

# Highway Geological Hazard Evaluation Based on Analytic Hierarchy Process

—Taking Shiyi Highway Xingshan to Changyang Section Project  
as an Example

Conglin Zhang, Huizhou Shang, Yuqun Huang

Hubei Provincial Communications Planning and Design Institute, Wuhan Hubei  
Email: 1057659688@qq.com

Received: Apr. 29<sup>th</sup>, 2020; accepted: May 14<sup>th</sup>, 2020; published: May 21<sup>st</sup>, 2020

---

## Abstract

Geological hazard evaluation is an important work in the early stage of highway project construction. Based on a detailed study of the types and characteristics of geological hazards in the assessment area, this paper uses the analytic hierarchy process (AHP) to construct an index evaluation system that includes three primary factors and nine secondary factors. Based on the weight analysis and the assignment of different factors in each evaluation area, the final evaluation scores and danger levels are obtained through the factor superposition operation. The results can provide a theoretical basis for highway planning and disaster prevention and reduction.

## Keywords

Highway, Geological Hazard, Evaluation, Analytic Hierarchy Process

---

# 基于层次分析法的高速公路地质灾害 危险性评估

——以十宜高速兴山至长阳段为例

张丛林, 商会州, 黄裕群

湖北省交通规划设计院股份有限公司, 湖北 武汉  
Email: 1057659688@qq.com

收稿日期: 2020年4月29日; 录用日期: 2020年5月14日; 发布日期: 2020年5月21日

## 摘要

地质灾害危险性评估是高速公路项目建设前期一项重要工作。本文在详细研究高速公路沿线地质灾害发育类型及特征的基础上,采用层次分析法(AHP)构建了包含3个一级孕灾因子和9个二级孕灾因子的指标评价体系。根据权重分析及各评估区不同因子的赋值,并通过因子叠加运算,得出各评估区最终的评估分值及危险性等级。研究成果可为高速路规划和防灾减灾提供理论依据。

## 关键词

高速公路, 地质灾害, 危险性评估, 层次分析法

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

近年来,随着我国高速公路的飞速发展,高速公路路网逐渐向山区等偏远地区延伸,高速公路建设遭到滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害问题也日益突出。同时,由工程建设引发的地质灾害也不断增多[1]。如何预测公路工程建设可能遭遇或引发的地质灾害,为工程建设保驾护航,同时也为地质灾害的防治提供科学依据是摆在工程地质研究者面前的一个问题。笔者以十宜高速兴山至长阳段为研究对象,采用层次分析法(AHP)进行了地质灾害危险性综合分区评估研究,可为今后山区高速公路地质灾害危险性评估提供参考。

## 2. 工程项目概况

评估区位于湖北省西部,东经 111°00′~111°45′、北纬 29°56′~31°34′之间,路线走廊总体呈南北向,路线起点位于兴山县峡口镇,顺接十宜高速十堰至神农架段,路线向南展线在长阳县贺家坪互通以西跨沪渝高速公路,设置终点互通,终点向南与十宜高速长阳至五峰段顺接。线位途经兴山县、秭归县及五峰县,皆位于宜昌市境内。

## 3. 地质灾害发育类型及特征

评估区位于湖北省兴山县、秭归县及五峰县,均属于宜昌市境内。该地区年平均气温为 14.8℃~16.9℃,总降水量为 907~1445 mm,降雨充沛。地形以中低山为主,坡陡谷深;地层从古生界—中生界皆有出露,以沉积岩建造为主,主要为碎屑沉积岩、碳酸盐岩、碳酸盐岩夹碎屑岩,碳酸盐岩区溶蚀作用强烈;软弱结构面发育,地质矿藏丰富,为地质灾害极易发生提供了客观条件,人类工程活动主要为切坡弃渣及采矿活动,目前已有省道、县道改建等一批工程开始实施,加之人类工程建设和采矿活动对地质环境的不断改造,加剧了地质灾害的频繁发生,因人为和自然因素诱发的崩塌、滑坡、泥石流、地面塌(沉)陷灾害均极易发生,是地质灾害极易发县(市、区)。

根据收集相关资料及野外地质灾害调查资料分析,评估区地质灾害类型主要是滑坡(不稳定斜坡)、崩塌(危岩)、岩溶地面塌陷、采空地面塌陷。通过现场调查,共发现滑坡及不稳定斜坡 29 处,崩塌(危岩)9 处,岩溶地面塌陷区 1 处,采空地面塌陷区 2 处,此外考虑到岩溶发育区地下水位变幅大,若岩溶发育区为拟建隧道,尚应考虑岩溶塌陷对公路隧道路基的影响。

## 4. 地质灾害危险性预测评价

### 4.1. 评估区范围的确定

本次评估对象为路线全线(含比较线), 评估路线全长约 129.17 公里, 评估宽度沿路线中心左右各延展约 1000 米(崩塌、滑坡以及岩溶发育区的评估范围根据需要适当扩大), 评估区总体呈窄条带状。评估面积共约 260.5 平方公里。

### 4.2. 地质灾害危险性预测评价

#### 4.2.1. 综合评估指标体系的建立原则

地质灾害危险性综合评估首先应该是建立在评估区所处的地质环境背景之下, 同时考虑现状评估和预测评估成果的综合分析。在构建评估指标体系时应遵守以下几条基本原则:

1) 全面性原则: 在构建评估指标体系时, 所选取的指标应具有一定的代表性, 同时应涉及到影响评估的各个方面, 确保考虑问题的全面性。

2) 独立性原则: 即所选取的指标应相互独立, 同一层次的指标之间不存在有明显交集或相包含的情况, 避免同一属性指标的重复考虑。

3) 可操作性原则: 即评估指标的特征值或定性评价均可从现有的资料、数据及经验判断中获得, 从而使评估可以顺利进行。

4) 定量与定性分析相结合原则: 地质灾害危险性的综合评估是一个复杂的定性定量相结合的工程决策问题, 因此在选择评估指标时, 能够定量的影响指标应尽量予以定量, 不能或不宜定量的则采用定性分析, 定量与定性指标均纳入综合评估指标体系。

#### 4.2.2. 基于层次分析法的综合评估指标体系的建立

在以往的高速公路地质灾害评估中, 采用专家打分等评估手段往往具有较强的个人主观意愿, 评估结论是否客观、正确往往取决于评估人个人经验, 评估过程不够科学、合理。

层次分析法, 简称 AHP, 是指将与决策总是有关的元素分解成目标、准则、方案等层次, 在此基础上进行定性和定量分析的决策方法, 是应用网络系统理论和多目标综合评价方法, 提出的一种层次权重决策分析方法。该方法作为一种定性定量相结合的综合评价方法, 能将复杂问题进行分解, 通过构造判断矩阵, 量化了评估过程, 使得评估过程更为客观, 为最佳方案选择提供科学依据, 目前已在多个领域得到广泛应用[2] [3] [4]。

依据评估指标体系的建立原则, 本项目评估时选择层次分析法(AHP)建立指标体系。在本次评估中, 按照“A 目标层 - U 准则层 - C 因子层”的三级层次结构建立评价指标体系, 通过分析重要程度找到关键性的风险因子。层级结构为树状, 通过结点连接各分支, 高层次的结点受所属低层次若干结点共同影响。本次评估构建的评估指标体系中包含 3 个一级因子和 9 个二级因子作为地质灾害孕灾因子(如表 1)。最终根据表 2 确定危险性分级。

Table 1. Geological hazard assessment index system

表 1. 地质灾害评估指标体系

一级因子	二级因子	因子条件	赋值范围
地质环境条件(U <sub>1</sub> )	地形地貌(C <sub>1</sub> )	构造剥蚀中山	100~65
		构造剥蚀低山	65~35
		构造剥蚀丘陵	35~0

Continued

地质环境条件(U <sub>1</sub> )	岩组(C <sub>2</sub> )	松散岩组	100~75
		软岩岩组	75~50
		软硬相间岩组	50~25
		硬岩岩组	25~0
	地质构造(C <sub>3</sub> )	构造复杂	100~65
		构造较复杂	65~35
		构造简单	35~0
	水文地质(C <sub>4</sub> )	地下水丰富	100~65
		地下水较丰富	65~35
		地下水贫乏	35~0
	不良地质(C <sub>5</sub> )	发育强烈	100~65
		发育中等	65~35
发育弱或不发育		35~0	
地质灾害现状因子(U <sub>2</sub> )	灾害密度(C <sub>6</sub> )	密度大, 覆盖率 ≥ 50%	100~65
		密度较大, 10% < 覆盖率 < 50%	65~35
		密度小, 覆盖率 ≤ 10%	35~0
	灾害规模(C <sub>7</sub> )	大型灾害为主	100~65
		中型灾害为主	65~35
		小型灾害为主	35~0
	危害程度(C <sub>8</sub> )	危害面积大, 超出工程场地范围, 且建(构)筑物较密集	100~65
		危害面积较大, 超出工程场地范围, 但附近建(构)筑物不密集	65~35
仅局限于工程场地		35~0	
工程建设诱发因子(U <sub>3</sub> )	工程规模(C <sub>9</sub> )	构造物类型复杂, 挖填工程量大	100~65
		构造物类型较复杂, 挖填工程量较大	65~35
		构造物类型简单, 挖填工程量小	35~0

Table 2. Geological hazard classification table

表 2. 地质灾害危险性分级表

危险性分级	取值范围
危险性大	100~65
危险性中等	65~35
危险性小	35~0

#### 4.2.3. 确定判断矩阵和权重

本次评估采用 1~9 标度法建立各层次判断矩阵, 见表 3~5。同时对各判断矩阵进行一致性检验[5] [6]。一致性检验时, 首先分别计算判断矩阵的随机一致性指标  $C.I._i$  及  $R.I._i$ :

$$R.I. = \sum_{i=1}^m a_i R.I._i ; \quad C.I. = \sum_{i=1}^m a_i C.I._i$$

然后计算随机一致性指标  $C.R.$  值:

$$C.R. = C.I./R.I.$$

当  $C.R. < 0.10$  时则认为层次总排序的结果具有满意的一致性。若不满足一致性条件, 需对判断矩阵进行调整。

**Table 3.** Evaluation judgment matrix A-U

**表 3.** 评价判断矩阵 A-U

A	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	U <sub>3</sub>	W
U <sub>1</sub>	1	2	2	0.50
U <sub>2</sub>	1/2	1	1	0.25
U <sub>3</sub>	1/2	1	1	0.25

该矩阵  $\lambda_{\max} = 3.0$ ,  $CI = 0$ ,  $RI = 0.58$ ,  $CR = 0 < 0.1$ , 满足一致性检验。

**Table 4.** Evaluation judgment matrix U<sub>1</sub>-C

**表 4.** 评价判断矩阵 U<sub>1</sub>-C

U <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	W
C <sub>1</sub>	1	1	2	2	3	0.297
C <sub>2</sub>	1	1	2	2	3	0.297
C <sub>3</sub>	1/2	1/2	1	1	2	0.158
C <sub>4</sub>	1/2	1/2	1	1	2	0.158
C <sub>5</sub>	1/3	1/3	1/2	1/2	1	0.09

该矩阵  $\lambda_{\max} = 5.014$ ,  $CI = 0.0035$ ,  $RI = 1.12$ ,  $CR = 0.003 < 0.1$ , 满足一致性检验。

**Table 5.** Evaluation judgment matrix U<sub>2</sub>-C

**表 5.** 评价判断矩阵 U<sub>2</sub>-C

U <sub>2</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	W
C <sub>6</sub>	1	1	2	0.40
C <sub>7</sub>	1	1	2	0.40
C <sub>8</sub>	1/2	1/2	1	0.20

该矩阵  $\lambda_{\max} = 5.014$ ,  $CI = 0.0035$ ,  $RI = 1.12$ ,  $CR = 0.003 < 0.1$ , 满足一致性检验。

此时可得到各二级因子的组合权重值, 见表 6:

**Table 6.** Composite weight calculation table

**表 6.** 组合权重计算表

层次 C	层次 U	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	U <sub>3</sub>	层次 C 组合权重值
		0.50	0.25	0.25	
C1		0.297	0	0	0.1485
C2		0.297	0	0	0.1485
C3		0.158	0	0	0.079
C4		0.158	0	0	0.079
C5		0.09	0	0	0.045

Continued

C6	0	0.4	0	0.10
C7	0	0.4	0	0.10
C8	0	0.2	0	0.05
C9	0	0	1	0.25

#### 4.2.4. 评估分区原则及判定评估等级

公路工程为带状工程，常常跨越多个不同的地貌、地质单元，在对拟建公路进行地质灾害危险性评估时，可根据工程地质条件的相似性和差异性将全线(走廊带)划分为不同的评估区，并可根据区内工程地质条件的变化进一步次级分区。本次评估按如下原则对路线走廊进行二级分区：

- 1) 一级分区(工程地质区)：以地形地貌因素作为分区标志；
- 2) 二级分区(工程地质路段)：以岩土的主要工程地质性质差异作为二级分区的标志。

基于以上分区原则，即：I) 构造侵蚀剥蚀中低山工程地质区及 II) 构造侵蚀溶蚀中低山工程地质区两个工程地质区；工程地质路段可分为：A) 非碳酸盐岩软质岩路段、B) 非碳酸盐岩硬质岩路段、C) 碳酸盐岩硬质岩路段。

根据权重分析及各评估区不同因子的赋值情况，通过因子叠加运算，就可以得出各评估区最终的评估分值，再对照表 2 对各评估区进行危险性等级划分。以构造侵蚀剥蚀中低山(I 区)非碳酸盐岩软质岩路段(A)评估区为例(对应路线桩号 K70+000~K71+200)，其最终的评估分值见表 7。

**Table 7.** Comprehensive assessment table of geological hazard of route  
**表 7.** 路线地质灾害危险性综合评估表

一级因子 名称	二级因子 名称	权重	因子赋值	
			条件	赋值
地质环境条件(U <sub>1</sub> )	地形地貌(C <sub>1</sub> )	0.1485	低山区	50
	岩组(C <sub>2</sub> )	0.1485	软岩岩组	60
	地质构造(C <sub>3</sub> )	0.079	构造较复杂	20
	水文地质(C <sub>4</sub> )	0.079	地下水贫乏	20
	不良地质(C <sub>5</sub> )	0.045	发育中等	50
地质灾害现状因子(U <sub>2</sub> )	灾害密度(C <sub>6</sub> )	0.10	10% < 覆盖率 < 50%	20
	灾害规模(C <sub>7</sub> )	0.10	小型灾害为主	20
	危害程度(C <sub>8</sub> )	0.05	危害面积较大，超出工程场地范围， 但附近建(构)筑物不密集	20
工程建设诱发因子(U <sub>3</sub> )	工程规模(C <sub>9</sub> )	0.25	构造物类型较复杂，挖填工程量较大	70

综合分区评判计算结果为 44.25，对照表 2，可判断该评估区危险性等级中等。

同样的，运用该方法，本项目共划分为 31 个评估区。对于 K 线，危险性小区长度约 7.0 km，占 K 线里程总长约 9.7%，危险性中等区长度约 41.7 km，占 K 线里程总长约 58.0%，危险性大区长度约 23.2 km，占 K 线里程总长约 32.3%；对于 BK 线，危险性小区长度约 2.0 km，占 BK 线里程总长约 3.8%，危险性中等区长度约 29.4 km，占 BK 线里程总长约 51.4%，危险性大区长度约 25.7 km，占 BK 线里程总长约 44.7%，评估结果详见表 8。

**Table 8.** Classification table for hazard assessment of geological disasters  
**表 8.** 地质灾害危险性评价分级表

序号	路段	评估打分	危险性
1	K48+960~K49+670	42.55	中等
2	K49+670~K57+185	57.7	大
3	K57+185~K61+600	42.55	中等
4	K61+600~K61+810	60.99	大
5	K61+810~K70+000	42.55	中等
6	K70+000~K71+200	44.25	中等
7	K71+200~K82+050	42.55	中等
8	K82+050~K82+220	60.99	大
9	K82+220~K83+300	42.55	中等
10	K83+300~K84+102	55.8	中等
11	K84+102~K92+500	62.73	大
12	K92+500~K94+000	37.8	小
13	K94+000~K96+300	65.89	大
14	K96+300~K98+550	44.12	中等
15	K98+550~K108+800	59.22	中等
16	K108+800~K109+600	63.98	大
17	K109+600~K114+600	37.8	小
18	K114+600~K118+900	65.89	大
19	K118+900~K120+875	44.12	中等
20	BK44+000~BK58+400	56.53	中等
21	BK58+400~BK75+700	60.99	大
22	BK75+700~BK77+350	44.12	中等
23	BK77+350~BK79+456	60.12	大
24	BK79+456~BK80+414	55.8	中等
25	BK80+414~BK82+974	60.12	大
26	BK82+974~BK91+250	55.8	中等
27	BK91+250~BK91+900	60.9	大
28	BK91+900~BK92+700	44.12	中等
29	BK92+700~BK94+900	34.4	小
30	BK94+900~BK97+900	65.89	大
31	BK97+900~BK101+249.73	59.22	中等

## 5. 结论

本文运用层次分析法对十宜高速兴山至长阳段进行了地质灾害危险性预测及评价。可依据本次地质灾害危险性评估结果,对沿线滑坡(不稳定斜坡)、崩塌(危岩)、岩溶突水突泥、岩溶地面塌陷及采空地面塌陷等地质灾害分布路段进行相应精度的勘探控制,为工程设计、施工确定合理的地质灾害防治措施,提供详尽可靠的地质依据。

---

## 参考文献

- [1] 王存玉. 人为地质灾害和地质环境[J]. 工程地质学报, 1997, 5(4): 362-365.
- [2] 李靖, 邓桃, 潘前. 基于 GIS 和层次分析法的雪崩灾害危险性评估及线路工程减灾对策研究[J]. 四川建筑, 2019, 39(2): 59-61.
- [3] 周广振, 简晓, 朱明明. 基于改进层次分析法的高速公路交通安全评价[J]. 公路交通技术, 2015(3): 120-123.
- [4] 许冲, 戴福初, 姚鑫, 等. GIS 支持下基于层次分析法的汶川地震区滑坡易发性评价[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(S2): 3978-3985.
- [5] 郭礼照, 杨三强, 周良川, 等. 基于模糊层次分析法的高速公路交通安全综合评价[J]. 交通科技与经济, 2017, 19(2): 8-12.
- [6] 张吉军. 模糊层次分析法(FAHP) [J]. 模糊系统与数学, 2000, 14(2): 80-88.