

三峡库区高阳一峡口重建公路地质灾害评估

肖诗荣¹ 彭光忠² 谭炳炎³ 谷明成³

(1. 三峡大学 土木水电学院, 湖北 宜昌 443002; 2. 中科院武汉岩土力学研究所, 武汉 430071; 3. 铁道部西南科学院, 成都 610016)

摘要:通过资料复核和现场调查,对三峡库区高阳一峡口重建公路进行了地质灾害评估。评估结果表明,公路沿线的滑坡和危岩为评估不安全的必须治理的两类灾害;经估算,滑坡治理经费大约15 000万元。

关键词:地质灾害评估; 地质安全等级分区; 经费估算

中图分类号: TV221.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-948X(2004)06-0509-05

Geological Hazard Assessment to the Rebuilding Road from Gaoyang to Xiakou, Three Gorges Reservoir Area

Xiao Shirong¹ Peng Guangzhong² Tan Bingyan³ Gu Mingcheng³

(1. College of Civil and Hydropower Engineering, China Three Gorges Univ., Yichang 443002, China; 2. Wuhan Rock and Soil Mechanical Institute, China Academy of Science, Wuhan 430071, China; 3. China Southwest Academy of Railway Science, Chengdu 610016, China)

Abstract Through data review and field investigation, the geological hazards along the rebuilding road from Gaoyang to Xiakou were assessed, which shows that landslides and dangerous rock masses along the road are not safe and have to be controlled, the cost of the control engineering is about RMB 15,000 × 10⁴.

Keywords geological hazard assessment; geologic safety zone; cost estimate

拟建的长江三峡工程库区湖北兴山县高阳一峡口重建公路是兴山县对外交通的主要干线,向南与宜秭线相接,可达宜昌、巴东和秭归,向北可达神农架等地。整条线路规划高程为180~290 m,长16.025 km。因三峡水库二期水位已达135 m,原有公路局部路段已淹没于库水之下,重建该公路十分紧迫。

按重建规划,该公路线选定在香溪河左岸,公路通过地段主要为中倾顺向斜坡结构,地形地质条件复杂,不良地质体较发育,严重控制着公路工程设计、工程建设和工程投资。为优化公路工程设计,正确评价工程建设和工程投资的合理性,需进行高阳一峡口重建公路地质灾害评估工作。其主要任务和目标是:查明该公路通过地段地质灾害的类型、分布、高程、规模、范围、机理、稳定状态及其危害对象;预测三峡水库蓄

水对地质灾害的诱发和加剧,评价对公路建设的危害性;预测和评价公路工程施工对地质灾害的诱发和加剧;划分高阳一峡口重建公路的地质安全等级区段,本着确保公路安全和经济投入合理的原则,提出地质灾害防治优化方案,并提出防治工程经费估算^[1]。

高阳一峡口重建公路地质环境条件复杂、建设项目重要,其地质灾害评价按一级场地要求,主要评估方法为资料复核及现场调查。

1 评估区地质概况

1.1 地形地貌

重建公路所在区域属鄂西构造侵蚀、剥蚀中低山区。线路区均为黄陵背斜西翼所构成的近南北走向的

单面山,山脉与褶皱轴向一致,山脊尖棱,线路高程在180~290 m.近南北流向的香溪河河谷形态呈不对称“V”字形峡谷.复建公路所在的香溪河左岸主要为基岩顺向岸坡,坡面绝大部分为岩层层面,且多为一坡到顶,地形坡度大体与岩层倾角保持一致.

1.2 地质构造

在区域地质构造上,复建公路区位于黄陵背斜的西翼与秭归盆地的交接部位,大致处于秭归盆地的东部边缘,主要以侏罗系地层构成的单斜构造,地层连续,呈整合接触.复建公路区内未发育大型断裂构造,但发育多组长大裂隙.

1.3 地层岩性及岩组划分

拟建线路区出露的基岩主要为侏罗系中下统内陆相碎屑沉积,线路区外围附近出露有三迭系中下统地层.线路经过区以中统泄滩组(J_{2x})为主,其次是中下统聂家山组(J_{1-2n})和下统香溪组(J_{1x}).根据区出露的各类地层的岩性特征,将拟建线路通过的地层划分为4个工程地质岩组:

(1)松散岩类工程地质岩组:主要是滑坡堆积和崩坡堆积.

(2)硬软相间岩类工程地质岩组:本岩组主要包括:泄滩组(J_{2x})的厚层、中厚层状中细粒长石砂岩与紫红色泥岩互层;中下统聂家山组(J_{1-2n})的上部紫红色薄层砂质泥岩夹厚层砂岩.在本岩组中所夹软弱岩类易于风化剥蚀,硬岩中发育长大裂隙.

(3)坚硬岩类工程地质岩组:本岩组包括聂家山组(J_{1-2n})的下部中厚层、厚层长石石英砂岩、长石砂岩、细砂岩、泥质粉砂岩和香溪组(J_{1x})下部厚层、巨厚层长石石英砂岩、中粒砂岩和细砂岩.

(4)半坚硬岩类工程地质岩组:本岩组主要包括香溪组(J_{1x})上部的薄层泥质粉细砂岩夹炭质页岩与煤层及粉砂质泥岩.

1.4 水文地质

线路区水文地质条件简单,地下水受控于地形地貌、地层结构,由于区域侵蚀基准面为香溪河,其高程约为120~150 m,远低于线路高程,场区地下水主要来源为大气降水,地表、地下水排泄基准面为香溪河.

在滑坡堆积和崩坡堆积体中,由于局部粘性土具相对隔水作用,从而易形成上层滞水.个别滑坡体(如李家湾滑坡)有较丰富的上层滞水.

在侏罗系中下统泄滩组和聂家山组的厚层长石砂岩中赋存基岩裂隙水.

1.5 不良地质现象

复建公路沿线的不良地质现象包括滑坡、潜在不稳定崩坡堆积体、危岩体、泥石流和煤矿采空等.

复建线路地区是一个滑坡多发区,根据已做的勘察工作和本次核查,拟建线路要经过矿务局、电厂、郑家坪、柑子沟、李家沟、泗湘溪、石佛寺、李家湾、金乐、唐家院子、徐家院子沟、王家岭、珍珠潭、夏橙研究所等规模不等的14个滑坡(群).体积在500~1 000万 m^3 的滑坡1个,体积在100~500万 m^3 的滑坡7个,100万 m^3 以下的滑坡6个,规模最大的是金乐滑坡,面积达38.7万 m^2 ,体积达960万 m^3 .经过滑体的线路总长度达3 600多m,占线路总长的近1/4,滑坡体总计近2 900万 m^3 .

崩坡堆积体是拟建公路沿线较发育的另一种不良地质现象.经本次核查,对原定滑坡群中规模较小、厚度不大、无明显滑坡形迹的单个滑坡确认为崩坡堆积共有7处,线路长度790 m,总方量为148万 m^3 .

在柑子沟有一处危岩体,宽50~80 m,面积约1万 m^2 ,厚度一般3~5 m.主要是裂隙密集的厚层砂岩,在风化剥蚀及卸荷作用,不断崩塌堆积于斜坡较缓地带和凹槽之内.

复建公路沿线冲沟发育,沟槽深切,沟床纵坡陡,两岸山坡陡峻,坡面和沟谷中有较多的松散堆积,如遇诱发泥石流活动的雨量,极有可能发生泥石流.在郑家坪以南地段高程160~350 m分布有矿洞,但在高程200 m以下而与公路工程建设有关的仅3个矿洞,且以上煤矿矿洞,因在地面以下深度较大并且洞径较小,沿矿洞的地表未发现任何变形坏迹象.

2 单体地质灾害评估

2.1 滑坡灾害评估

线路滑坡评估结果列于表1.

2.1.1 滑坡现状评估

滑坡稳定性计算方法采用极限平衡之剩余推力法^[2],计算工况I为天然状态(降雨、自重、地震),计算参数采用试验资料和反演分析综合取值.

计算与分析表明,天然状态下,矿务局滑坡、电厂下游滑坡(I)、郑家坪滑坡(I)、李家沟滑坡、石佛寺滑坡、唐家院子下游滑坡、王家岭滑坡、珍珠潭滑坡等8个滑坡是稳定的;电厂滑坡(II)、泗湘溪滑坡、金乐滑坡(I、II)、夏橙研究所滑坡等4个滑坡总体稳定,局部变形;柑子沟滑坡、李家湾滑坡、徐家院子沟滑坡等3个古滑坡前缘变形明显,虽总体稳定,但存在滑坡复活迹象;郑家坪滑坡(II)(水田坡滑坡)近期受降雨影响,蠕滑变形,呈不稳定或极限平衡状态.

现状条件下,电厂滑坡(II)、柑子沟滑坡、泗湘溪滑坡、李家湾滑坡、徐家院子沟滑坡、夏橙研究所滑坡

为基本安全,其他滑坡为安全。

表 1 滑坡危险性评估表

序号	滑坡名称	稳定性 K 值			总体危害程度	现状危险性评估	预测危险性评估	综合危险性评估
		工况 I	工况 II	工况 III				
1	矿务局滑坡	1.44	1.16	1.04	大	安全	不安全	不安全
2	电厂滑坡	I 1.11	0.92	0.86	安全	安全	不安全	不安全
		II 1.23	1.10	1.03	基本安全	基本安全	不安全	不安全
3	郑家坪滑坡 (I、II)		1.12	1.05	安全	安全	不安全	不安全
			0.98	0.83	不安全	不安全	不安全	不安全
4	柑子沟滑坡	1.16	1.07	1.03	大	基本安全	不安全	不安全
5	李家沟滑坡	1.12	0.92	0.81	大	安全	不安全	不安全
6	泗湘溪滑坡	0.99	0.90	0.82	大	基本安全	不安全	不安全
7	石佛寺滑坡	1.2	1.11	1.04	大	安全	不安全	不安全
8	李家湾滑坡	1.18	1.04	1.0	大	基本安全	不安全	不安全
9	金乐滑坡(I、II)	1.41	1.39	1.33	大	安全	基本安全	不安全
10	唐家院子下游滑坡	1.13	1.05	1.01	大	安全	不安全	不安全
11	徐家院子沟滑坡	1.01	1.03	1.01	大	基本安全	不安全	不安全
12	王家岭滑坡	1.24	1.06	0.87	大	安全	不安全	不安全
13	珍珠潭滑坡	1.04	0.95	0.86	大	安全	不安全	不安全
14	夏橙研究所滑坡	1.06	1.01	0.95	大	基本安全	不安全	不安全

2.1.2 滑坡预测评估

对于公路沿线规模的 14 处滑坡(群)进行水库蓄水及公路建成后安全性评估包括工况 II 和工况 III 的稳定性计算分析。水库蓄水后的稳定性分析计算考虑以下几种工况:(II)长江三峡水库正常蓄水 175 m 水位时整体的稳定性;(III)水库水位从 175 m 骤降到 145 m。

评估表明,除金乐滑坡为危险性预测基本安全外,其它所有滑坡均为不安全。

2.1.3 滑坡综合评估

单体地质灾害(滑坡、潜在不稳定崩塌堆积体)综合评估表明,高峡路 14 个滑坡(群)、7 个潜在不稳定崩塌堆积体在三峡水库及公路建设的作用下,均为不安全,威胁库区交通复建。

2.2 崩塌堆积体评估

(1)现状评估:沿线的 7 处崩塌堆积体一般规模较小,多分布在斜凹地或沟槽中,现阶段处于稳定状态。堆积体表面多开垦为旱地或果林,其上少有居民居住,危害程度小。因此,根据当前的稳定状态和危害程度,其现状应属安全。

(2)预测评估:公路在崩塌堆积体上通过时,或填方加载、或挖方切坡,都会降低堆积体的稳定性,可使其变形失稳,形成新滑坡。另外,有的堆积体前缘在 175 m 高程以下,受库水位升高和变化,前缘易逐渐

失稳坍塌,引起堆积体整体失稳下滑。堆积体一旦整体失稳下滑,将危及公路的安全。因此,对沿线 7 个崩塌堆积体预测为不安全。

(3)综合评估:均为不安全。

2.3 其他地质灾害评估

相对滑坡灾害而言,线路其他地质灾害较轻,且由于文章篇幅限制,这里只叙述评估结论。柑子沟危岩体现状不安全,预测不安全,综合评估不安全。11 条泥石流沟有 7 条预测为不安全的泥石流沟。煤矿采空不会对路基产生不利影响。

3 线路综合评估——地质安全等级分段

3.1 地质安全等级划分标准

以《长江三峡二期工程移民工程地质安全评价实施细则》(国土资源部 2002 年 7 月)为基本依据和精神,综合考察线路工程地质条件和地质灾害分布及特征,接合灾害对象特点,划分高峡路地质安全等级标准。

按照斜坡结构、岩性组合及灾害特征分布情况,制定高峡路地质安全等级划分标准如下:①安全:斜坡可为顺向坡(地形坡角 < 岩层倾角)、斜向坡及横向坡,岩性组合可为硬岩、半坚硬岩、沿岩及沿硬相间任

一类,斜坡稳定;基本无地质灾害,线灾害率基本为零。②基本安全:斜坡可为顺向坡(地形坡角<岩层倾角)、斜向坡及横向坡,斜坡稳定~基本稳定;灾害累计体积<350万 m^3 、灾害现状活动性为稳定~基本稳定(含局部不稳定)、预测均为不稳定,线灾害率为20%~40%;③不安全:斜坡为顺向坡,地形坡角>岩层倾角,斜坡不稳定;灾害累计体积>1000万 m^3 ,灾

害现状活动性为稳定~基本稳定,局部不稳定,预测均为不稳定;线灾害率>45%。

3.2 地质安全等级分段

综合斜坡结构、岩性组合、地质灾害分布情况,对高峡路进行地质灾害综合评估,将高峡路按地质安全等级分为9段,分段情况见表2。

表2 高峡路路线安全等级分段表

序号	分段里程及长度	分段要素					线灾害率/%	安全等级
		斜坡结构及斜坡坡角	岩组及岩层倾角	滑坡	崩塌积	泥石流沟		
1	K0+000~K2+700 2 700 m	顺向坡,坡角20~30°,局部达40°	香溪组上部泥质粉砂岩、砂质泥岩夹炭质页岩、煤层;属半坚硬岩类;岩层倾角32~55°	2处 720 m 284万 m^3	1处 90 m 27万 m^3	2条	30	基本安全
2	K2+700~K4+300 1 600 m	斜顺向与横向坡,坡角20~26°,局部达35°	聂家山组砂岩、泥岩互层;属坚硬夹软弱岩类;岩层倾角42~57°	2处 470 m 616万 m^3	2处 190 m 35万 m^3		41	基本安全
3	K4+300~K6+110 1 810 m	顺向坡,坡角30~35°,局部达40°	泄滩组长石砂岩、泥岩互层;属坚硬夹软弱岩类;岩层倾角50~54°	1处 180 m 12万 m^3	2处 260 m 19万 m^3		24	基本安全
4	K6+110~K8+170 2 060 m	斜顺向与横向坡,坡角25~30°	泄滩组长石砂岩与泥岩互层,夹粉砂岩;属坚硬夹软弱岩类;岩层倾角41~48°	2处 420 m 305万 m^3		2条	20	基本安全
5	K8+170~K8+770 600 m	顺向坡,坡角35~40°	泄滩组长石砂岩、泥岩互层;属坚硬夹软弱岩类;岩层倾角40~47°				0	安全
6	K8+770~K11+500 2 730 m	顺向坡,坡角20~35°,局部达40°	泄滩组长石砂岩、泥岩互层;属坚硬夹软弱岩类;岩层倾角50~54°	4处 1 140 m 1 470万 m^3	2处 250 m 51万 m^3	4条	47	不安全
7	K11+500~K12+640 1 140 m	顺向坡,坡角25~30°	泄滩组长石砂岩、泥岩互层;属坚硬夹软弱岩类;岩层倾角33~45°			1条	0	安全
8	K12+640~K14+370 1 730 m	斜顺向与横向坡,坡角20~25°	泄滩组长石砂岩与泥岩互层,夹粉砂岩;属坚硬夹软弱岩类;岩层倾角35~56°	3处 650 m 210万 m^3		2条	37.5	基本安全
9	K14+370~K16+022 1 652 m	顺向坡,坡角25~30°	聂家山组砂岩与泥岩互层;属坚硬夹软弱岩类;岩层倾角70~75°				0	安全

地质灾害综合评估安全段共计3 292 m,占21%;地质灾害综合评估基本安全段共计9 900 m,占62%;地质灾害综合评估不安全段共计2 730 m,占17%。

综合评估结果表明,高峡路地质灾害严重:①现有14个滑坡(群)在库水和公路建设作用下预测不安

全:控制公路里程3 620 m;滑坡累计方量总方量2 861 $\times 10^4 \text{m}^3$;公路高程以上滑坡方量:1 626 $\times 10^4 \text{m}^3$ 。②7处崩塌堆积体在库水和公路建设作用下产生新滑坡,预测不安全:控制公路里程790 m;滑坡累计方量总方量148 $\times 10^4 \text{m}^3$;公路高程以上方量90 $\times 10^4 \text{m}^3$ 。③高峡路沿线各类地质灾害(各类滑坡、危岩体、

潜在不稳定堆积体)控制公路里程总长度为4 410 m,占线路总长27.5%。

4 地质灾害防治措施建议及防治工程经费估算

4.1 防治措施建议

防治原则:避重就轻,多作避让(平面的、立面的),少挖低切,下挡上护,把灾害防止在设计阶段。防治重点:公路下侧和桥涵建筑。

(1)滑坡治理:为确保复建公路的安全和正常运营,对各滑坡应根据其规模、推力的大小、稳定程度和要达到的安全程度,采取不同的工程治理措施或综合治理措施。安全避让优先,工程措施宜在公路下侧以支挡为主,如抗滑桩、对大型滑坡必要时可采用抗滑桩加预应力锚索;在公路上侧辅以其它防护措施,如挡墙、护坡,必要时可采用格构锚杆或预应力锚索;在滑体外围设置截水沟,滑坡体上设排水沟,防止地表水渗入滑面;滑坡前缘库岸段视情况结合库岸治理进行防护。

对于后缘在350 m以上的大型滑坡,既要考虑主滑方向和沟槽及线路的关系,还要考虑可能形成泥石流的危害。对潜在危险性较大的金乐滑坡及在金乐滑坡体上发育的龚家大沟和万丈沟和徐家院子沟滑坡等段的线路通过方案及桥涵应进一步优化、重点处理并和隧道绕避方案进行比选。

为确保公路的安全,对具有潜在危险的崩坡堆积体采用滑坡治理方案进行治理。

(2)泥石流治理:本峡谷段有泥石流活动的地形、地貌和沟槽条件,物源条件充分,且过去有泥石流活动史,除龚家大沟、万丈沟、徐家院子沟、柳树沟和龚家院子沟等为较典型的泥石流沟谷外,其余皆为非典型的冲沟型泥石流沟。因本峡谷段地形条件能满足排导要求,拦挡条件又差,故防治方案应以排导为主,可结合桥涵设计处理,暂不需另加防治措施。

(3)危岩治理:对柑子沟、李家沟下游段顺层基岩出露区上端的部分危岩,建议清除危石后挂网(SNS网)防护。

4.2 防治经费估算

防治经费主要包括滑坡和崩坡堆积体的防治经费,泥石流的防治只需在过沟建筑物的设计中加以考虑,不必专列治理经费,危岩体仅一处,且规模不大,公路设计施工中加以考虑即可。

滑坡和崩坡堆积体的治理经费按整体治理和局部治理两类估算:

(1)整体治理经费估算

整体治理即为完全治理方案治理滑坡。

按滑坡和堆积体的总方量估算治理经费。估算依据是湖北省内已完成的三峡库区二期地质灾害滑坡治理工程的单位工程量造价,据统计,每1万方滑坡体治理投资约5万元。按此计算,高峡路滑坡和崩坡堆积体的治理经费约, $3\,009\text{万 m}^3 \times 5\text{万元/万 m}^3 = 15\,045\text{万元}$ 。

(2)局部治理经费估算

以保高峡路为主要目的,仅对公路路基及以上滑体(含潜在不稳定崩坡堆积体)作工程治理,对175高程~公路范围的居民作搬迁安置。

按在拟建公路外侧设抗滑桩的钢筋混凝土工程量估算治理经费(含公路以上局部变形体治理费用)为12 300万元,175高程公路范围的居民作搬迁安置经费估算为 $363\text{人} \times 3\text{万元/人} = 1\,089\text{万元}$,两项共计13 389万元。

经上述估算,高峡路地质灾害治理经费大约为(13 389~15 045)万元。

5 结论与建议

(1)拟建公路沿线地质灾害发育,包括滑坡、潜在不稳定崩坡堆积体、危岩、泥石流、煤矿采空和顺向基岩斜坡等,其中滑坡(潜在崩坡堆积体)和危岩是必须进行治理的两类灾害,这些地质灾害现状安全~基本安全,预测不安全,综合评估不安全。泥石流灾害通过跨沟建筑物解决。煤矿采空对复建公路基本不造成灾害。

(2)建议对沿线14个滑坡(群)和7个潜在不稳定崩坡堆积体进行治理,公路外侧以支挡和护坡为主。经估算,治理滑坡和潜在崩坡堆积体经费大约15 000万元。

参考文献:

- [1] 殷坤龙. 滑坡灾害预测预报[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2004.
- [2] 崔政权,李 宁. 边坡工程[M]. 北京:中国水利水电出版社,1999.

[责任编辑 周丽丽]