

高等学校试用教材

铁路工程地质学

西南交通大学	蒋爵光	主编
铁道部第二勘测设计院	李耀芳	主审
北方交通大学	吴景坤	

中国铁道出版社

1991年·北京

(京)新登字063号

内 容 简 介

本书分为四篇共十六章。内容包括区域稳定问题：地震和活断层的研究；不良地质现象：崩塌、滑坡、泥石流、岩溶、风沙等的工程地质研究；特殊土：盐渍土、黄土、膨胀土、软土、冻土等的工程地质问题的研究；以及铁路的主体建筑物：路基、桥渡、隧道等的工程地质方面的研究。

本书不仅可作为铁路系统高等院校工程地质专业的教学用书，也可供公路工程地质专业使用和其他部门工程地质科技人员参考。

高等学校试用教材

铁路工程地质学

西南交通大学 蒋蔚光 主编

中国铁道出版社出版、发行

(北京市东单三条14号)

责任编辑 刘桂华 封面设计 王毓平

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092毫米1/16 印张：17.5 字数：431 千

1991年10月 第1版 第1次印刷

印数：1—1800册

ISBN7-113-01050-4/TU·232 定价：4.55元

前 言

本书是经铁道部教育司批准，为铁路系统高等院校工程地质专业学生学习所编写的专业课教材，适用于80~100学时的课程类型。其内容包括四部分，即：区域稳定问题的研究；不良地质现象的工程地质研究；特殊土的工程地质研究以及铁路主体建筑的工程地质研究。编者力图在本书中阐述密切关系铁路建设的主要工程地质问题，着重分析这些问题的工程地质条件、形成机制和发展规律；介绍其相应的分析原理和方法；并且按照铁路路基、桥梁和隧道工程的特点，论述在其设计、施工和运营阶段工程地质研究的主要内容；最后介绍有关的工程地质勘测方法和特点。

本书是在经过多年教学使用的原有讲义的基础上，力求结合国内外近年来工程地质科学技术的新成就，进一步修改补充编写而成的。

全书分四篇共十六章，由西南交通大学蒋爵光教授主编。其中绪论、第二章、第十五章由西南交通大学蒋爵光编写；第一章、第四章、第七章、第十六章由西南交通大学唐永富编写；第三章、第六章、第十三章由西南交通大学胡厚田编写；第九章、第十章、第十一章、第十二章由西南交通大学程少华编写；第五章、第八章和第十四章由西南交通大学韩会增编写。

本书由铁道部第二勘测设计院李耀芳和北方交通大学吴景坤主审。在两位主审审阅了全部原稿的基础上，于1989年7月召开了审稿会议。会议由主审单位主持，对书稿进行了认真的审阅。李耀芳、吴景坤、孔德坊、陈成宗、崔之鉴、李秉生等同志对书稿提出了宝贵的修改意见和建议。会后编者根据审查的意见又进行了认真的修改。在此，编者对参加本书审稿的同志们表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，书中的缺点、错误在所难免，热忱欢迎读者提出批评和指正。

编 者

1990.6

目 录

绪 论	1
-----	---

第一篇 区域稳定问题的研究

第一章 地 震	7
第一节 概 述	7
第二节 地震的基本知识	8
第三节 地震震级和地震烈度	10
第四节 地震对建筑物的影响	13
第五节 地震的工程地质研究	19
第二章 活断层	21
第一节 研究活断层的意义	21
第二节 活断层的特性	22
第三节 活断层的工程地质研究	28

第二篇 不良地质现象的工程地质研究

第三章 崩 塌	33
第一节 崩塌的特点及危害	33
第二节 崩塌形成的地质条件和影响因素	34
第三节 崩塌的分类	40
第四节 崩塌的防治	43
第四章 滑 坡	46
第一节 概 述	46
第二节 滑坡的形成条件及分类	48
第三节 滑坡的稳定性评价	52
第四节 滑坡的防治	58
第五节 滑坡的工程地质勘测	61
第五章 泥石流	68
第一节 泥石流的形成条件及影响因素	68
第二节 泥石流的特征	70
第三节 泥石流的分类	72
第四节 泥石流计算	75
第五节 泥石流地区线路方案的选择	78

第六节	泥石流防治措施	80
第七节	泥石流的勘测	83
第六章	岩 溶	86
第一节	岩溶及其发育的基本条件	86
第二节	岩溶发育的规律	89
第三节	岩溶地区的地面塌陷和洞穴的危害	93
第四节	岩溶地区铁路选线原则和岩溶危害的处理	95
第七章	风 沙	99
第一节	概 述	99
第二节	风沙运动及沙丘的形成	99
第三节	风沙对铁路的危害及防治原则	103

第三篇 特殊土的工程地质研究

第八章	盐渍土	106
第一节	盐渍土的形成和分布	106
第二节	盐渍土的分类	108
第三节	盐渍土的工程地质性质	109
第四节	盐渍土的危害及处理措施	111
第九章	黄 土	115
第一节	概 述	115
第二节	湿陷性黄土的工程地质特征	116
第三节	黄土的湿陷性	117
第四节	湿陷性黄土地区的湿陷变形和陷穴的危害及防治措施	123
第十章	膨胀土	129
第一节	概 述	129
第二节	膨胀土的工程地质特征	129
第三节	膨胀土的膨胀性和收缩性	133
第四节	膨胀土的判别与分类	136
第五节	膨胀土对工程建筑的危害及防治措施	139
第十一章	软 土	141
第一节	软土的一般特征	141
第二节	软土的物理力学性质	143
第三节	软土地基的变形破坏和加固措施	147
第十二章	冻 土	151
第一节	冻土的组成和结构	151
第二节	冻土的物理力学性质及分类	153
第三节	冻土地区的不良地质现象	160
第四节	多年冻土上限深度的确定	163
第五节	建筑物冻害的防治措施	165

第四篇 铁路主体建筑的工程地质研究

第十三章 路基工程地质研究	168
第一节 土质路堑边坡稳定性分析	168
第二节 岩质路堑边坡稳定性分析	172
第三节 路堤稳定性因素的工程地质分析	186
第四节 浸水路基的工程地质分析	191
第十四章 桥渡工程地质研究	198
第一节 桥位的选择	198
第二节 河流冲刷及桥基埋置深度	207
第三节 桥基承载力的确定	210
第四节 桥梁地基中的工程地质问题	212
第五节 桥涵工程地质勘测	215
第十五章 隧道工程地质研究	218
第一节 概 述	218
第二节 不同地质条件下隧道位置的选择	218
第三节 隧道围岩分类	223
第四节 隧道围岩的稳定性研究	232
第五节 隧道施工运营中的工程地质问题	243
第十六章 铁路工程地质勘测	251
第一节 概 述	251
第二节 铁路工程地质勘测方法	254
第三节 铁路工程地质勘测资料整理	265
参考文献	271

绪 论

一、工程地质学的研究内容和方法

工程地质学是地质学的一个分支，是研究与工程建筑有关的地质问题的科学。它的研究对象是与工程建筑有关的地质体及其赋存的自然地质环境，以及与其有关的地质作用和影响因素。

构成地壳表面的地质体或者作为工程建筑物的地基，或者作为工程建筑的建筑环境，或者用来作为建筑材料。场地的工程地质条件，即地貌、地层岩性、地质构造、地下水和自然地质现象等，与工程建筑的设计、施工和使用有着密切的关系。

地质体是自然界长期历史形成的产物，它经历了一个复杂的形成过程，并赋存在一定的自然地质环境之中。由于不同地质体的物质组成、结构构造、形态、分布、形成历史以及赋存的自然地质环境的不同，它们的工程地质特征也不一样。例如岩浆岩建造的地质体，是经过侵入或喷出的岩浆作用，将埋藏在地球深处炽热的岩浆转运到地壳表层或地表，然后经过冷却凝固和结晶，使岩浆转化成为岩浆岩。一般在新鲜岩石情况下，岩浆岩的弹性模量及强度是相当高的，工程地质性质是比较好的。但岩浆岩在分异过程中，由于温度压力及岩浆转运的地质环境不同，又可以形成不同矿物成分、结构构造的各种岩浆岩，因而它们的工程地质特征和性质也有很大的差别。又如具有特定层理构造的沉积岩，矿物重结晶或具有独特片理构造的变质岩，由于它们的形成原因、物质成份、成岩的环境和过程等的不同，所形成的岩石，同样是多种多样的。它们的工程地质特征和性质也是千差万别的。特别是这些岩石在地质特征上所具有的各向异性，导致它们在力学性质上也有各向异性，使得这些岩石的工程地质性质变得更加复杂。

此外，自然界中的地质体在形成过程中或形成以后，又会在各种自然地质作用，如构造作用、变质作用、风化作用、卸荷作用等影响下不断地发生变化。坚固的花岗岩会因风化而变得松散，石灰岩地区由于地表地下水的作用又可能发生溶蚀；断层破碎带却因岩浆活动而加固。因而地质体的工程地质特征和性质也是在不断地发生着变化的。

由此可见，为了保证工程建筑的顺利进行，必须要对与工程建筑的设计、施工和使用密切相关的工程地质条件进行深入的了解，掌握它的基本特征和变化规律。

在进行工程建筑时，不仅要考虑到工程地质条件对工程建筑的影响，并且还要注意到由于修建工程建筑以后，工程建筑对工程地质条件所产生的影响。例如修建高坝形成的大水库，可使库区岸坡的水文地质条件发生变化，引起区域性的浸没；由于一些大城市的抽取地下水工程的修建，因大量的用水，使地面沉降；由于修建了隧道，山区地下水由隧道排泄，造成山上居民使用的泉水消失；修建道路开挖边坡，引起山坡的失稳，造成大规模的崩塌滑坡；等等，均表明修建工程以后，所产生的新的地质作用。因而这些新的地质作用影响着工程地质条件的变化，并又将影响着建筑物的稳定与安全。

所以工程地质学一方面研究工程地质条件对工程建筑有利和不利的影 响，同时还要预测建筑物修建后对工程地质条件的改变及可能产生的新的工程地质问题，以便最终为建筑物选

择较好的场地和提出改变各种不利地质条件的措施, 保证工程建筑的设计合理、施工顺利和使用正常。

(一) 工程地质学的研究内容

工程地质学应深入研究与工程建筑有关的工程地质条件和工程地质问题。

1. 土石工程地质特征和性质的研究。地壳表层的土石是工程建筑的地基、环境或建筑材料, 它的工程地质特征和性质直接关系着工程建筑的稳定和建筑材料的好坏。因而土石工程地质特征和性质对工程建筑具有根本性或决定性的意义。为此, 对土石的研究包括其成因、物质成份、结构构造、物理力学性质、区域分布特点以及改良其性质的措施等。

2. 工程动力地质作用的研究。动力地质作用可以由自然产生, 也可以由人类工程活动而引起。前者称为自然地质作用, 如构造作用、流水作用、风化作用等等; 后者称为工程地质作用, 如边坡开挖、地下开采和大量抽取地下水等引起的作用。这两种作用的结果, 前者称为自然地质现象, 如崩塌、岩溶和泥石流等; 后者称为工程地质现象, 如人工边坡变形、地面的沉降等等, 有时把这两者也统称为不良地质现象。这些地质作用时常影响、威胁建筑物的安全。因而应研究这些现象产生的地质条件、发生的原因及发展变化的规律, 以便对它们进行定性和定量的评价, 制定有效的防治措施。

3. 区域工程地质研究。主要是研究区域性的工程地质特征、工程地质条件的区域性变化规律及区域稳定性问题。根据这些规律可以清楚地了解到不同地区范围内主要工程地质特点; 预测不同地区内修建各种工程建筑的有利条件和不利条件; 从而对规划各种建设工程以及进一步对工程地质研究起到全区性总体的指导作用。

4. 工程地质勘测理论及技术方法的研究。不同类型的工程建筑, 对工程地质条件的要求和可能遇到的工程地质问题是不同的。为了取得必要而精确的地质资料, 达到详细查明工程地质条件, 深入研究工程地质问题, 正确作出工程地质评价的目的, 必须有正确的勘测理论作指导, 有较先进的勘测技术方法作为手段。近年来, 勘测理论和勘测技术方法发展较快, 并且发展了许多新的原位测试和自动测试技术。

(二) 工程地质学的研究方法

根据工程地质学的研究内容, 与之相适应的研究方法概括起来有下列两个方面:

1. 地质分析方法, 即自然历史分析方法。因为工程地质学所研究的都是地质问题, 都是其产生的特定工程地质条件, 而这些特定的工程地质条件也是在长期自然历史过程中形成的。土石和各种自然地质现象都是自然历史的产物; 地壳任何地段的地貌形态和地质构造都是该段地质演变及动力作用的结果; 地下水的存在和运动更是以一定地质结构的土石为基础的。并且工程地质条件随着自然历史条件的变化, 它们也具有不同的特征。因此, 在特定工程地质条件下产生的工程地质问题必然与工程地质条件的特征、发展演化是密切相关的。脱离了工程地质条件的自然历史分析, 就不可能对工程地质问题的现状、发展趋势作出正确的评价。

2. 力学分析和试验计算方法。任何工程建筑, 单凭地质分析方法, 虽然可以对所研究的工程地质问题与周围工程地质条件等自然因素的相互关系和相互制约的方式作出判断, 也可以对其发展演化及阶段性有所认识, 但还只能得出区域性的、定性的评价, 尚不能满足工程建筑设计、施工的要求, 还需要对与工程建筑有关的工程地质问题作出定量的评价。为此, 对于工程地质问题的研究还必须采用力学分析和试验计算的方法。如运用土力学、岩体力学等基本原理, 采用测试、试验、物理模拟和数值模拟等技术, 通过计算、分析等方法,

再与地质分析结合起来，对所研究的工程地质问题作出定量的评价，以取得与工程建筑有关地质体的稳定性及可能发生的各种变化的预测和结论。

（三）工程地质学的特点

综上所述，工程地质学有其独有的特点：

1. 研究地质问题时，应考虑与工程建筑的关系。除了研究工程地质条件对工程建筑的影响外，还应考虑建筑物修建后对地质环境的改变。既要研究工程地质条件过去的发展过程和当前的现状，还要预测将来的发展趋势，评价对建筑物可能发生的影响。

2. 除了用地质分析方法对工程地质条件作定性的评价外，还必须运用力学分析和试验计算方法，进行定量的评价，以供工程建筑设计和施工的直接应用，或对所研究的工程地质问题作出定量的预测。

3. 在充分了解工程地质条件之后，为了更好地利用有利条件，限制或改造不利条件的发展，应提出相应的工程地质措施。

由此可知，工程地质学是以工程建筑为服务对象，以地质研究为基础，运用地质学、数学、力学等理论、技术和方法，调查、研究和解决与工程建筑有关的工程地质问题的一门科学。

二、工程地质在工程建设中的作用

进行工程建设，不论总体的布局或具体建筑物的修建，都应进行相应的工程地质工作。这些工作包括：进行区域性工程地质条件的评价，为工程建筑的总体规划、布局提供地质依据；阐明建筑地区的工程地质条件，定量评价那些有利和不利条件，为工程建筑选择工程地质条件最为优良的建筑场地；根据选定地点的工程地质条件提出有关建筑物类型、结构和施工方法以及保证建筑物正常使用所应注意的地质要求，解决有关的工程地质问题，并作出相应的结论；拟定改善和防治不良地质现象的措施方案。要作好上述工作，必须要对与工程建设有关的工程地质问题进行深入的调查研究与分析；要通过地质测绘、勘探、试验、观测、分析等手段，获得必要的地质资料。在此基础上，才能作出正确的分析判断和结论。

如果对工程地质工作重视不够，或者工作中未达到应有的要求，可能使工程建筑的设计、施工受到影响，或者造成延误工期、增加投资，甚至会产生严重的后果。例如在石灰岩地区修建铁路，就应查明该地区的岩溶发育程度及溶蚀洞穴的分布规律，以便选择合适的线路方案。否则会出现路基置于不稳定溶洞顶板之上、隧道穿过大溶洞使基础悬空等不合理的现象，这不仅会增加工程量，提高造价和延长工期，甚至会危及行车的安全。又如在膨胀土地区修建建筑物，就需要掌握膨胀土的工程地质特征和性质，以及在干湿状态下的收缩膨胀效应，以便正确确定建筑物类型、结构、施工方法及有关防护措施。否则由于未认识到膨胀土的胀缩效应，在设计、施工方面未作相应的考虑，将造成建筑物的严重变形和破坏，甚至无法使用。法国的马尔帕塞拱坝，就是由于对坝基和坝肩片麻岩中所构成的软弱结构面缺乏足够的认识，以至造成左岸拱座滑动破坏，库水冲毁下游市镇，死亡失踪近五百人的重大灾害和损失。其它如美国奥斯汀城科罗拉多水坝的崩毁，加拿大特朗斯康谷仓的倾倒，西班牙蒙特哈塔坝高72m的“干水库”等，都是由于对地质条件没有足够的认识而招致失败。我国解放前修建的宝天铁路，由于忽视了工程地质工作，致使线路上的地质病害不断发生，严重地影响着通车，被称为铁路的“盲肠”，解放前就没有畅通过。解放后国家为此每年付出了极大的维修费用，经过历年来对沿线的工程地质问题进行研究，对病害进行整治，才保证了

列车的正常运行。我国在其它一些工程建设中,也存在由于忽视工程地质工作,或对有的工程地质问题认识不足,造成一定浪费和损失的现象,如水工建筑的失效,桥梁墩台的废弃,房屋建筑的变形与开裂,以及隧道等地下工程的破坏等等。相反,凡是进行了工程地质勘测工作,对工程地质条件进行了仔细分析,对可能出现的工程地质问题作了深入的研究,结论正确,工程建设就能顺利进行。如在地质条件复杂的断裂地带选择了桥位,架起了桥梁;在软弱土层上盖起了高楼;在沙漠、岩溶地区修建了铁路;等等。因而,在工程建设中,不仅要进行必要的地质工作,为工程建筑的设计、施工提供所需要的地质资料,还应对可能出现的工程地质问题作出正确的分析和判断,以便作出决策或采取相应的工程措施,保证工程建设顺利地地进行。

由上述分析可知,工程地质与工程建筑有着密切的关系,工程地质工作是工程建筑的基础工作。只有掌握了与工程建筑有关工程地质条件的客观规律,才能做到经济合理地进行工程建设。

三、工程地质学的发展状况

工程地质学是在本世纪三十年代前后形成,并在近几十年,随着生产建设的发展,逐渐发展为一门比较成熟的学科。在第廿二届国际地质大会期间,成立了国际工程地质协会,标志着工程地质学科研究有了新的进展。1982年在印度新德里召开的第四届国际工程地质大会,1986年在阿根廷召开的第五届国际地质大会,1987年在我国北京召开的山区环境工程地质国际讨论会,以及1988年在我国成都召开的第三届全国工程地质大会等,均反映了国内外工程地质学的发展现状和方向。

近年来,在国内外,随着大规模工程建设实践,工程地质学的研究有了很大的发展。如大型水电站、大跨度地下洞室、地下油库、水封油库、长大深埋隧道、水下隧道、高大露天矿边坡、高层建筑等的建设,使工程地质学的理论和技术水平有了很大的提高。很多新型工程的建设,又为工程地质工作的发展提出了新的课题,从而建立了一些新的工程地质学的分支。如随着石油及海底矿产开采以及港口工程建设的发展,形成了海洋工程地质学;与工程发展的同时,人类工程活动对自然环境,尤其是对地质环境影响的工程地质评价及其变化的预测,形成了环境工程地质学,等等。

我国大量进行的水电工程建设、长江第一座大型水电工程葛洲坝、黄河上游龙羊峡工程等所累积的理论认识和实践经验,极大地丰富和发展了水利电力工程地质的研究成果。在矿山工程地质方面,许多露天矿采深已达400~500m,所开展的系统的工程地质监测和试验,为保证矿山的安全和多采矿发挥了很好的作用。此外,我国在黄土、红土、膨胀土、冻土等特殊土方面的研究也取得很大的进展,对岩溶地基的塌陷和岩溶洞穴的稳定性评价以及对大型山崩、滑坡等的机理、防治的研究所取得的丰硕成果,充分表明了我国工程地质学科的发展达到了一个新的水平。

四、铁路工程地质的特点及其发展概况

对于铁路建设来说,工程地质工作同样是不可缺少的重要环节。为了保证铁路建设的顺利进行,必须要进行相应的铁路工程地质勘测,查明铁路通过地段的工程地质条件,研究与

铁路建设有关的工程地质问题，为铁路的设计、施工提供可靠的地质依据。例如修建越岭长隧道往往由于地质条件复杂，因而必须进行区域性地质调查，深入研究区域稳定性问题，充分论证所有可能方案的工程地质条件，才能选择出合理的隧道位置。又如关于铁路路堑边坡的稳定性问题，边坡过陡，可能造成边坡滑塌，不稳定；边坡太缓则增大工程量，造成浪费。而边坡的稳定性与边坡的地貌形态、岩性、地质构造以及水文地质条件等都有着密切的关系。因而必须进行工程地质工作，查明边坡的工程地质条件，才有可能对边坡的稳定性作出正确的评价，达到为铁路路堑边坡的设计、施工提供可靠地质依据的目的。

铁路工程地质工作，除了如上所述，与其它工程建筑一样，需要对它的建筑场地的工程地质条件进行评价，解决与其有关的工程地质问题外，还有与其它一些工程建筑所不同的特点。例如水坝坝址方案的比选，可能由于地质条件的优劣而决定其取舍。但铁路工程却是一带状建筑物，它的选定是按照起迄点位置，根据政治、经济、国防等的要求，结合线路通过地区的自然条件和设计线路的主要技术标准来确定的。工程地质工作多是在已限定的地段内，为某项工程提供必要的地质依据，对可能出现的地质问题作出正确的评价。因而，除因地质条件不良，可对某些地段的局部线路方案加以变动外，一般说来，很难完全按照工程地质条件的优劣来取舍整个线路的方案。此外，正是由于铁路是一带状建筑物，穿越不同地质地段，常会遇到各种各样的地质问题。可能出现在软土上筑路，在易坍滑的膨胀土中开挖边坡，在破碎带中修筑隧道，在溶洞上浇筑桥基，在滑坡地段修建路基，在泥石流地带架设桥梁等等。有时明知地质条件不良，也要采取措施使线路通过。表明铁路工程地质工作所遇到的地质现象和工程地质问题的类型更加广泛，因而要求铁路工程地质工作应该具有识别和解决各种复杂工程地质现象和问题的水平。也就是说，只有铁路工程地质工作具有较高的科学技术水平，才能适应铁路建设事业及其发展的需要。

随着铁路建设事业的发展，铁路工程地质科学、技术得到了相应的发展。我国早在本世纪初期即进行了原平汉铁路新黄河大桥的地质钻探，1929年由前北平地质调查所进行了京粤等线的沿线地质调查。但是正规的铁路工程地质体制的建立和系统的工程地质工作的开展还是在解放后的1952年才开始。通过宝成、鹰厦、外福、丰沙、川黔、成昆等山区铁路以及其它铁路线建设的经验教训，不仅把工程地质工作列入到铁路勘测设计中，作为组成部分，并划分了与线路勘测相适应的工程地质勘测阶段，形成了比较合理的一整套勘测程序和勘测内容，为铁路建设的顺利进行发挥了重要的作用。在1986年出版的《铁路工程地质技术规范》，又首次对施工工程地质和运营中的工程地质工作的任务和要求作了明确的规定，从而，进一步完善了铁路工程地质工作的组成环节。

在工程地质勘测工作中，除已采用航片判释外，近几年来又应用了航空、航天遥感技术。在勘探测试手段方面，不仅有了各种型号的钻探机具，包括多种方法的地球物理勘探技术也有了很大的发展，运用综合物探，大大提高了解释水平。原位测试已在逐步推广；电子计算机技术已有了较为广泛的应用。1949年以来，我国修建了约三万公里的铁路。随着铁路建设事业的发展，特别是山区铁路的建设、特殊地质地段的铁路建设，铁路工程地质工作取得了很大的成绩，总结了丰富的经验，在理论和技术方面都有很大的提高。例如称为“地质博物馆”的成昆铁路，纵贯横断山断裂构造带，地质条件复杂，地面灾害严重，但这条铁路结合地质条件选线，保证了铁路的顺利建成；我国最长（14.295km）的大瑶山双线隧道，遇到了大的断层，岩石破碎，沿断层地下水比较发育，但是，由于重视工程地质工作，并开展了施工地质预报，克服了施工中的困难，于1987年胜利建成；对山区地质病害如滑坡、崩塌

的分析与处理,在岩溶、泥石流、风沙地区线路位置的选择和病害的防治,以及在黄土、盐渍土、膨胀土、软土和冻土地区的铁路建设,都有着独特的经验;长江几座大桥桥址工程地质勘测的顺利完成,表明在桥梁工程地质勘探和桥基地质条件的分析与处理方面均具有优良的技术能力。

铁道工程学会工程地质与路基专业委员会每年举行一次年会,并组织进行铁路系统在地质和路基方面的学术交流;1986年建立的铁路地质和路基工程科技情报中心,担负着组织并交流铁路地质路基科技动态和情报信息的任务;各铁路设计院、工程局、铁路局的地质部门,铁道科学研究院及其西北研究所和西南研究所以及西南交通大学的工程地质专业,都分别肩负着铁路工程地质的勘测、研究和相应的人才培养的任务。所有这些,都为铁路工程地质科技事业的发展发挥了积极的作用。

根据国家对“八五”期间要加强交通、能源建设的决策,铁路工程地质科技事业必将会得到更大的发展。

五、本课程的基本内容及其在专业培养中的作用

本课程的系统,是在阐述工程地质学主要工程地质问题的一般分析原理和方法的基础上,力求与铁路工程建设的实际需要紧密结合,为研究和评价有关铁路工程地质问题提供理论的依据和分析的方法。

课程的基本内容包括区域稳定问题的研究,不良地质的工程地质研究,特种土的工程地质研究和铁路主体建筑的工程地质研究四个部分。

由于铁路建筑延伸很长,在方案选择和工程建筑的修建,特别是大型建筑物如大桥、长大隧道等位置的选择和建筑设计,都需要考虑与区域稳定性有关的地震、活断层等问题。了解它们的规律性及其与铁路等工程建设的关系,这对于评定工程建筑场地的稳定性及其对工程建筑物的影响具有重要的意义。

不良地质现象如崩塌、滑坡、泥石流、岩溶等是工程建设,特别是山区铁路建设中经常遇到的地质问题。在我国西北和华北还分布有广大的沙漠,风沙对铁路建设也具有很大的危害。因此,研究这些不良地质现象的特征、形成机制和发展规律,是正确认识不良地质的特征,合理采取工程措施的重要基础。

我国地域辽阔,在一些地区分布着具有特殊性质的土层,如黄土、盐渍土、膨胀土、软土、冻土等。研究它们的成因和地质特征、工程地质性质及其评价方法,以及主要的工程地质问题和相应的工程措施,以便合理确定在特殊土地区进行工程建筑的方案。

铁路主体建筑的工程地质研究,对与路基、桥梁和隧道等主要铁路建筑物的设计、施工和运营有关的工程地质条件进行分析和论证,研究边坡、桥基和洞室稳定性的定性和定量评价,以及相应的勘测方法。这些内容对于正确进行铁路建筑物的设计和施工,保证建筑物的稳定和运营的安全都有着密切的关系。

本课程是与铁路建设有关的工程地质专业中的一门专业课。上述课程内容表明,本课程是把地质学科与工程学科密切结合,把工程地质学的基本原理和分析方法与铁路工程建设实践紧密联系的一门应用学科。因此,通过学习、了解有关的工程地质问题,认识它们的发生、发展规律,掌握分析和评价的方法,是工程地质专业的重要学习内容,更是进行工程地质研究,解决铁路工程地质实际问题必不可少的一门基本理论和专业知识。

第一篇 区域稳定问题的研究

进行工程建设，需要考虑建筑场地的区域稳定性问题。其中，地震、活断层的特性及其有关的基本地质条件与工程建设场地的稳定性和建筑物的安全有着极为密切的关系。铁路是一带状建筑物，穿过不同工程地质条件的地质地段，遇到许多构造断裂带，因而在方案选择和工程建筑物的修建，不论路基、桥梁或隧道，特别是深路堑、高路堤、大桥、长隧道的位置选择和设计，都需要了解该地区地震和所遇到活断层的特点，及其活动规律，以便正确评定工程建设场地的稳定性及其对工程建筑物的影响。

第一章 地 震

第一节 概 述

地震是由于地球内动力作用而发生在地壳表层岩石圈内的一种快速颤动现象，它是当前地壳运动的一种特殊形式。由于地震的作用，不仅使地表产生一系列地质现象，如：地表隆起，山崩滑坡、喷水冒沙等。而且引起各类工程结构物的破坏，如房屋开裂倒塌、桥孔掉梁、墩台倾斜歪倒等。

当组成地壳的岩石在地球内力作用下，产生构造运动而发生弹性应变，岩石以弹性应变的形式把应变能量积蓄起来，而一旦超过岩体弹性变形极限强度时，岩体就会发生剪切破坏或沿原有的破裂带（面）重新发生错动（滑移），这时积蓄的应变能突然释放，并以弹性波形式传播出去而引起地震。

在地壳内部或地幔中发出振动的地方叫震源，震源在地面上的垂直投影为震中，震源到震中的距离称为震源深度。按震源深度地震可分为如下三类：①浅源地震（小于70km）：这种地震多发生在地质构造活动区域，常为严重灾害地震，我国地震也多数是这种地震；②中源地震（70~300km），多发生在历史上曾经活动的区域，特别是第三纪以来地壳活动的区域；③深源地震（大于300km），这种地震与地质构造一般没有什么关系。地震按其成因又可分为构造地震，火山地震和陷落地震。其中构造地震由于分布广、震级高、常给人类带来巨大灾害，所以在工程地震研究中也以构造地震为主。此外，还有由于人类活动引起的地震，如：水库蓄水、大级量的爆破和深井注水等人为原因引起的地震，它影响区域较小，震级不高，因而破坏性也较小。

我国是个多地震国家之一，处于世界两大地震带之间（东临环太平洋地震带、南北接欧亚地震带），地震是相当强烈的。据全国地震烈度区划图，烈度在Ⅶ度以上的地震区，各大区都有广泛分布，约占全国面积的一半以上。在这些地区，地震常给人民生命财产带来不同

程度的危害。如：1556年1月23日陕西关中大地震，是我国历史上大地震之一，波及七省区185个县，据历史记载：“秦晋之交，地忽大震，延及千里，川原折裂，郊墟迁移……军民被害，其奏有名者，八十三万有奇，不知名者复不可数计”。1920年12月16日宁夏的海原地震，为8.5级，震中烈度高达Ⅸ度，波及了甘、陕、晋、冀、鄂、川等十二个省区，地震时六盘山地区村镇被掩埋，地面或成高陵或陷深谷，山崩地裂，地下水涌，海原、固原等四城镇全毁，全区因地震死亡者达20余万。1927年5月23日甘肃武威大地震，造成祁连山雪崩，杂木河被山崩堵塞，雪融积水成湖泊，6月17日湖水决口成灾。据统计我国本世纪截至1976年共发生6级以上地震490次，其中8级（或接近8级）以上的14次（表1—1），说明了我国是一个多地震国家。本世纪60、70年代发生的邢台、昭通、海城、甘孜、唐山和近几年相继发生的菏泽、乌恰、澜沧—耿马、巴塘、小金及1989年10月19日山西大同与河北阳原之间的6.1级地震等，都造成严重的破坏，损失是巨大的。这充分说明，在我国四化建设中对地震问题给予足够重视是完全必要的。

本世纪8级（或接近8级）地震情况

表1—1

序	地震时间	地震地点	震级	序	地震时间	地震地点	震级
1	1902.8.22	新疆阿图什	8.3	8	1947.3.17	青海达旦	7.8
2	1906.12.23	新疆马纳斯西南	8.0	9	1950.8.15	西藏察隅	8.5
3	1910.4.12	台湾基隆东北	7.8	10	1951.11.18	西藏当雄	8.0
4	1920.6.5	台湾花蓮东南海中	8.0	11	1970.1.5	云南通海	7.7
5	1920.12.16	宁夏海原	8.5	12	1972.1.25	台湾新港海中	8.0
6	1927.5.23	甘肃古浪	8.0	13	1973.2.6	四川炉霍、甘孜	7.9
7	1931.8.11	新疆富蕴	8.0	14	1976.7.28	河北唐山	7.8

注：资料统计截至1976年底。

地震对工程建筑物的破坏，造成生命财产的损失，主要是由于房屋的倒塌，大型建筑物的破坏，大规模的崩塌滑坡而造成的。所以地震已成为工程地质研究对象。在工程地质工作中，将着重研究作为防震设计依据的地震烈度以及工程地质条件对地震烈度的影响，不同烈度下建筑场地的选择及地震的工程地质评价等问题，为不同的地震烈度区的建筑物规划及建筑物的防震设计提供依据。

第二节 地震的基本知识

一、地震波

地震所产生的震动是以弹性波的形式传播出来的，这种弹性波称为地震波。地震时通过地球岩体传播的波称为体波，体波经过折射、反射而沿地面附近传播的波称为面波。面波是体波形成的次生波。体波可分为纵波（P波）和横波（S波）两种。

纵波又叫疏密波，是由介质体积变化而产生，并靠介质的扩张与收缩而传递，传播的方向与质点的振动方向相一致。由于质点开始简谐运动的时刻先后不一，故在某一瞬间它沿波的传播方向形成一疏一密的分布。其振幅小，周期短，传播速度大约为每秒5~10km。

横波又叫扭动波。是介质形状变化反映的结果，质点的振动方向与波的传播方向互相垂直，各质点间发生周期性的剪切振动。其振幅大，周期长，传播速度较小，平均每秒3~

5km。

由于纵波是压缩波，所以可在固体介质或液体介质中传播；而横波是剪切波，所以它不能通过对剪切变形没有抵抗力的液态介质，只能通过固体介质。当 $\mu=0.22$ 时（ μ 为泊松比），纵波 V_p 与横波 V_s 有如下关系：

$$V_p = 1.67V_s \quad (1-1)$$

所以地震仪器记录地震波时，振幅小，速度快的纵波先记录到，因而称其为初波。振幅大，速度慢的横波因稍后测得，故又称为次波。

面波是由于体波到达地面后激发的次生波，仅限于地面运动，向地面以下迅速消失。它又分为瑞利波和勒夫波两种。瑞利波是质点在与平行传播方向相垂直平面内作椭圆运动的波，其长轴垂直地面，在地面上呈滚动形式，而在水平方向没有振动。勒夫波则只在传播方向作相垂直的方向运动，也就是地面的水平运动，或者说它的前进在地面上呈蛇形运动形式。

综上所述，地震波的传播以纵波速度最快，横波次之，面波最慢。如：在一般情况下，瑞利波的速度： $V_R = 0.914V_s$ 。一个地震波记录图或地震谱最后记录的总是传播速度最慢，

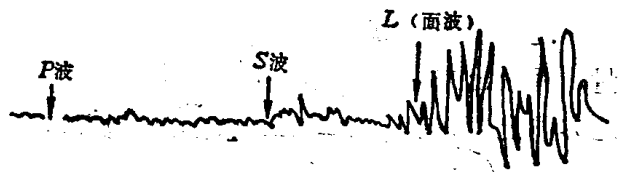


图 1—1 地震波记录

振幅最大，波长周期最长的面波。典型的地震记录图如图 1—1 所示。因而，一般情况是当横波和面波到达时，地面发生猛烈振动，建筑物也通常都是在这两种波到达时开始破坏的。

二、地震成因

地震成因的研究直接关系到地震的预报、地震控制、地震震级以及防震抗震设计等问题。关于地震研究所涉及到的内容很广泛，如地震能量的来源、能量的积累条件、地震的震害形式以及震后的能量再积累及其转移等问题。

断层说（弹性回跳说）是1911年美国地震学家里德（H·F·Reid）根据1906年美国圣安德烈斯断层突然发生错动，产生了8.3级地震提出的。他主要根据地震前后三次大地测量资料，地震后圣安德烈斯断层所发生的错动幅度达7m左右，破裂长度达430km等情况的分析认为：由弹性岩体组成的地壳，当地壳运动时可使岩石产生应变，这种应变能在断层及其附近岩体中长期积累，当应力在某处达到岩体的破裂强度（断层破碎带的破裂强度）时，断层两侧岩体就要发生突然破裂滑动，把应变能以摩擦热能、岩石破裂机械能及弹性波动等形式释放出来，由此产生辐射地震波，发生地震。之后，断层两侧岩体重新处于新的平衡状态。

我国已发生的7级或7级以上的地震80%以上都与大断裂有关，如1970年1月5日云南通海发生的7.7级地震，在地面形成了走向 $N69W$ ，长约60km的大断裂，和原曲江断裂一致，说明地震是原曲江断裂活动的结果。又如1973年2月6日四川的炉霍、甘孜地区的7.9级地震，造成的裂缝长达100余公里，与原鲜水河断裂吻合。1923年日本的关东8.3级大地震、1960年5月智利的地震也都和断裂活动有关。

1931年日本学者提出的岩浆冲击说认为：地壳深部岩浆的物理化学变化（化学能、热能和动能），使岩浆具有向外扩张力而冲入地壳岩体的软弱地段，以强大的力量挤压和冲击围岩，使它破坏或运动而产生地震。我国云南西南部腾冲的地震活动，有人认为可能与地下岩浆活

动有关。

1963年新西兰学者爱维森 (F.F. Evion) 提出的相变学说认为：处于高温、高压条件下的深部物质，从一种结晶状态突然转变为另一种结晶状态，在这个过程中伴随着密度的变化而引起物质体积的改变（突然扩张或缩小），从而使周围岩体受到快速压力或快速拉力而产生地震。

但岩浆冲击说和相变说没有得到进一步的论证和广泛应用。

第三节 地震震级和地震烈度

一、地震震级

地震震级 (M) 是表示地震本身大小的尺度，以在地震过程中释放出来的能量总和来衡量，释放出来的能量愈大则震级愈高。由于一次地震释放出来的能量是固定的，所以在任何地方测定，只有一个震级。实际测定震级时，由于很大一部分能量已消耗于地层的错动和摩擦所产生的位能及热能，因而人们所能测到的主要是以弹性波形式传到地表的地震波能。一般则是根据这部分能量来推算地震震级或强度的。释放能量的大小是根据地震波记录图最大振幅来确定。震级的原始定义是1935年李希特 (C.F. Richter) 给出的。震级 (M) 是指距震中100km的标准地震仪（周期0.8s，阻尼比0.8，放大倍数2800倍）所记录的以微米表示的最大振幅 (A) 的对数值，其公式为：

$$M = \log A \quad (1-2)$$

实际上距震中100km处不一定设有地震仪，即使有地震仪也不一定采用那种标准地震仪，这时需要修正才能求出地震级。

根据我国常用的地震仪器，按规定计算近震（震中距 $\Delta < 1000\text{km}$ ）用体波震级 (M_L)，其公式为：

$$M_L = \log A_s + R(\Delta) \quad (1-3)$$

式中 M_L ——近震体波震级；

A_s ——水平向最大地动位移 (μm)。其值为最大单振幅除以地震仪的放大倍率；

$R(\Delta)$ ——起算函数。随震中距而变，由于各种仪器常数不同略有所异，可由相应的表中查得。

远震（震中距 $\Delta > 1000\text{km}$ ），我国采用面波震级，其经验公式：

$$M_s = \log \left(\frac{A_s}{T} \right)_{\max} + \sigma(\Delta) + C \quad (1-4)$$

式中 M_s ——面波震级；

A_s ——最大地动位移值 (μm)；

T ——被测的面波周期 (s)；

$\sigma(\Delta)$ ——面波起算函数（可查表）；

C ——台站校正值（可查表）。

我国地震部门为统一起见，规定以面波震级为标准，用 M_s （或 M ）表示。近震体波震级换算成面波震级公式如下：

$$M_s = 1.13M_L - 1.08 \quad (1-5)$$

震级与震源释放能量大小有关，震级（ M ）与地震释放能量（ E ）之间有如下关系：

$$\log E = 11.8 + 1.5M$$

(1—6)

式中 E ——震源释放能量（ 10^{17}J ）。

震级和能量是对数关系，震级增大一级，其能量约增大32倍。地震释放的能量是相当大的。如一次8.5级地震，其能量为 $3.6 \times 10^{17}\text{J}$ ，它相当于一个100万kW发电站连续10年发出电能的总和。一个氢弹爆炸释放出的能量约为 $4 \times 10^{16}\text{J}$ ，略等于一个8级地震的能量。

一般说，小于2级的地震人们是感觉不到的，只有通过仪器才能记录下来，称为微震；2~4级地震，人们可以感觉到，称为有感震；5级以上引起不同程度的破坏，称为破坏性地震；7级以上称为强烈地震。现有记载的地震震级最大没有超过8.9级的，这是因为超过8.9级时，岩石强度便不能积蓄弹性应变能的缘故。

二、地震烈度

地震烈度是指地面及各类建筑物遭受地震破坏程度。地震烈度的高低与震级的大小，震源的深浅、震中距离、地震波的传播介质以及地震区地质构造有关。如一次地震，距震中远的地方，烈度低；距震中近处烈度高。又如：相同震级的地震，因震源深浅不同，地震烈度也不同，震源浅者对地表的破坏就大。如1960年2月29日非洲摩洛哥临太平洋游览城市阿加迪，发生了5.8级地震，由于震源很浅（只有3~5km），在15s内大部分房屋都倒塌了，破坏性很大。而震源深者相对破坏性小些。

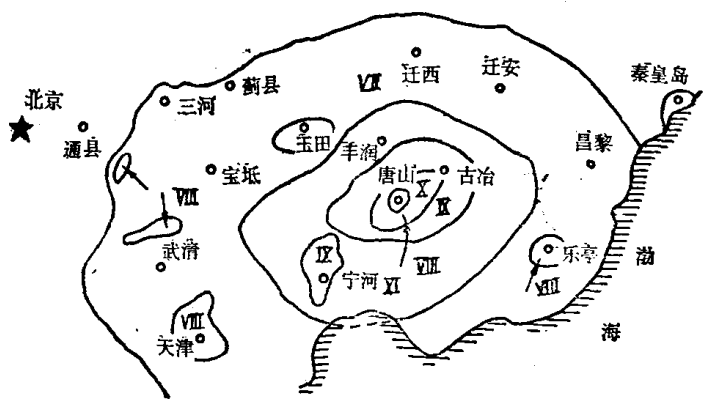


图1—2 1976年唐山7.8级地震等震线

由此可知，一次地震只有一个相应的震级，而烈度则随地方而异，由震中向外烈度逐渐降低。在地震区把地震烈度相同的点用曲线连接起来，这种曲线称为等震线。等震线一般围绕震中呈不规则的封闭曲线，（图1—2）。震中点的烈度称为震中烈度。对于浅源地震，震级与震中烈度大致成对应关系，可用如下经验公式和表1—2表示。

震中烈度与震级大致对应关系 表1—2

震 级（ M ）	2	3	4	5	6	7	8	8以上
震中烈度（ I ）	I ~ II	III	IV ~ V	VI ~ VII	VII ~ VIII	IX ~ X	XI	XII

$$M = 0.58I + 1.5$$

(1—7)

为了表示地震的影响程度，就要有一个评定地震烈度的标准，这个标准称为地震烈度表，它把宏观现象（人的感觉，器物反映、建筑物及地表破坏等）和定量指标，按统一的标准，把相同或近似的情况划分在一起，来区别不同烈度的级别。目前世界各国所编制的这种评定地震烈度的标准即地震烈度表不下数十种。多数国家采用划分为12度的烈度表，如我国、美国、苏联和欧洲的一些国家；也有些国家采用10度的，如欧洲的一些国家；而日本则采用划分为8度的地震烈度表。现有的各种地震烈度表，多数是以宏观描述为主，缺少定量指