

BUWENDING GAOBIANPO
DIAOCHA YU ZHILI

不稳定高边坡 调查与治理

主 编 徐 平 马清文

副主编 胡永生 王 灿 王大川 曹 伟 戴菊英



黄河水利出版社

不稳定高边坡调查与治理

主 编 徐 平 马清文
副主编 胡永生 王 灿 王大川
曹 伟 戴菊英

黄河水利出版社
· 郑 州 ·

内 容 提 要

本书以现行的边坡设计规范、边坡勘察规范、滑坡治理规范等为依据,系统地阐述了边坡支护工程的基本理论,并给出了不稳定边坡(滑坡、崩塌)的调查与治理实例。内容涉及绪论、岩土体的物理力学特性、土压力计算和边坡稳定性分析、边坡现状调查实例、滑坡和崩塌的柔性支护实例、滑坡的抗滑桩+挡墙支护实例、滑坡群的综合治理实例、建筑高边坡的综合支护实例等八章。

本书可作为岩土工程勘察、边坡支护设计、边坡病害调查和治理的设计与施工人员的参考用书,也可作为高等院校土木工程专业高年级学生选修用书。

图书在版编目(CIP)数据

不稳定高边坡调查与治理/徐平,马清文主编. —郑州:
黄河水利出版社,2013. 5

ISBN 978 - 7 - 5509 - 0479 - 8

I. ①不… II. ①徐… ②马… III. ①边坡稳定性 -
研究 IV. ①TV698. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 093037 号

组稿编辑:王志宽 电话:0371 - 66024331 E-mail:wangzhikuan83@126.com

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼14层

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:河南地质彩色印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:18

字数:420千字

版次:2013年5月第1版

印数:1—1 000

印次:2013年5月第1次印刷

定价:49.00元

前 言

不稳定边坡极易诱发崩塌、滑坡、泥石流等重大地质灾害。这些重大地质灾害隐患点险情紧迫、潜在危害大、危险程度高,严重危及居民生命财产安全,如何对不稳定边坡进行治理是关系民生重中之重的。

本书共分八章:

第一章 绪论:简述了边坡工程的发展和支护的重要性,介绍了边坡危害分类和岩质边坡的破坏方式,给出了边坡综合治理措施的图示和部分现场照片,最后简要地介绍了边坡稳定性分析的定性评价方法。

第二章 岩土体的物理力学特性:本章是对土力学和岩体力学等基本常识的概括,介绍了土的粒组划分,土的三相比例指标,无黏性土的密实度,黏性土的物理特征(稠度、液性指数和塑性指数),土的抗剪强度指标,岩块、岩体、岩体的工程分类,并重点介绍了岩土体的强度指标的测试方法和选取原则。

第三章 土压力计算和边坡稳定性分析:本章简要说明了朗肯土压力、库仑土压力和《规范》土压力的计算理论与计算步骤,以及边坡稳定性分析方法,并着重介绍了8种常用的边坡稳定性极限平衡分析法。

第四章 边坡现状调查实例:本章是对某高速公路的高边坡的现状调查分析,描述了导致边坡不稳定的因素,并给出了粗略的治理建议。

第五章 滑坡和崩塌的柔性支护实例:某不稳定边坡存在1处滑坡和11处崩塌,总土石方量为 $13.7 \times 10^4 \text{ m}^3$,通过勘察查明了崩塌的形成机制,经过稳定性计算分析了其稳定状态,并计算了落石能量,最后给出了柔性支护方案。

第六章 滑坡的抗滑桩+挡墙支护实例:某滑坡的滑坡方量约为 $0.24 \times 10^4 \text{ m}^3$,为小型浅层土质滑坡,该滑坡威胁到了1栋5层的教职工宿舍及学生食堂,经过勘察和稳定性分析,给出了抗滑桩+挡墙的支护措施。

第七章 滑坡群的综合治理实例:受“5·12地震”影响,某滑坡已经形成了由5个滑坡区形成的滑坡群,该5个滑坡全为浅层土质小型滑坡,经过勘察和稳定计算,给出了抗滑挡墙+裂隙填充和预应力锚索框架地梁+裂缝回填两种支护方案,并提出相应的监测方案。

第八章 建筑高边坡的综合支护实例:某高层建筑拟建在-14 m高的边坡上,而且在建筑周围拟填土修建地面停车场。对该高边坡进行验算,其稳定系数不满足相关规范要求,对该建筑边坡分割面分别采用了抗滑桩+扶壁式挡土墙、重力式挡土墙的支护措施。

本书编写人员及编写分工如下:第一章和第四章由郑州大学的徐平、钱向丽共同编写,第二章、第五章、第七章和第八章由黄河勘测规划设计有限公司的胡永生、王灿、王大川、曹伟、戴菊英共同编写,第三章和第六章由郑州大学的马清文、铁瑛共同编写。全书由

徐平和马清文统稿。

本书在编写过程中参考并引用了有关专业书籍、教材和规范,得到了许多边坡设计与治理等方面的专家及同行们的大力支持和帮助,并提出了许多宝贵意见,在此表示由衷的感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者
2013 年 3 月

目 录

前 言

第一章 绪 论	(1)
第一节 引 言	(1)
第二节 边坡危害分类	(1)
第三节 岩质边坡的破坏方式	(3)
第四节 边坡综合治理措施	(5)
第五节 边坡稳定性分析的定性评价方法	(8)
第二章 岩土体的物理力学特性	(10)
第一节 概 述	(10)
第二节 土的粒组划分	(10)
第三节 土的三相比例指标	(11)
第四节 无黏性土的密实度	(14)
第五节 黏性土的物理特征	(16)
第六节 土的抗剪强度指标	(18)
第七节 岩 块	(31)
第八节 结构面	(34)
第九节 岩 体	(43)
第十节 岩体的工程分类	(47)
第三章 土压力计算和边坡稳定性分析	(58)
第一节 土压力主要类型	(58)
第二节 静止土压力理论	(59)
第三节 朗肯土压力理论	(59)
第四节 库仑土压力理论	(66)
第五节 朗肯土压力理论和库仑土压力理论的讨论	(74)
第六节 边坡稳定性分析方法	(75)
第七节 边坡稳定性极限平衡分析法	(77)
第四章 边坡现状调查实例	(91)
第一节 边坡调查内容	(91)
第二节 某高速公路边坡现状调查	(92)
第五章 滑坡和崩塌的柔性支护实例	(109)
第一节 概 述	(109)
第二节 区域地质环境条件	(110)
第三节 斜坡基本特征	(111)

第四节	不稳定斜坡变形破坏机制分析	(125)
第五节	灾害体稳定性评价	(126)
第六节	防治工程方案比选	(136)
第六章	滑坡的抗滑桩+挡墙支护实例	(154)
第一节	概 述	(154)
第二节	区域地质环境条件	(154)
第三节	滑坡体特征	(156)
第四节	滑坡稳定性计算及评价	(159)
第五节	治理设计	(163)
第七章	滑坡群的综合治理实例	(188)
第一节	概 述	(188)
第二节	区域地质环境条件	(189)
第三节	滑坡体基本特征	(191)
第四节	滑坡稳定性计算及评价	(207)
第五节	防治工程方案比选	(211)
第六节	工程监测设计	(246)
第八章	建筑高边坡的综合支护实例	(250)
第一节	概 述	(250)
第二节	场地条件	(251)
第三节	稳定性分析	(252)
第四节	支护设计	(255)
第五节	施工要求	(276)
参考文献		(281)

第一章 绪 论

第一节 引 言

目前,我国的高速公路建设正在快速发展,其中有不少路段是穿越山岭重丘地带,地形、地质条件复杂且自然坡陡。边坡的稳定性直接决定着工程修建的可行性,影响着工程的建设投资和安全运行。在施工过程中,公路边坡的崩塌、滑坡现象时有发生,不仅其危害严重、损失大,往往使工程无法正常进行,还可能会给工程竣工后的正常运营留下安全隐患。为了实现安全可靠和经济合理的双重目标,对高边坡进行深入的工程地质分析及其治理方案的选择尤为重要。

第二节 边坡危害分类

一、滑坡

滑坡是路基山坡土体或岩体由于长期受地下水、地表水活动的影响,使其结构逐渐失去支撑力,在自重的作用下,整体沿着一定软弱面向下滑动,见图 1-1。滑坡按其引起滑动的力学特性来区分,可分为牵引式滑坡和推移式滑坡。



图 1-1 滑坡

牵引式滑坡是下部先滑动,使上部失去支撑而变形滑动,一般速度较慢,可延续相当长的时间,横向张性裂隙发育,表面多呈阶梯状或陡坎状。

推移式滑坡是上部岩土体挤压下部岩土体产生变形,滑动速度较快,滑体表面波状起伏,多见于有堆积分布的斜坡地段。在公路建设中,因设计施工不当,改变了原来斜坡的平衡状态,则将引发工程新滑坡或工程复活古滑坡。

二、崩塌

崩塌(崩落、垮塌或塌方)是较陡斜坡上的岩土体在重力作用下突然脱离母体崩落、滚动、堆积在坡脚(或沟谷)的地质现象,见图 1-2。产生在土体中者称为土崩,产生在岩体中者称为岩崩。规模巨大、涉及山体者称为山崩。大小不等、零乱无序的岩块(土块)呈锥状堆积在坡脚的堆积物,称为崩积物,也可称为岩堆或倒石堆。

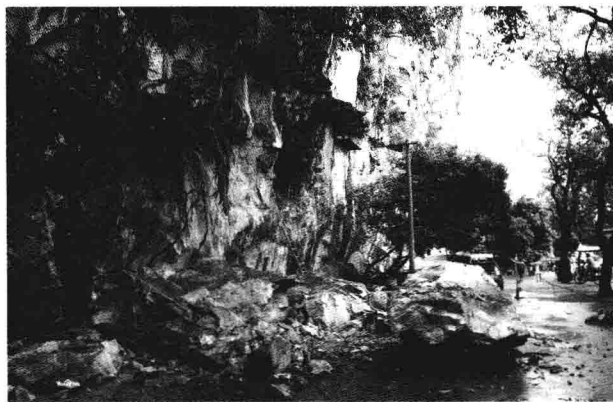


图 1-2 崩塌

崩塌具有突发性,危害较大。它与滑坡的区别是:崩塌发生急促,破坏体散开,并伴有倾倒、翻滚现象;而滑坡一般总是沿着固定滑动面整体地、缓慢地向下滑动的。

三、泥石流

泥石流是暴雨、洪水将含有砂石且松软的土质山体经饱和稀释后形成的洪流(见图 1-3),它的面积、体积和流量都较大,而滑坡是经稀释土质山体小面积的区域,典型的泥石流由悬浮着粗大固体碎屑物并富含粉砂及黏土的黏稠泥浆组成。在适当的地形条件下,大量的水体浸透流水、山坡或沟床中的固体堆积物质,使其稳定性降低,饱含水分的固



图 1-3 泥石流

体堆积物质在自身重力作用下发生运动,就形成了泥石流。泥石流是一种灾害性的地质现象。泥石流暴发突然,来势凶猛,可携带巨大的石块。因其高速前进,具有强大的能量,因而破坏性极大。

泥石流流动的全过程一般只有几个小时,短的只有几分钟。泥石流是一种广泛分布于世界各国一些具有特殊地形、地貌状况地区的自然灾害,是山区沟谷或山地坡面上,由暴雨、冰雪融化等水源激发的、含有大量泥沙石块的介于挟沙水流和滑坡之间的土、水、气混合流。泥石流大多伴随山区洪水而发生。它与一般洪水的区别是洪流中含有足够数量的泥沙石等固体碎屑物,其体积含量最少为 15%,最高可达 80% 左右,因此比洪水更具有破坏力。

泥石流的主要危害是冲毁城镇、企事业单位、工厂、矿山、乡村,造成人畜伤亡,破坏房屋及其他工程设施,破坏农作物、林木及耕地。此外,泥石流有时也会淤塞河道,不但阻断航运,还可能引起水灾。影响泥石流强度的因素较多,如泥石流容量、流速、流量等,其中泥石流流量对泥石流成灾程度的影响最为主要。此外,多种人为活动也在多方面加剧上述因素的作用,促进泥石流的形成。

泥石流经常发生在峡谷地区和地震火山多发区,在暴雨期具有群发性。它是一股泥石流洪流,瞬间暴发,是山区最严重的自然灾害。

第三节 岩质边坡的破坏方式

岩质边坡破坏方式是由各种不同性质的断层、岩层、节理裂隙等结构面控制的,其破坏方式主要有平面破坏、楔体破坏、圆弧形破坏和倾倒破坏等。

一、平面破坏

在岩质边坡中,平面破坏是最常见的一种破坏(见图 1-4)。它往往造成顺坡向的滑动光面或与坡面的走向有一定交角的光面。其破坏的一般条件是:破坏面的倾向与边坡

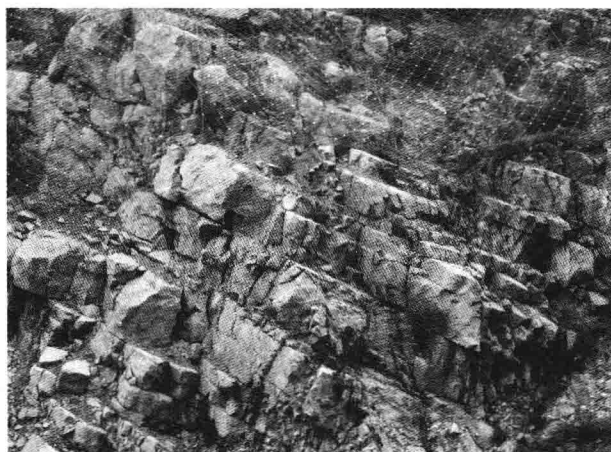


图 1-4 平面破坏

面的倾向近乎一致;破坏面的倾角小于坡面的倾角;破坏面的倾角应大于该面的摩擦角;在地下水的作用下,或坡脚被开挖破坏,或受到震动影响滑坡就会发生。

二、楔体破坏

由两个(组)地质结构面组合形成的形似楔体的破坏方式称为楔体破坏(见图 1-5),这种破坏在施工现场较常见,其规模大小由组合结构面的大小决定,其滑动的快慢由两组结构面组合交线的倾角大小所决定,两组结构面组合交线的倾角大,则滑动危险性大,反之则小。

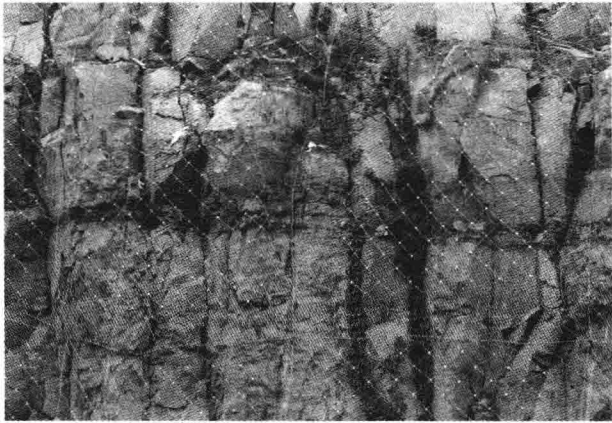


图 1-5 楔体破坏

三、圆弧形破坏

滑动面呈圆弧状的破坏为圆弧形破坏(见图 1-6),这种破坏在施工现场也可见到,主要发生在强风化岩区或夹泥质的边坡处,这种破坏往往表现为坡体下坐式,裂面一般由多条张裂缝组成,张裂缝弯曲或呈羽状。这种破坏速度较慢,持续时间较长,有间歇现象,这是由圆弧滑动面的形状所决定的。



图 1-6 圆弧形破坏

四、倾倒破坏

倾倒破坏(见图 1-7)由于破坏面的倾角很陡,有的几乎陡立,甚至与滑动方向反倾。这种破坏比较少见,但在施工现场发生过,主要是由密集节理带或劈理面造成的,所以规模不大,滑塌量在 $10 \sim 30 \text{ m}^3$ 。但往往发生较为突然,难以预测,因此对这种破坏决不能掉以轻心。

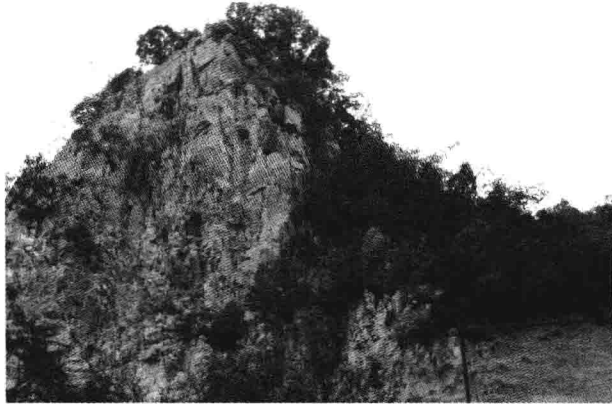


图 1-7 倾倒破坏

第四节 边坡综合治理措施

一、合理坡角

根据边坡岩性特征,采用合理的坡角是保证边坡稳定的首要条件。岩石力学强度高的边坡,坡角可以设计得大一些,但边坡岩体往往分布着断层、节理、岩层、裂隙等结构面,这些结构面切割破坏了边坡岩体的完整性,改变了岩石的力学性质。一般来说,岩体的力学强度低于岩石的力学强度,边坡岩体的稳定是受地质结构面控制的,有无地质结构面、地质结构面的大小多少、地质结构面的分布特征对边坡岩体的稳定都有着重大的影响,因此相同的岩石,但经受地质结构面切割的情况不同,边坡岩体稳定状态也不一样。根据经验,强风化岩及土体边坡,采用 45° 的坡角比较合适;微风化至中风化岩区,采用 50° 的坡角比较合适;较新鲜的岩石同时又比较完整的区段,可采用 50° 坡角甚至更大一些的坡角。

二、边坡加固

在公路建设中,对不稳的区段进行加固是完全必要的。自从锚固工程技术大量地被运用于高速公路边坡加固后,有效地保证了高速公路建设的速度和营运期的安全。岩土锚固技术对高速公路的边坡进行加固是较为合适的。视边坡地质情况也可以采用抗滑桩(见图 1-8)、预应力锚索(见图 1-9)等方法进行加固。坡脚采用石砌挡墙可以压脚稳坡,

但挡墙必须坐落在基岩上。



图 1-8 抗滑桩



图 1-9 预应力锚索

三、坡面支护

高速公路的边坡属于永久性边坡,对于坡面岩石比较破碎或岩层风化较强的坡面,应当进行支护,支护后的坡面可防止水土流失和滚石发生,而且有利于坡面复绿。坡面的支护可采用框架式、预制网格式、挂网喷浆等方法。目前采用较多的还是框架式。由于框架式对于坡面支护、坡面防护(植被)持久耐用,格式灵活,整体效果突出等都较为优越。框架式的结构可根据所需支护坡体的情况而确定,坡面情况较差而且边坡又较高,则需要采用钢筋混凝土框架,如需要,也可在框架交叉处布设一定长度的锚杆,以增加框架的抗滑力,保持框架整体的稳定性。如果坡面条件尚好,坡体又不很高,坡角不大,则框架柱梁可采用浆砌块石建造。

四、坡面防护

通过边坡治理,根据各区边坡的具体情况,对不稳的边坡进行削坡、清坡,消除了崩塌、滑坡和滚石等安全隐患,大大提高了边坡的稳定性,同时对个别区段进行了坡面支护,这就更进一步增加了边坡的稳定程度。在基本稳定的坡面上进行生态复绿防护工程,通过生态复绿,促使岩质边坡植被恢复,这不仅使坡面得到了稳定防护的效果,而且改善了生态环境,常用的坡面防护措施包括格构(见图 1-10)、孔窗式护面墙(见图 1-11)。

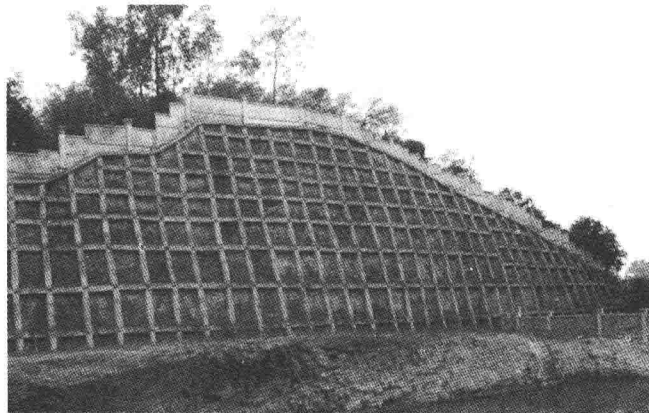


图 1-10 格构



图 1-11 孔窗式护面墙

五、修建截排水沟

公路边坡地表水随自然山势径流,由于边坡较高又较长,遇大雨天,雨水地表水将对坡面冲刷,造成破坏,因此应在坡顶处设置截水沟(见图 1-12),将地表水引出坡面,避免雨水冲垮坡面。在坡顶上修建截水沟是为了将坡面上外围的地表水截入水沟内从而排到边坡以外去。在修建时必须将截水沟镶入坡体中,让地表水顺坡流入截水沟。沟外壁可

高出地面。坡底的排水沟在削坡时就应考虑水沟水流的走向。挡土墙外侧排水沟与台阶平台上的排水沟一样,根据边坡的汇水面积、当地降水量等,设计合理的沟宽和沟深,防止大雨天出现满沟溢出现象。



图 1-12 截水沟

第五节 边坡稳定性分析的定性评价方法

一、成因历史分析法

成因历史分析法是根据边坡发育的地质环境、水文地质条件、边坡发育历史中的各种变形破坏迹象及其基本规律和稳定性影响因素等的综合分析,追溯边坡演变的全过程,对边坡稳定性的总体状况、趋势和区域性特征作出定性评价与预测,对已发生滑坡的边坡,判断其是否能复活或转化。

二、工程类比法

工程类比法就是利用已有的自然边坡或人工边坡的稳定性状况及其影响因素、有关设计等方面的经验,并把这些经验应用到类似的所要研究边坡的稳定性评价和设计中的一种方法。在工程实践中,既可以进行自然边坡间的类比,也可以进行人工边坡之间的类比,还可以在自然边坡和人工边坡之间进行类比。

三、图解法

边坡稳定性分析的图解法主要有两种类型:一种是用一定的曲线和诺谟图来表征边坡稳定相关参数间的定量关系,由此求出边坡稳定安全系数或已知稳定安全系数及其他参数,在仅一个参数未知的情况下,求稳定坡角或极限坡高;另一种是利用图解求边坡变形破坏的边界条件,分析软弱结构面的组合关系,分析滑体的形态、滑动方向,评价边坡的

稳定程度,为力学计算创造条件。

四、边坡稳定性分析专家系统法

边坡稳定性分析专家系统法就是进行边坡工程稳定性分析与设计的智能化计算机程序。

第二章 岩土体的物理力学特性

第一节 概 述

天然形成的土通常由固体颗粒、液体水和气体三个部分(俗称三相)组成。固体颗粒是土的最主要物质成分,由许多大小不等、形态各异的矿物颗粒按照各种不同的排列方式组合在一起,构成土的骨架,亦称土粒。土是松散沉积物,土粒间存在孔隙,通常由水溶液和气体充填。天然土体孔隙中的水并非纯水,其中溶解有多种类型和数量不等的离子或化合物(电解质)。若将土中水作为纯净的水看待,根据土粒对极性水分子吸引力的大小,则吸附在土粒表面的水有结合水和非结合水之分。对于非饱和土而言,孔隙中的气体通常为空气。土的上述三个基本组成部分不是彼此孤立地、机械地混合在一起的,而是相互联系、相互作用的,共同形成土的基本特性。特别是细小的土粒具有较大的表面能量,它们与土中水相互作用,由此产生一系列表面物理化学现象,直接影响着土性质的形成和变化。

与土体不同,成岩之初的岩体是连续的,以后由于构造运动的影响,在岩体中形成各种地质界面,因此被各种结构面切割是岩体的主要特征。岩石是构成岩体的物质,岩体是由结构面和结构体(被结构面包围的岩块)两个基本单元组成的。岩体的物理力学性质取决于结构面和结构体的力学性质,从总体上说,岩体具有以下几个主要特征:

(1)岩体是预应力体,在进行开挖工程前,岩体中已存在初始应力场。开挖岩体形成的应力集中势必叠加到初始应力场上。

(2)岩体是一种含有多种介质的裂体。有两种极端情况:一种是弱面极少或几乎没有的整体性质,可视为连续介质;另一种是弱面充分发育的松散体,在这两种情况之间有松散体—弱面体—连续体的一个系列。将这由连续到不连续的系列划分为几种力学介质,如连续介质、块体介质、松散介质等。

第二节 土的粒组划分

天然形成的土,其土粒大小悬殊、性质各异。土粒的大小通常以其平均直径 d 来表示,简称粒径(亦称粒度),一般以 mm 为单位。界于一定粒径范围的土粒,其大小相近、性质相似,称为粒组。土中各粒组的相对百分含量,称为土的粒度成分。

自然界中的土粒直径变化幅度很大。工程上所采用的粒组划分首先应满足在一定的粒度范围内,土的工程性质相近这一原则,超过了这个粒径范围,土的性质就要发生质的变化。其次,粒组界限的确定视起主导作用的特性而定,而且要考虑与目前粒度成分的测定技术相适应。我国目前广泛采用两种粒组划分方案见表 2-1。