

2011—2016 中国地震局 优秀科技成果集

COLLECTION OF EXCELLENT
SCIENTIFIC AND TECHNICAL ACHIEVEMENTS
(CHINA EARTHQUAKE ADMINISTRATION, 2011-2016)

中国地震局 编

地震出版社

2011—2016 中国地震局 优秀科技成果集

中国地震局 编

COLLECTION OF EXCELLENT
SCIENTIFIC AND TECHNICAL ACHIEVEMENTS
(CHINA EARTHQUAKE ADMINISTRATION, 2011-2016)



地震出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

中国地震局优秀科技成果集: 2011—2016 / 中国地震局编. -- 北京: 地震出版社, 2017.6

ISBN 978-7-5028-4852-1

I. ①中… II. ①中… III. ①地震学—文集
IV. ①P315-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 095069 号

地震版 XM 4008

中国地震局优秀科技成果集 (2011—2016)

中国地震局 编

责任编辑: 樊钰 薛广盈 曹英

责任校对: 凌樱 刘丽

出版发行: 地震出版社

北京市海淀区民族大学南路9号

邮编: 100081

发行部: 68423031 68467993

传真: 88421706

门市部: 68467991

传真: 68467991

总编室: 68462709 68423029

传真: 68455221

<http://www.dzpress.com.cn>

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京地大彩印有限公司

版(印)次: 2017年6月第一版 2017年6月第一次印刷

开本: 889×1194 1/16

字数: 502千字

印张: 23.75

书号: ISBN 978-7-5028-4852-1/P(5552)

定价: 88.00元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

责任编辑：樊 钰 薛广盈 曹 英

责任校对：凌 樱 刘 丽

装帧设计：思瑞博企划

2011—2016 中国地震局优秀科技成果集

编委会

主任：郑国光

副主任：赵和平

编委：（按姓氏笔画排序）

马胜利	王夫运	王兰民	王海涛	王满达	田柳
任金卫	孙建中	孙柏涛	孙晓竟	孙福梁	杜玮
李永林	吴卫民	吴忠良	张志波	张尊和	张新基
陈锋	武守春	金星	赵明	胡斌	胡春峰
皇甫岗	姚运生	晁洪太	唐豹	黄剑涛	龚平
谢富仁	潘怀文				

执行编委：（按姓氏笔画排序）

丁志峰	卜淑彦	马瑾	王剑	王峰	王涛
王琪	王东明	王兰炜	王庆良	王春华	王晓青
王晓强	石玉成	龙海云	帅向华	叶秀薇	冉勇康
冯希杰	朱守彪	朱芳芳	刘希强	刘启元	刘英华
刘耀炜	齐诚	江在森	李杰	李辉	李山有
李永强	吴子泉	吴建春	宋权	张郁山	张晓东
张培震	陈杰	陈虹	陈颢	陈志高	陈晓利
陈聚忠	赵刚	郝春月	姜慧	祝意青	袁晓铭
袁道阳	聂高众	贾群林	顾左文	徐锡伟	高孟潭
郭惠民	姬建中	黄文辉	龚飞	常建军	董丽娜
蒋海昆	谢礼立	谢春雷	滕云田	潘华	戴怡茹

前 言

“十二五”期间，特别是党的十八大以来，在中国地震局党组的正确领导下，地震系统各单位和广大科技工作者以《国家地震科学技术发展纲要（2007—2020年）》为指导，认真实施《“十二五”地震科技规划》，紧紧围绕防震减灾事业和经济社会发展需求，瞄准地震科技国际前沿，组织实施了一系列国家科技支撑计划、“863”计划、重大仪器专项、国家自然科学基金项目、公益性行业科研专项、基本科研业务专项、“突破计划”、“星火计划”等项目，潜心攻关，大力推进理论、方法和关键技术创新，取得一批重大科技成果。2011—2016年间，地震部门获得国家科技进步一等奖1项、二等奖1项，获得省部级一、二等奖54项，科技创新和进步为防震减灾事业发展提供了有力支撑和引领，依靠科技进步拓展了防震减灾服务经济社会的领域和能力。

在基础研究创新方面。青藏高原东北缘构造变形与演化方面研究取得新认识，证实青藏高原通过下部地壳物质流动和上部地壳沿断层块体滑移两种方式向东扩张。亚失稳应力状态的识别及演化趋势研究得到显著进展，建立了不可逆模型的断层亚失稳核心理论，使亚失稳研究从实验室试验到野外观测成为可能。在国际上率先突破基于性态抗震理论的核心关键技术，相关研究成果在抗震设计上得到广泛应用，有效提高了建筑物抗震能力。攻克大型试验体多自由度非线性解耦控制的技术瓶颈，使得针对大型结构开展抗震试验成为可能。场地液化研究取得新进展，揭示了场地液化与地震动关系的物理本质，提出了基于动力触探贯入试验的砾性土液化判别技术，黄土地区场地地震效应与地基液化处理技术整体处于国际领先水平。

在观测技术、试验方法和基础性工作方面。提出了以气枪为代表的主动震源探测新技术，建立世界上首个固定激发地震波的地震信号发射台，实现了对地下介质波速微小变化的观测。首次在中国大陆开展超长观测距的岩石圈结构探测，提高了华北克拉通岩石圈破坏的地球动力学背景认识。在地下流体、地震电磁等

前兆观测领域发展了多种异常信息提取新方法，为地震前兆观测提供了新手段和新途径。自主研制了多套测年制样系统，建立了国内最全面的活动构造测年实验系统，为我国活动构造探测和研究提供了关键技术支撑。集成最新观测技术，开展多个区域构造演化过程的研究，加深了孕震环境和发震机理的认识。

启动实施了**中国地震科学台阵探测计划 (ChinArray)**，获取南北地震带约 200 万平方千米的地下精细结构，数据质量和处理结果达到国际先进水平。实施了**中国综合地球物理场观测项目**，在青藏高原东缘、鄂尔多斯地块、大华北等地区获得了高分辨率的地壳运动速度场、地表重力场变化和岩石圈磁场变化等多种图像产品，建立了以中国地磁参考场为代表的多个基本参考模型。开展了中国地震活动断层探察，利用高分辨率卫星影像解译、野外断错地貌测量、古地震探槽开挖、年代样品测试和综合测深地球物理方法等最新技术，完成了 25 条活动断层的地质地貌填图，产出活动断层分布图、断层活动性参数、地震构造模型等成果。

在监测预报、震害防御、应急救援科技攻关方面。发展了以多学科动态观测与大陆构造环境结合为主要特点的大形势跟踪思路，提出了具有动力学含义的多学科、多参量、多尺度动态（场）图像提取技术与强震危险性预测判据指标。研制数字地震台网信息实时自动处理系统，攻克了地震参数自动测定“快”与“准”的重大技术难题，实现了地震参数测定从人工到自动化的历史性跨越。实现了全国地震前兆监测业务高效、统一的信息化管理，使前兆观测运行的业务工作方式发生革命性变化。研制了国内首个火山形变分析专用系统软件，为我国火山形变监测研究提供重要技术支撑。一批地震学最新研究成果进入监测任务运行，将噪声成像方法开发为近实时噪声面波成像系统，实现对地壳介质时空变化的准实时、动态、可视化监测。提出了完整地震预警处理方法，建立了地震预警标准体系，突破了 P 波预警、阈值报警等关键技术，实现了高速铁路地震预警及紧急处置技术跨越式发展。成功开发了第三代核电地震预警系统，全面满足美国、欧盟以及中国核电相关标准。

利用先进信息技术、大数据技术、空间对地观测技术等，研发了系列地震危险性评估系统平台和产品。发展了考虑地震时空不均匀性的概率地震危险性分析理论，为我国地震区划图编制提供重要技术支撑。通过建立合理的预

测模型丰富了地震滑坡危险预测技术，开发了“区域滑坡泥石流危险性分析系统”，使科学研究向实用化和社会化迈进一步。以强地面运动特性研究为主体的工程地震研究取得显著成果，广泛应用于地震区划、重大工程地震安全性评价以及相关科学和工程研究。针对核电厂等特殊建设工程，发展了适应我国地震环境和地震安全性评价技术特点的技术标准、解决方案和技术方法，有力指导了地震安全性评价的工程实践。一批抗震防护新技术在城市建筑、农居安全、文物保护等方面发挥了重要作用。利用最新三维震害仿真建模关键技术建立了中国地震灾害损失调查评估培训系统，成为我国地震灾评行业培训、资格认证和综合管理的技术支撑平台。应用数字化网络化新技术，实现科普宣传受众的最大化。

发展了地震应急灾情准实时的快速评估技术，形成了地震应急决策知识表达模型、应急处置方案技术等一系列具有国际先进水平的理论模型与技术方法，显著提高了地震灾情的评估速度和准确性，可在震后30分钟内获得应急灾情、震后1小时内自动形成可操作的地震应急处置方案，在多个破坏性地震应急处置中得到实战检验。构建了首个中国地震应急救援标准体系，应用最新技术和应急管理策略建立的国务院抗震救灾指挥部技术支撑系统，成为国家级大型一体化服务于自然灾害和公共安全紧急处置的应急指挥系统。利用虚拟现实开发工具，构建地震应急救援处置仿真演练平台，先后为多个不同救援队进行应急救援仿真训练，显著提高了培训人员处理实战训练效果。

在科技支持国家“一带一路”建设方面。与“一带一路”沿线国家多途径地开展地震科技合作，输出台站建设成套技术，建成境外地震台站35个，覆盖面积达600万平方千米，为亚非洲5.49亿公众提供了地震监测服务。开展了中缅油气管线、中亚油气管线等地震安全性评价，为“一带一路”重大基础设施建设提供地震科技服务。在“一带一路”沿线国家实施地震救援行动，开展了多次地震应急演练及多次地震应急救援培训，有力推动区域地震应急救援能力建设。中、日、韩三国联合启动“东北亚地震、海啸和火山研究计划”，在中日地震对比、东亚地震剖面、深部构造与地震活动、各向异性、中日典型盆地对比、火山监测与预警、海啸灾害等方面推进合作研究，取得了一批有影响力的学术成果。

为总结展示“十二五”以来地震科技取得的主要进展，助力地震科技成果的推

广和转化，谋划地震科技创新发展，中国地震局组织“十二五”以来获得国家科技奖励和省部级科技一、二等奖奖励的成果完成单位以及部分正在实施中的重大科技任务牵头单位提供成果稿件，提炼筛选 66 项代表性成果，编撰完成《中国地震局优秀科技成果集（2011—2016）》。感谢为本书的完成付出辛勤劳动的科技工作者和科技管理人员。由于我们掌握信息不够全面，如有疏漏和错误之处，敬请批评指正。

编者

2017年5月9日

目 录

基础研究与应用基础研究

建筑结构基于性态的抗震设计理论及方法.....	003
大型复杂结构在线混合试验关键技术与应用.....	008
证实青藏高原通过下部地壳物质流动和上部地壳沿断层块体滑移两种方式向东扩张	014
“2010.0中国地磁参考场” 研究与应用.....	019
探测地下构造的主动震源技术系统及其应用.....	024
青藏高原东北缘晚新生代构造变形与演化.....	028
基于汶川地震的液化新认识及砾性土液化判别方法.....	034
黄土地区场地地震效应与地基液化处理技术研究.....	039
地下流体动态信息提取与强震预测技术应用.....	044
华北克拉通岩石圈结构研究——利用超长观测距主动源探测剖面.....	050
重力场时空动态变化研究及对地震中期预测的应用.....	055
数字地震噪声成像动态监测系统建设及其应用.....	061
青海湖邻近地区晚新生代构造变形与盆地演化研究及其应用.....	068
祁连山中西部活动断裂特征与构造转换.....	073
液化场地反应谱及实时识别理论与方法.....	078
广东省及邻区强震构造及震例研究.....	083
卫星重力在地震监测预测中的应用方法研究.....	089
强地震综合预测方法和预警技术研究.....	094

强震孕育和发生动力学过程的数值模拟研究.....	099
龙门山断裂带及川滇地块东南缘主要断裂古地震精细研究.....	103
潜在地震滑坡危险区域预测模型研究与系统研制.....	109
中国主要火山地壳形变监测及活动性分析.....	115
2008年汶川地震近场三维形变精密测定和同震位错模型研究.....	122
应用GPS技术进行中亚天山地区现代地壳运动研究.....	131

应用研究与技术开发

城市活动断层探测技术体系及其应用.....	139
中国地震灾害损失调查评估培训系统.....	148
数字地震台网信息实时自动处理系统.....	153
西南地震应急对策新模式与关键技术研究.....	159
地震应急救援处置仿真演练系统.....	162
小孔径地震台阵定位校正算法研究.....	167
中国地震前兆台网数据管理系统.....	171
核电厂地震危险性评价关键技术.....	177
强震动力动态图像预测技术研究.....	182
地震灾害应急遥感评估关键技术.....	187
地震水准测量起算基准获取及其在灾害防御中的应用.....	196
福建数字地震科普馆.....	201
四川汶川特大地震发震与成灾机理探索及广东省的减灾对策研究.....	206
青海省强震发展趋势与重点地区地震预报系统研究.....	213
陕西地震信息服务平台建设.....	218
水库地震预测方法研究.....	225

国务院抗震救灾指挥部应用技术系统.....	228
废墟搜索与辅助救援系列机器人.....	232
模拟多目标工程特性的地震动合成方法及其应用.....	238
地震台观测公共环境综合防雷系统研究与应用.....	244
垂直地电场观测方法研究.....	248
活动构造测年技术系统建设.....	253
石窟文物抗震防护技术对策研究.....	259
山东省地震动强度（烈度）实时速报系统研究.....	263
通用多功能多通道前兆数据采集器的研制.....	268

推广转化与应用

高铁与核电工程地震安全监控系统的研制及应用.....	275
大地震灾害救援现场关键环节标准工作程序及其管理系统研发.....	282
地震预测研究所2009—2011年度地震趋势预测报告与震情跟踪研究.....	286
宝鸡市活断层探测与地震危险性评价.....	289
幼儿地震灾害自救常识科普教育项目.....	295
济南市主城区活断层探测与地震危险性评价.....	303
山东省农村民居建筑地震安全服务技术研究与示范工程建设.....	308

重大科技任务阶段进展

断层亚失稳的实验研究、数值模拟和野外应用.....	313
特大地震危险区识别及危险性评价方法研究.....	319
地震灾情快速评估与应急决策支撑.....	323
地震预警与紧急处置技术.....	328

高速铁路地震紧急处置..... 331

中国综合地球物理场观测..... 334

喜马拉雅地震科学台阵..... 345

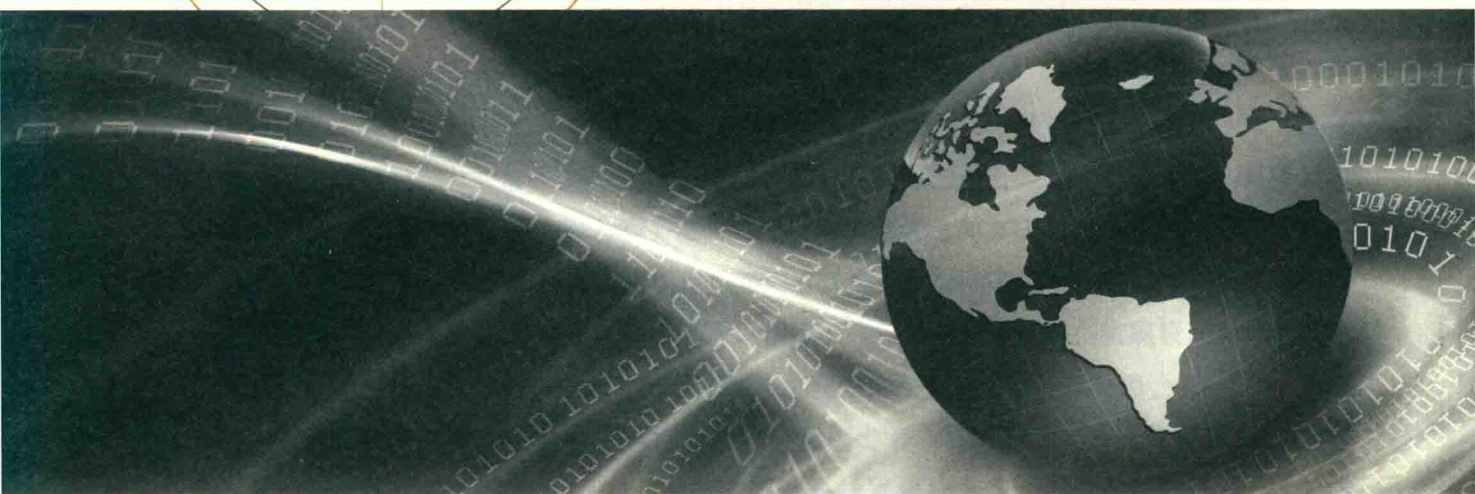
中国地震活动断层探察——南北地震带中南段..... 350

中日韩东北亚地震、海啸和火山研究计划..... 354

“一带一路”防震减灾合作..... 360

1

基础研究与应用基础研究



建筑结构基于性态的抗震设计理论及方法

一、成果概况

本成果属于建筑工程防震减灾领域。建筑结构基于性态的抗震设计理论突破了传统抗震设计以“保证生命安全”为主要设防目标的局限，以有效控制人员伤亡和经济损失、保障结构使用功能为目标，代表抗震设计理论的发展方向，对确保建筑结构地震安全及土木工程防震减灾学科的发展具有重要推动作用。然而该理论存在三大核心技术难题：确定多概率条件下的抗震设防水准和目标、解决基于性态的设计地震动理论和方法、确保各种抗震性态得以实现的抗震设计方法与技术，因此该理论难以在工程上付诸实施。本团队历经近 20 年的研究和实践，攻克了上述三大核心技术难题，创建了建筑结构基于性态的抗震设计理论及技术体系，推动了相关技术标准的编制和基于性态抗震理论在工程中的实际应用。

项目获发明专利 3 项，软件著作权 3 项，出版专著 4 部，发表论文 188 篇，SCI/EI 收录 136 篇，培养硕/博士生 50 余名，获省部级科技进步一等奖 2 项，主编抗震设计标准 3 部，合作起草 5 部，提供技术支持 4 部。主编的我国首部基于性态的抗震设计标准《建筑结构抗震性态设计通则》(CECS160:2004)，支撑并推动了《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)等 11 部国家及行业规范的编制，引领了我国基于性态抗震设计规范的编制，被业内誉为“样板规范”或“规范的规范”。

研究成果已广泛应用于各类重大、复杂工程的抗震设计中，如：深圳京基 100 大厦（深圳最高建筑）、北京银泰中心（北京第二高建筑）等，为提高我国工程结构的防震减灾能力提供了重要理论及技术支撑，有力推动了我国抗震技术及创新体系的发展，创造了显著的社会和经济效益。



二、主要创新点

1. 建立了多概率条件下的抗震性态设防水准和目标

(1) 提出了基于使用功能分类的建筑物最低抗震性态目标及分级抗震设防的方法：基于结构使用功能分类，将“小震不坏、中震可修、大震不倒”的抗震设防原则，发展为能满足多种性态目标的抗震设防原则；建立了抗震设计类别的概念，在国内首次提出了根据设计地震动参数和建筑使用功能进行分级抗震设计的思想和方法。

(2) 建立了考虑地震危险性特征确定多概率水平设计地震动的方法：提出了基于基本烈度计算地震动参数的公式，建立了基于地震危险性特征确定多概率水平设计地震动的方法。

(3) 提出了通过调整设计基准期确定结构重要性系数的方法：提出了通过调整设计基准期确定结构抗震设计重要性系数的定量方法，在国际上首次实现了确定结构重要性系数从经验判断到与地震发生概率水平密切相关的定量跨越。

(4) 建立了同时控制人员伤亡和经济损失、确保震后使用功能的最优设防标准决策模型：提出了基于控制人员伤亡、经济损失和确保震后使用功能的抗震设防思想，给出了最优设防烈度的决策数学模型及二阶段决策分析方法，并对我国实施控制人员伤亡给出了相应的设防标准值。



图1 多概率条件下的抗震性态设防水准和目标

2. 发展了基于性态的设计地震动理论和方法

(1) 提出了基于双规准谱的统一设计谱理论：提出了双规准反应谱的概念，建立了基于双规准谱的统一设计谱理论，发展了地震环境相关设计谱确定方法，为抗震结构性态要求的