

团 体 标 准

T/CMES XXXX—202X

无损检测 变电站高跨软导线耐张线夹 X 射线数字成像检测方法

Non-destructive testing: X-ray digital imaging inspection
method for high-span flexible conductor strain clamp in
substations

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国机械工程学会标准征求意见稿

中国机械工程学会（英文简称 CMES）是具备开展国内、国际标准化活动资质的全国性社会团体。制定中国机械工程学会团体标准，以满足企业需要和市场需求，推动机械工业创新发展，是中国机械工程学会团体标准的工作内容之一。中国境内的团体和个人，均可提出制、修订中国机械工程学会团体标准的建议并参与有关工作。

中国机械工程学会团体标准按《中国机械工程学会标准化管理办法》进行制定和管理。

中国机械工程学会团体标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议的 3/4 以上的专家、成员的投票赞同，方可作为中国机械工程学会团体标准予以发布。

在本标准实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料寄给中国机械工程学会，以便修订时参考。

中国机械工程学会标准征求意见稿

本标准版权为中国机械工程学会所有。除了用于国家法律或事先得到中国机械工程学会正式许可外，不许以任何形式复制、传播该标准或用于其他商业目的。

中国机械工程学会地址：北京市海淀区首体南路 9 号主语国际 4 座 11 层

邮政编码：100048 电话：010-68799027 传真：010-68799050

网址：www.cmes.org 联系人：袁俊瑞 电子信箱：yuanjr@cmes.org

目 次

前 言.....	IV
引 言.....	V
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 作业方式.....	2
4.1 人工登高作业.....	2
4.2 高空车作业.....	2
4.3 无人机作业.....	2
4.4 作业方式的选择.....	2
5 检测人员.....	2
5.1 一般要求.....	2
5.2 资格要求.....	3
6 检测系统的组成及环境要求.....	3
6.1 检测系统的组成.....	3
6.2 环境要求.....	3
7 作业检测方法及程序.....	3
7.1 人工登高作业方法.....	3
7.2 高空作业车作业检测方法.....	3
7.3 无人机检测方法及程序.....	4
8 作业风险管控.....	4
8.1 人工登高作业风险管控.....	4
8.2 高空作业车作业风险管控.....	4
8.3 无人机作业风险管控.....	5
9 图像评定.....	5
9.1 一般要求.....	5
9.2 人工评定.....	5
9.3 计算机自动评定.....	5

10 缺陷分类及分级.....	5
11 记录和报告.....	7
11.1 构架的命名.....	7
11.2 构架参考方位选择.....	7
11.3 耐张线夹分裂号命名规则.....	7
附 录 A （资料性附录） 35kV 及以上变电站高跨软导线耐张线夹典型缺陷图谱.....	9
附 录 B （资料性附录） 高跨软导线构架名称及耐张线夹典型示意图.....	11
附 录 C （资料性附录） 变电站高跨软导线耐张线夹 X 射线数字成像检测报告.....	13
参考文献.....	14

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。

本文件由中国机械工程学会提出并归口。

本文件起草单位：广东粤电科试验检测技术有限公司，南方电网电力科技股份有限公司，中易创新（北京）科技有限公司，南方电网综合能源股份有限公司，河南四达检测技术有限公司，湖南德赛永兴电力科技股份有限公司。

本文件主要起草人：钟飞，焦阳，林蔚，李孟强，李建波，李欣，邓威，汤龙华，冉旺，傅明，肖磊石，张艺，夏云峰，陈瑞斌，顾涛。

本文件首次制定。

中国机械工程学会标准征求意见稿

引 言

变电站内高跨软导线安全稳定运行越来越受到重视，每年将有大量的变电站高跨软导线耐张线夹需要开展 X 射线检测。目前国内尚无相关规范或标准，各单位检测方法不统一，缺陷判断可能存在偏差。为了规范变电站高跨软导线耐张线夹 X 射线检测的作业方式、作业风险管控、检测人员及检测系统要求、检测流程、缺陷分类及分级等，因此制定本标准。

开展变电站高跨软导线耐张线夹 X 射线检测的作业场景和作业风险等，都与输电线路压接金具 X 射线检测有较大不同，其区别主要在于高跨软导线耐张线夹凹槽深，受力小，以输电线路标准判断过于严格。扩径导线缺陷没有缺陷分类和分级。容易产生作业安全距离不足和感应电风险大。

本标准未涉及专利。

中国机械工程学会标准征订公告

中国机械工程学会标准征求意见稿

无损检测 变电站高跨软导线耐张线夹 X 射线数字成像检测方法

1 范围

本文件规定了 35kV 及以上电压等级变电站高跨软导线耐张线夹 X 射线数字成像检测的作业方式（无人机作业、高空作业车、人工登高作业）、检测人员的要求、检测系统的组成及技术要求、检测方法、作业风险管控、X 射线成像图像质量、图像评定、记录和报告等内容。

本文件适用于 35kV 及以上电压等级变电站高跨软导线耐张线夹 X 射线数字成像检测。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 35388 无损检测 X 射线数字成像检测 检测方法

GB/T 35394 无损检测 X 射线数字成像检测 系统特性

DL/T 5318 架空输电线路扩径导线架线施工工艺导则

NB/T 47013.2 承压设备无损检测第 2 部分：射线检测

NB/T 47013.11 承压设备无损检测第 11 部分：射线数字成像检测

T/CEC 526 架空输电线路线夹 X 射线检测技术导则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

变电站高跨软导线 substation high span flexible conductor

变电站高跨软导线是指通过门型构架等建构物悬挂安装的软导线及其引下线，包括软母线及其引下线，连接至线路、主变、换流变或交流滤波器等设备的跨线及其引下线。

3.2

3/2 接线方式 3/2 wiring method

目前国内 500kV 变电站主流接线方式，2 条母线之间 3 个开关串联，形成一串，在一串中从相邻的 2 个开关之间引出元件。

3.3

扩径导线 expanded diameter wire

指采取扩大导线外径技术，在保证电晕所要求的导线外径前提下，减少导线的铝截面，从而减

少导线的总重量的导线。

3.4

数字 X 射线照相系统 (DR 系统) **digital radiology system (DR system)**

指由探测器和软件等组成的一个完整系统。它能将探测器上的信息转换成数字的图像。

4 作业方式

4.1 人工登高作业

登高人员在保证安全的前提下，攀登到变电站门型构架后，爬行到达被检耐张线夹位置，并通过绝缘绳将射线检测设备传递到检测位置附近后，将检测设备安装到耐张线夹上，并根据检测需要调整拍摄角度。

4.2 高空车作业

由高空车作业将高处作业人员和检测工装运送到被检耐张线夹附近，再由高处作业人员将检测工装安装到指定检测位置，并根据需要调整拍摄角度。

4.3 无人机作业

在保证安全的前提下，由取得无人机资质的飞手操控无人机，将检测工装安装到检测位置。

4.4 作业方式的选择

4.5.1 高空作业车可以到达的检测位置宜采用高空作业车作业，方便控制检测工装获得较好的拍摄角度。

4.5.2 基建站高跨软导线未安装上构架的情况，在地面进线 X 射线检测并做好标识；高跨软导线已安装上构架的情况，四分裂导线首选高空作业车方式检测，单导线或双分裂宜选用无人机检测，其次选择人工登高方式检测。

4.5.3 运行站部分间隔停电情况，在做好相关停电操作和安全措施后（断开相关断路器、隔离开关，合上接地、挂牌），优先考虑无人机检测，其次是高空车方式检测，不宜人工登高方式检测，感应电风险较大。出线侧间隔停电的，应确认出线侧杆塔已挂接地线，并且在站内出线侧加挂接地一组，站内相关接地刀闸已合上，宜用高空作业车方式检测。

4.5.4 耐张线夹附近装有均压环，无人机作业时应考虑成像板能放置进入均压环。

4.5.5 耐张线夹与单串绝缘子连接，高处作业人员较难安全到达被检耐张线夹位置时不应采用人工登高作业。

4.5.6 高空车作业需履行大型机械作业审批手续，受场地及站内导线布置形式（如检测位置有三层导线，检测中间层导线耐张线夹时）限制，部分检测位置高空作业车作业平台无法到达。

5 检测人员

5.1 一般要求

5.1.1 检测人员须通过相关安规考试，且考试成绩在有效期范围内。

5.1.2 检测人员应熟悉 X 射线数字成像检测技术的基本原理和检测程序。

5.1.3 检测人员应了解被测设备的结构特点、常规布置方式、常规型号和常见缺陷。

5.2 资格要求

5.2.1 检测人员须经过专业培训并考核合格，取得 DR I 级及以上资格证。报告校核人员和审批人员须经过专业培训并考核合格，取得 DR II 级及以上资格证。

5.2.2 采用高空车作业方式情况下，须随车配备取得岗位操作合格证件的高空作业车操作司机，登高人员须经过专业培训并考核合格，取得有关部门颁发的高空作业证。

5.2.3 采用无人机携带 X 射线装置检测的方式情况下，无人机飞手须经过专业培训并考核合格取得相应操作证。

6 检测系统的组成及环境要求

6.1 检测系统的组成

检测系统应至少包括 X 射线发射器、X 射线数字成像板、路由器、工作站数据分析系统组成。

6.2 环境要求

设备应能在各种气候条件下工作，温度 -20°C ~ 40°C ，设备在各种环境下具有稳定性和可靠性。

7 作业检测方法及程序

7.1 人工登高作业方法

7.1.1 检测项目

至少包括钢芯与钢锚压接情况、铝管压接情况、钢芯插入钢锚深度、钢锚与铝管相对位置、铝绞线与钢锚端部相对位置、钢锚形态、铝绞丝形态、钢芯形态、毛刺、棱角、裂纹、异物等检测项。耐张线夹 X 射线数字成像检测，应对每个检测点数据、图谱进行整理、保存，检测区域应覆盖导线压接区域、钢芯压接区（必压区）、防滑槽压接区。

7.1.2 透照方向

射线透照方向垂直于导（地）线，可以单次透照，也可以多次透照，应选用较小的成像角度减少不同区域图像变形。

7.1.3 消缺复测

应及时对经消缺处置后的耐张线夹进行 X 射线成像检测复测。

7.2 高空作业车作业检测方法

7.2.1 根据现场勘察情况，选择 X 射线检测设备架设作业方式。

7.2.2 准备 X 射线检测设备，确保设备处于检定/校准有效期内，并处于安全可用状态。

7.2.3 采用高空作业车作业方式架设 X 射线检测装备时，根据 X 射线检测设备特点，向登高人员交代 X 射线检测设备架设作业要点。

7.2.4 完成相关检测工作，并提交检测结果或报告，检测结果不合格的，应及时出具《检测发现缺陷通知单》。

7.3 无人机检测方法及程序

7.3.1 安装 X 射线机电池，并将 X 射线机与路由器线缆连接；安装成像板探测器电池，并检查电池电量是否充足。

7.3.2 安装专用检测工装，将探测器装入工装上专用的金属保护板套内，检查专用工装的板扣插销是否功能完好。将 X 射线机装上工装上定制区域，确认完好后在 X 射线机底部盖板装上固定螺栓，并确认牢固。

7.3.3 打开工作站，分别测试 X 射线机信号、探测器信号、ARB 信号是否有反馈正常。

7.3.4 无人机检测流程

a) 选取空旷、平整、上方无遮挡场地作为无人机起飞场地。

b) 将检测设备与无人机用绝缘绳连接。

c) 无人机装上电池，上电检查，注意检查无人机电池是否满电状态。

d) 起飞辅助无人机至检测目标位置。

e) 主无人机起飞，搭载检测设备至检测目标进行检测，飞行过程中应避免无人机及检测设备接近其它非本次检测带电导线。

f) 检测设备挂至目标位置后，使用工作站操作射线机拍摄 X 射线图片，并根据成像结果判断是否需要拍摄多张图片。

7.3.5 小无人机辅助主飞手观察视野，测量塔身导线之间的间距。主飞手负责驾驶大型检测无人机进行作业，副飞手辅助驾驶小无人机辅助观察视野。

7.3.6 检测时飞行高度不高于杆塔 20 米，飞行速度不大于 5 米/秒。

7.4 透照方式、透照方向、一次透照范围、透照布置、曝光次数、图像的归一化信噪比、工艺评定和验证应参照 NB/T47013.2、NB/T47013.11 和 GB/T35388。

8 作业风险管控

8.1 人工登高作业风险管控

运行的 500kV 变电站，与带电体距离虽然 $>5\text{m}$ （例如 5~10m），有部分设备会产生感应电，故高空作业车需要接地，检测人员应加装个人保安线。

8.2 高空作业车作业风险管控

8.2.1 接地

高空作业车开展高跨软导线耐张线夹 X 射线数字成像检测时应接地。

8.2.2 安全措施

高空作业车作业前要拉好围栏，吊臂半径内严禁人员通行。高空作业车作业前应充分展开支撑脚，并支撑腿需支撑在坚固可靠的垫板或地面上，严禁直接支撑在松软的泥土上。高空作业车作业过程中，应全程保持车辆在启动状态，不能熄火。高空作业车吊臂伸展，应考虑与临近带电体的安

全距离，选择最优伸展位置和角度。

8.3 无人机作业风险管控

8.3.1 安全距离

检测时应注意无人机及检测设备与不同电压等级带电线路安全距离。

8.3.2 绝缘试验

无人机吊装所用绳索应使用无金属芯绝缘绳索，绳索绝缘应通过对应电压等级绝缘试验或检定。

8.3.3 无人机飞行安全航线

无人机应尽量选择不跨越带线线路安全航线，如必须跨越带电线路时，应提高跨越带线线路时飞行高度，尽量避免带电线路对飞行影响

9 图像评定

9.1 一般要求

9.1.1 图像质量满足规定的要求后，方可对检测图像进行评定。

9.1.2 图像分析处理软件应包含检测图像中特征尺寸的标定和测量功能。检验规程应规定测定检测图像特征尺寸的方法，应验证并保持测量方法的准确性。

9.1.3 宜将被检工件特征与一个已知的、可观测到的尺寸比较，该尺寸整个处于检测图像范围内，通过读出特征长度上的像素数目进行测量，最终的标定值采用不少于 3 次标定取平均值的方法。

9.2 人工评定

图像显示系统应满足 GB/T35394 规定的要求。图像评定应在一个亮度可控的柔光环境下进行，显示屏表面不应有干扰评定的反射眩光。评定人员进入评定区域后，在开始图像评定前应有足够的适应时间。检测人员应对缺陷进行定性和定量评估，确定缺陷的类别和级别。

9.3 计算机自动评定

只有合同允许时方可使用。自动缺陷识别技术不应存在缺陷漏检现象，误判率应小于 4%，具有发现缺陷报警、工件判定为拒收报警等多种警示功能。

10 缺陷分类及分级

变电站高跨软导线耐张线夹的压接质量典型缺陷分级参照表1的要求执行。典型缺陷参考附录A。


表 1 变电站高跨软导线耐张线夹压接缺陷

成像部位	缺陷部位	缺陷分级			
		正常状态	I级缺陷	II级缺陷	III级缺陷
A区	铝管	铝管形变但与凹凸槽存在间隙, 复核对边距满足要求	\	\	铝管形变但与凹凸槽存在间隙, 复核对边距不满足要求 铝管存在裂纹
	凹凸槽	凹凸槽无漏压	凹凸槽未压接部分 <20%	50% > 凹凸槽未压接部分 ≥ 20%	凹凸槽未压接部分 ≥ 50%
B区	钢锚管	钢锚管压模平整、到位	钢锚管压模不平整, 弯曲, 有飞边	\	钢锚管存在裂纹
		钢锚管弯曲度 ≤ 2%	2% < 钢锚管弯曲度 < 5%	5% ≤ 钢锚管弯曲度 < 8%	钢锚管弯曲度 ≥ 8%
	钢锚管与芯线	钢锚管和芯线完全压接	5% < 钢锚管和芯线未压接部分 ≤ 15%	15% < 钢锚管和芯线未压接部分 < 30%	钢锚管和芯线未压接部分 ≥ 30%
		钢锚管被芯线填满	5% < 钢锚管腔体内空隙 ≤ 15%	15% < 钢锚管腔体内空隙 < 30%	钢锚管腔体内空隙 ≥ 30%
C区	铝管	铝管弯曲度 ≤ 1%或2%	1%或2% < 铝管弯曲度 < 5%	5% ≤ 铝管弯曲度 < 8%	铝管弯曲度 ≥ 8%
		\	\	\	铝管存在裂纹
	铝管与绞线	铝管与绞线未压部分 ≤ 15%	15% < 铝管与绞线未压部分 ≤ 30%	30% < 铝管与绞线未压部分 < 50%	铝管与绞线未压部分 ≥ 50%

注: 被测线夹与 800mm² 及以上导线压接时, 铝管弯曲度 ≤ 1%; 被测线夹与 800mm² 以下导线压接时, 铝管弯曲度 ≤ 2%。

10.1 欠压缺陷分级

表 2 变电站高跨软导线耐张线夹欠压缺陷分级

	II	平均欠压深度 ≥50%凹槽深度	在检测现场处理或尽快停电处理
	I	30%凹槽深度≤平均欠压深度<50% 凹槽深度	可不处理，特殊线路区段应尽快处理
	合格	平均欠压深度<30% 凹槽深度	可不处理

平均欠压深度=各槽欠压深度之和/凹槽数量。

11 记录和报告

检测报告应包括检测日期，检测作业方式，检测人员，检测系统及其技术参数，检测参数，耐张线夹所处构架名称、方位、分裂号，X 射线成像图像及其描述，检测结论等基本信息。耐张线夹所处位置分布典型示意图见附录 B。单个耐张线夹 X 射线的分项检测报告可参照附录 C 执行。

11.1 构架的命名

宜以平面布置图上构架的相对位置为参考，自编号命名为#1~#N 号构架（并画示意图）。不宜用设备名称如（隔离开关 QS、地刀 QE、电流互感器 CT、电压互感器 PT、避雷器 B）上方命名。新建变电站的现场构架代号命名（如新建 500kV 变电站的钢构架有挂牌编号）。

11.2 构架参考方位选择

宜以平面布置图的方位（如北向、南向等）为参考。不宜以平面布置图的建筑物（如变电站大门，主控室等）为参考。

11.3 耐张线夹分裂号命名规则

11.3.1 套管/单导线

按其相序区分（A/B/C 三相）。

11.3.2 水平双分裂布置

从待检测的耐张线夹侧面向构架，左 1 右 2。

11.3.3 垂直双分裂布置

从待检测的耐张线夹侧面向构架，上 1 下 2。


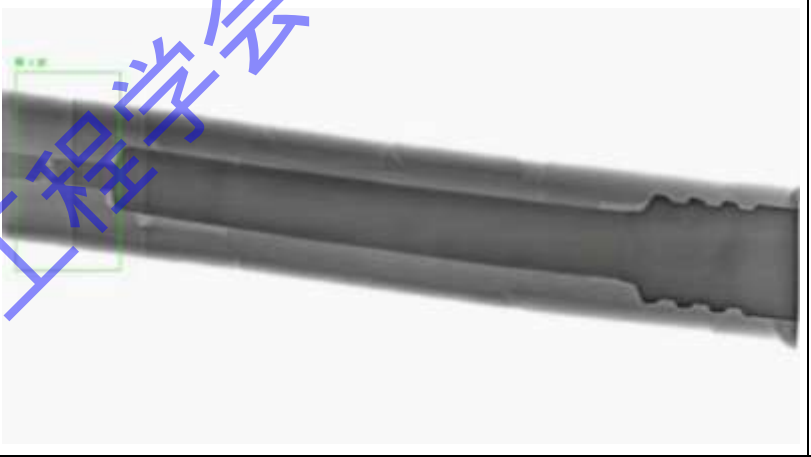
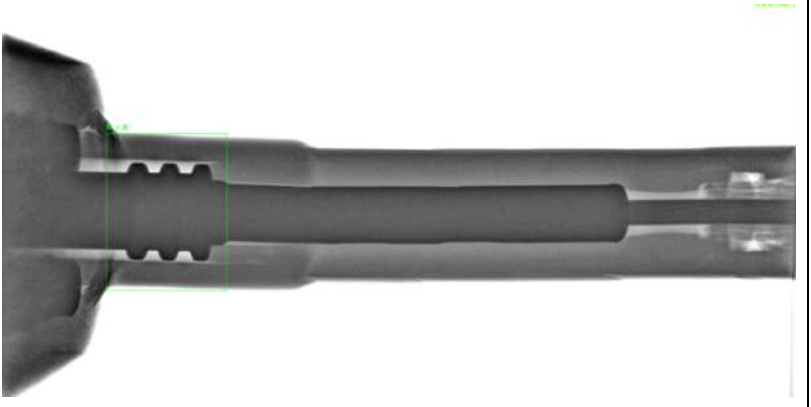
11.3.4 四分裂导线

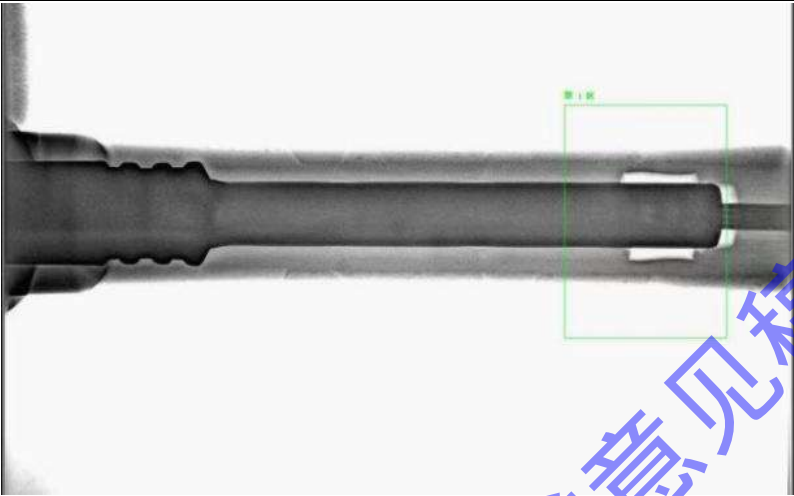
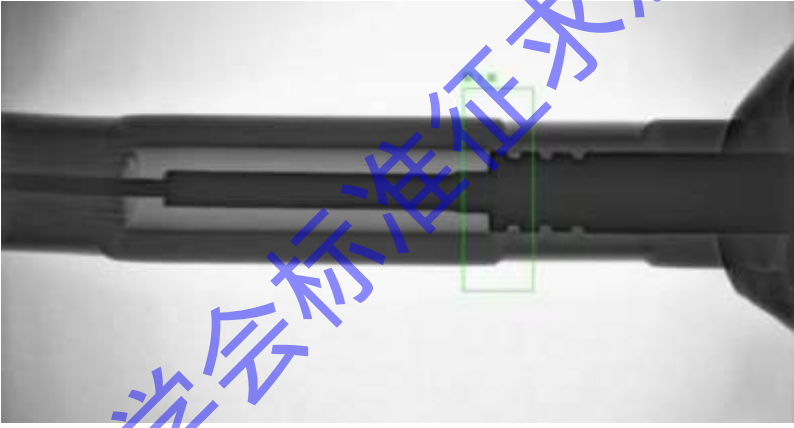
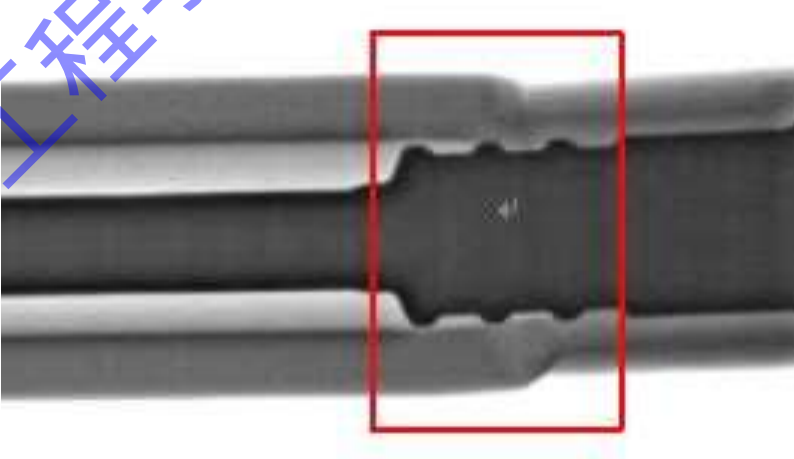
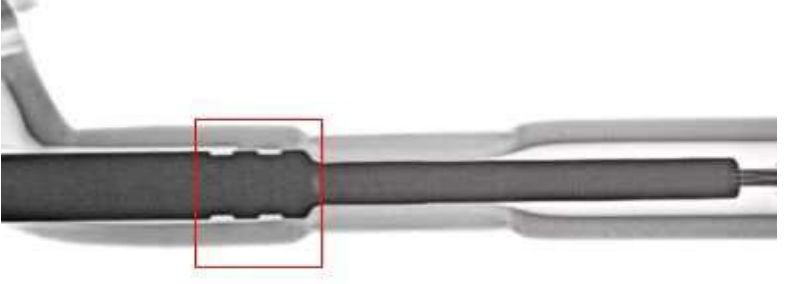
从待检测的耐张线夹侧面向构架，左上为 1，左下为 2，右下为 3，右上为 4，与输电线路 4 分裂导线命名规则一致。

中国机械工程学会标准征求意见稿

附录 A
(资料性附录)

35kV 及以上变电站高跨软导线耐张线夹典型缺陷图谱

表 A.1 35kV 及以上变电站高跨软导线耐张线夹常用型号				
序号	电压等级	耐张线夹型号	X 射线检测图片示例	缺陷描述
1	500kV	扩径软导线 LGKK-600		钢丝 断股
2	500kV	NYZ-1440/ 120N		钢芯 断裂
3	500kV	NYZ-1440/ 120N		漏压 2 槽

4	500kV	NY-800/50 BG		钢芯 断裂
5	220kV	NY-630/45 BG		漏压 1槽
6	220kV	NY-400/35		漏压 2槽
7	110kV	NY-300/40 BG		漏压 2槽

附录 B
(资料性附录)

高跨软导线构架名称及耐张线夹典型示意图

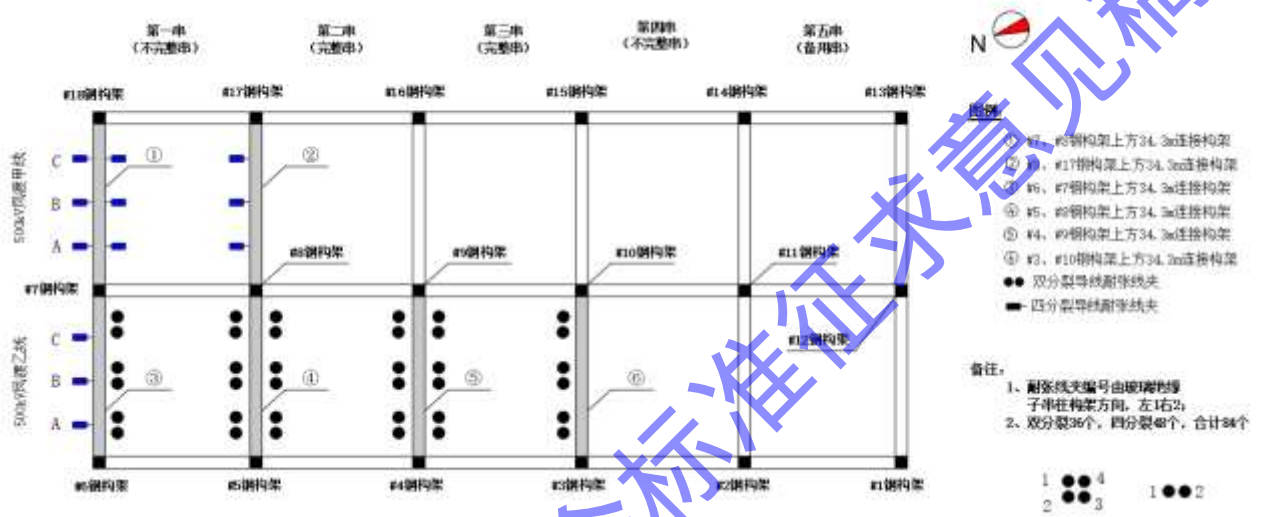


图 B.1 500kV 高压场 34.3m 构架耐张线夹示意图

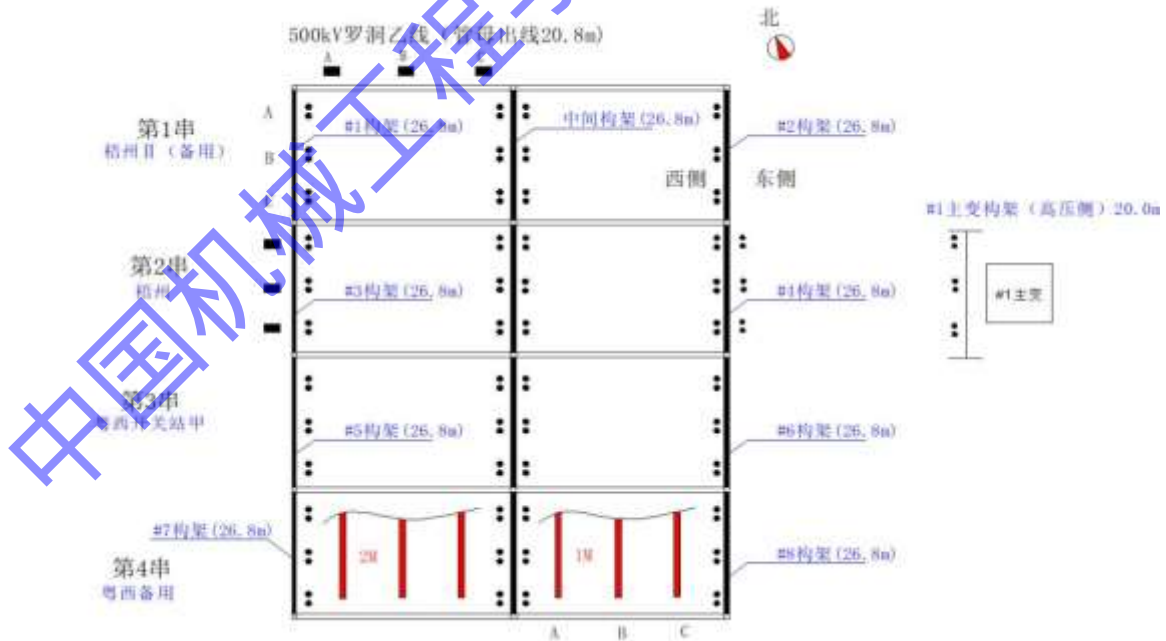


图 B.2 500kV 高压场 20.8m 构架耐张线夹示意图



图 B.3 500kV 高压场 26.8m 构架耐张线夹示意图

附录 C

(资料性附录)

变电站高跨软导线耐张线夹 X 射线数字成像检测报告

变电站名称		构架名称	
金具类型		金具型号	
方位		相别	
分裂号		检测日期	
成像系统类型		脉冲个数(次/秒)	
曝光时间 (s)		焦距 (mm)	
检测图像及解读:			
缺陷描述:			
结论:			
检测:		日期:	年 月 日
审核:		日期:	年 月 日
批准:		日期:	年 月 日

参考文献

[1] GB EEEE XXXXXXXXXX XX XXX
XXXX XXXXXXXXXXXXX.

[2]

中国机械工程学会标准征求意见稿