

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.10.017

220 kV 单母线双断路器分段主接线 方式研究与应用

高亚栋^{1,2}, 高美金^{1,2}, 陈 飞^{1,2}, 楼秉吾^{1,2}, 金国胜^{1,2}

(1. 国网浙江省电力公司 经济技术研究院, 浙江 杭州 310008;

2. 浙江浙电经济技术研究院有限公司, 浙江 杭州 310014)

摘要:针对双母线接线在低维护、高可靠性母线设备(GIS、DCB及GIL)应用时的适应性问题,对主变规模为3台的220 kV变电站,创新提出一种单母线双断路器分段的新型电气接线方式,使任何一段母线停电均能确保两台主变正常运行。并从可靠性、灵活性、经济性3个方面出发,运用故障模式和后果分析法(FMEA),将单母线双断路器分段接线与双母线接线方式进行了全方面的比较和阐述。研究表明,单母线双断路器分段接线方式在提升可靠性的同时,还能降低投资成本,同时兼顾日常运行和远期扩建等方面的灵活性,具有较大推广和工程应用的价值。

关键词:单母线双断路器分段接线;可靠性;灵活性;经济性

中图分类号:TM631

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2016)10-1242-06

Research and application of 220 kV main connection mode of two section single bus with tow circuit breaker

GAO Ya-dong^{1,2}, GAO Mei-jin^{1,2}, CHEN Fei^{1,2}, LOU Bing-wu^{1,2}, JIN Guo-sheng^{1,2}

(1. State Grid Zhejiang Economic Research Institute, Hangzhou 310008, China;

2. Zhejiang Electric Power Economic Research Institute, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Aiming at the adaptability of double-bus with the application of low maintenance and high reliability bus (GIS, DCB and GIL bus), a new main electric connection scheme for a two section single bus with tow circuit breakers was proposed for the designed capacity of three main transformers in a 220 kV substation. Two main transformers were able to be maintained in operation with this mode, in case a power outage occurs on either bus. The connection mode of two section single bus with tow circuit breakers and the one of double bus were compared and analyzed by using the failure mode and effects analysis (FMEA) method, in the three aspects of reliability, flexibility and economical efficiency. The results indicate that the connection mode of two section single bus with tow circuit breakers has great value in engineering applications, which can increase the reliability and reduce the cost of investment. The flexibility required for daily operation and future expansion can be taken into account at the same time.

Key words: single bus with tow circuit breakers in system; the reliability; the flexibility; the economical efficiency

0 引 言

变电站是电力系统中能量传输与分配的节点,电

气主接线则是构成变电站的重要环节,其结构直接影响设备选型、配电装置布置、继电保护配置、自动装置和控制方式选择等,与电力系统整体及变电站运行的可靠性、灵活性和经济性密切相关^[1]。

收稿日期:2016-03-31

作者简介:高亚栋(1978-),男,浙江湖州人,硕士研究生,高级工程师,主要从事变电工程设计和管理工作。E-mail:gyd_zj@163.com

目前,在国家电网公司 220 kV 变电站 27 个通用设计方案中,25 个方案远景配置 3 台主变压器,占方案总数的 92.6%,在浙江电网,新建 220 kV 变电站则全部采用远景 3 台主变的通用设计方案。远景 3 台主变的 25 个通用设计方案中,15 个方案 220 kV 主接线采用双母线接线、6 个方案采用双母线单分段接线,4 个方案采用线变组接线或桥接线,双母线接线为主流接线方式^[2-4]。

对于规模为 3 台主变的 220 kV 变电站,可以沿用传统的设计思维,220 kV 主接线采用双母线接线,两组母线同时工作,通过母联断路器实现并列运行,通过倒闸操作实现可靠供电。但随着电网的发展、新设备的应用,高可靠性的供电是否必须通过设备的冗余配置、繁复的电气操作才能实现,双母线接线是否是最适合的主接线方式,是值得思考的问题。

本研究对此进行专题研究与探讨,创新设计,提出 220 kV 单母线双断路器分段主接线方式,经技术经济比较,给出该主接线方式的应用条件。

1 现有 220 kV 主接线技术分析

目前,随着新技术、高质量电气产品的广泛应用,在某些条件下采用简单主接线方式比复杂主接线方式更可靠,变电站主接线日趋简化^[5-7]。

1.1 技术特点

220 kV 电气主接线主要分为无汇流母线接线和有汇流母线接线两大类。常用的无汇流母线接线主要包括线变组接线、桥接线等方式,接线简单清晰,设备少、占地小、扩建余地较小,通常用于终端变电站。有汇流母线接线主要包括单母线接线、单母线分段接线和双母线接线、双母线分段接线。单母线、单母线分段接线具有接线简单清晰、设备少、操作方便,便于扩建和采用成套配电装置等优点,但可靠性相对较低,母线故障或检修情况下,停电范围大,主要适用于容量小、线路少的变电站。双母线、双母线分段接线具有供电可靠、调度灵活、扩建方便、便于试验等优点,但该接线母线隔离开关多、母线长度长、配电装置占地面积大,在进行倒换母线的操作时,母线隔离开关操作频繁,易发生误操作,主要适用于在电网中居重要地位、电力负荷大、出线回路多的变电站^[8]。

1.2 应用分析

为降低母线检修或故障时对供电的影响,在出线

间隔较多时,重要 220 kV 变电站传统的设计理念中往往采用双母线接线,这在国家电网公司的通用设计方案也得到了充分体现。

目前,变电站中最广泛应用的仍是传统空气绝缘 AIS 设备,其主要电气设备均裸露直接与空气接触。AIS 设备经过多年技术钻研和工艺磨合,制造水平达到了较高的水平,造价低,安装调试方便,应用技术成熟,但由于设备包括母线均直接暴露在空气中,易受环境、气候的影响,可靠性水平相对偏低,在 AIS 变电站中应用双母线接线能有效提高供电可靠性。

随着技术的发展,气体绝缘的 GIS 设备已经在电力系统中推广应用,近两年一体化集成断路器、接地开关、互感器的隔离式断路器(DCB)设备以及 GIL 母线也开始在变电站中试点应用,GIS、DCB 设备相比较于 AIS 设备最大的特点是低维护、高可靠性(比如 DCB 其主要部件的维护周期可达 20 年),采用封闭母线,母线故障率低^[9-12]。在此类变电站的设计中,是否仍沿用惯性思维,采用双母线接线方式,值得探讨。

2 220 kV 单母线双断路器分段接线方式

本研究针对规模为 3 台主变压器的 220 kV 变电站,结合 GIS、DCB 设备的应用,创新研究提出了一种新型电气接线型式,称为单母线双断路器分段接线,该接线采用两段母线接线,母线之间通过两台断路器构成联络,同时在这两台断路器之间连接有一回主变进线回路。

单母线双断路器分段接线中,按同名回路接于不同母线的原则,在线路同杆双回架设时,若采用两段母线常规一字排列方式,将导致线路在变电站出口处交叉,为解决该问题,此种情况下建议采用两段母线平行排列方式,可有效解决线路交叉问题。

单母线双断路器分段接线,与双母线接线相比,其主要特点是:两台主变压器回路分别接入不同母线,线路回路均分在两组母线,第三台主变分别通过断路器跨接于两段母线之间,任何一段母线故障均能确保两台主变正常运行,任何 1 台主变故障不影响负荷供电;分段断路器故障时,两段母线短时并列运行;可满足系统解列运行的要求,电气元件比双母线接线少。其主要缺点是母线故障时,该段母线线

路停电,但在采用 GIL 等少维护、高可靠性母线时,母线检修或故障概率较小,该缺点不会成为主要矛

盾。单母线双断路器分段接线母线不同排列方式如图 1 所示。

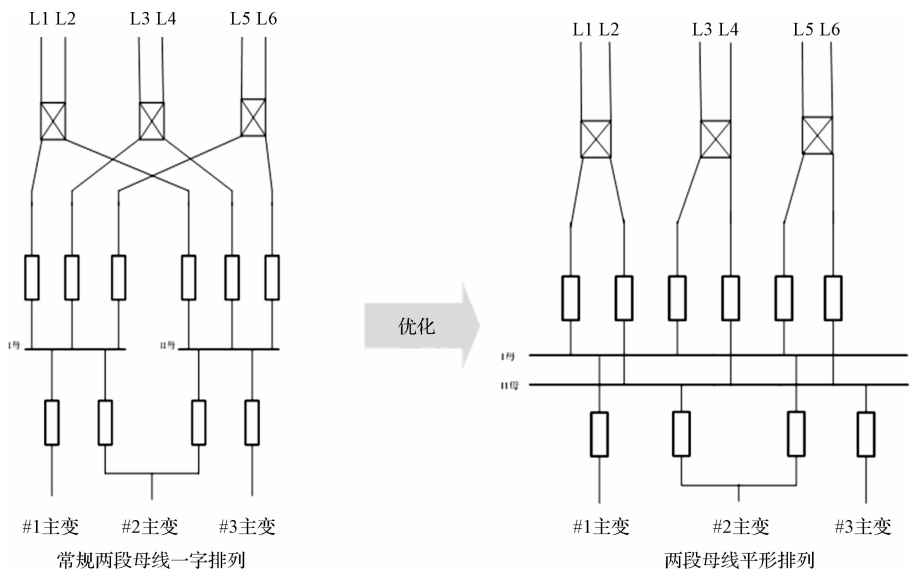


图 1 单母线双断路器分段接线母线不同排列方式

3 技术经济比较

本研究针对 220 kV 双母线接线、220 kV 单母线双断路器分段接线两种主接线方式,设定 3 台主变压器、6 回 220 kV 进线的建设规模,正常运行方式下 220 kV 双母线、单母线双断路器分段接线结构示意图见图 2 所示。

图中带编号的设备均投入运行,以下从可靠性、灵活性、经济性等方面进行技术经济比较。

3.1 可靠性分析

在可靠性分析中,假定以下条件:①220 kV 线路均具备作为电源进线的条件,忽略系统联络及穿越功率越限的可能;②考虑正常运行时单一元件故障或检修、检修状态时单一元件故障两类情况,忽略双重以上故障形式。

(1)定性分析。母线、断路器及母线隔离开关的故障率是影响可靠性指标的关键因素。两种接线方式下,母线故障(包括隔离开关、断路器故障)时,接于该段母线所有进出线回路停运,双母线接线通过倒排操作可将进出线切换至正常母线(母联断路器故障除外),缩短停电时间。同时,由于双母线接线电气元件多,尤其是隔离开关数量、母线长度的增加,加大了故障发生概率,影响供电可靠性。

相比双母线接线,本研究提出的单母线双断路器分段接线,结构简单,设备数量与单母线分段接线相当,比双母线接线大幅减少。由于未设母线联络开关,故障模式较双母线接线少,任意元件故障,均不存在全站停电的情况,对故障频率指标有积极贡献。

双母线、单母线双断路器分段接线具体故障模式如表 1 所示。

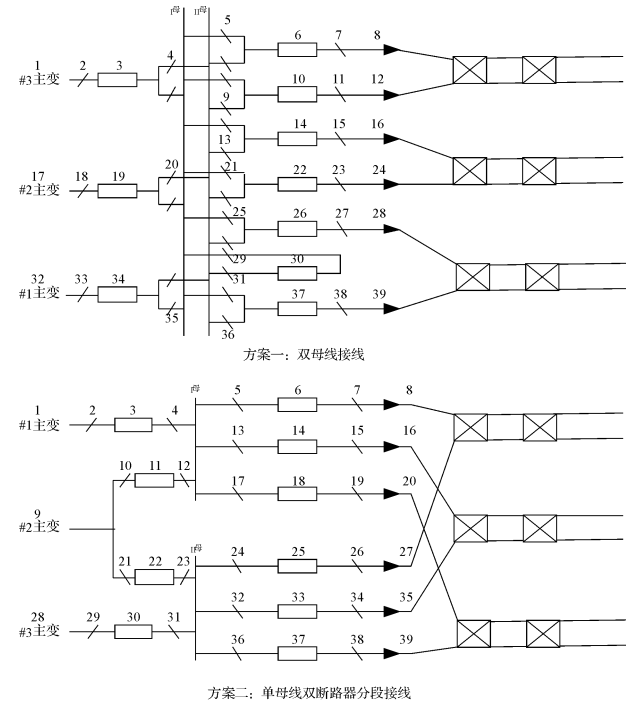


图 2 双母线、单母线双断路器分段接线对比示意图

表 1 双母线、单母线双断路器分段接线故障模式表

主接线	故障模式	故障元件编号	停运对象	停电时间
双母线	线路本身故障	8	8	故障元件修复后恢复供电
	线路隔离开关故障	7	8	故障元件修复后恢复供电
	线路、主变断路器故障	6/34	32,8,24,28	半个站停电,隔离后非故障回路恢复供电
	母线隔离开关故障	4/9/31	1,17,12,16,39	半个站停电,隔离后非故障回路恢复供电
	母线故障	1 母	1,17,8,24,28	半个站停电,母线倒闸后恢复供电
	母联断路器故障	30	1,17,32,8,12,16,24,28,39	全站停电,隔离后恢复供电
单母线双断路器分段接线	线路本身故障	8	8	故障元件修复后恢复供电
	线路隔离开关故障	7	8	故障元件修复后恢复供电
	线路、主变断路器故障	6/11	1,9,8,16,20	半个站停电,隔离后非故障回路恢复供电
	母线隔离开关故障	4/5/12	1,8,16,20	半个站停电,修复后恢复供电
	母线故障	1 母	1,8,16,20	半个站停电,修复后恢复供电

(2)定量分析。本研究可靠性定量分析中引用数据均取自中国电力企业联合会可靠 0 性管理中心 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》,具体统计数据如表 2 所示。

表 2 220 kV 变电设备可靠性参数全国统计平均值

设施类型	年份	统计数量(百台/公里年)	可用系数(%)	强迫停运率(次/百台年)	非计划停运次数	非计划停运时间(小时)	计划停运次数	计划停运时间(小时)
变压器	2 006	47.697	99.489	2.159	272	1.53	3 437	43.27
	2 007	54.448	99.579	1.304	213	0.66	3 086	36.21
	2 008	60.993	99.646	1.377	200	1.98	2 491	29.05
	2 009	67.885	99.722	0.588	116	0.39	2 149	23.93
	2 010	75.9	99.733	0.356	47	0.13	1 681	81.19
断路器	2 006	179.459	99.744	2.156	857	0.53	10 936	21.86
	2 007	200.247	99.803	1.663	651	0.4	9 335	16.85
	2 008	211.475	99.856	1.264	640	0.59	7 916	12
	2 009	243.422	99.892	0.689	336	0.23	6 896	9.2
	2 010	266.799	99.921	0.364	150	0.09	4 822	6.867
隔离开关	2 006	647.461	99.908	0.259	580	0.2	13 455	7.9
	2 007	726.534	99.932	0.332	614	0.12	12 433	5.84
	2 008	819.763	99.946	0.276	657	0.25	11 154	4.43
	2 009	882.077	99.965	0.118	298	0.08	8 538	2.96
	2 010	982.598	99.969	0.038	118	0.01	5 548	2.7
母线	2 006	57.605	99.899	0.365	47	0.09	1501	8.73
	2 007	62.568	99.934	0.256	41	0.07	1342	5.7
	2 008	67.744	99.95	0.295	47	0.26	1154	4.15
	2 009	71.041	99.961	0.127	19	0.09	921	3.34
	2 010	78.515	99.95	0.076	13	0.04	750	4.38

根据设备可靠性参数平均统计数据,采用故障模式和后果分析法(FMEA)进行 220 kV 电气主接线可靠性计算^[13-15]。该方法既可以用在事先预防阶段,分析潜在的故障模式及其原因,采取预防措施防止缺陷(故障)发生,也可以用在事后改进阶段,分析已经发生的故障模式及其原因,采取改进措施,并防止缺陷(故障)再次发生。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体系^[16-17]。本研究设定 220 kV 单回线路输送潮流为 45 MW、最大输送容量 50 MW,主变下送功率均为 90 MW,开关设备切换操作时间为 1 h,计算结果如表 3 所示。

表 3 220 kV 电气接线方案可靠性指标计算结果

	方案描述	故障概率	故障频率	EPNS(电力不足期望值)	EENS(电量不足期望值)
方案一	双母线接线	3.47323E-4	0.7169	47.54	821.48
方案二	单母线双断路器分段接线	3.00117E-4	0.6929	35.27	709.82

由可靠性计算可知,单母线双断路器分段接线的可靠性指标无论从故障概率、故障频率还是从 EPNS (电力不足期望值)、EENS(电量不足期望值)方面均优于双母线接线。

3.2 灵活性分析

(1)正常运行。正常运行时,双母线接线各进出线固定接于一段母线运行,当某段母线停运(检修或故障)时,可通过母线隔离开关倒闸操作切换至非故障段母线。单母线双断路器分段接线各进出线固定接于一段母线,经潮流计算,合理分配进出线间隔,电源线与负荷线配对接于同一母线,同名回路接于不同母线,同样能够满足系统并列、分列运行要求,且不存在倒闸操作,降低人为误操作概率,可靠性高。

(2)远期扩建。扩建单回出线时,双母线接线需停电两次,进行两次倒闸操作;扩建完成后,需要做母线耐压试验,此时若仅通过母线隔离开关与母线

隔离,不能保证安全,因此需要母线全停,存在短时全站停电情况。单母线双断路器分段接线只需一段母线停电一次,停电操作简单,有利于提高供电可靠性;做母线耐压试验时,通过双断路器分段间隔与母线隔离,能保证安全,只需扩建母线停电,不需要全站停电,且同名回路接于不同母线的布置方式,也杜绝了同名回路同时停电的可能。

综上,在正常运行和远景扩建时,单母线双断路器分段接线更加灵活,停电范围更小,操作更加简单。

3.3 经济性分析

经济性指标既与变电站的可靠性指标有一定关系,又与建设规模及相关投资有关。本研究设定变电站本期 1 台主变压器,1 回 220 kV 进出线,远景 3 台主变、6 回 220 kV 进出线,任一回路故障均能保证对主变的供电,此时两种电气主接线主要设备数量及投资(以 AIS 设备为例)比较如表 4 所示。

表 4 电气主接线主要设备及投资比较表单位:万元

设备名称	单位	单价	数量				投资			
			方案一		方案二		方案一		方案二	
			本期	本期	远景	远景	本期	本期	远景	远景
断路器	台	25	2	1	10	10	50	25	250	250
隔离开关	组	10	7	2	31	21	70	20	310	210
接地开关	组	1.5	4	0	4	4	6	0	6	6
PT	台	2.2	4	3	12	12	8.8	6.6	26.4	26.4
CT	台	3.3	6	3	30	30	19.8	9.9	99	99
母线保护	套	15	2	0	2	4	30	0	30	60
母联/分段保护	套	8	0	0	1	2	0	0	8	16
合计	/	/	/	/	/	/	184.6	61.5	729.4	667.4

由投资比较可见,在同等建设规模条件下,单母线双断路器分段接线由于接线更为简洁,其本期、远景设备投资均小于双母线接线方式。

4 保护配置

针对本研究创新提出的 220 kV 单母线双断路器分段接线,应用于智能变电站,对其进行保护配置分析,建议如下:每回 220 kV 线路配置 2 套线路保护;220 kV 母线保护双重化配置,Ⅰ母、Ⅱ母各配置 2 台母线保护装置;每台 220 kV 分段断路器配置 2 套充电保护,每台主变配置 2 套主变保护。

除双断路器分段部分母线保护与主变保护的配合外,其余保护配合均同常规单母线分段接线,此处不再累述。双断路器分段部分母线保护与主变保护的配合如图 3 所示。

Ⅰ母故障,Ⅰ母母线保护动作,跳 B1、B2、B3、B7、

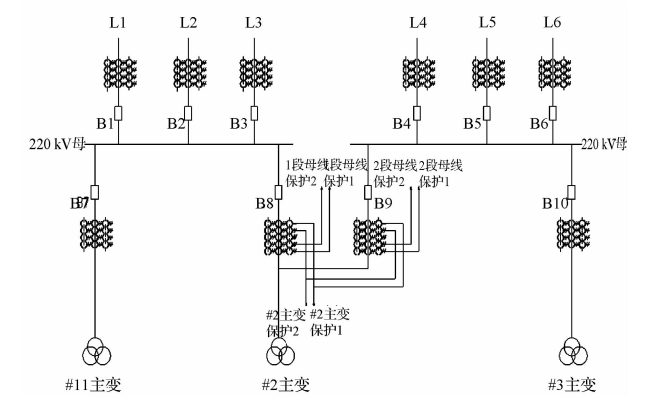


图 3 双断路器分段部分母线保护与主变保护配合图

B8 断路器;Ⅱ母故障、Ⅱ母母线保护动作,跳 B4、B5、B6、B9、B10 断路器;#2 主变故障,跳 B8、B9 断路器。此配置方式下,母线保护、#2 主变保护保护范围清晰,需要注意的是,#2 主变保护高压侧需取 B8、B9 断路器和电流,与常规主变保护有所区别。

5 结束语

随着电网的发展和新设备的应用,常规 220 kV 主接线在变电站中的适应性值得重新审视与探讨。基于此,本研究针对规模为 3 台主变压器的 220 kV 变电站,创新提出了单母线双断路器分段接线主接线方式,并基于故障模式和后果分析法(FMEA),从可靠性、灵活性、经济性 3 个方面与常用的双母线接线作了全面的比较。主要结论如下:

(1)单母线双断路器分段接线方式的故障概率、故障频率、电力不足期望值(EPNS)和电量不足期望值(EENS)均低于双母线接线方式。在同等建设规模条件下,单母线双断路器分段接线方式的本期和远景设备投资也更低,具有明显的技术和经济指标优势。

(2)单母线双断路器分段接线中,任何一段母线故障均能确保两台主变正常运行,任何 1 台主变故障不影响负荷供电,在正常运行和远景扩建时,单母线双断路器分段接线更加灵活,停电范围更小,操作更加简单,具有明显的灵活性优势。

(3)单母线双断路器分段接线方式接线简洁、元件数量少,尤其适用于采用 GIS、DCB、GIL 母线等高可靠性设备的变电站,具有较大推广和工程应用价值。

参考文献(References):

- [1] 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.
- [2] 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)~220 kV 智能变电站施工图设计(2013 版)[M]. 北京:中国电力出版社,2013.
- [3] 黄华生. 3 条进线 3 台变压器的 110 kV 变电站主接线方

式选择[J]. 供用电,2012,29(5):42-45.

- [4] 许轶珊. 变电站电气主接线综合评价系统的研究[D]. 郑州:郑州大学电气工程学院,2004.
- [5] 李继红,朱炳铨,丁倡娜. 含有 3 台主变的 220 kV 变电所主接线方案探讨[J]. 浙江电力,2002,21(6):16-19
- [6] 徐卫君,许 可. 有 3 台主变的 220 kV 变电所主接线方式[J]. 科技资讯. 2009,7(1):76.
- [7] 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
- [8] 周 蓉,岳 珂. 几种典型的主接线方式分析[J]. 机电信息,2011(27):30-31.
- [9] 翁利民,靳建峰. GIS 的主接线及其设计[J]. 大众用电,2005,21(9):35-36.
- [10] 彭 鹄,田娟娟,陈 燕,等. 重庆大石 220 kV 新一代智能变电站优化设计电力建设[J]. 2013,34(7):30-36.
- [11] 宋璇坤,李敬如,肖智宏,等. 新一代智能变电站整体设计方案电力建设[J]. 2012,33(117):1-6.
- [12] 苗德刚. 电气主接线各种连接方式优缺点与实际应用[J]. 中国新技术新产品,2010(4):140.
- [13] 任 倩,张勇军,任 震,等. 基于馈线分块等值的中压配电网可靠性评估改进 FMEA 法[J]. 电力自动化设备,2007,27(12):53-56.
- [14] 崔文彬,吴桂涛,孙培廷,等. 基于 FMEA 和模糊综合评判的船舶安全评估[J]. 哈尔滨工程大学学报,2007,28(3):263-267,276.
- [15] 赵 渊,周家启,周念成,等. 大电力系统可靠性评估的解析计算模型[J]. 中国电机工程学报,2006,26(5):19-25.
- [16] 韩如月. 电力市场环境下的电力系统可靠性指标[D]. 南京:东南大学电气工程学院,2006.
- [17] 陈 刚,曹 晖,沈莲英,等. 变电站主接线可靠性综合评估系统[J]. 湖北电力 2008,32(2):16-17

[编辑:张 豪]

本文引用格式:

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.

GAO Ya-dong, GAO Mei-jin, CHEN Fei, et al. Research and application of 220 kV main connection mode of two section single bus with tow circuit breaker [J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2016,33(10):1242-1247.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>