

团 体 标 准

T/NXJX XXXX—2022

电气化铁路天然酯绝缘油自耦变压器

Auto Transformer of Natural Esters Insulating Oil for Electrified Railway

（征求意见稿）

（本草案完成时间：2022.04）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2022 – XX – XX 发布

2022 – XX – XX 实施

宁夏机械工程学会 发 布

前 言

本文件按照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》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由宁夏机械工业标准化委员会提出。

本文件由宁夏机械工程学会归口。

本文件起草单位：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

本文件主要起草人：鲁玮、张健、宫衍圣、魏光、马波、周志录、郭明邦、王娥、武利军、龚俊。

本文件为首次发布。

电气化铁路天然酯绝缘油自耦变压器

1 范围

本文件规定了电气化铁路用天然酯绝缘油 $2\times 27.5\text{kV}$ 自耦变压器的术语和定义、性能参数、技术要求、试验及产品标志、起吊、安装、运输及储存。

本文件适用于具有公共和串联绕组的 $2\times 27.5\text{kV}$ 电气化铁路用天然酯绝缘油自耦变压器（以下简称自耦变压器）。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 26—1983 石油产品酸值测定法

GB/T 265—1988 石油产品运动黏度测定法和动力黏度计算法

GB/T 507—2002 绝缘油 击穿电压测试方法

GB 1208—2006 电流互感器

GB/T 1094.1—2013 电力变压器 第1部分：总则

GB/T 1094.2—2013 电力变压器 第2部分：液浸式变压器的温升

GB/T 1094.3—2017 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 1094.5—2008 电力变压器 第5部分：承受短路的能力

GB/T 1094.7—2008 电力变压器 第7部分：油浸式电力变压器负载导则

GB/T 1094.10—2003 电力变压器 第10部分：声级测定

GB/T 3536—2008 石油产品闪点和燃点的测定 克利夫兰开口杯法

GB/T 5654—2007 液体绝缘材料 相对电容率、介质损耗因数和直流电阻率的测量

GB/T 6451—2015 油浸式电力变压器技术参数和要求

GB/T 7600—2014 运行中变压器油和汽轮机油水分含量测定法（库伦法）

DL/T 1811—2018 电力变压器用天然酯绝缘油选用导则

IEEE 57.155™—2014 天然酯和合成酯式变压器产气分析指南（IEEE Guide for Interpretation of Gases Generated in Natural Ester and Synthetic Ester-Immersed Transformers）

IEC 62975—2021 天然酯绝缘油电气设备维护和使用指南（Natural esters – Guidelines for maintenance and use in electrical equipment）

JB/T 501—2006 电力变压器试验导则

JB/T 3837—2010 变压器类产品型号编制方法

JB/T 10088—2016 $6\text{kV}\sim 1000\text{kV}$ 级电力变压器声级

TB/T 2888—2010 电气化铁路自耦变压器

3 术语和定义

GB/T 6451—2015和DL/T 1811—2018界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

自耦变压器额定容量 rated power of auto-transformer

自耦变压器有额定电压运行时，公用绕组与串联绕组的容量之和。

[来源：TB/T 2888—2010 电气化铁路自耦变压器]

3.2

自耦变压器电磁容量 electromagnetic power of auto-transformer

自耦变压器有额定电压运行时，公用绕组的容量之和。

[来源：TB/T 2888—2010 电气化铁路自耦变压器]

3.3

自耦变压器额定电压 rated voltage of auto-transformer

高压：公用绕组和串联绕组相连接地，其余两端所采用的工频电压方根均值（ $2 \times 27.5\text{kV}$ ）；

低压：公用绕组或串联绕组两端所采用的工频电压方根均值（ 27.5kV ）。

[来源：TB/T 2888—2010 电气化铁路自耦变压器]

3.4

天然酯绝缘油 natural ester insulating oil

从植物种子或其他适合的生物材料中提取、用于变压器或类似电气设备的绝缘液体，其主要成分是甘油三酯。

[来源：DL/T 1811-2018 电力变压器用天然酯绝缘油选用导则]

4 产品型号

变压器的产品型号执行 GB/T 3837 中 4.1 的相关规定。

示例：单相、天然酯绝缘油浸式、铜导线、25000kVA、 $2 \times 27.5\text{kV}$ ，自耦变压器的产品型号标记为：OD-25000/ 2×27.5 。

5 基本参数

5.1 自耦变压器的容量

变压器的额定容量和电磁容量如表1所示。

表1 自耦变压器容量 单位：KVA

额定容量	4000	5000	6300	8000	10000	12600	16000	20000	25000	32000	40000
电磁容量	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	12500	16000	20000

5.2 自耦变压器的短路电抗值

自耦变压器归算至 27.5kV 侧的短路电抗优先值为 0.3Ω 和 0.45Ω 。

5.3 自耦变压器的性能参数

自耦变压器的性能参数如表2所示。

表2 自耦变压器性能参数

额定容量KVA	额定电压KV		联结组标号	空载损耗kW	负载损耗kW	空载电流%
	高压	低压				
4000	2×27.5	27.5	Ia0	2.7	11.5	0.55
5000				3.2	13.6	
6300				3.8	16.2	
8000				4.4	19.5	0.50
10000				5.0	23.0	0.45
12600				6.0	27.2	0.40
16000				7.2	33.0	
20000				8.5	38.0	0.35
25000				10	45.0	
32000				12	54.0	0.30

5.4 自耦变压器绕组的绝缘水平

自耦变压器绕组的绝缘水平如表3所示。

表3 自耦变压器绝缘水平

系统标称电压 (kV)	设备最高工作电压 (kV)	1min 工频耐受电压 (方均根值, kV)	雷电冲击耐受电压 (峰值, kV)	
			全波	截波
27.5	31.5	85	200	220
6 (中点)	—	25	60	65

6 技术要求

6.1 使用条件

6.1.1 正常使用条件

变压器的正常使用条件按 GB1094.1 的规定。

6.1.2 特殊使用条件

凡是需要满足6.1.1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。

6.2 主要技术性能

6.2.1 主要技术性能应符合表 4 的规定。

表4 主要技术性能

型式	相数	运行方式	额定电压	极性	套管爬距	温升限值	损耗偏差	短路电抗偏差
户外油浸自冷	单相	自耦变压器的中点直接接地运行	高压	减极性	27.5kV $\geq$ 1400mm	绕组平均温升 (电阻法): 65K	空载: +10%;	$\pm 10\%$
			2 $\times$ 27.5kV				负载: +10%;	
			低压: 27.5kV		6kV (中点): 200mm	油顶层温升 (温度计法): 55K	总损耗: +8%; 空载电流+20%。	

6.2.2 过励磁能力

满载时105%励磁: 连续; 空载时110%励磁: 连续。

6.2.3 过负荷能力

自耦变压器允许300%额定电流2min (绕组最热点温度不超过140℃, 顶层油温不超过105℃), 其过负荷曲线结合不同线路行车组织方案而有所不同, 用户可根据需要与制造厂商定。

6.2.4 承受短路能力

自耦变压器能承受25倍额定电流的短路电流2s, 不应造成对自耦变压器的任何热损伤; 在最大暂态短路电流峰值下, 动稳定能力0.25s内不应造成对自耦变压器的任何机械损伤。

6.2.5 声级

自耦变压器声级水平应符合JB/T 10088-2016中表1的规定。

6.2.6 变压器油箱耐压试验

变压器油箱应承受住真空度为50kPa和正压力为60kPa的油箱机械强度试验, 油箱不应有损伤和不允许的永久变形。

6.2.7 变压器油箱密封试验

变压器油箱及其储油柜应能承受50kPa的密封试验，其试验时间为24h，油箱、储油柜、套管、阀门及散热器和油箱连接处不会发生渗漏油现象和损伤。

6.3 制造要求

6.3.1 变压器应采用密封结构，变压器运行时内部的天然酯绝缘油与外部空气不能接触，油箱的机械强度及密封性应符合 GB/T 6451 的规定。

6.3.2 变压器制造过程中宜采用真空注油工艺，注油温度宜为 60℃～80℃。

6.3.3 未使用过的天然酯绝缘油应符合 DL/T 1811 的规定。

6.3.4 天然酯绝缘油不宜与矿物绝缘油混用；不同原料来源的天然酯绝缘油不宜混合使用。如需将天然酯绝缘油和矿物绝缘油混合使用，应按混合后的绝缘油实测性能确定其适用范围。

6.3.5 注满天然酯绝缘油的变压器应在静置足够时间后方可进行高压试验，在同等条件下，天然酯绝缘油一般比矿物绝缘油需要更长的时间浸渍绝缘纸（纸板）。

6.3.6 未通电的天然酯绝缘油变压器绝缘电阻测量结果应不小于 300MΩ（20℃）。

6.3.7 变压器 20℃时的介质损耗因数（tanδ）应不大于 4%。

注：当测量温度与20℃不同时，换算方法按GB/T6451的规定。

6.3.8 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 5 的要求后方可对变压器通电。

表5 变压器注油后对绝缘油的性能指标

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（tanδ）（90℃）	<0.07	GB/T 5654
4	酸值 mg KOH/g	<0.06	GB/T 264
5	水含量 mg/kg	≤150	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。			

6.3.9 天然酯绝缘油变压器注油后、通电前、运行中油中溶解气体指标按照表 6 进行验收考核。

表6 变压器注油后及运行中天然酯绝缘油油中溶解气体典型值

油品种类	指标说明	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	CO
天然酯绝缘油（大豆基）	典型数值	112	20	232	18	1	161
	基本区间（95%）	105-118	19-22	219-247	17-20	1-1	150-179
注：天然酯绝缘油主要成分脂肪酸甘油三酯，其分子结构不平衡，分子较之矿物绝缘油具有较为明显的极性。油中溶解气体会随着天然酯绝缘油注入变压器后静置时间、耐压试验、温升试验等应用过程发生不同量的增长，使其更趋于表6数值。							

6.3.10 运行变压器中天然酯绝缘油评价

使用中的天然酯绝缘油受到热、氧、水和其他催化剂的影响，所有这些都对油品的性能有害。为了保持使用中的天然酯绝缘油的性能可靠，应定期取样和分析。

6.3.10.1 根据不同频率检测的性能指标值，将油品指标分为“好”“一般”“差”三个阶段，并提出了进一步的检测要求应满足下列规定：

- a) “好”天然酯绝缘油处于正常状态;继续正常的测试频率
- b) “一般”天然酯绝缘油具有一定的性能指标变化;增加测试的频率。
- c) “差”天然酯液处于显著异常状态;根据有经验的人员安排后续行动。

6.3.10.2 检测频率应满足表 7 的规定并符合以下要求：

- a) 表 7 所示的间隔定期为最大测试间隔时间。

- b) 当任何重要性质表明天然酯绝缘油指标有显著变化时，检查频率需增加。
- c) 天然酯绝缘油的降解会随着温度的升高以及氧(氧化)和水(水解)的存在而加速。因此，变压器运行负荷大幅增加时需要频繁的进行取样测试。

表7 变压器注油后及投运中天然酯绝缘油取样测试频率

类别	检测频率				
	0	A	B	C	F
例行测试频率（年）	1-2	1-3	1-4	2-6	1-4
补充测试频率	这些检查可以定期进行，但不如例行测试频繁。频率将取决于液体的条件、应用时间和类型。				
特殊测试频率	在天然酯绝缘油指标发生显著异常变化时进行				
添加剂含量测试	与天然酯绝缘油生产商沟通				
注：这些建议周期指的是正常的例行维护计划。如果一个或多个测量特性表明天然酯绝缘油处于一个异常条件下，或者如果观察到一个异常的变化趋势，这些周期应该根据设备的重要性缩短。					

6.3.11 变压器中使用的天然酯绝缘油评价典型值

变压器中使用的天然酯绝缘油评价典型值见附录A。

7 试验分类及试验项目（按照 JB 11328—2013）

7.1 试验分类

7.1.1 例行试验

每台变压器都要承受的试验。

7.1.2 型式试验

在一台有代表性的变压器上所进行的试验，以证明被代表的变压器也符合规定要求（但例行试验除外）

7.1.3 特殊试验

除例行试验和型式试验外，按制造方和用户协议所进行的试验。

7.2 试验项目

7.2.1 例行试验

例行试验的项目和要求如下：

- a) 绕组电阻测量（见 GB 1094.1-2013 11.2）；
- b) 电压比测量和联结组标号检定（见 GB 1094.1-2013 11.3）；
- c) 短路阻抗和负载损耗测量（见 GB 1094.1-2013 11.4）；
- d) 空载损耗和空载电流测量（见 GB 1094.1-2013 11.5）；
- e) 绕组对地及绕组间直流绝缘电阻测量（见 JB/T501-2006 6.2）；
- f) 绝缘系统电容的介质损耗因数（见 JB/T501-2006 7.2）；
- g) 绝缘例行试验（见 GB1094.3-2017）；
- h) 绝缘油试验（见 JB/T501-2006 7）。

7.2.2 型式试验

型式试验的项目和要求如下：

- a) 温升试验（见 GB1094.2-2013）；

- b) 雷电冲击试验（见 GB1094.3-2017 13）；
- c) 油箱机械强度试验（压力变形试验和真空变形试验）（见 GB1094.1-2013 11.9、10）；
- d) 过负荷能力试验（见 GB/T1094.7-2008，并结合用户提出的负荷曲线进行试验）；
- e) 短路承受能力试验（见 GB1094.5-2008）；

7.2.3 特殊试验

特殊试验的项目和要求如下：

- a) 过负荷能力试验（见 GB/T1094.7-2008，并结合用户提出的负荷曲线进行试验）；
- b) 声级测定（见 GB1094.10-2003）；
- c) 短路承受能力试验（见 GB1094.5-2008）；
- d) 过励磁试验（参照空载试验，按协议的要求施加电压）

8 标志

8.1 牵引变压器的接线端子应有明显标志，同时应标有运输及起吊标志，所有标志应符合 GB1094.1 的规定外，还应标志天然酯绝缘油如下项目：

- a) 倾点
- b) 供应商
- c) 基础油种类

8.2 变压器所有接地处应有明显的接地符号“ ”或“接地”字样。

8.3 变压器的铭牌应符合 GB1094.1 的规定。

9 起吊、运输及储存

9.1 变压器应具有承受变压器总重的起吊装置，变压器器身、油箱和可拆卸结构的储油柜及散热器等应有起吊装置。

9.2 变压器的结构应在经过正常的铁路、公路及水路运输后内部结构相互位置不变，紧固件不松动。变压器的组件、部件（如储油柜、散热器、套管和阀门等）的结构和布置应不妨碍吊装、运输及运输中紧固定位。变压器运到现场后应保证变压器不经吊罩检查即能可靠投入运行。

9.3 变压器通常为带油运输。如受运输条件限制时，可不带油运输，但应充以干燥的气体，气体压力（20~30）kPa，并明确标志所充气体种类。运输前应进行密封试验，确保密封良好。变压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，并有压力表进行监视。

9.4 变压器应满足运输重量、尺寸的限度和运输过程中耐受冲撞的能力，变压器结构应满足允许倾斜15°。

9.5 运输时应保证变压器的所有组件、部件（如储油柜、散热器、套管和阀门等）不损坏和不受潮。

9.6 成套拆卸的组件和零件（如气体继电器、套管、温度计和紧固件等）的包装应保证经过运输、储存直到安装前不损伤和不受潮。

9.7 成套拆卸的大组件（如散热器、净油器和储油柜等）运输时可不装箱，但应保证不受损伤，在整个运输与储存过程中不应进水和受潮。

附 录 A
(规范性)
天然酯绝缘油评价典型值

A.1 变压器注油后及投运中天然酯绝缘油取样测试频率应满足表 A.1 中的规定

表A.1 天然酯绝缘油取样测试频率

类别	检测频率	评价			建议	说明
		好	一般	差		
颜色及外观	0-A-B-C-F	清澈透明、无沉淀物和悬浮物	油品浑浊、颜色变化		与其他测试相同	发黑是化学污染或老化的症状。浊度是高含水量或物质不相容的症状。
击穿电压 (kV)	0-A	>60	50-60	<50	好:继续正常的测试频率 一般:更频繁的采样。检查其他参数,如微水、颗粒度、介损/电阻率和酸度。 差:滤油或者更换绝缘油。	
	B	>50	40-50	<40		
	C	>40	30-40	<30		
	F	≥30kV(通过有载调压开关星型连接) ≥40kV(通过有载调压开关或线端三角形连接)	<30(通过有载调压开关星型连接) <40kV(通过有载调压开关或线端三角形连接)			
微水 (mg/kg)	0-A	<100	100-300	>300	好:继续正常频率的测试。 一般:更频繁的抽样。检查其他参数,如击穿电压,颗粒度,可能还有介损/电阻率和酸度。 差:检测绝缘液体可考虑滤油,更换绝缘油后需开展干燥过程。	水含量的值应与击穿电压的值同时考虑。如果怀疑有水分问题,建议在不同的设备温度下采样。水浓度限制是基于统计评估和参考标准使用温度(40° C至70° C)。在开关设备没有纸绝缘(F类)的情况下,击穿电压值是最重要的。
	B	<150	150-350	>350		
	C	<200	200-400	>400		
	F	≤200	>200			
酸值(以KOH计) mg/g	0-A-B-C-F	<0.3	0.3-0.5	>0.5	好:继续正常频率的测试。 一般:更频繁的抽样。检查沉积物的存在。 差:滤油或者更换绝缘油。	
介损 (90℃) %	0-A	<0.15	0.15-0.3	>0.3	好:继续正常频率的测试。 一般:更频繁的抽样。检查其他参数,如含水量和酸度。 差:滤油或者更换绝缘油。	
	B-C-F	<0.15	0.15-0.5	>0.5		
抗氧化添加剂含量 (%)	0-A-B-C-F	>70%原始值	30%-70%原始值	<30原始值	好:无需进行操作。 一般:确认设备密	

					封, 粘度增加小于原值的15%。获得更频繁的抽样。 差: 确认抗氧化剂耗尽的原因后, 如储罐未密封或变压器长时间处于超负荷状态, 请联系液体制造商协助添加抗氧化剂。	
运动粘度 (40℃) 原始值变化%	0-A-B-C-F	<10%原始值增加量	10%-15% 原始值增加量	>15%原始 值增加量	好: 无需进行操作。 一般: 确认设备密封, 抗氧化剂含量为原值的30%。获得更频繁的抽样。 差: 确定粘度增加的原因, 如储罐未密封或变压器长时间处于超负荷状态。需要滤油或者更换绝缘油。	
燃点 (℃)	0-A-B-C-F	≥300	<300		调查下降的原因, 并考虑是否与其他绝缘液体混合, 进一步测试混合物的功能参数, 并评价其使用能力。	
闪点 (℃)	0-A-B-C-F	≥250	<250		调查下降的原因, 并考虑是否与其他绝缘液体混合, 进一步测试混合物的功能参数, 并评价其使用能力。	
界面张力 (mN/m)	0-A-B-C-F	>20	14-20	<14	好: 继续正常频率的测试。 一般: 更频繁的抽样。检查是否有沉淀物和升高的含水量。确认设备是密封的, 变压器无超负荷运行。 差: 滤油或者更换绝缘油。	