 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,2015 年进行了扩建,规模扩至 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,并对营养盐指标提出了更严格的要求。本次扩建,生化段新建三期($4.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$),对原一期和二期分别扩容 1.5×10^4 、 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$;为保证改造时原池不停产、不减产,采用先新建三期,后改建一、二期的方式。改造后,污水厂现已稳定运行 2 年,在 2017 年 1 月—8 月先后经历了冬季低温、夏季高水质负荷冲击、雨季高水力冲击等阶段。笔者通过分析污水厂改造 1 年后的运行效果,介绍了污水厂面临不同进水情况时的调控措施,旨在为其他污水厂的运行管理提供借鉴。

1 工程概况

1.1 工艺设计

该污水厂所在城市的生活污水中 COD、 BOD_5 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TP 等浓度较高,是普通城市生活污水的 2~3 倍,且水质和水量冲击较大^[1];污水厂设计进水 COD、 BOD_5 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN、TP、SS 浓度分别为 900、430、58、80、13、750 mg/L,设计出水水质执行国家一级 A 标准。由于进水浓度高、波动大、不易生化降解等,污水中 TN 的去除受到一定影响^[2]。因此,三期新建工程及一、二期改造工程均采用 Bardenpho 五段法 + MBBR 工艺,增设后置反硝化区,生化池改造工程优先满足反硝化所需的缺氧区池容,硝化所需的好氧区池容不足的部分通过投加生物填料予以保证^[3]。采用 Bardenpho - MBBR 工艺,一方面,TN 去除不受 A^2/O 理论去除率的限制,强化去除 TN,达到国家一级 A 或更严格的出水水质标准;另一方面,好氧区填充率在 40% 左右($< 67\%$),为今后进一步提标、提量留有了余地。

生化池中有多个进水位点和内回流位点,可根

据实际情况调整。一般情况下,进水全部通过预缺氧区,一方面利用原水中的有机物作为碳源将外回流带来的硝酸盐氮去除,另一方面为第二阶段厌氧释磷提供条件。MBBR 工艺以好氧区为主体,采用微动力混合池型,无需使用推流器,仅通过曝气系统及水力条件优化设计来实现填料的良好流化。所投加的填料为新型悬浮填料 SPR-3,填料直径为 $(25 \pm 0.5) \text{ mm}$ 、高为 $(10 \pm 1) \text{ mm}$,挂膜后密度与水接近,有效比表面积 $> 800 \text{ m}^2/\text{m}^3$,符合《水处理用高密度聚乙烯悬浮载体填料》(CJ/T 461—2014)标准。好氧内回流硝化液全部进入前缺氧区,可利用部分外加碳源进行反硝化,此外,后缺氧区作为后置反硝化区,可通过外部投加碳源或内源呼吸碳源进一步去除硝酸盐氮。生化处理段末端的好氧区保证了有机物的去除及生化池出水中一定的溶解氧浓度。

三期新建生化池的有效池容为 $35\,625 \text{ m}^3$,总 HRT 为 19 h,污泥浓度为 4 g/L ,污泥龄为 16 d,污泥负荷为 $0.081 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$;MBBR 区的 HRT 为 4.9 h,内回流比为 100%~300%,外回流比为 50%~150%。

1.2 系统运行阶段的划分

三期工程在 2017 年 1 月 1 日—8 月 13 日(1~225 d)期间生化池的水温及进水量如图 1 所示。

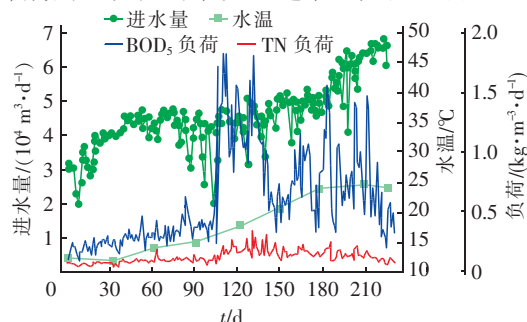


图1 生化池水温及日进水量

Fig. 1 Water temperature in biochemical tank and daily influent quantity

三期工程在研究期间的运行状况总体可以分为3个阶段:低温运行阶段(阶段Ⅰ,1~101 d),进水水温在10~12℃;水质超负荷阶段(阶段Ⅱ,102~202 d),进水BOD₅、COD、SS、TP、TN浓度远超设计值;水量超负荷阶段(阶段Ⅲ,203~225 d),雨季,进水流量超过设计值的19.5%~51.7%。污水厂除磷采用生物法和铁盐絮凝相结合的方式,以上3个阶段出水TP基本稳定在0.1 mg/L左右。

2 生化池的处理效果

2.1 低温运行阶段

低温运行阶段处于冬季和冬春交替时期,生化池的水温在10~15℃之间,平均水量为39 529 m³/d,回流量为48 000 m³/d。大部分时间内,进水中COD、BOD₅、NH₄⁺-N、TN、TP等各项指标均小于设计值,此阶段的进、出水水质情况如图2所示。

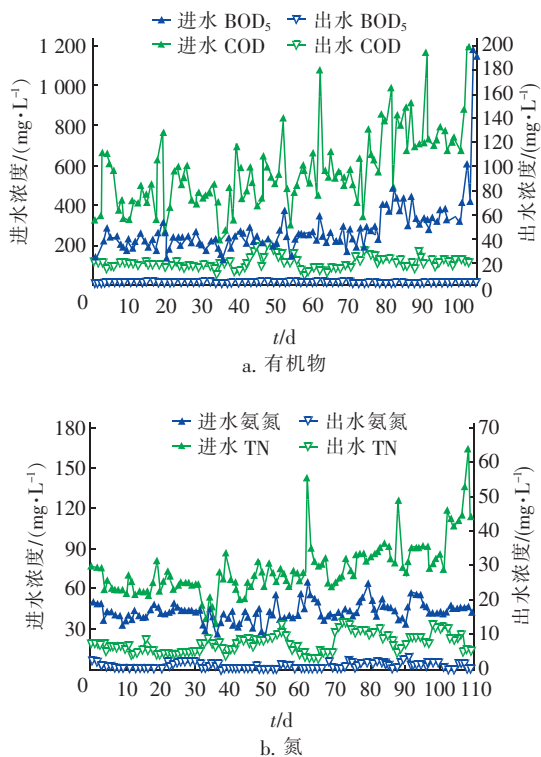


图2 低温运行阶段对有机物和氮的去除效果

Fig. 2 Removal of organic matter and nitrogen during low temperature period

从图2中可以看出,进水COD、NH₄⁺-N和TN浓度波动较大,而出水水质则相对较稳定。出水BOD₅、COD、NH₄⁺-N和TN平均值分别为4.2、20.3、1.1、7.7 mg/L,平均去除率分别为98.3%、96.1%、97.2%、88.9%。出水BOD₅、COD和氨氮

平均值均已达到地表水Ⅳ类标准。低水温情况下,系统对污染物仍有较好的去除效果。一般来讲,低水温会抑制活性污泥中微生物的活性和生长,造成系统处理效率低下等问题;当温度<20℃时,硝化菌活动受到抑制,会减弱硝化反应的进程^[4]。但由于MBBR工艺中悬浮填料生物膜的存在,大大增加了硝化菌浓度^[5],为硝化菌创造了适宜的生长条件,从而有利于硝化反应的进行。

2.2 水质超负荷阶段

在水质超负荷阶段,生化池水温在15~24℃之间,水量满足正常设计水量,回流量保持不变,但进水水质冲击较大,此阶段的进、出水水质见图3。

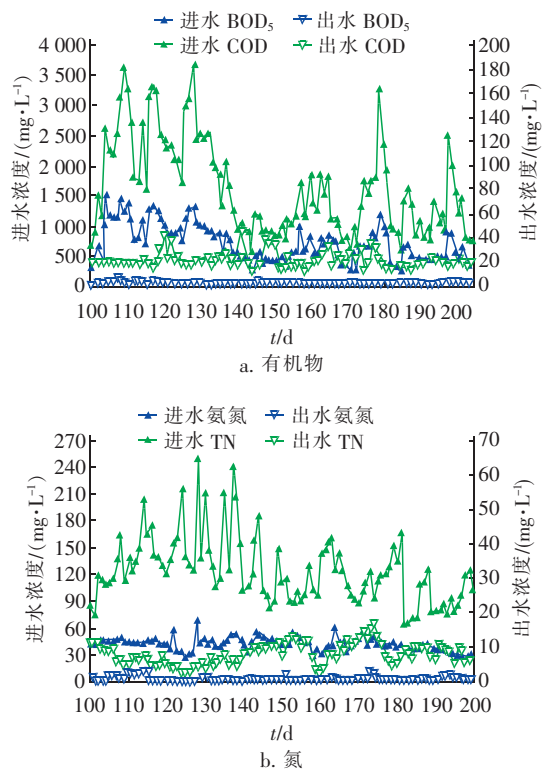


图3 进水高负荷情况下对有机物和氮的去除效果

Fig. 3 Removal of organic matter and nitrogen during high influent load period

从图3可知,此阶段进水浓度大幅升高,BOD₅、COD、TN波动明显,COD浓度在563~3 685 mg/L之间。进水BOD₅、COD、氨氮、TN平均浓度分别为708.2、1 652.6、39.9、122.8 mg/L,BOD₅、COD、TN浓度水平远远超出设计值。在进水负荷严重超标的情况下,及时调整工艺,采取提高好氧池DO浓度至3 mg/L、加强排泥等措施,充分发挥工艺抗冲击负荷的优势,出水BOD₅、COD、氨氮、TN浓度仍可稳定达

标,平均浓度分别为 2.9、22.1、0.9、8.1 mg/L,平均去除率分别为 99.5%、98.4%、97.8%、92.6%。

在进水高负荷情况下,BOD₅/COD 均值为 0.44,污水可生化性较好,有利于有机成分的降解。从第 I 阶段到第 II 阶段,进水 TN 浓度的升高主要表现为进水有机氮含量的升高,NH₄⁺-N 浓度变化不大,有机氮比例由 39.8% 升高至 65.4%,这将直接影响 TN 去除效果。通过二级处理工艺较好的氨化作用和絮凝工艺的进一步强化,减小了进水有机氮变化产生的影响,有利于出水 TN 浓度稳定达标。

2.3 水量超负荷阶段

水量超负荷阶段处于雨季汛期,污水厂进水量高于设计水量,影响污水厂的正常运行,此阶段进、出水水质情况如图 4 所示。

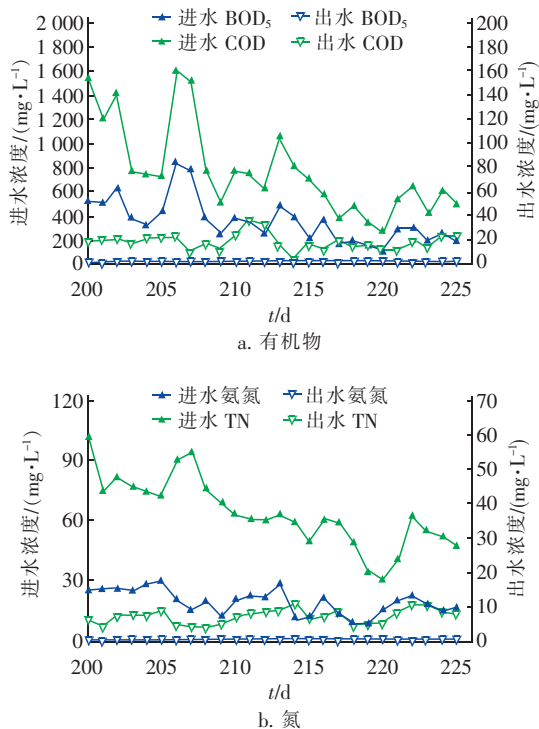


图 4 雨季对有机物和氮的去除效果

Fig. 4 Removal of organic matter and nitrogen in rainy season

在水量超负荷阶段,水量波动较大,最大水量超过设计值的 51.7%,最小超过 19.5%,平均水量为 63 369 m³/d。从图 4 可知,在超水量情况下,出水 BOD₅、COD、NH₄⁺-N、TN 平均浓度分别为 2.7、18、0.5、7.4 mg/L,平均去除率分别为 99%、97%、97.1%、87%。三个阶段的出水水质和污染物平均去除率基本相当,由此可见,系统处理效果较稳定。

进水量超过设计值且波动较大时,系统水力停

留时间减少,曝气沉砂池、初沉池、二沉池的处理效率下降,生化系统的污泥浓度等参数发生了变化,给污水厂的运行管理工作带来了困难。在汛期,污水厂控制溶解氧浓度为 2 mg/L、合理排泥,保证系统连续稳定运行。此外,一、二期在超设计水量下运行,也达到了较好的处理效果。

2.4 系统抗冲击负荷能力分析

由图 1 可以看出,系统进入 100 d 后,进水量逐步增加,水力冲击逐步增大;伴随着进水水质的剧烈变化,进水负荷波动范围极大且无规律性,最大 BOD₅ 负荷为 1.8 kg/(m³·d),最大 TN 负荷为 0.34 kg/(m³·d),连续 10 d 内最大负荷是最小负荷的 3~5 倍,负荷升高 30% 的最短用时不超过 24 h。这些均显示了污水厂进水的的不稳定性以及对稳定运行造成了极大障碍。但整个污水厂出水水质始终达标,分析原因,主要在于:工艺选择方面,MBBR 抗冲击负荷能力强,易受冲击的硝化菌群主要附着在悬浮填料上,未受到冲击的严重影响;设计施工方面,MBBR 设计施工质量较高,虽然水量已经超过 1.3 倍水量系数,但仍然能够稳定,且采用了微动力混合池型,MBBR 区完全混合式有效地提高了系统的抗冲击负荷性能;运营方面,运营时始终关注系统内的 DO 浓度控制及排泥,保证了系统工况的整体稳定。

2.5 氮素的沿程去除效果

从以上运行数据可知,外界环境变化较大时,系统仍具有较好的脱氮能力。在内回流比为 150%、外回流比为 50% 的条件下,在第 127 天监测生化池氮素浓度的沿程变化,如图 5 所示。

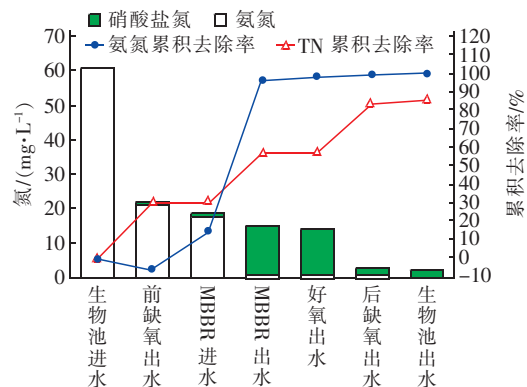


图 5 生化池中氨氮和硝酸盐氮浓度的沿程变化

Fig. 5 Variation of ammonia nitrogen and nitrate concentrations along biochemical tank

由图 5 可知,进水 TN 为 70.3 mg/L,出水 TN

为 9.89 mg/L, TN 去除率为 85.9%。生化系统对氨氮的去除效果较好,去除率为 99.5%;氨氮去除主要发生在好氧池的 MBBR 段,好氧池的活性污泥前曝气区对氨氮也有部分去除。MBBR 工艺结合了生物接触氧化池和生物流化床的优点,一方面具有传统生物膜法长泥龄、耐冲击负荷、产泥量少的特点,另一方面具有传统活性污泥法高效性和运转灵活性的特点。由于生物填料的投加,为硝化菌的大量生长提供了载体,延长了污泥龄,从而提高了脱氮效果。

调整反硝化碳源在前、后缺氧段的投加比例,硝酸盐氮在前、后缺氧段均有较好的去除,去除率分别为 30.5%、25.9%,另外观测到有 27.4% 的总氮在好氧段被去除,由此推测发生了同步硝化反硝化(SND)作用,相比刚改造完通水运行,SND 的总氮去除率有了进一步增加,表明生物膜系统逐步成熟与稳定。氧扩散浓度的限制,在菌胶团或生物膜产生 DO 梯度,外表面 DO 浓度较高,以硝化细菌及氨氧化菌为主;外部氧消耗和氧传递受阻,絮体内部反硝化菌占优势,从而形成有利于 SND 发生的微环境^[6]。在第 II 阶段进水负荷的冲击下,较高的 MLSS 和生物膜量有利于 SND 的发生。对曝气池 DO 浓度的控制也是 SND 发生的有利因素^[7],运行中 DO 控制在 2~2.5 mg/L。如果 DO 浓度相对较高,氧穿透能力较强,则影响反硝化;如果 DO 浓度相对较低,降低了对 COD 的去除和氨氮的氧化作用,则影响 TN 去除效果。

2.6 污泥分析

3 个运行阶段的污泥性状参数见表 1。

表 1 三个阶段的污泥性状参数

Tab.1 Sludge character parameters at three stages

阶段	MLSS/ (g · L ⁻¹)	MLVSS/MLSS	SV ₃₀ /%	SVI/ (mL · g ⁻¹)
I	4.7	0.65	75	159
II	8.0	0.43	65	82
III	7.0	0.45	50	70

运行中,污水厂进水负荷明显增加,伴随着水温的逐渐升高,微生物生长较快,MLSS 由 4 700 mg/L 增加至 7 000~8 000 mg/L,为维持系统的稳定,排泥量由 1 000 m³/d 增加至 1 500~3 000 m³/d。另外,随着进水中无机颗粒的增多以及雨水的大量流入,无机物质含量增加,而物化段的处理能力不足,

从而导致污泥的 MLVSS/MLSS 值降低,活性污泥的有效成分降低。第 I 阶段的 MLSS 远低于其他两个阶段,但 SV₃₀和 SVI 值却较高,1 月份 SV₃₀为 79%~93%,有低温下发生非丝状菌膨胀的可能。

3 结论

① 污水厂采用 Bardenpho - MBBR 工艺进行升级改造,在低水温、水质负荷波动、水量负荷波动等情况下,仍能保证出水水质优于国家一级 A 标准,出水 BOD₅、COD、NH₄⁺ - N、TN 平均值分别为 2.7、18、0.5、7.4 mg/L,平均去除率分别为 99%、97%、97.1%、87%。

② 伴随着进水水质的剧烈变化,进水负荷波动较大且无规律性,最大 BOD₅ 负荷为 1.8 kg/(m³ · d),最大 TN 负荷为 0.34 kg/(m³ · d),连续 10 d 内最大负荷是最小负荷的 3~5 倍,24 h 内负荷升高 30%,在以上不利条件下,通过综合调控溶解氧浓度及排泥等可保证系统稳定运行。

③ 硝酸盐氮在前、后缺氧段均有较好的去除,去除率分别达到了 30.5%、25.9%,另外有 27.4% 的总氮在好氧段被去除,推测发生了同步硝化反硝化(SND)作用,这有利于降低系统运行费用。

④ MBBR 工艺负荷高、抗冲击负荷能力强、处理效果好,适用于污水厂提标、提量升级改造。

参考文献:

- [1] 韩萍,许斌,宋美芹,等. 团岛污水厂 MBBR 工艺的升级改造及运行效果[J]. 中国给水排水,2014,30(12):110-114.
Han Ping, Xu Bin, Song Meiqin, et al. Design features and operational effect of Tuandao WWTP upgrading by MBBR in Qingdao [J]. China Water & Wastewater, 2014,30(12):110-114(in Chinese).
- [2] 刘浩,杨俊杰,于宁. Bardenpho 五段法/MBBR 用于青岛李村河污水厂三期扩建[J]. 中国给水排水,2016,32(24):62-66.
Liu Hao, Yang Junjie, Yu Ning. Design and operation of third-phase expansion project of Qingdao Licunhe WWTP by five-stage Bardenpho and MBBR process [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(24): 62-66 (in Chinese).
- [3] 孟涛,刘杰,杨超,等. MBBR 工艺用于青岛李村河污水处理厂升级改造[J]. 中国给水排水,2013,29(2):

(下转第 115 页)