

大射电望远镜 贵州选址理论与方法

宋建波 等著

地质出版社

大射电望远镜 贵州选址理论与方法

宋建波 刘 宏 王文俊 向喜琼 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

我国大科学工程——大射电望远镜项目 (FAST/SKA) 需利用喀斯特洼地作为支撑台址, 并在贵州优选数十个甚至上百个呈对数螺旋分布的台址以建设大射电望远镜阵。本专著结合大射电望远镜的台址条件、布局要求及选址中需解决的关键科学问题, 分上、中、下三篇阐述了大射电望远镜 (FAST/SKA) 贵州喀斯特地区选址理论与方法。上篇主要阐述贵州区域地质背景、新构造运动特征、地震活动性与地震危险性、现今构造应力场特征及区域构造稳定性分区; 中篇重点介绍贵州喀斯特及峰丛洼地分布规律、台址三维仿真及优化设计系统、500 米口径大射电望远镜 (FAST) 台址评价与优选理论、一平方公里阵大射电望远镜 (SKA) 台址布局与实现方法; 下篇初步探讨核心台址——大窝凼洼地的区域地质环境条件、地震及动力响应特征、岩质边坡稳定性评价理论、岩溶塌陷及顶板稳定等关键工程地质问题。

本书是世界上第一部介绍大射电望远镜选址理论与方法的学术专著, 也是我国首部与喀斯特地区重大工程选址有关的学术著作。全书内容丰富, 图文并茂, 思路清晰, 文字流畅, 三大专题既独立成篇, 又组成了完整的理论和方法体系。可以作为工程地质、岩土工程、天文学等专业大学生和研究生的教学参考书, 也可供相关行业的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

大射电望远镜贵州选址理论与方法/宋建波等著.

北京: 地质出版社, 2006. 10

ISBN 7-116-05026-4

I. 大... II. 宋... III. ①天文台 - 选址 - 研究 -
贵州省②射电望远镜 - 基本知识 IV. ①P112②TP16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 122955 号

DA SHEDIAN WANGYUANJIANG GUIZHOU XUANZHI LILUN YU FANGFA

责任编辑: 李凯明

责任校对: 韦海军

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话: (010) 82324508 (邮购部); (010) 82324576 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

传 真: (010) 82310759

印 刷: 北京地大彩印厂

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 19.5 图版: 3 页

字 数: 480 千字

版 次: 2006 年 10 月北京第 1 版 · 第 1 次印刷

定 价: 50.00 元

ISBN 7-116-05026-4/P · 2741

(凡购买地质出版社的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社出版处负责调换)



宋建波博士简介

宋建波 男，1972年1月7日生，河北迁西人，工学博士，中共党员。贵州大学地质工程专业教授，校科技处副处长，喀斯特环境与地质灾害防治教育部重点实验室副主任，贵州省喀斯特环境与地质灾害防治重点实验室副主任。

1994年7月毕业于西南科技大学地质矿产勘查专业，获工学学士学位。1997年3月毕业于昆明理工大学矿产普查与勘探专业，获工学硕士学位，导师为孙家骢教授，研究方向为“矿田地质力学”。2000年7月毕业于昆明理工大学矿产普查与勘探专业，获工学博士学位，导师为于远忠教授，研究方向为“岩基工程”。2000年9月至2002年7月在成都理工大学地质工程专业做博士后科研人员，导师为张倬元教授，研究方向为“区域稳定及岩体稳定”。2002年7月作为高层次人才引进到原贵州工业大学任教，同年12月破格晋升教授。目前主要从事地质工程和岩土工程专业的教学和科研。已主持以“大射电望远镜贵州选址项目”为代表的20余项科研课题，出版专著2部，发表学术论文50余篇，获贵州省科技进步三等奖1项（排名第一），培养项目博士后科研人员2名、硕士研究生20余名。

2004年评选为第七届贵州十大杰出青年，获第三届中国岩石力学与工程学会青年优秀科技奖银奖。2005年遴选为第五批贵州省优秀青年科技人才，获第八届贵州省青年科技奖。2006年遴选为教育部新世纪优秀人才和第四批贵州省管优秀专家。主要学术和社会兼职为：第十届中华全国青年联合会常委，第八届贵州省青年联合会常委，第四届中国青年科技工作者协会常务理事，第三届贵州省青年科技工作者协会会长，第七届中国地质学会工程地质专业委员会委员，第四届贵州省岩石力学与工程学会副理事长，《矿业研究与开发》（中文核心）杂志理事会理事。

通讯地址：贵州大学蔡家关校区喀斯特环境与地质灾害防治重点实验室 550003

电 话：0851-8115668

传 真：0851-4735885

电子邮件：songjianbo7217@126.com

网 址：www.gzkarstlab.com

序

射电望远镜是天文学研究中以高分辨率、高灵敏度探索宇宙奥秘的重要观测设备,不仅可以捕捉星云等发出的低能量电波,而且可以观测有关银河系进化、星体形成机制等数据。中国月球探测工程——“嫦娥工程”就是用射电望远镜接收探月卫星发回的科学数据,参加对卫星位置的准确观测。因此,我国积极开展一平方公里阵大射电望远镜(简称 SKA)及其在中国的先导工程——500m 口径球面射电望远镜(简称 FAST)的研究,并争取将世界上最大的射电望远镜(阵)建在中国,对推动和促进我国天文学及相关学科的发展均有重要意义。

我国的大射电望远镜设计方案需要利用贵州天然喀斯特洼地作为台址,并计划在贵州建造数十个甚至上百个呈对数螺旋线形式分布的台址组成的大射电望远镜阵。大射电望远镜选址不仅要考虑洼地口径、深度、平面形态、山峰峰数、闭合程度为主要特征的几何条件,以挖填方量和交通条件为主要内容的工程条件,以水文工程地质、地质灾害、地震灾害为主要特征的地质条件,还要考虑以气温气压、冰雹霜冻为主要特征的气象条件,以宽频谱范围为特征的无线电波环境条件,及其独特的布局要求。因此,在贵州众多的喀斯特洼地中优选出适宜的 FAST/SKA 候选台址是一复杂的系统分析过程,其本质就是在满足 SKA 台址布局要求的前提下,由喀斯特洼地的几何条件、工程条件、地质条件、气象条件和无线电波环境条件的相互制约中,找出适宜台址条件的最优组合的过程,这在一定程度上已完全不同于我国以区域地壳稳定性评价为主要内容的传统工程地质选址工作,具有特殊性。

贵州大学宋建波教授及其研究群体结合大射电望远镜工程的特点及台址评价中必须解决的 9 个关键科学问题,以系统工程地质学为理论指导、历时 4 载完成的学术专著——《大射电望远镜贵州选址理论与方法》,在以下方面取得突破和进展:①系统开展了“贵州区域构造稳定性评价及地震危险性预测”的专题研究;②系统开展了“贵州喀斯特及峰丛洼地分布规律”的专题研究;③系统开展了“大射电望远镜台址三维仿真及参数优选设计系统”研究,并开发了相应软件;④系统开展了“大射电望远镜 n 塔馈源支撑最优化系统”的专题研究,并开发了相应软件;⑤建立了“大射电望远镜台址评价指标和台址优选理论”,并在贵州优选了 FAST 候选台址;⑥按小 N 大 D 型和大 N 小 D 型两种方案布置了中国 SKA 台址布局方案,并开发了相应软件;⑦在对 SKA 台址核心区——大窝凼洼地及其周边进行 400km² 野外地质调查的基础上,初步研究了“台址地震及动力响应、台址边坡稳定性评价理论、台址塌陷及顶板稳定”等关键工程地质问题。

本书是对大射电望远镜贵州选址工作的系统总结和理论升华，也是首部介绍大射电望远镜选址理论与方法的学术专著。全书内容丰富、图文并茂，文字流畅，思路清晰，研究成果可信度高，突破和创新点多，是一部优秀的学术著作。相信本专著的出版，对大射电望远镜及重大天文设施的选址工作，和我国及世界其他国家在喀斯特地区的选址工作均有重要价值。因时间仓促，谨将阅后感想写成上面的一点文字，并以为之序。

中国科学院院士
中国探月工程首席科学家
贵州省科学技术协会主席
贵州大学名誉校长



二〇〇六年十月廿日

序

我国岩溶（喀斯特）分布广泛，特别是西南和中南的云南、贵州、重庆、四川、广西、湖南和湖北这七个省、直辖市和自治区。在这片总面积 176 多万平方公里的面积内，厚层及夹层的碳酸盐岩分布面积占总面积的 43%，岩溶发育类型多而典型，为国内外所闻名。贵州就位于这片最集中分布的岩溶地区的核心，岩溶分布面积占全省国土面积 17 多万平方公里的 74%，主要发育湿热条件下以溶蚀为主的溶丘洼地型和峰丛洼地型这两种岩溶类型，二者是溶蚀丘陵和溶蚀峰丛的正态岩溶景观和负态洼地岩溶景观相结合而组成的。正是由于这类岩溶景观的广泛发育，贵州才有“地无三里平”之称。贵州的洼地多为圆形、椭圆形、长条形、不规则多边形等，洼地直径长度一般在几十米至数百米。这类溶丘洼地和峰丛洼地多为当地降水地表径流消落地下岩溶洞穴系统的通道，因而地表常干旱。相应地，在这类洼地中土层薄瘠，有落水洞发育，地下水位处于地下深处，农业生产也不发达，多数还是比较贫困的。为此，如何使洼地得以更有效地开发，一直是我们的岩溶研究者的一个心愿。

2005 年 10 月下旬，我受贵州大学邀请，出席在贵阳召开的“中国地质学会工程地质专业委员会 2005 年学术年会暨岩溶·工程·环境学术论坛”时，才初次见到宋建波博士，并听取了他做的“大射电望远镜（FAST/SKA）贵州选址”方面的学术报告，得到了不少启发。以峰丛洼地作为大射电望远镜（FAST/SKA）台址，不仅要考虑洼地口径、深度、平面形态、山峰峰数、闭合程度为主要特征的几何条件，以挖填方量和交通条件为主要内容的工程条件，以水文工程地质、地质灾害、地震灾害为主要特征的地质条件，以气温气压、冰雹霜冻为主要特征的气象条件，以宽频谱范围为特征的无线电波环境条件，而且要按照国际 SKA 台址特殊的布局要求，在贵州布置数十个甚至上百个由核心区、中央区、遥远区和外围区 4 区组成，呈对数螺旋线形式分布，并连接云南、上海、北京、青海、乌鲁木齐 5 个射电天文基地的峰丛洼地，以组成一平方公里大射电望远镜阵（SKA）。显然，要在贵州岩溶地区选择考虑因素繁多、限制条件严格的大射电望远镜台址，是一件要求高而难度很大的科学研究工作，涉及岩溶发育、区域稳定性、地表稳定性、天文、气候、水文、地震与地质灾害、无线电环境等许多方面的研究内容，是以多学科交叉为特点的选址工作。

宋建波博士等年轻一代的地质学家，在胜利完成这项大射电望远镜（FAST/SKA）选址工作后，尚系统总结了《大射电望远镜贵州选址理论与方法》这本论著。这部论著在综合分析贵州的区域地质环境条件、气候环境以及经济条件等的基础上，尚深入体现了洼地台址三维仿真及台址参数优选系统、馈源支撑系统优化设计、台址评价

及优选理论、SKA 台址布局方法等方面的研究成果。虽然目前通过调查研究在贵州所优选出的大射电望远镜台址已得到国内有关部门的肯定，但尚需与其他 4 个国家选出的台址进行比较，最后由国际有关方面决定这多国投资的大射电望远镜台址建在哪个国家。尽管如此，宋建波博士等年轻一代的地质学家，在我国于 1994 年才开始研究大射电望远镜、国内外都没有选择岩溶洼地作为射电望远镜台址的情况下，能够刻苦钻研、奋力创新，取得科技前沿的成果，合理选出大射电望远镜台址，这是值得祝贺的成就，显然，这方面的成就也应居于世界前列。如果真能利用贵州洼地建成大射电望远镜阵，在总体带动我国天文学及相关学科、贵州科技教育等发展的同时，必定会给贵州岩溶山区带来更多的发展机遇。

我研究岩溶已有 50 多年的时间，但没有选择大射电望远镜台址的任何经验。读了宋建波等年轻优秀地质学家的这本论著，对我也是一个学习。因此，在看到这本优秀的论著之时，我很愿意为这部价值沉重的论著写此序言，并向读者推荐。执笔作序之时，不禁挥笔作七律一首，以表心意，权做序言之结语。

赞岩溶洼地选大射电望远镜台址

层层山岭间洼地，土层薄瘠水埋深；
自古耕锄苦放羊，而今射电喜诱人。
登山涉水探艰险，披荆斩棘揭奥秘；
好梦成真靠科技，盛赞青年献身情！

中国工程院院士



2006 年 10 月 12 日

前 言

一平方公里阵大射电望远镜（简称 SKA）是世界多国投资、我国争建的国际合作项目，500m 口径球面射电望远镜（简称 FAST）是 SKA 在中国的一项先导工程。我国对大射电望远镜的研究始于 1994 年，由中国科学院国家天文台主持，并组成了由原常务副台长、首席科学家南仁东研究员为主任的国际大射电望远镜中国推进委员会和中国科学院国家天文台大射电望远镜实验室。根据我国大射电望远镜设计方案，需要利用贵州天然喀斯特洼地作为台址，并在贵州省建造数十个甚至上百个呈对数螺旋线形式分布的台址组成的大射电望远镜阵。大射电望远镜选址不仅要考虑洼地口径、深度、平面形态、山峰峰数、闭合程度为主要特征的几何条件，以挖填方量和交通条件为主要内容的工程条件，以水文工程地质、地质灾害、地震灾害为主要特征的地质条件，而且还要考虑以气温气压、冰雹霜冻为主要特征的气象条件，以宽频谱范围为特征的无线电波环境条件，及其独特的布局要求。因此，在贵州众多的喀斯特洼地中优选出适宜的 FAST/SKA 候选台址是一复杂的系统分析过程，其本质就是在满足 SKA 台址布局要求的前提下，在喀斯特洼地的几何条件、工程条件、地质条件、气象条件和无线电波环境条件的相互制约中，找出适宜台址条件的最优组合的过程。这在一定程度上已完全不同于我国以区域地壳稳定性评价为主要内容的工程地质选址工作，而是以多学科交叉为特点的系统综合分析过程，具有特殊性。

自 2002 年 11 月起，贵州大学宋建波博士受中国科学院国家天文台、贵州省科技厅委托，开始承担由中国科学院知识创新工程重要方向项目和贵州省科技攻关项目联合支持的重大项目——“大射电望远镜（FAST/SKA）贵州台址普查及相关环境研究”。该项目的最初工作目标是避免遗漏最佳的喀斯特洼地，在中国科学院遥感应用研究所 1994 年起承担的第一轮选址工作的基础上（当时仅限于平塘和普定两县），开展喀斯特洼地在贵州全省范围内的普查，并优选出 30~40 个随机分布但满足 FAST 台址要求的喀斯特洼地作为 SKA 台址，以实现 FAST/SKA 在贵州的合理布局及优化；2004 年 9 月 1 日国际 SKA 计划办公室正式公布 SKA 台址布局要求后，又转向布置呈对数螺旋线形式分布的 SKA 台址。经过 3 年的努力，我们科研团队克服资料缺乏、经费不足、无成熟经验可借鉴、国家天文台对第一轮选址成果材料相对保密、国家天文台持续增加研究内容或变革研究方案等困难，精诚协作，开拓创新，积极开展了大量卓有成效的原创性科研工作，并圆满完成了 FAST/SKA 台址优选任务，研究成果均及时提交给国家天文台，现已汇总到各种资料中。其中，排名第一重点推荐的大窝凼洼地已被国家天文台采纳，并确定为我国计划首批投入建设的世界上最大的射电望远镜台址，目前正在进行 FAST 总体设计，并由贵州省地质工程勘察院进行初步勘察；根据国际 SKA 办公室的最新要求，按小 N 大 D 型（贵州 58 个台址）和大 N 小 D 型（贵州 121 个台址）两种方案布置的中国 SKA 台址布局方案，已得

到国家天文台的认可；协助国家天文台编制的《SKA 中国选址项目建议书》（英文），于 2005 年 12 月底正式提交到国际 SKA 计划办公室，2006 年将与美国、澳大利亚、南非、阿根廷 4 个国家进行台址竞争。到 2006 年 12 月止，历经 2 轮、长达 12 年、备受贵州人民关注的大射电望远镜贵州选址工作，随着贵州大学承担的“FAST/SKA 贵州选址项目”的结束，即将画上圆满的句号。

由宋建波博士主持的“大射电望远镜贵州选址项目”，主要得到如下经费支持：①中国科学院国家天文台，中国科学院知识创新工程重要方向项目（FAST 关键技术研究）——“大射电望远镜（FAST/SKA）贵州台址普查及相关环境研究”。项目负责人：宋建波；合同编号：FAST（方）-D-02。②贵州省科技厅，贵州省年度计划项目和贵州省科技攻关项目——“大射电望远镜（FAST/SKA）贵州台址普查及相关环境研究”。项目负责人：宋建波；合同编号：黔科合（2002）2040 和黔科合 2003JN014。③贵州工业大学，博士后科研启动项目——“大射电望远镜（FAST/SKA）贵州台址普查及相关环境研究”。项目负责人：宋建波；合同编号：校科合博基字（2002）003 号。④中国科学院国家天文台，中国科学院知识创新工程重要方向项目（FAST 关键技术研究）——“用高密度电法勘探初步探测大窝凼洼地底部岩层厚度”。项目负责人：宋建波；合同编号：FAST（方）-D-03。⑤中国科学院国家天文台，国际科技合作重点项目（一平方公里阵 SKA 国际合作）——“SKA 中国贵州选址项目建议书编制”。项目负责人：宋建波；合同编号为 SKA-A-01。⑥贵州省教育厅，科学基金项目——“500 米口径大射电望远镜贵州喀斯特地区选址中的关键理论研究”。项目负责人：宋建波；合同编号：黔科教（2004）109 号。⑦贵州省科技厅，贵州省优秀青年科技人才培养计划项目——“大射电望远镜在贵州喀斯特地区弧性层状岩质边坡稳定性计算理论及支护设计方法研究”。项目负责人：宋建波；合同编号：黔科合人字（2005）13 号。

本书不仅是宋建波博士及其科研团队历时 3 年集体智慧的结晶和科研成果的汇总，而且是世界上第一部介绍大射电望远镜选址理论与方法的学术专著，也是我国首部与喀斯特地区重大工程选址有关的学术专著，由贵州大学出版基金、喀斯特环境与地质灾害防治教育部重点实验室出版基金资助出版。全书分为绪论、上篇、中篇、下篇、结语 5 部分，共 15 章。第 1 章为绪论，主要阐述大射电望远镜的基本概念、贵州选址需满足的基本条件、选址过程中涉及的主要工程地质问题，选址思路及拟采用的方法。上篇为“贵州区域构造稳定性评价”，包括第 2 章至第 6 章，主要阐述贵州区域地质背景、新构造运动特征、地震性活动与危险性、现今构造应力场特征及区域构造稳定性分区；中篇为“FAST/SKA 台址优选与布局”，包括第 7 章至第 10 章，是本专著的精华部分，重点介绍贵州喀斯特及峰丛洼地发育规律、台址三维仿真及优化设计系统、500m 口径大射电望远镜（FAST）台址评价与优选理论、一平方公里阵大射电望远镜（SKA）台址布局与实现方法；下篇为“核心台址关键工程地质问题”，包括第 11 章至第 14 章，初步探讨核心台址——大窝凼洼地的区域地质环境条件、地震及动力响应特征、岩质边坡稳定性、岩溶塌陷及顶板稳定等关键工程地质问题。第 15 章为结语。全书由宋建波博士统一修改、定稿。宋建波博士作为项目总负责人，不仅制定了具体的研究方案和详细研究计划，而且亲自参与了关键内容的研究和各阶段报告及总报告的编写；刘宏博士、王文俊博士作为 2003 年 4 月依托“大射电望远镜贵州选址项目”招收的 2 名项目博士后科研人员，从始至终参与了项目研

究的全过程，尤其刘宏博士编制了各种计算软件；向喜琼博士 2005 年 3 月被引进到贵州大学后即投入该项目研究；2003 级硕士研究生高云河依托该项目完成了硕士学位论文；西南交通大学程谦恭教授、贵州大学左双英硕士参与了项目前期研究。需要说明的是，受“大射电望远镜贵州选址项目”的密级所限，本专著主要为贵州大学取得的工程地质部分系列成果，而未涉及大射电望远镜方案设计、天线阵的构成和性能、短期和长期的射频干扰及保护、电离层和对流层条件、光纤连接方案、电力供应方案、核心台址无线电环境测量、小气候气象监测等保密内容及协作单位取得的成果。

衷心感谢中国科学院国家天文台南仁东研究员、彭勃博士，贵州省科技厅厅长于杰教授、原副厅长俞建教授、副厅长秦水介教授、计划处苟渝新处长、田维明副处长、高新处苏庆处长、农村与社会发展处苏孝良调研员等领导和专家，对宋建波博士及其科研团队的高度信任和亲切关怀，使我们有展现才华服务国家重大项目的机会！诚挚感谢贵州省委常委、贵州大学党委书记龙超云，贵州大学校长陈叔平教授、常务副书记申振东教授、常务副校长朱立军教授、副校长宋宝安教授等校领导对本项目的关心，以及贵州省内相关部门和各级政府对本项目的支持！非常感谢中国科学院欧阳自远院士、中国工程院卢耀如院士在百忙之中欣然做序，并给予高度评价；贵州大学常务副校长朱立军教授作为项目顾问，亲自指导了项目研究的全过程，并欣然做跋。人事部全国博士后管理委员会批准我校依托该项目招收 2 名项目博士后研究人员，不仅充实了科研队伍，而且对科研工作的开展是极大的鞭策和鼓励。中共贵州省委组织部、贵州省教育厅等部门给予了部分经费支持。贵州省气象局、贵州省交通厅、贵州省无线电管理委员会、贵州省国土资源厅、贵州省地矿局、贵州省发改委、南方电网公司、贵阳海关等部门，及射电望远镜台址所涉及的地、市、县各级政府均以高度的热情，密切配合了选址工作。贵州大学 2004 级硕士研究生雷建海、周宏益、寸江峰、鲁志伟、田景富，2005 级硕士研究生高振鲲、何志宇、何国锋、陈龙、彭雄武等参加了部分野外调研、图件处理、资料收集和台址参数计算等工作。在此一并表示感谢！

宋建波
2006 年 9 月

目 录

序

前 言

1 绪 论	(1)
1.1 大射电望远镜项目简介	(1)
1.2 大射电望远镜研究历程	(3)
1.2.1 FAST/SKA 研究概况	(3)
1.2.2 FAST/SKA 选址历程	(3)
1.2.3 FAST/SKA 建在中国贵州的意义	(4)
1.3 大射电望远镜台址条件及布局要求	(5)
1.3.1 FAST 台址基本条件	(5)
1.3.2 SKA 台址布局要求	(6)
1.4 大射电望远镜选址中的关键科学问题	(8)
1.5 大射电望远镜贵州选址思路与方法	(10)
1.5.1 选址思路	(10)
1.5.2 研究内容	(10)
1.5.3 工作进度	(12)

上篇 贵州区域构造稳定性评价

2 贵州区域地质背景	(17)
2.1 自然地理	(17)
2.2 地形地貌	(19)
2.3 地层岩性	(21)
2.3.1 中、新元古界	(21)
2.3.2 古生界	(21)
2.3.3 中、新生界	(22)
2.4 大地构造单元	(23)

2.4.1	扬子陆块	(24)
2.4.2	江南造山带	(24)
2.4.3	右江造山带	(24)
2.5	主要构造体系	(25)
2.5.1	巨型纬向构造体系	(25)
2.5.2	经向构造体系	(27)
2.5.3	扭动构造体系	(27)
2.6	区域构造发展简史	(29)
2.6.1	先燕山期	(30)
2.6.2	燕山期	(30)
2.6.3	喜马拉雅期	(32)
3	贵州新构造运动特征	(33)
3.1	概 述	(33)
3.2	贵州新构造运动类型	(33)
3.2.1	地形地貌	(33)
3.2.2	沉积物组成的演变与构造变形	(37)
3.2.3	温 泉	(37)
3.2.4	地 震	(39)
3.3	活断裂与活动构造体系	(39)
3.4	贵州新构造运动发展简史	(47)
3.4.1	区域地貌演化历史	(47)
3.4.2	区域构造应力场演化历史	(48)
4	贵州地震活动性与危险性	(50)
4.1	概 述	(50)
4.2	贵州地震概况	(50)
4.2.1	历史地震	(50)
4.2.2	仪测地震	(51)
4.2.3	毗邻省份的地震	(53)
4.3	贵州地震时空分布特征	(55)
4.3.1	空间分布的不均匀性	(55)
4.3.2	时间变化的非平稳性	(55)
4.3.3	继承性和新生性	(55)
4.3.4	相关性和转化性	(56)

4.3.5	迁移性	(57)
4.4	发震构造背景与地震危险性地段	(57)
4.4.1	地震活动带划分	(57)
4.4.2	构造断块地震危险性	(60)
4.5	贵州地震烈度区划	(61)
4.5.1	地震烈度区划的概念	(61)
4.5.2	贵州地震烈度区划	(62)
4.6	本章小结	(62)
5	贵州现今构造应力场基本特征	(64)
5.1	概 述	(64)
5.2	中国现今构造应力场基本特征	(65)
5.2.1	中国大陆构造应力场的动力学环境	(65)
5.2.2	中国大陆现今构造应力场及其分区	(66)
5.2.3	中国大陆地壳运动速度场	(67)
5.3	贵州现今构造应力状态的震源机制解	(68)
5.3.1	震源机制解的基本原理	(68)
5.3.2	贵州及邻区现今构造应力状态的震源机制解	(70)
5.4	贵州现今地应力状态原位测量	(71)
5.4.1	地应力测量方法简介	(71)
5.4.2	贵州地应力原位测量结果	(72)
5.5	贵州现今构造应力场反演	(74)
5.5.1	基本思路	(74)
5.5.2	计算模型的建立	(75)
5.5.3	贵州区域构造应力分布特征	(77)
5.5.4	贵州区域构造应力场模拟效果评价	(78)
5.6	本章小结	(79)
6	贵州区域构造稳定性评价	(80)
6.1	概 述	(80)
6.2	贵州区域地壳稳定性评价的基本原则	(81)
6.2.1	区域构造稳定性评价的影响因子	(81)
6.2.2	区域构造稳定性分区的标准	(82)
6.2.3	区域构造稳定性评价的基本方法	(83)
6.3	贵州区域构造稳定性的模糊综合评判法	(83)

6.3.1	模糊综合评判法的数学模型	(84)
6.3.2	贵州区域构造稳定性的模糊综合评判法	(84)
6.4	贵州区域构造稳定性分区特征	(88)
6.4.1	相对稳定区	(88)
6.4.2	相对基本稳定区	(90)
6.4.3	相对基本不稳定区	(90)
6.5	本章小结	(90)

中篇 FAST/SKA 台址优选与布局

7	贵州喀斯特及峰丛洼地发育规律	(95)
7.1	概 述	(95)
7.2	贵州喀斯特地貌类型与地域结构	(96)
7.2.1	贵州喀斯特地貌基本类型	(96)
7.2.2	贵州喀斯特地貌组合类型	(97)
7.2.3	贵州喀斯特地域结构	(99)
7.3	贵州喀斯特地貌演进及影响因素	(100)
7.3.1	地层岩性与喀斯特区域分组	(100)
7.3.2	地层岩性与区域喀斯特地貌形态	(100)
7.3.3	地质构造与多元喀斯特系统	(103)
7.3.4	新构造大幅度抬升与喀斯特高原—峡谷演化分异	(105)
7.3.5	新构造差异性抬升与特殊水文地貌景观的形成	(106)
7.3.6	气候波动与喀斯特作用强度	(107)
7.4	贵州喀斯特发育演化历史	(108)
7.4.1	贵州喀斯特发展简史	(108)
7.4.2	贵州喀斯特发育的演化过程	(109)
7.5	贵州喀斯特发育强度分区	(110)
7.5.1	喀斯特强烈发育区 (I)	(111)
7.5.2	喀斯特较强发育区 (II)	(112)
7.5.3	喀斯特中等发育区 (III)	(112)
7.5.4	喀斯特弱发育区 (IV)	(114)
7.5.5	非喀斯特区 (V)	(114)
7.6	峰丛洼地形成机理及动力过程	(114)
7.6.1	峰丛洼地的水文地貌结构	(114)

7.6.2	峰丛洼地形成的动力过程	(116)
7.6.3	峰丛洼地形成的地貌过程	(117)
7.7	贵州峰丛洼地发育规律	(118)
7.7.1	评价指标体系	(119)
7.7.2	模糊综合评判法	(119)
7.7.3	模糊可靠度分析法	(121)
7.7.4	区域预测结果分析	(122)
7.8	本章小结	(124)
8	台址三维仿真与优化设计系统	(126)
8.1	概 述	(126)
8.2	喀斯特洼地数字地形模型	(126)
8.2.1	数字地形模型的概念	(126)
8.2.2	喀斯特洼地数字高程模型	(127)
8.3	台址三维仿真及参数优选系统	(128)
8.3.1	台址三维仿真及参数优选系统研发	(128)
8.3.2	台址三维仿真及参数优选系统检验	(131)
8.3.3	尚家冲洼地对 FASTV 系统的验证	(132)
8.3.4	大窝凼洼地三维仿真及台址参数优选	(134)
8.3.5	台址三维仿真及参数优选系统评价	(136)
8.4	馈源支撑系统优化设计	(137)
8.4.1	n 塔馈源支撑系统受力分析	(137)
8.4.2	n 塔馈源支撑系统优化设计原理	(139)
8.4.3	n 塔馈源支撑系统优化设计技术	(140)
8.4.4	大窝凼台址馈源支撑系统优化设计	(143)
8.5	本章小结	(152)
9	FAST 台址优选与评价	(153)
9.1	概 述	(153)
9.2	台址评价指标体系	(154)
9.2.1	几何条件	(154)
9.2.2	工程条件	(154)
9.2.3	地质条件	(155)
9.2.4	气象条件	(155)
9.2.5	无线电环境	(156)

9.3	台址适宜性评价的单因素指标法	(156)
9.4	台址适宜性评价的模糊综合评判法	(156)
9.4.1	模糊综合评判模型	(159)
9.4.2	建立隶属度函数	(159)
9.4.3	确定权重	(162)
9.4.4	FAST 台址适宜性综合评判结果	(162)
9.5	台址适宜性评价的神经网络法	(167)
9.5.1	BP 神经网络基本原理	(167)
9.5.2	多层自适应神经网络模型的 BP 算法	(168)
9.5.3	FAST 台址适宜性 BP 神经网络法评价结果	(170)
9.6	台址适宜性评价的灰色关联分析法	(174)
9.6.1	灰色关联分析法简介	(174)
9.6.2	灰色关联度分析过程	(175)
9.6.3	台址适宜性评价指标体系及量化方法	(176)
9.6.4	FAST 台址适宜性评价的灰色关联分析	(176)
9.6.5	FAST 台址适宜性评价结果	(179)
9.7	FAST 台址评价与优选	(181)
9.8	本章小结	(184)
10	SKA 台址布局与实现	(185)
10.1	概 述	(185)
10.2	SKA 台址布局原理与方法	(186)
10.2.1	输入洼地集	(186)
10.2.2	确定核心位置	(187)
10.2.3	SKA 台址布局实现方法	(187)
10.3	小 N 大 D 型 SKA 台址布局	(188)
10.4	大 N 小 D 型 SKA 台址布局	(196)
10.5	SKA 台址核心区及中央区简介	(199)
10.6	SKA 基础设施支撑中心城市	(200)
10.6.1	贵阳概况	(201)
10.6.2	基础交通设施及运输能力	(201)
10.6.3	日常生活供应	(202)
10.6.4	专业服务	(202)
10.6.5	对潜在 SKA 工作人员的遥远程度和吸引力	(203)