

四川省地方标准

DB51/T 3346—2025

高过载节能环保型智能牵引变压器 设计规范

2025 - 12 - 23 发布

2025 - 12 - 31 实施

四川省市场监督管理局 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 设计 2

附录 A（规范性）使用条件注意事项、温升限值取值及空载电流降低的依据 11

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。

本文件由四川省经济和信息化厅提出、归口、解释并组织实施。

本文件起草单位：中铁二院工程集团有限责任公司、四川艾德瑞电气有限公司、中铁电气工业有限公司、云南变压器电气股份有限公司。

本文件主要起草人：邓云川、王志强、陈刚、肖琨、尹磊、柴淑颖、吕维华、贺毅、唐伟、代文平、林宗良、李寒、张丹、何宏国、袁勇、许晓蓉、刘梅、钟源、杨宏伟、文菓、仵宇宁、高保。

高过载节能环保型智能牵引变压器设计规范

1 范围

本文件规范了轨道交通用高过载节能环保型智能牵引变压器的设计。

本文件适用于电压等级为 110kV、132kV 和 220kV，额定频率为 50Hz，额定容量为 (6300+6300)kVA～(40000+40000) kVA，三相 Vv 联结的高过载节能环保型智能牵引变压器（以下简称“变压器”）的设计，其他容量变压器的设计可参照本文件。

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 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 1094.5 电力变压器 第5部分：承受短路的能力

GB/T 1094.7 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 电力变压器 第10部分：声级测定

GB/T 1094.14 电力变压器 第14部分：采用高温绝缘材料的液浸式电力变压器

GB/T 6451 油浸式电力变压器技术参数和要求

GB/T 41632 绝缘液体 电气用未使用过的合成有机酯

DL/T 1411 智能高压设备技术导则

DL/T 1811 电力变压器用天然酯绝缘油选用导则

DL/T 1861 高过载能力配电变压器技术导则

DL/T 2217 变压器用天然酯和合成酯油溶解气体分析导则

TB/T 3159 电气化铁路牵引变压器

JB/T 11328 三相Vv联结牵引变压器

IEC 60076-1 电力变压器 第1部分：总则 (Power transformers-Part1: General)

IEC 60076-2 电力变压器 第2部分：液浸式变压器的温升 (Power transformers-Part2: Temperature rise for liquid-immersed transformers)

IEC 60076-3 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 (Power transformers-Part3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air)

IEC 60076-5 电力变压器 第5部分：承受短路的能力 (Power transformers-Part5: Ability to withstand short circuit)

IEC 60076-10 电力变压器 第10部分：声级测定 (Power transformers-Part10: Determination of sound levels)

IEC 60076-14 电力变压器 第14部分：采用高温绝缘材料的液浸式电力变压器（Power transformers-Part14: Liquid-immersed power transformers using high-temperature insulation materials）

IEC 61099 绝缘液体-电气用未使用过合成有机酯规范（Insulating liquids-Specifications for unused synthetic organic esters for electrical purposes）

IEC 62770 电气应用的流体-未使用的天然酯适用于变压器和类似的电气设备（Fluids for electrotechnical applications-Unused natural esters for transformers and similar electrical equipment）

3 术语和定义

DL/T 1411、DL/T 1861、DL/T 2217 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

天然酯绝缘油 natural ester insulating oil

从种子或其他生物材料中提取、用于变压器或类似电气设备的绝缘液体，简称天然酯。

[来源：DL/T 2217—2021, 3.2, 有修改]

注：主要成分是甘油三酯，具有良好的生物降解性和环境相容性

3.2

监测 IED monitoring IED

通过采集高压设备状态信息，实现对其运行状态和/或控制状态和/或负载能力状态的智能评估。

[来源：DL/T 1411—2015, 3.8, 有修改]

3.3

控制 IED controlling IED

用于高压设备或其组（部）件的网络化和/或智能化控制，通常兼有对受控组（部）件的监测功能。

[来源：DL/T 1411—2015, 3.9, 有修改]

3.4

主 IED main IED

用于集合智能组件内各IED信息，对高压设备的运行可靠性、控制可靠性及负载能力等做出评估，以支持牵引供电系统运行控制和/或状态检修。

[来源：DL/T 1411—2015, 3.10, 有修改]

3.5

节能 energy conservation

通过采用新材料、新结构、新工艺等技术手段降低变压器空载损耗和负载损耗，使变压器在运行中消耗较少能源。

3.6

环保 environmental protection

变压器采用生物降解率高的绝缘油作为绝缘和冷却介质，发生泄漏对环境无危害。

3.7

超额定容量 exceeding the rated capacity

变压器具有高于铭牌上额定容量一个容量等级连续运行能力。

注：额定容量：（12500+12500）kVA，超额定容量：（16000+16000）kVA。

4 设计

4.1 使用条件

变压器的一般使用条件应符合 GB/T 1094.1 的相关规定。低温环境条件注意事项见附录 A.1。

4.2 变压器设计

4.2.1 变压器绝缘油应采用天然酯绝缘油或合成酯绝缘油，导线匝绝缘应采用热改性纸或热改性纸+芳香族聚酰胺纸，冷却方式应采用油浸自冷（KNAN），预留风冷条件。

4.2.2 未使用过的天然酯绝缘油除满足 DL/T 1811、IEC 62770 要求外，主要技术指标应满足表 1 要求。

表 1 未使用过的天然酯绝缘油主要技术指标

项目		技术指标
外观		清澈透明、无沉淀物体和悬浮物
运动黏度 ^a /mm ² /s	100℃	≤15
	40℃	≤50
	0℃	≤500
倾点/℃		≤-10
水分/mg/kg		≤200
密度（20℃）/kg/m ³		≤1000
击穿电压 ^b （2.5mm）/kV		≥40
介质损耗因数（tan δ）（90℃）		≤0.04
酸值（以KOH计）		≤0.06
腐蚀性硫		非腐蚀性
总添加剂（质量分数）		≤5%
氧化安定性	总酸值（以KOH计）/mg/g	≤15
	运动黏度（40℃）比初始值增加量	≤50
	介质损耗因数（tan δ）（90℃）	≤500
燃点/℃		≥300
闪点/℃		≥250
生物降解性		易生物降解
^a 当所提供的天然酯绝缘油倾点低于-20℃时，宜提供最低冷态投运温度对应的运动黏度值。		
^b 未使用过的天然酯绝缘油交付时的击穿电压测试值。		

4.2.3 未使用过的合成酯绝缘油除满足 GB/T 41632、IEC 61099 要求外，主要技术指标应满足表 2 要求。

表 2 未使用过的合成酯绝缘油主要技术指标

项目		技术指标
颜色		≤200
外观		清澈透明、无沉淀物体和悬浮物
20℃时的密度/g/cm ³		≤1.000
运动黏度/mm ² /s	40℃	≤35

表 2 未使用过的合成酯绝缘油主要技术指标（续）

项目		技术指标
运动黏度/mm ² /s	-20℃	≤3000
闪点/℃		≥250
燃点/℃		≥300
倾点/℃		≤-45
水含量/mg/kg		≤200 ^a
酸值（以KOH计）/mg/g		≤0.03
氧化安定性（试验时间：164h）		≤0.3
总酸值（以KOH计）/mg/g		
击穿电压/kV		≥45 ^a
90℃、50Hz时的介质损耗因数		≤0.03 ^a
90℃时的体积电阻率/G Ω · m		≥2
生物降解性		易生物降解
^a 适用于到货时未经过处理的液体。		

4.2.4 热改性纸的主要技术指标应满足表 3 要求。

表 3 热改性纸主要技术指标

项目		技术指标
厚度/mm		0.05~0.125
密度/g/cm ³		0.8~1.1
抗张强度/kN/m	MD	≥3.8
	CD	≥1.6
伸长率/%	MD	≥2.0
	CD	≥4.0
介电强度/kV/mm		≥8.0
水分含量/%		≤8.0
灰分含量/%		≤0.7
氮含量/%		≥1.3

4.2.5 芳香族聚酰胺纸的主要技术指标应满足表 4 要求。

表 4 芳香族聚酰胺纸主要技术指标

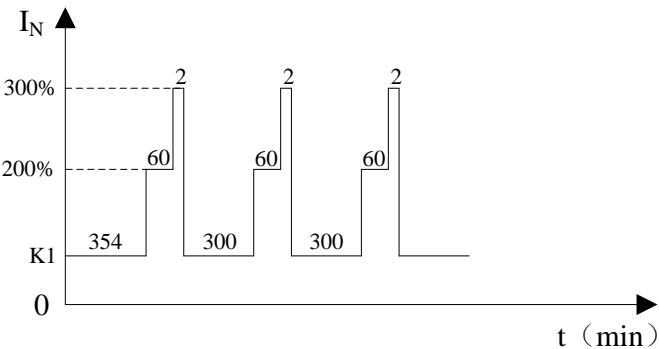
项目		技术指标		
厚度/mm		0.05	0.055	0.08
密度/g/cm ³		0.9~1.1	0.9~1.1	0.9~1.1
抗张强度/kN/m	MD	≥3.24	≥3.5	≥5.5
	CD	≥1.26	≥1.30	≥2.30
伸长率/%	MD	≥5.7	≥5.0	≥6.0

表 4 芳香族聚酰胺纸主要技术指标（续）

项目		技术指标		
伸长率/%	CD	≥4.2	≥5.0	≥6.0
介电强度/kV/mm		≥12.99	≥13	≥14

4.2.6 过载能力

变压器超额定容量负载时按图 1 所示的典型负荷曲线设计， K_L 取 0.8，运行环境温度 30℃时，绕组最热点温度不超过 160℃，顶层绝缘液体温度不超过 115℃。



注： I_N —相对负载， K_L —负载系数， t —时间。

图1 典型负荷曲线图

4.2.7 温升限值

变压器在额定容量负载及超额定容量负载下连续运行的温升限值符合表 5 规定。温升限值取值依据见附录 A.2。

表 5 温升限值

项目	额定容量负载	超额定容量负载
绕组平均温升/K	65	75
顶层液体温升/K	55	65

4.2.8 变压器其他设计要求应符合 GB/T 1094.1、GB/T 1094.2、GB/T 1094.3、GB/T 1094.5、GB/T 1094.7、GB/T 1094.10、GB/T 1094.14、GB/T 6451、JB/T 11328、TB/T 3159 和 IEC 60076-1、IEC 60076-2、IEC 60076-3、IEC 60076-5、IEC 60076-10、IEC 60076-14 中的相关规定。

4.2.9 增加宜采用无载分接开关的相关规定。

4.3 智能化设计

4.3.1 要求

4.3.1.1 变压器应配置测量传感器、监测 IED、控制 IED 及主 IED，主 IED 可集成于现场就地屏柜中，宜配置触摸屏，实现就地诊断及变压器状态查看，可独立运行。

4.3.1.2 后台应配置智能变压器故障预测及状态分析系统软件，实现变压器维护、检修的智能化，针对故障处理给出流程化指导建议。

4.3.2 变压器智能组件配置

智能组件配置应符合表 6 的规定。

表 6 智能组件配置表

项目	主要内容	应用要求
测量	基本状态量	应采用
	非电量保护	应采用
控制	无载电动分接开关控制	应采用
监测	油中溶解气体监测	应采用
	铁心接地电流监测	应采用
	绕组、铁心热点温度监测	应采用
	局部放电监测	可采用
	高压套管监测	可采用

4.3.3 测量

变压器测量应采用数字化测量，技术要求应符合表 7 的规定。

表 7 测量项目及技术要求

项目	测量参量	应用要求	精度要求
基本状态量	主油箱油面温度	过热、冷却装置异常	±2℃（相对误差）
	变压器油位	上限、下限	±1cm（相对误差）
	无载电动分接开关当前位置	状态量	0差错
非电量保护	气体继电器接点信息	重瓦斯：内部严重放电、短路	0差错
		轻瓦斯：内部轻微放电、过热	0差错
	压力释放器状态信息	内部严重放电、短路	0差错
	信号复归		0差错
	保护跳闸指令	保护动作	0差错
	动作信息	报文至测控装置	0差错

4.3.4 控制 IED

无载分接开关应由控制器自主控制或由智能组件控制。无载分接开关控制 IED 配置及要求应符合表 8 的规定。

表 8 无载电动分接开关控制 IED 配置及要求

信息类别	信息名称	配置原则	备注
控制指令	升-档	应采用	接收报文及开关量输出

表 8 无载电动分接开关控制 IED 配置及要求（续）

信息类别	信息名称	配置原则	备注
控制指令	降-档	应采用	接收报文及开关量输出
	调到指定档位	应采用	接收报文及开关量输出
控制反馈	当前档位	应采用	档位变更时发送报文
	已到最高档位	应采用	开关量采集并发送报文
	已到最低档位	应采用	开关量采集并发送报文
监测信息	格式化信息	应采用	发送报文

4.3.5 监测 IED

4.3.5.1 一般要求

监测 IED 的格式化信息和结果信息应通过站内通信网络报送到主 IED。传输周期可根据实际情况选择，一般为 2h。若自上一次报送以来监测量的变化超过 5%，则追加报送 1 次。各监测 IED 应配置足够的存储空间

4.3.5.2 油中溶解气体监测

变压器应配备油中溶解气体监测 IED，宜采用光声光谱原理。在正常运行条件下，油中溶解气体监测 IED 技术要求应符合表 9 的规定，装置宜采用 RS485 串口通信方式上送测量数据。

表 9 油中溶解气体监测技术要求

特征气体	最小可检量 ^a	测量范围	测量误差要求
H ₂	5 μ L/L	0~2000 μ L/L	max（30%，5 μ L/L）
C ₂ H ₂	0.5 μ L/L	0~100 μ L/L	max（30%，0.5 μ L/L）
CH ₄	1 μ L/L	0~1000 μ L/L	max（30%，1 μ L/L）
C ₂ H ₄	0.5 μ L/L	0~1000 μ L/L	max（30%，0.5 μ L/L）
C ₂ H ₆	0.5 μ L/L	0~1000 μ L/L	max（30%，0.5 μ L/L）
CO	25 μ L/L	0~5000 μ L/L	max（30%，25 μ L/L）
CO ₂	50 μ L/L	0~15000 μ L/L	max（30%，50 μ L/L）
H ₂ O	2%RH	（0%~100%）RH	5%RH ^b
^a 最小可检量可权衡其他利弊做出适当调整。			
^b RH为相对湿度。			

4.3.5.3 铁心接地电流监测

变压器应配备铁心接地电流监测 IED，测量范围为 1mA~10A，测量误差为±1mA 或±3%（取较大者）。

4.3.5.4 绕组、铁心热点温度监测

变压器可配备绕组、铁心热点温度监测 IED，绕组、铁心热点温度监测 IED 应采用光纤温度传感器直接测量。监测点应设置 6 个，分别监测高压绕组、低压绕组和铁心热点温度。温度传感器的性能指标如下：

- a) 测温范围：-40℃～200℃，测温精度小于或等于±1℃，测温重复性要求为相对标准偏差 RSD 小于 1%；
- b) 允许的最高安全工作温度为 250℃；
- c) 与变压器油相容性为相容；
- d) 传感器抗拉抗挤压大于或等于 10N；
- e) 耐油压能力为 120kPa；
- f) 光缆抗拉强度大于或等于 10N；
- g) 光缆曲率半径小于或等于 3cm。

4.3.5.5 局部放电监测

变压器可配备局部放电监测 IED，最小视在放电量不大于 300pC，监测上限不应小于 10000pC。

4.3.5.6 高压套管监测

变压器可配备高压套管监测 IED，其基本要求应符合表 10 的规定。

表 10 高压套管监测的基本要求

检测参量	测量范围	测量误差要求	测量重复性要求
全电流有效值	2mA～200mA	±（标准读数×1%+0.1mA）	<0.2%
	100mA～1000mA	±1%	<0.2%
电容量	100pF～50000pF	±（标准读数×1%+1pF）	<0.2%
介质损耗因数	0.001～0.3	±（标准读数×1%+0.001）	<3% （在介质损耗因数≥0.005时）

4.3.6 主 IED

主 IED 接收全部监测 IED 以及兼有监测功能的控制 IED 的信息，并上传至站端监测单元。

4.4 节能环保设计

4.4.1 节能设计

110kV、132kV 级变压器的额定容量、电压组合、空载损耗、空载电流以及额定容量下运行容量、负载损耗、短路阻抗和超额定容量下运行容量、负载损耗、短路阻抗应符合表 11 的规定。空载电流降低依据见附录 A.3。

表 11 110kV、132kV 级变压器性能参数表

额定容量 (S1+S2) kVA				空载 损耗 kW	空载 电流 %	额定容量			超额定容量		
	高压 kV	高压分接 范围	低压 kV			运行容量 kVA	负载损耗 kW	短路 阻抗 %	运行容量 kVA	负载损耗 kW	短路 阻抗 %
6300+6300	110 132	±2×2.5% ±3×2.5% ±4×2.5%	27.5	12	0.5	6300+6300	58	8.4	8000+8000	88	10.5
6300+8000				13		6300+8000	62		8000+10000	94	
8000+8000				14		8000+8000	66		10000+10000	100	
8000+10000				15		8000+10000	71		10000+12500	110	
10000+10000				16	0.4	10000+10000	76		12500+12500	120	

表 11 110kV、132kV 级变压器性能参数表（续）

额定容量 (S1+S2) kVA				空载 损耗 kW	空载 电流 %	额定容量			超额定容量			
	高压 kV	高压分接 范围	低压 kV			运行容量 kVA	负载损耗 kW	短路 阻抗 %	运行容量 kVA	负载损耗 kW	短路 阻抗 %	
10000+12500	110 132	±2×2.5% ±3×2.5% ±4×2.5%	27.5	17	0.4	10000+12500	83	8.4	12500+16000	132	10.5	
12500+12500				18		12500+12500	90		16000+16000	144		
12500+16000				20		12500+16000	99		16000+20000	158		
16000+16000				22		16000+1600	108		20000+20000	172		
16000+20000				24		16000+20000	118		20000+25000	186		
20000+20000			27.5	±4×2.5%	26	0.3	20000+20000		128	25000+25000	200	12.5
20000+25000					28		20000+25000		139	25000+31500	218	
25000+25000					30		25000+25000		150	31500+31500	236	
25000+31500					33		25000+31500		164	31500+40000	261	
31500+31500					36		31500+31500		178	40000+40000	286	

220kV 级变压器的额定容量、电压组合、空载损耗、空载电流以及额定容量下运行容量、负载损耗、短路阻抗和超额定容量下运行容量、负载损耗、短路阻抗应符合表 12 的规定。

表 12 220kV 级变压器性能参数表

额定容量 (S1+S2) kVA				空载 损耗 kW	空载 电流 %	额定容量			超额定容量		
	高压 kV	高压分接 范围	低压 kV			运行容量 kVA	负载损耗 kW	短路 阻抗 %	运行容量 kVA	负载损耗 kW	短路 阻抗 %
12500+12500	220	$\pm 2 \times 2.5\%$ $\pm 3 \times 2.5\%$ $\pm 4 \times 2.5\%$	27.5	24	0.4	12500+12500	92	10.5	16000+16000	144	13.2
12500+16000				26		12500+16000	102		16000+20000	158	
16000+16000				28		16000+16000	112		20000+20000	172	
16000+20000				31		16000+20000	123		20000+25000	187	
20000+20000				34		20000+20000	134		25000+25000	202	
20000+25000				36	0.3	20000+25000	142		25000+31500	221	
25000+25000				38		25000+25000	150		31500+31500	240	
25000+31500				42		25000+31500	165		31500+40000	260	
31500+31500				46		31500+31500	180		40000+40000	280	
31500+40000				50		31500+40000	195		40000+50000	306	
40000+40000				54		40000+40000	210		50000+50000	328	

4.4.2 环保设计

变压器绝缘油应采用可生物降解的天然酯绝缘油或合成酯绝缘油。

4.5 其他设计要求

4.5.1 变压器油箱应采用密封结构，变压器绝缘油不应与空气接触。

4.5.2 变压器注油应采用真空注油工艺，油温温度宜为 60℃～80℃。

4.5.3 变压器油温低于倾点时，不应进行调压操作。

4.5.4 天然酯绝缘油或合成酯绝缘油不宜与矿物油混用；不同原料来源的天然酯绝缘油不宜混合使用。

4.5.5 变压器在制造厂内首次注油后，在施加电压前的最低静置时间需满足 60h（110kV、132kV 电压等级），72h（220kV 电压等级）。现场安装就位以及新装、大修、事故检修注油后的变压器，在施加电压前的最低静置时间需满足 48h（110kV、132kV 电压等级）、72h（220kV 电压等级）

附 录 A

(规范性)

使用条件注意事项、温升限值取值及空载电流降低的依据

A.1 使用条件

当使用环境的最低温度低于所用天然酯绝缘油的倾点10℃以上时，应注意低温冷启动问题。

A.2 温升限值

温升指标主要依据IEC 60076-14:2013 国际标准。

变压器导线匝绝缘采用热改性纸或热改性纸+芳香族聚酰胺纸，根据 IEC 60076-14:2013 国际标准，绕组绝缘类型分类属于半混合绕组，绕组平均温升限值为 75K；绝缘油采用天然酯绝缘油或合成酯绝缘油，变压器绝缘系统耐热等级为 120，顶层液体温升限值为 65K。

A.3 空载电流

空载电流由有功分量和无功分量两部分组成。由于空载损耗降低，造成有功分量减小；由于采用高导磁硅钢片，单位重量的激磁容量降低，造成无功分量减小。
