

边坡稳定性及支护

言志信 段建 王后裕 著



科学出版社

边坡稳定性及支护

言志信 段 建 王后裕 著

感谢国家自然科学基金项目(NO:41372307)资助
及河南城建学院和湖南工程学院对本书出版给予的支持

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书共 8 章,第 1 章是绪论,第 2 章是自然边坡稳定性分析及其安全评价标准,第 3 章是地震边坡动力特性分析,第 4 章是边坡共振响应分析,第 5 章是边坡锚固机理分析,第 6 章是边坡锚固工程设计计算方法,第 7 章是抗滑桩固坡机理分析,第 8 章是植物固坡机理分析。

本书可供土木工程等专业的本科生及研究生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

边坡稳定性及支护/言志信,段建,王后裕著. —北京:科学出版社,2018. 1
ISBN 978-7-03-056322-4

I. ①边… II. ①言…②段…③王… III. ①边坡稳定 IV. ①TV698. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 008475 号

责任编辑:刘凤娟 / 责任校对:邹慧卿

责任印制:张 伟 / 封面设计:无极书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京教图印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 12 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2017 年 12 月第一次印刷 印张:19 1/2 插页:2

字数:380 000

定价:149.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 边坡失稳危害	1
1.2 边坡加固与防护技术方法	6
1.3 本书主要内容	12
参考文献	12
第 2 章 自然边坡稳定性分析及其安全评价标准	16
2.1 边坡稳定性的影响因素分析	16
2.1.1 岩体结构类型的影响	16
2.1.2 岩体结构面特性的影响	18
2.1.3 地形地貌的影响	19
2.1.4 地质构造应力的影响	19
2.1.5 水的影响	19
2.1.6 地震、爆破震动和行车震动的影响	19
2.2 现行边坡静力稳定性分析方法	20
2.2.1 极限平衡分析法	20
2.2.2 数值分析方法	21
2.2.3 其他分析方法	25
2.3 基于等效 Mohr-Coulomb 屈服准则的 ANSYS 平台实现	26
2.3.1 Mohr-Coulomb 屈服准则	27
2.3.2 广义 Mises 准则	27
2.3.3 两准则之间的转化	28
2.3.4 ANSYS 平台实现	29
2.4 有明显滑移面边坡的稳定性数值模拟分析	31
2.4.1 稳定性计算	31
2.4.2 参数敏感性分析	34
2.5 无明显滑移面边坡的稳定性数值模拟分析	39
2.5.1 无明显滑移面边坡滑移路径的搜索	39
2.5.2 无明显滑移面岩质边坡安全系数的计算	40
2.5.3 算例分析	43

2.6	自然状态下边坡岩土体破坏机理分析	45
2.7	边坡稳定性安全评价标准	48
	参考文献	51
第3章	地震边坡动力特性分析	54
3.1	边坡动力响应规律与影响因素分析	54
3.1.1	地震作用下的边坡动力响应规律	55
3.1.2	地震动特性对边坡动力响应的影响	62
3.1.3	边坡动力响应的坡型影响分析	65
3.2	地震边坡岩土体动力破坏机制	70
3.2.1	岩土体动应力和振动速度的关系	71
3.2.2	水平地震作用下的边坡岩土体破坏分析	72
3.2.3	竖向地震作用下的边坡岩土体破坏分析	82
3.2.4	双向耦合地震作用下的边坡岩土体破坏分析	88
3.3	边坡动力稳定性评价	90
3.3.1	边坡动力稳定性评价方法	90
3.3.2	边坡动力强度折减法基本原理	92
3.3.3	边坡动力失稳判断标准	92
3.3.4	算例分析	93
	参考文献	94
第4章	边坡共振响应分析	96
4.1	ANSYS 动力计算原理	96
4.1.1	模态分析	97
4.1.2	谐响应分析	98
4.1.3	瞬态动力学分析	99
4.2	边坡共振力学分析	100
4.3	边坡模态分析	102
4.3.1	数值计算模型	102
4.3.2	数值计算流程	102
4.3.3	结果分析	103
4.4	边坡谐响应分析	107
4.4.1	数值计算模型	108
4.4.2	计算结果与分析	108
4.5	边坡共振的数值验证	110
4.6	边坡固有频率的计算	112

4.6.1 单元尺寸对边坡固有频率的影响	113
4.6.2 边坡固有频率的影响因素分析	114
4.6.3 回归分析	116
4.6.4 变量检验与数据筛选	117
4.6.5 公式回归	121
4.6.6 公式检验	123
参考文献	124
第5章 边坡锚固机理分析	125
5.1 锚固体与周边岩土体界面本构模型	125
5.1.1 二阶段黏滑本构模型	126
5.1.2 三阶段软化型本构模型	126
5.2 边坡锚固荷载传递力学模型	127
5.3 均质边坡锚固拉拔松动破坏理论分析	128
5.3.1 界面二阶段模型求解探讨	128
5.3.2 界面三阶段模型分析探讨	133
5.3.3 工程应用与验证	138
5.4 层状地层锚固荷载传递特性分析	139
5.4.1 问题求解步骤	139
5.4.2 算例分析与工程试验验证	142
5.5 土层缺陷锚杆(索)锚固特性与参数影响分析	145
5.5.1 缺陷锚固问题的求解步骤	145
5.5.2 土层缺陷锚固特性的参数影响分析	147
5.6 锚杆拉拔 FLAC 数值模拟分析	152
5.6.1 计算原理	153
5.6.2 算例数值模拟分析	154
5.7 边坡加锚效应分析	158
5.7.1 自然边坡锚杆(索)加固效应分析	159
5.7.2 锚杆几何参数影响分析	162
5.7.3 地震边坡锚杆(索)加固效应分析	167
参考文献	176
第6章 边坡锚固工程设计计算方法	178
6.1 锚杆(索)工程设计方法	178
6.1.1 滑坡推力的计算	178
6.1.2 锚固边坡安全系数的计算	180

6.1.3 锚杆(索)设计参数的拟定	181
6.2 坡面框架格子梁结构设计计算方法	184
6.2.1 锚固边坡坡面结构类型	184
6.2.2 坡面框架格子梁设计计算	185
6.2.3 框架格子梁计算方法的建议	191
6.3 工程案例	195
6.3.1 滑坡工程地质条件	196
6.3.2 滑坡特征	197
6.3.3 滑坡形成原因	198
6.3.4 滑坡稳定性评价	198
6.3.5 滑坡治理方案	199
6.4 边坡锚杆锚固导波检测探讨	203
6.4.1 锚固锚杆中导波的频散方程	204
6.4.2 模型的建立及参数选择	206
6.4.3 数值模拟正确性验证	208
6.4.4 数值模拟结果分析	211
参考文献	214
第7章 抗滑桩固坡机理分析	217
7.1 概述	217
7.1.1 抗滑桩理论研究现状	217
7.1.2 抗滑桩与其他固坡方式的比较	218
7.2 滑坡推力及抗滑桩桩前抗力分布模式	219
7.3 抗滑桩与滑坡体的相互作用机理	221
7.3.1 抗滑桩与坡体相互作用效应	221
7.3.2 桩-土拱相互作用的力学计算	223
7.3.3 抗滑桩受力分析	232
7.3.4 土拱受力分析	233
7.4 抗滑桩设计参数对其工作性能的影响	233
7.4.1 抗滑桩桩身截面尺寸对其内力和变形的影响	234
7.4.2 抗滑桩锚固段长度对其内力和变形的影响	236
7.4.3 抗滑桩锚固段岩体强度对其内力和变形的影响	242
7.4.4 抗滑桩截面形状对其内力和变形的影响	245
参考文献	250

第 8 章 植物固坡机理分析	252
8.1 植物固坡基本原理	253
8.1.1 植物固坡的功能及优点	254
8.1.2 植物根系提高土壤的抗剪强度	256
8.1.3 植物与土壤的抗冲性能分析	260
8.1.4 植物固坡的树干效应	263
8.1.5 植物固坡的茎叶作用	266
8.2 植物固坡根土相互作用力学模型	268
8.2.1 植物根系-边坡岩土体相互作用	268
8.2.2 摩擦型根-土相互作用力学模型	269
8.2.3 锚固型根-土相互作用力学模型	275
8.3 坡面植物的选择设计原理	277
8.3.1 植物固坡总体设计模式	277
8.3.2 植物固坡设计的景观类型	278
8.3.3 植物固坡的土壤学原理	279
8.3.4 植物固坡的生态学理论	282
8.3.5 坡面植物种类选择与设计	286
8.3.6 常见的优良固土护坡植物	288
8.4 层次分析法选择固坡植物	290
8.4.1 层次分析法基本原理	291
8.4.2 层次分析法试验分析	292
8.4.3 层次因子计算及排序	295
8.4.4 固坡植物的选择	296
8.5 植物固坡的局限性及其负面影响分析	296
8.5.1 植物根系加固效应的局限性	296
8.5.2 植被增强了土体的渗透能力	297
8.5.3 植被发育加速地下水循环	297
8.5.4 植被对边坡岩土体的化学风化作用	298
参考文献	299

第 1 章 绪 论

1.1 边坡失稳危害

边坡是天然斜坡和人工边坡的总称,它是人类工程活动中最基本的地质环境与载体之一,同时也是工程建设中最常见的工程型式。所谓天然斜坡是在自然地质作用下形成的、未经人工改造的斜坡,该类斜坡在自然界中特别是山区广泛分布,如山坡、沟谷岸坡等;所谓人工边坡是由人工开挖或改造而形成的,如露天采矿边坡、铁路边坡、公路路堤与路堑边坡等,此类边坡在工程建设当中屡见不鲜,是当今岩土工程界研究的重点和难点。按照构成边坡坡体的岩土材料性质的不同,边坡又可分为土质边坡和岩质边坡。在重力、地质营力及外部荷载作用下,边坡不断演化并伴随着不同形式和规模的变形和破坏,常发生滑坡、滑塌、崩塌和剥落等。

边坡失稳主要有两方面原因:第一,边坡体本身的地质结构等内在因素;第二,地震、强降雨或人工开挖等外在因素。中国地处世界上两个最大地震集中发生地带——环太平洋地震带与欧亚地震带之间,受到太平洋板块、印度板块和菲律宾海板块的挤压作用,地震断裂带十分发育。因此,中国是世界上多地震的国家,也是蒙受地震灾害最为深重的国家之一,其中,四川、云南、甘肃、陕西、西藏、新疆及台湾是地震多发区,在这些地区发生了很多地震崩塌、滑坡等灾害。中国的地震绝大多数是发生在大陆的浅源地震,震源深度一般在 20km 以内。20 世纪,有 1/3 的陆上破坏性地震发生在中国,死亡人数约 60 万,占全世界同期因地震而死亡的人数的一半左右。20 世纪,全球造成 20 万以上人口死亡的大地震有两次,均发生在中国:一次是 1920 年宁夏海原 8.5 级大地震,死亡 23 万余人;另一次是 1976 年河北唐山 7.8 级大地震,死亡 24 万余人。这两次大地震都使人民的生命财产遭受了极其巨大的损失。进入 21 世纪,全球地震活动频率陡然升高,仅 2001~2008 年,全球 6 级以上地震达 1200 次以上,7 级以上地震 100 次以上,8 级以上地震 15 次,如海地地震和汶川地震,这些地震造成的人口伤亡和财产损失惊人。

由于地震的作用,形成了滑坡、崩塌和泥石流等地质灾害。地震为地质灾害提供了外力和触发条件,导致大量的建筑物破坏、滑坡和崩塌,造成了巨大的损失。作为全球三大地质灾害(地震、洪水、崩塌-滑坡-泥石流)之一的边坡失稳事故致使人民的生命财产遭到极其严重的损失,每年各国由此而造成的人员伤亡数目惊人、

经济损失数以亿计。美国、日本、意大利、中国等都是边坡失稳事故发生较多、受害严重的国家。在美国,1925年怀俄明州的格罗斯-丈特河谷,约 3800万 m^3 的岩层顺石炭系黏土层滑下,河道堵塞以致形成60m深的湖,湖水从坝顶溢流后,坝即崩溃;1994年,美国加州北岭地震,引发多处滑坡和崩塌,致使大量房屋严重破坏;同时从地区来看,Schuster收集的资料显示,仅美国的加州地区由边坡失稳造成的经济损失每年高达33亿美元,除此之外,美国平均每年至少有25人死于这种灾害。在日本,山区占土地面积的80%以上,1793年,日本的九州岛发生强烈地震,约有 5.35亿 m^3 的土石自前山东坡下滑2700m,落入明海湾,引起海啸,涌浪使沿岸80km的地带遭到破坏,导致死亡人口超过1.5万,该国岛根、长野、西颈城均发生过大规模的山体滑坡,伤亡人数众多,且损失惨重;日本每年因边坡失稳而造成的经济损失多达数百亿日元。在意大利,1963年瓦依昂拱坝左岸的岩质边坡发生破坏,有 $2\sim 3\text{亿 m}^3$ 的岩石沿斜坡滑动,造成3000多人死亡的重大事故。

中国2/3的国土为山地,独特的地理、地质条件为边坡失稳提供了物质基础。1920年,中国的海原地震,在极震区及周边地区发生的崩塌与滑坡数量之多、规模之大、范围之广,在历史上都是罕见的,尤其是静宁县、西吉县等,由于这一带黄土覆盖较厚、土质疏松、沟谷切割较深,黄土崩塌和滑坡十分密集,连成一片。在高烈度区,多处崩塌体和滑坡体的长和宽达数百米甚至上千米,破坏的土体达数百万立方米,造成许多的堰塞湖,改变了原有的山川面貌,吞噬了许多村庄、农田、房舍。1933年,四川叠溪地震,震级7.5级,造成大量的崩塌和滑坡,使得叠溪古城完全毁灭,最大的滑坡体达到 1.5亿 m^3 。1974年,云南昭通地震,震级7.1级,导致海口—马颈子大滑坡,滑坡体长300m,宽200m,厚50m。滑坡导致交通瘫痪、河道堵塞,形成堰塞湖,这次地震还造成小堡子—绥江公路段山体大面积滑坡,致使山脚下的路基从河谷北岸冲向河谷南岸,路基抬高20m,路面转动变成直立状。1999年,台湾地区的大地震导致几个县区都发生大范围的边坡破坏,造成的崩塌达1800处,崩塌面积达 7285km^2 。地震造成的破坏触目惊心,大面积村庄被毁,农田被淹,交通堵塞。

2008年,中国“5·12汶川地震”是近年来破坏最大、最具影响力的地震,属于逆冲、右旋、挤压型断层地震。地震应力传播和释放比较缓慢,使得余震的强度也较大,持续时间也较长,主震发生后,又发生了几百次余震,加之震源深仅14km,属于典型的浅源地震,地震导致的人员伤亡和财产损失巨大,造成69227人遇难,374643人受伤,17923人失踪,直接经济损失8452亿元,间接经济损失10000亿元。而且,地震诱发了大量的地质灾害,尤其是次生的滑坡地质灾害,许多山坡和工程边坡在这次地震中被毁,如图1.1所示。这些滑坡堆积物掩埋了公路,致使公路中断,交通堵塞甚至完全瘫痪;不仅如此,有些车辆被落石砸毁,有些埋没于滑坡

物之下,给各种设施造成了巨大的破坏,给后来的救援工作、震后的恢复工作等带来了巨大困难。比如,在绵阳境内的省道 S105、S205 沿线,边坡滑坡如串珠状,有的路段滑坡摧毁了路基路面,使得公路交通功能完全丧失,而且公路修复困难、耗资巨大,致使地震救援队伍、救援机械和救援物资不能及时到达灾区。又如,映秀—银杏段的国道 G312、映秀—卧龙段的国道 G317 都存在大量的崩塌堆积物,都汶高速卧龙连接线火烧坪隧道出口被崩塌堆积体完全掩埋。另外,地震作用诱发的滑坡造成桥梁的桥台变形甚至破坏、桥墩破坏。比如,国道 G213 线寿江大桥汶川岸桥台后端的滑坡引起桥台变形开裂。



(a) 陈家坝主大街上的断桥及掩埋大量建筑物的大型滑坡



(b) 睢水至高川公路沿线的崩塌、滚石及被砸烂的车辆



(c) 红光乡石板沟导致堰塞湖形成的大型滑坡体

图 1.1 汶川地震次生地质灾害

地震灾害是由地震力诱发造成的。地震力具有作用时间短、强度大的特点,而且地震力的作用方向和大小都不断交替变化,从而造成岩土体剥离、松动、崩塌、崩裂、滑塌等各种不同形式的破坏。对于边坡体,地震引起坡体剧烈晃动,使得斜坡体前缘,特别是被陡倾角结构面切割的岩土体突然失稳,向外倾倒滚落,形成的地震崩塌物下落并堆积于坡脚,这种崩塌的破坏性远大于一般重力作用造成的崩塌。另外,地震还可能诱发河岸、湖岸陡坡突发性崩塌,给工程带来毁灭性破坏,给人类带来巨大灾难。对于含有软弱结构面的边坡,地震还可能使得岩土体沿结构面下滑,形成地震滑坡,在松散地层和较陡的边坡上更是如此,在地震力和重力的作用下,这些滑坡往往夹带着大块岩石顺坡滑落和崩塌,这种滑塌比常规滑坡的破坏力更大。

上述可见,我国地质环境复杂多变,工程地质条件对地震灾害有重要影响,岩土体的软硬程度、厚度对滑坡体的形成构成重要影响,其次地形地貌、强降雨和地下水等也是引起滑坡地质灾害的重要影响因素。随着经济的发展,工程建设的需要,高陡边坡越来越多,这样的边坡如果发生破坏,其破坏力将是致命的。地震能使得山边、岸边各种斜坡土体变形失稳,产生的滑移、崩塌导致斜坡地带的农田、村庄、道路、桥梁等被破坏,各种不同类型的土质边坡和岩质边坡在地震力作用下将出现不同形式的破坏失稳。

然而,除地震作用导致滑坡外,还有其他因素也会导致边坡失稳。由人工边坡或自然边坡失稳造成的损失同样数目巨大,据不完全统计,自 1998 年以来,福建省先后发生了崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷等事故 21300 多起,涉及 40 多个县(市、

区),造成 300 余人死亡,500 余人受伤,毁坏房屋 500 余间,经济损失高达 10 多亿元;三峡库区的最新统计表明,1982 年以来库区两岸发生滑坡、崩塌、泥石流 70 多处,规模较大的有 40 多处,死亡达 400 人之多,直接经济损失达数千万元;云南省的公路边坡地质灾害调查数据显示,1990~1999 年,云南公路边坡发生大、中型崩塌、滑坡、泥石流 135~144 次,造成 1000 余座桥梁被毁,经济损失达 168 亿余元,对全省 2220km 公路的运营构成严重威胁。据报道,我国每年由边坡破坏造成的经济损失近 300 亿元,全国 400 多个市、县受到的影响和损失较为严重,有近万人死亡,同时这种灾害也正随着开发建设步伐的加快而日益加剧。

综上所述,边坡在重力、地质营力及外部荷载作用(如地震、车辆荷载等)下不断演化并伴随着不同形式和规模的变形和破坏,导致了巨大的经济损失。边坡发生破坏而导致交通中断、生产停顿、江河堵塞、塘库淤填、建筑物被毁坏,这严重危及国家财产和人民生命安全。

近些年来,我国正处在经济高速发展的时期,国家投入大量的人力、物力和财力进行各项基础设施建设,在全国范围内掀起了铁路、公路、矿山、水利等建设高潮,其规模持续扩大。随着工程建设规模的扩大,边坡越来越高,例如,三峡水电工程船闸高边坡高达 170m,黄河小浪底水电工程进水口边坡高 120m,溪咯渡水电站拱肩槽边坡高达 250m,抚顺西露天矿高边坡开挖深度已超过 300m,如图 1.2 所示的云南思江公路边坡坡高超过 100m 等。这些边坡的稳定状况对工程建设的可行性、安全性及经济性等起着控制作用,并在很大程度上影响着工程建设的投资及使用效益,如果工程处理不当,往往导致边坡失稳,造成巨大的经济损失,给社会带来一定的负面影响。随着人类对自然界改造的逐步推进,出现的工程问题也越来越多,其中,我国的边坡工程问题非常突出。为了减少和避免各种边坡失稳事故的发生,必须加强边坡的科学研究工作。目前,有关边坡稳定与支护技术方面的理论亟



图 1.2 云南思江公路边坡

待发展,还有许多问题值得深入研究,例如,地震边坡动力问题研究相对比较薄弱,其破坏机理极为复杂,理论研究亟待深入,是当今岩土工程界研究的前沿、热点和难点。因此,边坡稳定与支护技术研究,尤其是动力作用下边坡问题的研究是我国大型工程建设迫切需要的,具有重要的现实意义和理论意义,其工程应用前景也很广阔。

1.2 边坡加固与防护技术方法

边坡失稳将导致严重的危害,因此,必须对不稳定边坡进行加固和防护,以达到边坡稳定安全标准。目前,边坡加固和防护的思路和措施主要有:①减小下滑力;②增加抗滑力;③改良滑带土。以下是一些常用的边坡加固和防护技术。

1) 截水排水

在边坡工程中,水是对其有非常重要影响的不利因素,许多滑坡是由水的作用所导致的。水的作用,降低了岩土体的物理力学性质和软弱结构面的抗剪强度,静水压力和动水压力使边坡的滑动力增大,水的冲刷也对边坡构成不利影响,它们共同诱发边坡的失稳。

边坡排水方法主要有地表水排水和地下水排水。地表水排水主要是防止地表水的下渗和对岩土体的冲刷,因此,要在边坡的外围设置截水沟和排水沟,截水沟和排水沟的宽度要满足当雨水比较充足时的过水需要,而且,截水沟和排水沟沟底不能渗水。对于比较大的裂隙,应对其进行充填并用防渗性较好的黏土将裂隙封堵。地下水排水应注意拦截边坡外围的地下水,疏排地下水以降低地下水对边坡岩土体的浮托力,从而降低地下水对边坡稳定性的影响。对于地下水排水系统的布置,要根据当地的水文地质条件和工程地质特性确定,可采用垂直渗井、水平管道、各种渗沟和盲沟等方法。

2) 减重反压

在边坡加固方法中,削方减重和填方反压是简单可靠的方法。削方主要是为了减少下滑力,在边坡潜在滑移区的主滑段进行削方减重,同时可以把重量加载在抗滑段上,增加抗滑力。在削方前,要仔细考察,如果误将滑坡下部的阻滑段削去,那么会进一步加剧滑坡的发展。削方减重是在滑坡体的后缘段挖除一定数量的岩土体,减少下滑力,使整个坡体趋于稳定,所以它适合推动式滑坡和由塌落形成的滑坡,并且要求上陡下缓,同时还需要滑坡体四周的地层比较稳定。而填方堆载适合于牵引式滑坡,但必须注意防止由堆载引起的次一级的滑坡。

一般情况下,采用坡率法进行削方减重。坡率法是通过控制边坡的高度和坡度而不需要对边坡进行整体加固就能使边坡达到自然稳定的方法,是一种比较经济、实用和方便的方法,在公路路堑边坡和填方路堤边坡中广泛运用。采用坡率法

要查明边坡的工程地质条件,选择合适的允许坡度,根据岩土体的基本情况,综合确定合理的坡率。

3) 护面

边坡护面技术常用于公路边坡工程中。护面一般是针对容易受风化剥离的岩土体的表面进行保护加固,比如,经常看到的公路边坡挂网就是为了防止边坡落石;对容易受水流冲刷的土质边坡也可以采用护面技术,在基坑开挖的坡面保护中,护面技术运用更为普遍。

护面加固边坡一般不考虑岩土体内部结构以及软弱结构面的存在,同时也不考虑岩土体的侧压力。

常用的边坡护面措施有坡面挂网法、挂网抹浆法、高压喷浆法、钢筋网喷混凝土法、土袋压坡法、植物护坡和圬工护面等。近年来,圬工护面用得较多,在公路边坡护面中,坡面挂网法和高压喷浆法也获得大量应用。随着人们生活质量的提高,人们更希望采用自然和天然的护坡形式,因此,植物护坡技术越来越受人们的青睐。植物护坡技术,涉及岩土工程学、景观生态学、植物学、水文地质学、工程力学、土壤肥料学等多学科领域。与工程护坡相比,植物护坡具有保护环境和景观生态的功能,且投入成本低、养护费用低。

4) 支挡和锚固

目前,运用得比较广泛的支挡结构包括挡土墙和抗滑桩等。挡土墙可分为重力式挡土墙、钢筋混凝土挡土墙、锚杆挡土墙、锚定板挡土墙、板桩墙等类型。各类挡土墙的适用条件见表 1.1。

表 1.1 各类挡土墙的适用条件

挡墙类型	适用条件
重力式挡土墙	适用于一般地区、浸水地区和地震地区的路肩、路堤和路堑等支挡工程。墙高不宜超过 8m,干砌挡土墙的高度不宜超过 6m。高速公路、一级公路不应采用干砌挡土墙
半重力式挡土墙	适用于不宜采用重力式挡土墙的地下水位较高或较软弱的地基上。墙高不宜超过 8m
悬臂式挡土墙	宜在石料缺乏、地基承载力较低的填方路段采用。墙高不宜超过 6m
扶壁式挡土墙	宜在石料缺乏、地基承载力较低的填方路段采用。墙高不宜超过 15m
锚杆挡土墙	宜用于墙高较大的岩质路堑地段。可用作抗滑挡土墙。可采用肋柱式或壁板式单级墙或多级墙。每级墙高不宜大于 8m,多级墙的上、下级墙体之间应设置宽度不小于 2m 的平台

续表

挡墙类型	适用条件
锚定板挡土墙	宜使用在缺少石料地区的路肩墙或路堤式挡土墙,但不应建筑于滑坡、坍塌、软土及膨胀土地区。可采用肋柱式或壁板式,墙高不宜超过 10m。肋柱式锚定板挡土墙可采用单级墙或双级墙,每级墙高不宜大于 6m,上、下级墙体之间应设置宽度不小于 2m 的平台。上下两级墙的肋柱宜交错布置
加筋土挡土墙	用于一般地区的路肩式挡土墙、路堤式挡土墙,但不应修建在滑坡、水流冲刷、崩塌等不良地质地段。高速公路、一级公路墙高不宜大于 12m,二级及二级以下公路不宜大于 20m。当采用多级墙时,每级墙高不宜大于 10m,上、下级墙体之间应设置宽度不小于 2m 的平台
桩板式挡土墙	用于表土及强风化层较薄的均质岩石地基、挡土墙高度可较大,也可用于地震区的路堑或路堤支挡或滑坡等特殊地段的治理

重力式挡土墙适用于不厚的滑坡体,挡土墙的位置一般设置在滑坡体前缘的稳定地基中,按墙背的坡度分为仰斜式、垂直式和俯斜式三类。由于仰斜墙具有施工方便、经济和土压力小等优点,一般被优先选用进行边坡支护。如果地形较陡,则采用垂直式或俯斜式。设计重力式挡土墙时,应根据当地的工程地质条件,把握好墙体的尺寸及埋深。重力式挡土墙的尺寸随墙型和墙高的不同而变化,墙面坡和墙背坡比例一般选用 $1:0.2 \sim 1:0.3$,墙顶的尺寸根据材料的不同而有不同的要求。挡土墙的基础埋深由地基承载力和抗滑稳定性等参数来确定,深度不小于 1m,冻结地区应在冻结线 0.25m 以下,有流水冲刷地区应在冲刷线 1m 以下。重力式挡土墙还应有排水系统和沉降缝等设置。

钢筋混凝土挡土墙分为悬臂式挡土墙和扶壁式挡土墙,这类挡土墙都属于轻型挡土墙,由于挡土墙墙体采用钢筋混凝土结构,其自重较轻,所以对地基承载力的要求不高,适用于石料缺乏和地基承载力较差的地区。悬臂式挡土墙由立板和底板两部分组成,底板包括墙趾板和墙踵板,悬臂式挡土墙主要靠自重以及底板上填土的重量来抗滑和抗倾覆,它适用于墙后填土高度小于 6m 的情况,如果在墙底板设置凸榫将进一步提高挡墙的稳定性的。在设计时,以 1m 为单位进行计算,根据拟定的尺寸,确定墙身自重、土压力和填土重力,从而进行抗滑和抗倾覆的验算,根据计算结果,确定底板是否加设凸榫;底板的尺寸根据地基承载力的验算确定。当墙后填土高度大于 6m 时,可应用扶壁式挡土墙,扶壁式挡土墙由立板、底板和扶壁三个部分组成,底板一般设有凸榫,扶壁的间距一般为墙高的 $1/3 \sim 1/2$,近似取 3~4.5m,扶壁的厚度一般可取 30~40cm。扶壁式挡土墙在结构上比悬臂式挡土墙多了一个扶壁,在设计计算时,以两伸缩缝之间的长度为一节进行计算,每节扶壁包括 2~3 个中间跨和两端的悬臂跨。

锚杆挡土墙由墙面板和锚杆构成,依靠锚固在稳定岩土层中的锚杆的锚固力

来平衡墙背所承受的土压力,作为轻型的支挡结构,与重力式挡土墙相比,它能节约材料和节省投资,广泛地应用于公路、铁路及其他岩土工程。锚杆挡土墙由于其结构形式、施工方法和受力状态等的不同,有各种形式,按墙面的结构形式可分为柱板式锚杆挡土墙和壁板式锚杆挡土墙。柱板式锚杆挡土墙由挡土板、肋柱和锚杆构成,锚杆支撑肋柱,肋柱支撑挡土板,挡墙后的土压力作用于挡土板上,力可传到肋柱,进而传递给锚杆,通过锚杆锚固力与土压力相平衡,维持土体的稳定。壁板式锚杆挡土墙根据施工条件的不同可分为现浇和预制两种,它由墙面板和锚杆组成。锚杆和墙面板直接相连,当墙后土压力作用于墙面板上时,力可传递到锚杆,同样是通过锚杆锚固力与土压力的平衡维持土体的稳定。锚杆挡土墙可根据实际情况的不同分为单级墙和多级墙,每级墙的高度应小于8m,多级墙之间应设置平台。按照不同的标准,锚杆挡土墙还有许多不同的分类法。随着社会的发展进步,格构锚固技术在边坡加固中得到了广泛的应用,例如,在高速公路边坡加固中,该技术利用浆砌块石、现浇钢筋混凝土或者预制预应力混凝土进行坡面防护,并利用锚杆或锚索固定。格构技术常结合生态护坡技术来美化环境,利用框格护坡,还可以在框格中种植花草,恢复边坡生态功能。

锚定板挡土墙由墙面板、锚杆、锚定板和填料组成,它是一种适合于填方的轻型支挡结构。锚定板挡土墙利用钢拉杆两端分别与墙面板和锚定板相连,通过锚定板提供的抗力来维持挡土墙的稳定。锚定板挡土墙和锚杆挡土墙的区别在于:锚定板挡土墙的锚定板和拉杆都设置在回填土中,其抗拔力来源于锚定板;而锚杆挡土墙的锚杆设置在稳定岩土中,其抗力来自于锚固体内部及锚固体与地层之间的摩擦。锚定板挡土墙分级类似于锚杆挡土墙,有单级和多级,单级墙高一般小于6m,多级墙之间应设置平台。锚定板挡土墙也属于轻型支挡结构,它的柔性大,圬工少,造价低,这些优点使得锚定板挡土墙可应用于承载力低和缺乏石料的地区,其在煤矿、铁路等工程中也有广泛应用。锚定板挡土墙可分为肋柱式和壁板式。肋柱式的墙面由肋柱和挡土板组成,可设置单级墙或双级墙。肋柱式锚定板挡土墙的设计包括土压力计算,肋柱、锚定板和钢拉杆的内力计算,配筋设计和挡土墙整体稳定性计算。壁板式锚定板挡土墙的面板由钢筋混凝土制成,其面板可采用矩形、十字形等几何形状及厚薄的搭配,增加其观赏性,多用于城市道路。

板桩墙是由用于抵抗侧向土压力的直立板条状构件形成的挡土结构物,可分为木板桩、钢板桩、预制钢筋混凝土板桩和钢管桩四种类型。木板桩一般由标桩、导梁和木板组成,要求其木板的质量好,能抗锤击,木板桩厚为5~25cm。当需要较厚的木板时,需将多块木板重叠放置,用螺栓连接。木板桩在工程中一般都起临时性作用,虽然钢板桩同样是临时支护结构,但它防水效果好,而且强度高、接合紧密、施工简单,运用较为广泛。钢板桩按其断面形式可分为:平板型、槽型、Z形、I形和组合型。不同类型的钢板桩有不同的特点,平板钢抗拉性能好,但抗剪性能