

支柱瓷绝缘子弯扭能力与声速关系的研究

郎培英¹, 黄涛², 梁义明²

(1. 吉林省电力有限公司, 吉林 长春 130021; 2. 吉林省电力有限公司电力科学研究院, 吉林 长春 130021)

摘要: 针对变电站用支柱瓷绝缘子的断裂, 以吉林省部分 252 kV 隔离开关支柱瓷绝缘子作为试验样品, 进行了支柱瓷绝缘子的弯曲破坏试验、扭转破坏试验、声速测量及化学成份分析等研究工作, 对大量试验结果进行综合分析的基础上, 得出随着声速的增加, 弯曲强度、高强瓷的概率、扭转强度均呈增加的趋势; 随着瓷质中铝含量的增加, 弯曲强度和声速也有增加的趋势, 但存在着一定的分散性; 随着瓷质中钠、钾含量的增加, 弯曲强度与扭转强度均略有下降趋势, 但不甚明显。

关键词: 支柱瓷绝缘子; 弯曲; 扭转; 声速

中图分类号: TM216.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2009)03-0120-04

Research on Relationships of Bending Resistance and Twisting Resistance and Sound Velocity of Post Insulators

LANG Pei-ying¹, HUANG Tao², LIANG Yi-ming²

(1. Jilin Province Electric Power Co. Ltd., Changchun 130021, China;

2. Jilin Province Electric Power Research Institute, Changchun 130021, China)

Abstract: This paper presented the test for bending resistance and twisting resistance of 252 kV post insulators of ceramic material used in Jilin province substation. And try to find the relationships between bending resistance, twisting resistance, sound velocity and component of ceramic material post insulator. Based on the comprehensive analysis of a large number of test results, it is obtained that with the increase in speed of sound, the flexural strength, the probability of high-strength porcelain and torsional strength are increasing. With the increase of Al content in ceramic, there is an increasing trend in the flexural strength and speed of sound, but a certain dispersion is existing. With the increase of Na content, K content in ceramic, there is an decreasing trend in the flexural strength and torsional strength, but is not obviously.

Key words: post insulators; bending resistance; twisting resistance; sound velocity

0 引言

多年来, 变电站用支柱瓷绝缘子断裂现象经常发生, 严重时甚至造成了 220 kV 变电站全停事故。断裂的原因主要是瓷绝缘子存在缺陷(如裂纹)或者瓷绝缘子的强度(主要是弯曲强度与扭转强度)不够。裂纹等缺陷可以通过加强瓷绝缘子的超声波探伤检测等手段加以排除, 而瓷绝缘子的强度试验属于破坏性试验, 运行中的支柱瓷绝缘子无法进行该项检验。

以 252 kV 棒形支柱瓷绝缘子为试验样品所开展的试验研究工作, 其目的是力求找到一种非破坏性试验方法(无损检测手段)来衡量支柱瓷绝缘子的强度, 通过对支柱瓷绝缘子的弯曲、扭转破坏试验、声速测量、化学成份分析等研究工作, 获得了大量的

试验数据并以不同方法进行了数据分析, 总结规律后得到了支柱瓷绝缘子抗弯曲能力与声速的关系等一系列结论。

1 试验总体设计

1.1 试品准备

试验样品主要为吉林省在用的 A、B、C 3 个国内电瓷厂家的支柱瓷绝缘子, 包括了这 3 个厂家不同生产年月的更换下来的旧瓷柱以及备品库中的新产品。所有瓷绝缘子进行超声波探伤检测均无缺陷, 满足试验要求的试品共 229 只。

根据吉林省电力有限公司对国内十余家大型电瓷生产厂家进行的调研考察情况, 国内生产的支柱瓷绝缘子声速范围为 4 800~6 900 m/s, 该次试验选取试品的声速范围为 4 800~6 600 m/s, 以 300 m/s 为一个声速段分为 6 个声速段。以此为原则将试验

收稿日期: 2008-08-15; 修回日期: 2009-12-23

作者简介: 郎培英(1954), 男, 满族, 高级工程师, 主要从事变电设备检修与高压开关方面的管理与技术工作。

样品分为6组,每组分成两份,分别进行弯曲破坏试验和扭转破坏试验。

1.2 试验设备

瓷绝缘子的弯曲、扭转破坏试验使用专用的瓷绝缘子弯扭试验机,试验机型号为WN-2500,由淄博中元自动化设备有限公司生产,试验前对弯扭试验机进行了计量校验,试验机的各项技术指标均符合相关标准要求。瓷绝缘子的声速测量仪为HCH-2000C型超声波测厚仪,探伤检测仪为EPOCH 4B型数字式超声波探伤仪。瓷绝缘子的化学成份分析委托中国科学院长春应用化学研究所完成。

1.3 试验步骤

(1)对支柱瓷绝缘子试品进行超声波探伤检测,避免试品因运输损伤而影响弯扭试验结果。测量试品声速按声速段分组。

(2)对进行弯曲破坏试验的支柱瓷绝缘子编号,记录声速值,进行弯曲破坏试验^[1],记录试验数据,用数码相机记录试品断面形状及断裂位置,对碎片采样(用于化学成份分析)。

(3)对进行扭转破坏试验的支柱瓷绝缘子编号,记录声速值,进行扭转破坏试验^[1],记录试验数据,用数码相机记录试品断面形状及断裂位置,对碎片采样。

(4)由中国科学院长春应用化学研究所对采样的瓷质碎片的铝含量、 Al_2O_3 含量、钾含量及钠含量进行分析。

2 试验数据整理

将该次弯曲与扭转破坏试验数据、组分分析数据、所试支柱绝缘子声速、高度、直径以及计算后的数据和国家标准等效的弯曲强度等数据录入计算机进行分析,并对多组曲线进行了线形回归、乘幂回归等数学处理,得出一系列曲线及表格如下所示。

2.1 支柱瓷绝缘子的弯曲强度与声速

(1)弯曲强度的计算

根据文[2],圆棒试样的弯曲强度按式(1)计算

$$R_f = \frac{8FL}{\pi d^3} \quad (1)$$

式(1)中, R_f 为弯曲强度, N/mm^2 ; F 为破坏负荷, N ; L 为支架间的距离,取100 mm; d 为试样直径,取10 mm。

公式(1)的受力见图1。

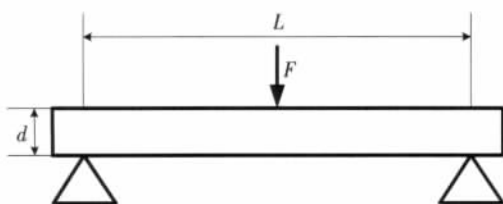


图1 圆棒试样的弯曲强度受力图

(2)声速的测量^[3]

声速的测量采用测厚仪测量法,测厚仪为脉冲反射式,声速按公式(2)计算

$$\frac{D_1}{C_1} = \frac{D_2}{C_2} \quad (2)$$

式(2)中, D_1 为待测试件厚度(由游标卡尺测量),mm; D_2 为测厚仪测试示值,mm; C_1 为待测试件声速,m/s; C_2 为钢试件声速,m/s。

2.2 支柱瓷绝缘子高强瓷概率与声速关系

根据文[4]中表2的规定,弯曲强度不低于160 MPa(有釉)的为高强度铝质瓷,简称高强瓷。试验中达到高强瓷标准的瓷瓶数量占所试瓷瓶总数的比率称为高强瓷概率。声速与高强瓷概率的分布见表1,二者的关系曲线见图2。

表1 声速与高强瓷概率分布表

声速/(m·s ⁻¹)	高强瓷概率/%
5 400	52.56
5 500	54.07
5 600	62.21
5 700	64.33
5 800	69.29
5 900	71.32
6 000	68.75
6 100	73.85
6 200	85.71
6 300	86.67
6 400	100.00

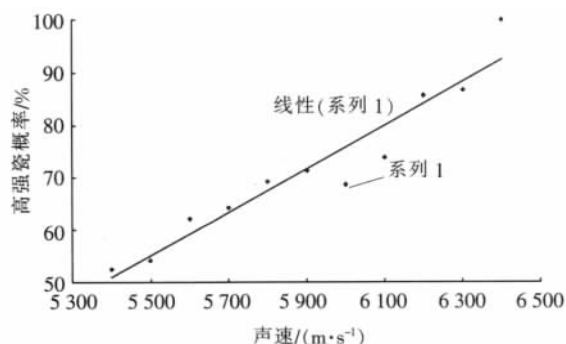


图2 高强瓷概率与声速关系图

2.3 支柱瓷绝缘子弯曲强度与声速、铝含量关系

支柱瓷绝缘子弯曲强度与声速关系见图3,与铝含量关系见图4。

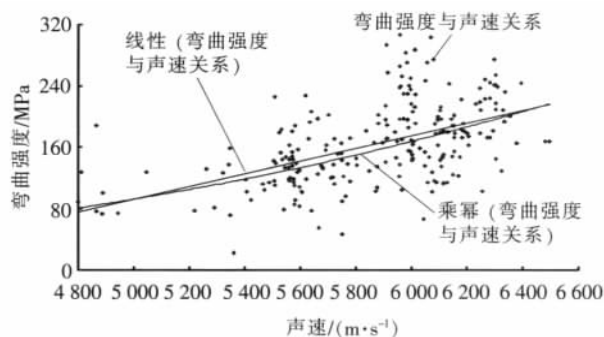


图3 弯曲强度与声速关系图

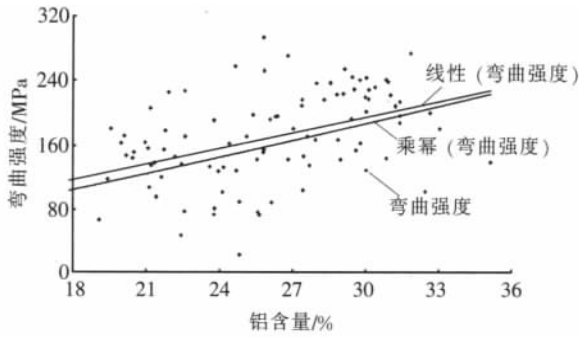


图4 弯曲强度与铝含量关系图

2.4 支柱瓷绝缘子扭转强度与声速、铝含量的关系

支柱瓷绝缘子扭转强度与声速、铝含量的关系见图5、6。

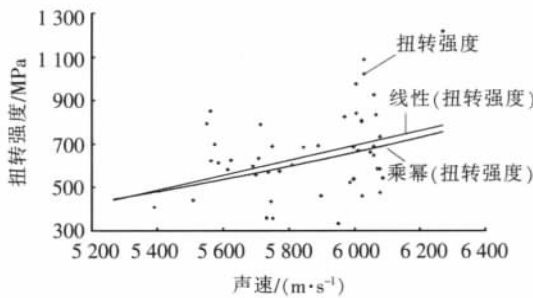


图5 扭转强度与声速关系图

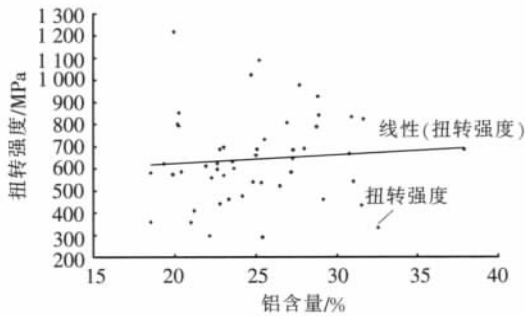


图6 扭转强度与铝含量关系图

2.5 支柱瓷绝缘子铝含量与声速的关系

支柱瓷绝缘子铝含量与声速的关系见图7。

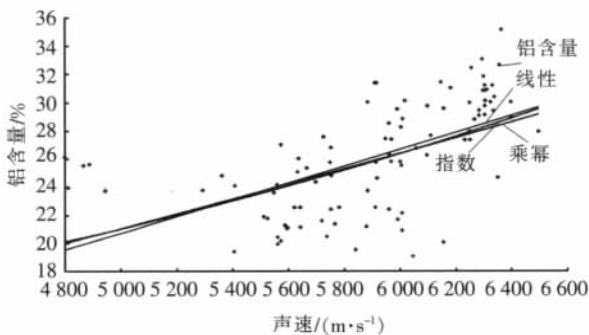


图7 铝含量与声速关系图

3 试验结果分析

3.1 数据规律性

根据试品的弯曲与扭转破坏负荷、瓷绝缘子的

高度以及直径,按照文[4]可以计算出瓷绝缘子的弯曲强度和扭转强度。

分析图3、4、5、6可以看出,通过数据拟合处理后,支柱瓷绝缘子的弯曲强度随着声速、铝含量的提高有较明显的增长趋势;支柱瓷绝缘子的扭转强度随着其声速、铝含量的提高有较小的增长趋势。

由于数据分散性的影响,将声速与弯曲强度之间的关系进行曲线拟合(见图3和表1),发现声速与弯曲强度之间存在着较为明显的线性关系,且高强瓷的概率随着声速的提高而线性增大。在声速大于6200 m/s时,支柱瓷绝缘子为高强瓷的概率为85.71%。由于国标中对扭转强度与高强度铝质瓷的关系没有定义,所以未对声速与扭转强度的概率进行分析。

3.2 三家电瓷生产厂家瓷瓶弯扭数据对比分析

根据所有样本瓷瓶数据的特点和数量的分类,对A、B、C国内3家瓷瓶生产厂家的瓷瓶弯扭数据进行对比分析,数据对比表见表2。其中B厂瓷瓶数量少,均为2006年产品。C厂瓷瓶均为1997年以后产品。A厂瓷瓶均为1996年之后产品,1996年之前产品分散性很大且多数弯曲破坏负荷很低,其它厂也没有1996年之前的产品,无法形成对比,故将其排除在外。

表2 三家电瓷生产厂家瓷瓶弯扭数据对比分析

项目	A厂	B厂	C厂
Al 含量/%	27.147	30.377	30.044
Al ₂ O ₃ 含量/%	51.277	57.378	56.749
K 含量/%	2.520	3.600	3.258
Na 含量/%	1.500	2.110	1.820
上节瓷瓶直径平均值/mm	145.600	145.500	123.000
下节瓷瓶直径平均值/mm	163.400	163.500	146.500
上节瓷瓶弯曲破坏负荷均值/kN	11.856	11.174	9.573
下节瓷瓶弯曲破坏负荷均值/kN	17.200	13.600	13.600
上节瓷瓶弯曲强度均值/MPa	163.900	154.000	228.900
下节瓷瓶弯曲强度均值/MPa	212.750	134.000	208.860

从表2可以看出:Al₂O₃含量3个厂家均能达到50%以上;上节、下节瓷瓶直径平均值C厂瓷瓶最小,B厂瓷瓶最大;上节、下节瓷瓶弯曲破坏负荷均达到产品要求,其中A厂瓷瓶弯曲破坏负荷最大,C厂瓷瓶最小;上节、下节瓷瓶弯曲强度A厂瓷瓶和C厂瓷瓶弯曲强度较高,B厂瓷瓶弯曲强度较小。

3.3 数据的分散性

数据存在一定程度的分散性。原因是试品为1981~2006年生产的瓷瓶,生产年月跨度为20多

年。由于早期生产厂家的生产工艺不够先进,故产品质量分散性很大。近几年,随着各生产厂家工艺水平的提高,生产过程及质量控制实现了高度自动化,产品质量的分散性也越来越小了,与之相应的试验数据的分散性也越来越小。

4 试验中发现的其他问题

(1)弯曲破坏试验中,瓷绝缘子断裂部位多数在瓷瓶根部的铁瓷结合处,见图8;少数瓷绝缘子在倒数第1至第4个伞裙处断裂,见图9;还有少数瓷绝缘子的法兰出现裂纹,见图10;弯曲破坏试验断裂图见图11。



图8 弯曲破坏试验中多数断裂部位



图9 弯曲破坏试验中少数断裂部位



图10 弯曲破坏试验中法兰断裂



图11 弯曲破坏试验断裂图

(2)扭转破坏试验中,瓷绝缘子的断裂截面呈现螺旋锥状,断裂部位在瓷瓶顶部和根部均有,根部断裂的情况稍多些,见图12、13。



图12 扭转破坏试验断裂截面



图13 扭转破坏试验断裂截面

5 结语

根据以上试验数据的分析结果,得到了以下结论:随着声速的增加,弯曲强度呈增加的趋势,两者之间是相关的,同时也存在着一定的分散性。由于瓷绝缘子的弯曲强度与其配方、瓷绝缘子生产工艺流程中每个环节的质量控制等多种因素密切相关,故弯曲强度与声速、组分含量等关系曲线中均存在分散性是客观的;随着声速的增加,高强瓷的概率呈增加的趋势。该次试验中声速超过6200 m/s的支柱瓷绝缘子为高强瓷的概率是85.71%;随着瓷质中铝含量的增加,弯曲强度和声速也有增加的趋势,但也存在着一定的分散性,分散性的大小与瓷绝缘子的配方、生产工艺方法和各质量环节的控制水平等多种因素有关;随着瓷质中钠、钾含量的增加,弯曲强度与扭转强度均略有下降趋势,但不甚明显;随着声速的增加,扭转强度有增加的趋势,但也存在着一定的分散性。

参考文献:

- [1] GB 775.3-87. 绝缘子试验方法第3部分:机械试验方法[S].
- [2] GB 8411.2-87. 电瓷材料 第二部分:试验方法[S].
- [3] 全国锅炉压力容器无损检测人员资格考核委员会. 超声波探伤(试用本)[M]. 北京:中国锅炉压力容器安全杂志社, 1995.
- [4] GB 8411.1-87. 电瓷材料 第一部分:定义、分类和性能[S].