

中国地质调查局“特提斯-青藏高原科技长廊和主要成矿带构造背景综合地质调查”(DD20160022)

大陆构造与动力学国家重点实验室自主基金(Z1301-a3)

中国地质科学院基本科研业务费项目(YYWF201705)

国家自然科学基金(NSFC4127066)

联合资助

软沉积物变形构造

——地震与古地震记录

乔秀夫 李海兵 苏德辰 等著◆



地质出版社

中国地质调查局“特提斯-青藏高原科技长廊和主要成矿带构造背景综合地质调查”(DD20160022)

大陆构造与动力学国家重点实验室自主基金(Z1301-a3)

中国地质科学院基本科研业务费项目(YYWF201705)

国家自然科学基金(NSFC4127066)

联合资助

软沉积物变形构造

——地震与古地震记录

乔秀夫 李海兵 苏德辰

何碧竹 田洪水 郭宪璞 宋天锐

吕洪波 高林志 贺静 袁敦奇

周玮 张森 孙爱萍 王安东

著



地质出版社

· 北京 ·

内 容 摘 要

本书为中国地质科学院地质研究所古地震研究群体多年来工作、实践与研究的总结,系统介绍了地质学与地震学交叉的边缘学科、地震触发软沉积物变形构造——震积岩。本书主要以照片与图示为表现形式,展示野外实际的软沉积物变形地质记录,同时给予成因机制的解释与古构造环境讨论。

本书可供沉积学、地质学、构造地质学、地震地质学、土木工程地质学及其他地球科学研究人员及高等院校师生阅读参考;具有野外地质工具书的特点与高度的实用性,特别适宜地质学者野外地质调查使用。

本书也可为地震防震、减灾提供基础地质记录。

图书在版编目(CIP)数据

软沉积物变形构造:地震与古地震记录/乔秀夫等

著. —北京:地质出版社, 2017.9

ISBN 978-7-116-10562-1

I. ①软… II. ①乔… III. ①震积岩—研究 IV.

① P315.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 227197 号

RUANCHENJIWU BIANXING GOUZAO

责任编辑:祁向雷 田 野

责任校对:王洪强

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) 66554528 (邮购部); (010) 66554631 (编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

传 真:(010) 66554686

印 刷:北京地大彩印有限公司

开 本:889mm × 1194mm $\frac{1}{16}$

印 张:17.5

字 数:490千字

版 次:2017年9月北京第1版

印 次:2017年9月北京第1次印刷

定 价:128.00元

书 号:ISBN 978-7-116-10562-1

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

谨以此书献给

**野外地质调查的地质学家
与相关学科的科学家人**

自序

软沉积物变形构造是沉积学与变形构造地质学的交叉学科；由地震触发的软沉积物变形构造被称为震积岩 (Seismites), 是地质学与地震学的交叉学科, 是地质学的一个分支学科。软沉积物变形构造与震积岩是当前地学研究的热点之一。

地震作为一种地质作用在深刻解释一个地区的地球动力作用中有着特殊作用。现代地震频繁发生, 地质历史中同样存在频繁的地震活动。地层中的震积岩是重要的地质记录, 是认识与研究地史时期古地震的主要依据。震积岩调查在地质调查中应与其他地质记录的调查同步进行。遗憾的是在过去不同比例尺的国土地表区域地质调查中, 对古地震记录没有给予足够的重视, 大多数图幅均未涉及软沉积物变形构造与震积岩记录。究其原因是地质学家没有意识到地史中存在频繁的地震, 更重要的是不认识夹在地层中的古地震记录——震积岩。

本书作者多年来一直倡导与推进软沉积物变形构造与古地震的研究, 发表了一系列相关论文、专著和古地震论文集 (1 ~ 3), 组织了多次野外古地震的现场讨论。现在出版的《软沉积物变形构造》是本研究群体多年来研究成果的总结。本专著的主要特色是:

(1) 提出了一个地震触发软沉积物变形构造的分类系统, 为软沉积物变形构造与古地震的调查、研究提供了一个理论与实践平台。

(2) 书中所论述的软沉积物变形构造以照片与图为主要表现形式, 同时给予成因机制的解释。

(3) 讨论了当前国内软沉积物变形构造研究中的问题, 专门阐述了软沉积物变形构造与后期区域构造变形的区别, 给出了有关软沉积物变形野外工作方法的建议。

(4) “古地震与古构造”一章则体现了专著作者的研究思路, 即将古地震记录与区域构造相联系, 用另一种全新的思维解释区域的地球动力作用。

(5) 专著有系统理论, 更注重实际地质记录, 非常便于地质学家在野外对照书中内容识别露头中的软沉积物变形构造, 分析与确定震积岩。因此, 本专著有高度的实用性, 具有指南与地质工具书性质。

本书的出版，将为建立地质学的边缘分支学科提供基础地质资料，进一步推进国内软沉积物变形构造与震积岩的研究；更有助于地质工作者在野外识别古地震记录，促进地质调查中软沉积物变形的研究，从而提高地表地质调查深度与区域大陆构造动力作用的解释。

古地震带往往就是一个金属矿产成矿带，古地震断裂是油气运移聚集的重要通道。震积岩在地层中周期性出现，能帮助地震地质学家判定相应地区的地震长周期、确定与之相应的城市建筑抗震级别。我们期待《软沉积物变形构造》一书能够为地学领域及相关学科领域的科学家提供服务。

乔秀夫 李海兵 苏德辰

2017年6月

编写说明

《软沉积物变形构造——地震与古地震记录》一书是大陆构造与动力学国家重点实验室自主基金项目和中国地质调查局“特提斯-青藏高原科技长廊和主要成矿带构造背景综合地质调查”项目的部分总结，自2013年8月动笔编写，断断续续至2014年8月完成初稿。在研究编写过程中曾有多次专门针对软沉积物变形进行的野外现场考察与讨论。2015年8月重新改写，并增加了“软沉积物的地震震动模拟实验”、“古地震与古构造”两章（第9章，第10章）。

本书的科学内容是建立在作者群体研究基础上，并经相互讨论完成的。第1至第8章及第10章由乔秀夫、李海兵和苏德辰执笔；第9章中“灰泥的地震震动模拟试验”为田洪水英文论文（2016《地质学报》英文版）的中文译文简化稿；第11章由李海兵、乔秀夫执笔，第12章由李海兵、乔秀夫和苏德辰执笔；文字录入、图件绘制及编务工作由周玮、张森和孙爱萍负责；苏德辰负责全书统改、图件整饰、校对等后期出版的所有工作。

衷心欢迎读者与我们交流、讨论，提出批评与建议，以便再版时修正。

乔秀夫 李海兵 苏德辰

2016年10月于北京



李海兵 (Li Haibing) 乔秀夫 (Qiao Xiufu)

2006年摄于辽宁省大连市金石滩黄海海岸，背后为寒武系的萨布哈剖面，剖面中发育大量液化白云岩脉及各种软沉积物变形

1990 年以来，以乔秀夫和李海兵为主要成员的古地震研究群体经历了 26 年的努力，已逐渐将软沉积物变形构造研究从单一的沉积学发展为集沉积学、构造地质学、模拟试验、区域大地构造学和地震学为一体的地质学的分支学科，从形态几何学角度解释了地震诱发软沉积物变形，并从动力学过程角度结合模拟试验结果，阐述了不同类型软沉积物变形的成因机制。应用软沉积物变形构造界定构造块体的边界、断裂活动时代以及解释一系列区域地质事件，包括对油气聚集的新理解。这个研究群体倡导与发展起来的“软沉积物变形构造学”已被众多地质学家应用到深刻解释区域的地球动力作用；已成为目前大陆动力学研究不可缺少的内容。

目 录

自 序

编写说明

第 1 章 关于软沉积物变形构造与古地震 (图 1)	1
1.1 概念	1
1.2 历史	1
1.3 地震触发因素	3
1.4 两种机制	4
1.5 当前问题	4
1.6 地球观	5
第 2 章 地震触发软沉积物变形类型 (图 2)	6
第 3 章 软沉积物液化流动变形	9
3.1 软沉积物发生液化的条件	9
3.2 软沉积物的液化流动形式 (图 3)	9
3.2.1 沙层沿地表流动	9
3.2.2 沙层在软沉积物内部液化流动	11
3.3 碟状构造 (Dish) (图 4)	11
3.4 液化脉 (Liquefied vein) (图 5)	12
3.4.1 砂岩脉	13
3.4.2 碳酸盐岩脉	18
3.4.3 微 (泥) 晶脉 (Micrite vein)	22
3.5 液化角砾岩 (Liquefied breccia) (图 6)	28
3.6 液化水压 (Hydraulic structure) (图 7)	39
3.7 液化底辟 (Liquefied diapir) (图 8)	40
3.8 枕状构造 (Pillow structure) (图 9)	50
3.9 滴状体 (Droplet) 与液化柱 (Pillar) (图 10)	53
3.10 液化混插 (Plunged sediment mixture) (图 11)	57

3.11	液化卷曲 (Liquefied convolute) 与混滑层 (Mixed layer) (图 12)	57
3.12	液化均一层 (Homogeneous layer) 与液化不整合 (Liquefied unconformity) (图 13)	64
3.13	液化溢出丘 (沙丘、砾石丘)、沙火山 (Liquefied mound, Sand volcano) (图 14)	65
3.13.1	现代液化丘及沙火山——四川汶川地震 (2008.5.12)	66
3.13.2	1500Ma 碳酸盐沙火山与液化丘	68
3.13.3	早白垩世砂岩中的沙火山	75
3.13.4	灰泥火山	75
3.13.5	微型灰泥火山 (挤牙膏式)	76
3.14	瓦斯逃逸构造 (Gas-discharge structure) (图 14)	77
第 4 章	软沉积物触变流动变形	81
4.1	触变楔 (Thixotropic wedge) (图 15B、C)	82
4.2	触变底辟 (Thixotropic diapir) (图 16)	84
4.3	触变脉 (Thixotropic vein) 与触变角砾岩 (Thixotropic breccia) (图 17)	86
4.4	触变柱 (Thixotropic pillar) (图 17F)	90
4.5	触变混插 (Thixotropic plunged sediment mixtures) (图 17G)	91
第 5 章	重力作用变形	92
5.1	负载、球-枕构造、枕状层 (Load, ball-and-pillow, pillow beds) (图 18 ~ 图 20)	93
5.2	挤入构造 (Injection structure) (图 21)	114
5.3	火山落石-沉积物变形 (图 22)	116
5.4	沉陷构造 (Depression) (图 23)	116
第 6 章	水塑性变形	119
6.1	波状起伏变形 (Undulate deformation) (图 25)	120
6.2	褶皱变形 (Fold) 与膨胀构造 (Expansion) (图 26)	122
6.3	丘-槽 (Mound and Sag) (图 27)	125
6.4	卷曲变形 (Convolute) (图 28)	126
6.5	紧闭褶皱与板刺 (Appressed fold and plate-spine breccia) (图 29)	128
6.6	挤压皱纹 (Compression wrinkle) 与挤压岩枕 (Compression sand pillow) (图 30)	135
6.7	软布丁与布丁砾岩 (图 31)	136
6.8	环形层 (Loop bedding) (图 32)	137
6.9	帐篷构造 (Tepee) 与挤压-拉伸构造 (图 33)	139
6.10	滑动褶皱变形 (图 34)	140
第 7 章	脆性变形	161
7.1	震裂角砾岩 (Seismically fragmented breccia) (图 35)	161

7.2	粒序断层 (Fault-graded) 与层内断层 (图 36)	162
7.3	地裂缝 (Ground fissure) (图 37)	163
7.4	同震节理与枕状层 (Pillow beds) (图 38)	166
7.5	水成岩墙 (Neptunian dike) (图 39, 图 40)	169
7.6	地震楔 (Seismic wedge) (图 41)	175
第 8 章	软沉积物的复合变形与供讨论的变形	176
8.1	复合变形 (Multilayer complex) (图 42)	176
8.2	供讨论的变形 (图 43)	180
第 9 章	软沉积物的地震震动模拟实验 (图 44)	186
9.1	概述	186
9.2	碳酸盐粉沙、灰泥的地震震动模拟试验	186
9.2.1	模拟地震试验结果	188
9.2.2	超孔隙水压力比及其变化 (图 44E, F)	191
9.2.3	讨论	192
9.2.4	地层中实例	194
第 10 章	古地震与古构造 (图 45)	195
10.1	古地震与断裂走滑	195
10.2	断裂活动史 (以龙门山为例——青藏高原东部边界断裂)	196
10.3	阿尔金断裂—海原断裂与古地震 (青藏高原北部边界断裂)	197
10.4	指示古构造斜坡	198
10.5	灰岩墙的地震裂解古构造环境	198
10.6	古地震带及古地震带图	201
10.7	古地震活动周期性	203
第 11 章	软沉积物变形构造与区域构造变形的区别 (图 46 ~ 图 80)	208
11.1	引言	208
11.2	软沉积物变形的定义	209
11.3	软沉积物变形的产生	209
11.4	软沉积物变形构造的识别	210
11.4.1	沉积层褶皱形态	210
11.4.2	液化的沙层—泥层几何学特征	213
11.4.3	砂岩脉与“假液化脉”“假岩墙”	218
11.4.4	软沉积物滑动褶皱变形构造	227
11.5	如何区别软沉积物变形与区域构造变形?	232

11.5.1	软沉积层的褶皱构造与固结岩石的褶皱构造	233
11.5.2	砂岩脉与构造变形拉断的砂岩层 (假砂岩脉).....	236
11.5.3	软沉积层滑动构造与区域构造作用下的层间构造变形	236
11.5.4	软布丁、环形层与构造布丁	242
11.6	结论	243
11.6.1	宏观地质记录	243
11.6.2	变形构造的几何形态	244
第 12 章	软沉积物变形构造野外工作方法 (图 81~ 图 88)	245
12.1	概述	245
12.2	褶皱几何形态测量	246
12.2.1	褶皱枢纽测量	246
12.2.2	褶皱轴面测量	247
12.3	古地震震级的确定	248
参考文献		252

Contents

1. Soft sediment deformation structures (SSDS) and the ancient earthquakes (Diagram 1)	1
2. Classifications of SSDS triggered by earthquakes (Diagram 2)	6
3. Liquefied SSDS (Diagram 3 ~ Diagram 14)	9
4. Thixotropic deformation (Diagram 15~Diagram 17)	81
5. Gravity induced deformation (Diagram 18~Diagram 23)	92
6. Hydroplastic deformation (Compressional, extensional and shear deformations) (Diagram 24 ~ Diagram 34)	119
7. Brittle deformation (Diagram 35~Diagram 41)	161
8. Multilayer complex SSDS (Diagram 42) and a special deformation for discussion (Diagram 43)	176
9. Earthquake and vibration simulation test for manual SSDS (Diagram 44)	186
10. Ancient earthquake and ancient tectonics (Diagram 45)	195
11. The difference between SSDS and normal regional structural deformation (Diagram 46-Diagram80)	208
12. Working methods for the study of SSDS in the field (Diagram 81-Diagram 88)	245

第1章 关于软沉积物变形构造与古地震（图1）

1.1 概念

软沉积物变形构造（Soft sediment deformation structure，简称 SSDS）指地表沉积层序顶部未固结沉积物的变形构造，是一种同沉积或准同沉积的变形，其宏观特征是夹于未变形层之间厚度不大（一般为厘米级）的变形层。各种地质营力均能触发软沉积层发生变形，但地震触发的软沉积物变形构造在地层中最为广布，是古地震研究的主要内容（图 1A）。

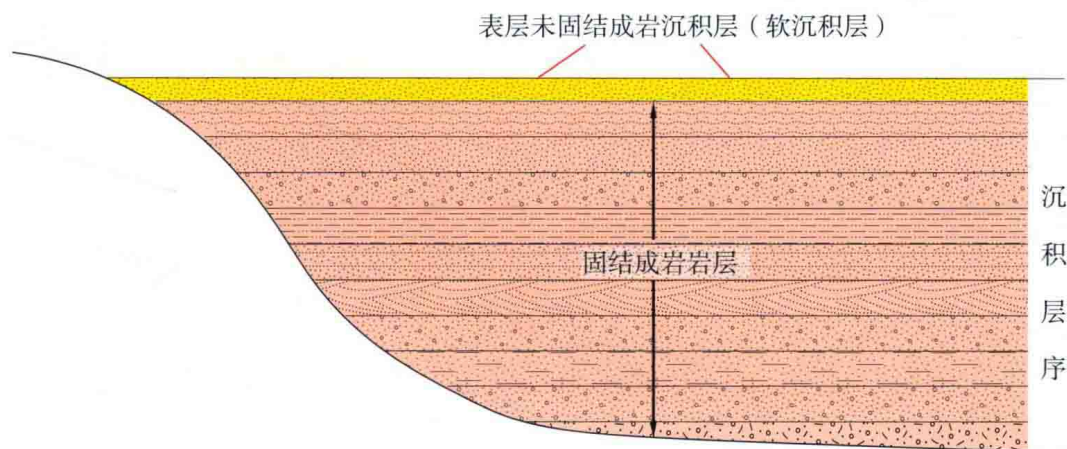


图 1A 软沉积物的位置

地表沉积层序顶部尚未固结成岩的沉积物（图中黄色层），地震或其它地质营力触发其变形产生的构造被称为SSDS

地震是一个突发灾变事件，是地球释放能量、调整自身结构的表现。人类无法阻止地震的发生，目前尚无法准确预报临震地震的发生，但根据古地震记录可以分析一个地震多发区的地震活动长周期。现代强地震会改变一个地区的自然地理地貌并触发软沉积物变形。

地层学与沉积学中的古地震指地质历史时期的地震记录，比我国地震学家所指的古地震（晚更新世以来）时间跨度大，从有文字记录发生的历史地震直至地球历史的早期。本书提供的地震记录最早的时期为中元古代早期（距今 18 亿年），也包括现代地震事件的软沉积物变形。古地震形成的古地貌已无法保存，但古地震可诱发当时位于沉积层序顶部未固结或半固结成岩的软沉积物变形，使之转变为具变形构造的新的沉积层，即震积岩（Seismites）。如图 1B-a 剖面为典型的 SSDS 层，位于冀中平原雄县地区（图 1B-b），时代为全新世中期，冀中全新统（ Q_4 ）平均厚 17 ~ 65m，以洪泛平原层为主；25 ~ 30cm 厚的变形富水沙层为当时全新统顶部的软沉积层的变形。图 1B 给出全新统下伏的隐伏断裂，它们呈 NE 走向与太行山东麓山前断裂平行分布（图 1Bb），在全新世均为活动断裂。由雄县隐伏断裂活动诱发地震，造成雄县地区全新统沉积层序顶部沙层发生变形，这种 SSDS（图 1B-a）即本书所定义的震积岩。

1.2 历史

夹于上覆及下伏正常沉积岩中的软沉积物变形层曾长期困惑着地质学家，在试图解释其成因时，沉积学家往往用均变思维去解释，习惯用滑塌、包卷层理等笼统术语概括；某些构造地质学家则将其视为后期构造变动或层间牵引滑动变形解释；地层学家对非本学科内容多半置之不理，仅作形态描述或当作标志层。近 30 年来这种层间的软沉积物变形才逐步被人们认识并多数解释为地震成因。

近 20 年来，我国在全国范围内开展的地质大调查，曾注意到地震触发的软沉积物变形，但描述简单、不作形成机制讨论，在总结一个地区构造运动时，相应讨论岩浆作用、变质作用等，唯独没

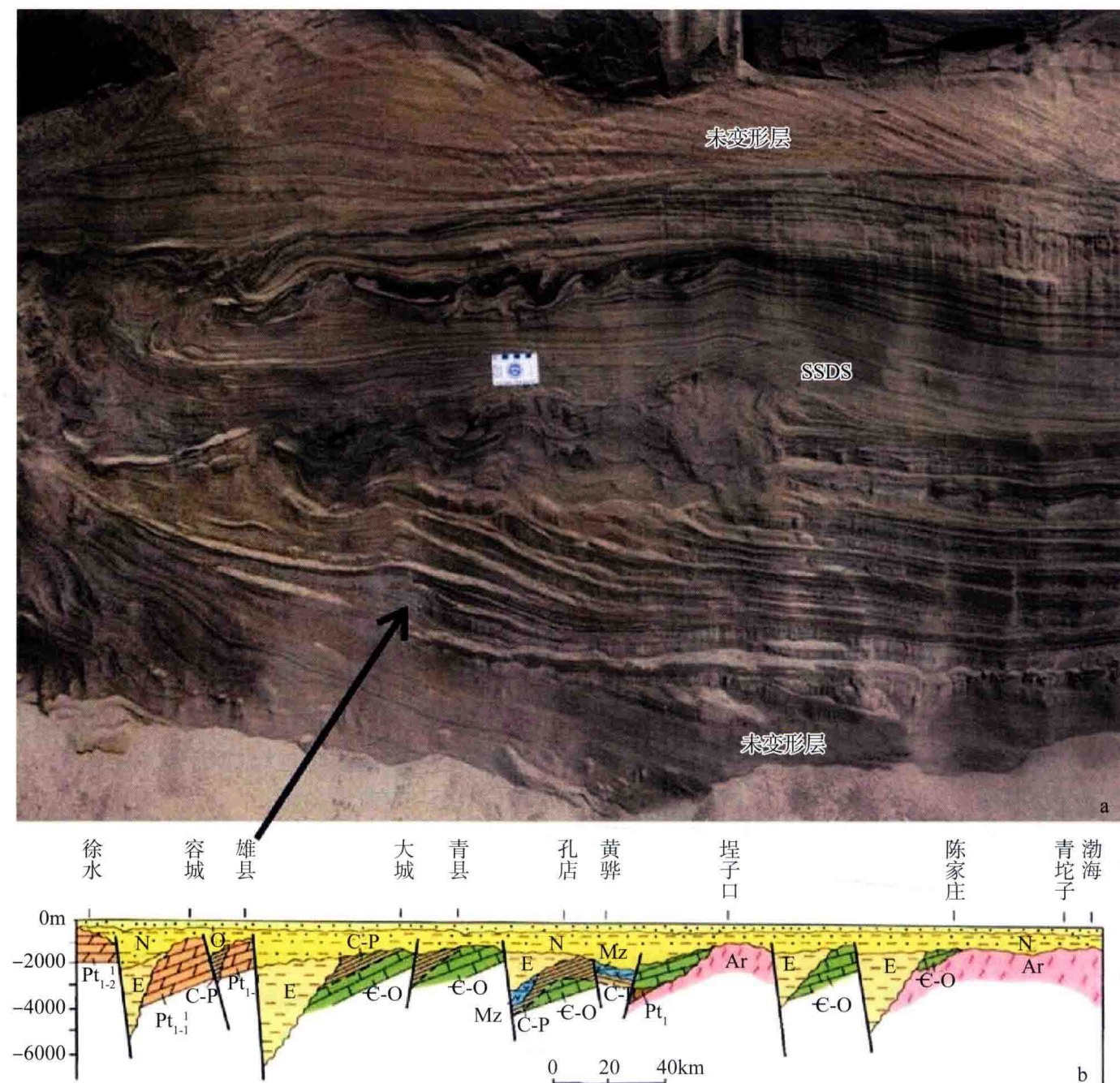


图 1B 震积岩剖面——地震触发软沉积物变形构造，河北雄县，全新世（王永摄，2016）

a—软沉积物变形构造（SSDS）剖面（河北省雄县），位于冀中洪泛平原沉积层序顶部富水粉沙层的软沉积物变形构造，距今约 6000 年；b—诱发 SSDS 的发展断裂；全新世地层下伏一系列 NE 向隐伏断裂，雄县断裂为地震断裂（图 b，据许绍忠等，2002）

有地震作用, 似乎在地质历史时期发生地壳运动时从未有过地震伴生。实际上, 地史时期构造运动与现代构造运动往往都伴生有地震。地震是构造运动的瞬间表现, 大多数的构造运动包括造山运动均伴随频繁的地震。

作者近十几年在中朝板块内部的太行山—北京西山—燕山、吕梁山、郯庐断裂带及两侧, 中朝板块的北部与南部大陆边缘, 苏鲁造山带, 扬子板块, 塔里木盆地及周缘地区, 鄂尔多斯盆地及周缘地区, 昆仑山, 青藏高原东缘龙门山地区、北缘祁连山地区的软沉积物变形与区域地质研究中, 认识到古地震与油气有着密切关系, 一些高产油井均分布于不同时代的地震断裂带上(乔秀夫等, 2011; 乔秀夫和郭宪璞, 2011; 何碧竹等, 2010; 田景春等, 2012); 认识到古地震在解释一个地区的构造演化时有着独特的作用(Qiao et al., 2000, 2002, 2007, 2013; 乔秀夫等, 2006, 2008a, 2012, 2016; 乔秀夫, 2002; 龚正等, 2013; 苏德辰等, 2011)。例如在龙门山的前陆盆地中, 从中三叠世起, 在侏罗纪、白垩纪、古近纪、全新世的地层中保存有十分精彩的软沉积物变形, 它们无疑是龙门山断裂带(汶川—茂县断裂、北川—映秀断裂、安县—灌县断裂)在不同地质时期活动诱发地震形成的软沉积物变形。根据不同时期地层中软沉积物变形可以确定龙门山三个断裂系统的活动时间, 合理地解释龙门山的构造演化, 深刻解释龙门山与其前陆盆地的地球动力作用(乔秀夫等, 2012, 2016)。地震诱发软沉积物变形构造可为区域地层对比提供精确的等时对比依据(Qiao and Gao, 1996; 乔秀夫等 1996a, 2001b)。在区域地质调查填图中, 实际早已将震积岩作为区域地层对比的标志层。2010年12月中国地质调查局在海南省海口市召开的青藏高原研究项目学术会议上, 本书作者介绍了龙门山三叠系须家河组一段地震成因的液化角砾岩特征及其区域构造意义, 引起在场的从事区域地质调查的野外地质学家的兴趣。他们在许多地层中均观察到这种角砾岩, 困惑其成因, 笼统称为假砾岩。我们深深感到, 许多地质学家不认识这些变形构造, 但一经介绍立即接受。地质学作为一个解释性的科学, 一些地质记录一经指点与说明即变为常识。多年来我们一直希望能编写一个与地震相关的软沉积物变形专著, 将近年来积累的研究资料介绍与贡献给广大地质学家, 以利于野外地质调查时参考, 但苦于得不到经费支持难以实现。恰好2009年中国石油大学(北京)计划重新改写与出版《中国沉积学》一书, 应主编冯增昭教授邀请, 本书作者乔秀夫、李海兵为《中国沉积学》第二版增写一章《震积岩》, 得以实现多年宿愿。2009年编写完毕, 至2013年第三季度正式出版已有6年, 在这6年多时间内有关软沉积物变形又积累相当多的新材料、又有许多新的认识与领悟, 已有条件对地震触发软沉积物变形作初步系统总结, 需在《震积岩》一书基础上创作一部新的古地震变形专著, 并对过去某些软沉积物变形重新解释与作出自我修正。

本书主要以图的形式给读者提供一个认识古地震触发软沉积物变形的平台, 能为读者提供进一步认识与解释相关变形构造的基础; 更多的目的是为读者提供一个研究思路。

1.3 地震触发因素

作者强调的是, 软沉积物变形构造的诱发因素很多, 除地震触发外, 其他的地质作用也可诱发软沉积物变形。判别震积岩(地震触发的软沉积物变形构造)的标准曾有众多讨论(Seilacher, 1984; Van Loon and Brodzikowski, 1987; Obermeier, 1996; Ettensohn et al., 2002; Montenat et al., 2007; 乔秀夫和李海兵, 2008, 2009, 2013; Owen et al., 2011; Moretti and Van Loon, 2014; He and Qiao, 2015), 并且有着如下共识。

1) 一般讲, 多数与古断裂活动相联系, 沿一个大区域成带状分布, 即空间上有相当规模的展布, 它一定处于一个当时构造活动的盆地中。

2) 从时间上讲, 古地震触发的软沉积物变形在地层柱中是多次重复出现的, 即在正常的未变形层中夹有多层的变形层, 反映古地震是有周期性的。

3) 复合型的软沉积物变形, 指多种类型的变形在一起的组合多为地震触发。

4) 变形构造层不协调地位于未变形层之间; 但二者的岩石及沉积环境则具相似特征。

5) 现实主义原则: 可与现代地震触发的软沉积物变形构造对比。

6) 科学的排除法在确定地震触发软沉积物变形时不失为一种可行的思路。

7) 主要是 $M_s \geq 5$ 在地层中方能保存下来。

我们不赞成用均变思维解释那些在地层中与正常相序不协调出现的变形层; 我们也反对对软沉积物变形的泛地震解释。应当具体分析软沉积物变形本身的特征、组合、与上下岩层的关系, 空间、时间分布, 分析与区域构造背景的联系, 特别是与断裂构造的关系。

由于大量文献对各种软沉积物变形机制均有讨论, 地震触发与区域构造背景在相关文献与专著中均有详细论述。因此本书中对相关变形多数只作简要的形成机制与地震触发讨论, 重点在于介绍软沉积物变形本身的特征与野外鉴别标志, 书中所介绍的软沉积物变形经研究均系地震触发, 并全部取自作者等的研究成果与部分国内文献。

本书专门编写了软沉积物变形的研究、测量方法的建议, 即引用变形构造的解析方法研究软沉积物变形; 并侧重指出各种测量方法的研究目的。这一部分更多的是作者的研究实践与体会。

我们期待本书能发挥类似标准化石图册的作用, 有助于地质学家去辨认已知的地震触发软沉积物变形类型, 并有助于去发现与解释那些隐藏在地层中的新的变形构造; 我们期待更多地质学家运用古地震去解释你所研究地区的地球动力作用; 解释古构造的演化与发展。

当然我们也希望本书对相关学科领域的科学家能有所帮助, 如土木工程学家对地表和地基岩土层破坏的类型和机理的认识; 为地震地质学家划分地震活动带提供地史时期的地震记录; 为相关频发地震区城市建筑物抗震级别提供地史背景材料。

1.4 两种机制

在讨论软沉积物变形构造时, 有两个基本概念应有区别, 即触发机制 (Triggering mechanism) 与形成机制 (Deformation mechanism)。触发机制是指触发软沉积物变形的动力; 而形成机制则指软沉积物变形构造形成的系统过程; 讨论 SSDS 时不能用形成机制代替触发机制。如大型负载, 球-枕与枕状层序列, 形成机制是由于重力作用 (沉积负载) 系统失去平衡, 沉积物反密度差导致的产物; 失去平衡的动力则是地震震动, 即触发机制; 沉积负载不是触发机制。例如, 贵州松桃震旦系大塘坡组软沉积物变形由天然气泄漏引起 (周琦等, 2007), 这是形成机制; 大塘坡组沉积时期海平面强烈下降, 导致沉积层静水压力降低, 温度升高, 使得水合物转化为气态泄漏; 海平面变化应为触发因素。大塘坡组软沉积物变形本身并不能直接判定它的触发因素。笔者认为, 黔东南位于扬子板块与华南板块交汇地带, 一系列密集的 NE 方向震旦纪同沉积断裂活动也极有可能是诱发大塘坡组水合物气化的触发机制。

有相当多学者将滑动作为软沉积物变形的触发机制。缓坡条件下的滑动可以促使软沉积物褶皱变形, 重力滑动是典型的形成机制, 而促使缓坡上软沉积物滑动的动力是触发机制, 如地震震动触发等。陨石冲击, 火山活动, 海啸 (即津浪) 被认为系 SSDS 的触发因素, 实际它们均伴生强地震而触发软沉积物变形, 触发因素实际是地震。Shanmugan(2016) 在论述多成因触发因素促使软沉积物变形时, 也承认上述触发因素均伴生地震震动。