



地震预测研究所2018暑期学术年会

中国大陆强震中长期危险区预测研究

江在森¹⁾ 闻学泽²⁾ 邵志刚¹⁾ 徐锡伟³⁾ 等

1 中国地震局地震预测研究所

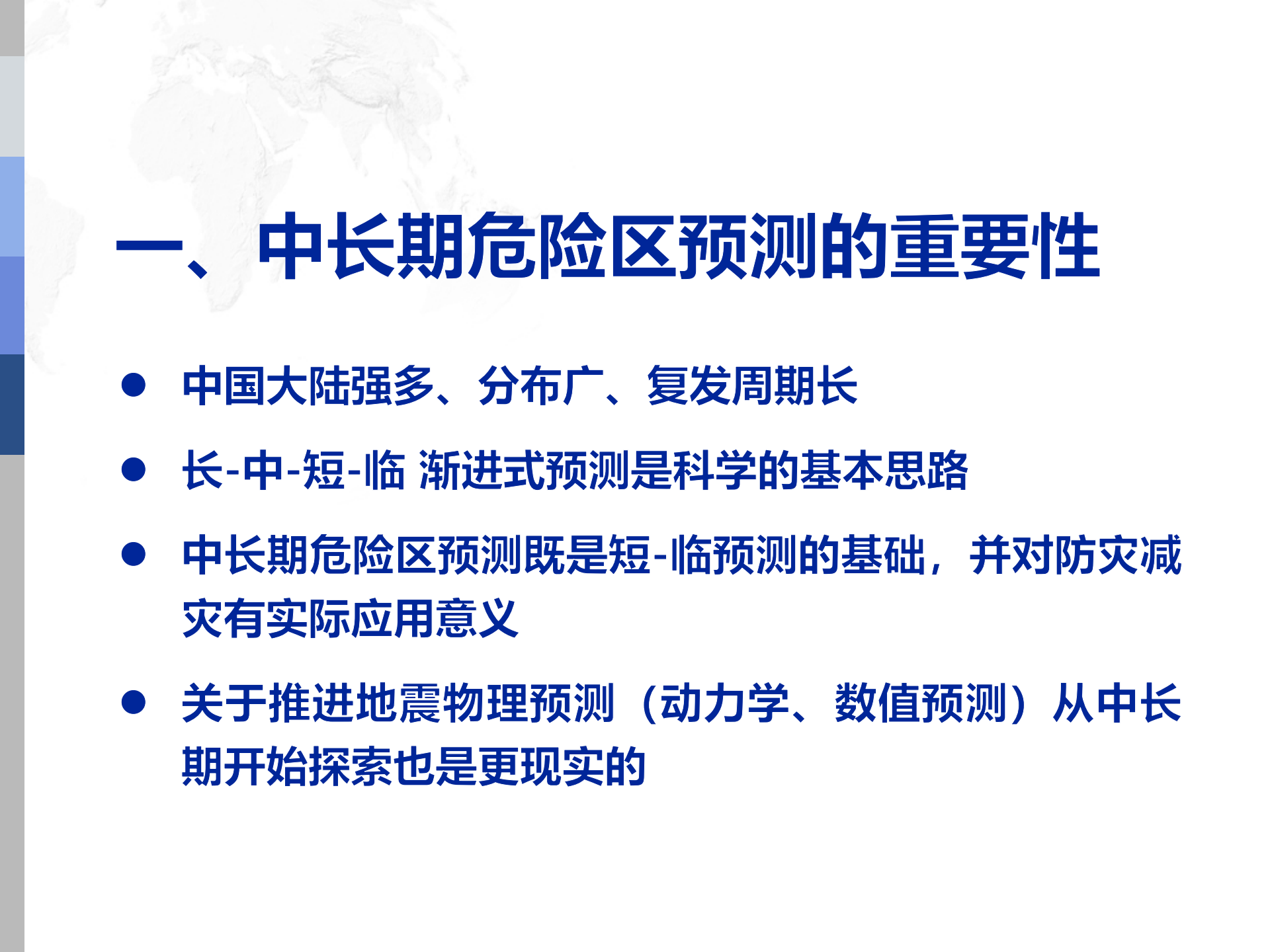
2 四川省地震局

3 中国地震局地壳应力研究所



报告提纲

- 一、中长期危险区预测的重要性
- 二、“十二五”课题研究成果简介
- 三、2016-2025地震重点危险区预测
- 四、存在问题和讨论



一、中长期危险区预测的重要性

- 中国大陆强多、分布广、复发周期长
- 长-中-短-临 渐进式预测是科学的基本思路
- 中长期危险区预测既是短-临预测的基础，并对防灾减灾有实际应用意义
- 关于推进地震物理预测（动力学、数值预测）从中长期开始探索也是更现实的

对汶川大地震科学总结与反思： “对短临预报能力倚重偏高，长期预报的减灾效益发挥不足”

四川 5.12 汶川 8.0 级地震

科学总结与反思 报 告

中 国 地 震 局
二〇〇九年七月

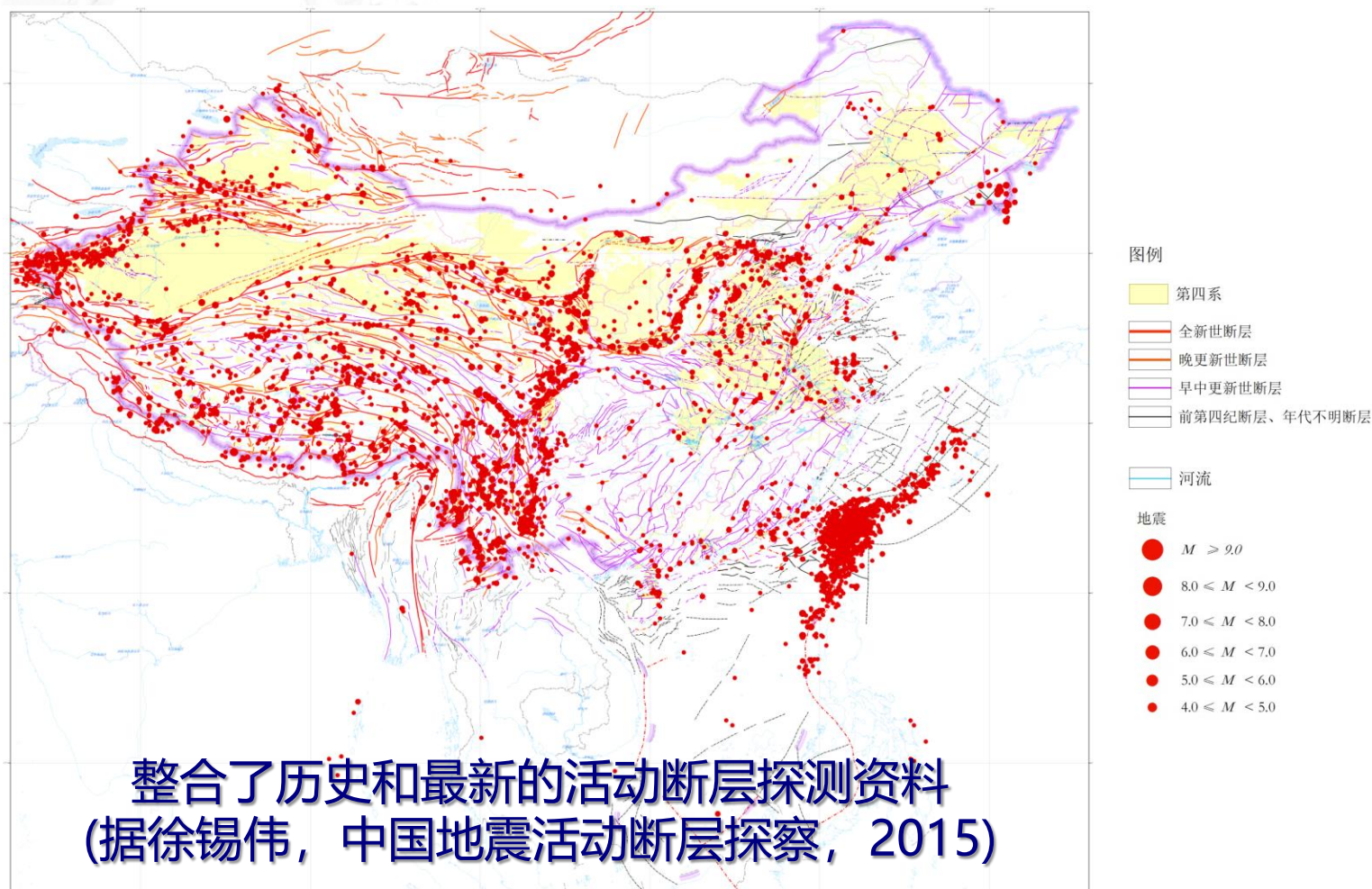
-1-

四、对地震短临预报能力倚重偏高，长期预报的减灾效益发挥不足

汶川地震为何未能做出短临预报？这是政府、社会和公众关注的焦点问题，其根本原因是受科学认知局限人类迄今尚未掌握地震孕育发生的规律。目前地震预报基本采取经验性预报方式，主要依靠前兆

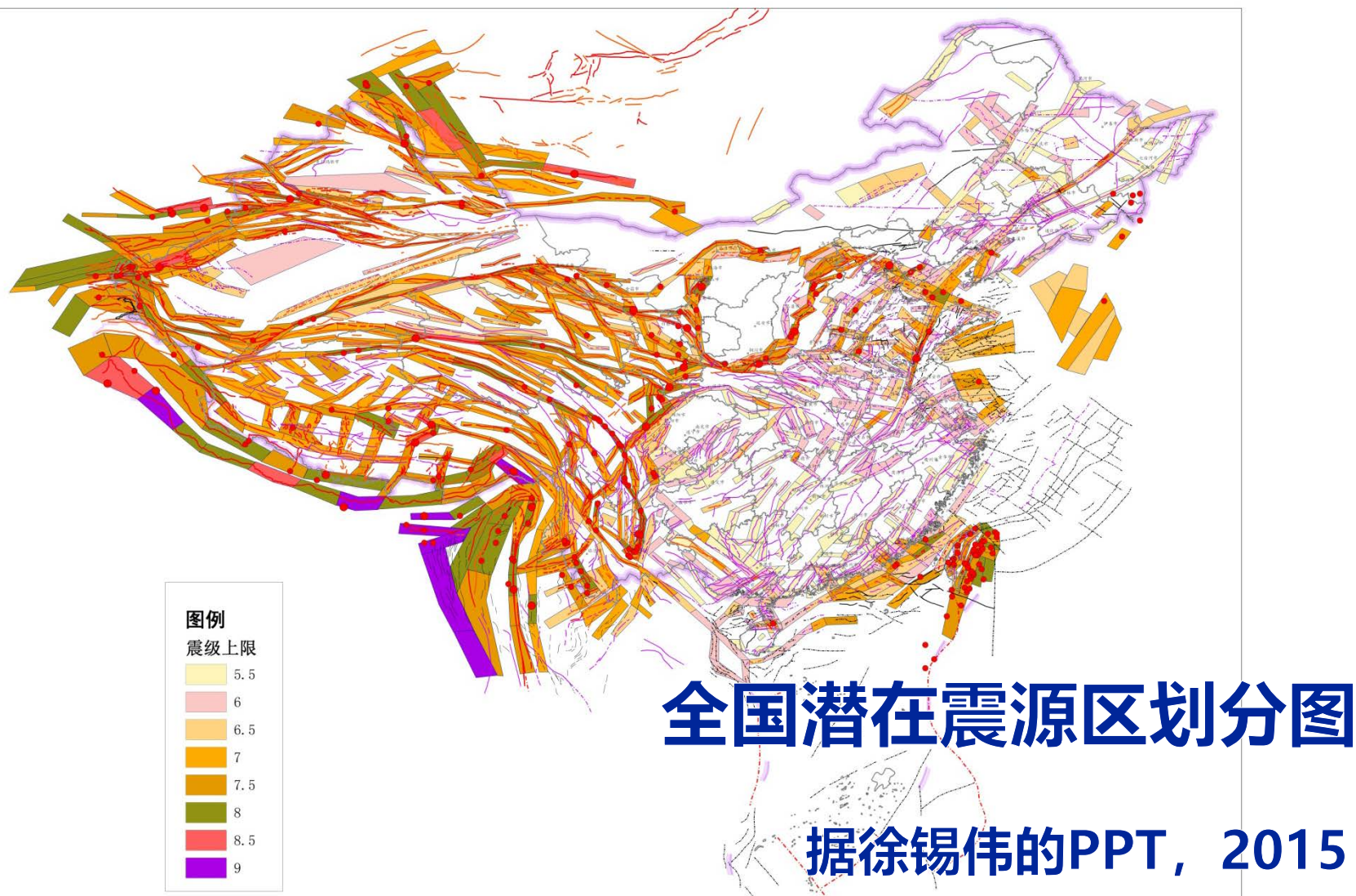


中国地震活动断层探索项目



全国地震构造图

中国大陆地震活动特点——潜在强震源多-复发周期长



中國大陸潛在強震源多、分佈廣

表 1 各级震级上限对应的潜在震源区个数（周本刚等，2013）

Table 1 Number of the potential seismic sources in corresponding upper limit

震级上限 潜源个数		5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	总计
东部地区	五代图	127	202	148	86	49	15	2		629
	四代图	98	152	116	71	38	12	2		489
西部地区	五代图		5	78	209	184	73	13	8	570
	四代图	2	14	110	208	113	58	13		518

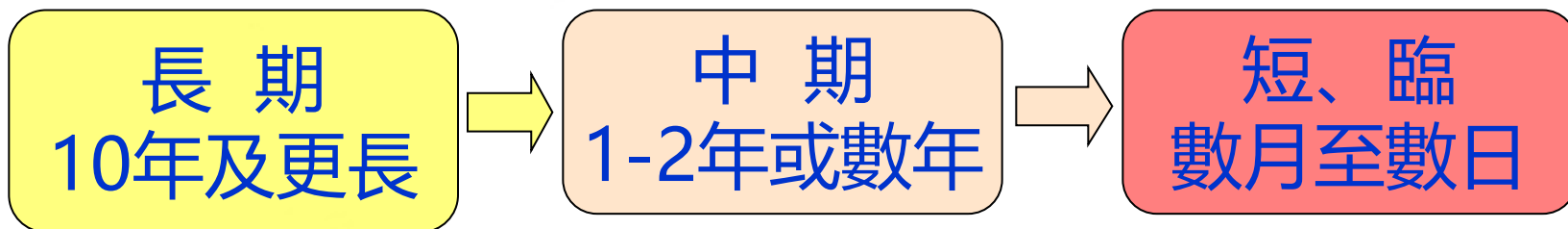
上限震級	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	合計
西部	209	184	73	13	8	487
東部	86	49	15	2	0	152
合計	295	233	88	15	8	639

大概一千多

1900—	6.6— 7.0	7.1— 7.5	7.6— 8.0	8.1—
1900—	7.0— 7.4	7.5— 7.9	8.0—8.5	8.5—
西部	42	13	6	2

	-780~1899	1900—
東部	20	8
西部	42	63

長-中-短-臨 漸進式預測



地點、強度 → 發震時間 逐步逼近
地震形勢預測

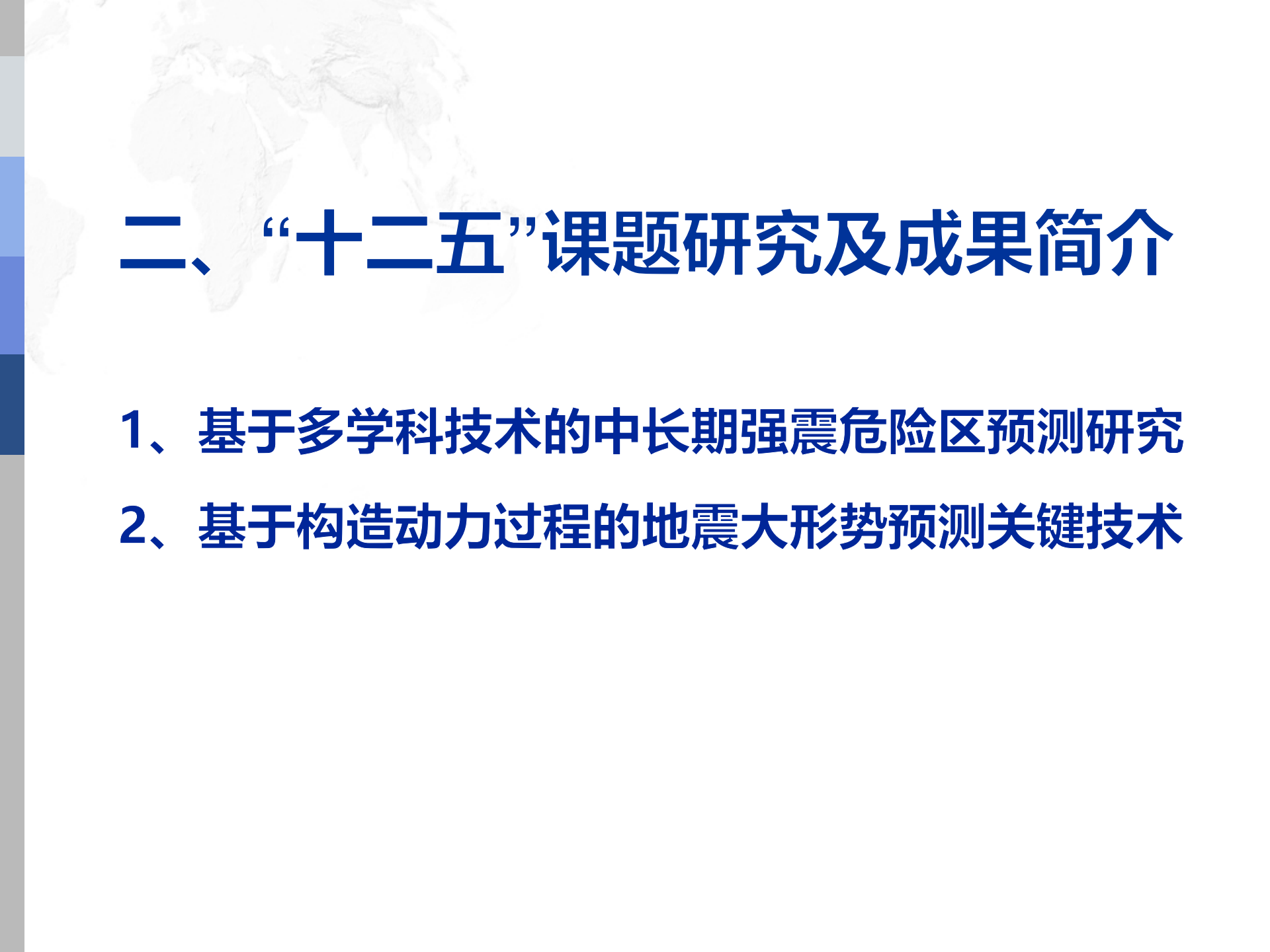
發展 場源結合-以場求源 科學思路

多學科、多尺度動態資料與構造背景結合
構造動力過程 強震危險性 時空動態逼近



中長期危險區預測

需逐步加強各環節工作!



二、“十二五”课题研究及成果简介

- 1、基于多学科技术的中长期强震危险区预测研究**
- 2、基于构造动力过程的地震大形势预测关键技术**

发展 场源结合-以场求源 科学思路

多学科、多尺度动态资料与构造背景结合

构造动力过程 强震危险性 时空动态逼近



国家科技支撑计划课题(2012BAK19B01)

大地震中长期危险性判定及地震大形势预测

关键技术研究 课题验收自评估报告

(2015年5月13日通过科技部组织的验收)

承 担 单 位： 中国地震局地震预测研究所

主要协作单位： 中国地震局地球物理研究所

四川省地震局

云南省地震局

主要完成人：

江在森、闻学泽、张 晶、蒋长胜、邵志刚、王武星、武艳强、
苏有锦、杜 方、易桂喜、杨国华、祝意青、张浪平、方 颖、
王行舟、赵小燕、冯建刚 等

设7个专题承担具体研究任务

1. 基于地震构造分析、综合多学科信息的大地震危险性分析方法研究
负责人：闻学泽、杜方、易桂喜；承担单位：四川地震局
2. 基于大地形变测量的十年尺度强震危险性判定方法研究
负责人：张晶、杨国华、祝意青；承担单位：地震预测所
3. 大地震中长期活动断裂危险段落判定方法研究
负责人：蒋长胜；承担单位：地球物理所
4. 中国大陆周缘动力环境及其对大陆内部强震孕育的影响
负责人：邵志刚、张浪平、王行舟；承担单位：地震预测所
5. 中国大陆地球物理场动态特征与强震预测方法研究
负责人：王武星、陈石、陈斌，承担单位：地震预测所
6. 活动地块边界带动力过程与地震大形势判定方法研究
负责人：武艳强、方颖；承担单位：地震预测所
7. 南北地震带强震综合预测与跟踪方法研究
负责人：苏有锦、冯建刚、赵小艳；承担单位：云南地震局

取得的主要进展与创新点

- 发展了多学科资料对大地震十年或稍长时间尺度危险区及其危险级别/程度的综合评估方法。

①研究发展从活动构造动力背景和现今活动的综合多种资料的强震危险地点背景性预测方法；综合多种资料信息的断裂带分段时间相依的强震概率预测模型。

②研究提出了基于地震活动及参数分布、非频发重复地震识别等多技术活动断裂带凹凸体圈定技术，可为强震危险地点判定提供重要依据。

③研究发展了GPS大地测量获取滑动亏损与闭锁程度等技术、基于重力观测资料提取与强震孕育关联的异常区动态识别技术，并提炼了用于强震中长期危险区预测判据指标。

取得的主要进展与创新点

- 发展了大陆强震预测科学思路，研究给出了基于构造动力过程时空逼近的地震大形势预测方法；

①研究给出了中国大陆周边四个动力触角（东北深震区、帕米尔、阿萨姆、台湾）的三维几何接触模型、断层几何性质的详细信息，周边板块边界不同段的活动对中国大陆地震区带的影响等。

②从流动地磁观测获取岩石圈磁场变化中提取地震孕育局部异常信息效果显著，对地震危险区预测取得显著效果；

③从卫星重力资料中提取大空间尺度构造活动长趋势变化的方法，使卫星重力资料在地震大形势分析中应用。研究给出了地面重力场变化异常信息提取与概率评估方法。

取得的主要进展与创新点

- 发展了大陆强震预测的科学思路，研究给出了基于构造动力过程时空逼近的地震大形势预测方法；
 - ④发展了速度场差分、GPS时间序列地壳运动、断层形变观测的构造变形等信息提取技术，断层近场与区域场结合判定应力应变增强-集中区、断裂带强闭锁段的方法。

取得的主要进展与创新点

- 在地球物理场动态分析与异常提取及其反映强震孕育的认识等方面取得显著进展，主要包括：
 - ①对地面重力观测获得的重力场变化与地震孕育过程关联的异常信息提取方法有新的改进；
 - ②从流动地磁观测获取岩石圈磁场变化中提取地震孕育局部异常信息效果显著，对地震危险区预测取得显著效果；
 - ③研究提出了从卫星重力资料中提取大空间尺度构造活动长趋势变化的技术与方法，通过非构造影响因素的剥离，使卫星重力资料在地震大形势分析中应用。
 - ④从速度场应变场、块体运动与边界带响应分析，负位错断层闭锁程度分析等与时间序列分析结合，

取得的主要进展与创新点

- 在动态识别应力应变增强-集中区和活动地块边界带孕震危险段方面取得进展。

提出了综合速度场及其增量场、应变场动态、剖面分析、断层滑动亏损与闭锁程度、GPS基准站相对位移/基线/应变参数时间序列、块体运动参数动态、断层形变时空动态等，获得川滇地区构造动力动态过程，判别应力应变增强-集中区和孕震危险段的技术方案。

发展了速度场变化差分分析技术、断层近场与区域场结合的强闭锁孕震形变场识别技术GPS时间序列地壳运动信息提取技术、等。

1、基于多学科技术的中长期强震危险区综合预测

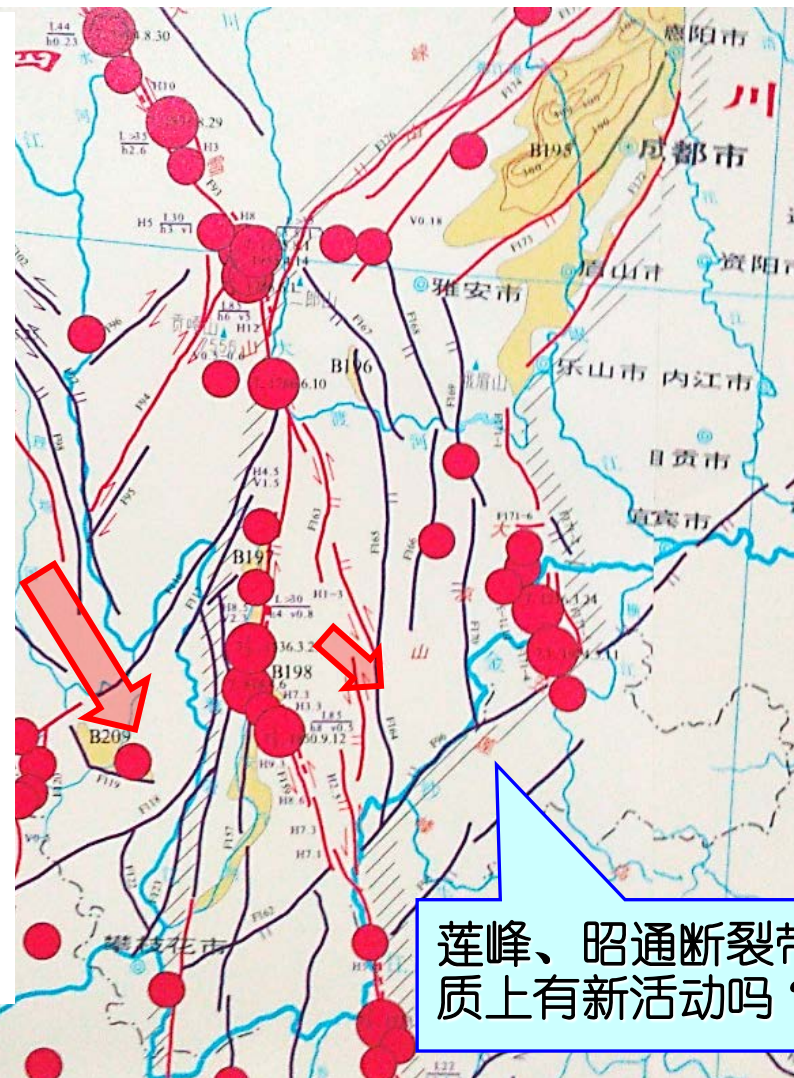
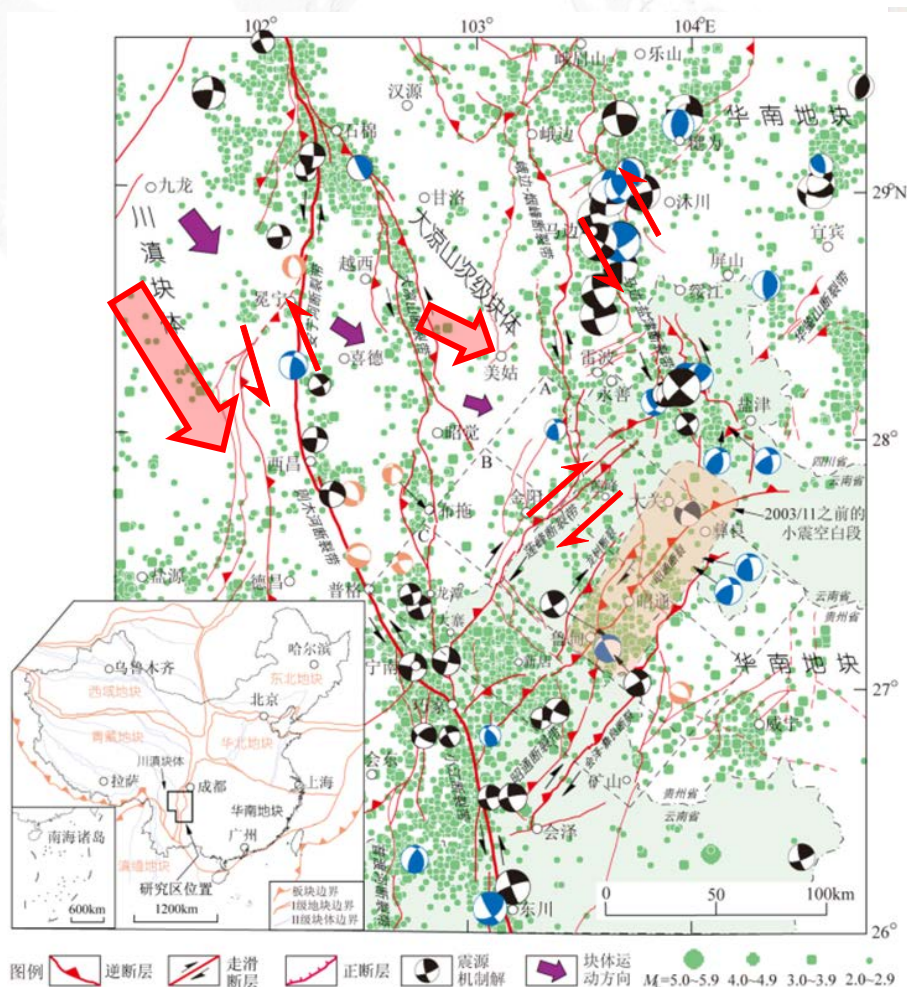
- 以活动构造动力学背景分析为主、综合其他信息的大地震危险背景分析及断裂带分段时间相依的强震危险性概率预测方法
- 基于地震活动及地震学参数多技术的活动断裂带凹凸体精确圈定及强震中长期危险区预测方法
- 基于大地形变、重力观测技术的活动断裂带震间运动与应变积累状态的十年尺度强震危险程度判定方法

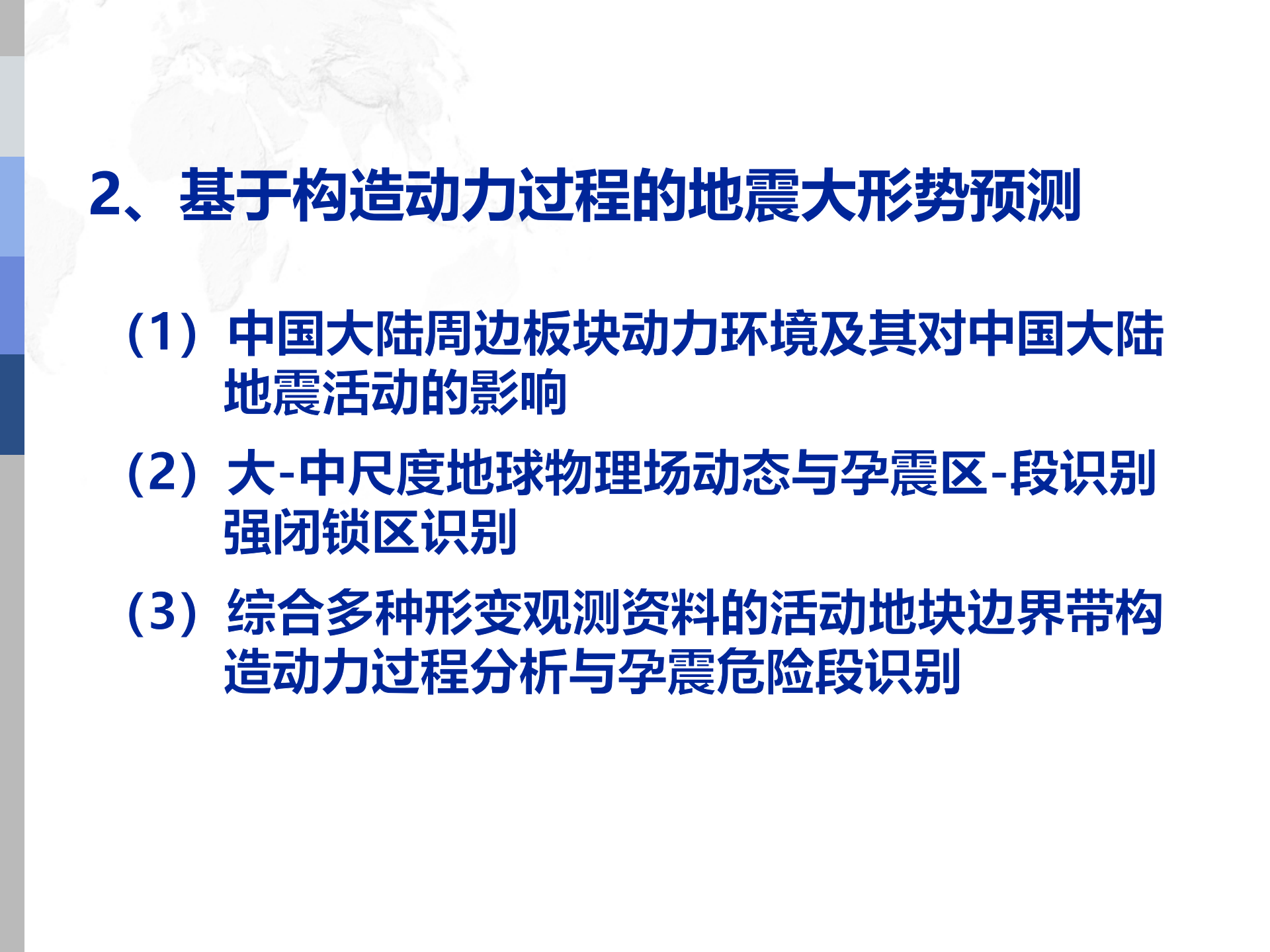
基于多学科技术的大地震危险区及其危险级别/程度的综合评估方法



构造与发震能力 → 地震空区判定 → 变形/应力图像 → 地震活动及其参数 →
无明确时间尺度 数十至数百年 数年至数十年 数年至十数年

(a)综合地震构造、地震活动与地形变信息的强震危险背景分析方法——昭通-莲峰断裂带的实例研究





2、基于构造动力过程的地震大形势预测

- (1) 中国大陆周边板块动力环境及其对中国大陆地震活动的影响**
- (2) 大-中尺度地球物理场动态与孕震区-段识别
强闭锁区识别**
- (3) 综合多种形变观测资料的活动地块边界带构造动力过程分析与孕震危险段识别**

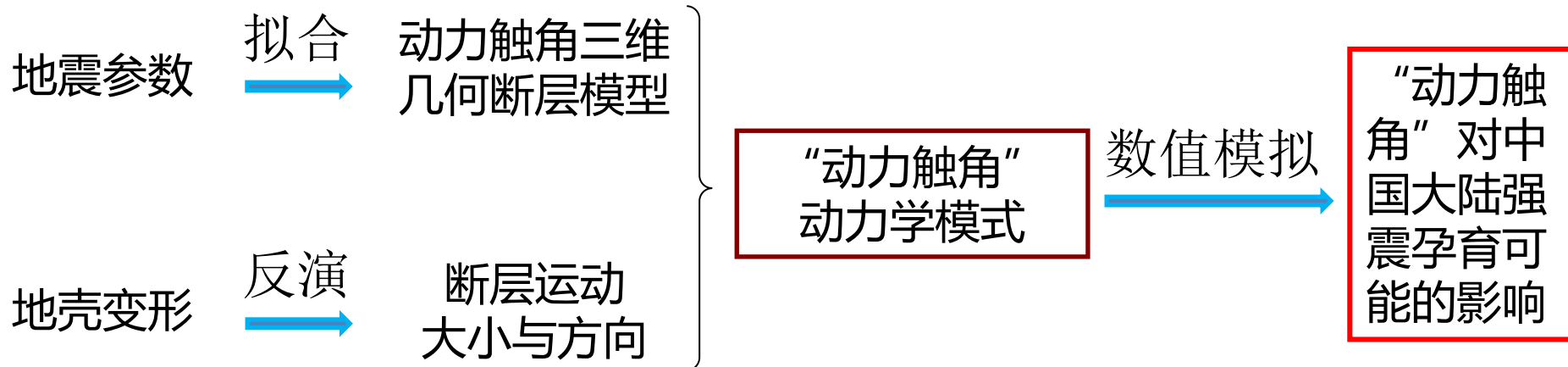
(1) 中国大陆周边板块动力环境及其对中国大陆地震活动的影响

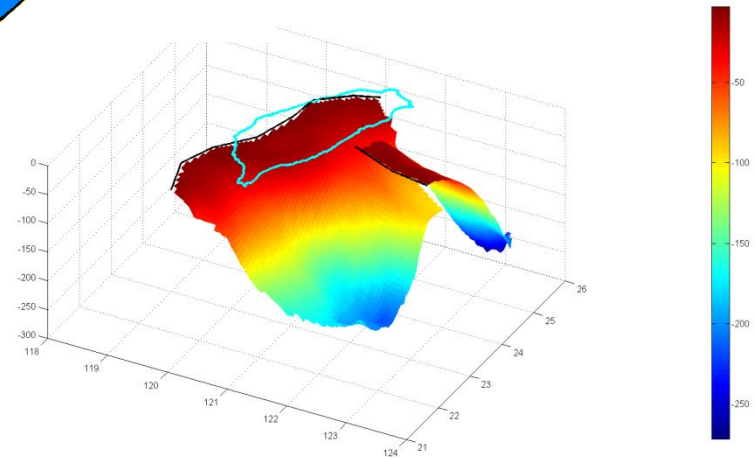
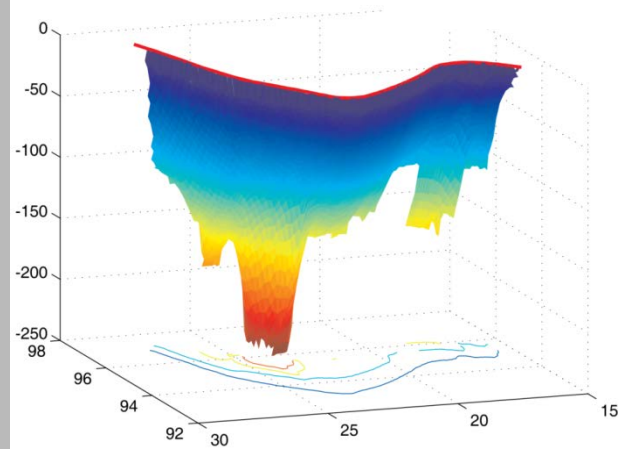
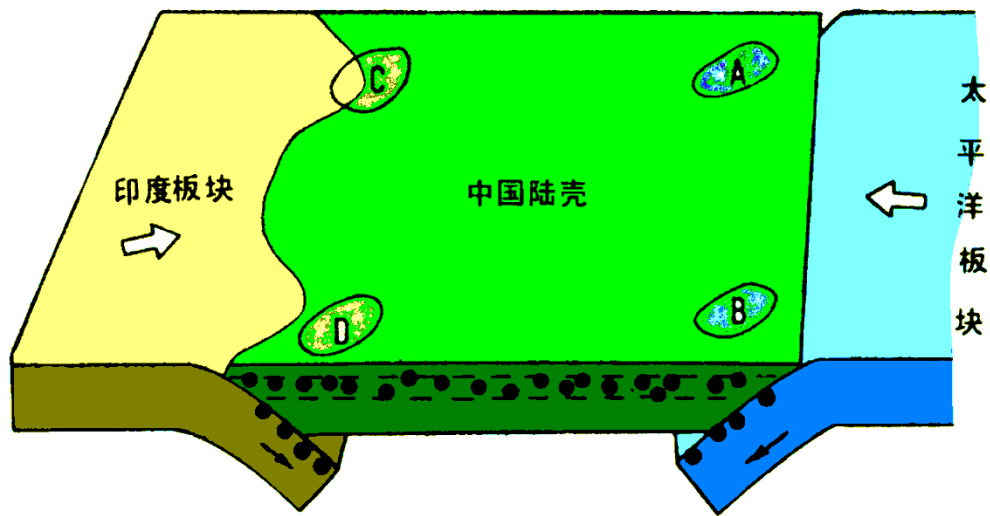
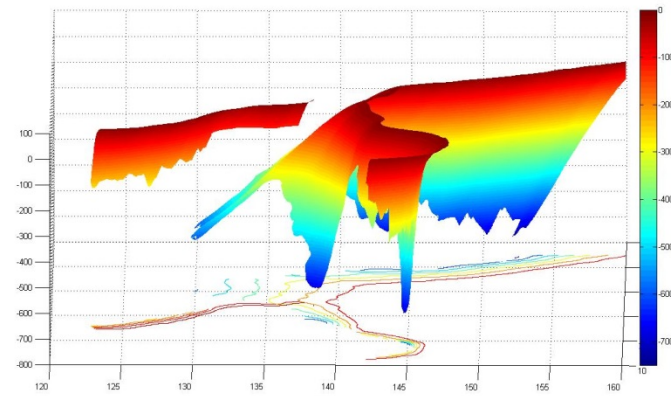
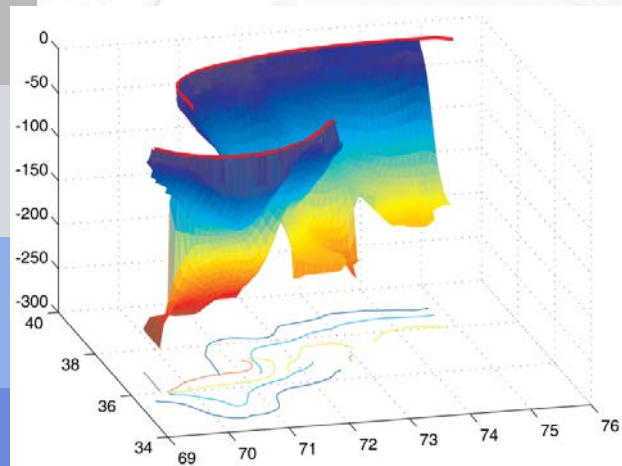
(a) 动力学模型

(b) 利用GPS观测获取周边板块运动动态

(c) 周边板块边界活动对中国大陆的影响

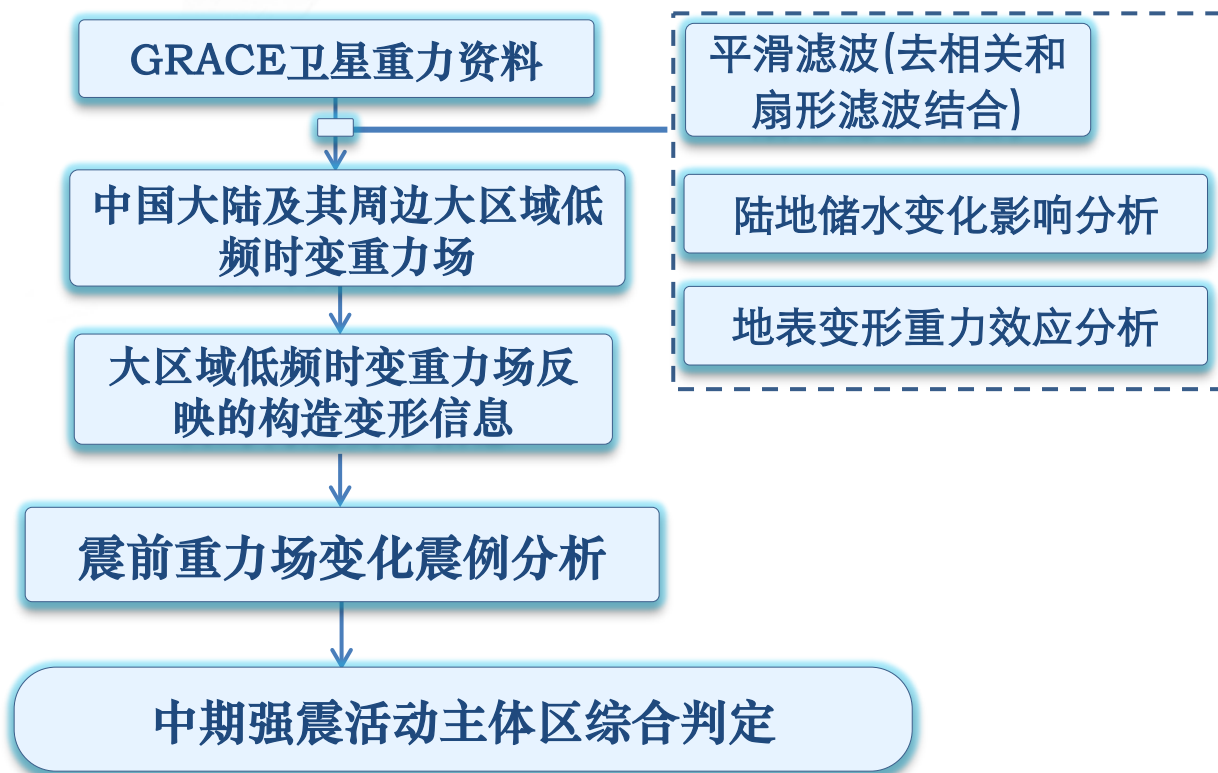
中国大陆周边板块动力边界带动力触角(帕米尔构造结、阿萨姆构造结、台湾地区、东北深震区)三维几何接触模式、动态演化过程和动力学模式研究





(2) 大-中尺度地球物理场动态与孕震区-段识别 强闭锁区识别

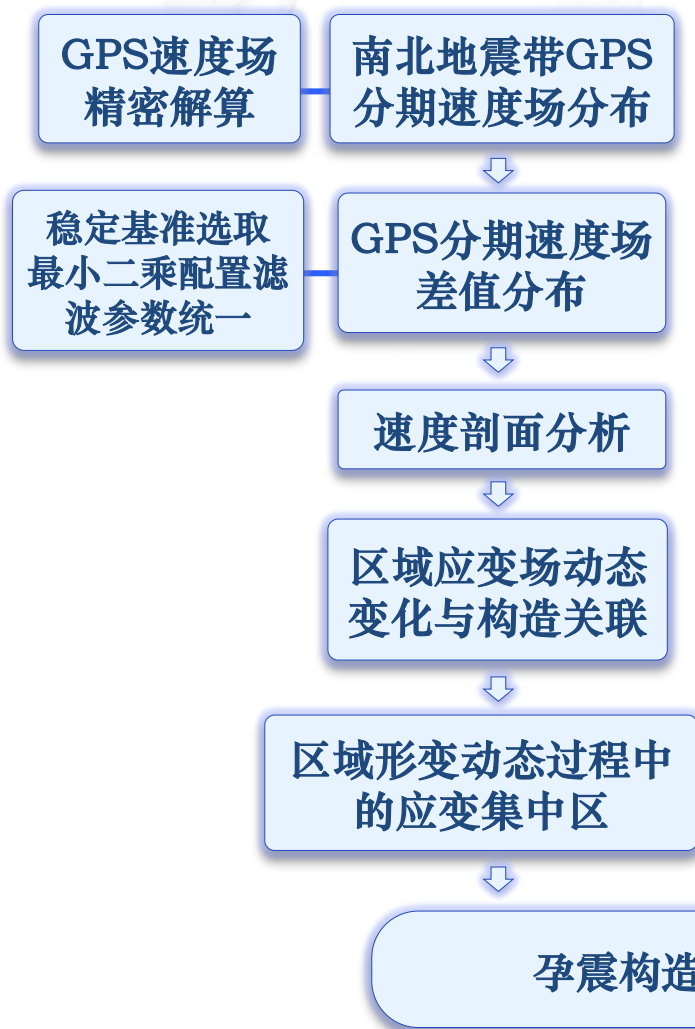
(a) 初步形成了利用卫星重力场资料探索判断中期大震活动主体区的思路、关键技术和方法



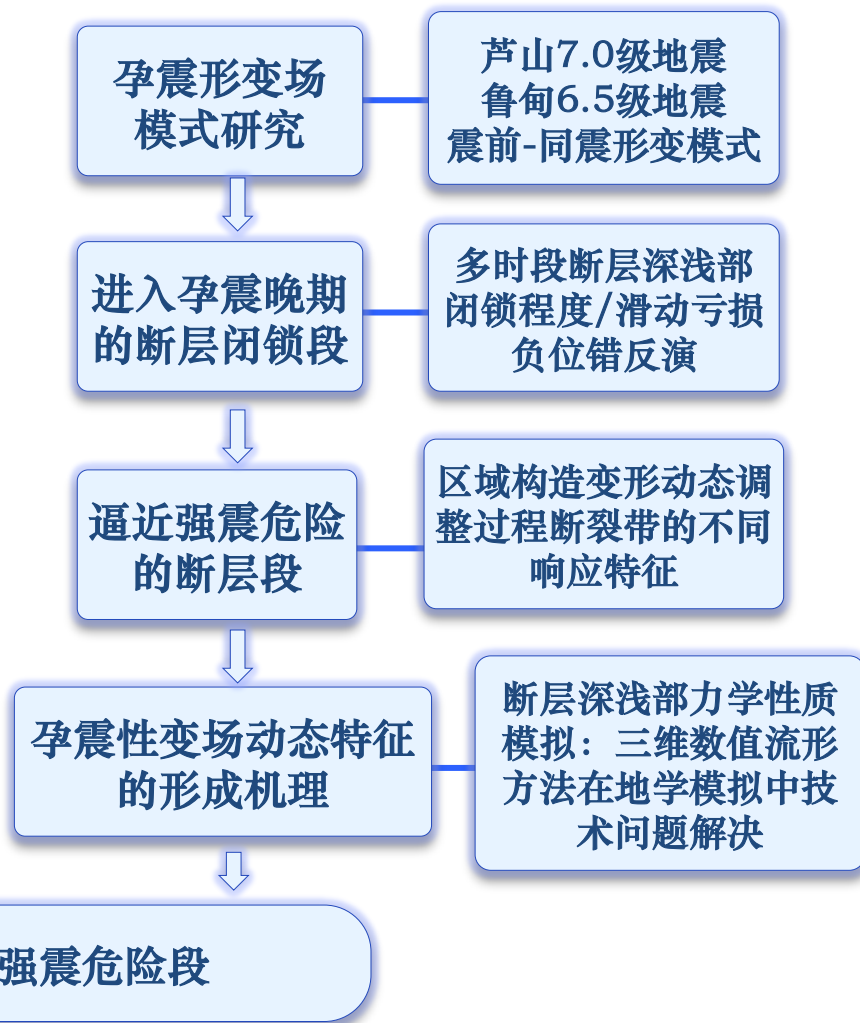
卫星重力用于强震活动主体区判定主要技术结构框图

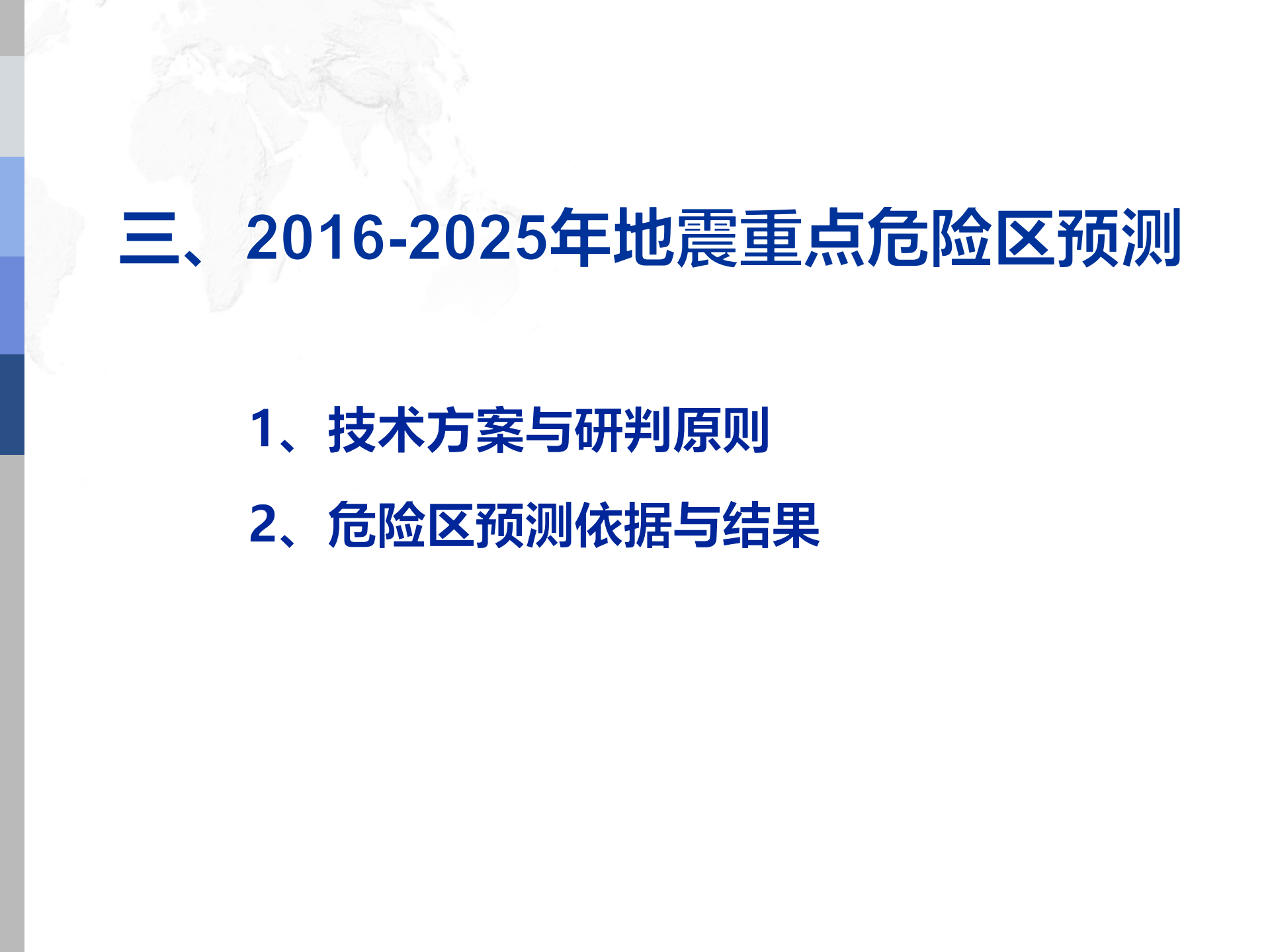
(3) 综合多种形变观测资料的活动地块边界带构造动力过程分析与孕震危险段识别

区域地表形变分析



断裂带深浅部变形与断层力学特性分析





三、2016-2025年地震重点危险区预测

1、技术方案与研判原则

2、危险区预测依据与结果



2016 ~ 2025年中国大陆 地震重点危险区预测



中国地震局地震预测研究所
2017年7月6日

2015年5月12日成果通过论证

工作信息

(2015-59)

中国地震局地震预测研究所

二〇一五年六月二十六日

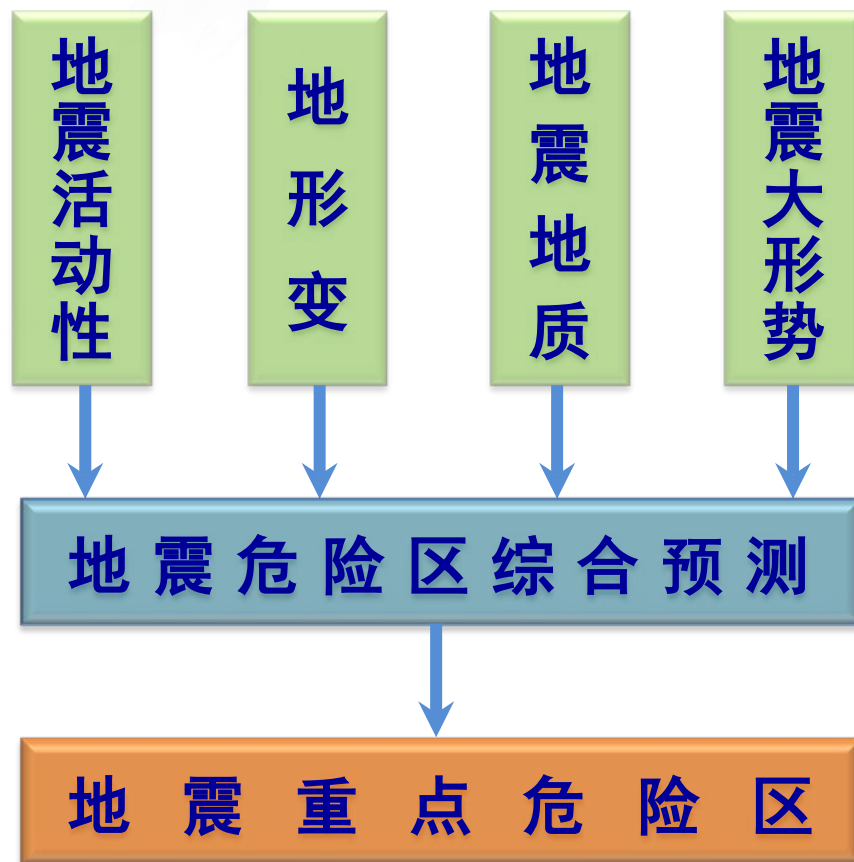
2016-2025年重防区确定与发布项目
地震危险区预测研究课题通过专家论证

该报告的研究思路和技术路线清晰，在继承已有中长期地震预测研究成果基础上，充分吸收最新观测和研究成果，在十年尺度地震重点危险区判定过程中有所探索和创新。报告提出的2016~2025年全国地震重点危险区判定结果体现了当前科学认识水平。建议按照专家组提出的意见修改完善后，作为2016~2025年全国地震重点监视防御区的工作基础。

按照中
布项目地震
为做好
经商请
院士、赵文
研究员汇报
根据论
基础。

发
泰
森
作

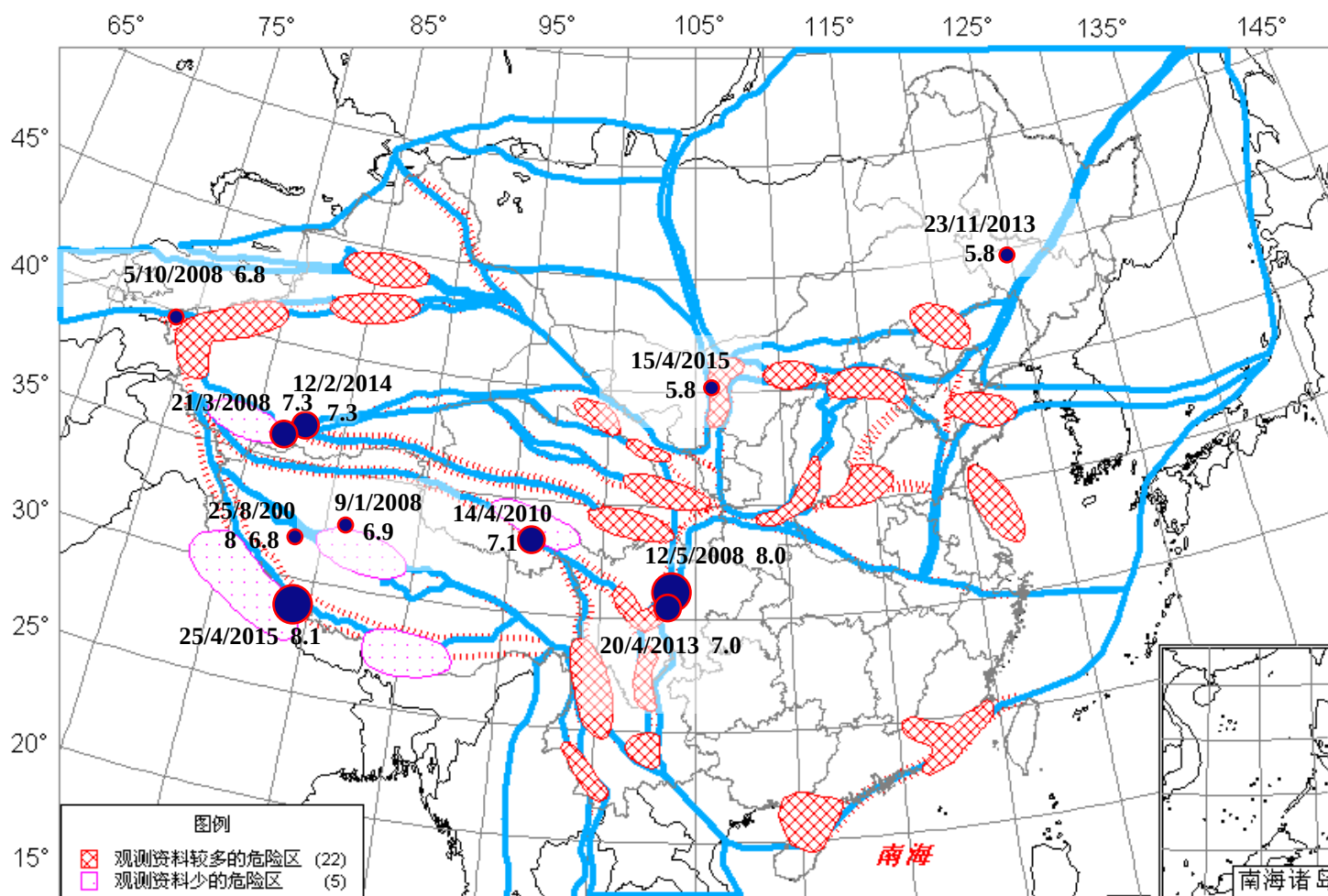
2006 ~ 2020年地震重点危险区预测的 研究与工作思路



前两版危险区预测的主要思路、基本经验

- (1) 以强震、大震预测为重点预测目标，即“西7 东6”原则，
(预测震级范围西部 ≥ 7 ，东部 ≥ 6)
- (2) 重点选择对十年尺度地震预测有效的方法和技术，
在地震地质、地形变、地震活动三个学科+地震大形势
基础上进行危险区综合预测
- (3) 构造上充分考虑活动地块边界带原则（100%的8级地震、86%的
7级以上地震发生在活动地块边界带上）吸收基础科研成果

2006 ~ 2020年中国大陆强震危险区和震中分布图(东部 $M \geq 5.7$,西部 $M \geq 6.7$)



新一版危险区预测的工作思路和原则

- (1) 技术思路方案的继承性+10年新资料、新成果、新认识
- (2) 重点选择对十年尺度地震预测的有效方法和技术
在地震地质、**地球物理场（形变+重力）**、地震活动三个学科+地震大形势的基础上进行危险区综合预测
- (3) 坚持活动地块边界带原则+**活动断层探查+活动断裂带破裂分段**等研究成果，为危险区确定提供更细致的活动构造约束

新一版危险区预测的工作思路和原则

(4) 构造背景与动态观测资料结合原则

地震地质、破裂空段...

更长期危险 地点



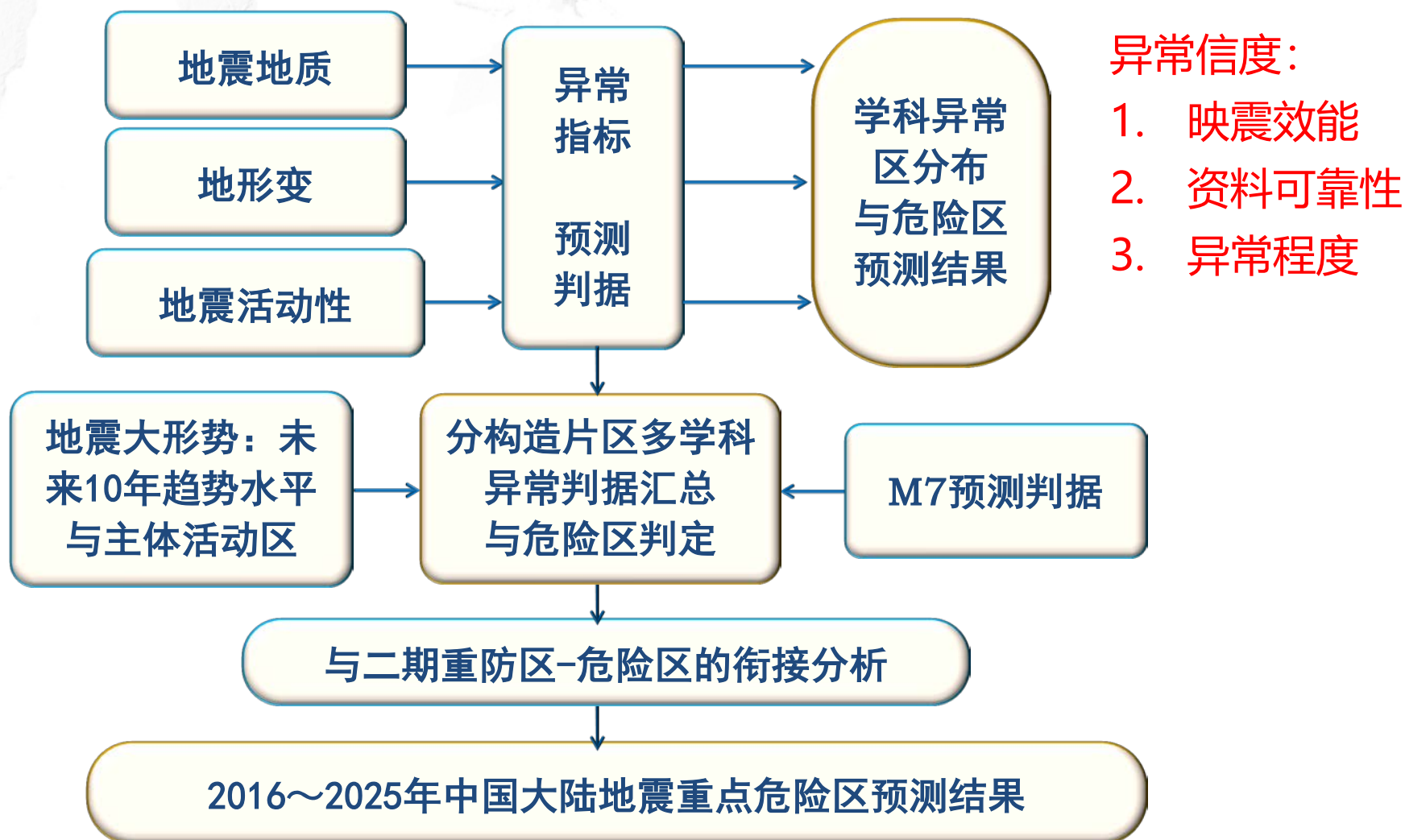
十年尺度危险性

地震活动、地形变异常...



十年重点危险区

2016~2025年地震重点危险区综合预测工作方案



构造片区重点危险区综合预测技术思路

块体边界-断裂带-异常

区域场动态-异常

地震形势

地震构造区/段
-强震破裂空段-
强震背景性危险段

地震活动图像/参数
中长期强震危险区

未来10年地震
趋势水平预测

地块边界断裂带
分段闭锁-应变积累
-强震危险段

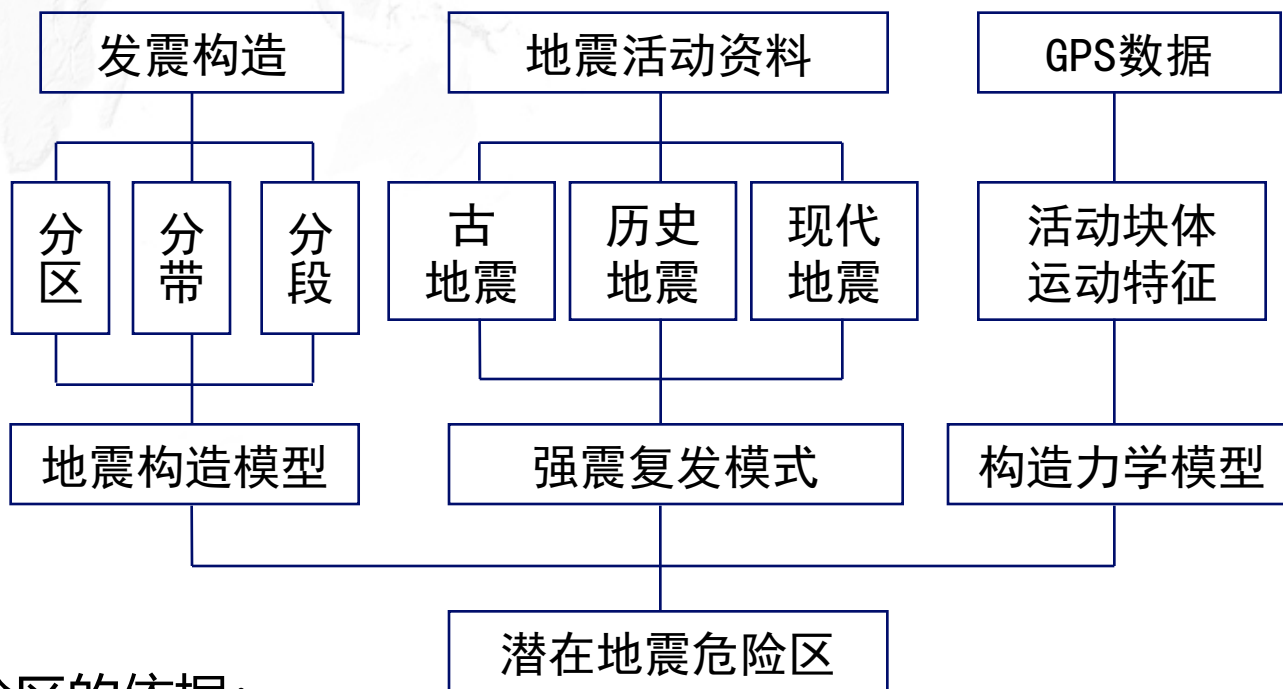
地球物理动态场-孕震
场-大震影响场
中长期强震危险区

主体活动区
区/带判定

十年尺度地震重点危险综合研判 (构造带-段与区域动态场结合、
区域地震趋势与地点判据结合、背景性危险向十年尺度逼近)

2016~2025年地震重点危险区预测结果

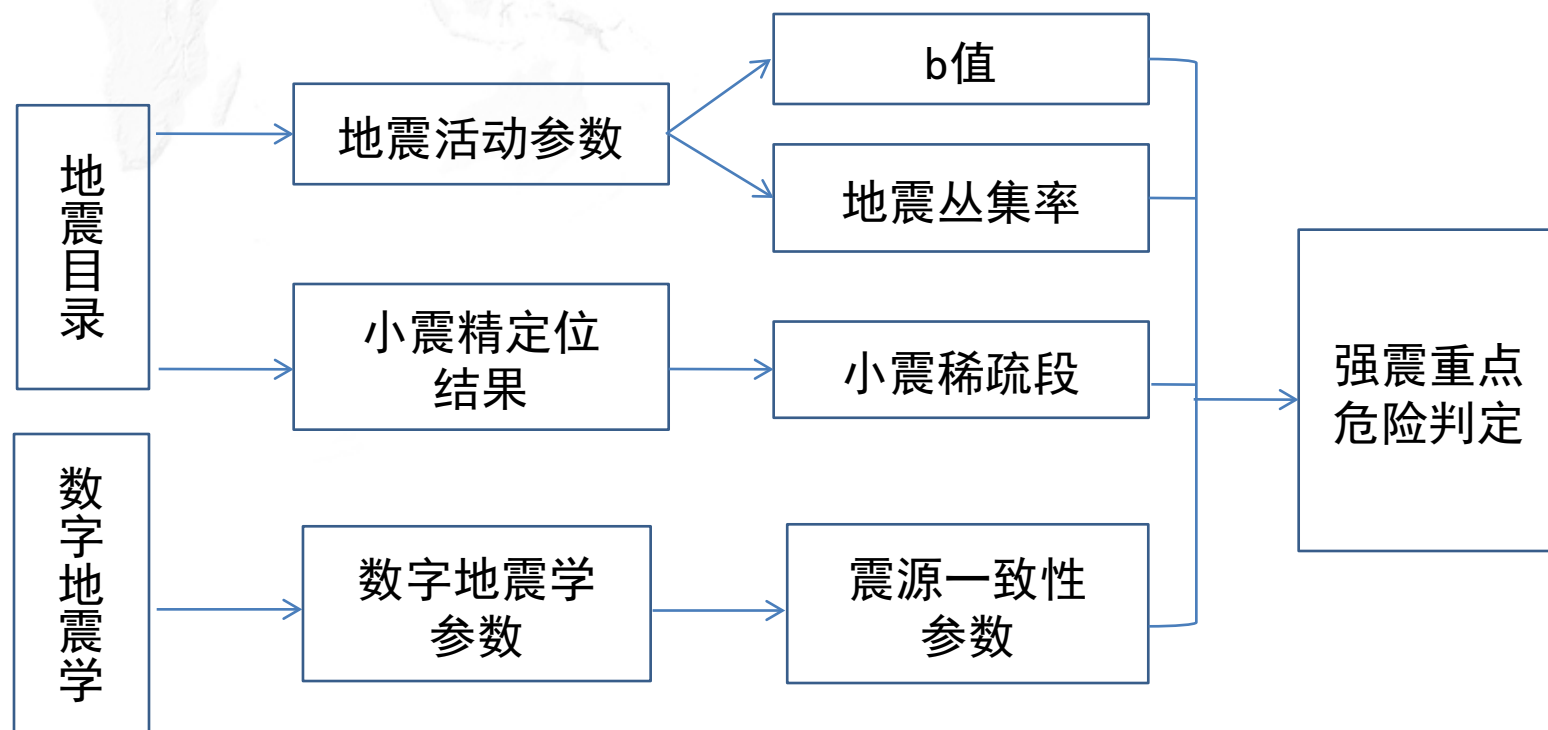
地震地质学科应用研究与工作思路



判定危险区的依据:

1. I、II级活动块体边界带
2. 地震空区或最新一次地震的离逝时间接近或者超过古地震复发间隔的活动断层段
3. 现今地震活动性: 小震少的断层段
4. 闭锁段、应力积累的段落

地震活动性和地震学应用研究与工作思路



地震学方法划分危险区的依据：

1. b值扫描（低b值区对凹凸体具有指示意义）
2. 小震稀疏段（强震地点的判定）
3. 地震丛集率
4. 震源机制解一致性（对强震的发生地点和时间具有一定的指示意义）

大地形变学科应用研究与工作思路

区域动态场

地球物理场背景场：速度场、应变场、重力场；构造应力应变积累-背景场

数年尺度动态场：速度场、应变场、重力场-数年多期动态场

大地震引起应力应变场调整响应场（增强区）

强震孕震场特征-中长期强震危险区

块体边界带-断裂带

地块边界带应变积累程度（能量水平）的分段估计

主要活动地块边界带断层应变积累-闭锁

大地震对活动地块边界带应力应变影响的估计

边界带活动特征-中长期强震危险段

大地形变分析未来十年强震危险区综合预测

创新性

1. 断层闭锁段的识别与应用

强震破裂空段

断层闭锁程度识别、强构造变形区的形变弱变形带

小震稀疏段

2. 断层应力状态判定

测震学（震源机制解一致性参数， b 值等）

大地震影响的形变响应异常

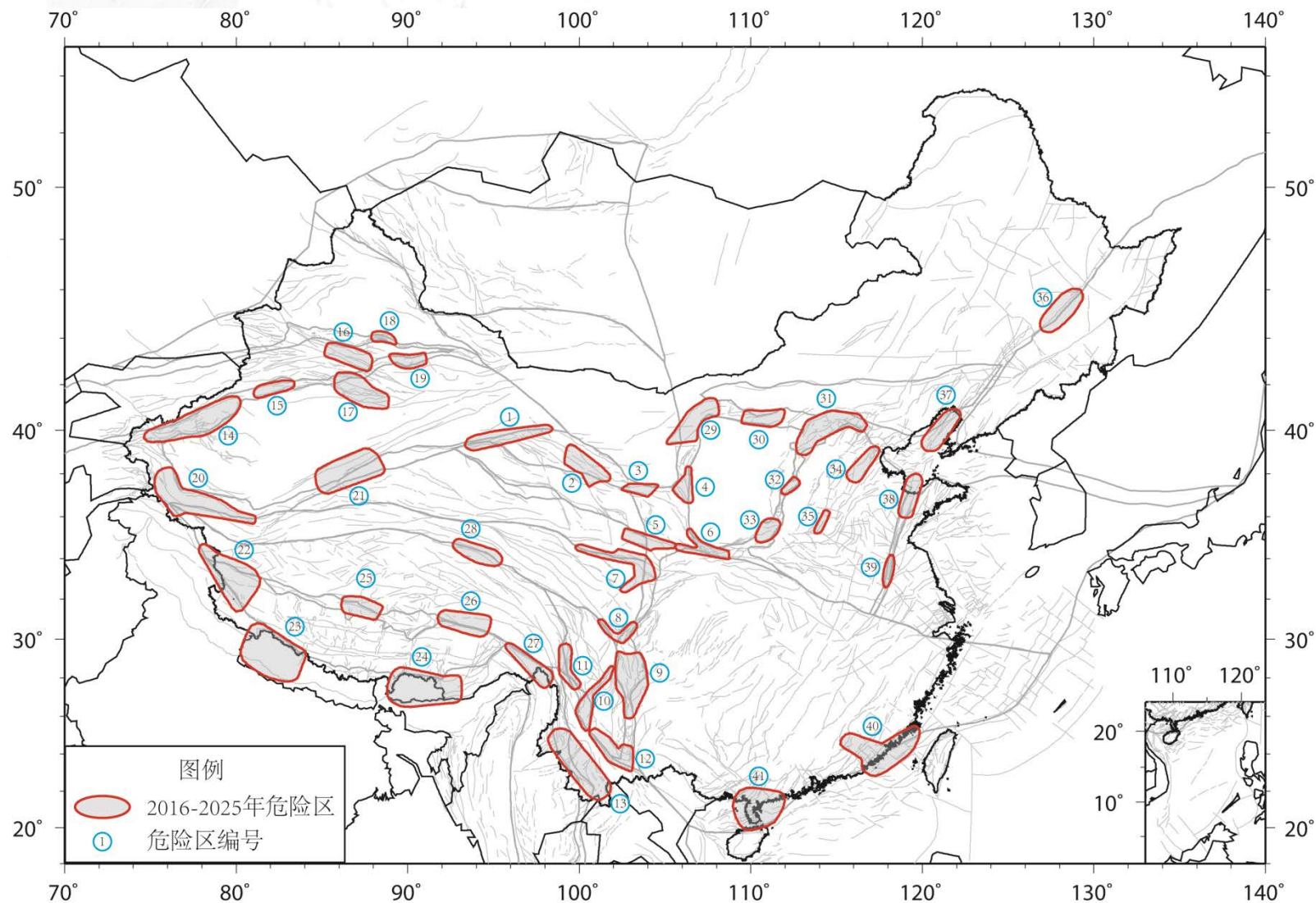
3. 异常信度

映震效能

资料可靠性

异常程度

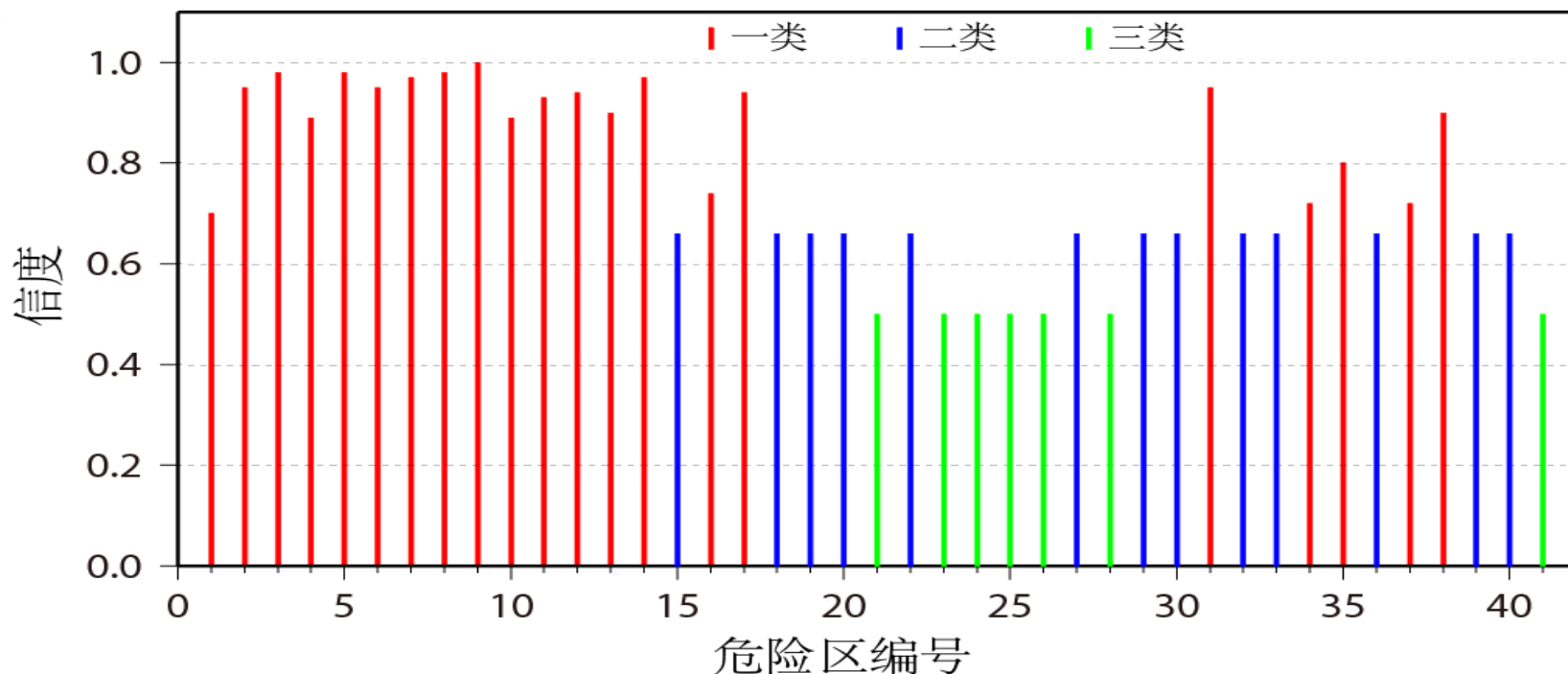
2016~2025年中国大陆重点危险区



2016~2025年中国大陆重点危险区分类和信度评估

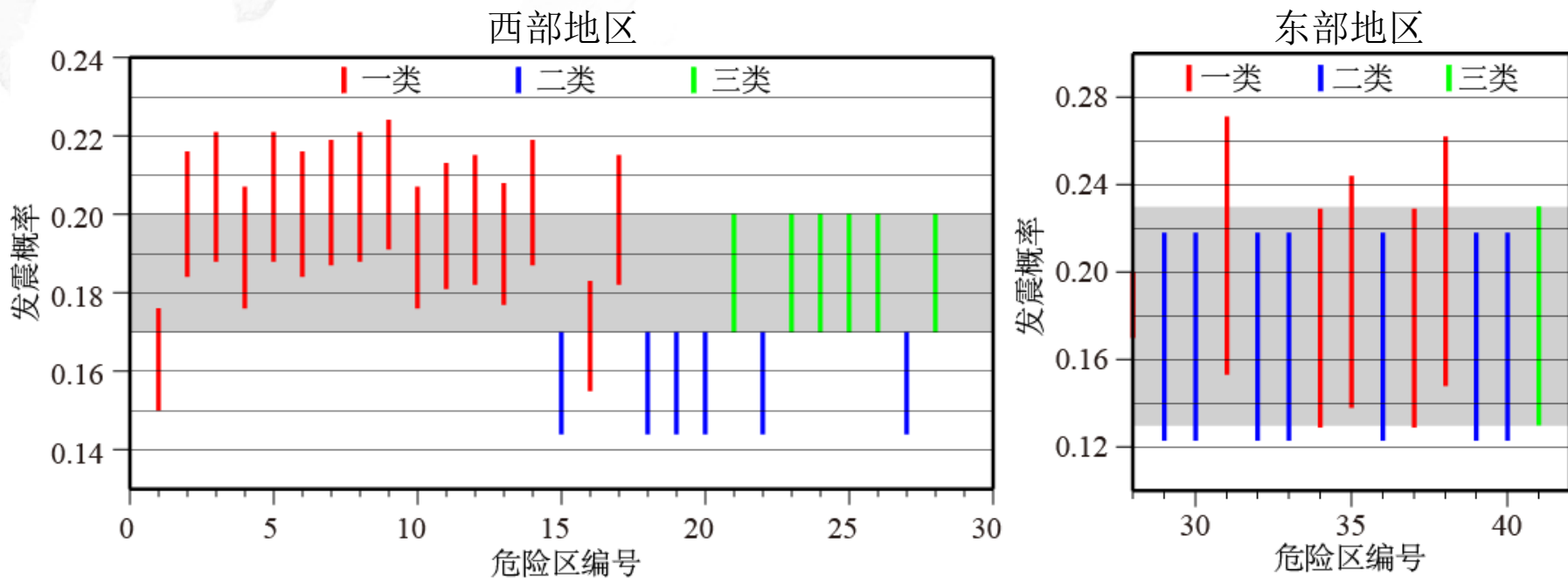
根据论证会专家意见对地震危险区进行了修改，并且根据各学科的资料的信度指标(映震效能, 资料可靠性, 异常程度)，对危险区进行了信度评估和震级估计

危险区由原来的43个调整为41个，其中一类危险区16个（信度 >0.8 ），二类危险区18个(信度在 $0.5 \sim 0.8$ 之间)，三类危险区7个（信度 <0.5 ）



2016~2025年中国大陆重点危险区发震概率估计

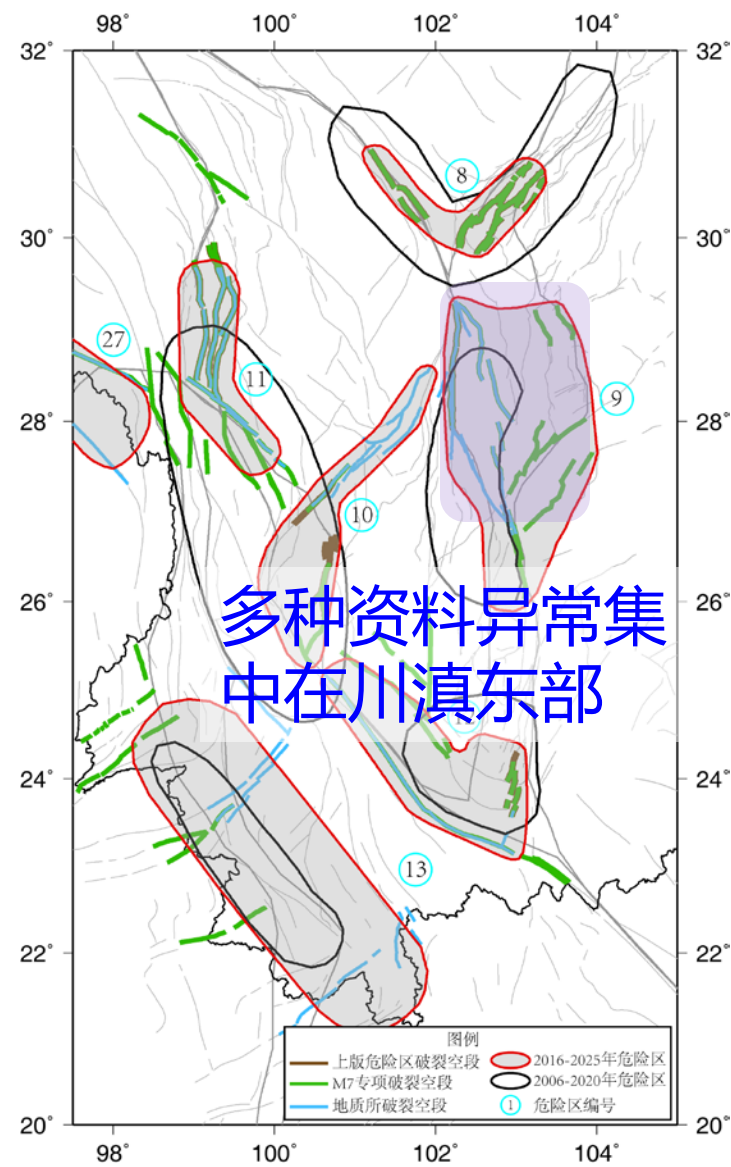
首先根据地震大形势预测结果估计新一版地震重点危险区的平均发震概率，在此基础上再根据各危险区预测支持依据等情况的不同对发震概率分配调整，给出每个危险区发震概率的估计结果。



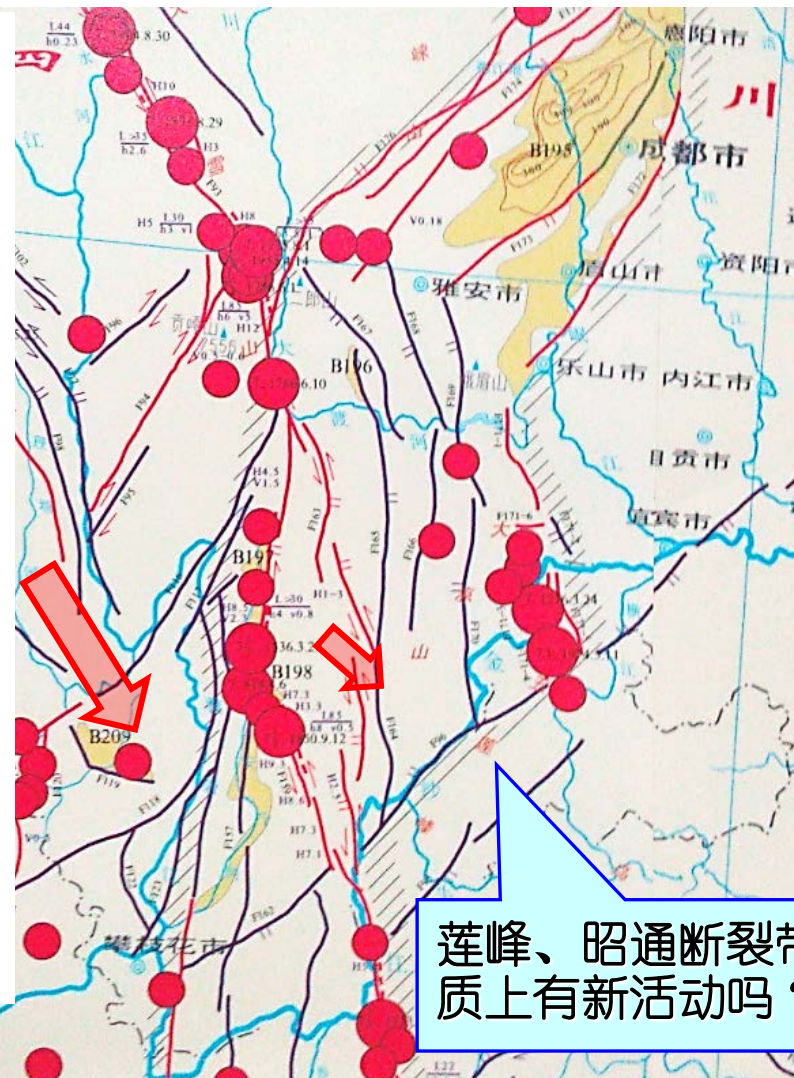
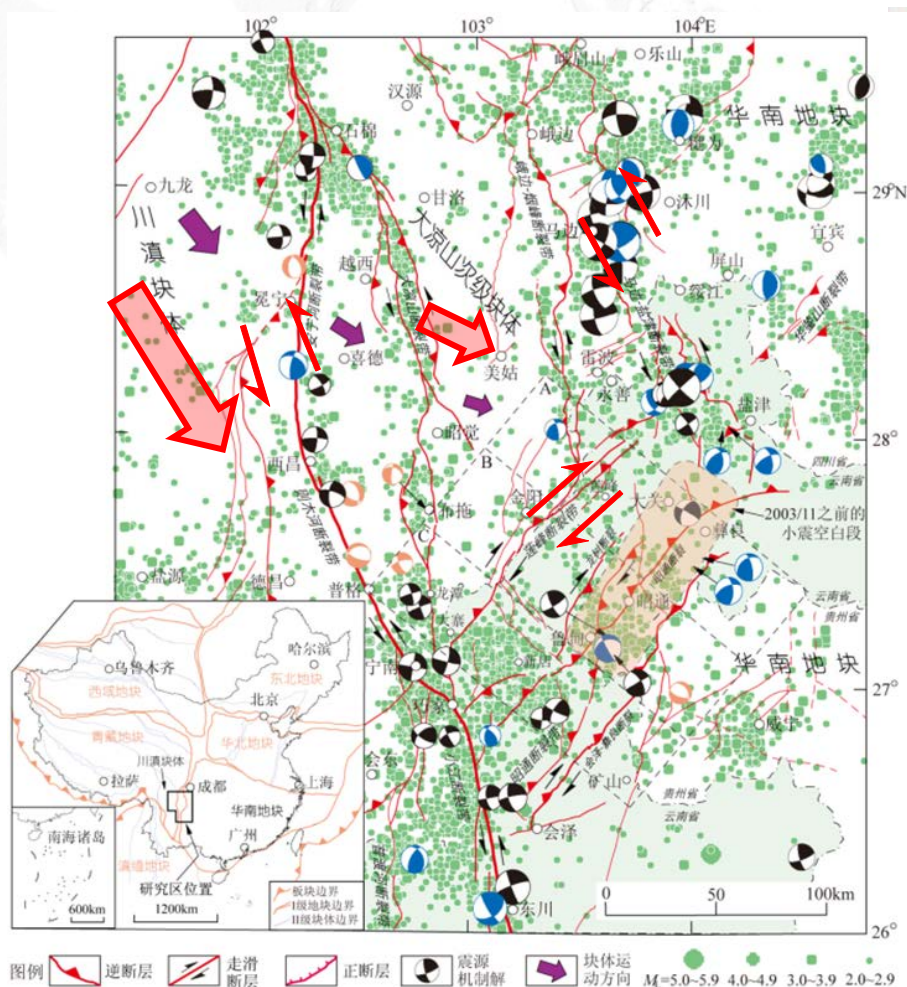
2016~2025年中国大陆地震重点危险区发震概率估计
(图中灰色部分为区域平均发震概率区间)

南北地震带中南部危险区—6个

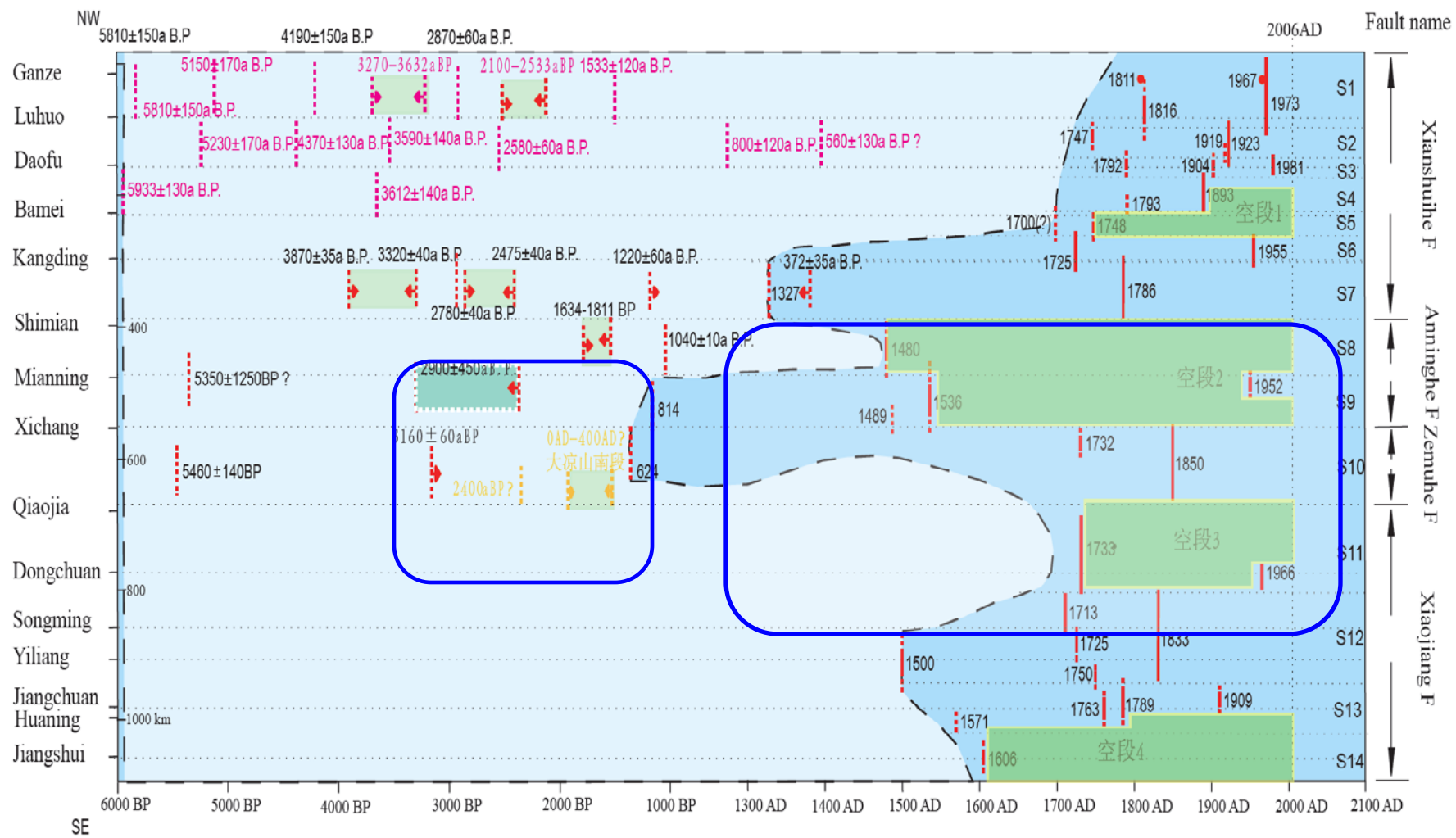
8. 鲜水河断裂带中段-龙门山断裂带南段
9. 安宁河断裂带-大凉山断裂带-莲峰、
昭通断裂带-马边、峨山断裂带
10. 小金河断裂带-程海断裂带
11. 金沙江断裂带中南段、德钦-中甸-大
具断裂带
12. 红河断裂带中南段、楚雄-建水断裂带、
小江断裂带南段
13. 澜沧-龙陵断裂带



(a)综合地震构造、地震活动与地形变信息的强震危险背景分析方法——昭通-莲峰断裂带的实例研究



川滇交界东部地震破裂空段



古地震资料据中国地震活动断层探索南北带南段

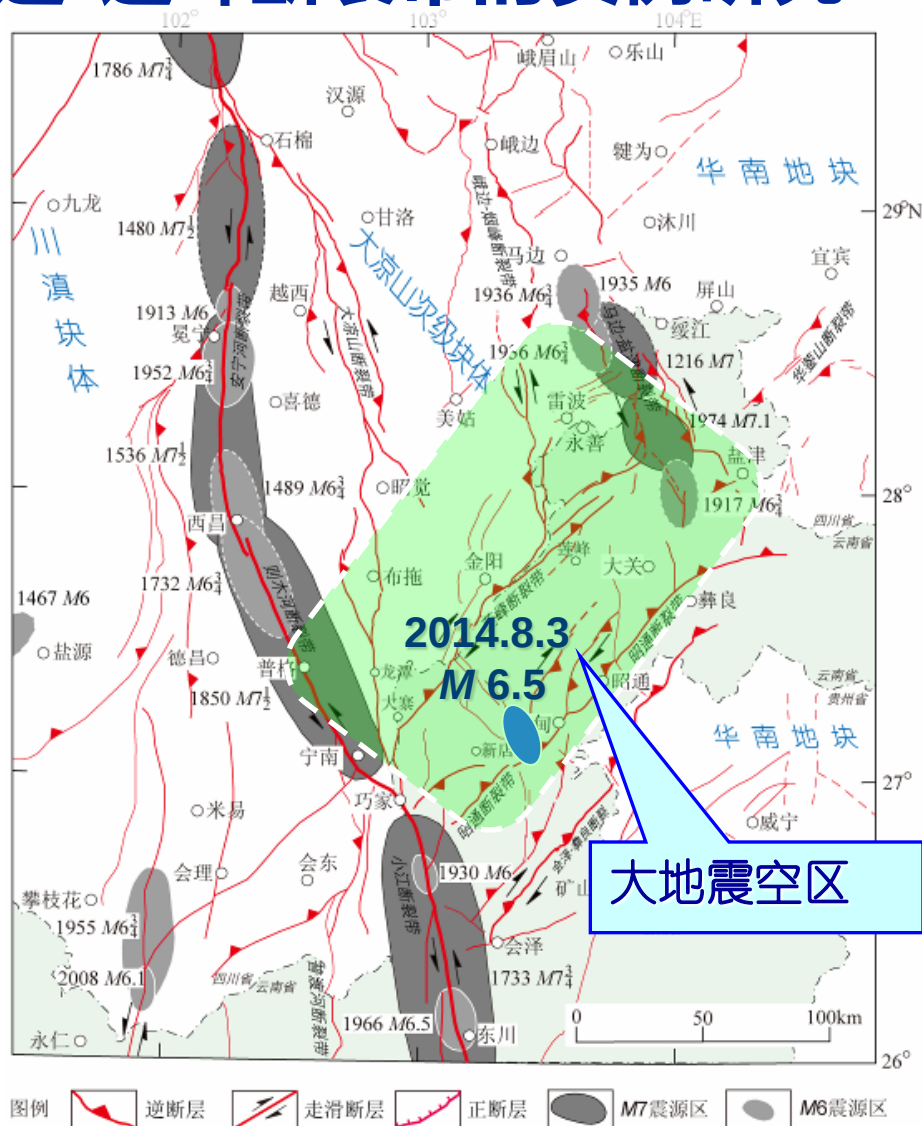
(a)综合地震构造、地震活动与地形变信息的强震危险背景分析方法——昭通-莲峰断裂带的实例研究

研究内容

- (1) 区域活动构造与动力学背景
- (2) 晚第四纪活动性—探察取证
- (3) 强震破裂背景—破裂空段
- (4) 剖面结构与构造
- (5) 现今形变
- (6) 地震活动性
- (7) 中长期强震危险性综合判定

认识:

- 1) 昭通断裂带有记载、无 $M \geq 7$ 地震的时间至少有1700多年;
- 2) $M6.5$ 地震是当地有记载以来的最大地震;
- 3) 判定属于缺 $M \geq 7$ 大地震的地震空区。



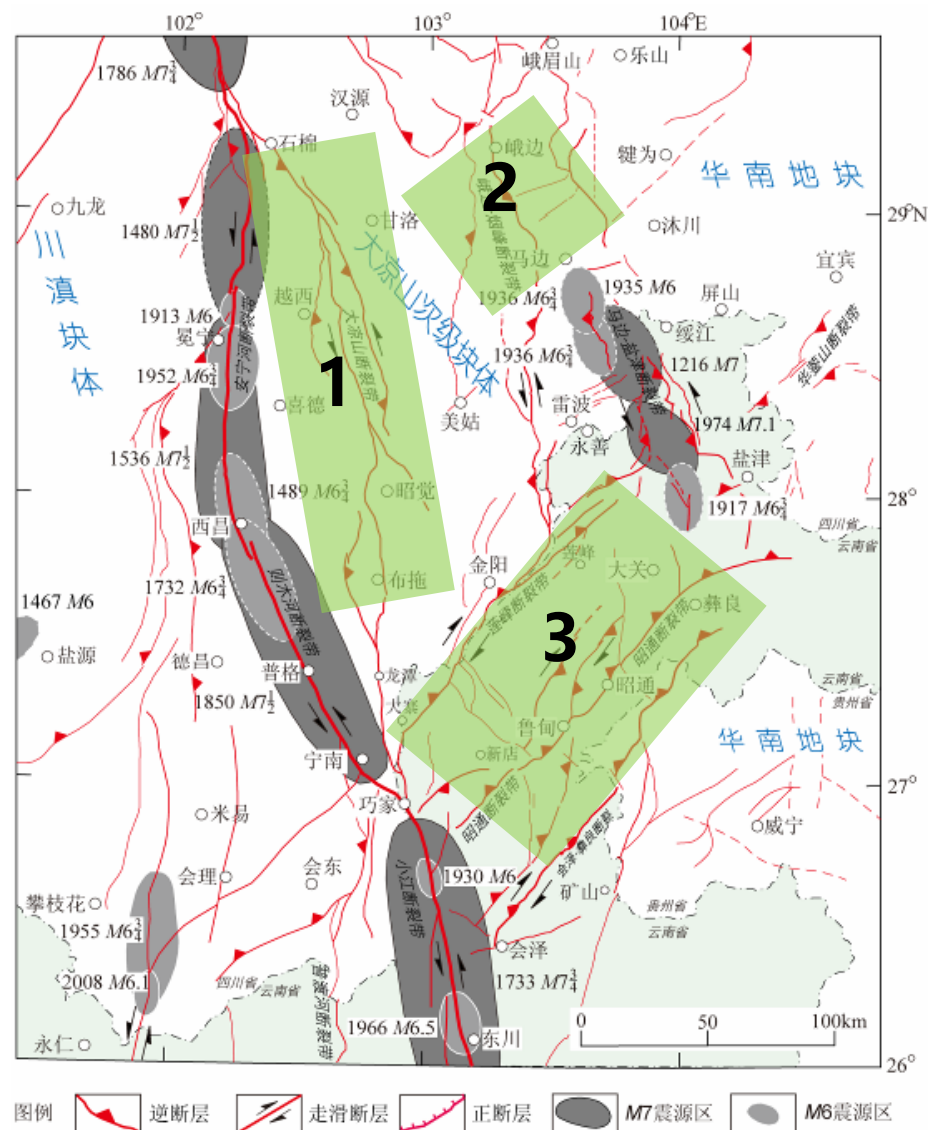
大凉山断裂、马边、昭通地震空区

危险区判定过程

1. 地震构造背景—多个破裂空段
2. 地震活动性
3. 地壳形变场
4. 重力场异常
5. 跨断层观测

具有强震发震能力，有史料记载以来无M7以上地震，一直缺中强地震

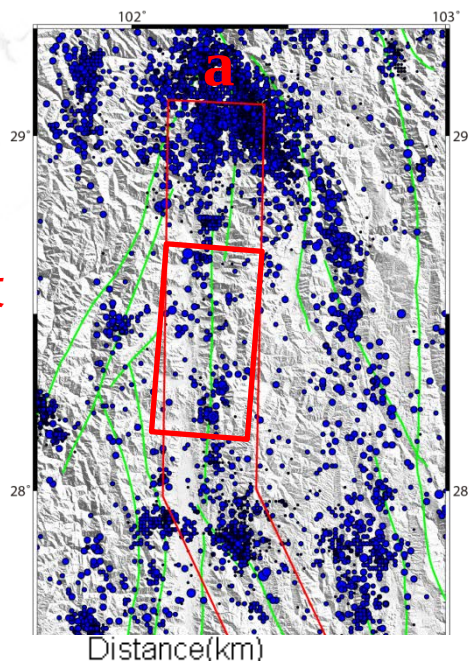
1. 大凉山断裂地震空区
2. 马边地震空区
3. 莲峰、昭通断裂地震空区



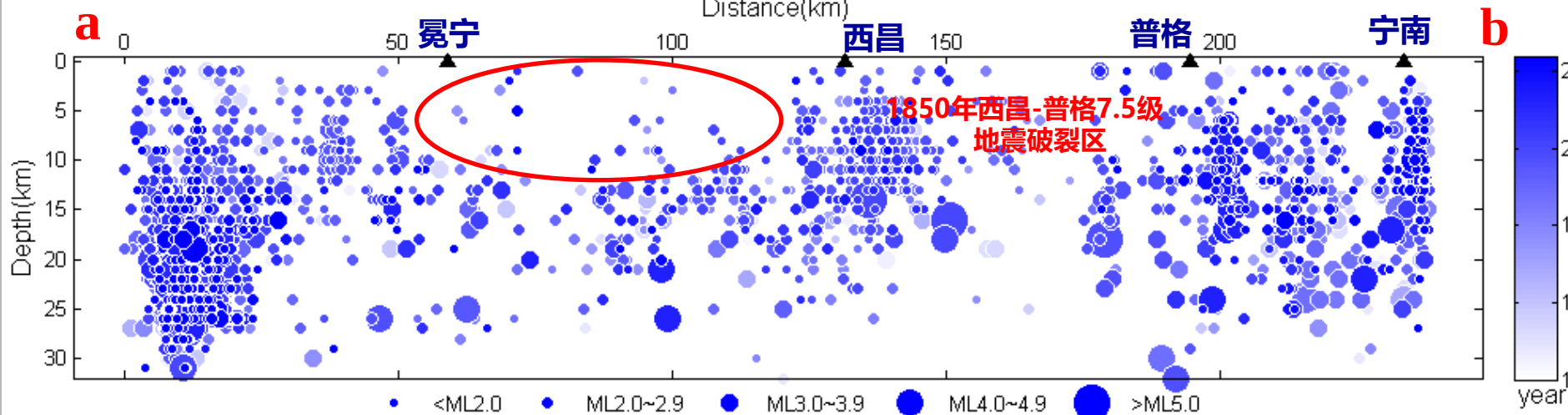
则木河-安宁河断裂带沿断裂存在2个小震稀疏段

危险区判定过程

1. 地震构造背景
2. 地震活动性—小震稀疏段
3. 地壳形变场
4. 重力场异常
5. 跨断层观测



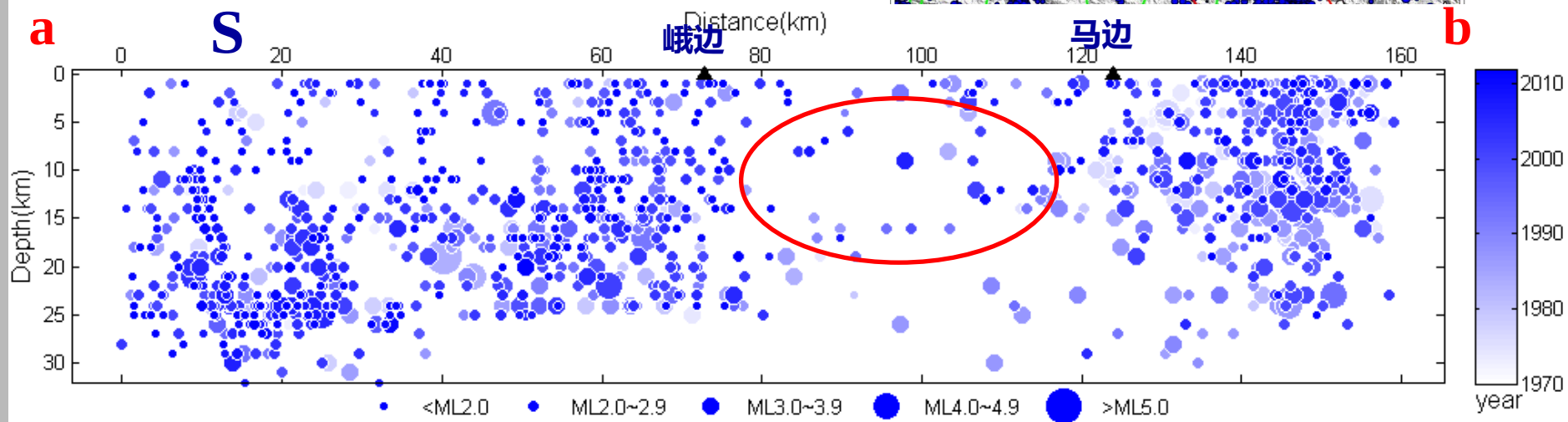
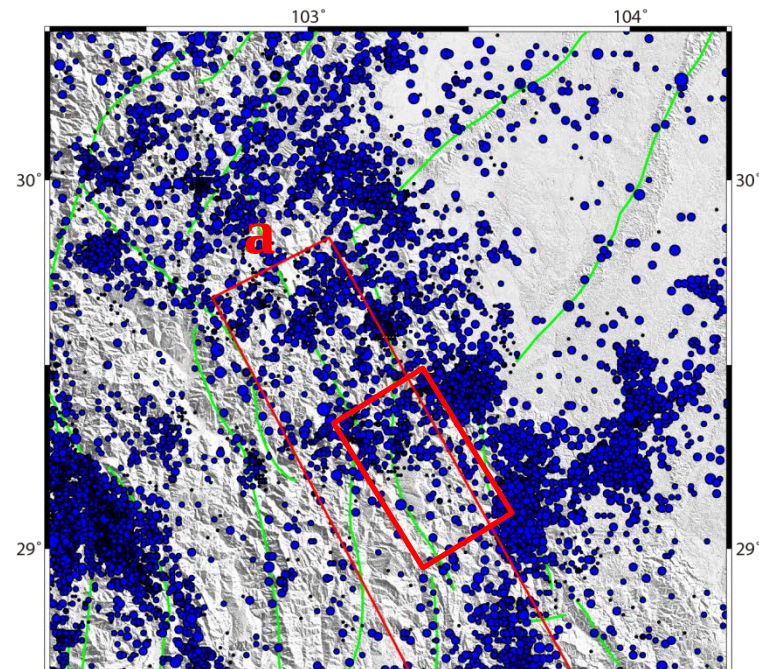
1. 冕宁县向南至西昌市有一长约80km的小震稀疏段;
2. 普格县北北西方向长约30km的区域小震稀疏



峨边县城与马边县城之间约50km的地区小震稀疏

危险区判定过程

1. 地震构造背景
2. 地震活动性—小震稀疏段
3. 地壳形变场
4. 重力场异常
5. 跨断层观测

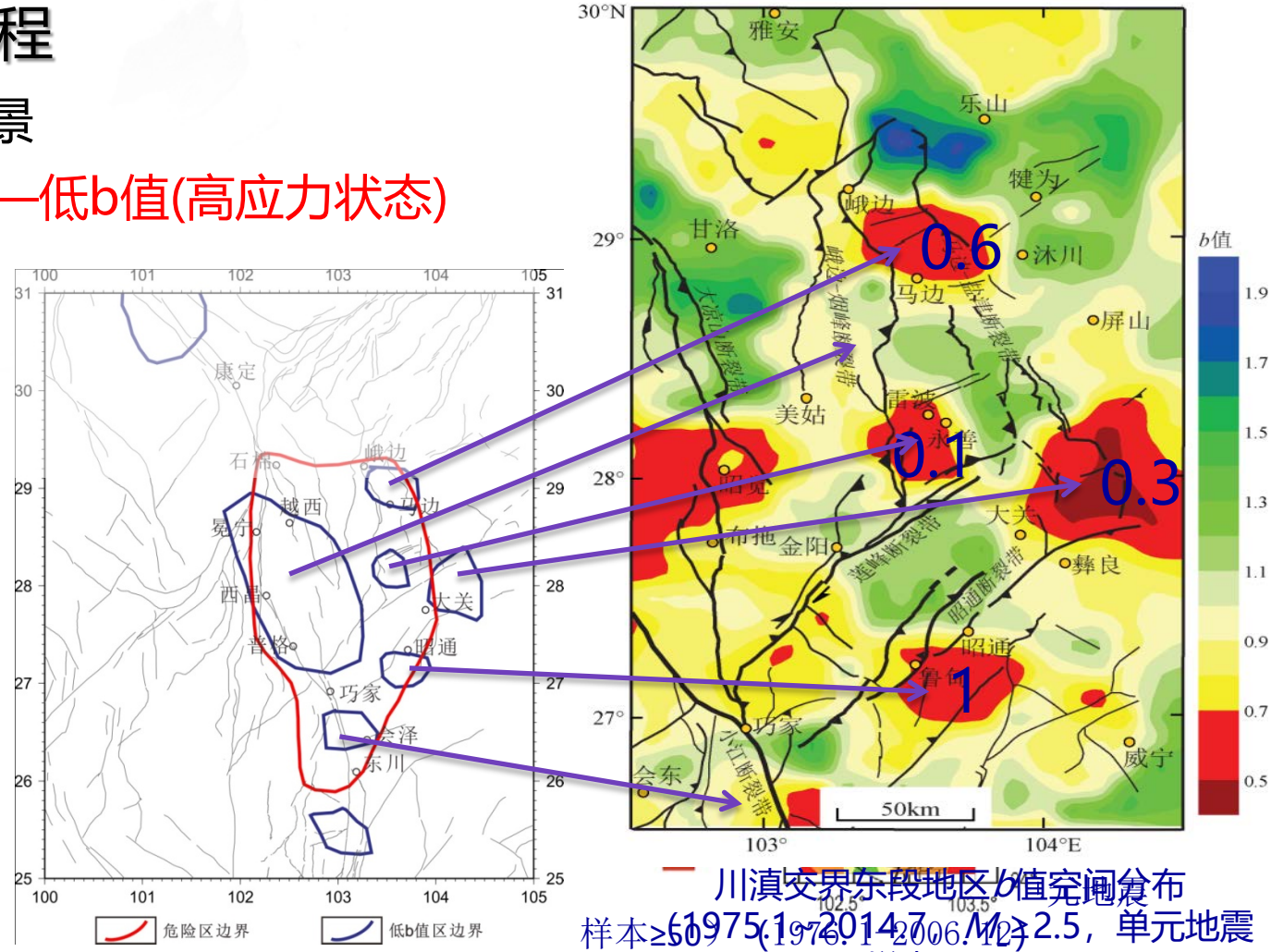


川滇交界东部存在多个低b值异常区

川滇块体东边界断裂带b值分布

危险区判定过程

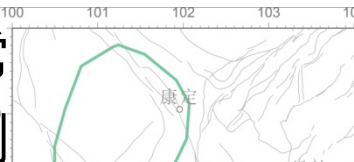
- 1. 地震构造背景
- 2. 地震活动性—低b值(高应力状态)
- 3. 地壳形变场
- 4. 重力场异常
- 5. 跨断层观测

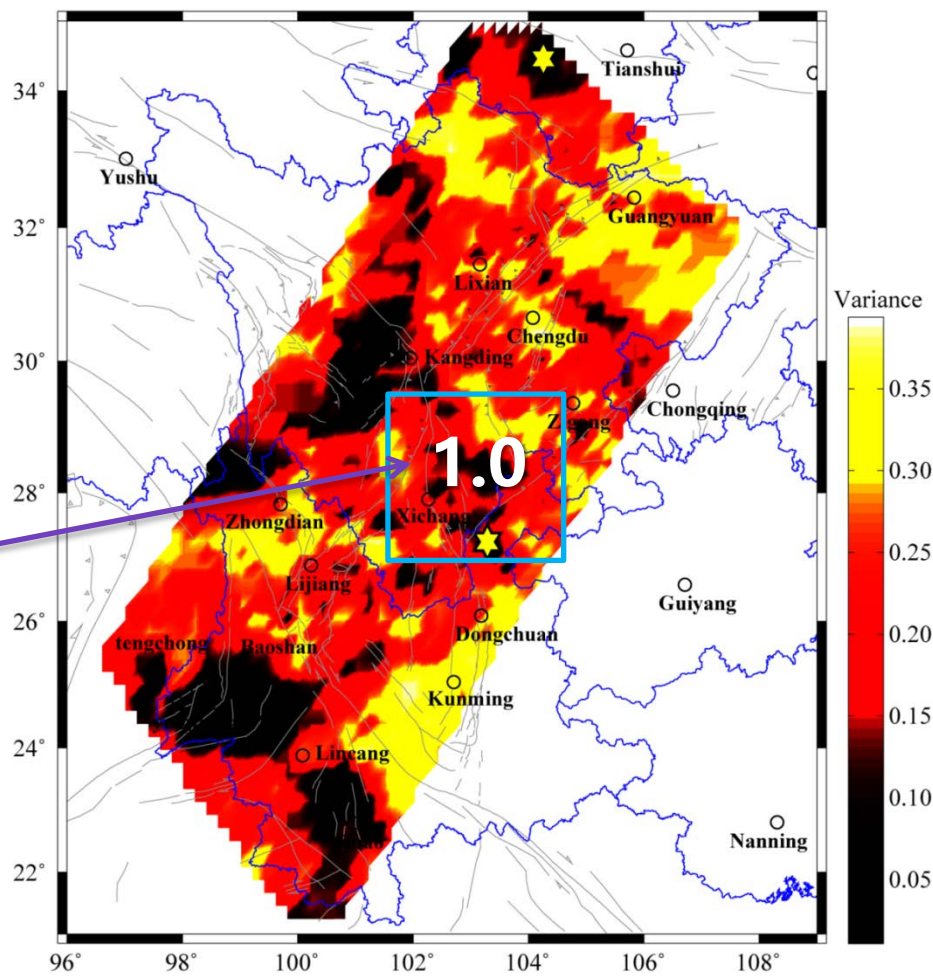
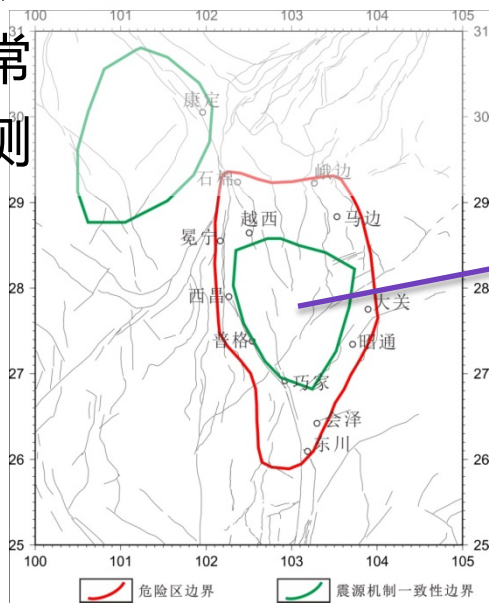


川滇交界东段地区b值空间分布
样本≥50 (1975.1~2014.2.27, $M \geq 2.5$, 单元地震
样本≥50)

川滇交界东部震源机制一致性较好

危险区判定过程

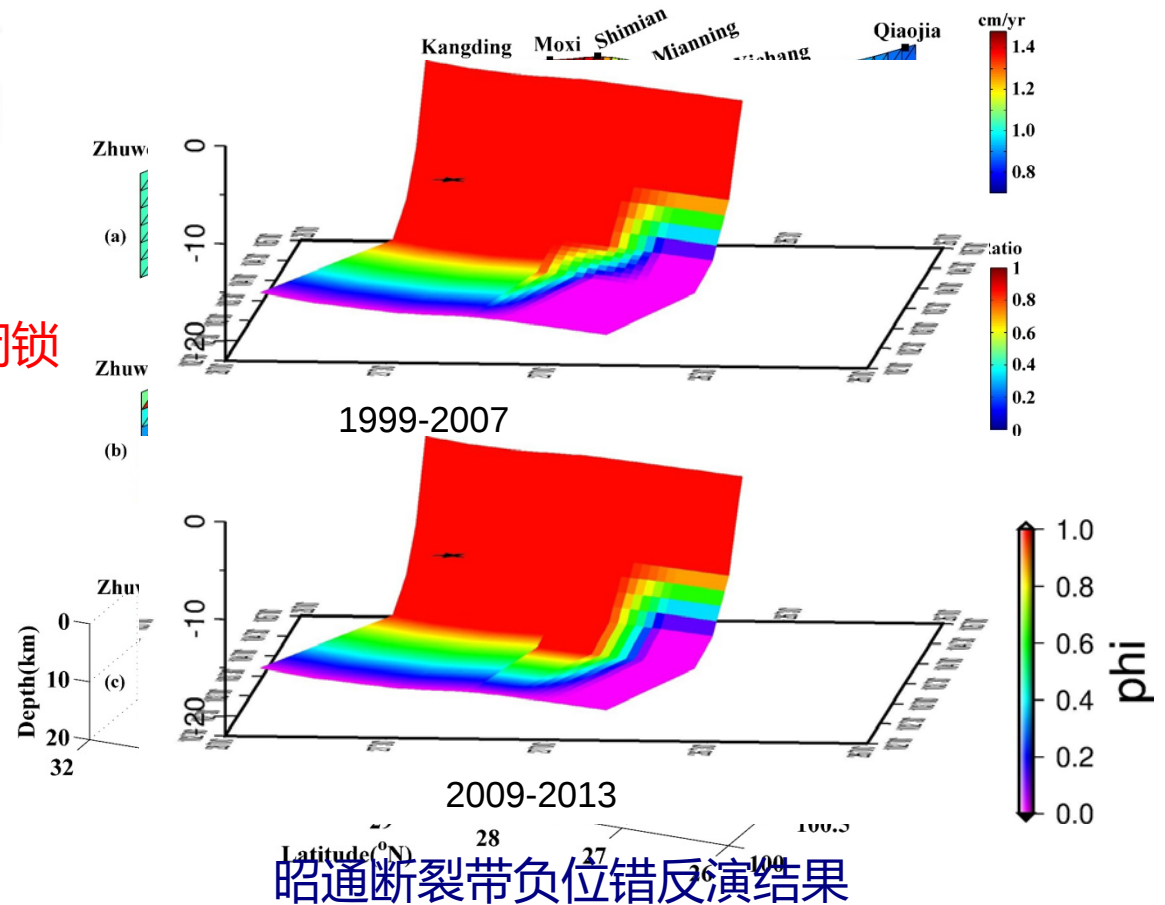
1. 地震构造背景
 2. 地震活动性—震源机制一致性
(高应力状态)
 3. 地壳形变场
 4. 重力场异常
 5. 跨断层观测
- 



安宁河断裂，小江北段、莲峰、昭通断裂处于闭锁状态

危险区判定过程

1. 地震构造背景
2. 地震活动性
3. 地壳形变场—断层闭锁
4. 重力场异常
5. 跨断层观测



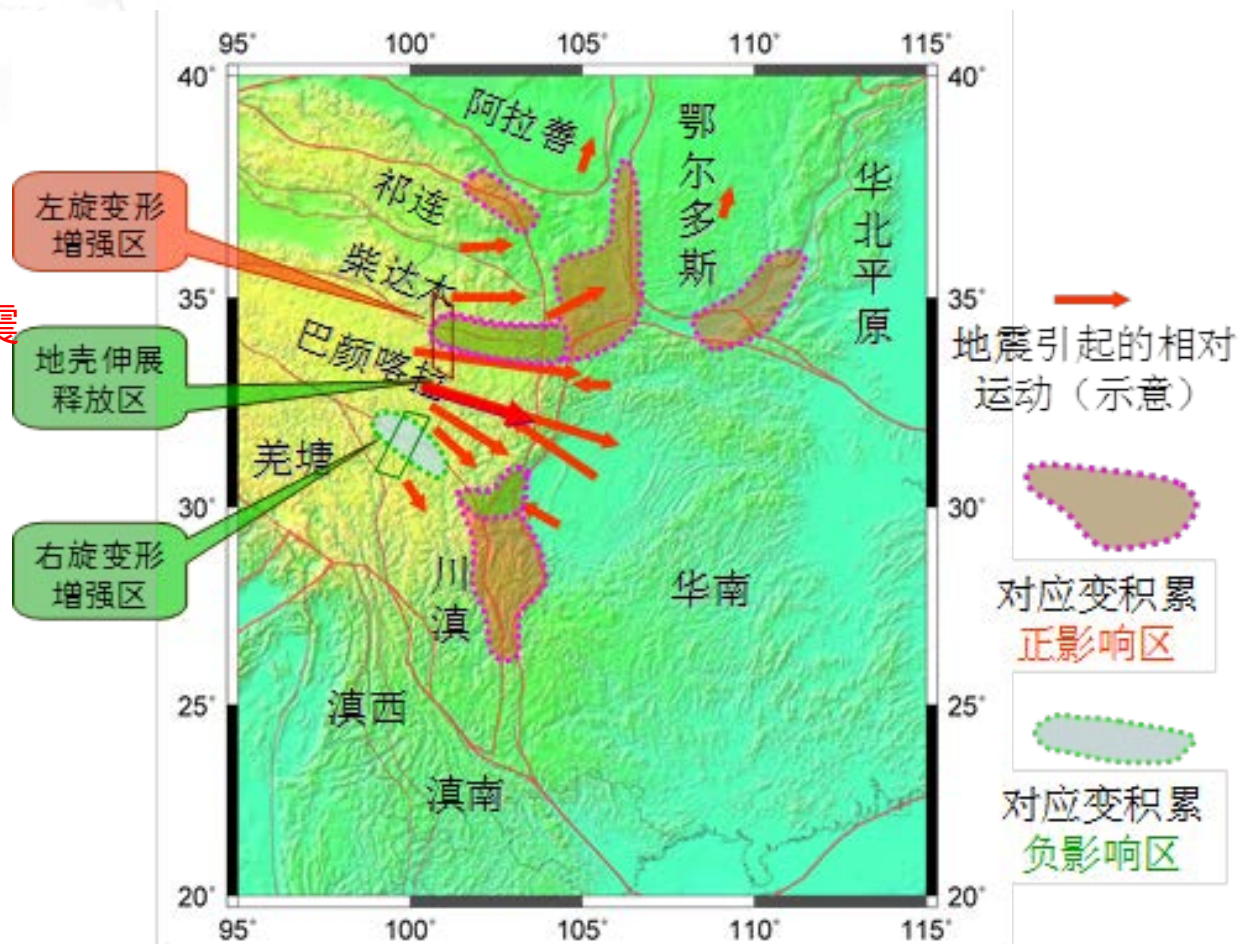
昭通断裂带负位错反演结果

川滇块体东边界断裂带应力分布特征 (江国焰等, 2015)

汶川8.0级地震的发生促进川滇交界应变积累

危险区判定过程

1. 地震构造背景
2. 地震活动性
3. 地壳形变场—汶川地震影响“增强”区
4. 重力场异常
5. 跨断层观测



汶川8.0级地震对区域应变积累的影响

GPS揭示的川滇交界东部应变积累逐渐增强

危险区判定过程

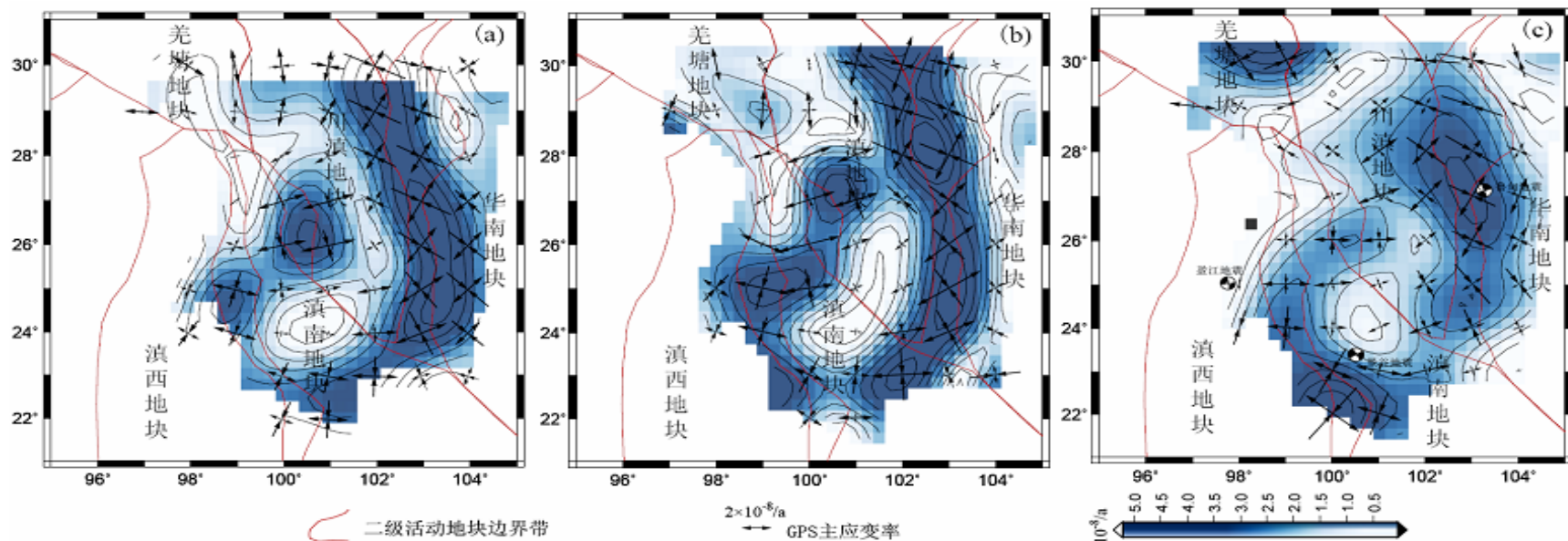
1. 地震构造背景
2. 地震活动性
3. 地壳形变场—应变场异常区

该区挤压变形速率或范围均有所增强，剪切变形有所减缓

1999-2007

2009-2013

2013-2014



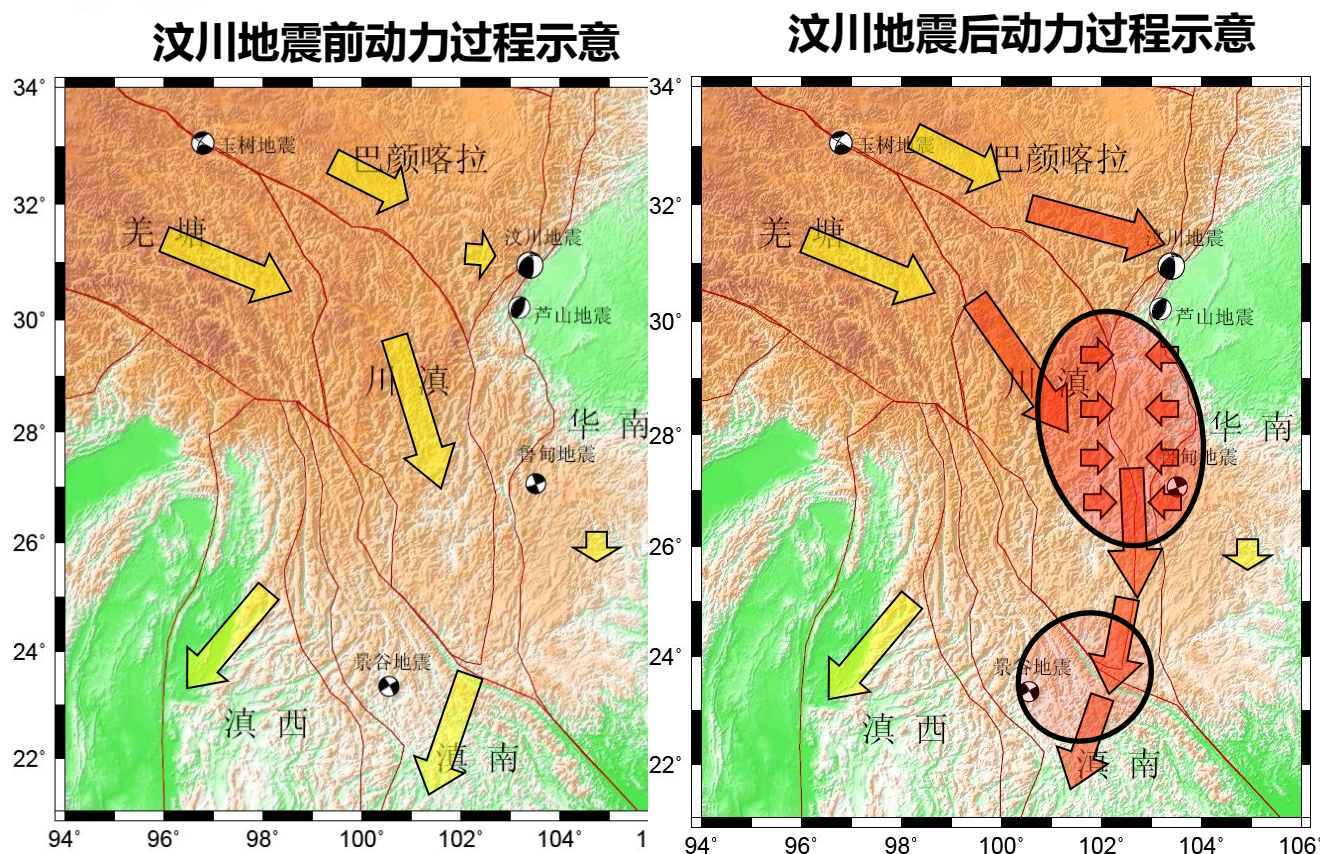
南北带中南段主应变率和最大剪应变率结果

川滇地区动力过程综合分析

综合1999年以来GPS速度场、应变率场、剖面分析、块体相对运动、位错反演、时序分析等，获得川滇地区构造动力动态过程。

危险区判定过程

1. 地震构造背景
2. 地震活动性
3. 地壳形变场—应力应变增强-集中区
4. 重力场异常
5. 跨断层观测



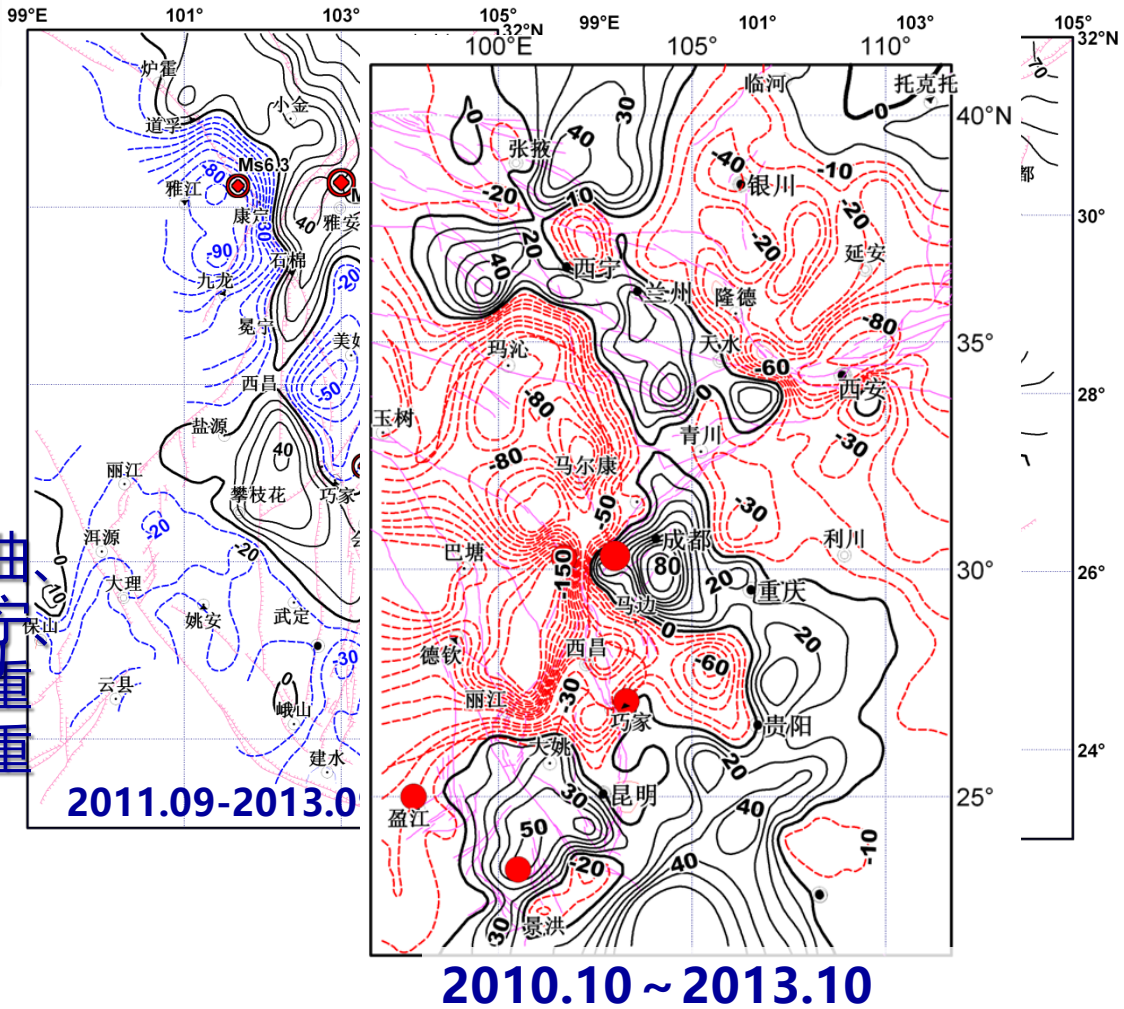
川滇地区动力过程示意图

重力变化十分剧烈，重力变化高梯度带与测区 主要构造带走向基本一致

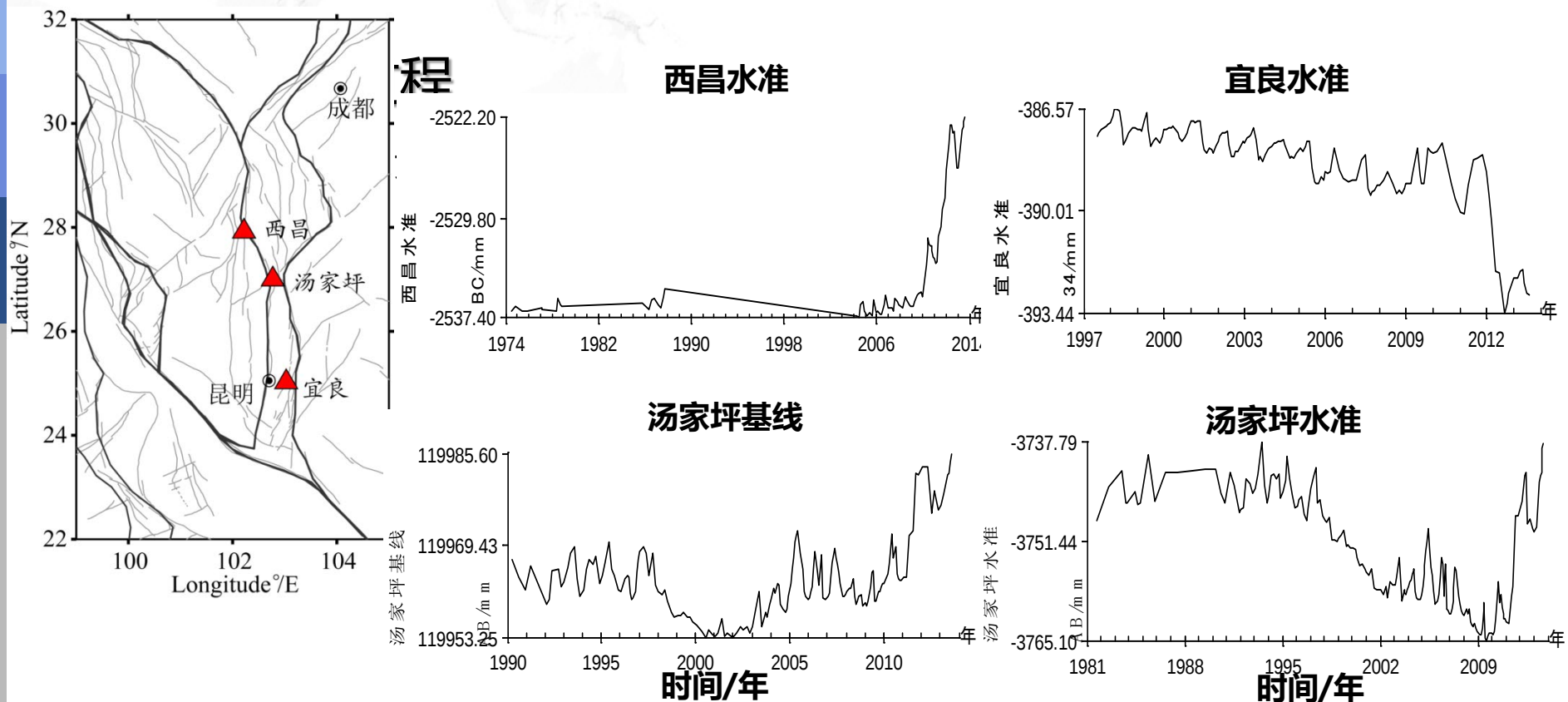
危险区判定过程

- 1. 地震构造背景
- 2. 地震活动性
- 3. 地壳形变场
- 4. 重力场异常—突出
- 5. 跨断层观测

重力变化等值线畸变、弯曲，
沿鲜水河断裂南段、安宁河、
则木河、K江断裂带地区重力
变化高梯度带，重力异常幅
度达±60微伽以上，重力
力异常范围达400公里



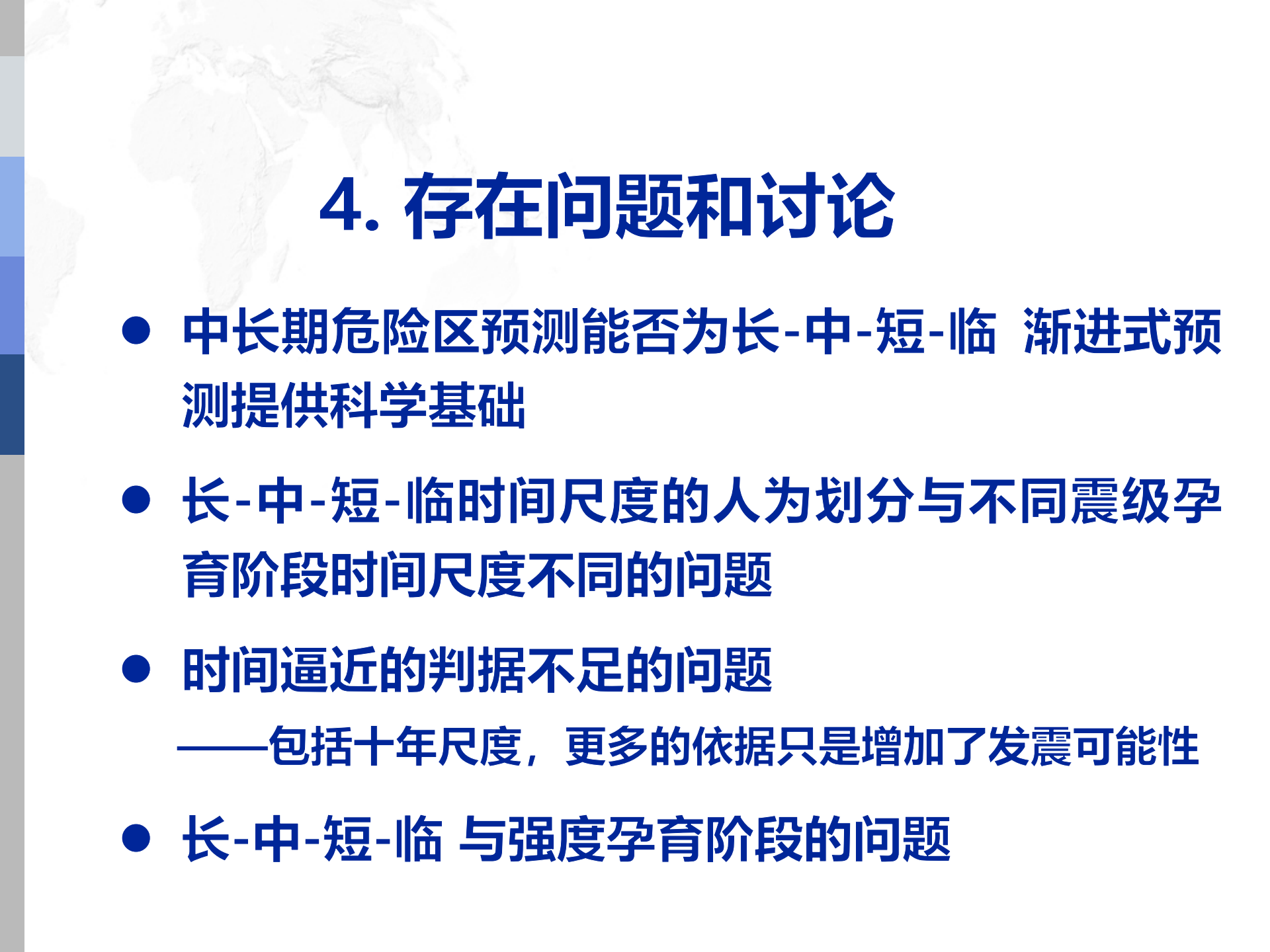
川滇菱形块体东边界多处跨断层观测资料出现大幅变化



川滇地块边界带尤其东边界发生强震的危险性较大

川滇交界东部危险区判定依据

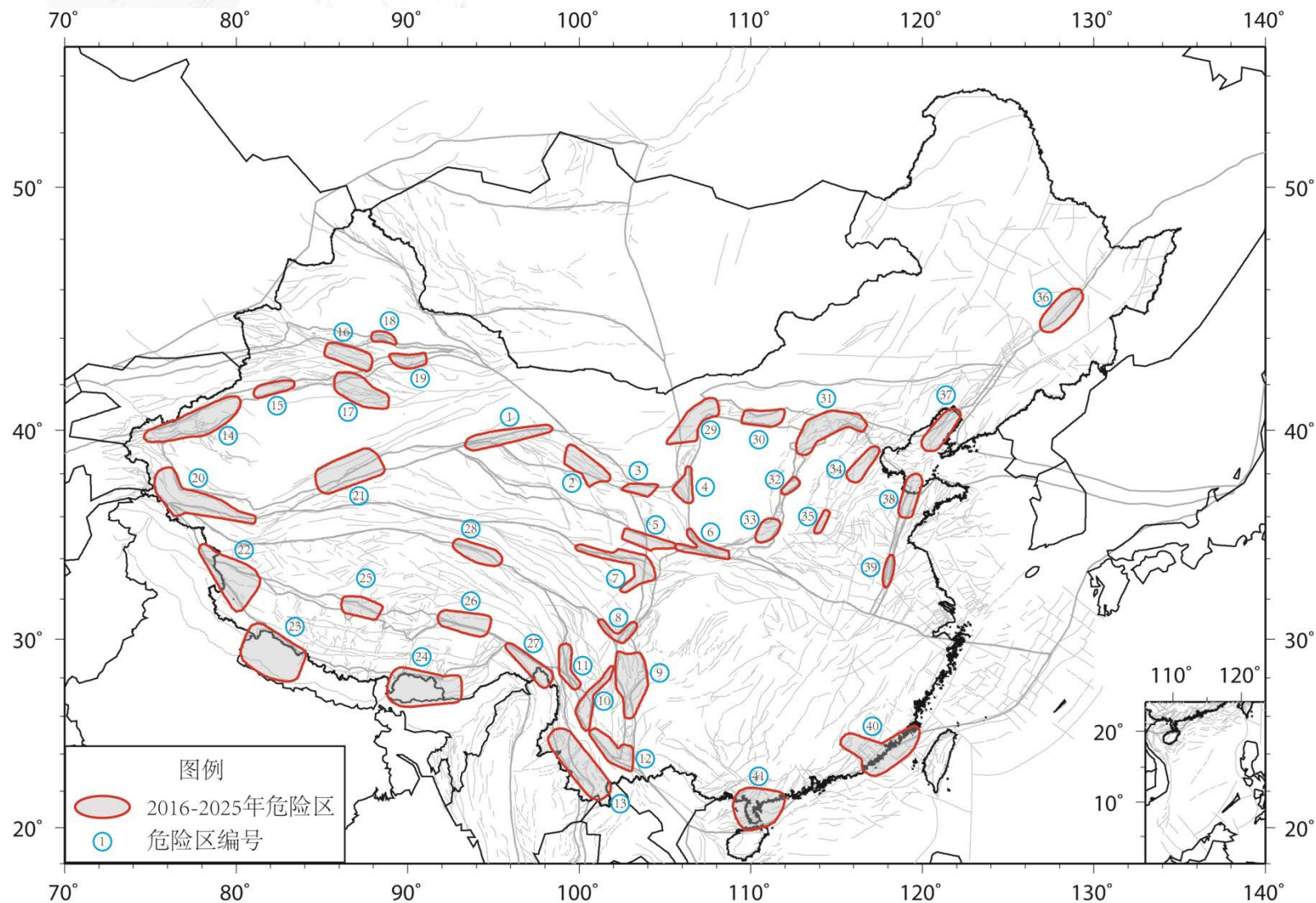
学科资料	危险区判据	信度
地震地质	1. II级活动块体边界带；	
	2. 安宁河和小江断裂北段存在地震破裂空区	
	3. 大凉山地震空区，莲峰-昭通断裂为大震破裂空区	
	4. 大凉山断裂南南段最新一次事件的离逝时间都已接近或超过其大震重复间隔	
形变学科	1. 处于汶川地震影响增强区	0.7
	2. 挤压变形速率和范围均增强，剪切变形减缓	0.8
	3. 安宁河断裂带GPS剖面显示其处于孕震晚期	0.8
	4. 安宁河断裂带处于强闭锁状态	0.5
	5. 安宁河断裂带走滑速率趋缓	0.5
	6. 莲峰、昭通地区表现为远场挤压加载，近场逐渐趋缓特征	0.6
	7. 垂直于昭通、莲峰断裂带挤压应变积累背景较高	0.6
	8. 垂直形变隆升	0.7
	9. 重力变化高梯度带；重力异常幅度达160微伽以上	0.9
	10. 显著的重力变化四象限分布特征，异常范围达400公里；	0.9
	11. 跨断层形变群体性异常	0.8
	12. 鲜水河、则木河跨断层形变趋势性异常，安宁河断裂闭锁	0.8
	13. 鲜水河断裂南段断层形变转折、巨幅异常	0.7
	14. 垂直形变差异运动较大	0.7
地震学	1. 存在多个低b值异常区(石棉-西昌，昭觉区，巧家-东川，马边段，鲁甸-昭通段，大关-彝良)	(1.0, 1.0, 1.0, 0.5, 1.0, 0.3)
	2. 、峨边-马边之间，冕宁-西昌段和小江断裂带会泽附近为小震稀疏地区	
	3. 鲜水河断裂带-安宁河断裂带存在地震丛集率低值区；	
	4. 川滇交界东部震源机制解一致性较好	1.0



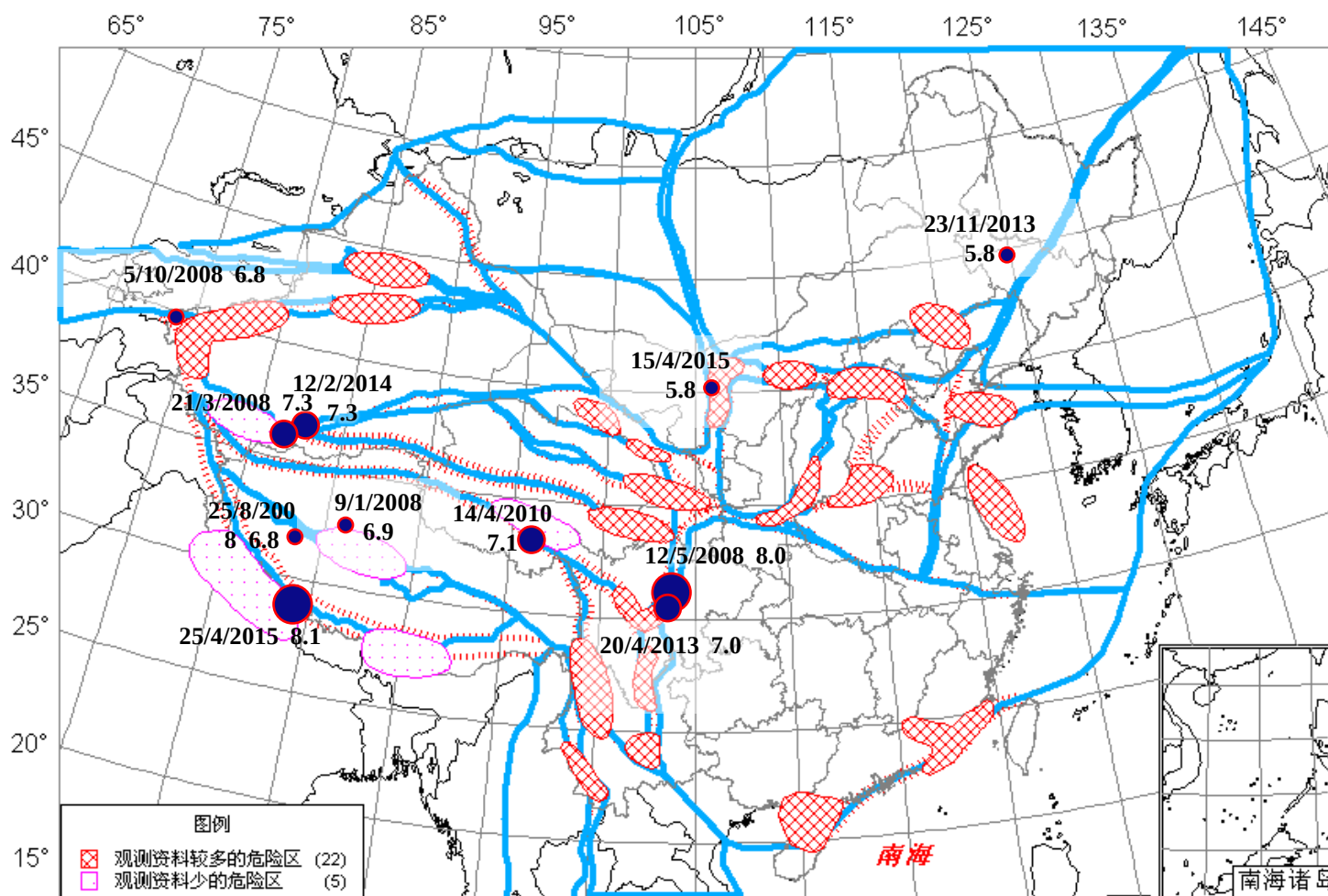
4. 存在问题和讨论

- 中长期危险区预测能否为长-中-短-临 渐进式预测提供科学基础
- 长-中-短-临时间尺度的人为划分与不同震级孕育阶段时间尺度不同的问题
- 时间逼近的判据不足的问题
——包括十年尺度，更多的依据只是增加了发震可能性
- 长-中-短-临 与强度孕育阶段的问题

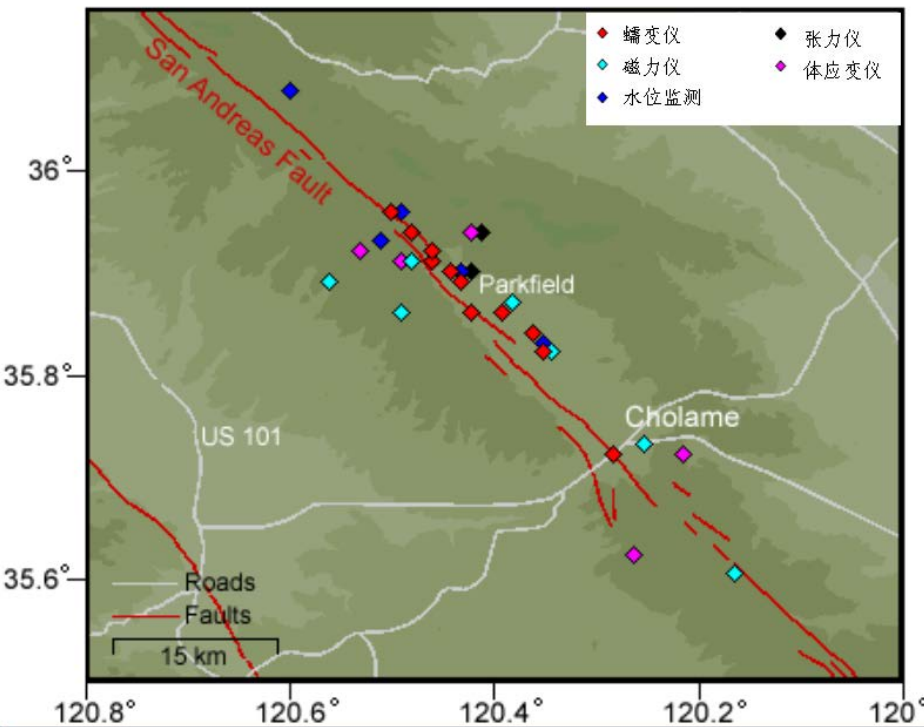
2016~2025年中国大陆重点危险区



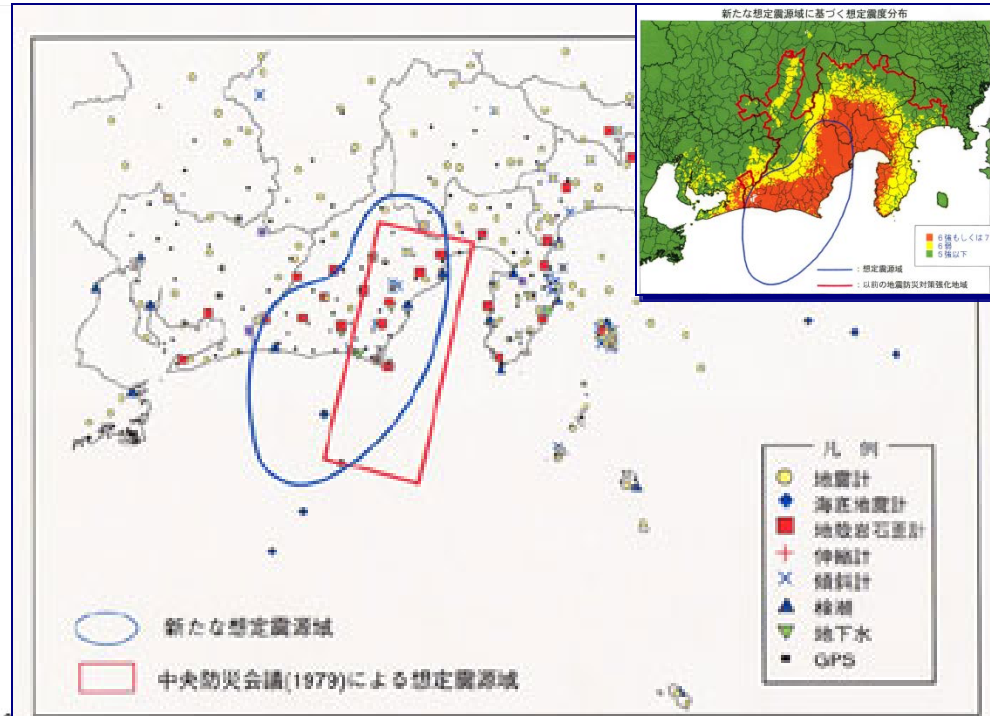
2006 ~ 2020年中国大陆强震危险区和震中分布图(东部 $M \geq 5.7$,西部 $M \geq 6.7$)



一、大陆强震预测科学思路



Parkfield地震试验场照片



东海地区地震强化监视区

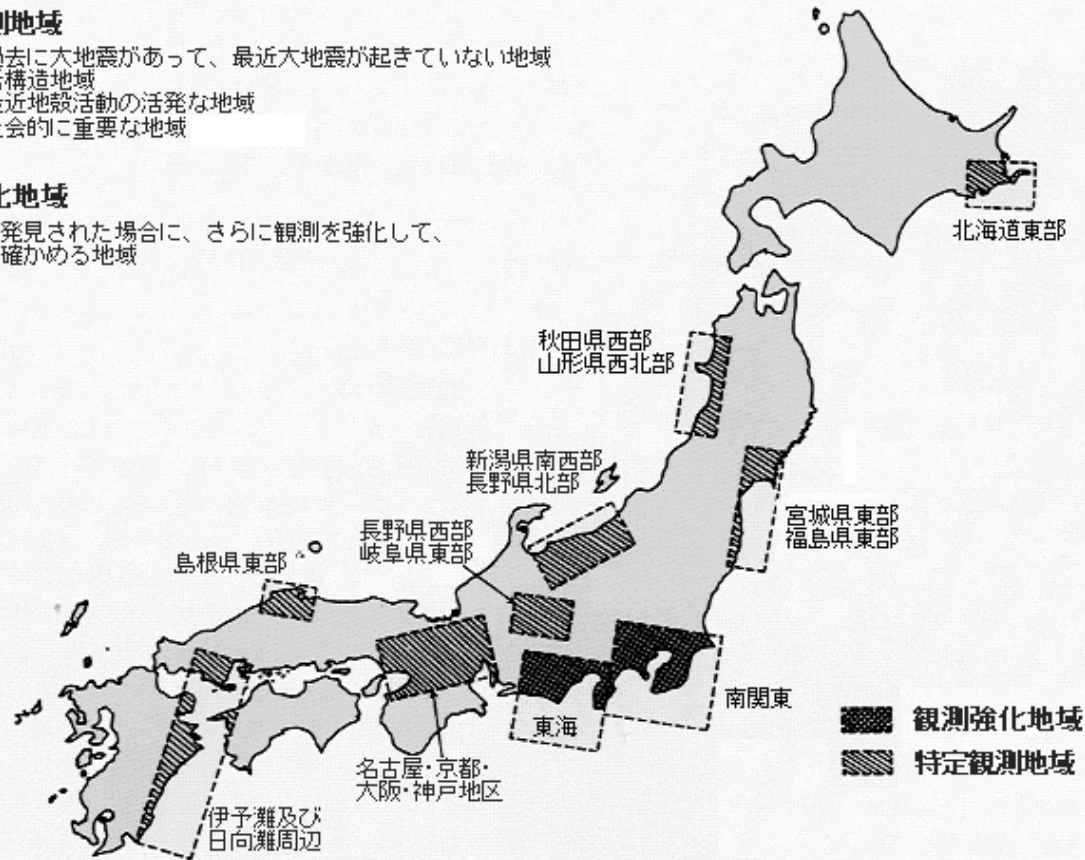
特定観測地域与観測強化地域

特定観測地域

1. 過去に大地震があって、最近大地震が起きていない地域
2. 活構造地域
3. 最近地殻活動の活発な地域
4. 社会的に重要な地域

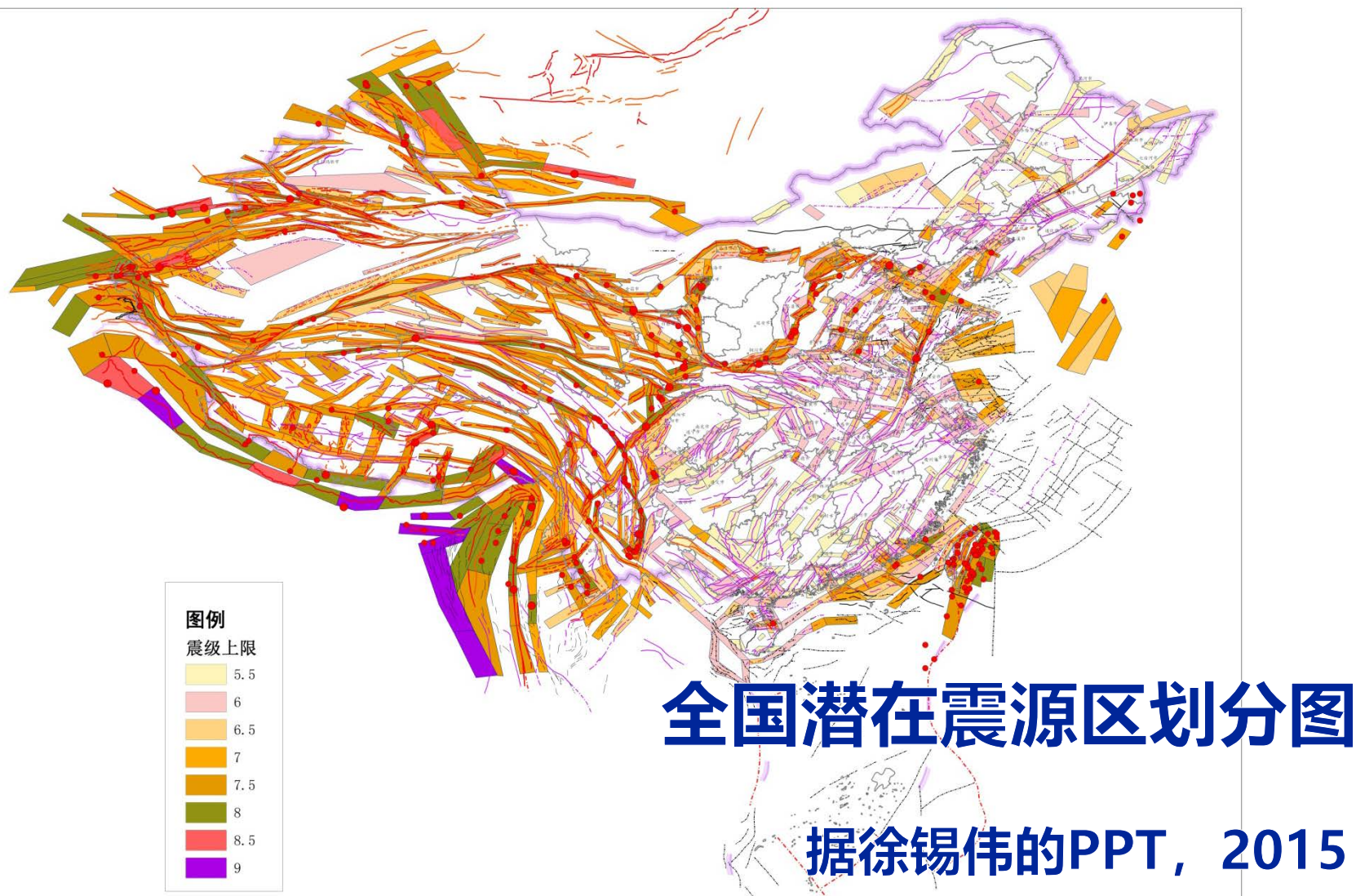
観測強化地域

異常が発見された場合に、さらに観測を強化して、異常を確かめる地域



引自：日本地震予知連絡会 与中方交流报告, 2002

中国大陆地震活动特点——潜在强震源多-复发周期长

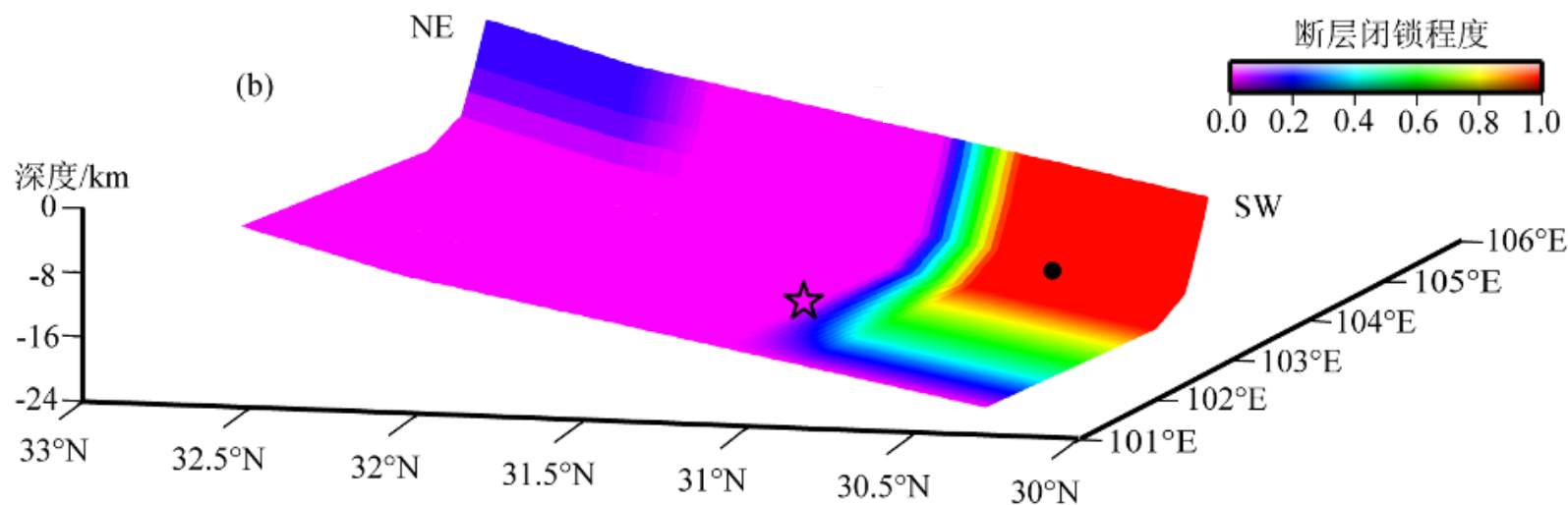
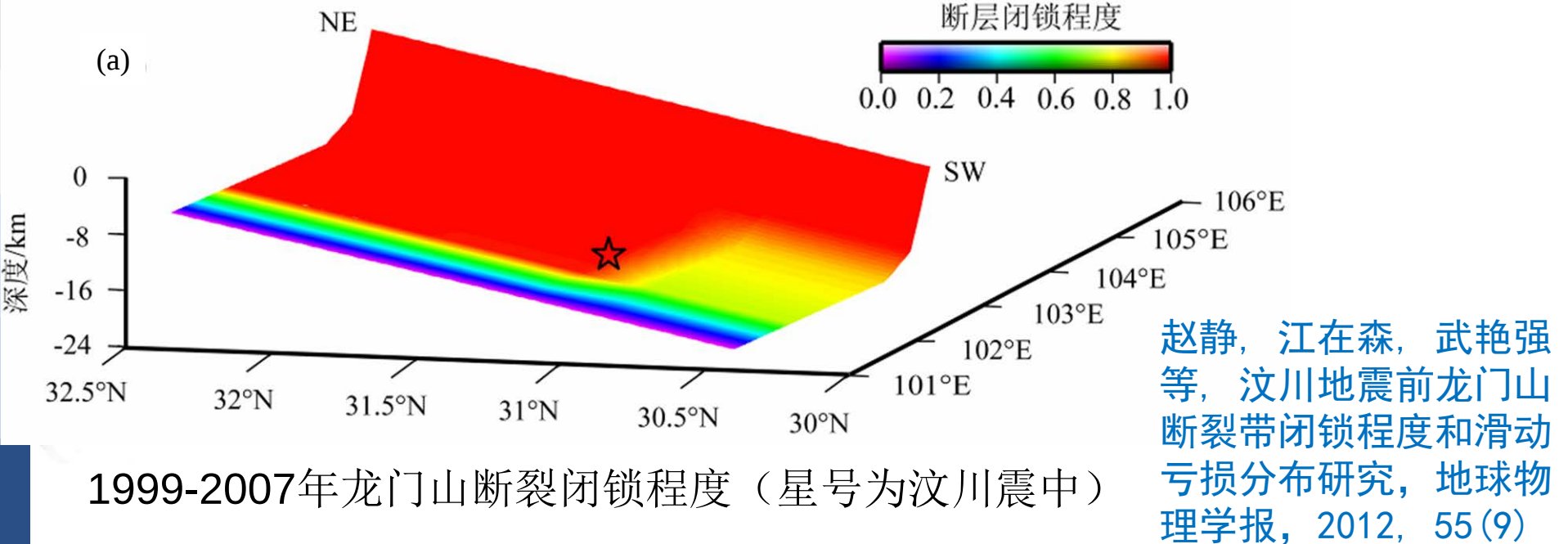


主要认识及讨论

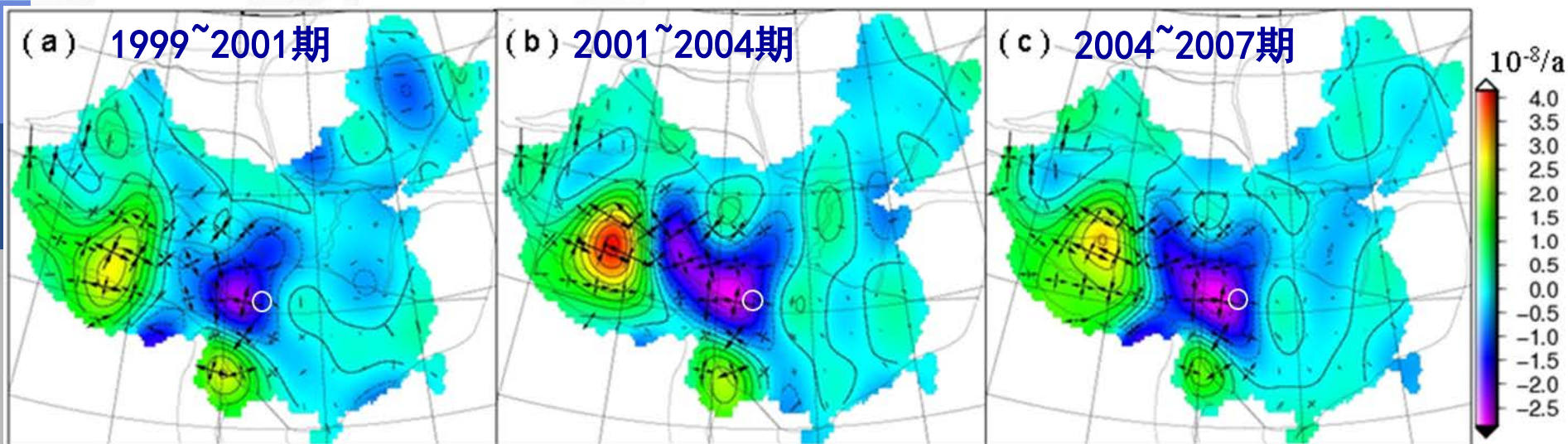
- 1、**中长期强震危险区预测有较好的科学技术支持：**大陆强震并非“震无定所”，强震瞬间释放大量能量，必有孕震期的能量积累。强震长期预测从构造孕震能力、边界动力加载或深部动力条件，破裂空段、构造应变积累等等方面提取预测依据没有问题。
- 2、**不同努力提高中长期危险区预测科学性和预测的准确率，才可为长中短临渐进式预测提供更好的基础支持：**地震预测时空强三要素，已有强震孕育存在阶段发展过程的基本认识，基于多时空尺度动态资料寻求有效的技术方法把强地震预测时间尺度逐步向短期逼近是自然的科学的选择。相对长时间尺度的地点、强度预测，尽可能为短临预测提供相对目标“靶”区，短临预报才有基本的科学基础支持。

主要认识及讨论

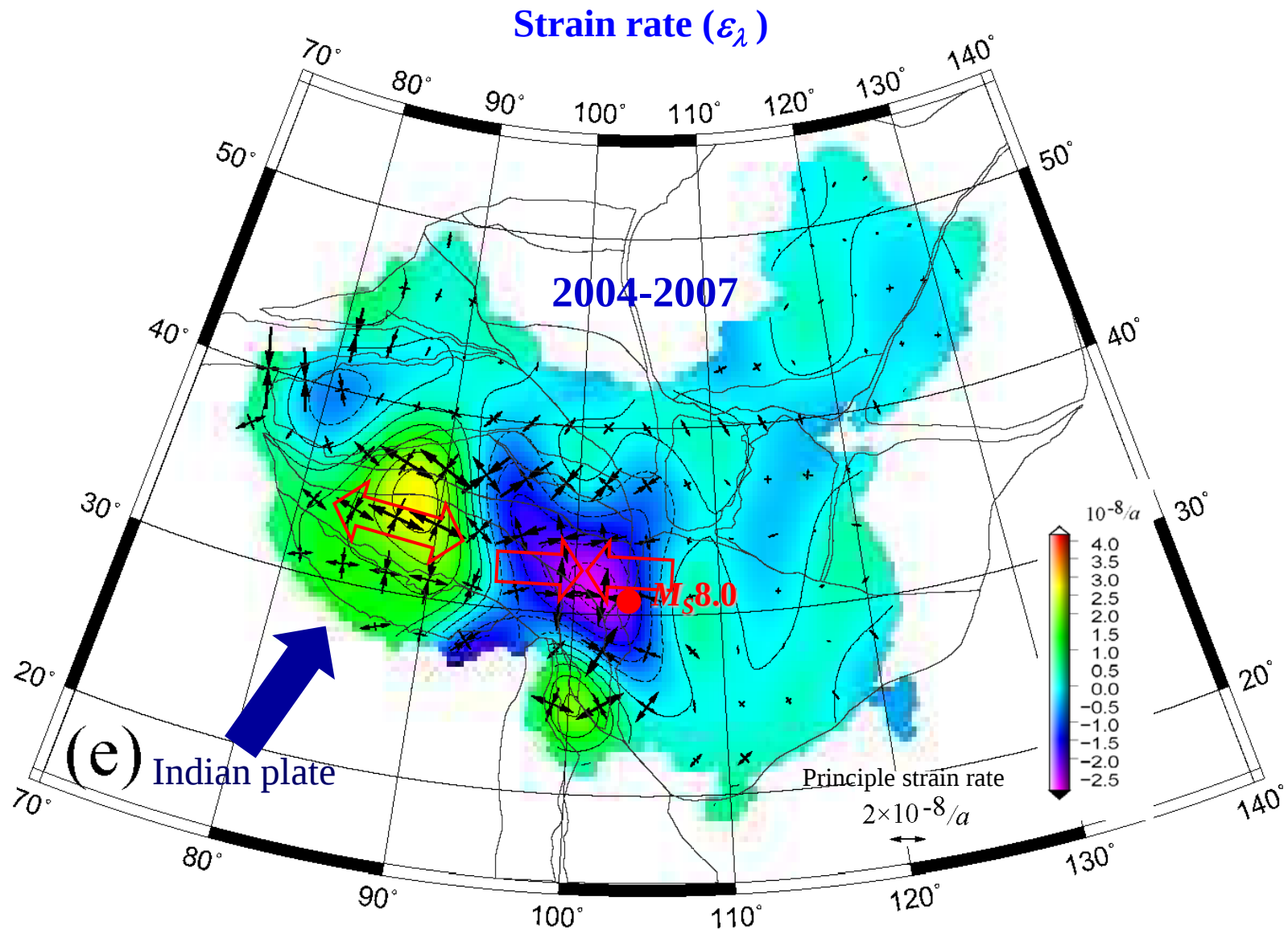
- 3、长期、中长期预测的主要任务是从广泛分布的上千个强震源，收缩的十年或几年尺度的有发震危险的潜源，主要的核心依据，包括发震断层段闭锁和应变积累程度、应力水平是否逼近发震断层段能承受的限度等，需要加强科学核心依据的观测/探测技术强度的支持。
- 4、一部分科学基础明确的判据只要技术投入就能做的更好，如，断层闭锁和滑动亏损到应变积累程度，只要GNSS等大地测量资料密度足够就可做到更精确。而**强震危险性逼近特别是向十年、几年甚至更短时间逼近的科学判据不足**，目前更多的依据都还只能是增加了临近发震的可能性，确切的时间尺度信息不足，也需要从观测到研究加强支持。



1. 汶川地震前区域地壳形变特征

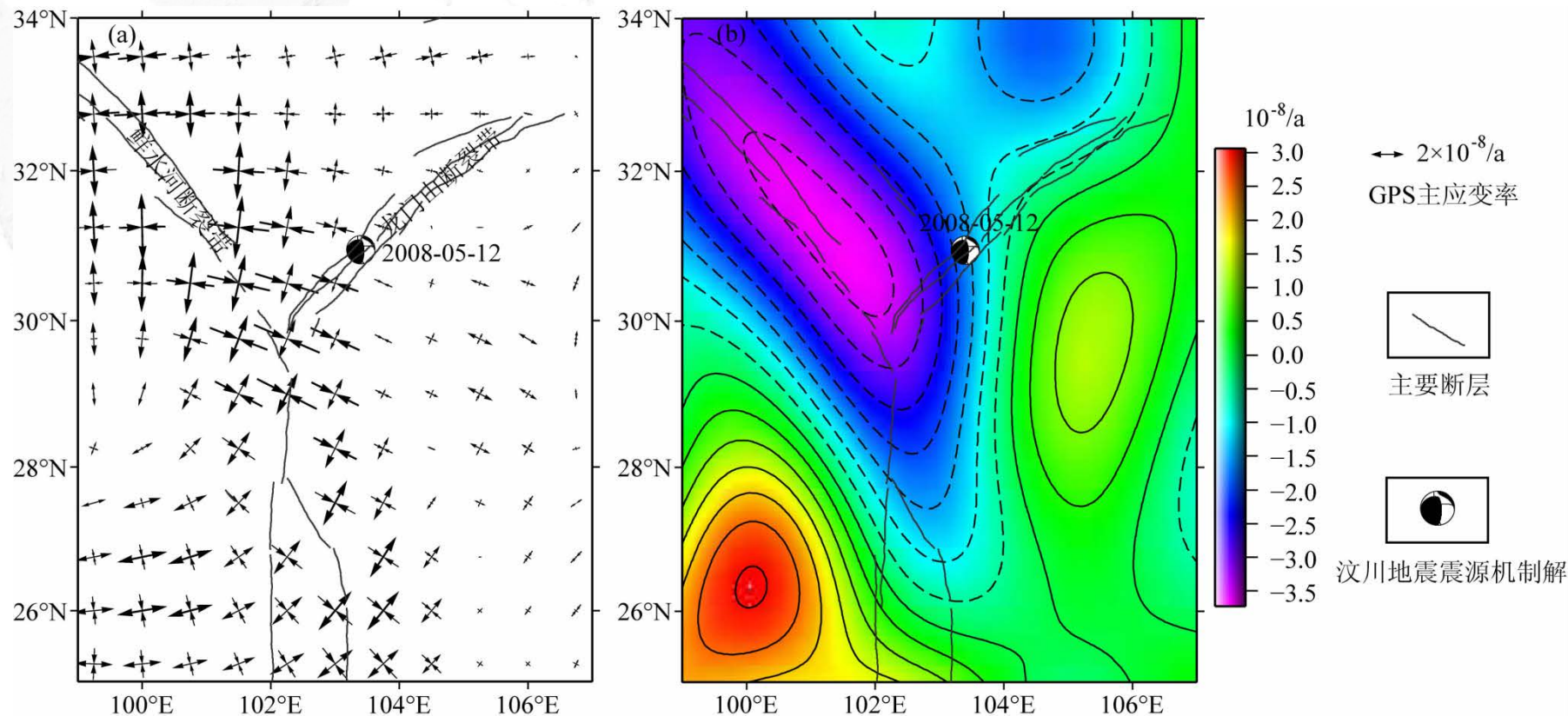


中国大陆GPS应变场主应变率(箭头)与东西向分量应变率(色)图



Wenchuan $M_s 8.0$ earthquake is located on the east edge of the region with high compression in direction from west to east. (Jiang et al. IUGG, 2011)

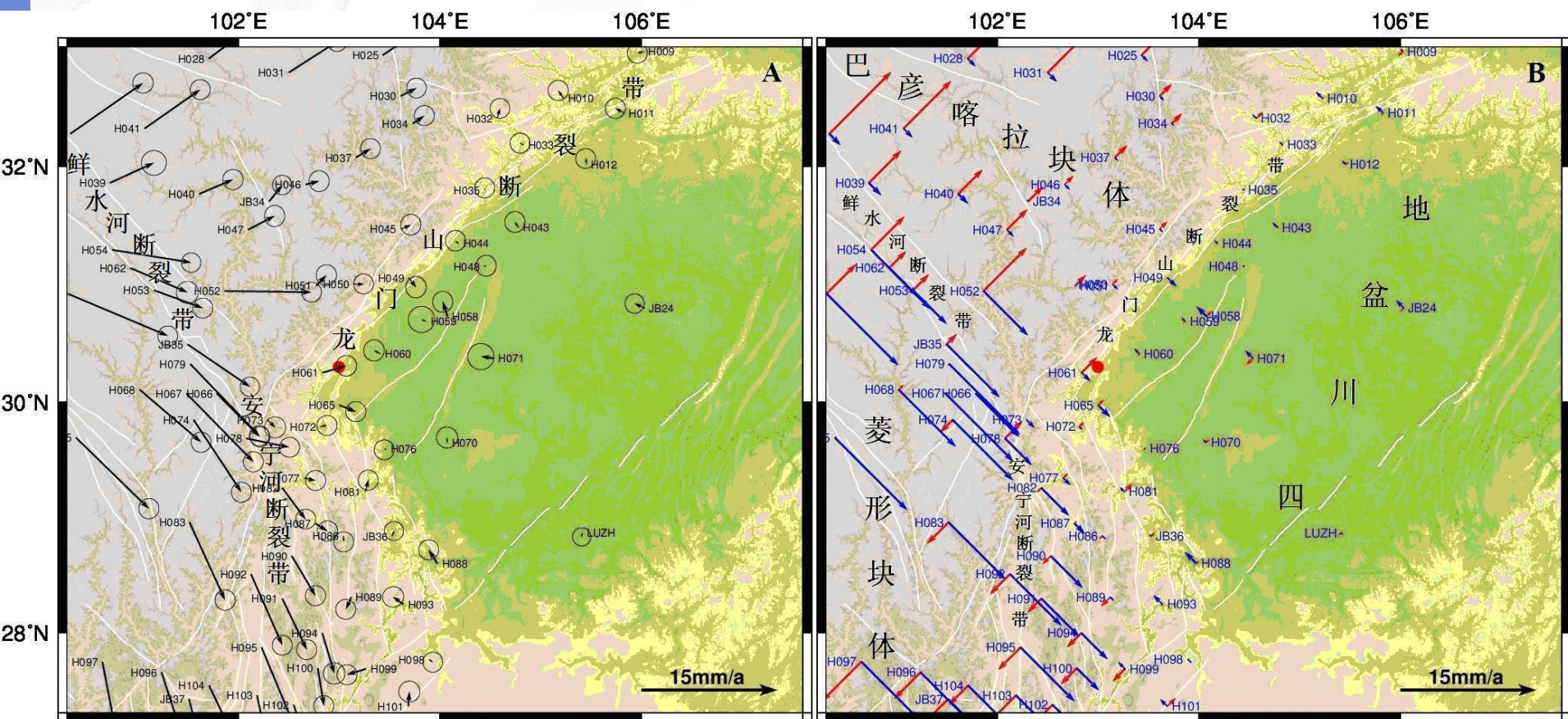
1. 汶川地震前区域地壳形变特征



1999—2007期GPS高分辨率应变率场结果
(a) 主应变率分布； (b) 东西向应变率分布

汶川8.0地震前區域水準運動解析

四川盆地西北邊界以西北近150km寬度範圍內的地殼物質幾乎固定不動，似乎成為四川盆地的一部分保持著無形變特徵，而壓性無形變狀態則保持在更大的空間範圍上。



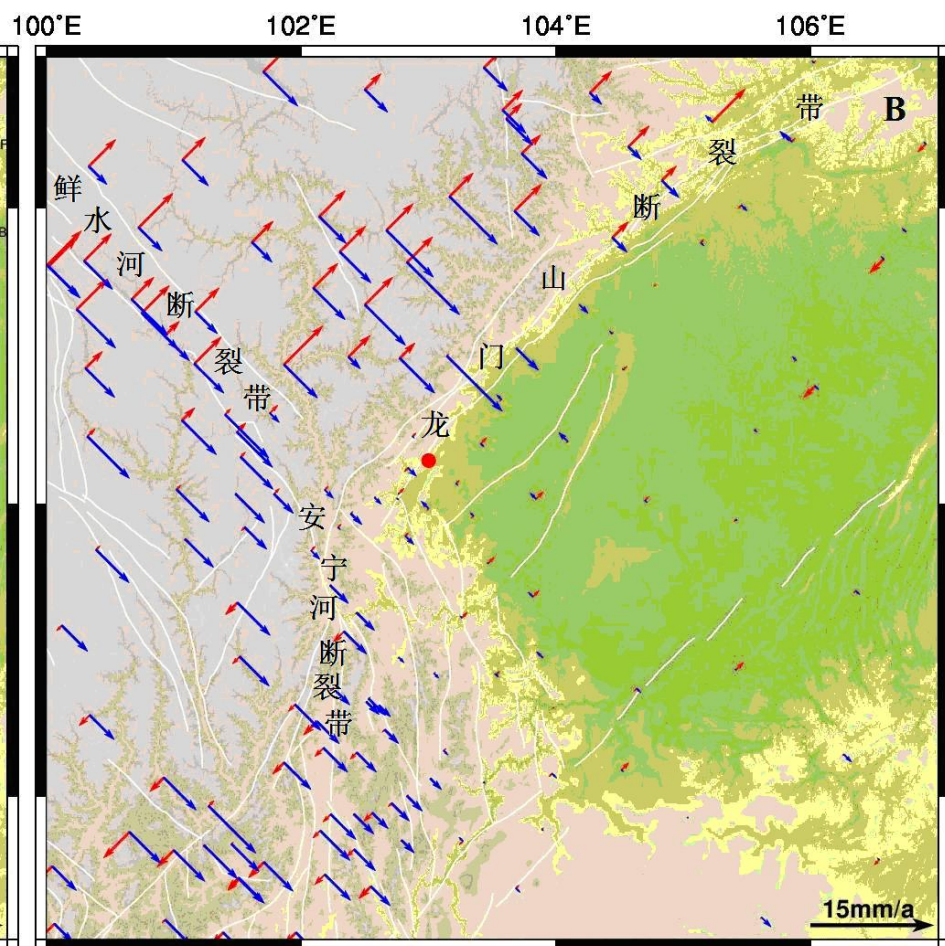
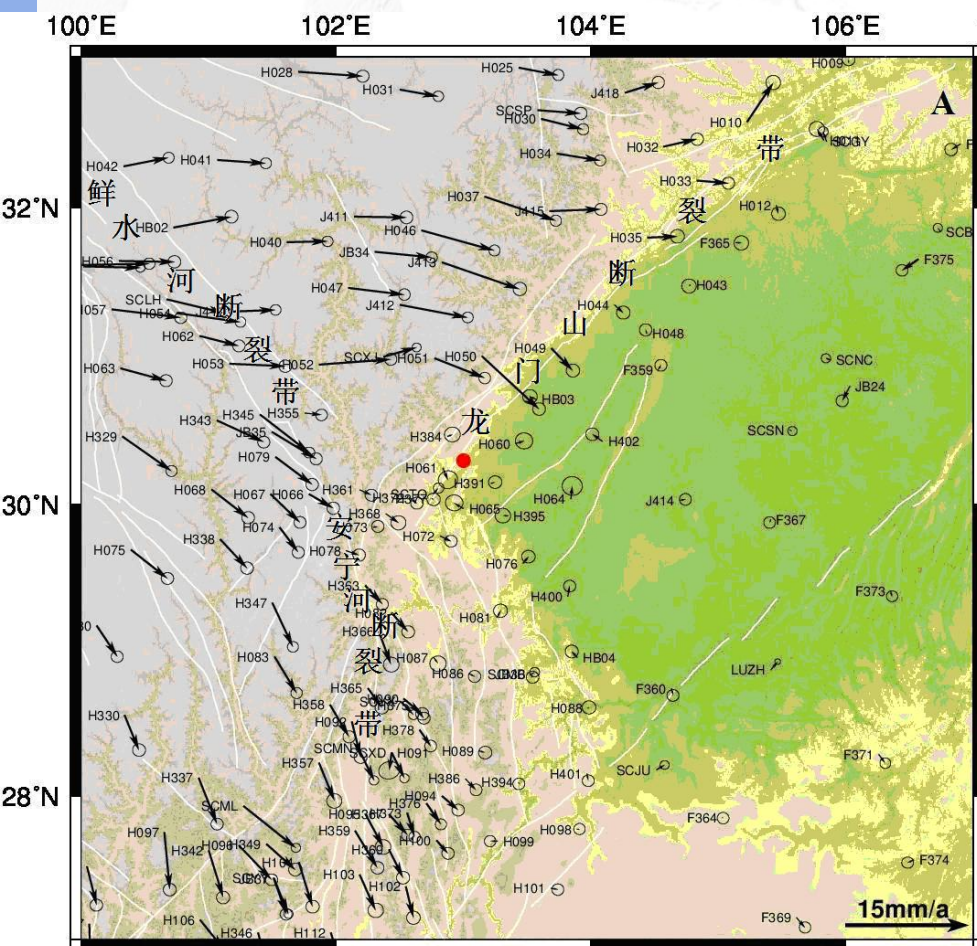
相對於四川盆地的運動場結果

平行、垂直龍門山斷裂分量

1999-2007年水準運動 (楊國華等, 2014)

汶川8.0震後與蘆山7.0地震前水準運動解析

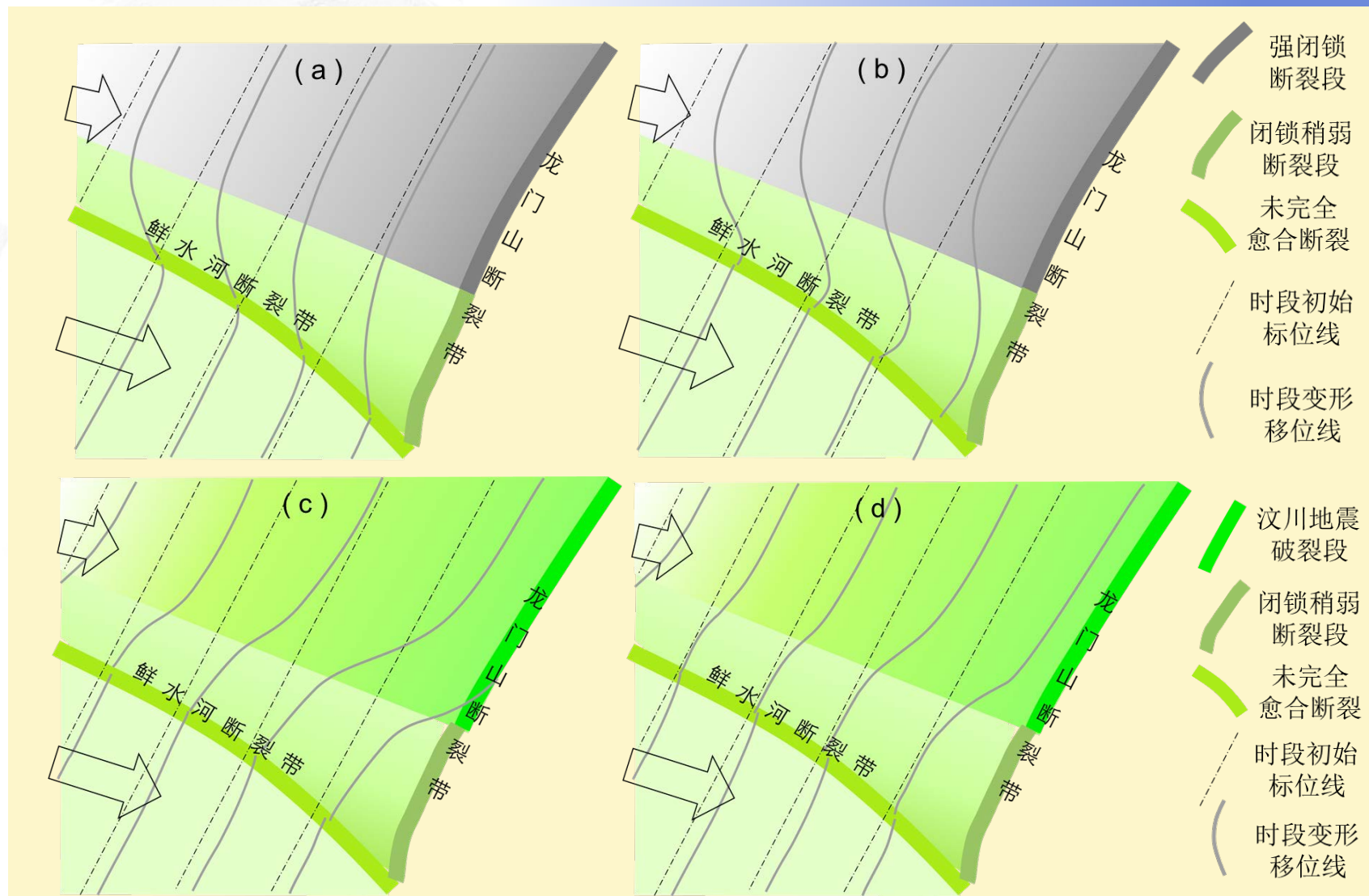
龍門山斷裂帶的南段（蘆山震源區及附近）仍然保持以前的閉鎖狀態，擠壓或走滑形變均無顯現



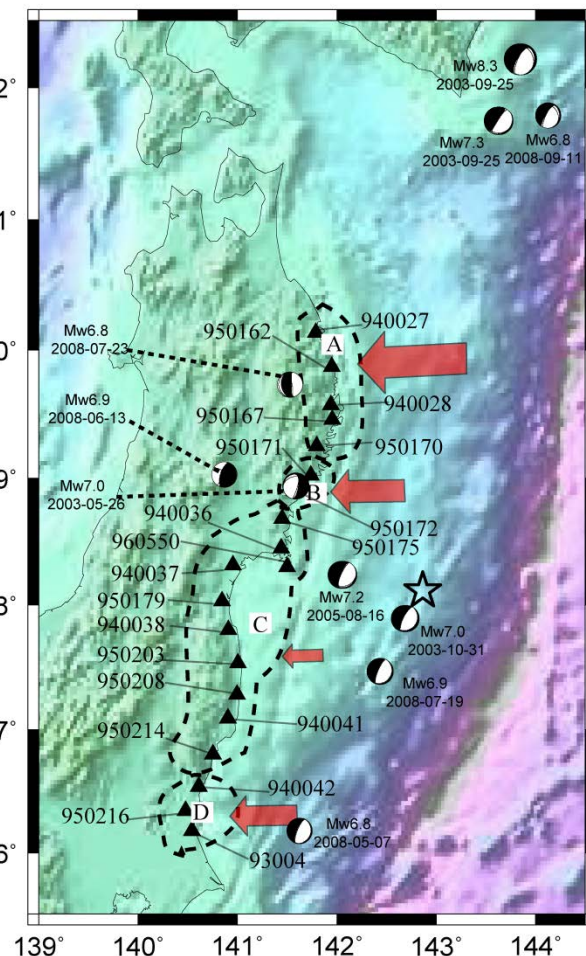
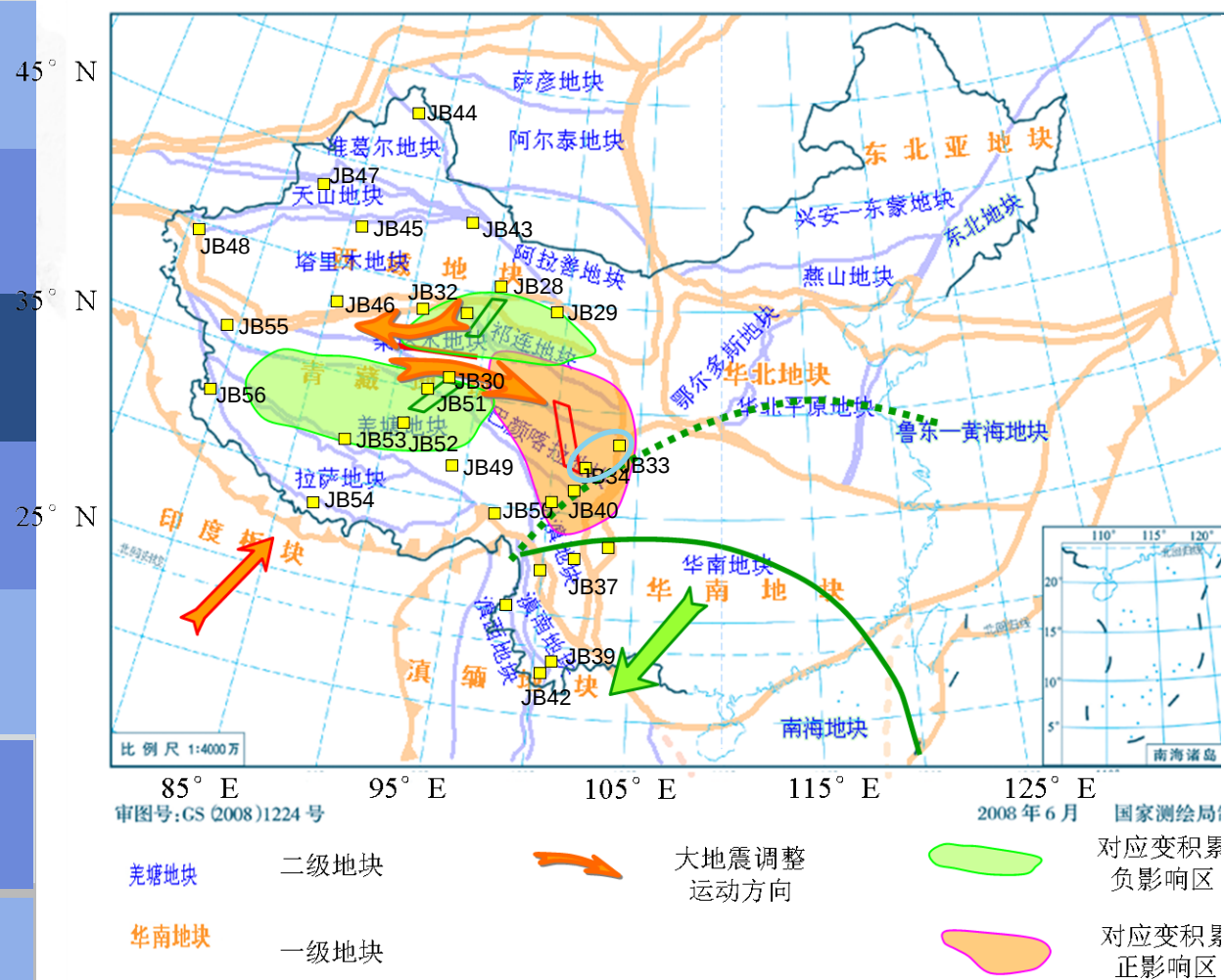
相對於四川盆地的運動場結果

平行、垂直龍門山斷裂分量

2009-2011年水準運動 (楊國華等, 2014)



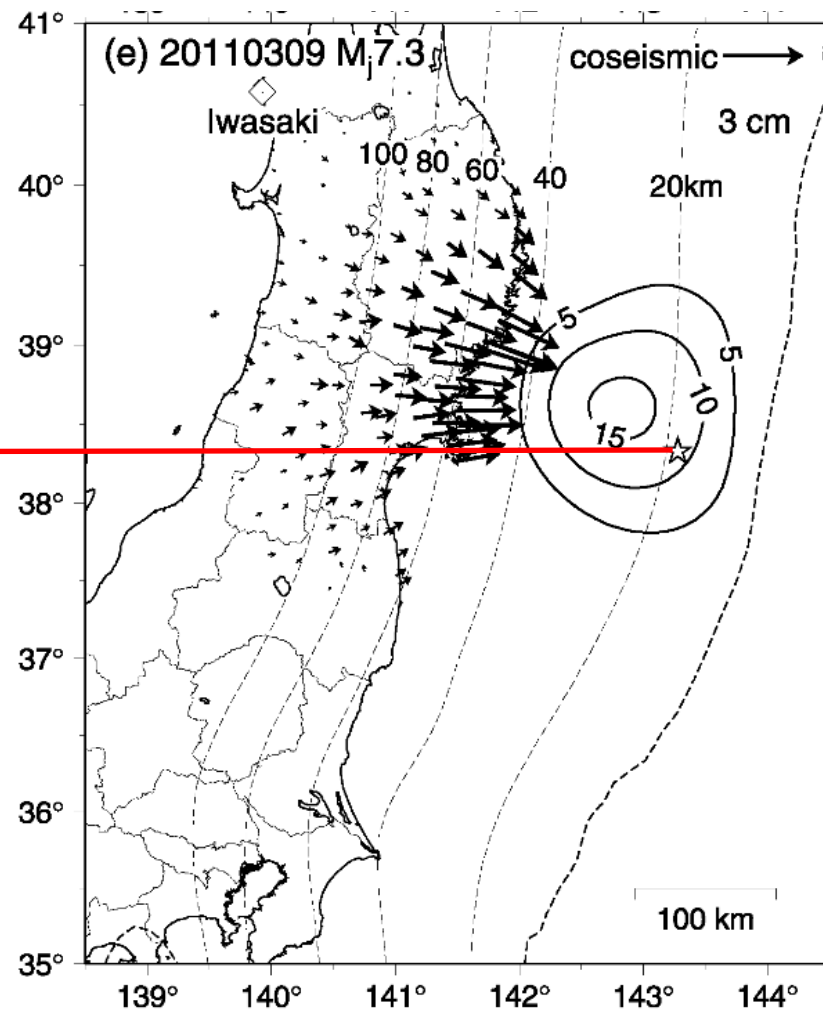
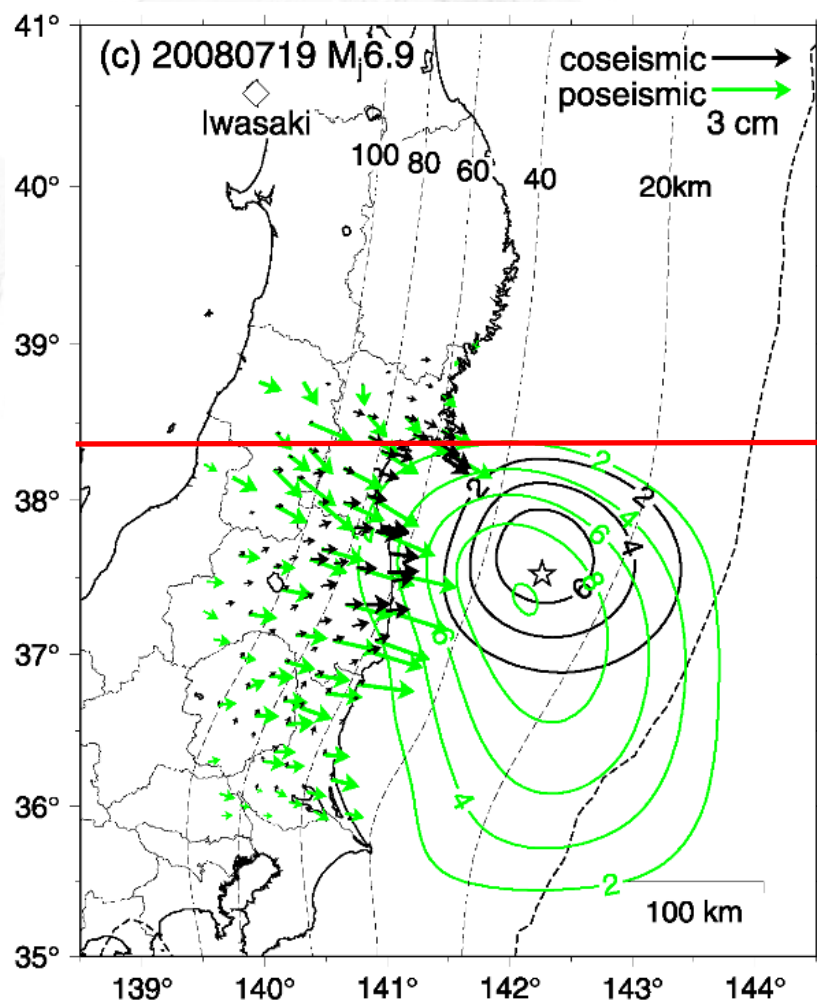
区域孕震形变场分析



昆仑山口西8.1级地震和苏门答腊9级地震影响分析

(江在森等, 2009, 地球物理学报)

(陈光齐、武艳强等, 2013)



日本显著地震同震和震后断层运动

(Suito et al., 2011, *EPS*)

进一步加强工作需考虑的问题

- **长期-超长期预测基础薄弱：潜源多-分布广-周期长**
- **大陆地震预测理论-模型？大陆地震与板缘地震差异大，目前很多模型都是高度简化的不适合于板内**
- **准确圈定孕震断层段-孕震体的有效观测约束不足，空间分辨-时间分辨-频域分辨不足**
- **边界动力→震源构造动力加载，多块体-深浅部耦合构造动力传递-扰动监视能力？发震断层加载-应力应变积累-释放时空动力动态过程控制影响因素，从源头到近场多时空尺度观测的精准性-深部探测能力的局限**
- **中长期危险区预测也需要跟踪动态资料！加强动态观测才可能把危险性逼近做得更好！**



谢谢大家!

