

# 机械化施工在大型电网检修工程中的应用分析

黄凯<sup>1</sup>,张茜楠<sup>2</sup>,李强<sup>2</sup>,王辰<sup>2</sup>,冯帅<sup>2</sup>

(1.湖南电力工程咨询有限公司,湖南长沙 410007;2.陕西送变电工程有限公司,陕西西安 710014)

**摘要:**某±800 kV换流站是某省电网电压等级最高的直流特高压站。年度检修作业任务为某省电网换流站检修中规模最大的作业,整站设备均为特高压设备,电压等级高,检修作业停电方式复杂。为贯彻落实国家电网有限公司全面推进机械化施工的理念,进一步提升电网建设整体安全质量、效率效益水平,推动机械化施工在电网检修工程的落实落地,文中结合某±800 kV换流站年度检修工程实例,从施工机械资源配置、机械施工作业方案、风险控制和机械化评价等方面对其在大型电网检修工程中的应用效果进行分析研究。研究表明,机械化施工在大型电网检修工程中具有施工效率高、安全保障高的优势,可以进一步促进检修工程施工管理模式的转变,提高大型电网检修工程施工效率。

**关键词:**电网检修工程;特高压设备;机械化施工;施工管理

**中图分类号:**TM 754 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-348X(2025)05-0057-04

工在大型电网检修工程当中的应用。

## 0 引言

电网建设当前处在大发展、大建设阶段,计划开工、投产工程规模大幅增长,高风险作业数量激增,现场安全管控压力巨大。电网建设进入攻坚追赶新阶段,践行新发展理念对电网施工的能力和管理模式提出了更高的要求。因此,全面推广机械化施工,降低施工安全风险,提质增效,是加快推动实现“机械化换人、智能化减人”的有力举措。目前在输变电工程中,机械化施工的应用主要集中于输电线路工程<sup>[1]</sup>,因此,在电网检修工程中推动机械化应用落地具有领先意义。

某±800 kV换流站首次年度检修任务是某省电网检修规模最大、参与人数最多、机械投入最多、作业密集度最高的一次检修作业。通过优化检修作业模式,细化现场组织,创新完善检修方案,大量投入使用各类作业车平台,在检修作业中引入水冲洗设备,配齐配足作业机械装备,稳步提升大型电网检修工作的施工能力和支撑能力。其超大规模检修项目现场管理模式大量应用机械化施工,大幅提升了作业效率,显著降低了作业风险,有力保障了设备安全和作业安全,为某省电网建设在机械化施工领域提供了示范样本。文中以某±800 kV换流站年度检修工程中机械化施工为例,探究机械化施

## 1 工程概述

某±800 kV换流站是某±800 kV特高压直流输电工程的送端换流站,该工程是“西电东送”“北电南供”的能源大通道,是推进西部大开发与中部地区崛起的重点工程。工程自2021年8月6日投运以来,累计向湖北电网输送电量超过80亿kWh,有力促进了某省北部能源资源,特别是新能源的大规模开发利用,实现了西北、华中区域电网资源互补,助推绿色清洁能源外送,对促进“双碳”目标实现具有重要意义。

某±800 kV换流站年度首次检修工程用时13天,突破了传统大型检修工程人员投入大、人工成本高、施工速度慢、劳动强度大和施工安全风险高的局限性,通过全过程机械化施工,探索了由劳动密集型转为装备密集型的工程模式。该工程的圆满完成将有效提升某省电网特高压基础设施设备健康水平,保障全站设备大负荷长周期安全稳定运行,确保大电网安全运行和电力可靠供应,促进国家能源低碳转型奠定了坚实基础。

### 1.1 机械施工作业范围

某±800 kV换流站电网检修工程按照工作区域分成直流场、交流滤波场、GIS设备区、换流变设备

收稿日期:2024-08-27

作者简介:黄凯(1988),男,本科,工程师,研究方向为变电工程安装技术与应用、电力建设现场监督管理等。

区、阀厅等区域,各区域主要设备包括换流变 28 台、穿墙套管 8 支、平波电抗器 10 台、PLC 滤波器电抗器 14 台等。设备检修时,按照“先高空、后地面”的顺序,采取多点、多工作面平行进行的方式进行。机械施工主要应用于辅助完成各类设备的检修、清扫。

1.2 检修工程施工难点

该工程整站设备为特高压设备,电压等级高、结构复杂、检修过程中存在人员高处坠落和设备损坏的风险。检修工作参与班组、人员、机具、车辆多,专业分工细、时间紧、任务重、施工组织要求高,过程管控协调难度大;同时,检修工程在运行站内工作,停电方式复杂,涉及临近带电体作业较多,人身、设备及电网安全管控难度大。

2 电网检修工程机械化施工配置方案

2.1 施工机械的基本要求

1) 满足现场施工作业条件要求。为了促进在换流站检修中机械化施工的应用落地,针对某±800 kV 换流站年度首次检修作业时间短、检修设备多,检修过程须多个工作面平行开展,机械作业空间有限的难点,需要根据现场作业条件、作业空间合理选择机械,以充分发挥出机械施工的应用优势。

2) 满足检修工期要求。各机械设备之间应形成协调的作业关系,有机联动,形成合力,对此,应从机械设备规格、运行性能、施工工序等方面进行综合分析,确定施工方案,发挥机械设备最大利用率。

3) 具有高效、经济的特点。工程检修设备数量多,工作量大,施工期间存在诸多干扰因素,因此机械配置方案应能稳定运行,在确保检修质量的同时,缩短检修时间、提高效率,以减少在人力、机械等方面的成本投入,体现机械化施工的经济优势。

2.2 机械选择方案

电网检修工程中,大量投入机械作业车用于高处作业和清洗作业。通过对各类机械车辆性能参数和特性进行分析对比,得出以下结论:

剪刀式作业平台的剪叉机械结构使升降台起升有较高的稳定性,结构紧凑,宽大的作业平台和较高的承载能力,运输状态尺寸小的优点,使高空作业范围更大且可贴近工作面升降作业,适合多人同时作

业。它使高空作业效率更高,安全更保障。

直臂高空作业车是高空作业车的一种,用于高空作业、设备安装、检修等可移动性高空作业。一般工作高度从 14.2 ~ 43 m,高度活动范围大,能够提供平台快速升降功能。直臂式高空作业平台多用于高度要求较高的场所,此类机器安全性较好,移动方便。

曲臂式高空作业车移动方便、曲臂结构紧凑、强度高、重量轻,可直接接入交流电或采用车自身动力启动,架设速度快,具有伸缩臂,工作台既可升高又可延伸,还可 360°旋转,易于跨越障碍物到达工作位置。

水冲洗设备是通过高压水转换装置、喷射装置将水转换为高速的“水射流”的一种清洗设备,具有巨大的冲击能量,可以完成不同种类的清洗、清除任务。高压水清洗(超高压水清洗)和传统人工清洗相较,具有清洗效率高、范围广、效果好、环保等优势。

2.3 各配电区域施工机械选择方案

在大型检修工程全面应用机械化施工,坚持超前谋划、深度策划。综合考虑施工环境、作业周围空间、检修作业流程以及各级管理部门要求等方面,科学、合理进行配置。

1) 定区域定专业配置原则。共划定 750 kV GIS 区、750 kV 第一二大组交滤场及站用电区、750 kV 第三四大组交滤场区、双极直流场区、阀厅区、换流变区、接地极址区七大工作区域,如图 1 所示。在区域内固定配置作业机械、工器具、试验仪器,车辆、仪器现场定区域定路线,有效降低机械的跨区域流动,提升现场安全管控,提高检修质量。

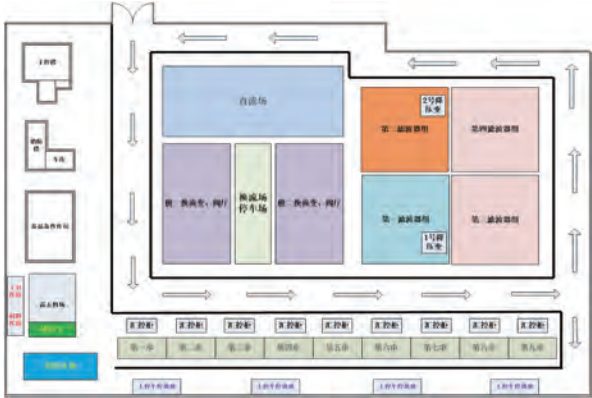


图1 某±800 kV 换流站年度检修工作区域平面图

2) 分级配置原则。在配电区域高空作业车的选型上,通常由检修设备高度、作业车可活动半径决定。对于高度 1.5 ~ 2 m 的装置设备,通常选择脚手架作

业;对于高度3~6 m的装置设备,可采用梯子进行作业;高度6 m以上的装置设备,分别选用作业高度为14 m、21 m、28 m和34 m的高空作业车。

以直流场区域机械配置为例,将直流场主要设备按照设备高度划分,如表1所示。

表1 高压电气设备作业车选型配置表

| 检修区域 | 检修内容             | 设备名称              | 设备高度/m | 车辆配置          |
|------|------------------|-------------------|--------|---------------|
| 直流场  | 检修1组:滤波器组        | HP6/12 直流滤波器高端电抗器 | 8.13   | 2台14 m剪刀车     |
|      | 检修2组:滤波器组围栏外其他设备 | 800 kV 极线直流分压器    | 17.6   | 4台28 m直臂斗臂    |
|      | 检修3组:直阻测量“十步法”   | 816 kV 直流隔离开关     | 18.8   | 2辆25 t带斗作业车   |
|      | 试验1组:电抗器分压器 避雷器  | 平波电抗器             | 20.49  | 2台28 m直臂高空作业车 |
|      | 试验2组:电容器组        | HP6/12 高压电容器      | 23.55  | 2台14 m剪刀车     |
|      | 试验3组:开关刀闸光CT     | 800 kV 旁路断路器      | 17.03  | 1台28 m直臂高空作业车 |

3) 机械设备适用性原则。水冲洗设备配置方面,检修中采用220 kW和380 kW两种功率的水冲洗设备,220 kW水冲洗设备17台,主要针对光CT等精细化要求较高的设备;380 kW设备10台,主要用于套管等大型设备的清洗。

### 3 风险控制措施

机械施工作业风险主要集中在临近带电作业,控制措施如下:

近电作业距离校核。根据《国家电网有限公司电力建设安全工作规程(第1部分 变电)》(Q/GDW 11957.1—2020)<sup>[2]</sup>中规定,±800 kV运行变电站设备作业时,作业人员或机械器具与带电设备风险控制值中规定750 kV为11.0 m。本次检修作业与带电体最小距离19 m大于11.0 m,满足施工要求。

如图2所示,在750区域近电距离核算中,750 kV II母、陕朔II线、陕清I线停电检修,与临近带电运行的陕朔I线、陕朔III线、陕清II线带电部位最近直线距离为19 m,大于安规11 m的安全距离,满足《国家电网有限公司电力建设安全工作规程(第1部分 变电)》(Q/GDW 11957.1—2020)要求;高空工作中,加强监护防止误碰设备,作业车置于平整坚实的地面,外壳接地,防止感应电伤人。

检修过程中,作业机械的升降臂、吊臂不得越过安全围栏;作业工具与带电设备间的安全距离不得小于表2所示的安全距离。

表2 起重机械与带电体的最小安全距离表

| 电压等级/kV | 安全距离/m | 电压等级/kV | 安全距离/m |
|---------|--------|---------|--------|
| 10及以下   | 3.00   | ±50及以下  | 4.50   |
| 20、35   | 4.00   | ±400    | 9.70   |
| 66、110  | 5.00   | ±500    | 10.00  |
| 220     | 6.00   | ±660    | 12.00  |
| 330     | 7.00   | ±800    | 13.10  |
| 500     | 8.85   | ±1 100  | 20.00  |
| 750     | 11.00  |         |        |
| 1 000   | 13.00  |         |        |

如检修区域处于带电区域,所有的作业车辆、施工机械,金属外壳试验设备,金属外壳的电动工具等必须可靠接地。

现场使用吊车、斗臂车时,对吊车、斗臂车司机,全员告知现场工作范围及带电部位,并保持足够的安全距离。

### 4 典型配电装置施工机械化率评价分析

#### 4.1 机械化率评价定义

为进一步全面深入推进机械化施工,对此次换流站年度检修工程的施工机械化率评价,实现变电检修工程机械化应用程度量化统计与分析,促进工程管理与技术创新,进一步提升工程建设安全、质量、效率、效益水平<sup>[3]</sup>。

在机械化施工这一过程中,其中机械化程度<sup>[4]</sup>可

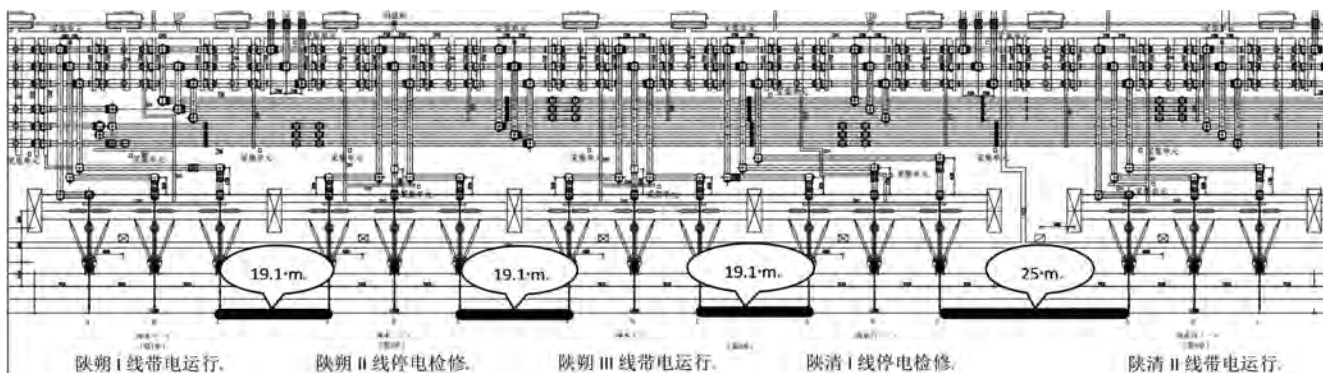


图2 某±800 kV换流站近电作业距离核算



表示为：

机械化应用率=各统计单元机械化应用率的算术平均值

由此能够看出,各单元机械化设备应用越多,高机械化设备越多,则表示施工中所实现的机械化程度越高。以直流场设备检修工作为例,机械化应用10分为标准,对各施工工序机械化应用程度进行评价,结果如表3所示。

表3 机械化应用率评价表

| 施工准备                                           |                               | 设备检修                                           |                               | 设备试验                                           |                               | 验收、消缺                                          |                               |
|------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------|
| 高机械化                                           | 低机械化                          | 高机械化                                           | 低机械化                          | 高机械化                                           | 低机械化                          | 高机械化                                           | 低机械化                          |
| 1.2分                                           | 0.8分                          | 2分                                             | 1分                            | 2分                                             | 1分                            | 1.2分                                           | 0.8分                          |
| 汽车吊、剪刀式作业车、直臂高空车、曲臂高空车、手动扳水冲洗设备、电动扳手、洒水车、电动角磨机 | 脚手架、梯子水桶、抹布、高空车、手动扳手、手工锉刀、三轮车 | 汽车吊、剪刀式作业车、直臂高空车、曲臂高空车、手动扳水冲洗设备、电动扳手、洒水车、电动角磨机 | 脚手架、梯子水桶、抹布、高空车、手动扳手、手工锉刀、三轮车 | 汽车吊、剪刀式作业车、直臂高空车、曲臂高空车、手动扳水冲洗设备、电动扳手、洒水车、电动角磨机 | 脚手架、梯子水桶、抹布、高空车、手动扳手、手工锉刀、三轮车 | 汽车吊、剪刀式作业车、直臂高空车、曲臂高空车、手动扳水冲洗设备、电动扳手、洒水车、电动角磨机 | 脚手架、梯子水桶、抹布、高空车、手动扳手、手工锉刀、三轮车 |
| 1.2                                            |                               | 2                                              |                               | 2                                              |                               | 1.2                                            |                               |
| 机械化应用率                                         |                               |                                                |                               | 6.4/10=64%                                     |                               |                                                |                               |

4.2 效率分析

结合某±800 kV 换流站检修施工方案和机械化的特点,经过与施工进度、施工方案的比对配合,进行机械配置方案优选,最终按照施工方案及工序,配置作业车52台,其中剪刀式作业平台18辆、高空作业车14辆(直臂、曲臂)、自行走作业车3辆、25 T吊车14辆、水冲洗设备27台,送水车3辆,试验仪器18类120余台套。

按照某±800 kV 换流站检修作业分区,对各区域主要检修设备任务量检修作业用时进行统计分析,结果如表4所示。

表4 检修设备工作量用时统计表

| 区域            | 主要设备          | 工作量 | 人工检修总用时/min | 引入机械化施工单台用时/min | 总用时/min |
|---------------|---------------|-----|-------------|-----------------|---------|
| 750 kV GIS区   | 进线 YH         | 24只 | 120         | 2 880           | 60      |
|               | 出线 PT、BL      | 24台 | 180         | 4 320           | 60      |
| 750 kV 交流滤波器场 | 750 kV 断路器    | 20台 | 360         | 7 200           | 60      |
|               | 750 kV 隔离开关   | 42组 | 200         | 8 400           | 60      |
|               | 交流滤波器组        | 18组 | 420         | 7 560           | 240     |
|               | 平波电抗器         | 10台 | 180         | 1 800           | 90      |
| 双极直流场区        | PLC滤波器电抗器     | 14台 | 180         | 2 520           | 90      |
|               | 直流断路器         | 9台  | 240         | 2 160           | 150     |
|               | 直流滤波器电容器及配电设备 | 2组  | 480         | 960             | 240     |
| 阀厅区           | 阀侧套管          | 48只 | 60          | 2 880           | 40      |
| 换流变区          | 换流变及其配电设备     | 28  | 240         | 6 720           | 120     |
| 累计总用时         |               |     | 47          |                 | 20      |
|               |               |     | 400         |                 | 190     |

通过以上区域主要设备检修用时计算可知,引入机械化施工方案进行现场检修作业,设备检修累

计时长为20 190 min(336.5 h),依靠人工检修累计用时47 400 min(790 h),检修作业时长节约50%,直接缩短检修作业工期。

4.3 机械作业优势

综上所述,分析传统人力施工与机械化施工特点,机械化施工具有明显的优越性:

- 1) 降低检修作业安全风险。在检修作业中全面应用机械化设备,配置不同性能的高空作业车,避免了施工人员大量的登高作业,有效压降作业风险,为检修作业提供安全保障<sup>[5]</sup>。
- 2) 提高施工效率。在检修设备清洗作业中,水冲洗设备的引入减少了人工擦洗设备工作耗时,极大的缩短了检修工作工期。
- 3) 降低施工成本。电网建设人力资源成本大幅度提高,机械化设备的应用取代了大量的人工劳动,大幅压降了检修工程作业人员数量,从而降低人工成本。
- 4) 提升标准化作业流程。通过机械化施工措施,进一步规范检修作业施工流程,强推标准化施工工法,推动标准化作业在现场的落地执行<sup>[6]</sup>。

5 结语

通过对某±800 kV 换流站年度检修工程机械化施工配置方案的应用分析,结合工程具体情况,制定了检修施工全过程机械化施工方案。按照施工区域分析了全过程机械化施工的机械配置、组合及应用情况,并对具有代表性的直流区域设备检修机械化率进行了评价,分析了全面应用机械化施工在安全、经济、人力等方面的优势。某±800 kV 换流站年度检修工程在检修过程中,通过采用机械化施工方案,提升检修工作效率50%,检修工程全过程机械化率达64%,标准化作业率100%,大幅提升电网检修作业效率。

在大型电网检修工程中,全面应用机械化施工是新时代电网建设的大趋势,既要依靠施工技术和装备的创新,又要着眼于施工全过程,结合施工方案,合理选用施工机械,提高施工效率,节约施工成本,可有效解决依靠大量人工进行作业造成的人工成本高、安全风险高的问题,实现施工由劳动密集型向机械密集型转型。

(下转第67页)

焊接对口处理不符合规范,存在应力集中区;采用降压吹管方式频繁开启、关闭阀门。在以上条件共同作用下,临冲门前侧主焊缝附近应力集中区开裂泄漏。

3) 建议安装蒸汽吹管临时管道时,支吊架应严格按照设计文件进行安装,带间隙值的支吊架应加强控制,保证安装精度满足要求。不同厚度焊件组对时,厚度差应按焊接技术规范进行处理,焊缝布置应符合技术规程要求。

### 参考文献:

- [1] 柯浩,孙涛,阎光宗,等.超临界机组调试阶段水冷壁爆管原因分析及对策[J].锅炉技术,2012,43(06):47-51,64.
- [2] 周奎应.超临界机组从基建到投产锅炉“四管”安全防护[J].中国特种设备安全,2010,26(06):68-71.
- [3] Zhang Y,Zhao Z,Zhang Q F,et al. Temporary Pipeline System Arrangement and Process Control for 600MW Transformation Unit Steam Blowing[J]. DEStech Transactions on Engineering and Technology Research, 2017.
- [4] 刘志江.超临界机组汽轮机固体颗粒侵蚀的综合研究[J].电力设备,2004(06):34-39.
- [5] 刘爽.汽轮机固体颗粒冲蚀特性及防治研究进展[J].装备制造技术,2023(07):210-212.
- [6] 段宝.350 MW 超临界 CFB 锅炉吹管技术探讨[J].中国特种设备安全,2022,38(08):21-24.
- [7] 王子非,魏翔,马野.锅炉吹管方式及参数的选择[J].电站系统工程,2022,38(02):39-40.
- [8] 国家能源局.火力发电建设工程机组蒸汽吹管导则:DL/T

1269—2013[S].北京:中国电力出版社,2013.

- [9] 刘华生,毛忠军.1000 MW 塔式锅炉机组蒸汽吹管方法实践应用[J].电力设备管理,2021(02):62-63.
- [10] 刘东,崔晓光,叶罗.1000 MW 超超临界二次再热机组锅炉蒸汽冲管[J].电力科技与环保,2019,35(01):43-45.
- [11] 李学军,刘发圣.超临界机组吹管技术浅析[J].江西电力,2014,38(01):87-89.
- [12] 陈有福,陶谦,管诗骅,等.1000 MW 二次再热示范机组降压冲管研究[J].中国电力,2016,49(11):112-118.
- [13] 唐敏.1000 MW 超超临界二次再热锅炉蒸汽吹管技术分析[J].机电信息,2016(09):80-81,83.
- [14] 高景辉,王林,杨博,等.国内首台二次再热机组锅炉混合吹管实践及优化[J].热力发电,2017,46(08):107-112.
- [15] 王林,刘辉,刘超,等.二次再热机组锅炉三段吹管技术研究[J].中国电力,2017,50(07):69-73,78.
- [16] 张幼林,刘嘉.二次再热机组二段吹管方法的选择[J].锅炉制造,2022(01):22-23.
- [17] 部俊锋,齐达立.二次再热机组降压吹管优化方案[J].热力发电,2019,48(08):131-134.
- [18] 李贵鹏.1000 MW 二次再热塔式锅炉吹管技术研究[J].山东电力技术,2021,48(11):77-80.
- [19] 张晓东,薛宏涛.超超临界二次再热机组锅炉吹管工艺探讨[J].电力勘测设计,2024(03):41-45.
- [20] 国家能源局.火力发电厂汽水管道路设计规范:DL/T 5054—2016[S].北京:中国电力出版社,2016.
- [21] 杨保林.600 MW 火电机组锅炉吹管临时管道强度计算及选择[J].城市建设理论研究(电子版),2018(14):3.
- [22] 国家能源局.火力发电厂焊接技术规程:DL/T 869—2021[S].北京:中国电力出版社,2021.

(上接第 60 页)

### 参考文献:

- [1] 董方.输电线路工程全过程机械化施工探究[J].电力设备管理,2021(08):129-131.
- [2] 国家电网有限公司.国家电网有限公司电力建设安全工作规程 第 1 部分:变电:Q/GDW 11957.1—2020[S].北京:中国电力出版社,2021.

- [3] 邵冬亮,王龙,李志,等.输电线路全过程机械化施工评价分析及工程应用[J].山东电力技术,2018,45(11):32-36.
- [4] 杨学军.输电线路全过程机械化施工应用与设计研究[J].通讯世界,2018(08):158-159.
- [5] 汤程,崔明杰,尹林.输电线路机械化施工在江西电网建设中的深化应用研究[J].江西电力,2018,42(05):34-36.
- [6] 张爱虎,苏小青,李峰.110 kV 输电线路机械化施工方案的深化应用[J].江西电力,2018,42(02):29-32.