

世界工程勘察史例

[英] J. G. C 安德逊
C. F 特里格

地 质 出 版 社

世界工程勘察史例

[英] J.G.C. 安德逊 著
C.F. 特里格

王德林 卓明葆 译

李树勋 校

地质出版社

本书作者搜集了英、美、法、意大利、苏联、澳大利亚、加拿大等三十余个国家和地区的水坝、水库、隧道、桥梁、公路、铁路、建筑物、港口及矿井等各类较大工程（共112项）的工程地质资料，介绍了工程的概况和工程地质勘测成果，分析了工程成败的原因，并提出了作者的论点。

此书可供广大工程地质人员，有关专业的设计、施工人员，以及地质、建筑院校的师生参考。对环境保护研究人员也有参考价值。

世界工程勘察史例

J.G.C.安德逊 著
〔英〕 C.F. 特里格

王德林 卓明葆 译 李树勋 校

*

责任编辑：左全农

地质出版社出版

（北京西四）

妙峰山印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本：850×1168 $1/32$ 印张：61/4 字数：163,000
1986年2月北京第一版·1986年2月北京第一次印刷

印数：1—2,710册 定价：1.80元

统一书号：13038·新189

译 者 的 话

此书列举了世界上112项较大工程的工程地质勘察实例。这些实例丰富了在各种地质条件下进行工程建设经验。作者力图从工程特点与地质条件相结合的角度,分析每项工程成败的原因,指出工程地质条件对建筑物结构、工程选点(或选线)方案的影响,以及人类的工程活动对周围环境的影响。这些工程实例进一步说明了,在工程活动中设计人员与工程地质人员相互协作的重要性。

此书据俄文版《Интересные случаи из практики Инженерной геологии》译出,由李树勋副总工程师用英文原版《Case-Histories in Engineering Geology》校审。在译、校中发现,俄译本有多处错误,均已改正。

在翻译过程中曾得到方钜副总工程师的大力协助,书中插图由潘焕良、陆健祥同志描绘,在此一并表示衷心感谢。

译者

KAC 18/08/2

前 言

工程地质学是近十年来发展最快的实用学科之一。在技术方法上，实践者从个人的经验中得到提高。但是，对一个人来说，要获得多方面的实践经验是不容易的。本书描述的112种地质条件，几乎涉及了民用建筑工程的所有类型，遍及除南极洲以外的所有大陆。这些资料可用作工程地质学（现在已列入自然科学和高等建筑学校的教学大纲中）的讲课实例。

现在已越来越明显地看出，作为建筑工程的环境不仅要考虑美学布局的和谐，同时还要考虑物理布局；而这种物理环境在很大程度上取决于地质因素。在所列举的实例中，有很多是这方面的成功例证；而另外一些，则是不成功的，甚至造成了灾难。后一种情况又多是由于忽略地质特征而引起的。

本书在简述了历史概况之后，对地质工程师的作用及其应用的方法做了简要的评论。在叙述过程中，注明了援引的参考文献。地层表的基本特征（主要的地质系统）列在第一章末尾。

在第二至第七章中，每章分别阐述了一种工程类型，实例按时间顺序排列。这样，可以看出勘察、施工技术和方法随时间的进展，其中也包括了一些有益的历史实例。

考虑到世界舆论的要求，在第八章中叙述了南威尔士（阿别尔方）及其邻近地区煤矿上部煤矸石堆的滑坡。

现在，全世界都采用公制单位。但是，如果工程是在以前进行的，则仍保留用英制单位。在这种情况下，主要数据以公制注明。相反，如开始用的是公制，则注明英制^①。

作者对被咨询的工程师、设计师和提供必要资料的地方政府，以及对书中各节提供宝贵意见的工程及地质专业的同事们，致以深切的谢意。对插图的来源，在相应处均做了说明。

① 本书中的单位不统一，已按我国法定计量单位做了处理，在第一次出现时加了脚注。——编者注

目 录

前 言

第一章	工程地质发展史和工程地质工 作者的作用.....	(1)
第二章	水坝和水库.....	(18)
第三章	隧道、竖井和地下洞室.....	(61)
第四章	桥梁.....	(92)
第五章	公路、铁路和飞机跑道地基.....	(106)
第六章	建筑物地基.....	(121)
第七章	港口和其它岸边构筑物.....	(153)
第八章	南威尔士煤矸石堆的塌陷.....	(182)

第一章 工程地质发展史和工程地质工作者的作用

1.1 建筑工程的诞生

早在公元前很久，随着人类最初的大规模定居而诞生了建筑工程。按其目的、时间和规模可与现代工程相比拟 (Forbes, 1964/1965)。约在公元前2400年，曾开凿了基格尔 (Tigris) 和叶美拉特 (Euphrates) 之间的隧洞。由于基格尔地区水位的季节性抬高早于叶美拉特地区，因而增加了灌溉用水量。公元前1900年左右，从巴列斯金 (Palestine) 的盖基尔 (Gezer) 亦曾修筑了一条地下隧洞，将泉水引向城堡建筑物。与此同时，阿尔明尼亚人学会了建造地下水渠。在公元前六世纪，这种技术在中东地区得到广泛应用。

在波斯 (Persia) 建有地下水灌渠的综合系统。希腊人利用虹吸原理，建成了一条包括经萨摩斯 (Samos) 的1000m长(3280英尺)的隧道在内的很长的渡槽。

古代，在南印度和锡兰曾修建了高坝水库；锡兰于公元前494年修建的“巨大贮水池”占地223平方英里^①，其面积相当于日内瓦湖的总面积。所有这些工程，以及许多其它古代的工程均用于保证农业灌溉和居民用水，属当今的社会性工程。

用于防御的许多重要建筑物中，最令人钦佩的是公元前三世纪修筑的长1500英里的中国万里长城。宗教和声誉则是建造工程的另一个目的。埃及的金字塔，主体工程建于公元前2700~2300年，同时还建成了吉萨 (Giza) 的巨大狮身人面像 (Great Sphinx)。这些名胜古迹需要采集大量石料进行加工和运输，在设

① 1英里等于1.6093km。——编者注

计建造中采用了先进的技术工艺。

在希腊技术发展的同时，罗马人在工程中也掌握了很高的技艺，靠战争取胜的掠夺和捐税提供资金。事实上，从他们的观点看，建造各类建筑物是为了满足人们的生活、交通和娱乐演出的需要。为解决城市供水，采用了长而复杂的引水管道系统；其中，一部分穿过地下隧洞，另一部分为跨过河谷的长渡槽。最使人们惊叹的是法国普罗旺斯的蓬特—加尔（Pont du Gard）三层渡槽。该渡槽建于公元前一世纪，长275m，高49m。在罗马，曾精心设计建造了带有3.6m拱形顶的排水系统；当时，它被称为最大的下水道。这个下水道一直使用到现在。

在罗马的道路系统中，使用了短隧道。例如，建于公元前七十八年的亚平宁山脉中的弗洛（Furlo）通道。罗马市民为摆脱政治而转向娱乐生活，曾建造了庞培（Pompeii）娱乐场。公元前八十年建成了罗马圆形剧场；该剧场可容纳五万观众。在罗马人征服地区的驻防领地，如法国南部的阿尔（Arles）及南威尔士的格温特（Gwent）的卡尔莱昂（Caerleon），修建了较小的竞技场。

在欧洲，到十八世纪末，大部分建筑工程没有达到罗马建筑的质量与规模。除建造中世纪的教堂和城堡外，在工程地质与建筑学发展史上具有重大意义的还有一些中世纪的桥梁、港口及岸边建筑物。

1.2 地质科学的诞生

建筑工程已具有四千多年的历史，而地质科学的历史还不足二百年。然而，古代和中世纪的建筑工作者与矿业工作者不得不对与他们有关的地层作了大量的研究。古代技师通过尝试与失误，学到了工艺知识，积累了地质资料。但是，这些知识还不能系统地认识自然界及地球表层结构，也不能为发展基础研究方法起到实际应用的效果。

当时的文字材料表明，十八世纪初期，通过矿工、技师、自

然科学工作者及地理学者的活动，取得了大量的地质知识，提供了地质科学发展的基本材料。1795年，詹姆斯·赫顿（James Hutton）发表了题为“地球理论”（带例证和插图）一文，用现代概念确立了地质科学。之后的五十年，这门新兴科学很快发展起来了。伴随着工业革命，建筑工程、矿山开发事业也相应地飞速发展起来。大规模的建筑工程，如运河、港口、铁路都提供了大量的地质资料。土建工程师威廉·史密特（William Smith）（1769~1839）是继赫顿之后，在地质学方面取得重大进展的人。他编制了一幅英国地质图，出版于1815年。更重要的是他认识到化石的重要意义，并确定其为地层学的基础。他把地层学作为地质学的一门分支，较其它手段更能了解地壳的构造及发展历史。1835年，大不列颠岛地质调查所（现属地质科学研究所的一部分）扩大了地质测绘的范围。

十九世纪地质知识的飞速发展，促进了新技术的建立，并且吸收了其它学科的方法。其中最重要的是对矿物和岩石切片的显微镜研究。

1.3 1920年以前的工程地质学

早年，矿工和建筑者们确实象运用自己的技艺一样，利用了地质知识。例如，在波斯由同业工会组成的一个团体，经常在含水的岩层中埋设基础。许多大教堂和城堡的位置选择得很好，即使用现代勘探方法在几英里内也很难选出更好的位置来。但从另一方面说，由于缺乏地质知识，必然导致早期的许多不必要的重大损失。而这些失败，甚至是灾难却很少有记载。这是不足为怪的。1802年，西班牙普恩特斯（Puentes）水坝就是一个失败的例子（见2.1节）。由于未充分估计地基条件，中世纪的比萨塔建筑吸引旅游者的数量，却比其它完全成功的建筑的观赏者还要多（见6.1节）。现代研究表明，建于1370年的发生倾斜而未倒塌的比萨斜塔，完全与地下软弱夹层的存在有关。

十九世纪初叶，地质科学基础理论的出现，大大地提高了地

质学对建筑工程的实用价值。威廉·史密特不仅推动了地质科学的向前发展，而且还为工程师和其他人员阐明了与地表现象有关的地质测绘技术的重要意义。随着地质调查所的成立，地质图的编制亦日臻完善。

出现在十九世纪末和二十世纪头20年的建筑工程表明，许多工程师从地质图、一些出版的资料以及所提供的专门报告中得到了地质资料。尽管如此，矿业部门系统利用地质科学仍早于建筑部门。土建工程技术人员在这段时期内，只有在较大的工程动工之前才需要地质报告，并应用一些地质知识。事实上，直到二十世纪，有一些工程师还倾向于把地基分为土壤与岩石两类，地基无论如何需是岩石，才能被认为是稳定的。然而，另外一些工程技术人员则在十九世纪末和二十世纪初就已从所掌握的大量地质知识中得到益处。季康（Deacon）所建造的维尔努伊（Vyrnwy）水坝就是一个例子（见2.2节）。

为了取得直观的资料，工程技术人员进行了坑探和槽探。十九世纪有许多工程技术人员利用掘井这一古代技艺，勘探到相当大的深度。早在二千年前，中国就以利用手摇钻探的方法而闻名。在十九世纪末，机械钻探得到很大发展，并为土建工程师进一步利用。当时，勘探钻孔比现代所采用的数量要少得多。在非常重要的工程中，如隧道的掘进，也只有很少数量的钻孔，有时甚至根本不钻探。1913年，在修建洛兹别尔格（Lotschberg）隧道（瑞士）时，由于缺乏钻探资料，造成了事故（见3.3节）。

第一次世界大战和其它战争一样，刺激了技术的发展，但对工程地质发展的影响并不明显。英国皇家军事工程师利用了航道工程中所获得的地质知识。但这仅是地质人员参加军事工程建设的一次初步尝试。

1.4 1921~1950年期间的工程地质学

这个时期是工程地质学发展的重要时期。制定了在各种复杂情况下进行大型工程设计所通用的规范。规范要求预先进行钻探，

或通过其它方法获得建筑场地的更完整、更详细的地质构造资料。在综合的地质工作中，还包括工程施工期间的地质监测工作。强调这一工作的主要原因之一是，工程造价和劳动定额的大幅度提高。现在，在劳动定额消耗不大的情况下，已完全可以预测土方工程量。另一个重要原因是，水坝工程的规模扩大了。在出现了一系列的重大事故后，已明显看出对水坝坝址进行全面研究的必要性。在两次世界大战之间，水坝工程建设的工作是最紧张的。由于工业与生活用水需求的迅速增长，在许多国家大力兴建了水利工程。

在勘探中，大量采用了钻探。在建筑工程中开始采用了新技术，特别是地球物理方法，如地震勘探及电法勘探等。土力学和岩石力学的理论及其应用，也很快地发展起来（见1.7节）。1948年出版了“地质技术”杂志。

在第二次世界大战期间，工程地质的应用比第一次世界大战期间要广泛得多。在英国皇家陆军工程兵队伍中建立了一个地质机构，专门研究重型军事装备如何通过不同类型土壤地区，以及在西部沙漠地区利用地下水解决军队供水的可能性。在英国利用地质资料来规划建设新飞机场、地下军事工程，以及利用地下水解决军队的供水问题。上述工作的绝大部分是由地质部门完成的。

1.5 1950年以后的工程地质学

1950年以后的四分之一世纪（1950~1975年），工程地质学（包括土力学和岩石力学在内）成为应用科学中发展最快的一门学科（Krynine, Judd, 1957）。对于从事市政建设（设计、咨询、规划）的所有机构，都需要预先对地质报告进行研究。不仅在大型设计中，而且也在水坝、隧道、公路、城镇等建设中，这已成为一条规定。这些地质报告有时由地质工作者的所在单位编写，但大部分是由专门咨询机构（一般是大学工作人员）或专门从事建筑工程勘探的单位（或商号）负责编写。国家地质部门将

搜集来的地质资料作专门分类，以便供各部门更好地利用。在英国地质部门（后为地质科学研究院的一部分），工程地质的应用在不断扩大。例如，战后年代通过的关于开发苏格兰水电资源的决议，苏格兰地质部门就专门为此准备了详细的地质报告。1967年，地质科学院成立了专门的工程地质分部。两年前，长期从事地质理论研究的伦敦地质学会成立了工程小组，并从那时起创办了专业杂志。

1.6 工程地质学的现代概念——环境协调

任何人类活动，不论在地球表面还是在地下，都能引起周围环境的改变。周围环境的概念包括该地段的生态学（其中一部分也包括人类本身）及其外部影响。但如从安全的角度出发，则在市政工程中应特别注意对周围环境影响最大的地质因素。地质因素中最重要的是在建筑物的规划及使用期间，能影响其发挥正常作用的因素。建筑物本身的强度只有建筑工程师能够保证。地质工程师的主要任务是搜集和评价涉及地质介质的稳定性资料，并估计到这些介质在人类工程活动影响下的变化。由于人类活动引起介质的变化程度可从极小（在建造非大型建筑物情况下）到极大（在建造水坝或在山坡上进行大量的土方工程）。在地质的时间尺度内，任何一个地段都可以认为是不稳定的，即强调地质过程的作用。在历史的时间段内，有些地方，从地质的角度来看，可以认为是稳定的；而另一些地方，则是不稳定的，它们经受了短期地质作用的影响。根据地质稳定性，可将地基分类如表1-1。

地质工程师的责任在于对不同类型地段等量齐观，估计到一种类型可能转换成另一种类型，并且可以将占地很大的建筑物的不同部分配置在不同条件的地段上。

除对于自然情况稳定性有影响的地质因素外，水文地质因素的相互作用也是极其重要的。建筑工程可以在很大程度上改变地表水和地下水的动态（见2.17节），从而可以引起自然环境的改变。例如，建筑工程的大量发展可以妨碍大气降水对含水层的补给，

表 1.1

地 区 类 型	举 例
很稳定的，被任何形式的工程破坏其平衡性的可能性是极小的	块状岩浆岩(图1.1)或变质岩或由水平产状的坚硬沉积岩构成的平地
在自然条件下稳定的，但其稳定性可能被某种工程或不适合的建筑结构所破坏	沉积岩的斜层(图1.2)。不致密，但相对稳定及坚硬的陆相沉积
不稳定的，其不稳定性有限度，合理的设计可以控制	软弱土层或高压缩性粘土；受滑坡与塌方威胁的山坡，或小规模的滑坡(图1.3)。洪水淹没区及侵蚀地带(图1.4, 1.5)
极不稳定和特别危险的，用现代方法无法监测，或代价太高的	巨大滑坡体、现代冰川区(图1.6)，经受强烈海蚀的岸边悬崖，地震高烈度区，热异常区及现代火山区

增加地表径流；相反，水库蓄水可使整个区域内的地下水位上升。

因此，地质工程师应当首先确定场地的类型，然后再全面地



图 1.1 南非德兰士瓦省Rustenberg附近的块状火成岩（苏长岩）表面。这种地区，清除表层后会很稳定，具有很高的强度



图 1.2 法国滨海阿尔卑斯省Puget-Theniers附近的中白垩世陡倾斜的石灰岩层。山的左坡，在天然条件下是稳定的地区，但其稳定性会严格受工程建筑物的影响

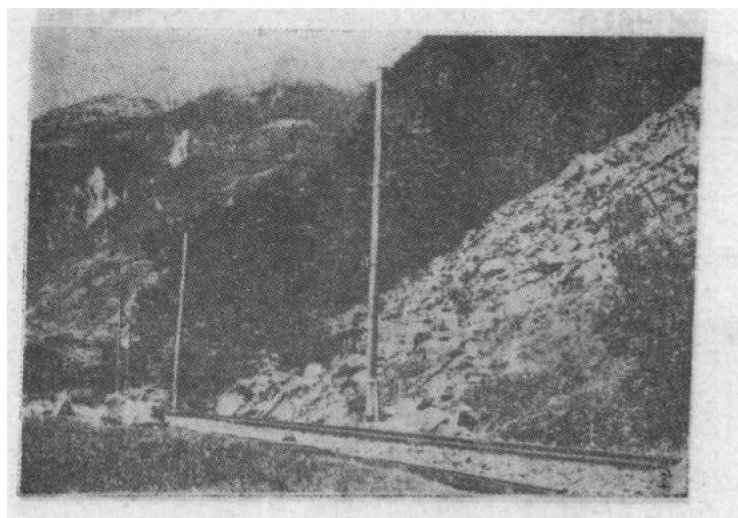


图 1.3 瑞士提契诺州Campascia附近铁路上方块状片麻岩地段的岩质滑坡。该区是不稳定的，但可以控制；通过监测和清理，可以保持铁路畅通



图 1.4 尼亚加拉瀑布。坚硬的奥陶纪石灰岩覆盖在较软的石灰岩和页岩上面；瀑布已向其上游退缩，形成峡谷（向左边看）。正在打倾斜的钻孔，确定前缘岩石的不稳定程度，以便抢救



图 1.5 法国上阿尔卑斯省杜朗斯河上游河谷（位于 Argentiere 下游一侧）。河流流经具有坡立谷（向右看）的U形冰川谷中。河流在淤高，即沉积有砂和砾石沉积层。公路和铁路沿河谷通过；从图上看，部分河谷是不稳定的，但尚可控制环境

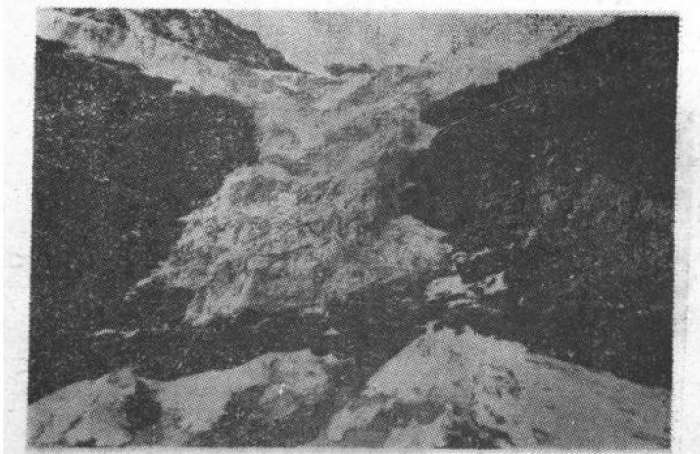


图 1.6 加拿大艾伯塔省Edith Cavell山的Angel冰川。
冰川从坡立谷向下流向主谷的陡坡，主谷是由很多大冰
川在更新世加深而成。对任何地表工程建筑来讲，都是
不太稳定的地区

研究它的水文地质条件。这就要求在工程勘察中进行详细的地质填图（见1.8节）工作。

地质工程师还应当阐述和预报在此种地质条件下可能产生的灾难性情况，或这种灾难性情况可能造成的地质条件。在比较安全的地区，也可能遇到很小的，但在岩土结构中又是很危险的地段。这些地段只有在详细的调查中才能发现。更艰巨的任务是预报由于一定的地质作用的结果在未来可能出现的特殊情况。

甚至在比较稳定的岩层中，断层破碎带也常造成局部的，但是很不利的条件（见2.16、3.8，5.11节）。此处的岩石呈角砾状，并可能强烈充水。褶皱本身并不具危险性，它对岩石稳定性的影响在很大程度上取决于规模的大小。对于隧道或其它地下洞室来说，规模较小的褶皱带（图1.7）中具有不同性质和强度不高的岩层，这可能成为危险的不稳定的因素。

在一般情况下，地下水存在于多种岩层中，但大量存在于地下岩溶空洞中呈自由径流。这是工程地质经常能遇到的一种危害（见



图 1.7 挪威Finnse附近Hardangerjokulen的经强烈褶皱形成条带相间状的花岗岩和角闪片麻岩。片麻岩至少经历了两个褶皱期；露头显示出一个杂岩带和一些小规模褶皱，这对隧道等工程而言，必然是很不稳定的

3.2节)。

预报火山和地震活动最可能出现的地点，是当代大多数情况下的地质工程师的职责。但是，预报发震时间仍很不准确，尽管这一领域已达到了相当先进的水平。

特别是对百年内大水灾的预报，除地质因素外，还要求考虑其它多种因素。地质工程师应当精通对河流动力学及动态的评价，善于确定冲积过程（沉积与侵蚀处于平衡状态）、侵蚀（对堆积来讲侵蚀占优势）或堆积（对侵蚀来讲堆积占优势）（见图1.5）。处于平衡状态的河流可以泛滥，但可能性很小，河流竭力改变自己的流向。侵蚀型河流发生水灾的可能性更小，它可加深切割自己年老的河床，或形成新的河床。堆积型河流既易于发生水灾，又容易造成河床的改道。

预报可能引起沿岸水灾的风暴潮的产生，不属地质工程师的职责。但阐明加固岸边建筑物基础的层位，使之在正常的地质作用下能达到多年的足够稳定性（但在异常高的波浪作用下，仅需