

工程岩土与环境地质

孔德坊 等著

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 简 介

本论文集包括有关岩土体工程地质特性、地基处理、地质灾害及其治理,以及城市环境地质等方面的研究成果,涉及学科领域较广,具有较重要的应用意义和较高的学术价值。

本书可供从事工程地质、岩土工程和环境地质工作的工程技术、高校教学和研究单位的有关人员阅读和参考。

工 程 岩 土 与 环 境 地 质

孔德坊 等著

*

出 版 人 宋绍南

责任编辑 李太熙 李彤梅

封面设计 宋 跃

*

西南交通大学出版社出版发行

(成都市 二环路北一段 111 号 邮政编码:610031)

西南冶金地质印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 mm 1/16 印张: 11.875

字数: 220 千字 印数: 1~500 册

1999 年 4 月第 1 版 1999 年 4 月第 1 次印刷

ISBN 7-81057-270-9/P·034

定价: 20.00 元



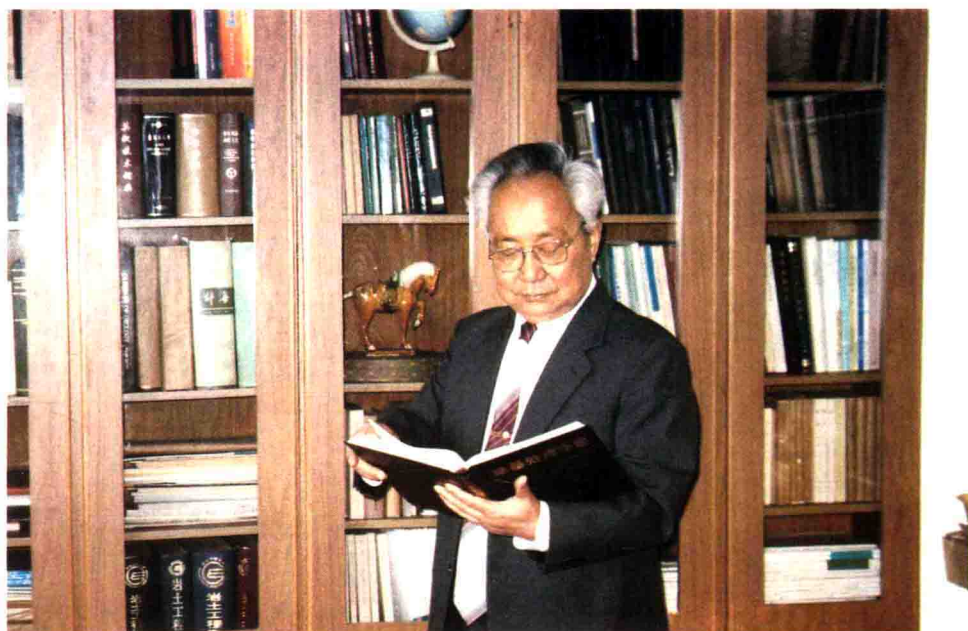
1997年



在阿根廷第五届国际工程地质大会
会场中(1986年)



与导师诺沃日洛夫教授交谈(1990年)



在书房中工作(1998)



与研究生们在深圳工地(1993年)



闲情雅趣(1999)年

咏 竹

有才不与四时争，质秀无华任点评。
短笛横吹吟雅调，长箫竖奏散幽声。
青筠穿锁巧思构，玉笋入厨佳味烹。
谁道清高唯自赏，平添多少世间情。

惠英作画
德坊题诗

己卯仲春

前 言

今年,是孔德坊教授岁满古稀,从事地质工作已届半世纪之年,在此,作为他的学生们,谨向他致以衷心、热烈的祝贺!

孔德坊教授是我国著名的工程地质学家、教育家。他早年就读于清华大学地质系,后因全国高等学校院系调整,毕业于原北京地质勘探学院;毕业后被分配在原东北地质勘探学院任教,并在此期间在职就读、毕业于该校工程地质研究生班;后调入原成都地质学院继续任教,至今已40余年;曾先后由国家科委和国家教委联合授予“全国高等学校先进科技工作者”荣誉称号,由四川省人民政府确认为四川省学术和技术带头人。

在优越的政治体制的前提下,只有发展科学技术才能兴国,而发展科技的根本则是发展科技教育,孔先生对此具有坚定信念。长期以来,他对待教育事业兢兢业业,辛勤耕耘,以因材施教,理论联系实际,循循善诱和诲人不倦而著称;在课堂讲授中,以其对讲授内容的深刻理解,缜密的思维逻辑和准确、简练的语言表达,深受学生们的欢迎;十分重视教材建设工作,编著出版了别具风格、符合我国实际的教科书,翻译出版了百余万字的教学参考书。因此,曾获得国家级二等和省、部级一、二等奖励。先生还以“知之为知之,不知为不知”的求实、严谨的治学态度和刚直不阿、严于律己的为人作风,潜移默化给学生们的留下了深刻印象。40余年来,他参予专业教学的本、专科学生近20届、达数千人,培养博士、硕士研究生20余名,真可谓桃李满天下,为培养国家建设人材,呕心沥血,付出了巨大的辛勤劳动。

作为一个科技工作者,先生曾先后参加或负责黄河三门峡、

刘家峡、小浪底、龙羊峡，大渡河龚咀和铜街子，雅砻江二滩等大江大河上的多个大(巨)型水电站的工程地质以及上海、湛江、成都等大中城市环境地质方面课题的研究；曾负责或参加国家和地矿部科技攻关项目，以及国家自然科学基金项目中多项课题的研究；他对特殊地质环境条件下的岩土体工程地质性能和岩土体的特殊工程地质特性的研究，以其实事求是、追本穷源、一丝不苟和锲而不舍的态度和精神，都取得了具有很高学术价值的成果，有些成果经同行专家鉴定，达到了国际领先或国际先进水平。因此，曾获得国家科技进步一等奖1项，部级科技进步一、二等奖3项和三等奖多项，充分表明他对促进国家建设和推动我国工程地质学科的发展作出了卓越的贡献。

值此孔德坊教授70华诞暨从事地质工作50周年之际，我们编辑出版了这本论文集，以表示我们向他的衷心的祝贺！书中主要包括了先生和他的研究生们在工程地质、环境地质和岩土工程领域中最近研究的部分成果。最后，我们深切希望先生今后继续给我们以指导，使我们在治学道路上，不断前进。

编 者

一九九九年四月

目 录

岩土(体)工程地质研究基本问题	(1)
粘土体中裂隙的成因探讨	(12)
高地应力环境中碎裂岩体的力学特性	(27)
昔格达组粘土的力学特性及其与滑坡产生的关系	(36)
成都市区工程地质环境质量系统评价	(51)
赤泥的工程特性	(57)
软弱层带工程地质研究方法探讨	(69)
无泥型软弱层带粒度成分的分形特征及其意义	(75)
海螺沟旅游区地质环境评价及防治对策	(81)
四川南部县塔子山崩塌危岩变形破坏机制的数值模拟研究	(89)
城市生活垃圾卫生填埋场填土层净化机理研究——以成都市万兴固体废弃物 填埋场为例	(94)
垃圾填埋场渗滤液水位变化的 OWEIS 法分析	(104)
纽约市一百余年的垃圾处理历史及对我国的启示	(109)
万县—云阳地区灾害地质遥感综合解译分析	(114)
拱坝坝基开挖深度分析系统及实例	(121)
神经网络在边坡稳定性分析中的应用	(131)
用神经网络预测强夯有效加固深度	(136)
离散单元法用于块石土重复夯击过程模拟	(142)
土钉墙支护技术在边坡工程中的应用	(147)
复杂软地层中斜土锚的快速施工方法	(156)
Effect of vibration on strength of saturated clay	(161)
Engineering geological features of quaternary lacustrine clay in Longyang Gorge area (Qinghai province) and influence of leaching on its strength	(169)

CONTENTS

Basic problems on engineering geological research of rock and soil	(1)
Discussion on origin of joints in soil mass	(12)
Mechanical properties of jointed and cataclastic rockmass in high geostress environment	(27)
Mechanical property of Xigeda clay and its relation with landslip occurrence	(36)
Systematic evaluation of engineering geological environmental quality of Chengdu proper	(51)
Engineering properties of red mud	(57)
Method discussion of weak interbed engineering geology study	(69)
Fractal structure and its significance of granularity composition in no - clay weak interbed	(75)
A study on the geoenvironment and controlling in Hailuo gully	(81)
Numeral simulation research to Tazimountain dangerous rock masses	(89)
The contaminant resistant mechanism of filled layer in the waste disposal site	(94)
Analysis of changes of leachate level within a landfill using OWEIS method	(104)
The history of municipal solid waste treatment in New York and its implic- ation to China	(109)
Synthesis analysis of remote sensing on disaster geology in area from Wanxian to Yunyang	(114)
Analysis system of embedment depth of arch dam foundation and practical example	(121)
Application of neural network in analysis of slope stability	(131)
Forecast of dynamic compacting effective depth by neural networks	(136)
Computer simulation of the repeat dynamic compacting procession granular soil by DEM	(142)
Application of soil nail wall support technique in slope engineering	(147)
Rapid construction method of diagonal anchor in complex soft ground	(156)
Effect of vibration on strength of saturated clay	(161)
Engineering geological features of Quaternary lacustrine clay in Longyang Gorge area (Qinghai province) and influence of leaching on its strength	(169)

岩土(体)工程地质研究基本问题^①

摘 要 从地质学观点论述岩体和土体的统一性和个性,强调岩土体都同是地质历史的产物,在地质历史过程中能够相互转化,其工程地质特性同样是由其地质特征决定的,不应将其视为截然不同、毫无关联的两种“材料”。同时,岩土体又各有其个性。分析产生这些个性的原因,从工程观点应对个性予以极大的重视,也决不应将其混为一谈。根据上述基本观点,还提出岩土体工程地质性质研究的基本途径。

关键词 岩体 土体 地质历史形成物 工程地质特性

1 概 述

土木工程(广义的)莫不与地壳表层的岩土体有着极为密切的关系,或者建筑于岩土体之上,或者构筑于岩土体之中,同时,还可将其作材料而成为建筑物本身的组成物。对于前二者而言,都可将岩土体看作土木工程建筑的地质环境,单纯作为建筑物地基,是单向的;有边坡时(如路堑、渠道等),是双向的;而地下洞室,则是三向的。

建(构)筑物的稳定性,首先取决于其与岩土体地质环境的适应性,换言之,亦即岩土体的性质能否适应建筑物的附加荷载,以及由于工程活动而改变了的岩土体中的应力状态。如果天然岩土体的力学性能超过了工程活动的要求,则保证了建(构)筑物的稳定性;如果达不到这些要求,则必须采取一定的措施,或者调整工程设计,或者采取加固工程,或者人工提高岩土体的力学性能。因此,建(构)筑物的稳定性,就其实质而言,主要是工程活动对岩土体应力场的改变与岩土体力学性能的矛盾和统一问题。

工程岩土学是研究岩、土工程地质性质的学科,在我国 1952~1976 年这段时期中,常称为“土质学”。“土质学”这一术语译自俄文的“ГРУНТОВЕДЕНИЕ”。在此词汇中,ГРУНТ 源于英文的 ground 和德文的 Grund。这是一个多义词,用在这里,其一般涵义为大地、土地或土。但是原苏联的一些工程地质学家们对“ГРУНТ”一词给予了专门的定义,即凡是与人类工程活动有关的地壳上部的组成物质(无论是坚硬的或者是松软的)均称为“ГРУНТ”,在中文中则译为“土”。后者既涵括了我国传统概念中的岩石(坚硬的)和土(疏松的或松软的),也区别于

^① 本文作者:孔德坊

农业科学中的“土壤”(以细微矿物颗粒为主体,并含有有机质、水、空气和细菌,适宜于植物生长,分布于陆地表面的松软土层)一词。在那段时期中,我国的许多工程地质学家也曾采用并试图推广“土”这一专门术语,但由于几千年来在我国人民头脑中对岩石和土已分别形成了比较明确、牢固的形象和概念,因而“土”作为一种专门术语,始终未能得到人们(包括专业人员)的广泛接受。为了与我国的传统概念相一致,也为了名称与内涵相适应,自70年代末期,我国工程地质界仍将岩石和土作为概念不同的二个术语,将岩体和土体简称为岩土,并将研究岩体和土体的工程地质性质的学科称为工程岩土学。

岩土的工程地质性质,是岩土与工程有关的多种性质的综合术语,在国内、外的许多文献中往往并列出许多种“性质”,例如:孔(裂)隙性、密实性、吸附性、塑性、膨胀性、崩解性、粘着性、渗透性、变形性、强度特性、流变性……等等十余种。根据它们与工程设计和施工的关系,大体上可将其分作两个层次:第一层次,是与工程设计直接相关的性质,表征它们的指标直接参与工程地质问题的评价和工程设计,这主要包括力学性质和渗透性;其余性质则属第二层次,它们是岩土成分和结构特征的直接反映,能够从某些侧面在不同程度上反映第一层次的性质,与工程设计的关系则是间接的。

从根本上说,岩土的工程地质性质,取决于岩土本身的物质成分(矿物和化学的)和结构,它们分别是岩土在一定空间和时间中存在的基础和形式,是岩土工程地质性质的根本。岩土的成分和结构发生变化,必然导致工程地质性质的变化,改变(无论是自然的或者是人为的)岩土的工程地质性质也一定是从改变岩土的成分和结构着手。相对说来,岩土原有矿物成分的变化一般较结构变化缓慢,因而结构变化对岩土工程地质性质的影响往往更较明显。在大多数情况下,岩土矿物成分变化与结构变化间存在着一定的关连性(主要是单向的),矿物成分的变化总是立即引起结构变化;而结构改变对矿物成分一般不发生直接影响,但在某些情况下可为矿物成分的变化提供有利条件,例如岩土体的裂隙化。

岩土成分和结构的变化并从而引起的工程地质性质的变化,它们是在各种自然环境和人为(工程)环境中在某些要素作用下发生的。在自然环境要素中作用最明显、存在最普遍的是地下水和地应力。人类的工程活动,不可避免地在不同程度上改变着岩土所处的水和应力环境。因此,对于岩土工程地质性质的研究,应当以研究其成分和结构为核心,高度重视自然和工程环境及其变化对岩土成分和结构,乃至工程地质性质所造成的重要影响。

时间效应,是控制岩土工程地质性质形成和变化的又一重要方面。形成和变化总是沿着时间这一坐标轴发展,因而时间控制着这些作用的进程和结果的积累,粘土与粘土岩、砾土与砾岩,以及新近开挖出的新鲜岩石与此种岩石长期出露于地表的风化带,它们的矿物成分、结构和工程地质性质都有不同程度的,甚至非

常明显的不同,这都充分表明时间效应对岩土工程地质性质形成和变化的重要意义。

2 岩、土的统一性

2.1 作为地质体的统一性

岩石和土都是原始成分相同或不同的物质,在相同或不同的地质环境中,而不同地质时代的产物;然后又在相同或不同的地质作用下发展和变化着。火成岩由岩浆在地球内动力作用下,上升到地表以下不同深度上,或喷出地表后冷却凝固而成;沉积岩是地表岩石经风化解体,或火山喷发的碎屑物质,一般都经过外动力搬运和易地沉积,再经成岩作用石化而成;变质岩则是已生成的火成岩或沉积岩,在地壳深部经受变质作用改造而成的产物。土可被认为是未经或者刚刚开始经受成岩作用的沉积岩,同时它们也还在继续不断地经受着风化作用。

从上述中明显可知,自然界的岩石和土,一刻都不可能离开地质环境,也不可能一刻摆脱地质作用,它们都是地质历史的产物,是一种地质体。因此,要想深刻地认识它们就必须根据地质学的观点,运用地质学原理。

岩石的成因是原始物质成分、地质环境和地质作用对岩石形成的综合效应,它赋予岩石以不同的矿物成分和结构这两种基本地质特征。但是,如前所述,岩石存在于一定的地质环境中,在不同的地质作用下时刻不停地发生变化(尽管在自然条件下这种变化的速度一般非常缓慢),也就是成因所赋予原来岩石的特征逐渐退化,而后来的地质作用对岩石的影响则不断加深。因此,在人们从工程地质观点来认识某种具体的现实的岩石或土时,就需要既研究此种岩石的原始成因,也研究后来对岩石起改造作用的原因。二者在实际研究中所占的地位,则取决于此二者分别对当前岩石的矿物成分和结构所起作用的大小。例如,人们在工程活动中所遇到的花岗岩体,它们一般都经受了不同程度的风化作用,对于新鲜花岗岩,无疑必须重视对花岗岩成因的研究,因为原来的成因仍对当前岩石的成分和结构起决定性作用;对于其强风化、全风化部分,甚至残积土,如果再将主要注意力集中在研究花岗岩上,则显然是不适宜的。此外,对于经受不同程度变质作用的岩石,或者经受不同程度成岩作用的沉积岩,也是如此。

2.2 相互转化的统一性

在人们一般的概念中,岩石和土的形象是截然不同的,或者说是两种完全不同的物体,其基本着眼点在于组成岩石的颗粒之间,是否存在着牢固或比较牢固的相互联结。有,则称为岩石;无,则视为土。然而,作为构成地壳上层和表层部分地质体的岩石和土,在适宜的地质环境中经过漫长的岁月,是能够相互转化的,而且正在相互转化中。如果从地壳上部的岩石谈起,无论它们是火成岩、沉积岩

或变质岩,当其位于地面以下一定深度之内时,它们便开始经受风化作用,也就开始了它们向土转化的过程,直至风化作用将其粒间联结完全消除,它们就成为残积土。此时,它们经常会被各种动力(流水、风、重力,等等)搬运到其他地方。这样,一方面,由于上部残积土不断被搬运,风化营力不断向下部侵入,风化作用则无止境地在进行;另一方面,被不同动力搬运而在适宜环境中沉积(淀)下来的松散物质,则成为各种成因不同的土层。对于这些物质来说,往往要经历多次的搬运和沉积,才能固定下来。沉积(淀)物一旦固定不动,后来的沉积物则不断覆盖在它们的上面,它们便开始经受成岩作用,粒间联结逐渐产生,亦即开始了向沉积岩的转化。到此为止,已说明了从岩石到土,又从土到岩石的一个完整的转化过程。此外,地质学中早已了解,当沉积岩的上覆厚度不断增加,亦即埋藏深度增大到一定程度(有时还加以构造断裂的作用)时,沉积岩有可能因变质作用而成为变质岩,或者甚至可成为火成岩的原始材料——岩浆。上述转化过程简示于图 1。

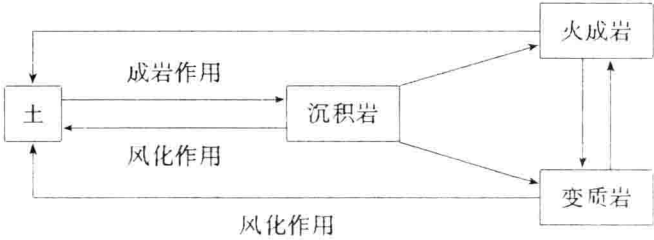


图 1 岩—土、土—岩转化示意图

虽然人们对岩石和土一般在概念上是比较明确的,但在实际工作中有时却遇到了极大的困难。由于无论是促进粒间联结进化的成岩作用,或者是促使粒间联结退化的风化作用,都是非常缓慢的,因而岩土粒间联结的相应变化也是逐渐而连续的,在它们之间并不存在一个明显的界限。第四纪早期的许多粘土质沉积物,例如分布在青海龙羊峡地区的湖相粘土质沉积物、广东西南部湛江组中的粘土质沉积物、四川西南部昔格达组中的粘土质沉积物等等,它们都经受了百万年以上的成岩作用,在粒间已形成了一定程度的联结,从而也表现出明显高于一般粘土的力学性能,但却与一般公认无疑的粘土岩(即使是第三纪、白垩纪的)又有颇大差距。由于归属界限的不明确,因而有的研究者称之为粘土,有的则称之为粘土岩。工程地质工作中,更会普遍遇到的是关于残积土与全风化岩(对风化带四级划分时则为强风化岩)的区分。显然,这都是由于岩、土之间的相互转化必然出现的问题,所以也可以说人们对岩、土的概念似乎明确,但实际上是模糊的。

2.3 工程地质性质根源的统一性

前已述及,无论岩体或者土体,对其工程地质性质起直接控制作用的根源都是矿物成分和结构,也可以说,岩、土的工程地质性质(以及在这个综合术语中所

包含的任一种性质)都是岩、土矿物成分和结构实际特征的反映。但是,总的说来,岩、土的这两种基本地质特征在工程地质性质的控制意义中,结构应居首位。完整岩石与土或裂隙化岩体,以及粗粒土与粘性土,它们工程地质性质的悬殊差别都莫不决定于结构。当然,在许多情况下,矿物成分对岩、土工程地质性质的作用,也是非常重要的。例如,粗碎屑岩的胶结物成分(硅质的、铁质的、钙质的、泥质的),粘土中次生粘土矿物的类型,矿物抗风化能力的不同,从而导致的岩体工程地质性质衰退速度和程度的各异,等等。

任何改变岩、土工程地质性质的作用,无论是自然地质的或人为的,实质上也都是从改变岩土的成分和结构入手的。前面已较多地论及成岩作用和风化作用,较充分地说明了自然地质作用改变岩、土性质的机理;人为改变(目的在于改善其工程地质性能)岩、土的性质大体上也是如此。在我国当前工程实践中常用的人工土质改良方法,大多都着眼于改变岩土结构,有的通过处理直接使岩土结构发生变化;有的则通过改变土体的成分从而达到改变结构的目的。试图用人工方法改变岩土中原来的矿物成分,尤其在短时间内,一般是难以奏效的,因而往往是在岩土中加入某种物质从而改变岩土体的总体成分。利用静、动(振动、冲击)荷载加密土体,例如碾压、预压排水固结、振冲、各种量级不同的夯击法等等,均属于前一类型。各种材料(水泥、沥青、粘土、各种化学材料等)的灌浆、深层搅拌、高压喷射注浆法等等,则属于后一类型。这就从另一侧面说明了岩土的结构和成分,对其工程地质性质的重要控制意义。

3 岩、土的个性

3.1 岩石和土的基本个性

如前所述,岩石和土在人们概念中的主要区别,首先在于颗粒之间是否存在牢固或比较牢固的联结,而粒间联结是“结构”这一综合性词汇中包含的重要内容之一。尽管不同岩石所具有的粒间联结的强度存在很大差异,但是既然可被称为“岩石”,那么就已表现这种强度已有了基本保证,加以它们一般都很密实,因而它们都表现出高的或很高的力学特性(单轴抗压强度可达数百兆帕,弹性模量可达数万兆帕)和极低的透水性能(渗透系数可低于 10^{-6} cm/s),土体与之相比,确有天壤之别。

自然界中的岩石大多数都经历了千万年,甚至几十亿年的历史,都在其各自存在的地质环境中经受了多次的、不同程度的构造作用。这些构造作用在它们的身上留下了斑斑伤痕——断裂,从长度仅以毫米计的细微裂纹,到延伸数百至数千公里,深达数十至数百公里的深大断裂。加以自其进入地壳表层(正是人类工程活动的范围)以来,表生作用又在不断进行,这样就使原本完整性、连续性很好

的岩石学概念中的“岩石”，成为断裂交错的、工程地质概念中的“岩体”，它们的工程地质性能必然发生不同程度的，有时甚至是幅度很大的劣化。土体是“年轻的”地质体，它们一般从未遭受过构造作用，只有分布在新构造运动非常强烈地区的那些土层中才有构造裂隙，甚至偶然还会发现断层，例如分布在四川西南部的早更新世的昔格达组。土层都存在于地壳的最表部，虽然风化作用是很强烈的，它们确实也因之而发生变化，但由于它们本身一般就已是风化作用程度不同的产物，因而对风化作用的反应就不像岩体那样明显。总之，尽管岩体与土体都在经受构造作用和对风化作用的反应有非常明显的差异，但是二者的工程地质性能仍不能比拟，前者仍远远优于后者。

从上述中还可看出，时间对岩体和土体的总体效应通常是相反的，它所给予岩体的总是破坏作用的积累；而给予土体的除风化作用破坏效应的积累以外，还有成岩作用的积累，而且后者大于前者。

地应力对岩体和土体的效应也有明显不同。在距地表的一定深度之下，地应力场往往主要由重力和构造应力两部分组成。重力场总是具有很强的规律性；而构造应力，尤其在近代构造活动比较强烈的地区（例如青藏高原及其周边地带），可以达到很高的水平。它对岩体的强有力的围限作用，一方面可使完整性好、强度高的岩体积蓄大量的应变能，一旦在这种岩体中造成临空面（例如人工开挖、钻孔等），洞壁岩体发生应力的突然释放，岩壁破裂，甚至出现岩爆、岩心饼化等现象；另一方面也可使原已破裂或碎裂的岩体，在高地应力的围限下具有好得多的工程地质性能，四川雅砻江二滩电站右坝肩岩体中的阳起石—绿泥石化蚀变玄武岩软弱岩带，就是一个范例。土体则完全不同，它们都分布在地壳表层，由粒间无联结或弱联结的粒状物组成，是一种多孔体，强度低，即使发生构造应力的作用，也会较快的通过颗粒位移或错动而使应力消散，不可能发生较高的应力集中。因此，土体中的应力场较为单纯，主要是重力，它决定于深度(z)和上覆土层的密度(ρ)。虽然在开挖卸荷时，某些粘性土也会发生少量的回弹变形，但总地说来，土体的工程地质性能随应力的增大而提高。

3.2 岩体的个性

岩体与土体相比，具有多得多的、好的或比较好的工程地质性能，这是岩体的共性。然而，自然界中的岩体是多种多样的，它们的工程地质性能也存在很大的差异，因而其个性也是明显的。产生这种个性的原因，主要有三个方面：

(1) 岩体中不连续面的规模和密集程度。这些不连续面包括原生的（例如沉积岩的层面、变质岩的片理和片麻理，以及玄武岩的柱状节理等）、构造的（断层、裂隙等）和表生的（卸荷和风化作用产生的）。在这三大类不连续面中，构造作用产生的不连续面涉及的岩体成因类型最普遍，存在的空间范围也最广泛。它们的发育程度往往是岩体的生成年代（经历地壳运动的次数）、所处的构造部位（所受