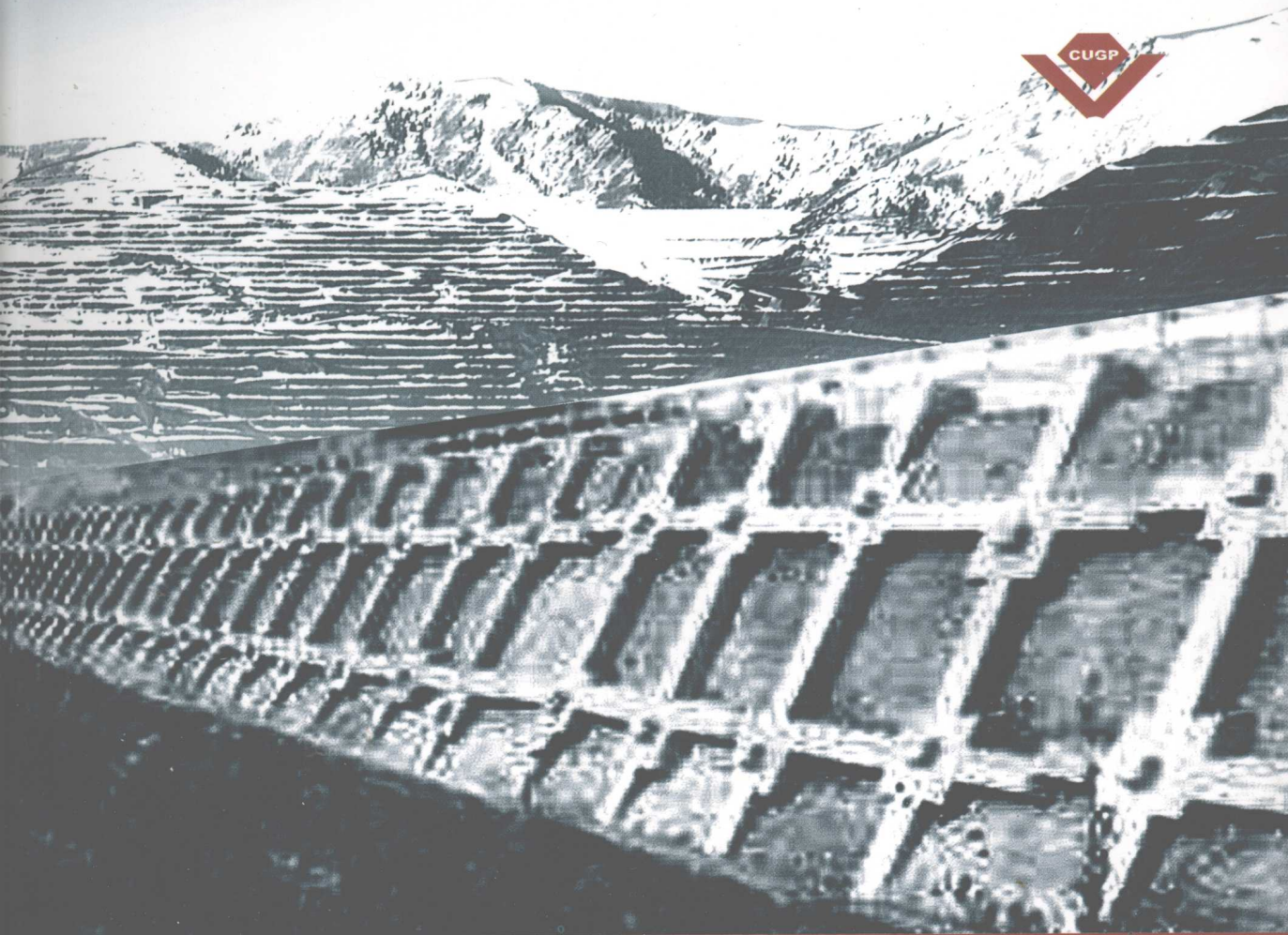




DMR

中国地质大学(武汉)学术著作出版基金 资助
中国地质大学(武汉)优秀青年教师资助计划

互锚式薄壁挡土墙高路堤 结构模型试验研究及应用

窦 斌 吴 翔 蒋国盛 著

中国地质大学出版社

中国地质大学(武汉)学术著作出版基金 资助
中国地质大学(武汉)优秀青年教师资助计划

DMR 互锚式薄壁挡土墙高路堤 结构模型试验研究及应用

窦 斌 吴 翔 蒋国盛 著

中国地质大学出版社

内 容 提 要

本书结合远(安)当(阳)国防公路改扩建工程的现场实际情况,提出了一种新型结构的挡土墙——双面直立互锚式薄壁挡土墙,并应用 Digital(数字模型)、Model(模型试验)、Real(实际路堤监测)的研究方法,对“三个路堤”分别进行了研究,并进行了比较分析,使其既相互独立又形成一个链条,互相验证,形成一个完整的体系。通过模型试验的理论分析和数字模拟,得出了互锚式薄壁挡土墙的土压力分布规律及填料性质对挡土墙土压力分布的影响等相关理论成果,然后进行实际路堤的监测,并对模型路堤和数字路堤理论成果进行修正。全书共分七章,第一章主要介绍国内外挡土墙研究的发展概况;第二章主要介绍相似理论及模型实验方法;第三章主要介绍模型试验测试元器件;第四章主要研究拉筋在土体中的腐蚀规律、防护措施及施工工艺;第五章主要是模型试验数据采集及理论分析;第六章主要是实际路堤设计及经济分析;第七章是全书的主要结论及对今后的工作进行了展望。

本书可供有关专业科研人员及大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

DMR 互锚式薄壁挡土墙高路堤结构模型试验研究及应用/窦斌,吴翔,蒋国盛著. —武汉:中国地质大学出版社,2007.5

ISBN 978-7-5625-2101-3

I. D...

II. ①窦...②吴...③蒋...

III. 薄壁结构-锚固式挡土墙-高等学校-教材

IV. TU476

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 084004 号

DMR 互锚式薄壁挡土墙高路堤结构模型试验研究及应用 窦 斌 吴 翔 蒋国盛 著

责任编辑:方 菊

责任校对:戴 莹

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)

邮编:430074

电话:(027)67883580

传真:67883457

E-mail:cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

http://www.cugp.cn

开本:787 毫米×1 092 毫米 1/16

字数:190 千字 印张:7.25

版次:2007 年 5 月第 1 版

印次:2007 年 5 月第 1 次印刷

印刷:武汉教文印刷厂

印数:1—500 册

ISBN 978-7-5625-2101-3

定价:26.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前 言

加筋土挡土墙是 20 世纪 60 年代发明的一种新型支挡结构。挡土墙是由填料、拉筋及面板三部分组成的一个复合体,其土体中的加筋由钢筋组成。在挡土墙的内部,荷载及填料在自重作用下所产生的墙面侧土压力由与面板连接的拉筋承担,通过拉筋与填料间的摩擦作用,既改变了填料的力学性能,又平衡了由面板传递的侧土压力,从而保证了结构的内部稳定。由于这种结构充分利用了材料的特性,与其他形式的挡土墙相比,具有结构简单、施工方便、造价低廉等优点,又由于它是一种柔性结构,对地基的适应性强,占地少,造型美观,因此,自从该结构问世以来,引起了世界各国的普遍重视。目前,在法国、美国、日本等一些发达国家已得到迅速地发展和较为普遍地采用。我国开始加筋土技术的研究起步较晚,到 20 世纪 70 年代中期,才开始引进此项技术。直到 1979 年才在云南省田坝矿区建成了我国的第一座加筋土挡土墙。在近几年内,尽管发展速度较快,但在已建成的加筋土挡土墙中,绝大部分都是单面加筋土挡土墙或宽矮(高度 $\leq 3\text{m}$)路堤式双面拉筋土挡土墙,高路堤双面拉筋土挡土墙为数极少,特别是采用双面直立互锚式薄壁挡土墙建造高填土公路实属罕见,其设计理论及施工方法确实需要进一步的研究。

本书为了解决湖北省远当国防公路鸣凤至花林诗段改扩建工程中的关键技术问题,主要研究了双面直立互锚式薄壁挡土墙高路堤结构建造高等级公路的结构优化、模型试验、土压力计算理论和数学建模、计算机仿真的系统理论,希望本书的出版能为我国公路建设,特别是修建高填土路堤高等级公路的设计和施工,探索出新理论、新工艺及新方法。

在本书的研究过程中,对做出贡献的湖北工学院余天庆教授、范瑛副教授、梅利芳硕士等表示感谢。特别感谢宜昌市交通规划设计院的周昌栋教授级高工、宜昌交通设计院的李家泰院长、宋管保副院长、远安交通局朱德友局长、李欲银副局长、范延绿工程师、长江水利委员会的黄薇总工程师以及参与本课题的所有成员。他们在课题的完成过程中,给予了大力的支持和帮助,提供了良好的试验场所和实验条件。

感谢前人的研究基础和成果。

作者

2006 年 12 月

目 录

第一章 绪 论	(1)
§ 1.1 概 述	(1)
1.1.1 挡土墙的作用	(1)
1.1.2 挡土墙的形式及特点	(1)
1.1.3 公路挡土墙设计原则	(6)
§ 1.2 国内外挡土墙的发展概况	(6)
1.2.1 传统挡土墙的新型结构	(6)
1.2.2 加筋材料挡土墙结构形式	(8)
1.2.3 新型填料挡土墙	(9)
1.2.4 加固开挖面的方式	(9)
§ 1.3 挡土墙土压力理论的研究现状	(10)
1.3.1 刚性挡土墙土压力理论研究现状	(10)
1.3.2 柔性挡土墙土压力理论研究现状	(12)
§ 1.4 主要研究内容	(14)
1.4.1 研究的目的是意义	(14)
1.4.2 国内外研究现状、发展趋势及存在的问题	(15)
1.4.3 研究内容和解决的关键问题	(15)
第二章 结构试验模型设计理论基础	(17)
§ 2.1 模型试验相似原理	(17)
2.1.1 概述	(17)
2.1.2 单值相似条件	(17)
2.1.3 相似定理	(18)
2.1.4 用方程分析法确定相似判据	(20)
2.1.5 用量纲分析法确定相似判据	(22)
2.1.6 静力学问题的相似性	(25)
§ 2.2 模型试验设计	(26)
2.2.1 模型试验的意义	(26)
2.2.2 模型参数确定	(28)
§ 2.3 模型试验土的工程性质	(29)
2.3.1 土的工程分类	(29)
2.3.2 土样的颗粒分析	(31)
2.3.3 砂性土直剪试验	(33)
2.3.4 击实试验	(34)
2.3.5 常规三轴剪切试验	(35)

§ 2.4 试验模型参数设计	(37)
2.4.1 概述	(37)
2.4.2 挡土墙面板设计	(38)
§ 2.5 高填方路堤挡土墙模型试验	(41)
2.5.1 挡土墙面板的预制与安装	(41)
2.5.2 填料的采集、摊铺和碾压	(41)
2.5.3 土压力盒设置	(42)
2.5.4 应变片布置	(42)
2.5.5 百分表布置和安装	(42)
2.5.6 拉筋制作及安装	(42)
§ 2.6 本章小结	(43)
第三章 模型试验测试元器件	(44)
§ 3.1 土压力盒及测试仪	(44)
3.1.1 土压力盒的种类和标定	(44)
3.1.2 TY-2 型土压力盒	(45)
3.1.3 DY-2000 型多功能数字测试仪	(46)
§ 3.2 应变片及测试仪	(48)
3.2.1 应变片参数及粘贴	(48)
3.2.2 TS3861 静态应变仪	(49)
§ 3.3 本章小结	(52)
第四章 拉筋防腐试验研究	(54)
§ 4.1 拉筋防腐配方试验	(54)
4.1.1 概述	(54)
4.1.2 涂层质量要求	(55)
4.1.3 样品的制备	(56)
§ 4.2 拉筋防腐性能测试	(56)
4.2.1 测试项目	(56)
4.2.2 抗腐蚀性试验	(57)
§ 4.3 试验结果分析	(59)
4.3.1 结果分析	(59)
4.3.2 建议施工工艺	(59)
§ 4.4 实际路堤拉筋防腐工艺	(60)
4.4.1 概述	(60)
4.4.2 涂装工艺	(60)
4.4.3 涂层质量控制	(62)
4.4.4 现场施工注意事项	(63)
§ 4.5 本章小结	(63)
第五章 高路堤挡土墙理论分析	(64)
§ 5.1 模型试验数据分析	(64)

5.1.1	概述	(64)
5.1.2	土压力分析	(64)
5.1.3	拉筋应变分析	(67)
5.1.4	变形分析	(69)
§ 5.2	强度特性分析	(71)
5.2.1	土压力公式推导	(71)
5.2.2	强度特性分析	(72)
§ 5.3	稳定性分析	(74)
5.3.1	影响稳定性的主要因素	(74)
5.3.2	抗滑稳定性分析	(75)
5.3.3	安全系数分析	(77)
5.3.4	抗倾覆稳定性分析	(77)
5.3.5	动荷载下挡土墙的可靠性分析	(78)
5.3.6	地基沉降稳定性分析	(79)
5.3.7	考虑孔隙水压力的稳定性分析	(79)
§ 5.4	挡土墙有限元分析	(80)
5.4.1	强度理论	(80)
5.4.2	有限单元法理论基础	(82)
5.4.3	有限元计算结果	(84)
§ 5.5	本章小结	(86)
第六章	实际路堤设计及经济性分析	(88)
§ 6.1	实际路堤设计	(88)
6.1.1	概述	(88)
6.1.2	道路设计	(88)
6.1.3	挡土墙设计	(89)
§ 6.2	经济性分析和社会影响	(92)
6.2.1	概述	(92)
6.2.2	与高架桥的技术经济比较	(92)
6.2.3	与浆砌片石护坡路堤的经济比较	(94)
第七章	结论与展望	(95)
§ 7.1	主要结论	(95)
§ 7.2	进一步研究的展望	(96)
附表		(97)
参考文献		(102)

第一章 绪论

§ 1.1 概述

近十年来,我国公路交通得到了大力发展,但等级公路尤其是高等级公路主要分布在东部和南部经济发达地区,广大中西部地区交通状况尚未得到根本改善。作为“西部大开发战略”的一部分,我国将在西部地区修筑公路约 35 万 km。我国地势西部海拔较高,山势险峻,石崖密布,不同路段高差悬殊较大,将会出现大量的高填土路堤工程。为获得结构稳定、使用耐久的高路堤路基,需要采用加固措施。为保证公路的工程质量,必须对挡土墙的结构特征和适用条件进行理论性分析、经济性分析和适应性分析。

1.1.1 挡土墙的作用

随着技术的发展,挡土墙的形式日趋增多,应用范围日渐扩大。目前,挡土墙广泛应用于公路、铁路、城市建设,同时应用于水坝建设、河床整治、港口工程、水土保持、用地规划及山体滑坡防治等领域。归纳起来,其优点为:

1. 节省占地

混凝土挡土墙充分利用混凝土结构的自稳定性和抗剪切、抗倾覆、抗滑动的特性,使路堑或路堤的边坡角 α 介于 0 至 φ (土体破裂角) 之间,并更接近于 0 ,从而在满足使用要求的基础上,达到减少永久性占地或避免与重要建筑物干扰,节省路堑开挖和路堤填方的工作量。

2. 与环境协调一致

利用混凝土结构的可塑性,设计出各种图案,在起到挡土作用的同时,达到美化环境的效果。

3. 用于特殊场合

为了交通和邻近建筑物的安全,在经常发生泥石流或山体不稳定,遇刮风、下雨、融雪等有落石及滑坡的地区,需要对山体进行稳定加固或建设能阻碍落石及滑坡的挡土墙。

挡土墙是公路建设中常用的支挡构造物。挡土墙通过自身的重力或借助部分土体的重力,共同对不能维持自身稳定的土体进行加固,以保持路基的稳定,确保公路运输的安全、畅通。

我国公路建设的发展对公路路线设计提出了更高的要求,公路挡土墙作为公路建设中必不可少的一部分,同样也要求适应公路事业发展的需要。由于公路挡土墙的结构形式较多且适用范围各不相同,而我国各地区工程地质有着很大的差异,因此,应根据我国各地区对公路支挡工程的不同要求采用不同的支挡结构形式。

1.1.2 挡土墙的形式及特点

公路挡土墙主要目的是为了路堤、路堑和桥台的稳定或防护。由于各部门对挡土墙的结构形式没有固定的分类标准,所以对挡土墙的形式没有严格的分类。近年国内外常见的挡土

墙形式有:

1. 重力式挡土墙

重力式挡土墙主要依靠墙身自重来保证墙的稳定。可分为一般重力式、衡重重力式及装配重力式三大类型。重力式挡土墙常用毛石砌筑,重力式砌片石挡土墙分浆砌和干砌两种,石砌墙由于石料来源比较广泛,能达到就地取材、降低造价的目的,所以采用较多。

由于重力式挡土墙靠自重维持平衡稳定,因此体积、重量都大。在软弱地基上修建挡土墙往往受到承载力的限制。如果挡土墙太高,耗材多,也不经济;当地基较好,挡土墙高度不大,本地又有可用石料时,可以首先选用重力式挡土墙。

重力式挡土墙一般不配钢筋或只在局部范围内配以少量的钢筋,墙高在 5~6m 以下时,经济效果显著,如果墙高在 6m 以上,采用半重力式或衡重式挡土墙更为经济。

2. 衡重式挡土墙

衡重式挡土墙的最大优点是可利用下墙的衡重平台迫使墙身整体重心后移,使基底应力趋于平衡,这样可适当提高挡土高度。但从另一方面来看,衡重式挡土墙下墙的构造形式又限制了挡土墙基底宽度不可能做得很大(与重力式挡土墙相比),因此就扩散挡土墙基底应力而言,衡重式挡土墙反不如重力式挡土墙。所以采用衡重式挡土墙能够提高的挡土高度也是比较有限的。

衡重式挡土墙由于其衡重台可使墙身重心后移、墙底应力趋于平衡,从而可提高挡土高度,增强墙体稳定性。仰斜式下墙不仅受力合理,还可减少开挖与回填量,故其在公路工程中得到了广泛应用。目前,随着我国公路特别是山区公路建设的迅速发展,衡重式挡土墙的应用数量、占用投资比例日益增大,使得其优化设计具有重要的工程实际意义及潜在的巨大经济效益,若每延米挡土墙建设能节约投资上百元,则总的经济效益就可能达千万元以上(邹新军, 2003)。

3. 半重力式挡土墙(L 式)

半重力式挡土墙(由于其形状像 L,也有人称作 L 式)是将重力式挡土墙的截面减小,底部脚放大,这样可以减小地基应力,以适应软弱地基的要求。半重力式挡土墙一般采用不低于 C10 的混凝土结构,不用钢筋或仅在局部受拉应力较大之处设置少量钢筋,如图 1-1 所示。

半重力式挡土墙主要由立板和底板组成。其稳定性依靠板上的填土重量来保证。若墙后地下水位较高,水平向土压力、水压力过大,要求利用墙后大量填土的重量才能保证稳定时,常在立板与底板之间加设几个转折,将墙做成折线截面,并加大底部的尺寸(邹新军, 2003)。

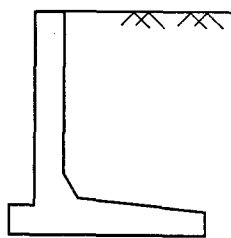


图 1-1 半重力式挡土墙

半重力式挡土墙的优点是:

- (1)可充分利用混凝土的强度,体积约比重力式挡土墙减少 40%~50%;
- (2)施工简易,并可分期施工;
- (3)地基应力小而均匀,适用于软弱地基和地下水位较高的情况;
- (4)底板尺寸大,抗滑稳定性好;
- (5)可采用较低强度等级的混凝土,不用或少量用钢筋,造价一般比同高度的悬臂式挡土墙低。

4. 悬臂式与扶壁式挡土墙

悬臂式和扶壁式挡土墙是钢筋混凝土挡土墙的主要形式,亦是一种轻型挡土结构物。一般高 6m 左右的挡土墙采用悬臂式,6m 以上挡土墙多用扶壁式。主要依据墙身重量及底板以上填土的重量来维持其平衡。其主要特点是厚度小,自重轻,挡土高度可以很高,经济指标也比较好。适用于缺乏石料、地基承载力低及地震多发地区。

悬臂式挡土墙由立板和底板两部分组成,如图 1-2(a)所示。为便于施工,立板内侧(即墙背)做成竖直面,外侧(即墙面)可做成 $1:0.02 \sim 1:0.05$ 的斜坡,具体坡度根据强度和刚度要求确定。当挡土墙高度不大时,立板可做成等厚度。墙顶的最小厚度通常采用 15~25cm。当墙较高时,宜在立板下部将截面加厚,钢筋用量加大。

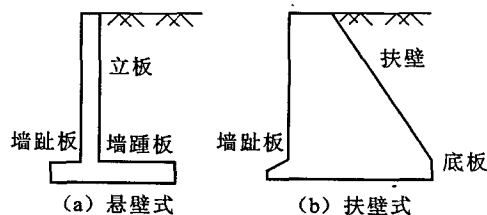


图 1-2 悬臂式、扶壁式挡土墙

扶壁式挡土墙也属轻型结构,由立板、底板及扶壁三部分组成,如图 1-2(b)所示。当挡土墙高大于 6m 时,扶壁式要比悬臂式经济。一般扶壁式挡土墙高在 9~10m。

5. 锚杆式挡土墙

锚杆挡土墙是由钢筋混凝土面板及锚杆组成的支挡结构物,是轻型挡土墙的一种。自被采用以来,越来越受到人们的重视,特别在道路的深路堑边坡、港口海岸边坡工程及工业与民用建筑的深基坑支护中发挥着重要的作用。该结构主要依靠拉锚的抗拔力支撑侧土压力,不需要开挖很深的墙体基础,适用于滑动层及松散层不太厚、后下方有较好岩层或抗剪强度较大的坚硬土层。

作为山边的支挡结构物,锚杆挡土墙也可以用于地下工程的临时支撑。在墙较高时,它可以自上而下分级施工,避免坑壁及填土的坍塌。对于开挖工程,它可以避免内支撑,以扩大工作面,有利于施工。同时其施工占地少,缩小基础开挖面积,加快施工速度,对于岩石陡坡地区及挖方地区有利。目前,在我国已得到广泛应用,在国外较早得到了广泛应用。

常见的锚杆式挡土墙有两种主要形式:柱板式和壁板式。

(1)柱板式锚杆挡土墙 柱板式挡土墙如图 1-3 所示,由肋柱、挡土板和锚杆组成。可以预制拼装,也可就地灌注。根据需要可以是直立式或倾斜式,直立式便于施工,也可根据地形地质条件,把挡土墙设计为单级的或多级的。上下级之间一般应设置平台,平台宽度不小于 1.5m,每级墙高一般大于 6m。根据墙高、墙后填土性质等条件来确定用单排锚杆或多排锚杆。

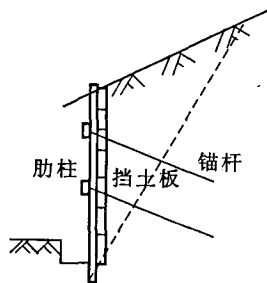


图 1-3 柱板式挡土墙

(2)壁板式锚杆挡土墙 壁板式锚杆挡土墙由钢筋混凝土壁板和锚杆组成。根据施工方法不同,分为就地灌注和预制拼装两种类型。就地拼装式锚杆接头直接插入混凝土面板,与壁面板一起灌注,无锚头单独施工问题。而预制混凝土面板式在钢筋混凝土面板上留有锚头锚定,也可以将锚杆插入预留孔中灌注混凝土。为增强其连接,可采用钢筋混凝土锚帽。这种挡土墙的锚杆多用于岩性好、岩石边坡防护、楔缝式锚杆。

6. 锚定板挡土墙

锚定板挡土结构是 20 世纪 70 年代初由我国铁路科技人员首创的一种新型支挡结构形

式。可用于挡土墙、桥台和港口护岸等。与重力式圬土挡土墙相比较,具有结构轻、柔性大、施工速度快和能适应承载力较低的地基等优点。造价较重力式挡土墙低约 40%,有明显的技术经济效益,因此逐渐被许多工程建设部门采用。

锚定板挡土墙是由基础、立柱、墙面板、拉杆、锚定板及填料等组成的轻型、拼装式挡土结构。一方面借助于埋在填料之中锚定板的抗拔力,平衡墙面板处的水平侧压力;另一方面借助于锚定板与墙面板及其间的填料所形成的“整体土墙”,抵抗锚定板背后土体的侧压力,从而使整个结构稳定。适用于缺乏石料的大型填方工程。

7. 加筋土挡土墙

加筋土技术自产生以来,在世界范围内推广应用已有 40 多年的历史。自 20 世纪 80 年代以来,已在我国推广应用,国内已建造不同规模的各类加筋土挡土墙 200 多座。随着时间的推移,由于建造时设计及施工技术的成熟等原因,绝大多数此类挡土墙在运行 3~5 年后,即出现不同程度的墙体外倾、外鼓,甚至路面开裂等严重病害,对行车安全构成了严重隐患。

自 20 世纪 60~70 年代,日本已开始采用此结构形式,由于该结构形式颇费人工,而日本人工费用又日渐提高,近年来使用数量已趋减少。

加筋土就是在土中敷设拉筋而使整个土工系统的力学性能得到改善的土工加固方法。它有两种好处:一是在土工构筑物中埋入了某种受拉构件(即拉筋)而使土的强度和稳定性得以提高,二是解决路基不超填、节省用地、防止雨水冲刷边坡等问题。加筋土挡土墙由墙面板、拉筋和填料组成。工作原理是依靠填料与拉筋之间的摩擦力,来平衡墙面板所承受的水平土压力(属加筋土挡土墙的内部稳定),并以拉筋、填料的复合结构抵抗拉筋尾部填料所产生的土压力(即加筋土挡土墙外部稳定),从而保证挡土墙的稳定。

其优点是墙可以做得很高。它对地基承载力要求低,适合于软弱地基。施工简便,速度快,造价低。可以大大减少圬土量,节省资金,占地少。一般应用于支挡填土工程,在公路、铁路、煤矿工程中应用较多。

8. 板桩式挡土墙

板桩式挡土墙由板桩、锚栓及墙面板组成。板桩承受水平土压力作用,它的稳定,一靠桩底端有一定入土深度的被动土压力,二靠板桩顶附近使板桩保持垂直的锚栓。根据工程条件的不同,锚栓可以是锚杆,也可以是带有锚定板的钢拉杆。设有锚栓的板桩,锚栓承受大部分水平土压力。板桩式挡土墙一般常用钢板桩或钢筋混凝土桩。在国内大型开挖工程(如地下铁道明挖工程,大型高层建筑楼房基础工程,岸壁码头、船坞防冲刷的工程)中广泛使用。

根据有无锚栓及支撑情况,板桩挡土墙可分为:悬臂式板桩挡土墙、锚定板式板桩挡土墙及内支撑式板桩挡土墙。

悬臂式板桩挡土墙,由于板桩不设支撑,板桩完全靠下部两侧土压力来维持平衡。这种结构的位移较大。由于截面弯矩与高度的平方成正比,随墙高增大很快。其常用于挡土墙高度不大的临时性支撑结构。

悬臂式拉锚挡土墙由悬臂式墙体和拉杆及锚定板三部分组成。墙体的稳定由底板上的填土重量和拉锚结构共同维持,主要特点是利用拉锚结构抵抗墙体背后部分水平推力。这种结构挡土墙比一般悬臂式挡土墙较为经济,当墙体挡土高度较高、地基较软时,更为经济。

内支撑式板桩挡土墙结构多用于支撑开挖基坑。当开挖深度较大时,板桩必须加支撑,以减少板桩的受力。该结构基坑尺寸不宜大,否则支撑工作量大,费用高。

9. 预制块件现场拼装式挡土墙

限于工业化水平和标准化程度,目前国内较少用此结构形式。在日本,该类型的挡土墙结构形式多样、变化丰富。目前流行的有五种形式。

(1)加筋土挡土墙 如前所述,预制的混凝土面板配拉带式的加筋土挡土墙属其中之一。多用于路堤,单阶高达 16.0m。

(2)格栅拼装式挡土墙 多用于路堑和山区,背后填鹅卵石或碎砾石。具有啮合性能好,抗滑性、透水性好,结构块件小,易拼装,易随地形、地势变化,美观等优点。因表面倾斜度易调,可建高达 20.0m 的结构。

(3)预制单元、平面或阶梯拼装式挡土墙 具有整体性好,整齐,易拼装,表面易装饰美化,表面斜度可调整等优点。用于路堤、路堑,一般建筑高度在 10.0 m 以下时比较经济。

(4)预制带流水槽单元拼装式挡土墙 由于整体性极好,预制单元质量好,强度高,在低路堑和矮路堤区段采用非常普遍。同时可省去路边沟或流水槽的施工工序,很受欢迎。适用高度为 0.5~2.0m 的路堤和路堑区。

(5)人字形预制拼装式挡土墙 由于其自身像“人”字一样的结构形式,能自立,故称为人字形挡土墙。单元块件稳定性好,单元预制件强度高,极具组合性,可拼装施工,坡度可调。正逐渐广泛用于高路堑和高路堤的挡土工程中,高度 6.0~20.0m,单元件长均为 1.0m,单元件高度有 1.0m、1.5m、2.0m、3.0m 和 4.0m 五种标准形式,只需一定的吊重设备,安装移位等施工很方便。自身受力合理,由于拼装后的结构形式形成了一定斜度,趋近土壤或山体破裂面,结构自身受外力小,稳定性很好。

10. 其他结构形式的挡土墙

(1)地下连续墙式现浇混凝土挡土墙 从其工程分类上讲,虽不属于挡土墙范畴,但其设计理论和所起的作用或目的,仍属挡土墙。该结构形式不但能起到挡土作用,而且能起到防渗、截水、承重、防冲刷和抗滑等作用。由于施工机械和工艺较复杂,目前国内主要应用于高层建筑地基。

(2)地上连续墙式现浇混凝土挡土墙 该结构形式适用范围很广,根据表面斜度、壁板厚度、基础承载力、板后是否有加筋、混凝土标号、配筋含量和施工水平等用于不同情况,其建筑结构高度一般可达 1.0~15.0m。

(3)倒 T 形桩基础现浇混凝土挡土墙 基本同地上连续墙式现浇混凝土挡土形式相似,只是为达到更好的效果,满足更大的抗剪、抗倾、抗滑力的要求,根据地基支承条件,采用桩基础在其上现浇混凝土挡土墙。该形式多用于一侧临山,另一侧临水或沟壑的特殊地形和既不利于架桥又不利于修隧道等结构形式的地区。

(4)山体固定式挡土墙 在新开挖后破碎的山体表面,打钢缆锚或混凝土桩式地锚,表层喷射混凝土砂浆固定或铺钢筋网临时固定,再浇筑网格式钢筋混凝土肋骨架固定山体。在未被混凝土覆盖的网格中间,种植草被,形成绿化区,起到保持水土、绿化作用,同时可淡化全部是混凝土结构的冰凉感觉和灰色感觉。

(5)现浇混凝土表面全部美化的墙式结构挡土墙 该结构形式现在在日本非常流行,不仅用于道路两侧,同时用于荒郊野外河床两岸护岸工程,主要原因是减少了混凝土结构的灰冷色调及呆板形象,使其更贴近自然,更趋活泼。一般建筑高度为 3.0~6.0m 范围。它需要一层表面美化装饰图案模板,该模板可重复使用,也可以一次性地贴在普通模板内侧,混凝土成型凝固后,剥除表层这套模板,即可得到期望的图案。

1.1.3 公路挡土墙设计原则

在确定是否使用挡土墙结构形式时,像其他结构物一样,要作方案比选和经济对比,征求建设单位意见。是否选用挡土墙,通常要考虑四点。

1. 结构的经济性

主要是将挡土墙结构与桥梁结构、隧道结构,有边坡的填土路堤及其占地,缓边坡开挖路堑等的经济性进行对比。在达到同样使用效果条件下,采用不同形式造价不一样,景观效果也不一样。除非常特殊地段,一般挡土墙结构形式的选择服从于路线的平纵线型。由于结构形式的差别,造价相差较大。假定同样路幅宽的桥梁造价基数为 18~22,则挡土墙结构的造价大致为 10~14,而填土路基的综合造价则为 8~12。至于选用什么样的挡土墙形式,只涉及更小范围内的经济对比问题。由上可知:定性的原则是挡土墙结构的造价基本上介于桥梁、隧道等结构形式和填土路堤、挖方路堑之间。

2. 结构的使用性

即在达到与桥梁、隧道、有边坡的路堤或路堑同样的结构安全性和稳定性的同时,是否能够选用挡土墙结构。

由于地面、地上或两侧受限制,不易作桥梁结构或带边坡的路基等结构形式时,必须作挡土墙结构。

3. 结构的安全性、稳定性

挡土墙形式不同,适用高度也不同,如加筋挡土墙和人字形挡土墙适合填土高的路堤,也很稳固。

4. 景观协调

随着社会经济的发展,对支挡结构的要求也越来越高,不仅要求满足传统的使用功能,而且要求考虑与周围环境的协调,在墙面景观和绿化砌块挡土墙工程上采取措施。国外发达国家在这方面尤为重视。

§ 1.2 国内外挡土墙的发展概况

在公路修筑过程中,世界各国对于高路堤的破坏给予了高度的重视,根据地质情况、设计要求和施工方法,设计运用了各种类型的挡土墙,并用混凝土修建各种不同规模和形式的挡土墙,但基本上都是利用墙体自重平衡土压力的传统形式。近年来,由于技术进步及钢材、塑料等土建材料的广泛普及,加筋土技术的推广,土工织物的应用,泡沫聚苯乙烯(EPS)等轻质和超轻质材料的利用等,开发了许多与传统挡土墙不同的新型支挡结构物。下面就挡土墙国内外发展概况作简要介绍。

1.2.1 传统挡土墙的新型结构

1. U形挡土墙

U形挡土墙在结构上类似悬臂式挡土墙,它把侧壁和底板连成整体,构成U状。最近在路堑式公路等部位需将路面铺筑在地下水位以下时,开始使用U形挡土墙。

其与传统挡土墙不同之处是,设计时考虑水压力影响,同时必须进行上浮稳定性分析。在侧壁顶部设置支撑时,作用的土压力为静止土压力。U形挡土墙底板比传统挡土墙宽,可看

成弹性地基上的梁。为确保上浮稳定性,当地下水位较高时,也可加厚底板或横向悬出^①。

2. 倒 Y 形挡土墙

倒 Y 形挡土墙是日本神户大学田中博士发明的。首先把混凝土预制成 1~4m 不同尺寸的砌块,再把预制砌块组合铺筑在碎石基础上,回填碎石构成挡土墙。倒 Y 形挡土墙在力学性能上具有抗倾覆、抗滑动性能强的特点,另外还具有排水性好,防止地下水侵蚀的优点。

3. 箱式挡土墙

箱式挡土墙为钢筋混凝土结构,主要由顶板、前墙、后墙、隔墙及底板组成,即在迎水面直墙后再建一道或数道与之平行的直墙,在直墙间用隔墙相连接,形成空箱结构。隔墙起支撑与连接作用,跨度一般在 1.5~5.0m 之间。墙壁厚一般为 20~50cm,各截面按构造配筋,属薄壁轻型结构。根据工程的地基条件,可设计成深基础或浅基础,同时根据工程的要求,可以封底、封顶,也可以不封底、不封顶。具有以下优点:

(1)结构简单、受力条件好。箱式挡土墙在墙的长度上设置了隔墙,缩短了墙壁的纵向跨度,形成连续梁结构,减少了跨中弯矩,同时作用在墙壁上的土压力、水压力及冻胀力等水平压力通过四壁相互传递,削减了对单一挡土墙的水平压力,所以受力条件较好。

(2)稳定性能好。箱式挡土墙在结构上采用了空箱结构,箱内可填满符合要求的砂土,调节空箱的重量,改善地基应力状态,使挡土墙平稳地坐落在地基基础上。箱式挡土墙埋入部分形成数道齿墙,起到阻止挡土墙滑动的作用,同时挡土墙的基础底面积较其他挡土墙的底面积小,所受到的垂直向上的扬压力、冻胀力等较小,减少了挡土墙的倾覆力矩。箱内回填的砂砾与墙壁之间存在摩擦力,提高了箱式挡土墙的抗倾力矩。总之,较其他形式的挡土墙而言,箱式挡土墙的抗滑、抗倾性能均较高,稳定性能也较好。

(3)抗冻性能好。从整体上讲,箱式挡土墙设置隔墙后,箱内填满砂石土,使作用在箱内外的水平冻胀力互相平衡。从材料充分利用上讲,用混凝土的抗压性能去平衡水平冻胀力产生的内力,其强度储备安全系数高于 10。同时不封底箱式挡土墙的基础底面积较一般挡土墙底面积缩小 2/3,当基础受冻时,垂直向上的冻胀力和倾覆力矩相应减小,而墙向下的垂直力的抗倾力矩并不减小,从而增强了墙的抗冻性和稳定性,提高了抗冻害能力。所以箱式挡土墙特别适合在季节性冻土地区应用。

4. 楔石(keystone)挡土墙

楔石(keystone)挡土墙,又称拱心石组装式挡土墙,这种挡土墙起源于美国。由单个构件组装而成,具有较好的结构稳定性、耐久性和强度。可以广泛应用于城市建设中,如图 1-4 所示。特点是美化效果好,施工简单,形式灵活多样。不足之处是挡土墙的高度和支承力有一定的局限性。

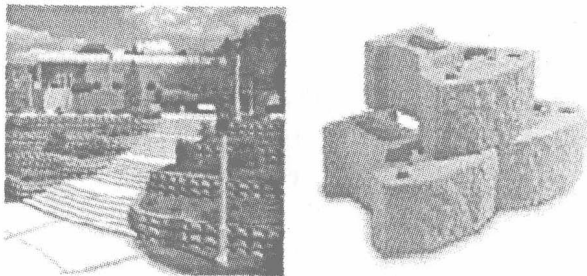


图 1-4 楔石挡土墙及构件

5. 加筋环挡土墙

其作用机理是将填料产生的侧向压力

^① 王志谦, 悬索式挡土墙的研究. 西安公路交通大学硕士学位论文, 2000

转由加筋环承担。加筋环的作用机理是充分利用钢筋受拉强度高的特性,使环内填料产生的侧向压力转由加筋环承担。加筋环内的填料在垂直荷载作用下受到挤压并产生侧向膨胀,而加筋环约束了这种侧向变形,使侧向压力全部转化为由钢筋圆环来承担。加筋环阻断了环内侧压力向环外的传递,使圆环内填料形成一个“饼”状物,若干层“土饼”交叉叠加后就组成加筋土实体。加筋环在垂直均布荷载作用下的受力状态,与人们在土工实验室中所做的三轴试验相类似。

1.2.2 加筋材料支挡结构形式

主要有利用钢带、塑料工程带等做拉筋的普通加筋土挡土墙。利用土工织物、聚合物网栅等做加筋的土工织物加筋土挡土墙以及锚定板挡土墙。与传统挡土墙不同,这种挡土墙在填土中埋入加筋材料,使土和加筋材料构成复合结构用以支承外力。其形式可以做成挡土墙,也可以加陡填土路堤边坡。

这种支挡方式的优点是能够比较容易地修建高挡土墙,基础比传统挡土墙简单,而且能适应地基变形,稳定性好。缺点是外观问题较多,特别是在软弱地基或用压缩性高的填料时,这种缺点更加明显。

加筋土技术的发明无疑是一项重大技术创新,然而在经过大量工程实践和理论研究后逐渐发现一些不足,有些甚至是难以逾越的障碍。主要表现在:由于加筋土作用机理的复杂性导致多种设计理论并存,都有道理却又不能概全,有时依据设计理论计算的数据在模型试验中得不到理想的验证,而从模型试验中得到的数据有时又与现场实测数据差异较大,这使得设计人员常常对理论计算数据感到信心不足,从工程安全考虑,只好依据个人经验增加筋带数量,从而导致费用增加。

1. 加筋土挡土墙

加筋土是由多层水平加筋材料与填料铺设而成的一种复合材料,在共同受力、协调变形中,由于拉筋的作用对土体产生附加侧向约束,使土的抗剪强度得以提高,并使加筋土的承载力比无筋土高得多。在填土中埋入工程带等做拉筋,通过填土与拉筋之间的摩擦作用及拉筋本身的强度,使两者结合构成复合结构。为防止拉筋间填土崩落,可用面板支挡。由于适应性强且能建成高挡土墙,加筋土挡土墙深受人们青睐,各国为了推广、普及加筋土挡土墙,都制定或修改了加筋土挡土墙设计、施工规范。

由于外观上的原因,加筋土挡土墙的面板普遍使用混凝土面板。由于面板是刚性的,随着填土固结沉降,拉筋受拉,加大了作用于面板基础的压力。为此,一些国家在混凝土面板与拉筋联结的部位安装了可上下滑动的机构予以调整。

我国引进加筋土技术已有 20 多年,经历了调研准备、研究试用和技术推广的发展过程。在大量的理论研究与工程实践的基础上,加筋土技术在我国已进入了全面推广应用的新阶段。铁道部于 1990 年在《铁路路基支挡结构物设计规范》中就编进了加筋土挡土墙的内容,交通部于 1992 年公布实行了《加筋土工程设计规范》和《加筋土工程施工技术规范》,1995 年新版的铁路工程设计技术手册《路基》和 1996 年新版的公路设计手册《路基路面》中,都增列了加筋土挡土墙的内容,铁道部第四勘测设计院和重庆市公路勘察设计院相继编写了《加筋土挡土墙工程图集》,可供有关工程参考。现在,加筋土工程设计、施工不再困难。高填深挖工程将越来越多,加筋土技术的推广应用使设计更趋合理并取得较大的经济效益,这是很有意义的。

2. 土工织物加筋挡土墙

近年来,高分子合成材料土工织物在道路工程中使用越来越广泛。这种材料坚韧柔软且价格合理。土工织物加筋土挡土墙的基本形式有面板联结的装配式和用土工织物包裹成墙面的包裹式。

装配式一般选用变形小、强度高的土工织物——聚合物网栅;为了解决墙面底部横向约束力不足、墙面底部被挤出的问题,包裹式包裹部分的填料一般选用稳定土,以提高其强度及稳定性。

3. 多层锚定板挡土墙

多层锚定板挡土墙是以钢筋为拉筋,以适当间距配置的锚定板群,通过锚定板的拉锚力与土构成复合体。与加筋土挡土墙不同,它主要是利用锚定板的拉锚力而不是摩擦力,因而墙后填料选用范围广。

1.2.3 新型填料挡土墙

按材质情况,加筋材料可分为四大类:①天然植物,如竹筋、柳条等,用于临时或抢险工程。②金属材料,如扁钢带、带肋钢带、镀锌钢带、不锈钢等。③土工合成材料,如聚丙烯、聚乙烯、聚酯、尼龙、玻璃纤维材料等。其形式主要有聚丙烯带、土工格栅、土工网、土工织物(土工布)。④复合材料,如钢筋混凝土带、钢-塑复合加筋带等。

1. 轻质填料挡土墙

为了满足上部荷载的支承力,墙后填料越轻就越能减少墙基支承力和土压力。为防止滑移,对软弱地基上的挡土墙可利用高炉炉渣等轻质填料,也有利用空心结构物(箱涵、管涵)的工程实例。同时,泡沫聚苯乙烯及泡沫砂浆等轻质填料也已开始应用。由于泡沫砂浆是由水泥砂浆混入发泡剂而制成,可通过改变发泡率的大小,灵活地设计单位体积重量。而且由于是无机材料,不存在耐久性等问题。还有用粉煤灰作填料的,粉煤灰的性质类似砂浆,由于其重量轻(密度为 1.2),又具有自硬性,所以是构筑物的理想填料,很有发展前途。

2. 超轻质材料挡土墙

近年来出现了更加轻质的填料——泡沫聚苯乙烯,其容重仅为土的百分之几,可以做成块状填料。挪威于 1972 年就已应用,日本也用于处治滑坡等工程,现已引起人们的广泛关注。

泡沫聚苯乙烯对于减少构造物的土压力特别有效。除具有超轻质和能够自稳的特点外,泡沫聚苯乙烯横向延伸率也特别小(泊松比接近于零),如果用于路基坡面填料,可保护边坡且不需设置面板。

3. 利用稳定剂改善填土性质

通过添加石灰和水泥等稳定剂改善填土性质,以降低含水量,提高填料强度。一般来说,改善后的填料性质普遍提高,对减小墙后土压力十分明显。

1.2.4 加固开挖面的方式

1. 钢筋锚固法

这种方法主要用于加固开挖面,在挖土过程中,进行表面喷射混凝土、钻孔、插筋、灌浆、锚固等工序,自上而下依次加固,以稳定整个坡面。钢筋锚固法利用钢筋与土体的摩擦力使二者结合为整体,加固部分类似挡土墙。此方法能够开挖成直立或陡峻的坡面,节省挖方工程量。对于坡面,既经济又能保持自然景观。

2. 其他加筋方法

前述加筋土挡土墙方式的拉筋仅单向埋设在水平面上,现已开发了像植物根系那样在空间三维方向铺设加筋的方法。如意大利发明的树根桩法,现已成功地用于岩石险坡的加固支挡。其优点是施工场地小,桩与地基结合紧密,对周围构造物和地基影响小。法国还发明了连续大纤维加筋土技术等。

总之,现在不论是国内还是国外,不仅能在外侧修建各类轻型、重力式结构来解决路基土体失稳的问题,还开发了使坡面自稳,防止表面风化侵蚀的新技术、新材料、新工艺。从结构功能看,加筋土、加固土是当前发展的主流。从环境功能看,与周围环境适宜、景观协调、外形美观、节省土地的轻型挡土墙是目前发展的另一个主要方面。

§ 1.3 挡土墙土压力理论的研究现状

1.3.1 刚性挡土墙土压力理论研究现状

挡土墙的结构形式、土体的填筑方式直接影响着土压力的分布。Terzaghi(1932)首先对经典土压力理论提出了质疑,他通过大规模的模型试验获得了极限状态和挡土结构变形之间的关系,得出只有当土体水平位移达到一定值,土体产生剪切破坏时,Coulomb 和 Rankine 土压力值才是正确的。Terzaghi 和 Tschebobarloff 还进一步证实,当挡土墙绕墙趾转动时,主动土压力为三角形即线性分布,而当挡土墙平移、绕墙顶转动或绕墙中部转动时,主动土压力为非线性分布。

为确定挡土墙不同变位方式下土压力的大小、分布和作用点,许多学者进行了大量的模型试验,Fang 和 Ishibashi(1986)对砂性填土刚性挡土墙上的主动土压力进行了模型试验,结果表明:土压力并非总是线性分布,其分布形式取决于挡土墙的变位方式,但不同挡土墙变位方式达到主动土压力状态所需的位移量基本一致,土压力合力作用点随着土的密度增加而上升。

Fang、Chen 和 Wu(1994)对砂性填土刚性挡土墙的被动土压力进行了模型试验,结果表明:墙体平移时(T 模式),被动土压力为线性分布;墙体转动时,土压力为非线性分布,土压力大小与合力作用点和墙体的变位方式有关。Bang(1985)认为土体从静止状态到极限主动土压力状态是一个渐变的过程,提出了“中间主动状态”的概念,指出土压力计算应同时考虑墙体变位方式和变位大小,并建立了绕墙趾转动(RBT 模式)时的主动土压力表达式。

周应英、任美龙(1990)对砂土填料在挡土墙平移情况下进行了土压力试验,以及对粘性土填料在挡土墙平移、绕墙底转动和绕墙顶转动(RTT 模式)情况下进行了土压力试验,结果表明:①刚性挡土墙主动土压力的分布形式,无论是用砂土还是粘性土作为填料,都具有共同的规律,绕墙顶转动时,呈现上部土压力大而下部土压力小的抛物线形;绕墙底转动时,则为近似的三角形分布;墙平移时是一重心偏下的抛物线形,但底部土压力不为零。②由墙的三种基本位移类型所产生的土压力,不仅分布形式有差别,而且在总土压力的量值上也不等,其中以墙平移时总土压力相对最小。③墙平移时产生底部压力变小,不是由于侧壁摩阻力所致,这可用土拱理论加以解释。

魏元友(1994)通过多种形式的扶壁结构模型墙在填干砂、湿砂、砂中灌水、水中填砂等多种不同条件下的试验,证实双肋式的各种扶壁式墙在立板上实测的侧向土压力均比按朗金理论的计算值小。