

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.06.019

# 220 kV 单母线双断路器分段主接线方式 适用网架结构研究

高美金<sup>1</sup>, 余 鹏<sup>2</sup>, 诸言涵<sup>1</sup>, 黄民翔<sup>2\*</sup>

(1. 国网浙江省电力公司 经济技术研究院, 浙江 杭州 310008; 2. 国网江苏省电力公司  
经济技术研究院, 江苏 南京 210008)

**摘要:**针对 220 kV 单母线双断路器分段的新型主接线方式,结合浙江电网实际情况,在可靠性角度对其适用的网架结构进行了研究。提出了可能适用的 3 种典型网架结构,选择了合适的可靠性评价指标,建立了基于 RAMSES 的可靠性评估模型。分别选择 AIS 和 GIS 设备可靠性基础数据作为模型基础输入数据,与使用双母线的接线方式进行了对比,运用解析的概率分析法,对网架进行了故障模拟及故障后果分析,计算了不同典型网架结构情况下使用不同接线方式的故障概率、故障频率、电力不足期望值(EPNS)、电量不足期望值(EENS)。预设多组 GIS 设备可靠性基础数据,验证了不同的 GIS 设备可靠性基础数据设定对计算结果的影响。对 3 台主变压器两种不同的建设时序进行了可靠性评估,在可靠性角度给出了建设时序建议。研究结果表明,该接线方式在可靠性角度适用于所提出的单环网和双环网典型网架结构。

**关键词:**单母线双断路器分段接线;网架结构;可靠性

中图分类号:TM631

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2017)06-0648-05

## Applicable grid structure of 220 kV main connection mode of two section single bus with tow circuit breaker

GAO Mei-jin<sup>1</sup>, YU Peng<sup>2</sup>, ZHU Yan-han<sup>1</sup>, HUANG Min-xiang<sup>2</sup>

(1. State Grid Zhejiang Electric Power Corporation Economic and Technology Research Institute, Hangzhou 310008, China;  
2. state arid Jiangsu Electric Power Corporation Economic and Technology Research Institute, Nanjing 210008, China)

**Abstract:** Aiming at the new wiring form of 220 kV main connection mode of two section single bus with tow circuit breaker, the applicable grid structure was studied in terms of reliability, combined with the actual situation of zhejiang power grid. Three typical grid structures were proposed and the reliability evaluation model based on RAMSES was established with appropriate reliability evaluation index. The basic reliability data of AIS and GIS equipment were selected as the basic input data of the model respectively. Compared with the double bus connection method, the analytic probabilistic analysis method was used to simulate the failure of the grid and analyze the consequence of the failure, and to calculate the failure probability, failure frequency, EPNS and EENS of different typical grid structures with different wiring. The basic reliability data of multiple GIS equipment were preset to validate the influence of different basic GIS equipment reliability settings on the calculation results. The reliability evaluation of two different construction timings of three main transformers was given, and the construction timing suggestions were given in terms of reliability. The results indicate that the proposed wiring is applicable to the typical single-ring network and double-ring network structure proposed in the view of reliability.

**Key words:** single bus with tow circuit breaker in system; grid structure; the reliability

收稿日期:2016-11-17

作者简介:高美金(1980),女,浙江杭州人,高级工程师,主要从事变电站电气设计方面的研究. E-mail:1003112771@qq.com

通信联系人:黄民翔,男,教授. E-mail:huangmx@zju.edu.cn

## 0 引言

变电站电气主接线是否具有足够的可靠性直接关系到电力系统供电任务的完成与否<sup>[1]</sup>。变电站的主接线形式逐渐发生演变。从形式上看,变电站电气主接线形式的发展大致经历了由简单到复杂,再由复杂到简单的过程<sup>[2]</sup>。

文献[3]详细讲述了 GIS 设备的发展和应用;文献[4]结合低维护、高可靠性的 GIS、DCB 及 GIL 母线设备的应用,针对主变规模为 3 台的 220 kV 变电站,创新提出了单母线双断路器分段接线方式,但其未对所提接线方式适用的典型网架结构进行分析;文献[5]对 220 kV 电网远景目标网架典型结构进行了研究,对典型网架结构的可靠性、供电能力等进行了简单的定性分析;文献[6]针对广州 220 kV 电网的典型网架结构进行了探讨,提出一种新的网架结构,并与现有网架结构进行了对比。但文献[5,6]着眼于定性分析,缺少定量计算。

本研究提出单母线双断路器分段新型接线方式并对其进行基本论证的基础上,把该接线方式和双母线接线方式在网架中的应用进行探讨研究,并在可靠性角度对单母线双断路器分段接线方式建设时序进行研究。

## 1 220 kV 单母线双断路器分段接线方式概述

针对规模为 3 台主变压器的 220 kV 变电站,本研究提出单母线双断路器分段接线方式,其接线示意图如图 1 所示。

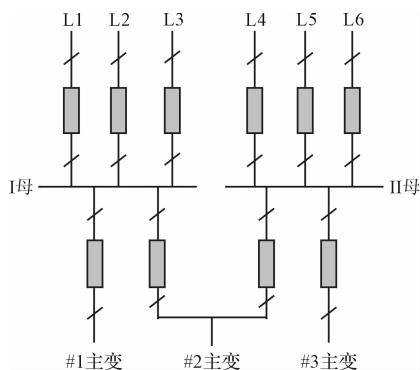


图 1 220 kV 单母线双断路器分段接线示意图

由图 1 可知,该接线具有两段母线接线,两段母线通过两台断路器构成联络,一回主变进线回路连接于两台断路器之间。

目前 220 kV 变电站电气主接线常用双母线接线

方式,本研究所提接线方式与之相比主要有以下特点:

- (1) 由于主变布置和线路回路分布的特点,任意主变故障不影响负荷供电,任意段母线故障均能确保两台主变正常运行;
- (2) 两段母线在分段断路器故障时短时并列运行;
- (3) 满足系统解列运行要求的同时,电气元件比双母线接线少。

## 2 典型网架结构初选

根据浙江省实际情况,参考浙江电网规划设计技术原则,220 kV 受端电网的结构应符合以下条件:

- (1) 以 500 kV 变电站为中心,实现分片供电,正常方式下各分区间相对独立,各区之间具备线路检修或方式调整情况下一定的相互支援能力;
- (2) 为了高区域电网的供电可靠性和供电能力,防止事故下的变电站全停,220 kV 受端电网一般采用双回路环网结构;
- (3) 为兼顾相邻 500 kV 变电站供区之间的事故备用,部分 220 kV 变电站可采用双回路链式结构,每 1 链中 220 kV 变电站的数量不宜超过 2 座;
- (4) 220 kV 变电站不采用“T”接线方式构网;
- (5) 在电网发展的过渡年份,分区电网可采用从 2 座 500 kV 变电站受电的结构,包括采用链式结构,但每 1 链中所接 220 kV 变电站的数量不宜超过 3 ~ 4 座<sup>[7-10]</sup>。

本研究初选 3 种典型网架结构:单环网结构如图 2 所示。双环网结构如图 3 所示。两个分区单环网互联结构如图 4 所示。

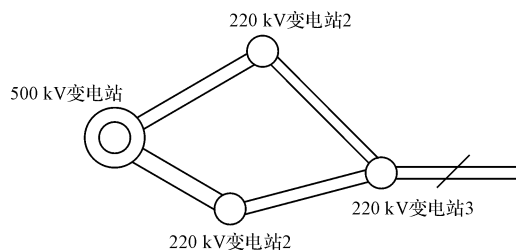


图 2 典型网架结构一

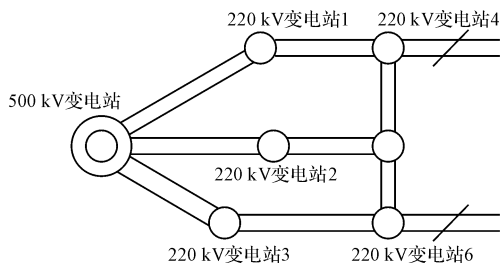


图 3 典型网架结构二

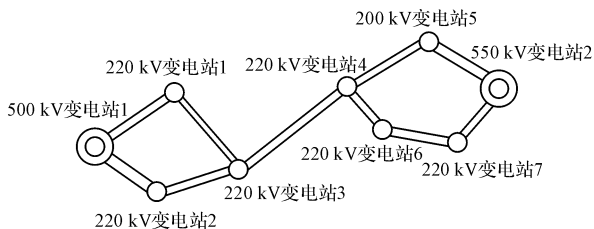


图 4 典型网架结构三

以图 3 为例,“500 kV 变电站 + 220 kV 变电站 1 + 220 kV 变电站 4”为链 1,“500 kV 变电站 + 220 kV 变电站 2 + 220 kV 变电站 5”为链 2,“500 kV 变电站 + 220 kV 变电站 3 + 220 kV 变电站 6”为链 3,链 1 与链 2 连接构成一个环网,链 2 与链 3 连接构成一个环网,同时链 1 与链 3 又分别与外界构成联络,每条链中 220 kV 变电站的数量未超过 2 座。

以图 4 为例,“500 kV 变电站 1 + 220 kV 变电站 2 + 220 kV 变电站 3”为链 1,“500 kV 变电站 2 + 220 kV 变电站 7 + 220 kV 变电站 6 + 220 kV 变电站 4”为链 2,链 1 与链 2 属于不同的环网,通过联络连接在一起,链 1 上 220 kV 变电站 2 座,链 1 上 220 kV 变电站 3 座,满足上文第 5 条中“每 1 链中所接 220 kV 变电站的数量不宜超过 3~4 座”的要求。

上述两种电气主接线方式接线图如图 5、图 6 所示。

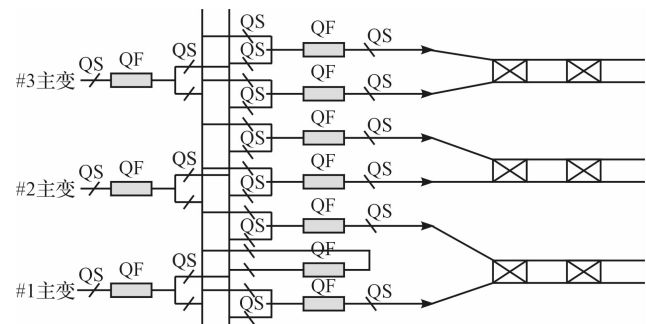


图 5 双母线接线方式

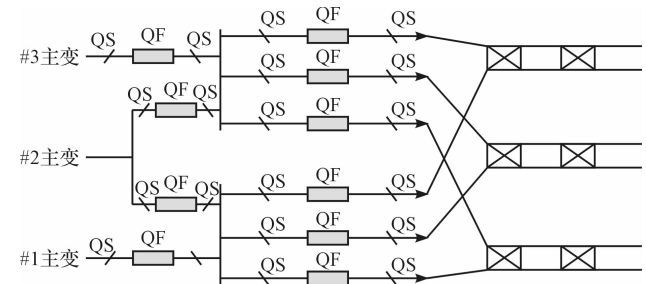


图 6 单母线双断路器分段接线方式

其中,变电站规模均为:主变  $3 \times 180$  MVA,出线 6 回。

### 3 基于 RAMSES 的可靠性建模

#### 3.1 原理及流程

电网随机可靠性分析软件 RAMSES 由德国亚琛工业大学开发,可用于对特定系统进行故障模拟及故障后果分析,并进行量化的可靠性评估<sup>[11]</sup>。

RAMSES 必需的输入模块由 4 个文件组成,第 1 个文件完整地描述电网络的结构;第 2 个文件描述网络元件的电气属性;第 3 个文件描述各元件的可靠性;第 4 个文件描述整个网络的负荷和发电机情况<sup>[12-13]</sup>。

本研究首次实现了 RAMSES 对电气主接线及考虑电气主接线形式的典型网架结构的可靠性评估建模,把电气主接线形式、典型网架结构拓扑及相关元件参数数据化,作为输入数据。检查输入数据后,相应的故障组合就被确定。然后,通过对所有预想故障进行后果分析,可以确定电能供应的缺失,预想故障有单重故障和指定开断的重叠故障。中性点经补偿接地的网络的多重接地故障也被考虑在内。本研究将故障模型及其统计参数赋值给产生的故障,通过马尔可夫模型,即可解析得出可靠性指标。

RAMSES 计算流程图如图 7 所示。

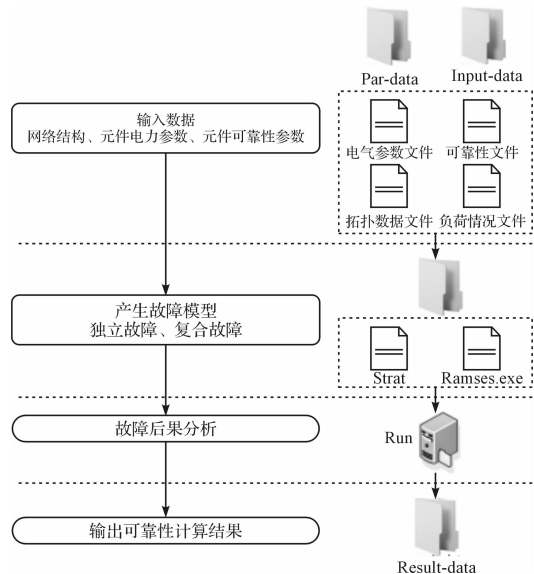


图 7 RAMSES 计算流程图

#### 3.2 基础数据及评价指标

本研究以中国电力企业联合会 2006~2010 年《220 kV 及以上电压等级变压器、断路器、架空线路等 13 类输变电设施的运行可靠性指标》作为可靠性计算中相关设备可靠性基础数据。由于中电联未发布 GIS 设备可靠性基础数据,本研究在进行相关计算时预设 GIS 设备可靠性基础数据为 AIS 设备可靠性基础数据的 90%。选用故障概率、故障频率、电力不足期望值

(EPNS)、电量不足期望值(EENS)作为各方案可靠性评估指标。

## 4 可靠性算例分析

### 4.1 计算边界条件

计算边界条件设定如下:

(1)220 kV 出线 6 回,110 kV 侧采用单母线三分段接线,10 kV 侧采用单母线分段接线;

(2)线路型号为 LGJ-2 × 400,单回线路输送功率 200 MW;

(3)500 kV 变电站主变规模为 240 MVA,远期负荷 400 MW;220 kV 变电站主变规模为 180 MVA,远期负荷 200 MW;

(4)变电站穿越功率设定如下:图 2 中 220 kV 变电站 1 和 2,图 3 中 220 kV 变电站 1、2、3、5,图 4 中 220 kV 变电站 1、2、5、6、7 穿越功率 300 MW,其余 220 kV 变电站穿越功率 600 MW,500 kV 变电站穿越功率为 0 MW;

(5)架空线路故障修复时间:20 h;变压器故障平均修复时间:90 h;断路器故障平均修复时间:1 h;母线故障平均修复时间:10 h;开关设备切换操作时间:0.1 h。

针对上述 4 种典型网架结构,本研究设定两种方案。

(1)所有 220 kV 变电站电气主接线都采用双母线接线方式;

(2)所有 220 kV 变电站电气主接线都采用单母线双断路器分段接线方式。

### 4.2 计算结果

根据理论及计算边界条件,3 种典型网架结构可靠性计算结果如表 1、表 2 所示(其中:结构用 S 表示,方案用 M 表示,不同结构对应的不同方案用 Sa-Mb 表示,如 S1-M1 表示结构一对应的方案一,以此类推)。

表 1 基于 AIS 设备的网架可靠性计算结果

指标	故障概率	故障频率	EPNS/ (MW·次·a <sup>-1</sup> )	EENS/ (MW·h·a <sup>-1</sup> )
S1-M1	5.564 2E-04	1.187 4	78.718 6	1 379.76
S1-M2	5.109 9E-04	1.135 9	59.343 7	1 185.95
S2-M1	4.944 8E-04	1.103 4	139.644 6	2 501.42
S2-M2	4.360 0E-04	0.952 7	108.303 8	1 997.42
S3-M1	7.191 2E-04	1.576 5	181.370 9	3 192.66
S3-M2	7.213 6E-04	1.609 4	187.851 9	3 297.75

表 2 基于 GIS 设备的网架可靠性计算结果

指标	故障概率	故障频率	EPNS/ (MW·次·a <sup>-1</sup> )	EENS/ (MW·h·a <sup>-1</sup> )
S1-M1	5.063 5E-04	1.073 4	70.248 5	1 241.78
S1-M2	4.547 8E-04	1.033 7	52.347 1	1 053.12
S2-M1	4.489 9E-04	1.004 1	126.685 6	2 256.03
S2-M2	3.919 7E-04	0.867 0	97.798 3	1 797.68
S3-M1	6.472 0E-04	1.417 3	162.453 9	2 859.66
S3-M2	6.492 2E-04	1.454 9	170.453 0	2 986.67

由上述计算结果可知,在典型网架结构一和典型网架结构二情况下,方案二可靠性指标显著优于方案一可靠性指标,即本研究所提 220 kV 单母线双断路器分段接线方式适用于这两种典型网架结构;在典型网架结构 3 情况下,方案一可靠性指标优于方案二可靠性指标,即本研究所提 220 kV 单母线双断路器分段接线方式不适用于该网架结构。从两种接线方式特点和典型网架结构角度分析,本研究所提接线方式受母线故障影响较大,典型网架结构一和典型网架结构二可看作是环网结构和双环网结构,当某一条线路故障时仍有其他线路与外界构成联络,这种结构会弱化某一线路故障对网架造成的影响。结构三可看作是两个环网结构分区互联,又叫做自愈式环网结构,联络通道故障将对整体网架可靠性造成较大影响,故本研究所提接线方式在可靠性角度无优势。目前,浙江省电网也形成了以结构一和结构二为主的网络结构形式,结构三在实际运行中,根据运行的需要,分区间的联络线断开运行,即实际运行环境主要仍为以各 500 kV 变电站为核心的分区片供电模式。

综上,本研究所提 220 kV 单母线双断路器分段接线方式在典型网架结构一和典型网架结构二中有明显的可靠性优势,就可靠性角度而言,推荐在这两种典型网架结构情况下使用本研究所提接线方式。

### 4.3 GIS 设备基础数据设定对网架可靠性影响分析

基于 GIS 设备的可靠性计算过程中均设定 GIS 设备可靠性基础数据为 AIS 设备的 90%,为了分析不同的 GIS 设备可靠性基础数据对计算结果的影响,本研究分别设定 GIS 设备可靠性基础数据为 AIS 设备可靠性基础数据的 80%、85%、95% 进行对比分析。

不同 GIS 与 AIS 设备可靠性基础数据比值下 3 种典型网架架构可靠性评价指标变化趋势如表 3 所示。

由此可知,当取不同 AIS 与 GIS 设备可靠性基础数据比值时,不同典型网架结构及不同方案情况下对应的 4 个可靠性指标随着比值的增加呈线性递增趋势,并且同种典型网架结构中不同的两种方案的可靠性指标相对大小关系未改变。这说明设定不同的 AIS 与 GIS 设

备可靠性基础数据比值对最终各方案优劣比选结果无影响,这也进一步论证了上述关于本研究所提接线方式适用于典型网架结构一和典型网架结构二的结论。

表 3 不同 GIS 与 AIS 设备可靠性数据比值下可靠性指标

不同比值	0.8	0.85	0.95	
故障概率	S1-M1	4.406 9E-04	4.679 5E-04	5.291 6E-04
	S1-M2	4.047 0E-04	4.292 3E-04	4.849 3E-04
	S2-M1	3.906 4E-04	4.178 4E-04	4.697 6E-04
	S2-M2	3.444 4E-04	3.671 1E-04	4.142 0E-04
	S3-M1	5.681 0E-04	6.069 3E-04	6.831 6E-04
	S3-M2	5.698 7E-04	6.088 3E-04	6.852 9E-04
故障频率	S1-M1	0.940 4	0.998 6	1.126 8
	S1-M2	0.899 6	0.954 2	1.079 1
	S2-M1	0.871 7	0.932 4	1.048 3
	S2-M2	0.752 7	0.802 2	0.904 5
	S3-M1	1.245 4	1.330 5	1.497 7
	S3-M2	1.271 4	1.358 3	1.528 9
EPNS	S1-M1	62.345 1	66.202 3	74.696 1
	S1-M2	47.000 2	49.848 7	56.305 3
	S2-M1	110.319 2	117.999 7	132.662 4
	S2-M2	85.560 0	91.191 8	102.823 6
	S3-M1	143.283 0	153.077 0	172.302 4
	S3-M2	148.403 0	158.547 0	178.459 3
EENS	S1-M1	1 092.77	1 160.38	1 310.91
	S1-M2	939.27	996.20	1 126.65
	S2-M1	1 976.12	2 113.70	2 378.85
	S2-M2	1 577.96	1 681.83	1 895.55
	S3-M1	2 522.20	2 694.60	3 033.02
	S3-M2	2 605.22	2 783.30	3 132.86

#### 4.4 建设时序

单母线双断路器分段接线方式如图 6 所示,建设过程存在先上#1、#2 主变与先上#1、#3 两种方案,本研究从可靠性角度计算两种不同过渡方式单站的可靠性大小,以比较不同建设时序单站可靠性大小。计算中基本参数设定同上,相关设备采用 AIS 设备可靠性基础数据,计算结果如表 4 所示。

表 4 不同过渡方案可靠性

指标	故障概率	故障频率	EPNS/ (MW·次·a <sup>-1</sup> )	EENS/ (MW·h·a <sup>-1</sup> )
上#1、#2	3.583 6E-04	0.810 84	23.119 6	467.23
上#1、#3	4.031 5E-04	0.905 4	27.743 5	568.47

由表 4 计算结果可知,上#1、#2 主变单站的可靠性指标优于上#1、#3 可靠性指标,即本研究所提单母

线接线方式在建设时应采取先上#1、#2 主变的方式。

## 5 结束语

本研究继针对规模为 3 台主变压器的 220 kV 变电站提出了单母线双断路器分段接线方式之后,给出了 3 种典型网架结构,预设了 GIS 设备可靠性基础数据,分别作为可靠性基础数据输入 RAMSES,首次实现了 RAMSES 对电气主接线及考虑电气主接线形式的典型网架结构的可靠性评估建模。针对不同网架结构产生包含独立故障和多重故障的故障模型,进行故障后果分析,并运用基于解析的概率分析法进行可靠性计算,以评估本研究所提接线方式在不同典型网架结构中的可靠性。

#### 参考文献(References):

- [1] 聂杰良. 变电站电气主接线可靠性与经济性评估[D]. 北京:华北电力大学(北京)电气与电子工程学院,2008.
- [2] 蔡伟君. 电站电气装置型式变化情况及前景探讨[J]. 广东科技,2009(18):233-234.
- [3] 陈 飞. GIS 设备的发展和应用程序研究[D]. 杭州:浙江大学电气工程学院,2007.
- [4] 高亚栋,高美金,陈 飞,等. 220 kV 单母线双断路器分段主接线方式研究与应用[J]. 机电工程,2016,33(10):1242-1247.
- [5] 范传光,王琬晴. 220 kV 电网远景目标网架典型结构研究[J]. 湖北电力,2014(12):4-7.
- [6] 董 红,马冠雄,翟世涛. 广州 220 kV 电网典型网架结构选择初步探讨[J]. 广东电力,2016(8):7-10,16.
- [7] 国家电网公司基建部. 国家电网公司输变电工程通用设计 110(66)-220kV 智能变电站施工图设计(2013 版)[M]. 北京:中国电力出版社,2013.
- [8] 水利电力部西北电力设计院. 电力工程电气设计手册(电气一次部分)[M]. 北京:中国电力出版社,1989.
- [9] 徐卫君,许 可. 有 3 台主变的 220 kV 变电所主接线方式[J]. 工程技术,2009(1):76.
- [10] 祝艳芳. 4 台主变的 220 kV 变电所主接线探讨[J]. 电力勘测设计,2004,12(4):67-71.
- [11] 徐国丰,黄民翔,韩 辉,等. 基于 RAMSES 的特高压电网可靠性充裕度评估[J]. 电力自动化设备,2012,32(6):99-102,124.
- [12] 朱洪亮,周显甬,尹建兵,等. 基于 RAMSES 的 220 kV 输电系统可靠性研究[J]. 浙江电力,2011,30(6):1-3,8.
- [13] 史济全,黄民翔. 基于 RAMSES 的配电网可靠性定量分析[C]//中国高等学校电力系统及其自动化专业第二十四届学术年会论文集(上册). 北京:中国农业大学,2008.

[编辑:李 辉]

本文引用格式:

高美金,余 鹏,诸言涵,等. 220 kV 单母线双断路器分段主接线方式适用网架结构研究[J]. 机电工程,2017,34(6):648-652.

GAO mei-jin, YU Peng, ZHU yan-han, et al. Applicable grid structure of 220 kV main connection mode of two section single bus with tow circuit breaker[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2017,34(6):648-652.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>