

普通高等教育地质工程类教材

# 地质工程学原理

孙广忠 孙 毅 编著

地质出版社

· 北 京 ·

## 内 容 提 要

本书扼要地介绍了地质工程学基础理论——地质控制论的基本内容，较详细地论述了地质工程基本理论（地质构造控制论、岩体结构控制论、土体结构控制论、地质环境因素控制论），并扼要地论述了地质工程应用基础和应用技术理论，这是地质工程学的地质基础。书中还举例阐述了各类地质工程勘察、设计和施工技术原理和方法问题。

本书可供从事地质工程勘察、设计和施工工程师再教育的教材和参考书，亦可作为高等院校地质工程专业高年级学生、研究生学位课的教材和主要参考书。

### 图书在版编目（CIP）数据

地质工程学原理 / 孙广忠，孙毅编著. —北京：地质出版社，2004. 11

普通高等教育地质工程类教材

ISBN 7-116-04249-0

. 地... . 孙... 孙... . 工程地质—高等  
教育—教材 . P642

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2004）第 112061 号

---

责任编辑：黎青宁 陈 磊

责任校对：田建茹

出版发行：地质出版社

社址邮编：北京海淀区学院路 31 号，100083

电 话：（010）82324508（邮购部）；（010）82324565（编辑部）

网 址：<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱：[zbs@gph.com.cn](mailto:zbs@gph.com.cn)

传 真：（010）82310759

印 刷：北京市朝阳区小红门印刷厂

开 本：787mm×1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub>

印 张：13.5

字 数：330 千字

印 数：1—2000 册

版 次：2004 年 11 月北京第一版·第一次印刷

定 价：20.00 元

ISBN 7-116-04249-0/P·2524

---

（凡购买地质出版社的图书，如有缺页、倒页、脱页者，本社出版处负责调换）

# 前 言

著者在多年从事工程地质科研和生产工作中，逐渐觉察到在工程中有一种被忽视的特殊工程，这就是地质工程。土木工程师把它视为与土木工程一样的土木工程；工程地质工程师认为这类工程的设计和施工是土木工程师的事，结果使这类工程建筑中事故层出不穷。其原因就在于没有认识到这是一种特殊工程——地质工程。地质工程的研究对象是以地质体作为建筑材料、工程结构和建筑环境的一种特殊构筑物。广义的来说，是一种大地改造工程。它既不是一般的建筑工程，也不是一般的土木工程，很有必要专门地把它提出来，引起有关方面重视。所以在1984年3月，于成都召开的全国第二届工程地质大会上，孙广忠以“工程地质—岩体力学—地质工程”为题明确地提出了“地质工程”观点，至今已经20年了，它已经逐渐地被人们接受。许多人以事实论述“地质工程”这个命题，以地质工程观点作指导开展工程地质工作，参与和承担地质工程设计、施工工作。引人注目的是“长江三峡链子崖和黄腊石地质灾害防治”工作就是在这一观点指导下进行的。近年来已经出现了“地质工程公司”、“地质工程勘察院”、“地质工程勘察设计院”这类企业实体。这表明，这一观点已经被社会所接受。1997年6月国务院学位委员会和国家教育委员会在联合颁布的“授予博士、硕士学位和培养研究生的学科、专业目录”里正式提出了地质工程学。地质工程学不仅是在程序上已经提出来了，而且作为学科形成的条件已经具备了。它的研究对象明确，基础理论已经形成，还有独特的技术手段。现在地质工程已经不仅是一个行业，而且已经成为一个正式学科了。

目前在地质工程实践中由于缺乏明确的和正确理论指导，致使在工程实践中不是保守就是冒险，可以说保守和冒险并存，而且常常是保守大于冒险。原因就在于正确的地质工程理论还没有普及，工程师们在进行地质工程设计和施工中主要还是应用土木工程学的理论和经验办事。为了工程安全可靠，经常采取比较高的安全系数保证工程的安全。著者估计目前在地质工程建设中由于缺乏正确的理论指导，在工程实践中采取保守措施造成的潜在经济损失可能高达地质工程投资的20%~30%，这个数值十分令人吃惊，但是，这个数值是看不见的，往往不被人们重视。这表明加速普及地质工程理论已是当前急迫的要求。

地质工程已经经过了几十年的实践，提高着人们的认识，逐渐认识到地质工程建筑的规律，概括上升为地质工程建筑理论。理论的作用可以指导人们思考、分析问题。没有理论指导的行动是盲目的行动，盲目的行动是要失败的。没有理论指导的知识领域构不成学科；没有理论支持的行为构不成行

业。每一个人的思想活动都是在一定的理论指导下进行的，不是在正确理论指导下进行，就是在错误理论指导下进行，这就是理论的重要性。特别是经过近十余年的实践，地质工程已经形成了它的基础理论。1984年著者提出了“岩体结构控制论”是岩体力学的基础理论，实际上它也是用于指导岩体地质工程实践的基础理论。著者在组织煤与瓦斯突出综合治理研究时，又提出了“地质构造控制论”的观点，发展了“岩体结构控制论”。经过多年的地质工程实践，著者深深体会到，控制地质工程稳定性的因素，除岩体结构、土体结构和地质构造外，还应强调地质体赋存环境条件，即地应力、地下水、地温和活动断层等，这是一个综合体系。显然，地质工程学理论不是简单的一个两个定理构成的，而是一个理论体系。它是由岩体结构控制论、土体结构控制论、地质构造控制论、地质体赋存环境因素控制论综合构成，它们构成地质工程学基本原理、应用基础及应用技术理论，概括起来可以称为“地质控制论”。

1958年著者参加了“引洮上山工程地质综合研究”，第一次大规模地开展了黄土地质工程课题研究。1976年著者又开始了大规模的岩体地质工程课题研究，如××劈岭工程稳定性研究，二滩电站岩体力学研究、小浪底电站地下洞室群稳定性研究等。20世纪70年代末到80年代初著者结合承担的课题任务在实验室组织了一系列工程地质力学模型实验，获得了大量的建立地质工程理论的启示。1983年开始又组织了一系列大型地质工程课题研究，如“大同煤矿坚硬顶板有控压裂放顶理论和技术研究”、“军都山隧道快速施工地质超前预报”、“南桐煤矿煤与瓦斯突出综合治理”、“长江三峡链子崖和黄腊石地质灾害治理”等。在这些地质工程项目实践中积累了经验，增长了见识，思想认识产生了一个接着一个的飞跃，1985~1995年这十年间是著者对地质工程认识升华的时期，1995~1996年终于形成了“地质控制论”的理论体系，为地质工程形成为一门学科奠定了基础，出版了《地质工程理论与实践》和《孙广忠地质工程文选》。以上便是《地质工程学原理》产生的背景。这是一个艰巨的历程，也是一个愉快的历程。

在上述思想指导下形成了本书的框架。本书共由4部分组成：第一部分第一章绪论，阐述了地质工程学形成和发展；第二部分共由5章组成，简述了地质工程学基本原理；第三部分共由4章组成，论述了地质工程学应用基础和应用技术理论；第四部分为专门地质工程问题，简述了岩体地质工程、土体地质工程、矿山地质工程及地质灾害防治地质工程工作观点和方法，为应用地质工程基础理论进行了展示。由于著者知识量和本书篇幅有限，只能提纲挈领地论述，可能挂一漏万，敬请读者批评指正、赐教。

孙广忠 孙毅

2004年4月于北京

# 目 录

## 前 言

第一章 绪论 .....	(1)
一、地质工程学是工程地质学和土木工程学交叉的一个新增长点 .....	(1)
二、工程地质学的发展及地质工程学的形成 .....	(2)
三、工程建设实践中的地质工程 .....	(4)
四、地质工程问题解决的途径 .....	(5)
五、地质工程学基础理论 .....	(5)
六、21 世纪地质工程学发展的瞻望 .....	(9)

## 第一部分 地质工程学基本原理

第二章 地质构造控制论 .....	(12)
第一节 地质构造 .....	(12)
第二节 地质构造控制作用和地质构造控制论 .....	(13)
第三节 地质结构 .....	(14)
第四节 地质环境 .....	(15)
一、现代地壳运动及地壳稳定性 .....	(15)
二、地壳活动性表生现象及地质灾害 .....	(16)
三、地质体赋存环境条件研究 .....	(16)
四、地质构造控制论的实例——防御长江洪水泛滥的地质基础 .....	(17)
第三章 岩体结构控制论与岩体结构力学原理 .....	(21)
第一节 岩体结构 .....	(22)
第二节 岩体结构控制论 .....	(22)
第三节 岩体结构力学原理 .....	(25)
一、岩体变形基本规律 .....	(25)
二、岩体破坏机制及破坏判据 .....	(32)
三、岩体力学性质分析原理 .....	(33)
四、岩体力学性质结构效应 .....	(33)
五、岩体赋存环境因素的力学效应 .....	(35)
第四节 岩体结构力学分析原理 .....	(36)
一、连续介质岩体力学分析原理 .....	(36)
二、碎裂介质岩体结构力学分析原理 .....	(37)
三、块裂介质岩体结构力学分析原理 .....	(38)

四、板裂介质岩体结构力学分析原理 .....	(39)
第四章 土体结构控制论与土体力学原理 .....	(40)
第一节 土体基本特征 .....	(40)
一、土体成分——土、水和空气 .....	(41)
二、土体结构 .....	(42)
三、土体赋存环境 .....	(43)
第二节 土体结构控制论 .....	(45)
第三节 土体力学基本规律 .....	(47)
一、土体变形规律 .....	(47)
二、土体破坏判据 .....	(48)
第四节 土体力学分析理论 .....	(50)
第五章 地应力 .....	(57)
第一节 地应力分布规律 .....	(57)
第二节 高地应力地区与低地应力地区的地质标志 .....	(64)
第三节 卸荷带及实例——十三陵抽水蓄能电站蟒山卸荷带及其对地质工程 的影响 .....	(66)
一、十三陵抽水蓄能电站蟒山卸荷带的基本特征 .....	(66)
二、地质工程问题 .....	(67)
第四节 地应力资料在地质工程中的应用 .....	(69)
第六章 地下水 .....	(75)
第一节 地下水及有关的概念 .....	(75)
一、吸附水的物理力学意义 .....	(75)
二、自由水的物理力学意义 .....	(76)
三、土体中地下水运动规律 .....	(77)
四、岩体中地下水运动规律 .....	(77)
五、地下水赋存条件 .....	(78)
第二节 地下水与地质工程 .....	(80)
一、地下水压力 .....	(80)
二、渗透稳定性——潜蚀 .....	(81)
三、流沙 .....	(82)
四、管涌 .....	(83)
五、基坑突水 .....	(84)
六、降低地下水位和疏干理论与技术 .....	(84)
七、帷幕灌浆问题 .....	(86)
八、地下水与滑坡 .....	(86)
九、隧道涌水与突水 .....	(87)
十、黄土湿陷与黄土喀斯特 .....	(87)
十一、浸水软化在施工中的应用 .....	(88)
十二、地下水勘察问题 .....	(88)

## 第二部分 地质工程应用基础和应用技术理论

第七章 地质环境质量评价理论与方法 .....	(90)
第一节 地质环境与工程建设 .....	(91)
第二节 地壳稳定性评价原理和方法 .....	(93)
第三节 表生作用地质环境质量综合评价原理和方法 .....	(95)
第八章 岩体质量评价理论与方法 .....	(97)
第一节 中华人民共和国《工程岩体分级标准》 .....	(98)
第二节 对《工程岩体分级标准》的评论 .....	(106)
第九章 隧道施工地质超前预报原理和方法 .....	(110)
第一节 军都山隧道施工地质超前预报实例 .....	(110)
第二节 隧道施工地质超前预报工作内容 .....	(114)
第三节 资料搜集方法 .....	(114)
第四节 掌子面前方地质条件预报 .....	(116)
第五节 突水预报理论 .....	(118)
第六节 成灾预报方法 .....	(120)
第七节 超前防护措施 .....	(122)
第十章 地质体改造原理、技术和方法 .....	(124)
第一节 地质体改造原理 .....	(126)
第二节 岩体改造方法和技术 .....	(127)
一、岩体材料改造 .....	(128)
二、岩体结构改造 .....	(128)
三、地质体赋存环境条件改造 .....	(130)
第三节 有控水力压裂放顶理论和技术及其在煤矿坚硬顶板管理中的应用 .....	(133)

## 第三部分 专门地质工程问题

第十一章 岩体地质工程问题 .....	(139)
第一节 岩体地质工程建筑原理 .....	(139)
一、岩体地质工程设计问题 .....	(139)
二、岩体地质工程施工问题 .....	(141)
第二节 高边墙地下洞室洞壁围岩板裂化问题 .....	(144)
一、板裂化力学模型 .....	(145)
二、板裂化地下洞室围岩力学作用分析 .....	(146)
三、高边墙地下洞室洞壁围岩板裂化实例——鲁布革电站地下厂房 .....	(148)
四、防止边墙失稳和围岩板裂化技术 .....	(151)
第十二章 土体地质工程问题 .....	(152)
第一节 土体地质工程建筑原理 .....	(152)
一、土体地质工程特点 .....	(152)
二、土体地质工程设计问题 .....	(152)

三、土体地质工程施工问题 .....	( 153)
四、土体改造实例——总参二部宿舍楼防护工程设计 .....	( 154)
第二节 黄土中修筑渠道的地质工程问题 .....	( 155)
一、黄土渠道边坡稳定性问题 .....	( 158)
二、黄土渠道湿陷变形预测原理及黄土渠道湿陷变形预测 .....	( 164)
三、黄土渠道塌陷预测问题 .....	( 168)
四、傍山及填方渠道决口问题 .....	( 173)
第十三章 矿山地质工程原理 .....	( 175)
一、矿山地质工程问题及工程地质条件 .....	( 175)
二、矿体及围岩的工程地质条件 .....	( 176)
第一节 露天开采地质工程问题 .....	( 178)
一、控制露天矿边坡稳定性的地质因素 .....	( 179)
二、露天矿边坡稳定性分析方法 .....	( 181)
三、露天矿边坡变形监测 .....	( 185)
第二节 井工开采地质工程问题 .....	( 186)
一、井巷围岩破坏机制 .....	( 187)
二、冲击地压预报及防治 .....	( 187)
三、采场顶板管理 .....	( 189)
第十四章 地质灾害防治地质工程问题 .....	( 191)
第一节 我国地质灾害灾情分析 .....	( 191)
第二节 地质灾害防治原则 .....	( 193)
一、地质灾害防治工程中的基本理论和几个主要技术 .....	( 194)
二、关于地质灾害防治阶段问题 .....	( 194)
第三节 地质灾害勘察 .....	( 195)
第四节 地质灾害防治设计中的几个问题 .....	( 199)
参考文献 .....	( 207)
后记 .....	( 208)

# 第一章 绪 论

地质工程 (Geoengineering) 是以地质体做建筑材料、以地质体做工程结构或以地质体赋存环境做建筑环境建筑起来的一种特殊工程, 如地基、边坡、地下工程、钻井、地质灾害防治、地质环境整治等统称为地质工程。我国著名的都江堰引水工程就是一项典型的地质工程, 它引岷江水入成都平原, 灌溉成都平原耕地, 大大改变了成都平原环境面貌, 这是一项造福人民的环境整治工程。故广义地说, 地质工程又可称为大地改造工程。

地质工程的工作领域极为广泛, 从工作内容来说, 有认识世界、改造及保护世界两个部分。工程地质工作属于认识世界; 地质工程设计和施工、地质体改造属于改造及保护世界。这两方面工作的综合才是地质工程工作的全部。从工程类型来分: 有土木建筑行业中的地基、边坡、隧道、地下洞室、建筑基坑工程; 国防工程中的各类掩体工程; 地质资源勘察工作中的钻探工程、山地工程; 地质资源开发中地面开采的露天矿坑工程、地下开采的井巷工程; 石油开采中的油井工程; 地下水采取中的水井工程; 天然气开采中的采气井工程; 地质灾害防治工程、地质环境治理工程等。

地质工程建筑设计和施工的基本方法是地质监控施工法, 它是用地质工程理论指导进行的。地质工程理论和方法的共同基础是地质, 地质工作是地质工程研究的最基本工作。这些基础理论中最重要的是工程地质预测预报和地质体改造两项。因为今天社会的经济实力雄厚了, 技术手段强大了, 对不良的地质条件可以进行改造, 达到工程建筑的需要, 人们可以根据自己的意愿选择工程布置位置。一般来说, 今天的建筑场地和线路位置选择, 可以根据规划所选定的经济效益最优方案来确定。这就要求工程地质工作者在工程位置选定后, 查清建筑场地的工程地质条件, 为地质工程设计、施工和地质改造及保护提供科学依据。

## 一、地质工程学是工程地质学和土木工程学交叉的一个新生长点

当前, 重大工程建筑中出现的灾害性事故与地质有关的比例越来越大。出现这一情况的原因有两个: 一方面是与工程地质勘察工作深度不够和质量不高有关; 另一方面是与设计、施工对工程地质勘察资料认识不足和设计方案、施工措施对地质条件针对性不强有关。这些问题是怎么造成的呢? 我们认为是地质勘察与设计、施工相互脱节造成的。这里强调的是相互脱节, 不是单方面造成的。一方面, 地质勘察工作不够深入, 对一些不良的地质条件没有查清或由于对所从事的工作性质认识不深, 对所需要的地质资料的要求深度认识不够, 以至地质勘察取得的有用资料不够齐全, 从而使设计上不好用造成的; 另一方面, 在设计上对所从事的工程性质认识不清和对所从事的这类工程对地质条件的依赖性不认识, 而对地质的重要性认识不足或对地质勘察资料消化不够造成的。这个问题怎么解决呢? 我们认为应该把“地质工程”这个命题提出来, 从两个方面来解决, 一方面工程地质工作者应该尽量提高对地质工程认识水平, 拓宽工程地质工作领域, 既要努力做好地质

勘察工作，又要开展地质工程设计和施工工作，使所取得的工程地质工作结果能够满足地质工程建筑的需求；另一方面设计和施工要提高地质工程建筑对地质的依赖性的认识，这就要求既应认识地质体是工程结构的一部分或全部，地质材料就是地质工程建筑材料，地质环境就是地质工程的建筑环境，又要紧密地与工程地质部门合作，尽量防止设计、施工与地质脱节。因此，在进行地质工程设计、施工时，要充分考虑并利用地质体作建筑结构、建筑材料、地质环境是建筑环境等实际情况，充分利用地质体自稳能力进行地质工程建筑。在地质体自稳能力不足时，要想办法对地质体改造加固或对其赋存环境条件进行改造，使之满足地质工程建筑的需要。这样就提出另一个重要课题，即地质体改造问题。据此，我们认为设计和施工需要转变一下观念，即从土木工程观念转到地质工程上来，要认识地质控制作用，建立用地质监控施工法指导施工的观念。此外，地质工作者也要认识到地质勘察和地质试验都是为地质工程建筑服务的，要积极参与地质工程设计和施工工作，积极开展地质工程工作，运用自己取得的地质勘察、试验结果进行地质工程设计和施工。这样，地质、设计、施工就会逐渐地走到一起来了。将来的发展方向是工程地质工作者要将地质工程勘察、设计、施工三部分工作作为一体承担起来，这是工程地质科学的一个新的发展方向，也是工程地质与土木工程相互交叉、相互渗透的一个重要生长点——地质工程。

从工程地质学科发展来说，地质工程学是工程地质学的新的生长点，是工程地质学的新发展；从工程实践来说，工程地质工作是认识世界，地质工程工作是在认识世界基础上改造及保护世界。从这层意义上来说，工程地质工作是地质工程工作的一个重要组成部分。地质工程工作必须在查清建筑区工程地质条件基础上进行设计和施工，才能确保地质工程建筑的成功，这是工程地质和地质工程工作的辩证关系，不论工程地质工作者或地质工程工作者都必须清楚认识和牢记这一点，应该把工程地质工作是认识世界，地质工程工作是在认识世界基础上改造及保护世界这句话作为座右铭。从历史发展来说，地质工程是工程地质学和土木工程相互交叉的新的生长点；从学科构成来说，地质工程学则包含了工程地质学，即地质工程学为一级学科，工程地质为地质工程学下面的二级学科，这是新的发展。

## 二、工程地质学的发展及地质工程学的形成

地质工程学是工程地质学发展形成的新的分支学科，实际上是工程地质学和土木工程学的边缘杂交学科。因此在研究地质工程学之前，有必要回顾一下工程地质学的发展。

工程地质学研究已经经历了三个阶段：

第一阶段：20世纪60年代以前，以工程地质条件研究和质量评价为主要工作。一方面是对作为工程建筑载体、工程建筑材料、工程建筑结构的地质体质量评价；另一个方面是对作为工程建筑环境的地质环境质量评价，这阶段的评价主要是定性的。在20世纪60年代末，世界各国大体同时都开始了工程建筑中能否出现地质灾害，或者说能否出现工程地质灾害的成灾条件研究，开始了成灾预报研究工作。

第二阶段：开始于20世纪60年代末，以开展地质体稳定性分析为特征的工程地质灾害预测预报研究阶段。如谷德振教授在20世纪60年代末开始提出地基稳定性、边坡稳定性、地下洞室稳定性评价研究课题；20世纪70年代他进一步提出地基稳定性、边坡稳定性、地下洞室稳定性、山体稳定性、地壳稳定性评价研究五大课题，开始了工程地质研究的第二阶段。当时研究内容主要是稳定性评价。实际上开始了工程地质预

报研究工作。

第三阶段：20世纪80年代以来出现了许多新技术（实际上60、70年代也零星地在做），“中国岩土锚固工程协会”和中国岩石力学与工程学会下成立了“岩石注浆与锚固工程分会”，大力开展不良地质条件改造。工程地质发展第三阶段是以工程地质灾害预测预报及地质灾害防治、施工地质超前预报和地质体改造等主要课题为特征的地质工程研究阶段，明确地提出了地质监控施工法。地质监控施工法的核心就是超前地质预报和超前地质体改造，而超前地质预报和超前地质体改造正是工程地质工作进入第三阶段的重要标志。这样，今天的工程地质工作已经不仅仅作工程地质条件评价、各类地质工程稳定性评价或工程地质预报，而且还应该研究不良地质条件的改造及地质工程施工问题。今天已经有一些办法能够对不良的地质体进行改造，使之适应工程建筑的要求。过去解决地质体不稳定的办法主要是支护，不让它失稳，这种做法现在看来是不够的。今天可以进行地质体改造，使之满足工程建筑要求。地质体赋存环境也可以改造，改造后的地质体照样可以建筑工程，这样工程地质就发展到以工程地质超前预报和地质体改造为核心的地质工程阶段。

事物的发展总是经过渐变到突变。人类的认识也是经过渐变到突变产生飞跃。人们对地质工程的认识也是经历了这样一个过程。在工程地质学发展的第二阶段，工程地质工作者和岩土力学工作者在认识上已经孕育着地质工程的认识，提出地基稳定性、边坡稳定性和地下洞室稳定性课题就意味着孕育着地质工程的认识。具有工程地质和岩土力学双学科知识的工作者是这个认识的先觉者。有文字记载的则有1974年Hock E. 和Bray J. W. 发表了《ROCK SLOPE ENGINEERING》专著，明确地提出了“岩石边坡工程”概念。首次把岩体边坡作为工程来研究，他的主要工作也是在地质基础上对边坡进行岩体力学研究。Hock E. 的岩体边坡工程概念对工程地质学的发展和地质工程的形成具有很大的推动作用。1976年R. E. Goodman, 发表了《METHOD OF GEOLOGICAL ENGINEERING IN DISCONTINUOUS ROCK》专著，首先使用了“地质工程（Geological Engineering）”术语，他提的地质工程方法实际上是岩体力学与工程地质相结合进行工程地质工作的方法。1983年著者在主持“大同煤矿坚硬顶板有控压裂放顶理论和技术研究”课题中首次提出了岩体结构改造概念。1984年在第二届全国工程地质大会上提出了岩体改造原理，同时提出了“工程地质、岩体力学和地质工程三位一体”开展工作的学术思想，在中国率先提出了“地质工程”命题。1986~1989年主持了“大秦线军都山隧道快速施工地质超前预报”课题，并在这项工作中提出了以地质为基础开展地质预报，其中包括超前预防，实际上深化了地质体改造理论，深化了地质工程概念，明确地提出了地质工程定义是“以地质体为工程结构，以地质体为建筑材料，以地质环境为建筑环境建筑起来的一种特殊工程”。1990年10月著者应葛洲坝水电工程学院的邀请，在宜昌开办了“工程地质与地质工程”讲座，对著者关于地质工程的认识进行了系统的总结，1993年出版了《工程地质与地质工程》专著，这本书是著者对地质工程认识的一次升华，该书对地质工程定义、地质工程特性、工作内容、工作方法进行了系统的论述。1996年出版了《地质工程理论与实践》一书，系统地论述了地质工程概念、定义、理论和方法，明确地提出了地质工程的基本原理是“地质控制论”，阐述了地质工程理论体系。

从 20 世纪 90 年代初开始，中国出现了地质工程公司，地质工程勘察设计院等机构，实际上已经出现了地质工程行业。1997 年 6 月国务院学位委员会和国家教育委员会在联合颁布的“授予博士、硕士学位和培养研究生的学科、专业目录”里正式提出了地质工程学，现在地质工程已经不仅是一个行业，而且已经形成为一个学科了。一个学科的形成必须具备三个条件，这就是有特定的研究对象，有独特的理论，有专门的技术手段。对地质工程学来说，这三者已经具备了。地质工程的研究对象是以地质体为工程结构，以地质体做建筑材料，以地质环境作为建筑环境的特殊工程建筑；地质工程的基本原理是地质控制论；地质工程建筑的专门技术：地质超前预报技术和地质体改造技术已经形成了。今天来说，地质工程学已经形成为一门独立学科是客观存在的。

### 三、工程建设实践中的地质工程

过去工程地质工作主要是研究工程地质条件的质量定性评价，也就是说评价建筑地区地质条件好坏。在地质工程建设早期的时候，工程规模比较小，对工程地质条件要求不高，作一般的定性评价就够了。现在的地质工程建筑规模比以前大得多了，比如说边坡工程，目前建成的矿山边坡已经高达 300 ~500m，而正在酝酿开挖 700m 的高边坡，在工程建设中遇到的自然边坡已达千米以上。工程建筑地基要求是与建筑物高度有关。坝基承受力的大小与坝高有关，目前修建的大坝高度已经高达 300m。这么高的大坝坐落在地质体上，对坝基要求就不一般了。工业与民用建筑物的规模也在发展，对地基承载力要求也在不断提高，如国内已有在土层上建筑 88 层高层建筑物，高达 420.5m；国际上已有在岩层上建筑 120 层高层建筑物。在地下工程方面，目前地下工程中双轨隧道的跨度是 11m，洞高约 10m。水利水电工程中地下厂房跨度达 20 ~30m，边墙高度达到 50 ~60m，我国已经建成的二滩电站地下厂房尺寸为 280.29m× 55.5m× 65.38m（长×宽×高）。正在计划建筑的地下工程的边墙高度达到 70m，埋深是 500 ~600m；现在已经建成的秦岭隧道最大埋深是 1500m。在矿山的矿井设计方面问题就更严重，矿山的一些地下采场跨度常达 80 ~140m，一个使用综合采煤机的采场跨度是 120 ~160m，赵各庄煤矿采深已经超过 1200m。

表 1-1 工程实践中的地质工程类型简表

工程实践	地质工程类型
水利、水电工程	高坝坝基、各类人工及自然边坡、隧道工程、地下厂房及防渗工程等
铁路、交通及航运工程	自然及人工边坡、桥基、隧道工程、码头及船闸等
煤炭工业工程	露天矿边坡、通风及提升竖井、地下采场及巷道等
冶金工业工程	露天矿边坡、竖井、地下采场及巷道岩体工程等
工业与民用建筑工程	高层建筑地基、山城边坡及地下空间开发等
石油工业工程	深钻工程及采油过程中油井工程等
地下水开发工程	水井工程、引水管道及泵房站等
采气工程	采气井工程、天然气输送管道工程
核电工业工程	电厂地基、引水及排水隧道及核废料处理工程等
国防工程	各类掩体工程等
地质灾害防治工程	崩塌、滑坡及泥石流防治工程等

上述这些工程实例说明，当前的地质工程规模大、条件复杂，要使地质工程建筑安全、可靠，必须提高对地质体的认识水平，关键在于要掌握住地质环境、工程地质条件及工程地质力学条件。目前，地质工程类型非常繁多，详见表 1-1。

今天摆在我们面前的地质工程类型多、规模大、条件复杂，地质工程中出现的问题 80% ~90% 是设计、施工与地质脱节以及地质工作成果不符合地质工程建筑要求造成的。客观地说，地质工作是一项探索性工作，完全搞清楚不是一件容易的事。地质环境、地质条件和工程地质力学性质在施工前不可能一次彻底搞清楚，但需搞清楚主要问题，这样我们就可以做到心中有数，再加上设计与地质紧密地相结合，按地质工程要求办事，在施工过程中加强地质超前预报，工作中把握就大一些。因此，必须把地质工程提出来。此外，国际上愈来愈多的人也认识到这个问题，由于地质工程类型多，规模大，遇到的地质条件愈来愈复杂，必须进行专门地研究，才能提高地质工程建筑水平。

## 四、地质工程问题解决的途径

我们经过实践研究概括提出，地质工程工作有如下三大支柱：构造地质与地质结构；工程地质力学；地质技术。

第一个支柱是构造地质和地质结构。对地质工程来说，构造地质学知识最为重要。它是解决地质工程问题的基础。

第二个支柱是工程地质力学，它是以地质力学分析为基础，开展岩体力学和土体力学，特别是岩体结构力学研究。因为工程规模大了，主要出现的地质工程是岩体工程，岩体边坡已经高达 300 ~500m，国际上最高露天矿边坡为 1000m。分析这么高的边坡稳定性时必须搞清楚它的地质构造、地质结构、地质体的力学性质，采用科学的岩体力学理论，即岩体结构力学理论去分析、预测变形和破坏，防止工程地质灾害发生的技术措施，当然也还要有经验。

第三个支柱是地质技术。地质技术包括：地质勘察技术，地质测试及试验技术，地质体改造技术。这三部分合到一起称为地质技术（GEOTHECHNIQE）。上述三大支柱是做好地质工程工作的重要基础。这三大支柱还要大力发展，使之能够满足地质工程建筑的需要。

随着工程建筑规模不断增大，地质工程问题愈来愈突出，这是一类特殊工程。工程地质工作者在这类工程建筑中大有作为，应该责无旁贷地顺应工程地质的发展趋势，担负起地质工程建筑的重担。工程地质工作不应该仅做地质勘察，而且应该积极开展地质工程工作，开展地质工程设计和施工工作。当前的主要任务应该大力开展地质体施工地质超前预报和地质改造研究工作，积极推广地质工程建筑中的地质监控施工法，纠正现行工程建筑中的脱离地质的倾向，提高工程建设质量，避免浪费。

## 五、地质工程学基础理论

随着人类对地球空间利用的不断扩大，工程规模不断增大，在工程建筑中出现了一类新的工程类型，即地质工程。在国内外这一类型工程迅猛地发展，类型之多，规模之大令人吃惊。日本的青涵海底隧道，英吉利海峡的海底隧道，中国的秦岭隧道，都是梦想变成现实的惊人之作。在国内外已有不少科技工作者提出了地质工程命题，并对这个问题进行

了论述。在今天的中国，地质工程已经不是一个概念，而已经变成了实际，已经变成了一个行业，一个学科。

随着地质工程的深入开展，人们对地质工程的认识愈来愈深，对地质工程性质的认识愈来愈清楚，对地质工程给出了明确的定义。狭义的地质工程的定义是：以地质体做建筑材料，以地质体做建筑结构，以地质环境做建筑环境建筑起来的一种特殊工程谓地质工程；广义的地质工程定义是大地改造工程或者地质环境改造工程。都江堰从宝瓶口劈山筑渠引水灌溉 1000 多万亩成都平原耕地、保卫兰银铁路的沙波头固沙工程都是典型的大地改造工程；长江三峡链子崖危岩体防治也是一种大规模的大地改造工程。改造地质环境，改造大地面貌，是一种广义的地质工程。大量实践证明，地质工程的建筑必须以地质为基础，一刻也离不开对地质条件及地质环境的认识，如果离开了对地质的认识就会造成失误。采矿工程是一种典型的地质工程，这项工程不仅要保证矿山开采安全，提高采矿的经济效益，也要保证环境不遭到破坏。可是由于采矿界对这项地质工程的特点认识不够，只顾采矿，不顾及对地质环境的保护，因而使采矿引起的地质灾害经常发生，盐池河山崩和乌江鸡冠岭山崩就是由此引起的。

实践教育着人们，提高着人们的认识，人们经过总结，逐渐地认识到建筑地质工程的规律，概括上升成为地质工程建筑的理论。理论的作用可以指导人们思考分析问题，没有理论指导的行动是盲目的行动，盲目的行动是要失败的，没有理论的知识领域，构不成学科。每一个人的思维活动都是在一定理论指导下进行的，不是在正确的理论指导下进行，就是在错误的理论指导下进行，不同理论导致不同的结果，这就是理论的重要性。

地质工程学现在有没有自己的理论呢？如果没有自己的理论那就没有它特殊的地方了，也就形成不了学科。经过十多年来的地质工程实践和 40 年来的工作经验，著者认为已经建立起了地质工程学的基础理论。一般来说，地质工程理论是由地质和工程两个方面的理论构成的。实践经验表明，地质工程建设中发生问题主要是在地质工程设计和施工中由于对地质条件不重视或认识不清造成的。归根结底地说，对地质工程建设成败起控制作用的是地质因素。据此，著者认为：地质工程学的基本原理是地质控制论。地质控制论的作用表现在 3 个方面：是指导工程地质勘察、地质工程设计和施工的基本理论；是指导地质工程施工的施工地质超前预报理论；是指导地质灾害防治的地质体改造理论。地质控制论对基岩地区是很明显的，对土体也照样是适用的。它包括对地质环境的控制，也包括对岩体结构和土体结构的控制，对岩体力学的控制作用，对土体力学的控制作用。

地质超前预报问题在地质工程工作里非常重要，再好的再精的地面测绘和钻探结果也搞不清掌子面前方的真实的地质情况。我们在军都山隧道施工中作过统计，1 2000 的地面地质勘探获得的结构面，仅仅相当于地下开挖揭露出来的 9% ~10%。结构面在地下变化错综复杂，地质超前预报对地质工程施工十分重要。

地质超前预报是一项具体技术。地质超前预报包括地质条件超前预报、成灾可能性预报和地质灾害防治方案预报 3 个部分，这 3 个部分的基础都是地质。目前，一般施工单位对地质超前预报还不太认识，做得也不多，但是做与不做大不一样，做了效果很显著。

还可以举一个如著者曾指导过在黄土中建大型竖井工程的实例。竖井直径达 25m，建设单位邀请著者给他们当顾问。著者明确提出，这是一个地质工程，不管怎么设计，怎么施工，有一条必须遵守，这就是必须了解地质情况，而地质情况仅根据勘察结果不行，在

施工过程中要进行地质超前预报。勘察时提出地面 18m 以下有一层厚层的砂卵石夹层，砂卵石层以下都含地下水。著者的经验是西北黄土中 18m 以下都位于地下水里是不多见的，故表示怀疑，建议在施工过程中做超前预报。具体的办法是在已经挖成的井底超前挖一个 2m 深的探坑，进行超前探测，探明情况。如果井下地质情况和设计时判断的情况一样，就按原设计继续施工；如果不一样那就修改设计。他们照做了，挖到 18m 左右出现了砂卵石层，但是没有像原先认为的那样厚 3m，只有 80 ~100cm，这一层强行通过了。下面部分有没有水？开挖结果没有水，但是节理十分发育，这是预先估计到的，老黄土里面有节理，这是西北黄土的普遍规律。但是向下挖时，沿着黄土节理面出现掉块儿现象。他们认为是塌方，急忙把著者找到现场，著者看后，告诉他们这不是塌方，而是黄土中节理切割局部掉块。建议采取短进尺，快支护措施解决。一次进尺 80 ~100cm，及时封闭，暴露面大了，时间长了不行，就容易掉块。为了缩短暴露时间，建议把井壁划分为 1/4 或 1/8，分段开挖，挖一段挂网喷射混凝土封闭一段。他们按这个方法做了，结果顺利通过。里面有没有水呢？节理面内有吸附水，有时往外渗，水量很小。这个例子很好地说明在土体里施工也要实行地质超前预报。

地质体改造及保护，一般叫加固或支护，著者认为叫地质体改造好。这里有一个概念问题。目前在地下工程中防治岩体失稳的措施叫支护。支护是对着岩体失稳后作用于支护上的荷载而言，其基本概念是荷载支护体系。许多施工中，不管土体和岩体的好坏，都认为要产生塌落，塌落下来的地质体压到衬砌上，为此而采取支护。实践表明，大部分工程衬砌后面常常是空的，根本没有支护上，有的根本不需要支护。这样做的结果，有的是虚设，有的是有潜在危险的。因为现在没有支护上，时间长了，有的地方塌了，形成了偏压，隧道衬砌最怕偏压。支护在理论上和实践上都有许多问题。著者提出地质体改造概念主要的出发点是认为地质体自身存在有自稳能力。对地质工程来说它可能某一部分或某一方面不能满足地质工程稳定性的要求，可以对其薄弱部分进行改造，使之满足地质工程稳定性的要求。如果是地质材料强度不足，可以利用灌浆的办法对地质体进行加固。如果是节理裂隙发育，岩体的完整性差，可以采取锚固的办法将结构体串起来或采用灌浆的办法将结构面粘结起来，增加其完整性，提高岩体强度。如果属于应力差太大， $\sigma_3$  太小，可以采用预应力锚索或支护的办法提高  $\sigma_3$ ，减小应力差，提高地质工程稳定性。这是对症下药的办法。哪儿出问题了就解决哪儿的问题，是材料强度不足就解决材料问题；是结构薄弱就解决结构问题；是环境条件问题就解决环境条件；如属于地下水的问题则可以采取疏干地下水或封堵地下水的办法解决问题；属于地应力就解决地应力问题。对建筑基坑工程问题，为了保证基坑稳定性，目前都是采用按土压力计算来加一个抵抗，采用挡墙或护坡桩支挡来做。这个做法是不确切的。最好的方案是采取合适措施维持基坑开挖前的地质环境条件。

1992 年著者在北京黄寺做了一个基坑工程。这个基坑距已建成的 12 层楼房的 8m 处。地基土是淤泥，建筑方担心基坑开挖时，老楼会遭到破坏，要求保护老楼。我们采取的办法是保持老楼现在的地质体赋存环境条件，让老楼地基内的地下水尽量少改变，尽量慢改变，使老楼地基均匀沉降，就不会出现导致老楼破坏的差异变形。为此我们提出一方面在新楼与老楼之间作一道帷幕灌浆防渗，使地下水位尽量慢的变动；另一方面是地应力，开挖卸掉了侧压力，从而使地基土向基坑方向变形。一般的基坑支护是防止基坑壁的土体产

生破坏。这里的问题不仅是不允许产生破坏，而且不允许产生过大的变形。根据这一要求我们设计了采用护坡桩控制老楼地基内的应力状态，实际上完全保持是不可能的，设计的目标是让桩端的变形不超过老楼允许的倾斜变形。为此，护坡桩直径取 800mm，间距 1.8m，桩长 22.5m，桩顶设有联梁并在联梁上加有拉索。在施工过程中进行了监测，开挖以后，桩顶变形 15cm，基坑深已经达到 9.5m，基本达到了设计的要求。所以说，对基坑支护不能简单的根据土压力计算，要根据工程工作的要求来设计。地质工程设计要根据防止产生工程地质灾害的要求对地质体进行改造的目的进行设计。也就是根据地质体的成分、地质体结构、地质体的赋存环境条件，来满足地质工程稳定的要求对地质体进行改造来设计。在黄寺那个工程，因为土质为淤泥，为了增加它的强度，还在护楼桩后面进行了灌浆，提高淤泥的强度，减小土压力，也就是进行土质改造。采取综合措施，保持住老楼的地质环境，保持住了老楼的安全。地质体改造的概念和过去的支护概念最大的不同之处在于，最重要的则是承认不承认地质体有自稳能力。荷载支护观点不承认地质体有自稳能力，地质体改造观点认为地质体是有自稳能力的，而且这样做的结果符合地质实际。我们利用这些综合理论来对工程建设中与地质有关部分的地质工程，如边坡、地基和地下洞室，包括地质灾害防治和地质环境改造等工作是有效的。

经过 10 余年的实践，地质工程学已经形成了它的基础理论。这个理论不是简单的由一个两个定理构成的，而是一个理论体系。它包括有基本原理、应用基础理论和应用技术理论，是一个理论体系，概括起来可以称谓地质控制论，这个理论可由图 1-1 展示。

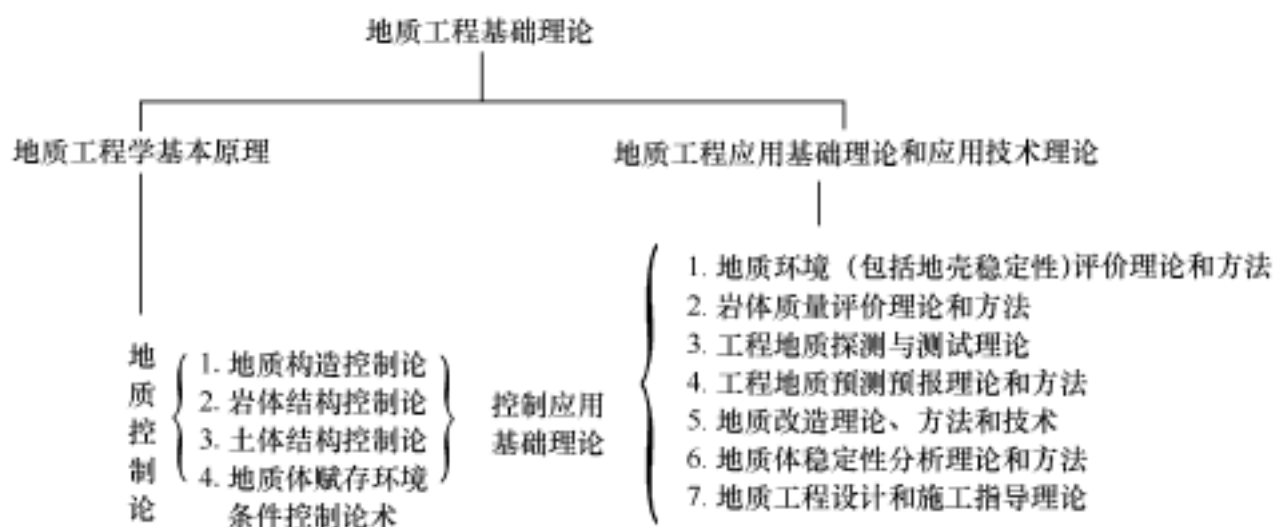


图 1-1 地质工程学基础理论框图

这个框图表明，地质工程学的理论基础是地质控制论，它有两个层次，第一个层次是地质工程基本原理，也就是说地质工程工作必须紧紧地依靠地质。在搞清地质条件基础上，进行设计和施工，这个观念必须时刻牢记。它的具体内容包括：地质构造控制论、岩体结构控制论、土体结构控制论和地质体赋存环境条件控制论。这既是地质控制论的基本内容，又是地质工程学的基本原理；它不仅有其自身的规律和技术理论，也是建立应用基础或应用技术理论的指导理论。地质工程学应用基础理论和应用技术理论是地质工程学基础理论的第二个层次。这里列出了 7 项应用基础理论：地质环境（包括地壳稳定性）评价理论和方法、岩体质量评价理论和方法、工程地质探测和测试理论和方法、工程地质超前预报理论和方法、地质体改造理论、方法和技术、岩土体稳定性分析理论和方法、地质工程设计和施工指导理论。这是解决地质工程问题时经常用到的实用基础理论，必须在搞清地质条件基础上实施，如果离开了地质，必将脱离地质实际，做出错误结论。可

能有人认为，这些提法是人所共知的，没有什么新鲜内容。著者认为不是这样，实际上，在地质工程实践中脱离地质实际的实例随手可拾。可以说地质工程施工中出现事故的绝大部分是设计和施工脱离地质实际的结果，或者是对工程地质条件没有搞清楚或认识不清的结果。据著者所作的粗略统计，目前在地质工程施工中由于对地质条件没有搞清楚或认识不清，致使在施工中出现事故所延误工期约占总工期的30%，这是一笔巨大的浪费。其原因就在于对地质工程的基础理论没有掌握，口头上讲是知道的，实际上是没有真正知道或没有真正按照去做。因此，在地质工程实践中不认识地质控制论，由此便不重视地质条件对地质工程的控制作用，地质工程施工和设计缺乏针对性，事故层出不穷。

上面谈到的基本理论和应用基础理论并不是并列的，它们之间是有主有从的。地质构造控制论是所有理论的基础，它对所有理论都有控制作用，是地质控制论的核心理论。它也是所有地质工作的指导思想，是地质工程理论的核心理论。

上面仅就地质工程学基本原理做了概括的论述，在此再强调一点，现有的规程、规范常常脱离地质实际，所推荐的理论往往不符合地质实际，应该牢记地质工程学的基础理论是地质控制论。地质工程实践中必须抓住地质控制条件，特别是上述的地质工程学基本原理的控制作用来进行工作才能奏效。地质环境评价必须抓住大地构造背景，地质构造控制理论在这里具有重要的控制作用；岩体质量评价必须抓住岩体结构、结构面的级序控制作用及地质环境赋存条件进行分析才能得到正确的结论；工程地质探测和测试必须抓住地质构造的控制作用，布置勘探网，进行测试设计才能取得符合实际的资料；工程地质超前预报必须抓住地质规律、地质体结构、地应力的地质规律、地下水的地质规律来进行才能取得成效。地质体改造及保护则更是如此，必须抓住地质体结构、地应力和地下水条件进行设计地质体改造及保护方案和选取地质改造及保护技术才能取得可靠的效果；岩土体稳定性分析必须抓住岩土体结构和岩土体赋存环境条件控制作用，正确地确定力学模型和岩土体力学参数，选取合适的分析方法，才能取得正确的结果。归根到底一句话就是这些应用基础理论是为地质工程服务的应用基础理论，必须在研究清楚地质体规律基础上才能取得为地质工程服务的积极成效。

## 六、21世纪地质工程学发展的瞻望

地质工程是在20世纪80年代开始被认识的，最近才形成为一门地质工程学学科。对它的认识、形成和发展是在国民经济建设中地质工程建设类型和规模不断增多和加大而逐步发展起来的。今天来说，地质工程学的形成还是初步的，还不完善，但是，它的发展是势不可挡的，原因就在于地质工程建设将与日俱增地迅猛发展。

资源、环境、人口将继续是21世纪的持续发展的重大问题，这是社会发展的必然，这里必然涉及大量的巨大的地质工程建设。如为了开发地质资源，矿山采掘深度将越来越大，我国煤炭开采深度已经超过1000m，21世纪将向2000m采深进军。水电开发规模亦将越来越大，工程地质条件越来越复杂；我国水力资源80%分布于高山峡谷和高地应力、强地震活动的西南地区，一些大型的高坝坝基工程、地下厂房、深埋长大引水隧洞工程将频繁出现。南水北调工程将是21世纪势在必行的跨流域的综合性工程，其中绝大部分都是地质工程。平原区和高山峡谷地区的铁路、公路建设将加速发展；平原区的软土路