

# T/CWDPA

团 体 标 准

T/CWDPA XXX—XXXX

## 架空输电线路角钢塔主材更换作业导则

Operating guidelines for replacement of main members in angle steel overhead  
transmission line towers

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国西部开发促进会 发布

## 目 次

前 言 .....	II
1 范围 .....	3
2 规范性引用文件 .....	3
3 术语和定义 .....	3
4 作业基本条件及要求 .....	4
4.1 总体要求 .....	4
4.2 作业人员 .....	4
4.3 作业现场 .....	4
4.4 安全措施 .....	5
5 作业流程 .....	5
5.1 总体原则 .....	5
5.2 作业流程 .....	5
5.3 应急处理 .....	5
5.4 作业方法 .....	6
6 现场作业 .....	7
6.1 作业前检查与确认 .....	7
6.2 临时支撑系统安装与荷载转移 .....	7
6.3 主材更换 .....	7
6.4 恢复 .....	7
7 验收与记录 .....	8
7.1 验收标准 .....	8
7.2 作业记录 .....	8
附 录 A 多功能辅助组合角钢试验、标志、包装、运输与贮存 .....	9
附 录 B 角钢主材裂纹缺陷图谱及判定流程 .....	11
附 录 C 多功能辅助组合角钢安装示意图 .....	13
附 录 D 受损角钢主材受力分析及材料检验要求 .....	15
参 考 文 献 .....	16

## 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。

本文件由中国南方电网有限责任公司超高压输电公司柳州局提出。

本文件由中国西部开发促进会归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件首次发布。

# 架空输电线路角钢塔主材更换作业导则

## 1 范围

本文件规定了架空输电线路角钢塔主材更换的作业要求、作业流程、现场作业、验收与记录等内容。本文件适用于110kV及以上电压等级角钢塔主材更换作业，35kV可参照执行。

## 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 26859-2011 电力安全工作规程 电力线路部分
- GB/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法
- GB/T 232 金属材料 弯曲试验方法
- GB/T 2694 输电线路铁塔制造技术条件
- GB 6095 坠落防护 安全带
- GB/T 9286 色漆和清漆 划格试验
- GB/T 13912 金属覆盖层 钢铁制件热浸镀锌层技术要求及试验方法
- GB 50233 110kV~750kV架空输电线路施工及验收规范（附条文说明）
- GB 50545 110kV~750kV架空输电线路设计规范
- DL/T 1341 ±660kV直流输电线路带电作业技术导则
- DL/T 1060 750kV交流输电线路带电作业技术导则
- DL/T 392 1000kV交流输电线路带电作业技术导则
- DL/T 400 500kV 交流紧凑型输电线路带电作业技术导则
- DL/T 878 带电作业用绝缘工具试验导则
- DL/T 5154 架空输电线路杆塔结构设计技术规程
- NB/T 47013.3 承压设备无损检测 第3部分：超声检测

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**角钢塔** angle steel tower

主要由角钢制品通过螺栓连接构成的架空输电线路支撑结构。

### 3.2

**主材** main member

角钢塔结构中承受轴向荷载的主要受力构件，通常由单根或组合角钢构成。

### 3.3

**多功能辅助组合角钢** multi-functional auxiliary combined angle steel

一种用于临时替代受损主材并保持角钢塔结构稳定的组合式临时支撑装置。其夹具上设有多个挂环，用于连接承力工器具以实现荷载转移和调整；其连接螺栓孔采用固定孔与长条椭圆孔相结合的设计，以适应安装时的孔位偏差，提高现场适配性。

### 3.4

**裂纹缺陷识别** crack defect identification

通过无损检测技术对角钢主材表面及内部裂纹进行定位、定性和定量分析的过程。

### 3.5

**荷载转移 load transfer**

通过临时支撑装置将受损主材承受的荷载逐步、平稳转移至多功能辅助组合角钢的作业过程。

### 3.6

**临时拉线 temporary stay wire**

用于临时固定角钢塔塔身、限制结构水平位移和倾覆的柔性支撑构件。

### 3.7

**侧向限位装置 lateral limiting device**

安装于受损角钢主材两侧，用于限制角钢塔侧向位移、保障结构临时稳定性的约束装置。

## 4 作业基本条件及要求

### 4.1 总体要求

4.1.1 作业现场的生产条件、安全设施、作业机具和安全工器具等应符合国家或行业标准规定的要求，安全工器具和劳动防护用品在使用前应确认合格、齐备。

4.1.2 各级负责人、管理人员、现场工作人员和相关人员应熟悉国家或行业标准相关条款并严格执行。

4.1.3 作业人员有权依据国家或行业标准规定拒绝违章指挥和强令冒险作业，在发现危及人身安全的情况时，有权停止作业或采取可行的应急措施后撤离作业场所，并立即报告。

### 4.2 作业人员

#### 4.2.1 基本条件

作业人员的基本条件应满足：

- a) 经县级或二级甲等及以上医疗机构鉴定，无妨碍工作的病症，至少每两年进行一次体检，高处作业人员应每年进行一次体检；
- b) 作业人员的身体和精神状况满足当天工作的安全要求；
- c) 具备必要的电气、安全及相关知识和技能，按其岗位和工作性质，熟悉国家或行业标准规定相关内容；
- d) 从事电气作业的人员学习 DL/T 692 等规范，掌握紧急救护法，特别是触电急救。

#### 4.2.2 安全规程教育与培训

4.2.2.1 作业人员应接受相应的安全生产教育和岗位技能培训，经考试合格上岗。

4.2.2.2 作业人员在作业前应被告知其作业任务和作业现场存在的危险因素、防范措施及应急措施。

#### 4.2.3 特殊条件

4.2.3.1 特种作业人员及特种设备作业人员应按照国家有关规定经专门的安全作业培训，并经相关管理机构考核合格，取得相应的特种作业操作证、特种设备作业人员证，方可从事相应工作。

注1：特种作业人员主要包括从事电工作业、焊接与热切割作业、高处作业等作业人员。

注2：特种设备作业人员主要包括压力容器、压力管道、电梯、起重机械、场（厂）内专用机动车辆的作业人员及其相关管理人员。

#### 4.2.4 作业资质补充要求

不停电更换作业时，作业人员应持有有效的带电作业资格证书；停电更换作业时，高处作业人员应持有高处作业资格证书。担任起重指挥和操作的人员均应具备相应的起重作业资格。

### 4.3 作业现场

4.3.1 线路作业应在良好的天气下进行，遇有恶劣气象条件时，应停止工作。

4.3.2 作业现场的照明，应保证足够的亮度，必要时配备应急照明。夜间或环境较暗时，作业人员应佩戴反光标志。

4.3.3 在城区、人口密集区、通行道路上或交通道口施工时，工作场所周围应装设遮栏（围栏），并

在相应部位设警戒范围或警示标识，夜间应设警示光源，必要时派专人看守。

4.3.4 作业现场周围的悬崖、陡坎、深坑等危险场所应设置可靠的安全防护措施和安全警示标志；孔洞、深基坑应设置盖板或可靠的围栏和安全警示标志。

#### 4.4 安全措施

##### 4.4.1 安全技术措施

###### 4.4.1.1 通用安全技术措施

通用安全技术措施应满足以下要求：

- a) 作业前现场踏勘，核对塔位地形、交叉跨越、带电部位及安全距离，进行安全距离校核。不停电作业时，作业人员、工器具与带电体之间的最小安全距离应符合 GB 26859 表 1 的规定。
- b) 设置安全警戒区，边界距铁塔基础边缘不小于 1.5 倍塔高，设立明显警示标识，严禁非作业人员进入警戒区。
- c) 组织全体作业人员进行安全技术交底，并履行签字确认手续。
- d) 检查核对所有工器具与个人防护用品。

###### 4.4.1.2 不停电作业附加安全措施

不停电作业附加安全措施应满足以下要求：

- a) 应核验作业位置与带电体的安全距离。
- b) 个人防护用具、工器具等材料应满足 DL/T 878，并始终保持与带电体的安全距离。

###### 4.4.1.3 作业过程监测

作业中应力监测、结构变形监测、气象监测和力学（测力计）监测，监测数据应实时记录，异常时立即停止作业并报告。

###### 4.4.1.4 作业结束后

作业后应清点人员、工器具，拆除临时设施，撤除安全警戒，恢复现场。

#### 5 作业流程

##### 5.1 总体原则

角钢塔主材更换作业应遵循“安全第一、荷载平稳转换、结构可控”的原则。具体原则要求如下：

- a) 安全第一：作业全过程满足相应的安全要求（停电作业时重点防高处坠落、物体打击；不停电作业时防止触电）。
- b) 荷载平稳转换：通过分步加载、实时监测、缓慢操作，确保荷载转移过程中结构应力变化率不超过 5%/min。
- c) 结构可控：在临时支撑安装、荷载转移、主材更换等关键节点，结构位移和应力应始终处于设计允许范围内，并设置预警和报警阈值。

##### 5.2 作业流程

角钢塔主材更换的作业流程应包括：现场勘查与评估-作业方案制定与审批-作业前准备-现场作业实施（含临时设施安装、荷载转移、主材更换等）-作业后恢复-验收与记录。

##### 5.3 应急处理

所有应急情况须在现场作业负责人统一指挥下处置。应至少制定以下应急预案，并组织演练：

- a) 恶劣天气：遇平均风速超过 8m/s 或瞬时风速超过 10m/s、雷电、暴雨、浓雾等，立即停止作业，将临时拉线预紧力提升至设计值 1.2 倍，人员撤离至安全区域。
- b) 辅助角钢失效：立即启动备用支撑系统，30min 内完成荷载转移至备用系统。
- c) 人员伤害：立即停止作业，启动医疗急救预案，联系就近医疗机构，保护事故现场。
- d) 设备故障：立即停止使用故障工器具，更换备用合格工器具后方可继续作业。

## 5.4 作业方法

更换角钢塔主材作业宜采用“临时支撑+分步荷载转移+对称拆装+实时监测”的标准化作业方法，按先加固、再卸荷、后更换、再回载、最后拆除临时设施的工序执行，全程结构可控、荷载平稳、绝缘可靠。

### 5.4.1 作业方法总体要求

- a) 不停电作业优先采用“地电位+绝缘操作”，严禁等电位违规接近带电体，安全距离满足 DL/T 1341、DL/T 1060、DL/T 392、DL/T 400 要求。
- b) 同一断面不得同时拆除两根及以上主材；同腿需更换多段主材时，逐段完成更换并验收合格后，再进行下一段作业。
- c) 螺栓拆装遵循对称、分步、缓松缓紧，同一节点螺栓不得一次性全部拆除，避免节点失效失稳。
- d) 全过程执行应力、位移、风速、倾斜度四重监测，超限立即停止作业并采取加固措施。

### 5.4.2 临时支撑与抱杆作业方法

#### 5.4.2.1 抱杆设置要求

- a) 宜采用附着式铝合金抱杆，抱杆中心线与塔身主材轴线平行，附着点选在完好主材节点，抱杆长度满足吊装高度与作业半径。
- b) 抱杆承托绳、拉线采用双点固定，承托绳夹角 $\leq 45^\circ$ ，拉线对称布置，地锚埋深 $\geq$ 设计值，松软土质增设钢板或混凝土压重。
- c) 抱杆起吊额定荷载不超过允许值的 80%，起吊速度均匀平稳，塔上设专人监护抱杆姿态与侧向偏移。

#### 5.4.2.2 临时支撑系统安装

- a) 先装临时拉线，对称张拉至设计荷载 10%–15%，限制塔身摆动与倾覆。
- b) 再装侧向限位装置，布置于受损主材两侧 1–1.5m，与塔身可靠连接，约束侧向位移。
- c) 后安装多功能辅助组合角钢，与原主材贴合紧密，垫块找平，螺栓初紧到位。

### 5.4.3 荷载转移作业方法

- a) 采用液压千斤顶+手扳葫芦等承力工器具联合卸荷，分6–8步完成，每步转移荷载 $\leq$ 总荷载 20%，每步暂停 $\geq 2\text{min}$ ，监测应力、变形、倾斜度，稳定后方可继续。
- b) 转移到位后确认：原主材基本无荷载，监测数据稳定，临时支撑系统受力均匀、无异常变形、无异响。

### 5.4.4 主材拆装作业方法

#### 5.4.4.1 拆除受损主材

- a) 采用对称松卸法，先拆远离塔身螺栓，后拆靠近塔身螺栓，同一断面拆除比例 $\leq 30\%$ ，严禁全断面一次性卸除。
- b) 用绝缘吊装设备平稳吊离，防止碰撞塔身与带电体，吊点设软质衬垫保护镀锌层。

#### 5.4.4.2 安装新主材

- a) 新主材材质、规格、镀锌与原设计一致，安装前复核孔位、角度、长度。
- b) 吊装就位后先穿临时螺栓，校正垂直度与预拱度，再按设计扭矩紧固。

#### 5.4.4.3 荷载回移

按荷载转移逆步骤分步回载，每步暂停监测，确保新主材均匀受力，无偏载、无应力集中。

### 5.4.5 绝缘与安全作业方法

- a) 带电作业区段全流程绝缘隔离，导线、地线、横担用绝缘遮蔽罩覆盖，工器具经绝缘试验合格。
- b) 高处作业执行双保险：安全带+速差自控器/安全绳，挂钩挂于牢固主材，高挂低用。
- c) 通讯采用专用对讲频道，一令一动、指令清晰，塔上塔下同步确认。

## 6 现场作业

### 6.1 作业前检查与确认

作业前的检查与确认应满足以下要求：

- a) 缺陷复检：根据勘查结果，对受损角钢主材缺陷进行现场复核，重点检查角钢的边棱、螺栓孔周边等应力集中区域，确认缺陷位置、类型和程度。判定标准见附录 B。
- b) 现场安全技术交底：工作负责人向全体作业人员指明受损构件位置、临时设施安装点、监测点位置及关键作业步骤。
- c) 现场安全措施确认：警戒区边界距塔基 $\geq 1.5$ 倍塔高，警示标识清晰，专人值守，禁止无关人员与车辆进入。带电部位设绝缘遮蔽与安全围栏，安全距离满足对应电压等级要求，复核无误。临时拉线、地锚、抱杆、侧向限位、临时支撑安装牢固、受力均衡，预紧力达标。受力连接点无松动、无滑移、无偏载，衬垫、防磨措施到位。绝缘工具、扭矩扳手、液压工具、吊装设备检验合格、在有效期，外观无损伤、功能正常。安全带、安全帽、屏蔽服、绝缘防护用具完好有效，全员正确佩戴。应变仪、激光测距仪、风速仪、测力计标定合格、通电正常，采样频率与阈值设置完成。预警、报警、应急停机三级响应机制明确，人员熟知处置流程。急救箱、通讯设备、消防器材、备用工器具到位可用，应急通道畅通。应急预案现场宣贯，联络方式、撤离路线、避险位置明确。

### 6.2 临时支撑系统安装与荷载转移

临时支撑系统安装与荷载转移应满足以下要求：

- a) 安装临时拉线：按作业方案要求的预紧张力（一般为杆塔设计荷载的 10%~15%）对称张拉临时拉线。
- b) 安装侧向限位装置：在受损角钢主材两侧约 1~1.5m 处，可靠安装侧向限位装置，通常可连接在相邻的辅材角钢或塔身主材上。
- c) 安装多功能辅助组合角钢：将其安装就位，初步连接，确保与塔身角钢构件贴合紧密，必要时加设垫块，见附录 C。
- d) 分步荷载转移：使用手板葫芦、抱杆或链条葫芦等承力工器具，逐步、缓慢地将荷载从受损角钢主材转移至多功能辅助组合角钢。建议荷载转移分步进行，加载前应对辅助组合角钢预紧；中间加载阶段宜控制在总荷载的 20%~30%，每阶段完成后暂停作业时间不少于 30 秒，进行应力与变形监测；最后加载阶段宜控制在总荷载的 10%左右；接近 100%设计荷载时完成最终锁定，再持荷监测不少于 5 分钟。具体步骤及加载值应根据现场监测数据、临时支撑系统刚度和被更换主材的损伤程度综合确定。

### 6.3 主材更换

主材更换应满足以下要求：

- a) 拆除受损主材：荷载转移完成后，采用对称松卸法（先拆除远离塔身的螺栓，后拆除靠近塔身的螺栓，同一断面节点板上螺栓拆除比例不应超过 30%，严禁一次性全部卸除）拆除受损角钢主材的连接螺栓，并使用吊装设备将其安全吊离。若采用抱杆辅助，抱杆应可靠固定，吊装过程中保持平稳。
- b) 安装新主材：将检验合格的新角钢主材吊装就位，对正连接孔，穿入临时螺栓。
- c) 荷载回移与调整：按与荷载转移相反的步骤，将荷载从临时支撑系统逐步回移至新主材。按设计要求紧固全部螺栓，并调整角钢弯曲值（预拱度）至允许偏差范围内。安装完成后主材相邻结点间的弯曲度不应超过杆件长度的 1/500，且应符合 DL/T 741 的规定。预拱度的具体数值应由设计单位根据荷载工况和结构变形计算确定，作业方案中应明确预拱度控制值。

### 6.4 恢复

- a) 拆除侧向限位装置、多功能辅助组合角钢及临时拉线等。
- b) 对新更换主材连接节点的螺栓进行最终扭矩校验。

- c) 清理作业现场，清点工器具，撤除安全警戒等。

## 7 验收与记录

### 7.1 验收标准

验收标准应包含：

- a) 几何尺寸：参照 GB 50233，塔体倾斜度 $\leq 0.2\%$ ；新角钢主材安装位置偏差 $\leq 3\text{mm}$ ，连接节点对  
齐偏差 $\leq 2\text{mm}$ ；主材弯曲度不应大于杆件长度的  $1/1000$ 。
- b) 连接紧固：螺栓紧固应采用扭矩扳手逐颗校验，扭矩值误差应控制在 $\pm 5\%$ 以内，并按规定完  
成两次复紧（第一次在安装完成后 24 小时内，第二次在带负荷运行 72 小时后）。
- c) 外观质量：新角钢主材表面无锈蚀、划痕（深度 $\leq 0.5\text{mm}$ ），焊缝无气孔、夹渣等缺陷（焊缝  
质量判定符合 GB/T 2694 中 II 级焊缝要求），热浸镀锌层厚度符合 GB/T 13912 的要求，无剥  
落、起皮现象。
- d) 运行环境：恢复作业前环境状态，无遗留杂物和安全隐患。

### 7.2 作业记录

作业全过程应形成准确、完整的记录。关键记录清单至少应包括：施工方案及审批文件、安全技术  
交底记录、缺陷记录、验收报告、应急处理记录（如发生）。所有记录应按规定存档。

## 附录 A

## (规范性)

## 多功能辅助组合角钢试验、标志、包装、运输与贮存

## A.1 试验

## A.1.1 轴向抗压试验

多功能辅助组合角钢两端固定，施加1.5倍设计荷载（如原主材设计荷载1000kN，则试验荷载1500kN），持续30min，测量轴向变形 $\leq L/1000$ （L为支撑长度），卸载后残余变形 $\leq 0.1\text{mm}$ ，且试验过程中试件无失稳、屈曲现象。

## A.1.2 侧向刚度试验

中点施加横向荷载（0.1倍设计荷载），测量侧向挠度应 $\leq L/500$ ，且最大挠度不应超过20mm，验证侧向刚度、抵抗风振等横向荷载。

## A.1.3 疲劳试验

模拟运行荷载循环，特高压线路（ $\geq 1000\text{kV}/\pm 800\text{kV}$ ）循环次数为200万次，超高压线路（ $500\text{kV}/\pm 500\text{kV}$ ）为100万次应力比0.1，频率 $\leq 5\text{Hz}$ ），无可见裂纹（磁粉检测MT验证），残余变形 $\leq 0.2\text{mm}$ ，刚度衰减 $\leq 5\%$ ，参照DL/T 5154执行。

## A.1.4 弯曲试验

弯曲试验按GB/T 232执行。试样长度应为多功能辅助组合角钢宽度的3倍，且不宜小于200mm。弯曲支座间距应为试样长度的2.5倍。弯曲角度为 $180^\circ$ ，弯心直径 $d=2a$ （a为试样厚度）。试样弯曲处外表面，应无裂纹、分层等缺陷。

## A.1.5 焊接工艺评定（多功能辅助组合角钢拼接）

对于Q345B钢材多功能辅助组合角钢，焊缝拉伸强度应 $\geq 470\text{MPa}$ ，焊缝冲击韧性在 $-20^\circ\text{C}$ 时 $KV_2 \geq 27\text{J}$ （针对熔合线及热影响区）。其他材质的多功能辅助组合角钢焊缝性能应符合相应材质标准的要求。

无损检测采用超声波探伤（UT）结果按NB/T 47013.3中I级合格判定。

## A.1.6 热浸镀锌层试验（防腐性能）

-镀层厚度：平均厚度 $\geq 85\mu\text{m}$ （测厚仪检测，每面不少于3测点）。

-附着力：划格法试验（间距2mm），使用3M胶带粘贴后撕开检查，镀层无剥落，参照GB/T 9286。

-耐盐雾试验：耐盐雾试验按照GB/T 10125中性盐雾试验方法进行，试验条件为 $35^\circ\text{C}$ 、5%NaCl溶液，连续喷雾1000h后，锈蚀面积 $\leq 5\%$ ，且无红锈产生。

-高低温循环试验：温度范围 $-40^\circ\text{C} \sim 80^\circ\text{C}$ ，循环次数50次；试验后镀层无剥落、起泡，锈蚀面积 $\leq 1\%$ 。

## A.1.7 模拟仿真验证

模拟仿真验证宜选取不少于3基具有代表性的角钢塔塔型进行现场试验，对于已通过型式试验且覆盖典型塔型的产品，可减少抽检频次，必要时可通过仿真计算验证。

## A.1.8 试验周期

试验周期：每批次出厂前应进行型式试验，正常生产每两年复测一次；重大结构改进后应重新试验。

## A.2 标志

在多功能辅助组合角钢的明显部位，应设有清晰、持久的标志牌，其内容至少包括：

- a) 产品名称与型号；
- b) 主要技术参数（如：设计承载力、适用塔型、长度等）；
- c) 生产厂家；

- d) 生产日期/批次;
- e) 合格标志 (标志牌采用激光雕刻工艺, 确保户外使用 5 年内无褪色、脱落)。

### A.3 包装

- A.3.1 功能辅助组合角钢应采用角钢支架固定, 单件包装重量 $\leq 500\text{kg}$ 。
- A.3.2 外包覆防潮塑料膜, 并在包装外部清晰标识产品名称、规格型号、生产批次、生产厂家、“禁止倒置”“防碰撞”等信息。
- A.3.3 产品合格证、出厂检验报告、安装使用说明书等技术文件应装入防水文件袋中, 并牢固地固定在包装外部易于取用的位置。
- A.3.4 包装应符合GB/T 13384的要求。

### A.4 运输

在运输过程中, 应采取有效的防震、防碰撞及防雨措施, 防止涂层破损及结构变形。

### A.5 贮存

- A.5.1 应存放于干燥、通风的室内仓库, 底层垫高 $\geq 200\text{mm}$ 。
- A.5.2 应远离腐蚀性气体, 并按规格型号分类存放。
- A.5.3 应定期检查 (周期 $\leq 2$ 个月) 防腐涂层完整性, 符合DL/T 284的要求。

## 附录 B (规范性) 角钢主材裂纹缺陷图谱及判定流程

### B.1 检测技术

采用UT（超声波探伤）与MT（磁粉检测）复合检测，超声波探头频率选择：

- a) 角钢主材厚度 $\leq 20\text{mm}$ ：频率 2.5–5MHz，灵敏度 $\Phi 1 \times 6\text{dB}$ ；
- b) 角钢主材厚度 $> 20\text{mm}$ ：频率 1–2.5MHz，灵敏度 $\Phi 2 \times 6\text{dB}$ 。
- c) 磁粉检测磁场强度 $\geq 2000\text{A/m}$ ，湿法检测时悬浮液浓度 1.2–2.4g/L；
- d) 检测人员应持有 UT/MT II 级及以上资格证书，且每两年复训一次。

### B.2 缺陷分级

缺陷分类按GB/T 2694执行，对于裂纹缺陷，出现以下情况之一时，宜判定为III级及以上缺陷，宜进行更换：

- a) 裂纹长度 $> 10\text{mm}$ （针对角钢宽度方向或轴向延伸方向，投影长度 $> 10\text{mm}$ ）或深度 $> 3\text{mm}$ ；
- b) 裂纹形状复杂、走向不规则且位于角钢主材的应力集中区域（如螺栓孔边缘、角钢棱边、焊缝热影响区等）；
- c) 经结构分析验证，主材承载能力下降 $\geq 15\%$ （原则上需提供计算书或设计单位确认；不具备计算条件时，可由有经验的技术负责人根据实际受力状态综合研判）。

对于II级裂纹，若裂纹长度 $\leq 10\text{mm}$ 且剩余承载力 $\geq 85\%$ 时，可不立即更换，但每3个月应进行UT/MT复检，连续2次无扩展可延长至每6个月复检一次。

### B.3 裂纹缺陷图谱

以下图谱均为角钢构件的典型缺陷示意。

分类示例：通过示意图或照片展示典型裂纹类型（如表面裂纹、穿透裂纹、应力腐蚀裂纹等），标注关键特征（长度、深度、位置）。

标注说明：

应力集中区裂纹：位于螺栓孔边缘或焊缝热影响区的裂纹，用箭头标出裂纹扩展方向。

复合型裂纹：裂纹分支多、走向不规则，标注最大长度和深度。



图 B.1 裂纹判定流程图

判断条件：

若裂纹长度 $> 10\text{mm}$ 或剩余承载力 $< 85\%$  → 判定为III级，需更换。

若裂纹长度 $\leq 10\text{mm}$ 且剩余承载力 $\geq 85\%$  → II级，监控运行。

判定流程：

剩余承载力分析：采用有限元软件计算裂纹缺陷对主材承载力的影响，模型边界条件与实际工况一致。监控运行要求：II级裂纹需每3个月进行一次 UT/MT复检，连续2次无扩展可延长至每 6个月复检一次。

图B.2 角钢表面裂纹示意图（标注：长度12mm，深度2.5mm，位于角钢螺栓孔边缘）

图B.2 角钢内部穿透裂纹示意图（标注：长度15mm，深度4mm，沿角钢轴向扩展）

图B.4 角钢应力腐蚀裂纹示意图（标注：长度8mm，深度2mm，位于角钢焊缝热影响区）

#### B.4 裂纹判定流程

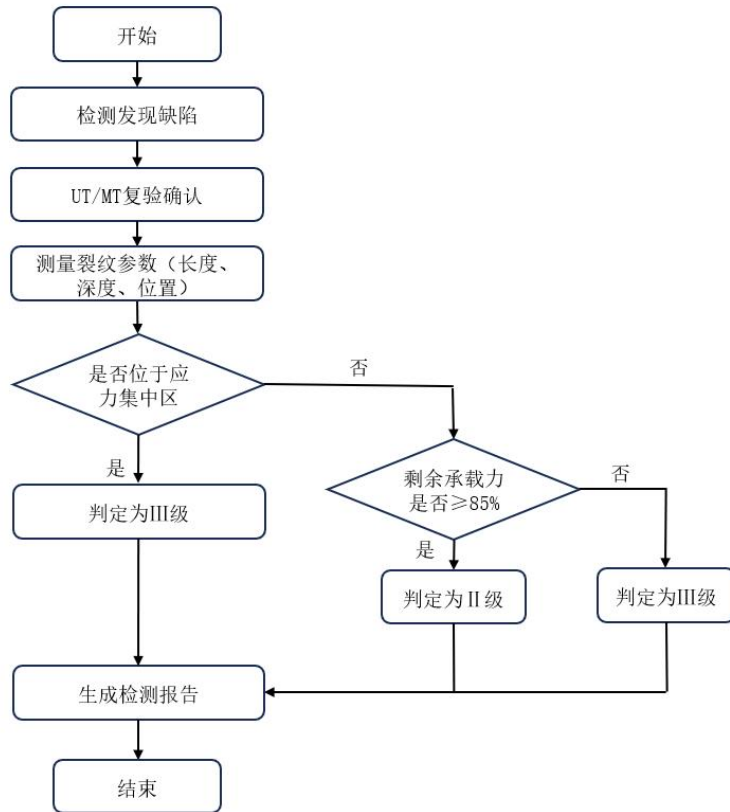


图 B.2 裂纹判定流程图

注：应力集中区包括但不限于：螺栓孔边缘、焊缝热影响区、主材变截面处、节点连接部位。

附 录 C  
(资料性)  
多功能辅助组合角钢安装示意图

### C.1 设计思路

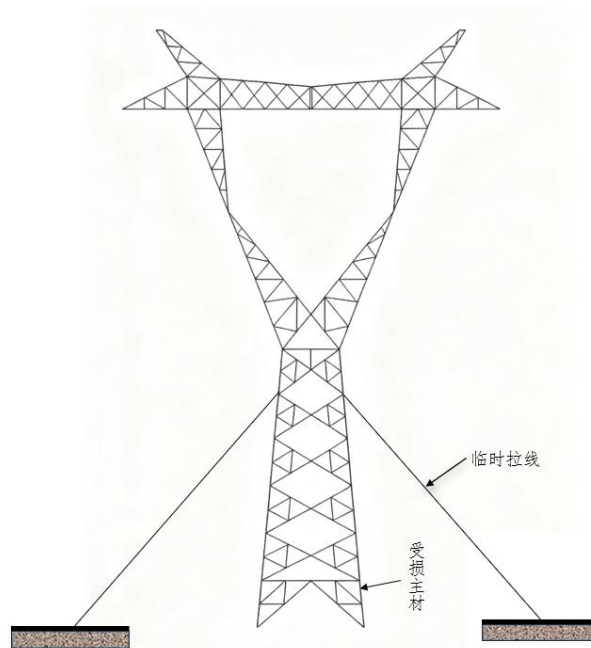
#### C.1.1 示意图内容

- a) 主视图：展示角钢塔结构，标注受损角钢主材位置、临时拉线固定点、侧向限位装置安装位置。
- b) 局部放大图：多功能辅助组合角钢与角钢塔的连接细节（如螺栓规格、安装角度、垫块设置）。
- c) 荷载释放步骤：分步图示（如步骤 1：预紧拉线；步骤 2：安装限位装置；步骤 3：分步释放荷载）。

#### C.1.2 标注要求：

使用箭头标注荷载转移方向。

标注关键尺寸（如限位装置距离受损角钢主材1.5m）。



C.1 临时拉线示意图

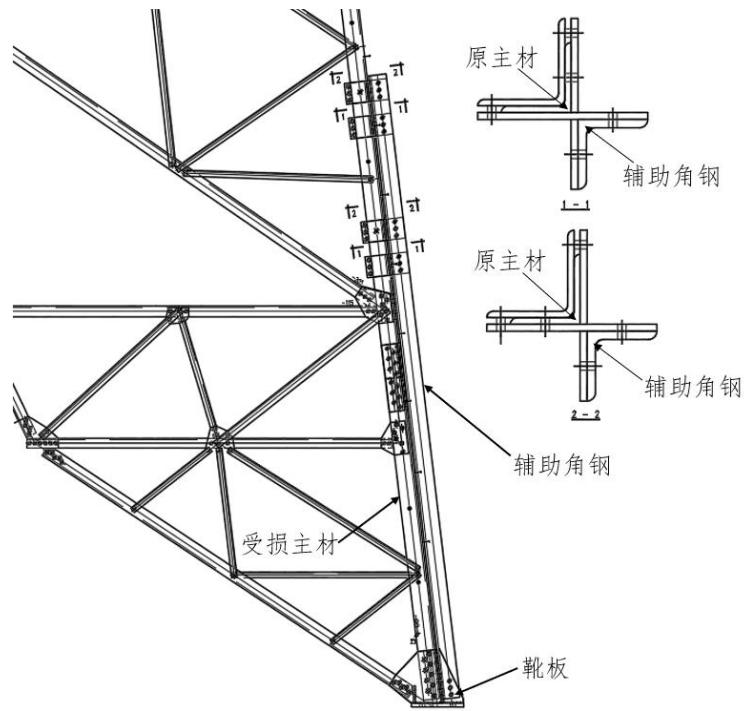
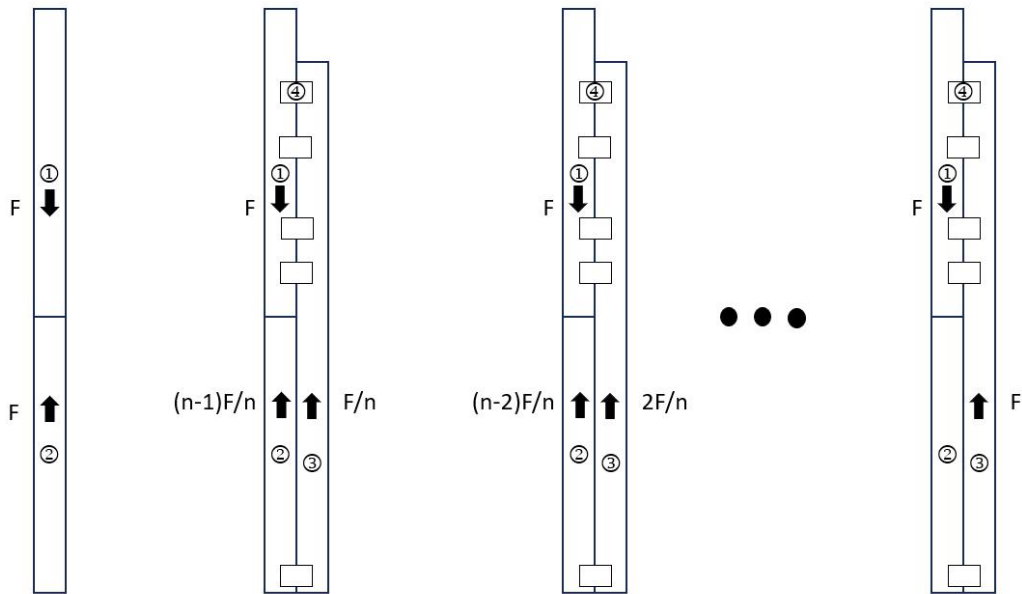


图 C.2 辅助角钢安装整体布置图

C.3 荷载释放分步示意图

图D.3 荷载释放步骤（分6步/8步，标注每步释放比例及监测要求）

注：是与受损主材连接的上端主材；是受损主材；是辅助角钢；是原主材与辅助角钢连接件；F代表受损主材所受力；n代表荷载释放步数。



建议工具：使用AutoCAD绘制矢量图，或参考GB/T 50103《建筑制图标准》进行规范化设计。

**附录 D**  
**(规范性)**  
**受损角钢主材受力分析及材料检验要求**

#### D.1 受力分析

作业方案制定前,应采用有限元分析软件建立角钢塔塔体三维模型,关键受力区域网格划分精度 $\leq 20\text{mm}$ ,非关键区域 $\leq 50\text{mm}$ ,考虑重力、风荷载、冰荷载等多种荷载组合工况,为临时支撑设置和荷载转移步骤提供依据。

#### D.2 应变监测

现场作业中,应按6.2条要求设置不少于3处应变监测点(主材两端及中部),采用1/4桥电路测量,应变测量单次误差 $\leq 2\%$ ,平均误差应 $\leq 1.5\%$ (经0.5级标准应变片标定),以实现荷载转移过程的实时监控。

#### D.3 材料性能试验

若对拆换下的受损主材进行材料性能分析,其试验结果可作为本次作业的总结和后续工作的参考。

拉伸试验取样:应在受损主材非受力关键区域取样,取样数量不少于3个,试样尺寸符合 GB/T 228.1 规定。

冲击试验取样:冲击试样为V型缺口,取样方向与主材受力方向一致,每组试验不少于3个试样。

#### D.4 拉伸强度试验

按GB/T 228.1执行,屈服强度( $R_{eL}$ ) $\geq$ 原设计值的95%、抗拉强度( $R_m$ ) $\geq$ 母材标准值(如Q345B 钢材 $\geq 470\text{MPa}$ ),断后伸长率( $A$ ) $\geq 21\%$ 。对于其他材质的主材,其屈服强度、抗拉强度和断后伸长率应符合相应材质标准的要求。

#### D.5 冲击韧性试验

冲击韧性试验应根据输电线路所处的环境温度进行分类规定。对于运行环境最低温度不低于 $-20^\circ\text{C}$ 的地区,主材材料的冲击吸收能量在 $-20^\circ\text{C}$ 时应 $\geq 27\text{J}$ ,韧脆转变温度(FATT50)应 $\leq -40^\circ\text{C}$ ;对于运行环境最低温度低于 $-20^\circ\text{C}$ 的寒冷地区,冲击吸收能量在 $-40^\circ\text{C}$ 时应 $\geq 35\text{J}$ ,韧脆转变温度(FATT50)应 $\leq -60^\circ\text{C}$ 。

参 考 文 献

- [1] GB/T 50103 建筑制图标准
  - [2] DL/T 5210.1 电力建设施工质量验收规程 第 1 部分：土建工程
  - [3] 架空输电线路杆塔结构设计手册（第三版）
-