

JIEGOU DIZHI
YU SHUIDIAN GONGCHENG

结构地质 与 水电工程

许述礼 著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

JIEGOU DIZHI
YU SHUIDIAN GONGCHENG

结构地质 与水电工程



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书为作者的悉心之作,是数十年经验之结晶,重点讨论了工程建设同地质构造的关系,提出了地质结构体概念,并以水利水电建设中的几座巨型工程为例,讨论了一些不良结构地质体的成生机制及治理措施。

本书共分8章,内容涉及结构地质体、新构造运动及真假新构造形迹的识别、复杂地质结构与区域地质结构稳定性分析、谷坡结构岩体与破坏机制、开挖边坡结构岩体稳定与支护、区域构造与巨型水电站构造稳定性、区域地质构造与洞体工程、中国天生桥二级水电站引水发电隧洞地质灾害及其治理等,值得工程地质界同行借鉴、琢磨。

本书作为水利水电建设工程、土木建设工程等相关专业技术人员 and 研究人员的良好学习和参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

结构地质与水电工程/许述礼著. —北京:中国电力出版社, 2010.3

ISBN 978-7-5083-9526-5

I. 结… II. 许… III. ①水利工程-工程地质-研究
②水力发电工程-工程地质-研究 IV. P642

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 181193 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2010年3月第一版 2010年3月北京第一次印刷

850毫米×1168毫米 32开本 6.375印张 152千字 1插图

印数 0001—1400册 定价 35.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



序

许述礼同志是我最钦佩的朋友之一。他能够在任何条件下，不论是艰苦，还是困难，都毫不松懈地钻研他的业务。除了工程和地质工作外，他似乎毫无他求。他不仅热烈地投身于各工程的实际工作，而且孜孜不倦地追求理论和方法的进步和创新。

这本专著可以说是他的悉心之作，为数十年经验之结晶。文中重点探讨了工程建设同地质构造的关系。他认为工程建设离不开地球，任何建筑物都会在不同程度上受到地质构造的制约。重大工程更加需要同地质构造相协调。

他提出了结构地质体概念。结构地质体指由相应级别结构面所围限而成的不同规模的地质体。区域性断裂所组构的地体可出现与相邻地体迥然不同的地质结构和演化历史。次级结构面构成的地块则常在地形地貌上显示特征。而更小级次结构地质体也常构成工程场址的某些特殊的块体，影响到工程的稳定性。

我们所面对的地质体，无不受地质构造力作用而形成和演化，其特性皆受地质构造作用力制约。地质体因其物质组成的不均一性，其物理、化学性质亦不相同。这种地质体就其工程需求和研究对象而言，因受结构体的规模和性质等因数的影响，也都存在很大的差异性。

经过多次地质构造运动而形成的结构地质体，由于构造应力场的变化，不仅其物质成分存在差异性，其结构面的性质亦应其构造变形叠加而改变。

工程建筑物都依建在地质体上或在其中，所以地质体也可看

作工程的组成部分。工程结构物和地质结构体相互作用、相互制约，从而构成一个统一的地质工程系统。赋存于地壳中的结构地质体无时不受地质构造力的作用，而由于工程的作用，又人为地增加和改变结构地质体的受力状态。时有因工程开挖或其他原因造成临空条件的变化，导致平衡状态被破坏，结构地质体失稳，出现地质灾害。不论是突发性的还是滞后性的地质灾害，都给施工和工期带来重大影响，甚至造成惨重的灾难和损失。

他深刻地认识到地质对工程的重要性，在解决工程的地质问题时认真考察结构地质体的性状及各组结构面的性质与空间状态，并将其直接纳入工程建设体系中一起研究。

他在文中以水利水电建设中的几座巨型工程为例，讨论了一些不良结构地质体的成生机理及其治理措施。位于川滇南北向构造带区的二滩水电站区域地质稳定性分析，以及水库区巨型滑坡的破坏机理研究；三峡永久船闸开挖过程中，结构块体失控塌滑机制的规律总结；天生桥二级水电站引水隧洞的岩溶洞穴泥石流、溶洞软基、暗河涌水以及岩爆、洞体塌方等不良地质段，在治理过程中的成功与失误的经验总结等成果皆是他亲身经历和杰作，体现了工程地质的核心内涵，以及结构地质体研究的理论意义和工程实际价值。这部大作值得工程地质界同行借鉴和琢磨，尤其是年轻朋友们的学习和参考。

中国工程院院士
原国际工程地质与环境学会理事长

王思敬

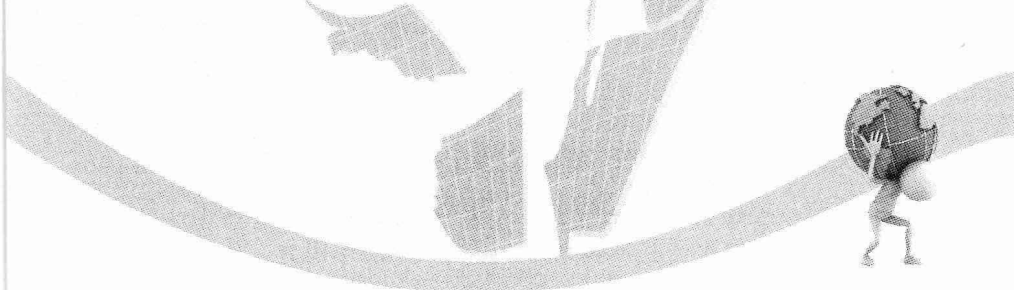
2009年1月25日



自序

笔者从事水利水电工程地质工作，积累 40 年工程施工经验，通过本书对地质结构的发生、发展，以及对工程的影响作局限性的归结，提出自己粗浅的认识。

人类社会的发展就是“踏着前人的脚步走，为后人留下足迹”的相续工程。本人也是在前人地学理论指导下，学习与认识客观地质条件，经工作中实践与挫折，探索提出自己的认识论。在学习、实践中，在面临极端复杂地质条件下，也曾经茫然无策，但是通过多方请教学习和深入研究，逐渐熟悉了地质体的结构特征，并有的放矢地与工程密切结合，分析各种地质因素对工程的影响，从而更好地利用和改造相关的地质体，使工程建筑物安全稳定，造福于人类。



前言

我们所居住的地球，仅是浩瀚宇宙中的一个小质点。人们将这个小星球称之为世界，这只是一个狭义的概念，真实的宇宙是无限时空的概念，“世”是过去、现在、未来，“界”应是四维空间，同是无量时间与无量空间的含义。故我们所面对的地质体，是一个时空变化发展的产物。要想真实地了解它，就必须从多维时空出发，而逐步深入探索之。然而，人类社会发展的今天，人们还不能进入多维时空态，故限制了我们对于世界客观事物的认识能力，所以我们只能从发展、变化的眼光去认识当今世界。

对于地质体来说，是可大可小为人们研究的对象。大者是地球壳层结构，小者是工程所在的有限部分。然而，地质体不论其大小都是结构体。它们的形成都有其初生、发展（演化）所呈现及隐伏存在的变化过程。这种形成的主要因素简化为力与介质，力存在于宇宙空间。地球之演化与天体运行是分不开的，可是天体对地球作用和影响规律及量数，现阶段认识尚少。目前仍受三度空间理论所制导。从牛顿定律而论，这种地质结构体的形成，归根结底是力对物体（介质）做功消能的产物。

从全球乃至区域地壳都是镶嵌块体结构，这种多种形态的结构块体，受其构造力的作用都在不同程度的运动（含变化）消能。因为任何物体（介质）运动受力而做功，都力求用力最小达到做功最大，故结构块体的运动是动力驱使块体相互作用，首先利用有利结构面错动消能，进而达到块体的应力积累、传递与转化推挤，使块体产生位移、形变以至质变。

天体运动虽有规律性，但也在发生变化，故地球运行轨迹也受其影响，地球壳层在不同时期结构状态和运动也都在变化。自然，地区地质体也受其不同方向，不同大小的作用力，从而使结构地质体的边界面（结构面、结合面）的受力状态也应其而变。所以，在复杂地质条件下，结构面的性质常出现似是而非的性状。为认清结构体真实面貌，就必须研究区域地壳发展历史，理清结构体、结构面各期受力状态及发展过程和演化过程。

对于松散介质的分析，由表及里，内外统筹，分析它的生成环境，掌握结构组成，了解其性质、性能，为其所用（含治理与改造）。

上述之目的，是为人类认识客观地质环境达其所求之用。对于工程建筑而言，自然是充分利用有利地质条件，改造劣质条件，而满足工程需求。并从发展与未来角度视其变化进行监测。



目 录

序

自序

前言

第一章 结构地质体 1

第一节 结构地质体的形成 1

一、地质体物质组成的不均一性 1

二、地质体的演化 2

三、地质体演化与地壳结构的多元性 3

第二节 结构地质体的主导作用 5

一、制导成矿作用 5

二、成油作用 5

三、成煤作用 6

四、地下水资源作用 6

五、控震作用 8

第三节 结构地质体形成的机制 8

一、不同构造部位的受力状态 8

二、不同构造环境,介质性状的差异性 9

三、构造应力的作用时空状态不同,对地质体的影响 ... 10

第二章 新构造运动及真假新构造形迹的识别 14

第一节 宏观的地貌识别 14

一、构造盆地 14

二、槽谷 15

三、断陷平原	15
四、松山地貌	15
五、无植被的大冲沟	16
第二节 水文标志	17
一、地表水特征	17
二、地下水标志	17
第三节 地层物质结构特征	17
一、结构与密度、孔隙率的关系	18
二、植被、含水性、透水性	18
三、地震带上的堆积层	19
第四节 新地层形变	19
一、断裂	19
二、褶皱	23
第三章 复杂地质结构与区域地质结构稳定性分析	26
第一节 研究途径	26
一、宏观认识	26
二、由宏观逐步向微观探索的研究途径	27
第二节 区域地质环境与工程的密切相关性	28
一、不同区域地质环境对不同工程的影响	28
二、建筑与基础	28
三、基础是工程的一个组成部分	29
四、基础条件制约建筑物	29
五、结构形态与规模	29
第三节 区域地质构造稳定性	30
一、区域地质构造稳定性	30
二、不同类型、规模建筑物，各自所处的区域地质背景不同，工程设计有关技术参数取值均不相同	31

第四章 谷坡结构岩体与破坏机制	34
第一节 谷坡形成的内因与外因	34
一、外动力作用遵循做功原则	34
二、利用结构体的薄弱环节消能	34
三、地壳上升与外营力的侵蚀作用造就临空条件	36
四、新构造运动及地震作用	36
第二节 边坡结构岩体与破坏机制	37
一、不均质的结构地质体	37
二、地质构造背景影响与作用	37
三、岩层产状与谷坡坡向的关系	37
第三节 块状结构岩质边坡破坏实例分析	38
一、斧山滑坡	38
二、二滩水库区梅子铺滑坡	39
第四节 层状结构岩体边坡破坏实例分析	40
一、厚层状	40
二、中薄层状、互层状	45
第五节 未成岩边坡破坏实例分析	51
一、半成岩	51
二、黄土地区滑塌机理	52
三、坡积体的滑塌机制	52
第六节 典型滑坡治理	53
一、调压井滑坡断壁治理	53
二、芭蕉林滑坡堆积体的治理	56
三、下山包滑坡治理	58
四、厂房南坡开挖边坡倾倒破坏与治理	62
第五章 开挖边坡结构岩体稳定与支护	64
第一节 建筑工程开挖与结构岩体稳定性	64
一、散体结构边坡开挖及支护	64

二、层状岩体不同产状与开挖边坡稳定条件	65
三、均质结构体边坡稳定性	65
第二节 边坡开挖与支护措施	66
一、层状结构边坡开挖	66
二、块状结构体边坡支护措施	66
三、破碎结构岩质边坡	93
四、不同气候条件下的松散体边坡	93
五、隐伏软基对边坡稳定性的影响及治理	95
第六章 区域构造与巨型水电站构造稳定性	96
一、长江三峡水力枢纽工程区域地质构造稳定性	96
二、二滩水电站区域地质构造稳定性	100
第七章 区域地质构造与洞体工程	113
第一节 不同的区域的地壳稳定性	113
第二节 构造力作用与地貌	114
第三节 不同结构岩体的洞体稳定性的控制因素与支护	114
一、洞室工程的发展与应用	114
二、结构地质体与洞室稳定性	115
第八章 中国天生桥二级水电站引水发电隧洞地质灾害及其治理	127
第一节 大地构造与构造发展历史	129
一、大地构造部位	129
二、本区地质构造演化历史	129
三、地质构造演化对岩溶发展的制约性	131
第二节 岩溶、涌水、涌砂治理	133
一、溶洞	134
二、暗河涌水、涌砂	167

第三节 岩爆治理	175
一、掘进机开挖隧洞岩爆与治理	175
二、钻爆开挖隧洞岩爆与治理	176
第四节 断层及破碎围岩塌方治理	180
一、砂岩、泥页岩洞段塌方治理	180
二、可溶岩洞段断层破碎带治理	183
结束语	188



第一章

结构地质体

第一节 结构地质体的形成

一、地质体物质组成的不均一性

地壳是地球表层固态壳层，且以火成岩占绝对优势，从生成上可分内生、外生、变生三大类。

1. 内生

内生由岩浆冷凝而成，谓之火成岩。因其 SiO_2 含量不同分为酸性、中性、碱性、基性、超基性等几大岩属。各岩属又因其产出环境之别，分深层、浅层，喷出相别之差。此外，还有根据产生形态定出基、珠、枝、墙、脉之别。不同形态的出现受其生成时空环境所控制，所以它的边界环境对其必然产生一定的影响。又因壳内提供的压力与温度并非固定不变，故出现同属同种岩浆岩有分异性和结晶不均一性，受冷凝环境影响出现原生构造等。

2. 外生

外生是以沉积为主导，其次是重力，外动力堆积。

沉积：环境是主要控制因素，概述为海相和陆相两大类。

海相：有相位之别，受古气候及地壳活动性影响。在海相中除以化学沉淀，碎屑沉积外，还有火山物质沉积（流态——岩浆，固态——灰、砂、砾、集块）。

陆相：水成的有河流相、湖泊相、冰川堆积、冰水沉淀。气成的有风力吹扬搬运而来的砂、土沉积。外动力与重力作用成因的有滑坡堆积、撒落以及崩塌堆积。另外有陆地火山喷发物质的沉积与堆积。

3. 变生

变生是指内生岩石和外生岩石，因地壳强烈构造运动，对原岩施加高压，以至高温，使其发生不同程度的性变和质变，即常言之变质作用。值得注意的是变质作用不分时代长久，而取决于构造动力的大小与作用时间长短。变质作用在同一地区，也决非仅有一次，这一点在陆壳基底层中多有所见。

二、地质体的演化

1. 地质体演化的时空性与多因性

自地球形成壳层以来，已有数十亿年的历史，它无时不在运动。壳层物质和结构形态，自然受构造力作用应其变化。地球的活动性不是均衡的，它是通过运动的动能，逐渐积累能量，当能量达到一定程度，才能驱动地壳整体或部分发生强烈运动。所以，地壳的构造运动，是地球运行—积能—做功（消能）的序列过程。因此，自然就存在一个时空发展的序程——时空性。

地球有一定的运行轨道，是受天体与星体的作用牵制的结果。然而，天体运行也不是一成不变的，地球也就应其而改变。加之，地球内部与壳层物质分布的不均一性，各部位物理、力学性质与转动惯量均不相同，所以在演化过程中显相和反作用性状也不相同。这些因素都对演化起着作用，故此，地质体的演化具有多因性。

2. 物质不均一性与构造变动异形性

组成地壳或区域，地块的岩性与形态，可以说是千变万化的，其抗力性能的自然差异甚大，在构造力作用下，其变动方式、内部结构及变异性均不相同，所以出现异形性。

3. 介质体的受力状态与运动方式变异性

介质体不论是物质成分，还是力学性质，以及几何形态都是多变的。所以，即使在统一的应力场作用下，受力状态都不一定相同。因其几何形态不同，作用在结构体边界面上的力（三要素：大小、方向、作用点）的性状亦不同，导致运动方式不同。然而，在受其相互制约条件下，而不能应其受力状态而运动，作用力又通过复杂的结构地质体而传递。在不平整、不均质的界面上，作用力除了经过做功耗能外，又分解、转换、传递，导引出力的方向转变——派生应力（场）出现，故有旋转、弯曲、扭曲（平面或剖面）的构造形迹出现，而显示和证实运动方式的变异性。

4. 构造运动的多期性与结构地质体发展过程中力学性质叠加性

地质构造运动，是波浪式或是旋转式、阶段式、间接式，不论怎么说，都是不固定式的，这就反映出运动的多期性。可是，各时期的力源不尽相同，作用在地质体上力的方向，自然应其而变。即使同一力源，由于受力的地壳形变和位移，所派生出的力作用到相毗邻的地质体上时，方向也因其转变，反映最为明显的是结构地质体的结构面上的力学性质，多期作用的力学性质不同，而出现力学性质的叠加性。

三、地质体演化与地壳结构的多元性

地壳分洋壳与陆壳。洋壳物质成分较单一，只有矽镁层—玄武质壳层；而陆壳即有矽镁层，又有矽铝层，矽铝层中又有花岗岩石圈和沉积岩石圈。人类赖以生存和利用的是矽铝层为主，

就这一层中物质成分分布极不均一，受其地质构造作用影响，各地区地壳结构亦极不相同，故划出不同级别的单元，在此谓之多元性。

1. 基底结构成生时空性

就大陆地壳中相对稳定地块，从结构与其组成上又分基底与盖层。基底相对坚实，它虽然经历了多次构造变动，但时间相对较久，固化硬结。由于不同地区强烈地质构造运动的结束时间不同，基底结构成生时间自然不同；又因形成基底结构的应力场不同，基底结构形态及岩层、岩性分布也不同，所以不同地区的基底也各具有各自结构的时空性。

2. 基底结构与盖层结构的相关性和制约性

基底表面形态制约了盖层的沉积环境与岩相变化。基底的断裂构造不仅是基底形态的主导控制因素，也是后期地壳活动的媒体，所以，它直接影响盖层沉积分布，构造线展布及断裂分布与活动性。如果基底是块状体，剥蚀后自然是中央突起，边缘拗深，不论是海水浸没，还是陆地沟槽，被盖层覆盖以后，再经构造运动时，不论力来自何处？基底断裂复活错动，其上覆盖层中也自然出现同生断裂，再对应基底块体边缘部位，这种附和对应性更是如此。而基底块体因其坚实抗力储能不易破碎，其上盖层亦由于底盘坚硬，自然出现复式短轴背斜（如三峡工程区所在的黄陵背斜）。另外，不论基底总体形态方向如何，其中断裂带经过剥蚀出现负地形，接受沉积覆盖后，再经构造运动作用，盖层受基底形态控制，只能应其出现相应的向斜，以致半生走向断裂，别无其他选择（如祁连山区祁连县黑河断裂谷中，白垩系红色砂岩沿断裂河谷呈向斜展布延伸，并有对应基底断裂的同走向断层发育）。

可见，研究地质构造，必须与研究基底同时进行。千万不能忽视基底的控制作用，否则，认识也就只能处于浅表性阶段上，