

DG接入配电网对低电压区电压质量的影响研究

以新能源为主的分布式发电系统，是综合利用现有资源，提高电网质量的有效方式之一。采用DIGSILENT/Power Factory仿真软件，研究了风电、太阳能等分布式电源（DG）接入对低电压区电压质量的影响规律。根据DG接入10 kV中压电网的典型方案，结合理论模型探索了DG接入数量、位置及容量对低电压区电压质量的影响，并对补偿效果进行对比分析。结果表明，针对DG选择合适接入数量、位置和容量可有效提高中压线路沿线低电压区的电压质量。

李国武 刘德坤/国网冀北电力有限公司张家口供电公司

0 引言

配电网无功优化可在现有技术下，调整无功潮流分布，保证无功功率平衡，从而有效地提高系统的电压稳定性，降低有功网损^[1-4]。目前，大部分农村地区供电网存在点多、面广、线路长、负荷率低、季节性强和无功不足等特点，且随着农村经济的快速发展，农村地区的用电量激增，低电压问题日益突出。而解决低电压的措施除了加强电网建设改造外，最行之有效的便是进行无功补偿^[5]。

分布式电源（Distributed Generation, DG）技术与中心电网相互补充、协调，可实现备用电站、电力调峰以及边远地区独立发电等用途，是综合利用现有资源和设备，提供用户供电质量的最佳方式，具有独特的环保性和经济性^[6-7]。而随着新能源发电技术的成熟和成本的降低，大规模风力发电和光伏发电在电网电源中的比例持续增大，

对电网电压的影响也越来越大^[8-11]。风电系统、光伏发电系统等新能源系统已广泛作为DG使用，为解决地区低电压质量问题提供了新方法^[12-13]。

DIGSILENT/Power Factory软件是大型集成化系统仿真软件，具有常用的电力系统分析的功能和可靠、灵活的系统建模能力。该软件为研究风电场、光伏电站等DG电源并网运行和控制提供了可靠的仿真平台^[11]。

本文将利用DIGSILENT/Power Factory仿真软件，分析以风能、太阳能为主的DG接入10 kV中压电网对低电压地区配电网电压质量的影响。研究结果对利用风电、太阳能等新能源并网解决低农村地区低电压问题具有重要意义。

1 模型建立

研究的线路处于农业发达地区，以农业灌溉负荷为主，线路公用变压器数量较少，功率因数较低。根据确定的配电变压器低压侧允许的电压范围及某地区中压线路参数平均水平，有低电压情况的中压线路参数平均水平，建立中压网模型及中压网优化状态模型，确定影响电压质量的影响因素，

利用层次分析法及因果分析法，结合常用电网评估指标，对可能导致电压低的因素进行分析，提出了一种自下而上的按电压等级进行分析的方法，并通过理论模拟仿真，确定中压网末端一配电变压器出口电压的标准值。以中压配电网一条10 kV线路为例，建立线路等



李国武/高级工程师

关键词/Keywords

DG.
电压稳定性.
光伏电站.
风力电站.

效模型。在线路上取10个节点，将整条主线路分为至少10段（本研究仅作10段考虑）。每个节点下设一条一级支路，每条一级支路下设3条二级支路，每个二级支路下设2条末支路，末支路下带配电变压器负荷。

利用DlG SILENT/Power Factory软件进行以上模型搭建。中压网中可能造成用户侧产生低电压的因素如表1所示。在电压不越限、无功不倒送以及配电变压器和线路均不重载等满足正常运行水平的前提下，以各因素的“优选值”为基准值，通过调整单一因素的变化，对中压线路进行潮流计算，选择10台典型位置的变电所，记录末端配电变压器出口侧电压的变化情况。

表1 中压网中可能造成低电压产生的因素

序号	影响因素	
	装备水平方面	运行水平方面
1	中压线路导线型号	中压线路负载率
2	中压线路供电半径	中压线路功率因数
3	配电变压器无功补偿比例	配电变压器调压情况
4	中压线路装接配电变压器容量	配电变压器负载率

2 结果分析

2.1 DG接入的典型方案

假设某低电压地区接入10 kV电压等级的DG主要为光伏发电，其典型方案主要有10 kV T接公共电网线路方案和10 kV接入用户开关站、配电室或箱式变压器方案。前者适用于统购统销的风力电站或光伏电站，后者适用于自发自用/余量上网（接入用户系统）的光伏电站。

对于统购统销的光伏电站采用1回线路接入公共电网10 kV线路，如图1所示。单个并网点参考装机容量400 kW~2 MW。对于自发自用/余量上网，光伏电站采用1回线路接入用户开关站、配电室或箱式变压器，如图2所示。单个并网点参考装机容量400 kW~6 MW。

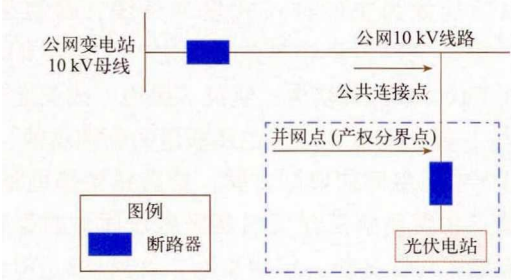


图1 10 kV T接公共电网线路方案示意图

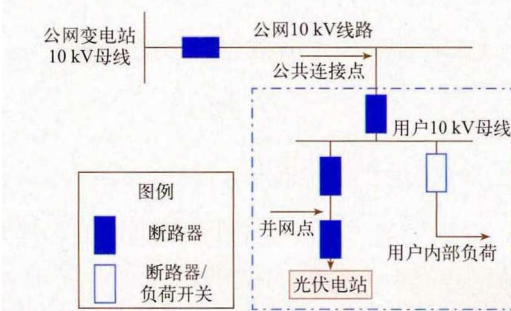


图2 10 kV接入用户方案示意图

上述两种典型方案中DG装机最大为6 MW，将考虑中压线路的两种运行状态：一种为线路负荷大于DG装机容量，称为状态A；一种为线路负荷小于DG装机容量，称为状态B。两种运行状态中压线路模型参数取值如表2所示。在没有DG接入时，状态A中压线路负荷为7.105 MW，状态B中压

表2 两种运行状态的中压线路各参数取值

运行 状态	采用 线路 模型	参数设置值									参数限制值			
		线路型号（主干 线\一级分支\二级 分支\末支路）	单个配电变压器型号		配电变压器 数量/个		变电站 出口 电压 (pu)	功率因数			供电 半径 /km	单个配电 变压器 负载率 (%)	配电变压器 无功 补偿容量 /kvar	线路 无功 补偿容量 /kvar
			公用 变压器	专用 变压器	公用 变压器	专用 变压器		公用 变压器 负荷	农业 专用变压器 负荷	工业(商 业)专用变 压器负荷				
状态 A	模型 2	LGJ-240\LGJ- 120\LGJ-70\LGJ-70	S11-160	S11-160	14	46	1.02	0.87	0.85	0.9	20	85	0	0
状态 B	模型 2	LGJ-240\LGJ- 120\LGJ-70\LGJ-70	S11-160	S11-160	14	46	1.02	0.87	0.85	0.9	20	70	0	0

线路负荷为4.797 MW。其次,仿真等距离选取10个公用变压器观察点,监测线路沿线配电变压器出口电压。

2.2 线路负荷大于DG装机容量运行状态

(1) 10 kV T接公共电网线路方案分析(A状态)

从10 kV线路主干线首端向后依次测试,当单个DG对分别接入线路主干线“1/3、2/3和3/3”处进行仿真,得到10 kV沿线公用配电变压器出口电压变化曲线如图3a所示。当接入DG时,配电变压器出口电压提升明显,DG接入的位置越接近线路末端,电压提升效果越好。且接入点之后的配电变压器电压相差较大,接入点之前的配电变压器电压相差不大。

当两个DG接入时的组合较多,本文仅对“1/3、2/3”处接入、“1/3、3/3”处接入和“2/3、3/3”处接入三种情况进行模拟,得到10 kV沿线公用配电变压器出口电压变化曲线如图3b所示。两个DG接入比单个DG接入可更好地提高电压。此外,DG接入的位置越接近线路末端,电压提升效果越好。

当3个DG分别接于主干线1/3处、2/3处和3/3处时,提升电压效果更明显,如图3c所示。从仿真结果看,3个DG接入电源线路首端配电变压器出口电压提升了2.38%,末端配电变压器的出口电压提升了19%。

DG接入数量、容量和位置不同时,对中压线路沿线配电变压器出口电压的影响统计如下。DG接入容量越大、位置越靠近线路末端,对中压线路配电变压器出口电压的提升值越大,最大可将电压提升18.95%。

(2) 10 kV接入用户开关站、配电室或箱式变压器方案分析(A状态)

10 kV DG单个并网点装机容量最大为6 MW,DG均以单点接入,接入位置分别为1/3处、2/3处和3/3处,每个接入位置模拟用户负荷为0 MW、3 MW和6 MW时的运行情况。其中,用户负荷功率因数为0.9。对以上9种情况分别进行模拟,

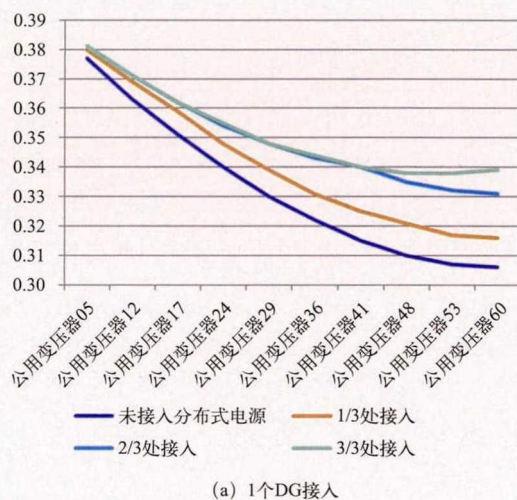
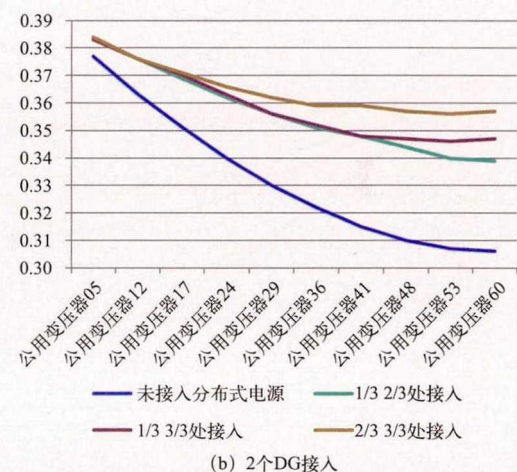
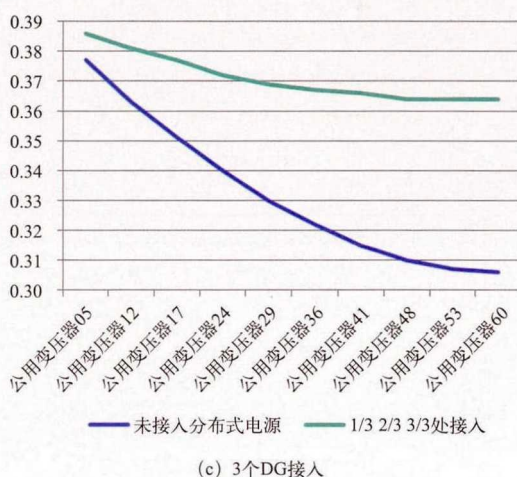


图3 10 kV T接公共电网线路方案配电变压器出口电压变化情况(A状态)

10 kV沿线公用配电变压器出口电压变化曲线如图4所示。

对于自发自用、余量上网的DG,当用户负荷变化时,DG对线路配电变压器出口电压的影响

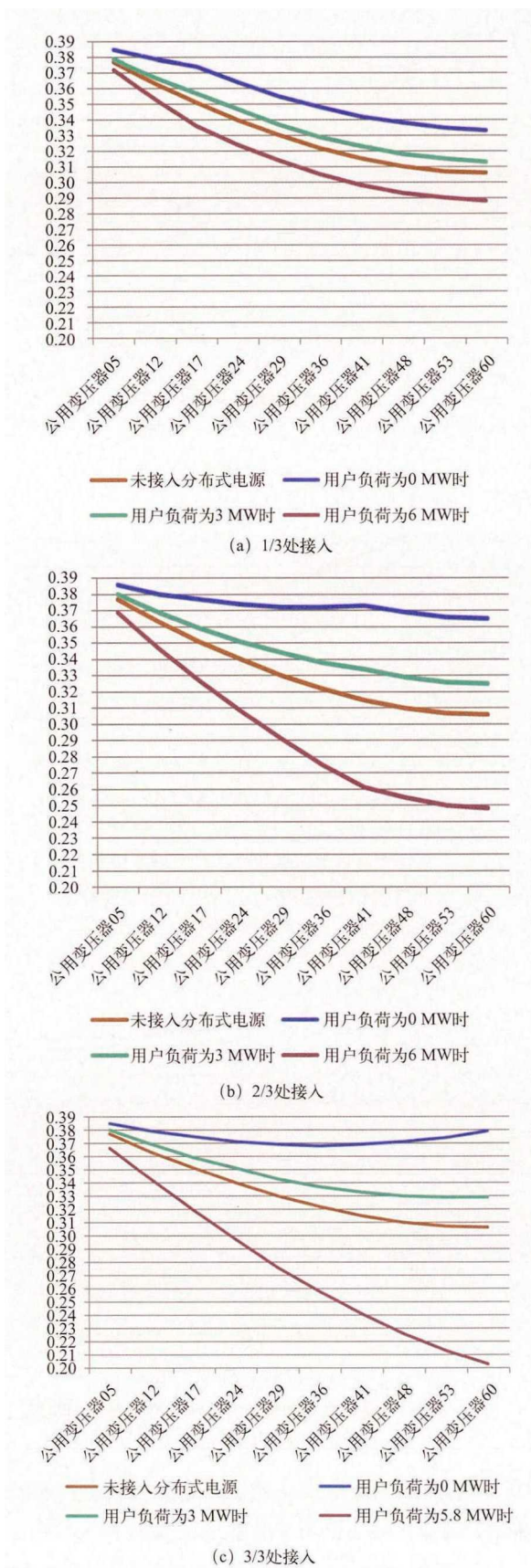


图4 10 kV接入用户开关站、配电室或箱式变压器方案
配电变压器出口电压变化情况 (A状态)

也是变化的。用户负荷越小，对配电变压器出口电压提升的效果越大，甚至出现线路后端配电变压器出口电压较前端配电变压器出口电压大的情况；用户负荷越大，对配电变压器出口电压提升效果越小。当用户负荷与DG出力相同时，由于用户负荷功率因数小于DG功率因数，造成用户负荷很大时，还需要从电网中吸收过大的无功负荷，导致此时线路沿线配电变压器出口电压低于没有接入DG时的值。10 kV T接公共电网线路方案配电变压器出口电压变化情况如图5所示。对于接入主干线3/3处时的情况（见图5c），当用户负荷大于5.8 MW时，由于线路中无功传输过大，线路电压降增大，部分节点电压不满足要求的现象，导致潮流计算不收敛。所以，无法得到用户负荷为6 MW时的电压变化曲线，本次用负荷为5.8 MW进行对比。

随着DG接入的位置不同，当DG接入线路首端时，相当于外部电网、DG同时从一侧给电网供电，沿线配电变压器出口电压曲线呈单调减的趋势；当DG接入中间位置时，在DG后面的配电变压器出口电压变化的百分比比较DG之前的配电变压器出口电压变化的百分比大，所以导致沿线配电变压器出口电压曲线中间会有一个“拐角”；当DG接入位置靠近线路末端时，DG对线路末端的配电变压器出口电压影响更大，沿线配电变压器出口电压曲线越“分散”。此情况下，DG接入可最大提升配电变压器出口电压23.86%，最大降低配电变压器出口电压33.66%。

2.3 线路负荷小于DG装机容量运行状态

(1) 10 kV T接公共电网线路方案分析

对DG有3种接入情况（单个接入、两个接入和三个接入）分别进行测试，得到10 kV沿线公用配电变压器出口电压变化曲线如图5所示。可见，中压线路负荷越小，DG以相同方式接入时，对沿线配电变压器出口电压的提升效果越大。当DG的出力大于线路所需总有功时，沿线配电变压器出口电压曲线将由递减曲线变为基本平直的曲线。在以上条件下，DG对配电变压器出口电压最大可提

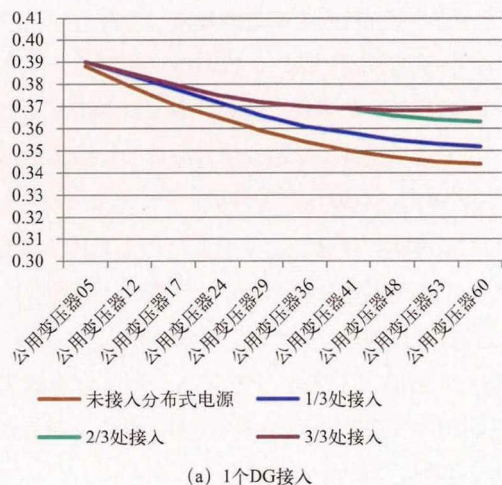
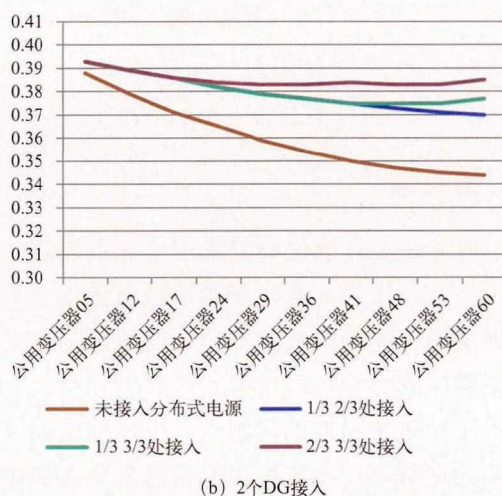
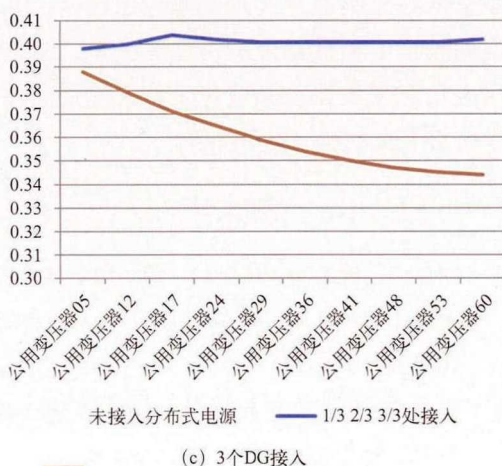


图5 10 kV T接公共电网线路方案配电变压器出口电压变化情况 (B状态)

升16.86%。

(2) 10 kV接入用户开关站、配电室或箱式变压器方案分析

通过仿真计算,可得到与前述相同的结论。

在B状态下, DG接入可最大提升配电变压器出口电压17.44%,最大降低配电变压器出口电压17.15%。

3 结束语

当大规模DG接入中压线路时,可有效提升线路电压质量。接入的位置、容量和数量不同时,提升的效果也不同。

对于统购统销的光伏电站,当线路负荷大于DG装机容量时,3个DG接入提升电压效果更明显,线路首端配电变压器出口电压提升了2.38%,末端配电变压器的出口电压提升了19%;当线路负荷小于DG装机容量时,3个DG接入提升电压效果最佳,且中压线路负荷越小,出口电压的提升效果越大。

对于自发自用、余量上网的DG,当用户负荷较大时,会降低线路沿线配电变压器出口电压,当用户负荷较小时,可提升配电变压器出口电压,接入的位置越靠近线路末端,对配电变压器出口电压的影响越大,即降低的越大或提升的越大。

参考文献

- [1] 赵冬梅,邱辰,张旭.地区电网可视化实用无功优化与规划系统的设计[J].电力系统保护与控制,2013,41(3):123-127.
- [2] 张璐,唐巍,丛鹏伟,等.含光伏发电的配电网有功无功资源综合优化配置[J].中国电机工程学报,2014(31):5525-5533.
- [3] 徐鹏,刘文颖,赵子兰,等.基于改进人工鱼群算法的含大规模风电电网无功优化[J].中国电力,2013,46(11):8-11.
- [4] 赵晨阳,宋墩文,温渤婴.国内工矿企业电网无功优化控制方法研究[J].工矿自动化,2014,40(10):93-97.
- [5] 张立梅,唐巍,赵云军,等.分布式发电接入配电网后对系统电压及损耗的影响分析[J].电力系统保护与控制,2011,39(5):91-96.
- [6] 王建,李兴源,邱晓燕.含有分布式发电装置的

电力系统研究综述 [J]. 电力系统自动化, 2005, 29 (24): 90-97.

[7] 徐玉琴, 李雪冬, 张继刚, 等. 考虑分布式发电的配电网规划问题的研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39 (1): 87-91.

[8] 吕思昕, 申旭辉, 陈得治, 等. 大规模风电并网对宁夏电网失步振荡的影响 [J]. 可再生能源, 2015, 33 (8): 1135-1141.

[9] 周林, 任伟, 廖波, 等. 并网型光伏电站无功电压控制 [J]. 电工技术学报, 2015, 30 (20): 168-175.

[10] 王以笑, 张新昌, 路进升, 等. 基于DIgSILENT的并网光伏发电系统的建模与仿真 [J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42 (3): 49-55.

[11] 钱晓耀, 陈卫民, 蔡慧. 基于DIgSILENT的光伏发电系统统一建模及仿真分析 [J]. 太阳能学报, 2013, 34 (05): 758-767.

[12] 张海鹏, 林舜江, 刘明波. 考虑光伏不确定性的低压配电网分散无功补偿鲁棒优化配置 [J]. 电网技术, 2016, 40 (12): 3880-3888.

[13] 王志群, 朱守真, 周双喜, 等. 分布式发电对配电网电压分布的影响 [J]. 电力系统自动化, 2004, 28 (16): 56-60.

(收稿日期: 2017-04-27) **EA**

(上接第71页)

表 原型设计

输入区	搜索区	搜索内容: 终端地址码、地址
	功能区	终端统计 终端监测
	条件区	管理单位、终端类型及规约类型更多条件
输出区	一级页面	搜索结果 230 MHz (数量) 负控 (合计/不在线) 集中器 (合计/不在线) 终端安装地址 终端地址码 (内容) 终端类型 (内容) 台区或用户名称 档案状态 (内容) 参数 项 任务 项 在线状态 (内容) 日均采集成功率 算费成功率 交采成功率
		终端地址码 在线状态 掉线时间 终端设备 终端类型 厂家 模块 资产 出厂编号 用户数量 电表 水表 同步日志 2017-01-31 同步成功
		终端采集 2017-01-31 日均xx% 交采 xx% 算费 xx% 本月透召xx%
		在线统计 2017年1月 31日 12点 掉线3次 2017年1月 31日 12点 掉线2次 维护记录 2017-1-31 维护人 维护内容 照片
		【我要维护】
	GIS区	1、根据左侧的查询结果, 完成在地图上的定位和绘制 2、根据右侧的绘制点, 查询出左侧终端信息

3 结束语

通过研究可视化的采集网络通道监测的关键技术, 及时发现并解决管辖区域内各供电部门采集网络通道遇到的故障点。同时通过与用电信息采集系统的终端在线情况实时数据相结合, 及时发现采集通道的问题点, 提高网络问题的响应及处理效率。本文在用电信息采集系统中采用基于全网络采集通道实时监测应用技术、基于地理空间密度的离散点聚类模型等技术, 目前国内用电信息采集系统领域属于首次应用, 在关键技术应用上具备推广应用价值。

参考文献

[1] 胡江溢, 祝恩国, 杜新纲, 等. 用电信息采集系统应用现状及发展趋势 [J]. 电力系统自动化, 2014 (2): 131-135.

[2] 张继承. 用电信息采集系统实用化关键问题与对策 [J]. 通信世界, 2013 (23): 54-55.

[3] 张钟玲. 用电信息采集系统功能及技术应用 [J]. 科技创新导报, 2013 (31): 47.

[4] 林伟雄. 电力用户用电信息采集系统的应用与管理维护 [J]. 机电信息, 2013 (15): 9-10.

(收稿日期: 2017-05-18) **EA**