

HU
De Xi

LOLUO BINGHAI
hu Yanjiu

黄土边坡剥落病害的 形成机理及其防治技术研究

叶万军 杨更社 郭利平 董琪 著



中国矿业大学出版社

黄土边坡剥落病害的形成 机理及其防治技术研究

叶万军 杨更社 郭利平 董 琪 著

中国矿业大学出版社

内 容 简 介

本书是一部全面系统研究黄土边坡剥落病害的形成机理及防治技术的专著。全书共分为 8 章,第 1 章介绍了黄土边坡剥落病害国内外研究动态;第 2 章介绍了黄土边坡剥落的类型及主要特点;第 3 章对黄土边坡剥落病害提出了一种预测方法;第 4 章是黄土边坡剥落病害形成的室内试验;第 5 章为黄土边坡剥落病害形成机理的理论研究;第 6 章为黄土边坡剥落病害处治技术现场试验;第 7 章提出了黄土边坡剥落病害的处治技术;第 8 章为结论及展望。

本书可供岩土工程和地质工程领域的工程技术人员和研究人员参考,亦可作为大专院校相关专业学生的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

黄土边坡剥落病害的形成机理及其防治技术研究/
叶万军等著. —徐州:中国矿业大学出版社,2017.6

ISBN 978 - 7 - 5646 - 3581 - 7

I. ①黄… II. ①叶… III. ①黄土—边坡防护—研究
IV. ①U418.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 153066 号

书 名 黄土边坡剥落病害的形成机理及其防治技术研究

著 者 叶万军 杨更社 郭利平 董 琪

责任编辑 黄本斌

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 江苏淮阴新华印刷厂

开 本 787×1092 1/16 印张 8.75 字数 191 千字

版次印次 2017 年 6 月第 1 版 2017 年 6 月第 1 次印刷

定 价 35.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

黄土边坡的稳定性包括整体稳定性和坡面稳定性。关于黄土边坡整体稳定性,目前已经研究得比较系统和深入,并在不同的行业规范中提出了明确的设计标准,成功地指导了边坡工程实践。这些研究主要针对黄土边坡坡体变形破坏机理、稳定性分析评价及设计和防护等方面。

高速公路既要求路堑边坡具有良好的整体稳定性,同时,也要求坡面平整光滑,不出现剥落破坏。但是,由于黄土地区特定的气候环境条件以及黄土独特的物理力学性质,在外在因素作用下,坡体稳定性降低、坡面出现剥落破坏的情况十分普遍。坡面剥落破坏除在凹进的反坡地形进一步引起失稳外,对公路的养护也产生一定的影响。

本书以黄土边坡剥落病害为研究对象,全面系统地研究了黄土边坡剥落病害的形成机理及防治技术。作者首先根据黄土边坡剥落病害现场调查及国内外资料调研,对黄土边坡剥落的类型及其特点作了较全面的总结;根据黄土边坡剥落发育的地质状况及季节性气候对其发育程度进行预测评价,建立了边坡剥落发育程度等级可拓综合评价模型;开展了原状黄土样干湿循环试验及冻融循环试验,揭示了在干湿循环、冻融循环条件下黄土损伤扩展过程与发展规律,分析了在干湿循环作用和冻融循环作用下承灾体的能量转换过程,建立了黄土的干湿循环损伤和冻融循环损伤之间的耦合关系式,提出了基于干湿循环-冻融循环耦合的损伤本构模型;根据开挖后坡体内应力调整和位移变化的过程,考虑土体中垂直节理的影响,探索了边坡开挖导致的应力和位移的变化规律,以及边坡开挖对黄土边坡的影响区范围;运用弹性力学和冲击动力学理论对黄土边坡坡面冲击破碎过程进行了力学行为分析,建立了冲击破碎过程的力学模型,以及冲击破碎过程与边坡剥落病害形成的关系,探讨了冲击导致剥落的机理;研究了在节理裂隙启动、发展和破坏过程中黄土边坡剥落破坏产生的机理及影响范围。在以上研究的基础上提出了营养麦草泥+网锚植草处治中、厚层黄土边坡剥落的技术。本书最后通过现场试验,研究了营养麦草泥+网锚植草技术、客土喷播、土工格室、穴种植草及骨架植草等防治边坡剥落技术的施工工艺、适用条件及防治效果。推荐出黄土边坡剥落综合处治方案。

本书的出版获得了国家自然科学基金面上项目(51774231、41672305)、陕西

省重点科技创新团队项目(2004KCT-30,2016KCT-13)、陕西省青年科技新星项目(2012KJXX-37)及陕西省科技统筹创新工程项目(2015KTZDSF03-02)的资助。本书在撰写过程中长安大学折学森教授、陈志新教授、倪万魁教授、谢永利教授、李喜安教授、苏生瑞教授,中国科学院寒区旱区环境与工程研究所牛富俊研究员,陕西省高速公路建设集团赵之胜教授级高工,西安科技大学王贵荣教授、侯恩科教授、戴俊教授、王念秦教授等为本书提供指导和部分宝贵资料。在此,对他们给予的关怀、鼓励与帮助表示衷心的感谢。硕士生王梅、马世雄、刘忠祥、李长清、彭瑞奇、刘宽、谢卓吾、王岩参与了本书校稿及整理工作。

本书由西安科技大学叶万军教授、杨更社教授及陕西交通集团投融资有限公司郭利平教授级高工和陕西省科技控股集团董琪博士共同撰写而成。由于时间和作者水平有限,书中难免存在疏漏甚至错误,敬请读者批评和指正。最后,对所有为本书的完成和出版给予帮助与支持的同志表示最衷心的感谢。

著 者

2017年3月

目 录

1	绪论	1
1.1	研究课题的提出及意义	1
1.2	国内外研究现状及存在的问题	3
1.3	研究内容及技术路线	8
2	黄土边坡剥落的类型及主要特征	10
2.1	黄土边坡剥落的类型	10
2.2	黄土边坡剥落的主要特点	20
2.3	本章小结	27
3	黄土边坡剥落预测评价方法	29
3.1	黄土边坡剥落发育的地质状况	29
3.2	黄土边坡剥落发育的季节性气温状况	32
3.3	黄土边坡剥落病害预测评价方法	33
3.4	本章小结	37
4	导致黄土边坡剥落病害形成的试验及其损伤演化分析	39
4.1	干湿循环导致黄土边坡剥落的试验研究	39
4.2	冻融作用导致黄土边坡剥落病害发生的试验研究	56
4.3	基于干湿循环及冻融循环耦合的黄土损伤本构关系	66
4.4	本章小结	72
5	黄土边坡剥落病害的形成机理研究	74
5.1	影响黄土边坡剥落的因素	74
5.2	黄土边坡剥落病害的机理	77
5.3	本章小结	89

6 黄土边坡剥落病害处治技术现场试验	91
6.1 营养麦草泥+网锚植草在黄土边坡剥落病害处治中的试验研究	91
6.2 穴种植草防护在黄土边坡剥落病害处治中的试验研究	97
6.3 客土喷播在黄土边坡剥落病害处治中的试验研究	101
6.4 土工格室技术在黄土边坡剥落病害处治中的试验研究	105
6.5 骨架植物在黄土边坡剥落病害处治中的试验研究	109
6.6 其他试验观测段黄土边坡剥落病害处治效果分析	110
6.7 综合分析	112
7 黄土边坡剥落病害处治技术	113
7.1 植物处治技术	113
7.2 工程处治技术	115
7.3 新型处治技术	116
7.4 黄土边坡剥落病害处治技术建议	119
8 结论及展望	123
8.1 结论	123
8.2 主要创新点	125
8.3 进一步研究展望	125
参考文献	127

1 绪 论

1.1 研究课题的提出及意义

位于长城以南、汾渭盆地北缘以北、吕梁山西麓以西、陇西盆地西缘以东的黄土高原,总面积约 23 万 km^2 ,是我国黄土的主体堆积地。这里黄土厚度大,地层完整,黄土分布面积占全国黄土总面积的 70% 以上^[1]。黄土分布区是我国重要的能源基地,这里蕴藏着丰富的天然气、石油及煤炭等资源。随着我国经济战略逐渐向西部倾斜及“一带一路”战略的实施,作为带动西部经济发展的交通运输工程(特别是高速公路)已得到优先发展,如近年来西部地区大规模建设的高等级公路有 108 国道、208 国道、209 国道、210 国道、211 国道、307 国道、309 国道、310 国道、312 国道、西铜高速公路、铜黄高速公路及黄延高速公路等,这些高等级公路不同程度地穿越沟壑林立的黄土塬、梁、峁地区。由于黄土独特的物质组成、结构及其所处的地貌和构造环境,在切割强烈、地形起伏较大的黄土沟壑和塬、梁、峁区修建高速公路,因一系列技术要求和条件限制,不得不进行大量的开挖,形成大量高陡的公路黄土边坡。这些黄土高陡边坡的稳定性如何将直接关系到公路运行的安全性和国家对西部基础建设投资的效益。可见,黄土高陡边坡的稳定性分析和设计问题已成为亟待解决的实际问题。

黄土边坡的稳定性包括整体稳定性和坡面稳定性。多年来,铁路、水利水电及公路等部门对不同高度、不同类型的黄土边坡都做过较为系统的研究,并在其各自的规范中提出了明确的设计标准,成功地指导了边坡工程实践。但这些研究主要针对黄土边坡坡体变形破坏机理、稳定性分析评价及设计和防护等方面。高速公路既要求路堑边坡具有良好的整体稳定性,同时,也要求坡面平整光滑,不出现剥落破坏。但是,由于黄土地区特定的气候环境条件以及独特的物理力学性质,外在因素作用导致坡体稳定性降低、坡面出现剥落破坏的情况十分普遍。坡面剥落破坏除在凹进的反坡地形进一步引起失稳外,对公路的养护也产生一定的影响。

已建成通车的三铜公路、铜黄公路、西禹公路、渭潼公路、黄延公路及靖安公路等高速公路,由于黄土的特殊性,都曾出现了不同程度的黄土边坡坡体失稳、

坡面剥落破坏情况。比如,2006 年 9 月建成通车的陕西黄陵至延安高速公路沿线 88 处黄土边坡在开挖完成后的一年多时间内都有程度不等的剥落病害(图 1-1 和图 1-2)。



图 1-1 黄延高速公路边坡片状剥落



图 1-2 黄延高速公路边坡厚层剥落

2001 年底建成通车的铜川至黄陵高速公路沿线 70 余处黄土边坡,在建设期间曾采取了植被防护处治措施,通车后的初期效果良好,但 5 年后也出现较严重的剥落病害(图 1-3 和图 1-4)。

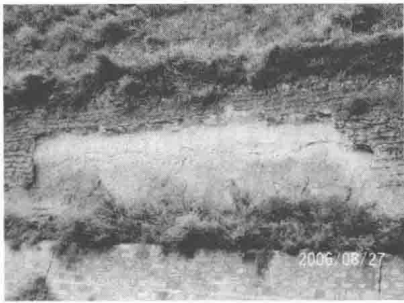


图 1-3 铜黄高速公路边坡厚块状剥落

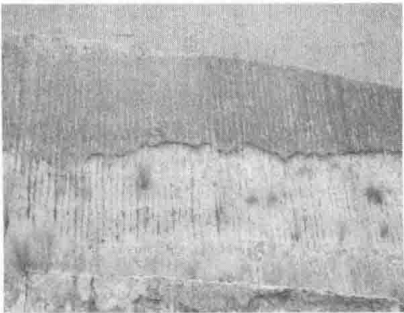


图 1-4 铜黄高速公路边坡表层结皮剥落

2012 年通车的铜川至黄陵高速公路二通道沿线 40 余处黄土边坡,在通车 2 年后也出现了程度不等的剥落病害。

210 国道铜川—绥德段几乎穿越了陕北整个黄土区,经过黄土塬、梁、峁等全部黄土地貌,各时代黄土层(Q_4 、 Q_3 、 Q_2 、 Q_1)均有出露。由于该公路建设较早,且为二级公路,基本不对边坡作专门设计,只要求边坡具有一定的坡度。通车后沿线边坡因为降雨、温度等环境因素影响导致发生大量剥落等病害。

甘肃定西至青海西宁高速公路沿线很多黄土边坡大都采用了“非常到位的”(有人认为防护过度或与路容不和谐)的砌体防护处治,许多边坡则是全防护,但仍有数十处仅有一级边坡防护的黄土边坡剥落病害非常严重。

对黄土路堑边坡剥落病害的研究涉及的影响因素非常复杂,工程量大,造价

高。对此,必须综合解决工程建设需求与人文、水文气象及地质地理环境协调的关系,以及近期效果与长远规划的关系。目前,在此方面已引起广泛关注,也有人开展了一定的探索,但专门的、系统性的试验研究很少。工程建设中已有经验及主观意识仍起主导作用。因此,对黄土边坡剥落病害成因、机理及其主要影响因素,如何进行分类评价;工程建设期间针对各种可能的处治措施,主要的影响因素,技术经济指标,公路沿线人文、水文、气候与地理环境,如何进行综合考虑、分析计算,实现设计与施工方案优化;以及公路运营期间,如何经济合理地预防及处治病害等,都是当前迫切需要深入地开展研究的问题。

我国在黄土地区拟建的高速公路里程数以万计,但已建的高速公路沿线存在大量的边坡剥落病害处治问题。此外,我国各地其他等级公路也同样存在黄土路堑边坡剥落病害处治问题。可见,随着我国黄土地区高速公路及其他等级公路建设的快速发展,为了逐步完善现代公路建设“安全、环保、舒适、和谐”新理念,实现交通部提出的质量型、效益型、功能型和可持续发展的目标,黄土路堑边坡剥落病害机理、处治措施及设计技术已成为当前需要认真研究的重要课题之一。

1.2 国内外研究现状及存在的问题

1.2.1 黄土边坡剥落研究现状

黄土边坡破坏可分为两大类:坡体破坏和坡面破坏。目前对黄土边坡坡体稳定性的研究已相当深入和广泛,出版了一系列专著,撰写了许多学位论文,发表了许多期刊论文,这些文献从黄土边坡的一般特征到特殊特征、变形破坏机理及发育破坏规律以及相应的防护措施等方面进行了系统的研究,为黄土边坡的研究作出了巨大贡献^[1-27],而坡面破坏方面的研究系统资料并不多见。剥落仅作为边坡坡面破坏的一个类型较早被人们注意(冯连昌,1982;郑晏武,1982;刘东生,1985;乔平定,1990;关文章,1992;倪万魁,1999),但已有文献中只是对剥落的类型及特点进行了简单的概括。

在黄土边坡剥落分类方面,冯连昌、郑晏武^[2]将坡面剥落分为四种类型,即片状剥落、层状剥落、鱼鳞状剥落及混合状剥落,并对各类型的形态、特点、发生的位置进行了简要说明。李亚兰^[15]在冯连昌、郑晏武对黄土剥落分类的基础上增加了块状剥落,并对各类型产生的黄土层位、形态特点、发生的位置及规律作了简单描述。方鹏^[16]增加了厚块状剥落和表层结皮剥落两种类型。

在黄土边坡剥落成因方面,王景明^[9]认为是重力侵蚀作用的结果,他按黄土高原重力侵蚀发展的过程及特点,将黄土重力侵蚀分为三类十亚类,其中的错落、土溜和泻溜三亚类属于黄土剥落的范畴。刘东生^[8]、乔平定^[3]等认为黄土斜

坡剥落破坏是由于温差及干湿交替,使坡面黄土风化为碎粒状,沿坡面滚落所致。胡雄韬^[21]认为,黄土边坡剥落与坡面的风化程度有关。黄土中的含盐量及边坡所处的位置影响剥落的程度。一般阳坡比阴坡剥落严重,坡度变化位置较其他位置严重,含盐量高的坡面易剥落,易溶盐含量在 0.12% 以下时,基本不剥落。陕西省公路勘察设计院^[18]等单位通过对铜黄公路黄土路堑边坡坡面破坏现象调查后发现,黄土边坡坡面剥落掉块多发生于边坡中部至坡脚,一般发生于早春季节。李亚兰^[15]、方鹏^[16]通过调查认为影响黄土边坡剥落的因素有内因、外因。内因主要包括黄土的层位及成因、黄土的结构和构造、易溶盐含量、黏粒含量等;外因主要包括外界气温的变化、冻融循环的作用、降雨的作用及阴阳坡的影响等;人为因素主要有边坡设计过陡、施工的影响、排水设施不够完善、边坡植被被破坏及后期养护不及时等。

冻融循环作用不可避免地对岩土体造成一定程度的损伤和破坏,甚至严重破坏^[28-30]。冻融循环引起岩土体破坏问题,一直是冻土领域和岩石力学界关心的中心问题之一。但目前研究成果大量集中在永久冻土或者冻岩的基本物理力学性质、冻胀或者水热迁移规律等方面^[28-42],而在黄土边坡冻融病害规律及其防治措施方面的试验研究资料非常少,仅少数人在相关论文中涉及了有关内容,但也仅为经验探讨。因此,冻融作用下黄土边坡剥落产生机理问题迫切需要根据所研究问题的特点,从多因素、多角度、多层面开展研究。

目前国内外学者关于黄土边坡剥落的研究主要存在以下问题:

① 关于黄土边坡剥落研究集中于边坡剥落特征分类研究,而对于剥落发生的机理研究不多。此外,目前还未建立起一套较为系统并且实用的黄土边坡剥落病害分类与命名体系,因而在许多情况下造成各种概念相互混淆,这不仅在实际应用中常常出现错用误用的现象,而且也给进一步的研究与交流带来了极大不便。

② 对黄土边坡剥落的分布规律研究也十分欠缺。由于缺乏区域统计资料,在研究的过程中往往是以点带面,加之人为的主观臆断和推测,很难反映黄土边坡剥落实际的区域性分布规律,因而难免给区域性的规划或设计带来困难甚至误导。

③ 根据现有的文献资料,从最早对黄土剥落的研究至今,关于黄土剥落成因的争论远未结束,各种观点不仅各持己见,难以统一,而且大多浅尝辄止,仅局限在对个别现象的观察与主观推断的深度上,尚无系统的资料证据以及进一步的现场试验或室内计算、模拟分析和理论支持。

④ 通过对黄延公路黄土路堑边坡的工后观测发现,剥落病害一般发生在早春季节,可见冻融作用对边坡剥落的形成具有重要作用。而目前对冻融循环作用后引起黄土边坡剥落病害研究尚需深入。

1.2.2 黄土边坡剥落病害处治技术研究现状

针对公路黄土边坡剥落病害的防治,目前还没有统一的行业标准。全国公路勘察设计主要根据实际工作经验和所掌握的资料、道路等级、资金情况、建设单位的要求等进行,所以,全国各省、区对黄土高边坡的防护具有明显的地区特色。比如,甘肃省新建高速公路黄土高边坡段一般设 10 m 高的护面墙,局部路段护面墙高达 20~30 m(图 1-5)。山西省太原—旧关、太原—原平及运城—三门峡等高速公路的黄土边坡,大量采用水泥面板进行全坡面防护,面板尺寸为 120 cm×60 cm×6 cm,面板与土体由 $\phi 18$ mm 钢筋钉连接,钉长 1.2~1.5 m(图 1-6)。兰州机场专用公路和铜川—黄陵一级公路等大量采用了坡面植草防护技术(图 1-7)。

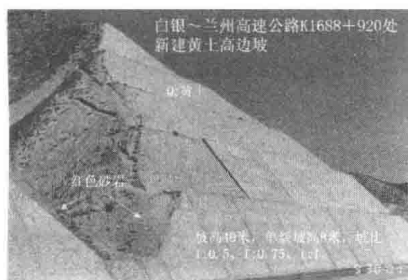


图 1-5 白银—兰州高速公路黄土边坡



图 1-6 山西太旧高速公路黄土边坡

陕西省以前建设的三级公路、四级公路黄土高边坡只在局部设置护面墙,大多数路段无护面墙。近几年建设的高速公路重视了边坡的防护设计,大部分路段均在坡脚设 2 m 高的护面墙,个别路段护面墙较高(图 1-8)。



图 1-7 铜黄公路黄土边坡
全坡面植草防护



图 1-8 铜黄公路罗圈梁隧道
黄土边坡护面墙

目前在边坡防护与加固措施方面积累了丰富的经验,《公路设计手册(路基)》(第二版)和《铁路工程设计技术手册(路基)》总结了公路和铁路数十年来在黄土边坡防护与加固方面较成熟的方法。

(1)《公路设计手册(路基)》(第二版)黄土边坡的防护与加固方法

《公路设计手册(路基)》(第二版)强调,黄土边坡的防护与加固,应根据当地降雨量及边坡的具体情况,采取不同的措施。公路常见的防护加固措施见表 1-1。

表 1-1 黄土路堑边坡的防护与加固

序号	防护与加固类型	说明
1	边坡坡面拍实	适用于土质疏松的边坡
2	种草或种植灌木(小冠花,紫穗槐)	适用于边坡缓于 1:1、草皮能就地取材且雨量多、适宜草类生长的地区
3	泥草抹面	适用于年降雨量较小,冲刷不甚严重的地区,边坡缓于 1:1
4	三合土或四合土封面	适用于雨雪量大,任何坡度的边坡
5	土护墙	适用于坡脚已破坏的坡段
6	浆砌片石护墙	适用于坡脚易受水冲刷,坡面剥落较严重,坡脚已破坏,边坡含有夹砂层的坡段

(2)《铁路工程设计技术手册(路基)》路堑边坡防护与加固方法

《铁路工程设计技术手册(路基)》指出,路堑边坡防护加固的主要措施有:

① 植物防护

以满铺草皮护坡为主,也可套种紫穗槐和小冠花固定土块。

② 干砌片石护坡

主要用于边坡局部冲空或因溜塌形成的坡面洼坑的嵌补。

③ 浆砌片石护坡

主要用于需要局部加强防护措施的坡段,如立交桥、渡槽跨越路堑地段,设有吊沟、倒虹吸管地段以及同一边坡上两级挡土墙之间的边坡。

④ 骨架护坡

对于各类土质、各种高度的边坡,只要不是常年潮湿并向外渗水的边坡均适用,是当前使用较多、效果较好的防护措施。

⑤ 坡脚重力式挡墙

对于土质较好的边坡,或高度较大的土质边坡,或容易遭受地表水、地下水侵蚀的坡脚,都应设坡脚重力式挡墙加固。

⑥ 重塑土反压法

主要是利用坍滑过程中经过挤压、揉搓作用的坍滑体,再经过开挖、倒运、夯

实等一系列作业过程,使原土结构破坏,成为“无裂隙”的均质黏性土,再将其填于新刷边坡上,利用新填方进行反压,抑制边坡裂隙的发展,也起到保温、保湿、防止风化的作用。

⑦ 抗滑桩

主要用于滑坡规模较大,且滑面较深的地段,一般是在滑坡推力过大,设置抗滑挡土墙有困难时使用,也可与挡土墙同时设置,共同起到抗滑作用。

综上所述,关于黄土边坡剥落病害处治技术方面,目前还存在以下方面的问题:

① 目前关于黄土边坡剥落病害处治技术,还没有一套成熟的技术规范来指导。从总体情况来看,黄土区一些重点线路都或多或少地采用了一些因地制宜的防护措施,如生态防护(植草、三维土植草)、喷锚和浆砌片石等。这些防护措施从防护性能、节约资金等方面都取得了良好的实际效果,但黄土区地质情况复杂,公路等级标准高,对照目前采用的设计方法,无论是防护的力度,还是防护的针对性方面,都存在一些值得进一步商榷的问题。

② 公路路堑边坡防护工程中若大量采用浆砌片石护坡及喷射水泥砂浆等防护方式,将会封闭植物生长的环境,使得由于高速公路的建设而开挖破坏的自然植被永久不能恢复(图 1-9)。少量的绿化设计往往只是局部植草皮,没有对边坡整个植被的逐步恢复进行考虑。缺乏植物覆盖的边坡一方面不利于水土保持(图 1-10),大量雨水直接流失,还加大了对道路周边地区的冲刷,给农田水利带来不利影响。



图 1-9 铜黄公路浆砌片石护坡破坏生态



图 1-10 边坡破坏生态后产生的水土流失

③ 公路黄土高边坡的植物防护措施偏少。有关的路基设计手册均提到了边坡种草或灌木,但是可供选择的草种、树种以及种植方法很少(图 1-11)。

④ 缺乏后续工作。通常房屋、桥梁等建筑物建成后,还要继续进行为期两年或更长时间的工程监测工作。目前,对边坡工程而言,边坡工程建成后,却很少进行一些必要的后续监测工作。

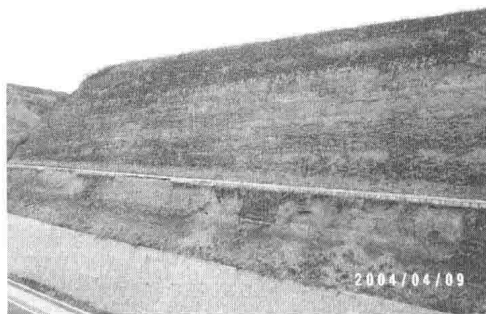


图 1-11 西宝公路部分路段黄土边坡植被防护成活率较低

1.3 研究内容及技术路线

1.3.1 研究内容

由以上分析可见,国内外针对黄土边坡剥落病害的研究刚刚起步,尚未形成系统的研究成果。本书以黄土边坡剥落病害的形成机理作为研究基础,全面分析黄土边坡剥落病害的类型、特征、影响因素、发育规律及力学分析,根据其特点,提出实用的处治技术。本书将对以下内容进行研究:

- (1) 黄土边坡剥落病害的类型、特征、分布规律及其主要影响因素。
- (2) 黄土边坡剥落病害的形成机理研究。
- (3) 高速公路黄土边坡剥落病害的处治技术研究。

1.3.2 技术路线

通过调研收集资料、工程调查与勘测、理论分析以及依托工程试验段试验等方面对黄土边坡坡面剥落病害及其处治技术开展研究。主要技术路线及实施方案包括如下方面:

- (1) 对国内外有关资料开展广泛调研收集。
- (2) 对西北黄土地区已建和在建高速公路、二级公路及铁路沿线路堑边坡剥落病害状况与处治对策开展较系统全面的现场勘察与拍照,根据不同地区及不同特点进行统计归类和比较评价。
- (3) 在较系统全面的现场调查基础上,按照不同类别及特点,对已建公路具有代表性的黄土路堑边坡剥落病害处治的工程实例,进行有关影响因素的分析、现场调查及取样试验,开展机理探索,总结成功与失败的经验教训。
- (4) 在工程调查、勘测与机理探索基础上,按照现代高速公路建设要求“安全、环保、舒适、和谐”的新理念,针对陕西黄土地区高速公路建设的实际情况,以

经济、实用及技术新颖为原则,对已建及在建公路不同类别黄土边坡剥落病害情况,提出处治技术及具体实施方案。

(5) 以黄延高速公路为依托工程,针对黄土台塬区深挖路堑边坡,选择试验段,进行边坡剥落病害处治的现场试验研究与工后观测。

(6) 以黄延高速公路为依托工程,针对半填半挖路段黄土边坡剥落病害情况,选择试验段,进行工程处治的现场试验研究与工后观测。

(7) 在以上各项试验及观测基础上,整理有关资料,开展进一步的理论分析,研究提出高速公路黄土边坡剥落病害处治技术。

图 1-12 为本书的技术路线图。

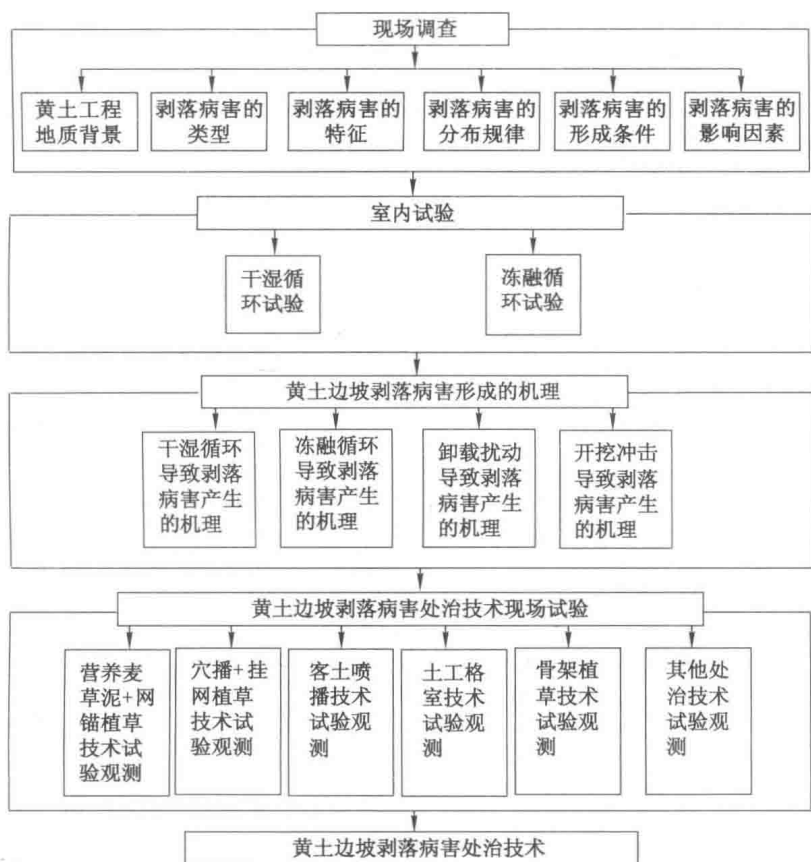


图 1-12 技术路线图

2 黄土边坡剥落的类型及主要特征

2.1 黄土边坡剥落的类型

2.1.1 按剥落形态划分

(1) 片状剥落

多发生于坡脚或坡体护脚实体顶部,一般从坡脚或护脚顶部沿坡面向上发展,剥落体形状多呈三角形、长方形、弧形,剥落边缘参差不齐,厚度 2~6 cm 不等,剥落规模悬殊,既有局部小型片状剥落,又有几处局部剥落联结成整体剥落,对坡面破坏较严重(图 2-1 和图 2-2)。



图 2-1 黄土边坡片状剥落(1)

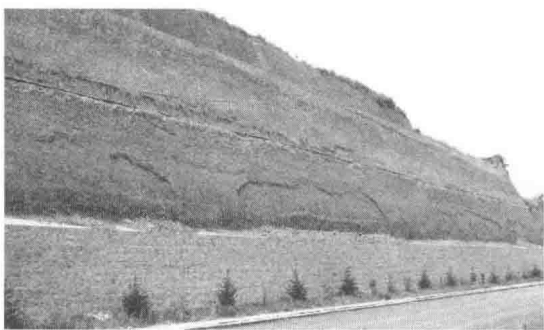


图 2-2 黄土边坡片状剥落(2)