《特高压变压器用分接开关技术要求与试验方法》编制说明

一、工作简况

1. 目的意义

国产特高压变压器用分接开关研发成功，标准体系存在空白。分接开关是特高压变压器核心组件，2021 年以前，长期被国外公司垄断，是制约我国特高压重大装备研发的“卡脖子”难题。近年来我国已实现国产化，但国内、外尚无针对性标准。

有别于常规变压器用分接开关，特高压变压器用分接开关可靠性要求更高。产品安装在特高压变压器的调压补偿变中，采用中性点变磁通调压（主绝缘 126kV）、额定通过电流大（2400A），为同等绝缘水平下主流产品的 3 倍。近年来分接开关引起的几起爆燃起火故障，对国家能源安全造成了威胁，迫切需要建立标准来规范和引导。

特高压变压器安全运行与高质量发展的需要。“十四五”期间，国家电网公司规划建设“24 交 14 直”，分接开关进入批量化生产和规模化应用阶段。通过制定国家标准，可以规范、提升国内、外厂家分接开关产品质量，引导技术发展方向，提升我国在该领域的国际话语权。

特高压变压器由主体变和调压补偿变构成，分接开关安装在调压补偿变中，与常规变压器分接开关相比具有一定的特殊性。特高压变压器电压等级高、容量大、可靠性要求高，对分接开关的动、热稳定性能，触头的载流能力等指标要求更严格，目前还没有相关标准对其技术参数、试验项目及指标要求进行明确规定，不利于保证产品质量的可靠性。目前在运工程中特高压变压器用分接开关的主要技术指标如外施耐压、雷电冲击、局放水平等均高于现有国标标准。因此，制定特高压变压器用分接开关（包括无励磁分接开关和有载分接开关）的使用条件、技术要求、试验方法及指标要求，对提高特高压变压器运行可靠性和规范性应用具有非常重要的意义。

2. 任务来源

根据国家标准化管理委员会（国标委发〔2023〕63 号）下达的 2023 年第四批推荐性国家标准计划及相关标准外文版计划，由中国电力科学研究院有限公司

牵头，上海华明电力设备制造有限公司以及各分接开关生产企业等单位联合编制《特高压变压器用分接开关技术要求与试验方法》，计划编号为 20231758-T-524，技术归口单位为全国特高压交流输电标准化技术委员会（SAC/TC 569），计划完成年限为 18 个月。

3. 主要参加单位和工作组成员

本标准由中国电力科学研究院有限公司牵头，参与单位有上海华明电力设备制造有限公司、特变电工衡阳变压器有限公司、特变电工沈阳变压器集团有限公司、日立能源(中国)有限公司、德国莱茵豪森集团、国网四川省电力有限公司电力科学研究院、国网安徽省电力有限公司电力科学研究院、国网河南省电力公司电力科学研究院、国网湖北省电力有限公司电力科学研究院、国网湖南省电力有限公司电力科学研究院、国网江西省电力有限公司电力科学研究院、国网山东省电力公司电力科学研究院、国网山西省电力公司电力科学研究院、国网上海市电力公司电力科学研究院、国网浙江省电力有限公司电力科学研究院、西安西电变压器有限责任公司、山东电力设备有限公司、保定天威保变电气股份有限公司、重庆日立能源变压器有限公司。

4. 工作简况

2024 年 2 月至 2024 年 3 月，中国电力科学研究院有限公司组织成立了本标准编写组，参与单位包括上海华明电力设备制造有限公司、特变电工衡阳变压器有限公司、特变电工沈阳变压器集团有限公司、日立能源(中国)有限公司、德国莱茵豪森集团等单位，并起草了本标准的初稿。

2024 年 4 月，编写组采用现场会议形式，召开了本标准初稿的技术研讨会议，与会代表对标准初稿的章、条内容进行讨论，同时确定了本标准制订大纲和工作计划。

2024 年 5 月至 2024 年 8 月，编写组起草了本标准的征求意见稿，期间多次召开编写组内部会议，对标准制订的技术指标可行性及其可操作性进行讨论。

2024 年 9 月至 2024 年 11 月，标准征求意见稿进行了挂网意见征求。

二、标准编制原则、主要内容及其确定依据

1. 标准编制原则

本标准的格式、排列按照 GB/T 1.1-2020 《标准化工作导则第 1 部分：标

准化文件的结构和起草规则》的有关规定编写。由于本产品尚无对应的IEC 标准，本标准编制遵循“统一性、适用性、一致性、规范性”的原则，注重标准的可操作和实用性，根据我国该产品的实际技术水平和应用需求自主进行制定。

2. 标准主要技术内容及确定依据

2.1 范围

本标准的“范围”一章规定了标准内容涵盖 1000kV 电力变压器用分接开关的技术要求、试验项目、试验方法、标志、包装、运输和贮存等内容。并规定了本标准适用于 1000kV 电力变压器（包括自耦变和升压变）用分接开关的设计、试验与验收。

2.2 规范性引用标准

本标准共引用了6 个现行有效的国家标准、2 个行业标准。

GB/T 2900.95　电工术语　变压器、调压器和电抗器

GB/T 4797.4　环境条件分类自然环境条件太阳辐射与温度

GB/T 10230.1-2019　分接开关 第 1 部分：性能要求和试验方法

GB/T 10230.2　分接开关 第 2 部分：应用导则

GB 18306　中国地震振动参数区划图

GB/T 24843　1000kV 单相油浸式自耦电力变压器技术规范

DL/T 1409　发电厂用 1000kV 升压变压器技术规范

JB/T 8314　分接开关试验导则

2.3 术语和定义

对本标准中的重要术语和名词进行定义或解释。

2.4 基本要求

“基本要求”一章包括 1000kV 电力变压器用分接开关环境要求、使用要求。环境要求规定了分接开关正常工作的变压器油温度范围、环境温度范围、阳光辐射、地震烈度、海拔高度等要求；使用要求规定了分接开关安装、功能等要求。通过对国内外 1000kV 电力变压器用分接开关产品相关资料及产品的性能数据进行了收集、分析和研究，根据产品实际应用情况、客户技术要求及现有产品技术水平来确定。

2.5 参数要求

分别对特高压交流自耦变压器用无励磁分接开关、有载分接开关和特高压交流升压变压器用无励磁分接开关的参数要求进行了描述，包括调压位置、最大额定通过电流、额定级电压、额定频率、设备最高电压、额定绝缘水平、调压范围、短路电流耐受能力、机械寿命、电气寿命、触头油中最大允许温升等参数。依据国内外特高压工程用变压器网侧级间电压电流范围及变压器所使用的分接开关产品性能参数确定。

2.6 无励磁分接开关技术要求

规定了 1000kV 电力变压器用无励磁分接开关的一般技术要求、机械性能要求、电气性能要求、绝缘性能要求、电动机构性能要求等内容。

（1）其中对于无励磁分接开关各档位回路电阻规定不能超过 200μΩ， 此回路电阻值是根据无励磁分接开关每对动静触头接触损耗（接触电阻与电流平方的乘积）应小于 100W，且特高压变压器用无励磁分接开关均由 3 层触头分流，按照现有工程使用的无励磁分接开关最大额定通过电流 2400A 计算，单层触头通过电流 800A，通流回路中共有三处接触点串联，考虑允许电流长期过载 1.2 倍运行，则每一处的接触电阻允许值为：

$$R_{允}=\frac{100W}{(1.2\times 800A)^2}=108.5\mu\Omega$$

则回路电阻测试允许值为：$3\times R_{允}\approx 300\mu\Omega$。

（2）根据分接开关制造厂、特高压变压器厂、特高压工程变电站管理单位经验值，确定无励磁分接开关密封部位应能承受 80kPa 的正压及 133Pa 的负压，不发生渗漏油。

（3）相比分接开关现存的国内外标准 IEC 60214-1、GB/T 10230.1，本标准首次规定短路试验前后回路电阻偏差应在算术平均值的 20%以内。首次规定了特高压变压器用无励磁分接开关触头首末端之间、级间的绝缘要求：触头首末端之间绝缘要求能耐受 70kV 工频电压、220kV 全波雷电冲击电压、225kV 截波雷电冲击电压；级间绝缘要求能耐受50kV 工频电压、125kV 全波雷电冲击电压、165kV 截波雷电冲击电压。

2.7 无励磁分接开关试验

规定了 1000kV 电力变压器用无励磁分接开关的试验项目、型式试验、例行

试验、特殊试验要求等内容。

特高压变压器用无励磁分接开关的试验项目与常规电压等级的无励磁分接开关试验项目要求有以下区别：⑴）机械寿命试验规定除常温和高温下的 20000 次机械操作，本标准补充需要在-40℃油温下完成 100 次操作，且试验前后分接开关各电回路值不应超过 300μΩ，试验前后回路电阻偏差应在算术平均值的 10%以内。确定依据是国产特高压变压器用无励磁分接开关的型式试验报告和回路电阻的理论计算值。（2）短路电流试验每次短路冲击持续时间提高到3s；同时，考虑到对于大电流（多层触头支路并联）无励磁开关，变压器制造商对开关的引线设计，当无强制分流措施时，无法通过线圈阻抗来改善各层触头电流的分配，会造成电流在各层触头支路间分配不均匀，开关选型时应考虑此因素，将每层触头的最大电流按平均电流的 1.2 倍进行选型，对单层触头进行短路电流试验时应将单层触头的平均电流提高 1.2 倍进行考核，常规电压等级无励磁分接开关的短路电流起始峰值为 $25I_m$、短路电流的方均根值为 $10I_m$，特高压等级无励磁分接开关整体提高 1.2 倍，本标准规定特高压变压器用无励磁分接开关短路电流起始峰值为 $30I_m$、短路电流的方均根值为 $12I_m$。（3）明确规定了压力及真空试验的试验方法及试验压力值 80kPa，保持时间 24h。（4）电动机构箱的防护等级提升为不低于 IP55，湿热或风沙地区应不低于 IP65。（5）无励磁分接开关的特殊试验增加抗震试验。

2.8 有载分接开关技术要求

规定了 1000kV 电力变压器用有载分接开关的一般技术要求、机械性能要求、电气性能要求、绝缘性能要求、密封性能要求、安全保护装置、电动机构性能要求等内容。

（1）区别于低电压等级的有载分接开关，本标准在一般技术要求中规定特高压变压器用油灭弧有载分接开关应选用油流速动继电器，不应采用具有气体报警（轻瓦斯）功能的气体继电器；真空灭弧有载分接开关应选用具有油流速动功能的气体继电器。新安装的真空灭弧有载分接开关，宜选用具有集气盒的气体继电器。确定依据是油灭弧有载分接开关切换过程本身会产生气体，若采用有气体报警功能的气体继电器极易引起误报警。

（2）机械性能方面规定真空型有载分接开关应能在 100kPa 油室内部静压

力下可靠动作，切换程序与无附加压力下相比没有显著的变化，真空管等零部件不发生渗漏变形。

（3）电气性能方面规定：①有载分接开关所有承载连续电流的各类型触头在 1.2 倍最大额定通过电流下的触头温度相对于周围液体环境介质的温升不应超过 15K。确定依据是，考虑到不同于特高压换流变压器用的有载分接开关动作频繁，特高压交流变压器（1000kV 电力变压器）用有载分接开关工程中年平均动作次数不超过 50 次/台，分接开关触头需要再一个位置上长时间运行，如果运行的油温度较高，可能会在触头上形成热解碳，基于这个原因，规定温升不超过 15K。②有载分接开关应能在-25℃油温下带电切换，切换过程中不能出现快速机构脱扣或者其他电气故障，分接开关仍然保持较好的性能；此条根据国产有载分接开关型式试验报告确定。③有载分接开关在直流偏磁电流下应能承受不低于 20 次切换，切换起始时刻直流电流大于 20A，切换前后分接开关无明显异常；此条根据国产有载分接开关型式试验报告确定。

（4）相比分接开关现存的国内外标准 IEC 60214-1、GB/T 10230.1，本标准首次规定了特高压变压器用有载分接开关触头最大最小分接之间、切换开关级间、相邻分接间的绝缘要求：触头最大最小分接间绝缘要求能耐受 145kV 工频电压、500kV 全波雷电冲击电压、550kV 截波雷电冲击电压、325kV 操作冲击电压；级间绝缘要求能耐受 30kV 工频电压、150kV 全波雷电冲击电压、165kV 截波雷电冲击电压、100kV 操作冲击电压。依据国内仅有的特高压交流变压器用有载分接开关皖南扩建工程数据。

（5）密封性能方面，有载分接开关油室应能承受 100kPa 的压力，油室所有密封部位应无渗漏现象。此条依据分接开关制造厂、特高压变压器厂、特高压工程变电站管理单位经验值确定。

（6）安全保护装置方面：①规定有载分接开关同时安装油流控制继电器和压力继电器，则油流控制继电器应投跳闸、压力继电器接报警；仅安装压力继电器，则压力继电器应投跳闸。依据国内特高压工程实际应用情况确定。②有载分接开关应装有压力释放阀并投报警，开启压力一般不小于 125kPa。依据国内外分接开关厂家相应产品确定。③有载分接开关油室内部若发生电弧故障，100ms 内电弧能量超过 2MJ 且不大于 5MJ 时，压力释放阀应可靠动作泄压且分接开关

顶盖应无破坏性形变。依据有载分接开关故障分析经验及有载分接开关油室内部电弧故障模拟试验数据确定。

2.9 有载分接开关试验

规定了 1000kV 电力变压器用有载分接开关的试验项目、型式试验、例行试验、特殊试验、连同特高压变压整体试验要求等内容。

相比分接开关现存的国内外标准 IEC 60214-1、GB/T 10230.1，本标准首次规定了 1000kV 电力变压器用有载分接开关特殊试验项目及试验方法、判据。包括：低温切换试验、直流偏磁切换试验、抗震试验、油室内部电弧故障模拟试验、极性选择器产气特性试验。

2.10 标志、包装、运输和贮存

规定了 1000kV 电力变压器用分接开关的标志、包装、运输和贮存要求。

3. 标准解决的主要问题

目前国内外还没有专门针对特高压变压器用分接开关的国家级标准。现有标准为不同行业、不同应用阶段、不同场景下制定的分接开关的通用性标准，适用范围和技术内容与本标准不同。本标准适用于特高压电力变压器用分接开关，包括无励磁分接开关和有载分接开关的性能要求、试验项目、试验方法、验收指标等内容。主要解决的问题包括：①明确特高压变压器用分接开关的技术参数及性能要求。②制定针对性试验项目，以及与电力系统实际运行条件和需求匹配的试验方法、指标要求，为产品检验提供依据。③规范特高变压器用分接开关试验、验收方法，指导性能评估。

三、试验验证的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效益、社会效益和生态效益

1. 主要试验（或验证）情况分析

标准编制工作组收集了国内外主要的相关标准和各厂家技术文件/数据，并进行了认真研究、提炼和比对分析。在标准的编制过程中充分听取了相关专家和相关单位的意见。根据国内外分接开关生产厂家积累的检测数据和实际应用情况，除无励磁分接开关短路电流试验、无励磁分接开关绝缘试验、无励磁分接开关-40℃低温机械操作试验、无励磁分接开关压力及真空试验、有载分接开关压力及真空试验、有载分接开关-25℃低温带电切换试验、有载分接开关直流偏磁

试验外，其他试验项目的性能和要求基本上可以确定，无需再进行试验验证。需试验验证的内容， 由分接开关生产厂家提供本标准无励磁分接开关产品 WDL II-2400/126-10×9D 和有载分接开关产品，由国家电器产品质量监督检验中心（苏州电器科学研究院有限公司）完成验证试验。验证结果详见本章 1.1-1.7。

图 1 国产特高压变压器用无励磁分接开关试品

（a）切换开关　　（b）分接选择器

图 2 国产特高压变压器用有载分接开关试品

1.1 无励磁分接开关短路电流试验

本试验在变压器油中对试品开关 I 相的触头(三层并联）进行 3 次短路电流冲击，试验数据详见下表 1。

表 1 无励磁分接开关短路电流试验结果

试验要求	规定值	试验值		
		第 1 次	第 2 次	第 3 次
供试验用开路电压（V)	≥50	211	212	215
电流有效值 (kA)	30	30.3	30.1	30.5
电流峰值（kA)	75	77.5	76.8	77.6
试验时间(s)	3	3.01	3.02	3.01
(I^2t)值 （$\times10^6A^2s$)	≥2700	2800	2780	2840
示波图编号		20X4069-S-T001	20X4069-S-T002	20X4069-S-T002
短路前回路电阻（μΩ）		47.1		
短路后回路电阻（μΩ）		50.2		
短路前后回路电阻偏差（%）		6.6		
试后触头未损坏，其他承载电流零部件未变形。				

从表 1 验证数据看，3 次短路电流的有效值分别为 30.3kA、30.1kA、30.5kA，电流峰值分别为 77.5kA、76.8kA、77.6kA，试验时间分别为 3.01s、3.02s、3.01s，短路试验前后回路电阻分别为 47.1μΩ、50.2μΩ， 前后回路电阻偏差为 6.6%，标准的要求值定为电流有效值≥30kA 、峰值≥75kA 、单次时间≥3s 、回路电阻≤3s、前后回路电阻偏差≤20%是切实可行的。

1.2 无励磁分接开关绝缘试验

在绝缘强度不低于 50kV 的变压器油中，用 CDY-1800 型冲击电压发生器于试品开关带电体对地间，触头首末端间，级间部位各施加试验参数表 2 中规定数值，雷电冲击电压、截波电压、操作冲击耐受电压，在正、负极性电压下各冲击三次，均未发生击穿及闪络现象，试验合格。

表 2 无励磁分接开关短路电流试验结果

	试验名称	施压部位	试验值
绝缘试验	外施耐压试验 (kV/min)	对地	325
	全波雷电冲击试验 （1.2/50μs）		750
	截波试验 (3-6μs)		825
	操作冲击试验 (峰值 kV)		620
	外施耐压试验 (kV/min)	触头首末端间	155
	全波雷电冲击试验 （1.2/50μs）		417

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。
如要下载或阅读全文，请访问：
https://d.book118.com/528030023107006122