

GB

中国

国家

标准

汇编

541

GB 28547~28567

(2012年制定)



中国标准出版社

T-652.1
1015-(541)

T-652.1
1015-(541)/



NUAA2014016860

中国国家标准汇编

541

GB 28547~28567

(2012 年制定)

中国标准出版社 编



中国标准出版社

北 京

2014016860

图书在版编目(CIP)数据

中国国家标准汇编:2012 年制定.541:
GB 28547~28567/中国标准出版社编. —北京:
中国标准出版社,2013.11
ISBN 978-7-5066-7272-6

I. ①中… II. ①中… III. ①国家标准-
汇编-中国-2012 IV. ①T-652.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 186309 号

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100013)
北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 36.25 字数 1 100 千字
2013 年 11 月第一版 2013 年 11 月第一次印刷

*

定价 220.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107

0386103105

出版说明

1.《中国国家标准汇编》是一部大型综合性国家标准全集。自 1983 年起,按国家标准顺序号以精装本、平装本两种装帧形式陆续分册汇编出版。它在一定程度上反映了我国建国以来标准化事业发展的基本情况和主要成就,是各级标准化管理机构,工矿企事业单位,农林牧副渔系统,科研、设计、教学等部门必不可少的工具书。

2.《中国国家标准汇编》收入我国每年正式发布的全部国家标准,分为“制定”卷和“修订”卷两种编辑版本。

“制定”卷收入上一年度我国发布的、新制定的国家标准,顺延前年度标准编号分成若干分册,封面和书脊上注明“20××年制定”字样及分册号,分册号一直连续。各分册中的标准是按照标准编号顺序连续排列的,如有标准顺序号缺号的,除特殊情况注明外,暂为空号。

“修订”卷收入上一年度我国发布的、被修订的国家标准,视篇幅分设若干分册,但与“制定”卷分册号无关联,仅在封面和书脊上注明“20××年修订-1,-2,-3,……”字样。“修订”卷各分册中的标准,仍按标准编号顺序排列(但不连续);如有遗漏的,均在当年最后一分册中补齐。需提请读者注意的是,个别非顺延前年度标准编号的新制定的国家标准没有收入在“制定”卷中,而是收入在“修订”卷中。

读者配套购买《中国国家标准汇编》“制定”卷和“修订”卷则可收齐由我社出版的上一年度我国制定和修订的全部国家标准。

3. 由于读者需求的变化,自 1996 年起,《中国国家标准汇编》仅出版精装本。

4. 2012 年我国制修订国家标准共 2 101 项。本分册为“2012 年制定”卷第 541 分册,收入国家标准 GB 28547~28567 的最新版本。

中国标准出版社

2013 年 8 月

目 录

GB/T 28547—2012	交流金属氧化物避雷器选择和使用导则	1
GB/T 28548—2012	核电厂主回路水压试验技术导则	97
GB/T 28549—2012	核电厂调试阶段核岛管道与主设备支吊装置验证要求	103
GB/T 28550—2012	核电厂调试阶段管道验证要求	111
GB/T 28551—2012	核电厂离心泵组调试技术导则	119
GB/T 28552—2012	变压器油、汽轮机油酸值测定法(BTB法)	125
GB/T 28553—2012	汽轮机 蒸汽纯度	131
GB/T 28554—2012	工业机械电气设备 内带供电单元的建设机械电磁兼容要求	143
GB/T 28555—2012	废电器电子产品回收处理设备技术要求 制冷器具与阴极射线管显示 设备回收处理设备	183
GB/T 28556—2012	煤矿通风机用隔爆兼本质安全型变频调速控制器	191
GB/T 28557—2012	电力企业节能降耗主要指标的监管评价	217
GB/T 28558—2012	超临界及超超临界机组参数系列	228
GB/T 28559—2012	超临界及超超临界汽轮机 叶片	235
GB/T 28560—2012	船舶电气设备 小船	253
GB/T 28561—2012	船舶电气设备 专辑 控制和测量仪表	289
GB/T 28562—2012	YVF 系列变频调速高压三相异步电动机技术条件(机座号 355~630)	337
GB/T 28563—2012	±800 kV 特高压直流输电用晶闸管阀电气试验	357
GB/T 28564—2012	电工电子设备机柜 模数化设计要求	391
GB/T 28565—2012	高压交流串联电容器用旁路开关	401
GB/T 28566—2012	发电机组并网安全条件及评价	496
GB/T 28567—2012	电线电缆专用设备技术要求	545



中华人民共和国国家标准

GB/T 28547—2012

交流金属氧化物避雷器选择和使用导则

Selection and application recommendations
of metal oxide surge arresters for a. c. systems

(IEC 60099-5:2000, NEQ)

2012-06-29 发布

2012-11-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会

发布

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准使用重新起草法参考 IEC 60099-5:2000《避雷器 第 5 部分:选择和使用导则》和 IEC 37/361/CD (IEC 60099-5 Ed 2.0:2009),并结合我国的实际情况起草。文本结构与 IEC 60099-5 Ed 2.0 相同,但内容作了许多修改,与 IEC 60099-5:2000 的一致性程度为非等效。

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由全国避雷器标准化技术委员会(SAC/TC 81)归口。

本标准负责起草单位:中国电力科学研究院、国网电力科学研究院、西安高压电器研究院有限责任公司。

本标准参加起草单位:西安交通大学、东北电力科学研究院有限公司、广东电网公司电力科学研究院、陕西电力科学研究院、国家绝缘子避雷器质量监督检验中心、西安西电避雷器有限责任公司、南阳金冠电气有限公司、电科院东芝避雷器有限公司、深圳市银星电气股份有限公司、抚顺电瓷制造有限公司、中能电力科技开发有限公司、上海电瓷厂、温州益坤电器有限公司、重庆电力科学试验研究院。

本标准主要起草人:李启盛、王保山、王新霞、郭洁、陈立栋、颜文、钟定珠、张翠霞、谢秀余、王维州、张宝全、何计谋、龚正全、苏宁、熊易、车文俊、田恩文、张家骞、伍本才、徐学亭、朱树立、黄勇、程文怡、李凡、印华、张博宇、宋继军、刘飞。

交流金属氧化物避雷器选择和使用导则

1 总则

1.1 范围

本标准提出了标称电压大于 1 kV 的交流系统用避雷器的选择以及应用建议。这些建议适用于 GB 11032 中定义的交流无间隙金属氧化物避雷器,GB/T 28182—2011 中定义的额定电压 52 kV 及以下带串联间隙避雷器,以及 IEC 60099-8、DL/T 815—2002 和 JB/T 10497—2005 中定义的用于架空输电线路和配电线路的带串联外间隙金属氧化物避雷器。

GB 311.1 和 GB/T 311.2 中给出了电力系统绝缘配合的原则。绝缘配合是确保高压电网和变电站的设计和运行的安全性、可靠性、经济性以及风险管理的过程,使用避雷器使得系统和设备在一定的绝缘水平上,有一个可以接受的风险,并使经济损失最小。

引进分析模型和电力系统暂态仿真进一步优化设备绝缘水平的选择。在电力系统设计和运行中,避雷器的选择变得越来越重要,应当认识到:电力系统和设备的可靠性取决于用户在设计 and 选择设备以及避雷器时所选择安全裕度的大小。

避雷器残压是大多数用户选择避雷器时考虑的一个重点参数,GB 11032 给出了典型避雷器的最大残压,然而,对于某些系统,如果有更好的运行经验或者有更好性能的避雷器,可以按实际情况选择。

1.2 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 311.1 高压输变电设备的绝缘配合(GB 311.1—1997, neq IEC 60071-1:1993)

GB/T 311.2 绝缘配合 第 2 部分:高压输变电设备的绝缘配合使用导则(GB/T 311.2—2002, eqv IEC 60071-2:1996)

GB/T 311.4 绝缘配合 第 4 部分:电网绝缘配合及其模拟的计算导则(GB/T 311.4—2010, IEC 60071-4:2004, MOD)

GB/T 4585—2004 交流系统用高压绝缘子的人工污秽试验(IEC 60507:1991, IDT)

GB/T 6115.2—2002 电力系统用串联电容器 第 2 部分:串联电容器组用保护设备(IEC 60143-2:1994, IDT)

GB/T 7327—2008 交流系统用碳化硅阀式避雷器

GB 7674 额定电压 72.5 kV 及以上气体绝缘金属封闭开关设备(GB 7674—2008, IEC 62271-203:2003, MOD)

GB 11032—2010 交流无间隙金属氧化物避雷器(IEC 60099-4:2006, MOD)

GB/Z 24842—2009 1 000 kV 特高压交流输变电工程过电压和绝缘配合

GB/Z 24845—2009 1 000 kV 交流系统用无间隙金属氧化物避雷器技术规范

GB/T 26218.1—2010 污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定 第 1 部分:定义、信息和一般原则(IEC/TS 60815-1:2008, MOD)

GB/T 28182—2011 额定电压 52 kV 及以下带串联间隙避雷器(IEC 60099-6:2002, MOD)

DL/T 815—2002 交流输电线路用复合外套金属氧化物避雷器

JB/T 10497—2005 交流输电线路用复合外套有串联间隙金属氧化物避雷器

IEC 60099-8 避雷器 第 8 部分:交流 1 kV 以上架空输电和配电线路用带外串联间隙金属氧化物避雷器 (EGLA) (Surge arresters—Part 8: Metal-oxide surge arresters with external series gap (EGLA) for overhead transmission and distribution lines of a. c. systems above 1 kV)

IEEE 824—2004 电力系统中的串联电容器标准 (IEEE Standard for Series Capacitor Banks in Power Systems)

1.3 避雷器应用总则

本标准主要针对电力系统标称电压范围为:

范围 I:大于 1 kV,小于等于 220 kV;

范围 II:大于 220 kV。

对于范围 I 系统,当含有架空线时,设备的主要威胁是来自与其连接的架空线上出现的直击雷和感应雷。在不与架空线连接的电缆系统中,由故障或开关操作引起的过电压是最常见的,少数情况下也会产生感应雷过电压。对于范围 II 系统,除了范围 I 的影响因素外,随着系统电压的增高,操作过电压是重要的影响因素。过电压可能会导致设备的闪络和严重损坏,从而危及对用户的供电。用避雷器和绝缘之间恰当的配合来阻止这样的事故发生是十分重要的。因此,如果可能出现对设备有危害的雷电过电压或者高幅值操作过电压时,建议采用避雷器防护。

避雷器是系统的一个重要组成部分,其设计应当具有足够的可靠性,足以耐受在污秽或其他安装环境下的电压和通过它的电流。在每一个系统中避雷器承受的电压包括(见 GB 311.1):

- 工作电压;
- 暂时过电压;
- 缓波前过电压;
- 快波前过电压;
- 陡波前过电压(GIS 用)。

由操作产生的缓波前过电压对保护范围 II 的避雷器来说特别重要。

一般来说,设备得到最好的保护与采用较高的避雷器额定电压的要求是相互矛盾的,因此,选择适当的避雷器是一个优化过程,这一过程必须考虑系统和设备的各项参数,第 3 章绝缘配合和避雷器选择对这一过程进行了详细解释。

2 避雷器的发展过程、基本性能和应用

2.1 避雷器的发展

20 世纪 70 年代后期开始使用的金属氧化物避雷器(又称 MOA),已经被证明能够解决有间隙碳化硅(SiC)避雷器所不能解决的问题,避雷器的保护水平不再是一个统计参数,而是可以精确给出。与 SiC 避雷器相比, SiC 避雷器的放电电压易受到周围电场的影响,金属氧化物避雷器的保护功能不再受安装位置或者周围设备的影响。通过并联金属氧化物电阻片(又称 MOV),理论上可以满足任何能量需求。由于保护设备可处理极高能量已经成为可能,因此这种设计开创了一个新的应用领域,例如,电容器组可用多个 MOV 柱并联组成更高能量避雷器来保护。

起初一些 MOA 使用与电阻片串联或与部分电阻片并联的放电间隙。在一定程度上,这种设计主要是考虑电阻片材料的长期稳定性,使用串联或者并联放电间隙都可以降低电阻片的承受电压,另一个原因是为了获得比有间隙 SiC 避雷器更低的保护水平。

随着经验的增长,与旧的技术相比,取消间隙使得避雷器结构非常小巧、紧凑、运行可靠。另一方面,带外串联放电间隙 MOA(外串联间隙线路型避雷器,又称 EGLA)正在被越来越多地使用,这种避雷

器通常用以保护架空输电线路和配电线路,限制由雷电引起的快波前过电压,在缓波前过电压和暂时过电压下不动作。

从 20 世纪 80 年代至今 MOA 的设计技术得到长足发展,电阻片正朝着老化性能更优异、保护水平好(即残压更低)、最大持续运行电压更高、能量吸收能力更强以及通流能力更好的方向发展。

从 20 世纪 80 年代开始,复合外套避雷器已逐步取代瓷外套避雷器广泛应用于配电系统中,到 80 年代后期,复合外套避雷器已经越来越多地应用于 110 kV 甚至于 220 kV 的系统中,目前,复合外套避雷器已被认为能够应用于 500 kV 系统甚至于 1 100 kV、1 200 kV 的特高压系统。

早期的复合外套设计时使用 EPDM 橡胶作为绝缘材料,从 20 世纪 90 年代开始,越来越多的制造厂开始使用具有更好憎水性和耐污性的硅橡胶(SIR)做绝缘外套。

2.2 不同设计和类型的避雷器及其电气及机械特性

首先可以通过非线性电阻的类型(金属氧化物电阻片或碳化硅电阻片)来区分避雷器,金属氧化物非线性电阻片中的主要成分是 ZnO 。另一种区分方法是看其是否带有间隙,间隙可能在避雷器的外部或者内部,内间隙可能与所有非线性电阻片串联或者部分并联。另一个重要的不同是其外套技术,敞开式变电站(AIS)的避雷器可以用瓷外套,或者是各种不同设计的高分子聚合材料的复合外套,气体绝缘组合电器(GIS)避雷器使用金属封闭、内部充以高运行压力的 SF_6 气体,此外,对配电避雷器还存在许多其他的外套设计技术。这些不同的避雷器技术包含在下列标准中:

- 内串联间隙瓷外套 SiC 避雷器,GB/T 7327—2008;
- 所有类型外套的无间隙 MOA,GB 11032—2010;
- 具有内串联间隙的瓷外套或复合外套额定电压 52 kV 及以下配电 MOA,GB/T 28182—2011;
- 应用于架空输电线路或配电线路的带外间隙瓷外套或复合外套线路避雷器(EGLA),IEC 60099-8。

SiC 避雷器目前仍在少量使用,但是市场上已不会再提供,本导则仅针对 MOA。

现在新安装的保护变电站设备用避雷器绝大部分是无间隙 MOA,配电系统中主要使用的是复合外套 MOA,在输电系统中瓷外套避雷器仍然是常见的,但复合外套避雷器的市场份额正在逐渐扩大。

对敞开式变电站(AIS)绝大多数是户外型避雷器,而 GIS 避雷器只局限于保护 GIS 或其中的一部分。

从传统意义上来说,避雷器主要用来保护变电站设备,例如电力变压器、互感器,在某些情况下也可以保护进线断路器。一个比较新的应用是作为线路避雷器,线路避雷器可用于防止因雷击无架空地线线路或者有架空地线但是线路架空地线屏蔽失效(绕击)后导致的绝缘子闪络,或者由于雷击高接地电阻的杆塔或架空地线而引起的闪络(反击)。由于现在 MOA 具备很高的通流能力,使避雷器的进一步应用已经成为可能,避雷器可以很容易地做到多个金属氧化物电阻片柱并联(有时可高达一百多柱)。特殊设计结构的避雷器可以集成到电缆插件系统和配电开关装置中,也可以直接安装在变压器油箱内在油中运行。

2.2.1 无间隙金属氧化物避雷器

2.2.1.1 不同设计和类型

GB 11032—2010 中包括以下无间隙避雷器:

- 瓷外套避雷器;
- 复合外套避雷器;
- 气体绝缘金属封闭避雷器(GIS 避雷器);

- 分离型和外壳不带电型避雷器；
- 液浸式避雷器。

以上这些不同类型的避雷器在后面的章节中会有详细介绍。

2.2.1.2 瓷外套避雷器

瓷外套金属氧化物避雷器的功能部分是由不同的机械结构支撑的,叠加起来的金属氧化物电阻片柱组成。金属氧化物电阻片具有非线性伏安特性,可近似由公式 $I = K \cdot U^\alpha$ 式表示。其中 α 是非线性系数, α 的值取决于所选材料以及实际电压电流区域,一般在 5~50 之间。避雷器用金属氧化物电阻片通常为饼型或环型,直径大约在 20 mm~136 mm 范围内,高度可达 45 mm,几个电阻片柱可并联在一个外套中以增加能量吸收能力(通过增加体积和热容量),或者改善保护水平(在给定冲击电流水平下减小电流密度)。

避雷器的内部绝缘介质一般为氮气或者空气,如果介质是其他气体,例如 SF_6 ,应当按照 GB 11032—2010 的规定,在避雷器内填充实际介质条件下进行相关试验,并考虑是否可能有介质泄漏。这点对短路试验特别重要,因为气体的类型对避雷器的短路性能影响很大。因此,若避雷器内填充空气或氮气,则试验已无代表性。

瓷外套将避雷器功能元件与外部环境隔离,因此瓷外套必须具备以下方面的要求:

- 机械强度;
- 闪络距离;
- 爬电距离;
- 污秽条件下的特性;
- 防止湿气侵入的密封;
- 过载下压力释放能力。

一般避雷器外套(不限于瓷外套)的介电强度要求与电力系统中其他设备不同,由于在电力系统中避雷器的外套绝缘受着最好的保护,因此避雷器的外套绝缘水平不同于绝缘配合标准 GB 311.1 中规定的标准绝缘水平,而是采用比其更低的值来替代。在避雷器的运行中,为了避免避雷器在冲击残压作用时发生任何闪络,根据 GB 11032—2010,对避雷器外套要求如下:

- 雷电冲击耐受电压(LIWV)为避雷器雷电冲击保护水平(U_{pl})的 1.3 倍;
- 对 10 kA 和 20 kA 等级、额定电压大于等于 200 kV 的避雷器,操作冲击耐受电压(SIWV)为避雷器操作冲击保护水平(U_{ps})的 1.25 倍;
- 对 10 kA 和 20 kA 等级、额定电压小于 200 kV 的避雷器,工频耐受电压(ACWV)为避雷器操作冲击保护水平(U_{ps})的 1.06 倍;
- 对 1.5 kA、2.5 kA、5 kA 等级和强雷电负荷避雷器,外套工频耐受电压(ACWV)为避雷器雷电冲击保护水平(U_{pl})的 0.88 倍。

根据供需双方协商,也可依据避雷器使用的系统标称电压,按 GB 311.1 中对高压电器外绝缘的规定确定。

采用的系数是考虑到当放电电流大于标称放电电流时残压的增加,以及安装在海拔高度 1 000 m 时的大气修正,当海拔高度大于 1 000 m 时,则必须进行进一步修正。

避雷器的运行环境特殊,若采用 GB 311.1 规定的标准值,这将导致避雷器绝缘外套不必要的过高,这不仅是一个几何尺寸的问题,而且会导致严重的轴向电压分布不均匀和污秽条件下性能的畸变。特殊场合,例如极端环境条件下,可能要求较高的额定冲击耐受电压,但一般来说,最好还是采用 GB 11032—2010 的要求。

避雷器外套内壁与功能元件之间的间隙一般用气体完全或者部分填充(例如干燥的空气或者氮气),或者用固体或半固体(例如硅橡胶)材料填充,一般外套都有压力释放装置,当功能元件由于能量过

载而发生击穿或者闪络时,压力释放装置可以确保外套不剧烈爆炸。然而,我们必须知道市场上存在一些没有压力释放装置的避雷器,用户必须特别考虑这些设备的安全问题。

密封系统是避雷器(不仅指瓷外套避雷器)最敏感的部件,瓷外套避雷器中湿气侵入是影响 MOA 寿命的一个主要因素(MOV 的电气寿命也是一个因素,例如其电压电流特性的改变,但不是主要因素)。

出于机械方面的考虑,外套的长度一般小于 2 m,因此,系统标称电压 220 kV 及以上的避雷器一般是由若干个避雷器元件串联而成,串联元件长度一般在 1.5 m~2 m,并配以均压环,均压环的作用是通过补偿对地杂散电容而使得轴向电压分布均匀。安装时绝不能缺少均压环,因为缺少均压环的避雷器可能会在短小时内发生热崩溃(例如功耗超过散热能力)。

目前,GB 11032—2010 不允许在没有外部均压系统的条件下对避雷器元件外套进行绝缘试验,对于多节元件的超高压和特高压避雷器,这种试验不会得到正确的耐压值。

2.2.1.3 复合外套避雷器

在 20 世纪 80 年代中期(配电系统)、80 年代后期(输电系统)复合外套避雷器在市场上出现,在配电系统中得到了更广泛的应用。在输电系统中,这种避雷器的应用呈现逐渐增加的趋势。各种不同的设计已经得到了发展,尤其对配电避雷器,但是所有的现有设计都是基于几个基本设计原则。值得注意的是,从力学角度考虑,因为环氧树脂是脆性材料,其机械特性类似于瓷外套,GB 11032—2010 认为采用环氧浇注外套设计的任何避雷器都应被当作瓷外套避雷器。

“管型设计”:这种避雷器采用的外套有意包含一定的气体体积(与瓷外套相似),这种设计必须有密封和压力释放系统。外套一般为非瓷性复合外套,如外部有伞裙的增强塑料玻璃纤维管制成。外部伞裙可能直接模压在玻璃纤维管上,或者以其他某种方法作为单个部件挤压在套筒上。避雷器内部电阻片柱的周围介质一般为氮气或者空气,如果介质是其他气体,例如 SF₆,应当按照 GB 11032—2010 的要求对避雷器充满气体进行相关试验,并考虑可能发生的泄漏,由于在短路时气体种类对避雷器性能有重要影响,所以对充有 SF₆ 等其他气体的避雷器进行短路试验时,避雷器必须充有 SF₆ 等其他气体,此时氮气或者空气的试验结果已经不具有代表性。

“缠绕型设计”:避雷器的机械支撑部分使用纤维玻璃增强塑料(FRP)缠绕型结构。可以通过环氧树脂浸透玻璃粗纱实现,也可以用预浸渍网或带缠绕在电阻片柱上,然后在烘箱中固化而成。所得到的管型缠绕电阻片柱,可以完全包裹(可以预留薄弱点以保证在避雷器过载时外套打开),也可以有预留“窗口”。这种缠绕也可能是一个预制的 FRP 管包裹在 MOV 柱上,两者之间的空隙可用弹性材料填充。

“笼型设计”:MOV 柱由 FRP 网或 FRP 棒或 FRP 带以极高的张力夹紧。MOV 本身即作为机械支持结构的一部分,而玻璃钢形成一个开放的笼子。另外还可能再用带子缠绕玻璃钢笼子以增加机械强度,改善短路性能。外部伞裙必须直接模压在模件上,通常使用的是硅橡胶。

尽管以上这种分类方法比较实用,但是 GB 11032—2010 采取了另一种不同的分类方法,以便针对不同设计在短路试验中采取不同的程序。若验证封闭外套内包含有气体体积的“压力释放”性能,或验证外套直接挤压在 MOV 柱上的“压力释放”性能,它们是有区别的。这两种基本设计原理要求采用不同的试验方法。例如为了反映恶劣条件,在前一种短路试验情况下,必须熔断与电阻片柱并联的熔丝以产生内部电弧代表发生内部闪络,而在后一种短路试验中,只有避雷器能量过载(通过施加更高电压)才会导致避雷器损坏,也不排除由于单个电阻片元件过载炸裂而导致的外套机械损伤,因此,GB 11032—2010 介绍了以下短路试验性能:

——“设计 A”避雷器是一种沿避雷器元件的整个长度都有气体释放通道的设计,并且内部气体容积大于等于除内部功能元件外剩余内部容积的 50%;

——“设计 B”避雷器是一种没有封闭气体的实心设计,或者内部气体容积小于除内部功能元件外剩余内部容积的 50%。

GB 11032—2010 给出了进一步的解释:

典型的“设计 A”避雷器是指瓷外套避雷器;或者用带压力释放装置的复合空心绝缘子装配的复合外套避雷器;或者在复合外套上预制薄弱点制造的避雷器,在规定的压力下破裂或者弹开以降低内部压力。

典型的“设计 B”避雷器没有任何压力释放装置,是没有封闭气体容积的实心类型。如果电阻片发生电气故障,避雷器内部产生电弧。该电弧引起严重汽化并且可能引起避雷器外套和(或)内部材料烧毁。这种避雷器的短路特性取决于它本身对由于电弧的影响发生外套破裂或撕开的控制能力,以避免剧烈爆破。

换句话说,“设计 A”避雷器的气体中发生故障的可能性比固体材料中发生故障的可能性大得多,“设计 B”在固体材料中发生故障的可能性更高。对试验要求而言,这种分类方法是最优的。尽管许多情况表明鉴别两种设计结构还存在问题,不足以区分市场上现有各种避雷器产品之间细节的不同。因此,以上所提到的两种方法可能会同时共存。

复合外套与环境直接接触的外部可能由不同种类的材料制成,例如三元乙丙橡胶(EPDM)或者硅橡胶(SIR),后者可进一步细分成室温硫化,高温硫化,以及液态硅橡胶,这些仅仅是通用名称,也许下面还有很多分支。大多数情况下,为了抵抗不良影响,这些复合物材料都要掺杂其他化学物质,或者需要添加填充物(例如氢氧化铝),复合材料最重要的特征是憎水性和动态特性(长持续时间的潮湿后暂时丧失性能而在后来的干燥期又恢复性能)以及抗漏电起痕和耐电蚀能力。它是如此的重要,因此,GB 11032—2010 中要求所有无间隙复合外套避雷器都需要做气候老化试验。

对于外套内腔无气体体积的复合外套避雷器,它的密封系统性能可通过浸水试验(沸水煮 42 h)进行考核。

使用复合外套避雷器的用户应当意识到:与瓷外套避雷器不同,复合外套避雷器即使设计成具有极高机械强度的避雷器,也可能在机械抗弯负荷下产生偏移。变电站设计时必须考虑这点,特别是当避雷器与邻近设备间距较小时应考虑该因素。

复合外套避雷器一个特别的地方是采用串并联设计,例如配电系统的避雷器采用串联设计以满足所要求的额定电压,采用并联结构设计以满足能量吸收以及保护水平的要求。GB 11032—2010 中没有包括所有的特殊设计结构(例如考虑短路试验和机械试验),因此用户必须注意这种串并联设备的性能可能会偏离单个避雷器型式试验中验证的性能。

2.2.1.4 气体绝缘金属封闭避雷器(GIS 避雷器)

气体绝缘金属封闭避雷器(GIS 避雷器)是一种可以直接连接到 GIS 的避雷器,这种避雷器的金属外套一般用铝或者钢制造,由于 GIS 的气体隔室的连接是制造厂规定的,没有标准化,GIS 避雷器的连接也是如此。因此,GIS 制造厂一般都有自己的 GIS 避雷器设计,借助于适配法兰可以连接市场上的不同 GIS 和避雷器。

GIS 避雷器设计最显著的不同是同罐内的相数,当系统电压低于 220 kV 时,通常是三相共罐设计;当系统电压较高时,通常采用单相设计。与 AIS 避雷器相比,由于对地电容对 GIS 避雷器 MOV 柱的影响更为严重,若未采取特殊措施,则会导致沿 MOV 柱的电压分布极不均匀,因此 GIS 避雷器的内部均压系统比 AIS 避雷器的均压系统更复杂。另外当系统电压高于 220 kV 时,为了减小电阻片柱的几何高度,功能元件的内部设计是:机械上三柱式盘旋,电气上单柱,如图 1 所示。为了实现电阻片层间的相互绝缘,必须使用极高绝缘强度的绝缘板,GB 11032—2010 中规定了绝缘板所要求的介质耐压试验。

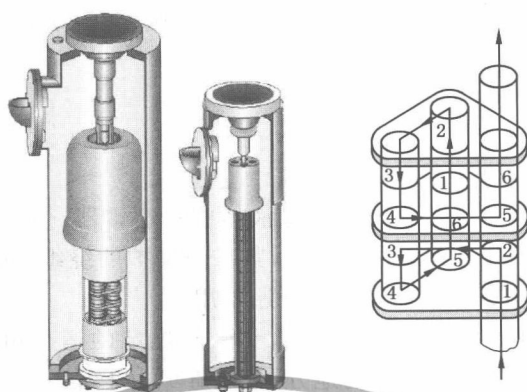


图 1 三机械柱/一电气柱(左)和单柱设计(中)及三机械柱/一电气柱电流路径(右)示意图

目前超高压单机械柱/单电气柱避雷器已经得到一定发展,这种避雷器使用的是高梯度电阻片。目前还开发出了保护性能更好的特高压 GIS 避雷器,该避雷器电气上采用四柱并联,因此其机械上 12 柱电阻片并联排列。

一般来说,GIS 避雷器与 AIS 避雷器的绝缘强度要求相同($LIWV=1.3U_{pl}$, $SIWV=1.25U_{ps}$, $ACWV=1.06U_{ps}$),但无需任何大气条件校正;只要没有气体泄露,罐内气体密度保持不变,由于 GIS 介质绝缘故障会导致严重后果(金属罐内的工频电弧),因此要求有更高的安全裕度,三相共罐设计时必须验证相-相耐受电压。

GIS 避雷器比 AIS 避雷器自感低得多的原因是其采用同轴圆柱结构,一般来说,GIS 避雷器单位长度的自感为 $0.3 \mu\text{H}$,而 AIS 避雷器单位长度的自感为 $1 \mu\text{H}$,因此,在陡波冲击电流下,GIS 避雷器的保护性能比 AIS 避雷器更好。

如果 GIS 避雷器使用已经按照 GB 7674 规定做过试验的金属外壳,并且其内部没有附加的压力释放装置,那么 GIS 避雷器在型式试验中不需要做短路试验。否则必须进行短路试验以检验内部压力释放系统。

如果 GIS 内包含 GIS 避雷器,则在 GIS 调试时要特别小心,因为 GIS 避雷器是不能耐受介质试验中所要求的工频耐受电压水平的。有大量有关 GIS 避雷器在调试试验时发生故障的报告,如果要做这类试验,必须打开专用的隔离刀闸或移走 GIS 避雷器,或者采用其他方法将避雷器和系统脱开。

2.2.1.5 分离型避雷器和外壳不带电避雷器

分离型避雷器和外壳不带电避雷器是两种不同设计的避雷器,它们的共同特征是不固定安装,而且不是通过固定导体与系统永久性连接,而是通过滑动触头和插头分别安装和拆卸,一般情况下它们都是安装在箱内,例如配电开关柜,但是目前也有将它们使用在户外的报道,分离型和外壳不带电避雷器之间存在一些基本的不同。

分离型避雷器(不带电插拔避雷器):外套可能是绝缘的(复合材料)或屏蔽的(金属或导电的复合材料)。在所有情况下,它们是不带电插拔避雷器,这意味着避雷器在接入或者移去时,电力系统必须处于断开状态。

注 1: 不带电插拔避雷器通常使用在欧洲。

外壳不带电型避雷器(带电插拔避雷器):它们总是有屏蔽(接地的)的外套,通常安装在地下且有托架的配电设备及回路中,它们是带电插拔式避雷器,可以在带电状态下安装或者移去。

注 2: 带电插拔避雷器通常使用在美国。

这两种类型的避雷器对绝缘耐受的要求与 AIS 避雷器不同,主要体现在绝缘以及屏蔽外套上。

与 AIS 避雷器标准不同之处是短路性能及相关试验条件和评价。特别对于金属外套的分离型避

雷器,在过载情况下允许内部有零件脱落(只要内部零件是通过外套底部的压盖或者其他特别装置排除),安装时应该考虑这种情况。

这两种类型的避雷器在国内已经均有使用。

2.2.1.6 液浸型避雷器

尽管 GB 11032—2010 中概括介绍了浸在绝缘液体中的避雷器,但是实际上只有浸在绝缘油中的避雷器,这种避雷器一般直接安装在变压器油箱内,紧靠被保护的绕组,这种避雷器从 1980 年在美国、1985 年在日本已经被大量使用,其他国家还没有普遍采用。

只有直接保护变压器绕组的避雷器持久地承受标准规定的运行电压,不包括保护分接开关的 MOV。由于液浸型避雷器安装在靠近绕组的地方,可以避免由于行波过程而造成的间隔距离效应,此外还可以避免受环境的影响,因此这种避雷器的保护性能极好。

有一个必须解决的问题是在热油中运行,因为这个原因,加速老化试验(动作负载试验的一部分)必须进行 7 000 h(如果制造厂-用户双方达成协议,这个试验可以减少到不少于 2 000 h),然而这种试验方法不能对预期寿命给出如 GB 11032—2010 附录 K 中 1 000 h 电阻片试验所给出的同样的可信度。

另一个问题是避雷器的短路性能,液浸型避雷器可以设计成“故障开路”或者“故障短路”型。但是,由于有时故障电流低于开路电流或者高于短路电流,“故障开路”避雷器在电路断路时不一定起作用,“故障短路”避雷器在电路短路时也不一定起作用。“故障开路”不意味着避雷器将会切断电路,仅仅意味着在其他设备清除故障后,故障开路避雷器保护的设备可以重新带电,当然,这种情况下没有过电压保护。表示其短路特性的这两个不同方式要求的试验程序和评价准则不同于所有其他结构的避雷器(见 GB 11032—2010)。

2.2.1.7 电气和机械特性参数

2.2.1.7.1 概述

金属氧化物避雷器的基本电气特性是持续运行电压、额定电压、标称放电电流、在标称放电电流下的残压、在陡波冲击电流下的残压和在操作冲击电流下的残压。在给定持续运行电压和额定电压下,避雷器类型不同,保护水平也存在差别。进一步需要考虑的特性还有线路放电等级、额定短路电流等级、污秽耐受能力。

机械性能数据有规定的长期负荷和短期负荷。

2.2.1.7.2 持续运行电压 U_c

持续运行电压是允许持续施加在避雷器端子间的最大正弦工频电压值。整支避雷器的持续运行电压按比例单元计算可能会低于动作负载试验中用于老化和用于验证热稳定的值。由于避雷器外套的污秽效应,或因其他物体的邻近效应引起均压效果下降,致使电阻片电压分布不均匀,使得避雷器的实际持续运行电压降低。

2.2.1.7.3 额定电压 U_r

额定电压是施加在动作负载试验中对应 10 s 的最大工频电压(GB 11032—2010),它也是建立避雷器工频电压耐受时间特性和定义线路放电试验要求的参考参数。

根据 GB 11032—2010 额定电压是以 1 kV~24 kV 的级差定义的。其他值也是可接受的,但需是 6 的倍数。

2.2.1.7.4 标称放电电流 I_n

标称放电电流是用来划分避雷器等级的。按照 GB 11032—2010,标称放电电流将避雷器划分为五

个等级。负载和要求值随着标称放电电流等级的提高而增加。标称放电电流是避雷器保护特性和能量吸收能力的主要参数,它的选择会影响绝缘配合的整个程序。

2.2.1.7.5 保护水平 U_{pl}, U_{ps}

避雷器的雷电冲击保护水平是在标称放电电流下的最大残压,它用于保护设备免受快波前过电压。

操作冲击保护水平是在规定的操作冲击电流下的最大残压。它用于保护设备免受缓波前过电压。

对于金属氧化物避雷器快波前过电压的保护特性,必须考虑陡波电流冲击试验中电阻片导电机理的影响。

2.2.1.7.6 线路放电等级(LD)

10 kA 和 20 kA 避雷器线路放电时的能量吸收能力与级数有关,按 GB 11032—2010 分为 5 个等级,能量吸收能力随线路放电等级提高而增加。

对于线路放电等级 2 级及以上的避雷器,产生的放电电流用于动作负载试验中以验证吸收能量后的热稳定性。由系统事件引起具有不同波形的电流,可以通过与一个等效的线路放电电流和能量比较来估算。但是,避雷器的通流容量不是一个固定值,而是取决与电流密度以及能量注入时间。通常通流容量随着电流密度增大以及能量注入时间缩短而增强。此问题仍处于验证之中。

2.2.1.7.7 额定短路电流 I_s

额定短路电流数值是避雷器内部功能元件失效后的一个内部故障电流,避雷器应能耐受该电流 200 ms 而没有引起外套剧烈爆炸并使火灾风险最小化。在短路电流型式试验中,还需要验证避雷器在大约 50% 和 25% 额定短路电流,以及 600 A、1 s 的小电流短路特性。

2.2.1.7.8 污秽耐受特性

避雷器污秽耐受能力涉及三种情况:

- a) 避雷器外套必须耐受污秽应力而没有闪络。这可以根据 GB/T 4585—2004 来验证,或按照 GB/T 26218.1—2010 设计来保证。
- b) 避雷器必须耐受由于外套表面的污秽作用而导致电压分布变化可能引起的温度升高。应考虑污秽水平以及在污秽条件下由于故障和重合闸操作引起的过电压幅值和频度。适用于多元件瓷外套避雷器的试验程序,已在 GB 11032—2010 中给出,对于复合外套避雷器,目前尚未规定类似的试验程序。
- c) 避雷器必须耐受由于污秽作用导致外套表面电压分布变化而引起的内部局部放电,同时不会引起对电阻片或内部支撑件的损害。但目前尚无相关的试验程序。

2.2.1.7.9 规定的长期负荷(SLL)

SLL 是一种垂直于避雷器轴向的力,运行期间允许持续施加在避雷器上而不会产生避雷器机械损伤,可以用力(N)或者弯矩($N \cdot m$)表示,弯矩可以用力乘以避雷器高度得到。对于高压复合外套避雷器,SLL 需由一个循环负荷试验来验证,然后对避雷器做包含密封试验的评估试验。对于系统电压不超过 35 kV 的避雷器,型式试验不采用循环方式,而是简单的抗弯试验,该方法也可以用于瓷外套避雷器,由于瓷外套在机械负荷下不会产生偏移,简单的抗弯试验就足够了。

2.2.1.7.10 规定的短期负荷(SSL)

SSL 是一种垂直于避雷器轴向的最大力,运行期间允许短时施加在避雷器上而不会使避雷器产生任何机械损伤,它是针对比较少的事件(如短路电流负载、非常高的风载或中度的地震负荷),可以用力

(N)或者弯矩($N \cdot m$)表示。避雷器在运行多年后仍可能遭遇 SSL,已在相关试验程序中考虑该情况(SSL 试验在 SLL 试验之后进行)。还有很重要的一点是,SSL 值不包括极严重地震负荷,严重地震负荷要求值可能比正常运行条件下的 SSL 值大得多,因此需要特别考虑。

2.2.2 内串联间隙金属氧化物避雷器

GB/T 28182—2011 明确了不包括以下部分:

- 非金属氧化物类避雷器;
- 额定电压高于 54 kV 串联间隙避雷器;
- 所有额定电压等级的外间隙避雷器;
- 所有额定电压等级的并联间隙避雷器;
- 线路放电等级为 2、3、4、5 的避雷器。

因此,这个标准只适用于交流配电系统,瓷外套或复合外套的具有内串联间隙的金属氧化物避雷器(额定电压 52 kV 及以下)。

2.2.2.1 不同的类型和设计

图 2 为一种设计:

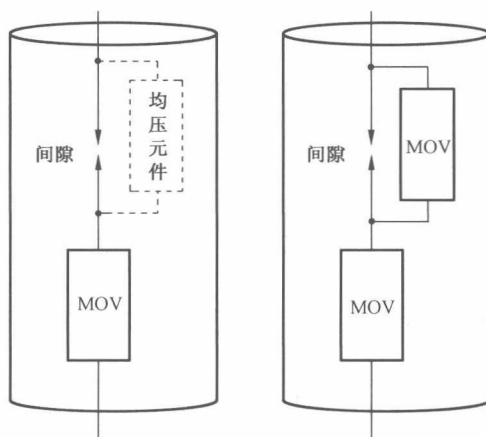


图 2 内间隙金属氧化物避雷器设计

20 世纪 70 年代后期开始,图 2 这种设计开始在中国、美国以及日本出现,这种带内串联间隙的避雷器结合了老式避雷器串联间隙和新型避雷器的金属氧化物电阻片的优点。

从图 2 可以看出,这种避雷器有两个基本部件,MOV 和间隙,MOV 为非线性电阻片柱,和无间隙避雷器特性大致相同,间隙一般为空气间隙,和 MOV 串联,有时也和均压元件或者其他 MOV 并联,可能有一个或者几个间隙单元。

串联间隙 MOA 的各部件与早期的 SiC 避雷器都不同,早期 SiC 避雷器中间隙的作用类似于开关,在雷击时闭合,当间隙电压接近零时打开。通常间隙的作用是接通和断开避雷器,而 MOA 中串联间隙的作用是触发避雷器动作,而不是终结动作。由于 MOV 优异的非线性特性,有助于消除工频续流对间隙老化的影响。在氧化锌避雷器出现之前的碳化硅避雷器中,含有大量的碳化硅电阻片。它们被用来限制在冲击电流之后通过避雷器的工频续流,受限制的电流可使间隙不过度地损坏,而且当电压达到较低水平时间隙可结束动作。然而它也会允许一定的电流通过避雷器,该电流足以劣化间隙,并改变了它们的特性。

串联间隙的正面作用是使金属氧化物电阻片组件的参考电压可以低于无间隙 MOA 20%~30%。