

110kV 变电站变压器的应用研究

是晨光, 丁 升, 王 勇

(无锡供电公司, 江苏 无锡 214171)

摘 要: 在 110kV 变电站内应用大容量变压器, 可作为解决目前电网建设与城市建设之间矛盾一种措施。该文通过分析无锡城网实际情况, 在满足城市电力网规划设计导则 (Q/GDW 156-2006) 所规定“N-1”准则下, 进行不同容量变压器 (40 MVA、63 MVA、80MVA) 在不同方案下的最大负载率和站内容载比的分析比较。该文对其中典型的 110kV 户内变电站改造采用大容量变压器进行研究, 从工程的具体方案、改造注意事项进行详细分析, 并提出了有效释放变压器容量的具体措施。

关键词: 变压器; 负载率; 容载比; 大容量出线间隔; 开闭所

1 概况

目前, 城区用地紧张给新建变电站带来一定困难, 电网建设与城市建设之间的矛盾日益突出, 部分地区甚至出现变电站规划站址难以落实的现象。为促进电网与经济社会环境和谐发展, 建设“两型一化”坚强电网, 缓解用地日益紧张的局面, 必须采取有效的措施来缓解此矛盾。在此合理利用有限的站址和通道资源, 建设可持续发展电网显得尤为重要。

110kV 变电站的变压器容量一般为 40、50MVA, 若能结合城市电网网架、负荷情况, 在变电站内应用 63MVA、80MVA 等大容量变压器是一种有效解决矛盾的措施。目前, 在城区内新建的 110kV 变电站一般都按照大容量变压器设计, 在已有的 110kV 变电站内扩建或改造工程中也逐步采用大容量变压器。

城网的规划发展需要满足城市电力网规划设计导则 (Q/GDW156-2006) 所规定的电网供电安全准则即采用“N-1”准则, 其中对于高压配电网具体要求为: 高压配电网中一条架空线, 或一条电缆, 或变电站中一台降压变压器发生故障停运时:

(1) 在正常情况下, 除故障段外不停电, 并不得发生电压过低, 设备不允许过负荷。

(2) 在计划停运情况下, 又发生故障停运时, 允许部分停电, 但应在规定时间内恢复供电。

城网作为城市的重要基础设施, 应适度超前发展, 以满足城市经济增长和社会发展的需要。保障城网安全可靠和满足负荷有序增长, 是确定城网容

载比时所要考虑的重要因素。根据经济增长和城市发展的不同阶段, 对应的城网负荷增长速度可分为较慢、中等、较快三种情况, 其中 110kV 电压等级城网的容载比如表 1 所示。

表 1 各电压等级城网容载比选择范围

城网负荷增长情况	较慢增长	中等增长	较快增长
年负荷平均增长率 (建议值) / %	<7	7~12	>12
35kV~110kV	1.8~2.0	1.9~2.1	2.0~2.2

合理的容载比与恰当的网架结构相结合, 对于故障时负荷的有序转移, 保障供电可靠性, 以及适应负荷在增长需求都至关重要。因此城网的规划发展要求容载比要尽量保证在合理的范围内。

2 110kV 变电站电气主接线基本要求

2.1 一次侧典型接线方式

一次侧典型接线有两种方式:

(1) 线路变压器组方式。线路变压器组适用于终端变电站。

(2) 具有高压母线的变电站一次侧接线方式: 单母线分段接线、内桥接线和外桥接线。

2.2 二次侧典型接线方式

单母线分段是变电站中常用的接线方式。无锡地区比较典型的采用三变单母四分段接线, 在一台变压器计划停用时, 可通过倒闸操作将负荷均匀转移至运行变压器且不会造成过负荷

为提高变压器负荷率, 新建变电站采取环形母线接线, 即采用三变单母六分段接线。在这种方式

下，一台变压器的二次侧母线分为两段，各带 1/2 负荷，当一台变压器事故停用时，可分别将其 1/2 负荷通过两个母联自动投入装置分别投入装置分别转移至相邻的两台断路器。

3 110kV 变电站的分类

根据无锡地区的 110kV 变电站建设的实际情况，一般可以归纳为三个阶段。

第一阶段：2000 年以前的 110kV 变电站。

变电站以户外/半户内布置为主，极少数变电站采用户内布置。110kV 变压器户外/半户内布置变电站：110kV 配电装置为 AIS、GIS 或 HGIS，变压器户外布置；10kV 一般为户内开关柜，采用单母线分段、单母线分段带旁母、双母线带旁母接线方式。

第二阶段：2001 年至 2007 年的 110kV 变电站。

110kV 变电站可分为户内、户外变电站两类，变电站电压等级均为 110/10kV。110kV 接线采用线路变压器组为主，10kV 使用户内开关柜，采用单母四分段接线方式。

第三阶段：2007 年后的 110kV 变电站。

2007 年后，110kV 变电站基本采用省公司变电站标准化设计，变电站采用全户内布置方案。

全户内变电站 110kV 配电装置一般均使用 GIS 设备，中、低压侧使用户内开关柜，变压器户内布置，变压器室基本按照分体式变压器设计。变电站电压等级分为三类：110/20、110/20/10、110/10kV。110kV 接线基本采用线路变压器组、线路变压器组环入环出接线。20kV、10kV 接线采用单母线分段、单母线四分段或者六分段环形接线。

4 负载率及容载比分析

4.1 变压器负载率

根据城市电力网规划设计导则要求，110kV 变电站内一台故障或检修停运时，此时正常运行变压器的负荷不应超过其额定容量，短时允许的过载率不应超过 1.3，过载时间不超过 2h，并应在规定时间内恢复停运变压器的正常运行。负荷侧可并列运行的变压器负载率可用下式计算

$$T = \frac{KP(N-1)}{NP} \times 100\%$$

式中：T—变压器负载率，%；

N—变压器台数；

P—单台变压器额定容量，MVA；

K—变压器过载率，可取 1.0~1.3。

4.2 容载比

容载比是某一供电区域，变电设备总容量与对应的总负荷的比值。容载比是保障电网发生故障时，负荷能否顺利转移的重要宏观控制指标。容载比公式如下：

$$Rs = \frac{\sum Sei}{P_{max}}$$

式中：Rs—容载比（kVA/kW）；

P_{max}—该电压等级的全网最大预测负荷；

Sei—该电压等级变电站 i 的变压器容量。

4.3 数据分析时的边界条件

根据城市电力网规划设计导则中“N-1”准则的要求，下面对已有 110kV 变电站新建或改造大容量变压器前、后，变电站内变压器的最大负载率及站内容载比的数据列表分析。

数据分析时的边界条件：

（1）满足 110kV 变电站“N-1”准则，不考虑 10kV 的转供能力情况下分析。

（2）容载比按具体单个变电站的变压器容量与最大负荷的比值分析。

（3）一般变压器容量按照 40MVA，大容量变压器按照 63、80MVA 两种情况考虑。

（4）对于大容量变压器，其容量理论上都能够充分释放利用。

（5）变压器过载率取 1.3，功率因素取 0.9。

4.4 数据分析表

数据分析见表 2~11。

表 2 两台变压器（两小）的变电站

变压器	T1	T2
额定容量/MVA	40	40
最大视在功率/MVA	26	26
最大降压负荷/MW	23.4	23.4
最大负载率/%	65.00	65.00
容载比	1.71	

表 3 两台变压器（一小一大）的变电站

变压器	T1	T2
额定容量/MVA	40	63/80
最大视在功率/MVA	26	26/26
最大降压负荷/MW	23.4	23.40/23.40
最大负载率/%	65.00	41.27/32.50
容载比	2.20/2.56	

表 4 三台变压器（三大）的变电站，二次侧单母线六分段环供接线

变压器	T1	T2	T3
额定容量/MVA	63/80	63/80	63/80
最大视在功率/MVA	54.60/69.33	54.60/69.33	54.60/69.33
最大降压负荷/MW	49.14/62.40	49.14/62.40	49.14/62.40
最大负载率/%	86.67/86.67	86.67/86.67	86.67/86.67
容载比	1.28/1.28		

表 5 三台变压器（三小）的变电站，二次侧单母线四分段接线

变压器	T1	T2	T3
额定容量/MVA	40	40	40
最大视在功率/MVA	26	26	26
最大降压负荷/MW	23.40	23.40	23.40
最大负载率/%	65.00	65.00	65.00
容载比	1.71		

表 6 三台变压器（两小一大，T3 为大）变电站，二次侧单母线五分段环供接线

变压器	T1	T2	T3
额定容量/MVA	40	40	63/80
最大视在功率/MVA	34.67	34.67	34.67/34.67
最大降压负荷/MW	31.20	31.20	31.20/31.20
最大负载率/%	86.67	86.67	55.03/43.33
容载比	1.53/1.71		

表 7 三台变压器（两小一大，T3 为大）变电站，二次侧单母线四分段接线

变压器	T1	T2	T3
额定容量/MVA	40	40	63/80
最大视在功率/MVA	26	26	26
最大降压负荷/MW	23.40	23.40	23.40/23.40
最大负载率/%	65.00	65.00	41.27/32.50
容载比	2.04/2.28		

表 8 三台变压器（两小一大，T2 为大）变电站，二次侧单母线四分段环供接线

变压器	T1	T2	T3
额定容量/MVA	40	63/80	40
最大视在功率/MVA	34.67	34.67/34.67	34.67
最大降压负荷/MW	31.20	31.20/31.20	31.20
最大负载率/%	86.67	55.03/43.33	86.67
容载比	1.53/1.71		

表 9 三台变压器（两小一大，T2 为大）变电站，二次侧单母线四分段接线

变压器	T1	T2	T3
额定容量/MVA	40	63/80	40
最大视在功率/MVA	26	52/52	26
最大降压负荷/MW	23.40	46.80/46.80	23.40
最大负载率/%	65.00	82.54/65.00	65.00
容载比	1.53/1.71		

表 10 三台变压器（一小两大）变电站，二次侧单母线五分段环供接线

变压器	T1	T2	T3
额定容量/MVA	40	63/80	63/80
最大视在功率/MVA	34.67	49.62/60.67	49.62/60.67
最大降压负荷/MW	31.20	44.66/54.60	44.66/54.60
最大负载率/%	86.67	78.76/75.83	78.76/75.83
容载比	1.38/1.42		

表 11 三台变压器（一小两大）变电站，二次侧单母线四分段接线

变压器	T1	T2	T3
额定容量/MVA	40	63/80	63/80
最大视在功率/MVA	26	40.95/52	40.95/52
最大降压负荷/MW	23.40	36.86/46.80	36.86/46.80
最大负载率/%	65.00	65.00/65.00	65.00/65.00
容载比	1.71/1.71		

4.5 数据汇总分析

表 12 两台同小容量变压器更换一台大容量变压器后

变压器	40/63,40/63	40,63/80
最大负载率/%	65.00/65.00,65.00/65.00	65.00,41.27/32.50
容载比	1.71/1.71	2.20/2.56

表 13 三台小容量变压器更换一台大容量变压器后

变压器	40,40,40 (单母四 分段)	40,40,63/80 (单母五 分段环供)	40,40,63/80 (单母四 分段)	40,63/80,40 (单母四 分段环供)	40,63/80,40 (单母四 分段)
最大负载率/%	65.00, 65.00, 65.00	86.67, 86.67, 55.03/43.33	65.00, 65.00, 41.27/32.50	86.67, 55.03/43.33, 86.67	65.00, 82.54/65.00, 65.00
容载比	1.71	1.53/1.71	2.04/2.28	1.53/1.71	1.53/1.71

表 14 三台大容量变压器和更换两台大容量变压器后

变压器	63/80,63/80,63/80 (单母六分段环供)	40,63/80,63/80 (单母五分段环供)	40,63/80,63/80 (单母四分段)
最大负载率/%	86.67/86.67, 86.67/86.67	86.67, 78.76/75.83, 78.76/75.83	65.00, 65.00/65.00, 65.00/65.00
容载比	1.28/1.28	1.38/1.42	1.71/1.71

（1）由表 12 可知：在有两台小容量变压器的变电站内更换一台大容量变压器后，大容量变压器最大负载率降低，站内容载比数值升高，即变压器的容量不能有效释放,变压器容量越大越不能有效释放。只有更换成两台同容量的变压器后变压器的最大负载率最大、容载比降低，变压器容量能够较好释放。

（2）由表 13 可知：在三台小容量变压器的变电站内更换一台大容量变压器后，大容量变压器

的最大负载率降低了, 容载比数值提高, 即变压器的容量不能有效释放, 并且 63MVA 比 80MVA 变压器的释放情况好。大容量变压器容量释放情况在单母五分段环供接线比单母四分段接线好。在单母四分段接线中, 大容量变压器容量释放情况在 T2 位置比在 T3 位置好。

(3) 由表 14 可知: 在变电站内更换两台大容量变压器后, 与更换一台大容量变压器的比, 大容量变压器最大负载率提高了, 站内容载比数值降低, 即大容量变压器的容量有了更好地释放, 且 63MVA 比 80MVA 变压器的释放情况好。变压器容量释放在单母五分段环供比单母四分段接线好。当变电站为三台大容量变压器后, 此时变压器的最大负载率最大, 容载比数值最小。

5 典型 110kV 变电站的增容改造

110kV 变电站有户外、半户内和全户内布置, 在站内采用大容量变压器有扩建或增容改造两种方式, 相较而言, 扩建工程要简单些, 可以参照改造工程。根据变电站的典型性, 下面以 110kV 全户内变电站增容改造 1 台大容量变压器为例, 对于具体改造方案及注意事项进行分析。

110kV 全户内布置变电站: 规模为三台变压器, 按 $3 \times 40\text{MVA}$ 容量考虑, 110kV 配电装置为 GIS, 变压器户内布置, 10kV 侧为户内开关柜, 单母四分段接线, 共有 30 回出线。电气主接线如图 1 所示。具体改造如下:

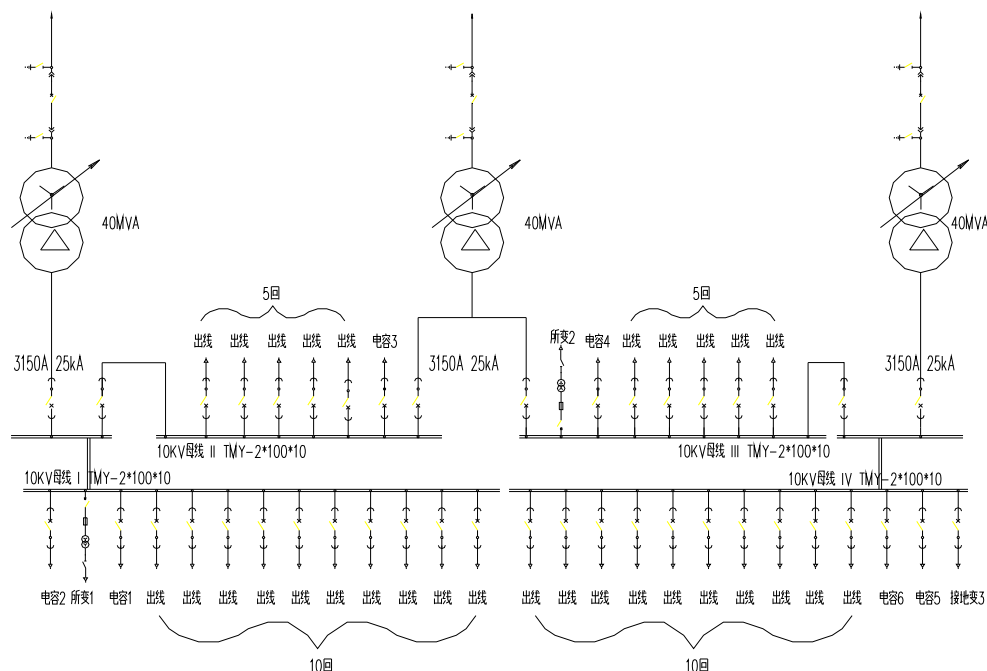


图 1 电气主接线图

110kV 侧维持原有的接线以及布置形式, 更换一台大容量变压器, 按 63MVA、80MVA 两种情况考虑, 配电装置采用户内开关柜, 低压侧电气接线根据站内情况采用单母四分段或单母五分段接线。

为了满足大容量变压器的布置, 需要考虑下面情况:

(1) 变压器室的空间是否满足大容量变压器的要求, 户内变电站的变压器室大多数安装了隔音板, 变压器室空间小, 必须将大容量变压器的外形大小控制在一定的尺寸, 才能满足安全距离和安装空间。

尤其在 80MVA 的变压器更加要注意这点, 如有必要拆除隔音板以增加变压器室空间大小。

(2) 原有的变压器基础是否满足大容量变压器的承载要求, 需要重新核算。如不能满足, 应采取加固措施。

针对大容量变压器的布置位置不同, 改造有二种方案:

方案一: T1、T2 变压器 (40MVA) 不变, T3 变容量增容为 63/80MVA。

该方案需要注意下列事项:

(1) 对于 10kV 开关室紧凑的变电站, 增容后只能按照单母线四分段布置。原有的 10kV 母线按照 40MVA 变压器配置, 母线载流能力为 2500A, 不能完全满足 63MVA 变压器的二次侧电流要求 (3464A)。最好能更换 IV 段母线, 进线断路器更换至 3150A, 但这种改造工程量大, 停电时间长, 并需要转移负荷, 应综合考虑工程造价。否则 63MVA 变压器容量不能完全利用。由表 7 可知, 此时大容量变压器 63MVA 的最大视在功率与 40MVA 变压器相同, 最大负载率只有 41.27%, 容载比的数值为 2.20。容量为 80MVA 变压器的二次侧电流为 4400A, 最大负载率为 32.5%, 容载比的数值为 2.56。因此这种情况下更换大容量变压器实际意义不大。

(2) 对于 10kV 开关室较大的变电站, 可以考虑 T3 的二次侧采用双分支母线, 构成单母线五分段环形接线。原 IV 段母线上有 15 个开关柜间隔 (10 回出线+2 回电容器+1 回进线+1 回接地变+1 回分段), 采用大容量变压器按双分支母线配置后, IV 段母线有 7 个开关柜间隔 (4 回出线+1 回电容器+1 回进线 +1 回分段), V 段母线有 8 个开关柜间隔 (4 回出线+1 回电容器+1 回进线 +1 回隔离+1 回分段)。为了充分释放主变的容量, 出线要考虑改造大容量出线间隔。由表 6 可知, 此时每台变压器的最大视在功率为 34.67MVA, 63MVA 变压器最大负载率为 55.03%, 容载比为 1.53; 80MVA 变压器最大负载率为 43.33%, 容载比为 1.71。大容量变压器容量释放情况比单母四分段情况要好

方案二: T1、T3 变压器 (40MVA) 不变, T2 变增容为 63/80MVA 容量, 10kV 侧为单母线四分段接线。

原有的 10kV 母线按照 40MVA 变压器配置, 母线载流能力为 2500A, 单独一条母线无法满足 63MVA 变压器二次侧 3464A 的电流要求。变压器布置在 T2 位置可以利用原有的双分支断路器, 分供 II、III 段母线, 以满足 63MVA 变压器的二次侧的正常电流要求, 同时也避免需要对 10kV 系统大规模改造。80MVA 变压器二次侧电流为 4400A, 也可以通过原有的双分支断路器, 分供 II、III 段母线, 来满足正常电流要求。为了能够更好释放容量, 可考虑部分出线改造大容量出线间隔。

由表 9 可知, T2 采用 63MVA 变压器; T1、T3

最大负载率都为 65.00%, T2 最大负载率为 82.54%, 容载比为 1.53; T2 采用 80MVA 变压器, 此时每台主变的最大负载率都为 65.00%, 容载比为 1.71。可见此时变压器容量 63MVA 要比 80MVA 的释放效果好。

6 10kV 配套工程

6.1 10kV 配网存在的不足

目前由于城区现有电源点布点仍然缺乏, 110kV 变电站的 10kV 出线间隔一直供不应求。实际资料表明无锡中心规划区的大部分变电站出线间隔都非常紧张, 而中心规划区变电站布点已接近饱和。当采用大容量变压器后, 由于变电站出线间隔规模在一期建设时已经一起考虑到位, 如果仅靠变电站的原有出线间隔直接向用户供电, 变压器容量将不能有效释放, 容载比偏大将更加突出。

6.2 解决措施

受变电站出线间隔数量, 出线走廊的限制, 使变电站的剩余容量不能供出去, 因此可以一方面在变电站内原有部分出线间隔改造成大容量出线间隔, 另一方面在变电站外合适的地方建设开闭所, 将大负荷从变电站输送到 10kV 开闭所, 再从开闭所转送至负荷终端。

10kV 开闭所从中起到一个中转站作用, 开闭所的母线可以看作是变电站 10kV 母线的延伸, 它有效地解决了变电站 10kV 间隔不够的问题。

由于 10kV 开闭所接线方式清晰、灵活, 故障点判断容易, 可较快实现负荷转移, 具备较强的负荷释放能力, 故在优化 10kV 配电网结构的过程中, 要以“以电源点为中心, 分布配置开闭所”的原则进行建设。

7 结论

(1) 在 110kV 变电站中采用大容量的变压器是解决电网建设与城市建设之间的矛盾的一种方式。从变压器最大负载率和站内容载比的角度分析, 可以看出在变电站内新建或更换一台大容量变压器后, 变电站内的容载比值会提高, 大容量变压器总的来讲都不能有效释放容量, 其中 63MVA 比 80MVA 变压器的释放情况好; 当有两台大容量变压器后就可以更好地释放变压器容量; 当站内为三台大容量变压器后, 此时变压器容量释放情况最好,

变压器的最大负载率最大,容载比数值最小。

(2) 原有按照 $3\times 40\text{MVA}$ 容量设计的变电站,低压侧为单母线四分段接线。当采用大容量变压器后,在条件允许情况下,建议改造原有的 10kV 母线以充分释放大容量变压器容量。对于 10kV 开关室较大的变电站,建议改造为单母五分段环形接线,与单母四分段接线比较,可提高变压器负载率,降低容载比,大容量变压器的容量释放情况要好。

(3) 采用大容量变压器后,为了保证变压器容量的有效释放,可在变电站内部分出线间隔要改造成大容量出线间隔,变电站外配套建设 10kV 开闭所,相当于把变电站 10kV 母线的延伸到开闭所,有效地解决变电站 10kV 间隔不够的情况。

参考文献:

- [1] 国家电网公司. Q/GDW 156-2006 城市电力网规划设计导则[Z]. 北京: 国家电网公司,2006.
- [2] 国家电网公司输变电工程典型设计(2007 年版)[M]. 北京:中国电力出版社,2007.

作者简介:

是晨光(1974-),男,江苏无锡人,高级工程师,注册电气师,注册造价师,主要从事电力系统二次设计,

E-mail: shd000@163.com;

丁 升(1975-),男,江苏无锡人,高级工程师,注册电气师,主要从事电力系统二次设计和概预算;

王 勇(1963-),男,江苏无锡人,高级工程师,注册电气师,注册监理师,主要从事电力系统管理工作。