



中华人民共和国国家标准

GB/T 23753—2020
代替 GB/T 23753—2009

110 kV 及以上油浸式并联电抗器 技术参数和要求

Technical parameters and requirements for 110 kV and above oil-immersed
shunt reactors

2020-11-19 发布

2021-06-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 使用条件 2

5 110 kV 级电抗器 2

6 220 kV 级电抗器 8

7 330 kV 级电抗器 14

8 500 kV 级电抗器 20

9 750 kV 级电抗器 26

10 1 000 kV 级电抗器 32

11 标志、起吊、包装、运输和贮存 40

附录 A（规范性附录） 110 kV 及以上油浸式并联电抗器配套用中性点接地电抗器技术参数和
要求 41

图 1 1 000 kV 油浸式并联电抗器 IVPD 试验顺序 38

图 2 1 000 kV 油浸式并联电抗器末端（中性点端）局部放电测量试验顺序 39

表 1 110 kV 级单相电抗器基本参数 2

表 2 110 kV 级三相电抗器基本参数 3

表 3 110 kV 级电抗器的过励磁能力 4

表 4 110 kV 级电抗器的额定绝缘水平 5

表 5 220 kV 级单相电抗器基本参数 8

表 6 220 kV 级三相电抗器基本参数 9

表 7 220 kV 级电抗器的过励磁能力 10

表 8 220 kV 级电抗器的额定绝缘水平 11

表 9 330 kV 级单相电抗器基本参数 14

表 10 330 kV 级三相电抗器基本参数 15

表 11 330 kV 级电抗器的过励磁能力 17

表 12 330 kV 级电抗器的额定绝缘水平 17

表 13 500 kV 级单相电抗器基本参数 20

表 14 500 kV 级电抗器的过励磁能力 22

表 15 500 kV 级电抗器的额定绝缘水平 23

表 16	750 kV 级单相电抗器基本参数	26
表 17	750kV 级电抗器的油箱振动水平	28
表 18	750 kV 级电抗器的过励磁能力	28
表 19	750 kV 级电抗器的额定绝缘水平	29
表 20	1 000 kV 级单相电抗器基本参数	32
表 21	1 000 kV 级电抗器的油箱振动水平	33
表 22	1 000 kV 级电抗器的过励磁能力	34
表 23	1 000 kV 级电抗器的额定绝缘水平	34
表 24	1 000 kV 套管的额定绝缘水平	36
表 25	1 000 kV 套管的端子允许载荷	36
表 A.1	110 kV、220 kV、330 kV、500 kV 级并联电抗器配套用中性点接地电抗器的额定绝缘水平 ...	42
表 A.2	750 kV 级并联电抗器配套用中性点接地电抗器的额定绝缘水平	44
表 A.3	1 000 kV 级并联电抗器配套用中性点接地电抗器的额定绝缘水平	46



前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 GB/T 23753—2009 《330 kV 及 500 kV 油浸式并联电抗器技术参数和要求》，与 GB/T 23753—2009 相比，主要技术变化如下：

- 扩大了标准的适用范围(见第 1 章,2009 年版的第 1 章)；
- 修改了规范性引用文件(见第 2 章,2009 年版的第 2 章)；
- 增加了使用条件(见第 4 章)；
- 对 330 kV 和 500 kV 的技术内容进行了修改(见第 7 章和第 8 章,2009 年版的第 4 章～第 8 章)；
- 增加了 110 kV、220 kV、750 kV 和 1 000 kV 油浸式并联电抗器的技术参数和要求(见第 5 章、第 6 章、第 9 章和第 10 章)；
- 对附录的内容进行了修改和补充(见附录 A,2009 年版的附录 A)。

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由全国变压器标准化技术委员会(SAC/TC 44)归口。

本标准起草单位：沈阳变压器研究院股份有限公司、西安西电变压器有限责任公司、吴江变压器有限公司、中国电力科学研究院有限公司、保定天威保变电气股份有限公司、特变电工沈阳变压器集团有限公司、南方电网科学研究院有限责任公司、特变电工衡阳变压器有限公司、山东输变电设备有限公司、广东电网有限责任公司电力科学研究院、江苏华鹏变压器有限公司、国网陕西省电力公司电力科学研究院、浙江江山变压器股份有限公司。

本标准主要起草人：章忠国、陈荣、禹云长、张显忠、付超、张栋、刘均菲、雷园园、龚筱琦、李学成、林春耀、赵文俊、刘孝为、姜振军。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 23753—2009。

110 kV 及以上油浸式并联电抗器 技术参数和要求

1 范围

本标准规定了系统标称电压为 110 kV 及以上油浸式并联电抗器(以下简称电抗器)的术语和定义、使用条件、性能参数、技术要求、设计和结构、检验规则及方法、标志、起吊、包装、运输和贮存。并规定了 110 kV 及以上油浸式并联电抗器配套用中性点接地电抗器的性能参数、技术要求、设计和结构、检验规则及方法、标志、起吊、包装、运输和贮存。

本标准适用于额定频率为 50 Hz、系统标称电压为 110 kV 及以上的单相和三相油浸式并联电抗器,及 110 kV 及以上油浸式并联电抗器配套用中性点接地电抗器。

对于有特殊要求的电抗器,如调容电抗器,若额定阻抗带 $\pm 5\%$ 或 $\pm 10\%$ 抽头时,通过无励磁分接开关实现电抗器容量的调节,则其技术要求可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB/T 1094.1 电力变压器 第 1 部分:总则
- GB/T 1094.2 电力变压器 第 2 部分:液浸式变压器的温升
- GB/T 1094.3 电力变压器 第 3 部分:绝缘水平、绝缘试验和外绝缘空气间隙
- GB/T 1094.6 电力变压器 第 6 部分:电抗器
- GB/T 1094.10 电力变压器 第 10 部分:声级测定
- GB 2536 电工流体 变压器和开关用的未使用过的矿物绝缘油
- GB/T 2900.95 电工术语 变压器、调压器和电抗器
- GB/T 4109 交流电压高于 1 000 V 的绝缘套管
- GB/T 5273 高压电器端子尺寸标准化
- GB/T 11604 高压电气设备无线电干扰测试方法
- GB/T 20840.2 互感器 第 2 部分:电流互感器的补充技术要求
- GB/T 26218.2 污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定 第 2 部分:交流系统用瓷和玻璃绝缘子
- DL/T 722 变压器油中溶解气体分析和判断导则

3 术语和定义

GB/T 1094.6 和 GB/T 2900.95 界定的术语和定义适用于本文件。

4 使用条件

4.1 正常使用条件

除应满足 GB/T 1094.1 规定的正常使用条件外,还应满足下列要求:

- 最大风速不超过 34 m/s(离地面高 10 m 处,持续 10 min 的 100 年平均最大风速。应按设备实际安装高度折算);
- 月平均相对湿度不超过 95%(25 ℃下);
- 最大日照强度不超过 0.1 W/cm²(风速 0.5 m/s);
- 覆冰厚度不超过 20 mm;
- 污秽等级不超过 d 级(重)。

4.2 特殊使用条件

凡是需要满足 4.1 规定的正常使用条件之外的特殊使用条件,应在询价和订货时说明。

5 110 kV 级电抗器

5.1 性能参数

110 kV 级电抗器的额定容量、额定电压、额定电抗及损耗等基本参数应符合表 1 和表 2 的规定。

表 1 和表 2 中的额定容量是 110kV 级电抗器的典型值,如果电抗器的额定容量不是表中典型值,则其性能参数可参考表中参数确定。

表 1 110 kV 级单相电抗器基本参数

额定容量 Mvar	额定电压 kV	允许长期 过励磁倍数	联结方式	额定电抗 Ω	损耗 kW
10	115/√3	1.05	三台单相联结成 Y 结， 直接接地或经中性点接 地电抗器接地	440.8	40
	121/√3			488	
20	115/√3			220.4	75
	121/√3			244	
30	115/√3			146.9	105
	121/√3			162.7	
40	115/√3			110.2	130
	121/√3			122	
60	115/√3			73.5	180
	121/√3			81.3	
80	115/√3			55.1	210
	121/√3			61	
中性点接地电抗器见附录 A。					

表 2 110 kV 级三相电抗器基本参数

额定容量 Mvar	额定电压 kV	允许长期 过励磁倍数	联结 方式	额定电抗 Ω	损耗 kW
30	115	1.05	三相 Y 结,直接接地或经 中性点接地电抗器接地	440.8	120
	121			488	
60	115			220.4	200
	121			244	
90	115			146.9	270
	121			162.7	
120	115			110.2	330
	121			122	
中性点接地电抗器见附录 A。					

5.2 技术要求

5.2.1 基本要求

5.2.1.1 按本标准制造的电抗器应符合 GB/T 1094.1、GB/T 1094.2、GB/T 1094.3 和 GB/T 1094.6 的规定。

5.2.1.2 电抗器组件、部件的设计、制造及检验等应符合法规及相关标准的要求。

5.2.2 性能要求

5.2.2.1 电抗值允许偏差

在额定电压和额定频率下,电抗器额定电抗的允许偏差为 $\pm 5\%$,每相电抗与三相电抗平均值间的允许偏差不应超过 $\pm 2\%$ 。

5.2.2.2 损耗值允许偏差

损耗实测值与规定值的允许偏差不应超过 $+10\%$ 。

5.2.2.3 温升限值

在 GB/T 1094.1 规定的正常使用条件下,电抗器在 1.05 倍额定电压下各部位的温升限值应符合下列规定:

- 顶层油温升:55 K;
- 绕组平均温升(用电阻法测量):65 K;
- 绕组热点温升:78 K;
- 油箱壁表面温升:80 K。

对于铁芯、绕组外部的电气连接线及油箱中的其他结构件,均不规定温升限值,但仍要求其温升值不能过高,以免使其相邻的部件受到热损坏或使油过度老化。

在特殊使用条件下,电抗器的温升限值应按 GB/T 1094.2 的规定进行修正。

当用户对温升试验的电压值和温升限值有其他特殊要求时,应在询价和订货时提出。

5.2.2.4 局部放电水平

局部放电水平按 GB/T 1094.3 的规定。

5.2.2.5 无线电干扰水平及可见电晕

电抗器在 1.1 倍最高工作电压下的无线电干扰电压应不大于 500 μV ,并在晴天夜晚无可见电晕。

5.2.2.6 声级水平

在 GB/T 1094.10 规定的测量条件下,电抗器的声级水平(声压级)应不超过 80 dB(A),并按 GB/T 1094.10 的规定进行换算,给出声功率级。

5.2.2.7 磁化特性

在 1.25 倍额定电压以下时,电抗器的磁化特性曲线应基本为线性。在 1.25 倍电压下的电抗值应不低于额定电压下电抗值的 95%。

5.2.2.8 振动水平

电抗器在额定电压、额定电流、额定频率和允许的谐波电流分量下,油箱的最大机械振动幅度(振幅)应不超过 200 μm (峰值-峰值)。

5.2.2.9 允许的谐波电流分量

当对电抗器施加正弦波形的额定电压时,电抗器允许的三次谐波电流分量峰值不应超过基波电流分量峰值的 3%。

5.2.2.10 绝缘油性能指标(电抗器投入运行前)

电抗器所使用的绝缘油应符合 GB 2536 的要求。电抗器投入运行前,新绝缘油应符合下列要求:

- 击穿电压 $\geq 45\text{ kV}$;
- 含水量 $\leq 20\text{ mg/L}$;
- 含气量 $\leq 1.0\%$;
- 介质损耗因数($\tan\delta$) $\leq 0.01(90\text{ }^\circ\text{C})$ 。

5.2.2.11 过励磁能力

电抗器在额定频率下的过励磁能力见表 3。

表 3 110 kV 级电抗器的过励磁能力

过励磁倍数	允许时间	
	以冷状态投入运行	额定运行状态
1.15	120 min	60 min
1.2	40 min	20 min
1.25	20 min	10 min
1.3	10 min	3 min
1.4	1 min	20 s

表 3 (续)

过励磁倍数	允许时间	
	以冷状态投入运行	额定运行状态
1.5	20 s	8 s
注：表中内容不作为试验考核项目。		

5.2.2.12 绝缘水平及外绝缘空气间隙

电抗器的额定绝缘水平见表 4。如用户另有要求,则绝缘水平也可按照 GB/T 1094.3 的规定来确定。

表 4 110 kV 级电抗器的额定绝缘水平

位置	设备最高电压 (方均根值) kV	额定雷电冲击耐受电压 (峰值) kV		额定操作冲击耐受电压 (峰值) kV	额定交流耐受电压 (方均根值) kV
		全波	截波		
首端	126	480	530	—	200
末端	72.5	325	—	—	140
	40.5	200	—	—	85

电抗器的外绝缘空气间隙应根据其绝缘试验电压,按照 GB/T 1094.3 的规定进行确定,并按实际海拔进行修正。

5.2.2.13 介质损耗因数(tanδ)

在 20 ℃~25 ℃及 10 kV 电压下,电抗器的整体介质损耗因数(tanδ)应不大于 0.008。

5.2.2.14 极化指数和吸收比

电抗器极化指数一般不小于 1.5,吸收比一般不小于 1.3。当绝缘电阻不低于 10 GΩ 时,极化指数和吸收比不需考核。

5.2.2.15 绝缘电阻

电抗器整体对地绝缘电阻和电抗器铁芯、夹件分别对地绝缘电阻应不小于 500 MΩ(20 ℃)。

5.2.2.16 温升试验前、后绝缘油中溶解气体分析

温升试验前、后,应对电抗器取油样进行绝缘油中溶解气体色谱分析,烃类气体应无明显变化。

5.2.2.17 油浸纸绝缘套管的油中溶解气体分析

如结构允许,则应对油浸纸绝缘套管取油样进行溶解气体色谱分析。

5.2.2.18 电抗器整体密封性能

电抗器整体(包括所有充油附件)应能承受在最高油面上施加 30 kPa 的静压力而无渗漏。

5.3 设计和结构

5.3.1 安全保护装置

5.3.1.1 电抗器应装有气体继电器。

气体继电器的接点容量在交流 220 V 或 110 V 时不小于 66 VA, 直流有感负载时, 不小于 15 W。电抗器油箱和联管的设计应使气体易于汇集在气体继电器内, 电抗器不得有存气现象。积聚在气体继电器内的气体数量达到 250 mL~300 mL 或油速在整定范围内时, 应分别接通相应的接点。气体继电器的安装位置及其结构应能观察到分解气体的数量和油速标尺, 而且应便于取气体。

5.3.1.2 电抗器应装有压力保护装置, 当电抗器油箱内压力达到安全限值时, 压力保护装置应可靠释放压力。

5.3.1.3 带有套管式电流互感器的电抗器应供给信号测量和保护装置辅助线路用的端子箱。

5.3.1.4 电抗器所有管道最高处或容易窝气处应设置放气塞。

5.3.2 油保护装置

5.3.2.1 电抗器均应装有储油柜, 其结构应便于清理内部, 储油柜的一端应装有油位计, 储油柜的容积应保证在最高环境温度及所允许的过载状态下油不溢出, 在最低环境温度未投入运行时, 应能观察到油位指示。

5.3.2.2 储油柜应有注油、放油、放气和排污装置。

5.3.2.3 电抗器应采取防油老化措施, 以确保电抗器内部的油不与大气相接触, 如: 在储油柜内部加装胶囊、隔膜或采用金属波纹密封式储油柜等。

5.3.2.4 胶囊式、隔膜式储油柜上均应装有带有油封的吸湿器。

5.3.3 油温测量装置

5.3.3.1 电抗器应装有供温度计用的管座, 管座应设在油箱顶部, 并伸入油内不少于 110 mm。

5.3.3.2 电抗器应装设户外测温装置, 其接点容量在交流电压 220 V 时, 不低于 50 VA, 直流有感负载时, 不低于 15 W。测温装置的引线应用支架固定, 安装位置应便于观察, 且其准确度应符合相应标准。

5.3.3.3 电抗器应装有远距离测温用的测温元件。

5.3.3.4 当电抗器采用集中冷却结构时, 应在靠油箱进出口总管路处装设测油温用的温度计管座。

5.3.4 冷却系统及控制箱

5.3.4.1 电抗器宜优先采用自然循环冷却方式。

5.3.4.2 应根据冷却方式供给全套冷却装置。

5.3.5 电抗器油箱及其附件的技术要求

5.3.5.1 电抗器一般不供应底座和小车。如果供给小车, 则应带小车固定装置, 固定装置应满足现场抗震的要求。其箱底底座或小车支架焊装位置应符合轨距的要求。轨距: 纵向为 1 435 mm, 横向为 1 435 mm、2 000 mm(2×2 000 mm、3×2 000 mm)。

5.3.5.2 在电抗器油箱壁的上、下部宜装有油样活门, 在油箱底部宜装有排油装置。

5.3.5.3 电抗器油箱应具有能承受住真空度为 133 Pa 和正压力为 98 kPa 的机械强度的能力, 油箱不得有损伤和不允许的永久变形。

5.3.5.4 电抗器油箱下部应有供千斤顶顶起电抗器的装置及水平牵引装置。

- 5.3.5.5 在电抗器油箱壁上应设置梯子,并应有警示标志,其位置应尽可能便于取油样和观察气体继电器。
- 5.3.5.6 套管的安装位置和相互距离应便于接线,且其带电部分的空气间隙应满足 GB/T 1094.3 的要求。
- 5.3.5.7 电抗器结构应便于拆卸和更换套管或瓷件。
- 5.3.5.8 电抗器铁芯和较大金属结构零件均应通过油箱可靠接地。电抗器铁芯和夹件应分别引出并可靠接地。电抗器油箱应保证有两个接地点(分别位于油箱长轴或短轴两侧)。接地处应有明显的接地符号“≡”或“接地”字样。
- 5.3.5.9 应根据需要提供一定数量的套管式电流互感器,电流互感器应符合 GB/T 20840.2 的规定。
- 5.3.5.10 电抗器上、下部应装有滤油阀(成对角线放置),下部还应装有放油阀。

5.4 检验规则及方法

5.4.1 一般要求

电抗器的试验包括例行试验、型式试验和特殊试验,具体的试验项目及试验方法应按 GB/T 1094.6 的规定。此外,电抗器还应进行 5.4.2~5.4.9 的试验。

5.4.2 绝缘油性能试验(例行试验)

从油箱下部取油样,按 GB 2536 的规定进行试验。

5.4.3 密封性能试验(例行试验)

电抗器本体及储油柜应能承受在最高油面上施加 30 kPa 静压力的油密封试验,试验时间持续 24 h,不得有渗漏及损伤。

5.4.4 吸收比、极化指数测量(例行试验)

应对电抗器的极化指数($R_{10\min}/R_{1\min}$)和吸收比(R_{60s}/R_{15s})进行测量,测试通常在 5℃~40℃ 温度和相对湿度小于 85% 时进行。

5.4.5 介质损耗因数测量和电容量测量(例行试验)

应对电抗器的介质损耗因数($\tan\delta$)值和绕组电容量进行测量,测试通常在 5℃~40℃ 温度下进行。在 20℃~25℃ 及 10 kV 电压下, $\tan\delta$ 值一般应不大于 0.008。不同温度下的 $\tan\delta$ 值一般可按公式(1)换算:

$$\tan\delta_2 = \tan\delta_1 \times 1.3^{(t_2-t_1)/10} \dots\dots\dots (1)$$

式中:
—— $\tan\delta_1$ 、 $\tan\delta_2$ 分别为温度 t_1 、 t_2 时的 $\tan\delta$ 值。

5.4.6 绝缘电阻测量(例行试验)

应对电抗器的绝缘电阻和铁芯、夹件分别对地的绝缘电阻进行测量,测试通常在 5℃~40℃ 和相对湿度小于 85% 时进行。当测量温度不同时,绝缘电阻可按公式(2)换算:

$$R_2 = R_1 \times 1.5^{(t_1-t_2)/10} \dots\dots\dots (2)$$

式中:
—— R_1 、 R_2 分别为温度 t_1 、 t_2 时的绝缘电阻值。

5.4.7 油浸纸绝缘套管中绝缘油的试验(例行试验)

电抗器全部试验合格后,如结构允许,则应对油浸纸绝缘套管取油样进行试验,试验结果应符合 DL/T 722 的规定。

5.4.8 温升试验前、后绝缘油的气相色谱分析试验(型式试验)

温升试验前、后,应对电抗器取油样进行气相色谱分析试验,烃类气体应无明显变化。试验按 DL/T 722 的规定进行。

5.4.9 无线电干扰水平及可见电晕测量(特殊试验)

应对电抗器进行 1.1 倍最高运行电压下的无线电干扰水平及可见电晕测量,试验方法按照 GB/T 11604 的有关规定。

6 220 kV 级电抗器

6.1 性能参数

220 kV 级电抗器的额定容量、额定电压、额定电抗及损耗等基本参数应符合表 5 和表 6 的规定。

表 5 和表 6 中的额定容量是 220 kV 级电抗器的典型值,如果电抗器的额定容量不是表中典型值,则其性能参数可参考表中参数确定。

表 5 220 kV 级单相电抗器基本参数

额定容量 Mvar	额定电压 kV	允许长期 过励磁倍数	联结方式	额定电抗 Ω	损耗 kW
10	$230/\sqrt{3}$	1.05	三台单相联成 Y 结,经 中性点接地电抗器接地 或直接接地	1 763.3	40
	$242/\sqrt{3}$			1 952.1	
15	$230/\sqrt{3}$			1 175.6	55
	$242/\sqrt{3}$			1 301.4	
20	$230/\sqrt{3}$			881.7	65
	$242/\sqrt{3}$			976.1	
25	$230/\sqrt{3}$			705.3	80
	$242/\sqrt{3}$			780.9	
30	$230/\sqrt{3}$			587.8	90
	$242/\sqrt{3}$			650.7	
40	$230/\sqrt{3}$			440.8	110
	$242/\sqrt{3}$			488	
中性点接地电抗器见附录 A。					

表 6 220 kV 级三相电抗器基本参数

额定容量 Mvar	额定电压 kV	允许长期 过励磁倍数	联结 方式	额定电抗 Ω	损耗 kW
30	230	1.05	三相 Y 结,直接接地或经 中性点接地电抗器接地	1 763.3	120
	242			1 952.1	
45	230			1 175.6	160
	242			1301.4	
60	230			881.7	180
	242			976.1	
75	230			705.3	210
	242			780.9	
90	230			587.8	240
	242			650.7	
120	230			440.8	300
	242			488	
中性点接地电抗器见附录 A。					

6.2 技术要求

6.2.1 基本要求

6.2.1.1 按本标准制造的电抗器应符合 GB/T 1094.1、GB/T 1094.2、GB/T 1094.3 和 GB/T 1094.6 的规定。

6.2.1.2 电抗器组件、部件的设计、制造及检验等应符合法规及相关标准的要求。

6.2.2 性能要求

6.2.2.1 电抗值允许偏差

在额定电压和额定频率下,电抗器额定电抗的允许偏差为 $\pm 5\%$,每相电抗与三相电抗平均值间的允许偏差不应超过 $\pm 2\%$ 。

6.2.2.2 损耗值允许偏差

损耗实测值与规定值的允许偏差不应超过 $+10\%$ 。

6.2.2.3 温升限值

在 GB/T 1094.1 规定的正常使用条件下,电抗器在 1.05 倍额定电压下各部位的温升限值应符合下列规定:

- 顶层油温升:55 K;
- 绕组平均温升(用电阻法测量):65 K;
- 绕组热点温升:78 K;
- 油箱壁表面温升:80 K。



对于铁芯、绕组外部的电气连接线及油箱中的其他结构件,均不规定温升限值,但仍要求其温升值不能过高,以免使与其相邻的部件受到热损坏或使油过度老化。

在特殊使用条件下,电抗器的温升限值应按 GB/T 1094.2 的规定进行修正。

当用户对温升试验的电压值和温升限值有其他特殊要求时,应在询价和订货时提出。

6.2.2.4 局部放电水平

局部放电水平按 GB/T 1094.3 的规定。

6.2.2.5 无线电干扰水平及可见电晕

电抗器在 1.1 倍最高运行电压下的无线电干扰电压应不大于 500 μ V,并在晴天夜晚无可见电晕。

6.2.2.6 声级水平

在 GB/T 1094.10 规定的测量条件下,电抗器的声级水平(声压级)应不超过 80 dB(A),并按 GB/T 1094.10 的规定进行换算,给出声功率级。

6.2.2.7 磁化特性

在 1.25 倍额定电压以下时,电抗器的磁化特性曲线应基本为线性。在 1.25 倍电压下的电抗值应不低于额定电压下电抗值的 95%。

6.2.2.8 振动水平

电抗器在额定电压、额定电流、额定频率和允许的谐波电流分量下,油箱的最大机械振动幅度(振幅)应不超过 200 μ m(峰值-峰值)。

6.2.2.9 允许的谐波电流分量

当对电抗器施加正弦波形的额定电压时,电抗器允许的三次谐波电流分量峰值不应超过基波电流分量峰值的 3%。

6.2.2.10 绝缘油性能指标(电抗器投入运行前)

电抗器所使用的绝缘油应符合 GB 2536 的要求。电抗器投入运行前,新绝缘油应符合下列要求:

- 击穿电压 \geq 45 kV;
- 含水量 \leq 15 mg/L;
- 含气量 \leq 1.0%;
- 介质损耗因数($\tan\delta$) \leq 0.01(90 $^{\circ}$ C)。

6.2.2.11 过励磁能力

电抗器在额定频率下的过励磁能力见表 7。

表 7 220 kV 级电抗器的过励磁能力

过励磁倍数	允许时间	
	以冷状态投入运行	额定运行状态
1.15	120 min	60 min
1.2	40 min	20 min

表 7 (续)

过励磁倍数	允许时间	
	以冷状态投入运行	额定运行状态
1.25	20 min	10 min
1.3	10 min	3 min
1.4	1 min	20 s
1.5	20 s	8 s
注：表中内容不作为试验考核项目。		

6.2.2.12 绝缘水平及外绝缘空气间隙

电抗器的额定绝缘水平见表 8。如用户另有要求,则绝缘水平也可按照 GB/T 1094.3 的规定来确定。

表 8 220 kV 级电抗器的额定绝缘水平

位置	设备最高电压 (方均根值) kV	额定雷电冲击耐受电压 (峰值) kV		额定操作冲击耐受电压 (峰值) kV	额定交流耐受电压 (方均根值) kV
		全波	截波		
首端	252	950	1 050	750	395
末端	126	480	—	—	200
	72.5	325	—	—	140
	40.5	200	—	—	85

电抗器的外绝缘空气间隙应根据其绝缘试验电压,按照 GB/T 1094.3 的规定来进行确定,并按实际海拔进行修正。

6.2.2.13 介质损耗因数(tanδ)

在 20 ℃~25 ℃及 10 kV 电压下,电抗器的整体介质损耗因数(tanδ)应不大于 0.008。

6.2.2.14 极化指数和吸收比

电抗器极化指数一般不小于 1.5,吸收比一般不小于 1.3。当绝缘电阻不低于 10 GΩ 时,极化指数和吸收比不需考核。

6.2.2.15 绝缘电阻

电抗器整体对地绝缘电阻和电抗器铁芯、夹件分别对地绝缘电阻应不小于 500 MΩ(20 ℃)。

6.2.2.16 温升试验前、后绝缘油中溶解气体分析

温升试验前、后,应对电抗器取油样进行绝缘油中溶解气体色谱分析,烃类气体应无明显变化。

6.2.2.17 油浸纸绝缘套管的油中溶解气体分析

如结构允许,则应对油浸纸绝缘套管取油样进行溶解气体色谱分析。

6.2.2.18 电抗器整体密封性能

电抗器整体(包括所有充油附件)应能承受在最高油面上施加 30 kPa 的静压力而无渗漏。

6.3 设计和结构

6.3.1 安全保护装置

6.3.1.1 电抗器应装有气体继电器。

气体继电器的接点容量在交流 220 V 或 110 V 时不小于 66 VA,直流有感负载时,不小于 15 W。电抗器油箱和联管的设计应使气体易于汇集在气体继电器内,电抗器不得有存气现象。积聚在气体继电器内的气体数量达到 250 mL~300 mL 或油速在整定范围内时,应分别接通相应的接点。气体继电器的安装位置及其结构应能观察到分解气体的数量和油速标尺,而且应便于取气体。

6.3.1.2 电抗器应装有压力保护装置,当电抗器油箱内压力达到安全限值时,压力保护装置应可靠释放压力。

6.3.1.3 带有套管式电流互感器的电抗器应供给信号测量和保护装置辅助线路用的端子箱。

6.3.1.4 电抗器所有管道最高处或容易窝气处应设置放气塞。

6.3.2 油保护装置

6.3.2.1 电抗器均应装有储油柜,其结构应便于清理内部,储油柜的一端应装有油位计,储油柜的容积应保证在最高环境温度及所允许的过载状态下油不溢出,在最低环境温度未投入运行时,应能观察到油位指示。

6.3.2.2 储油柜应有注油、放油、放气和排污装置。

6.3.2.3 电抗器应采取防油老化措施,以确保电抗器内部的油不与大气相接触,如:在储油柜内部加装胶囊、隔膜或采用金属波纹密封式储油柜等。

6.3.2.4 胶囊式、隔膜式储油柜上均应装有带有油封的吸湿器。

6.3.3 油温测量装置

6.3.3.1 电抗器应装有供温度计用的管座,管座应设在油箱顶部,并伸入油内不少于 110 mm。

6.3.3.2 电抗器应装设户外测温装置,其接点容量在交流电压 220 V 时,不低于 50 VA,直流有感负载时,不低于 15 W。测温装置的引线应用支架固定,安装位置应便于观察,且其准确度应符合相应标准。

6.3.3.3 电抗器应装有远距离测温用的测温元件。

6.3.3.4 当电抗器采用集中冷却结构时,应在靠油箱进出口总管路处装设测油温用的温度计管座。

6.3.4 冷却系统及控制箱

6.3.4.1 电抗器应优先采用自然循环冷却方式。

6.3.4.2 应根据冷却方式供给全套冷却装置。

6.3.5 电抗器油箱及其附件的技术要求

6.3.5.1 电抗器一般不供应底座和小车。如果供给小车,则应带小车固定装置,固定装置应满足现场抗震的要求。其箱底底座或小车支架焊装位置应符合轨距的要求。轨距:纵向为 1 435 mm,横向为

1 435 mm、2 000 mm(2×2 000 mm、3×2 000 mm)。

6.3.5.2 在电抗器油箱壁的上、下部宜装有油样活门,在油箱底部宜装有排油装置。

6.3.5.3 电抗器油箱应具有能承受住真空度为 133 Pa 和正压力为 98 kPa 的机械强度的能力,油箱不得有损伤和不允许的永久变形。

6.3.5.4 电抗器油箱下部应有供千斤顶顶起电抗器的装置及水平牵引装置。

6.3.5.5 在电抗器油箱壁上应设置梯子,并应有警示标志,其位置应尽可能便于取油样和观察气体继电器。

6.3.5.6 套管的安装位置和相互距离应便于接线,且其带电部分的空气间隙应满足 GB/T 1094.3 的要求。

6.3.5.7 电抗器结构应便于拆卸和更换套管或瓷件。

6.3.5.8 电抗器铁芯和较大金属结构零件均应通过油箱可靠接地。电抗器铁芯和夹件应分别引出并可靠接地。电抗器油箱应保证有两个接地点(分别位于油箱长轴或短轴两侧)。接地处应有明显的接地符号“⊥”或“接地”字样。

6.3.5.9 应根据需要提供一定数量的套管式电流互感器,电流互感器应符合 GB/T 20840.2 的规定。

6.3.5.10 电抗器上、下部应装有滤油阀(成对角线放置),下部还应装有放油阀。

6.4 检验规则及方法

6.4.1 一般要求

电抗器的试验包括例行试验、型式试验和特殊试验,具体的试验项目及试验方法应按 GB/T 1094.6 的规定。此外,电抗器还应进行 6.4.2~6.4.9 的试验。

6.4.2 绝缘油性能试验(例行试验)

从油箱下部取油样,按 GB 2536 的规定进行试验。

6.4.3 密封性能试验(例行试验)

电抗器本体及储油柜应能承受在最高油面上施加 30 kPa 静压力的油密封试验,试验时间持续 24 h,不得有渗漏及损伤。

6.4.4 吸收比、极化指数测量(例行试验)

应对电抗器的极化指数($R_{10\text{ min}}/R_{1\text{ min}}$)和吸收比($R_{60\text{ s}}/R_{15\text{ s}}$)进行测量,测试通常在 5℃~40℃ 温度和相对湿度小于 85% 时进行。

6.4.5 介质损耗因数测量和电容量测量(例行试验)

应对电抗器的介质损耗因数($\tan\delta$)值和绕组电容量进行测量,测试通常在 5℃~40℃ 温度下进行。在 20℃~25℃ 及 10 kV 电压下, $\tan\delta$ 值一般应不大于 0.008。不同温度下的 $\tan\delta$ 值一般可按公式(3)换算:

$$\tan\delta_2 = \tan\delta_1 \times 1.3^{(t_2 - t_1)/10} \dots\dots\dots (3)$$

式中:
—— $\tan\delta_1$ 、 $\tan\delta_2$ 分别为温度 t_1 、 t_2 时的 $\tan\delta$ 值。

6.4.6 绝缘电阻测量(例行试验)

应对电抗器的绝缘电阻和铁芯、夹件分别对地绝缘电阻进行测量,测试通常在 5℃~40℃ 和相对

湿度小于 85% 时进行。当测量温度不同时,绝缘电阻可按公式(4)换算:

$$R_2 = R_1 \times 1.5^{(t_1 - t_2)/10} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

—— R_1 、 R_2 分别为温度 t_1 、 t_2 时的绝缘电阻值。

6.4.7 油浸纸绝缘套管中绝缘油的试验(例行试验)

电抗器全部试验合格后,如结构允许,则应对油浸纸绝缘套管取油样进行试验,试验结果应符合 DL/T 722 的规定。

6.4.8 温升试验前、后绝缘油的气相色谱分析试验(型式试验)

温升试验前、后,应对电抗器取油样进行气相色谱分析试验,烃类气体应无明显变化。试验按 DL/T 722 的规定进行。

6.4.9 无线电干扰水平及可见电晕测量(特殊试验)

应对电抗器进行 1.1 倍最高运行电压下的无线电干扰水平及可见电晕测量,试验方法按照 GB/T 11604 的有关规定。

7 330 kV 级电抗器

7.1 性能参数

330 kV 级电抗器的额定容量、额定电压、额定电抗及损耗等基本参数应符合表 9 和表 10 的规定。

表 9 和表 10 中的额定容量是 330 kV 级电抗器的典型值,如果电抗器的额定容量不是表中典型值,则其性能参数可参考表中参数确定。

表 9 330 kV 级单相电抗器基本参数

额定容量 Mvar	额定电压 kV	允许长期 过励磁倍数	联结 方式	额定电抗 Ω	损耗 kW
10	$345/\sqrt{3}$	1.05	三台单相联结成 Y 结， 直接接地或经中性点接 地电抗器接地	3 967	60
	$363/\sqrt{3}$			4 392	
20	$345/\sqrt{3}$			1 984	70
	$363/\sqrt{3}$			2 196	
30	$345/\sqrt{3}$			1 322	80
	$363/\sqrt{3}$			1 464	
40	$345/\sqrt{3}$			992	90
	$363/\sqrt{3}$			1 098	
50	$345/\sqrt{3}$			793	110
	$363/\sqrt{3}$			878	
中性点接地电抗器见附录 A。					

表 10 330 kV 级三相电抗器基本参数

额定容量 Mvar	额定电压 kV	允许长期 过励磁倍数	联结 方式	额定电抗 Ω	损耗 kW
30	345	1.05	三相 Y 结,直接接地或经 中性点接地电抗器接地	3 967	160
	363			4 392	
60	345			1 984	210
	363			2 196	
90	345			1 322	240
	363			1 464	
120	345			992	270
	363			1 098	
150	345			793	330
	363			878	
中性点接地电抗器见附录 A。					

7.2 技术要求

7.2.1 基本要求

7.2.1.1 按本标准制造的电抗器应符合 GB/T 1094.1、GB/T 1094.2、GB/T 1094.3 和 GB/T 1094.6 的规定。

7.2.1.2 电抗器组件、部件的设计、制造及检验等应符合法规及相关标准的要求。

7.2.2 性能要求

7.2.2.1 电抗值允许偏差

在额定电压和额定频率下,电抗器额定电抗的允许偏差为 $\pm 5\%$,每相电抗与三相电抗平均值间的允许偏差不应超过 $\pm 2\%$ 。

7.2.2.2 损耗值允许偏差

损耗实测值与规定值的允许偏差不应超过 $+10\%$ 。

7.2.2.3 温升限值

在 GB/T 1094.1 规定的正常使用条件下,电抗器在 1.05 倍额定电压下各部位的温升限值应符合下列规定:

- 顶层油温升:55 K;
- 绕组平均温升(用电阻法测量):65 K;
- 绕组热点温升:78 K;
- 油箱壁表面温升:80 K。

对于铁芯、绕组外部的电气连接线及油箱中的其他结构件,均不规定温升限值,但仍要求其温升值

不能过高,以免使与其相邻的部件受到热损坏或使油过度老化。

在特殊使用条件下,电抗器的温升限值应按 GB/T 1094.2 的规定进行修正。

当用户对温升试验的电压值和温升限值有其他特殊要求时,应在询价和订货时提出。

7.2.2.4 局部放电水平

局部放电水平按 GB/T 1094.3 的规定。

7.2.2.5 无线电干扰水平及可见电晕

电抗器在 1.1 倍最高运行电压下的无线电干扰电压应不大于 500 μV ,并在晴天夜晚无可见电晕。

7.2.2.6 声级水平

在 GB/T 1094.10 规定的测量条件下,电抗器的声级水平(声压级)应不超过 80 dB(A),并按 GB/T 1094.10 的规定进行换算,给出声功率级。对于超过表 10 规定的更大容量的三相电抗器,其声级水平可由制造方与用户协商确定。

7.2.2.7 磁化特性

在 1.5 倍额定电压及以下,电抗器磁化特性曲线应接近线性。1.4 倍额定电压与 1.7 倍额定电压两点连线的斜率应不低于线性部分斜率的 50%,见公式(5)。

$$\frac{U_{1.7} - U_{1.4}}{I_{1.7} - I_{1.4}} \bigg/ \frac{U_{1.5}}{I_{1.5}} \geq 50\% \quad \dots\dots\dots (5)$$

7.2.2.8 振动水平

电抗器在额定电压、额定电流、额定频率和允许的谐波电流分量下,油箱的最大机械振动幅度(振幅)应不超过 100 μm (峰值-峰值)。

7.2.2.9 允许的谐波电流分量

当对电抗器施加正弦波形的额定电压时,电抗器允许的三次谐波电流分量峰值不应超过基波电流分量峰值的 3%。

7.2.2.10 绝缘油性能指标(电抗器投入运行前)

电抗器所使用的绝缘油应符合 GB 2536 的要求。电抗器投入运行前,新绝缘油应符合下列要求:

- 击穿电压 $\geq 60 \text{ kV}$;
- 含水量 $\leq 10 \text{ mg/L}$;
- 含气量 $\leq 1.0\%$;
- 介质损耗因数($\tan\delta$) $\leq 0.005(90^\circ\text{C})$ 。

7.2.2.11 过励磁能力

电抗器在额定频率下的过励磁能力见表 11。

表 11 330 kV 级电抗器的过励磁能力

过励磁倍数	允许时间	
	以冷状态投入运行	额定运行状态
1.15	120 min	60 min
1.2	40 min	20 min
1.25	20 min	10 min
1.3	10 min	3 min
1.4	1 min	20 s
1.5	20 s	8 s
注：表中内容不作为试验考核项目。		

7.2.2.12 绝缘水平及外绝缘空气间隙

电抗器的额定绝缘水平见表 12。如用户另有要求,则绝缘水平也可按照 GB/T 1094.3 的规定来确定。

表 12 330 kV 级电抗器的额定绝缘水平

位置	设备最高电压 (方均根值) kV	额定雷电冲击耐受电压 (峰值) kV		额定操作冲击耐受电压 (峰值) kV	额定交流耐受电压 (方均根值) kV
		全波	截波		
首端	363	1 175	1 300	950	510
末端	126	480	—	—	200
	72.5	325	—	—	140
	40.5	200	—	—	85

电抗器的外绝缘空气间隙应根据其绝缘试验电压,按照 GB/T 1094.3 的规定来进行确定,并按实际海拔进行修正。

7.2.2.13 介质损耗因数($\tan\delta$)

在 20 ℃~25 ℃及 10 kV 电压下,电抗器的整体介质损耗因数($\tan\delta$)应不大于 0.005。

7.2.2.14 极化指数和吸收比

电抗器极化指数一般不小于 1.5,吸收比一般不小于 1.3。当绝缘电阻不低于 10 GΩ 时,极化指数和吸收比不需考核。

7.2.2.15 绝缘电阻

电抗器整体对地绝缘电阻和电抗器铁芯、夹件分别对地绝缘电阻应不小于 500 MΩ(20 ℃)。

7.2.2.16 温升试验前、后绝缘油中溶解气体分析

对温升试验前、后,应对电抗器取油样进行绝缘油中溶解气体色谱分析,烃类气体应无明显变化。



7.2.2.17 油浸纸绝缘套管的油中溶解气体分析

如结构允许,则应对油浸纸绝缘套管取油样进行溶解气体色谱分析。

7.2.2.18 电抗器整体密封性能

电抗器整体(包括所有充油附件)应能承受在最高油面上施加 30 kPa 的静压力而无渗漏。

7.3 设计和结构

7.3.1 安全保护装置

7.3.1.1 电抗器应装有气体继电器。

气体继电器的接点容量在交流 220 V 或 110 V 时不小于 66 VA,直流有感负载时,不小于 15 W。电抗器油箱和联管的设计应使气体易于汇集在气体继电器内,电抗器不得有存气现象。积聚在气体继电器内的气体数量达到 250 mL~300 mL 或油速在整定范围内时,应分别接通相应的接点。气体继电器的安装位置及其结构应能观察到分解气体的数量和油速标尺,而且应便于取气体。

7.3.1.2 电抗器应装有压力保护装置,当电抗器油箱内压力达到安全限值时,压力保护装置应可靠释放压力。

7.3.1.3 带有套管式电流互感器的电抗器应供给信号测量和保护装置辅助线路用的端子箱。

7.3.1.4 电抗器所有管道最高处或容易窝气处应设置放气塞。

7.3.2 油保护装置

7.3.2.1 电抗器均应装有储油柜,其结构应便于清理内部,储油柜的一端应装有油位计,储油柜的容积应保证在最高环境温度及所允许的过载状态下油不溢出,在最低环境温度未投入运行时,应能观察到油位指示。

7.3.2.2 储油柜应有注油、放油、放气和排污装置。

7.3.2.3 电抗器应采取防油老化措施,以确保电抗器内部的油不与大气相接触,如:在储油柜内部加装胶囊、隔膜或采用金属波纹密封式储油柜等。

7.3.2.4 胶囊式、隔膜式储油柜上均应装有带有油封的吸湿器。

7.3.3 油温测量装置

7.3.3.1 电抗器应装有供温度计用的管座,管座应设在油箱顶部,并伸入油内不少于 110 mm。

7.3.3.2 电抗器应装设户外测温装置,其接点容量在交流电压 220 V 时,不低于 50 VA,直流有感负载时,不低于 15 W。测温装置的引线应用支架固定,安装位置应便于观察,且其准确度应符合相应标准。

7.3.3.3 电抗器应装有远距离测温用的测温元件。

7.3.3.4 当电抗器采用集中冷却结构时,应在靠油箱进出口总管路处装设测油温用的温度计管座。

7.3.4 冷却系统及控制箱

7.3.4.1 电抗器宜优先采用自然循环冷却方式。

7.3.4.2 应根据冷却方式供给全套冷却装置。

7.3.5 电抗器油箱及其附件的技术要求

7.3.5.1 电抗器一般不供应底座和小车。如果供给小车,则应带小车固定装置,固定装置应满足现场抗震的要求。其箱底底座或小车支架焊装位置应符合轨距的要求。轨距:纵向为 1 435 mm,横向为

1 435 mm、2 000 mm(2×2 000 mm、3×2 000 mm)。

7.3.5.2 在电抗器油箱壁的上、下部宜装有油样活门,在油箱底部宜装有排油装置。

7.3.5.3 电抗器油箱应具有能承受住真空度为 133 Pa 和正压力为 98 kPa 的机械强度的能力,油箱不得有损伤和不允许的永久变形。

7.3.5.4 电抗器油箱下部应有供千斤顶顶起电抗器的装置及水平牵引装置。

7.3.5.5 在电抗器油箱壁上应设置梯子,并应有警示标志,其位置应尽可能便于取油样和观察气体继电器。

7.3.5.6 套管的安装位置和相互距离应便于接线,且其带电部分的空气间隙应满足 GB/T 1094.3 的要求。

7.3.5.7 电抗器结构应便于拆卸和更换套管或瓷件。

7.3.5.8 电抗器铁芯和较大金属结构零件均应通过油箱可靠接地。电抗器铁芯和夹件应分别引出并可靠接地。电抗器油箱应保证有两个接地点(分别位于油箱长轴或短轴两侧)。接地处应有明显的接地符号“⏏”或“接地”字样。

7.3.5.9 应根据需要提供一定数量的套管式电流互感器,电流互感器应符合 GB/T 20840.2 的规定。

7.3.5.10 电抗器上、下部应装有滤油阀(成对角线放置),下部还应装有放油阀。

7.4 检验规则及方法

7.4.1 一般要求

电抗器的试验包括例行试验、型式试验和特殊试验,具体的试验项目及试验方法应按 GB/T 1094.6 的规定。此外,电抗器还应进行 7.4.2~7.4.9 的试验。

7.4.2 绝缘油性能试验(例行试验)

从油箱下部取油样,按 GB 2536 的规定进行试验。

7.4.3 密封性能试验(例行试验)

电抗器本体及储油柜应能承受在最高油面上施加 30 kPa 静压力的油密封试验,试验时间持续 24 h,不得有渗漏及损伤。

7.4.4 吸收比、极化指数测量(例行试验)

应对电抗器的极化指数($R_{10\min}/R_{1\min}$)和吸收比(R_{60s}/R_{15s})进行测量,测试通常在 5℃~40℃ 温度和相对湿度小于 85% 时进行。

7.4.5 介质损耗因数测量和电容量测量(例行试验)

应对电抗器的介质损耗因数($\tan\delta$)值和绕组电容量进行测量,测试通常在 5℃~40℃ 温度下进行。在 20℃~25℃ 及 10 kV 电压下, $\tan\delta$ 值一般应不大于 0.005。不同温度下的 $\tan\delta$ 值一般可按公式(6)换算:

$$\tan\delta_2 = \tan\delta_1 \times 1.3^{(t_2 - t_1)/10} \dots\dots\dots (6)$$

式中:
—— $\tan\delta_1$ 、 $\tan\delta_2$ 分别为温度 t_1 、 t_2 时的 $\tan\delta$ 值。

7.4.6 绝缘电阻测量(例行试验)

应对电抗器的绝缘电阻和铁芯、夹件分别对地绝缘电阻进行测量,测试通常在 5℃~40℃ 和相对

湿度小于 85% 时进行。当测量温度不同时,绝缘电阻可按公式(7)换算:

$$R_2 = R_1 \times 1.5^{(t_1 - t_2)/10} \dots\dots\dots (7)$$

式中:

—— R_1 、 R_2 分别为温度 t_1 、 t_2 时的绝缘电阻值。

7.4.7 油浸纸绝缘套管中绝缘油的试验(例行试验)

电抗器全部试验合格后,如结构允许,则应对油浸纸绝缘套管取油样进行试验,试验结果应符合 DL/T 722 的规定。

7.4.8 无线电干扰水平及可见电晕测量(型式试验)

应对电抗器进行 1.1 倍最高运行电压下的无线电干扰水平及可见电晕测量,试验方法按照 GB/T 11604 的有关规定。

7.4.9 温升试验前、后绝缘油的气相色谱分析试验(型式试验)

温升试验前、后,应对电抗器取油样进行气相色谱分析试验,且烃类气体应无明显变化,试验按 DL/T 722 的规定进行。

8 500 kV 级电抗器

8.1 性能参数

500 kV 级电抗器的额定容量、额定电压、额定电抗及损耗等基本参数应符合表 13 的规定。

表 13 中的额定容量是 500 kV 级电抗器的典型值,如果电抗器的额定容量不是表中典型值,则其性能参数可参考表中参数确定。

表 13 500 kV 级单相电抗器基本参数

额定容量 Mvar	额定电压 kV	允许长期 过励磁倍数	联结 方式	额定电抗 Ω	损耗 kW
30	$525/\sqrt{3}$	1.05	三台单相联结成 Y 结,经 中性点接地电抗器接地	3 062	80
	$550/\sqrt{3}$			3 361	
40	$525/\sqrt{3}$			2 297	90
	$550/\sqrt{3}$			2 521	
50	$525/\sqrt{3}$			1 838	110
	$550/\sqrt{3}$			2 017	
60	$525/\sqrt{3}$			1 532	135
	$550/\sqrt{3}$			1 681	
70	$525/\sqrt{3}$			1 312	160
	$550/\sqrt{3}$			1 440	
80	$525/\sqrt{3}$			1 148	180
	$550/\sqrt{3}$			1 260	
中性点接地电抗器见附录 A。					

8.2 技术要求

8.2.1 基本要求

8.2.1.1 按本标准制造的电抗器应符合 GB/T 1094.1、GB/T 1094.2、GB/T 1094.3 和 GB/T 1094.6 的规定。

8.2.1.2 电抗器组件、部件的设计、制造及检验等应符合法规及相关标准的要求。

8.2.2 性能要求

8.2.2.1 电抗值允许偏差

在额定电压和额定频率下,电抗器额定电抗的允许偏差为 $\pm 5\%$,每相电抗与三相电抗平均值间的允许偏差不应超过 $\pm 2\%$ 。

8.2.2.2 损耗值允许偏差

损耗实测值与规定值的允许偏差不应超过 $+10\%$ 。

8.2.2.3 温升限值

在 GB/T 1094.1 规定的正常使用条件下,电抗器在 1.05 倍额定电压下各部位的温升限值应符合下列规定:

- 顶层油温升:55 K;
- 绕组平均温升(用电阻法测量):65 K;
- 绕组热点温升:78 K;
- 油箱壁表面温升:80 K。

对于铁芯、绕组外部的电气连接线及油箱中的其他结构件,均不规定温升限值,但仍要求其温升值不能过高,以免使与其相邻的部件受到热损坏或使油过度老化。

在特殊使用条件下,电抗器的温升限值应按 GB/T 1094.2 的规定进行修正。

当用户对温升试验的电压值和温升限值有其他特殊要求时,应在询价和订货时提出。

8.2.2.4 局部放电水平

局部放电水平按 GB/T 1094.3 的规定。

8.2.2.5 无线电干扰水平及可见电晕

电抗器在 1.1 倍最高运行电压下的无线电干扰电压应不大于 500 μV ,并在晴天夜晚无可见电晕。

8.2.2.6 声级水平

在 GB/T 1094.10 规定的测量条件下,电抗器的声级水平(声压级)应不超过 75 dB(A),并按 GB/T 1094.10 的规定进行换算,给出声功率级。

8.2.2.7 磁化特性

在 1.5 倍额定电压及以下,电抗器磁化特性曲线应接近线性。1.4 倍额定电压与 1.7 倍额定电压两点连线的斜率不应低于线性部分斜率的 50%,见公式(8)。

$$\frac{U_{1.7}-U_{1.4}}{I_{1.7}-I_{1.4}}\bigg/\frac{U_{1.5}}{I_{1.5}}\geq 50\%$$

.....(8)

8.2.2.8 振动水平

电抗器在额定电压、额定电流、额定频率和允许的谐波电流分量下,油箱的最大机械振动幅度(振幅)应不超过 100 μm(峰值-峰值)。

8.2.2.9 允许的谐波电流分量

当对电抗器施加正弦波形的额定电压时,电抗器允许的三次谐波电流分量峰值不应超过基波电流分量峰值的 3%。

8.2.2.10 绝缘油性能指标(电抗器投入运行前)

- 电抗器所使用的绝缘油应符合 GB 2536 的要求。电抗器投入运行前,新绝缘油应符合下列要求:
- 击穿电压≥60 kV;
 - 含水量≤10 mg/L;
 - 含气量≤1.0%;
 - 介质损耗因数(tanδ)≤0.005(90 ℃)。

8.2.2.11 过励磁能力

电抗器在额定频率下的过励磁能力见表 14。

表 14 500 kV 级电抗器的过励磁能力

过励磁倍数	允许时间	
	以冷状态投入运行	额定运行状态
1.15	120 min	60 min
1.2	40 min	20 min
1.25	20 min	10 min
1.3	10 min	3 min
1.4	1 min	20 s
1.5	20 s	8 s
注:表中内容不作为试验考核项目。		

8.2.2.12 绝缘水平及外绝缘空气间隙

电抗器的额定绝缘水平见表 15。如用户另有要求,则绝缘水平也可按照 GB/T 1094.3 的规定来确定。

表 15 500 kV 级电抗器的额定绝缘水平

位置	设备最高电压 (方均根值) kV	额定雷电冲击耐受电压 (峰值) kV		额定操作冲击耐受电压 (峰值) kV	额定交流耐受电压 (方均根值) kV
		全波	截波		
首端	550	1 550	1 675	1 175	680
末端	126	480	—	—	200
	72.5	325	—	—	140
	40.5	200	—	—	85

电抗器的外绝缘空气间隙应根据其绝缘试验电压,按照 GB/T 1094.3 的规定来进行确定,并按实际海拔进行修正。

8.2.2.13 介质损耗因数($\tan\delta$)

在 20 ℃~25 ℃及 10 kV 电压下,电抗器的整体介质损耗因数($\tan\delta$)应不大于 0.005。

8.2.2.14 极化指数和吸收比

电抗器极化指数一般不小于 1.5,吸收比一般不小于 1.3。当绝缘电阻不低于 10 GΩ 时,极化指数和吸收比不需考核。

8.2.2.15 绝缘电阻

电抗器整体对地绝缘电阻和电抗器铁芯、夹件分别对地绝缘电阻应不小于 500 MΩ(20 ℃)。

8.2.2.16 温升试验前、后绝缘油中溶解气体分析

温升试验前、后,应对电抗器取油样进行绝缘油中溶解气体色谱分析,烃类气体应无明显变化。

8.2.2.17 油浸纸绝缘套管的油中溶解气体分析

如结构允许,则应对油浸纸绝缘套管取油样进行溶解气体色谱分析。

8.2.2.18 电抗器整体密封性能

电抗器整体(包括所有充油附件)应能承受在最高油面上施加 30 kPa 的静压力而无渗漏。

8.3 设计和结构

8.3.1 安全保护装置

8.3.1.1 电抗器应装有气体继电器。

气体继电器的接点容量在交流 220 V 或 110 V 时不小于 66 VA,直流有感负载时,不小于 15 W。电抗器油箱和联管的设计应使气体易于汇集在气体继电器内,电抗器不得有存气现象。积聚在气体继电器内的气体数量达到 250 mL~300 mL 或油速在整定范围内时,应分别接通相应的接点。气体继电器的安装位置及其结构应能观察到分解气体的数量和油速标尺,而且应便于取气体。

8.3.1.2 电抗器应装有压力保护装置,当电抗器油箱内压力达到安全限值时,压力保护装置应可靠释放压力。

8.3.1.3 带有套管式电流互感器的电抗器应供给信号测量和保护装置辅助线路用的端子箱。

8.3.1.4 电抗器所有管道最高处或容易窝气处应设置放气塞。

8.3.2 油保护装置

8.3.2.1 电抗器均应装有储油柜,其结构应便于清理内部,储油柜的一端应装有油位计,储油柜的容积应保证在最高环境温度及所允许的过载状态下油不溢出,在最低环境温度未投入运行时,应能观察到油位指示。

8.3.2.2 储油柜应有注油、放油、放气和排污装置。

8.3.2.3 电抗器应采取防油老化措施,以确保电抗器内部的油不与大气相接触,如:在储油柜内部加装胶囊、隔膜或采用金属波纹密封式储油柜等。

8.3.2.4 胶囊式、隔膜式储油柜上均应装有带有油封的吸湿器。

8.3.3 油温测量装置

8.3.3.1 电抗器应装有供温度计用的管座,管座应设在油箱顶部,并伸入油内不少于 110 mm。

8.3.3.2 电抗器应装设户外测温装置,其接点容量在交流电压 220 V 时,不低于 50 VA,直流有感负载时,不低于 15 W。测温装置的引线应用支架固定,安装位置应便于观察,且其准确度应符合相应标准。

8.3.3.3 电抗器应装有远距离测温用的测温元件。

8.3.3.4 当电抗器采用集中冷却结构时,应在靠油箱进出口总管路处装设测油温用的温度计管座。

8.3.4 冷却系统及控制箱

8.3.4.1 电抗器宜优先采用自然循环冷却方式。

8.3.4.2 应根据冷却方式供给全套冷却装置。

8.3.5 电抗器油箱及其附件的技术要求

8.3.5.1 电抗器一般不供应底座和小车。如果供给小车,则应带小车固定装置,固定装置应满足现场抗震的要求。其箱底底座或小车支架焊装位置应符合轨距的要求。轨距:纵向为 1 435 mm,横向为 1 435 mm、2 000 mm(2×2 000 mm、3×2 000 mm)。

8.3.5.2 在电抗器油箱壁的上、下部宜装有油样活门,在油箱底部宜装有排油装置。

8.3.5.3 电抗器油箱应具有能承受住真空度为 133 Pa 和正压力为 98 kPa 的机械强度的能力,油箱不得有损伤和不允许的永久变形。

8.3.5.4 电抗器油箱下部应有供千斤顶顶起电抗器的装置及水平牵引装置。

8.3.5.5 在电抗器油箱壁上应设置梯子,并应有警示标志,其位置应尽可能便于取油样和观察气体继电器。

8.3.5.6 套管的安装位置和相互距离应便于接线,且其带电部分的空气间隙应满足 GB/T 1094.3 的要求。

8.3.5.7 电抗器结构应便于拆卸和更换套管或瓷件。

8.3.5.8 电抗器铁芯和较大金属结构零件均应通过油箱可靠接地。电抗器铁芯和夹件应分别引出并可靠接地。电抗器油箱应保证有两个接地点(分别位于油箱长轴或短轴两侧)。接地处应有明显的接地符号“≡”或“接地”字样。

8.3.5.9 应根据需要提供一定数量的套管式电流互感器,电流互感器应符合 GB/T 20840.2 的规定。

8.3.5.10 电抗器上、下部应装有滤油阀(成对角线放置),下部还应装有放油阀。

8.4 检验规则及方法

8.4.1 一般要求

电抗器的试验包括例行试验、型式试验和特殊试验,具体的试验项目及试验方法应按 GB/T 1094.6 的规定。此外,电抗器还应进行 8.4.2~8.4.9 的试验。

8.4.2 绝缘油性能试验(例行试验)

从油箱下部取油样,按 GB 2536 的规定进行试验。

8.4.3 密封性能试验(例行试验)

电抗器本体及储油柜应能承受在最高油面上施加 30 kPa 静压力的油密封试验,试验时间持续 24 h,不得有渗漏及损伤。

8.4.4 吸收比、极化指数测量(例行试验)

应对电抗器的极化指数($R_{10\min}/R_{1\min}$)和吸收比(R_{60s}/R_{15s})进行测量,测试通常在 5℃~40℃ 温度和相对湿度小于 85% 时进行。

8.4.5 介质损耗因数测量和电容量测量(例行试验)

应对电抗器的介质损耗因数($\tan\delta$)值和绕组电容量进行测量,测试通常在 5℃~40℃ 温度下进行。在 20℃~25℃ 及 10kV 电压下, $\tan\delta$ 值一般应不大于 0.005。不同温度下的 $\tan\delta$ 值一般可按公式(9)换算:

$$\tan\delta_2 = \tan\delta_1 \times 1.3^{(t_2-t_1)/10} \dots\dots\dots (9)$$

式中:
—— $\tan\delta_1$ 、 $\tan\delta_2$ 分别为温度 t_1 、 t_2 时的 $\tan\delta$ 值。

8.4.6 绝缘电阻测量(例行试验)

应对电抗器的绝缘电阻和铁芯、夹件分别对地绝缘电阻进行测量,测试通常在 5℃~40℃ 和相对湿度小于 85% 时进行。当测量温度不同时,绝缘电阻可按公式(10)换算:

$$R_2 = R_1 \times 1.5^{(t_1-t_2)/10} \dots\dots\dots (10)$$

式中:
—— R_1 、 R_2 分别为温度 t_1 、 t_2 时的绝缘电阻值。

8.4.7 油浸纸绝缘套管中绝缘油的试验(例行试验)

电抗器全部试验合格后,如结构允许,则应对油浸纸绝缘套管取油样进行试验,试验结果应符合 DL/T 722 的规定。

8.4.8 无线电干扰水平及可见电晕测量(型式试验)

应对电抗器进行 1.1 倍最高运行电压下的无线电干扰水平及可见电晕测量,试验方法按照 GB/T 11604 的有关规定。

8.4.9 温升试验前、后绝缘油的气相色谱分析试验(型式试验)

温升试验前、后,应对电抗器取油样进行气相色谱分析试验,烃类气体应无明显变化,试验按

DL/T 722的规定进行。

9 750 kV 级电抗器

9.1 性能参数

750 kV 级电抗器的额定容量、额定电压、额定电抗及损耗等基本参数应符合表 16 的规定。

表 16 中的额定容量是 750 kV 级电抗器的典型值,如果电抗器的额定容量不是表中典型值,则其性能参数可参考表中参数确定。

表 16 750 kV 级单相电抗器基本参数

额定容量 Mvar	额定电压 kV	允许长期 过励磁倍数	联结方式	额定电抗 Ω	损耗 kW
60	750/√3	1.05	三台单相联结成 Y 结,经 中性点接地电抗器接地	3 125	140
	800/√3			3 556	
70	750/√3			2 679	150
	800/√3			3 048	
80	750/√3			2 344	170
	800/√3			2 667	
90	750/√3			2 083	185
	800/√3			2 370	
100	750/√3			1 875	200
	800/√3			2 133	
120	750/√3			1 563	230
	800/√3			1 778	
140	750/√3			1 339	260
	800/√3			1 524	
160	750/√3			1 172	290
	800/√3			1 333	
180	750/√3			1 042	320
	800/√3			1 185	
中性点接地电抗器见附录 A。					

9.2 技术要求

9.2.1 基本要求

9.2.1.1 按本标准制造的电抗器应符合 GB/T 1094.1、GB/T 1094.2、GB/T 1094.3 和 GB/T 1094.6 的规定。

9.2.1.2 电抗器组件、部件的设计、制造及检验等应符合法规及相关标准的要求。

9.2.2 性能要求

9.2.2.1 电抗值允许偏差

在额定电压和额定频率下,电抗器额定电抗的允许偏差为±5%,每相电抗与三相电抗平均值间的允许偏差不应超过±2%。

9.2.2.2 损耗值允许偏差

损耗实测值与规定值的允许偏差不应超过+10%。

9.2.2.3 温升限值

在 GB/T 1094.1 规定的正常使用条件下,电抗器在 1.05 倍额定电压下连续运行时,各部位的温升限值应符合下列规定:

- 顶层油温升:55 K;
- 绕组平均温升(用电阻法测量):65 K;
- 绕组热点温升:78 K;
- 油箱壁表面温升:80 K。

对于铁芯、绕组外部的电气连接线及油箱中的其他结构件,均不规定温升限值,但仍要求其温升值不能过高,以免使与其相邻的部件受到热损坏或使油过度老化。

在特殊使用条件下,电抗器的温升限值应按 GB/T 1094.2 的规定进行修正。

当用户对温升试验的电压值和温升限值有其他特殊要求时,应在询价和订货时提出。

9.2.2.4 局部放电水平

局部放电水平按 GB/T 1094.3 的规定。

9.2.2.5 无线电干扰水平及可见电晕

电抗器在 1.1 倍最高运行电压下的无线电干扰电压应不大于 500 μV,并在晴天夜晚无可见电晕。

9.2.2.6 声级水平

在 GB/T 1094.10 规定的测量条件下,电抗器的声级水平(声压级)应不超过 80 dB(A),并按 GB/T 1094.10 的规定进行换算,给出声功率级。

9.2.2.7 磁化特性

在 1.4 倍额定电压及以下时,电抗器磁化特性曲线应接近线性。1.4 倍额定电压与 1.7 倍额定电压两点连线的斜率不应低于线性部分斜率的 50%,见公式(11)。



$$\frac{U_{1.7} - U_{1.4}}{I_{1.7} - I_{1.4}} \bigg/ \frac{U_{1.4}}{I_{1.4}} \geq 50\% \quad \dots\dots\dots (11)$$

9.2.2.8 振动水平

电抗器在额定电压、额定电流、额定频率和允许的谐波电流分量下,油箱的机械振动幅度应符合表 17 的规定。

表 17 750 kV 级电抗器的油箱振动水平

部位		振幅(峰值-峰值) μm
油箱壁	平均值	≤ 60
	最大值	≤ 100
底部		≤ 30

9.2.2.9 允许的谐波电流分量

当对电抗器施加正弦波形的额定电压时,电抗器允许的三次谐波电流分量峰值不应超过基波电流分量峰值的 3%。

9.2.2.10 绝缘油性能指标(电抗器投入运行前)

电抗器所使用的绝缘油应符合 GB 2536 的要求。电抗器投入运行前,新绝缘油应符合下列要求:

- 击穿电压 $\geq 70 \text{ kV}$;
- 含水量 $\leq 10 \text{ mg/L}$;
- 含气量 $\leq 1.0\%$;
- 介质损耗因数($\tan\delta$) $\leq 0.005(90^\circ\text{C})$;
- 每 100 mL 油中 $5 \mu\text{m}$ 以上的颗粒应少于 2 000 个。

9.2.2.11 过励磁能力

电抗器在额定频率下的过励磁能力见表 18。

表 18 750 kV 级电抗器的过励磁能力

过励磁倍数	允许时间	
	以冷状态投入运行	额定运行状态
1.15	40 min	20 min
1.2	10 min	3 min
1.25	5 min	1 min
1.3	1 min	20 s
1.4	20 s	8 s
1.5	2 s	1 s
注:表中内容不作为例行试验考核项目。		

9.2.2.12 绝缘水平及外绝缘空气间隙

电抗器的额定绝缘水平见表 19。如用户另有要求,则绝缘水平也可按照 GB/T 1094.3 的规定来确定。

表 19 750 kV 级电抗器的额定绝缘水平

位置	设备最高电压 (方均根值) kV	额定雷电冲击耐受电压 (峰值) kV		额定操作冲击耐受电压 (峰值) kV	额定交流耐受电压 (方均根值) kV
		全波	截波		
首端	800	2 100	2 250	1 550	900
末端	126	480	—	—	200
		550	—	—	230
	72.5	325	—	—	140

电抗器的外绝缘空气间隙应根据其绝缘试验电压,按照 GB/T 1094.3 的规定来进行确定,并按实际海拔进行修正。

9.2.2.13 介质损耗因数($\tan\delta$)

在 20 ℃~25 ℃及 10 kV 电压下,电抗器的整体介质损耗因数($\tan\delta$)应不大于 0.005。

9.2.2.14 极化指数和吸收比

电抗器极化指数一般不小于 1.5,吸收比一般不小于 1.3。当绝缘电阻不低于 10 GΩ 时,极化指数和吸收比不需考核。

9.2.2.15 绝缘电阻

电抗器整体对地绝缘电阻和电抗器铁芯、夹件分别对地绝缘电阻应不小于 500 MΩ(20 ℃)。

9.2.2.16 温升试验前、后绝缘油中溶解气体分析

温升试验前、后,应对电抗器取油样进行绝缘油中溶解气体色谱分析,烃类气体应无明显变化。

9.2.2.17 油浸纸绝缘套管的油中溶解气体分析

如结构允许,则应对油浸纸绝缘套管取油样进行溶解气体色谱分析。

9.2.2.18 电抗器整体密封性能

电抗器整体(包括所有充油附件)应能承受在最高油面上施加 30 kPa 的静压力而无渗漏。

9.3 设计和结构

9.3.1 安全保护装置

9.3.1.1 电抗器应装有气体继电器。

气体继电器的接点容量在交流 220 V 或 110 V 时不小于 66 VA,直流有感负载时,不小于 15 W。电抗器油箱和联管的设计应使气体易于汇集在气体继电器内,电抗器不得有存气现象。积聚在气体继电器内的气体数量达到 250 mL~300 mL 或油速在整定范围内时,应分别接通相应的接点。气体继电器的安装位置及其结构应能观察到分解气体的数量和油速标尺,而且应便于取气体。

9.3.1.2 电抗器应装有压力保护装置,当电抗器油箱内压力达到安全限值时,压力保护装置应可靠释放压力。

9.3.1.3 带有套管式电流互感器的电抗器应供给信号测量和保护装置辅助线路用的端子箱。

9.3.1.4 电抗器所有管道最高处或容易窝气处应设置放气塞。

9.3.2 油保护装置

9.3.2.1 电抗器均应装有储油柜,其结构应便于清理内部,储油柜上一般应装有油位计,储油柜的容积应保证在最高环境温度及所允许的过载状态下油不溢出,在最低环境温度及电抗器未投入运行时,应能观察到油位指示。

9.3.2.2 储油柜应有注油、放油、放气和排污装置。

9.3.2.3 电抗器应采取防油老化措施,以确保电抗器内部的油不与大气相接触,如:在储油柜内部加装胶囊、隔膜或采用金属波纹密封式储油柜等。

9.3.2.4 胶囊式、隔膜式储油柜上均应装有带有油封的吸湿器。

9.3.3 油温测量装置

9.3.3.1 电抗器应装有供温度计用的管座。管座应设在油箱的顶部,并伸入油内不少于 110 mm。

9.3.3.2 电抗器需装设户外测温装置,其接点容量在交流电压 220 V 时,不低于 50 VA,直流有感负载时,不低于 15 W。测温装置的引线应用支架固定,安装位置应便于观察,且其准确度应符合相应标准。

9.3.3.3 电抗器应装有远距离测温用的测温元件。

9.3.3.4 当电抗器采用集中冷却结构时,应在靠油箱进出油口总管路处装设测油温用的温度计管座。

9.3.4 冷却系统及控制箱

9.3.4.1 电抗器宜优先采用自然循环冷却方式。

9.3.4.2 应根据冷却方式供给全套冷却装置。

9.3.4.3 散热器应便于安装和拆卸,应通过碟阀安装在电抗器或导油管路上。拆卸散热器时,不应导致排放油箱里的绝缘油。

9.3.5 电抗器油箱及其附件的技术要求

9.3.5.1 电抗器一般不供应底座和小车。如果供给小车,则应带小车固定装置,固定装置应满足现场抗地震要求。其箱底底座或小车支架焊装位置应符合轨距的要求。轨距:纵向为 1 435 mm,横向为 1 435 mm、2 000 mm(2×2 000 mm、3×2 000 mm)。

9.3.5.2 在电抗器油箱壁的上、下部宜装有油样阀门,在油箱底部宜装有排油装置。如果采用间接出线结构,则高压出线装置宜装设取油样阀门。

9.3.5.3 电抗器油箱应具有能承受住真空度为 13 Pa 和正压力为 110 kPa 的机械强度的能力,油箱不得有损伤和不允许的永久变形。

9.3.5.4 电抗器油箱下部应有供千斤顶顶起电抗器的装置及水平牵引装置。

9.3.5.5 在电抗器油箱壁上应设置梯子,并应有警示标志,其位置应尽可能便于取油样和观察气体继电器。

9.3.5.6 套管的安装位置和相互距离应便于接线,且其带电部分的空气间隙应满足 GB/T 1094.3 的要求。

9.3.5.7 电抗器结构应便于拆卸和更换套管或瓷件。

9.3.5.8 电抗器油箱外部较大金属结构零件均应通过油箱可靠接地。电抗器铁芯和夹件应分别引出并可靠接地。电抗器油箱应保证有两个接地点(分别位于油箱长轴或短轴两侧),但在接地时应保证一点接地。接地处应有明显的接地符号“≡”或“接地”字样。

9.3.5.9 根据需要,可提供一定数量的套管式电流互感器。电流互感器应符合 GB/T 20840.2 的规定。

9.3.5.10 电抗器上、下部应装有滤油用阀门(成对角线放置),下部还应装有放油阀。

9.4 检验规则及方法

9.4.1 一般要求

电抗器的试验包括例行试验、型式试验和特殊试验,具体的试验项目及试验方法应按 GB/T 1094.6 的规定。此外,电抗器还应进行 9.4.2~9.4.10 的试验。

9.4.2 绝缘油性能试验(例行试验)

从油箱下部取油样,按 GB 2536 的规定进行试验。

9.4.3 密封性能试验(例行试验)

电抗器本体及储油柜应能承受在最高油面上施加 30 kPa 静压力的油密封试验,试验时间持续 24 h,不得有渗漏及损伤。

9.4.4 吸收比、极化指数测量(例行试验)

应对电抗器极化指数($R_{10\text{ min}}/R_{1\text{ min}}$)和吸收比($R_{60\text{ s}}/R_{15\text{ s}}$)进行测量,测试通常在 5℃~40℃ 温度和相对湿度小于 85% 时进行。

9.4.5 介质损耗因数测量和电容量测量(例行试验)

应对电抗器的介质损耗因数($\tan\delta$)值和绕组电容量进行测量,测试通常在 5℃~40℃ 温度下进行。在 20℃~25℃ 及 10 kV 电压下, $\tan\delta$ 值应不大于 0.005。不同温度下的 $\tan\delta$ 值一般可按公式(12)换算:

$$\tan\delta_2 = \tan\delta_1 \times 1.3^{(t_2-t_1)/10} \dots\dots\dots (12)$$

式中:
—— $\tan\delta_1$ 、 $\tan\delta_2$ 分别为温度 t_1 、 t_2 时的 $\tan\delta$ 值。

9.4.6 绝缘电阻测量(例行试验)

应对电抗器的绝缘电阻和铁芯、夹件分别对地绝缘电阻进行测量,测试通常在 5℃~40℃ 和相对湿度小于 85% 时进行。当测量温度不同时,绝缘电阻可按公式(13)换算:

$$R_2 = R_1 \times 1.5^{(t_1-t_2)/10} \dots\dots\dots (13)$$

式中:
—— R_1 、 R_2 分别为温度 t_1 、 t_2 时的绝缘电阻值。

9.4.7 油浸纸绝缘套管中绝缘油的试验(例行试验)

电抗器全部试验合格后,如结构允许,则应对油浸纸绝缘套管取油样进行试验,试验结果应符合 DL/T 722 的规定。

9.4.8 无线电干扰水平及可见电晕测量(型式试验)

应对电抗器进行 1.1 倍最高运行电压下的无线电干扰水平及可见电晕测量,试验方法按照 GB/T 11604 的有关规定。

9.4.9 温升试验前、后绝缘油的气相色谱分析试验(型式试验)

温升试验前、后,应对电抗器取油样进行气相色谱分析试验,烃类气体应无明显变化,试验按

DL/T 722的规定进行。

9.4.10 磁化特性测量(型式试验)

试验按 GB/T 1094.6 的规定进行。试验时施加的电压为:0.1 U_r 、0.2 U_r 、0.3 U_r 、0.4 U_r 、0.5 U_r 、0.6 U_r 、0.7 U_r 、0.8 U_r 、0.9 U_r 、1.0 U_r 、1.1 U_r 、1.2 U_r 、1.3 U_r 、1.4 U_r (U_r 为绕组额定电压),分别测量各点的电压和电流。

10 1 000 kV 级电抗器

10.1 性能参数

1 000 kV 级电抗器的额定容量、额定电压、额定电抗及损耗等基本参数参见表 20 的规定。

表 20 中的额定容量是 1 000 kV 级电抗器的典型值,如果电抗器的额定容量不是表中典型值,则其性能参数可参考表中参数确定。

表 20 1 000 kV 级单相电抗器基本参数

额定容量 Mvar	额定电压 kV	允许长期 过励磁倍数	联结方式	额定电抗 Ω	损耗 kW	冷却方式
160	1 100/√3	1.05	三台单相联结成 Y 结,经 中性点接地电抗器接地	2 520	340	ONAN 或 ONAF
200				2 016	400	
240				1 680	480	
280				1 440	540	
320				1 260	600	
360				1 120	650	
400				1 008	700	
中性点接地电抗器见附录 A。						

10.2 技术要求

10.2.1 基本要求

10.2.1.1 按本标准制造的电抗器应符合 GB/T 1094.1、GB/T 1094.2、GB/T 1094.3 和 GB/T 1094.6 的规定。

10.2.1.2 电抗器组件、部件的设计、制造及检验等应符合法规及相关标准的要求。

10.2.2 性能要求

10.2.2.1 电抗值允许偏差

在额定电压和额定频率下,电抗器额定电抗的允许偏差为 $\pm 5\%$,每相电抗与三相电抗平均值间的允许偏差不应超过 $\pm 2\%$ 。

10.2.2.2 损耗值允许偏差

损耗实测值与规定值的允许偏差不应超过 $+10\%$ 。



10.2.2.3 温升限值

在 GB/T 1094.1 规定的正常使用条件下,电抗器在 1.05 倍额定电压下连续运行时,各部位的温升限值应符合下列规定:

- 顶层油温升:55 K;
- 绕组平均温升(用电阻法测量):65 K;
- 绕组热点温升:78 K;
- 油箱表面温升:80 K。

对于铁芯、绕组外部的电气连接线及油箱中的其他结构件,均不规定温升限值,但仍要求其温升值不能过高,以免使与其相邻的部件受到热损坏或使油过度老化。

在特殊使用条件下,电抗器的温升限值应按 GB/T 1094.2 的规定进行修正。

当用户对温升试验的电压值和温升限值有其他特殊要求时,应在询价和订货时提出。

10.2.2.4 局部放电水平

在规定的局部放电测量电压下,电抗器高压线端的局部放电水平应不大于 100 pC,中性点端的工频局部放电水平应不大于 300 pC。

10.2.2.5 无线电干扰电压水平及可见电晕

电抗器在 1.1 倍最高运行电压下的无线电干扰电压应不大于 500 μV,并在晴天夜晚无可见电晕。

10.2.2.6 声级水平

在 GB/T 1094.10 规定的测量条件下,电抗器的声级水平(声压级)应不超过 80 dB(A),并按 GB/T 1094.10 的规定进行换算,给出声功率级。经制造方与用户协商,可采取隔声措施,采取隔声措施后电抗器的声级水平由双方另行协商。

10.2.2.7 磁化特性

在 1.4 倍额定电压及以下时,电抗器磁化特性曲线应接近线性,当电抗器由正弦波电压励磁时,在 1.4 倍额定电压下电抗器的相电流与 1.4 倍额定相电流相差应不超过 3%。对应于 1.4 倍额定电压与 1.7 倍额定电压两点连线的斜率不应低于线性部分斜率的 50%,见公式(14)。

$$\frac{U_{1.7} - U_{1.4}}{I_{1.7} - I_{1.4}} \bigg/ \frac{U_{1.4}}{I_{1.4}} \geq 50\% \dots\dots\dots (14)$$

10.2.2.8 振动水平

电抗器在额定电压、额定电流、额定频率和允许的谐波电流分量下,油箱的机械振动幅度应符合表 21 的规定。

表 21 1 000 kV 级电抗器的油箱振动水平

部位		振幅(峰值-峰值) μm
油箱壁	平均值	≤60
	最大值	≤100
底部		≤30

10.2.2.9 允许的谐波电流分量

当对电抗器施加正弦波形的额定电压时,电抗器允许的三次谐波电流分量峰值不应超过基波电流分量峰值的 3%。

10.2.2.10 绝缘油性能指标(电抗器投入运行前)

电抗器所使用的绝缘油应符合 GB 2536 的要求。电抗器投入运行前,新绝缘油应符合下列要求:

- 击穿电压 ≥ 70 kV;
- 含水量 ≤ 8 mg/L;
- 含气量 $\leq 0.5\%$;
- 介质损耗率因数($\tan\delta$) $\leq 0.005(90\text{ }^{\circ}\text{C})$;
- 每 100 mL 油中 $5\text{ }\mu\text{m}$ 以上的颗粒应少于 2 000 个。

10.2.2.11 过励磁能力

电抗器在额定频率下的过励磁能力见表 22。

表 22 1 000 kV 级电抗器的过励磁能力

过励磁倍数	允许时间	
	以冷状态投入运行	额定运行状态
1.15	60 min	30 min
1.2	20 min	5 min
1.3	3 min	1 min
1.4	1 min	20 s

注:表中内容不作为例行试验考核项目。

10.2.2.12 绝缘水平及外绝缘空气间隙

电抗器的额定绝缘水平见表 23。如用户另有要求,则绝缘水平也可按照 GB/T 1094.3 的规定来确定。

表 23 1 000 kV 级电抗器的额定绝缘水平

位置	设备最高电压 (方均根值) kV	额定雷电冲击耐受电压 (峰值) kV		额定操作冲击耐受电压 (峰值) kV	额定交流耐受电压 (方均根值) kV
		全波	截波		
首端	1 100	2 250	2 400	1 800	1 100(5 min)
末端	126	550	—	—	230(1 min)
	145	650	—	—	275(1 min)
	170	750	—	—	325(1 min)

电抗器的外绝缘空气间隙应根据其绝缘试验电压,按照 GB/T 1094.3 的规定来进行确定,并按实

际海拔进行修正。

10.2.2.13 介质损耗因数($\tan\delta$)

在 20 °C ~ 25 °C 及 10 kV 电压下,电抗器的整体介质损耗因数($\tan\delta$)应不大于 0.005。

10.2.2.14 极化指数和吸收比

电抗器极化指数一般不小于 1.5,吸收比一般不小于 1.3。当绝缘电阻不低于 10 G Ω 时,极化指数和吸收比不需考核。

10.2.2.15 绝缘电阻

电抗器整体对地绝缘电阻和电抗器铁芯、夹件分别对地绝缘电阻应不小于 500 M Ω (20 °C)。

10.2.2.16 温升试验前、后绝缘油中溶解气体分析

温升试验前、后,应对电抗器取油样进行绝缘油中溶解气体色谱分析,烃类气体应无明显变化,油中气体绝对产气速率(mL/d)应不超过:总烃为 120、一氧化碳(CO)为 720,并不得出现乙炔(C₂H₂)。

10.2.2.17 油浸纸绝缘套管的油中溶解气体分析

如结构允许,则应对油浸纸绝缘套管取油样进行溶解气体色谱分析。

10.2.2.18 电抗器整体密封性能

电抗器整体(包括所有充油附件)应能承受在最高油面上施加 30 kPa 的静压力而无渗漏。

10.3 设计和结构

10.3.1 安全保护装置

10.3.1.1 电抗器应装有气体继电器。

气体继电器的接点容量在交流 220 V 或 110 V 时不小于 66 VA,直流有感负载时,不小于 15 W。电抗器油箱和联管的设计应使气体易于汇集在气体继电器内,电抗器不得有存气现象。积聚在气体继电器内的气体数量达到 250 mL ~ 300 mL 或油速在整定范围内时,应分别接通相应的接点。气体继电器的安装位置及其结构应能观察到分解气体的数量和油速标尺,而且应便于取气体。

10.3.1.2 电抗器应装有压力保护装置,当电抗器油箱内压力达到安全限值时,压力保护装置应可靠释放压力。

10.3.1.3 带有套管式电流互感器的电抗器应供给信号测量和保护装置辅助线路用的端子箱。

10.3.1.4 电抗器所有管道最高处或容易窝气处应设置放气塞。

10.3.2 油保护装置

10.3.2.1 电抗器均应装有储油柜,其结构应便于清理内部,储油柜上一般应装有油位计,储油柜的容积应保证在最高环境温度及所允许的过载状态下油不溢出,在最低环境温度及电抗器未投入运行时,应能观察到油位指示。

10.3.2.2 储油柜应有注油、放油、放气和排污装置。

10.3.2.3 电抗器应采取防油老化措施,以确保电抗器内部的油不与大气相接触,如:在储油柜内部加装胶囊、隔膜或采用金属波纹密封式储油柜等。

10.3.2.4 胶囊式、隔膜式储油柜上均应装有带有油封的吸湿器。

10.3.3 油温测量装置

10.3.3.1 电抗器应装有供温度计用的管座。管座应设在油箱的顶部,并伸入油内不少于 110 mm。

10.3.3.2 电抗器需装设户外测温装置,其接点容量在交流电压 220 V 时,不低于 50 VA,直流有感负载时,不低于 15 W。测温装置的引线应用支架固定,安装位置应便于观察,且其准确度应符合相应标准。

10.3.3.3 电抗器应装有远距离测温用的测温元件。

10.3.3.4 当电抗器采用集中冷却结构时,应在靠油箱进出油口总管路处装测油温用的温度计管座。

10.3.4 冷却系统及控制箱

10.3.4.1 电抗器宜优先采用自然循环冷却方式。

10.3.4.2 应根据冷却方式供给全套冷却装置。

10.3.4.3 散热器应便于安装和拆卸,应通过碟阀安装在电抗器或导油管路上。拆卸散热器时,不应导致排放油箱里的绝缘油。

10.3.5 1 000 kV 套管

10.3.5.1 除符合本标准规定外,套管的性能和试验还应符合 GB/T 4109 的要求。套管的外形系数、直径系数以及表示伞裙形状的参数,应符合 GB/T 26218.2 的规定。

10.3.5.2 应采用油浸纸电容式套管,其额定绝缘水平参见表 24。

表 24 1 000 kV 套管的额定绝缘水平

单位为千伏

设备最高电压 U_m (方均根值)	额定雷电冲击耐受电压 (峰值)		额定操作冲击耐受电压 (峰值)	额定交流耐受电压 (方均根值)
	全波	截波		
1 100	2 400	2 760	1 950	1 200(5 min)

10.3.5.3 局部放电试验应在套管出厂时单独进行,套管的视在放电量在 $1.5U_m/\sqrt{3}$ 电压下应不大于 10 pC,在 $1.05U_m/\sqrt{3}$ 电压下应不大于 5 pC。

10.3.5.4 套管的污秽等级为 d 级,爬电比距应不小于 25 mm/kV。

10.3.5.5 套管端子的允许载荷应不小于表 25 中的规定值。

静态安全系数应不小于 2.75,动态下的安全系数应不小于 1.67。套管端子型式和尺寸应满足 GB/T 5273 的有关规定。

表 25 1 000 kV 套管的端子允许载荷

单位为牛顿

横向水平方向	轴向水平方向	垂直方向
2 500	4 000	2 500

10.3.6 电抗器油箱及其附件的技术要求

10.3.6.1 电抗器一般不供应底座和小车。如果供给小车,则应带小车固定装置,固定装置应满足现场抗地震要求。其箱底底座或小车支架焊装位置应符合轨距的要求。轨距:纵向为 1 435 mm,横向为 1 435 mm、2 000 mm(2×2 000 mm、3×2 000 mm)。

10.3.6.2 在电抗器油箱壁的上、中、下部宜装有油样阀门,在油箱底部宜装有排油装置。如果采用间接

出线结构,则高压出线装置宜装设取油样阀门。

10.3.6.3 电抗器油箱应具有能承受住真空度为 13 Pa 和正压力为 120 kPa 的机械强度的能力,油箱不得有损伤和不允许的永久变形。

10.3.6.4 电抗器油箱下部应有供千斤顶顶起电抗器的装置及水平牵引装置。

10.3.6.5 在电抗器油箱壁上应设置梯子,并应有警示标志,其位置应尽可能便于取油样和观察气体继电器。

10.3.6.6 套管的安装位置和相互距离应便于接线。

10.3.6.7 电抗器结构应便于拆卸和更换套管或瓷件。

10.3.6.8 电抗器铁芯和较大金属结构零件均应通过油箱可靠接地。电抗器铁芯和夹件应分别引出并可靠接地。电抗器油箱应保证有两个接地点(分别位于油箱长轴或短轴两侧),但在接地时应保证一点接地。接地处应有明显的接地符号“≡”或“接地”字样。

10.3.6.9 应根据需要提供一定数量的套管式电流互感器。电流互感器应符合 GB/T 20840.2 的规定。

10.3.6.10 电抗器上、下部应装有滤油用阀门(成对角线放置),下部还应装有放油阀。

10.4 检验规则及方法

10.4.1 一般要求

电抗器的试验包括例行试验、型式试验和特殊试验,具体的试验项目及试验方法应按 GB/T 1094.6 的规定。此外,电抗器还应进行 10.4.2~10.4.13 的试验。

10.4.2 绝缘油性能试验(例行试验)

从油箱下部取油样,按 GB 2536 的规定进行试验。

10.4.3 密封性能试验(例行试验)

电抗器本体及储油柜应能承受在最高油面上施加 30 kPa 静压力的油密封试验,试验时间持续 24 h,不得有渗漏及损伤。

10.4.4 吸收比、极化指数测量(例行试验)

应对电抗器的极化指数($R_{10\min}/R_{1\min}$)和吸收比(R_{60s}/R_{15s})进行测量,测试通常在 5℃~40℃ 温度和相对湿度小于 85% 时进行。

10.4.5 介质损耗因数测量和电容量测量(例行试验)

应对电抗器的介质损耗因数($\tan\delta$)值和绕组电容量进行测量,测试通常在 5℃~40℃ 温度下进行。在 20℃~25℃ 及 10 kV 电压下, $\tan\delta$ 值一般应不大于 0.005。不同温度下的 $\tan\delta$ 值一般可按公式(15)换算:

$$\tan\delta_2 = \tan\delta_1 \times 1.3^{(t_2-t_1)/10} \dots\dots\dots (15)$$

式中:
—— $\tan\delta_1$ 、 $\tan\delta_2$ 分别为温度 t_1 、 t_2 时的 $\tan\delta$ 值。

10.4.6 绝缘电阻测量(例行试验)

应对电抗器的绝缘电阻和铁芯、夹件分别对地绝缘电阻进行测量,测试通常在 5℃~40℃ 和相对湿度小于 85% 时进行。当测量温度不同时,绝缘电阻可按公式(16)换算:

$$R_2 = R_1 \times 1.5^{(t_1-t_2)/10} \dots\dots\dots (16)$$

式中：

—— R_1 、 R_2 分别为温度 t_1 、 t_2 时的绝缘电阻值。

10.4.7 绝缘油中溶解气体测量(例行试验)

应对绝缘油中的溶解气体进行测量,试验方法和试验结果应符合 DL/T 722 的规定。

按下列顺序取油样进行绝缘油中溶解气体分析：

——试验开始前；

——温升试验或发热试验开始前(温升试验或发热试验中,每隔 4 h 取样)；

——温升试验或发热试验完成后。

温升试验或发热试验前后,油中气体绝对产气率(mL/d)应不超过:总烃为 120、一氧化碳(CO)为 720,并不得出现乙炔(C_2H_2)。

10.4.8 带有局部放电测量的感应电压试验(IVPD,例行试验或型式试验)

试验电源频率应不低于 100 Hz,试验电压 $U_m = 1\ 100$ kV,试验电压施加顺序见图 1。

当试验电压频率等于或小于 2 倍额定频率时,增强电压下的试验时间应为 300 s。当试验频率超过 2 倍额定频率时,应按公式(17)计算试验时间：

$$t = 600 \times \frac{f_r}{f} \quad \dots\dots\dots (17)$$

式中：

—— t 为试验时间,单位为秒(s)；

—— f_r 为额定频率,单位为赫兹(Hz)；

—— f 为试验频率,单位为赫兹(Hz)。

试验时间应不少于 75 s。除了增强电压下的试验持续时间外,其他试验时间与频率无关。

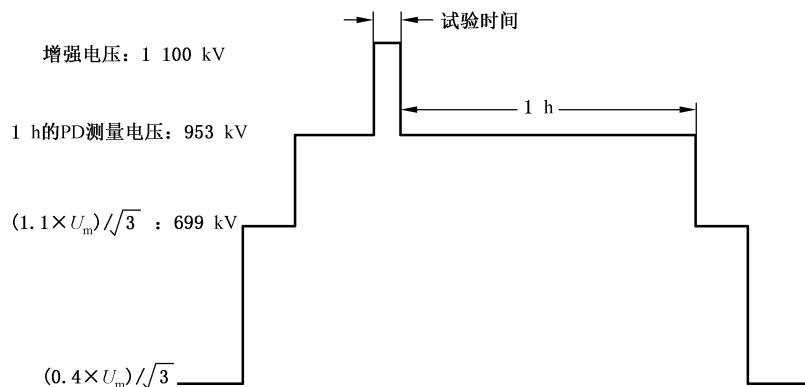


图 1 1 000 kV 油浸式并联电抗器 IVPD 试验顺序

图 1 中：

增强电压为： $U_m = 1\ 100$ kV。

增强电压的试验时间规定如下：

——型式试验：5 min；

——例行试验：按公式(17)计算,但不少于 75 s。

1 h 的局部放电(PD)测量电压为： $(1.5 \times U_m) / \sqrt{3} = 953$ kV。当试验电压升高到 1 h 的 PD 测量电压时,保持至少 5 min,以进行稳定的 PD 测量并记录 PD 水平；当电压上升至增强电压时,保持上述增强电压规定的时间,之后立刻不间断地将电压降到 1 h 的 PD 测量电压,测量并记录 PD 水平,保持至少

1 h 的 PD 测量电压,每隔 5 min 测量并记录 PD 水平。

升压及降压至 $(1.1 \times U_m)/\sqrt{3} = 699 \text{ kV}$ 时,应保持至少 1 min 以进行稳定的 PD 测量。

除上述规定外,其他具体试验顺序和局部放电测量等按 GB/T 1094.3 的规定。

在试验开始和结束时,测得的背景 PD 水平应尽可能低,在 1 h 局部放电试验期间,局部放电水平应不超过 100 pC,在 1 h 局部放电试验测量后电压降至 699 kV 时,测量的局部放电水平应不超过 100 pC。

试验过程中,应同时监测并记录铁芯和夹件的局部放电水平。

10.4.9 末端(中性点端)工频局部放电测量(例行试验)

将全电压试验值施加于电抗器绕组的首末端所连接在一起的端子与地之间;铁芯、夹件和油箱应连接在一起接地。

试验电源频率应为 50 Hz,其波形应尽可能为正弦波,试验电压应是测量电压的峰值除以 $\sqrt{2}$,增强电压下和 PD 测量电压下的试验电压和时间见下列规定。施加对地试验电压的时间顺序如图 2 所示。

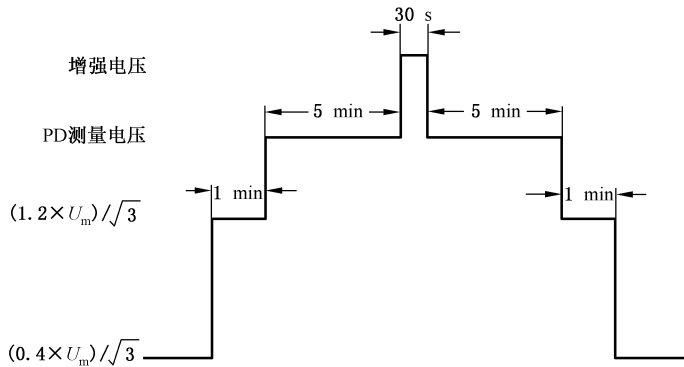


图 2 1 000 kV 油浸式并联电抗器末端(中性点端)局部放电测量试验顺序

图 2 中:

——增强电压为: $(1.7 \times U_m)/\sqrt{3}$,增强电压下的试验时间为 30 s;

——局部放电(PD)测量电压为: $(1.5 \times U_m)/\sqrt{3}$;PD 测量电压的试验时间为 5 min。

U_m 根据电抗器中性点的绝缘水平选取,具体如下:

——当中性点绝缘水平为:LI/AC 550/230 kV 时, $U_m = 126 \text{ kV}$;

——当中性点绝缘水平为:LI/AC 650/275 kV 时, $U_m = 145 \text{ kV}$;

——当中性点绝缘水平为:LI/AC 750/325 kV 时, $U_m = 170 \text{ kV}$ 。

除上述规定外,其他具体试验顺序和局部放电测量等按 GB/T 1094.3 的规定。

试验期间,在 $(1.5 \times U_m)/\sqrt{3}$ 电压下,测量的中性点端子视在电荷量的局部放电水平应不超过 300 pC。在 $(1.2 \times U_m)/\sqrt{3}$ 电压下,测量的中性点端子视在电荷量的局部放电水平应不超过 100 pC。

10.4.10 过电流试验(例行试验)



对于不进行温升试验的电抗器,应进行 1.1 倍额定电流、持续 4 h 的过电流试验。试验前后绝缘油中溶解气体色谱分析应无异常变化。

10.4.11 油浸纸绝缘套管中绝缘油的试验(例行试验)

电抗器全部试验合格后,如结构允许,则应对油浸纸绝缘套管取油样进行试验,试验结果应符合 DL/T 722 的规定。

10.4.12 磁化特性测量(型式试验)

试验按 GB/T 1094.6 的规定进行。试验时施加的电压为: $0.1 U_r$ 、 $0.2 U_r$ 、 $0.3 U_r$ 、 $0.4 U_r$ 、 $0.5 U_r$ 、 $0.6 U_r$ 、 $0.7 U_r$ 、 $0.8 U_r$ 、 $0.9 U_r$ 、 $1.0 U_r$ 、 $1.1 U_r$ 、 $1.2 U_r$ 、 $1.3 U_r$ 、 $1.4 U_r$ (U_r 为绕组额定电压), 分别测量各点的电压和电流。

10.4.13 无线电干扰水平及可见电晕测量(型式试验)

应对电抗器进行 1.1 倍最高运行电压下的无线电干扰水平及可见电晕测量, 试验方法按照 GB/T 11604 的有关规定。

11 标志、起吊、包装、运输和贮存

11.1 电抗器应有“当心触电”安全标志及运输、起吊及接线端子标志。其标志图示应符合相关标准的规定。

11.2 电抗器应具有承受其总质量的起吊装置。电抗器器身、油箱、储油柜及散热器等也应有起吊装置。

11.3 成套拆卸的组件和零件(如气体继电器、套管、出线装置、测温装置及紧固件等)的包装, 应保证经过运输、贮存直至安装前不损坏和不受潮。

11.4 电抗器经过正常的铁路、公路和水路运输后, 其内部结构件的相互位置应保持不变, 紧固件应不松动。电抗器的组件、部件(如套管、散热器、阀门及储油柜等)结构布置应不妨碍吊装、运输及运输中紧固定位。

11.5 电抗器如不带油运输时, 需充以干燥的氮气或干燥的空气(露点低于 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$)。运输前应进行密封试验, 以确保在充以 $20\text{ kPa}\sim 30\text{ kPa}$ 压力时密封良好。电抗器主体在运输中及到达现场后, 油箱内的气体压力应保持正压, 并应有压力表进行监视。电抗器在贮存期间应保持正压, 并应有压力表进行监视。对于 $1\,000\text{ kV}$ 级电抗器, 充气以后, 还需安装补气装置, 当油箱内压力小于 20 kPa 时, 应进行补气。

11.6 电抗器在运输中应装三维冲撞记录仪。

11.7 电抗器应能承受的运输冲击加速度为 3 g 。

11.8 在运输、贮存直至安装前, 应保护电抗器本体及所有组件、部件(如套管、储油柜、出线装置、阀门及散热器等)不损坏和不受潮。

附录 A (规范性附录)

110 kV 及以上油浸式并联电抗器配套用中性点接地电抗器技术参数和要求

A.1 总则

本附录规定了接于并联电抗器的中性点和大地之间、用以限制单相对地短路时的潜供电流和非全相谐振过电压、与 110 kV 及以上油浸式并联电抗器配套的中性点接地电抗器的性能参数、技术要求、设计和结构、检验规则及方法、标志、起吊、包装、运输和贮存。

本附录适用于 110 kV 及以上油浸式并联电抗器配套用、额定频率为 50 Hz 的单相油浸式中性点接地电抗器。

A.2 110 kV、220 kV、330 kV、500 kV 级并联电抗器配套用中性点接地电抗器

A.2.1 性能参数

A.2.1.1 额定持续电流：按工程实际情况由用户规定，一般在 10 A、20 A、30 A 中选取。

A.2.1.2 额定短时电流：根据系统可能出现的最大短时电流确定，具体由用户规定，一般在 100 A、200 A、300 A 中选取。

A.2.1.3 额定短时电流持续时间：具体由用户规定，一般取 10 s。

A.2.2 技术要求

A.2.2.1 基本要求

按 5.2.1、6.2.1、7.2.1、8.2.1 的规定。

A.2.2.2 性能要求

A.2.2.2.1 额定电抗值允许偏差范围： $0 \sim +10\%$ 。

A.2.2.2.2 需要分接时，最多增加两个分接，分接抽头的电抗为额定电抗值的 $\pm 10\%$ ，其正、负方向由用户确定，分接抽头电抗值的偏差不做考核。

A.2.2.2.3 在额定短时电流以下的所有电抗值均应为线性。

A.2.2.2.4 额定持续电流下的总损耗：不超过额定容量的 3% 。

A.2.2.2.5 在 GB/T 1094.10 规定的测量条件下，中性点接地电抗器在额定持续电流下的声级水平（声压级）应不超过 70 dB(A)，并按 GB/T 1094.10 的规定进行换算，给出声功率级。

A.2.2.2.6 额定持续电流下油箱的最大机械振动幅度（振幅）：不超过 $100 \mu\text{m}$ （峰值-峰值）。

A.2.2.2.7 额定绝缘水平见表 A.1。

表 A.1 110 kV、220 kV、330 kV、500 kV 级并联电抗器配套用中性点接地电抗器的额定绝缘水平

电压等级 kV	位置	额定雷电全波冲击耐受电压 (峰值) kV	额定交流耐受电压 (方均根值) kV
110	首端	480	200
66	首端	325	140
35	首端	200	85
35	末端	200	85

A.2.2.2.8 外绝缘空气间隙应根据 GB/T 1094.3 的规定来进行确定,并按实际海拔进行修正。

A.2.2.2.9 在 GB/T 1094.1 规定的正常使用条件下,各部位的温升限值应符合下列规定:

——额定持续电流下的温升限值:顶层油温升为 65 K,绕组平均温升为 70 K(用电阻法测量);

——10 s 额定短时电流下的温升限值:顶层油温升为 70 K;绕组平均温升为 90 K。

在特殊使用条件下,电抗器的温升限值应按 GB/T 1094.2 的规定进行修正。

A.2.2.2.10 电抗器所使用的绝缘油应符合 GB 2536 的要求。电抗器投入运行前,新绝缘油应符合下列要求:

——击穿电压 ≥ 45 kV;

——含水量 ≤ 20 mg/L;

——含气量 $\leq 1.0\%$;

——介质损耗因数($\tan\delta$) ≤ 0.01 (90 °C)。

A.2.2.2.11 在 20 °C~25 °C 及 10 kV 电压下,电抗器的整体介质损耗因数($\tan\delta$)应不大于 0.005。

A.2.2.2.12 电抗器极化指数一般不小于 1.5,吸收比一般不小于 1.3。当绝缘电阻不低于 10 G Ω 时,极化指数和吸收比不需考核。

A.2.2.2.13 电抗器整体对地绝缘电阻应不小于 500 M Ω (20 °C)。

A.2.2.2.14 电抗器整体(包括所有充油附件)应能承受在最高油面上施加 30 kPa 的静压力而无渗漏。

A.2.3 设计和结构

A.2.3.1 安全保护装置

按 5.3.1、6.3.1、7.3.1、8.3.1 的规定。

A.2.3.2 油保护装置

按 5.3.2、6.3.2、7.3.2、8.3.2 的规定。

A.2.3.3 油温测量装置

按 5.3.3、6.3.3、7.3.3、8.3.3 的规定。

A.2.3.4 油箱及其附件的技术要求

按 5.3.5、6.3.5、7.3.5、8.3.5 的规定,但应进行下列修改:

——中性点接地电抗器的油箱应具有能承受住真空度为 50 kPa 和正压力为 60 kPa 的机械强度的能力,不应有损伤和不允许的永久变形;

——中性点接地电抗器的油箱结构一般为器身连箱盖式或器身连箱壁式;

——中性点接地电抗器内部较大金属结构零件均应通过油箱可靠接地,油箱接地处应有明显的接地符号“≡”或“接地”字样。

A.2.4 检验规则及方法

A.2.4.1 一般要求

中性点接地电抗器的试验包括例行试验、型式试验和特殊试验,具体的试验项目及试验方法应按 GB/T 1094.6 的规定。此外,中性点接地电抗器还应进行 A.2.4.2~A.2.4.6 的试验。

A.2.4.2 绝缘油性能试验(例行试验)

按 5.4.2、6.4.2、7.4.2、8.4.2 的规定。

A.2.4.3 密封性能试验(例行试验)

按 5.4.3、6.4.3、7.4.3、8.4.3 的规定。

A.2.4.4 吸收比、极化指数测量(例行试验)

按 5.4.4、6.4.4、7.4.4、8.4.4 的规定。

A.2.4.5 介质损耗因数测量(例行试验)

按 5.4.5、6.4.5、7.4.5、8.4.5 的规定。

A.2.4.6 绝缘电阻测量(例行试验)

按 5.4.6、6.4.6、7.4.6、8.4.6 的规定。

A.2.5 标志、起吊、包装、运输和贮存

按第 11 章的规定。

A.3 750 kV 级并联电抗器配套用中性点接地电抗器

A.3.1 性能参数

A.3.1.1 额定持续电流:按工程实际情况由用户规定,一般取 30 A。

A.3.1.2 额定短时电流:根据系统可能出现的最大短时电流确定,具体由用户规定,一般取 300 A。

A.3.1.3 额定短时电流持续时间:具体由用户规定,一般取 10 s。

A.3.2 技术要求

A.3.2.1 基本要求

按 9.2.1 的规定。

A.3.2.2 性能要求

A.3.2.2.1 额定电抗值允许偏差范围:0~+10%。

A.3.2.2.2 需要分接时,最多增加两个分接,分接抽头的电抗为额定电抗值的±10%,其正、负方向由用户确定,分接抽头电抗值的偏差不做考核。



A.3.2.2.3 额定短时电流以下的所有电抗值均应为线性。

A.3.2.2.4 额定持续电流下的总损耗:不超过额定容量的3%。

A.3.2.2.5 在 GB/T 1094.10 规定的测量条件下,中性点接地电抗器在额定持续电流下的声级水平(声压级)应不超过 70 dB(A),并按 GB/T 1094.10 的规定进行换算,给出声功率级。

A.3.2.2.6 额定持续电流下油箱的最大机械振动幅度(振幅):不超过 100 μm (峰值-峰值)。

A.3.2.2.7 额定绝缘水平见表 A.2。

表 A.2 750 kV 级并联电抗器配套用中性点接地电抗器的额定绝缘水平

电压等级 kV	位置	额定雷电全波冲击耐受电压 (峰值) kV	额定交流耐受电压 (方均根值) kV
170	首端	750	325
110	首端	480	200
66	首端	325	140
35	末端	200	85

A.3.2.2.8 外绝缘空气间隙应根据 GB/T 1094.3 的规定来进行确定,并按实际海拔进行修正。

A.3.2.2.9 在 GB/T 1094.1 规定的正常使用条件下,各部位的温升限值应符合下列规定:

——额定持续电流下的温升限值:顶层油温升为 65 K,绕组平均温升为 70 K(用电阻法测量);

——10 s 额定短时电流下的温升限值:顶层油温升为 70 K;绕组平均温升为 90 K。

在特殊使用条件下,电抗器的温升限值应按 GB/T 1094.2 的规定进行修正。

A.3.2.2.10 电抗器所使用的绝缘油应符合 GB 2536 的要求。电抗器投入运行前,新绝缘油应符合下列要求:

——击穿电压 ≥ 45 kV;

——含水量 ≤ 20 mg/L;

——含气量 $\leq 1.0\%$;

——介质损耗因数($\tan\delta$) ≤ 0.01 (90 $^{\circ}\text{C}$)。

A.3.2.2.11 在 20 $^{\circ}\text{C}$ ~25 $^{\circ}\text{C}$ 及 10 kV 电压下,电抗器的整体介质损耗因数($\tan\delta$)应不大于 0.005。

A.3.2.2.12 电抗器极化指数一般不小于 1.5,吸收比一般不小于 1.3。当绝缘电阻不低于 10 G Ω 时,极化指数和吸收比不需考核。

A.3.2.2.13 电抗器整体对地绝缘电阻应不小于 500 M Ω (20 $^{\circ}\text{C}$)。

A.3.2.2.14 电抗器整体(包括所有充油附件)应能承受在最高油面上施加 30 kPa 的静压力而无渗漏。

A.3.3 设计和结构

A.3.3.1 安全保护装置

按 9.3.1 的规定。

A.3.3.2 油保护装置

按 9.3.2 的规定。

A.3.3.3 油温测量装置

按 9.3.3.1 和 9.3.3.2 的规定。

A.3.3.4 油箱及其附件的技术要求

按 9.3.5 的规定,但需进行下列修改:

- 中性点接地电抗器的油箱应具有能承受住真空度为 50 kPa 和正压力为 60 kPa 的机械强度的能力,不应有损伤和不允许的永久变形;
- 中性点接地电抗器的油箱结构一般为器身连箱盖式或器身连箱壁式;
- 中性点接地电抗器内部较大金属结构零件均应通过油箱可靠接地,油箱接地处应有明显的接地符号“≡”或“接地”字样。

A.3.4 检验规则及方法

A.3.4.1 一般要求

中性点接地电抗器的试验包括例行试验、型式试验和特殊试验,具体的试验项目及试验方法应按 GB/T 1094.6 的规定。此外,中性点接地电抗器还应进行 A.3.4.2~A.3.4.6 的试验。

A.3.4.2 绝缘油性能试验(例行试验)

按 9.4.2 的规定。

A.3.4.3 密封性能试验(例行试验)

按 9.4.3 的规定。

A.3.4.4 吸收比、极化指数测量(例行试验)

按 9.4.4 的规定。

A.3.4.5 介质损耗因数测量(例行试验)

按 9.4.5 的规定。

A.3.4.6 绝缘电阻测量(例行试验)

按 9.4.6 的规定。

A.3.5 标志、起吊、包装、运输和贮存

按第 11 章的规定。

A.4 1 000 kV 级并联电抗器配套用中性点接地电抗器

A.4.1 性能参数

A.4.1.1 额定持续电流:按工程实际情况由用户规定。

A.4.1.2 10 s 额定短时电流:根据系统可能出现的最大短时电流确定,具体由用户规定。

A.4.1.3 额定短时电流持续时间:具体由用户规定,一般取 10 s。

A.4.2 技术要求

A.4.2.1 基本要求

按 10.2.1 的规定。



A.4.2.2 性能要求

A.4.2.2.1 额定电抗值允许偏差范围: $0 \sim +10\%$ 。

A.4.2.2.2 需要分接时,最多增加两个分接,分接抽头的电抗为额定电抗值的 $\pm 10\%$,其正、负方向由用户确定,分接抽头电抗值的偏差不做考核。

A.4.2.2.3 在额定短时电流以下的所有电抗值均应为线性。

A.4.2.2.4 额定持续电流下的总损耗:不超过额定容量的 3% 。

A.4.2.2.5 在 GB/T 1094.10 规定的测量条件下,中性点接地电抗器在额定持续电流下的声级水平(声压级)应不超过 70 dB(A) ,并按 GB/T 1094.10 的规定进行换算,给出声功率级。

A.4.2.2.6 额定持续电流下油箱的最大机械振动幅度(振幅):不超过 $100 \mu\text{m}$ (峰值-峰值)。

A.4.2.2.7 额定绝缘水平见表 A.3。

表 A.3 1 000 kV 级并联电抗器配套用中性点接地电抗器的额定绝缘水平

电压等级 kV	位置	额定雷电全波冲击耐受电压 (峰值) kV	额定交流耐受电压 (方均根值) kV
170	首端	750	325
110	首端	650	275
		550	230
		480	200
66	首端	325	140
35	末端	200	85

A.4.2.2.8 外绝缘空气间隙应根据 GB/T 1094.3 的规定来进行确定,并按实际海拔进行修正。

A.4.2.2.9 在 GB/T 1094.1 规定的正常使用条件下,各部位的温升限值应符合下列规定:

- 额定持续电流下的温升限值:顶层油温升为 65 K ,绕组平均温升为 70 K (用电阻法测量);
- 10 s 额定短时电流下的温升限值:顶层油温升为 70 K ;绕组平均温升为 90 K 。

在特殊使用条件下,电抗器的温升限值应按 GB/T 1094.2 的规定进行修正。

A.4.2.2.10 电抗器所使用的绝缘油应符合 GB 2536 的要求。电抗器投入运行前,新绝缘油应符合下列要求:

- 击穿电压 $\geq 45 \text{ kV}$;
- 含水量 $\leq 20 \text{ mg/L}$;
- 含气量 $\leq 1.0\%$;
- 介质损耗因数($\tan\delta$) $\leq 0.01(90^\circ\text{C})$ 。

A.4.2.2.11 在 $20^\circ\text{C} \sim 25^\circ\text{C}$ 及 10 kV 电压下,电抗器的整体介质损耗因数($\tan\delta$)应不大于 0.005 。

A.4.2.2.12 电抗器极化指数一般不小于 1.5 ,吸收比一般不小于 1.3 。当绝缘电阻不低于 $10 \text{ G}\Omega$ 时,极化指数和吸收比不需考核。

A.4.2.2.13 电抗器整体对地绝缘电阻应不小于 $500 \text{ M}\Omega(20^\circ\text{C})$ 。

A.4.2.2.14 电抗器整体(包括所有充油附件)应能承受在最高油面上施加 30 kPa 的静压力而无渗漏。

A.4.3 设计和结构

A.4.3.1 安全保护装置

按 10.3.1 的规定。

A.4.3.2 油保护装置

按 10.3.2 的规定。

A.4.3.3 油温测量装置

按 10.3.3.1 和 10.3.3.2 的规定。

A.4.3.4 油箱及其附件的技术要求

按 10.3.6 的规定,但需进行下列修改:

- 中性点接地电抗器的油箱应具有能承受住真空度为 50 kPa 和正压力为 60 kPa 的机械强度的能力,不应有损伤和不允许的永久变形。
- 中性点接地电抗器的油箱结构一般为器身连箱盖式或器身连箱壁式。
- 中性点接地电抗器内部较大金属结构零件均应通过油箱可靠接地,油箱接地处应有明显的接地符号“≡”或“接地”字样。

A.4.4 检验规则及方法

A.4.4.1 一般要求

中性点接地电抗器的试验包括例行试验、型式试验和特殊试验,具体的试验项目及试验方法应按 GB/T 1094.6 的规定。此外,中性点接地电抗器还应进行 A.4.4.2~A.4.4.6 的试验。

A.4.4.2 绝缘油性能试验(例行试验)

按 10.4.2 的规定。

A.4.4.3 密封性能试验(例行试验)

按 10.4.3 的规定。

A.4.4.4 吸收比、极化指数测量(例行试验)

按 10.4.4 的规定。

A.4.4.5 介质损耗因数测量(例行试验)

按 10.4.5 的规定。

A.4.4.6 绝缘电阻测量(例行试验)

按 10.4.6 的规定。

A.4.5 标志、起吊、包装、运输和贮存

按第 11 章的规定。