

DOI :10.3880/j.issn.1006-7647.2011.03.024

环形钢筋混凝土电杆裂缝深度的超声波检测

方永浩¹,贾丽丽¹,戴 玘¹,康秋波¹,葛兆祥²,刘建军²,陈大兵²

(1.河海大学力学与材料学院,江苏 南京 210098;2.江苏省电力试验研究院有限公司,江苏 南京 211100)

摘要 :研究采用超声波检测环形钢筋混凝土试件和环形钢筋混凝土电杆中裂缝深度的方法,导出纵向裂缝和环向裂缝深度计算公式。对环形钢筋混凝土试件和环形钢筋混凝土电杆裂缝深度的检测结果表明,用本文提出的检测和计算方法对于环形钢筋混凝土构件裂缝深度的检测具有较高的准确度,对于环向裂缝,用两换能器的连线斜跨环向裂缝的布置方法可以基本消除钢筋的影响。

关键词 :钢筋混凝土电杆;裂缝深度;超声波检测

中图分类号 :TU317+.8 文献标识码 :B 文章编号 :1006-7647(2011)03-0088-04

Ultrasonic tests on crack depth in circular reinforced concrete poles//FANG Yong-hao¹, JIA Li-li¹, DAI Pin¹, KANG Qiu-bo¹, GE Zhao-xiang², LIU Jian-jun², CHEN Da-bing²(1. College of Mechanics and Materials, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Jiangsu Electrical Power Research Institute Co., Ltd., Nanjing 211100, China)

Abstract :The method of ultrasonic tests was employed to investigate the crack depths in circular reinforced concrete specimens and poles. The relevant formulas for the depths of longitudinal and circular cracks were derived. The test results of the crack depths of the circular reinforced concrete specimens and poles show that the proposed method has high accuracy. As for the circular crack, the influences of the adjacent bars on the measured results can be avoided by obliquely setting two transducers across the crack.

Key words :reinforced concrete pole; crack depth; ultrasonic test

裂缝是环形钢筋混凝土电杆的主要缺陷之一^[1-4],它不仅直接影响电杆的承载力,而且降低了混凝土对钢筋的保护作用,严重影响电杆的使用寿命^[5-6]。准确检测钢筋混凝土电杆裂缝深度,对于电杆的安全使用和评估具有重要意义。

超声波检测是混凝土结构裂缝深度检测的常用方法,主要用于平面混凝土结构的检测^[7-10]。钢筋混凝土电杆表面是环形的,用于平面构件的检测方法及相关计算均不能直接应用于环形钢筋混凝土电杆裂缝深度的测定和计算。另外,钢筋混凝土电杆中钢筋的存在可能影响裂缝深度的测定结果。祝贺等^[11]将平面混凝土的裂缝深度检测与计算方法应用于环形钢筋混凝土电杆裂缝深度检测,但仅是对环向裂缝的检测,没有考虑钢筋的影响。笔者采用不同裂缝深度的环形钢筋混凝土试件,研究超声波视波速与裂缝深度的关系及用超声波测定环形混凝土制品裂缝深度的方法,并应用于环形钢筋混凝土

电杆裂缝深度的测定。

1 试件制备

用 P·O42.5 级水泥、细度模数为 2.65 的河沙、最大粒径为 25 mm 的石灰岩碎石、Ⅱ级粉煤灰和聚羧酸减水剂配制 C40 混凝土,制作成外径、内径、高度分别为 200 mm,75 mm,200 mm 的环形混凝土试件。对于研究纵向裂缝检测方法的试件,成型时在模具中放置厚度为 0.3 mm、不同宽度的 PVC 薄片;对于研究钢筋影响的试件,在 PVC 薄片上附一段 $\varnothing 10$ mm 的光圆钢筋,混凝土终凝后即抽去 PVC 薄片,24 h 后脱模,标准养护;对于研究环向裂缝检测方法的试件,用切割机沿圆周切出不同深度的缝隙。

2 裂缝检测和裂缝深度计算方法

用 ZBL-U520 非金属超声检测仪(频率为 50 kHz)检测含裂缝环形混凝土的超声波传播声时并计算裂缝深度。

2.1 纵向裂缝检测与计算

2.1.1 裂缝处无钢筋

首先将发射换能器 1 置于 A 点,将接收换能器 2 置于 B 点,A 点、B 点位于裂缝同一侧,见图 1(a),用凡士林将换能器 1 与电杆耦合,使 2 个换能器间的圆弧长 S 分别为 60 mm,80 mm,100 mm,120 mm,140 mm,依次移动换能器 2 并读取相应的声时值 t。两换能器中心直线间距 AB 按式(1)计算,视波速按式(2)计算:

AB = 2Rsin(S/2R) (1)

v = AB/t = 2Rsin(S/2R)/t (2)

式中:R 为环形试件外径。

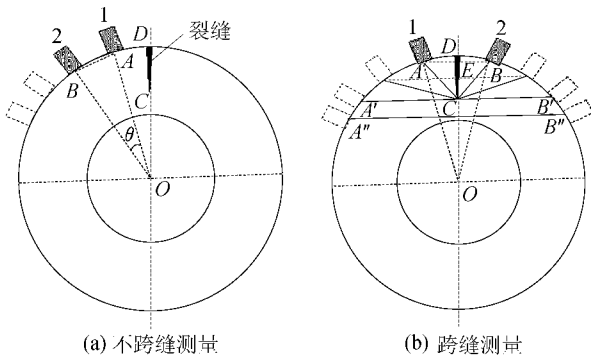


图 1 环形混凝土试件纵向裂缝检测示意图

计算不同测距的视波速的平均值 v̄,作为无裂缝混凝土电杆的波速。

然后进行跨缝的声时测量。将换能器 1 和 2 分别置于以裂缝为轴心的对称两侧,控制 S 分别为 60 mm,80 mm,100 mm,120 mm,140 mm,依次移动换能器 1 和 2,并读取相应的声时值 t_c,见图 1(b)。当两换能器的连线与裂缝的交点 E 高于裂缝尖端 C 点时,因波的实际传播距离 ACB 大于两换能器的直线距离 AB,故按式(2)计算得的视波速 v 小于混凝土实际平均波速。当两换能器的连线正好与裂缝尖端相切时(此时换能器 1 和 2 分别位于 A',B'点),波的实际传播距离就为两换能器的直线距离,所求得的视波速等于两换能器置于裂缝同一侧时所得平均波速 v̄。

如两换能器在裂缝同一侧时测得弧长为 S(直线间距为 AB)时的声时为 t,两换能器不在裂缝同一侧时测得相同弧长时的声时为 t_c,有

{ EC = sqrt(AC^2 - 1/4 AB^2) = Rsin(S/2R) * sqrt((t_c/t)^2 - 1) (3) DE = R[1 - cos(S/2R)]

则裂缝深度

d = DC = DE + EC = R[1 - cos(S/2R)] + sin(S/2R) * sqrt((t_c/t)^2 - 1) (4)

取不同的 S,可以得到不同的 t 和 t_c,从而得到不同的裂缝深度值。取各深度值的平均值,即为裂缝深度测定值。

当两换能器的连线与裂缝尖端相切(图 1(b)中 E 点与 C 点重合)或 E 点低于 C 点时,假定混凝土表面与内部是均匀的,则两换能器跨缝测得的波速与两换能器置于裂缝同一侧时所得波速 v̄ 相等。因此也可以将两换能器分别置于以裂缝为轴心的对称两侧,测定不同测距时的视波速 v,当测得的视波速刚好等于混凝土实际平均波速时,两换能器的连线正好与裂缝尖端相切,可得裂缝深度

d = DC = DE = R[1 - cos(S/2R)] (5)

2.1.2 裂缝处含钢筋

含钢筋的裂缝深度测定方法基本与无钢筋时相似。当裂缝深度未达到钢筋保护层厚度时,钢筋的存在对裂缝深度测定结果基本无影响。如裂缝深度超过钢筋而未完全穿透混凝土壁厚,则当两换能器连线与钢筋相切时,视波速最大;当两换能器间距继续增大时,视波速又减小。如裂缝尖端超越钢筋距离不是太小时(若太小就只能忽略钢筋以下部分深度),则随着两换能器间距继续增大,视波速降至最小值后又增大。当两换能器的连线正好与裂缝尖端相切时,波的实际传播距离就为两换能器的直线距离,所求得的视波速基本等于混凝土实际平均波速,裂缝深度可按式(4)计算。当裂缝已贯穿环形混凝土壁厚时,两换能器连线超过钢筋后视波速持续减小。

2.2 环向裂缝测定与计算

对于环形混凝土制品中的环向裂缝,由于配筋比较密集,无论是钢筋穿越裂缝还是穿越裂缝下方,如两换能器沿构件轴向布置,均无法达到“换能器需避开钢筋的距离应至少为裂缝深度的 1.5 倍”的要求[12],即无法避免钢筋“短路”作用的影响。为此采用两换能器的连线斜跨环向裂缝的布置方法。

首先将发射换能器 1 和接收换能器 2 置于裂缝同一侧,分别位于 T 点、R 点(图 2(c)),两换能器内侧边缘与中间钢筋的距离大于 60 mm(按最大裂缝深度为 40 mm 的 1.5 倍计)。将换能器 1 耦合好,控制换能器 1、2 内边缘线轴向间距 TD 分别为 20 mm,40 mm,60 mm,80 mm,依次移动换能器 2 并读取相应的声时值 t。如图 2 中 D 点和 R 点之间的圆弧长为

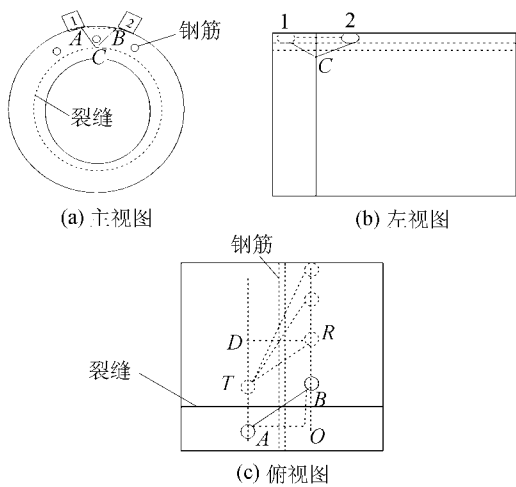


图2 环形混凝土试件环向裂缝检测示意图

S 则 D 点、 R 点之间的直线距离为

$$\overline{DR} = 2R \sin\left(\frac{S}{2R}\right) \quad (6)$$

两换能器的直线距离为

$$\overline{TR} = \sqrt{\overline{TD}^2 + \overline{DR}^2} = \sqrt{\left[2R \sin\left(\frac{S}{2R}\right)\right]^2 + \overline{TD}^2} \quad (7)$$

接收换能器在其他位置时计算方法相同。

然后进行跨缝的声时测量。将换能器 1, 2 由 T, R 点分别平移至图 2(c) 所示的裂缝两边对称的 A, B 点位置, 测量超声波声时。

如两换能器在裂缝同一侧时测得声时为 t , 声速为 v , 两换能器分别置于 A 点和 B 点时测得声时为 t_c , 结合图 2 和图 3 可得

$$\overline{AB} = \sqrt{\overline{AO}^2 + \overline{OB}^2} = \sqrt{\left[2R \sin\left(\frac{S}{2R}\right)\right]^2 + \overline{OB}^2} \quad (8)$$

$$\overline{EC} = \frac{1}{2} \sqrt{(vt)^2 - \overline{AB}^2} = \frac{1}{2} \sqrt{(vt)^2 - \left[2R \sin\left(\frac{S}{2R}\right)\right]^2 - \overline{OB}^2} \quad (9)$$

$$\overline{FE} = R - \sqrt{R^2 - \frac{1}{4} \overline{AO}^2} = R \left[1 - \cos\left(\frac{S}{2R}\right)\right] \quad (10)$$

$$d = \overline{FC} = \overline{EC} + \overline{FE} = \frac{1}{2} \sqrt{(vt)^2 - \left[2R \sin\left(\frac{S}{2R}\right)\right]^2 - \overline{OB}^2} + R \left[1 - \cos\left(\frac{S}{2R}\right)\right] \quad (11)$$

上述方法仅适用于环向裂缝深度未达钢筋处时的裂缝深度检测。当裂缝深度超越钢筋时, 钢筋起到超声波跨越裂缝的“桥梁”作用。对于当裂缝深度超越钢筋的情况, 两换能器仍按斜跨环形裂缝布置,

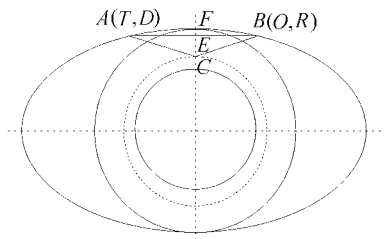


图3 裂缝深度计算示意图

而其测定方法和原理类似于含钢筋的纵向裂缝深度测定方法, 即根据换能器在不同位置测得的视波速的变化来判断。

3 测定结果

3.1 环形混凝土试件裂缝深度

图 4 是采用 2.1.1 中方法对纵向裂缝深度的测定结果(裂缝处不含钢筋)。从图 4 可以看出, 裂缝深度越小, 测量绝对偏差越小, 但相对偏差越大。在裂缝深度为 1~4 cm 的范围内, 本文方法测定结果与裂缝实际深度的最大绝对偏差小于 0.3 cm, 最大相对误差为 18%。

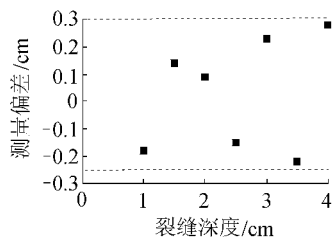


图4 纵向裂缝深度测量偏差(不含钢筋)

图 5 是采用 2.1.2 中方法对裂缝处含 $\varnothing 10$ mm 钢筋(钢筋埋深 3 cm, 即保护层厚度为 2.5 cm)的纵向裂缝深度的测定结果。裂缝中含有钢筋, 对测定准确度有一定影响, 随着测定深度的增大绝对偏差增大, 但最大相对偏差变化不大。在裂缝深度为 1~4 cm 的范围内, 测定结果与裂缝实际深度的最大绝对偏差为 0.3 cm, 最大相对误差为 15%。

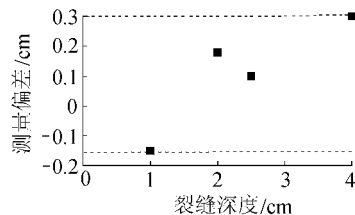


图5 纵向裂缝深度测量偏差(含钢筋)

图 6 是对环向裂缝深度的测定结果。从图 6 中可以看出, 用本文方法检测, 在环向裂缝深度为 1~4 cm 范围内, 测量值与实际深度的最大偏差为 0.40 cm, 最大相对偏差为 22%。

3.2 环形钢筋混凝土电杆裂缝深度

图 7 是对 4 根旧环形钢筋混凝土电杆共 13 条

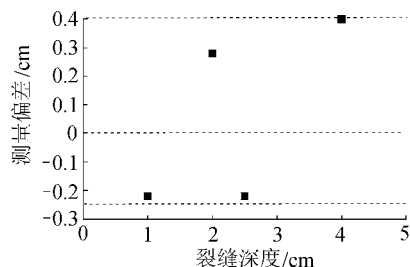


图6 环向裂缝深度测量偏差(含钢筋)

不同裂缝(包括纵向裂缝、环向裂缝、含钢筋裂缝与不含钢筋裂缝)的裂缝深度测量结果。测量后凿开裂缝,用游标卡尺测量裂缝各测量点的实际深度。从图7中可以看到:用本文方法对环形钢筋混凝土电杆裂缝深度(深度范围为1~4 cm)的测定均值与电杆裂缝实际深度的最大绝对偏差为0.5 cm,最大相对偏差为20%。

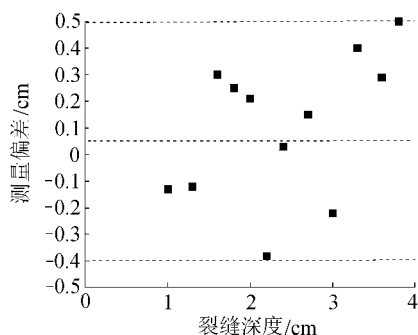


图7 环形钢筋混凝土电杆裂缝深度测量偏差

从上述结果看,用超声波法测量钢筋混凝土电杆裂缝深度,尽管可以基本满足要求,但总的来说误差还是较大。分析其原因,除了钢筋和形状因素影响检测结果以外,本文所用试件和钢筋混凝土电杆的尺寸较小,裂缝深度都很浅,因此测量时换能器间距比较小,混凝土材料的非均质性影响就变得显著,材料的非均质性对声速的不均匀性影响较大,显著影响测量结果。

4 结 论

a. 对于裂缝处无钢筋时纵向裂缝深度的测定,可采用类似于混凝土基面为平面时的平测法(时距法)测定裂缝深度,裂缝深度按式(4)计算。

b. 对于裂缝处含钢筋的纵向裂缝深度的测定,当裂缝深度未达到钢筋保护层厚度时,可用与裂缝处无钢筋时的相同方法测量和计算裂缝深度;当裂缝深度超过钢筋时,可采用类似于混凝土基面为平面时的对测法,根据测得视波速的变化判断换能器连线正好与裂缝尖端相切的位置,裂缝深度按式(5)计算。

c. 对于有钢筋穿越的环向裂缝的深度测量,可

采用两换能器连线斜跨裂缝的布置方法,可基本规避钢筋的影响,测量时两换能器内侧边缘与中间钢筋距离大于60 mm,裂缝深度按式(11)计算。

参考文献:

- [1] 何利,赵庆斌.环形钢筋混凝土预应力构件纵向裂缝问题探讨[J].四川建筑,2003,23(8):152-154.
- [2] 徐安和,赵化强.环形预应力混凝土电杆纵向裂缝的原因及措施[J].漯河职业技术学院学报,2007,6(3):193-194.
- [3] 张苏东.混凝土电杆裂缝的成因浅析及修补技术[J].电力建设,2000(5):62-65.
- [4] 纪爱民.电杆纵裂原因新认识及改善措施[J].混凝土与水泥制品,2003(4):35-36.
- [5] 周卫,范昌华.环形预应力混凝土电杆纵向裂缝的试验与研究[J].河北电力技术,1987(8):32-37.
- [6] 马成理,苏毅.变电站混凝土裂缝电杆试验研究[J].山西建筑,2001,27(1):39-40.
- [7] SHAH A A, RIBAKOV Y. Non-destructive measurements of crack assessment and defect detection in concrete structures [J]. Materials and Design, 2008, 29(1):61-69.
- [8] 商涛平,童寿兴.混凝土裂缝深度的超声波检测方法研究[J].无损检测,2002,24(1):6-8.
- [9] 林维正,苏勇,洪有根.混凝土裂缝深度超声波检测方法[J].无损检测,2001,23(8):323-326.
- [10] 谭国栋,甄国杰,冯甘霖,等.混凝土裂缝深度超声波检测试验研究[J].广东建材,2009(4):18-20.
- [11] 祝贺,毕春丽.钢筋混凝土输电杆裂缝超声诊断及修补技术[J].吉林电力,2006,34(4):13-15.
- [12] 国家建筑工程质量监督检测中心.混凝土无损检测技术[M].北京:中国建材工业出版社,1996:220-225.

(收稿日期:2010-08-16 编辑:骆超)

·简讯·

第九届中国水论坛将在兰州召开

由中国自然资源学会水资源专业委员会等主办,中国科学院寒区旱区环境与工程研究所、兰州大学等共同承办的第九届中国水论坛将于2011年8月2—3日在兰州召开。论坛将以“水与区域可持续发展”为主题,从多学科交叉、多学科视野深入研讨。主要议题有:①干旱区内陆河流域水与生态;②冰冻圈对水、生态及可持续发展的影响;③气候变化与区域水循环;④水与农业;⑤水资源转化与地下水资源可持续利用;⑥水与灾害;⑦城市化过程中的水问题;⑧区域生态水文过程的人文因素;⑨水技术与观测试验、水文理论与模拟。

(本刊编辑部供稿)