

文章编号: 1002-0268 (2004) 12-0042-03

莱新高速公路岩溶路基塌陷机理分析

高雪池^{1,2}

(1. 东南大学交通学院, 江苏 南京 210096; 2 山东省交通厅公路局, 山东 济南 250002)

摘要: 针对莱新高速公路莱钢水源地岩溶路基塌陷的现象, 阐述岩溶塌陷的基本理论, 分析岩溶塌陷的机理及其危害, 提出莱新高速公路岩溶路基塌陷的种类、处治技术和加固要求。

关键词: 高速公路; 岩溶塌陷; 机理分析

中图分类号: U416.1

文献标识码: A

Mechanism Analysis of Karst Subgrade Subsidence of Laixin Expressway

GAO Xue-chi^{1,2}

(1. Transportation College of Southeast University, Jiangsu Nanjing 210096, China;

2 Shandong Provincial Communications Department, Shandong Jinan 250002, China)

Abstract: This article expounds the basic theory of the subsidence of the karst, based on the phenomenon of the subsidence of the karst subgrade at Laigang Shuiyuandi section of Laixin expressway and analyzes the mechanism of the subsidence. Different classifications of the subsidence have been identified with some treatment and reinforcement measures put forward.

Key words: Expressway; Karst subsidence; Mechanism analysis

0 概述

莱新高速公路位于国道 205 莱芜至新泰段, 全长 45.6km, 路面宽 26m, 边坡 1:1.5。在莱钢水源地路段, 路基、路面底基层碾压完工后, 出现了路基纵向、横向开裂现象。经查明, 在青泥沟路段 K10+400~K13+900, 地层岩性为中奥陶白云质灰岩, 岩溶现象严重, 岩溶裂隙、溶沟、溶洞发育, 上覆土层较薄, 有的剥蚀成为地表水入渗通道。在地表可见多处塌陷坑, 规模不大。由于岩溶地下水开采过程中产生负压作用, 使上覆土层产生吸蚀剥落, 导致土层塌陷。该路段为岩溶塌陷易发地段, 属地质灾害危险性中等区。若不进行处理及防治会存在严重的安全隐患。为此, 对其形成机理和处治技术进行了专项研究。

1 岩溶塌陷基本理论

1.1 形成岩溶塌陷的环境地质条件

碳酸盐岩的岩溶发育程度及分布特征、第四系隐伏岩溶区、水文地质特征及岩溶现象是岩溶塌陷产生、形成的三个关键条件^[1]。岩溶塌陷的发育过程如图 1 所示。

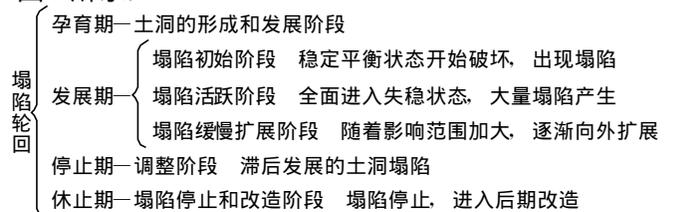


图 1

1.2 岩溶塌陷发育的基本特征及类型

岩溶塌陷有单体形态也有群体组合; 岩溶塌陷的发育强度及规模很不规律; 岩溶塌陷存在伴生现象; 岩溶塌陷发展具有时空动态持续性、阶段性^[2]。按塌陷的形成可分为自然塌陷和人类活动诱发的塌陷。

1.3 岩溶塌陷的形成机制

岩溶塌陷的形成机制是指由隐伏岩溶洞隙的岩、土体覆盖层及赋存其中的水、气所组成的综合体系,

收稿日期: 2004-04-08

作者简介: 高雪池 (1967—), 男, 山东武城人, 东南大学在读博士, 研究方向为桥面铺装。(gaoxc@sina.com)

由外动力变化而产生的各种破坏其稳定状态的力学效应。岩溶塌陷是岩溶、盖层、水构成的系统在各种因素影响下表现出来的系统失稳过程在地表的宏观表现。岩溶塌陷的产生是十分复杂的系统过程,不同的空间位置、地质环境,影响因素所起的作用各不相同,并与人为活动的强度大小密切相关;加之地质体本身的非均匀性、不确定性和人类活动的多变性的影响,难以准确确定出岩溶塌陷的边界条件,况且,对不同地点的地质环境的初始条件和边界条件,难以在事前准确地确定和提取。

形成机制的主要效应有:(1)岩溶地下水位下降造成的失托加荷效应;(2)水流渗透潜蚀效应;(3)地下水位波动的散解效应;(4)负压吸蚀效应;(5)由于岩溶管道中的地下水流处于不稳定状态,管道中充填物的堵塞冲决,使水流速度突然变化产生的水击效应;(6)埋藏较浅的松散饱水的粉细砂、轻亚粘土层或其他碎屑物质的震动液化效应;(7)地表水浸泡的软化增荷效应;(8)震动冲击加荷效应。

在一个塌陷区内上述各个机制都可能存在,一个塌陷的形成往往是多种机制综合作用的结果。此外,在塌陷的形成过程中,其机制也往往发生变化,如抽排水塌陷,当地下水位降低到基岩面以上时,主要是失托加荷和渗透潜蚀效应;当水位降低到基岩面以下时,水气压力变化产生的效应可能更为重要。

2 莱新高速公路水源地岩溶发育特征与规律

2.1 岩性与构造

据地质工程勘察资料,莱新高速公路 K10+400~K13+900 为岩溶地区发育段,上覆第四系冲洪积和残坡积物,岩性为亚粘土和中粗砂及砂砾。层厚 2~11m。下部为中奥陶白云质灰岩。

场区大地构造位于郯庐断裂带和派生的北西向泰山、莲花山断裂之间,属莱芜盆地与新浦凸起的过渡带之中,北西向和北东向两组构造发育,岩溶也多沿两组构造发育。青泥沟断层(F₄)在 K10+430 穿过本区,经物探探测,断层破碎带宽 9m 左右。

2.2 水文地质条件

本区位于莱芜盆地,岩溶裂隙发育,四周为山地,地表入渗补给条件好,成为地下水埋藏丰富的地下水库,低洼地区为承压水,有众多的上升泉,成为莱钢水源地,日均取水量 2 16 万 m³,由于大量开采地下水,地下水位大幅度下降,本次勘探钻孔深 40.3m 处未见地下水位。据 1991 年至 1997 年的地下水观测资料记载,水位最大降幅达 42m,为此,影响

和改变了原有的水文地质特征。

地下水水质为弱腐蚀,为分解类碳酸型腐蚀,含有较多的 CO₂,化学成份与地表水有较大的差别,虽然地表水补给条件较好,尚不足以改变地下水的化学特征,说明本区的地下岩溶水水量丰富。

2.3 岩溶发育特征

岩溶的发育,与岩石的矿物化学成份、区域地质构造、地形地貌、地下水的补排条件和水的化学成份有着密切关系。本区地貌为盆地,岩性为可溶性白云质灰岩,地下水含有较多的 CO₂,具有弱腐蚀性,为分解类碳酸型腐蚀。本区位于莱芜盆地,盆地四周山区地表水向盆地补给。当地表水沿两组节理裂隙渗入,水中的 CO₂对白云质灰岩 CaCO₃具有溶蚀作用,在地下水补排过程中,沿着两组结构面发育成溶岩裂缝、溶槽、溶洞,形成目前岩溶发育特征。

2.4 岩溶分布规律

为了查清岩溶分布规律,在设计、试验、施工中进行了大量的地质勘察工作。经查明,在青泥沟路段 K10+400~K13+900,地层岩性为中奥陶白云质灰岩、岩溶裂隙、溶槽、溶洞发育,上覆土层较薄,有的剥蚀成为地表水直接入渗通道。经调查在地表多处发现塌陷坑,其规模不大,塌陷坑一般 2~3m,均为覆盖层塌陷。经地质勘探和物探查明,一般岩溶埋深 5~10m,岩溶发育厚度 10~20m,溶洞高 0.3~1.3m,充填为亚粘土和砂砾,该段为岩溶塌陷易发地段,应属岩溶土洞塌陷,为地质灾害危险性中等区。

3 岩溶塌陷机理分析

3.1 岩溶土洞塌陷

本区岩溶塌陷,经地质调查,未发现大面积的岩体塌陷,而是在岩溶地区上覆土层的岩溶土洞塌陷。它与岩溶发育特征、岩溶的填充物质、上覆土层的厚度、地表水和地下水活动有关。在覆盖层较厚、地表水排水条件好的地区,天然覆盖层未经破坏,未发现岩溶土洞塌陷。而在岩溶发育地段,覆盖层较薄,或已遭到破坏,地表水汇集,入渗条件好,就易发生岩溶土洞塌陷。除此之外,岩溶塌陷还与地下水活动有关。岩溶土洞塌陷示意图见图 2。

在岩溶发育过程中,岩层表面为第四系覆盖,并充填岩溶空隙,在长期地表水入渗、地下水排泄活动中,在地下水活动区域内,一部分充填物被带走,形成渗流通道,逐渐向上发展。当上部土层较薄,地表水长期作用时,地表水沿岩溶通道产生渗流,使充填物在渗水作用下,土体发生潜蚀剥落,形成土洞,逐

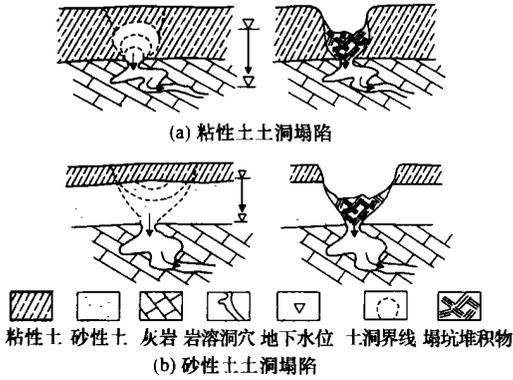


图2 岩溶土洞顶板塌陷示意图

渐向地面发展，当土洞失去拱效应后，发生剪切破坏，地面土层将发生塌陷；与此同时受地下水活动影响，当地下水位波动较大，也会加剧这一变化过程。

3.2 土体盖层-薄顶板系统应力分析

(1) 土体盖层应力分析

土体盖层中的应力，在理想情况下有：土体的自重、导水盖层中孔隙水的浮托力、渗透力、大气压力、各种人类工程活动引起的附加动、静应力，以及溶洞薄顶板的支撑力等，盖层土体中的应力可用下式表示

$$F = F_h + F_a + F_s + \gamma_s h_b + (\gamma_d - \gamma_w) h_w$$

式中， F_h 为人类各种工程活动在该处产生的附加应力； F_a 为由于土洞或薄顶板溶洞的真空度产生的作用在盖层土体上的大气压力； F_s 为盖层孔隙水的渗透压力； γ_d 、 γ_w 分别为盖层土体的干容重和水的容重，对于多层土体可采用其加权平均值； h_b 、 h_w 分别为土体包气带、饱和带的厚度。

(2) 薄顶板无充填溶洞顶板应力分析

薄顶板溶洞的顶板上受到由盖层土体传递的应力、导水盖层土体由于质量传输产生的水压力、顶板部分的自重及由溶洞拱圈传递过来的成拱应力等。由于溶洞发育部位在盖层土体沉积前，碳酸岩盐中溶蚀作用十分强烈，在形成溶洞管道网络的同时，节理裂隙也受到了溶蚀作用的影响，岩体结构受到了改造和破坏。在沉积作用发生前，出露地表而被溶蚀的岩石又受到了流水、温度等各种物理化学的风化作用，表面及浅层风化破碎严重。许多勘探资料都显示浅部碳酸岩盐岩体大多处于中等风化状态，在岩溶和节理裂隙发育地带以及岩体破碎地带，岩石经常处于严重风化的状态，完整性很差。如果浅部发育的溶洞顶板

被剥蚀严重，则形成薄顶板溶洞。溶洞的顶板如处于节理裂隙不发育部位，顶板的自稳能力相对较好；若处于破碎部位，塌陷稳定性则相对较差，在上部盖层传递来的应力及在与导水盖层进行气、水质量传输过程中产生的渗透压力作用下，极可能发生失稳破坏。薄顶板失稳破坏后，使盖层土体失去支撑，在失托作用、潜蚀作用、压差场作用以及附加压力的作用下，可能发生塌陷失稳。

3.3 地下水动力作用影响

本区位于莱芜盆地，岩溶裂隙发育，四周为山地，地表入渗补给条件好，成为地下水埋藏丰富的地下水水库，低洼地区为承压水，成为莱钢的取水水源地。在地下水开采过程中，区域地下水大幅度下降。因此该区地下水位变化比较剧烈。

地下水位的频繁变化，一是引起溶洞顶板节理裂隙水渗流压力的变化，二是加剧岩溶的发育。溶洞顶板节理裂隙水渗流压力的变化，对节理裂隙易产生楔劈、润滑、物理化学潜蚀及水解作用，造成顶板结构的破坏和顶板强度的弱化。地下水位的增加和下降，可带走岩溶裂隙的充填物，同时对岩溶产生气蚀作用，并产生负压（在地质勘探钻孔中发生吸管负压证实了这一现象），由于土的抗拉强度极低以及埋藏较浅溶洞顶板具有不稳定性，易造成岩溶上覆土层产生吸蚀剥落或塌陷，所产生的应力已经大大超过了路基一些部位土的抗剪和抗拉强度，从而加剧了岩溶塌陷这一破坏过程。

4 结论

通过岩溶塌陷的机理分析，认为莱新高速公路莱钢水源地路段为岩溶土洞塌陷。岩溶土洞塌陷和路基沉降，均与地表水浸泡渗入和地下水活动有关，因此只须对岩溶入渗口进行封闭处理，解决水平防渗问题，不需对整个岩溶带进行处理。在岩溶发育带或岩面上形成水平帷幕，加固体厚度3~5m，加固强度要求大于4MPa。

参考文献:

[1] 曾国熙, 等. 地基处理手册 [M]. 中国建筑工业出版社, 1998
 [2] 王思敬, 著. 坝基岩体工程地质力学分析 [M]. 科学出版社, 1990
 [3] 叶树麟, 著. 地基处理 [M]. 中国建筑工业出版社, 1988