

New Applied Technology for Infrastructure

基础建设

应用新技术

周立功 / 编著



石油工业出版社

内 容 提 要

本书介绍了在基础建设中使用高新技术对工程选址、地基勘察、施工质量控制、工程病害治理等所进行的探测和勘察,内容包括各类建筑场地、大型电厂、机场跑道、市政道路、公路与铁路隧道、水库大坝的探地雷达检测与探测,工程建筑场地、核电站、煤田、中高温地热田的高精度地震勘察、微震监测及活动性构造研究,重大工程场址地震安全性分析等方面新技术方法的开发、研究与应用。

本书适用于从事建设规划、城市与市政建设、房地产开发、铁路与公路建设、机场建设、水利建设、地热开发、煤田勘探、人防建设等项工程的选址、设计、建筑施工、工程监理、工程病害治理,以及矿业、地质、地球物理、环保、地震研究等方面的技术人员、有关专业的大中专院校师生和其他人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

基础建设应用新技术/周立功编著.

北京:石油工业出版社,2000.5

ISBN 7-5021-2989-8

I. 基…

II. 周…

III. 基础(工程)-新技术应用

IV. TU47

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第08556号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

北京密云红光印刷厂排版

石油工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092毫米 16开本 30印张 770千字 印1—3300

2000年6月北京第1版 2000年6月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-2989-8/Z·149

定价:48.00元

谨将此书献给

曾与我同甘共苦、执著追求的战友以及为发展祖国的基础建设应用新技术事业而勤奋耕耘的朋友们。

同时，亦献给我的夫人安丰荣女士，感谢她数十年伴随我走南闯北，为支持我的工作所做的无私奉献。

2007.06

序 言

本书汇编了近十几年来我与同事们在基础建设应用新技术方面的一部分工作成果。

自 50 年代中叶起,我有近 20 年的时间走南闯北,从事区域地质和地震地质的调查工作,在地学基础理论的研究领域内,为前辈们绘制蓝图的宏业中添些笔墨。至 70 年代末,调入中国地质科学院,开始从事微震台网与地热田勘查的应用学科新技术。那时节,当我们工作在荒寂的广东大亚湾和岭澳为核电站选址,以及将微震台网架设在深圳市区的旧址——宝安县城周边时,也曾憧憬过今日特区的繁华。当我与助手们一步三喘地跋涉在西藏高原,在海拔 4000m 的羊八井及 4800~5100m 的羊易两地进行高温地热田综合地球物理勘查时,战友们戏言:“我们在世界屋脊上布设的微震台网和其他各项勘查工作,该记入吉尼斯世界记录了”。事隔数年,当获知羊八井热田经深钻获得了 329℃ 的高温热液时,我们深感欣慰。

90 年代初叶,我调入中国华能集团公司从事地学高新技术工作。在大型企业里,面对众多的发电厂、运煤专线铁路、煤田、海港、码头等许多在建和新建工程,都需要高新技术的积极参与。针对各类工程的前期勘查选址、施工期间的质量监控以及已建工程运营中的病害诊治等诸多项目,我们筛选开发并使用了多种应用新技术工作方法。使我深感慰藉的是,所承担的一些重要工程项目,在专家与许多挚友们的辅佐协助下,都得以顺利完成,为诸项工程的建设提供了翔实的资料和依据,均取得了预期的效果。诸工程在建设中,既节省了投资又保证了质量,体现了高新科技给基础建设带来的高效率与高效益。

探地雷达技术是近些年来国际上新发展起来的一项高新技术,经我国地球物理工作者们的积极引用与开发,已被使用到经济建设的诸多行业与领域。近几年中,我们开发并应用该项新技术,曾先后对首都国际机场、上海虹桥国际机场等数个大型机场的跑道进行了使用质量与病害的探测与评估,以及对北京市市政工程地下管道与各类隧道的施工质量所进行的检测等,其工作成果均被使用到实际的施工当中,为我国迅猛发展的民航机场建设与城市市政建设作了一些有益的工作。

在此,应提及美国劳雷工业公司的方励及袁明德两位先生,他们在我国引进并推广探地雷达新技术方面作了积极的工作。袁明德及方励两位先生应邀撰写的文章也一并编入了本书内。

近些年,高分辨率浅层地震勘探技术在不断地发展。在煤田勘探中,我们以地震反射和折射两种方法的综合应用,查明了落差 2~5m 的小断层,为大型煤矿高产、高效的综采设计与生产提供了可靠的依据。在开发高精度地震勘探的技术方面,进行了有效的尝试。

将研究天然地震的微震台网监测技术用于核电站和重大工程场址的选址，将综合地球物理高新技术方法应用于中、高温地热田的勘查与开发，都是在国内实施较早且均获得了良好效果的课题。搞这些开发项目，从调研到实施，曾用了我近 10 年的时间。

与中国科学院院士胡聿贤博士、时振梁、黄玮琼、环文林、杨承先等研究员共同合作完成的四个不同类型的工程场址地震安全性研究课题，具有一定的代表性，可供同行借鉴。

常言道：“搞基础建设是一个累活”，“搞地学是一门苦差使”。与新中国同时成长起来的地学工作者们，以前辈为师表，成年累月地跋涉在深山峻岭、江海湖泊，顶严寒冒酷暑、披星戴月、风餐露宿，凭着对祖国的赤诚，尝尽艰辛、无怨无悔地探求着地球的奥秘，默默地耕耘、描绘着中华大地的蓝图。我和我的战友们有幸参加到这个行列中，亲眼目睹了我国的基础建设与地学事业的蓬勃发展，亲身感触到众多高新技术在国家基础建设中已被广泛地应用，并频结硕果，我们倍感由衷的喜悦。

在这里，我要衷心地感谢中国国际工程咨询公司的王海研究员，中国华能集团公司的前任总经理王传剑先生，原地质矿产部的田起先生、方华先生、陈昌礼高级工程师、张振国高级工程师、王金泰先生、曹佑功高级工程师，中国地质科学院的齐国民先生、孙叶研究员、朱明玉高级工程师，中国神华集团公司的刘向阳先生、石鑫副总经理、刘红军高级工程师，中国能源研究会地热专业委员会主任任湘教授，以及西藏地矿局的东朗、洛桑、索加和丁达娃等藏族兄弟，是他们在工作的许多关键时刻，给予了我极大的支持和帮助。

我还要友情地感谢与我共同完成了众多高新技术项目的许多挚友和我的助手们，他们都曾作出了不懈的努力与无私的奉献。参加本书内诸项目与文稿编写的人员还有：张维平、杨峰、胡聿贤、杨承先、黄玮琼、李小军、赵凤新、章淮鲁、环文林、袁明德、方励、郝书俭、焦振兴、王恩福、李兴才、林真明、蒋晖、张家茹、邵学钟、冯齐中、严炎兴、李学军、刘汉俊、褚志贤、武铸成、郭功营、高海霞、李金森、凌宏、张国宏、张正墨、卢广顺、许成林、陈学波、唐文榜、刘昌铨、潘瑞林、戴呈祥、陈大为等人。周玮、安琪、沈玲负责了文稿的校对工作。

摆在面前的这本文集，是一段里程的纪实。其中，一部分文章已在国内外出版的诸多刊物上公开发表过，其余部分为近期所撰写。由于时间仓促，加之水平所限，在理论研究与应用新技术的开发等方面，尚欠力度与深度，不妥之处，敬请赐教。

周功

2000 年 1 月

目 录

一、机场跑道、水库大坝、公路隧道等工程 高技术探地雷达的检测与探测

- 首都国际机场东跑道综合病害探地雷达检测与研究 周立功 张维平 杨 峰 (2)
- 上海虹桥国际机场跑道病害探地雷达检测与研究 周立功 张维平 杨 峰 (15)
- 天津张贵庄国际机场跑道与滑行道探地雷达检测 周立功 张维平 杨 峰 (25)
- 黄山机场跑道基础积水病害探地雷达检测 周立功 张维平 杨 峰 (30)
- 四川阆中新建机场采金老硐探地雷达探测与研究
..... 周立功 张维平 杨 峰 郝书俭 (36)
- 水库大坝震害与病害的雷达探测与研究
..... 周立功 张维平 杨 峰 郝书俭 李学军 (44)
- 探地雷达新技术在公路隧道病害检测中的应用
..... 周立功 严炎兴 张维平 杨 峰 蒋 晖 (52)
- 地质雷达在国内的应用与发展 表明德 方 励 (59)

二、工程建筑场地、煤田高精度地震勘查

- 神府矿区大柳塔煤矿综采工作面高分辨率浅层地震勘探
..... 周立功 唐文榜 张维平 杨 峰 刘昌铨 (79)
- 浅层数字地震仪在沙漠煤田勘探中的应用
..... 李金森 凌 宏 张国宏 张正墨 卢广顺 许成林 陈学波 (87)
- 苏州燃煤发电厂厂址高精度地震勘查 周立功 张维平 杨 峰 蒋 晖 (97)
- 温州市高层建筑地基基础高分辨率浅层地震勘探
..... 周立功 张维平 杨 峰 潘瑞林 戴呈祥 陈大为 (104)
- 地震时间剖面超屏滚动显示技术 杨 峰 周立功 张维平 (112)

三、大型工程选址中的微震监测与活动性构造研究

- 微震台网在地质工作中的应用 周立功 (119)
- 核电站选址中的微震监测与研究 周立功 (125)
- 深圳地区的微震监测与研究 周立功 (132)
- 广东莲花山断裂带的现今活动研究 周立功 (145)
- 深圳地区的地震活动与现今构造应力场 周立功 (160)

强震前的震源应力波初析 周立功 (168)

四、中、高温地热田新技术勘查与研究

福建漳州沙建地热区的微震研究 周立功 刘汉俊 褚志贤 (179)

闽南现今构造应力场与水热活动 周立功 褚志贤 (207)

西藏羊八井高温地热田地噪声与微地震勘查研究 周立功 张维平 (224)

云南景洪曼蚌地热田地噪声勘查 周立功 张维平 (239)

西藏羊易高温地热田的综合地震勘查 周立功 张维平 冯齐中 (246)

西藏羊易高温地热田地热噪声及噪声源的勘查与研究 周立功 张维平 (255)

西藏羊易高温地热田微震监测与研究 周立功 张维平 (267)

西藏羊易高温地热田人工爆炸地震观测 周立功 张维平 (284)

西藏高原羊易地热田深部构造的近震转换波研究
..... 张家茹 周立功 邵学钟 张维平 冯齐中 (291)

西藏羊易高温地热田热储与通道初析 周立功 张维平 (303)

国外地热区的地震研究 周立功 (327)

Microseism Observation in Shajian Thermal Sprints of Zhangzhou, South Fujian
Province Zhou Ligong, Liu Hanjun, Chu Zhixian and Zeng Ruiyi (334)

Investigation of the Deep Structures in Yangyi Geothermal Field of the Tibet Plateau
by Using Converted Waves of Near Earthquakes Zhang Jiaru, Zhou Ligong,
..... Shao Xuezhong, Zhang Weiping and Feng Qizhong (347)

Processing and Interpreting the Data of an Integrated Seismic Exploration in the
Yangyi High Temperature Thermal Field of Tibet
..... Zhou Ligong and Zhang Weiping (359)

五、重大工程场址地震安全性研究

贵州瓮福矿肥基地地震烈度与地震危险性分析研究
..... 杨承先 章准鲁 焦振兴 环卫林 周立功 (366)

黄骅港海港工程场址的地震安全性研究
..... 黄玮琼 杨承先 周立功 (385)

江苏太仓储液罐 (LPG) 项目场址地震安全性研究
..... 李小军 赵凤新 胡聿贤 周立功 (419)

苏州燃煤发电厂厂址的地震安全性研究 黄玮琼 环卫林 周立功 (432)

河北省黄骅新港 S 波速度测量 周立功 王思福 张维平 杨 峰 林真明 (451)

浙江太仓华能阿莫科大型储液罐地基剪切波速测试
..... 杨 峰 周立功 张维平 李兴才 蒋 晖 (456)

六、城市建筑与市政建设地下工程高技术探地雷达的检测与探测

市政工程地下顶管与暗挖隧道顶部围土状态探地雷达检测

..... 周立功 武铸成 郭功营 高海霞 (460)

混凝土构筑物的高技术雷达探测与检测 周立功 (465)

一、机场跑道、水库大坝、 公路隧道等工程高技术探地 雷达的检测与探测

首都国际机场东跑道综合病害探地雷达检测与研究

周立功 张维平 杨 峰

使用探地雷达技术对机场跑道综合病害进行了探测,对跑道的结构、各层厚度、混凝土层裂缝与蜂窝、面层混凝土位移与脱空进行了详细的检测与研究,为跑道病害的治理整修工程提供了基础资料。

前 言

为适应我国民航事业的迅速发展,根据国家的总体规划与安排,首都国际机场航站区于1995年10月20日起开始进行了较大规模的扩建工程,其中对东跑道的整修是主要项目之一。

首都国际机场共有东、西两条主跑道。东跑道始建于1954年,于1958年投入使用。原道长2500m,宽60m,由厚为25~28cm的道面混凝土和20cm的砂卵石基础层组成。

1966年,东跑道两头各延长350m。延长段结构为两层,底部为30cm厚的灰土基础,面层混凝土为30cm。延长后的全道长为3200m。

于70年代末,为适应民航事业的发展和机型不断更新变大,宽体机逐渐增多的需要,对东跑道进行了混凝土盖被,同时南端延长600m。整修后的东跑道宽60m,全长为3800m。

东跑道经第二次扩建整修后,至今又连续使用了15年之久。近几年,随着国家改革开放、经济发展和对外交流的迅速增加,作为空中国门的首都机场,飞行流量持续增长。1995年8月间,日平均起降375架次,日高峰起降达450架次,在国内民航系统创下了起降量、运输量和客流量的三个第一。作为机场两条跑道之一的东跑道主要用于着陆,其使用率最高,承受的荷载也在逐渐增大。

为对东跑道的使用现状有一个较全面的了解,以便制定并实施一个行之有效的加固修复方案,使用先进的雷达无损探伤技术,仪器选用美国产SIR-10A型高分辨率探地雷达,以不同频率的天线对指定和选定的道段进行了详细的检测和探测,对东跑道使用质量作出评估。

检测技术与方法

1. 方法简介

与通讯、探空及遥感遥测雷达的技术相似,探地雷达亦是利用高频电磁脉冲波的反射原理来探测地下目的体及地质现象。与其他雷达相异之处,它是由地面向地下发射电磁波来实现探测目的,故称其为探地雷达,亦称地质雷达。

探地雷达利用主频为十几兆赫至几吉赫波段的电磁波,以宽频带短脉冲形式,由地面通

过天线发射器 (T) 发送至地下, 经地下目的体或地层的界面反射后返回地面, 为雷达天线接收器 (R) 接受, 其工作原理如图 1 所示。

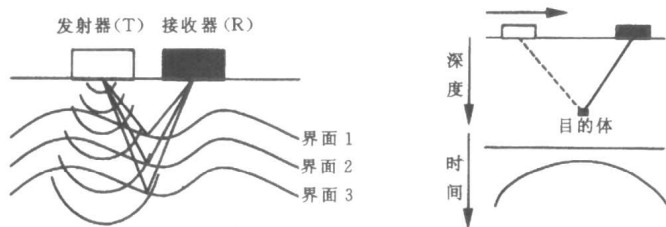


图 1 探地雷达工作原理示意图

脉冲波的行程为:

$$t = \sqrt{4z^2 + x^2} / v \quad (1)$$

式中 t ——脉冲波走时, ns;

z ——反射体深度, m;

x ——T 与 R 的距离, m;

v ——雷达脉冲波速, m/ns。

探地雷达的天线发射接收器有单置式和双置式之分。单置式为发射与接收同置一体, 双置式为发射与接收分体。

使用单置式天线计算探测目的层深度的计算式为:

$$z = \frac{|x|}{\sqrt{\left(\frac{t}{t_0}\right)^2 - 1}} \quad (2)$$

使用双置式天线计算探测目的层深度的计算式为:

$$z = \sqrt{\frac{t_2^2 x_1^2 - t_1^2 x_2^2}{4(t_1^2 - t_2^2)}} \quad (3)$$

2. 使用仪器设备

早在二、三十年前, 雷达仪器设备都是由数台汽车进行牵引驳运的。近些年来, 随着电子技术与计算机技术的迅速发展, 雷达探测仪器均已由笨重庞大的结构改进为高度集成和高度自动化的轻便设备。

探地雷达是近十几年来新兴起来的进行地下探测和地面混凝土构筑物无损检测的一种高新技术。自 80 年代以来, 国内引进和开发的探地雷达有: 日本应用地质株式会社 (OYO 公司) 的 GEO-RADAR 系列、加拿大探头及软件公司 (S&S) 的 PulseEKKO 系列、美国地球物理探测设备公司 (GSSI) 的 SIR 系列、瑞典的 RAMAC/GPR 系列以及我国近几年研制的 LT 系列等。

执行本项目所使用的仪器设备, 是于 1993 年从美国 GSSI 公司引进的 SIR-10A 型探地雷达及其配套系列天线, 如图 2、图 3、图 4 所示。该

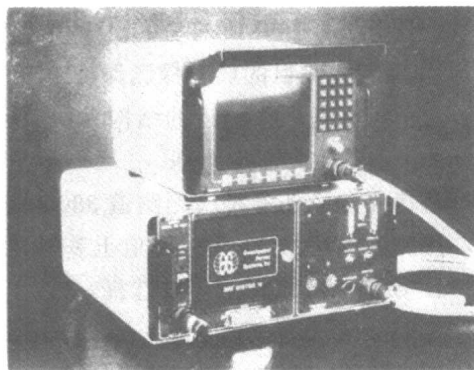


图 2 SIR-10A 型探地雷达主机

型号探地雷达的特点是：系统高度集成化、数字化，操作菜单化，天线屏蔽干扰小，探测范围广，分辨率高，具有实时数据处理和信号增强，现场实时显示二维彩色图像。其配置的探测天线系列化，可应用于各类地下目的体及目的层的检测与探测。

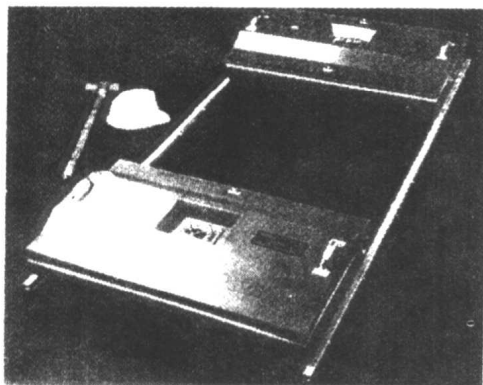


图3 100MHz 天线增强型

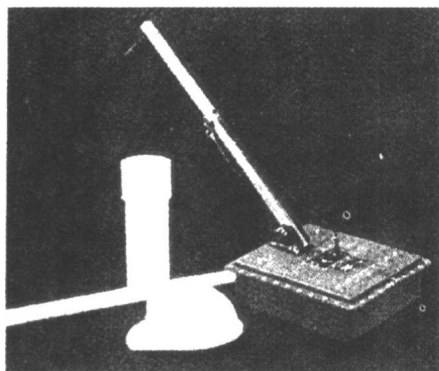


图4 500MHz 天线

SIR-10A 型探地雷达的主要部件特点及仪器的主要技术参数为：

道数：同时记录 1 道，2 道或 4 道。

计算机板：486SLC 带 16MB RAM 和协处理器。

雷达处理器：摩托罗拉 DSP-56001，20MHz。

阵处理器：SKY321 加阵处理板。

显示：VGA 彩显。

增益：-26~120dB。

滤波：具有高通、低通、水平和垂直滤波。

模数转换：8 位与 16 位可选。

采样率：128，256，512，1024。

脉冲重复率：2~7kHz。

范围：0~10000 ns 可选。

扫描速率：0.2~128 扫描/s。

分辨率： 50×10^{-12} s。

配置天线：100MHz、100MHz 增强型、500MHz、900MHz。

3. 确定检测目的层与探测深度

首都国际机场东跑道的结构为：面层混凝土、底层混凝土、砂卵石或灰土基础，总厚度为 0.8m 左右，其下为土基。

雷达探测的任务是检测跑道 3800m 道段主受力部位的损伤与病害，目的层深度在 1m 以内，探测深度控制在 2m。跑道土基探测与顶管施工地段土基探测的深度控制在 6~7m。

4. 仪器天线及探测参数选择

应用探地雷达在不同地区探测不同深度、不同类型的目的层或目的体，应选用与之相匹配的探测天线，并选择相应的探测参数。在对跑道进行正式探测前，针对不同的探测目的，经过多次试验，选定探测天线与探测参数，见表 1。

表 1 探测天线与探测参数

探测目的层	探测深度, m	天线类型, MHz	扫描记录时窗, ns
跑道混凝土层	1	900	20
跑道结构	1~2	900, 500	35~50
跑道基础	3	100	100~150
原 土	6~7	100 增强	350

跑道病害车载雷达探测如图 5 所示。道混凝土质量详细探测如图 6 所示。雷达作业辅助设备如图 7 所示。



图 5 跑道病害车载雷达探测



图 6 道混凝土质量详细探测



图 7 雷达作业辅助设备（现场指挥车、洒水车、夜间照明车等）

5. 数据与资料处理

数据与资料的处理基本可分为两个阶段：一是对记录图像进行巡视，然后会诊、查证、确认标志层与异常，确定详细处理的有关参数和使用程序。二是用雷达专用软件 RADAN III 程序包及自行开发的相应软件进行正式处理。

资料处理的流程如图 8 所示。

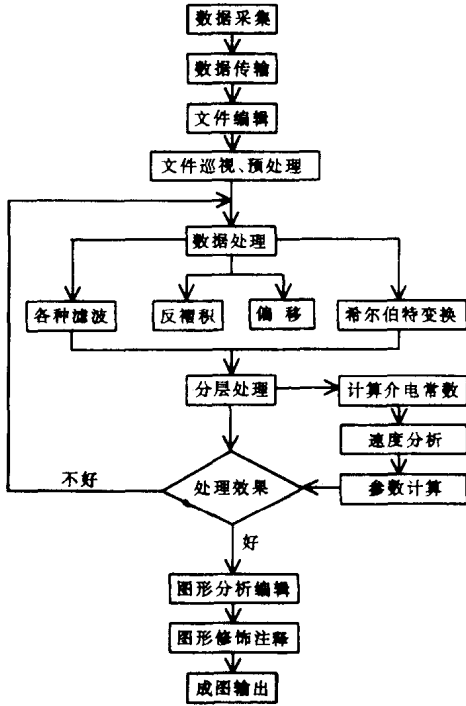


图 8 探地雷达数据资料处理流程图

空与混凝土板脱空率及混凝土块位移等。

6. 图像解释

探地雷达的图像解释是一项“多学科的专家系统”，它包含了高频电磁波技术、材料、力学、数学、地质、地理、工程和建筑施工等多种学科和行业的知识与经验。判读雷达图像，首先是对图形与图像的正确识别，然后才是相关的计算与解释。如同医学大夫用 B 超透视病人的躯体，虽然能看见内脏器官或发现一些异常病灶，但不一定能作出准确的判断。要获得较有把握的确诊，则需要丰富的临床经验。

探地雷达图像的正确解释是建立在探测参数选置合适、数据处理得当、有足够的模拟试验对比以及阅图经验丰富等基础之上的。

对首都国际机场东跑道雷达图像的判断识别与解释，重点放在跑道本身的各结构层。解释内容是以贯通跑道全长 3800m 的主测线探测结果为基准，研究跑道主受力部位的结构、构造与损伤。内容包含计算各层厚度、各段接头形态、混凝土层内部裂缝、蜂窝空隙、混凝土板破损率、混凝土层脱

检测结果简介

1. 跑道结构

首都国际机场东跑道全长 3800m，宽 60m，呈南北走向。根据跑道修筑时期的不同，将跑道分为 A、B、C、D、E 五段，具体分布见表 2。

表 2 不同时期的东跑道设计结构

段	A	B	C	D	E
混凝土号	676~796	607~675	126~606	71~125	1~70
段长, m	600	350	2240.8	260	350
设计结构	二层结构： 1. 混凝土层 2. 灰土基础	三层结构： 1. 面层混凝土 2. 底层混凝土 3. 灰土基础	三层结构： 1. 面层混凝土 2. 底层混凝土 3. 碎石基础	三层结构： 1. 面层混凝土 2. 底层混凝土 3. 碎石基础	三层结构： 1. 面层混凝土 2. 底层混凝土 3. 灰土基础

跑道结构的各层厚度是否达到设计要求，是检测施工质量好坏的一个重要方面，也是评估跑道质量的一项重要内容。探地雷达采用了先进的无损探伤技术，由发射天线向地下发射电磁波脉冲，跑道各层（包括原土、填土、基础、找平层、各混凝土层）在施工时由于材料、工艺上的差别，当电磁脉冲遇到不同介质的层面时，便产生反射，由接收天线接收反射的信号。雷达探测具有较高的精度，可获得跑道探测的连续结果。

探测结果经过处理，从雷达图像上可以清晰地分辨出跑道不同层位的起伏变化和结构形态。如图 9 所示，B、C 两段均为三层结构，B 段基础为灰土层，C 段基础为碎石层。

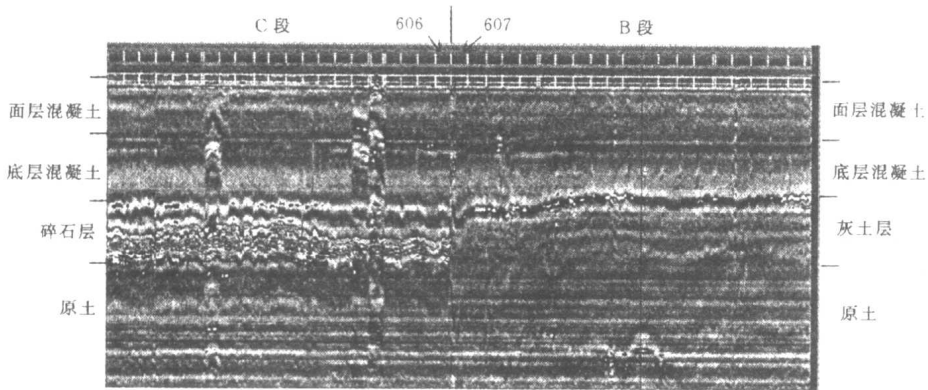


图 9 跑道结构雷达图像

在跑道端头及两种基础结构的已知各层厚度部位进行详细测试，计算获得各层混凝土及基础层的雷达传播速度，并以此计算出跑道各层厚度的变化情况，测试结果见表 3。

表 3 东跑道各层厚度的测试结果

段	A	B	C	D	E
层位	平均厚度, cm				
面层混凝土	41.1	21.9	32.8	35.5	24.6
底层混凝土	—	34.2	29.3	22.7	31.4
基础	39.6	30.2	19.8	24.6	30.9

各段纵向变化趋势如下：

A 段：总长 600m，为两层结构。灰土表面起伏不平，道混凝土铺盖前经找平处理，一致性较好。面层混凝土厚度变化总趋势是北厚南薄，平均厚度为 41.1cm，灰土基础平均厚度为 39.6cm。

B 段：总长 350m，为三层结构。从北向南面层混凝土厚度略有增加，但变化不大。底层混凝土从 607 块到 616 块间厚度减小且有起伏。从 617 到 675 混凝土块厚度逐渐减小，变化趋势明显。灰土基础起伏较大。面层混凝土的平均厚度为 21.9cm，底层混凝土的平均厚度为 34.2cm，灰土层的平均厚度为 30.2cm。

C 段：总长 2240.8m，为三层结构。面层混凝土厚度在纵向上一致性较差，在局部范围内稍有起伏。底层混凝土的纵向变化与面层混凝土相似。从整段范围来看，南北两端混凝土层平均厚度相差不大。基础碎石层在局部范围内起伏较大。三层结构从 126 块到 137 块间的厚度略呈递减变化。面层混凝土的平均厚度为 32.8cm，底层混凝土的平均厚度为 29.3cm，碎石层的平均厚度为 19.8cm。

D 段：总长 260m，为三层结构。面层混凝土厚度一致性好，基本无起伏。底层混凝土厚度也有较好的一致性。基础碎石层起伏较大，具有波状形态。面层混凝土平均厚度为 35.5cm，底层混凝土的平均厚度为 22.7cm，碎石层的平均厚度为 24.6cm。

E段：总长350m，为三层结构。面层混凝土由北向南缓慢变厚，底层混凝土由北向南递增的趋势明显，尤其在60混凝土块至70混凝土块间厚度递增的幅度较大。灰土基础较平稳，仅局部稍有起伏。面层混凝土平均厚度为24.6cm，底层混凝土的平均厚度为31.4cm，灰土层平均厚度为30.9cm。

不同时期修建的跑道各段接口处是易受损部位，因此探明各个接口处各结构层的现状是十分重要的。从雷达图像上可分辨出接口处的结构形态(见图9)。各道段接口探测结果见表4。

表4 各道段接口探测结果

接口部位	接口混凝土块号	接口现状描述
A,B接口	675与676间	经沥青混凝土盖被处理,面层混凝土连续性较好
B,C接口	606与607间	面层混凝土保持良好的连续性,底层混凝土于接口处呈缓慢过渡,基础层不同介质呈现明显差异
C,D接口	125与126间	各层都保持良好的连续性
D,E接口	70与71间	面层混凝土和底层混凝土连续性较好,基础层不同介质呈现明显差异

2. 跑道病害

(1) 混凝土内裂缝及蜂窝空隙

以往对混凝土材料内部隐蔽裂缝的调查没有一种有效的探测方法,常见的是根据局部范围所测得的孔隙率大小来推测混凝土内裂缝发育程度,无法确切地掌握裂缝的位置、形态、规模。而探地雷达采用电磁波技术进行探测,可以清楚地分辨出混凝土层内隐蔽裂缝的位置、形态及规模。图10为混凝土层内隐蔽裂缝与蜂窝空隙缺损病害雷达图像。图中第666混凝土块与667混凝土块面层混凝土底部裂缝清晰可见,且有施工蜂窝状空隙,混凝土板块施工接缝位错,面层混凝土平推位移。

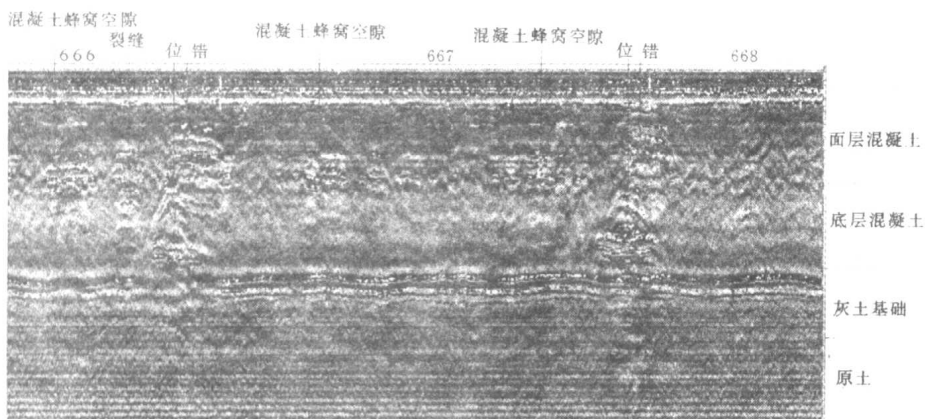


图10 混凝土层内隐蔽缺损病害雷达图像

以布设在跑道中心线两侧第二混凝土块位置的P1(东侧)和P4(西侧)主测线雷达探测结果进行统计分析,发现沿P1测线混凝土层内部的隐蔽裂缝及蜂窝空隙共计400处,P4测线418处。其中,P1测线表层混凝土236处,占59%;底层混凝土164处,占41%。在整条跑道上的分布情况如图11、图12所示。图中裂缝及蜂窝空隙数量以每十块混凝土板进行统计,反映了跑道不同道段的混凝土块缺损程度和趋势。

P4测线表层混凝土214处,占51%;底层混凝土204处,占49%。在整条跑道上的分布情

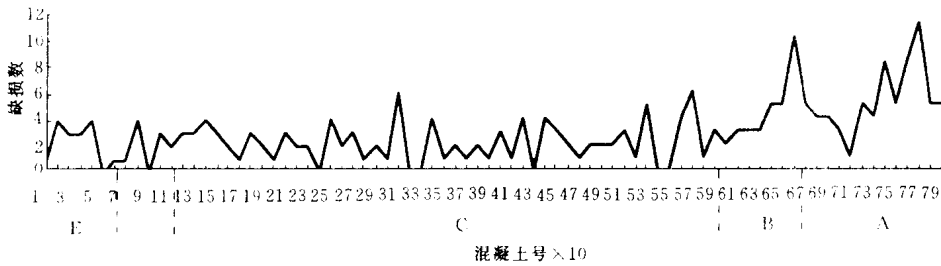


图 11 P1 测线沿道长面层混凝土隐蔽裂缝及蜂窝空隙分布趋势图

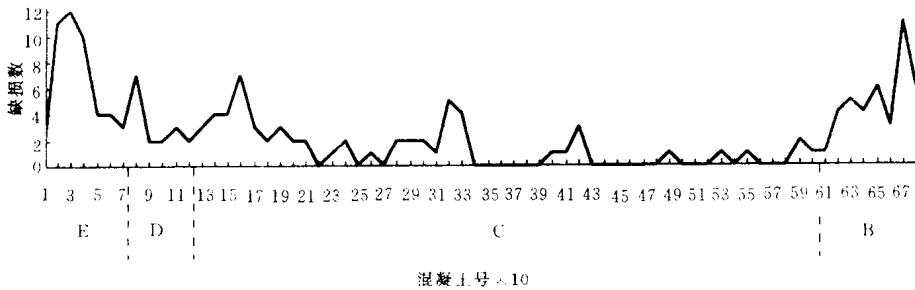


图 12 P1 测线沿道长底层混凝土隐蔽裂缝及蜂窝空隙分布趋势图

况如图 13、图 14 所示。图中裂缝及蜂窝空隙数量以每十块混凝土板进行统计,反映了跑道不同道段的混凝土块缺损程度和趋势。

从 P1 与 P4 两条主测线探测结果可以看出,面层混凝土 B 段缺损程度相对严重;底层混凝土缺损主要在 B 段和 E 段,且跑道西侧比东侧严重。

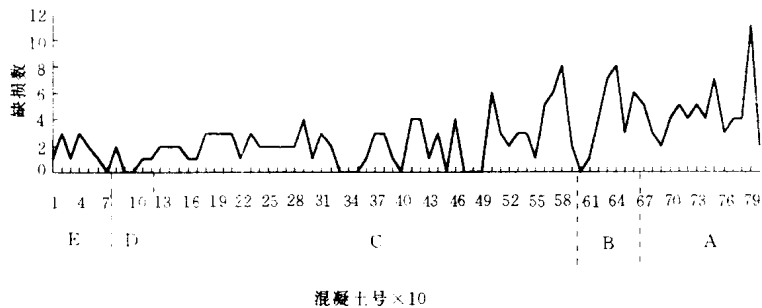


图 13 P4 测线沿道长面层混凝土隐蔽裂缝及蜂窝空隙分布趋势图

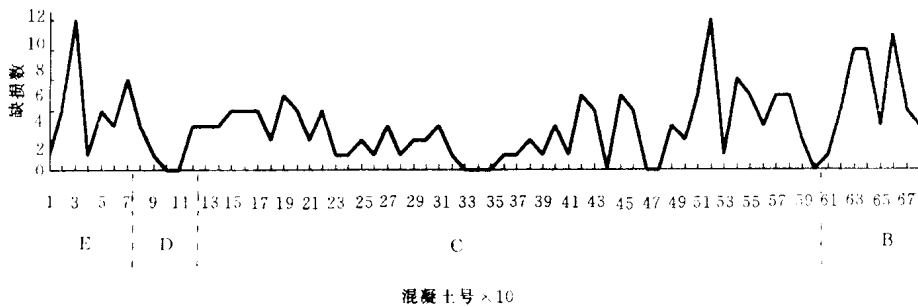


图 14 P4 测线沿道长底层混凝土隐蔽裂缝及蜂窝空隙分布趋势图