

能动构造及其 时间标度

李愿军 著

能动构造(Capable tectonics)是一种创新理论。本书着重研究了能动构造的科学和工程意义,提出了适合我国地震构造条件的时间标度,并对商用核反应堆选址中的构造能动性评价进行了探索。



武汉大学学术丛书
WUHAN UNIVERSITY ACADEMIC LIBRARY

▶ 全国优秀出版社 ▶ 武汉大学出版社



武汉大学学术丛书

能动构造及其时间标度

Capable Tectonics and Its Time Yardstick

李愿军 著

武汉大学出版社



图书在版编目(CIP)数据

能动构造及其时间标度/李愿军著. —武汉: 武汉大学出版社,
2005. 1

(武汉大学学术丛书)

ISBN 7-307-04166-9

I. 能… II. 李… III. ①核电站—选址—研究—中国 ②反
应堆厂址—地震危险区划—研究—中国 IV. TM623. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 024373 号

责任编辑: 瞿扬清 责任校对: 鄢春梅 版式设计: 支 笛

出版发行: 武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: wdp4@whu.edu.cn 网址: www.wdp.whu.edu.cn)

印刷: 武汉中远印务有限公司

开本: 850×1168 1/32 印张: 5.625 字数: 140 千字 插页: 3

版次: 2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 7-307-04166-9/TM · 10 定价: 15.00 元

版权所有, 不得翻印; 凡购买我社的图书, 如有缺页、倒页、脱页等质量问题,
请与当地图书销售部门联系调换。

内 容 提 要

在对能动断层研究的基础上,提出了能动构造学的新概念。建立了能动构造识别的地层学原则,地震学原则,断代学原则和几何学原则。详细论证了“晚更新世 Q_3 (距今约 10 万年) 以来”所包含的构造意义,最后对具体核工程厂址区断层的能动性评价提出了自己的观点。

能动构造的时间标度具有特殊性意义。世界海平面和海滨线近 10 万年来的变化,包含着全球性海底扩张、板块运动的构造意义。我国晚更新世以来青藏高原的快速隆起,推动喜马拉雅运动进入了一个全新的构造期。东部拗陷加剧,火山活动趋于平静,马兰黄土大面积快速堆积,边界性构造差异运动速率加快,大规模的海侵和渤海湾的形成,长江、黄河的相继贯通,表明我国现代构造地貌进入成熟期。此次构造运动持续至今并将继续影响到未来,因此,运用大约 10 万年以来的地质记录描述实际的构造过程,是评价断层能动性的最好基础。

ABSTRACT

Based on capable fault studies this article presents a new concept, capable tectonics and sets up determining the principles of capable tectonics through strata overlying the fault, seismicity, dating and the structural relationship. In greater detail to demonstrate "since late pleistocene Q_3 (about 100 000 years)" contains some tectonic senses. At last, the author argued the capability of the faults located at the specific nuclear engineering sites.

The time yardstick of capable tectonics has a special significances. Since about 100 000 years, the changes of sea - level and marine sorelines in the world may have been affected by sea - floor spreading and plate movement. At the same time Qingzang plateau of Chain has entered a new period as rapid elevation. Down - warping of the East of China has accelerated development, volcanic activity is gradually tending to dormant, the Malan loess had deposited on the extensive areas. In the borders of different tectonic masses of the loess plateau, their differential movement rates have constantly enlarged. More over, this tectonic movement has brought out yet some coupling responds, such as the extensive sea - wate encroachment, Bohai Bay has been started development, Yangzi River and Yellow River were through from west to east in succession, which reveal that the current tectonic landforms of China entered a mature stage. This tectonic movement has gone on today, and in future will

be influenced by. Therefore, used the geologic records of the past 100 000 years to describe the actual tectonic process, their are the best base for assessing fault capability.



李愿军 湖北大悟人，1952年出生。北京大学地质地理系毕业，1993年国家地震局地质研究所获地震地质专业理学博士学位，1994年进入原武汉水利电力大学土木水利博士后流动站，现在武汉大学土木建筑工程学院从事教学和科研工作。曾经参加撰写出版专著5本，发表科研论文100余篇，获得过包括中国科学院、国家地震局、湖北省人民政府科技进步一、二等奖在内的各种奖项12项，是三峡工程大坝设计用地震基本烈度和地震动参数的主要完成人之一，提出的能动断层鉴别标志已被我国颁布的核安全法规所采用（HAF0101,1994）。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 核电与安全	1
第二节 设计基准地震动	3
第三节 能动断层问题	8
第二章 能动构造概述	12
第一节 引言	12
第二节 能动断层	13
第三节 能动构造源	17
第四节 能动构造学	17
第五节 小结	18
第三章 能动构造的识别原则	20
第一节 能动构造的地层原则	20
第二节 能动构造的地震原则	26
第三节 能动构造的断代原则	28
第四节 能动构造的几何原则	38
第五节 小结	40
第四章 能动构造的时间标度研究	43
第一节 能动构造的时间标度	43
第二节 我国近 10 万年来的构造运动	57

第三节	小结	69
第五章	能动构造评价的概率性方法	71
第一节	能动构造的两种评价方法	71
第二节	能动构造评价的概率性思路	72
第三节	能动构造概率方法的讨论	75
第六章	能动构造评价实例	76
第一节	东岗断层的能动性问题	76
第二节	高岭——凌角石断层的能动性	82
第三节	天津低温核供热站厂址断层的能动性评价	87
第四节	浙江三门核电站厂址的适宜性	98
第五节	小结	141
第七章	结论与讨论	143
第一节	结论	143
第二节	讨论	145
参考文献		146

CONTENTS

CHAPTER 1	INTRODUCTIONS	1
1.1	Nuclear Power and Safety	1
1.2	Design Basis Earthquake Motion	3
1.3	Capable Fault Issue	8
CHAPTER 2	GENERALS ON CAPABLE TECTONICS ...	12
2.1	Forewords	12
2.2	Capable Fault	13
2.3	Capable Tectonic Source	17
2.4	Capable Tectonics	17
2.5	Summary	18
CHAPTER 3	THE PRINCIPLES FOR DETERMINING CAPABLE TECTONICS	20
3.1	Stratigraphic Criteria	20
3.2	Seismic Criteria	26
3.3	Dating Criteria	28
3.4	Geometric Criteria	38
3.5	Summary	40
CHAPTER 4	STUDIES ON THE TIME YARDSTICK OF CAPABLE TECTONICS	43

4.1	The Time Yardstick of Capable Tectonics	43
4.2	The Tectonic Movement within the Past 100 000 Years in China	57
4.3	Summary	69
CHAPTER 5	A PROBABILITY PROCEDUER FOR EVALUATING CAPABLE TECTONICS	71
5.1	Two Ways of Capable Tectonics Assessment	71
5.2	The Train of Though of Capable Tectonics Assessment	72
5.3	Discussion for the Probability Proceduer	75
CHAPTER 6	THE CONCRETE PRACTICE FOR ASSESSING CAPABLE TECTONICS	76
6.1	The Assessment of the Capability for Donggang Fault	76
6.2	The Assessment of the Capability for Gaoling-Lingjiaoshi Fault	82
6.3	Capability Assessment of Surface Faulting for NDHR site at Tianjin	87
6.4	Assessment of the Suitability for Nuclear Power Station Site Sanmen County, Zhejiang Province	98
6.5	Summary	141
CHAPTER 7	CONCLUSIONS AND DISCUSSIONS	143

7.1	Conclusions	143
7.2	Discussions	145
REFERENCES		146

第一章 绪 论

第一节 核电与安全

社会的发展依赖于能源的开发和利用,能源是社会发展的基础,是社会文明与进步的动力。但是,当人类阔步迈向 21 世纪的时候,能源与环境问题却成为社会发展的主要制约因素之一。我国的经济建设已经走上了持续稳定发展的快车道,要保证经济发展的区域均衡与协调,能源的发展起着决定性的作用。

未来能源方式的选择,取决于其自身的能流密度,时间上的持续性,转换方式上的经济性以及输送中的便利性。在对比各种能源方式的优缺点后,核能被认为是可接受的最佳选择。核能,保持着世界工业界最佳的安全记录,是得到普遍承认的安全、清洁、经济的能源方式。李鹏曾指出:“我们有发展核电的需要,特别是在经济发达而能源短缺的沿海地区更是如此。我国搞核电站已经晚了,必须尽快赶上去。”

核动力反应堆的发展是以安全为其生长点的。没有可靠的安全保障,核能就不会有生命力。安全保障就像一层层防护网,一道道屏障,把放射性物质牢牢地封闭在“Pandora's Box”中,通过静谧而神奇的安全壳,悄然无声地向电网输送着强大的电力,推动着社会发展。

核电站的安全保障原则是“多重屏障,纵深设防”。为防止核反应堆中的放射性物质泄漏,安全保障共设有三道屏障:第一

道屏障——燃料包壳；第二道屏障——反应堆的压力壳；第三道屏障——安全壳。在紧急状态下还设有喷淋装置，在设计上具有良好的密封性能和较强的抗冲击能力。纵深防御的概念包含有三个措施，首先是提高核电站的设计和控制质量，以确保核电站的安全运行。其次，要有一套完整的保护系统，以保证在极低概率事故情况下实施安全停堆。再次，在极端事故（堆芯熔化）条件时保证安全壳的完整性，把放射性物质的外逸约束在允许的范围

内。

“多重屏障，纵深设防”的思想在本质上是以设计为主的安全屏障设防，客观上是一种被动的防患思想。为此，作者曾提出过广义的“多重屏障”和大“纵深设防”观点。广义“多重屏障”主要包括：环境屏障（包括地震、地质、气象、海啸等），工程屏障（包括设计、建造和质量保证）以及人因工程屏障^①。所谓大“纵深设防”，是在立足于原有安全保障思想的基础上，强调应在核反应堆运行寿期内加强“实时”（Real time）观测与监督，进行动态环境因子与运行状态的评价，也就是对时间因子的考虑。

广义的“多重屏障”把地震与地质条件作为第一道安全屏障。认为良好的地震地质环境是确保核安全的关键性外部条件。地震与地质问题的评价涉及到两个相互联系的要素：一个是设计基准地震动参数（以水平峰值加速度值为设计参照），一个是能动断层。这两个条件在核电厂厂址选择中的重要性，在由国家核安全局和国家地震局联合签发的安全导则《核电厂厂址选择中的地震问题》（HAF0101，1994年修订）中规定：“在核电厂厂址选择时，通过设计采取减轻地震的潜在振动影响的工程措施，通

^① 人因工程（Human factors engineering）。美国三哩岛核事故之后，加强了对核电运营人员素质的训练，并增加了人因工程审查要求。

常是可行的。但往往不能证明工程措施适用于减轻诸如地表断裂^①、地面沉降、地面塌陷或断层蠕变等永久性地面变形现象所产生的影响。由于这个理由，当在厂址上存在潜在永久性地面变形时，另选其他厂址可能是慎重的。”地表断裂在安全导则中被规定为断层的能动性。这就证明，能动断层在核电厂厂址合格性评价中的极端重要性。

第二节 设计基准地震动

设计基准地震动参数的确定和使用，通常是根据设备的重要性和分级设防目标，在设计中再行分解实施，以期达到安全可靠和经济合理的目的（表 1 和表 2）。美国核管理委员会（NRC）于 1984 年中期成立了一个“抗震设计安全裕度定量专题专家小组”，目的是制定抗震设计安全裕度领域的主要法规。抗震设计裕度的一般定义是用危害核电站安全的地震运动水平来表示的，特别是导致反应堆堆芯熔化的地震水平。安全裕度的测量方法是采用 HCLPF 负载量，这是个较保守的量，在这种地震水平下，大多数的堆部件不会发生损伤。HCLPF 负载量是指系统在地震动作用下发生故障的概率不超过 5% 的置信度，其参量可以从整套的脆裂曲线中得到。对核电厂整个风险事故的评估，美国曾提出过多种报告，如 1957 年 AEC 发表的 WASH-740 报告，1962 年提交的 TID-14844 文件，1975 年 NRC 的 WASH-1400 报告（Norman Rasmussen 报告），1985 年 NUREG-0956 报告以及 1989 年的 NUREG-1150 报告等。特别是 Rasmussen 报告，找到了几千种潜在的事故源，对其中的几百种事故，采用故障树和事件树相结合的方法，计算其风险概率并进行整体安全评价，这

^① 地表断裂的英译原文为 Surface faulting，与 Surface fault 在含义上是有区别的。

表 1 各国按设备重要性的分级

Tab.1 Gradings of Nuclear Facilities According to Its Importance

国别	重 要 性 分 类		与设计地震的组合		备 注
	分类	定 义	设计地震	电厂的状态	
日本	As	A 类在安全上特别重要的设备	S ₂ S ₁	维持安全 可能运行	
	A	安全上重要的设备 或跟高放射性物质 相关联的设备	S ₁	可能运行	
	B	跟放射性物质相 关联的设备	$\left(\frac{1}{2} S_1\right)$	可能运行	
	C	A、B 以外的设备	使用原有的标准		
美 国	I 类	反应堆相关的设备	SSE, SEB, SMS OBE, AEB, SMHV	维持安全 可能运行	
原联邦 德国 法 国	非安全类	上述设备以外的 设备	使用原有的标准		
加拿大	A、B*	反应堆相关的设备	DBE	A 类: 维持结 构的完整性	一 部 分 用 DBE/ SDE 两 者 进 行 研究
		一部分与反应堆 相 关 的 设 备 (ECCS 等)	SDE	B 类: 维持构 筑物的完整 性	
	其他	一般设备	使用原有的标准		
前苏联	I 类	主要与反应堆相 关的设备	MDE DE	维持安全 可能运行	
	Ⅱ类	其他与反应堆相 关的设备	DE	可能运行	
	Ⅲ类	一般设备	使用原有的标准		

续表

国别	重 要 性 分 类		与设计地震的组合		备 注
	分类	定 义	设计地震	电厂的状态	
IAEA 中国	I 类	主要与反应堆相关的设备	SL-2 SL-1	维持安全 可能运行	
	II 类	其他与反应堆相关的设备	SL-1	可能运行	
	其他	一般设备	使用原有的标准		

*：A、B皆属于与反应堆相关的设备，A类定义为必须确保压力边界或结构的完整性，而B类除此以外，还要求维持其功能。

表 2 各国设计基准地震和地震动水平

Tab.2 Design Basis Earthquakes and Earthquake Motion Levels

	设计基准地震		地震动 (gal)	备 注
	种 类	重现期(年)		
日本	最强地震(S_1)	1 000~10 000	180~450	关于重现期没有特别明确规定
	极限地震(S_2)	50 000(推定值)	270~600	
美国	运行基准地震(OBE)	100	50~375	SSE 的重现期：以前是 10 000 ~ 100 000 年，SSE 的最小值为 0.1g
	安全停堆地震(SSE)	1 000~2 000 (10 000 是例外)	100~750	
法国	历史最大地震(SMHV)	100~1 000	~100	用 MSK 烈度假设 SMS 比 SMHV 高 1 度，SMS 定义为假想地震
	安全设计地震(SMS)	100 000	~200	