

T

ICS 29.240.20

CCS K47

团体标准

T/CWDPA XXX—2026

10KV-220KV 输配电线路金具节能技术规范

Technical specification for energy-saving of fittings for 10kV-220kV
transmission and distribution lines

2026-X-XX 发布

2026-X-XX 实施

中国西部开发促进会

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 1

4 能耗机理与节能原理 2

5 金具分类与节能选型 3

6 材料节能要求 4

7 结构节能设计 5

8 电气节能设计要求 6

9 节能性能要求 7

10 节能效果运行监测与后评估 8

附录 A（资料性） 节能原理说明 10

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。

本文件由河北正源电力器材有限公司提出。

本文件由中国西部开发促进会提出归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次发布。

10KV-220KV 输配电线路金具节能技术规范

1 范围

本文件规定了10 kV~220 kV输配电线路金具的能耗机理与节能原理、金具分类与节能选型、材料节能要求、结构节能设计、电气节能设计要求、能耗测试方法及节能效果运行监测与后评估等技术要求。本文件适用于额定电压10 kV~220 kV架空输配电线路中与导线直接接触及非直接接触的电力金具的节能设计、制造、选型、检验及运行评估。

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 1173 铸造铝合金
- GB/T 2314 电力金具通用技术条件
- GB/T 2317.1 电力金具机械试验方法
- GB/T 2317.3 电力金具热循环试验方法
- GB/T 5231 加工铜及铜合金牌号和化学成分
- DL/T 1288 电力金具能耗测试与节能技术评价要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电气接续类金具 **electrical connecting fittings**

在输配电线路中承载工作电流、通过电气接触实现导线间或导线与设备间电气连接的金具，包括悬垂线夹、耐张线夹及接续金具等。

3.2

非电气接续类金具 **non-electrical connecting fittings**

在输配电线路中不承载工作电流、仅起机械连接、固定或防护作用的金具，包括连接金具及防护金具等。

3.3

金具能耗 **energy consumption of electric power fittings**

金具在通过规定试验电流并达到稳定状态后，其本体因电阻损耗、磁滞损耗、涡流损耗及电晕损耗等所产生的功率损耗，单位为瓦（W）。

3.4

参考导线 **reference conductor**

在能耗测试中，用于与被试金具进行能耗比较的、具有相同材质和标称截面的标准导线。

3.5

稳定状态 **steady state**

在能耗测试过程中，金具的温度在15 min内变化不超过1 K时所达到的热平衡状态。

3.6

节能金具 **energy-saving electric power fittings**

在规定的试验条件下，在同等运行工况中电能损耗低于常规同类产品的电力金具。

3.7

磁滞损耗 hysteresis loss

铁磁性材料在交变磁场反复磁化过程中，磁感应强度的变化滞后于磁场强度变化，由磁畴反复转向引起材料内部摩擦发热而产生的能量损耗。

3.8

涡流损耗 eddy current loss

交变磁场在铁磁性金具部件中感应出涡旋状电流，该电流在材料电阻上产生的焦耳热损耗。

3.9

接触电阻 contact resistance

电流通过两个导体接触界面时，由接触表面收缩效应和表面膜层共同构成的电阻，包括收缩电阻和膜层电阻两部分。

3.10

电晕损耗 corona loss

高电压场强作用下，金具表面尖端或曲率半径较小处发生局部空气电离形成电晕放电，由此产生的有功功率损耗。

4 能耗机理与节能原理

4.1 能耗来源

4.1.1 磁滞损耗

金具中的铁磁性材料（如铸铁、铸钢）在交变磁场作用下，磁畴反复转向产生磁滞现象，消耗的电能以热的形式散失。磁滞损耗与磁场交变频率及材料磁滞回线所包围的面积成正比。

4.1.2 涡流损耗

交变磁场在铁磁性金具部件中感应出涡旋状感应电流，涡流在材料电阻上产生焦耳热损耗。涡流损耗与磁场交变频率的平方、磁通密度的平方及材料厚度的平方成正比，与材料电阻率成反比。

4.1.3 接触电阻损耗

金具与导线接触界面上，因微观表面不平整导致实际接触面积远小于名义接触面积，电流流经收缩区域时产生收缩电阻；同时，接触表面氧化膜形成的膜层电阻亦构成接触电阻的一部分。接触电阻损耗与接触电阻值及通过电流的平方成正比。

4.1.4 电晕损耗

在高电压场强作用下，金具表面尖端或曲率半径较小处发生局部空气电离，形成电晕放电，产生有功功率损耗。电晕损耗与电压梯度、金具表面状态及环境条件密切相关。

4.2 能耗影响因素

4.2.1 材料磁性能

材料的相对磁导率直接影响磁滞损耗和涡流损耗的大小。铸铁、铸钢的相对磁导率远大于1，而铝合金、奥氏体不锈钢等材料的相对磁导率接近于1。选用低磁导率材料可显著降低金具的磁滞及涡流损耗。

4.2.2 结构设计

金具的结构形式决定磁通回路的路径和涡流的分布。闭合磁路结构为磁通提供低磁阻通道，增大磁通密度，加剧磁滞及涡流损耗；截面突变和尖角部位易造成磁通集中和电场畸变，增加相应损耗。

4.2.3 运行工况

金具的能耗随负荷电流的增大呈平方关系增加；环境温度升高导致材料电阻率增大，接触电阻损耗相应增加；系统电压等级及金具表面电场分布状况影响电晕损耗的大小。

4.3 节能技术途径

4.3.1 低磁材料替代

采用铝合金、奥氏体不锈钢等低磁或无磁材料替代传统的铸铁、铸钢材料，从材料源头降低磁滞及涡流损耗。

4.3.2 阻断磁通回路

通过结构设计避免在金具中形成闭合磁路，增大磁路磁阻，减小磁通密度，从而降低磁滞及涡流损耗。

4.3.3 降低接触电阻

采用接触面镀银、镀锡等表面处理工艺，优化压接结构和压缩比，减小接触界面的收缩电阻和膜层电阻。

4.3.4 优化结构设计

优化金具外形设计，采用圆角过渡避免截面突变，减少尖角和毛刺，降低涡流损耗和电晕损耗。

5 金具分类与节能选型

5.1 按电压等级分类

5.1.1 10kV 配电网金具

适用于额定电压10kV配电网线路的金具。10kV线路覆盖面广、金具用量大，应优先选用铝合金等节能型金具。

5.1.2 35kV~110kV 线路金具

适用于额定电压35kV、66kV、110kV输电线路的金具。该电压等级线路为区域电网主网架的重要组成部分，节能金具的选用应作为基本要求。

5.1.3 220kV 线路金具

适用于额定电压220kV输电线路的金具。220kV线路输送容量大、年利用小时数高，金具能耗对线路总体损耗影响显著，应全线配置节能金具。

5.2 按电气特性分类

5.2.1 电气接续类金具

包括悬垂线夹、耐张线夹及接续金具（直通连接金具、分支连接金具）。该类金具直接承载工作电流，其接触电阻损耗和本体损耗是金具能耗的主要组成部分，应作为节能设计的重点对象。

5.2.2 非电气接续类金具

包括连接金具（挂板、U型螺丝等）及防护金具（防振锤、间隔棒等）。该类金具不承载工作电流，其能耗主要来源于交变磁场中感应产生的磁滞及涡流损耗。

5.3 节能选型原则

5.3.1 不同电压等级选型要求

5.3.1.1 10 kV 配电网金具应优先选用铝合金金具。

5.3.1.2 35 kV~110 kV 线路金具应选用节能型金具，其能耗值不应大于第9章规定的损耗限值。

5.3.1.3 220 kV 线路金具应全线选用节能金具，其能耗值应优于第9章规定的损耗限值。

5.3.2 不同工况条件选型要求

5.3.2.1 重污区金具应选用耐腐蚀性能优良的节能金具，接触面应采取有效的防腐和镀覆措施。

- 5.3.2.2 大跨越线路金具在满足节能要求的同时，应具备足够的疲劳强度和振动防护性能。
- 5.3.2.3 高海拔地区金具应考虑空气密度降低对散热和电晕起始电压的影响，选用相应修正后的节能金具。

6 材料节能要求

6.1 导体材料选用

6.1.1 铝合金材料

- 6.1.1.1 电气接续类金具的导体部件应采用铝合金材料。铝合金材料应满足以下要求：
- a) 电导率不应低于 23.6 MS/m；
 - b) 相对磁导率应接近于 1；
 - c) 抗拉强度不应低于相应的机械强度设计要求。
- 6.1.1.2 铝合金材料的化学成分和力学性能应符合 GB/T 1173 的规定。

6.1.2 铜及铜合金材料

电气接续类金具的导体部件可采用铜及铜合金材料。铜及铜合金材料的牌号和化学成分应符合GB/T 5231的规定，电导率不应低于相应牌号的规定值。

6.2 非磁性材料应用

6.2.1 奥氏体不锈钢

悬垂线夹的U型螺丝、压杠，耐张线夹的紧固件，连接金具的挂板等部件，应采用奥氏体不锈钢等非磁性材料。奥氏体不锈钢的相对磁导率不应大于1.5 mH/m。

6.2.2 复合材料

在满足机械强度和耐候性要求的前提下，金具的非承载部件可采用复合材料。复合材料应具有良好的绝缘性能和耐老化性能，其相对磁导率应接近于1。

6.3 铁磁性材料限制

6.3.1 可锻铸铁使用限制

电气接续类金具中与导线直接接触的部件，禁止使用可锻铸铁。非电气接续类金具中，除经节能设计验证且能耗满足本文件要求外，不应使用可锻铸铁。

6.3.2 铸钢件使用限制

电气接续类金具中与导线直接接触的部位禁止使用铸钢。非电气接续类金具中使用铸钢件时，应采取阻断磁通回路的结构措施，并经能耗测试验证其满足节能要求。

6.4 材料性能指标

6.4.1 导电率要求

电气接续类金具导体材料的导电率应符合表1的规定。

表 1 导体材料导电率要求

材料类别	电导率（MS/m）	适用部件
铝合金	≥23.6	线夹船体、压条、接续管等
铜及铜合金	≥56.0	铜接线端子、铜过渡部件等

6.4.2 磁导率要求

金具各部件的相对磁导率应符合表2的规定。

表 2 金具部件相对磁导率要求

部件类别	相对磁导率要求	说明
电气接续类金具导体部件	≤ 1.05	铝合金、铜材等
电气接续类金具紧固件	≤ 1.5	奥氏体不锈钢
非电气接续类金具结构件	≤ 1.5	奥氏体不锈钢、复合材料

7 结构节能设计

7.1 降低磁滞损耗结构

7.1.1 闭合磁路阻断措施

金具设计时应避免由铁磁性部件构成闭合磁通回路。悬垂线夹的船体应采用铝合金整体铸造，U型螺丝、压杠等采用奥氏体不锈钢。无法避免的闭合磁路部位，应在磁路中设置非磁性隔断，增大磁阻，减小磁通密度。

7.1.2 非磁性结构件选用

金具的结构件在满足机械强度要求的前提下，应优先选用非磁性材料。连接金具的挂板、U型挂环等部件应采用奥氏体不锈钢或经节能设计验证的替代材料。

7.2 降低涡流损耗结构

7.2.1 外形与截面过渡要求

金具外形设计应采用圆角过渡，避免尖角和截面突变。截面变化处应采用平滑的渐变结构，减少磁通集中和涡流路径的形成。

7.2.2 叠片与分割结构

对于必须使用铁磁性材料的结构部件，应采用叠片结构或分割式结构，以增加涡流路径的电阻，减小涡流损耗。叠片之间应采取绝缘措施，分割部件之间应有非磁性隔离层。

7.3 降低接触电阻结构

7.3.1 接触面镀覆工艺

7.3.1.1 电气接续类金具与导线的接触面应进行镀覆处理。铜质接触面宜采用镀银工艺，铝质接触面宜采用镀锡工艺。镀层应均匀、致密，镀层厚度应符合以下要求：

- a) 镀银层厚度不应小于 $5\text{ }\mu\text{m}$ ；
- b) 镀锡层厚度不应小于 $8\text{ }\mu\text{m}$ 。

7.3.1.2 铜铝过渡结构应采用铜铝过渡焊接或铜铝过渡片工艺，防止电化学腐蚀。

7.3.2 压接结构设计

7.3.2.1 压接型金具的压缩比应符合以下规定：

- a) 圆形导线的压接压缩比应为 $0.85\sim 0.90$ ；
- b) 扇形导线的压接压缩比应为 $0.80\sim 0.85$ 。

7.3.2.2 压接区长度不应小于导线直径的 3 倍。压接道数不应少于 2 道，压接顺序应从中间向两端依次进行。压接模具的尺寸偏差不应超过 $\pm 0.1\text{ mm}$ ，压接压力应根据导线截面和金具规格按工艺文件确定。

7.4 轻量化设计

7.4.1 轻量化要求

采用铝合金等轻质材料替代铸铁、铸钢时，金具质量降低幅度不宜低于 65%。在保证机械强度和节能性能的前提下，应通过结构优化进一步减轻金具质量。

7.4.2 等强度设计

节能金具的机械强度不应低于同规格常规金具的机械强度。悬垂线夹的握力、耐张线夹的破坏载荷等机械性能指标应符合GB/T 2314和GB/T 2317.1的规定。不同电压等级金具的安全系数应符合表3的规定。

表 3 金具最小安全系数

电压等级	悬垂线夹	耐张线夹	接续金具
10 kV	≥ 2.5	≥ 3.0	≥ 2.5
35 kV~110 kV	≥ 3.0	≥ 3.5	≥ 3.0
220 kV	≥ 3.5	≥ 4.0	≥ 3.5

8 电气节能设计要求

8.1 金具与导线电气匹配要求

8.1.1 额定载流量匹配

金具的额定载流量不应小于所匹配导线的允许载流量。金具与导线截面配合时，应按导线长期允许工作温度下的载流量进行校核。不同电压等级金具的载流量裕度应符合以下要求：

- a) 10kV 配电网金具，载流量裕度不应小于 5%；
- b) 35kV~110kV 线路金具，载流量裕度不应小于 8%；
- c) 220kV 线路金具，载流量裕度不应小于 10%。

8.1.2 经济电流密度匹配

8.1.2.1 节能金具的选型应考虑线路经济电流密度的要求。在同等导线截面条件下，应选用接触电阻更小、本体损耗更低的节能金具。

8.1.2.2 当线路设计采用经济电流密度选型时，金具的额定载流量应按经济电流密度对应的电流值进行校核，而非按导线热稳极限进行校核。

8.2 电晕损耗抑制设计

8.2.1 电场分布优化

110kV及以上电压等级线路金具的设计应考虑电场分布优化，通过增大电极曲率半径、增设均压环或屏蔽环等措施，降低金具表面最大场强。金具表面最大场强不应超过空气击穿场强（约30 kV/cm）的 70%。金具的电晕起始电压不应低于线路最高运行相电压的1.1倍。

8.2.2 均压环与屏蔽环设计

均压环、屏蔽环等防电晕装置应与金具本体可靠连接，其安装位置和尺寸应经电场仿真计算或实测验证。均压环的管径不应小于20 mm，环的曲率半径不应小于80 mm。防电晕装置表面应光滑，无尖角和毛刺，表面粗糙度Ra不应大于3.2 μm 。

8.3 多分裂导线金具电流均衡要求

8.3.1 分裂间距设计

多分裂导线金具（间隔棒、阻尼线夹等）的结构设计应保证各子导线间电流分布基本均衡。各子导线的电流不平衡度不宜超过5%。

8.3.2 阻抗一致性要求

8.3.2.1 同相分裂导线中各子导线所配金具的阻抗应保持一致。同一间隔棒上各线夹的接触电阻偏差不应超过各线夹实测平均值的 $\pm 10\%$ 。

8.3.2.2 间隔棒的布置间距应按子导线间的电磁耦合效应进行优化，避免因布置不当导致子导线电流分布不均。

8.4 低能耗连接设计

8.4.1 导线连接结构

- 8.4.1.1 耐张线夹和接续金具的连接结构应保证电流路径最短、截面过渡平缓，避免因截面突变引起局部电流集中和附加损耗。
- 8.4.1.2 连接结构的截面变化处应采用锥形或圆弧过渡，过渡段长度不应小于过渡处最大截面尺寸的2倍。

8.4.2 分支连接设计要求

电气接续类金具在设计阶段应对接触电阻进行理论计算。接触电阻由收缩电阻和膜层电阻两部分构成，总接触电阻应满足以下要求：

- a) 接续金具的总接触电阻不应大于等长导线电阻的1.05倍；
- b) 悬垂线夹和耐张线夹的总接触电阻不应大于等长导线电阻的1.10倍。

8.4.3 电压降控制

- 电气接续类金具在额定电流下的电压降不应大于下列限值：
- a) 10 kV 线路金具：不大于 5 mV；
 - b) 35 kV～110 kV 线路金具：不大于 3 mV；
 - c) 220 kV 线路金具：不大于 2 mV。

8.5 低磁通密度设计

8.5.1 磁通密度限值

电气接续类金具导体部件在额定电流下产生的磁通密度不应大于0.05 T，非电气接续类金具结构件在额定电流下产生的磁通密度不应大于0.10 T。

8.5.2 磁路优化

金具设计时应避免形成低磁阻闭合回路。在结构布置上，同一金具上的铁磁性部件应保持足够的空间间隔，间距不应小于该部件最大截面尺寸的3倍。

9 节能性能要求

9.1 电能损耗限值

各类金具的稳定电能损耗应在规定的试验电流下进行测试，试验电流按DL/T 1288附录B的方法计算确定，测试方法应符合附录A的规定。各类金具的损耗限值应符合9.1.1～9.1.4的规定。

9.1.1 悬垂线夹损耗限值

悬垂线夹的稳定电能损耗不应大于表4的规定值。

表 4 悬垂线夹电能损耗限值

电压等级	适用导线截面（mm ² ）	最大损耗（W）
10 kV	50～240	6.0
35 kV～110 kV	240～400	10.0
220 kV	400～800	16.0

注：适用导线截面范围以金具标称适用规格为准，不同规格按线性插值调整限值。

9.1.2 耐张线夹损耗限值

耐张线夹的稳定电能损耗不应大于表5的规定值。

表 5 耐张线夹电能损耗限值

电压等级	适用导线截面（mm ² ）	最大损耗（W）
10 kV	50～240	5.0
35 kV～110 kV	240～400	8.5

电压等级	适用导线截面 (mm ²)	最大损耗 (W)
220 kV	400~800	14.0

9.1.3 接续金具损耗限值

接续金具的稳定电能损耗不应大于表6的规定值。

表 6 接续金具电能损耗限值

金具类型	适用导线截面 (mm ²)	最大损耗 (W)
直通连接金具	50~240	3.0
直通连接金具	240~400	5.0
直通连接金具	400~800	8.0
分支连接金具	50~240	4.0
分支连接金具	240~400	6.5

9.1.4 防振金具损耗限值

防振锤的稳定电能损耗不应大于表7的规定值。

表 7 防振金具电能损耗限值

适用导线截面 (mm ²)	最大损耗 (W)
≤240	1.5
240~400	2.5
400~800	4.0

9.2 接触电阻限值

电气接续类金具的接触电阻应符合以下要求：

- a) 导线接续处两端点之间的电阻，不应大于同样长度导线电阻的 1.1 倍；
- b) 压接型金具的接触电阻不应大于等长导线电阻的 1.05 倍；
- c) 接触电阻的测试应按 GB/T 2317.3 的规定执行。

9.3 温升限值

金具在额定试验电流下达到稳定状态后，其温升不应超过以下限值：

- a) 铝质和铜质接触面温升不应超过 40 K；
- b) 铜镀银和铝镀锡接触面温升不应超过 50 K；
- c) 温升测试应按 GB/T 2317.3 的规定执行。

9.4 电晕损耗控制要求

9.4.1 电晕起始电压

110 kV及以上电压等级线路金具的电晕起始电压不应低于线路最高运行相电压的1.1倍。

9.4.2 表面质量要求

9.4.2.1 金具表面应光滑、无尖角、无毛刺、无凸起物，所有棱边应进行倒圆角处理，倒角半径不应小于 1 mm。

9.4.2.2 铸造金具本体的表面粗糙度 Ra 不应大于 6.3 μm。均压环、屏蔽环等防电晕装置的表面粗糙度应按 8.2.2 的规定执行。

10 节能效果运行监测与后评估

10.1 运行监测

10.1.1 温度在线监测

10.1.1.1 金具接续点应根据线路重要程度和运行需求实施温度监测，监测点的布设应覆盖以下部位：

- a) 耐张线夹与导线连接处；
- b) 接续金具的接续点；
- c) 悬垂线夹出口处导线。

10.1.1.2 温度监测宜采用红外测温或光纤测温技术。

10.1.1.3 正常运行条件下，金具接续点温度与环境温度之差超过 40 K 时发出预警，超过 50 K 时发出报警。监测数据应定期记录并归档，记录周期不宜超过 1 个月。

10.1.2 损耗推算与布点

运行中金具区段的电能损耗可按以下方法推算：

- a) 选取典型金具区段，在区段两端分别测量电压、电流及功率因数；
- b) 计算区段总损耗，扣除线路导线损耗后，差值即为该区段金具损耗；
- c) 监测布点应覆盖不同电压等级、不同金具类型的典型区段。

10.2 节能后评估

10.2.1 运行复测

10.2.1.1 节能金具投入运行满一年后，应进行节能效果复测。复测项目包括：

- a) 金具接续点温度测试；
- b) 金具区段电能损耗推算；
- c) 金具外观检查。

10.2.1.2 复测宜在相似负荷和环境条件下进行，以保证与投运前测试数据的可比性。

10.2.2 节能量偏差判定

实际节能量与型式检验值的偏差应按以下规则判定：

- a) 偏差不超过 $\pm 10\%$ 时，判定为节能效果符合预期；
- b) 偏差超过 $\pm 10\%$ 但不超过 $\pm 20\%$ 时，应分析原因并加强监测；
- c) 偏差超过 $\pm 20\%$ 时，应判定为节能效果不达标。

10.3 节能不达标处置

10.3.1 原因排查

节能效果不达标时，应按以下顺序排查原因：

- a) 材料复验：检查金具材料是否与设计相符，导电率和磁导率是否满足要求；
- b) 结构检查：检查金具结构是否存在损伤、变形或磁路闭合等异常；
- c) 安装工艺核查：核查压接工艺、接触面处理、紧固力矩等是否满足设计要求。

10.3.2 整改与复检

10.3.2.1 根据原因排查结果制定下列整改措施：

- a) 材料不达标时更换合格金具；
- b) 安装工艺问题返工处理；
- c) 结构问题联系制造厂改进设计。

10.3.2.2 整改完成后应重新进行能耗测试，测试合格后方可继续运行。整改及复检记录应归档保存，保存期限不应少于 10 年。

附 录 A
(资料性)
节能原理说明

A.1 材料替代节能原理

铸铁、铸钢的相对磁导率远大于1，交变磁场在其中产生较大的磁滞损耗和涡流损耗。铝合金相对磁导率接近于1，采用铝合金制造的金具几乎不产生磁滞损耗和涡流损耗。

A.2 阻断磁通回路节能原理

铁磁性部件相互连接构成闭合磁路时，交变磁通产生较大的涡流损耗。将U型螺丝、压杠等部件替换为奥氏体不锈钢后，闭合磁路被切断，涡流损耗大幅下降。

A.3 降低接触电阻节能原理

接触面镀银或镀锡处理可防止表面氧化，降低膜层电阻。控制压接压缩比可增加实际接触面积，降低收缩电阻，从而减少接触电阻损耗。
