



# 中华人民共和国电力行业标准

DL/T 298 — 2011

---

## 发电机定子绕组端部电晕检测与 评 定 导 则

Guide for detection and evaluation of corona defects on  
stator winding overhangs of generator



2011-07-28 发布

2011-11-01 实施

---

国家能源局 发布

## 目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 检测的一般步骤和原则	2
5 检测前的准备	3
5.1 对被检测电机的要求	3
5.2 对检测环境的要求	3
5.3 检测设备和资料	3
5.4 检测前的准备	3
5.5 加压方式和测试电压	3
6 日盲型紫外成像装置检测程序	3
6.1 检测步骤	3
6.2 检测结果和记录	4
7 暗室下目测法的检测程序	4
7.1 检测步骤及电晕位置的标记	4
7.2 检测结果和记录	5
8 紫外成像装置检测结果的评定	5
8.1 根据光子数确定的电晕等级及检修方式	5
8.2 电晕图谱的分类	6
8.3 不同距离下测量光子数的折算	6
9 暗室目测法检测结果的评定	6
附录 A (规范性附录) 日盲型紫外成像装置的标定	7
附录 B (资料性附录) 电晕检测结果及评定标准示例	9
附录 C (规范性附录) 典型的端部电晕图谱	10

## 前 言

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业电机标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：华北电力科学研究院有限责任公司、大唐国际发电股份有限公司、中国大唐集团公司、辽宁电力科学研究院、山东电力研究院、陕西电力科学研究院、安徽电力科学研究院、四川电力科学研究院、云南电力科学研究院。

本标准主要起草人：王劲松、白亚民、白恺、曾芳、孙维本、孙树敏、王建军、李晓霞、盛明珺、江建明、崔志刚。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

## 引 言

本标准是根据《国家发展改革委办公厅关于印发 2007 年行业标准修订、制定计划的通知》（发改办工业〔2007〕1415 号）的安排制定的。

近些年来，由于发电机定子绕组防晕层和绝缘存在缺陷，运行中频繁出现定子绕组端部严重电晕、放电甚至绝缘损坏的情况。为了有效查找发电机定子绕组端部的电晕缺陷位置，判别其严重程度，提高发电机检修中提前发现和处理缺陷的能力和水平，特制定本标准。

本标准给出了用日盲型紫外成像装置和暗室目测法对发电机定子绕组端部电晕和放电缺陷进行查找的试验步骤，并推荐了相应的评定标准。对检查绕组端部电晕的其他方法，如脉冲电流法、局部放电法、电磁辐射法、声波探测法等，因研究尚不够充分，本次颁布的标准中均未对其作出规定，但随着研究的深入和成熟，不排除这些方法进一步形成标准的可能。

# 发电机定子绕组端部电晕检测与评定导则

## 1 范围

本标准规定了使用日盲型紫外成像装置和暗室目测法对发电机定子绕组端部进行电晕检测的方法和评定的标准。

本标准适用于定子额定电压在 10.5kV 及以上的发电机。

其他旋转电机也可参照执行。

## 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 2900.25—2008 电工术语 旋转电机

GB/T 7354—2003 局部放电测量

GB/T 20160 旋转电机绝缘电阻测试

GB/T 20833—2007 旋转电机定子线棒及绕组局部放电的测量方法及评定导则

DL 408 电业安全工作规程（发电厂和变电所电气部分）

DL/T 596 电力设备预防性试验规程

JB/T 8439 高压电机使用于高海拔地区的防电晕 技术要求

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

### 3.1

**绕组端部 winding overhang**

绕组中伸出铁芯两端之外的部分。

[GB/T 2900.25—2008, 定义 411-38-08]

### 3.2

**表面电晕 surface corona**

在绝缘较差或局部电场过于集中的绝缘表面，因气体电离出现的局部放电。表面电晕通常伴随发光和噪声。本标准中提到的电晕，均特指表面电晕。

### 3.3

**电晕起始试验 corona inception test**

测量绝缘层外表面出现局部放电时的最低电压的试验。

### 3.4

**端部防晕涂层 stress control coating**

在高压电机的定子线棒和绕组上，从槽部低阻层向端部延伸出来的用于主绝缘外面的涂层或带。防晕层部分搭接在低阻层上，在两者之间应有一个良好的电气接触，以形成一个均匀的电场。

[GB/T 20833—2007, 定义 3.4]

### 3.5

**日盲型紫外成像装置 daytime corona detector**

所探测的紫外线的波长在 240nm~280nm（自然光内不包含这个波长的紫外线）之间的紫外成像装

置。它还应具有能使电晕产生的紫外光和被测物视频影像迭加在一起的能力。

3.6

光子数  $N$  photon count  $N$

紫外探测装置接收到的紫外光经过一系列的放大后得到的数值，即日盲型紫外成像装置用来表明与电晕强度相关的紫外光强度的量，单位为光子数/分或光子数/秒。

3.7

测量增益  $K$  measurement gain  $K$

为了测量对应不同电晕强度时的紫外光，紫外成像装置利用各种电子器件对所探测的紫外光进行放大，不同的放大强度对应不同的测量增益。应对测量增益进行归一化处理，最大的测量增益对应的数值为 100%，最小增益所对应的数值为 0%。

3.8

起始电晕光子数  $N_c$  photon count of corona inception  $N_c$

紫外成像装置探测到的电晕起始试验中所对应的光子数。

3.9

测试背景光子数  $N_b$  photon count of corona background  $N_b$

在没有对试品加压的情况下，紫外成像装置探测到的试品表面的紫外光子数。

3.10

电晕饱和强度  $D$  saturation intensity of corona  $D$

表征电晕所产生部位的电晕强度。以对同一电晕强度测量时最大测量光子数所对应的测量增益  $K$  进行归一化后的倒数作为电晕饱和强度的表示方法，其值为测量增益  $K$  的倒数。 $D=1/K$ 。

3.11

暗室目测法 blackout test

在遮挡住可见光的环境下，通过肉眼观察可见光来判断被加压试品表面产生电晕的试验。

4 检测的一般步骤和原则

在使用日盲型紫外成像装置或暗室目测法时，应根据查找定子绕组端部表面电晕的位置的不同，将检测分为以下两个阶段：

- a) 第一阶段查找端部绕组同相内和相绕组对地的电晕，此时应特别关注下列部位：
  - 1) 端部防晕涂层以及定子线棒出槽口位置。
  - 2) 绕组与端部压板、压环、压指之间。
  - 3) 端部支撑环、绑绳周围。
  - 4) 绕组汇流排、出线与周围的支撑件之间。
  - 5) 测量元件（热电阻、热电偶及其他监测设备）的引出电缆周围。
- b) 第二阶段查找异相间的电晕。在此阶段，应忽略第一阶段所发现的同相内电晕和相绕组对地的电晕，而只检测相邻相间处的电晕。

第一阶段和第二阶段所施加的电压不同，测试电压值详见表 1。

表 1 测试电压

电机冷却类型	测试电压	
	第 一 阶 段	第 二 阶 段
空气冷却	$1.1U_n/\sqrt{3}$	$1.1U_n$
氢气冷却	$U_n/\sqrt{3}$	$U_n$
注 1：其中 $U_n$ 为电机的额定线电压；		
注 2：当海拔高度超过 1000m 时，试验电压值应按照 JB/T 8439 进行修正		

## 5 检测前的准备

### 5.1 对被检测电机的要求

应按照 GB/T 20160 对被检测电机进行绝缘电阻测试，测试结果应符合 GB/T 20160 和 DL/T 596 中的相关规定。

应在电晕检测前对被检测电机端部的绕组表面进行污秽清理。若需要了解绕组端部在脏污情况下的电晕情况，亦可在污秽清理前进行检测，但此时的检测结果不宜按照本标准中的相关条款进行评价。

### 5.2 对检测环境的要求

检测时的环境温度应处于  $5^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度应小于 80%。当环境温度和湿度不在此范围内时，应在评估时考虑其对测量数据和测量结果的影响。

在使用日盲型紫外成像装置进行检测时，宜在没有阳光直射的自然光下进行。当需要采用人工辅助光源进行照明时，应在加压前使用紫外成像设备对被检测部位进行扫描。在探测的最大增益下，测试背景光子数  $N_c$  应不大于日盲型紫外成像装置标定时最大增益下的起始电晕光子数  $N_c$  的 5%。

### 5.3 检测设备和资料

检测设备和资料应符合下列要求：

- 发电机定子绕组展开图：用于确定定子绕组相带位置，并标注电晕缺陷的位置和区域。
- 工频加压设备：满足将被检测的发电机单相长时间加压至表 1 所规定的试验电压。
- 2m 的绝缘棒：绝缘棒应符合 DL 408 中关于绝缘工具的要求，并按照要求进行了预防性试验。绝缘棒的把手处应有可靠的接地线。绝缘棒前端可固定有记号笔，以利于检测中标记电晕位置。
- 激光笔：用来准确定位电晕点。
- 当使用日盲型紫外成像装置进行检测时，应事先对所用的日盲型紫外探测装置按照附录 A 中规定的方法进行标定。
- 当使用暗室下目测法进行检测时，应有发电机端部遮盖设施，其遮盖效果应满足被检测的电机端部亮度足够低，并有足够空间以保证暗室中观察人员与加压绕组之间有足够的操作距离。

### 5.4 检测前的准备

应根据绕组展开图，用记号笔在线圈的出槽口处标记线圈的编号相间位置。

将定子绕组的所有测温元件、定子绕组的振动传感器等附加测量元件在引出端子箱处短接接地。

发电机定子绕组应具备交流耐压的试验条件。

### 5.5 加压方式和测试电压

相关操作应符合 DL 408 中关于高压试验的相关规定。

当同一相有多个分支时，应将所有的分支并联同时加压。

在按照第 4 章规定的检测第一阶段，按照表 1 施加测试电压时，可以分相加压，非加压相接地，也可以三相并联同时加压。

在按照第 4 章规定的检测第二阶段，按照表 1 施加测试电压时，此时应分相加压，非加压相接地。

任一检测阶段升压过程中，当所加电压达到最高试验电压的 75% 时，应以最高试验电压的 5% 分段加压。加压过程中，一旦出现严重的放电现象时，应立即降低电压并停止检测。

由于被测电机个体间的差异和试验过程所遇情况的不确定性，不宜对试验持续时间做统一规定。考虑一般试验持续时间远比耐压试验时间更长，为确保试验人身和设备的安全，应有专门人员监视加压设备的状态，如发生过热、异味、异音、放电等异常，应及时降低电压并停止检测。

## 6 日盲型紫外成像装置检测程序

### 6.1 检测步骤

检测步骤应符合下列要求：

a) 确定检测距离。

日盲型紫外成像装置检测距离应按照标定的距离来确定。推荐的标定和检测距离为 2m。

日盲型紫外成像装置至绕组端部被检测部位的直线距离就是检测距离。应将检测距离记录在数据表中。

b) 确定检测角度。

为防止电晕部位被端部紧固结构件遮挡，当查找电晕点时，应在保持检测距离的同时，变换紫外成像装置观察角度进行检测。不同角度对应的电晕测量光子数可能会有所不同，该电晕点的最大测量光子数所对应的角度即为最佳检测角度。

c) 记录电晕强度。

保持该电晕点所对应的最佳检测角度并稳定测量 1min，若此段时间内测量光子数波动在±5%范围，应记录这 1min 的最大光子数  $N$ ，即为此电晕点的电晕强度。

在电晕强度较大时，还应同时逐渐减小紫外探测装置的增益，记录最大的光子读数和其所对应的增益。

d) 标记电晕位置。

查找到端部电晕位置并记录电晕强度和增益后，应使用激光笔指定该位置，并用前端固定有记号笔的绝缘棒圈定电晕位置。之后，应将电晕位置在端部绕组展开图中进行标注和编号，同时还应在记录表中记录相关数据。

对于具有摄录功能的日盲型紫外成像仪，还应将电晕图像进行记录，以便与典型电晕图谱进行比对和存档。

完成 6.1 中 b) ~d) 步骤后，即可开始下一个电晕点的查找。

6.2 检测结果和记录

检测结果和档案应包括电晕检测数据表（见表 2）、端部标记照片（参见图 B.1）、相应的电晕摄录结果以及标有电晕位置及编号的定子绕组展开图。

表 2 日盲型紫外成像装置检测记录表

检测时间		环境温度 ℃		环境湿度 %	
检测阶段	<input type="checkbox"/> 第一阶段 或 <input type="checkbox"/> 第二阶段				
检测位置	<input type="checkbox"/> 驱动端 或 <input type="checkbox"/> 非驱动端				
测试电压 kV		加压相别		背景光子数 $N_e$	
序列号	测量光子数 $N$	测量增益 %	测量距离 m	绕组展开图中 对应编号	对应的电晕 图像编号
1					
2					
3					

7 暗室下目测法的检测程序

7.1 检测步骤及电晕位置的标记

加压前，应做好安全防护措施，并在加压绕组和测试人员间装设隔离带。隔离带和加压绕组之间的距离应符合 DL 408 中的相关规定。

检测人员应至少 2 人。在所观测的暗光条件下应停留至少 10min，直至眼睛完全适应暗室下的亮度方可加压。



试验时，在经至少 2 名试验人员确认后，应使用激光笔对准电晕位置，并用固定有记号笔的绝缘棒在相应位置作出标记，同时在绕组展开图的相应位置进行标注和编号。还应在数据记录表中记录检测结果。

每次标记并熄灭激光笔后，试验人员应需要至少 10min 重新适应暗室下的亮度，之后再开始查找其他电晕位置。

可以通过升压后定子绕组端部的放电声音来辅助查找放电位置。

7.2 检测结果和记录

检测结果和记录应包括电晕检测记录表（见表 3）、端部标记照片（参见图 B.1）及标有放电位置及编号的定子绕组展开图。

表 3 暗室目测法检测记录表

检测时间		环境温度 ℃		环境湿度 %	
检测阶段	<input type="checkbox"/> 第一阶段 或 <input type="checkbox"/> 第二阶段				
检测位置	<input type="checkbox"/> 驱动端 或 <input type="checkbox"/> 非驱动端				
测试电压 kV		加压相别			
序列号	端部标记编号		绕组展开图中对应的编号		
1					
2					

8 紫外成像装置检测结果的评定

8.1 根据光子数确定的电晕等级及检修方式

8.1.1 第一阶段（同相内电晕）的检测 results 及检修方式见表 4。

表 4 第一阶段（同相内电晕）的检测 results 及检修方式

检测电压	光子数 $N$	检 修 方 式
$1.1U_n/\sqrt{3}$ （空冷）或 $U_n/\sqrt{3}$ （氢冷）	$N \leq 2N_c$	合格，本次检修时不需进行处理
	$N > 2N_c$	本次检修时应进行处理
注： $N_c$ 为测试背景光子数		

8.1.2 第二阶段（异相间电晕）的检测 results 及检修方式见表 5。

表 5 第二阶段（异相间电晕）的检测 results 及检修方式

检测电压	光子数 $N$	电晕饱和强度 $D$	检 修 方 式
$1.1U_n$ （空冷）或 $U_n$ （氢冷）	$(N - N_c) < N_c$	—	合格，本次检修时不需进行处理
	$N_c \leq (N - N_c) \leq 4N_c$	1~1.09	在现场条件具备时，应进行处理，若条件不具备，应在下次检修时进行复测
	$N_c \leq (N - N_c) \leq 4N_c$	>1.1	本次检修时需要进行处理
	$(N - N_c) > 4N_c$	—	本次检修时需要进行处理
注 1： $N_c$ 为按照附录 C 进行标定的起始电晕光子数； 注 2：若实测的 $N_c$ 远小于 $N_c$ 的 5%，上式中可用 $N$ 代替 $(N - N_c)$			

8.2 电晕图谱的分类

8.2.1 电晕集中

电晕强度较大而涉及面积较小的情况下，探测图像将表现为集中的团状电晕放电影像（见图 C.1）。这时紫外探测装置显示的电晕辐射光子数读数可能反而较小。这种情况是紫外探测装置在高增益下常出现的饱和现象。此时可将增益逐步减小，使显示的测量光子数随增益减小而升高达到最大值。

电晕集中属于严重的电晕缺陷，因该区域局部放电强度较大，可能对绝缘造成损伤，即使因电晕面积较小使探测到的电晕光子数不超过 8.1 节所规定的数值，一般也应进行处理。

8.2.2 电晕分散

电晕的强度不大但电晕范围较大的情况，表现为紫外成像仪探测的电晕亮度不大，图像成点状，电晕点不是很密集（见图 C.2）。此时若将增益逐步减小，探测的电晕光子数随增益的减小而单调减小。

在电晕分散的情况下，电晕对绝缘造成损坏的可能性较小，如果光子数不超过 8.1 节所规定的范围，可暂不进行处理。

8.3 不同距离下测量光子数的折算

如果所记录光子数的距离与标定时距离不相同，则需要将测量光子数折算至所标定的距离。

在一定的电晕强度下，紫外探测装置所探测的光子数与距离有一定的函数关系（日盲型紫外成像装置的光子数与测量距离的典型关系参见图 B.2）。为了求得此函数，需要在某一电晕强度和增益下，实际测量 2 个~3 个不同距离下的紫外探测装置的光子数，然后进行曲线拟合。在电机电晕检测采用的 1m~4m 的距离范围内，因距离变化较小，宜采用简单的线性拟合，足以满足工程实测需要。

也可通过在实测曲线中进行线性插值来进行计算。

9 暗室目测法检测结果的评定

暗室目测法评定标准见表 6 和表 7。

表 6 第一阶段（同相内电晕）的检测结果及检修方式

检测电压	目视结果	建议处理方法
$1.1U_n/\sqrt{3}$ （空冷）或 $U_n/\sqrt{3}$ （氢冷）	无亮点和火花	合格，本次检修时不进行处理
	有亮点和火花	本次检修时应进行处理

表 7 第二阶段（异相间电晕）的检测结果及检修方式

检测电压	目视结果	建议处理方法
$1.1U_n$ （空冷）或 $U_n$ （氢冷）	无亮点和火花	合格，本次检修时不进行处理
	有间断出现的金黄色亮点， 无连续晕带	在现场条件具备时，应进行处理，若条件不具备，应在下次检修时进行复测
	有明显的金黄色亮点、稳定的火花或连续晕带	本次检修时应进行处理

## 附录 A (规范性附录)

### 日盲型紫外成像装置的标定

#### A.1 标定环境和仪器的要求

日盲型紫外成像装置标定时环境温度应处于  $5^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度小于 80%。应在局部放电背景干扰小于 10pC 的无局放试验室进行标定。标定时，应记录环境温度、环境湿度和背景干扰。

标定时应选用宽带局部放电测试仪，局部放电测试仪的要求和标定遵照 GB/T 7354《局部放电测量》中所规定的方法进行。

标定时应采用无局放的工频加压装置，局放值应小于 100pC。

#### A.2 标定的原则

选取 2 根~3 根表面清洁、绝缘良好、防晕层没有损坏的发电机备品线棒作为试品，进行日盲型紫外成像装置起始电晕光子数  $N_c$  的标定。

通过电晕起始试验，在线棒端部模拟产生电晕的情况，用局部放电测试仪辅助确定已发生电晕或放电。当局部放电测试仪检测到的重复出现的最大局放值达到 1500pC 时，即认为线棒表面已经出现了明显的电晕，记录日盲型紫外成像装置的电晕光子数，即为起始电晕光子数  $N_c$ 。

为了减小测量误差，应对多次测量的数据按统计规律进行处理。

#### A.3 标定时的电气接线

在距离试品线棒端部铜导体 10 cm 处的绝缘圆周处，均匀缠绕一根细的裸铜线，并可靠接地。线棒其余部位用绝缘强度高于线棒绝缘等级 5 倍以上的绝缘物（如支柱绝缘子），将线棒与地有效绝缘。应确保线棒的铜导体牢固接至升压装置的高压端。

局部放电测试仪、试品线棒、加压设备以及支撑绝缘子的接线如图 A.1 所示。

#### A.4 标定距离

标定距离依据日盲型紫外成像装置探测试验时的常用距离来确定。考虑到紫外光的衰减，标定和探测的推荐距离为 2m。

#### A.5 标定步骤

按照图 A.1 接线并布置好日盲型紫外成像装置后，以线棒额定电压的 2% 为一个步长，逐步升高电压，直至出现明显的稳定局部放电。当局部放电测试仪显示重复出现的最大局放值  $Q=1500\text{pC}\pm 100\text{pC}$  时，认为此时端部已经发生了明显的电晕或端部放电。在需要标定的距离处，调整日盲型紫外成像装置的测量角度，使测量的光子数读数为最大，稳定测量位置，读取紫外光子数。应将线棒接地点处的 4 个面都扫描到。在 1min 内，若光子数的变化不超过读数的 5% 时，记录光子数数值即为第 1 次测量的起始电晕光子  $N_{c1}$ 。

对其余线棒（或同一根线棒）重复上述步骤，测取第  $i$  次试验的起始电晕光子  $N_{ci}$ 。为了减小测量误差，标定试验次数  $i$  应大于等于 50。

如果需要不同增益下的起始电晕光子数，可逐渐调节增益，记录在不同增益下测量紫外光子数，即该日盲型紫外成像装置在不同增益下的起始电晕光子数。

最常用的是最大增益下的起始电晕光子数  $N_c$ 。

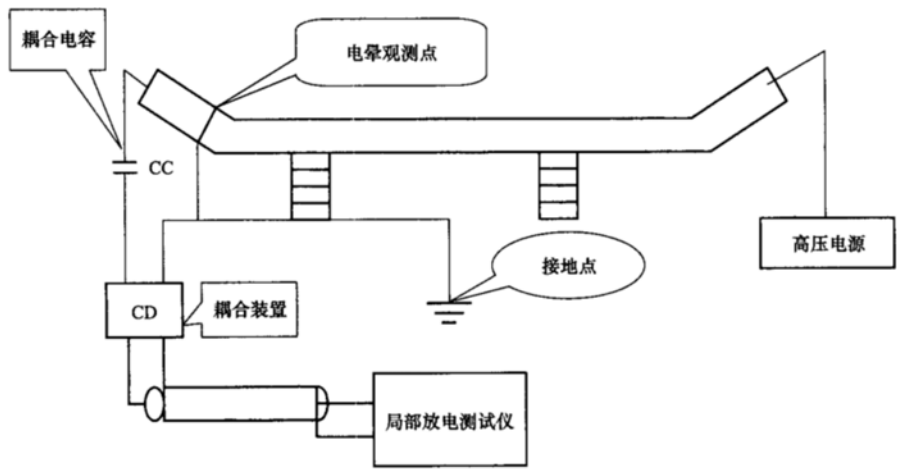


图 A.1 标定接线图

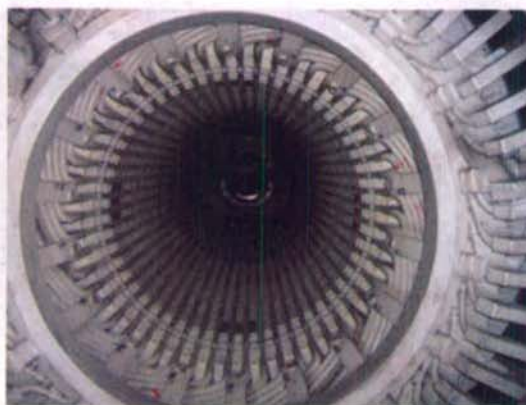
### A.6 标定数据的处理

根据统计规律，利用所测量的数据  $N_{c,i}$ ，得出 95% 置信空间的光子数范围  $[N_{cL}, N_{cH}]$ 。  
最终的起始电晕光子  $N_c = N_{cH}$ 。

日盲型紫外成像装置标定后，不需每次试验前再进行标定，但建议每两年重新进行一次标定。

## 附录 B (资料性附录)

### 电晕检测结果及评定标准示例



注：端部电晕位置已用记号笔标出。

图 B.1 某台进行电晕探测后进行标注的汽轮发电机端部图

表 B.1 某种型号紫外成像装置的评定标准（探测的第二个阶段）

测量距离 m	光子数 $N$ 光子/s	电晕饱和强度 $D$	建议处理方法
2	$(N - N_e) < 100$	—	不需进行处理
2	$100 \leq (N - N_e) \leq 900$	1~1.09	在现场条件具备时，应进行处理；若条件不具备，应在下次检修时需进行复测
2	$100 \leq (N - N_e) \leq 900$	$\geq 1.1$	需要本次检修时进行处理
2	$(N - N_e) > 900$	—	需要本次检修时进行处理

注 1:  $N_e$  为测试背景光子数；  
注 2: 在测试背景光子数背景  $N_e$  远小于 900 的情况下，可用  $N$  代替  $(N - N_e)$

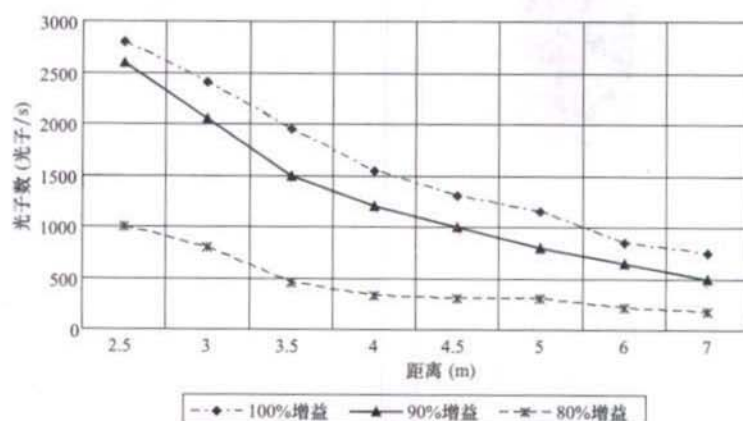


图 B.2 紫外成像装置的光子数与测量距离（2m~7m）的关系



附录 C  
(规范性附录)  
典型的端部电晕图谱



图 C.1 电晕较集中的情况



图 C.2 电晕强度较小、面积较大的情况



中 华 人 民 共 和 国  
电 力 行 业 标 准  
发电机定子绕组端部电晕检测与  
评 定 导 则

DL/T 298—2011

\*

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京博图彩色印刷有限公司印刷

\*

2011年10月第一版 2011年10月北京第一次印刷

880毫米×1230毫米 16开本 1印张 24千字

印数 0001—3000册

\*

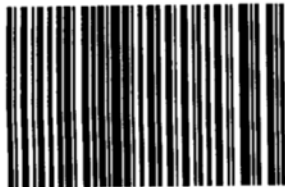
统一书号 155123·692 定价 9.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



155123.692

上架建议：规程规范/  
电力工程/火力发电