

中国科学院地质研究所
工程地质力学开放研究实验室

活动断裂研究与工程评价

李兴唐 著



地质出版社

活动断裂研究与工程评价

李兴唐 著

地质出版社

内 容 提 要

本专著从工程地质和工程观点论述了活动断裂的调查、研究方法和工程评价原则以及工程对策。重点内容是断裂新活动年龄的测定采样以及年龄综合分析判定原则及方法；活动断裂工程评价原则和对策。专著还介绍了不同地质条件下活动断裂研究的工程实例。

本专著可供从事工程地质、工程勘测和设计、地震地质和环境地质工作的生产、科研工作者参考，也可作为有关专业大专院校的教学参考用书。

活动断裂研究与工程评价

李兴唐 著

责任编辑：高天平

地质出版社出版发行

（北京和平里）

地质出版社印刷厂印刷

（北京海淀区学院路29号）

新华书店总店科技发行所经销



开本：787×1092¹/₁₆ 印张：19.125 插页：2页 字数：442000

1991年8月北京第一版·1991年8月北京第一次印刷

印数：1—1210册 国内定价：10.90元

ISBN 7-116-00852-7/P·731

序

本书是继作者主编的《区域地壳稳定性研究理论与方法》出版之后的又一本重要专著。活动断裂是工程地质研究的重要课题之一,在工程的选址和设计中受到普遍重视,许多地质灾害溯其根源也往往与活动断裂有关。目前,关于活动断裂的研究方法和工程评价标准,国内外还没有一本系统全面的著作以供参考。作者通过多年的工程实践,对活动断裂有了深刻的认识,积累了丰富的工作经验和大量的实际资料。在此基础上又广泛吸取了国内外的新理论、新方法,搜集了有关的成果资料,写出了这本专著。这是一项可喜的成就,能适应广泛的需要。

活动断裂的涵义,国内外各家意见还有分歧。本书综合分析大量资料,提出了判定活动断裂的三项标准:活动年龄下限为 $(5-1.1) \times 10^4 a$;地震震级为 $M \geq 5$ 的断裂;断层活动速率 $s \geq 1mm/a$ 。这就使我们在确定一条断裂是否为活动断裂时有了一个固定的尺度。至于这一标准是否合适,还可通过更广泛的实践予以验证。作者还提出了工程活动断裂的概念,这就是指活动年龄下限为 $(5-1.1) \times 10^4 a$,在工程运用期间可能活动,影响工程安全的断裂。这对于重大工程安全的考虑具有实际意义。作者的这类创造性见解在书中还有不少,都是很宝贵的。

对于发震的活动断裂,本书给予了重点论述。由于震级高的地震均产生在深断裂上,因而断层切割深度意义极大。因此,在发震断裂分类中,首先采用张文佑教授的原则,按切割深度将断裂分为盖层、基底、地壳和岩石圈四类;然后结合发震能量制定了发震断裂的分类,并提出了鉴定发震断裂的地质、地球物理和历史地震标志。对发震断裂来说,其大震周期在工程评价中至为重要,书中对此有新认识。通过国内外大量资料分析,大震周期一般均在1500a以上,这比工程运用期(100a)大得多。这一认识有助于大地震震中地区工程建设的决策。

书中全面系统地介绍了活动断裂的研究方法,包括遥感影象解析、地貌学分析、地质学和地震学方法,以及断层新活动年龄测定的各种方法等。作者不单讲述了这些方法的原理和技术要点,而且还总结了实践经验,汇集了各种方法取得的数据和成果,为判定活动断裂提供了依据。

尤为宝贵的是,书中汇集了一些系统化的实际资料、表格和图件,以及作者在生产和科研的亲身实践中获得的经验体会以及参加工作过的工程实例。凡此,有助于启发思考、加深对理论实质的理解、掌握技术方法、增强了解研究现状、激发创造热情,实为读者的良师益友。

总之,本书资料丰富、内容新颖、概念明确、论述细致、体系严整、图文并茂、理论与实际紧密结合,是一本水平较高,理论意义和实践价值较大的专著。它对工程地质学科的发展和我国四化建设必将起到巨大的作用。

张咸恭

前 言

自新中国建立以来,能源、交通和矿山建设得到了迅速地发展,建设了一批大型水电站和火力发电厂,以及冶金、煤炭基地。近几年,正在兴建秦山核电站和大亚湾核电站。近10年来,沿海开发区和城镇建设突飞猛进地发展。这些工程建设的勘测、设计提出了地震、活动断裂对工程稳定影响的评价问题,也为开展本项研究奠定了基础。它们是本专著之源泉。从50年代起,我国水利水电工程地质勘测和其它重大工程勘测设计已开始了对活动断裂(当时称新构造)的研究和评价。限于当时科学水平和缺乏对年轻地质体年龄的测试手段,活动断裂研究和评价仅是定性的,缺乏定量标准。活动断裂研究和评价是工程地质勘测、科研工作的一部分,也是环境地质和灾害地质研究工作的重要问题。我国工程实践积累了丰富的经验,近十年来,活动断裂研究和评价已进入定量评价阶段。

自1966年以来,我国地壳活动性较本世纪前半期有所增强,地震活动频繁,地壳上升区的山崩、滑坡及地裂等灾害给人民生命、工程建设带来巨大损失。党和政府极端重视地质灾害和环境的研究。近两年来,在国家有关部门的领导和组织下,已开始制定抗震设计和各类工程地质勘测规范。这些规范都包括了地震、活动断裂标准和评价问题。在这种形势下,作者总结了本人的研究工作,吸收了国内外的研究经验和实例,完成了本专著。它的主要内容有三方面:(1)断裂新活动年龄的测试、采样与综合分析原则和方法;(2)断裂活动性工程评价标准与对策;(3)研究实例。

断裂新活动年龄是工程评价和对策的最重要标准,不正确的评价会给工程选址、设计带来重大的影响。80年代初,新的测试手段被应用于测定断层新活动年龄。1981年,在二滩水电站区域地壳稳定性研究中,作者倡导用热发光(TL)法测定了“昔格达层”和断层新活动年龄。1987年,作者将铀(U)系法和电子自旋共振(ESR)方法应用于长江三峡水利水电工程的活动断裂研究和评价中。它们都达到了预期的目的和良好的效果。作者实践后认为,由于各种测试手段的技术条件和本身的精度(误差率)及受样品地质条件的影响,不应简单地将所测出的年龄值,直接作为一条断层的新活动年龄。在本专著中,作者提出了采样要求、不同测试手段的对比较核,以及结合地质条件等原则对断层新活动年龄综合制定的原则和方法。

关于活动断裂年龄标准问题,国内外有关机构和专家的认识尚不一致。但是,从工程和工程地质观点出发,都趋向于将活动断裂年龄下限提高。作者从工程地质角度出发,提出了工程活动断裂的年龄标准。它来源于我国工程实践,通过总结实际资料,吸收国外研究成果,并加上作者的实践体会提出的。因此,本专著的断裂新活动年龄下限适合于我国各地区和各类工程。它与现今正在讨论或即将公布的工程地质勘察规范基本上是吻合的。专著中活动断裂的地震标准,则是以它们对工程稳定性影响为根据的,供在工程地质勘测中参考。

80年代以前的工程区,缺乏活动断裂年龄资料。因此,本专著的研究实例以作者实践为基础。除第五篇外,还有一些实例贯穿于有关章节中,例如二滩水电站、苏南核电站等

都是作者亲自研究过的工程。30余年来，在水利和电力部门有关单位的支持下，作者主要从事水利水电和核电工程地质研究。因此，研究实例以水电工程为主。在选择实例时，考虑了不同的地质构造和研究方法。在研究实例中，介绍了两个不同工程类型、不同问题的活动断裂研究和评价方法。

本专著是作者多年来有关活动断裂研究的工作总结。它也是中国科学院地质研究所工程地质力学开放研究实验室“重大工程区活动断裂评价”课题的成果。

本专著初稿完成后，张咸恭教授和彭一民教授进行了审阅，并提出了宝贵意见。张咸恭教授为本书作了序，作者在此表示衷心的感谢。

在本项研究中，水利部长江流域办公室勘测总队和三峡区勘测大队，能源部成都勘测设计院和西北勘测设计院，水利部黄河水利委员会规划勘测设计院和北京市勘察院、机械委西安勘察院等有关单位，在野外调查、提供资料方面给予了大力支持和协作。对此，作者一并表示感谢。

专著的图件由沈晓东工程师、陈爱华工程师和赵芹工程师清绘，特此致谢。

作 者

目 录

序 前言

第一篇 概 论

第一章 绪论	1
第一节 研究目的和意义.....	1
第二节 研究历史和现状.....	3
第三节 研究内容.....	6
第四节 活动断裂研究与其它科学技术的联系.....	7
第二章 活动断裂的定义和分类	8
第一节 活动断裂定义.....	8
第二节 活动断裂分类.....	11
第三章 发震断裂含义和分类	19
第一节 发震断裂含义.....	19
第二节 发震断裂分类.....	20

第二篇 研究方法

第四章 遥感影像解析	25
第一节 航空遥感影像.....	26
第二节 航天遥感影像.....	27
第五章 地貌学分析、研究	31
第一节 断崖及洪积扇叠置、错动、河流裂点.....	31
第二节 河流、山脊或冲沟的水平位错.....	33
第六章 地质学和地震学研究	39
第一节 深断裂活动带的第四纪断层.....	39
第二节 第四系断层及复活断层.....	43
第三节 活断层地质调查、研究中存在的某些问题.....	46
第四节 地震学方法确定活动断裂.....	51
第五节 区域活动断裂综合研究实例.....	54
第七章 断层新活动年龄测定技术与应用	64
第一节 断层新活动年龄分析原则.....	64
第二节 ^{14}C (放射性碳) 测年技术与应用.....	67
第三节 热发(释)光(TL)法测年技术与应用.....	72
第四节 电子自旋共振(ESR)测年技术与应用.....	80

第五节 铀(U)系法测年技术与应用	87
第六节 石英颗粒表面形貌的电镜扫描鉴定(SEM)与应用	90
第七节 同位素法测定断裂新活动年龄的若干问题探讨	94
第八章 发震断裂鉴定要点和方法	102
第一节 概述	102
第二节 据历史震中分布确定发震断裂	103
第三节 实例分析	103
第九章 断裂活动与地壳现代构造应力场	123
第一节 概述	123
第二节 叠加断裂力学基础及断裂活动性力学分析	126
第三节 判定断裂活动性的数学、物理模拟	131

第三篇 活动断裂灾害及环境

第十章 活动断裂灾害	138
第一节 断层蠕动灾害	138
第二节 地震地面断层、地形变带	143
第十一章 活动断裂和地质灾害及其环境问题	155
第一节 区域地壳稳定性	155
第二节 地震	160
第三节 水库诱发地震	164
第四节 大地热流和地热场	166

第四篇 工程评价和工程对策

第十二章 活动断裂工程评价标准	171
第一节 断裂的新活动年龄	171
第二节 活动断裂的地震标准	177
第三节 断层的活动速率	179
第四节 综合判定与分析	184
第五节 发震断裂工程评价原则和要点	184
第十三章 工程对策	187
第一节 决定工程对策的条件和因素	187
第二节 工程对策	190
第十四章 活动断裂区工程实践经验	197
第一节 水电站建设	197
第二节 核电工程	204
第三节 工业、民用建筑	207

第五篇 研究实例

第十五章 长江三峡水利水电工程	213
------------------------	-----

第一节	地震地质背景·····	213
第二节	区域及坝区断裂特征概述·····	219
第三节	区域断裂新活动的同位素年龄及综合分析·····	224
第四节	坝址区断层新活动年龄及综合分析·····	233
第五节	断裂的现代活动性及其对工程区地壳稳定性的影响评价·····	237
第十六章	岷江紫平铺水电站工程·····	245
第一节	区域地质构造和地震背景·····	245
第二节	坝址区地质构造及断裂特征·····	249
第三节	坝址区主要断层的新活动同位素年龄及综合分析·····	251
第四节	断裂活动性对坝区地壳稳定性的影响评价·····	256
第十七章	乌江彭水水电工程·····	258
第一节	郁山镇断层 (F_1) 特征和最新活动年龄·····	258
第二节	坝区断层 f_1 、 f_7 、 f_{36} 特征和最新活动年龄·····	263
第三节	区域和坝区断层活动性及其对坝址地壳稳定性的影响评价·····	268
第十八章	黄河磛口坝址活动断裂评价·····	270
第一节	区域地质构造背景和地震活动·····	270
第二节	坝址区地质构造及断裂特性·····	274
第三节	坝址区断层最新活动年龄及其现代活动性评价·····	276
第十九章	北京正负电子对撞机工程场地的地震工程地质评价·····	280
第一节	工程概况及断裂特征·····	280
第二节	地震活动及断裂活动性的研究和评价·····	281
第二十章	三河—平谷电厂工程地壳稳定性评价·····	285
第一节	地质构造及地震活动概述·····	285
第二节	活动断裂和厂址稳定性评价·····	287
参考文献 ·····		290

Contents

Preface

Foreword

Part I Outline

Chapter 1 Introduction	1
1 Research purpose and significance	1
2 History of research and current state	3
3 Scope for research	6
4 Relationship between the study of active faults and other sciences and techniques	7
Chapter 2 Definition and classification of active faults	8
1 Definition of active faults	8
2 Classification of active faults.....	11
Chapter 3 Implication and classification of seismogenic faults	19
1 Implication of seismogenic faults.....	19
2 Classification of seismogenic faults	20

Part II Research methods

Chapter 4 Interpretation of remote sensing images	25
1 Airborne remote sensing images.....	26
2 Space remote sensing images.....	27
Chapter 5 Geomorphological analysis and research	31
1 Fault scarps, superposition and dislocation of proluvial fans and forking points of rivers	31
2 Horizontal dislocation of rivers, ridges or gullys	33
Chapter 6 Geological and seismological researches	39
1 Quaternary faults of deep-seated active fault zones	39
2 Faults and activated faults in Quaternary deposits	43
3 Some questions in geological survey and research of active faults	46
4 Determination of active faults by using seismological methods.....	51
5 Cases for comprehensive study of regional active faults	54
Chapter 7 Techniques for dating neotectonic fault and their	

application	64
1 Principles for analysis of neotectonic fault age	64
2 ¹⁴ C (radiocarbon) dating technique and its application.....	67
3 Thermoluminescent (TL) dating technique and its application	72
4 Electron spin resonance (ESR) dating technique and its application	80
5 Uranium series dating method and its application.....	87
6 Scanning electron microscope (SEM) identification of quartz surface morphology and its application.....	90
7 Discussion of problems on isotopic age determination of neotectonic fault.....	94
Chapter 8 Essentials and methods for identification of seismogenic faults	102
1 Outline	102
2 Determination of seismogenic faults in terms of the distribution of historical earthquake epicentres	103
3 Analysis of cases.....	103
Chapter 9 Fault activity and recent crustal tectonic stress field	123
1 Outline	123
2 Mechanical basis of superimposed faults and mechanical analysis of fault activity	126
3 Mathematical and physical simulations for determining fault activity	131
 Part III Hazards on active faults and their environments	
Chapter 10 Hazards on active faults	138
1 Hazards by fault creeps	138
2 Seismogenerated ground fractures and deformation zones.....	143
Chapter 11 Active faults, geological hazards and their environments	155
1 Regional crustal stability.....	155
2 Earthquakes	160
3 Reservoir-induced earthquakes	164
4 Geothermal flow and geothermal field	166
 Part IV Engineering evaluation and countermeasures	
Chapter 12 Criteria for engineering evaluation of active faults	171
1 Age of last movement on a fault	171

2	Seismological criteria for determining active faults.....	177
3	Rate of fault movement	179
4	Comprehensive determination and analysis.....	184
5	Principles and essentials for engineering evaluation of seismogenic faults	184
Chapter 13 Engineering countermeasures		187
1	Conditions and factors determining engineering countermeasures	187
2	Engineering countermeasures	190
Chapter 14 Practical engineering experience in the area of active faults.....		197
1	Construction of the hydropower station.....	197
2	Nuclear power plant	204
3	Industrial and civil buildings.....	207

Part V Cases for study

Chapter 15 Three Gorge hydropower project on Yangtze River.....		213
1	Seismogeologic background	213
2	Characteristics of faults in the region and dam area.....	219
3	Isotopic dating and comprehensive analysis of regional fault activities.....	224
4	Isotopic dating and comprehensive analysis of fault activities in the dam area	233
5	Present fault activity and evaluation of its effect on crustal stability in the project area.....	237
Chapter 16 Zipingpu hydropower station on Minjiang River		245
1	Regional geologic structure and seismological background.....	245
2	Geologic structure and characteristics of faults in the dam area.....	249
3	Isotopic dating and comprehensive analysis of major fault activity in the dam area	251
4	Evaluation of effect of the fault activity on crustal stability in dam area.....	256
Chapter 17 Wujiang River-Pengshui River hydropower station.....		258
1	Characteristics of Yushanzhen Fault (F_1) and the age of its last movement.....	258
2	Characteristics of Fault f_1 , f_2 and f_{36} in the dam area and the age of their last activity.....	263
3	Evaluation of fault activity in the region and in the dam	

area and its effect on crustal stability of dam site.....	268
Chapter 18 Evaluation of active fault on the Jikou Dam site	
on the Yellow River	270
1 Regional tectonic background and seismicity	270
2 Geological structure and characteristics of faults in the dam area	274
3 The age of last movement on the faults in dam area and evaluation of their recent activity	276
Chapter 19 Seismological and engineering geology evaluations	
of the Beijing Electron-Positron Collider site	280
1 Outline of the project and features of the faults	280
2 Research and evaluation of seismicity and fault activity	281
Chapter 20 Engineering evaluation of crustal stability of	
Sanhe-Pinggu Power Plant	285
1 Outline of geologic structure and seismicity.....	285
2 Evaluation of active faults and stability of the plant site.....	287
References.....	290

第一篇 概 论

第一章 绪 论

第一节 研究目的和意义

一、研究目的

地震和火山爆发等地质灾害夺走了人类的生命，破坏了建筑物，造成了巨大的灾难。它们是由地壳现代运动产生的，即内力地质灾害。现今，人们正为预报和减轻这种灾害而奋斗，国际上已制定出“减轻自然灾害十年”计划。现代火山出现在大陆边缘和岛弧区。地震发生在大陆板块内部和一定的构造部位，它比火山分布更广泛。地震可以使地面断错、裂开，产生的地震波可破坏建筑物，影响面积广大，灾害严重。因此，它是重要的地质灾害。地震、火山爆发、断层位错都是由断裂现代活动引起的。强烈地震还能引起山崩、滑坡。在断裂活动较强地区修建水库，还可能成为产生水库诱发地震的重要条件之一。上述的地质灾害都与断裂现代活动特性密切相关。因此，近些年来，国内外都重视对活动断裂的研究。在大型水电站、核电站和其它重大工程勘测、设计中，都要求鉴定工程区及邻近区活动断裂的分布及地震活动，并将它们作为工程设计的基础资料和依据。在我国，自1966年以来，地壳活动性增高，地震能量级、频度以及地震灾害比前世纪有所增强。所以，工程勘测、设计部门都甚为重视对活动断裂和地震的研究。建国40 a来，还没有因活动断裂和地震引起工程建筑严重破坏的实例。只有1976年唐山大地震毁坏了一些建筑物，这是因为目前尚不能完全可靠地预报地震的活动规律。但是，在我国工程勘察、设计中，由于活动断裂研究和认识不足产生了一些问题，归纳起来有以下几方面。

(1) 因工程区存在活动断裂而放弃可利用的工程场地，以后又选该场地建设，重新进行勘测。

这类问题以大型能源工程居多。还有一些大型工程，由于当时认识不同，加之受当时科学水平所限而引起此类问题。黄河龙羊峡水电站即为其例。50年代，水电部曾选择该坝址，发现有第四纪断层(F_1)。当时，外国专家认为，该区不宜建坝，从而放弃了龙羊峡坝址。水电部门有关设计院经1964年和1976年以来的工作，对断裂活动性进行了研究，认为可以在该地建坝。1977年，龙羊峡水电站开始施工，1987年蓄水。岷江紫平铺水电工程，50年代末已开始施工，后因该地断裂发育，又没研究其活动性(限于当时技术水平)，放弃了该坝址。30 a来，由于认识和科学技术水平提高，现今认为，这两地可以建坝。现正处于勘测、设计和继续施工中。

(2) 因对活动断裂鉴定错误, 工程缓建或停工, 耽误工期, 加大了勘测经费。

产生这类问题的原因是地质人员对活动断裂的鉴定、认识标准不同或有认识错误。长江下游芜湖—江阴段, 有人提出这段河谷存在“长江下游河谷断裂”、“长江裂谷”问题, 造成修建“仪征化纤厂”, “跨长江输油(气)管道”和设计苏南核电站的争论和不必要的勘测工作, 既耽误了工期, 又造成了浪费。1984年, 京杭大运河宿迁闸基施工, 有人提出闸基存在第四纪断层。这引起设计工程师的重视, 致使两万余工人停工数日, 待命等候。后经有权威的专家鉴定, 所谓的“第四纪断层”, “活断层”是新的黄河泛滥土层与较老地层的沉积接触面。随后即刻复工, 保持原设计方案, 减少了巨大的经济损失。

(3) 活断层鉴定标准不一致, 引起争论, 工程停工。

判定是否属于对工程稳定有影响的断层, 其主要标准是在近代地壳运动中, 断层是否会自然活动(位错, 地震)而影响工程稳定。一般来说, 第四纪以前活动的断层被定为非活动断层, 对工程稳定没有影响。但对第四纪(2.4×10^6 a)以来活动过的断层, 认识就不一致了, 即活断层年龄下限问题。加之, 10 a前, 断层新活动年龄测试技术尚没得到应用, 所以, 对一些工程地区稳定性存在争议, 延误了工程设计和施工。

(4) 在工程区鉴定地震烈度时, 不区分场区存在的活动断裂是否是发震构造, 多采用增高基本烈度(一二度)的意见。这样一来, 增加了工程抗震经费, 提高了工程造价。

综上所述, 为了解决工程实践存在的问题, 选择合适的建设地段, 需要展开活动断裂鉴定和评价的研究。它的研究目的有以下几方面:

(1) 认识和掌握断裂活动规律, 减轻和预防地震、火山和断层蠕动等所产生的地质灾害;

(2) 研究和确定出公认的、合理的判定活动断裂方法及标准;

(3) 提出活动断裂工程地质评价标准, 正确地评价工程场地稳定性(地震、断层蠕动、火山), 选择安全的场地;

(4) 加速工程勘测、设计进程, 减少不必要的浪费。

二、研究意义

(一) 科学和理论意义

“国际80年代地球科学研究规划”中将现代岩石圈正在发生的作用与现代构造运动作为一项研究课题。它通过岩石圈结构、物质组成及状态、构造应力、断裂应变与释放等综合研究认识地震、火山等地质灾害的发生和发展规律, 以便得出近代地壳运动及动力条件的联系。其成果可直接应用于评价、预报和减轻地质灾害。近十年来发展起来的环境地质学(Environmental Geology), 已将地震、断层蠕动、火山作为重要的环境地质因素。所以, 活动断裂研究, 既可以发展地球科学理论、认识地壳(或岩石圈)正在进行的作用和规律, 又可充实环境地质科学和区域工程地质学的内容。

(二) 实践意义

工程实践迫切需要解决一些与活动断裂有关的问题。为减轻自然灾害给人类带来的灾难, 世界有关国家科学家提出的“国际减轻自然灾害十年”计划中, 也包括地震、火山等灾害。所以, 活动断裂研究亦具有实际意义, 概括起来有以下几方面:

(1) 评价、预报和减轻与活动断裂有关的地质灾害;

- (2) 选择安全的工程场地, 提供既经济又安全的工程设计依据;
- (3) 正确地评价工程环境及其变化。

第二节 研究历史和现状

一、研究历史

(一) 国外

地震、活动火山早就引起了人们注意。在国外, 18世纪中期, 就开始注意上述地质灾害, 并开始研究它们。据时间和研究水平, 可分为三大阶段: (1) 萌芽阶段; (2) 初始阶段; (3) 现代阶段。

1. 萌芽阶段——18世纪

18世纪初, 人们已开始认识到由于地球内部作用引起的地质灾害和现象。当时(1822—1834) 提出三大题目: (1) 大陆与海洋的关系; (2) 火山、地震、热源; (3) 大气、生物作用, 水以及冰雪引起的大陆变化。当时对地质灾害的认识仅限于感性阶段, 还没有提出活动断裂这一术语。日本提出, 发生地震是断层运动的结果(小藤, 1893)。其研究方法以地貌学为主, 还没运用地质学方法和理论。迄今, 建筑工程已有四千多年历史, 而地质科学的研究历史仅约200 a。所以, 18世纪或更早, 地质学还没与工程建设结合起来。人们对活动断裂、火山、地震还缺乏认识和研究。

2. 初始阶段——定性评价时期(1908—1964)

19世纪以前, 人类已兴建了一些大型工程。约在公元前2400年, 开凿了底格里斯(Tigris)河至幼发拉底(Euphrates)河的隧洞。在公元前494年, 锡兰修建了“巨大贮水池”, 占地577km²。公元前3世纪, 中国修建了长2413km的“万里长城”。

从19世纪起, 地质科学迅速发展, 并运用到工程建设中。活动断裂研究进入新阶段, 可称为定性描述阶段。1953年, 用放射性碳(¹⁴C)方法测定了第四纪晚期含碳沉积物同位素年龄(Kulp, 1953), 推动了活动断裂研究。1906年, 旧金山地震时, 地震现象使人们初步认识到地震和断层活动之间的联系。这就使活动断裂研究进入了初始认识阶段。一些地质学家提出了“活动断裂”或“活断层”的术语和概念。但是, 对“活动断裂”的含义仅限于描述, 即定性研究。1908年, Lawson, A. C. 提出“活断层”术语; 1916年, Wood, H. O. 提出“活动断裂”定义。在以后的数十年内(至1964年), 约有十余个地质学家提出了活动断裂的定义和概念。在本阶段, 所提出的活断层定义和概念仅限于地貌判断, 缺乏地质年龄标准, 还缺乏与工程建设的紧密结合。值得提出的是, 50年代中期, Николаев, Н. И. 提出新构造学说, 强调研究晚第三纪以来地壳运动的重要性。

3. 现代阶段——定性-半定量研究(1965年以来)

本阶段的特点是活动断裂研究开始进入定性-半定量阶段, 时间是从1965年开始。1965年, Allen, C. K. 提出了活动断裂的年龄标准。他提出: “……如果河流水平位错及冲积层的断崖用于活动断层的判据, 则‘活动’这个术语必须将事件追索到更新世或最多达 1.0×10^5 a”。其后, 美国原子能委员会、新西兰、日本、美国、苏联等国的地质学家或部门都提出了判定活动断裂的年龄标准。本阶段重大进展还有, 新的年龄测试手段, 被用于测定断层最新活动年龄。这就给活动断裂定量研究奠定了基础。概括起来, 本阶段研究

有以下四个重要进展:

(1) 确定出活动断裂的运动类型: ①蠕动运动(稳滑); ②地震运动(粘滑)。蠕动运动的断层不产生地震或仅产生微震($M < 3$);

(2) 80年代初, 年轻地质体年龄测试手段被应用于断层新活动年龄的测定。这些手段包括: ①热发(释)光(TL); ②电子自旋共振(ESR); ③铀系法(U系法); ④石英形貌电镜扫描(SEM);

(3) 断层活动速率及大地震周期。一些学者提出了同一地点(或发震断裂段)的大地震复发周期经验公式(Wallace, R. E., 1970);

(4) 活动断裂判定年龄标准, 从单纯地结合地震发生时间(周期), 改变为与工程寿命(使用期)相结合, 提高了新活动年龄下限。

(二) 国内研究

我国地质学家对活动断裂研究起步比国外晚, 但是近20 a来, 发展迅速, 已经赶上国外研究水平。我国缺乏国外的第一阶段(萌芽阶段), 直接从第二阶段(定性评价)开始。按研究特点和时间可分为两大阶段(时期): (1) 新构造研究阶段; (2) 现代阶段。

1. 新构造研究阶段——定性评价(1950—1976)

新中国建立后, 我国开始兴建大型、中型水电站, 火力发电厂以及道路工程。50年代晚期, Николаев, Н. И. 新构造学说传入我国。在大型工程建设中, 很重视晚第三纪以来的活动或形成的断裂对工程稳定的影响。1955年李四光教授提出, 晚近构造需要注意研究其与工程稳定、地震发生的关系。60年代以后, 引入活动断层的概念, 但没提出明确的含义; 初步确立了第四纪没活动过的断层对工程稳定没有影响的概念; 在工程勘察、设计中, 定性评价断层活动。许多大型工程, 根据定性评价原则勘测、设计取得了成功。当然, 极少数工程亦产生了如前节所述的问题。1966年邢台地震后, 国家领导和工程设计部门开始重视地震和活动断裂研究。但是, 直到1976年唐山大地震之前, 我国地质学家、部门还没提出活动断裂的含义和标准。所以, 本阶段只相当于国外研究的中期阶段, 即定性阶段中期。

2. 现代阶段——定性-半定量评价(1977年以来)

1976年, 唐山大地震造成巨大的灾难。我国政府和工程设计部门极端重视地震和活动断裂研究。本阶段特点表现为以下几方面:

第一, 地震地质学家提出了活动断裂年龄下限; 工程地质学家亦提出了活动断裂年龄下限, 并提出活动断裂的含义和判断标准。近几年, 工程地质部门确定的年龄下限逐步接近于 $(10-1.1) \times 10^4 \text{a}$ 。

第二, 从1981年起, 在活动断裂年龄研究中, 引用了TL、ESR、U系法和电镜扫描(SEM)分析, 对不少重大工程提出了活动断裂年龄数据, 为工程区地壳稳定性评价提供了依据。

第三, 地震部门确定了我国一些大地震的重复周期, 为历史上大地震区进行工程建设扫清了障碍。

本阶段, 我国的研究水平迅速发展, 已经达到世界先进水平。

二、研究现状和研究方向

(一) 研究现状和存在问题