

DIZHI ZAIHAI FANGZHI

地质灾害防治

陈飞

编著



非外借



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

DIZHI ZAIHA
FANGZHI

地质灾害防治

陈飞
编著



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

· 长沙 ·

图书在版编目(CIP)数据

地质灾害防治 / 陈飞编著. --长沙: 中南大学出版社, 2017. 10
ISBN 978 - 7 - 5487 - 3056 - 9

I. ①地… II. ①陈… III. ①地质—灾害防治 IV. ①P694

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第260119号

地质灾害防治

陈飞 编著

-
- 责任编辑 刘颖维
责任印制 易红卫
出版发行 中南大学出版社
社址: 长沙市麓山南路 邮编: 410083
发行科电话: 0731 - 88876770 传真: 0731 - 88710482
印 装 长沙雅鑫印务有限公司
-

- 开 本 787 × 1092 1/16 印张 15 字数 384 千字
版 次 2017年10月第1版 2017年10月第1次印刷
书 号 ISBN 978 - 7 - 5487 - 3056 - 9
定 价 68.00 元
-

图书出现印装问题, 请与经销商调换

内容提要

本书依据我国“以防为主、防治结合、综合治理”的地质灾害防治方针，系统阐述了地质灾害防治的研究方法与理论体系；全面介绍了地质灾害的概念、类型及分布，地质灾害灾情评估与减灾效益分析，地质灾害减灾对策；详细论述了滑坡、泥石流、地震等各类地质灾害的特点、形成条件与机理、影响因素、发育规律和危害方式；归纳总结了不同类型地质灾害的调查与评价、监测预报、防治工程的设计方法和原理及施工的基本方法。

本书可作为高等学校地质工程、土木工程、水利工程、勘查技术与工程、岩土工程、防灾减灾与防护工程等专业的教材，也可供铁路、公路、矿山、国土资源及城建等部门从事地质灾害勘察、设计、施工、监理和监测预报的工程人员参考使用。

前 言

可持续发展是 21 世纪人类社会发展的主题，其核心是实现环境、资源与社会的协调发展，而重大自然灾害给人类社会带来了严重的影响和损失。防范自然灾害，减轻其影响和减少其损失，已成为建设资源节约型、环境友好型社会，实现经济社会可持续发展的重要任务。

地质灾害是一种由自然因素或人为活动引发的危害人民生命和财产安全的山体滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷、地裂缝、地面沉降等与地质作用有关的灾害。我国是世界上地质灾害较严重的国家之一，地质灾害种类繁多，分布广泛，活动频繁，危害严重，每年因地质灾害造成的直接经济损失占自然灾害总损失的 20% 以上，直接影响了人民的生活，制约了社会的可持续发展。

据统计，我国每年因地震、崩塌、滑坡、泥石流、地面沉降等地质灾害造成的直接经济损失高达千亿元。地质环境恶化引发或加重的其他自然灾害所造成的间接损失更是无法估算。2016 年全国共发生地质灾害 9710 起，其中滑坡 7403 起、崩塌 1484 起、泥石流 584 起、地面塌陷 221 起、地裂缝 12 起、地面沉降 6 起，直接经济损失 31.7 亿元。我国地质灾害的防治形势十分严峻，防治任务十分繁重，因此，依靠现代科学技术，多学科、跨部门联合攻关，全面、系统、深入地开展地质灾害研究，对保护人民生命和财产安全，减轻地质灾害损失，实现社会、经济的可持续发展具有非常重要的意义。

为了做好我国地质灾害的防治工作，国家计划委员会、科技部和国土资源部在《全国地质灾害防治工作规划纲要》中提出：要把地质灾害防治重点放在人口密集、建设集中和对国家建设有重大影响的城市、矿山、工程、交通干线、大江大河等地区和地质灾害多发区，并抓好一些重大地质灾害防治的典型工程，取得成效，积累经验，逐步推广并确定我国地质灾害的防治方针为“以防为主、防治结合、综合治理”，以提高我国地质灾害的防治能力和水平，尽可能避免或减轻地质灾害造成的危害和损失。

国家对地质灾害防治工作越来越重视，而且地质灾害防治工作任务非常繁重，各相关单位对这方面的人才需求越来越迫切，为此，我校地质工程专业为本科生及研究生相继开设了

有关地质灾害防治方面的课程。本书编写的目的是从学科的角度,系统地阐述地质灾害的理论体系与研究方法,尽可能全面地论述该学科所涉及的各个研究领域,为高等院校相关专业的本科生提供一本实用的教材,为从事地质灾害防治相关工作的技术人员提供一本参考用书。

本书注重理论分析和背景实践,力求做到内容新颖,既有一定的专业深度,同时具有较强的实用性。本书介绍我国地质灾害类型、分布、成因及主要危害性,从地质工程设计、施工技术理论出发,归纳总结了滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害的治理技术的方法。全书共7章:第1章介绍我国地质灾害的类型、分布特征及防治概况;第2章介绍地质灾害的内涵、地质灾害灾情评估与减灾效益分析和地质灾害减灾对策;第3章介绍地震及减轻地震灾害的对策;第4章介绍地裂隙、地面塌陷与地面沉降的成因、评价方法和防治措施;第5章介绍泥石流的分类、成因、评价方法和防治技术;第6章介绍滑坡的基本概念、成因、分类、评价、滑坡推力的计算以及抗滑挡土墙、抗滑桩等的设计与施工方法;第7章介绍地质灾害减灾体系与地质灾害危险性评估技术要求。

本书的编写得到了江西理工大学教务处的大力支持和资助,在此致以诚挚的感谢!在编写过程中,参考了有关文献,在此对文献的作者表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在差错和不足之处,恳请读者批评指正。

作者单位:江西理工大学资源与环境工程学院地质工程教研室,邮编:341000,邮箱:180125110@qq.com、chenfei1025@tom.com。

陈 飞

2017年7月31日

目 录

0 绪 论	(1)
0.1 灾害与地质灾害	(1)
0.2 各种灾害的危害	(2)
0.3 地质灾害防治的研究内容和研究方法	(6)
0.4 地质灾害防治的国内外研究现状	(6)
第1章 我国地质灾害的基本概况	(8)
1.1 我国地质灾害类型及分布特征	(8)
1.2 我国地质灾害及防治	(14)
第2章 地质灾害评估与减灾对策	(24)
2.1 地质灾害的内涵及灾害地质学	(24)
2.2 地质灾害灾情评估与减灾效益分析	(29)
2.3 地质灾害减灾对策	(33)
第3章 地震及减灾技术	(38)
3.1 地震与地震活动	(38)
3.2 地震灾害与减灾	(43)
第4章 地裂隙、地面塌陷与地面沉降	(48)
4.1 地裂隙	(48)
4.2 岩溶及地面塌陷	(50)
4.3 地面沉降	(65)
第5章 泥石流	(75)
5.1 泥石流特性与成因	(75)
5.2 泥石流场地勘察	(83)
5.3 泥石流危险性评估	(85)

5.4	泥石流防治	(98)
第6章	滑坡	(137)
6.1	边坡工程概述	(137)
6.2	滑坡分类与成因	(141)
6.3	滑坡危险性评估	(148)
6.4	滑坡推力与稳定性分析	(156)
6.5	滑坡防治工程	(163)
6.6	滑坡防治工程治理设计实例	(194)
第7章	地质灾害减灾体系与评价要求	(214)
7.1	地质灾害减灾体系	(214)
7.2	地质灾害危险性评估技术要求	(216)
参考文献	(233)

0 绪论

0.1 灾害与地质灾害

0.1.1 灾害

灾害包括自然灾害、事故灾害和突发公共卫生事件。

自然灾害指给人类生存带来危害或损害人类生活环境的自然现象,包括干旱、洪涝、台风、冰雹、雪、沙尘暴等气象灾害,火山、地震、山体崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害,风暴潮、海啸等海洋灾害,森林草原火灾和重大生物灾害等。

1. 造成自然灾害的因素

自然变异是引发自然灾害的自然因素;人、财产、资源、环境等受灾体的变化是造成灾害损失的社会因素。

(1)自然因素:地球变动、地球各圈层变化与运动。

(2)社会因素:人口增长、开发资源、改造环境、发展生产、工程活动、战争、动乱等。

2. 我国自然灾害的特点

(1)灾害种类多:除现代火山活动外,几乎所有的自然灾害都在我国出现过。

(2)分布地域广:我国70%以上的城市、50%以上的人口均不同程度受到自然灾害影响。东北、西北、华北等地区旱灾频发,西南、华南等地区严重干旱时有发生,东部、南部沿海地区以及部分内陆省份经常遭受热带气旋侵袭,我国2/3以上的国土面积受到洪涝灾害威胁,各省均发生过5级以上的破坏性地震。约占我国国土面积69%的山地、高原区域地质构造复杂,滑坡、泥石流、山体崩塌等地质灾害频繁发生。

(3)发生频率高:我国的自然灾害每天都在发生。

(4)灾害损失重:如2016年,我国全年自然灾害造成直接经济损失达5032.9亿元。

0.1.2 地质灾害

地质灾害指地质作用造成的人民生命财产损失和环境破坏的灾害。地质灾害包括崩塌、滑坡、泥石流、地面沉降、岩崩等。

0.2 各种灾害的危害

0.2.1 干旱灾害

(1) 干旱灾害的定义

干旱灾害指在较长时间内降水异常偏少，河川径流及其他水资源短缺，致使土壤水分严重不足，对人类生产、生活造成影响的灾害。

(2) 我国旱灾的特点

我国的旱情与显著的季风性气候以及我国农业生产本身的特点有关；各地的旱情发展还取决于当地的社会经济条件和水资源的分布。

我国北方旱灾具有频繁性、周期性的特点，黄淮海地区的降雨变化大，干旱频发，全年各季均较高；南方旱灾主要表现出地区性、季节性的特点。旱灾主要危害农作物生产，是中国近40年来粮食减产的最主要的原因。旱灾导致农业成本上升、危及人畜生存、制约工业生产和城市建设的发展。

0.2.2 洪涝灾害

(1) 洪涝灾害的分类

洪涝灾害包括洪水灾害和雨涝灾害。

洪水灾害是由于强降雨、冰雪融化、冰凌、堤坝溃决、风暴潮等原因引起江河湖泊及沿海水量增加、水位上涨而泛滥。

雨涝灾害是因大雨、暴雨或长期降雨量过于集中而产生大量的积水和径流，排水不及时，致使土地、房屋等渍水、受淹而造成损失。

(2) 我国洪涝灾害的特点

我国洪涝灾害具有形式多样性、广泛性、危害区域具有相对集中性、季节性特征明显的特点。

我国洪涝灾害严重的原因主要是受自然地理位置和季风气候的影响，地形复杂，西部与东部落差大，以及众多河流均要汇入少数特大河流。这些因素是我国江河洪水和内涝灾害的有利生成条件。植被遭到破坏，水土流失扩大，是我国洪涝灾害日益严重的重要原因。我国的大江大河中下游、平原及湖泊周围多是人口密集和经济较发达地区，洪涝灾害造成的后果必然严重。

0.2.3 台风灾害

(1) 台风的定义

台风指热带或副热带海洋上发生的气旋性涡旋大范围活动，伴随大风、巨浪、暴雨、风暴潮等。

(2) 台风灾害的特点

台风灾害是对人类生产、生活产生较强破坏力的灾害。台风灾害会造成人员伤亡；摧毁建筑物、森林、农作物、船舶等；造成沿海农田的盐渍化；给水产养殖业造成损失；导致海难等灾害。

0.2.4 风雹灾害

风雹灾害指强对流发展成积雨云后出现狂风、暴雨、冰雹、龙卷风、雷电等所造成的灾害。沙尘暴所造成的灾害，也一并计入风雹灾害。

(1) 龙卷风灾害

龙卷风是一种与强雷暴云相伴出现的具有近于垂直轴的强烈空气涡旋，其外形像一个漏斗状的旋转云柱，当它发生在水面上时，常吸水上升如柱，犹如龙吸水，称为“水龙卷”；当它发生在陆地上时，则称为“陆龙卷”。

龙卷风灾害具有发生速度快、破坏力大，生命短、运动无规律的特点。

(2) 冰雹灾害

冰雹灾害指从发展强盛的高大积雨云中降落到地面的固定降水所造成的灾害。

从全球范围看，冰雹常发生在中纬度地区的山区，平原少见，热带与寒带极少出现，中亚地区、美国中部、法国、德国、英国等地是冰雹多发地区。中国由于大部分国土地处中纬度地区，是冰雹灾害多发国家。

(3) 沙尘暴

沙尘暴是沙暴和尘暴的统称，是大量沙尘物质被强风吹到空中，使空气很浑浊的严重风沙现象。沙暴指8级以上的大风把大量沙粒吹入近地面气层所形成的携沙风暴；尘暴则指大风把大量尘埃及其他细粒物质卷入高空所形成的风暴。

0.2.5 雪灾

(1) 雪灾的定义

雪灾也称白灾，指因降雪形成大范围积雪，严重影响人畜生存，以及因降大雪造成交通中断，通信、输电等设施毁坏灾害。雪灾分为猝发型雪灾和持续型雪灾两种。

(2) 雪灾的危害

我国的雪灾主要为牧区雪灾。雪灾发生的时段，冬雪一般开始于10月，春雪一般结束于4月。牧区雪灾常发区主要分布在内蒙古大兴安岭以西和阴山以北的广大牧区，祁连山牧区、新疆北部、四川西部以及藏北高原至青南高原一带的高寒牧区。

雪灾的发生严重影响甚至破坏交通、通信和输电线路等生命线工程，对牧民的生命安全和生活造成威胁。此外雪灾还会引起牲畜死亡，导致畜牧业减产。对畜牧业的危害，主要是因为积雪掩盖草场，且超过一定深度，有的积雪虽不深，但密度较大，或者雪面覆冰形成冰壳，牲畜难以扒开雪层吃草，造成饥饿，致使牲畜瘦弱，有时冰壳还易划破羊和马的蹄腕，造成冻伤，常常造成牧畜流产，仔畜成活率低，老弱幼畜饥寒交迫，死亡增多。

0.2.6 低温冷冻灾害

低温冷冻灾害指在作物的主要生长发育阶段，气温降至影响作物正常生长发育的温度，造成作物减产甚至绝收的灾害。低温冷冻灾害主要包括倒春寒、夏季低温、寒露风、霜冻、寒潮等。

(1) 春季低温冷冻灾害

我国南方早稻在播种育秧时期由于受低温影响造成的烂种烂秧，称为春季低温冷冻灾

害, 俗称倒春寒。

(2) 秋季低温冷冻灾害

秋季低温冷冻灾害是指晚稻抽穗扬花期, 受到低温天气的影响, 造成空壳和秕粒率增大而减产。由于此种灾害在华南地区多发生在寒露节气前后, 俗称寒露风。

(3) 夏季低温冷冻灾害

东北地区是我国最北的农业区, 冬季长, 无霜期短, 夏季平均气温明显偏低, 往往使作物生育期延迟, 延迟的天数与平均温度成反比, 即平均温度越低, 作物生育期延迟的时间越长, 所以当未成熟的作物遇到早霜冻就会造成大幅度的减产。

0.2.7 地质灾害

(1) 地质灾害的种类

地质灾害包括地震、崩塌、滑坡、泥石流、地面沉降、岩崩等。

地震灾害指由地震引起的强烈地面振动及伴生的地面裂隙和变形, 导致各类建筑物倒塌和损坏, 设备和设施损坏, 交通、通信中断和其他生命线工程设施等的破坏, 以及由此引起的火灾、爆炸、瘟疫、有毒物质泄露、放射性污染、场地破坏等, 造成人畜伤亡和财产损失的灾害。

滑坡灾害指斜坡上的岩土体由于种种原因, 在重力作用下沿一定的软弱面整体向下滑动造成的灾害, 俗称“走山”“垮山”“地滑”“土溜”等。

泥石流灾害指山区沟谷中, 由于暴雨、冰雹、融水等水源激发的、含有大量泥沙石块的特殊洪流所造成的灾害。

地处我国西部高原山地向东部平原、丘陵的过渡地带, 区域内地形起伏变化大、河流切割强烈、暴雨集中, 加之人类对天然植被的严重破坏和广泛地改造地表斜坡、搬运岩土等活动, 导致崩塌、滑坡、泥石流特别易发、频发、多发。该段区域是我国滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害最严重的地区。

(2) 地质灾害的危害

我国每年有近百座县城受到泥石流威胁和危害, 有 20 多条铁路干线经过滑坡和泥石流的分布区域。在我国的公路网中, 以川藏、川滇、川陕、川甘等线路的泥石流灾害最严重, 仅川藏公路沿线就有泥石流沟 1000 余条, 每年因泥石流灾害阻碍车辆行驶的时间为 1~6 个月。

2013 年 7 月 10 日上午 10 时 30 分左右, 四川省都江堰中兴镇三溪村 1 组一处山体突发特大型高位山体滑坡重大地质灾害(图 0-1), 此次灾害造成 43 人遇难, 118 人失踪。2013 年 7 月 8 日 20 时以来, 都江堰出现区域性暴雨天气过程, 这次强降雨呈现出持续时间长、影响范围广、危害性大等特点。最强降雨时段在 8 日 20 时至 10 日 20 时, 都江堰 35 个点位雨量达到 250 mm 以上, 12 个点位雨量达到 500 mm 以上, 累计最大降雨量为 1059 mm, 是 1954 年都江堰有气象记录以来雨量最大的一次降雨。

(3) 地质灾害的防治

①灾害前, 预防为主, 避让与治理相结合。从避让灾害角度, 安全选择建设场地。采取锚桩和排水等工程, 增大摩擦系数, 增加山体稳定性。建立崩塌、滑坡和泥石流的预警和预报系统。



图 0-1 2013 年 7 月 10 日都江堰特大型高位山体滑坡

②灾害发生时，注意观测、尽快撤离、通知邻居。

③灾害发生后，采取有效的应急和自救措施。治理泥石流常用的措施有工程措施和生物措施。

图 0-2 所示为巴东新城地质灾害防治工程实例。



图 0-2 巴东新城地质灾害防治工程

0.3 地质灾害防治的研究内容和研究方法

(1) 地质灾害防治的研究内容

地质灾害防治的研究内容包括地质科学、环境科学、灾害学、岩土工程等多种学科的研究内容。

(2) 地质灾害防治的研究方法

地质灾害防治的研究方法不仅要遵循各个学科的传统研究方法,同时由于地质环境的系统性、复杂性,要求地质灾害的研究要将时间与空间相结合、宏观与微观相结合、物理模拟与数值模拟相结合、区域与局部相结合、自然科学方法与社会学方法相结合,探索新的研究方法和途径。地质灾害的主要研究方法有野外地质环境调查、勘察与监测、野外现场试验与室内模拟试验、数值模拟与数学方法、综合评价等。

(3) 我国地质灾害与防治研究特点

我国受地质灾害困扰的县级城镇达400多个,有1万多个村庄受到滑坡、崩塌、泥石流灾害的威胁。目前的理论研究和防治水平逐步提高,灾害却越来越严重,其主要原因有以下三点:一是预防性研究远远跟不上治理工程;二是治理工程偏重工程技术方面而忽视地质灾害发生的地质机理研究;三是人类因素的参与,造成了自然地质体平衡状态的恶化、自然生态环境的破坏,加速了大区域地质灾害的发生频率和规模。

0.4 地质灾害防治的国内外研究现状

(1) 地质灾害概念的提出

1976年,前国际工程地质协会主席 Arnould 教授在发表的题为《地质灾害—保险和立法及技术对策》一文中提出了“地质灾害(geological hazard)”一词,他把滑坡、崩塌、泥石流、地震灾害看成是地质灾害。1987年第42届联合国大会通过的第169号决议把20世纪的最后十年确定为“国际减轻自然灾害十年”(International Decade for Natural Disaster Reduction, IDNDR)行动计划之后,地质灾害一词频繁出现于专业文献及新闻媒体。地质灾害一词共有三种表达方式:geological disaster, geological hazard, geo-hazard。

(2) 国外地质灾害研究概况

1965年,W. I. Garrison 提出了“地理信息系统”(Geographic Information System, GIS)技术。20世纪80年代后期到90年代,GIS大量地应用于地质灾害研究方面,国外尤其发达国家在这方面做了较多工作。

随着高精度遥感技术的出现,“遥感眼”在地质灾害的评价与预测方面显示出广泛的应用前景。国外关于地质灾害研究多集中在模型的建立和计算机实现上,如“3S”技术在地质灾害的监控与可视化、数字减灾系统(digital disaster reduction system, DDRS)等方面的应用。

国外对地质灾害的研究主要体现在以下几个方面:

①从更深更广的角度,借助现代先进的科学技术手段和方法,深入系统地研究地质灾害的致灾机理,加强对地质灾害的特征、分类、成因机理、预测预报以及防治处理等方面的研究。

②重视灾害制图技术方法和“3S”技术的应用,采用现代技术(如“3S”技术)对中小流域地质灾害进行区域性评价,查明地质灾害时空分布规律,划分地质灾害危险性等级,同时将此危险性等级与土地资源的可利用性和土地售价联系起来,使地质灾害研究成果直接为公众服务。

③典型地区区域地质灾害预警系统和灾害管理信息系统建设取得显著进展。

④地质灾害研究成果的经济效益可观,能够实现成果社会共享,为社会经济服务。

(3)我国地质灾害研究概况

我国地质灾害研究工作起步较晚,20世纪30~70年代多以地震灾害研究工作为主。20世纪80年代,我国的地质灾害调查工作才全面开展,重点反映在滑坡、崩塌、泥石流、地面沉降、岩溶塌陷、土壤侵蚀、土地荒漠化、矿区灾害等。20世纪80年代,西安矿业学院杨梅忠教授开始对煤矿区地质灾害问题开展研究。20世纪90年代后,科研工作者们对我国地质灾害的类型、特征、影响因素、分布状况和区域发展规律等进行了深入的研究,提出了许多新理论、新观点,特别是量化方法,如灰色系统模型、遗传算法、元胞自动机和BP神经元等大量用来对地质灾害进行研究和治理,为地质灾害的研究发展提供了有力的依据。可以看出我国地质灾害的研究已经趋向于量化、可视化。

通过大规模的调查研究,我国地质灾害的总体发育分布规律现已基本查明;全国性的“县市地质灾害调查”已经开始进行,相应的管理信息系统和以“群测群防”为主的监测预警系统已经建立,在地质灾害评估和地质灾害防治监测技术方面取得了长足的进步。

第 1 章 我国地质灾害的基本概况

1.1 我国地质灾害类型及分布特征

1.1.1 地质环境背景概述

1. 地球的演化

地球从形成到现今已经经历了约 46 亿年,根据地壳运动的特征、岩层结构、生物演变可以将其发展演化过程分为太古宙、元古宙、显生宙。太古宙包括始太古、古太古、中太古和新太古;元古宙包括古元古、中元古和新元古;显生宙包括古生代、中生代和新生代(图 1-1)。

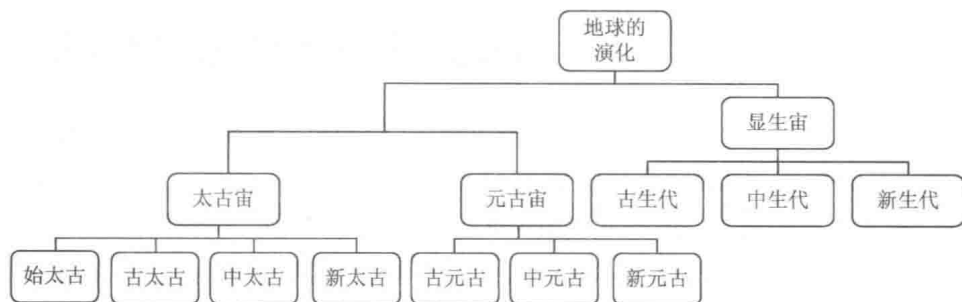


图 1-1 地球的演化历史

(1) 太古宙和元古宙

太古宙和元古宙又称前寒武纪,距今 543 ~ 4000 Ma,分为太古代与元古代两个阶段。

1) 太古宙

太古宙(距今 2500 ~ 4000 Ma 前)经历了十几亿年的时间,已经形成了薄而活动的原始地壳,出现了水圈和气圈,孕育和诞生了低级的生命。太古宙地球历史(地史)特征为:①缺氧的气圈及水体;②薄弱的地壳和频繁的岩浆活动;③岩石变质很深;④海洋占绝对优势;⑤陆核形成;⑥原始生命萌芽。目前已知最古老的生物化石是在南非发现的 32 亿年前的超微化石—古杆菌和巴贝通球藻代石。

2) 元古宙

元古宙(距今 543 ~ 2500 Ma)时,由于陆核的出现和扩大,地壳稳定性得到加强。元古宙的地史具有下述特征:①从缺氧气圈到贫氧气圈,由于藻类植物日益繁盛,它们通过光合作用

用不断吸收大气中的 CO_2 , 放出 O_2 , 使气圈和水体从缺氧发展到含氧较多的状态; ②从原核生物到真核生物, 太古宙已出现菌类和蓝绿藻类, 到元古宙得到进一步发展; ③由陆核到原地台和古地台; ④古元古代地层和中、新元古代地层有很大区别。

(2) 古生代

古生代可以分为早古生代(距今 410 ~ 543 Ma)与晚古生代(250 ~ 410 Ma)。

1) 早古生代

早古生代可划分为三个纪, 即寒武纪、奥陶纪和志留纪。从寒武纪开始, 世界各地开始了广泛的海侵; 奥陶纪以后, 各地广泛发生海退; 志留纪末发生了一次世界性的强烈构造运动(称为加里东运动), 陆地面积扩大, 陆表浅海面积减小。早古生代是海生无脊椎动物空前繁盛的时代, 从奥陶纪开始, 出现了淡水原始的无颌鱼类, 属于脊椎动物。在植物界, 寒武纪、奥陶纪都是以海生藻类为主, 到了志留纪, 已出现半陆生的裸蕨植物。

2) 晚古生代

晚古生代可划分为三个纪, 即泥盆纪、石炭纪和二叠纪。进入晚古生代, 全球存在四个稳定古陆: 欧美古陆、西伯利亚古陆、中国古陆和冈瓦纳古陆。晚古生代后期, 发生强烈的地壳运动(称为海西运动), 导致欧美古陆、西伯利亚古陆、中国古陆连接一起, 逐渐形成一个巨大的北方古陆(又称为劳亚古陆), 与南半球的冈瓦纳古陆遥相对应, 构成了一个统一的联合古陆。

晚古生代, 植物界从水生发展到陆生, 蕨类植物达到极盛。动物界从无脊椎动物发展到脊椎动物, 鱼类和无颌类广布于泥盆纪, 两栖类全盛于石炭纪和二叠纪。

地史中二叠纪与三叠纪的分界“金钉子”: 中国的 10 颗“金钉子”分别分布在浙江常山、湖南花垣、广西来宾、湖北宜昌王家湾和黄花场、湖南古丈、湖北大平、广西柳州、浙江长兴、浙江江山。2001 年在浙江长兴发现的“金钉子”是二叠纪与三叠纪的“金钉子”, 它是 10 颗“金钉子”中级别最高、最完整的, 身兼系、统、阶“三职”。

金钉子原来指 1869 年美国中央太平洋铁路和联合太平洋铁路在犹他州接轨时, 打进的意味着完成这条横跨美国本土铁路干线的最后一枚道钉, 后来, 地学界借用“金钉子”这一名词, 来指不同地质年代交界的典型地层剖面, 作为国际标准层型, 也就是判断所有相关地层年代的基准。一个金钉子地层剖面的确定, 不仅要求地层剖面非常典型, 容易接近, 更要求对这个剖面作出细致而经典的高水平研究。

长兴“金钉子”国家地质遗迹保护区位于浙江省长兴县城西北槐坎乡葆青村青塘山麓(图 1-2), 距长兴县城约 23 km。2001 年 3 月 5 日在阿根廷国际地质大会上, 长兴金钉子被国际地质委员会确定为全球古生界—中生界线金钉子。



图 1-2 长兴“金钉子”国家地质遗迹保护区