

《三相 Vv 联结天然酯绝缘油牵引变压器》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 2022-015T，项目名称“三相 Vv 联结天然酯绝缘油牵引变压器”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。工作组对三相 Vv 联结天然酯绝缘油牵引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《三相 Vv 联结天然酯绝缘油牵引变压器》标准草案初稿。2022 年 4 月 7 日工作组召集会议，对标准草案初稿进行了认真的讨论和修改，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：三相Vv联结天然酯油牵引变压器产品。产品性能必须满足相关行业或国家标准。现有的JB/T 11328-2013《三相VV联结牵引变压器》标准是针对矿物油制订的，如牵引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牵引变压器的设计、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，用以规范三相Vv联结天然酯绝缘油牵引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、

性能参数、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，可对天然酯绝缘油牵引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：

天然酯绝缘油牵引变压器 VQYW-12500+12500/110 通过了卧龙电气银川变压器有限公司中高压电气试验室进行的例行试验、型式试验、空载电流谐波测量、长时间空载试验、油箱表面热点温升测量、过负荷温升试验等，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，为牵引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，为牵引变压器朝着绿色、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
		≤72.5 kV	72.5kV~170 kV	>170 kV	
1	外观	清澈透明、无沉淀物和悬浮物			目测
2	击穿电压/kV	>55	>60	>60	GB/T 507
3	介质损耗因数（tan δ）（90℃）	<0.07	<0.05	<0.04	GB/T 5654
4	酸值 mg KOH/g	<0.06			GB/T 264
5	水含量 mg/kg	≤150	≤100	≤100	GB/T 7600
6	黏度（40℃）mm ² /s	<50			GB/T 265
7	燃点℃	≥300			GB/T 3536
注：天然酯绝缘油粘度较大，油中微小气泡散逸需更长时间，为防止测试过程中因气泡引起击穿电压测试结果异常，建议油品静置 20 分钟以后通过 GB/T 507 方法进行试验。					

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）
击穿电压(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
	100℃	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。

附件：试验报告

试 验 报 告

产品名称：Vv 接线牵引变压器

产品型号：VQYW-12500+12500/110

产品代号：1YCB.710.0315.100

产品序号：2105051

卧龙电气银川变压器有限公司中高压电气实验室



卧龙电气银川变压器有限公司中高压电气实验室

试 验 报 告

产品名称	Vv 接线牵引变压器	型号规格	VQYW-12500+12500/110
生产单位	卧龙电气银川变压器有限公司	产品代号	YCB.720.0315.100
送检单位	卧龙电气银川变压器有限公司	产品序号	2105051
试验依据	GB/T1094.1-2013 GB/T1094.2-2013 GB/T1094.3-2017 TB/T3159-2021	试验项目	例行试验、型式试验、空载电流谐波测量、长时间空载试验、安装在变压器本体上的电容式套管的电容量及介质损耗因数测量、油箱表面热点温升测量、过负荷温升试验
试验结论	该样品所检项目的试验结果符合依据的标准和协议要求，产品上述试验合格。 签发日期：2021 年 7 月 10 日 		
备注			

批准: 张维奇

审核: 张维奇

编制: 刘阳

声明: 1. 检验报告无检验专用章, 检验单位公章无效; 2. 检验报告无编制、审核、批准人签字无效; 3. 检验结论仅对样品有效; 对检验报告若有异议, 应在收到报告后及时向检验单位提出; 4. 未经检验单位书面批准, 不得复制检验报告 (完整复制除外)。

卧龙电气银川变压器有限公司中高压电气实验室

№: 2105051		试 验 报 告		共 22 页 第1页	
试验结果汇总					
序号	试验项目	规定值（标准、技术规范）	测量值	结论	
1	压力密封试验（例行）	30kPa、24h，无渗漏或损伤	见第 2.1 项	合格	
2	绕组对地和绕组间绝缘电阻测量（例行）	提供绝缘电阻和吸收比实测值	见第 2.2 项	/	
3	铁心和夹件绝缘检查（例行）	DC2500V 60s 绝缘电阻(MΩ, 20℃): ≥500	见第 2.3 项	合格	
4	绝缘系统电容的介损(tanδ)测量及绕组对地和绕组间电容测量（例行）	提供介质损耗因数 tanδ 值 提供电容量实测值	见第 2.4 项	/	
5	安装在变压器本体上的电容式套管的电容量及介损(tanδ)测量（特殊）	提供电容实测值 提供介质损耗因数 tanδ 实测值	见第 2.5 项	/	
6	绝缘液试验（例行）	击穿电压(kV): ≥45 介损（%、90℃）: ≤1 含水量（mg/L）: ≤200 提供气相色谱分析	见第 2.6 项	合格	
7	电压比测量和联结组标号检定（例行）	主分接电压比偏差(%): ±0.5 联结组标号: Vv0/Vv6	见第 2.7 项	合格	
8	绕组电阻测量（例行）	提供实测值	见第 2.8 项	/	
9	空载电流和空载损耗测量（例行）	Io(%): 0.2+30% Po(kW): 24.0+15%	见第 2.9 项	合格	
10	短路阻抗和负载损耗测量（例行）	t=75℃ 额定分接 Pkt (kW): 121.0+15% Ukt (%): 8.4±10%	见第 2.10 项	合格	
11	外施耐压试验（例行）	高压: 200kV 60s 低压: 85kV 60s	见第 2.11 项	合格	
12	雷电冲击试验（例行、型式）	全波 截波 高压: 480 530 ±3% 低压: 200 220 ±3%	见第 2.12 项	合格	
13	带局部放电测量的感应耐压试验（例行）	加强电压(kV): (2 × Ur) 测量电压(kV): (1.58 × Ur) 持续时间(min): 60 局部放电量(pC): ≤200	见第 2.13 项	合格	
14	温升试验（型式）	顶层油温升限值(K): 53 绕组温升限值(K): 63	见第 2.14 项	合格	
15	过负荷能力试验（特殊）	t: 30℃ 顶层油温度(℃): ≤105 绕组温度(℃): ≤140	见第 2.15 项	合格	

卧龙电气银川变压器有限公司中高压电气实验室

№: 2105051		试 验 报 告		共 22 页 第2页	
序号	试验项目		规定值（标准、技术规范）	测量值	结论
16	声级测定（型式）		声功率级 L_{WASN} dB(A): ≤ 82	见第 2.16 项	合格
17	空载电流谐波测量（特殊）		提供空载电流谐波值	见第 2.16 项	合格
18	长时间空载试验（特殊）		施加电压(kV): $1.1U_r$ 运行时间(h): 8 油中无乙炔, 总烃含量无明显变化	见第 2.16 项	合格
19	油箱表面热点温升测量（特殊）		提供实测值	见第 2.19 项	/

卧龙电气银川变压器有限公司中高压电气实验室

№: 2105051	试 验 报 告			共 22 页 第3页
1 样品参数				
额定容量 (kVA):	12500+12500			
额定电压及分接范围 (kV):	$110^{+2.5}_{-1} \times 2.5\% / 27.5$			
额定电流 (A):	113.64/454.55			
额定频率 (Hz):	50			
相 数:	三相			
联结组标号:	Vv0(Vv6)			
冷却方式:	ONAN			
绝缘耐热等级:	A			
海拔高度 (m):	≤1500			
绝缘水平 (kV):	HV	Um/LI/LIC/AC	126/480/530/200	
	LV	Um/LI/LIC/AC	31.5/200/220/85	

№: 2105051		试 验 报 告		共 22 页 第4页	
2 试验数据					
2.1 压力密封试验					
产品承受在最高油面上施加 30 kPa 静压力，试验时间持续 24h，产品无渗漏和损伤。					
2.2 绕组对地及绕组间绝缘电阻测量					
相对湿度：67.0 %RH；油温：29.5℃					
测量部位		实测绝缘电阻（GΩ）		R ₆₀ /R ₁₅	
		R ₁₅	R ₆₀		
高压—低压及地		40.7	52.5	1.29	
低压(T1)—高压及地		37.3	55.3	1.48	
低压(T2)—高压及地		38.5	86.2	2.24	
高低压—地		22.3	34.7	1.56	
高压、低压(T1)—低压(T2)及地		23.4	36.8	1.57	
高压、低压(T2)—低压(T1)及地		46.3	51.2	1.1	
2.3 铁心和夹件绝缘检查					
油温：20.0℃					
测量部位	测试电压（V）	测试时间（s）	绝缘电阻(MΩ)	结果	
铁心(T1)—地	DC2500	60	39400	无击穿	
铁心(T2)—地	DC2500	60	40200	无击穿	
试验结论：合格。					
2.4 绝缘系统电容的介质损耗因数(tanδ)的测量及绕组对地和绕组间电容测量					
相对湿度：50.0 %RH；油温：20.0 °C					
测量部位	电容量 C _x （nF）		介质损耗因数 tanδ（%）		
高压—低压及地	9.440		0.23		
低压(T1)—高压及地	6.813		0.295		
低压(T2)—高压及地	6.717		0.305		
高低压—地	10.080		0.338		
高压、低压(T1)—低压(T2)及地	9.811		0.304		
高压、低压(T2)—低压(T1)及地	9.819		0.315		
高压—低压(T1)	3.176		0.217		
高压—低压(T2)	3.231		0.211		
试验结论：合格。					

№: 2105051		试 验 报 告				共 22 页 第5页		
2.5 安装在变压器本体上的电容式套管的电容性及介质损耗因数 (tanδ) 测量								
相对湿度: 50.0 %RH; 温度: 20.0 °C								
端子	套管型号		套管编号		电容值 C _x (pC)		介损 tanδ(%)	
高压	QXEFBRGW-126/630-4		1609B032-3		332.2		0.358	
			1609B032-1		331.1		0.374	
			1609B032-2		334.2		0.365	
2.6 绝缘液试验								
标号		击穿电压 (kV)		介质损耗因数(%、90°C)			含水量 (mg/L)	
天然脂植物油		59.8		0.16			180.3	
试验过程中绝缘油检测								
	H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₂	μL/L 总烃
绝缘试验前		0	11.39	127.63	0.38	0	0	0.38
绝缘试验后		0	12.76	131.06	0.41	0	0	0.41
温升试验后		3.08	14.63	139.70	0.58	0.31	0	0.89
长时间空载后		4.33	16.76	142.88	0.63	0.36	0	0.99
试验结论: 合格。								
2.7 电压比测量和联结组标号检定								
高压绕组		低压绕组		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/T ₁ X ₁	BC/X ₂ T ₂	CA/T ₂ T ₁	联结组标号	
1	118.25	/	27.5	0.09	0.09	0.08	Vv0	
2	115.00			0.10	0.10	0.09	X ₁ X ₂ 联结	
3	112.75			0.10	0.10	0.10		
4	110.00			0.09	0.09	0.09		
5	107.25			0.09	0.10	0.09		
高压绕组		低压绕组		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/X ₁ T ₁	BC/T ₂ X ₂	CA/X ₂ X ₁	联结组标号	
1	118.25	/	27.5	0.09	0.09	0.08	Vv6	
2	115.00			0.10	0.10	0.09	T ₁ T ₂ 联结	
3	112.75			0.10	0.10	0.10		
4	110.00			0.09	0.09	0.09		
5	107.25			0.09	0.10	0.09		
试验结论: 合格。								

卧龙电气银川变压器有限公司中高压电气实验室

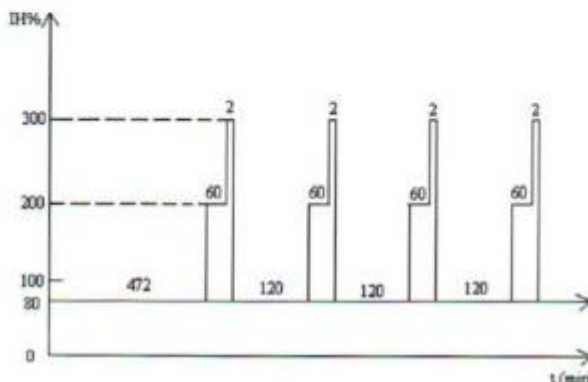
№: 2105051		试 验 报 告		共 22 页 第6页	
2.8 绕组电阻测量				油温: 29.0℃	
高压绕组电阻值 (Ω)					
分接位置	AB		BC		
1	1.0455		1.0455		
2	1.0201		1.0201		
3	0.9948		0.9947		
4	0.9695		0.9695		
5	0.9446		0.9444		
低压绕组电阻值 (Ω)					
T ₁ X ₁		T ₂ X ₂			
0.04684		0.04690			
2.9 空载电流和空载损耗测量					
施加电压	励磁端	空载电流 I ₀ (%)		空载损耗 P ₀ (kW)	
		测量值	平均	测量值	合计
0.9U _r	T ₁ X ₁	0.08	0.08	7.28	14.68
	T ₂ X ₂	0.08		7.40	
1.0U _r	T ₁ X ₁	0.11	0.11	9.68	19.39
	T ₂ X ₂	0.10		9.71	
1.1U _r	T ₁ X ₁	0.28	0.28	15.05	30.76
	T ₂ X ₂	0.27		15.71	
注: U _r =27.5kV					
试验结论: 合格。					
2.10 短路阻抗和负载损耗测量				t=75℃	
绕组	容量 (MVA)	分接位置	施加电流 (A)	短路阻抗 U _{kt} (%)	负载损耗 P _{kt} (kW) (额定分接)
AB—T ₁ X ₁	12.5	1	57.163	8.34	33.133
		4	67.604	8.49	
		5	62.623	8.60	
CB—T ₂ X ₂	12.5	1	62.619	8.40	32.174
		4	61.768	8.54	
		5	69.389	8.48	
合 计 (额定分接)				8.52	66.360
试验结论: 合格。					

卧龙电气银川变压器有限公司中高压电气实验室

№: 2105051	试 验 报 告		共 22 页 第7页
2.11 外施耐压试验			
被试端	试验电压 (kV)	维持时间 (s)	结论
高压—低压及地	200	60	合格
低压(T1X1)—高压及地	85	60	
低压(T2X2)—高压及地	85	60	
2.12 雷电冲击试验			
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、C	-480	-530	A5、B1、C4
T1、T2、X1、X2	-200	-220	/
试验程序：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，两次额定电压的负极性截波冲击，两次额定电压的负极性全波冲击。			
试验结论：合格。			

№: 2105051	试 验 报 告			共 22 页 第15页
2.13 带有局部放电测量的感应耐压试验				
试验电压 (相间)	持续时间	局部放电量 (pC)		
		A	B	C
$0.4 \times U_r$	/	30	30	30
$1.2 \times U_r$	5 min	30	30	30
$1.58 \times U_r$	5 min	40	40	40
$2 \times U_r$	30s	/	/	/
$1.58 \times U_r$	5 min	40	40	40
	10 min	40	40	40
	15 min	40	40	40
	20 min	40	40	40
	25 min	40	40	40
	30 min	40	40	40
	35 min	40	40	40
	40 min	40	40	40
	45 min	40	40	40
	50 min	40	40	40
	55 min	40	40	40
	60 min	40	40	40
$1.2 \times U_r$	1 min	30	30	30
$0.4 \times U_r$	/	30	30	30
注: $U_r=110\text{kV}$; 分接位置: 4; 试验频率: 200Hz。 试验结论: 合格。				

No: 2105051	试 验 报 告		共 22 页 第16页
2.14 温升试验			
试验采用短路法，高压分接位置 5 分接。			
高压侧并联供电，低压短路，试验时间 12h，稳定时间 3h。			
顶层油温升测量：试验时应施加总损耗 86.58kW，实际施加总损耗 86.58kW。			
绕组温升测量：试验时应加规定电流 233.1A，实际施加电流 233.16A。			
温 升 计 算 结 果			
顶层液体温升(K)		31.2	
绕组平均温升 (K)	高压	34.6	
	低压	33.1	
注 1：绕组温升计算结果为规定电流下的校正值。			
注 2：仅测量 AB、T1X1 绕组温升。			
试验结论：合格			

№: 2105051		试 验 报 告		共 22 页 第21页	
2.15 过负荷能力试验					
试验采用短路法，高压 5 分接。					
高压侧并联供电，低压侧短路。按照负荷曲线图施加电流，在第 4 个 300%额定电流 699.3A，持续 2 分钟后，停电测量高压绕组 AB\、低压绕组 T1X1 热电阻，在整个周期中取顶层油的最高的温度来计算油顶层温升。					
负荷曲线图					
					
温 升 计 算 结 果					
30℃下顶层液体温度(℃)				81.2	
30℃下绕组热点温度 (℃)		高压		132.2	
		低压		126.4	
注：绕组热点温升系数 1.3.					
试验结论：合格					
2.16 声级测定					
规定轮廓线距基准发射面距离 0.3m，测量点间的距离 0.81m，测量点布置 27 个，油箱高度为 2.75m，测量点高度分别为 0.92m 和 1.83m。					
励磁状态				变压器额定励磁	
冷却装置状态				ONAN	
背景噪声平均值 dB(A)		试验前		31.1	
		试验后		30.9	
A 计权声压级 L_{pA} dB (A)				58	
A 计权声功率级 L_{WAUN} dB (A)				77	
试验结论：合格。					

№: 2105051		试 验 报 告					共 22 页 第22页			
2.17 空载电流谐波测量										
次数	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19
In(T1X1)%	100	51.29	27.01	12.27	5.32	2.70	1.50	1.18	0.08	0.30
In(T2X2)%	100	46.16	25.41	12.56	6.00	3.27	1.60	1.15	0.36	0.45
2.18 长时间空载试验										
励磁端		励磁电压		持续时间 (h)			结 果			
低压 Ur=27.5kV		1.1 Ur		8			试验前后油中无乙炔 总烃含量无明显变化			
试验结论: 合格										
2.19 油箱表面热点温升测量										
最热点温度: 83.5℃; 环境温度: 28.8℃; 最热点温升: 54.7k										
最热点温度位置: 低压侧 T2 套管根部附近的箱盖。										
热 成 像 图										
