

附件1

ICS 29.180

CCS K41

JB

中华人民共和国机械行业标准

JB/T XXXXX—XXXX

变压器节能评估与设备更新技术规范

Technical specifications for energy conservation assessment and replacement -
Inefficient transformer

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX发布

XXXX-XX-XX实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

目 次

前 言 I

引 言 II

1 范围 3

2 规范性引用文件 3

3 术语和定义 3

4 总体要求 4

5 评估程序 4

6 评估方法 4

7 综合评价 8

8 设备更新要求 8

附录A（资料性）峰值效率指数（PEI）计算公式 11

附录B（资料性）变压器经济评估计算范例 12

参考文献 13

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》的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由工业和信息化部机械工业节能技术装备行业标准化工作组提出并归口。

本文件起草单位：机械工业技术发展基金会、沈阳变压器研究院有限公司、广东电网公司、国网辽宁电科院、国网湖南电科院、国网蒙东电科院、保定天威保变电气股份有限公司、西安西电变压器有限责任公司、特变电工沈阳变压器集团有限公司、国际铜业协会、山东电力设备有限公司、山东电工电气集团智能电气有限公司、河南数字能源技术有限公司、天津置信电气有限责任公司、天津平高智能电气有限公司、江苏宏源电气有限责任公司、浙江白云浙变电气设备有限公司、江苏中天伯乐达变压器有限公司、河南瑞尔电气股份有限公司、青岛云路先进材料技术股份有限公司、湖南长高森源电力设备有限公司、深圳市深特变电气设备有限公司、包钢集团电气有限公司、远中电气有限公司、华夏恒业智能电气有限公司、河北鑫环通变压器制造有限公司、保定恒辉电气有限公司、平顶山天晟电气有限公司、阳奥科技有限公司、弘业电气集团有限公司、科博电气设备有限公司。

本文件主要起草人：侯 睿、刘 杰、刘 苗、姜泽吉等。

本文件为首次发布。

引 言

为了推动重点用能设备更新改造，促进重点用能设备能效提升，坚持标准化引领，依法依规引导企业淘汰落后设备、使用先进设备，提高生产效率和技术水平，循序渐进、有序推进，特制订《变压器节能评估与设备更新技术规范》。

《变压器节能评估与设备更新技术规范》主要针对在网运行（电力系统和用户企业）变压器，按照变压器强制性国家标准GB 20052《电力变压器能效限定值及能效等级》，兼顾性能、安全和经济等，提出明确的节能评估方法和设备更新的要求，促进落后变压器有序退出在网运行，促进工业设备能效提升和更新改造。

本规范可指导电网和电力用户开展在运行变压器退网更新，亦可作为第三方机构开展变压器节能评估和设备更新的参考。

变压器节能评估与设备更新技术规范

1 范围

本文件给出了变压器节能评估的程序、评估方法，规定了变压器节能评估的综合评价与设备更新要求。本文件适用于在网运行的电力变压器，电压等级为500kV及以下的节能评估与设备更新活动。其他电压等级产品可参考执行。

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 507 绝缘油击穿电压测定法
GB/T 1094.1-2013 电力变压器 第1部分：总则
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 1094.11-2022 电力变压器 第11部分：干式变压器
GB/T 1094.18 电力变压器 第18部分：频率响应测量
GB/T 5654 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 油浸式电力变压器技术参数和要求
GB/T 7597 电力用油（变压器油、汽轮机油）取样方法
GB/T 7600 运行中变压器油和汽轮机油水分含量测定法（库伦法）
GB/T 7601 运行中变压器油、汽轮机油水分测定法（气相色谱法）
GB/T 13462 电力变压器经济运行
GB/T 17623 绝缘油中溶解气体组分含量的气相色谱测定法
GB 20052-2024 电力变压器能效限定值及能效等级
GB/T 31341 节能评估技术导则
DL/T 423 绝缘油中含气量的测定方法真空压差法
DL/T 596 电力设备预防性试验规程
DL/T 703 绝缘油中含气量的气相色谱测定法
DL/T 722 变压器油中溶解气体分析和判断导则
DL/T 911 电力变压器绕组变形的频率响应分析法
DL/T 985 配电变压器能效技术经济评价导则

3 术语和定义

GB/T 1094.1-2013、GB/T 1094.11-2022 、GB 20052-2024界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

变压器能效限定值 minimum allowable values of energy efficiency for power transformer

在规定的测试条件下，变压器空载损耗和负载损耗的允许限值或峰值效率指数的允许限值。

[来源：GB 20052-2024，3.1，有修改]

3.2

峰值效率指数 peak efficiency index; PEI

在负载系数为某一数值的情况下，电力变压器的效率指数所能取得的最大值。

注：PEI的大小用百分比表示。

3.3

综合评价 comprehensive assessment

通过对变压器进行性能评估和安全要求、能效评估、经济评估进行全面评价。

4 总体要求

4.1 列入国家相关部门发布的产业政策要求淘汰的变压器设备应退运更新。

4.2 对未明确列入国家产业政策要求淘汰的目录设备，但能耗高、技术、安全有风险，使用年限较长的变压器设备应退运更新，包括下列情况：

- a. 不满足GB 20052 能效限定值要求且运行时间30年以上的设备；
- b. 存在系列设计制造缺陷的设备。

4.3 对于在网运行的电力变压器且未出现4.1和4.2事项的设备，根据本文件要求进行节能评估和综合评价。

5 评估程序

5.1 前期程序

5.1.1 确定需要评估的变压器。

5.1.2 收集变压器的基础材料，包括设备类别、能效水平、性能指标等。

5.1.3 确定变压器评估的依据，主要包括：

- a) 相关法律、法规、部门规章；
- b) 相关规划、行业准入条件、产业政策；
- c) 能效评估依据 GB 20052；
- d) 性能评估和安全要求依据GB/T 507 、GB/T 1094.1、GB/T 1094.5、GB/T 1094.11、GB/T 1094.18、GB/T 5654、GB/T 6451、GB/T 7597 、GB/T 7601 、GB/T 7600、GB/T 17623 、JB/T 501、DL/T 423、DL/T 596、DL/T 703、DL/T 722 、DL/T 911；
- e) 经济评估依据GB/T 13462、 DL/T 985。

5.2 现场评估

根据资料收集情况，开展现场调研和测试，确定设备性能、安全、能效等性能。

5.3 报告编制

根据现场调研情况，开展节能评估，给出评估结论。报告编制要求应符合GB/T 31341的要求。

6 评估方法

6.1 评估包括能效评估、性能评估和安全要求、经济评估三个方面。

6.2 能效评估

6.2.1 负载损耗测量

变压器的短路阻抗和负载损耗应按 GB/T 1094.1、GB/T 1094.11中的试验方法进行试验，如不能满足试验条件，可参考产品出厂报告或产品铭牌。

6.2.2 空载损耗和空载电流测量

变压器的空载电流和空载损耗应按 GB/T 1094.1、GB/T 1094.11中的试验方法进行试验，如不能满足试验条件，可参考产品出厂报告或产品铭牌。

6.2.3 冷却装置有功功率测量

变压器冷却装置（风机、冷却器等）在运行中产生的损耗，在进行变压器运行能效评估时应将此部分损耗加入到变压器总损耗中。

6.2.4 运行能效评估

6.2.4.1 根据6.2.1条和6.2.2条分别测出的负载损耗和空载损耗应依据 GB 20052中的标准限值进行评估。

6.2.4.2 峰值效率指数（PEI）根据附录A计算得出，应依据JB XXXX、JB XXXX（高阻抗电力变压器能效分级及评定方法、工业用变压器能效分级及评定方法）中的峰值效率指数（PEI）限值进行评估。

6.3 性能评估和安全要求

6.3.1 温升限值

a) 对于液浸式变压器，其温升限值应符合GB/T 1094.2的规定。当超铭牌额定负载值运行时，应按GB/T 1094.7规定。

b) 对于干式变压器，其温升限值应符合GB/T 1094.11的规定。当超铭牌额定负载值运行时，应按GB/T 1094.12规定。

6.3.2 绝缘油试验

6.3.2.1 试品取样、取样容器及取样方法按照GB/T 7597的规定执行。

6.3.2.2 绝缘油击穿电压测量的试验方法按GB/T 507的规定进行，试验结果应符合DL/T 596的规定。

6.3.2.3 绝缘油介质损耗因数测量的试验方法按GB/T 5654的规定进行，试验结果应符合DL/T 596的规定。

6.3.2.4 绝缘油含水量测定的试验方法按GB/T 7601或GB/T 7600的规定进行，一般66kV级及以上变压器进行此项试验，试验结果应符合GB/T 7595和DL/T 596的规定。

6.3.2.5 绝缘油含气量测定的试验方法按 DL/T 423 或 DL/T 703 的规定进行，330kV 级及以上变压器进行此项试验，试验结果应符合 GB/T 7595 的规定。

6.3.2.6 绝缘油溶解气体气相色谱分析的试验方法按GB/T 17623的规定进行，66kV级及以上变压器进行此项试验，试验结果应符合DL/T 722的规定。

6.3.2.7 绝缘油糠醛含量测量的试验方法按DL/T 1355的规定进行，试验结果应符合DL/T 596的规定。

6.3.3 绕组直流电阻试验

绕组直流电阻试验应按照DL/T 596的相关要求开展，试验结果应符合DL/T 596的规定。

6.3.4 绕组连同套管的绝缘电阻、吸收比或极化指数试验

绕组连同套管的绝缘电阻、吸收比或极化指数试验应按照DL/T 596的相关要求开展，试验结果应符合DL/T 596规定。

6.3.5 铁芯及夹件绝缘电阻试验

铁芯及夹件绝缘电阻试验应按照DL/T 596相关要求开展，试验结果应符合DL/T 596规定。

6.3.6 绕组连同套管的介质损耗因数及电容量

绕组连同套管的介质损耗因数及电容量试验方法及判断标准应按DL/T 596-2021中的有关规定执行。

6.3.7 绕组变形的频率响应试验

绕组变形的频率响应试验按照GB/T 1094.18或DL/T 911进行，试验结果应符合GB/T 1094.18或DL/T 911规定。

6.3.8 短路阻抗试验

短路阻抗的试验方法按GB/T 1094.1的规定进行，试验结果应符合DL/T 596的规定。

6.3.9 纸绝缘的聚合度试验

纸绝缘的聚合度的试验方法按DL/T984的规定进行，试验结果应符合DL/T984的规定。

6.3.10 交流耐压试验

交流耐压的试验方法按GB/T 1094.3的规定进行，试验结果应符合GB/T 1094.3的规定。

6.3.11 带局部放电测量的感应电压试验

仅对72.5kV及以上电压等级的变压器开展带局部放电测量的感应电压试验,试验方法按 DL/T596 的规定进行，试验结果应符合GB/T 1094.3的规定。

6.3.12 抗短路能力校核

a 对开展节能评估的变压器，除应按以上的要求开展试验外，还应按照 GB/T 1094.5规定的方法进行抗短路能力校核计算。

b 对于抗短路能力校核结果不满足要求的变压器，且经评估无法通过采取加装中性点小电抗、限流电抗器、调整电网运行方式等措施改善的，可直接退运更新。

6.3.13 安全要求

变压器的安全保护装置、冷却系统、油保护装置、油温测量装置、油箱及其附件等应符合GB/T 6451、GB/T 10228中的规定。

6.3.14 性能评估和安全要求结论

若变压器按第6.3.1-6.3.13条要求开展的所有基本试验项目结果均为合格，则判定该变压器性能评估和安全要求为合格。

若变压器按第6.3.1-6.3.13条要求开展的基本试验项目结果存在不合格情况但经评估存在维修改造价值，则判定该变压器需修复后使用，在对其进行经济评估时应考虑将该变压器修复至可直接使用状态所需的修理试验费用。

6.4 经济评估

6.4.1 全寿命周期评价

在网运行变压器的运行效率高直接影系统运营成本，变压器实际运行是实现变压器全生命周期成本（TCO）最小化的一种有效方法。

采用损耗评价的方法后，变压器的空载损耗、负载损耗可能较低，且一次性购买成本可能增加，但从全生命周期来看，变压器全生命周期成本（TCO）会最低，包含未来碳排放的成本。

6.4.2 数据收集与整理

6.4.2.1 投资成本 C_1

对于变压器退运更新方案，投资成本 C_1 是指变压器在退运更新并投入运行前发生的一切费用之和，包括新设备购置费、建筑工程费、安装调试费、拆除工程费、原设备净值、其他费用等。

对于变压器继续使用方案，投资成本 C_1 是指变压器在改造修复并投入运行前发生的一切费用之和，包括修理试验费用、建筑工程费、安装调试费、原设备净值、其他费用等。对于性能复核鉴定为可直接使用的变压器，可不需考虑修理试验费用。

6.4.2.2 运行成本 C_2

运行成本 C_2 是指变压器的年度运行费用，包括年度设备能耗费、年度日常巡视检查费、年环保费等。

6.4.2.3 检修维护成本 C_3

检修维护成本 C_3 是指变压器在期望运行寿命内产生的周期性检修维护费用总和，包括周期性解体检修（大修）费用、各类周期性检修维护（小修及预试）费用等。

6.4.2.4 故障成本 C_4

故障成本 C_4 指变压器在期望寿命范围内由其故障所引起的停供电损失、抢修设备故障的修复成本、惩罚性成本（故障停电供电企业赔偿给用户的成本）的总和。

6.4.2.5 退运处置成本 C_5

退运处置成本 C_5 分为退运处理费、设备退运时的残值两部分： C_5 =退运处理费-设备退运时的残值。当退运处理费小于设备退运时的残值时，退运处置成本为负值，表现为收益形式。

6.4.2.6 全生命周期成本TCO

变压器全生命周期成本为变压器在设计（DLT985）运行寿命内的投资成本、运行成本、检修维护成本、故障成本、退运处置成本的总和：

$$TCO = C_1 + \sum_{i=1}^n C_2 + C_3 + C_4 + C_5 \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

n ——变压器的设计运行寿命。

6.4.3 经济评估结论

6.4.3.1 等年值法是按投资的必要收益率将全部现金流量或净现值换算为相当于整个寿命期内每年平均发生的等额现金流量或净等年值，再据此分析和评价投资方案的方法。

资产等年值=资产现值×现值系数

现值系数为 $\frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$ ，其中 i 表示投资收益率， n 为期望运行寿命。

6.4.3.2 变压器的经济评价采用等年值法进行分析，变压器全生命周期成本等年值LCC为：

$$LCC = (C_1 + C_3 + C_4 + C_5) \cdot \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} + C_2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

6.4.3.3 可采用比较变压器退运更新方案得等年值 LCC_1 和继续使用方案等年值的 LCC_2 的方式来评价变压器退运更新的经济性。当变压器退运更新方案的等年值 LCC_1 小于继续使用方案的等年值 LCC_2 时，评价该变压器退运更新是经济性的，反之，则评价该变压器退运更新是非经济性的。具体计算案例请参照附录B。

7 综合评价

7.1 依据性能评估和安全要求、能效评估、经济评估、进行设备更新综合评价，确定是否退运更新。

7.2 场景设定与评价权重

7.2.1 场景设定

根据变压器所处的实际运行环境与管理目标，设定以下三类典型场景，若同一设备涉及多个场景特征，建议分别按各场景进行评估并取最保守（即退运倾向最强）结果作为决策依据。

- a.场景1：电网主干网变压器。承担区域骨干供电任务，安全稳定性要求极高，故障影响范围广、社会敏感度高。
- b.场景2：工业园区变压器。长期高负载、连续运行，用户对供电连续性与生产成本高度敏感，能效与运行安全并重。
- c.场景3：城镇建筑与老旧小区变压器。包括居民小区、商业楼宇、老旧城区等场所，设备服役年限普遍较长，运维预算有限，需在保障基本安全前提下，兼顾改造经济性与社会效益。

7.2.2 推荐权重配置

场景	能效 (We)	性能和安全要求 (Ws)	经济评估 (Wc)	权重逻辑说明
场景1 (电网主干网)	40%	45%	15%	安全压倒一切，经济性仅作辅助参考
场景2 (工业园区)	40%	40%	20%	能效收益可量化，安全与经济协同优化
场景3 (城镇建筑 & 老旧小区)	35%	45%	20%	安全是底线，经济性用于比选“改造 vs 更换”路径

7.3 评估指标定义

7.3.1 能效评估 (E)，衡量变压器能源利用效率及能效升级潜力。

子项	说明	场景侧重
E1	是否符合《电力变压器能效限定值及能效等级》（GB 20052-2024）	全场景通用
E2	负载损耗、空载损耗实测值 vs 标准值偏差率	场景2重点：高负载下损耗直接影响电费成本
E3	能效等级提升可行性（如更换铁芯、绕组改造等）	场景1/2关注：主干网看重长期节能效益，园区看重投资回收期

评分建议：E1占40%，E2占40%，E3占20%；不符合国标者E≤60分。

7.3.2 性能和安全要求评估（S），评估设备运行可靠性与潜在安全风险。

子项	说明	场景侧重
S1	绝缘老化程度（介损tanδ、局部放电量、油色谱）	场景3重点：老旧小区绝缘劣化是主要隐患
S2	温升是否超标（红外测温、历史数据）	全场景通用
S3	短路耐受能力（铭牌参数 vs 系统短路电流）	场景1重点：主干网短路电流大，需严格校核
S4	近3年故障记录（跳闸≥2次、过热告警等）	全场景通用，故障频发者S≤50分
S5	保护装置完整性（瓦斯、压力释放、温度等）	全场景通用

评分建议：S1–S5各占20%；任一子项严重不合格（如S3不满足）可触发安全阈值。

7.3.3 经济评估（C），衡量全生命周期成本与经济可行性。

子项	说明	场景侧重
C1	剩余使用寿命预估	全场景通用
C2	改造所需费用（含材料、施工）	场景3重点：老旧小区的改造与换新的成本差异是主要问题
C3	年运维成本（检修、损耗电费）	场景2重点：工业园区能效提升的电费节约收益需重点关注
C4	更新投资回收期	全场景通用
C5	能效补贴、老旧设备淘汰补贴等政策收益	全场景通用

7.4 综合评估与决策流程

7.4.1 总分计算

- 能效得分: $E_{\text{score}} \in [0,100]$
- 安全得分: $S_{\text{score}} \in [0,100]$
- 经济得分: $C_{\text{score}} \in [0,100]$

则该场景下的综合评估总分为:

$$\text{Total Score} = w_E \times E_{\text{score}} + w_S \times S_{\text{score}} + w_C \times C_{\text{score}} \dots\dots\dots (3)$$

7.4.2 安全底线强制机制（一票否决）

只要 $S_{\text{score}} < 65$ ，立即触发高风险处置流程。

7.4.3 决策建议参考

总分区间	建议行动
≥80 分	可继续运行，纳入常规监测
65–79 分	列入观察名单，1年内复评
<65 分	建议启动退运或更换程序

注：总分<65但 $S \geq 65$ 者，可考虑经济性优化措施（如负荷调整、加装冷却）； $S < 65$ 者必须优先处理安全问题。

8 设备更新要求

8.1 设备更新程序

- 8.1.1 变压器设备使用单位应根据设备的使用年限、运行状况和更新条件等要求定期制定更新计划，宜按照GB 20052、JB XXXX、JB XXXX（高阻抗电力变压器能效分级及评定方法、工业用变压器能效分级及评定方法）标准中一级或二级能效值更新。
- 8.1.2 使用单位应依据更新计划，结合设备的实际使用情况，实施更新计划。
- 8.1.3 更新完成后应组织技术核查及质量检验，完成资料归档。

8.2 报废处理

按照国家相关法规、产业政策和标准相关规定，对报废处置有明确规定的设备执行。

附录A
(资料性附录)
峰值效率指数 (PEI) 计算公式

变压器的峰值效率指数 (PEI) 是按以下公式计算

$$PEI = 1 - \frac{2 \times (P_0 + P_{c0} + P_{ckPEI})}{S_r \times \sqrt{(P_0 + P_{c0} + P_{ckPEI}) / P_k}} \dots\dots\dots(1)$$

式中:

P_0 —— 变压器在额定电压、额定频率和额定分接下的空载损耗, 千瓦 (kW) ;

P_k —— 变压器在额定电流、额定频率和额定分接下的负载损耗, 折算到 75℃, 千瓦 (kW) ;

P_{c0} —— 变压器额定空载运行时所需启动冷却装置的有功功率, 千瓦 (kW) ;

P_{ckPEI} —— 变压器在峰值运行效率下, 基于 P_{c0} 额外增加的冷却装置的有功功率, 千瓦 (kW) ;

S_r —— 变压器的额定容量, 千伏安 (kVA) 。

注: 变压器的峰值效率指数PEI取决于空载损耗、负载损耗和额定容量, 与实际的负载系数和功率因数无关。

附录B
(资料性附录)
变压器经济评估计算范例

某开展经济评估的变压器，其原设备剩余寿命10年，净值=295.35万元（净值按直线法折旧），性能复核结论为需修复后使用，设备能耗费用（空载140kW，负载590kW），设备处置成本-23.7万元，投资收益率为7%。

为简化计算和便于分析，将运行成本中的日常巡检费用、检修维护成本C3及故障成本C4等属不重要的且对评价结果影响不大的因素，本次测算忽略不计。

方案一：对原设备进行退运更新，新购置一台设计寿命30年220kV 180MVA主变费用805万元，建安总费用为=236万，新设备能耗费用（空载100kW，负载520kW），设备处置成本-23.7万元。

投资成本C1=805+236+295.35=1336.35万元；

年度设备能耗费用C2=8760×(100+520×0.7²)×0.4/10000=124.32万元。其中空载损耗按变压器投入运行，全年运行时间8760小时，采购费用0.4元/千瓦时；负载损耗按变压器投入运行，负荷按N-1计列为0.7。

退运处置成本C5=-23.7万元。

因此对于设备退运更新方案，其全生命周期成本等年值LCC1计算公式为：

$$LCC_1 = (1336.35 - 23.7) \times \frac{0.07 \times (1 + 0.07)^{30}}{(1 + 0.07)^{30} - 1} + 124.32 = 230.1 \text{万元}$$

方案二：将原设备修复后继续使用，重绕变压器线圈，寿命延长到30年，经评估所需的修理改造总费用为500万元，建安总费用为236万，设备处置成本-23.7万元。

投资成本C1=500+236+295.35=1031.35万元；

年度设备能耗费用C2=8760×(140+590×0.7²)×0.4/10000=150.36万元。

退运处置成本C5=-23.7万元。

因此对于该设备修复后继续使用方案，其全生命周期成本等年值LCC2计算公式为：

$$LCC_2 = (1031.35 - 23.7) \times \frac{0.07 \times (1 + 0.07)^{30}}{(1 + 0.07)^{30} - 1} + 150.36 = 231.56 \text{万元}$$

对比变压器退运更新方案等年值LCC1和继续使用方案等年值LCC2，可见LCC1 < LCC2，说明相比于方案二，该变压器直接退运更新更具经济性。

参 考 文 献

- [1] 《产业结构调整指导目录（2024年本）》
 - [2] 《重点用能产品设备能效先进水平、节能水平和准入水平（2024年版）》（发改环资规〔2024〕127号）
-