

秦岭山区某路基沉陷成因及对策^{*}

李凯玲^{1,2}, 张平印³, 门玉明^{1,2}

(1. 长安大学 地质工程与测绘工程学院, 陕西 西安 710054; 2. 西部矿产资源与地质工程
教育部重点实验室, 陕西 西安 710054; 3. 陕西建工集团总公司, 陕西 西安 710003)

摘 要: 路基坍塌是秦岭山区公路的主要病害之一。以 108 国道 K1561 + 250 段路基沉陷为例, 结合工程地质和水文地质条件对其形成的原因进行了分析, 认为该段路基的沉陷与地下水和气候条件有密切关系。在考虑暴雨对坡体影响的基础上, 对该坡体进行了稳定性计算评价。以此为依据, 确定了锚固工程辅以排水的整治方案, 并按工程要求进行了整治设计, 经工程整治后检验, 该方案起到了稳固坡体的作用。

关键词: 路基沉陷; 稳定性; 治理方案; 秦岭山区

中图分类号: P642. 26 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 - 811X(2009)02 - 0065 - 04

0 引言

在秦岭山脉的公路施工和使用管理中, 经常发生路基局部沉陷的现象, 给运输和交通安全造成不利影响。108 国道 K1561 + 250 沉降段发生在陕西洋县槐树关镇。该地区受秦岭影响, 雨量充沛, 年平均降水量约 900 mm。1999 年该路段曾发生沉陷, 经过整治, 仍未得到彻底根治, 2007 年雨季该地段再次出现局部沉陷, 对行车安全构成了严重威胁, 如图 1 所示。

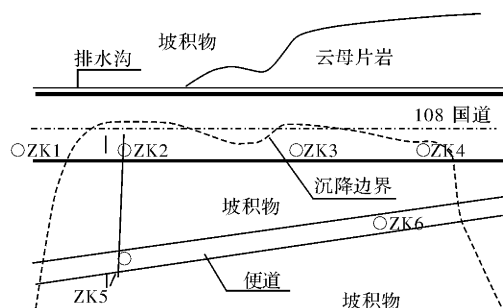


图 1 108 国道 K1561 + 250 沉降段平面图

由于路基所处的地层不同, 其受力情况也有所不同, 路基路面不仅承受行车荷载的反复作用, 还受到气候、水文条件的影响^[1,2]。为查明该路段路基沉陷的原因, 对该路段的工程地质进行了详细勘察^[3]。该沉降段路面平坦, 沉降段长度约为

55 m, 路面最大沉降高差约 0.27 m。沉降轮廓平面上呈弓形, 最宽占路面宽度的 2/3, 总方量约 2 万多 m³。^[3]

108 国道 K1561 + 250 沉降段规模不算很大, 但所处地理位置非常重要。而且, 该地段在初次塌陷治理后, 又出现垮塌, 对 108 国道的运营安全构成了严重威胁。因此, 研究其出现沉陷的成因, 对其治理方案的确定有十分重要的意义。如果破坏机理弄不清楚, 那么治理将无的放矢^[4]。

1 路基沉陷形成的地质环境

1.1 地形地貌

108 国道 K1561 + 250 沉降段位于洋县槐树关镇。为秦岭山脉南麓沟谷中。公路分区属于山区河谷段, 公路位于山区峡谷的一侧通行, 地势比较开阔。

1.2 地质构造

汉中盆地为新生代构造侵蚀盆地, 受阳平关 - 勉县 - 洋县断裂的控制, 位于汉南突起北部, 主体在台地一侧。东西长约 100 km, 南北宽 5 ~ 25 km, 由第三纪、第四纪构造层组成, 凹陷深度大, 深度变化也大, 基底构造复杂, 主要有扬子期侵入杂岩体构成。盖层为第四系湖积、冲积、洪积层。有地震记载, 说明地表仍在活动。抗震

^{*} 收稿日期: 2008 - 10 - 23

基金项目: 国家自然科学基金项目(40272116); 陕西省自然科学基金项目(2005D04)

作者简介: 李凯玲(1972 -), 女, 陕西西安人, 博士研究生, 讲师, 主要从事地质工程、工程力学的教学与研究工作。

E-mail: dedgx21@chd.edu.cn

设防烈度为Ⅵ度。

1.3 地层岩性

沿公路沉降段两侧边坡基岩出露，路堑边坡出露地层主要有：

(1) 碎石土 松散，碎石粒径以 2.0 ~ 5.0 cm 为主，其间以角砾、粘性土填充；碎石母岩以片岩、石英片岩为主，无磨圆。

(2) 粉质粘土 浅黄 - 红褐色，可塑 - 软塑，湿 - 饱和，含少量碎石，碎石粒径以 0.5 ~ 3.0 cm 为主。

(3) 全风化片岩 深灰色 - 灰黑色，软塑状态，呈淤泥状，结构完全破坏。

(4) 强风化片岩 灰色，湿，碎块状结构，风化裂隙发育，岩芯呈碎块状，破碎。

(5) 中风化片岩 浅灰色，少湿，块状结构，岩芯呈短柱状，较破碎。

以上各层在场地内的埋藏分布情况详见图 2，其力学性能指标见表 1、2。

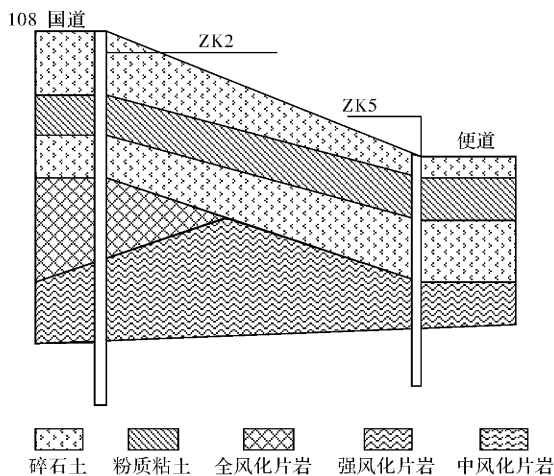


图2 108 国道沉降段 1-1'剖面简图

表 1 物理力学指标统计表

岩土类别	含水量 W	重度 G_s	孔隙比 e	液限 W_L	塑限 W_P	液性指数 I_L	压缩模量 E_s
碎石土	17.1	21.6	0.46	24.3	17.3	0.05	7.88
粉质粘土	26.8	19.0	1.42	32.5	18.7	0.61	4.56
风化岩	15.2	21.7	0.44	27.2	16.4	0.06	10.45

表 2 地基容许承载力及桩周侧壁摩阻力 kPa

岩土类别	地基容许承载力	桩周土极限摩阻力
碎石土		
粉质粘土	-	30
全风化片岩	150	50
强风化片岩	800	100
中风化片岩	1 500	120

1.4 水文地质条件

洋县属暖温带半湿润大陆性季风气候。降雨较丰富，公路沿线地下水按埋藏条件可分为孔隙性潜水和基岩裂隙水两类。

孔隙性潜水主要埋藏于河床及河漫滩沙砾石层中，水量丰富，埋藏和运移在灞河两岸高漫滩、Ⅱ级阶地堆积物中的地下水，沿基岩和砂砾石接触面处以泉水形式溢出，流量随季节变化。

沉降段还分布有基岩裂隙水。其存在于公路右侧边坡岩体的裂隙中，由大气降水和高山冰雪融化提供补给。基岩裂隙水沿裂隙渗透到公路路基的碎石、粘性土及全风化片岩中，形成空隙性潜水，顺坡体补给地表水，水量随季节变化。

2 路基沉陷原因分析

(1) 该路段公路以填方方式通过，在左侧形成长约 55 m、距离沟底约 40 m 的路堑边坡。边坡由碎石、块石等坡积物覆盖，松散的结构为塌陷提供了物质条件。

(2) 路堑边坡整体坡度多在 20° ~ 30° 之间。公路沉降段右侧为自然坡度在 45° ~ 60° 的高边坡之间，地形陡峭。边坡上有宽约 7 m 的公路便道通向沟底。由于陡坡受张拉作用，公路下缘便道上出现 3 条与公路走向一致的裂缝，每条裂缝宽度在 3.0 ~ 10.0 cm 范围以内，裂缝长度在 1.0 ~ 4.0 m 范围以内。在便道局部及路面边缘还存在数条横向裂缝，裂缝宽度在 3.0 ~ 7.0 cm 之间，长度在 1.0 ~ 2.0 m。这些裂缝的存在，极易导致路基塌陷。

(3) 洋县属于北亚热带内陆季风气候，境内四季分明。该地区雨量充沛，由于受秦岭影响，一年降水时段分布趋势为：冬春少雨，盛夏多暴雨，秋季多连阴雨。最大降雨量为 1 376.1 mm，年平均降雨量为 823.7 ~ 923.2 mm。长期的降雨渗入不仅增加了坡体的重量，加之本路段路基底层以碎石土及粘性土为主，在路基地下水的作用下即可造成路基整体性破坏。

(4) 公路左侧沟谷中常年有水流，水量随季节变化。由于坡体一般渗透性较高，在一般降雨条件下裂隙通常无水或仅有部分水，水的作用力较小。但在盛夏暴雨期，裂隙会很快充满水，加上水压的劈裂作用，裂隙还会进一步加深，从而加大水的作用力，促使坡体塌陷。

综上所述，由于该地区位于秦岭山脉南麓沟谷，接受太阳辐射较多，且对南来的暖湿气流起

到阻拦作用, 接受降水较北坡多, 岩体风化作用明显。同时, 受该地区气候影响, 冬春少雨, 盛夏多暴雨, 秋季多连阴雨, 降雨集中。降雨后基岩裂隙水入渗到路基, 路基地层中的碎石土及细粒粘性土极易被地下水下渗带走, 造成路基填料流失, 使路基失稳, 在路面形成整体滑移坡滑的张性裂缝及沉降, 路基产生纵向及横向裂缝。滑移速度及范围受降水影响明显^[5]。

3 雨季对坡体稳定性的影响

根据边坡主轴断面的形态(图2), 利用瑞典圆弧法对该区域边坡进行计算评价, 其计算安全系数为 1.54, 坡体是稳定的。然而这一地段路基屡次发生塌陷, 结果与现场情况不符。这是由于该地段属秦岭地区, 夏季多暴雨, 因此必须考虑暴雨对坡体稳定性的影响。

暴雨对土坡稳定性的影响从力学机制上可以概括为促进滑动力矩增加和促使抗滑力矩较小两个方面^[6]。由于与长期降雨, 土的含水量逐渐增大, 对于裂隙发育的坡体, 暴雨期间的雨水会沿裂隙迅速深入途中, 增加土的容重。此时, 由于法向作用力的增加, 提高了抗剪能力, 但促滑力矩的增加要比抗滑力矩的增加大得多, 从而使土坡的安全系数减小。同时, 由于雨水的渗入, 土体的空隙水压力升高, 基质吸力明显下降, 导致土的总粘聚力大大降低^[7]。计算中假定处于极限情况, 坡体在暴雨下完全饱和, 基质吸力完全消失, 根据瑞典圆弧条分法计算, 暴雨时坡体的抗滑力矩减小, 促滑力矩增大, 结果导致安全系数减小为 0.99, 计算结果见表3。

表3 土坡安全系数计算结果

工况	抗滑力矩 /(kN·m)	促滑力矩1 (重力) /(kN·m)	促滑力矩2 (裂隙水) /(kN·m)	安全系数
天然	23 185	12 569	0	1.54
暴雨	18 574	17 834	486	0.99
变化量	-4 611	5 265	486	-0.52

由此可见, 由于暴雨对土坡稳定性的影响非常大, 一些在平时相对稳定的土坡在暴雨作用下而发生变化。这也与该坡体产生变形使路面出现塌陷、公路下缘出现于公路走向一致的裂缝的变形特征一致。由此判断该边坡处于不稳状态。正是由于此前未对边坡稳定性作进一步分析, 因此边坡整治措施不能满足要求。

4 路基沉陷治理方案

针对本路段地形、岩性、水文地质条件及沉陷原因, 提出治理方案。

4.1 消除水的有害作用

雨水对土坡稳定性的影响是从多方面进行的。要防止坡体在暴雨作用下滑动, 需要采取以下措施制止或减小雨水的促滑作用。

(1) 在坡面及周围适当地区加不透水覆盖层, 阻止雨水的入渗;

(2) 在坡体四周布设地表截水沟, 以便及时将雨水排出坡外, 减少地表水渗入的作用;

(3) 在路堤左侧排水沟底增设纵向截水渗沟, 并通过横向渗沟将水引出路基;

(4) 夯实回填地表裂缝, 减少地表水入渗通道, 疏通地表水排泄路径。

虽然以上措施可以减小暴雨和地下水的影响, 但在使用过程中容易堵塞失效; 难以达到一次治理, 不留后患的目的。因此, 地表截水沟只能作为整治工程的辅助措施。

4.2 修建支挡建筑物或锚固工程

由于雨季时, 洪水及泥石流从坡脚流过, 侵蚀坡体, 改变坡体的结构, 促进坡体滑动, 因此采用现浇钢筋混凝土格构进行坡面防护, 并利用锚杆加以固定。这种加固措施能深入到岩体的内部, 同时又不破坏岩体的稳定。与采用抗滑桩或锚杆挡墙等技术相比, 该方案经济、适用, 开挖量小, 对坡体稳定性的影响较小^[8]。

4.3 整治工程设计

首先清除塌陷区的碎石土, 平整、夯实坡面。将原路基出现病害的部分挖去, 更换符合要求的亚粘性土。回填时, 挖补面积要扩大, 且逐层挖成台阶状, 由下至上填筑, 碾压密实, 压实度要求高出原路压实度的 1% ~ 2% (图3)。

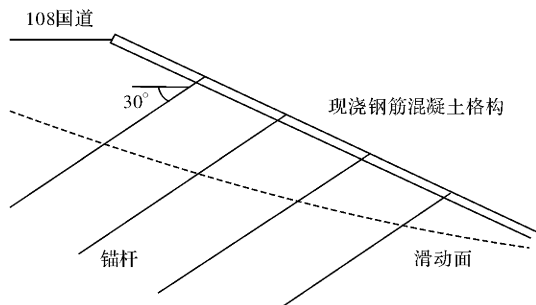


图3 整治工程剖面图

采用方形现浇混凝土格构, 格构水平间距为 4 m, 格构断面尺寸为 250 mm × 350 mm。通过计算, 格构纵向钢筋采用 3 根 $\Phi 22$ 的 II 级螺纹钢筋, 箍筋采用 $\Phi 6$ 钢筋。混凝土的标号采用 C25。

为保证格构护坡的稳定性, 根据岩土体结构和强度在格构节点处设置锚杆。锚杆采用 $\Phi 25$ 的 II 级螺纹钢筋加工获得, 长度 6 m, 俯角 30°, 并与格构钢筋笼点焊连接。由于坡体较为破碎且容易塌陷, 采用 $\Phi 50$ 的锚管加固, 全粘结灌浆, 锚固砂浆采用 M20, 注浆压力控制在 0.5 ~ 1.0 MPa 之间。

现浇混凝土格构每隔 20 m 设置一道 2 ~ 3 cm 的伸缩缝, 其中填塞沥青麻筋或沥青木板。为美化环境, 防护表层边坡, 可考虑在格构中间培土种草^[7]。

5 结论

通过对该地区路基沉陷机理分析以及治理方案的研究, 可以得出以下结论:

(1) 通过对 108 国道 K1561 + 250 沉降段的分析可以得到, 该段路基的沉陷与地形地貌、地层结构、地下水和气候条件有着很大关系。正是由于秦岭山脉南麓沟谷岩体风化作用明显, 集中的降雨使基岩裂隙水入渗到路基, 造成路基填料流失, 使路基失稳, 从而形成整体滑移的张性裂缝及沉降。

(2) 根据路基沉陷特点, 在设计中应按照水可

疏不可堵的原则, 做好引排及拦截地下水工程。同时, 针对当地气候条件, 做好地表水的引、排设计。

(3) 根据岩土体的结构特征, 选用现浇钢筋混凝土格构进行边坡治理, 并辅以排水的整治方案。边坡治理前不稳定, 边坡治理后能够满足防止要求。

经过整治, 该路段经历了汶川 8.0 级地震的洗礼, 路基没有出现再次垮塌。

参考文献:

- [1] 杨巧艳, 孔书祥. 山区铁路路基边坡病害整治与研究[J]. 铁道建筑, 2006, 65(3): 65 - 68.
- [2] 吴忠, 郭士贤. 常见路基边坡的病害形势及预防措施[J]. 黑龙江交通科技, 2006, (9): 56 - 58.
- [3] 张生瑞. 108 国道 K1561 + 250 路基沉陷勘查报告[R]. 西安: 长安大学工程设计研究院, 2007.
- [4] 郑景凡. 山区公路路基沉陷原因分析及处治方案[J]. 公路与汽运, 2003, (5): 29 - 30.
- [5] 陈新瑜, 高世祥. 丹阳村滑坡稳定性分析及政治研究[J]. 工程地质学报, 2002, 10(S0): 364 - 368.
- [6] 谢守义, 徐卫亚. 降雨诱发滑坡机制研究[J]. 武汉水利电力大学学报, 1999, 32(1): 20 - 22.
- [7] 梁伟, 高德彬, 倪万魁. 公路黄土路钱高边坡植物防护研究[J]. 灾害学, 2007, 22(3): 45 - 48.
- [8] 洪海春, 刘建达, 黄伟生, 等. 边坡岩体锚固性能研究与展望[J]. 灾害学, 2008, 23(3): 102 - 108.

Causes of a Roadbed Subsidence in Qinling Mountain Area and the Strategy

Li Kailing^{1,2}, Zhang Pingyin³ and Men Yuming^{1,2}

- (1. School of Geology Engineering and Surveying Engineering, Chang'an University, Xi'an 71005, China;
2. Key Laboratory of Western China's Mineral Resources and Geological Engineering, Ministry of Education, Xi'an 710054, China; 3. Shanxi Construction Engineering Group Corporation, Xi'an 710003, China)

Abstract: The surface subsidence is one of the main roadbed diseases in Qinling Mountain. This paper takes the roadbed with surface subsidence as an example which lies in K1561 + 250 of the national way 108 and analyzes the cause of formation based on the condition of engineering geology and hydrology geology. It is concluded that the main causes of surface subsidence are ground water and climatic conditions in the area. On the basis of the influence of the rainstorm to the stability of slope, the stability calculation and evaluation are made. According to the stability evaluation, the method of reinforcement with dewatering is determined. The controlling design is made in accordance with the project requirement. After the project treatment and inspection, the plan has good effect for stabilizing slope.

Key words: roadbed subsidence; stability; project treatment; Qinling Mountain