

综述与专论

# 光伏发电系统在污水处理厂中的实施研究

王少波<sup>1</sup>, 卿湘运<sup>2</sup>

(1.上海环保工程成套有限公司,上海 200070;2.华东理工大学信息科学与工程学院,上海 200237)

**摘要:**在污水处理厂实施光伏发电系统,不仅可以利用土地二次开发利用,降低电力成本开支,减少污水处理成本,而且可以减少碳排放,缓解城市环保压力,提高企业在承担社会责任方面的形象。给出了在污水处理厂实施光伏发电系统的必要性、实施步骤和投资可行性。尽管在已建成的污水处理厂实施光伏发电系统存在投资回收周期较长的问题,但是发展潜力大。建议在新建的污水处理厂设计和规划中考虑光伏发电系统的安装,降低建设成本,缩短投资回收期。

**关键词:**污水处理厂;光伏发电系统;可行性分析

中图分类号:TU9902

文献标识码:B

文章编号:1006-8759(2016)02-0001-05

## APPLICATION OF PHOTOVOLTAIC GENERATION SYSTEMS FOR SEWAGE TREATMENT PLANTS

WANG Shao-bo<sup>1</sup>, QING Xiang-yun<sup>2</sup>

(1.Shanghai Environment Protection Complete Engineering Co.Ltd, Shanghai 200070,China;2. School of Information Science and Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237,China)

**Abstract:** Application of photovoltaic generation systems for sewage treatment plants not only can reduce electricity consumption and the resulting cost of wastewater processing by second exploitation of land, but also can enhance corporation identity undertaking social responsibilities by cutting down the emission of carbon dioxide and promoting the environment protection. The need, steps and investment feasibility of the application are provided. A great investment potential of the implementation can be obtained although current payback period is long. If the photovoltaic generation systems can be integrated into design and planning of new sewage plants, the payback period can be shortened.

**Key words:** sewage treatment plants; photovoltaic systems; feasibility analysis

污水处理是高能耗产业之一,其能源消耗主要是电能消耗,占总能耗的 60%~90%<sup>[1]</sup>。电能耗大、运行费用高降低了污水处理厂的投资效益,甚至成为一些污水处理厂难以正常运行的瓶颈。

随着新能源发电技术的发展,特别是单、多晶硅光伏电池组件价格的持续下降,以及国家对新能源发电行业的政策和资金支持,同时我国大部

分区域能满足光伏发电所需的光照条件,而且污水处理厂的主要处理单元,如初沉池、曝气池、二沉池拥有较大的表面空间,厂区内的绿化地带和办公建筑屋顶也能安装光伏电池组件,因此具备在污水处理厂实施光伏发电系统的基本硬件条件<sup>[2]</sup>;白天工业电价较高,光伏发电系统恰在白天运行,能抵消部分电力费用,同时国家有分布式光伏发电补贴,因此在污水处理厂实施光伏发电系统有较大的投资潜力。

收稿日期:2015-07-08

第一作者简介:王少波,男,工学博士,总工程师。

## 1 实施的必要性

### 1.1 中国城镇污水处理规模

从表 1 可以得到,2010 年~2013 年,中国城镇污水处理厂数量由 2832 座增加至 3513 座;污水处理能力由 1.25 亿立方米/日提高至 1.49 亿立方米/日;全年污水处理量由 343.33 亿立方米上升至 444.60 亿立方米,年均复合增长 9.00%;平均负荷率由 78.95% 上升至 82.60%。

表 1 中国城镇污水处理设施建设及运行情况

年度	污水处理指标				污水排放指标	
	污水处理厂(座)	污水处理能力(亿立方米)	累计处理污水(亿立方米)	平均运行负荷率(%)	污水排放量(亿立方米)	其中:生活污水排放量(亿立方米)
2010	2832	1.25	343.33	78.95%	617.26	379.78
2011	3135	1.36	393.13	79.45%	658.80	427.90
2012	3340	1.42	422.80	82.50%	684.30	462.70
2013	3513	1.49	444.60	82.60%	-	507.30

“十二五”规划中,到 2015 年设市城市的污水处理率要求达到 85%,较“十一五”期间提高 7.5 个百分点,对于重点城市、地级市、县级市也确定了具体要求;对于污泥处理率从市到县城的要求都全面提高,“十一五”规划中全国污泥处置率水平比较低,普遍低于 25%,“十二五”规划要求在 2015 年设市城市须达到 70%。

### 1.2 污水处理电耗水平

不同的处理规模和不同的处理工艺其电耗不尽相同。如北京市于 2015 年 3 月 1 日实施的地方标准《城镇污水处理能源消耗限额》(见表 2 所示),目前 5 万立方米/日以上处理能力的污水处理厂基本达标。而我国 2~5 万吨规模的污水处理厂约占全国城镇污水处理厂总数的三成,多以县(市)一级的城市为主,其电耗水平更高,2.5 万吨规模的污水处理厂电耗达 0.406 kWh/m<sup>3</sup>[3]。

表 2 城镇污水处理厂污水处理电耗限额限定值和先进值

污水处理能力 x(万 t/d)	综合电耗限额限定值 (kWh/m <sup>3</sup> )	综合电耗限额先进值 (kWh/m <sup>3</sup> )
x ≥ 50 万	≤ 0.229	≤ 0.211
20 ≤ x < 50	≤ 0.288	≤ 0.259
10 ≤ x < 20	≤ 0.339	≤ 0.294
5 ≤ x < 10	≤ 0.342	≤ 0.305
1 ≤ x < 5	≤ 0.367	≤ 0.349

各地电价稍有差别,一般按峰、平和谷时段计价,如上海市 2014 年的工商业用电(电压等级 10kV)两部制计价的电价如表 3 所示,实际上计算总电费时还有约 8% 的附加费。在白天电价均值约为 1 元/kWh。设一个年平均日照时间为 4 小时/天的地区 15 万吨的污水处理厂其电耗为 0.32 kWh/m<sup>3</sup>,如果白天利用光伏发电系统满负荷供电,则可每天节省电费 8 000 元 (=1 元/kWh × 0.32 kWh/m<sup>3</sup> × 150 000 m<sup>3</sup> × 4 h/24 h),一年则可节省 292 万元。

表 3 上海市非居民用电(10kV)两部制电价表

分类	峰时段	平时段	谷时段
非夏季	1.222	0.752	0.364
夏季	1.257	0.787	0.299

电价时段	非夏季 8-11 时、18-21 时	非夏季 6-8 时、11-18 时、21-22 时	夏季 6-8 时、11-13 时、15-18 时、21-22 时	22 时-次日 6 时
------	--------------------	---------------------------	----------------------------------	-------------

### 1.3 光伏发电投资成本

光伏制造产能在过去几年中快速扩张的同时,制造技术也越来越成熟,光伏产业链从多晶硅原材料、组件到逆变器的生产成本和价格迅速降低。摩根斯坦利银行在 2014 年 7 月给出的调查报告中指出,从 2011 年至 2014 年光伏电池组件价格下降了 53%,截止到 2014 年 6 月光伏电池组件单价仅为 0.58 美元/瓦。与此同时,通过大规模光伏电站的建设与维护,整个产业界积累了大量宝贵的电站设计、建设和运营管理经验,这也是电站系统价格得以下降的另一个原因。截止到 2014 年,国内大型地面电站投资成本约为 8 元/瓦,光伏发电的度电成本也随之不断降低,近几年光伏电站投资成本下降趋势如图 1 所示,更乐观的估

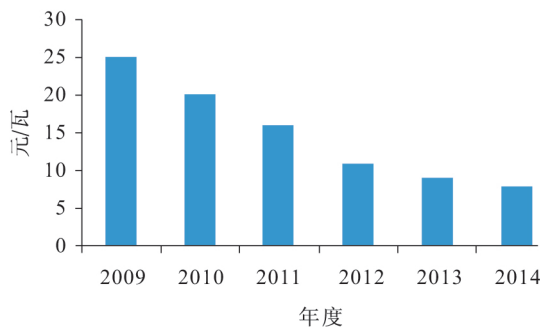


图 1 大型电站投资成本下降趋势

计是接下来几年成本将降至 6 元/瓦。在光照资源丰富地区,2012 年大型光伏地面电站发电的度电成本就已经接近 0.6 元/kWh。中国排名前 20 位的光伏组件和电池制造商均已涉足电站开发业务。而且,国际上先进的光伏电站开发商也开始涉足中国市场。

#### 1.4 分布式光伏发电激励政策

我国国家能源局在“分布式发电管理办法”(国家电网 1560 号文)中给出了分布式发电的概念:“分布式发电,是指位于用户附近,装机规模较小,电能主要由用户自用和就地利用的可再生能源、资源综合利用发电设施或有电力输出的能量梯级利用多联供系统,并网电压等级在 10 kV 及以下”。对于污水处理厂,一般采用“自发自用”的方式,因此肯定属于分布式发电。

国家发改委于 2013 年 8 月发布对光伏电站实行分区域标杆上网电价政策的通知,对分布式光伏发电项目,实行按照发电量进行电价补贴的政策,电价补贴标准为每千瓦时 0.42 元。2014 年 9 月,国家能源局印发《关于进一步落实分布式光伏发电有关政策的通知》(国能新能 [2014]406 号文件),明确分布式光伏发电项目可采取“自发自用、余电上网”或“全额上网”两种模式,其中采用“全额上网”模式的项目,其全部发电量执行当地光伏电站标杆上网电价。

另外,部分地方政府为促进新能源发电的发展,在国家补贴的基础上对分布式发电还有额外的补贴如表 4 所示。

表 4 地方政府分布式发电补贴(元/kWh)

省	城市	国家补贴	省级补贴	市级补贴	总补贴	备注
浙江	温州	0.42	0.1	0.3	0.82	
	杭州市	0.42	0.1	0.1	0.62	
江西		0.42				每度电再补贴 0.2 元,补贴期 20 年
山东		0.42	0.2		0.62	
上海		0.42				每度电再补贴 0.25 元
河南		0.42	0.1			连续奖励 3 年
湖北	黄石	0.42	0.1			

#### 1.5 国内水处理行业已经实施和即将实施的光伏发电项目

国内一些自来水厂和污水处理厂已实施和即

将实施的一批光伏发电项目,其项目名称和规模等如表 5 所示。根据已经运行项目的反馈,光伏发电带来了预期的投资收益和环保效益,成为了国内水处理行业学习和借鉴的示范工程。

表 5 国内水处理行业已实施和即将实施的光伏发电项目

项目名称	(污)水处理能力(万 m <sup>3</sup> /日)	装机容量(MWp)	运行日期
北京良乡卫星城污水处理厂光电建筑示范工程	4	0.675	2011 年 12 月 23 日
天津市生态城污水厂分布式光伏发电项目	10	0.780	2012 年 5 月底
扬州自来水公司第一水厂分布式光伏发电项目	35	0.500	2014 年 8 月
浙江台州污水厂分布式光伏发电项目	15	4.400	预计 2015 年 6 月
南昌水业分布式光伏发电项目	146.5	33.470	分两期建设,全部完工计划为 2018 年

#### 1.6 污水处理厂实施光伏发电系统的优势

可根据综合生化池的不同分类,通过在污水处理工艺末端-澄清池顶部加设顶棚的方式,降低水池上方风速,改善局部小环境,减少池水蒸发,提高池水温度,增加污水处理收益<sup>[4]</sup>。

污水处理厂占地面积大,周围建筑相对较少,高层建筑少,而且污水处理厂的池体、屋顶面积大,建筑质量较好,非常有利于光伏组件的安装和高效利用。

污水处理厂的土地一般都是行政划拨的,土地使用年限原则上无限长,相对于其他城市建筑屋顶开发分布式光伏发电,投资稳定性好。

污水处理厂电能消耗大,24 小时不停机运行。光伏发电在白天负荷高峰时期采用“自发自用”的方式,光伏电站所有发电量直接被污水处理厂的用电负荷所消纳,一方面减少对电网的电能质量影响,减少并网发电向电网馈送电能时与电力运行公司发生的业务纠纷,另一方面可以充分利用国家对新能源分布式发电的政策补贴,降低电力成本。

光伏发电是清洁能源,因此利用光伏分布式发电,既有较高的发电效能,并能争取政府在政策上的优惠补贴,还能取得零排放的环境效益,提高企业在承担社会责任上的形象。

## 2 实施步骤

### 2.1 对污水处理厂进行现场考察。

考察光伏组件的安装地点,丈量安装面积,考察池体的强酸强碱腐蚀程度;考察电网的接入情况,确定电网接入的电压等级;考察配电室的安装空间;考察光伏组件和逆变器等设备的运输情况;确定当地的年平均日照时间和最佳安装倾角。

### 2.2 确定商业模式。

污水处理厂宜实施“自发自用,余电上网”的分布式光伏发电项目,一方面争取引入电力开发投资商,带来投资,在短期内实施光伏项目;另一方面电力投资开发商同污水处理厂要签订节能合同,对可能带来的风险和纠纷要全面衡量。分布式光伏发电项目由于装机容量不如电站型项目规模大,而且要对建筑屋顶、池体等的质量和安装成本进行重新评估,开发商需要投入很大的前期工作;自发自用政策导致电站业主收取光伏发电费用是向用电方收取,而补贴是由当地财政支付,不确定因素较多,污水处理厂和开发商存在潜在的经济纠纷。

目前的主要商业模式有:

自主投资运营,外包建设维护。此商业模式下污水处理厂作为投融资主体和运营主体,委托其他公司进行建设,独享分布式发电带来的全部收益。

与业主合资组建能源公司。污水处理厂与投资公司共同组建能源服务公司,由能源服务公司为主体,负责筹集全部资金和设施的建设,按照比例享有分布式能源收益。

合同能源管理。节能服务公司与污水处理企业以契约形式租赁污水处理厂场地,节能服务公司建设分布式光伏发电系统,实现土地的二次开发,节能服务公司以低于电网销售电价的价格将新能源发电销售给污水处理企业。

### 2.3 评估、统计和确定装机容量。

屋面、池体光伏组件安装安全进行评估,统计污水处理的负荷总需求、年变化特性和日匹配特性评估,建立负荷统计表。只有掌握了污水处理厂的日负荷特点,才能设计合理的安装容量。

总装机容量要根据白天实际负荷率和可安装光伏组件建筑面积总和设计。一方面,尽量满足自发自用原则,总装机容量应小于白天平均负荷;另

一方面要计算可安装光伏组件建筑面积来确定装机容量,所设计的装机容量有足够的空间位置来安装,一般而言,对于多晶硅光伏电池组件,1千瓦的装机容量约需要8平方米建筑面积;另要考虑光伏发电系统穿透率对低压配电网的影响。光伏发电系统穿透率(%Penetration)定义为:

穿透率=光伏交流输出功率/峰值负荷功率

配电网接入分布式发电,会引起配电网电压升高,所以过高的穿透率可能会导致配电系统电压超限(要求电压控制在正常电压的+6%和-10%之间)。对污水处理厂来说,负荷大,但负荷运行较平稳,负荷波动小,其装机容量主要受建筑面积的限制。

### 2.4 确定电网接入方式。

对于污水处理厂光伏发电采取的“自发自用,余电上网”模式,光伏发电系统在低压或中压用户侧并网,不带储能系统,不能脱网运行。一般来说,只要是在电网与用户的关口计费电表内侧并网,属于“自发自用”的光伏系统,都属于分布式光伏发电,而与电网电压等级无关,可以是220V,0.4kV,10kV,35kV,甚至是110kV,因此可以享受分布式光伏发电政策补贴。

其电网接入设计原则要按照国家电网公司2012年11月编制的《分布式光伏发电项目接入系统典型设计》来执行。此典型设计范围为10kV及以下电压等级接入电网,且单个并网点装机容量不超过6MW的分布式光伏发电接入系统设计。其内容包括接入方案、系统继电保护及安全自动装置、系统调度自动化、系统通信、计量和结算等相关方案设计,不含分布式光伏发电本体设计。如通过多回线路将分布式光伏接入用户10kV开关站、配电室或箱变则可以选用XGF10-Z-Z1方案,实现就地分散接入、就地平衡消纳。

### 2.5 并网光伏发电系统配置和设备选型。

并网光伏发电系统完整的配置构成主要由太阳能光伏组件或方阵、直流接线箱、逆变器、交流配电箱、防雷接地系统和监控测量系统组成,需要选配的内容主要有:光伏组件的选型,直流接线箱的选型、并网逆变器的选型、交流配电柜的选型、监控测量系统及其软件的选型、电力线缆的选型等。需要设计的内容主要有:光伏组件的串并设计、光伏方阵设计和排列、方阵固定支架和基础的



设计、直流接线箱的设计、交流配电柜的设计和防雷接地系统的设计等。

上述绝大部分技术都很成熟,主要的难点是方阵固定支架和基础的设计,其原因之一是基础的结构形式必须保证污水池的安全可靠运行,并在施工时对污水池不能有任何影响;原因之二则是如何实现支架在污水臭气环境下防腐。如良乡污水处理厂基础采用机械选挖的钻孔桩,最大的桩径 1 500 mm,最大桩深 25 m。台州椒江污水处理厂则给出了一些创新性设计,通过新研制的轻型金属材料作为结构骨架,减轻池盖自重来降低对池体结构的受力影响,支架采取了特殊的防强酸强碱腐蚀措施。由此可见,在已建污水处理厂池体上方安装光伏电池组件的成本较高。

2.6 下述三项则可按工程设计规范来进行。

系统设计和工程设计;项目概算和财务评估;环境效益评估。

### 3 实施的投资可行性

光伏发电系统的成本电价取决于装机成本、日照条件、贷款状况、投资回收期 and 运营维护费用等。不同地区由于不同的日照条件和人力成本,甚至同一地区由于不同的污水处理厂池体结构和建筑条件导致大不相同的投资成本。因此在污水处理厂实施光伏发电系统一定要论证投资可行性。根据文献<sup>[5]</sup>计算成本电价的方法,本文给出更保守的修正计算公式:

$$T_{cost} = C_p \times (1/Per + R_{op} + R_{loan} \times R_{intr}) / a_1 / (1 - a_2) / H_{fp}$$

上式中  $T_{cost}$  为成本电价(单位为元/kWh),即在预定的投资回报期内能够收回光伏电站总投资成本的最低电价; $C_p$  为单位装机成本(单位为元/kW),主要包括光伏组件成本,当前多晶硅组件约为 4 元/W,逆变器成本,约为 1.2~1.5 元/W,组件支架成本,安装费和高低压配电系统成本等; $Per$  为投资回收期; $R_{op}$  为运营费用比率; $R_{loan}$  贷款占投资额的比例; $R_{intr}$  为贷款利息; $H_{fp}$  为年等效满负荷发电小时数,其理论值是根据当地的年平均日照来计算的; $a_1$  为考虑到实际最大输出功率与安装功率的差距及功率损耗,在本计算公式中取为 0.85; $a_2$  为光伏电池组件平均功率衰减系数,光伏电池组件功率是逐年衰减的,光伏组件制造厂商一般承诺 10 年功率衰减系数为 10%,25 年功率衰减系数约为 20%,在本计算公式中  $a_2$  取 0.1。

本公式不考虑电站建设的补贴费用。

如果电价和补贴的总和为  $T_{price}$ , 则投资回收期为:

$$Per = 1 / (T_{price} \times a_1 \times (1 - a_2) \times H_{fp} / C_p - R_{op} - R_{loan} \times R_{intr})$$

下面给出一个较保守的投资可行性计算例子。目前一般大型光伏电站的  $C_p$  为 8 000 元/kW,如前所述由于分布式光伏发电项目规模一般较小,且支架、基础建设和安装费用较高,设为 9 500 元/kW,光伏电站维护简单,故设  $R_{op}$  为 0.02,  $R_{loan}$  为 1,即假定项目资金来源全为贷款,  $R_{intr}$  为 0.07,  $H_{fp}$  为 1 500 小时,为光照条件较差地区的参数,设电价为 1 元/kWh,另 8% 的附加费,国家补贴 0.42 元/kWh,暂不考虑地方补贴,总电价和补贴的总和为  $T_{price}$  为 1.5 元/kWh,则投资回收期  $Per$  为 10.96 年,尽管投资回收期较长,但光伏发电系统理论上可运行 25 年,因此从 25 年的运行收益来看投资是可行的。

投资也存在如下负面的不确定因素:

光伏电池组件的质量;光伏电池组件的功率衰减;并网逆变器的质量、功率损耗和寿命;实际日照时间与理论日照时间的差距;国家补贴的下降和地方补贴政策的不确定性。

积极的因素则是:从长远来看电价的上涨和光伏电池组件价格的持续下降。

### 4 结论

在我国城镇污水处理厂实施光伏发电系统,不仅可以土地二次开发利用,降低电力成本开支,减少污水处理成本,而且可以减少碳排放,缓解城市环保压力,提高企业在承担社会责任方面的形象。由于在已建污水处理厂实施光伏发电系统存在基础建设和安装成本高、对建筑器材的防腐蚀要求高及光伏组件质量等不确定因素,导致投资回收期较长,但是从整个运营周期来看,投资是可行的,发展潜力大,可在全国日照条件较好地区推广实施。

建议新建污水处理厂要考虑到光伏发电系统的实施,在池体设计和总体规划上要进行优化设计,预先规划光伏发电系统的安装,则能显著降低投资成本,缩短投资回收期。

将来也可探索在污水处理厂构建微电网系统,利用可再生能源包括光伏和风力发电甚至储

(下转第 41 页)

表 2 6 种架线方式允许的最低线高

架设方式	同塔四回	混压(220kV 双回+	混压(220kV 双回+	同塔双回	同塔双回 (两条并行)	单回(两条并行)
		110kV 双回)	35kV 双回)			
最低线高(m)	12.0	10.0	9.0	9.0	10.0	9.0

6 种架线方式采用的设计塔型均为对称,因此两侧的电场强度也对称分布,理论预测结果也是相同的。见表 3(仅列出坐标原点一侧的计算结果)。

#### 4 结果分析与讨论

由上述预测结果可得如下结论:

电压等级和线路回路数是影响电场强度最重要的因素。220 kV 同塔四回路对地允许线高相对最高,不低于 12 m 时线路产生的电场强度才能符合 4 kV/m 的评价要求。随着叠加线路电压等级的降低,混压线路产生的电场强度逐渐下降,允许最低线高逐渐降低。

由表 3 中第 5 和第 6 种架线方式的预测结果

表 3 最低线高时 6 种架线方式电磁场强度预测结果

架线方式	Ym(m)	Xn(m)	X <sub>0</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>14</sub>	X <sub>16</sub>	X <sub>18</sub>	X <sub>20</sub>	X <sub>22</sub>	X <sub>24</sub>	X <sub>26</sub>	X <sub>28</sub>	X <sub>30</sub>	X <sub>35</sub>	X <sub>40</sub>	X <sub>45</sub>	X <sub>50</sub>
		同塔四回	Y <sub>1.5</sub>	kV/m	1.3	1.7	2.4	3.0	3.5	3.8	3.9	3.8	3.5	3.1	2.6	2.0	1.6	1.1	0.8	0.6	0.2	0.1
		μT	1.2	1.3	1.7	2.2	2.8	3.2	3.5	3.6	3.5	3.3	3.0	2.7	2.3	2.0	1.7	1.5	1.0	0.7	0.5	0.4
混压(220kV 双回+110kV 双回)	Y <sub>1.5</sub>	kV/m	1.2	1.7	2.5	3.3	3.7	3.8	3.6	3.3	2.8	2.3	1.8	1.3	0.9	0.6	0.4	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1
		μT	4.4	4.5	4.6	4.6	4.5	4.1	3.6	3.1	2.6	2.1	1.8	1.4	1.2	1.0	0.8	0.7	0.4	0.3	0.2	0.2
混压(220kV 双回+35kV 双回)	Y <sub>1.5</sub>	kV/m	1.2	1.7	2.6	3.5	3.9	3.7	3.1	2.5	1.9	1.4	1.0	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
		μT	6.1	6.2	6.3	6.3	6.1	5.5	4.6	3.7	2.9	2.2	1.7	1.4	1.1	0.9	0.8	0.7	0.5	0.3	0.2	0.2
同塔双回	Y <sub>1.5</sub>	kV/m	1.6	2.0	2.8	3.3	3.1	2.6	1.9	1.3	0.9	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
		μT	7.1	7.1	7.0	6.5	5.7	4.8	3.9	3.1	2.5	2.0	1.6	1.3	1.1	0.9	0.8	0.6	0.4	0.3	0.2	0.2
同塔双回(两条并行)	Y <sub>1.5</sub>	kV/m	1.5	1.8	2.6	3.2	3.6	3.8	3.9	3.9	3.7	3.2	2.6	1.9	1.3	0.9	0.6	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
		μT	2.3	2.2	2.6	3.1	3.7	4.2	4.6	4.7	4.7	4.4	3.9	3.4	2.9	2.4	2.1	1.7	1.2	0.8	0.6	0.4
单回(两条并行)	Y <sub>1.5</sub>	kV/m	3.3	3.4	3.3	2.8	1.8	1.2	1.8	2.8	3.4	3.4	2.9	2.3	1.8	1.3	1.0	0.8	0.4	0.3	0.2	0.1
		μT	8.4	8.5	8.7	8.8	8.8	8.7	8.4	7.9	7.0	5.9	4.7	3.8	3.0	2.4	2.0	1.6	1.1	0.8	0.6	0.4

来看,对于并行线路来说,走廊宽度为 20 m,最大值分别出现在距离坐标原点水平距离 12 m 和 14 m 处,即出现在塔基横担外侧,而并不是出现在横担内侧。

各种架线方式下,磁感应强度的预测值均较小,远低于 0.1 mT 的评价标准。

预测过程未考虑畸变情况,下相导线离地高度未考虑弧垂的情况,在实际应用中还可细化部分预测参数。

#### 参考文献

[1] 郭雄,万保权.输变电工程的电磁环境[M].北京:中国电力出版社,2009:20-37.  
 [2] 朱艳秋,宋晓东,赵志勇.220kV 高压输电线路工频电磁场影响因素研究[J].电力科技与环保,2011,27(1):5-8.  
 [3] 中华人民共和国国家环境保护标准,环境影响评价技术导则输变电工程,HJ24-2014[s].  
 [4] 中华人民共和国国家环境保护标准,电磁环境控制限值,GB8702-2014[s].

(上接第 5 页)

能系统,进一步降低电力费用支出,电力供应做到自给自足,如文献[6]所述,荷兰已在对水处理厂实施微电网系统展开了研究。

#### 参考文献

[1] 金文杰,杨丹丹.污水处理厂能耗分析方法[J].环保科技,2012,2:18-19.  
 [2] 郝晓地,黄鑫,刘高杰,胡沅胜.污水处理"碳中和"运行能耗赤

字来源及潜能测量[J].中国给水排水,2014,30(20):1-6.  
 [3] 廖常盛.我国城镇典型工艺污水处理厂能耗分析[J].商品与质量:房地产研究,2014,6:158-159.  
 [4] 孙波,郭大力,刘运北.北京良乡卫星城污水处理厂光电建筑示范[J].建设科技,2012,5:66-68.  
 [5] 史珺.光伏发电成本的数学模型分析[J].太阳能,2012,2:53-58.  
 [6] MariyaSochinshayaWina H.J. Crijns-Graus, Jos Van der Meer et al. Application of a microgrid with renewables for a water treatment plant[J]. Applied energy, 2014,134:20-34.