

DOI: 10.16198/j.cnki.1009-640X.2015.04.003

陆俊, 李军, 臧德记, 等. 综合物探法探测堤坝白蚁隐患的关键技术研究[J]. 水利水运工程学报, 2015(4): 16-21. (LU Jun, LI Jun, ZANG De-ji, et al. Key technology research for detecting termites in dykes and dams by integrated geophysical method[J]. Hydro-Science and Engineering, 2015(4): 16-21.)

综合物探法探测堤坝白蚁隐患的关键技术研究

陆 俊¹, 李 军¹, 臧德记¹, 贾海磊¹, 严双顶²

(1. 南京水利科学研究院 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029; 2. 南京市六合区白蚁防治中心, 江苏 南京 211500)

摘要: 白蚁蚁穴一直以来都是危及堤防安全的重要隐患, 目前借助先进的无损探测技术可快速、高效地探明隐患位置和特征。采用探地雷达法和高密度电阻率法等综合物探技术对堤坝白蚁巢穴进行探测, 首先通过计算地下介质速度, 进而开展蚁穴特征正演分析和实测图像解译, 最后通过开挖验证, 探明了主巢3个和副巢、空腔及蚁道若干, 分析结果表明综合物探技术可行, 采用联合诊断方法准确度高。通过现场实地测试, 综合物探技术在探测堤坝白蚁巢穴工作时效率高, 可基本确定蚁巢的地下空间位置和规模大小, 是目前探测白蚁巢穴、保护堤坝理想的新方法和新技术。

关键词: 堤坝; 综合物探技术; 探地雷达; 高密度电阻率; 白蚁隐患

中图分类号: TV871

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2015)04-0016-06

电磁法勘探基于研究电磁波在导电介质中传播特性, 从而达到研究地下地质体赋存特性的目的^[1]。将电磁法探测技术应用于堤坝工程的白蚁隐患探测在理论上具有可行性^[2-5]。近年来国内外相关研究单位开始运用地球物理方法进行白蚁巢穴探查, 通过专门的仪器激发或发射各种波, 并接收反射、折射、叠加或衰减后的波信号, 结合已有地质资料进行分析, 对接收到的各种信号作出合理解释, 最终得出地层中动物巢穴的不同物理性状。

国内学者通过模拟试验、实地探巢试验和垂直切片式开挖解剖分析, 证明应用探地雷达技术能够准确地确定蚁巢在地下的空间位置^[6-7], 成功勘查出堤坝白蚁蚁穴的规模、埋深及平面展布位置^[8-9]。国外学者根据白蚁特点和环境特征, 也引入探地雷达等物探方法检测白蚁巢穴, 效果显著^[10-14]。但是目前存在的问题在于: ①仅采用单一手段探测蚁穴, 易受到探测深度和分析精度干扰, 无法准确辨识蚁穴特征; ②白蚁巢穴位置与所处气候、土质等环境因素关系紧密, 物探关键技术参数有较大差异, 应有选择地采用物探技术。

1 工程背景

某水库位于六合区西北部低山丘陵区, 总库容1 255万m³, 是一座以防洪、灌溉为主结合供水、水产养殖等综合利用的中型水库。水库位置属亚热带季风气候区, 雨水充沛, 气候温和, 光照充足, 四季分明; 多年平均气温15.1℃, 最高气温40.7℃, 最低气温-16.3℃。水库所在流域范围呈纺锤形, 南北向最宽约5 km, 东西向最长约7.5 km。地形总体上西高东低, 最高处为位于流域西部与安徽交界处的芝麻岭, 海拔175 m, 最

收稿日期: 2014-11-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51309163); 南京水利科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目(Y413003, Y413004, Y411010)

作者简介: 陆 俊(1981—), 男, 安徽铜陵人, 高级工程师, 博士, 主要从事水工结构与综合物探技术研究。

E-mail: lujun@uhri.cn

低处为库区大坝所处的河谷位置,高程约 15 m。

水库大坝位于南北两山之间的河谷处,坝顶长 777 m,大坝为均质土坝,坝身填土主要以中~重粉质壤土为主。1975 年首次发现蚁害,经多年治理,目前仍有白蚁活动迹象,水库大坝北侧管理房院内多棵树木均已遭受白蚁侵袭,已造成部分树木空心、死亡。地面有白蚁死巢指示物碳棒菌。本文采用综合物探技术对蚁穴所在坝体的具体位置进行探测,具体技术路线为:地下介质速度计算—蚁穴特征正演分析—实测图像解译—开挖验证。采用的物探方法主要有探地雷达法和高密度电阻率法。

2 综合物探法参数设置

现场通过开挖,查找出已知深度的蚁穴副巢,根据电磁波的基本计算公式 $v = 2h/t$ (h 为已知副巢的深度, t 为副巢对电磁波的反射双程时间),反演出电磁波在该坝体土质的平均速度。介电常数根据 $v = C/\sqrt{\epsilon}$ (ϵ 为介电常数),本次检测选取 6.3。

据此,设置探地雷达的采集参数:天线频率 200 MHz,采样点数 512 samp/scan,采样数为 16 位,扫描速度 64 scan/s,时窗 100 ns,垂向高通滤波器:50 MHz,垂向低通滤波器:400 MHz,发射率:100 kHz,手动增益,现场测量方式采用天线沿背水坡贴面连续测量,在大坝背水坡平行于坝轴线布置 3 条测线,间距 1 m。高密度电阻率法的现场参数设置如下:电池电压采用 10 V,测量排列方式 α 排列(温纳装置),在探地雷达各条测线上分别布置 40 个不锈钢电极,电极距 1 m。

3 图像解译

总结以往探查资料,该地区白蚁与堤防上的分布有所不同,主坝在浸润线附近迎水坡均密集分布着白蚁巢穴,很多巢穴已连通形成了大的巢穴,其中 1 个巢穴连通长度就达 10 m 以上,可见坝体或堤防白蚁危害相当严重。白蚁巢穴的埋深大部分在 1 m 以内,最深为 2.2 m,最浅的已接近地表,其形态各异,有的呈扁豆状,有的呈囊状,规模大的延伸达 10 m 以上,规模小的仅几十厘米,几个大的蚁穴连通呈蜘蛛状,结构复杂。

本次探地雷达经归一化、滤波处理,形成的探地雷达剖面图像,当波的反射强、均匀、波的频率高时,介质均一;当波的反射弱,介质吸收程度高,并伴随波的频率降低,甚至还可见到反射剂面内有杂乱反射,波的同相轴错断等情况,说明介质不均一,强度低(见图 1)。

蚁穴的特征是由多个层叠的微小孔洞组成,在雷达图像中显示为多个高频低振幅的区域组成,而普通孔洞则为单独一个较大的高频低振幅区域等。当地下有蚁穴时,在探地雷达反射剂面上就出现了强反射弧,其波形图上的特征为多重强弱交错的凸形条纹区。巢穴埋深较浅时,异常反射波的条纹间距较宽,反射幅度较大;巢穴埋深较深时,异常反射波的强度减弱,强弱相间条纹区较窄。

由图 1(a)和(b)可知,没有蚁穴特征的异常现象,该测线上不存在蚁穴。图 1(c)中红色圈定区域的雷达电磁波以发生散射为主,电磁波同向轴散乱,存在多处类似脱空而产生的强反射点,并且相对集中。对比整个剖面的检测结果,该处剖面存在一种多孔、孔隙聚集并且向下延展的特殊异常,该处异常发育深度约 2.5 m,水平宽度约 2~4 m,符合发育蚁穴的构造类型,结合现场地面有白蚁死巢指示物碳棒菌,推断此处为可能存在的蚁穴点。

图 2 为测线 3 现场采用 400 MHz 发射天线探测的异常处探地雷达波形,图中异常处用白色虚线标明。异常显示地面埋深约 1.5 m 处,土体存在不密实异常区域,局部为分散的脱空异常;所有异常的横向规模约 50 cm,深度约 1.5~2.5 m,异常局部发育得更加深入,从异常的整体特征和形态分析,推断为蚁穴的发育区。

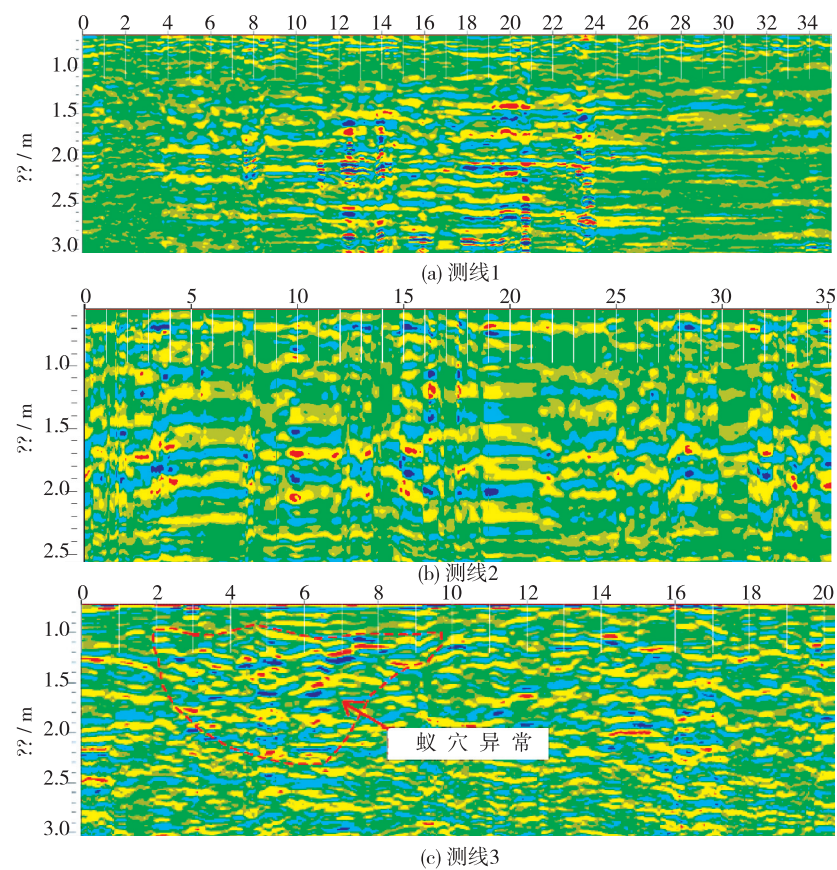


图 1 3 条测线探地雷达探测图像(200 MHz)
Fig. 1 Ground penetrating radar image of 3 lines

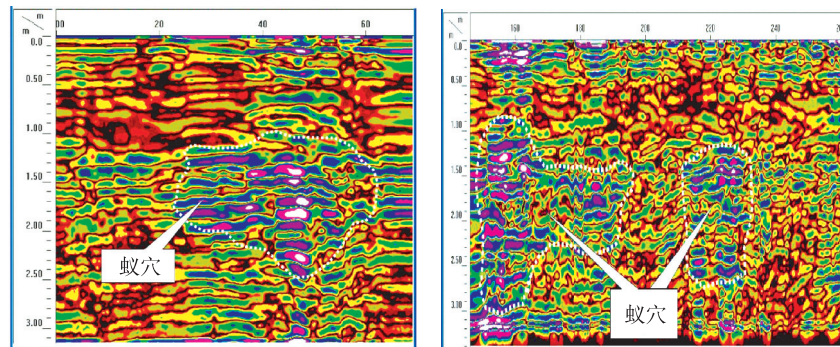


图 2 测线 3 探地雷达探测图像(400 MHz)
Fig. 2 Ground penetrating radar image of line 3 under 400 MHz

4 正反演分析

高密度电阻率法中介质均一的视电阻率图像上表现出电阻率大小相差无几。当出现局部高阻区域,该处异常,可能存在空洞等缺陷。六合地区的土质,一般为黏性土或黄黏土,电阻率在 $5 \sim 20 \Omega \cdot \text{m}$ 之间,如果含水量更高的话,电阻率还要低一些。如果在图像上,出现明显的高阻区域,可判断该处存在空洞异常,再结合白蚁巢穴埋深范围,如果异常区域在蚁穴埋深范围内,则为白蚁巢穴可能性非常大。

高密度电阻率法正演分析一般采用有限元或有限差分法,根据地下电性介质的分布来研究场的分布,并

把场的分布转化成相应的视参数值来表示。本文采用的模型为点源二维有限元方法。其研究步骤为:①区域剖分:将地电断面分为一系列小的单元,如矩形、三角形。②线性插值:假设单元内位、场呈线性变化,单元内电性参数均匀。③单元分析及合成:对每个单元进行泛函分析并对各单元求和。④解方程求场分布:利用泛函极小与微分方程的对应关系,得到线性方程组,通过解线性方程组得到场的分布。探测数值进行正反演计算,正演采用有限元法,反演采用最小二乘法。测线3处初步探测结果见图2~3。图3是实测和正演计算的视电阻率分布,二者相比较而言,基本一致,这为反演的可靠性提供了依据。

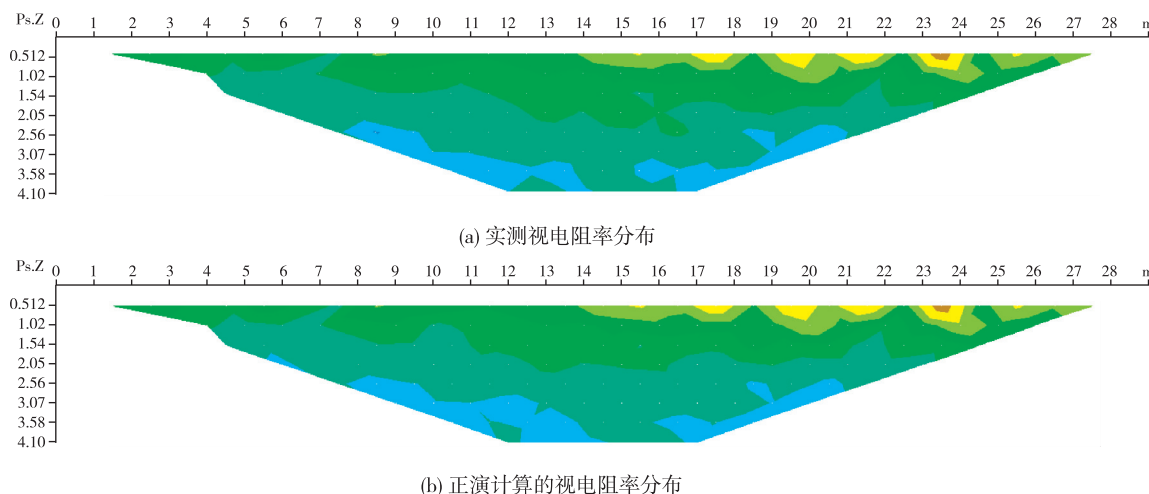


图3 测线3实测和正演计算的视电阻率分布

Fig. 3 Measured and calculated apparent resistivity distribution of line 3

图4(a)是测线3反演结果,可见测量部分视电阻率大都约 $5 \sim 70 \Omega \cdot m$,但在水平方向上距首电极 $8 \sim 10 m$ 以及 $22 \sim 23 m$ 范围内视电阻率明显较大。其中在水平方向 $8 \sim 10 m$ 范围紧挨测线旁边有个深度约 $1.5 m$ 土坑,因此在高密度电阻率法反演图像上显示为一个高阻区域。而 $22 \sim 23 m$ 高阻区域,最高视电阻率为 $480 \Omega \cdot m$,明显高于周围土层的电阻率,并形成闭合状,该处与探地雷达法图像异常处一致,推测可能存在蚁穴空洞隐患。

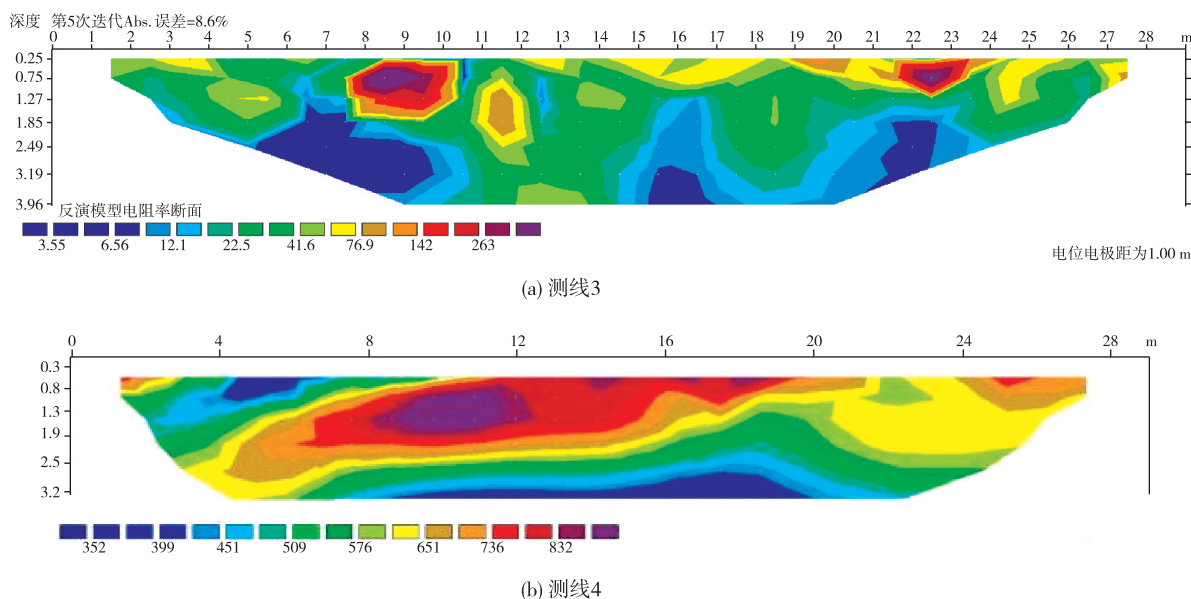


图4 测线3和4高密度电阻率法反演结果(单位: $\Omega \cdot m$)

Fig. 4 High density resistivity inversion results of lines 3 and 4 (unit: $\Omega \cdot m$)

测试数据反演结果见图 4(b)。该测线水平方向上 10 m 处、深 150 cm 左右有高阻异常,可以初步确定为疑似蚁巢引起的异常。在 A01 测线 10 m 处进行开挖,挖出白蚁主巢,深度 160 cm(到主巢底部尺寸),直径为 80 cm 左右,证实 A01 测线异常为白蚁蚁巢,探测结果与现场开挖结果相符(见图 5)。



图 5 开挖验证

Fig. 5 Excavation verification

5 结 语

(1) 探地雷达法具有探测速度快、采集数据量大、定位准确、操作灵活、可实现连续透视扫描以及二维彩色图像实时显示等独特的优点;但对含水量较大的堤防土质,探测深度极浅,受场地平整度影响较大。

(2) 高密度电阻率法现场采集数据量大、信息丰富,且对地电结构具有一定的成像功能,探测深度大;但仪器布设繁琐、探测时间长,效率较低,探测结果不能即时显示,具有滞后性,对于场地空间性要求较高。

(3) 综合物探技术探测将电磁波的正演分析与图像解译相结合,反演出异常对电磁波的反映参数,为异常判别提供依据,最后通过开挖验证。

通过现场实地测试,综合物探技术在对堤坝白蚁巢穴隐患探测中的应用是成功的,在探测堤坝白蚁巢工作时效率高,不受死巢、活巢的限制,可基本确定蚁巢的地下空间位置和规模大小,是目前探测白蚁巢穴,保护堤坝理想的新方法和新技术。

参 考 文 献:

- [1] 李大心. 探地雷达方法与应用[M]. 北京: 中国地质出版社, 1994. (LI Da-xin. GPR method and application[M]. Beijing: China Geological Publishing Press, 1994. (in Chinese))
- [2] 陆俊, 游日, 牛志国. 高速地质雷达在公路隧道衬砌质量检测中的应用[J]. 筑路工程与施工机械化, 2010, 27(5): 24-27. (LU Jun, YOU Ri, NIU Zhi-guo. Application of high-speed ground penetrating radar in detecting quality of concrete lining in highway tunnel[J]. Road Engineering and Construction Mechanization, 2010, 27(5): 24-27. (in Chinese))
- [3] 胡少伟, 陆俊, 牛志国. 高速地质雷达在引水隧洞混凝土衬砌质量检测中的应用[J]. 水利水电工程学报, 2010(2): 1-6. (HU Shao-wei, LU Jun, NIU Zhi-guo. The application of high-speed ground penetrating radar in detecting the quality of concrete lining in diversion tunnel[J]. Hydro-Science and Engineering, 2010(2): 1-6. (in Chinese))
- [4] 董茂干, 陆俊. 探地雷达工作原理及其在公路检测中的应用[J]. 筑路工程与施工机械化, 2010, 27(5): 28-31. (DONG Mao-gan, LU Jun. Working principal of ground penetrating radar and its application in highway detection[J]. Road Engineering and Construction Mechanization, 2010, 27(5): 28-31. (in Chinese))
- [5] 胡少伟, 陆俊, 王国群. 地质雷达在探测地下富含水区域中的应用[J]. 水利水电工程学报, 2012(6): 33-37. (HU Shao-wei, LU Jun, WANG Guo-qun. Application analysis of detecting water-rich areas with ground-penetrating radar[J]. Hydro-Science and Engineering, 2012(6): 33-37. (in Chinese))
- [6] 王静. 地球物理方法在白蚁蚁穴探查中的应用[J]. 人民长江, 2003, 34(7): 23-26. (WANG Jing. Application of

- geophysical methods in white ant cave detection[J]. Yangtze River, 2003, 34(7): 23-26. (in Chinese))
- [7] WANG Zheng-yan, GUO Jian-qiang, GONG Yue-gang, et al. Control of dam termites with a monitor-controlling device (Isoptera: Termitidae)[J]. Sociobiology, 2007, 50(2): 399-407.
- [8] YANG Xiu-hao, HENDERSON G, MAO Li-xin, et al. Application of ground penetrating radar in detecting the hazards and risks of termites and ants in soil levees[J]. Environmental Entomology, 2009, 38(4): 1241-1249.
- [9] YANG X H, HENDERSON G, MAO L X, et al. Detecting formosan subterranean termite (isoptera: rhinotermitidae) nests using ground penetrating radar[J]. Sociobiology, 2009, 54(2): 309-313.
- [10] DONG Hao-bin, WANG Chuan-lei, WANG Hua-ping, et al. Two-dimensional resistivity imaging survey for detecting termitaria in a dam[C]// Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control, 2006: 846-849.
- [11] XU Xing-xin, ZENG Qiao-song, LI Dong, et al. GPR detection of several common subsurface voids inside dikes and dams[J]. Engineering Geology, 2010, 111(1): 31-42.
- [12] HENDERSON G. The termite menace in New Orleans: did they cause the floodwalls to tumble[J]. American Entomologist, 2008, 54(3): 156-162.
- [13] SUNJAY, SRIVASTAVA V Kr, SINGH V K. Ground penetrating radar applications in hydrogeological study of aquifers[C]// World Young Earth Scientists for Society Congress, 2009: 28.
- [14] MATTHAIOS B, ANGELOS A, NIKOLAOS K U. Design and implementation of an integrated high resolution imaging ground penetrating radar for water pipeline rehabilitation[J]. Water Resources Manage, 2011(25): 1239-1250.

Key technology research for detecting termites in dykes and dams by integrated geophysical method

LU Jun¹, LI Jun¹, ZANG De-ji¹, JIA Hai-lei¹, YAN Shuang-ding²

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2. Luhe Termite Prevention Center, Nanjing 211500, China)

Abstract: The termite nest has always been an important risk to endanger the safety of embankments. With the current advanced nondestructive detection technology, the location and characteristics of hazards would be quickly and efficiently ascertained. The termite nests in such dykes and dams are detected by the integrative geophysical methods of ground penetrating radar (GPR) and high density resistivity (HDR). Based on the media speed of underground, the characteristics of the forward analysis and the observed image interpretation on the termites nests are obtained. Through certificating of excavation, three main termite nests, several deputies and some of the ant nests are detected, and the analysis results show that the detection accuracy is much higher. Finally, through data collection and technology refining, the integrative geophysical method, which is formed for detecting termite nests, is found to be convenient and time-saving. The analysis results also show that the integrated geophysical technology is a technically feasible and highly accurate diagnostic method. This technology provides a new technical support for the detection and prevention of dam termites. The on-site field testing shows that the integrated geophysical techniques to detect termite nests in dams can work in aging rate. It can basically determine the location and size of the underground nests, which is a new way to protect the dykes and dams.

Key words: dykes and dams; termite hidden trouble; comprehensive geophysical prospecting; ground penetrating radar; high density resistivity method