Nondestructive Testing Technology And Practice Of Ancient Building

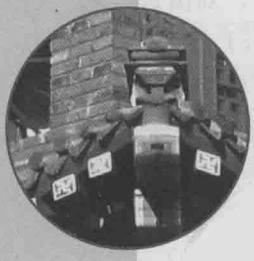
古建筑无损检测技术与工程实践

王占雷 刘国辉 刘晓敬 等著

化学工业出版社

古建筑无损检测技术与工程实践

Nondestructive Testing Technology And Practice Of Ancient Building



王占雷 刘国辉 刘晓敬 刘波 扈本娜 著

化学工业出版社
·北京·

本书是系统介绍古建筑综合无损检测技术的专著。主要内容包括：古建筑无损检测的基本问题，无损检测方法的可行性，古建筑综合无损检测技术，综合无损检测技术的工程实践。全书最后附古建筑无损检测技术的推荐导则。

本书既可作为从事古建筑检测工作技术人员的参考书，也可作为高等院校有关专业本科高年级学生和研究生的参考用书。

图书在版编目（CIP）数据

古建筑无损检测技术与工程实践/王占雷，刘国辉，刘晓敬等著. —北京：化学工业出版社，2014.1

ISBN 978-7-122-19159-5

Ⅰ.①古… Ⅱ.①王…②刘…③刘… Ⅲ.①古建筑-无损检验-中国 Ⅳ.①TU-87

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 283676 号

责任编辑：徐 娟

责任校对：宋 玮　　装帧设计：韩 飞

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印　　刷：北京永鑫印刷有限责任公司

装　　订：三河市宇新装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张 10½ 字数 200 千字 彩插 4

2014 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网　　址：http://www.cip.com.cn

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

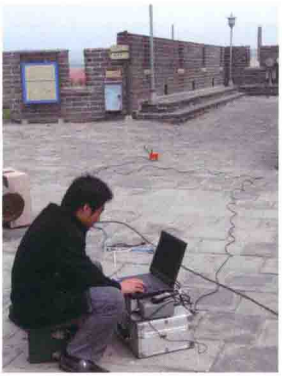
定　　价：45.00 元

版权所有 违者必究

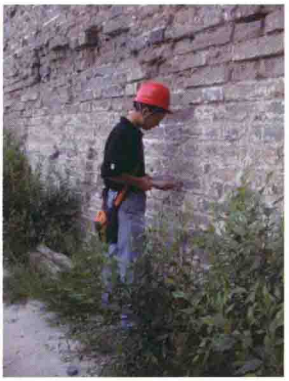
万里长城—山海关世界遗产、文物保护碑

镇东楼（天下第一关）城台雷达检测

山海关城墙顶部雷达检测



山海关长城城台顶面
常时微振动检测



山海关长城砖墙体回弹检测

山海关长城砖墙体
回弹检测

山海关关城至角山旱门
关砖墙体回弹检测

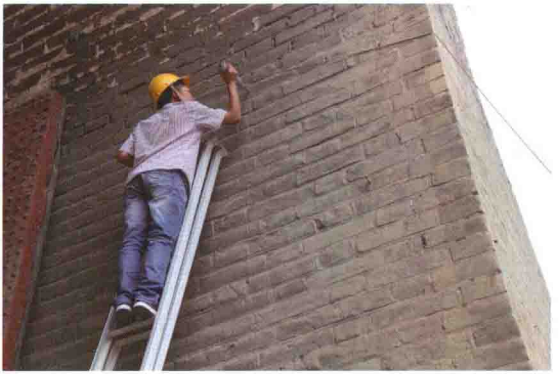
万里长城—山海关文物保护碑（关城至角山旱门关段）

全国重点文物保护单位
——鸡鸣驿城保护碑

鸡鸣驿城内现场面波检测

鸡鸣驿城内现场高密度地震映像检测

张家口大境门城台雷达检测



张家口大境门城台回弹检测

清东陵景陵文物保护碑

景陵大碑楼墩台
回弹检测

景陵大碑楼墩台
雷达检测

图 2.1　山海关镇东门城门

图 2.2　两侧包砖、内夯土
（山海关关城东墙）

图 2.3　外侧砌砖、内侧
夯土（东罗城）

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

图 2.4 涿州古永济桥主桥

图 2.5 涿州古永济桥引桥

图 2.12 土体松散、掏空坍塌

图 2.13 城台开裂

图 2.14 人防洞变形墙体脱落

图 2.15 地下洞穴变形地面文物裂缝

图 2.16 基础变形墙体滑移

图 2.17 敌台基础滑移

图 2.18 雨水冲刷脱空

图 2.19 雨水冲刷、冻融破坏

(a) 城墙顶面竖向探测

(b) 城台侧面水平探测

图 3.9 探地雷达现场工作

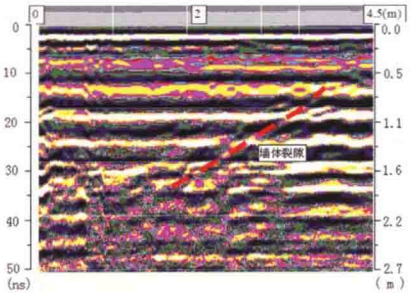


图 3.10 墙体滑移断裂雷达图像

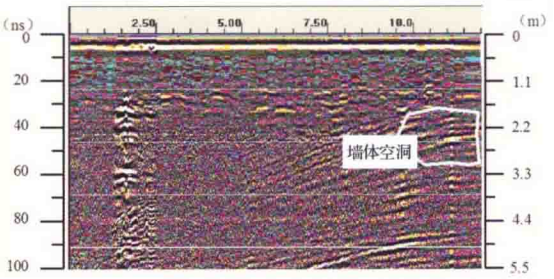


图 3.11 墙体空洞雷达图像

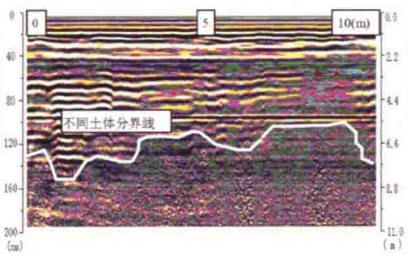


图 3.12 墙体内土体不均雷达图像

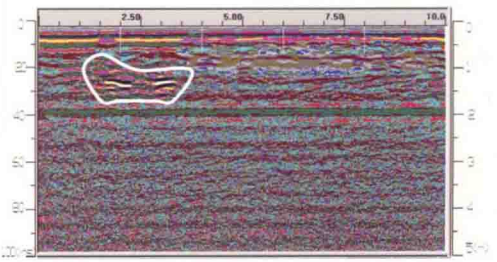


图 3.13 墙体脱空雷达图像

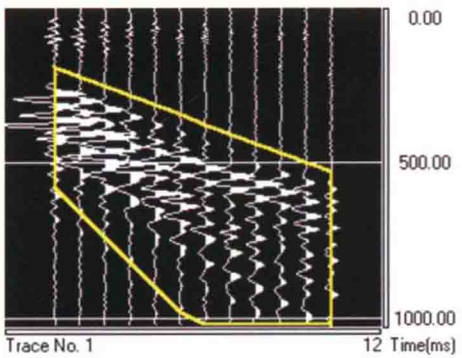


图 3.23 原始记录

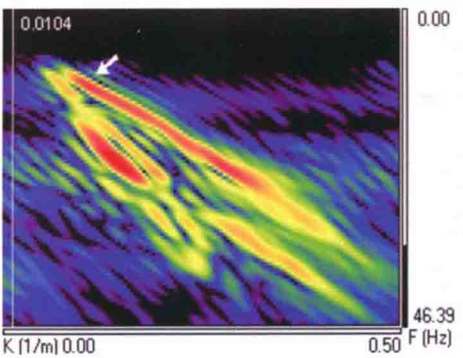


图 3.24 频率 – 波数域

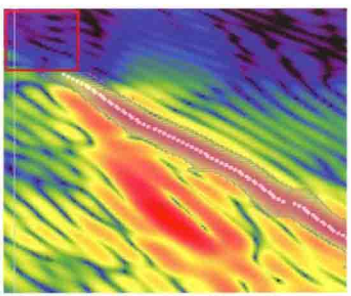
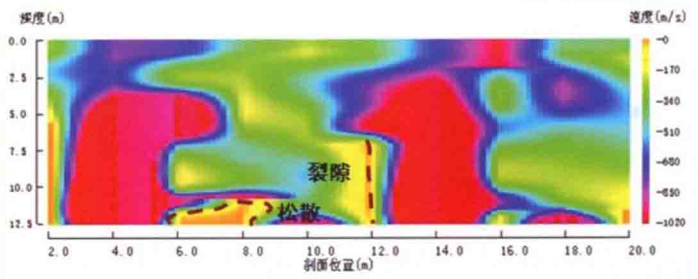


图 3.25 频散曲线拾取



(b) 面波波速解释

图 3.27 土体密实度不匀面波速度谱及其解释波速剖面图

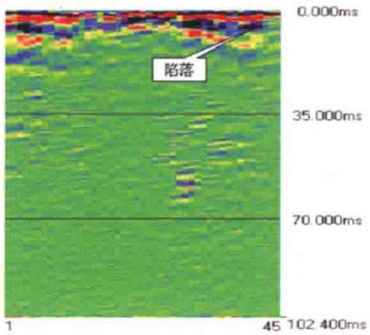


图 3.47 高密度地震映像成果

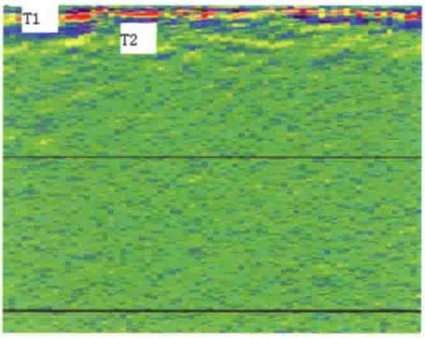


图 3.48 06D2 剖面地震映像成果

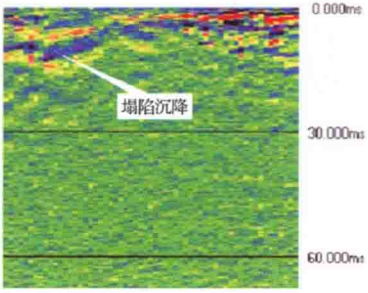


图 3.49 06D3 剖面地震映像成果

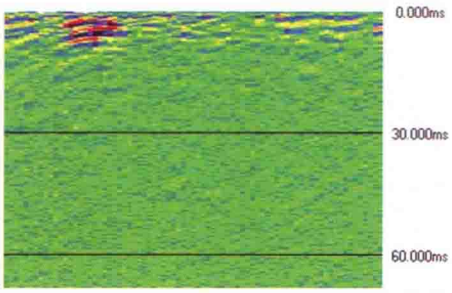


图 3.50 06D4 剖面地震映像成果

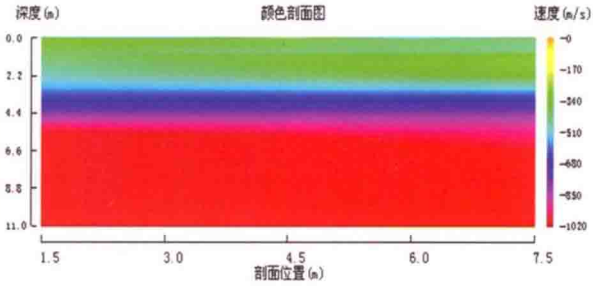


图 4.1 正常完整墙体面波检测色谱图

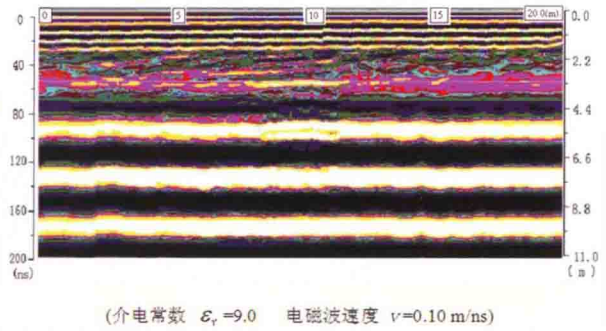


图 4.2 正常完整墙体探地雷达检测色谱图

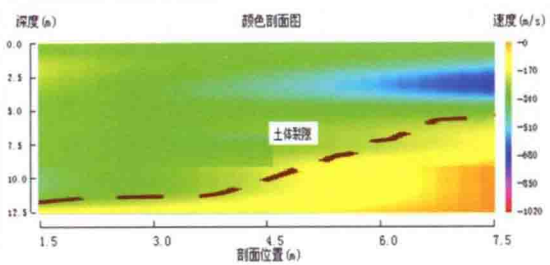


图 4.3 裂隙墙体面波探测色谱图

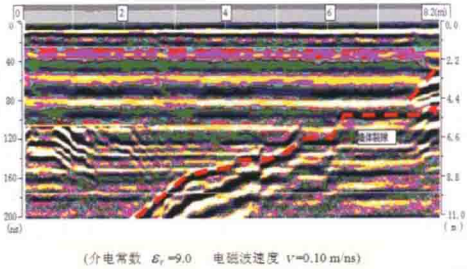


图 4.4 裂隙墙体探地雷达探测色谱图

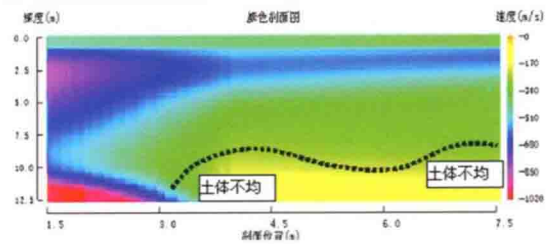


图 4.5 墙体土不均面波探测色谱图

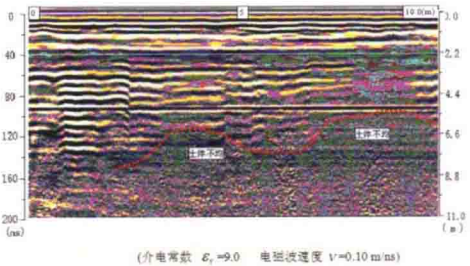


图 4.6 墙体土不均探地雷达探测色谱图

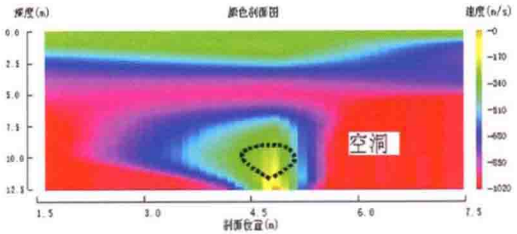


图 4.7 墙体洞穴面波探测色谱图

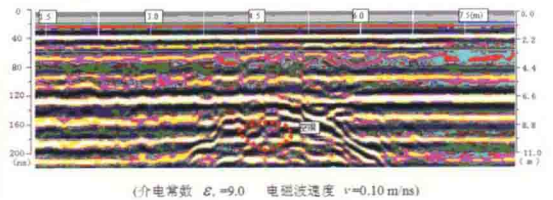


图 4.8 墙体洞穴探地雷达探测色谱图

图 4.9 砖砌砖内部脱空裂隙、错断

(a)

(b)

图 4.10 墙砌砖内部松动、裂隙

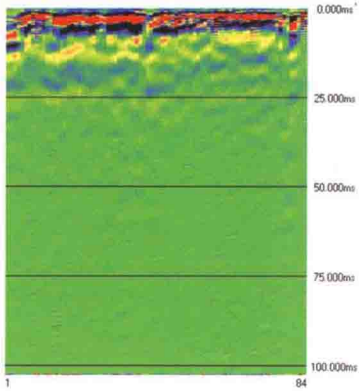


图 4.15 地下无洞穴地震映像法色谱图

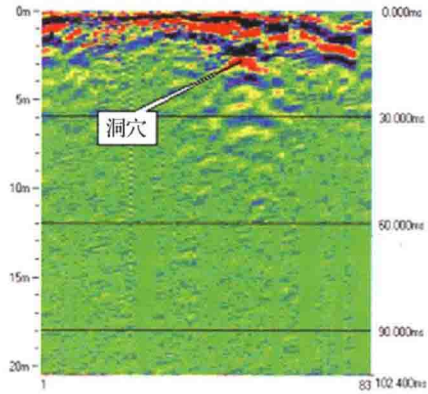


图 4.17 地下洞穴地震映像法色谱图

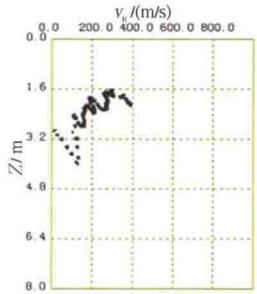


图 4.18 地下洞穴面波频散图

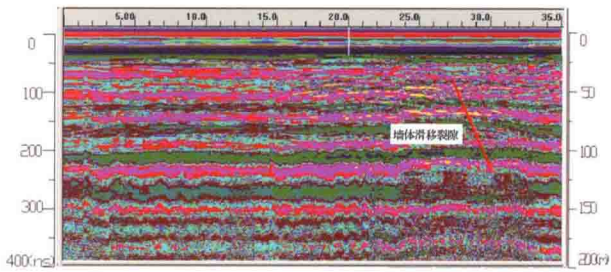


图 5.2 探地雷达测试成果

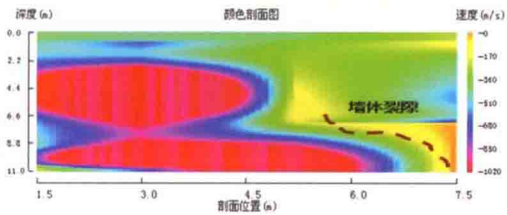


图 5.3 面波测试成果剖面图

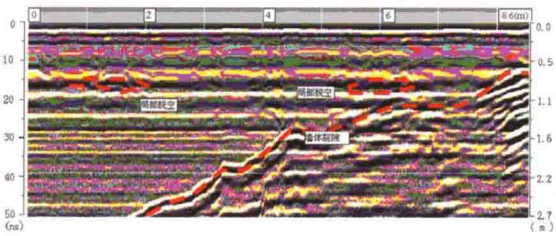


图 5.4 探地雷达测试成果

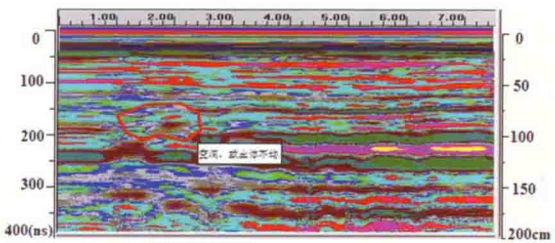


图 5.8 探地雷达测试成果

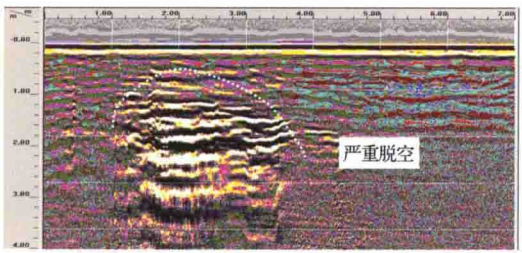


图 5.10 探地雷达测试成果

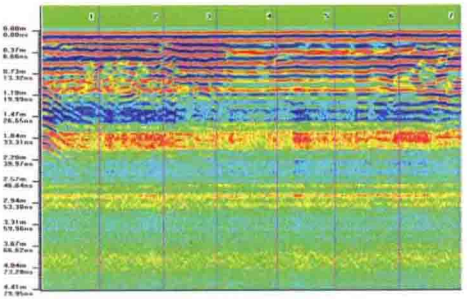


图 5.14 探地雷达测试成果（脱空）

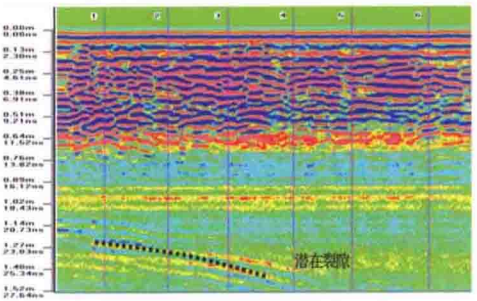


图 5.21 探地雷达测试成果（裂隙）

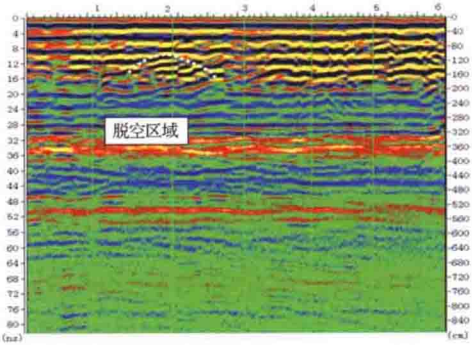


图 5.20 探地雷达测试成果（脱空）

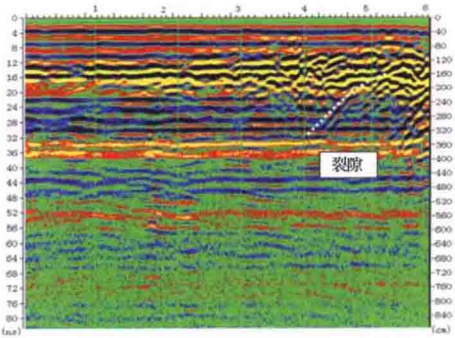


图 5.30 探地雷达测试成果（裂隙）

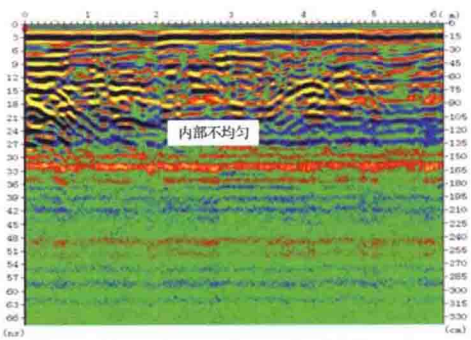


图 5.28 探地雷达测试成果

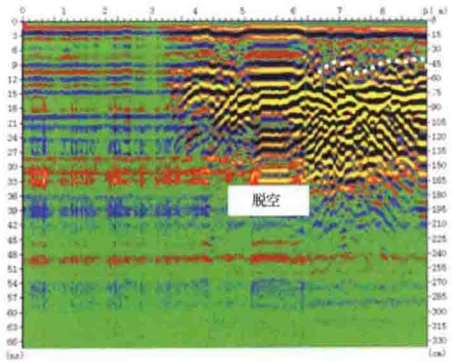


图 5.30 探地雷达测试成果

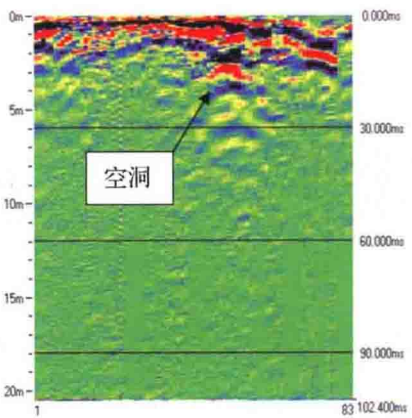


图 5.36 高密度地震映像检测成果

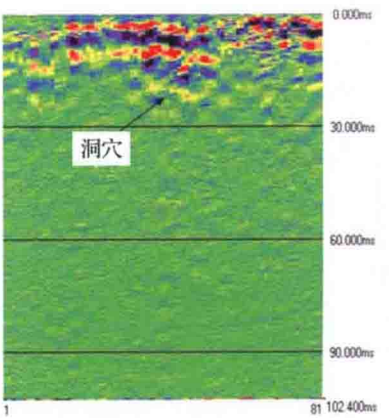


图 5.39 高密度地震映像检测成果

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

前　言

古建筑是人类文明发展的重要遗产之一，不论是对人类文明史的研究，还是对弘扬民族精神和开发旅游事业都有着十分重要的意义。随着社会的发展、人类物质文明和精神文明的提高，将现存古建筑作为世界遗产加以保护已引起人们的广泛关注。

在漫长的岁月里，古建筑经受了不同自然条件下的侵蚀和人类活动的破坏作用，有的因年久失修，濒临被完全毁灭的危险，亟待抢修。为做好古建筑的抢修和现状评估工作，首先要对古建筑进行全面、彻底的检测，查明古建筑体内威胁其安全的缺陷和隐患，以此为修复和评价提供依据。现有的古建筑物检测方法大多数不满足无损检测的要求，并存在采集检测样本少、检测效率低等问题。对此，人们开展了以探地雷达为主的无损检测技术的研究与应用，虽取得了一定的成果，但对每种检测方法的可行性缺乏深入系统的研究，时常存在因方法单一，而影响检测可靠性，或检测到的异常机制不明确，技术方法不规范，并且大多数方法仅停留在定性分析之上，导致其应用领域和检测效果受到了限制。因此，开发适用于古建筑物的无损检测技术，使其在探明隐患的同时又确保对古建筑物本身不造成破坏作用，阐明各种无损检测技术应用于古建筑检测中的可行性，建立针对不同古建筑的综合无损检测模式及其异常判别方

法是进行古建筑保护工作中亟待解决的一个重要问题。

笔者曾先后承担了河北省科技厅科技发展指导计划项目（编号：07215699），河北省住房和城乡建设厅建设科学技术研究计划项目（编号：2007-132），开展了“古建筑无损检测技术的试验研究”工作。以山海关长城、涿州古永济桥、鸡鸣驿古城等多项全国重点文物保护单位为对象，分别选择不同损坏程度的古城墙体、古城台、古桥体、古建筑地基及其地下洞穴的典型地段，开展探地雷达、面波勘探（检测）、高密度地震映像、常时微动和回弹测试方法的有效性测试研究，研究每种检测方法的适用条件和可靠性，并进行了古建筑综合无损检测模型及其异常解释方法的研究，获得以下研究成果。

（1）首次系统地对不同古建筑物各种破损缺陷类型开展无损检测技术的物质基础进行了研究，从理论上阐明了利用现有无损检测技术应具备的物理前提条件、可行性及其检测精度。

（2）通过对已知典型古建筑部位进行不同材质和不同缺陷类型的物性测试工作，初步获取和掌握了不同材质和不同缺陷类型的电阻率、介电常数、弹性波速以及抗压强度等参数，为各种方法技术的研究奠定了物性基础。

（3）通过回弹法测定古城墙砖强度的研究，分析了回弹值 N 和古城墙砖抗压强度 R_N 之间的相关性，经数据回归分析，首次建立了用于古建筑手工青砖回弹测强公式。

（4）率先开展了适合不同古建筑物的综合无损检测技术研究，首次提出了古建筑无损检测的综合检测模式，即探地雷达与面波勘探组合检测墙体、探地雷达与回弹测试组合检测墙外砌砖层、面波勘探与常时微动组合检测古建筑稳定性以及面波勘探与地震映像法组合探测地下古洞穴四组综合检测模式。

（5）研究制定出利用探地雷达、面波、地震映像法、常时微动综合识别古建筑物损坏、稳定性及缺陷程度的判别标准。

该研究课题成果已在数项古建筑保护工程中推广应用，其中多项为国家重大全国重点文物保护单位和世界文化遗产地的保护修缮工程，如：山海关关城及东罗城6000m城墙修复工程，怀来县鸡鸣驿城抢修保护工程，清东陵的景陵圣德神功碑楼修复工程等，对

目 录

第 1 章　引言 // ……1

1.1　开展无损检测的意义 // 1

1.2　主要内容 // 2

1.3　国内外应用现状 // 2

第 2 章　古建筑无损检测的基本问题 // ……6

2.1　古建筑基本特征 // 6

2.2　古建筑破损与缺陷类型 // 11

2.3　开展古建筑无损检测的物质基础 // 14

2.4　需要解决的关键技术 // 18

第 3 章　无损检测技术及其可行性 // ……20

3.1　探地雷达检测技术 // 20

3.2　面波检测技术 // 41

3.3　常时微动测试技术 // 56

3.4　高密度地震映像法 // 69

3.5　回弹测试技术 // 76

第 4 章　综合无损检测技术 // ……84

4.1　综合无损检测技术的提出 // 84

4.2　综合检测技术的组合原则 // 85

4.3　土质墙体综合检测技术 // 87

4.4　砌砖墙体综合检测技术 // 91

4.5　地下洞穴综合检测技术 // 96

4.6　古建筑物稳定性综合检测技术 // 99

第 5 章　综合检测技术的工程实践 // ……104

5.1　山海关镇东楼至牧营楼区段墙体综合检测评估 // 104

5.2　山海关长城（老龙头至靖边楼段）综合检测评估 // 110

5.3 山海关长城（关城至角山旱门关段）综合检测评估 // 116
5.4 清东陵景陵圣德神功碑楼修复工程遗址结构综合检测、稳定性分析 // 121
5.5 张家口大境门城台及东侧部分长城墙体结构综合检测及稳定性分析 // 126
5.6 涿州永济桥检测 // 133
5.7 鸡鸣驿古城地下洞穴检测 // 135

第6章 展望 // ……141

附录 河北省建筑科学研究院古建筑无损检测技术推荐导则 // ……142

参考文献 // ……158

第1章 引 言

1.1 开展无损检测的意义

作为人类文明发展的重要遗产之一的现存古建筑，不论是对于人类文明史的研究，还是对于弘扬民族精神和开发旅游事业都有着十分重要的意义。随着社会的发展、人类物质文明和精神文明的提高，保护现存古建筑为主体的世界遗产保护项目引起了人们的广泛关注。我国具有数千年的悠久灿烂文明史，遗留有大批十分珍贵的、反映我国民族发展史、具有重要保存价值的古建筑。在河北省境内就存有数百公里蜿蜒起伏的古老长城，怀来县鸡鸣驿城，张家口大境门，定州古塔，正定大佛寺和赵州桥，清东、西陵，承德避暑山庄，明清皇家建筑群等一大批享誉世界的古建筑。

这些古建筑在漫长的岁月里经受了不同自然条件下的侵蚀和人类活动的破坏作用，有的年久失修，濒临被完全毁灭的危险，亟待抢修。邓小平同志在1984年9月1日发出了“爱我中华，修我长城”的号召，国家已对古长城进行了部分的修复工作，使其得到了保护和修缮。近年来，国家对文物保护工作的重视程度越来越高，资金投入也越来越大，保护项目越来越多，保护工作越来越科学化，对古建筑现状的检测和评估工作也已成为保护工作必不可缺的一个环节。

为做好古建筑的抢修和现状评估工作，首先要对古建筑进行全面、彻底的检测，特别需要查明古建筑体内威胁其安全的缺陷和隐患。而现有的古建筑物检测方法多数为表面观察，对其内部缺陷和隐患则采取钻探取芯分析等有损检测方法，这一方面使建筑物受到不同程度的破坏，另一方面检测样本量少，检测效率较低，做出的评价结论很难代表古建筑物的全面、真实情况。为此，人们开展了大量的古建筑的无损检测技术的研究与应用。现有的以探地雷达为主

的无损检测方法则存在方法单一，检测异常机制不明确，技术方法不规范，并且大多停留在定性分析之上，使其应用领域和检测效果受到了限制。因此，在深入、系统地研究每种无损检测技术可行性的基础上，开发建立适用于不同古建筑物的无损综合检测技术，使其探明潜在隐患的同时又能对建筑物本身不产生破坏作用，建立针对不同古建筑检测任务的综合无损检测模型及其异常解释方法是进行古建筑保护的必然选择，无损检测的应用必将有力推动我国古建筑物保护事业的快速发展。

1.2 主要内容

本书较系统地介绍了古建筑物的无损检测技术物质基础，技术的有效性和可行性，各种方法的适用条件及范围，参数的设置与选择，不同古建筑病害对应的综合异常图像特征，综合探测模式和异常判别方法等，其主要内容如下。

(1) 选择不同损坏程度的古城墙体、古城台，古桥体，古建筑地基及其地下洞穴的典型地段，开展探地雷达、面波勘探、高密度映像、常时微动和回弹测试无损检测方法的有效性测试研究，分析了每种检测方法的适用条件和可靠性，阐述了每种检测方法技术参数和技术指标，规范其检测方法。

(2) 对不同破损程度的古建筑隐患部位对应的各种异常分析了产生的机制，总结出不同古建筑病害对应的综合异常图像特征，并建立相应的综合异常图像的判别标准，提出隐伏病害异常的解释方法。

(3) 在开展各种检测方法的有效性和实用性研究的基础上，提供了针对不同检测任务的综合无损检测方法模式。

1.3 国内外应用现状

目前，对于古建筑物缺陷病害的检测和修复已被各国政府和人民所重视，无损检测技术在这方面的应用也被国内外所认可，并取得了一些成果，主要集中体现在以下几个方面。

1.3.1 国外应用现状

(1) 宫殿结构的检测。早在 20 世纪 90 年代人们就利用声波法对埃及金字塔进行了检测，取得了较好的效果。之后西班牙地质学家 Pérez-Gracia V 以 Marques de Llió 宫殿研究为例，介绍了探地雷达在历史建筑物结构检测中的应用。以 S. XV 建筑为例，最后进行的改建是在 20 世纪 60 年代，通过调查获得的探地雷达数据，可以确定最后一次改建工作的具体影响范围，也探测出建筑物的结构成分和各个部位，并且发现了一些最古老的结构变化和所采用的解

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com