

文章编号:1004-4574(2012)05-0028-05

高校校园防雷系统的安全评价

李夕兵, 杜晶

(中南大学 资源与安全工程学院, 湖南 长沙 410083)

摘要:为了解决高校建筑群防雷系统保护性比较脆弱的问题,采用主成分分析法对防雷系统进行了安全评价。以某高校为例,将校区分为教学区、宿舍区、办公区及实验楼4个子系统,从防雷系统的单项构件和环境因素方面共16个因素进行了分析,并采用SPSS统计软件进行了计算。分析结果显示,教学区的得分最高,即防雷系统的保护作用最差;防雷电感应方面的措施有待改进;环境因素在防雷系统中有很大影响。

关键词:防雷系统;指标体系;主成分分析法

中图分类号:TU976.55

文献标志码:A

Safety evaluation of campus lightning protection system

LI Xibing, DU Jing

(School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: In order to solve the problem that lightning protection systems of building groups in campus are quite weak, safety of lightning protection system was assessed using principal component analysis method. The study took a university for example, whose campus was divided into four subsystems: teaching plot, dormitory plot, office plot and experimental buildings. The building group was analyzed from 16 factors extracted from single component lightning protection system and environment and calculated by statistic software SPSS. The results indicated that the teaching plot get the highest score, meaning a weakest protection system; lightning induction prevention is to be improved; and environmental factors have great influence on the lightning protection system.

Key words: lightning protection system; index system; principal component analysis method

雷电灾害是“国际减灾十年”公布的最严重的十种自然灾害之一。我国是雷电灾害频发的国家,在雷电活动最剧烈的海南岛及雷州半岛地区,年平均雷暴日高达130 d。近年来,我国雷暴活动十分频繁,全国有21个省会城市雷暴日在50 d以上,最多达到134 d,每年因雷击造成的人员伤亡、财产损失不计其数^[1-2]。随着城市化的不断发展、土地使用现实情况的改变,高层住宅逐渐成为城市居住建筑的主趋势,同时也成为各高校建筑发展趋势。这些建筑有以下两个共同特点:高层住宅建筑高度大、层数多、居住人口稠密;高层住宅设备多、结构复杂。另外,随着计算机网络技术的发展,绝大部分高校都已建立了自己的校园网络并投入使用。要确保校园网络系统的正常运行,涉及到许多方面,其中抗雷电性就是一个方面,且随着校园网络的不断发展和扩大,雷电对校园网络系统的破坏问题也日益突出。

收稿日期:2011-10-12; 修回日期:2011-12-12

基金项目:国家自然科学基金项目(50490274)

作者简介:李夕兵(1962-),男,教授,博士,主要从事采矿与岩土工程方面的研究. E-mail: dujing040316@163.com

1 雷电的事故危害及其研究现状

国家对于高等教育投资加大,高校建筑群规模逐步增大,高校是一个特殊的环境:建筑群一般包括教学大楼、电教中心、实验中心、网络中心、教工住宅、学生公寓。高校建筑群的自动化系统通常包括通信自动化系统、办公自动化系统,均运用电子技术、计算机技术、网络技术、传感技术等,采用了大量先进的微电信息设备。出了大量的电子设备,在学生宿舍和教学楼等区域还是人口非常密集的场所。一旦发生雷击事故,后果不堪设想。由此可见,防雷在高校校园中的重要性及必要性^[3-4]。

在国外,IEC和ITU两大国际组织相继发布了一系列关于雷电防护的标准与规范,逐渐形成了一套完整而实用的雷电灾害风险评估体系,对雷电防护及其风险评估提供了有力的依据,但这些标准大都建立在经验基础上,由于具体情况的差异,应用效果也有所不同。在国内,针对电子信息系统防雷和气象信息系统雷击电磁脉冲防护问题,也发布了相应的规范(GB50343-2004《建筑物电子信息系统防雷技术规范》及QX3-2000《气象信息系统雷击电磁脉冲防护规范》),这些标准中所涉及的雷电灾害风险评估方法相对比较简单,有针对性和实用性。^[5-6]

目前国内有很多学者对避雷系统进行研究。李鸿彬等^[7]、李茂龄等^[8-9]将模糊综合评价、层次分析法等方法应用于雷电灾害安全评价中。这些方法由于主观因素影响较大,不能够客观公正的评价,在很大程度上不能够普遍推广应用。佟瑞鹏等^[10]、岳丽宏等^[11]提出将神经网络(BP网络)应用于雷电灾害评价中,但神经网络的优势在于识别与预测,在雷电灾害评价中的应用有其自身的局限性。本文试从雷电事故本身着手,将数理统计中的主成分分析法引入雷电灾害综合评价中。

2 校区避雷系统安全评价

2.1 主成分分析法

主成分分析(principal components analysis, PCA)也称主分量分析,是由 Hotelling 于 1933 年首先提出的。主成分分析法是利用降维的思想,把多项指标的多元统计分析方法^[12]。研究中经常见到的是关于 n 样品, p 个变量 $x_1 x_2 \cdots x_p$ 的问题($n > p$)。原始统计资料整理的原始数据矩阵为

$$\mathbf{X} = \begin{Bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{np} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

首先,将原始数据标准化。变量表转化的公式为

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sqrt{\text{var}(x_j)}}, \quad (2)$$

$i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, p$, 其中, \bar{x}_j 和 $\sqrt{\text{var}(x_j)}$ 分别是第 j 变量的平均值和标准差。

其次,选取主成分。对标准化阵 \mathbf{Z} 求相关系数矩阵 \mathbf{R} , 公式为

$$\mathbf{R} = [r_{ij}]_{p \times p} = \frac{\mathbf{Z}^T \mathbf{Z}}{n-1}, \quad (3)$$

其中 $r_{ij} = \frac{\sum z_{ki} z_{kj}}{n-1}$, $i, j = 1, 2, \dots, p$ 。然后计算 \mathbf{R} 的特征值及相应的特征向量 \mathbf{U}_i , 并按 λ_i 的大小排序。计算主

成分的贡献率 $\frac{\lambda_k}{\sum_{i=1}^p \lambda_i}$ 及累计贡献率 $\frac{\sum_{i=1}^q \lambda_i}{\sum_{i=1}^p \lambda_i}$, 根据贡献率及累计贡献率确定主成分个数^[13]。

最后,依据主成分分析的结果,对研究的样本进行分析讨论、推断解释。选择 m 个主成分 Y_1, Y_2, \dots, Y_m , 以每个主成分的方差贡献率 a_1, a_2, \dots, a_m 为权数,按式(4)构造综合评价函数:

$$M = a_1 Y_1 + a_2 Y_2 + \cdots + a_i Y_i + \cdots + a_m Y_m, \quad (4)$$

式中 $a_i = \lambda_i / \sum_{i=1}^m \lambda_i$ 。

2.2 避雷系统指标

中南大学占地面积 $380 \times 10^4 \text{ m}^2$, 有 72 栋学生宿舍、16 栋教学大楼和 6 栋办公大楼、2 栋图书馆, 图书馆建筑面积 $2 \times 10^4 \text{ m}^2$, 总建筑面积达 66 余 $\times 10^4 \text{ m}^2$; 其中学生 15 舍、桃花公寓 A、B、C 栋, 天马一期二期学生公寓共计 $14.5 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。受地理位置的影响, 长沙是雷暴天气多发地区, 年平均雷暴日为 53 d/a, 最长达 90 次, 最少也有 10 次。校区年预计雷击次数为 0.1879 次/a^[14-15]。

表 1 评价指标体系

Table 1 System of evaluation indices

	评价指标	代码		评价指标	代码
接闪器	安装	X_1	接地装置	冲击接地电阻	X_9
	结构	X_2		结构	X_{10}
	保护范围	X_3		定期检查	X_{11}
	耐蚀情况	X_4		连接	X_{12}
引下线	安装	X_5	环境因素	防雷电感应	X_{13}
	结构	X_6		保护对象的建筑环境	X_{14}
	周围环境	X_7		雷暴日	X_{15}
	耐蚀情况	X_8		防雷电波入侵	X_{16}

高校建筑防雷, 是一个系统工程, 需要考虑的诸多因素, 如避雷针、避雷带、接地网、地线的敷设、笼形屏蔽、浪涌保护器的正确选用等等。对防雷危险因素具体进行分析, 分别对校区的教学区、宿舍区、办公区及实验楼 4 个子系统的防雷系统进行评价, 评价指标见表 1。通过安全专家和安全评价人员对评价子单元的各项指标进行调查, 根据相关标准和规范对每个子单元的各项脆弱性指标进行打分, 分数在 0-1 之间取值, 分数越高表明事故损失越大, 1 表示发生事故时受灾对象完全暴露, 可能遭受毁灭性的打击; 0 表示此项指标基本符合行业标准, 发生事故时能保护人员和财产安全, 也可避免主成分分析时对逆向指标的转换, 得到的数据矩阵与研究单元的脆弱性变化整体上具有统一的相关性。

3 结果分析及讨论

各原始变量在主成分表达式的权重以及各原始变量之间的相互对比关系不随主观因素和评价单元的影响, 因此, 特定主成分能够反映不同单元脆弱性特征及脆弱性空间分布。根据以上指标, 得出相关系数矩阵特征根及贡献率如表 2 所示。由表 2 可知前 3 个主成分的累积贡献率达到 81.318%。因此, 可用前 3 个主成分变量代替原来 16 个指标的信息量进行综合评价。各主成分涵盖指标对应的权重系数为特征值所对应的特征向量如图 1 所示。

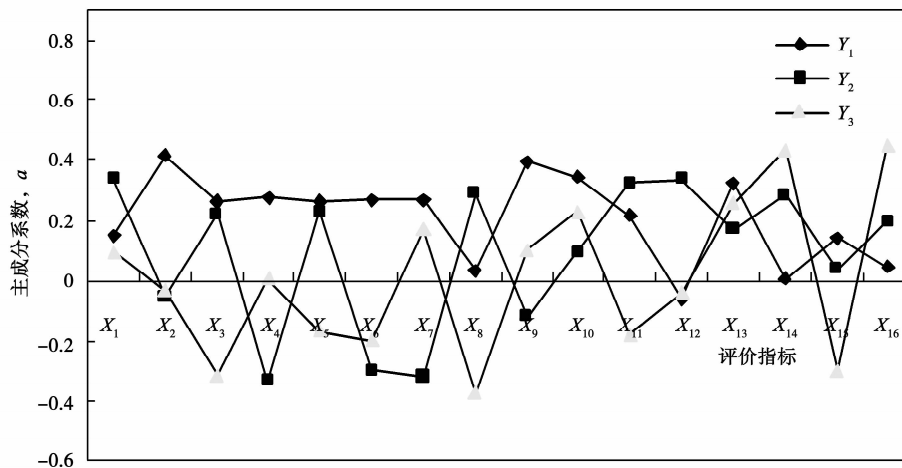


图 1 主成分中指标对应的权重系数

Fig. 1 Weight coefficients related to indices in principal components

表2 主成分分析矩阵相应数据结果
Table 2 Corresponding data of principal component analysis matrix

新成分 指标	原始特征值			主成分提取结果		
	特征值	方差贡献率/%	累积贡献率/%	特征值	方差贡献率/%	累积贡献率/%
Y_1	5.483	34.271	34.271	5.483 32	34.27	34.27
Y_2	4.561	28.507	62.778	4.561 13	28.51	62.78
Y_3	2.966	18.54	81.318	2.966 48	18.54	81.32
Y_4	2.241	14.004	95.323	2.240 68	14.00	95.32

主成分 Y_1 的贡献率达到 34.271% 涵盖了指标的主要信息量。根据图 1 主成分 Y_1 中 X_2, X_9, X_{13} 系数绝对值相对较大,表明 X_2 接闪器结构, X_9 接地装置的冲击接地电阻, X_{13} 防雷电感应对评价结果比较重要。其中 X_2 接闪器的结构贡献率达到 41.7%, 说明整个校园建筑群的接闪器安装有待改进。尤其宿舍区接闪器存在严重缺陷,甚至某些比较陈旧的宿舍楼没有安装接闪器。相比之下办公楼,实验楼里面安装有大量办公设备和电子设备,缺少防雷电感应和防电波入侵等有效措施。另外,现代高校校园网覆盖面增大,宿舍楼应加强防雷电感应和电波入侵等保护措施。绝大部分校园网络用户接入层仍然采用双绞线接入,因此网络线路信号系统雷击主要还是来自用户接入层的双绞线感应引入的雷击浪涌。建议改用光纤,因为光纤采用光通信方式,不传导电流,即无从引入雷击。

主成分 Y_2 的贡献率为 28.507%, 其中 X_1, X_4, X_{12} 系数绝对值相对较大。 X_1 接闪器安装, X_4 接闪器耐蚀情况及 X_{12} 接地装置的连接对评价结果影响比较大。在绝大多数建筑物上,接闪器存在安装不合理或者安装不正确。在图书馆,教学楼等顶层没有明确需要保护物体的建筑物,建议安装避雷带即可其保护作用。实验楼,宿舍楼则必须安装独立避雷针。避雷针与被保护物距离越近越好,但需考虑反击因素。长沙的酸性雨水加剧了对接闪器的侵蚀,同时缺少必要的养护,使得接闪器耐腐蚀情况常严重。所以,要加强对避雷体系的日常管理养护。

主成分 Y_3 贡献率为 18.54%, 是环境因素的综合指标, X_{13}, X_{14}, X_{16} 系数绝对值相对较大。经常为人们忽视的环境因素,通过计算分析,在整个体系的的方差贡献率达到 18.54%, 表明选择和安装避雷系统或者在建筑物建造过程中,环境因素是不可忽视的部分。

为了探讨不同主成分评估标准综合评价各子区域的脆弱性,分别选择不同的累积贡献率进行综合评价,如式(4)所示,其得分情况如表 3 所示。其中教学区得分最高,具有很高的脆弱性。教学区是人口密集的区域,同时教学楼内有用于教学的电子设备例如电脑、投影仪及语音教室里面的电子设备。但其避雷系统是 4 个子系统中最脆弱的因子,应是管理中的重点。

表3 3个新指标的综合评价
Table 3 Comprehensive evaluation of three new indices

	Y_1	Y_2	Y_3	总得分	综合排位
图书馆	2.112	-0.477	0.355	1.99	3
教学区	1.753	0.482	0.269	2.504	1
实验楼	1.382	0.308	0.086	1.776	4
宿舍区	1.430	0.331	0.640	2.401	2

4 结论

应用主成分分析法对高校校区避雷系统的 4 个子系统和 16 个评价指标进行量化分析。其结果与实际情况基本一致。通过主成分分析法对避雷系统多指标安全综合评估研究,可得以下结论:

- 1) 结合某高校具体情况运用主成分分析法对脆弱性在空间上分布规律和表现特征进行分析,探讨了多个脆弱性因子;得出各单元的脆弱性相对程度,并提出了相应措施;
- 2) 通过实例分析,体现主成分分析法应用于安全评价的优势。将大量指标的统计信息化繁为简并体现在主成分中,而且通过数学推理计算,体现各指标的权重系数,避免人为参与的不固定性。

参 考 文 献:

- [1] Raul E Lopez, Ronald I Holle. Changes in the number of lightning deaths in the united states during the twentieth century[J]. Journal of Climate, 1998,11(8):2070-2077.
- [2] 梅贞,陈水明,顾勤炜,等. 1998~2004年全国雷电灾害事故统计[J]. 高压电技术,2007,33(12):173-176.
MEI Zhen, CHEN Shuiming, GU Qinwei, et al. Statistic of lightning accidents during 1998~2004 in China [J]. High Voltage Engineering, 2007, 33(12): 173-176. (in Chinese)
- [3] 钟幼军,曹铁英,官延平,等. 黑龙江省雷电活动气候特征分析[J]. 自然灾害学报,2007,16(5):79-83.
ZHONG Youjun, CAO Tieying, GONG Yanping, et al. Analysis of climatic character of lightning activity in Heilongjiang Province [J]. Journal of Natural Disasters, 2007, 16(5): 79-83. (in Chinese)
- [4] 段炼,陈章. 近42年成都地区雷暴的气候统计特征[J]. 自然灾害学报,2006,15(4):59-64.
DUAN Lian, CHEN Zhang. Climatic characteristics of thunderstorms in Chengdu area in the last 42 years [J]. Journal of Natural Disasters, 2006, 15(4): 59-64. (in Chinese)
- [5] Christian H J, Blakeslee R J, Boccippio D J, et al. Global frequency and distribution of lightning as observed from space by the optical transient detector[J]. Journal of Geophysical Research, 2003, 114(D1):4005.
- [6] Luis E. Gallego, Oscar Duarte. Lightning risk assessment using fuzzy logic[J]. Journal of Electrostatics [J]. 2004, 60(Issues):233-239.
- [7] 李茂龄. 模糊综合评判方法在工业企业电气安全评价中的应用[J]. 安全科学技术, 2004, 3:17-19.
LI Maoling. Application of Fuzzy Comprehensive Evaluation in electrical safety assessment of industrial enterprise [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2004, 3: 17-19. (in Chinese)
- [8] 李鸿彬,卢国斌. 层次分析法在电气安全评价因素权重分配中的应用[J]. 东北大学学报, 2004, 25:179-181.
LI Hongbin, LU Guobin. Application of analytical hierarchy process in evaluating the electrical safety [J]. Journal of Northeastern University (Natural Science), 2004, 25: 179-181. (in Chinese)
- [9] 靳江红,赵寿堂,胡盼. 工业企业电气安全评价方法研究[J]. 安全与环境学报, 2005, 5(3):116-118.
JIN Jianghong, ZHAO Shoutang, HU Bin. Method for electrical safety assessment of industry [J]. Journal of Safety and Environment, 2005, 5(3): 116-118. (in Chinese)
- [10] 佟瑞鹏,马怀俭. 基于神经网络理论的电气安全综合评价模型[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2005, 10(2):84-86.
TONG Ruipeng, MA Huaijian. Integrated electrical safety assessment model based on artificial neural network [J]. Journal of Harbin Univ Sci and Tech, 2005, 10(2): 84-86. (in Chinese)
- [11] 岳丽宏,陈为国,田丽,等. 基于神经网络的工业企业电气安全评价方法研究[J]. 青岛理工大学学报, 2007, 28(4):7-10.
YUE Lihong, CHEN Weibiao, TIAN Li, et al. Study of electrical safety assessment of industry based on artificial neural network [J]. Journal of Qingdao Technological University, 2007, 28(4): 7-10. (in Chinese)
- [12] 何晓群. 现代统计分析方法与应用[M]. 北京:中国人民大学出版社, 1999.
HE Xiaqun. Modern Statistical Analysis and Application[M]. Beijing: China Renmin University Press, 1999. (in Chinese)
- [13] 王淑芬. 应用统计学[M]. 北京:北京大学出版社, 2007.
WANG Shufen. Application Statistics [M]. Beijing: Peking University Press, 2007. (in Chinese)
- [14] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法[M]. 北京:气象出版社, 1990.
HUANG Jiayou. Methods for Statistical Analysis and Forecasting in Meteorology [M]. Beijing: China Meteorological Press, 1990. (in Chinese)
- [15] Price C, Rind D. A simple lightning parameterization for calculating global lightning distributions[J]. Journal of Geophysical Research, 1992, 97: 9919-9933.