

《电气化铁路天然酯绝缘油自耦变压器》编制说明

(征求意见稿)

一、 工作简况：

(1) 任务来源：

本项目是根据宁夏机械工程学会标准制修订计划（宁机学 NX/TC004〔2022〕03 号），计划编号2022-0104T，项目名称“电气化铁路天然酯绝缘油自耦变压器”进行制定，主要起草单位：卧龙电气银川变压器有限公司、中铁第一勘察设计院集团有限公司、广东卓原新材料科技有限公司，计划完成时间2022年。

(2) 主要工作过程

起草（草案、论证）阶段：计划下达后，于 2022 年 1 月成立了起草工作组，由卧龙电气银川变压器有限公司为组长单位，负责主要起草工作。工作组对天然酯绝缘油自耦变压器产品现状与发展情况进行全面调研，同时广泛搜集相关标准和国内外技术资料，进行了大量的研究分析、资料查证工作，结合实际应用经验，进行全面总结和归纳，在此基础上编制出《电气化铁路天然酯绝缘油自耦变压器》标准草案初稿。2022 年 4 月 7 日工作组召集研讨后，会后并对标准草案初稿进行了认真的修改，于 2022 年 4 月 27 日形成了标准征求意见稿及其编制说明等相关附件，报宁夏机械工程学会标准工作委员会秘书处审核，跟进下一阶段的工作。

(3) 主要参加单位和工作成员及其所做的工作

本标准由卧龙电气银川变压器有限公司、中铁第一勘察设计院集团有限公司、广东卓原新材料科技有限公司等单位共同起草。

主要成员：鲁玮、张健、宫衍圣、魏光、马波、周志录、郭明邦、王娥、武利军、龚俊。

所做的工作：鲁玮主持全面协调工作；张健、郭明邦负责标准的编制、试验数据整理、国内外相关技术文献和资料的收集、分析及资

料查证；宫沂圣负责标准方向把控、相关指标的讨论；魏光、周志录负责具体的挂网性能测试；马波、王娥、武利军、龚俊对产品设计生产工艺、性能和使用经验进行总结和归纳。

二、 标准化对象简要情况与标准编制原则

(1) 标准化对象简要情况

本标准标准化对象：电气化铁路天然酯油自耦变压器产品。产品性能必须满足相关行业或国家标准。现有的 TB/T 2888-2010《电气化铁路自耦变压器》标准是针对矿物油制订的，如自耦变压器油改为天然酯油，绝缘介质改变，将引起变压器绝缘材料、电气性能、温升、油中色谱等发生一系列改变，所以有必要制订一个新的标准来规范天然酯油自耦变压器的设计、制造及试验。目前尚无国际、国家及行业标准，特制定此标准填补行业空白，用以规范电气化铁路天然酯油自耦变压器产品的生产应用。

(2) 制订标准的依据和理由

本标准在起草过程中主要按 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写规则》的要求编写。在确定本标准主要技术指标时，综合考虑生产企业的能力、用户的利益和产品性能，寻求最大的经济、社会效益，充分体现了标准在技术上的先进性和合理性。

(3) 制订标准的原则

本标准在制订过程中，遵循“面向市场、服务产业、自主制定、适时推出、及时修订、不断完善”的原则，注重标准修订与技术创新、试验验证、产业推进、应用推广相结合，本着先进性、科学性、合理性和可操作性以及标准的目标、统一性、协调性、适用性、一致性和规范性的原则来进行本标准的制定工作。

三、 确定标准主要内容：

本标准主要由范围、规范性引用文件、术语和定义、产品型号、

基本参数、技术要求、试验分类及试验项目、标志、起吊、运输和储存九部分组成，其中技术要求中的制造要求为本标准的核心部分，主要介绍了天然酯绝缘油变压器在制造过程中的注意事项，注油后绝缘油的性能指标，溶解气体的典型值以及变压器运行中天然酯绝缘油的评价。通过本标准的详细阐述，可对天然酯绝缘油自耦变压器产品的质量进行客观准确的评价。

四、 主要试验（或验证）情况：

天然酯绝缘油自耦变压器 ODW-25000/2×27.5 通过了国家变压器质量检验检测中心进行的例行试验、型式试验、短路承受能力试验、空载电流谐波测量、压力变形试验、励磁特性测量，试验结果符合试验依据标准，试验合格。（见附件试验报告）

五、 标准中所涉及专利情况

本标准不涉及专利问题。

六、 预期达到的社会效益，对产业发展的作用等情况

通过标准的制定与实施，为自耦变压器注入天然酯绝缘油后的性能指标、运行中的溶解气体分析及评价提供了标准依据，为自耦变压器朝着绿色、环保方向发展奠定了坚实的基础，填补了行业空白，增强了国内外的市场竞争力。

七、 采标与国际、国外对比情况

本标准制定过程中查询并参考国际标准，对国际标准中技术要求进行了大量采用及部分技术指标要求提升。具体对比如下：

国际标准（IEC 62975-2021）要求如下：

Table 3 – Recommended limits for natural esters properties after filling in new electrical transformers and reactors prior to energization

Property	Highest voltage for equipment (kV)		
	≤ 72,5 kV	72,5 kV to 170 kV	> 170 kV
Appearance	Clear, free from sediment matter		
Colour (on scale given in ISO 2049)	< 2,0		
Breakdown voltage (kV)	> 55	> 60	> 60
Water content (mg/kg) ^a	< 200 ^b	< 150	< 100
Acidity (mg KOH/g)	< 0,08	< 0,08	< 0,08
Dielectric dissipation factor at 90 °C	< 0,07	< 0,07	< 0,07
Density at 20 °C (g/ml)	< 1		
Viscosity at 40 °C (mm ² /s)	< 50		
Fire point (°C)	> 300		
Flash point (°C)	> 250		
Total gas content (dissolved gas analysis) (% or 10 ⁴ µl/l)	< 1,5 ^c		
Total PCB ^d content (mg/kg)	Not detectable		

此次标准技术要求如下：

6.2.22 天然酯绝缘油灌注完成并静置时间满足要求，且变压器中的绝缘油性能在满足表 4 的要求后方可对变压器通电。

表 4 变压器注油后对绝缘油的技术要求

序号	项 目	指标	试验方法
1	外观	清澈透明、无沉淀物和悬浮物	目测
2	击穿电压/kV	>60	GB/T 507
3	介质损耗因数（tan δ） （90℃）	<0.04	GB/T 5654
4	酸值 mg KOH/g	<0.06	GB/T 264
5	水含量 mg/kg	≤100	GB/T 7600
6	黏度（40℃） mm ² /s	<50	GB/T 265
7	燃点℃	≥300	GB/T 3536

通过对比可以看出本次制定标准中对介质损耗因数、含水量指标

要求进行了提升，其余性能指标与国际标准一致。

在本标准制定过程中对国外、国内产品进行指标测试，均达到标准要求水平，具体对比指标如下：

技术指标		国内产品（RAPO [®] 天然 酯绝缘油）	国际产品 (FR3)
击穿电 (kV/2.5mm)		75	73
介质损耗因数 (%) 90℃		0.55	<2
相对介电常数 (25℃)		3.12	3.12
相对密度 (g·cm ⁻³ @) 15℃)		0.92	0.92
酸值 (mg KOH/g)		0.015	0.013~0.042
运动粘度 (mm ² /s)	40 ℃	33.3	32~34
	10 0℃	7.886	7.7~8.3
闪点（开口）/℃		322	320~330
燃点/℃		360	350~360
倾点/℃		-18	-18~-23
20d 生物降解度		98%	98%

通过指标参数对比可看出本标准水平为国际先进水平。

八、 重大分歧意见的处理经过和依据

本标准制定过程中，无重大分歧意见。

九、 标准性质的建议说明

本标准建议由本团体成员约定采用或按照本团体的规定供社会自愿采用。

十、 贯彻标准的要求和措施建议

建议本标准批准发布 1 个月后实施。

十一、 废止现行相关标准的建议

无。

十二、 其他应予说明的事项

无。

标准编制工作组

2022 年 4 月 27 日

附件：试验报告



200008223842



中国认可
国际互认
检测
TESTING
CNAS L0681

CHPTL

型式试验合格证书

No: CTQC/B-21.0336

委托单位: 卧龙电气银川变压器有限公司

陕西兴安润通电气化有限公司

生产单位: 卧龙电气银川变压器有限公司

样品名称: 自耦变压器

样品型号: ODW-25000/2×27.5

样品序号: 2100008

试验项目: 例行试验、型式试验、短路承受能力试验、空载电流谐波测量、
压力变形试验、励磁特性测量。

试验依据: GB/T1094.1-2013、GB/T1094.2-2013、GB/T1094.3-2017、
GB/T1094.5-2008、技术服务合同书。

试验结论: 自耦变压器(型号: ODW-25000/2×27.5)例行试验、型式试验、
短路承受能力试验、空载电流谐波测量、压力变形试验、励磁特
性测量的试验结果符合试验依据标准和技术服务合同书要求,样
品上述试验合格。

有效期五年

批准: 李世成



沈阳变压器研究院有限公司

国家变压器质量检验检测中心



200008223842



中国认可
国际互认
检测
TESTING
CNAS L0681



CHPTL

型式试验报告

No : CTQC/B-21. 0336

样品名称：自耦变压器

样品型号：ODW-25000/2×27.5

委托单位：卧龙电气银川变压器有限公司

陕西兴安润通电气化有限公司

生产单位：卧龙电气银川变压器有限公司

检验类别：型式试验



CX-F-01	检 验 报 告	No: CTQC/B-21. 0336 共 28 页 第 1 页
目 录		
1. 试验合格证书		
2. 检验报告封面		
3. 目录.....第 1 页		
4. 检验结论签发页.....第 2 页		
5. 试验结果汇总.....第 3~4 页		
6. 样品参数.....第 5 页		
7. 样品状态描述.....第 5 页		
8. 检验依据.....第 5 页		
9. 试验项目及结果.....第 6~28 页		
10. 附件 1: 铭牌及外观照片 (共 1 页)		
11. 附件 2: 样品封样、拆样照片 (共 2 页)		
12. 附件 3: 变压器有关图纸 (共 2 页)		

沈阳变压器研究院有限公司
国家变压器质量检验检测中心
型式试验报告

No: CTQC/B-21. 0336

共 28 页 第 2 页

样品名称	自耦变压器	企业申请 型号	ODW-25000/2×27.5
		确认型号	/
委托单位	卧龙电气银川变压器有限公司 陕西兴安润通电气化有限公司	检验类别	型式试验
生产单位	卧龙电气银川变压器有限公司	到样日期	/
		试验时间	2021 年 08 月 09 日 ~2021 年 09 月 29 日
生产单位 地址	银川市兴庆区兴源路 221 号	原编号或 生产日期	2100008
检验依据	GB/T1094.1—2013 GB/T1094.2—2013 GB/T1094.3—2017 GB/T1094.5—2008 技术服务合同书	检验项目	例行试验 型式试验 短路承受能力试验 空载电流谐波测量 压力变形试验 励磁特性测量
检验结论	自耦变压器(型号: ODW-25000/2×27.5) 例行试验、型式试验、短路承受能力试验、空载电流谐波测量、压力变形试验、励磁特性测量的试验结果符合检验依据标准和技术服务合同书要求, 样品上述试验合格。 签发日期: 2021 年 10 月 18 日 有效期五年		
备注	现场试验地点: 卧龙电气银川变压器有限公司试验站。		

批准: 杜建春 审核: 傅祥 编制: 邢蒙

声明: 1. 检验报告无“检验专用章”、检验单位公章和每页封章无效。2. 检验报告无编制、审核、批准人签字无效。3. 检验(监试)结论仅对样品有效。4. 未经实验室书面批准, 不得复制证书或检验报告(完整复制除外)。5. 样品至少满足标准规定的绝缘特殊试验、型式试验、短路性能试验的要求则出具型式检验报告。

检 验 报 告

No: CTQC/B-21.0336

共 28 页 第 3 页

试验结果汇总

序号	试验项目	规定值	测量值		项目结论
		标准 (技术服务合同书)	短路前	短路后	
1	绝缘系统电容的介质损耗因数 ($\tan \delta$) 的测量 (例行)	提供介质损耗因数 $\tan \delta$	见 4.1 项试验	见 4.16.3.1 项试验	/
2	绕组对地和绕组间电容测量 (例行)	提供电容值	见 4.1 项试验	见 4.16.3.1 项试验	/
3	绕组对地及绕组间直流绝缘电阻测量 (例行)	提供绝缘电阻值 提供吸收比	见 4.3 项试验	见 4.16.3.3 项试验	/
4	电压比测量和联结组标号检定 (例行)	主分接电压比偏差: $\pm 0.5\%$ 联结组标号: Ia0	AB/AO: 0.01% AB/OB: 0.01% Ia0	AB/AO: 0.03% AB/OB: 0.03% Ia0	合格
5	绕组电阻测量 (例行)	提供绕组直流电阻	见 4.5 项试验	见 4.16.3.5 项试验	/
6	空载损耗和空载电流测量 (例行)	$I_0\%$: 0.08 $+20\%$ P_0 (kW): 5.5 $+10\%$	0.059 5.968	0.064 5.980	合格
7	在 90%和 110%额定电压下的空载损耗和空载电流测量 (型式)	$I_0\%$: 提供实测值 P_0 (kW): 提供实测值	90% 110% 0.044 0.13 4.525 8.228	90% 110% 0.048 0.14 4.541 8.380	合格
8	短路阻抗和负载损耗测量 (例行)	t : 75℃ $Z\%$: 0.992 -10% P_k (kW): 45 $+10\%$ P_{Σ} (kW): 50.5 $+8\%$	AB-AO 0.98 40.387 46.355	AB-AO 0.98 39.872 45.852	合格
9	绝缘液试验 (例行)	击穿电压 (kV): ≥ 40 $\tan \delta$ (90℃): ≤ 0.04 含水量 (mg/L): ≤ 200 提供气相色谱分析	57.8 0.008 186.6 气相色谱分析	57.2 0.0079 179.1	合格
10	雷电冲击试验 (LI、LIC、LIN) (型式)	全波 截波 高压 (kV): 200 220 $\pm 3\%$ 中性点 (kV): 60 / $\pm 3\%$	/	见 4.16.3.9 项试验	合格

地址: 沈阳市沈北新区虎石台南大街 18 号
E-mail: ctqc@vip.sina.com

邮政编码: 110122
http: //www.ctn.cn

电话: (024) 23785225
总机: (024) 23787022

检 验 报 告				No: CTQC/B-21. 0336 共 28 页 第 4 页	
序号	试验项目	规定值	测量值		项目结论
		标准 (技术服务合同书)	短路前	短路后	
11	外施耐压试验 (例行)	AOB: 25kV; 60s	25kV; 60s	25kV; 60s	合格
12	感应耐压试验 (例行)	感应电压 (kV): $2U_r$ 持续时间 (s): $120(f_0/f)$ 频率 (Hz): $f > 50$	见 4.12 项试验	见 4.16.3.12 项试验	合格
13	密封试验 (例行)	施加压力 (kPa): 50 持续时间 (h): 24 无渗漏油和损伤	50 24 无渗漏油和损伤		合格
14	温升试验 (型式)	顶层油温升限值 (K): 55 绕组温升限值 (K): 65	顶层油: 38.0 AB 绕组: 45.6		合格
15	声级测定 (型式)	声压级 L_{pA} dB (A): / 声功率级 L_{WA} dB (A): ≤ 76	56 73		合格
16	短路承受能力试验 (特殊)	每相试验次数: 3 次 持续时间 (s): $0.25 \pm 10\%$ 试验波形无异常 试验前后相电抗允许偏差: $\pm 2.0\%$ 吊心检查无明显变化 短路后检查项目合格	3 次 0.25 无异常 最大相电抗偏差-0.43% 无明显变化 合格		合格
17	空载电流谐波测量 (特殊)	提供各相空载电流谐波值	见 4.17 项试验		/
18	压力变形试验 (特殊)	永久变形量(mm): ≤ 1	见 4.18 项试验		合格
19	励磁特性测量 (特殊)	提供 $0.5U_r \sim 1.15U_r$ 下的电压、 电流、损耗实测值	见 4.19 项试验		/
(以下空白)					

检 验 报 告		No: CTQC/B-21.0336 共 28 页 第 5 页																	
1. 样品参数 额定容量: 25000 kVA 额定电压: 55/27.5 kV 设备最高电压: 31.5 kV 额定电流: 454.55/909.09 A 额定频率: 50 Hz 相 数: 单相 联结组标号: Ia0 冷却方式: ONAN 海拔高度: ≤1000 m 绝缘耐热等级: A 绝缘水平: HV Um /LI/ LIC/AC 31.5/200/220/85 kV HVN Um /LI/AC 7.2/60/25kV 2. 样品状态描述 样品外观结构及主要尺寸(长、宽、高)符合产品外形图纸要求。 实测尺寸: 长 2310mm, 宽 3525 mm, 高 4180 mm。 图纸确认 <table border="1"> <thead> <tr> <th>外形</th> <th>铭牌</th> <th>器身装配</th> <th>铁心装配</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1YCB.720.0935.100</td> <td>8YCB.860.0935.100</td> <td>5YCB.700.0935.100</td> <td>5YCB.641.0935.100</td> </tr> <tr> <td>高压引线</td> <td>高压绕组</td> <td colspan="2">低压绕组</td> </tr> <tr> <td>5YCB.517.0935.100</td> <td>6YCB.600.0935.101 6YCB.600.0935.102</td> <td colspan="2">6YCB.600.0935.103 6YCB.600.0935.104</td> </tr> </tbody> </table> 铭牌及外形图纸见检验报告附件, 其它图纸经检验中心确认后在企业备存。 样品铭牌的格式、性能数据、规格符合铭牌设计图的要求。 样品高、低压侧相序标识清晰、准确。 样品外观无碰撞、损坏之处。 3. 检验依据 GB/T1094.1—2013 电力变压器 第1部分 总则 GB/T1094.2—2013 电力变压器 第2部分 液浸式变压器的温升 GB/T1094.3—2017 电力变压器 第3部分 缘水平、绝缘试验和外绝缘空气间隙 GB/T1094.5—2008 电力变压器 第5部分 承受短路的能力 技术服务合同书				外形	铭牌	器身装配	铁心装配	1YCB.720.0935.100	8YCB.860.0935.100	5YCB.700.0935.100	5YCB.641.0935.100	高压引线	高压绕组	低压绕组		5YCB.517.0935.100	6YCB.600.0935.101 6YCB.600.0935.102	6YCB.600.0935.103 6YCB.600.0935.104	
外形	铭牌	器身装配	铁心装配																
1YCB.720.0935.100	8YCB.860.0935.100	5YCB.700.0935.100	5YCB.641.0935.100																
高压引线	高压绕组	低压绕组																	
5YCB.517.0935.100	6YCB.600.0935.101 6YCB.600.0935.102	6YCB.600.0935.103 6YCB.600.0935.104																	

检 验 报 告

No: CTQC/B-21.0336

共 28 页 第 6 页

4. 试验项目及结果

4.1 绝缘系统电容的介质损耗因数 ($\tan \delta$) 测量 (例行) 试验日期: 2021 年 08 月 09 日
相对湿度: 50.0%; 油温: 28.7℃; 大气压: 89.6kPa

测试部位	Cx (pF)	$\tan \delta$
绕组一地	7392	0.0026

4.2 绕组对地和绕组间电容测量 (例行)

见 4.1 项试验

4.3 绕组对地及绕组间直流绝缘电阻测量 (例行) 试验日期: 2021 年 08 月 09 日
相对湿度: 50.0%; 油温: 28.7℃; 大气压: 89.6kPa

测试部位	绝缘电阻 (MΩ)		R_{60}/R_{15}
	R_{15}	R_{60}	
绕组一地	2100	2910	1.38
铁心一地	/	3470	/

4.4 电压比测量和联结组标号检定 (例行) 试验日期: 2020 年 08 月 09 日
油温: 28.7℃

AB 绕组		AO 绕组		计算 变比	电压比偏差 (%)	联结组标号
分接 位置	电压 (kV)	分接 位置	电压 (kV)		AB/AO	
/	55.00	/	27.5	2.00	0.01	Ia0
AB 绕组		OB 绕组		计算 变比	电压比偏差 (%)	联结组标号
分接 位置	电压 (kV)	分接 位置	电压 (kV)		AB/OB	
/	55.00	/	27.5	2.00	0.01	Ia0

试验结论: 合格。

检 验 报 告					No: CTQC/B-21.0336 共 28 页 第 7 页			
4.5 绕组电阻测量 (例行)					试验日期: 2021 年 08 月 09 日			
					油温: 28.7℃			
直流电阻 (Ω)								
A~B		A~O		O~B				
0.1571		0.07856		0.07852				
4.6 空载损耗和空载电流测量 (例行)					试验日期: 2021 年 08 月 09 日			
					油温: 28.7℃			
电压 倍数	BO 施加电压 (kV)		空载电流		空载损耗 (kW)			
	平均值	方均根值	(A)	(%)	实测值	校正值		
90% U_r	24.746	24.724	0.201	0.044	4.521	4.525		
100% U_r	27.502	27.525	0.270	0.059	5.973	5.968		
110% U_r	30.251	30.507	0.590	0.13	8.298	8.228		
试验结论: 合格。								
4.7 在 90% 和 110% 额定电压下的空载损耗和空载电流测量 (型式) 见 4.6 项试验								
4.8 短路阻抗和负载损耗测量 (例行)					试验日期: 2020 年 08 月 09 日			
绕组	施加电流		测量 电压 (kV)	短路阻抗 (每相)		负载损耗 (kW)		总损耗 (kW)
	I (A)	I/I _r (%)		(Ω)	(%)	实测值	校正值	
				t=75℃	t=75℃ S=S _r	t=28.7℃	t=75℃ I=I _r	t=75℃ I=I _r
AB-AO	339.5	74.7	0.401	0.30	0.98	19.564	40.387	46.355
试验结论: 合格。								

检 验 报 告							№: CTQC/B-21.0336 共 28 页 第 8 页	
4.9 绝缘液试验 (例行)			试验日期: 2021 年 08 月 09 日			环境温度: 25.0℃		
介质损耗因数 (90℃)		击穿电压 (kV)			含水量 (mg/L)			
0.008		57.8			186.6			
气相色谱分析 (例行试验前)			试验日期: 2021 年 08 月 09 日			μ L/L		
H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	总烃	
1.5	2.94	92.3	0.32	0.06	0.72	0.00	1.1	
气相色谱分析 (例行试验后)			试验日期: 2021 年 08 月 09 日			μ L/L		
H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	总烃	
4.23	5.87	95.41	1.18	0.63	1.06	0.00	2.87	
气相色谱分析 (温升试验前)			试验日期: 2021 年 09 月 06 日			μ L/L		
H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	总烃	
5.07	13.01	85.36	0.91	1.08	0.18	0.00	2.17	
气相色谱分析 (温升试验后)			试验日期: 2021 年 09 月 10 日			μ L/L		
H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	总烃	
19.48	28.73	228.42	5.85	10.52	11.20	0.00	27.57	
气相色谱分析 (短路试验后)			试验日期: 2021 年 09 月 13 日			μ L/L		
H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	总烃	
20.79	29.33	266.99	6.03	11.32	12.05	0.00	29.40	
气相色谱分析 (复试例行前)			试验日期: 2021 年 09 月 28 日			μ L/L		
H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	总烃	
5.69	10.69	210.7	3.72	0.62	1.0	0.00	5.44	
气相色谱分析 (复试例行后)			试验日期: 2021 年 09 月 28 日			μ L/L		
H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	总烃	
5.69	10.69	210.7	3.72	0.62	1.0	0.00	5.44	
试验结论: 合格。								

检 验 报 告					№: CTQC/B-21.0336 共 28 页 第 9 页																																					
4.10 雷电冲击试验 (LI、LIC、LIN) (型式) 在短路后进行, 见 4.16.3.9 项试验。																																										
4.11 外施耐压试验 (例行) 试验日期: 2021 年 08 月 09 日 相对湿度: 50.0%; 油温: 28.7℃; 大气压: 89.6kPa <table border="1"> <thead> <tr> <th>加压部位</th> <th>试验电压 (kV)</th> <th>试验时间 (s)</th> <th>结论</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AOB</td> <td>25</td> <td>60</td> <td>合格</td> </tr> </tbody> </table>									加压部位	试验电压 (kV)	试验时间 (s)	结论	AOB	25	60	合格																										
加压部位	试验电压 (kV)	试验时间 (s)	结论																																							
AOB	25	60	合格																																							
4.12 感应耐压试验 (例行) 试验日期: 2021 年 08 月 09 日 相对湿度: 50.0%; 油温: 28.7℃; 大气压: 89.6kPa <table border="1"> <thead> <tr> <th>供电端子</th> <th>接地端子</th> <th>施加电压 (kV)</th> <th>耐受端子</th> <th>耐受电压 (kV)</th> <th>感应倍数</th> <th>频率 (Hz)</th> <th>时间 (s)</th> <th>结论</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AO</td> <td>A</td> <td>42.5</td> <td>B</td> <td>85</td> <td>/</td> <td>200</td> <td>30</td> <td rowspan="3">合格</td> </tr> <tr> <td>OB</td> <td>B</td> <td>42.5</td> <td>A</td> <td>85</td> <td>/</td> <td>200</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>OB</td> <td>O</td> <td>55.0</td> <td>AB</td> <td>110</td> <td>2.0</td> <td>200</td> <td>30</td> </tr> </tbody> </table> 试验结论: 合格。									供电端子	接地端子	施加电压 (kV)	耐受端子	耐受电压 (kV)	感应倍数	频率 (Hz)	时间 (s)	结论	AO	A	42.5	B	85	/	200	30	合格	OB	B	42.5	A	85	/	200	30	OB	O	55.0	AB	110	2.0	200	30
供电端子	接地端子	施加电压 (kV)	耐受端子	耐受电压 (kV)	感应倍数	频率 (Hz)	时间 (s)	结论																																		
AO	A	42.5	B	85	/	200	30	合格																																		
OB	B	42.5	A	85	/	200	30																																			
OB	O	55.0	AB	110	2.0	200	30																																			
4.13 密封试验 (例行) 试验日期: 2021 年 09 月 13 日 <table border="1"> <thead> <tr> <th>试验方法</th> <th>施加压力 (kPa)</th> <th>持续时间 (h)</th> <th>剩余压力 (kPa)</th> <th>结论</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>静气压法</td> <td>50</td> <td>24</td> <td>50</td> <td>无渗漏油和损伤, 合格。</td> </tr> </tbody> </table>									试验方法	施加压力 (kPa)	持续时间 (h)	剩余压力 (kPa)	结论	静气压法	50	24	50	无渗漏油和损伤, 合格。																								
试验方法	施加压力 (kPa)	持续时间 (h)	剩余压力 (kPa)	结论																																						
静气压法	50	24	50	无渗漏油和损伤, 合格。																																						

检 验 报 告

No: CTQC/B-21.0336

共 28 页 第 10 页

4.14 温升试验 (型式) 试验日期: 2021 年 09 月 10 日

试验采用短路法, 试验时间 12h, 稳定时间 4h。

测量顶层油温升: 应加规定总损耗 46.355kW, 试验施加损耗 44.50kW。

测量 AB 绕组温升: 应加规定电流 909.1A, 试验施加电流 909.6A。

AO 供电, AB 短路。

温 升 计 算 结 果

环境温度: 27.5℃

顶层油温升 (K)	38.0	
绕组温升 (K)	AB	45.6

注: 温升计算结果为规定总损耗和规定电流下的校正值;

试验结论: 合格。

检 验 报 告

No: CTQC/B-21. 0336
共 28 页 第 11 页

图例: 待写数据

时间增量	$\Delta t=$ 1 min				
电源断开时的液体平均温度	$\theta_{om_start}=$ 50.7 °C	估计的绕组时间常数	$T_w=$ 17.02 min		
冷却曲线终点处的液体平均温度	$\theta_{om_end}=$ 50.0 °C	估计的液体平均温度	$A_o=$ 53.38 °C		
液体温度斜率	$k=$ 0.04 K/min	估计的绕组对液体温度精度	$B=$ 18.67 K		
辅助变量:		电源断开瞬间的绕组平均温度	$\theta_{wo}=$ 72.1 °C		
$t_c=$ -3.2311	n	sa	sb	sc	sd
$t_e=$ 0.0605	se				
	Abs Sums:	18	10.84	1139.92	695.94
				72348.43	9.59

Time (min)	$R(i)$ (Ω) $\times 10^{-2}$	$\theta_{om}(i)=$ A_o-kt	$\theta_{wm}(i)$ as measured	$\theta_{wa}(i)$	$\theta_{wcor}(i)$	$U(i-0/1)$	$\theta_w(i)$ as corrected and validated	$\Delta\theta_w(i)$ as per eq. (C.5)	$\theta_w(i)$ $\times$ $\Delta\theta_w(i)$	$(\theta_w(i))^2$	e^{-t/T_w}	$\theta_w(i)$ as calculated
0		53.38										72.05
1		53.35										70.95
2	18.080	53.31	69.89	69.89	69.96	1						69.91
3	18.020	53.28	68.88	68.88	68.99	1	68.99	-0.977	-67.39	4759.31	0.8384	68.93
4	17.963	53.24	67.92	67.92	68.06	1	68.06	-0.926	-63.04	4632.37	0.7905	68.00
5	17.912	53.21	67.06	67.06	67.24	1	67.24	-0.825	-55.47	4520.74	0.7454	67.12
6	17.864	53.17	66.25	66.25	66.46	1	66.46	-0.774	-51.47	4417.20	0.7029	66.30
7	17.818	53.14	65.48	65.48	65.72	1	65.72	-0.741	-48.68	4319.29	0.6627	65.51
8	17.775	53.10	64.75	64.75	65.03	1	65.03	-0.690	-44.88	4229.05	0.6249	64.77
9	17.734	53.07	64.06	64.06	64.37	1	64.37	-0.656	-42.26	4144.11	0.5892	64.07
10	17.696	53.03	63.42	63.42	63.77	1	63.77	-0.606	-38.63	4066.47	0.5556	63.41
11	17.660	53.00	62.81	62.81	63.20	1	63.20	-0.572	-36.15	3993.84	0.5239	62.78
12	17.625	52.96	62.22	62.22	62.64	1	62.64	-0.555	-34.78	3923.97	0.4940	62.19
13	17.592	52.93	61.67	61.67	62.12	1	62.12	-0.522	-32.40	3858.91	0.4658	61.62
14	17.561	52.89	61.14	61.14	61.63	1	61.63	-0.488	-30.06	3798.54	0.4392	61.09
15	17.531	52.86	60.64	60.64	61.16	1	61.16	-0.471	-28.80	3740.72	0.4142	60.59
16	17.503	52.82	60.16	60.16	60.72	1	60.72	-0.437	-26.55	3687.43	0.3905	60.11
17	17.475	52.79	59.69	59.69	60.29	1	60.29	-0.437	-26.36	3634.53	0.3682	59.66
18	17.449	52.75	59.25	59.25	59.88	1	59.88	-0.403	-24.16	3586.04	0.3472	59.23
19	17.424	52.72	58.83	58.83	59.50	1	59.50	-0.387	-23.00	3539.89	0.3274	58.83
20	17.400	52.68	58.43	58.43	59.13	1	59.13	-0.370	-21.86	3496.03	0.3087	58.45
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												

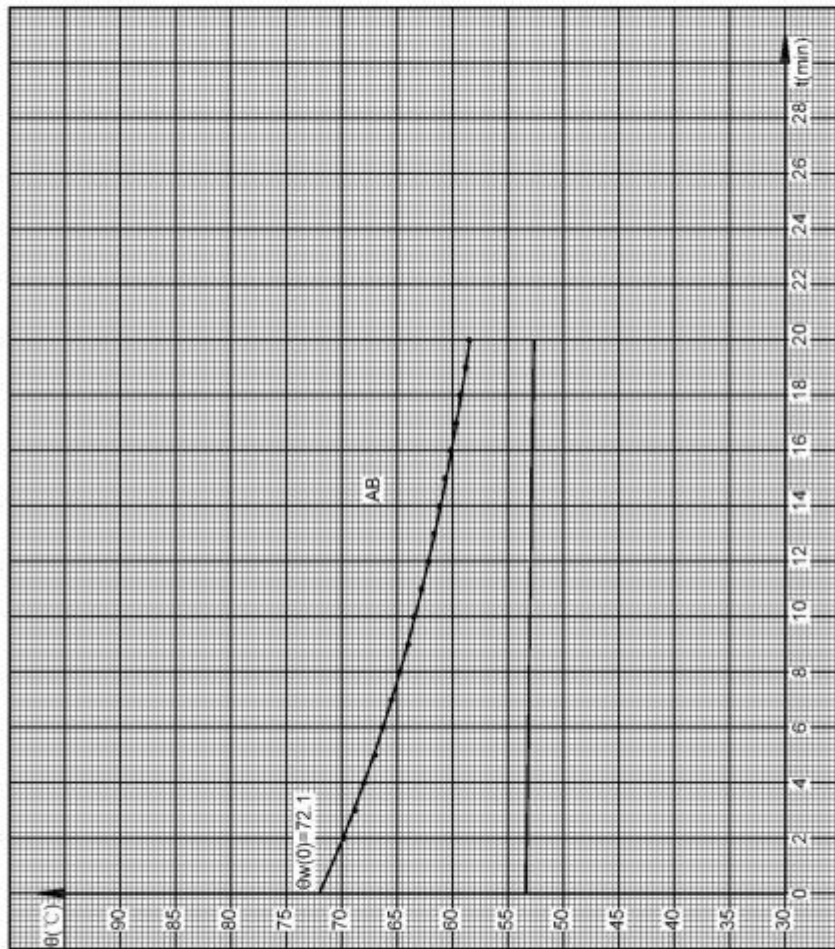
AB 绕组温升 (K): $\Delta\theta_{WH} = (\theta_{wo} - \theta_{om_start}) \times \left(\frac{1 - e^{-t/T_w}}{1 - e^{-t_c/T_w}} \right) + \Delta\theta_{om} = (72.1 - 50.7) \times \left(\frac{909.1}{909.6} \right)^{1.6} + 24.3 = 45.6$

检 验 报 告

No: CTQC/B-21.0336

共 28 页 第 12 页

温 度 曲 线



检 验 报 告

No: CTQC/B-21.0336

共 28 页 第 13 页

4.15 声级测定(型式) 试验日期: 2021 年 09 月 09 日

4.15.1 负载电流声功率级估算

计算公式:

$$L_{WA,IN}=39+18\lg\frac{S_r}{S_p}\approx 64\text{dB(A)}$$

式中: S_r —额定容量为 25MVA; S_p —基准容量为 1MVA。

因为 $L_{WA,IN}$ 值比保证的声功率级限值 76dB(A) 低 12dB(A), 按照标准要求, 则负载电流声级测量不需要进行。

4.15.2 声压级测量及声功率级计算

变压器额定励磁, 轮廓线距基准面距离 0.3m, 测量点布置 20 个, 测量点间的距离 0.71m, 油箱高度为 2.7 m, 测量点高度分别为 0.9m 和 1.8m。

测 量 环 境 条 件

环境温度: 25.0℃

测试室总表面积 S_v (m ²)	平均吸声系数 α	吸声量 A (m ²)	与基准发射面距离 (m)	测量表面面积 S (m ²)	环境修正值 K dB (A)
2300	0.15	345	0.3	47.93	1.9

测 量 结 果

dB (A)

冷却装置状态	背景噪声平均值		变压器噪声平均值 $\overline{L_{PAO}}$	A 计权声压级 $\overline{L_{PA}} = 10\lg(10^{0.1\overline{L_{PAO}}} - 10^{0.1\overline{L_{bgA}}}) - K$	A 计权声功率级 $L_{WA,UN} = \overline{L_{PA}} + 10\lg(S/S_0)$
	试验前	试验后			
ONAN	39.9	39.7	57.7	56	73

注: $\overline{L_{PAO}}$: 未修正的平均 A 计权声压级: $\overline{L_{PAO}} = 10\lg(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0.1\overline{L_{PAi}}})$

$\overline{L_{bgA}}$: 两个计算出的背景噪声平均 A 计权声压级中的较小者。

试验结论: 合格。

检 验 报 告							№: CTQC/B-21. 0336 共 28 页 第 14 页			
4. 16 短路承受能力试验（特殊） 试验日期: 2021 年 09 月 13 日										
4. 16. 1 短路试验电流计算（参考温度 75℃）							环境温度: 21.7℃			
分接位置		非对称短路电流 第一峰值（A）		对称短路电流 方均根值（A）		峰值系数（ $K\sqrt{2}$ ）				
/		12373		5454		2.269				
4. 16. 2 短路试验施加电流										
采用单相电源试验，试验电压施加于 A-BO 端，BO 短路接地，共试验 3 次。试验波形无异常，波形图见第 26 页。										
非对称短路电流第一峰值和对称短路电流方均根值百分数为实测值比计算电流值。										
分接 位置	施加 电流 端子	次数	电 流 测 量							
			非对称短路电流第一峰值		对称短路电流方均根值		持续 时间 (s)	波形编号		
			实测值 (A)	I_{as}/I_{sc} (%)	实测值 (A)	I_{ms}/I_{sc} (%)				
/	A-OB	第 1 次	12579	101.7	4914	90.1	0.25	B210336-S01-1		
		第 2 次	12629	102.1	4912	90.1	0.25	B210336-S01-2		
		第 3 次	12596	101.8	4913	90.1	0.25	B210336-S01-3		
		次数	电 抗 测 量							
			相电抗值（Ω）				电抗偏差（%）			
		试验前	1.171				/			
		第 1 次	1.169				-0.17			
		第 2 次	1.168				-0.26			
		第 3 次	1.166				-0.43			
		短路承受能力试验后电抗测量								
		分接位置					电抗偏差（%）			
		/					-0.62			
最大相电抗偏差为-0.43%。										

检 验 报 告

№: CTQC/B-21.0336

共 28 页 第 15 页

4.16.3 复试例行试验

4.16.3.1 绝缘系统电容的介质损耗因数 ($\tan \delta$) 测量 试验日期: 2021 年 09 月 28 日

相对湿度: 37.5%; 油温: 25.9℃; 大气压: 88.4kPa

测试部位	Cx (pF)	$\tan \delta$
绕组—地	7373	0.0026

4.16.3.2 绕组对地和绕组间电容测量

见 4.16.3.1 项试验

4.16.3.3 绕组对地及绕组间直流绝缘电阻测量 试验日期: 2021 年 09 月 28 日

相对湿度: 37.5%; 油温: 25.9℃; 大气压: 88.4kPa

测试部位	绝缘电阻 (MΩ)		R_{60}/R_{15}
	R_{15}	R_{60}	
绕组—地	1690	2480	1.46
铁心—地	/	3090	/

4.16.3.4 电压比测量和联结组标号检定 试验日期: 2021 年 09 月 28 日

油温: 25.9℃

AB 绕组		AO 绕组		计算 变比	电压比偏差 (%)	联结组标号
分接 位置	电压 (kV)	分接 位置	电压 (kV)		AB/AO	
/	55.00	/	27.5	2.00	0.03	Ia0
AB 绕组		OB 绕组		计算 变比	电压比偏差 (%)	联结组标号
分接 位置	电压 (kV)	分接 位置	电压 (kV)		AB/OB	
/	55.00	/	27.5	2.00	0.03	Ia0

试验结论: 合格。

检 验 报 告					No: CTQC/B-21.0336 共 28 页 第 16 页			
4.16.3.5 绕组电阻测量			试验日期: 2021 年 09 月 28 日 油温: 25.9℃					
直流电阻 (Ω)								
A~B		A~O		O~B				
0.15430		0.07718		0.07714				
4.16.3.6 空载损耗和空载电流测量			试验日期: 2021 年 09 月 28 日 油温: 25.9℃					
电压 倍数	BO 施加电压 (kV)		空载电流		空载损耗 (kW)			
	平均值	方均根值	(A)	(%)	实测值	校正值		
90% U_r	24.74	24.75	0.22	0.048	4.543	4.541		
100% U_r	27.50	27.54	0.29	0.064	5.989	5.980		
110% U_r	30.26	30.36	0.63	0.140	8.408	8.380		
试验结论: 合格。								
4.16.3.7 在 90% 和 110% 额定电压下的空载损耗和空载电流测量 见 4.16.3.6 项试验								
4.16.3.8 短路阻抗和负载损耗测量			试验日期: 2021 年 09 月 28 日					
绕组	施加电流		测量 电压 (kV)	短路阻抗 (每相)		负载损耗 (kW)		总损耗(kW)
	I (A)	I/I _r (%)		(Ω)	(%)	实测值	校正值	
				t=75℃ S=S _r	t=75℃ I=I _r	t=25.9℃ I=I _r	t=75℃ I=I _r	
AO-AB	245.1	53.9	289.4	0.3	0.98	9.960	39.872	45.852
试验结论: 合格。								
4.16.3.9 绝缘液试验			试验日期: 2021 年 09 月 28 日					
介质损耗因数 (90℃)			击穿电压 (kV)			含水量 (mg/L)		
0.0079			57.2			179.1		
试验结论: 合格。								

检 验 报 告

No: CTQC/B-21.0336
共 28 页 第 17 页

4.16.3.10 雷电冲击试验 (LI、LIC、LIN)

试验日期: 2021 年 09 月 28 日

试验大气条件: 相对湿度: 37.5%; 环境温度: 25.0°C; 大气压: 88.4kPa

试验项目及电压

耐受端子	额定耐受电压 (kV)		分接位置
	雷电全波	雷电截波	
A、B	200	220	/
O	60	/	/

试验电压: 全波 (kV): 200.82~202.58

截波 (kV): 220.32~223.25

中性点 (kV): 60.88~61.77

试验程序 (端子 A、B):

一次降低电压的负极性全波冲击;

一次额定电压的负极性全波冲击;

一次降低电压的负极性截波冲击;

二次额定电压的负极性截波冲击;

二次额定电压的负极性全波冲击。

试验程序 (端子 O):

一次降低电压的负极性全波冲击;

三次额定电压的负极性全波冲击。

试验波形记录:

T1: 波前时间;

T2: 半峰值时间; Tc: 截断时间;

Oz: 电压过零系数;

Upk: 峰值电压。

试验结论: 合格。

检 验 报 告					No: CTQC/B-21.0336 共 28 页 第 21 页			
4.16.3.11 外施耐压试验 试验日期: 2021 年 09 月 28 日 相对湿度: 37.5%; 油温: 25.9℃; 大气压: 88.4kPa								
加压部位		试验电压 (kV)		试验时间 (s)		结论		
AOB		25		60		合格		
4.16.3.12 感应耐压试验 试验日期: 2021 年 09 月 28 日 相对湿度: 37.5%; 油温: 25.9℃; 大气压: 88.4kPa								
供电端子	接地端子	施加电压 (kV)	耐受端子	耐受电压 (kV)	感应倍数	频率(Hz)	时间 (s)	结论
AO	A	42.5	B	85	/	200	30	合格
BO	B	42.5	A	85	/	200	30	
BO	O	55.0	AB	110	2.0	200	30	
试验结论: 合格。 4.16.4 吊心检查 试验后线圈、引线和支撑件结构等无明显位移、变形, 器身表面没有发现放电痕迹。 试验前、后照片见第 27~28 页。 4.16.5 短路承受能力试验结论: 合格。								

检 验 报 告

№: CTQC/B-21.0336

共 28 页 第 22 页

4.17 空载电流谐波测量 (特殊) 试验日期: 2021 年 08 月 09 日

油温: 28.9℃

谐波次数	U (%)	I (%)
1	100.00	100.00
2	0.00	0.00
3	0.40	59.25
4	0.05	0.00
5	0.63	24.07
6	0.00	0.00
7	0.98	14.81
8	0.00	0.00
9	0.11	5.55
10	0.00	0.00
11	0.46	7.40
12	0.00	0.00
13	0.17	1.85
14	0.00	0.00
15	0.00	0.00
16	0.00	0.00
17	0.17	3.70
18	0.00	0.00
19	0.17	5.55
20	0.00	0.00
21	0.05	1.85

检 验 报 告						No: CTQC/B-21.0336 共 28 页 第 23 页			
4.18 压力变形试验（特殊） 试验日期：2021 年 09 月 29 日 将状态完好的被试变压器，在油箱壁、箱盖易产生较大变形的部位设置 10 个测量点，测量点具体位置图见 24 页。 相对湿度：40.0%；油温：24.0℃；大气压：88.6kPa									
测量点	距参考点距离（mm）			最大弹性 变形量 （mm）	允许永久 变形量 （mm）	永久变形量 （mm）			
	基准值	65kPa 正压力 30min	解除压力后						
1	280	276	280	4	1	0			
2	304	300	303	4	1	1			
3	232	229	231	3	1	1			
4	246	243	246	3	1	0			
5	186	183	186	3	1	0			
6	237	235	237	2	1	0			
7	142	140	142	2	1	0			
8	165	162	165	3	1	0			
9	114	112	114	2	1	0			
10	104	101	103	3	1	1			
结论	合格	箱壁 厚度	8mm	箱沿 厚度	20mm	箱盖 厚度	16mm	加强铁 厚度	8mm

检 验 报 告			No: CTQC/B-21.0336 共 28 页 第 25 页	
4.19 励磁特性测量 (特殊) 试验日期: 2021 年 08 月 09 日				
油温: 28.9℃				
电压倍数	施加电压 (kV)		励磁电流 (A)	空载损耗 (kW)
	平均值	方均根值		
50%U _r	13.750	13.778	0.105	1.361
60%U _r	16.501	16.512	0.129	1.957
70%U _r	19.248	19.245	0.152	2.664
80%U _r	21.997	21.974	0.175	3.499
90%U _r	24.746	24.724	0.201	4.521
95%U _r	26.123	26.120	0.225	5.159
100%U _r	27.502	27.525	0.270	5.973
105%U _r	28.876	28.940	0.360	7.106
110%U _r	30.251	30.507	0.590	8.298
115%U _r	31.628	32.879	2.333	11.522
试验结论: 合格。				