

# 特高压 1 000 kV 降压 220 kV 变压器的应用前景分析

程军照, 陈江波, 张曦, 郭慧浩, 蔡胜伟, 邵茂峰

(中国电力科学研究院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 特高压电网是未来电网发展的重要方向, 使用 1 000 kV 降压 220 kV 变压器, 可以缩短电源和负荷之间的电气距离, 节约土地资源和工程投资, 但同时也会增加短路电流, 必须对其应用前景进行综合分析。针对上述问题, 设定了同样的输送容量, 比较了使用 1 000 kV 降压 220 kV 变压器的直接降压方案和传统 1 000 kV 降压 500 kV 再降压 220 kV 的两级降压方案的经济性。针对不同的电网发展水平, 用 PSASP 软件计算了传统两级降压方案和直接降压方案的短路电流水平, 分析了直接降压方案对短路水平的影响。最后综合经济性和短路电流两方面的因素, 得到 1 000 kV 降压 220 kV 变压器的应用场合需满足的条件, 为工程实践提供参考。

**关键词:** 特高压; 变压器; 经济性; 短路电流; 应用前景

## Application prospect analysis for 1 000 kV/220 kV UHV transformer

CHENG Jun-zhao, CHEN Jiang-bo, ZHANG Xi, GUO Hui-hao, CAI Sheng-wei, SHAO Min-feng  
(China Electric Power Research Institute, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** UHV is a promising technology for the development of grid. 1 000 kV/220 kV transformer will shorten electric distance between power supplies and load, which will lead to lower cost and smaller occupation for transmission project. But it can also raise short circuit current level. Thus it is essential to analyze the prospect of 1 000 kV step-down 220 kV transformer comprehensively. This paper compares the cost of direct step-down scheme by using 1 000 kV/220 kV transformer and the conventional step down scheme by using 1 000 kV/500 kV in series with 500 kV/220 kV transformer for the same transmission capacity. The short circuit current level of the two aforementioned schemes are also analyzed by PSASP for different grid develop stages. The requirements for using 1 000 kV/220 kV transformer are finally summarized as a practice reference.

**Key words:** UHV; transformer; cost; short-circuit current; application prospect

中图分类号: TM72 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)15-0142-07

## 0 引言

近年来, 我国特高压输电快速发展, 目前采用 1 000 kV 降压 500 kV 然后再降压到 220 kV 的方案。在某些存在集中大负荷的特殊地区, 利用 1 000 kV/220 kV 变压器(后文称为直降变)将特高压骨干网架与 220 kV 电网直接连接, 可以减少中间降压环节, 缩短电气距离, 节约土地资源和工程投资, 并进一步发挥特高压输电的优势。

因此, 国家电网公司开展了 1 000 kV 降压 220 kV 变压器的研究, 确定了直降变的主要技术参数(单台额定容量为 500 MVA, 短路阻抗高一中为 18%, 高一低为 41%, 中一低为 20%), 本文主要分

析直降变的应用前景。

采用 1 000 kV/220 kV 变压器, 1 000 kV 到 220 kV 只需一级降压(后文称为直接降压), 和传统的 1 000 kV 降压 500 kV 再降压 220 kV 的两级降压方案相比, 其变电部分的成本会降低, 但送电线路部分会增加, 因此, 需要对两种方案的经济性进行综合分析。

目前, 许多地区出现电网短路电流水平过高的现象<sup>[1-2]</sup>, 甚至超过现有断路器的开断容量。采用 1 000 kV/220 kV 变压器, 电气距离缩短, 会进一步提高电网的短路电流水平, 需要对此进行评估。

对于变送同样容量的电能, 本文分析了直接降压和传统两级降压方案的经济性; 针对不同的电网发展水平, 用 PSASP 软件计算了直接降压和传统两级降压方案的短路电流, 分析了直接降压对短路水

基金项目: 国家电网公司科技项目(SG0907)

平的影响。最后综合经济性和短路电流两方面的因素, 得到 1 000 kV 降压 220 kV 变压器的应用场合需满足的条件, 为工程实践提供参考。

## 1 直降变的经济性分析

欲将 1 000 kV 线路输送的电能变压 220 kV, 供给地区电网。可采用直降变, 一级变压; 也可采用两级变压的方法, 现通过同等变送容量下二者造价的比较来确定它们的经济性。1 000 kV 降压 220 kV 变压器主要用于经济发达地区, 土地资源紧张, 因此假定变电站全部采用 GIS 或 HGIS 设备。在 1 000 kV 变电站造价估算过程中, 参考了特高压交流示范工程的相关资料, 进行了大致估算, 其他计算数据依据相关参考文献<sup>[3-5]</sup>。

对于直接降压和两级降压, 1 000 kV 线路高抗的造价相当, 所以造价估算过程中略去高抗。

### 1.1 变送容量为 9 000 MVA

#### (1) 两级降压

采用传统方法, 需进行两级变压, 建设 1 000 kV 的变电站 1 座, 容量为 9 000 MVA; 500 kV 变电站 3 座, 单座容量为 3 000 MVA。

1 000 kV 变电站安装 3 000 MVA 主变 3 组;

1 000 kV 母线采用 3/2 接线, 2 回出线, 两组主变进串, 第三组主变接二段母线; 500 kV 采用 3/2 接线, 9 回出线。110 kV 装设无功补偿: 电抗器 6×240 Mvar、电容器 12×210 Mvar; 全站采用 GIS 设备。其造价概算如表 1 所示。

表 1 两级降压 1 000 kV 变电站造价(总变送容量 9 000 MVA)

Table 1 Cost of 1 000 kV substation for two stages step-down scheme with total capacity of 9 000 MVA

项目	总费用/万元
主变压器	54 900
1 000 kV 户外配电装置	23 550
500 kV 户外配电装置	22 850
110 kV 户外配电装置	500
110 kV 并联电容	6 150
110 kV 并联电抗	7 150
其他费用	17 810
整站静态投资	13.3 亿

500 kV 变电站安装 750 MVA 主变 4 组; 500 kV 3/2 接线, 3 回出线; 220 kV 双母接线, 12 回出线; 全站配电装置采用户外 GIS 设备。利用参考文献[3]中的方法对其进行造价概算, 主要设备的价格采用 2006 年国网公司招标价, 整站静态投资为 5.7 亿。

假设 500 kV 变电站供电区域是半径为 24.5 km 的圆, 则 500 kV 站和 1 000 kV 站的距离为 28.3 km,

供电区域如图 1 所示。计算线路造价时, 曲折系数取 1.1, 500 kV 线路按 150 万/km 计算, 则 500 kV 线路的造价为 4.2 亿; 按照以 500 kV 站为圆心, 半径方向辐射确定 220 kV 线路的长度, 造价按 76 万/km 计算, 则 220 kV 线路的总造价为 7.4 亿, 两级降压的总静态投资为 42 亿。

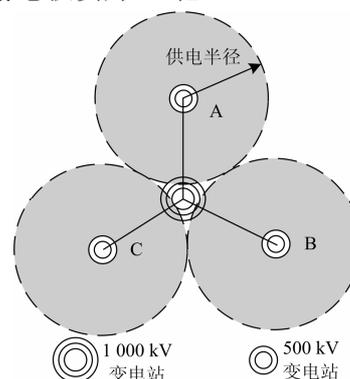


图 1 变送容量 9 000 MVA 时两级降压供电区域

Fig. 1 Supply area for two stages step-down scheme with capacity of 9 000 MVA

HGIS 装置综合造价比同样规模的 GIS 低 30%, 用同样的方法, 可估算出, 若 500 kV 配电装置采用 HGIS, 直接降压的总造价为 40 亿。

#### (2) 直接降压(两座 1 000 kV 站)

采用 1 000 kV 降压 220 kV 变压器, 建造 1 000 kV 直降 220 kV 变电站 2 座, 单座容量为 4 500 MVA。

安装 1 500 MVA 直降变压器 3 组; 1 000 kV 采用 3/2 接线, 4 回出线, 两组主变进串, 第三组主变接二段母线; 220 kV 双母接线, 18 回出线。66 kV 装设电抗器 3×240 Mvar、电容器 6×210 Mvar; 全站采用 GIS 设备。其造价概算如表 2 所示。

表 2 直接降压 1 000 kV 变电站造价(总变送容量 9 000 MVA, 两座直降站)

Table 2 Cost of 1 000 kV substations for direct step-down scheme (bi-substation) with total capacity of 9 000 MVA

项目	总费用/万元
主变压器	36 600
1 000 kV 户外配电装置	33 300
220 kV 户外配电装置	8 420
66 kV 户外配电装置	500
66 kV 并联电容	3 075
66 kV 并联电抗	2 050
其他费用合计	17 440
整站静态投资	10.1 亿

为了增强可比性, 直接降压(两座 1 000 kV 站)和两级降压的供电区域应尽量一致, 据此计算得到

直降变电站的供电半径为 30 km，供电区域如图 2 所示。计算线路造价时，曲折系数取 1.1，1 000 kV 线路造价是 420 万/km，则线路总造价是 5.5 亿；按照以变电站为圆心，半径方向辐射计算 220 kV 线路长度，则 220 kV 线路的总造价为 9.0 亿。其中一座直降变电站只需 1 回 1 000 kV 出线，可减少一串 GIS 断路器，即造价减少 9 750 万，则直接降压（两座 1 000 kV 站）的总造价为 33.7 亿。

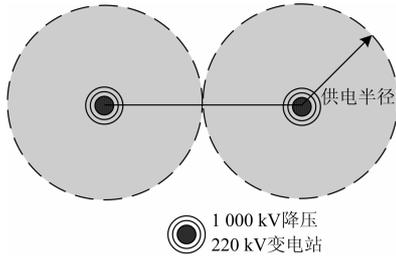


图 2 变送容量 9 000 MVA 时直接降压（两座 1 000 kV 站）供电区域

Fig. 2 Supply area for direct step-down scheme with capacity of 9 000 MVA (bi-substation)

(3) 直接降压（三座 1 000 kV 站）

采用 1 000 kV 降压 220 kV 变压器，建造 1 000 kV 直降 220 kV 的变电站 3 座，单座容量为 3 000 MVA。

安装 1 500 MVA 直降变压器 2 组；1 000 kV 采用 3/2 接线，4 回出线；220 kV 双母接线，12 回出线。66 kV 装设电抗器 2×240 Mvar、电容器 4×210 Mvar；全站采用 GIS 设备。其造价概算如表 3 所示。

表 3 直接降压（三座 1 000 kV 站）1 000 kV 变电站造价

Table 3 Cost of 1 000 kV substation for direct step-down scheme (tri-substation) with total capacity of 9 000 MVA

项目	总费用/万元
主变压器	24 400
1 000 kV 户外配电装置	29 970
220 kV 户外配电装置	5 610
66 kV 户外配电装置	500
66 kV 并联电容	2 050
66 kV 并联电抗	1 360
其他费用合计	15 350
整站累计静态投资	7.9 亿

直接降压（三座 1 000 kV 站）和两级降压的供电区域应尽量一致，计算得到 1 000 kV 直降 220 kV 变电站之间的供电半径为 24.5 km，如图 3 所示。计算线路造价时，曲折系数取 1.1，则 1 000 kV 线路总造价是 9.0 亿；按照以 1 000 kV 站为圆心，半径方向辐射计算 220 kV 线路长度，则 220 kV 线

路的总造价为 7.4 亿。直接降压（三座 1 000 kV 站）的总造价为 39.1 亿。

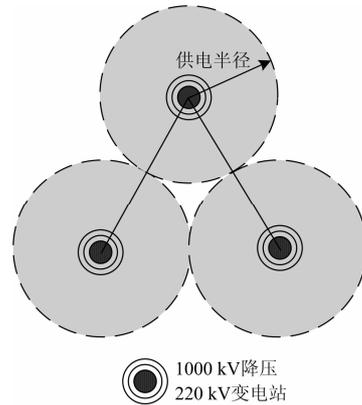


图 3 变送容量 9 000 MVA 时直接降压（三座 1 000 kV 站）供电区域

Fig. 3 Supply area for direct step-down scheme with capacity of 9 000 MVA (tri-substation)

表 4 为变送容量为 9 000 MVA 时直接降压以及两级降压的工程总造价，比较可得下述结论：

1) 直接降压的经济性优于两级降压，其中直接降压（两座 1 000 kV 站）的优势更大，直接降压（三座 1 000 kV 站）的经济性只有微弱优势。

2) 单纯从变电站部分造价来看，直接降压远低于两级降压的造价。但采用传统两级降压，只需用 500 kV 变电站将电能送到各个负荷中心，变电站之间以 500 kV 线路互联；而采用直接降压，需用 1 000 kV 变电站将电能送到各个负荷中心，变电站之间以 1 000 kV 线路互联。1 000 kV 线路的单位造价远高于 500 kV 线路，因此线路造价的差距会削弱 1 000 kV 直降 220 kV 变电方案的经济优势。

表 4 变送容量为 9 000 MVA 时不同变压方案的造价

Table. 4 Total cost for different schemes with capacity of

9 000 MVA

变压方案		造价/亿元	
两级 降压	两级降压	500 kV 采用 GIS	500 kV 采用 HGIS
		42	40
直接 降压	两座 1 000 kV 站	33.7	
	三座 1 000 kV 站	39.1	

1.2 变送容量为 6 000 MVA

(1) 两级降压

采用传统两级，建设 1 000 kV 变电站 1 座，容量为 6 000 MVA；500 kV 变电站 2 座，单座容量为 3 000 MVA。

1 000 kV 变电站安装 3 000 MVA 主变 2 组；1 000

kV 母线采用 3/2 接线, 2 回出线, 两组主变进串; 500 kV 采用 3/2 接线, 6 回出线。110 kV 装设无功补偿: 电抗器 4×240 Mvar、电容器 8×210 Mvar; 全站采用 GIS 设备。其造价概算如表 5 所示。

表 5 两级降压 1 000 kV 变电站造价(总变送容量 6 000 MVA)

Table 5 Cost of 1 000 kV substation for two stages step-down scheme with total capacity of 6 000 MVA

项目	总费用/万元
主变压器	36 600
1 000 kV 户外配电装置	20 000
500 kV 户外配电装置	14 600
110 kV 户外配电装置	500
110 kV 并联电容	4 100
110 kV 并联电抗	4 770
其他费用合计	15 150
整站累计静态投资	9.6 亿

500 kV 变电站安装 750 MVA 主变 4 组; 500 kV 3/2 接线, 3 回出线; 220 kV 双母接线, 12 回出线; 全站配电装置采用户外 GIS 设备, 其造价为 5.7 亿元。

假定 1 000 kV 变电站和 500 kV 变电站的距离是 24.5 km, 供电区域如图 4 所示。计算线路造价时, 曲折系数取 1.1, 500 kV 线路的造价为 150 万/km, 则线路的造价为 2.4 亿; 按照以 500 kV 站为圆心, 半径方向辐射计算 220 kV 线路长度, 则 220 kV 线路的总造价为 4.9 亿, 直接降压的总静态投资为 28.3 亿。

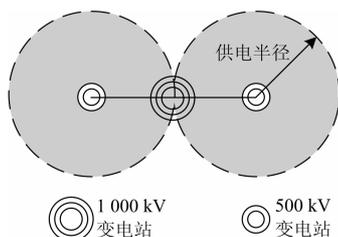


图 4 变送容量 6 000 MVA 时两级降压供电区域

Fig. 4 Supply area for two stages step-down scheme with capacity of 6 000 MVA

若 500 kV 配电装置采用 HGIS 装置, 用同样的方法, 可估算出, 直接降压的总造价为 26.8 亿。

## (2) 直接降压

1 000 kV 变电站安装 1 500 MVA 直降变压器 2 组; 1 000 kV 采用 3/2 接线, 4 回出线; 220 kV 双母接线, 12 回出线。66 kV 装设电抗器 2×240 Mvar、电容器 4×210 Mvar; 全站采用 GIS 设备。其造价概算如表 6 所示。

按照直接降压和两级降压供电区域面积相等

的原则, 计算得到 1 000 kV 降压 220 kV 变电站供电半径为 24.5 km, 则两站之间的距离是 49 km, 供电区域如图 5 所示。计算线路造价时, 曲折系数取 1.1, 1 000 kV 线路造价是 420 万/km, 则线路总造价是 4.5 亿; 按照以 1 000 kV 站为圆心, 半径方向辐射计算 220 kV 线路长度, 则 220 kV 线路的总造价为 4.9 亿, 其中一座变电站只需 2 回 1 000 kV 出线, 可减少一串 GIS 断路器, 即造价减少 9 750 万, 直接降压的总造价为 24.2 亿。

表 6 直接降压 1 000 kV 变电站造价(总变送容量 6 000 MVA)

Table 6 Cost of 1 000 kV substations for direct step-down scheme with total capacity of 6 000 MVA

项目	总费用/万元
主变压器	24 400
1 000 kV 户外配电装置	29 970
220 kV 户外配电装置	5 610
66 kV 户外配电装置	500
66 kV 并联电容	2 050
66 kV 并联电抗	1 360
其他费用合计	15 305
整站累计静态投资	7.9 亿

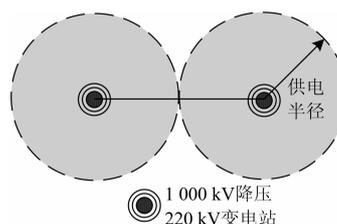


图 5 变送容量 6 000 MVA 时直接降压供电区域

Fig. 5 Supply area for direct step-down scheme with capacity of 6 000 MVA

表 7 为变送容量为 6 000 MVA 时直接降压以及两级降压的工程总造价, 比较二者, 可得与变送容量为 9 000 MVA 时类似的结论。

表 7 变送容量为 6 000 MVA 时不同变压方案的造价

Table 7 Total cost for different schemes with capacity of 6 000 MVA

变压方案	造价/亿元	
	500 kV 采用 GIS	500 kV 采用 HGIS
两级降压	28.3	26.8
直接降压	24.2	

## 2 直降变的短路电流水平分析

目前全国许多地方出现了 220 kV 母线短路电流接近或超过断路器开断能力的问题, 这也是直降变应用所面临的主要问题, 现对这一问题进行计算

分析。

本文对直接降压和两级降压时 220 kV 侧的短路电流水平进行了计算,根据有关参考文献<sup>[6-8]</sup>,电网发展到一定水平之后应实行分层分区运行,可减小短路电流,本文设定直接降压和两级降压 220 kV 侧带相对独立的片区电网,并设定片区电网内的电源容量和外部电网送入的容量比为 1:1。

由于无法确定具体 220 kV 分区电网的结构和参数,本文采用文献[9]提出的三相短路计算的近似处理方法。

1 000 kV 侧以特高压交流示范工程所处系统为背景,该系统由华北电网和华中电网联网而成,晋东南-荆门有两回 1 000 kV 线路,其他部分采用 2008 年电网实际数据,计算变送容量为 9 000 MVA 和 6 000 MVA 时的短路电流。

### 2.1 变送容量为 9 000 MVA

两级降压方案:在荆门 1 000 kV 母线上添加 3 组 1 000 kV/500 kV 变压器,单组容量为 3 000 MVA,构成 1 000 kV/500 kV 变电站;然后分别经 3 座容量为 3 000 MVA 的 500 kV/220 kV 变电站降压至 220 kV,每座直降变电站的 220 kV 侧带一个分区电网。

直接降压方案(两座直降站):建设两座 1 000 kV/220 kV 变电站,每座安装 3 组 1 000 kV/220 kV 变压器,共计 4 500 MVA,两座变电站的 1 000 kV 母线相连并接入荆门 1 000 kV 母线。

直接降压方案(三座直降站):建设三座 1 000 kV/220 kV 变电站,每座安装 2 组 1 000 kV/220 kV 变压器,共计 3 000 MVA,三座变电站的 1 000 kV 母线相连并接入荆门 1 000 kV 母线。

利用 PSASP 计算三相短路电流,结果为:1)采用方案一时的短路电流为 44.4 kA;2)采用方案二时的短路电流为 59.0 kA;3)采用方案三时的短路电流为 47.9 kA。

由此可见,直接降压(两座 1 000 kV 站)的三相短路电流远超 50 kA,需要采取母线分列运行等措施才能实用,直接降压(三座 1 000 kV 站)的电流虽未超标,但是仍然较大,接近 50 kA。

### 2.2 变送容量为 6 000 MVA

两级降压方案:在荆门 1 000 kV 母线上添加 2 组 1 000 kV/500 kV 变压器,单组容量为 3 000 MVA,构成 1 000 kV/500 kV 变电站;然后分别经 2 座容量为 3 000 MVA 的 500 kV/220 kV 变电站降压至 220 kV,每座直降变电站的 220 kV 侧带一个分区电网。

直接降压方案:建设两座 1 000 kV/220 kV 变

站,每座安装 2 组 1 000 kV/220 kV 变压器,共计 3 000 MVA,两座变电站的 1 000 kV 母线相连并接入荆门 1 000 kV 母线。

在变电站 220 kV 母线设置三相短路故障,利用 PSASP 计算短路电流,结果为:1)采用两级降压方案时的短路电流为 42.0 kA;2)采用直接降压方案时的短路电流为 46.4 kA。直接降压比两级降压的短路电流增加 4.4 kA。

为了获得高压侧电网不同发展水平下的短路电流情况,利用 PSASP 进行了进一步计算,计算设定条件为:1)传统 500 kV 降压 220 kV 变电站安装有 3 组变压器,每组容量 1 000 MVA,高中压侧短路阻抗为 16%,设定 500 kV 母线短路电流水平为 60 kA,50 kA,30 kA,10 kA,分别对这几种条件下的 220 kV 母线的短路电流水平进行了计算;2)1 000 kV 降压 220 kV 变电站装有 2 组变压器,每组容量 1 500 MVA,设定 1 000 kV 母线短路电流水平为 60 kA,50 kA,30 kA,10 kA,分别对这几种条件下的 220 kV 母线的短路电流水平进行了计算。结果见表 8,从计算结果可以看出:

1)与常规 500 kV 变电站相比,1 000 kV 直变 220 kV,高压侧注入 220 kV 短路电流较高。

2)高压侧短路电流水平越低,1 000 kV 直变 220 kV,高压侧注入中压侧短路电流水平与常规 500 kV 变电站差距越大。高压侧短路电流水平都为 60 kA 时,两种变压方式,中压侧短路电流水平相差约 1.2 kA;高压侧短路电流水平都为 10 kA 时,两种变压方式,中压侧短路电流水平相差约 6.5 kA。

表 8 高压侧电网不同发展水平下的短路电流  
Table 8 Short-circuit current for different grid development stages

500 kV 变电站	高中压侧电压/kV	主变容量/MVA	500 kV 母线短路电流/kA	高压侧注入 220 kV 母线短路电流/kA	
	500、220		3× 1 000	60	35.03
50		33.32			
30		27.89			
10		15.37			
1 000 kV 变电站	高中压侧电压/kV	主变容量/MVA	1 000 kV 母线短路电流/kA	高压侧注入 220 kV 母线短路电流/kA	
	1 000、220		2× 1 500	60	36.29
				50	35.36
				30	32.05
				10	21.83

因此, 在高压侧电网较薄弱的时期或者地方, 1 000 kV 直变 220 kV, 将增大 220 kV 电网短路电流水平。在高压侧电网较强的时期或者地方, 1 000 kV 直变 220 kV, 对 220 kV 电网短路电流水平影响反而降低。

### 3 直降变的应用前景

综合分析经济性和短路电流水平可知, 直降变的应用场合仍需满足如下条件:

① 负荷量大, 负荷密度高。否则, 1 000 kV 变电站彼此之间的距离将会过大, 1 000 kV 线路的造价大幅升高, 降低整体经济性。

② 电网实行分层分片运行, 1 000 kV 降压 220 kV 变电站带分片电网, 该分片电网和 500 kV 电网无连接或联系很弱, 分片电网内的电源容量相对较小。

本文以武汉地区电网为背景设置了一个算例, 对于某 500 kV 变电站 A, 拥有 3 组 1 000 MVA 主变, 2020 年其 500 kV 母线、220 kV 母线短路电流水平分别为 60 kA、50 kA。计算时以武汉电网数据为基础, 并在上述假定条件下对其进行了适当调整。

现在更改降压方式, 取消 A 站 500 kV 母线、3 组主变, 仅保留 220 kV 母线。在 A 站远离市区的方向建设 1 座 1 000 kV 直变 220 kV 的变电站 W, 站内设立独立的一段 220 kV 母线, 联接 2 组 1 500 MVA 主变, 并出 4 回 30 km 的 220 kV 线路接入 A 站 220 kV 母线。此时 A 站成为 220 kV 汇集站, 该汇集站 220 kV 侧电网在其他地方和 500 kV 电网有一定联络, 设 W 站 2020 年 1 000 kV 母线短路电流水平为 60 kA。

对于 1 000 kV 直变站 220 kV 母线与 220 kV 汇集站母线之间线路长度, 本文进行了初步分析:

1 座 1 000 kV 直变 220 kV 变电站(容量 $8 \times 1\,500$  MVA)可以替代 3 座 500 kV 变电站(每座规划容量 $4 \times 1\,000$  MVA)。从当前负荷密集区域的 500 kV 变电站分布来看, 相邻 500 kV 变电站距离在 20~30 km 左右。较理想的情况, 是将 1 000 kV 直变站选址于中间 500 kV 变电站附近。但从目前特高压变电站选址情况来看, 实施难度较大。本文暂考虑 1 000 kV 直变站选址与各相关 220 kV 汇集站之间线路平均长度为 30 km, 短路电流计算结果见表 9。

表 9 直降变用于武汉地区的短路电流

Table 9 Short-circuit current of Wuhan grid with 1 000 kV/220 kV transformer used

2020 年	1 000 kV 直变站 W	直变站 1 000 kV 母线	直变站 220 kV 母线
		60 kA	48.38 kA

采用 1 000 kV 降压 220 kV 变压器同样可以满足武汉地区未来电网发展的需要, 经济上具有一定优势, 短路电流也可以满足需要。

如果故障电流限流器<sup>[10]</sup>能够获得突破, 直降变压器将能获得更大的应用空间。

### 4 结论

本文通过对 1 000 kV 降压 220 kV 变压器的经济性和短路电流水平的研究, 得到了以下结论:

1) 一般情况下, 相比于传统的两级降压, 使用 1 000 kV 降压 220 kV 变压器具有一定的经济优势。

2) 1 000 kV 降压 220 kV 变压器会提高电网的短路电流, 电网自身短路水平越高, 影响越小。

3) 1 000 kV 降压 220 kV 变压器的应用需要满足一定条件, 即负荷密度大、电网实行分层分区运行, 且分区电网和 500 kV 电网无连接或联系很弱。

### 参考文献

- [1] 陈煜, 刘波, 张焰. 安徽“十一五”电网的短路电流水平分析及限制措施研究[J]. 华东电力, 2006, 34(7): 60-63.  
CHEN Yu, LIU Bo, ZHANG Yan. Short circuit current levels of Anhui Power Grid during“11th Five Year Plan” period and its limitation[J]. East China Electric Power, 2006, 34(7): 60-63.
- [2] 刘树勇, 孔昭兴, 张来. 天津电网 220kV 短路电流限制措施研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(21): 103-107, 118.  
LIU Shu-yong, KONG Zhao-xing, ZHANG Lai. Application of measures of limiting 220 kV short circuit currents in Tianjin power grid[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(21): 103-107, 118.
- [3] 刘振亚. 国家电网公司输变电工程典型造价 500 kV 变电站分册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.  
LIU Zhen-ya. Benchmark design scheme for transmission project, volume for 500 kV substation[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2006.
- [4] 刘振亚. 国家电网公司输变电工程典型造价: 500 kV 输电线路分册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.  
LIU Zhen-ya. Benchmark design scheme for transmission project, volume for 500 kV transmission line[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2006.
- [5] 刘振亚. 国家电网公司输变电工程典型造价: 220 kV

- 输电线路分册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- LIU Zhen-ya. Benchmark design scheme for transmission project, volume for 220 kV transmission line[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2006.
- [6] 电力行业电力规划设计标准化委员会. DL/T5429-2009 电力系统设计技术规程[S]. 北京: 中国电力出版社, 2009.
- [7] 刘楠, 唐晓骏, 张文朝. 特高压接入河南电网后电磁环网解环方案研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(2): 131-136, 141.
- LIU Nan, TANG Xiao-jun, ZHAO Wen-chao. Study on electromagnetic ring opening in Henan province under ultra-high voltage power grid[J]. Power System Protection and Control, 2011, 29(2): 131-136, 141.
- [8] 杨冬, 刘玉田, 牛新生. 电网结构对短路电流水平及受电能力的影响分析[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(22): 62-67.
- YANG Dong, LIU Yu-tian, NIU Xin-sheng. Analysis on influence of power grid structure upon short-circuit level and power receiving capability[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(22): 62-67.
- [9] 徐贤. 220 kV 电网短路电流预测的新方法及应用[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(6): 103-106.
- XU Xian. A novel method for predicting short-circuit current of 220 kV sub-transmission network and its application[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(6): 103-106.
- [10] 张晚英, 周有庆, 赵伟明, 等. 改进桥路型高温超导故障限流器的实验研究[J]. 电工技术学报, 2010, 25(1): 70-76.
- ZHANG Wan-ying, ZHOU You-qing, ZHAO Wei-ming, et al. Experimental research on an improved recitifier type high temperature superconducting fault current limiter[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(1): 70-76.

---

收稿日期: 2013-11-01

作者简介:

程军照 (1982-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事变压器技术研究。E-mail: chengjunzhao@126.com