

高等学校教材试用本

工程动力地质学

张倬元 王士天 编

只限学校内部使用



中国工业出版社

高等学校教材试用本



工程动力地质学

张倬元 王士天 编

中国工业出版社

书中討論了各种与工程建設事业有关的动力地质作用，其中包括自然地质作用和工程地质作用，主要的有：地表流水及海湖的侵蝕和磨蝕、水庫边坡再造；地下水流的潜蝕及流砂作用；喀斯特；天然斜坡及人工边坡上的各类剥蝕作用；季节冻结、多年冻结及冻胀作用；与地下作业有关的各种地质作用及地震等。

着重用自然历史的分析方法研究了上述各种工程动力地质作用的形成条件及促使其发育的因素，探討了其发展的規律性；据此提出了防治措施及工程地质研究方法。

本教材可作为高等地质院校水文地质及工程地质专业教学使用。

本书由张倬元、王士天編写，由陈正品和孔德坊审查，最后由张倬元整理。

工程动力地质学

张倬元 王士天 編

*

地质部地质书刊編輯部編輯（北京西四羊市大街地质部院内）

中国工业出版社出版（北京佟麟閣路丙10号）

（北京市书刊出版事业許可証出字第110号）

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $13^{3/8}$ ·插頁1·字数309,000

1964年7月北京第一版·1964年7月北京第一次印刷

印数0001—1,640·定价（科五）1.60元

*

統一书号：K15165·3143（地质-284）

序

本教材是为了高等地质院校水文地质及工程地质专业学生学习工程地质学而編写的。它是工程地质学这门課程的第二部分，其中主要論述与工程建設事业有关的各种动力地质作用。在学习了工程地质学的第一部分土质学，对土石的物理力学性质其形成及变化規律有了基本知識之后，即可学习本課程。

它是以我院教学講义为基础改編成的。該講义于1959—1961年初曾經三次教学使用，每次使用之后都根据教学經驗做了适当修改。为了适应作为全国通用教材試用本的需要。这一次做了較重大的修改，參閱了北京、长春两地质学院相同类型的講义，吸取了其中的优点。

改編时力求做到概念清楚，目的明确，体系严整，并尽量反映了我国在工程地质方面的成就。其中第一章的第一、二、三节和第二、四、五、七、八等章由张倬元編写；第一章的第四、五节和第三、六等章由王士天編写，后經相互校改，最后由张倬元总校訂。地质部水文工程地质局陈正品同志审閱了全部原稿，并提出了宝贵意見。

这次出版以前又作了文字方面的校訂和个别章节的修改与补充。修改后又經孔德坊同志审閱。

由于編者們实际經驗很缺乏，理論水平极有限，錯誤和不足之处在所难免，我們殷切地希望各方面多多提出批評和指正，以便使本教材的质量能够不断改善，教学质量得到提高。对本教材的意見，請寄成都地质学院工程地质教研室。

編者謹对审閱本书原稿，并提出了宝贵意見的陈正品同志和孔德坊同志致以深切的謝意。

編者 1962.8

目 录

序	
緒 論	1
第一章 与地表水活动有关的地质作用	7
第一节 冲沟的形成作用	7
一、基本概念及研究意义	7
二、冲沟的形成条件	7
三、冲沟的形成过程和发展阶段	8
四、冲沟的防治措施	9
五、冲沟的工程地质研究	10
第二节 泥石流	12
一、基本概念及研究意义	12
二、泥石流的形成条件	12
三、泥石流的特征	13
四、泥石流的分类	14
五、泥石流的防治措施	14
六、泥石流流区的道路选线	16
七、泥石流流区的工程地质研究	17
第三节 河流的侵蚀和淤积	18
一、基本概念及研究意义	18
二、河水动力学特征	20
三、流水对河床的作用和河床的稳定性	23
四、河床的变形	25
五、河流整治及人为因素对河流地质作用的影响	26
六、河流地质作用的工程地质研究原则	27
第四节 海湖边岸的磨蚀及堆积	28
一、基本概念及研究意义	28
二、波浪和岸流的一般特性	29
三、海(湖)边岸形成和发展的一般规律	34
四、海(湖)边岸及沿岸建筑物的防护原则及防护措施	48
五、海(湖)边岸建筑区工程地质研究的基本原则	50
第五节 水库边岸的再造	51
一、基本概念及研究意义	51
二、控制水库边岸再造进程的主要自然条件及影响因素	52
三、水库边岸再造预测	58
四、为了预测水库边岸再造所应进行的工程地质研究	69
第二章 与地下水活动有关的地质作用	71
第一节 潜蚀及土石的其他渗透变形	71
一、基本概念及研究意义	71

二、潜蚀及土石其他渗透变形的产生条件	72
三、潜蚀的防治措施	76
四、潜蚀的工程地质研究	76
五、黄土及粘土中空洞及陷穴的形成	76
第二节 砂土的“液化”——流砂作用	77
一、基本概念及研究意义	77
二、流砂作用的形成条件及促使其发育的因素	78
三、预防流砂产生的措施	81
四、流砂的工程地质研究	81
第三章 地下水及地表水与可溶性岩石的相互作用——喀斯特作用	83
一、基本概念及研究意义	83
二、喀斯特发育的基本条件及发展的一般规律	84
三、喀斯特发育阶段及喀斯特发育史	96
四、喀斯特作用及喀斯特化岩石的定量评价	100
五、喀斯特区修建水工建筑物的工程处理问题	103
六、喀斯特区的工程地质研究	106
第四章 斜坡上与重力、风化及水的活动有关的地质作用——斜坡剥蚀作用	111
第一节 斜坡剥蚀作用总论	111
一、基本概念及研究意义	111
二、斜坡发展变化的基本规律	112
三、斜坡剥蚀作用的主要类型	121
四、研究和评价天然斜坡及人工边坡稳定性的基本方法	122
五、设计保证斜坡稳定性措施的基本原则	126
第二节 崩塌及剝落	126
一、概述	126
二、崩塌剝落的形成条件	127
三、开挖人工边坡所造成崩塌及其预测方法	129
四、防治崩塌剝落及岩堆滑动的措施	131
五、崩塌剝落的工程地质研究	133
第三节 滑坡	134
一、概述	134
二、滑坡的形态及结构特征	134
三、斜坡的平衡条件及改变其稳定性的各种作用	139
四、滑坡作用的某些规律	144
五、滑坡的分类	148
六、滑坡的防治措施	150
七、滑坡和滑坡区的工程地质研究	156
第五章 与重力及“岩层”内部变化有关的地质作用——雪崩	161
一、基本概念及研究意义	161
二、雪崩形成的原因及促使其发育的因素	162
三、雪崩的类型	164
四、雪崩的防治措施	165

五、雪崩的工程地质研究	165
第六章 与土石冻结和融解有关的地质作用	166
一、基本概念和研究意义	166
二、季节冻结和多年冻结概述	166
三、冻结融解时土石变形	172
四、冻结区工程地质研究原则	182
第七章 与地下作业有关的工程地质作用	184
一、基本概念及研究意义	184
二、山石压力及地下坑道中岩石的变形	184
三、岩石错动和地表沉陷	186
四、由于大量排水而造成的地表沉陷	189
第八章 主要为内动力所引起的地质作用——地震	191
一、基本概念及研究意义	191
二、地震形成的机理	191
三、震源分布与地质条件之间的关系	193
四、地震对建筑物的作用、地震强度与地震区域划分	195
五、地质条件在地震区工程地质评价中的意义及地震烈度小区域划分	201
六、地震区设计和修建各种建筑物的基本原则	205
七、地震区工程地质研究的基本原则	207

附表

緒 論

1. 工程动力地质学的研究对象及研究目的

任何工程建筑物都修建在地壳的表层，而地壳表层又不断地产生对建筑物的安全和正常使用有危害的各种动力地质作用，工程地质学的这一部分——工程动力地质学，就要研究这些与人类工程活动有关的地壳表层的变动。

在以前学过的课程中已经说明了工程地质学这门科学的基本目的是探讨将地质科学应用于工程建设事业，以便从地质方面保证工程建设事业符合多快好省。因此，它就必然要通过对建筑区各种地质条件、建筑区土石的物理力学性质及与建筑事业有关的各种动力地质作用的研究，以选择最优良的建筑区；对选定地区进行工程地质评价和预测建筑物与地质条件之间的相互作用；最后提供在相应条件下保证建筑物安全和正常使用的措施。上述研究目的及研究对象就决定了工程地质学分为以下几个分支：

(一) 专门研究作为建筑物地基及环境的土石之物理力学性质及其形成变化规律的学科——即土质学；

(二) 专门研究与工程建设事业有密切关系的各种动力地质作用，研究其发生条件、发展规律和防治措施的学科，即工程动力地质学；

(三) 探讨为了给各种工程建设事业提供充分的工程地质资料应解决的工程地质问题、应遵循的勘察程序、应采用的勘察手段和方法的学科，即工程地质勘察。

生产不断发展，建筑事业的规模日益增大，工程建筑的结构愈益复杂，对地质科学就不断的提出了新的要求，从而促使工程地质学逐渐发展起来；而社会主义社会的计划经济，合理有效的开发资源和大规模的改造自然活动，则是使它形成一门独立学科的经济前提条件。

各种工程地质条件的工程地质研究与评价，土石物理力学性质及其形成和变化规律等问题，已经在以前所学的工程地质概论及土质学教程中分别讲述了，本课程就在已经掌握了这些基本知识的基础上研究与人类工程活动有关的地壳表层的变动。

所谓与人类工程活动有关的地壳表层的变动，包括由人类工程活动所引起的变动和对人类工程建设事业有一定危害性的自然产生的变动。前者往往称为工程地质作用，后者则称为自然（物理）地质作用，二者统称为工程动力地质作用。

修建在任何地质环境之内的工程建筑物，不可避免地要与周围的地质条件发生相互作用，建筑物由于地质原因而破坏或不能正常使用，就是一定的地质作用所致。例如崩塌或滑坡作用阻塞了道路，河流冲刷破坏了桥梁，地震作用毁坏了城市，不均匀沉降使房屋变形和冻胀使路面破裂，路基软化等等。可见要保证建筑物的安全和正常使用必须研究工程动力地质作用。

为了防止不良地质作用使建筑物破坏或不能正常使用，往往就需要改变建筑物的结构或对地质条件采取一定的改善措施，例如为了预防修建在强压缩性土层上的建筑物发生强

烈沉陷作用而采用了箱形基础；为了防止坝下渗漏作用而采用了帷幕灌浆；为了预防产生湿陷作用而采用了硅化法等等，其结果都会提高建筑物的造价。为了防止在施工过程中产生不良的地质作用往往不得不增加工作量，例如为了预防基坑边坡滑坡而增加了土方开挖量；预防潜蚀作用而不得不人工降低地下水位等，结果都会延缓施工进度。可见保证建筑物修建得经济迅速也必须深入研究工程动力地质作用。

实际上在进行工程地质研究的整个过程中，自始至终都必须预测可能产生的工程动力地质作用，其规模及危害程度、其发生及发展规律等，这样才能正确的选择建筑区及在选定区内评价有利和不利条件以及提供有效的防护措施。只有不断揭示各种工程动力地质作用的规律才能运用这些规律为人类工程活动服务，才能达到从地质方面保证工程建设事业多快好省的目的。可见工程动力地质学是工程地质学的重要理论基础。

我们研讨各种建筑物的主要特征，是要分析各种建筑物如何与周围地质条件相互作用，也就是了解不同类型的工程活动可能引起那些动力地质作用；查明建筑区的工程地质条件，是为了分析在各种地质条件的特定配合情况下可能产生哪些动力地质作用；研究土石体的物理力学性质及其形成和变化规律，也正是为了阐明在一定的土石性质的情况下，或由于土石性质的特有变化规律，可能产生哪些危害建设事业的动力地质作用。所有这些方面的研究都为工程动力地质学的研究提供了前提。而工程动力地质学本身则是要分析各种类型的动力地质作用的发生条件、发育规律，探索防治这些作用的有效措施，从而为工程建设事业服务。

2. 工程动力地质作用的产生环境和主要特点

工程动力地质学只研究与人类工程活动有关的地壳表层的变动，这是因为人类的工程活动所涉及的范围主要是自地表以下深达 100 米以内的地壳表层，深达几百米的情况较少。

正是因为这些变动都产生在岩石圈与水圈、大气圈、生物圈交界带的地壳表层，所以这些变动主要是岩石圈与水圈、大气圈及生物圈相互作用的各种方式，主要是形成和改变地表地形的重要作用。地表地形是在内外动力作用的过程中形成和发展的，所以这些作用的产生和其发展趋势也取决于内外动力二者之间的力量对比。在內动力占优势的新构造运动上升强烈地带，河流下切、斜坡剥蚀等就必然随之而强烈；而当外动力夷平作用占主导地位时，则必然使河流侵蚀、斜坡剥蚀等作用削弱。不了解地区的地质发展史，特别是新构造运动发展史，就不能阐明这些作用的发展变化情况。

在地壳表层的不同部位上，工程动力地质作用的性质是各不相同的。在海湖边岸主要是波浪的磨蚀和堆积作用，其发展趋向主要由波浪特性及海岸的物质组成和地形所决定；在內陆水文网附近，主要是河流的侵蚀和淤积作用，其发展趋向则取决于水流特性及河床特性；在山地和斜坡上，主要是斜坡剥蚀作用，其发展趋向则主要取决于斜坡外形与斜坡的组成物质及内部结构是否适应。可见要查明各种作用的发展变化规律，首先必须明确相互作用的两个主要方面是什么？其物质属性如何？这是分析各种作用的第一步。

在进行上述分析的同时还必须看到参与作用的往往有一系列因素，不把所有因素及其

对作用的影响查明就不能最終的闡明作用的发展規律。象使斜坡剝蝕作用发生和发展的就有重力作用, 风化作用, 地表水地下水的冲刷、軟化、潛蝕作用, 地震作用等等。其中如果有一个因素沒有查明往往就会使所提供的防护措施不能起到应有的效应。但是不能因此而孤立地不分主次地分析各种因素, 而是應該查明各种因素如何决定或是改变相互作用双方的特性, 以致影响了作用的进程。如上述斜坡剝蝕作用的各种因素往往就是通过改变斜坡外形或是通过改变組成斜坡的岩石性质而起作用的。这样来探索各种因素, 既易于查明所有因素, 又便于找出主导因素。

組成地壳表层的物质及地质构造因地区而异, 大气圈和水圈的特性在地表不同地带內各不相同, 所以同一性质的动力地质作用在不同区域和不同地带內又有不同的特点。显然厚层緩傾斜純灰岩区与薄层陡傾斜不純灰岩区喀斯特作用的特征、强度、各种喀斯特形态的分布規律是不相同的。即使两地的岩性、构造都相同, 但分別处于西北干旱气候带和西南湿润气候带, 喀斯特作用的发育强度也必然不同。所以在研究工程动力地质作用时, 一方面不能不顧条件地照搬其它地区或地带的研究經驗; 另一方面又可以用类比法研究同一地带和区域內或相近似的地带和区域內的相同性质的作用。

整个地壳表层都在內动力及外动力作用下不断发展和变化, 所有工程动力地质作用的特性, 也不断发展和变化, 且常常能够区分出特性不同的阶段。象滑坡作用就都是要通过长期的緩慢的不稳定因素积累阶段, 繼以短期內相当迅速的岩体滑动阶段, 最后又經過稳定性因素积累阶段而逐渐消亡; 冲沟作用、河流侵蝕和淤积作用等的阶段性也极其明显。由于在各不同阶段內作用的强度、特性、发展方向各不相同, 因此就必须分別采取不同的防护措施。研究各种作用的阶段性, 区分出特性不同的阶段有很重大的实际意义。

工程动力地质作用中的工程地质作用是由人类工程活动所引起的, 因之它还具有与自然地质作用不同的某些特点, 这主要是: (一) 人类工程活动的規模还比較小, 因之这类作用的影响范围往往不如自然地质作用为大; (二) 自然地质作用是在較长的地质时期內逐渐发展地, 它的作用强度通常不太大, 人类工程活动往往是突然地使自然环境产生极显著的变化, 因之工程地质作用在开始时强度很大, 尤其是当人类工程活动未能正确反映客观規律时, 常常会使工程地质作用突然产生, 它发展得也极其迅速, 对建設事业的危害也就更大。所以加强对这类作用的研究, 以便在进行工程活动之前做出正确預測和采取有效措施是十分必要的。

3. 工程动力地質作用的研究方法

上述工程动力地质作用的特点和为工程建設事业服务的目的, 就决定了研究工程动力地质作用的基本方法。这就是运用自然历史分析法探索作用的发展規律, 在此基础上用类比法及計算法进行定量評价为工程設計或防护措施的设计提供必要的數據, 保証修建的建筑物安全和經濟。

自然历史分析法是研究各种地质作用的根本方法。如上所述, 所有工程动力地质作用都是地壳表层的某一部分与周围事物相互作用的过程, 或者說都是地壳表层各不同部分的特有运动过程, 它們都随着時間的推移而发展变化, 运用自然历史分析法正是一方面分析

地壳表层某一部分与周围事物如何制约着运动,另一方面分析这一运动如何随时间而变化。例如研究水库边岸再造,就要研究风、浪、各种风化营力、地下水等一系列自然因素如何作用于库岸,以及库岸如何随着时间的推移而发展变化。为了解决具体问题不仅要了解一般规律而且还要分析各种特定条件下的特殊规律。仍以水库边岸再造为例,就是要分析当库岸具有各种不同特性时在不同特性的风、浪、风化营力、地下水等因素作用下如何发展变化。

大多数工程动力地质作用都是缓慢的地质作用,直接观察到其发展变化的整个过程是困难的。但所有这些作用在其发展过程中都必然造成一系列地质现象,不同的发展阶段还会造成不同的现象,由这些表露在外的现象着手来分析就可以探测工程动力地质作用的发展过程,还可以根据它区分出作用发展的各个阶段。象根据斜坡剥蚀作用所造成的各种现象就可以恢复斜坡发展历史、判定斜坡目前的稳定性及今后发展趋势;根据喀斯特作用所造成的各种地表地下现象及其种种特点,就可以判明水在可溶性岩石的通道中循环时与其周围通道相互作用的特点,并恢复喀斯特发育史,凡此等等。由此可见不应该只是简单的描述现象,而是通过现象的研究来揭露作用的进程,通过总结得到作用的一定规律性之后又可以进一步指导我们深入分析研究现象,从而就可以不断充实对作用的规律性的认识。这一研究原则对研究象喀斯特这样一种极缓慢的地质作用意义尤其重大。一般说来喀斯特作用是通过其遗留下来的现象(或作用所造成的后果)来危害工程建设事业,但是我们不能孤立地研究这些现象的特点及分布情况,因为这样不会得到预期的成效,而当把这些现象与喀斯特水循环交替条件及其变化联系起来进行综合分析时,就可以逐步地揭露出喀斯特作用发展的规律。对这一规律有一定的了解之后,才能确定各种喀斯特现象的特性及空间分布规律,以作出正确的论断和评价。

只有揭示出作用的发展规律,判定其目前所处阶段及今后发展趋势之后,才能正确的进行定量评价。进行定量评价是工程建设事业所必需的,设计人工边坡就需要有稳定边坡剖面的数据,设计挡土墙就需要查明墙背后滑坡体的土压力值,设计预防水库边岸再造的措施就要掌握边岸再造的规模和速度等。在工程动力地质作用中定量评价有两种方法,即类比法与计算法。类比法是把对已有动力地质作用的研究评价经验运用到性质相同、类型相同的新的动力地质作用的研究评价中去。象已有水库边岸再造的规模和速度的研究成果,就可以作为预测条件相同新水库的边岸再造规模和速度的依据等。当不能采用类比法时,就需要对自然条件适当简化,然后以一定理论为基础进行计算。象以松散介质静力学的理论为基础计算稳定斜坡剖面,以地下水层流运动理论为基础计算喀斯特区水库渗漏量等等。

4. 工程动力地质作用的分类

要有成效地提纲挈领地研究各种工程动力地质作用就必须对这些作用进行分类。

现有的分类方案很多,而只有按作用发生原因及发展过程的异同所作出的分类才最有理论意义和实际意义。

有些研究者往往把自然地质作用与工程地质作用截然分开来,并分别在不同部分来讲

授,这样做是不恰当的。上面曾經指出二者之間在特点上有一些区别,当考虑采取防治措施时区分出它們的不同也很必要。对自然地质作用只能是根据这些自然产生的,而且往往是已經存在的作用的发生发展規律把它导向我們所需要的方向上去,例如:根据河床与水流二者之間的相互作用規律,就可以疏导水流保护河床不受侵蚀;根据斜坡剝蚀作用发生发展規律,就可以采取措施保証斜坡稳定等等。在工程地质作用的产生中起主要作用的是人类的工程活动,在人类工程活动之前这些作用并不存在,由于人类工程活动强烈地改变了自然条件或是未能按照客观規律活动它才产生,因此要使这些作用不产生或削弱其危害性就需要对人类工程活动加以一定限制,如适当的改变建筑物的結構、施工方法、或是在建筑物的使用方面提出一定要求等等。也就是前者是根据客观規律改造自然,而后者則要求按照客观規律进行人类工程活动,总之是要使人类的主观愿望与客观規律达到最大限度的一致。由此可見,实质問題在于作用发生的原因及其发展的規律,人类活动引起或自然产生的并不是本质上的区别。不論是天然斜坡的滑坡或是人工边坡上的滑坡,都是由于組成斜坡岩体的特性及内部結構与斜坡外形不相适应而引起的。只有人类未能按照这类作用的产生和发展規律进行工程活动,例如設計的边坡外形不正确或使組成斜坡岩石性质发生了强烈变化,才会招致人工边坡上产生强烈的滑坡作用。显然,天然斜坡上滑坡作用的規律正是預測人工边坡是否会产生滑坡的理論根据;同理,海湖边岸磨蚀和堆积作用的規律也是預測水庫边岸再造的理論根据。把这些作用分开来講授,就会削弱对这些作用的深入理解,而且人类工程活动的規模日益加大,对各种自然作用的影响愈来愈强烈,許多作用的产生都包含着一定的人类活动因素,許多作用既可以是自然产生的也可以是人类工程活动引起的(例如潜蚀),勉强地把二者区分开来有时还会造成概念上的混乱。

最早的工程动力地质作用分类是1937年Ф.П.薩瓦連斯基根据地质作用(他称之为地质現象)发生发育的因素所作的分类(表1)。

Ф.П.薩瓦連斯基地质現象(作用)分类表

表 1

I 与地表水(海、湖、河、运河)活动有关的现象	1) 边岸的掏蚀和破坏(海洋与河流的磨蚀作用) 2) 斜坡的冲刷(冲沟) 3) 泥石流(或山洪泥石流)
II 与地下水和地表水活动有关的现象	4) 沼 泽 5) 湿 陷 6) 喀斯特
III 与斜坡地下水和地表水活动有关的现象	7) 滑 坡
IV 与地下水活动有关的现象	8) 潜 蚀 9) 流 砂
V 与风的活动有关的现象	10) 吹蚀和吹积
VI 与土石冻结和融解有关的现象	11) 土石的冻结及冻胀 12) 多年冻结层及多年冻结现象
VII 与岩石内力有关的现象	13) 沉陷、压缩、膨胀
VIII 与地球内力有关的现象	14) 地震现象
IX 与人类活动有关的现象	15) 在人工开凿地下坑道时所产生的地表及地下变形

上述分类原则是可取的,但分类本身有许多不足之处,特别是仅仅把开凿坑道所产生的地表及地下变形属于与人类工程活动有关的现象,实质上前面的好多类现象都可由人类工程活动而引起,这样划分就不能给人们清晰的概念。

考虑到以上原因我们建议按照作用产生的原因及发展的规律是否相同来分类。这样,在本书中自然地质作用和工程地质作用就合并在一起讲授。其分类如下:

(一) 与地表水活动有关的地质作用

- (1) 冲沟的形成作用。
- (2) 泥石流。
- (3) 河流的侵蚀及淤积作用。
- (4) 海湖边岸的磨蚀与堆积作用。
- (5) 水库边岸再造。

(二) 与地下水活动有关的地质作用

- (1) 潜蚀及土石的其它渗透变形作用。
- (2) 流砂作用。

(三) 与地下水及地表水活动有关的地质作用

喀斯特作用。

(四) 斜坡上与重力、风化及水的活动有关的地质作用——斜坡剥蚀作用

- (1) 崩塌及剥落。
- (2) 滑坡。

(五) 与重力及“岩层”内部变化有关的地质作用

雪崩。

(六) 与岩石冻结及融解有关的地质作用

- (1) 季节冻结及多年冻结。
- (2) 冻结融解时土石的各种变形。

(七) 由于地下作业使岩石应力状态改变而引起的地质作用

山压及地表错动。

(八) 主要是内动力引起的地质作用——地震。

最后必须强调的是工程地质学一门新成长起来的科学,积累的实际资料很不够,对各种作用的原因和发展规律尚未能确切查明,有待今后研究中不断充实和发展。

第一章 与地表水活动有关的地质作用

第一节 冲沟的形成作用

一、基本概念及研究意义

雨后或雪融化后形成的间歇性水流，可以进行冲刷作用和搬运作用，由这种间歇性水流冲刷而形成的具有陡壁的沟槽，称为冲沟。

冲沟的上端称沟顶（沟脑），下端称沟口，两侧斜坡称沟坡，沟槽的底称沟底。

冲沟大多发育在松软土石中（粘土、亚粘土、黄土），其发育的有利条件是：岩石疏松，易崩解；气候干燥，常降暴雨或雪骤然融化。我国西北黄土分布区具有冲沟发育的有利条件，冲沟非常发育（图1），发育速度也很快，有时每年可延伸9米。

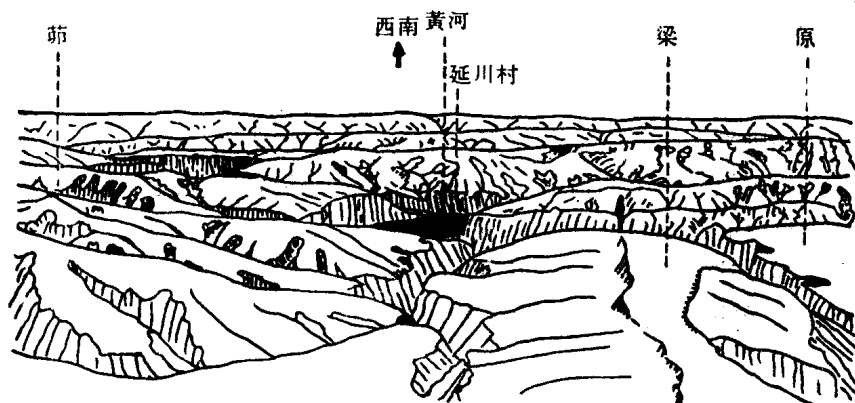


图1. 陕北冲沟发育情况素描（根据 陈述彭）

对冲沟的形成进行研究具有一定的国民经济意义。冲沟的形成和发展会减少耕地面积，使地形遭受强烈切割，地下水面下降，土地因而日益干燥；它给修建公路和铁路造成了很大的困难，常因冲沟的阻拦而不得不增长线路，或架设很多跨越深沟的桥梁；冲沟的不断增长还可能截断已有的道路，使交通中断；由冲沟中冲刷出来的泥土流入河流，增大河流含砂量，并成为水库淤积物的主要来源。

二、冲沟的形成条件

冲沟是在一定地形、地质、气候条件下形成的。

（一）地形条件：必须在具有一定坡度的斜坡上，并有低凹处以便集中地表水流。

（二）岩性条件：土石比较松软，特别当土石易崩解时发展最快，而在基岩区冲沟发展较缓。

(三) 气候条件: 雨量少但雨量集中且多暴雨的半干旱气候。

在不同的自然条件下冲沟的发育特征也各不相同。斜坡越陡峻, 其形状越凸出, 局部侵蚀基准面越深, 则水的冲刷作用就越强烈, 冲沟形成得越迅速, 切割得也越深。在易于被斜坡水流冲刷的疏松土石中, 特别是在黄土、亚粘土、粘土质土石中, 冲沟发育最为迅速。易于渗水的砂土则不易形成冲沟。坡积裙、洪积扇及淤积阶地上由于具备了岩性和地形两方面的条件, 故易于形成冲沟。气候条件对冲沟形成作用也有很大的影响, 雨水和融雪越多, 降雨多为暴雨等都容易在短时期内聚集大量地表逕流, 冲沟形成得也越迅速。此外斜坡上植物的毁坏, 开垦陡坡, 尤其是顺坡向下犁沟及顺坡向下修筑田界沟渠等, 都能促进冲沟的发展。

三、冲沟的形成过程和发展阶段

斜坡面上的低凹地带, 在雨后总是要聚集地表水流, 由于水流的冲刷而形成了水蚀洼地。在水的缓慢冲刷下它逐渐扩大而成为浅沟, 于是水流更为集中, 冲刷越趋剧烈, 进一步发展就成为下切相当深的沟谷。随着沟底被冲刷, 底坡逐渐趋于平缓。形成下凹形的均衡剖面之后, 冲刷作用就逐渐缓和下来, 冲沟也就逐渐稳定。

在不同的区域中冲沟的冲刷有其本身的特点和不同的强度, 但上述的发展过程大致可以分为四个阶段。

(一) 第一阶段——浅沟或浅沟阶段: 首先由土壤或很疏松的岩石表面低凹处开始, 可能是沿车辙或犁沟形成凹槽, 凹槽就会集中水流, 使冲沟进一步发展。在此阶段沟的深度很浅, 约30—50厘米, 常具弯曲的外形, 横剖面在沟顶为三角形, 向下逐渐变为梯形, 纵剖面与斜坡剖面相似, 为上凸曲线, 如图2, I。如冲沟发育在层状岩石中, 则在这一阶段常形成一些小规模的跌水。

在松软土地区, 这一阶段进行得很快, 特别是在黄土区。但在坚硬岩石区, 冲沟的发展很慢, 甚至在很长的时期内都处于这一阶段。

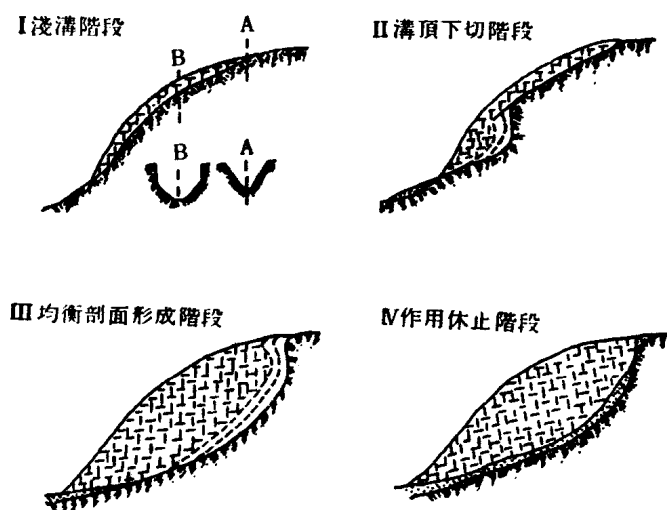


图 2. 冲沟纵剖面的发展阶段 (根据C.C.索博列夫)

(二) 第二阶段——冲沟頂部下切阶段(图2, I): 此时, 冲沟由沟口部分, 向上扩展, 在沟頂形成下切陡坎, 陡坎不断受急流侵蚀并产生崩塌, 从而不断地向上移动, 冲沟的长度也就不断增长。沟頂陡坎通常高达2—10米。在冲沟长度增加的同时也逐渐发生加深作用, 沟深可达沟頂陡坎2—3倍。縱剖面与原始地形已相差很远, 横剖面常有垂直陡壁, 常見有直立的陡崖或陡峻而不稳定的斜坡。如发育在軟硬相間的岩石中, 縱剖面就形成阶梯状。硬的岩层构成难于破坏的构造裂点。冲沟口与局部侵蚀面之間常常有陡坡, 使冲沟悬于谷口之上, 成为悬谷。

在松軟岩石中, 这一阶段发展得也极为迅速。

(三) 第三阶段——“均衡剖面”形成阶段(图2, II): 沟口达到局部侵蚀基准面, 悬挂状态消失, 沟床中的裂点逐渐被切穿形成平衡的沟床縱剖面。此时沟底仍然繼續下切, 兩側沟坡不断崩塌, 沟谷就不断向兩側扩展而加寬。斜坡下部形成不稳定的堆积, 在坡脚它不断受到冲刷, 在上部則又不断有沟壁破坏产物补充, 因此出現了凹形側坡。

(四) 第四阶段——冲沟形成作用逐渐休止阶段(图2, IV): 冲沟底接近均衡剖面时即进入第四阶段。此时下切作用停止, 沟頂陡坎日趋平緩, 冲沟溯源增长告終。沟底沉积了冲积物, 沟坡由于不断崩塌的結果已使其坡度接近天然稳定坡角。斜坡和沟頂逐渐为植物所复盖, 且形成土壤复盖层。

四、冲沟的防治措施

对处于不同发展阶段的冲沟, 所采取的防治措施也各不相同。现将各阶段一般常用的方法介紹如下:

(一) 防治处于第一阶段的冲沟: 在冲沟发展的第一阶段防治冲沟最为适当和有效。采取简单措施即能制止其繼續发展, 使其固定下来不进入第二阶段。主要方法是填平凹地調整地表水流, 以制止水流往凹处集中; 种植草木, 以防止土壤被冲刷。当切沟較深时, 則需采用沟底防护工程, 如柴捆堰(图3)、編篱堰等。

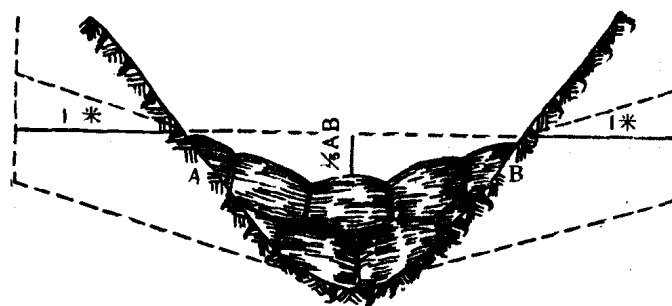


图3. 柴捆堰(根据H.И.苏斯)

(二) 防治处于第二阶段的冲沟: 在此阶段防止冲沟发育較难, 且工作量很大。由于这一阶段沟頂强烈下切, 冲沟不断增长, 所以最基本的防治原則是制止其繼續下切伸长。方法是使水流不向沟頂集中, 并将沟頂适当加固。通常采用的措施有在沟頂的上面修截水沟, 并配合以沟頂附近及沟两岸造林以調整水流; 在沟頂处建立混凝土或砖石水槽, 以引导水流和加固沟頂。本阶段沟底下切亦烈, 所以必須修建加固沟底的工程, 如: 谷坊、編

篱堰、沟底铺石、沿沟底设置洩水槽等，图4即为防止第二阶段冲沟继续发展而采用的综合措施。

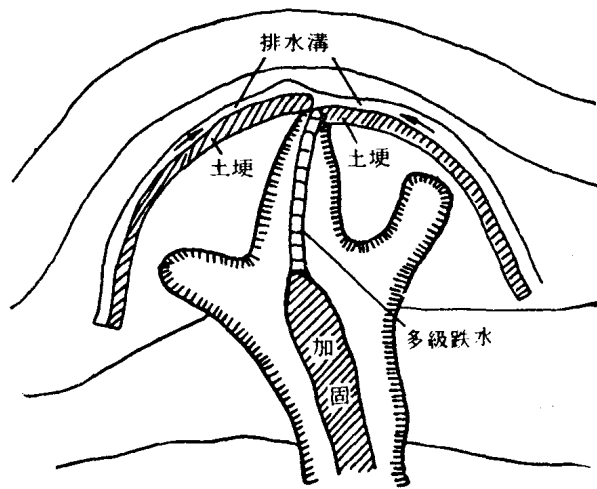


图4. 冲沟的综合防治措施 (根据Г.М.沙胡年茨)

(三) 防治处于第三阶段的冲沟：此时下切作用不强烈，因此，其防治措施主要是防止侧向侵蚀，往往在被冲刷的斜坡坡脚处设置填塞土的篱柴，同时种植树木以加固沟壁。

(四) 防治处于第四阶段的冲沟：主要是促使侵蚀逐渐停止发育。种植有利于边坡加固的多年生植物，同时促进沟坡上复盖层迅速形成，最好能沿等高线筑集水沟。

五、冲沟的工程地质研究

根据以上讨论就可以明确地提出对冲沟进行工程地质研究的主要任务，首先必须了解冲沟的分布情况、形成条件、形态特征、发展阶段及发育强度；进而推断冲沟发展方向及范围以及有无新冲沟发生的可能性；最终必须提出合理的防治措施方案。

为了达到上述目的，应采用以下研究方法。

1. 测绘：通过测绘确定冲沟的分布、形成条件，同时应详细描述其形态，如冲沟的长、深、顶及底的宽度；斜坡附近汇水区；冲沟底部及顶部特征，如沟底坡度、沟顶高程以及支岔的情况；沟坡特征等。此外还应描述土石受冲刷之地点，冲沟内冲积层之分布、厚度和性质。结果绘制出冲沟网图。在图上以符号标出易冲刷的地点，并按冲刷强度划分出区域。测绘又可分为以下两个阶段。

1) 初步测绘工作编制小比例尺 (1:500,000—1:100,000) 冲沟分布图。在图上用符号表示冲沟的位置，同时还可以标出其发展阶段，冲沟的大小不必确切表示出来。

2) 详细测绘阶段编制大比例尺 (1:10,000—1:500) 冲沟形态发育图。图上不但表示位置、大小，还要表示出冲沟的特点，例如用符号表示出沟顶特点，并注明其高度；表示沟壁的陡度及有无滑坡岩堆等；用符号表示出沟底是侵蚀或是沉积；标出浅沟长度；标出泉、水流等。这样就编制了冲沟形态发育图 (见图5)，同时应绘出纵横剖面图。

为了绘制冲沟图，A. C. 科兹敏科根据由冲沟中冲刷出的土方量，把冲沟分为五种：