



西北地区高陡特殊岩土 边坡失稳机制与整治

◎陈志敏 余云燕 著



科学出版社

西北地区高陡特殊岩土边坡 失稳机制与整治

陈志敏 余云燕 著

国家自然科学基金项目 (11662007)

甘肃省基础研究创新群体 (145RJIA332) 共同资助

长江学者和创新团队发展计划 (IRT 15R29)

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书以实际工程为背景,以室内试验、现场试验和现场监测数据为依据,以理论分析和数值仿真研究为突破口,系统研究了西北地区高陡黄土、高陡盐渍土、高陡泥砂岩互层三类特殊岩土边坡失稳形成原因和规律,并提出相应的工程病害整治措施,为此类科学及工程问题的解决提供理论参考。

本书可作为高等院校岩土工程、岩石力学、地质工程等专业研究生的教学参考书,也可供相关专业教师、工程技术人员、研究生及高年级本科生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

西北地区高陡特殊岩土边坡失稳机制与整治/陈志敏,余云燕著. —北京:科学出版社,2018.2

ISBN 978-7-03-056482-5

I. ①西… II. ①陈… ②余… III. ①岩石-边坡稳定性-研究-西北地区 IV. ①TU457

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第020010号

责任编辑:亢列梅 乔丽维/责任校对:王晓茜

责任印制:张 伟/封面设计:陈 敬

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>

北京中石油彩色印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年2月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2018年2月第一次印刷 印张:9 3/4

字数:150 000

定价:88.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



前 言

随着西部大开发的持续深入和“一带一路”建设的快速推进,西北地区特殊岩土区工程建设规模日益巨大,高陡边坡的变形破坏机制及稳定性研究更显重要和紧迫。边坡是一个地质体。只有从根本上认识边坡的工程地质条件、变形破坏机制,才能彻底解决边坡地质灾害问题,也才能做到成功预防和防治边坡地质灾害,使各种损失减到最低。同时,大量工程实践为边坡的变形破坏机制、预测和治理研究提供了极好的条件。一方面,结合工程实践的研究能解决工程的具体问题;另一方面,通过实际问题的解决,工程地质分析方法在边坡的变形破坏机制和治理研究中也得以丰富和发展。总之,边坡的地质灾害问题已成为地质工程及相关学科非常重要的研究课题。

边坡工程问题的研究分为理论研究、现场考察、试验研究和数值模拟四个方面。本书主要介绍作者结合具体的工程实例系统进行理论研究、现场和室内试验以及数值仿真分析得到的理论成果及相应的工程病害整治措施,为此类科学及工程问题的解决提供理论上的参考。

全书共5章。第1章主要介绍三种类型的高陡边坡及相对应的失稳机制研究现状,指出研究高陡边坡失稳的必要性和重要性,并阐述作者的研究思路。第2章介绍高陡黄土边坡的工程背景,并指出相应的灾害成因,结合现场试验和室内试验,得出综合分析方法,通过实际情况与之相验证。第3章介绍高陡盐渍土边坡整治工程的实际背景,以南疆铁路路基病害的实际案例为基础,通过试验研究,改良配方,并与常规试验进行对比,结合整治效果予以验证。第4章介绍高陡泥砂岩互层边坡失稳机制,以古浪边坡实际工程为背景,对崩塌机理进行研究与综述,并对综合整治措施进行研究。第5章对前面的三种高陡边坡进行系统的总结并对未来进行一定的展望。

本书的成果来源于作者近些年来主持和参与完成的一系列科研项目,包括国家自然科学基金项目(11662007)、甘肃省基础研究创新群体

(145RJIA332)、长江学者和创新团队发展计划(IRT_15R29)等。在本书出版之际,对在项目研究中给予指导和帮助的兰州交通大学土木工程学院赵德安教授及参与项目的已毕业硕士研究生蔡小林、李双洋、王伟、侯红林、张照亮、彭典华、张发、李亚子、哈建超等表示衷心的感谢。在读硕士研究生方智淳参加了本书的部分编排工作,在此表示感谢!同时,还要感谢对项目开展提供支持的兰州铁路局、中铁西北科学研究院有限公司、甘肃省公路局等单位。希望本书的出版能够起到抛砖引玉的作用,为促进边坡工程的发展和进步贡献微薄之力。

由于高陡边坡失稳机制研究尚处于探索阶段,且限于作者的水平,书中难免有不足之处,恳请同行专家批评指正!

陈志敏 余云燕

2017年7月于兰州

目 录

前言

1 绪论	1
1.1 西北地区特殊岩土高陡边坡概述	1
1.1.1 高陡黄土边坡	1
1.1.2 高陡盐渍土边坡	2
1.1.3 高陡泥砂岩互层边坡	2
1.2 高陡边坡失稳机制研究现状	3
1.2.1 高陡黄土边坡失稳机制研究现状	3
1.2.2 高陡盐渍土边坡失稳机制研究现状	4
1.2.3 高陡泥砂岩互层边坡失稳机制研究现状	5
参考文献	6
2 高陡黄土边坡失稳机制与整治	7
2.1 工程背景	7
2.2 宝中线大寨岭黄土高路堤滑坡机制研究	8
2.2.1 宝中线大寨岭黄土高路堤滑坡成因分析	9
2.2.2 室内试验与现场试验	10
2.2.3 黄土滑坡最不利滑动面综合分析方法	16
2.3 宝中线大寨岭黄土高路堤滑坡整治研究	22
2.3.1 m法和k法可灵活组合的刚性抗滑桩计算公式	29
2.3.2 有限元法在预应力锚索桩设计计算中的应用	39
2.3.3 三种典型水玻璃浆液在黄土中的凝胶特征	43
2.3.4 黄土及饱和黄土中水泥水玻璃注浆效果评价	48
2.3.5 宝中线大寨岭黄土高路堤滑坡整治综述	52
2.3.6 整治效果与验证	55
2.4 本章小结	58
参考文献	59

3	高陡盐渍土边坡失稳机制与整治	61
3.1	工程背景	61
3.2	南疆铁路盐渍土路基病害机理研究	61
3.2.1	南疆铁路盐渍土路基病害成因分析	61
3.2.2	常规试验研究	63
3.2.3	毛细水上升及次生盐渍化试验研究	64
3.3	南疆铁路盐渍土路基病害整治研究	69
3.3.1	改良配方与试验方案	69
3.3.2	改良盐渍土常规试验对比研究	70
3.3.3	改良盐渍土毛细水上升及次生盐渍化现象试验对比研究	75
3.3.4	改良盐渍土盐胀冻胀试验对比研究	81
3.3.5	整治效果与验证	94
3.4	本章小结	96
	参考文献	98
4	高陡泥砂岩互层边坡失稳机制与整治	99
4.1	工程背景	99
4.2	古浪软硬互层边坡崩塌机理研究	100
4.2.1	边坡产状、结构与崩塌成因分析	100
4.2.2	砂泥岩互层边坡膨胀性泥岩力学性能的试验研究	104
4.2.3	膨胀性顺(互)层边坡崩塌机制研究	114
4.3	古浪软硬互层边坡崩塌整治研究	120
4.3.1	综合整治措施研究	120
4.3.2	锚杆框架结构优化分析	123
4.3.3	整治效果与验证	144
4.4	本章小结	145
	参考文献	146
5	结论与展望	148
5.1	高陡黄土边坡	148
5.2	高陡盐渍土边坡	149
5.3	高陡泥砂岩互层边坡	149

1 绪 论

1.1 西北地区特殊岩土高陡边坡概述

西北地区地质环境特殊,孕育了黄土、盐渍土、软弱的砂泥岩互层等众多特殊岩土。随着西部大开发的持续深入和“一带一路”建设的快速推进,在西北特殊岩土地区开展大规模工程建设不可避免会遇到高陡边坡稳定问题,此类问题的研究决定各种重大工程建设能否顺利进行。课题组 10 余年来针对不同类型特殊岩土边坡工程病害整治开展了从试验、理论分析到工程实践的系列研究。近年来,特殊岩土高边坡工程建设和治理工作逐年增多,此类边坡一旦失稳危害巨大,治理难度和成本很高,为此急需将前期研究成果予以整理。此类边坡在整治前,甚至工程规划和建设前,如果能对其边坡的稳定性及其可能的工程病害进行预见性评价,必将对工程设计起到至关重要的作用;同时对于此类边坡病害的整治也具有重要的参考价值。

现对西北地区广泛存在的几种特殊岩土高陡边坡概述如下。

1.1.1 高陡黄土边坡

高陡边坡是指土方的开挖高度大于 20m 且坡度为 $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 的边坡。高陡边坡因受到各方面不稳定因素的影响,经常出现崩塌和滑坡等工程事故与地质灾害。经过黄土地区的铁路、公路和灌溉渠道,常遇到高陡边坡,其稳定性涉及交通和渠道运行的安全。关于高陡边坡的坡型、坡比和稳定性,有许多研究成果,在实际工程中发挥了重要作用,但高陡边坡的滑塌事故仍经常发生,如陕西宝鸡峡引渭灌区源边渠道,在修建期间就发生 10 余次滑塌事故,运行期间又发生多次滑塌事故;又如陇海铁路的豫西段和宝天段在雨季经常有路堑滑塌。过去对这种边坡的稳定性研究较多,但对其破坏机理和增稳措施研究比较少。

黄土地区高陡边坡的稳定性由工程场地的地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件所决定,但外界因素(如降水或工程爆破)经常

对滑坡起到诱发作用^[1-3]。应当在了解场地岩土特性、野外勘察的基础上,针对具体情况,制订经济有效的治理方案^[4-6]。

1.1.2 高陡盐渍土边坡

盐渍土是一种工程性质较差的筑路材料,土粒相对密度为一般为 2.66,填土的最大干密度约为 1.75g/cm^3 ,最佳压实含水率为 12%~15%。盐渍土含有较多的粉土粒,干时虽稍有黏结性,但易被压碎,扬尘大,浸水时很快湿透,易成流体状态。盐渍土的毛细水上升高度大,在季节冰冻地区更容易使路基产生水分积累,造成严重的冬时冻胀、春时翻浆,故又称翻浆土,这使盐渍土的工程性质大为恶化,极易引起塌方、滑坡、翻浆冒泥等病害,成为高等级公路的主要工程问题。可见,盐渍土路基边坡的稳定性,关键是解决防水排水的问题^[7,8]。

盐渍土具有易冲刷、遇水稳定性差的特点,特别是降水集中的气候特点容易造成地表径流集中,排水设施水流速度大,具有较强的冲刷能力,对抗冲刷能力较低的盐渍土路基边坡稳定尤其不利。边坡防护工程稍有缺陷,易出现较大的冲刷破坏^[9]。

1.1.3 高陡泥砂岩互层边坡

特殊的地质环境条件是地质灾害形成的基础和根本原因^[10]。西部地区地质灾害频发,属地质灾害重灾区。西部地区地形起伏大,构造活动强烈,岩土体物理风化严重,山体植被稀少,地质环境十分脆弱。在降水、地震、人类工程活动等条件影响下,山体极易发生崩塌地质灾害。

我国西北地区发育了不少泥岩与砂岩互层的岩质边坡,特别是有些区域的泥岩具有膨胀性而形成膨胀性泥岩砂岩互层边坡。由于泥岩的特殊工程性质,软弱的泥岩层严重影响了边坡稳定,容易引发崩塌地质灾害。受岩性差异的影响,西北地区的泥岩砂岩互层边坡更容易表现出差异风化,再加上区域地质条件十分复杂,泥岩层如果在坡体内贯通,就容易在坡体内形成软弱结构面,这种情况下坡体的稳定性评价十分不易且坡体更容易产生崩塌地质灾害。

泥岩的物理力学性质受水的影响很大,在边坡施工中很容易引起滑坡、崩塌等地质灾害。因此在土木工程中,必须加强对泥岩特性变化的关注,充分了解影响泥岩物理力学性质的因素并找到其变化规律。

1.2 高陡边坡失稳机制研究现状

1.2.1 高陡黄土边坡失稳机制研究现状

边坡自形成开始,坡体就处于不断变形中,直到坡体中出现连续贯通面并以一定加速度发生位移后,边坡转为破坏阶段。黄土边坡既有一般边坡的性质,又由于黄土特有结构而不同于一般边坡。黄土边坡变形破坏机理包括蠕变理论、应变局部化理论、渐进性破坏理论、突变理论、震害理论、水害理论等。

虽然制约边坡失稳的因素较多,但从边坡失稳破坏形式看,导致边坡失稳的原因不外乎两类:

(1) 外界力的作用破坏了土体内原有的应力平衡状态,如路堑或基坑的开挖,路堤的填筑或土坡顶面上作用外荷载,以及土体内水的渗透力、地震力的作用,都会改变土体内原有的应力平衡状态,促使土坡失稳破坏。

(2) 黄土的抗剪强度由于受到外界各种因素的影响而严重降低,促使土坡失稳破坏,如外界气候等自然条件的变化使土时干时湿、收缩膨胀、冻结、融化等,从而使黄土结构变松;土坡内雨水的浸入使土湿化,强度降低;土坡附近因施工引起的震动,如打桩、爆破等,以及地震力的作用,引起土的液化或触变,使土的强度降低,从而导致失稳。

王斌等^[11]针对岩质高陡边坡动力响应和失稳机制问题,设计并完成了含不连续节理的岩质高陡边坡大型振动台模型试验。对主要岩性特征,采用水泥、沙、铁粉、黏土与混合剂配制岩体材料;对岩质边坡的不连续节理,在边坡内部按照一定的规律设置表面摩擦系数极低的特氟龙布。试验得出含顺向不连续面的高陡岩质边坡地震作用下的破坏形态主要有三个阶段:裂缝开展、坡面剥落、崩塌滑动;主要滑动面沿特氟龙布开展,发生在 2/3 坡高的位置;加速度响应沿坡面向上有明显放大,水平向加速度占主导;当地震烈度加大时,离坡尖越近,加速度放大效应越强。

1.2.2 高陡盐渍土边坡失稳机制研究现状

盐渍土作为一种不同于一般土的特殊土,当在工程上被作为路基基底和填料时,表现出诸多的特殊性。土中含有盐,尤其是易溶盐,它使土具有明显的腐蚀性,对建筑物基础和地下设施构成一种较严酷的腐蚀环境,影响其耐久性和安全性。盐渍土含盐量多,呈现出不同的腐蚀特性和腐蚀等级,主要分为两大类,一类是化学腐蚀,即土中的盐与建筑材料发生反应而引起的破坏作用,此类盐多是氯(亚氯)盐渍土。这种盐结晶时体积不发生变化,因此对路基路面不会产生大的盐胀病害。另一类是物理结晶性腐蚀(又称为盐胀),即具有一定矿化度环境水,在毛细作用下,从潮湿一端进入墙体,从暴露在大气中的另一端蒸发,墙体孔隙中的溶液浓缩后结晶膨胀造成建筑材料破坏。该地区主要是以氯(亚氯)盐渍土和硫酸盐渍土为主,两种盐对钢筋混凝土及路基的腐蚀破坏原理不同,氯(亚氯)盐渍土以化学腐蚀为主,而硫酸盐渍土以物理结晶性腐蚀(盐胀)为主。

张永康等^[12]为使铁路建设既能满足路基质量要求和工程安全,又能节约投资,对几种填料方案进行研究,得出针对某铁路特殊的自然地理条件和气候特征,通过采用非盐渍土、改良盐渍土、盐渍土等填筑路基方案的经济技术比选,最终采用盐渍土填筑方案进行路基工程设计;同时通过借鉴我国相关铁路建设的成功经验,采用毛细水隔断、提高路基压实标准、放缓边坡坡率等综合措施,保证铁路路基的安全稳定,并可节约投资。

蒋春阳^[13]认为弱盐渍土分布地区,产生病害不严重的路段,可不作处理或采用加强路基排水的方法进行防治。盐渍土地区路基必须设置完善的纵、横向排水设施。排水设施应结合当地农田排、灌系统综合考虑,合理布设桥涵,做好边沟、排水沟、截水沟和取土场的相互配合设计,使水流畅通,不影响路基稳定;修建排水设施,有效地处理好截流导流,确保路基不受侵蚀;采用排沟、排碱渠、渗沟、渗井等方法将路基地下水或地表水引出,从而降低地下水位,减少盐渍土发生冻胀和盐胀等病害。

1.2.3 高陡泥砂岩互层边坡失稳机制研究现状

泥砂岩互层边坡崩塌是在一定的地质环境条件下由降水、人为扰动等诱发作用形成的崩塌。影响崩塌的因素很多,可分为地质内部因素和外部诱发因素两大方面^[14]。地质内部因素一般包括地形地貌、地层岩性、地质构造等;外部诱发因素一般包括人类工程活动、降水、地震等。斜坡上泥砂岩互层岩体风化强烈,出露基岩中泥岩、砂岩受差异风化的影响,凹凸悬殊的坡面地形为崩塌的发生提供了物质基础;斜坡构造复杂,节理裂隙发育,坡面岩石整体性较差,为崩塌的发生提供了较好的边界条件;降水、公路施工开挖高路堑活动等加剧了崩塌的发育并诱发了崩塌。

研究坡段崩塌发育有两类特征:一类是崩塌后沿坡面运动一定的距离后落在公路路面上,部分保持整体状结构;另一类是小型块体沿坡面溜落,堆积在护面墙上面的平台上,堵塞排水沟。崩塌发育规律是:较大规模的崩塌突发性强、失稳块体的运动形式多样、失稳块体运动距离大。

胡斌等^[15]以沪蓉高速公路某软硬岩互层边坡为例,基于开挖卸荷理论,采用 FLAC 软件进行数值模拟,研究分步开挖卸荷作用对软硬岩互层边坡稳定性的影响规律。结果表明,最大不平衡力、最大水平位移、剪应变最大值随开挖步数的增加累积增大,最大值出现在开挖卸荷面软弱夹层剪出口位置,与开挖量呈正相关关系;每步开挖后瞬间会产生最大不平衡力“尖点”,然后逐渐减小接近于零。夏开宗等^[16]针对沪蓉国道主干线湖北宜昌至巴东高速公路上的顺层软硬岩互层边坡破坏特征,建立了顺层软硬岩互层边坡稳定性的分析模型,分析了层面强度、岩层厚度、岩层倾角、水力作用等各项因素对边坡稳定性的影响,探索软硬岩互层边坡稳定性的一些规律。结果表明,敏感度排序为:层面倾角>层面内摩擦角>层面厚度>边坡中水力作用>层面黏聚力,即层面倾角和软弱岩层面的强度参数(内摩擦角)对边坡稳定性起主要控制作用。



图 1-1 拉裂式崩塌破坏

崩塌的形成条件分为地质因素和诱发因素。地质因素包括地形地貌、岩性特征和风化卸荷，诱发因素包括高路堑开挖和降水。

根据国内外专家学者对崩塌的分类研究，拉裂式崩塌有以下特点：拉裂式崩塌多形成在软硬互层的岩质边坡中，多为在重力的作用下因差异风化或降水因素而以悬臂形式突出的硬岩沿着风化裂隙或者重力张拉裂隙拉裂，如图 1-1 所示。

参 考 文 献

- [1] 籍延青. 某岩质边坡失稳机理分析及处置措施研究[J]. 山西交通科技, 2011, (5): 110-114.
- [2] 王成, 黄勇. 天山公路 K701+850 路段危岩体防治对策研究[J]. 公路交通科技: 应用技术版, 2011, (6): 27-31.
- [3] 李沧海, 邓辉, 张敏, 等. 渝利铁路青石岩段边坡危岩体稳定性评价及防治措施研究[J]. 地质灾害与环境保护, 2010, 21(1): 35-39.
- [4] 刘卫华. 高陡边坡危岩体稳定性运动特征及防治对策研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2008.
- [5] 胡厚田. 崩塌与落石[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1989: 9-24.
- [6] 刘宏, 宋建波, 向喜琼. 缓倾角层状岩质边坡小危岩体失稳破坏模式与稳定性评价[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25 (8): 112-116.
- [7] 李治新. 盐渍土地区公路养护与环境评价研究[D]. 西安: 长安大学, 2009.
- [8] 王强. 改变盐渍土路基结构防治盐渍土病害的试验分析与研究[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2013.
- [9] 梁俊龙. 内陆盐渍土公路工程分类研究[D]. 西安: 长安大学, 2010.
- [10] 李迎新. 地质灾害分类与防治[J]. 西部探矿工程, 2009, 21 (4): 42-46.
- [11] 王斌, 车爱兰, 葛修润, 等. 岩质高陡边坡动力响应及失稳机制大型振动台模型试验研究[J]. 上海交通大学学报, 2015, 49 (7): 951-956.
- [12] 张永康, 张田, 张荣飞, 等. 高盐渍土地区某铁路路基填料选择研究[J]. 铁道工程学报, 2016, 33 (9): 10-13.
- [13] 蒋春阳. 盐渍土路基防治措施与选择标准[J]. 筑路机械与施工机械化, 2013, 30 (2): 46-48.
- [14] 彭洪明. 贵州省开阳磷矿洋水矿区崩塌形式研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2012.
- [15] 胡斌, 姚文敏, 余海兵, 等. 分步开挖卸荷作用下软硬岩互层边坡的稳定性分析[J]. 科学技术与工程, 2016, (29): 281-286.
- [16] 夏开宗, 陈从新, 鲁祖德, 等. 软硬岩互层边坡稳定性的敏感性因素分析[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2013, 37 (4): 729-732.

2 高陡黄土边坡失稳机制与整治

2.1 工程背景

宝中铁路 K154+200 位于甘肃省平凉市大寨岭。1996 年 7 月,百年一遇的大雨(降水量为 189mm/d)造成线路左侧积水严重,有水穿路基的现象,原刷坡路堤严重滑塌,线路下沉量不详。兰州铁路局及时采取措施治理病害,修了整体护坡。1997 年,线路左侧再次积水,渗入路基中的水再次对线路安全造成隐患。1998 年,平凉地区连续阴雨 10 天,造成整体护坡外鼓,线路旁边的接触网杆甚至发生严重倾斜。针对这一情况,兰州铁路局及时安排病害整治工程,在线路左侧设计了两道浆砌片石截水沟,一道靠线路,另一道距线路约 24m;将原来线路右侧的整体护坡改为三级护坡;道床下铺了排水板。整个工程于 1999 年 5 月竣工。1999 年 6~7 月,又发现线路左侧麦田内有六七处陷穴,直径 10 余厘米。针对此情况,固原工务段在线路左侧施工了 3m 双灰桩,直径 30cm,桩底 30cm 三七灰土,桩顶设排水板,板上覆 30~50cm 三七灰土,1999 年 10 月施工完成。1999 年底至 2001 年 8 月线路运行正常。

2001 年 9 月 15 日至 28 日,平凉地区再次出现连续阴雨天气,在线路左侧施工完双灰桩的地面以及线路右侧坡面上又发现多处裂缝,线路下沉约 100mm,路基下沉约 300mm。同时,在一级护坡的上 1/3 处出现了似泉眼的渗水现象。

2001 年末,兰州铁路局勘测设计院接受任务,再次对宝中线 K154+200 路基病害进行治理方案研究并承担工程设计,同时兰州交通大学与兰州铁路局勘测设计院共同承担了兰州铁路局的科研项目,路基滑坡位置全景如图 2-1 所示。

最后,通过科研、试验、设计、施工等多方面的综合努力,病害整治后进行的长期边坡位移、路基沉降、排水量及水位监测结果表明,边坡已经处于稳定状态,立体排水效果明显。



图 2-1 宝中线 K154+200 高路堤滑坡位置全景

2.2 宝中线大寨岭黄土高路堤滑坡机制研究

黄土滑坡多与裂隙节理、渗流水及特定的地形条件有关,滑体物质主要由第四系各种成因的黄土及黄土类土组成。由于黄土中粉土颗粒含量高,结构疏松,侵蚀作用强烈,同时黄土具有较发育的节理系统,而且这些构造节理具有较好的贯穿性,一般可上下贯穿黄土各分层,加上黄土中有较发育的大孔结构,这些因素都有利于表水下渗,黄土下伏地层多为新近系红黏土或以泥岩和砂质泥岩为主的白垩系红层,相对隔水,易于在这一部位形成滑动面。黄土滑坡还包括堆填土滑坡。堆填土滑坡指人工堆填土和弃土中产生的滑坡,如填土路堤滑坡。个别高度在20~40m的铁路路堤,也可产生大滑坡造成严重灾害和损失。该黄土高路堤滑坡病害位于宝中铁路甘肃平凉大寨岭。滑坡位于冲沟填土之上,由于当地连年降水,曾造成线路左侧积水严重,有水穿路基的现象,原刷坡路堤严重滑塌,线路下沉以及整体护坡外鼓,线路旁边的接触网杆甚至都发生严重倾斜等病害现象。针对这一情况,曾陆续采取了将原整体护坡改为三级护坡(图 2-2)以及浆砌片石截水沟、道床下铺设排水板、三七灰土桩等措施。

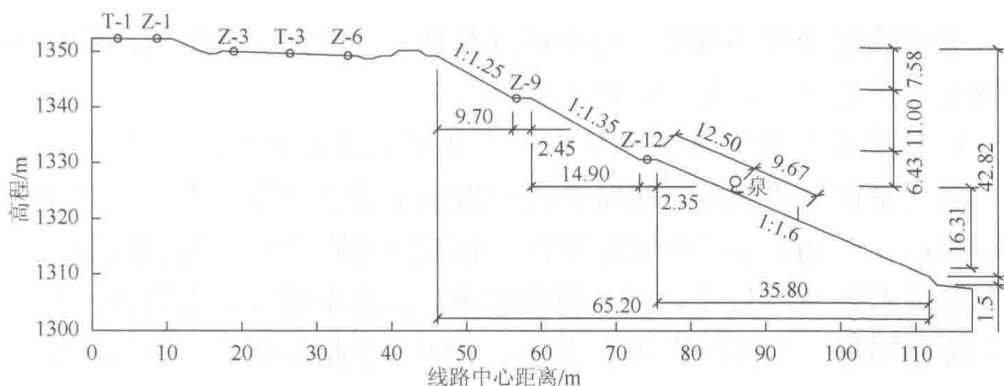


图 2-2 大寨岭 K154+200 路堤断面

2.2.1 宝中线大寨岭黄土高路堤滑坡成因分析

滑坡的发生和发展是由各种内、外在因素互相作用促成的，是错综复杂的，也是不断变化的。但在其发生和发展的每一阶段，必有少数几个起主要作用的条件和因素存在。通过现场调查及钻探等手段了解病害地点的地质情况，再经过大量的室内处理，基本上总结得出病害形成是地形地貌、岩土体性质、地质构造、地表水、地下水等因素综合作用的结果^[1]。

1. 不利的地形、地质条件为滑坡的形成提供了物质基础

地表的地形是滑坡活动和潜在的不稳定的外表线索。此段铁路以左为平地，平地以上为高山，容易汇集地表水，水的作用促成该滑坡的形成。

该病害地段填土为黄土，砂质和黏质互层。由于长期受地下水等作用的侵蚀，已处于饱和状态，又受冲击荷载作用，构成软弱结构面。而且黏质黄土具有隔水性能，容易积水。现场也发现了临空面的软弱层面，这些倾斜软弱层面及其组合的产状有利于岩土向下滑动。

2. 填方加载及边坡是工程滑坡的必备条件

工程滑坡是指工程活动引起的滑坡，此病害地点属高填方路堤边坡。这种高填方路堤多由风化带、断裂带和堆积层组成，强度相对较低，并且在冲沟内还潜伏有软弱面。填方斜坡地层应力主要是自重应力，并由其引起滑坡。

宝中线运营任务繁重,列车通过高填方地段时,列车的冲击作用是比填方自重更具有破坏力的动荷载。

3. 地表水及地下水(气候条件)是形成滑坡的直接诱因

地质钻探结果表明,线路右侧护坡内土体含水率很高。二级平台三个钻孔在3~10m有严重缩孔现象。滑体内最高含水率达28%以上,其饱和度基本在90%以上,属于饱和状态。含水率越大,土的各种力学指标下降越明显,尤其在饱和状态下,土的力学指标更差。而且在病害调查中已经提到雨季水对线路的危害程度。

进入雨季,降水逐渐增多,使土体的孔隙、裂隙处于饱和状态,既产生了静水压力,又增加了坡体重量,各种软弱面进一步软化,强度进一步降低,当其抗剪强度不能抵抗边坡的下滑力时,便会导致滑坡的产生。通过以上分析及地面变形和裂缝分布情况判断,该路堤有蠕动滑动现象,且有明显的潜在滑坡危险。

2.2.2 室内试验与现场试验

1. 试验目的

近年来,虽然注浆技术有了很大的进步,但该领域仍存在一些亟待解决的问题。为了更好地为注浆施工提供可靠的依据,拟在现场附近注浆,然后进行原位测试试验,确定注浆的效果。

土的抗剪强度指标是指土体抵抗剪切破坏的极限能力,是土的重要力学性质之一。本书就是在注浆后进行原位测试试验确定注浆后土的抗剪强度指标情况。

2. 试验方法

本试验注浆的目的是改善土性,因此重点研究注浆后土的抗剪强度指标。测定土的抗剪强度指标的常用方法主要有现场直剪试验、十字板剪切试验等。《铁路工程地质勘察规范》(TB 10012—2007)中对十字板剪切试验的适用岩土类别定为对黏性土适用,对软土很适用;《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)中10.6.1十字板剪切试验可用于测定饱和软黏性土($\varphi = 0$)的不排水抗剪强度和灵敏度。而《铁路工程地质勘察规范》(TB 10012—2007)中现场直剪试验的适用岩、土类别很广,包括岩石、碎石土、砂土、粉土、黏性