



工程地质分析与实践

GONGCHENG DIZHI FENXI YU SHIJIAN

兰艇雁 马存信 李红有 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

工程地质分析与实践

兰艇雁 马存信 李红有 咸付生 编著
侯浩 安民 杨石眉 王卫东 陈世伟



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

35#

探槽2 (高程1950m)

探槽1 (高程1980m)

36#

内 容 提 要

本书叙述了组成工程地质条件的各项地质环境因素,分析了各地质环境因素对工程的影响,并列举了大量的工程地质问题分析案例。特别论述了地貌的形成和发展主要是地球内外营力共同作用的结果,不良地质作用大多在地表有所表现,强调了地貌研究及地表地质工作在分析工程地质问题时的重要性。

本书对工程地质专业人员进入工作岗位有一定的指导作用;对有一定经验的工程技术人员有启示和提高作用;对工程规划选址、设计、工程施工管理人员增加地质专业基础知识、加强对不良地质问题的认识、提高工程地质问题的处理水平有一定的借鉴作用。

图书在版编目(CIP)数据

工程地质分析与实践 / 兰艇雁等编著. — 北京 :
中国水利水电出版社, 2016.6
ISBN 978-7-5170-4419-2

I. ①工… II. ①兰… III. ①工程地质 IV.
①P642

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第138926号

书 名	工程地质分析与实践
作 者	兰艇雁 马存信 李红有 等 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 24印张 569千字
版 次	2016年6月第1版 2016年6月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	86.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

序

本书作者长期从事水文与工程地质勘察、咨询和研究工作，并对大量勘察成果和工程施工中揭露的工程地质问题进行了理论分析和对比研究，除山西省内的大型水利水电工程外，还参与了国内三峡工程、溪洛渡水电站、向家坝水电站、小湾水库等工程地质勘察成果与实际开挖的对比研究，参与了这些工程施工中遇到的疑难工程地质问题的专题研究和论证，积累了较为丰富的工程地质问题分析和缺陷处置的经验。

本书通过工程地质勘察的典型案例分析，论证了工程地质问题与地学理论的关系，提出了针对不同工程类型和不同地质环境条件，开展地层岩性、地形地貌、地质构造、水文地质和物理地质现象等工程地质条件分析的方法和思路。本书在各类工程勘察方案的合理布置、关键性工程地质问题的识别、对工程建设的影响程度分析以及提出经济上合理、技术上可行的工程处置措施等方面都进行了有益的探索。

在地质构造（内应力）与岩体表生改造（外营力）的共同作用下，所产生的表生构造往往会在地貌形态上表现出来，因此，可以根据表生构造在地貌上的表象来研究不良地质作用的类型。本书作者通过对大量施工中揭露的工程地质问题与所处的地貌环境的对比分析，揭示了工程地质问题与地形地貌（表生构造）之间的对应关系。本书在此方面进行了深入的探讨与研究，内容丰富、案例典型，无疑对前期工程建筑物选址和建筑方案选定具有积极的指导意义。

当然，本书在编撰过程中，对案例的归纳分析尚不够深入，工程地质定量分析数据偏少，还需今后进一步修正。

工程地质是一门实践性很强的科学。大型工程建筑的工程勘察与施工周期一般都较长，即使这样，也难免出现施工中揭露的一些工程地质问题与勘察成果大相径庭的状况，给工程建设带来麻烦。因此《工程地质分析与实践》

是工程地质领域内难得的文献，能够对广大勘察工作者从事工程地质勘察和
研究工作给予启迪。

拜读之后，感受很深，受益匪浅，欣然作序！

太原理工大学水利学院院长

张永波

于 2015 年 9 月 26 日

前 言

人类社会的发展就是“踏着前人的脚步走，为后人留下足迹”的世代相续之系统工程。笔者正是在前人地学理论指导下，通过多方请教学习和深入研究，努力认识客观地质条件，经过工作中的实践与挫折，探索提出自己的认识论。其目的是与工程地质工作者相互交流、取长补短、提高发现和解决工程地质问题的能力，希望能够通过工程地质条件分析，抓住关键的工程地质问题，更好地利用和改造相关地质体，使工程建筑物安全稳定，充分发挥其功能。

笔者多年来一直从事水利、岩土及风电场工程地质工作，既有漏判工程地质问题的惭愧，又有成功预测高边坡大型塌方、挽救数十人生命的欣慰。本书力求理论与实践相结合，紧紧围绕工程地质条件的各地质要素，有针对性地编录了工程地质分析评价的基本原理，列举了大量典型实例，并融入了笔者的思考及分析。

目前，工程地质工作中存在着重实物勘探忽视地表地质工作的问题，强调地貌与地表地质工作、强调加强工程地质分析是本书的一个侧重点。地貌是地球内、外营力共同作用的产物，大部分不良地质作用在地貌上都有所表现，笔者结合工程地质勘察和工程施工中遇到的不良地质作用在地貌上的表现形式，引用了比较成熟的基本概念——清晰的地学理论，对地貌与不良地质作用的关系进行了比较系统的研究，得出了“风电场工程地质问题研究”的研究成果。对风电场建筑物的微观选址、工程地质勘察关键部位的把握有重要意义，对施工过程中出现的不良地质作用处理有一定指导作用，对其他工程的选址、勘察、设计、施工以及对地质灾害的预测预报亦有借鉴作用。

需要强调指出的是：地质勘察不是只要通过对地貌与不良地质作用的研究就能够把所有的工程地质问题进行揭露，而是期盼工程地质工作者能够加强对地貌与不良地质作用关系的认识，以地学理论为指导，通过地表地质工作进行综合分析，透过现象看本质，抓住影响工程建设的关键问题，使得勘

察工作减少一些盲目性，增加一些主动性。

编写本书的目的有三方面：第一，将作者在工程地质工作实践中的一些心得体会拿出来，与工程地质工作者相互交流，取长补短，提高发现和解决工程地质问题的能力，通过分析工程地质条件，抓关键的工程地质问题，更好地利用和改造相关地质体，使工程建筑物安全稳定，充分发挥其功能；第二，针对目前工程地质工作中存在的重实物勘探轻地表地质工作及综合分析的现象，希望能够通过交流，提高对地貌及地表地质工作的重视程度。而且通过大量的工程地质调查，可获取丰富的工程地质信息，经综合的工程地质分析，进一步深刻认识工程建筑场区的工程地质条件和工程地质特性，结合工程建筑布置的特点，对场区进行工程地质评价，可起到事半功倍的效果，不仅可节省工程地质勘察工作量和费用，而且在场地适宜性评价、工程总体布置和工程决策具有重要指导意义，避免或少走弯路；第三，风电属新型能源，风电场的勘察有其自身的特点，风电场工程地质是本书的侧重点之一，书中的许多章节均融入了风电场工程地质工作的内容，希望对风电场工程地质工作者有所裨益。

本书既有对其他资料的引用归纳，也有自身工作经历的研究总结。主要研究构成工程地质条件的各地质环境因素对工程的影响及如何对工程构成影响；研究地应力方向与构造形迹发生的时空关系，分析地质构造对地形地貌的控制作用和引发的不良地质作用对各类建筑物包括风机地基稳定的影响；侧重于研究如何通过地貌研究及地表地质工作，分析评价存在的不良地质作用及工程地质问题，属应用研究范畴，第8章即是本书的研究成果之一。

全书共分7篇20章。为力求理论与实际相结合，书中列举了许多作者亲身参与或收集的工程案例，并附有大量直观照片及插图。

第1章为绪言，简述了工程地质的发展，根据作者的体会，指出了当前工程地质工作中存在的问题及本书的编著目的与内容。

第1篇包括第2章至第7章，共6章，分别介绍了工程地质条件的六个地质要素，即地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质、物理地质现象及天然建筑材料。不同勘察对象和不同勘察目的的勘察会有不同的侧重点和内容。风电场建筑物勘察的主要目的是为保证建筑稳定提供可靠的地质资料，满足地基承载力、变形和抗滑稳定的要求。在风电场勘察的第一阶段，通过野外地质测绘，在对地表了解的基础上，可以对地下地质变化情况作出较准确的判断，比如断层、滑坡、泥石流、岩溶，甚至风化强度大的位置、崩塌的位置、卸荷宽度等都可以通过地表调查，初步确定不良地质作用的位置。

通过本篇学习，可以了解工程地质条件的组成要素及各要素的主要内容。为避免通篇文字说明的枯燥，插入了一些图片，便于读者理解。该篇为工程地质基础部分，可供刚入门的地质工作者学习参考。

第2篇至第7篇共12章，主要介绍工程地质条件中各地质要素（未包括天然建筑材料）的工程地质分析与实践。在行文中既总结了前人成果，又融入了作者的独立思考与研究。所选工程案例多是出现了工程地质问题的案例，许多案例的介绍较为详细，以便于总结经验与教训，在今后的工作中少走弯路。该部分内容可供同行交流借鉴、学习提高。对工程规划选址、设计、工程施工管理人员提高地质专业素质、加强对不良地质问题的认识、提高工程地质问题的处理水平有一定作用。

其中第8章是关于地形地貌在风电场勘察选址中的研究成果部分，论述了风电场常见的孤立的 山包、植物突变的条带、陡峭山崖边缘、马鞍形地形及垭口部位、山前堆积体、山脊狭窄地段、斜坡地段、坡脚地段、山脊侧向冲沟地段、山脊末端和沟谷平行连接的岩桥地貌形式都有可能对应不良地质作用。掌握这些一般地质规律和地貌特征，无疑对风电场的地质勘察、风电场场址的选定、微观选址、减少设计变更、提高工程进度、降低工程成本、保障风机运行安全都有重要的意义。地形地貌是地质构造、水、风化、地震等诸多内外营力综合作用的结果，这是我们能通过地貌及地表地质工作研究不良地质作用及工程地质问题的理论基础所在。

第7篇第20章主要论述风电场岩土工程勘察及应用。对于风电场的岩土工程勘察，主要考虑的是稳定，包括区域稳定、场地稳定及地基稳定。定量的岩土参数一般为承载力、压缩模量、压缩系数、内摩擦角、边坡坡度、地下水位和地震烈度等，勘察的主要目的就是通过分析验算稳定性，合理利用和改造地基，达到建筑物安全稳定的目的。该章内容可供风电场工程地质人员学习及使用，也可供建设及设计单位工程技术人员，对岩土工程勘察单位提供的承载力、变形指标、岩土的物理力学性质指标的物理意义和应用条件整体掌握，对主要设计数据正确性和合理性做出判断，充分利用和正确使用地质勘察资料，了解用不同方法和手段确定承载力的差异，在工程基础设计及现场验槽时，能够根据不同岩性、不同沉积特点、不同风化程度、不同密实程度等初步判断地基承载力、变形和抗滑稳定能否满足设计要求。

需要说明的是，工程地质条件的各地质要素间是相互联系的，工程地质条件是各地质要素的综合反映，工程地质评价中要全面分析组成工程地质条件的各地质要素。本书章节的编排方式并不是要割裂工程地质条件中的各地

质要素，只是为了体现各地质要素在工程地质分析研究中的不同侧重点。

本书在编写过程中，得到了武警水电部队教授级高级工程师许复礼，中国科学院地质研究所研究员、博士生导师尚彦军等工程地质专家的悉心指导，得到了山西省水利水电勘测设计研究院、龙源（北京）风电工程设计咨询有限公司等领导同事的大力支持，在此特致以诚挚的谢意！

由于笔者时间和积累有限，在引用附图和相关作者论述时未能全部标注，也有一些资料引自因特网，因无作者等信息，也未一一列出，谨向他们致以真诚的歉意及谢意！

研究过程中的缺点和不妥之处，热忱欢迎读者提出批评指正。

作者

2015年3月

目 录

序

前言

第 1 章 绪言	1
1.1 工程地质的发展	1
1.2 工程地质工作存在的问题	2
1.3 工程地质评价的差异	3

第 1 篇 工程地质条件综述

第 2 章 地形地貌	4
2.1 岩溶(喀斯特)地貌	4
2.2 滩涂地貌	7
2.3 构造地貌	7
2.4 剥蚀地貌	10
2.5 黄土地貌	10
2.6 流水地貌	12
2.7 海洋地貌	24
第 3 章 地层岩性	39
3.1 地层	39
3.2 岩性	50
第 4 章 地质构造	64
4.1 概述	64
4.2 大地构造理论	65
4.3 褶皱、断层及节理	75
4.4 新构造	80
4.5 构造应力场	83
第 5 章 水文地质	85
5.1 概述	85
5.2 岩石中赋存的水分	85
5.3 地下水的赋存特征	88

5.4	地下水的分类	89
5.5	地下水的运动规律	94
第6章	物理地质现象	95
6.1	概述	95
6.2	风化	95
6.3	岩溶	101
第7章	天然建筑材料	113
7.1	天然建筑材料种类及用途	113
7.2	天然建筑材料料场选择原则	113
7.3	天然建筑材料勘察阶段及精度要求	113
7.4	天然建筑材料质量要求	114

第2篇 地形地貌篇

第8章	地形地貌分析与实践	118
8.1	概述	118
8.2	风电场工程地质问题的地貌特征	119

第3篇 地层岩性篇

第9章	岩石地层工程地质分析与实践	139
9.1	岩石的工程性质及指标	139
9.2	岩体与岩石	146
9.3	三大岩类工程地质性质	146
9.4	不同岩类主要工程地质问题评价	149
第10章	特殊性土工程地质分析与实践	157
10.1	软土	157
10.2	红黏土	159
10.3	湿陷性黄土	162
10.4	膨胀岩土	170

第4篇 地质构造篇

第11章	地质构造工程地质分析与实践	176
11.1	大地构造与区域构造稳定性评价	176
11.2	中国新构造运动特征与分区	178
11.3	活动断层研究	182
11.4	断裂构造的地貌特征	191
11.5	岩体结构工程地质分析	195
11.6	地质构造分析案例	206

第 12 章 地应力分析与实践	218
12.1 岩体应力状态及成因类型	218
12.2 地应力分布	219
12.3 地应力对工程影响	221
12.4 地应力地质标志	227
12.5 地应力的测试	228
12.6 地应力场时空特征	229

第 5 篇 水文地质篇

第 13 章 水文地质分析与实践	234
13.1 地下水对工程的不良地质作用概述	234
13.2 地下水的工程治理方法	241
13.3 水文地质工程实践	243

第 6 篇 物理地质现象篇

第 14 章 岩体风化对工程的影响	257
14.1 岩浆岩区岩体风化对工程的影响	257
14.2 变质岩区岩体风化对工程的影响	260
14.3 沉积岩区断裂构造对风化影响	263
第 15 章 斜坡地貌与边坡稳定性分析	267
15.1 基本概念及研究意义	267
15.2 边坡破坏机制	268
15.3 斜坡破坏基本类型	273
15.4 崩塌及其堆积地貌	287
15.5 滑坡	295
第 16 章 边坡支护	317
16.1 岩(土)体边坡开挖的稳定条件	317
16.2 边坡开挖与支护措施	318
第 17 章 岩溶工程地质分析与实践	325
17.1 概述	325
17.2 岩溶与工程地质	325
17.3 基础类型选择中的注意事项	327
17.4 国内外物探在岩土工程勘察中的应用现状	327
17.5 岩溶不良地质作用实例	328
第 18 章 地震效应	332
18.1 概述	332
18.2 地震裂缝	333
18.3 地表破碎带	334

18.4	地震陡坎与崩积楔	335
18.5	地震崩塌、滑坡、泥石流和堰塞湖	339
18.6	液化及其地貌	339
18.7	地震引发的地面升降	340
18.8	地震陷坑	341
第 19 章	泥石流工程地质研究	342
19.1	泥石流的形成条件	342
19.2	泥石流的分类及其特征	344
19.3	泥石流的危害	345
19.4	泥石流调查案例	346

第 7 篇 风电场勘察篇

第 20 章	风电场岩土工程勘察及应用	349
20.1	岩土工程分析评价	349
20.2	稳定性评价	350
20.3	风电场工程地质勘察	351
参考文献		369

第 1 章 绪 言

1.1 工程地质的发展

工程地质分析及勘察是研究与工程建设有关地质问题的科学。其目的是为了查明各类工程场区的地质条件,对场区及其有关的各种地质问题进行综合评价,分析、预测在工程建筑作用下,地质条件可能出现的变化和作用,选择最优场地,并提出解决不良地质问题的工程措施,为保证工程的合理设计、顺利施工及正常使用提供可靠的科学依据。

我国工程地质的发展大致经历了三个阶段。

第一阶段,是 20 世纪 50—60 年代,主要学习苏联的工程地质勘察理论,特别是“大跃进”年代,上马了大量的水利工程项目。这一时期由于工程建设需要大干快上,工程建筑规划后立即上马,基本上是边设计、边勘察、边施工。工程服从于政治,好多大型工程的选址都是在苏联专家帮助下确定的,例如三门峡水库、汾河水库坝址;工程地质勘察的主要任务是对建筑结构的地质体质量评价,出现了大量由于地质问题引发的工程事故。国际上也出现了一些大型水利工程的垮坝事件,这才引起了工程地质勘察界的反思。世界各国几乎同时认识到,地质勘察的重点是预测预报工程引发地质灾害的可能性,随之工程地质工作进入了第二个阶段。

第二阶段,大约是 20 世纪 60 年代末到 80 年代初,接受了地质勘察不深入带来的教训,实施了地质选线、地质选址阶段,把工程地质工作放到工程建设的首位,工程地质勘察的主要任务是地质体稳定性评价。如 60 年代末,开展了以地质体稳定分析为主的地质灾害预测预报研究,逐渐提出了地基稳定、边坡稳定、地下洞室稳定、山体稳定、地壳稳定五大课题。也就是工程建筑处于不同的地质体上是否出现问题,实际上是工程地质预报,由于工程地质问题的不确定性,工程地质评价有些偏于保守,不一定符合实际,因此出现了设计保守的倾向。工程建设出现了浪费问题。

第三阶段,是 20 世纪 80 年代以后,随着工程建设规模的不断扩大,工程类型的不断扩展,完全没有工程地质问题的工程很少,或者几乎没有;工程主要是从规划上考虑经济效益,地质勘察分为几个阶段,不同阶段对应于设计有不同的勘察重点和内容,主要评价区域稳定和场址、坝址整体稳定性。对于工程地质问题要求查明并提出处理意见,随之出现了地质工程和岩土工程新的学科,出现了许多工程处理的新技术,注重于对不良地质体的改造、地质灾害防治、施工地质超前预报及地质构造、岩体结构的分析;地质力学、岩体力学、土体力学、边坡稳定、坝址稳定、洞室稳定等引用计算机有限元分析取得了长足的进步;勘察技术、测试技术、地质体改造技术有了很大发展。

1.2 工程地质工作存在的问题

1.2.1 注重实物勘探, 忽视地表地质工作

由于地质工作勘察收费的标准主要是以实物工作量为依据, 工作中有时会不重视人的主观能动性, 而主要依赖实物勘探工作量发现工程地质问题。实际上这是不全面的, 认识不到工程地质野外实践的重要性; 认识不到通过地质地貌调查进行工程地质分析, 能够发现不良地质作用, 甚至能够揭示工程存在的一些主要工程地质问题; 一些新的工程是在确定了建筑位置以后才进行地质勘察, 例如, 对风电场风机位的详细勘察就是根据风资源微观选址确定风机位置后进行的, 对选定地质条件良好的场地有一定的约束性, 甚至盲目性; 即使勘察完成以后, 对影响地基稳定的岩溶、活断层、风化带、潜在滑坡、卸荷带等不良地质作用都不可能全部发现, 往往在基坑开挖以后才被揭露, 不得不进行补充勘察、设计变更, 对工程地质问题进行处理, 这就不可避免地提高工程造价, 延长工期, 甚至不能保证建筑物的安全。

1.2.2 地质勘察与设计、施工脱节

国内外大小型工程都存在一个现实的问题, 那就是工程中出现的重大事故, 首先考虑的是地质原因。工程地质勘察也有一种倾向, 就是一些地质参数选取比较保守。比如, 有一些水利工程的抗剪指标并不一定符合实际, 致使一些工程迟迟不能决策; 在一些水库除险加固工程的坝体稳定计算中, 按照地质勘察单位给定的抗剪指标计算为在Ⅷ度地震工况下不稳定, 结果水库大坝经受了Ⅷ度地震考验却安然无恙。当然也有的天然古滑坡, 经过大量的地质勘察, 滑坡的边界条件也已经调查清楚, 经过有限元分析计算, 滑体是稳定的, 为了增加滑坡的安全稳定系数, 设计了一些简单的处理方案, 但在施工加固过程中, 施工程序不当, 破坏了滑体坡脚, 导致滑坡复活发生位移, 不得不采取大规模的治理。

现实工程中, 一方面因地质勘察结论保守造成了工程浪费, 另一方面因不良地质问题导致的灾害性事故所占比例较大。造成这种现实的原因主要有三方面: 第一是与工程地质勘察深度不够和质量不高有关, 工程地质问题没有发现或者发现后对其成因、发展趋势、分布范围和危害程度认识不够; 也有的是对勘察要求深度认识不足, 勘察工作不够深入, 有用的资料不充分, 没用的资料堆积太多, 设计不好用; 第二是设计对勘察资料没有吃透, 或者认识不足, 设计方案、施工措施不符合地质条件; 第三是施工单位低价中标, 由于地质工作的不确定性, 往往设计安全裕度较大。少数施工单位敢于低价中标的原因就是有些工程偷工减料但没有出事。比如, 洞室施工大部分设计都有系统锚杆, 而本身多数洞室自稳能力较强, 为节约成本施工中不做系统锚杆或少做锚杆, 为提高效率延迟二次支护的时间, 而侥幸不发生事故; 有时候, 地质条件较好的隧洞, 设计按照新奥法设计有仰拱, 而实际施工中, 由于监管不严而不做仰拱, 洞室也能暂时稳定, 但当出现洞室塌方问题时, 又可以以不良地质原因进行设计变更。如果以此为经验, 当地质条件确实需要系统支护和结构上需要仰拱而没有按设计要求施工时, 地质体的暂时稳定将会给工程留下重大隐患。一些重大的工程事故就是这样造成的。

1.3 工程地质评价的差异

不同规模、不同类型、不同安全等级的工程，工程地质评价的重点和方法不同，不同类型工程既有同一性也有特殊性。例如，对于风电场这样规模较小的工程，对工程地质条件要求并不高，不能和大型水利工程相提并论，可主要通过地营力形成的构造形迹以及在地质营力作用下后期形成的岩溶、风化带、活断层、卸荷带等不良地质现象在地面上的表现特征研究，达到风电场在微观选址时，就能避开这些地质条件不良的场地。勘察的目的就是要找好的场地、好的地基，根据风机高耸建筑物的特点，有针对性地做一般评价就可以了。而对于现代不断发展的巨大工程，如高边坡工程（坡高300~1000m）、大型水利工程（坝高超过300m）、工民建高层建筑（高度300m以上）、长地下洞室（有的地下工程总长度达到300km）、大规模地下厂房（溪洛渡地下厂房埋深300~500m，跨度达到33m，边墙高度达75m）、深埋洞室（秦岭隧道最大埋深达到1500m）、大规模矿山综合采场（有些矿山综合采场达到120~160m）等，工程地质条件很复杂，要想使建筑物做到安全稳定，就必须提高对不同建筑物的地基地质结构体出现工程地质问题可能性的分析和判断水平，掌握工程地质及岩体力学条件，提出相对应的处理措施。而不同类型的工程稳定性评价的重点既有同一性，也有特殊性（表1.1）。

表 1.1 不同工程类型稳定性评价要点

工程类型	稳定性评价要点
1. 水利水电工程	区域稳定；库岸稳定；坝基稳定；渗流稳定；坝肩稳定；地下洞室稳定
2. 道路建筑工程（铁路、公路、航运）	区域构造稳定；自然及人工边坡稳定；桥基稳定；地下洞室稳定；码头及船闸地基稳定；路基稳定（不可靠地段、危险地段、非常危险地段）
3. 矿山工程（煤炭、冶金）	区域构造稳定；场地稳定、露天矿边坡稳定、通风竖井、与提升竖井、地下采场及其巷道稳定
4. 工业与民用建筑工程	区域构造稳定；场地稳定；高耸建筑物地基稳定；山城边坡稳定；地下空间开发地基稳定
5. 海港及海上工程	区域构造稳定；场址稳定；地基稳定
6. 核电工程	区域构造稳定；场址稳定；给排水隧道稳定；核废料处理工程地基稳定
7. 国防工程	区域构造稳定；洞室稳定；各类掩体工程地基稳定
8. 风电工程	区域构造稳定场地稳定；地基稳定
9. 地质灾害防治工程	区域构造稳定；山崩、滑坡、泥石流危害、发展趋势及对工程和人身安全的影响

对于稳定性的评价，最主要是在地质勘察中，提出影响稳定的地质问题的原因，找出问题的关键，寻求解决问题的办法。在工程地质问题的处理上应该是具体问题具体分析，例如风电场之类建筑物完全可以根据地貌与不良地质作用的关系，避开难以处理的地质问题。而大部分工程做不到利用现有地质体进行工程建设，比如矿山工程，所以大部分工程都需要对工程地质问题进行处理。处理的关键是要把不良地质作用对建筑的影响因素进行改造。

第 1 篇 工程地质条件综述

第 2 章 地 形 地 貌

地形是指地表高低起伏状况、山坡陡缓程度、沟谷宽窄及形态特征等。地貌是地球表面各种形态的总称，它在一定程度上反映了地形形成的原因、过程和时代。平原区、丘陵区和山岳地区的地形起伏、土层厚薄和基岩出露情况、地下水埋藏特征及地表地质作用现象都具有不同的特征，这些因素都直接影响到建筑场地和路线的选择。

地形地貌包括：地形形态的等级；地貌单元的划分；地形起伏变化，山脉水系分布；高程和相对高差；地面切割情况，沟谷发育的密度、方向、形态深度及宽度；山坡形状、高度、陡度；山脊山顶的形态、宽度、平整程度等。

地形地貌对风电场建筑场地的选择意义十分重大。比如，进场公路是否可行；输出线路方案的如何选择；在地形复杂多变的山区，如何利用有利的地形条件使线路避免大量的挖方和填方，如何避开孤立的山包，选择平坦的施工场地，减少地震效应的影响。地形地貌条件直接影响着工程建筑技术是否可行、经济是否合理和施工是否方便，所以地形地貌条件是风电场勘察各阶段首要注意的问题。

地貌是由地球内、外力作用形成的地表起伏形态。通过地质构造形成的构造形迹以及在经外力后期改造后形成的岩溶、风化带、卸荷带等不良地质作用在地面表现的特征研究，即使是微弱的地形地貌变化，也应足够重视，因为微地貌也反映其内部不同的地质特征。风电场在微观选址时，就应避免这些存在不良地质作用的场址，对提高风机场址勘察的针对性、避免盲目性、减少不良地质作用在地基上发生的概率、减少设计变更和地基处理的难度、降低成本缩短工期、保证风机建筑物的安全都具有很重要的意义。

地貌特征多种多样，与工程较为密切的地貌形式简述如下。

2.1 岩溶（喀斯特）地貌

岩溶即喀斯特（Karst），是水对可溶性岩石（碳酸盐类岩石、硫酸盐类岩石、卤盐类岩石等）进行以化学溶蚀作用为主，流水的冲蚀、潜蚀和崩塌等机械作用为辅的地质作用，以及由这些作用所产生的现象的总称。由喀斯特作用所造成的地貌，称喀斯特地貌（岩溶地貌）。“喀斯特”（Karst）原是南斯拉夫西北部伊斯特拉半岛上的石灰岩高原的地名，那里有发育典型的岩溶地貌。

喀斯特地貌分布在世界各地的可溶性岩石地区。可溶性岩石有 3 类：①碳酸盐类岩石