

洞穴顶板稳定性评价及其应用

李海华<sup>1</sup>, 鲁光银<sup>2</sup>

(1.肇庆市广贺高速公路有限公司 广东 四会 526040 2.中南大学 地学与环境工程学院 湖南 长沙 410083)

摘 要 :采空区及岩溶洞穴地基稳定性的分析评价经历了一个定性→半定量→定量的过程 ,文章从这 3 个方面出发 ,系统地研究了采空区及岩溶洞穴地基顶板稳定性的分析评价方法 ,并将半定量评价法应用于某一具体的工程实例。

关键词 :采空区 ;顶板 ;稳定性 ;评价

中图分类号 :TD321+.1 文献标识码 :A 文章编号 :1006-8937(2009)03-0044-03

Stability appraisalment and application of cavity roof

LI Hai-hua<sup>1</sup> ,LU Guang-yin<sup>2</sup>

(1.Zhaoqing Highway Co., Ltd., Sihui, Guangdong 626040 , China;2.School of Geology and Environmental Information Engineering, Central South University, Changsha, Hunan 410083, China)

**Abstract:**The procedure of stability analysis and appraisalment in gob and carst cavity has experienced qualitative, semi-quantitative and quantitative methods. This paper starts from the three aspects, carefully analysis the appraisalment methods of roof stability in gob and arst cavity. Finally, it use the semi-quantitative method to appraise a detail example.

**Keywords** gob ;roof ;stability ;appraisalment

由采矿开挖导致的采空区洞穴、岩溶洞穴 ,包括基岩中岩溶洞穴及第四系松散覆盖层中洞穴 ,其顶板常因失去稳定而坍塌。顶板坍塌是隐蔽的 ,事先几乎无任何先兆 ,一旦发生破坏 ,造成的后果相当严重 ,因此如何评价顶板稳定性问题是工程建设中急待解决的问题<sup>[1-2]</sup>。

影响采空区洞穴及溶洞洞体顶板稳定的因素很多 ,内因有顶板厚度及完整程度、洞体跨度及形态、岩体强度及产状、裂隙状况及洞内充填情况 ,外因有荷载大小、作用次数和时间、温度、湿度等。采空区及岩溶洞穴地基稳定性的分析评价经历了一个定性→半定量→定量的过程<sup>[3-6]</sup>。本文从以上 3 个角度分别对洞穴顶板的稳定性评价方法做了较为系统的研究 ,并具体分析了某一工程实例。

1 定性评价方法

定性评价是一种经验方法 ,简便易行 ,但在使用中具有明显的随意性 ,评价结果往往因人(经验水平)而异 ,但若能对影响稳定性评价的各项因素进行充分地综合分析 ,并能在勘察与工程实践中不断验证修订 ,仍可得出正确的结论。定性评价法适用于初勘阶段选择场地及一般工程地基稳定性分析评价 ,它包括综合分析法和经验类比法。

1.1 综合分析法

综合分析法着重分析岩溶形态及各项地质条件 ,并考虑外荷载的影响来判定其稳定性。对岩洞应了解 ,洞体

大小、顶板的厚度和形状、岩体的结构及强度、结构面及其分布与空间组合、洞内充填情况以及水的活动等。结合洞体的埋深、上覆土层的厚度、基础形式、荷载条件综合分析 ,在适当情况下 ,还可参照天然溶洞稳定性分级进行洞体稳定性评价。

1.2 经验类比法

经验类比法是以已有工程实例为基础 ,通过条件的比拟 ,进行定性的评价。使用中应注意经验的随意性 ,把握影响稳定评价的各项因素并进行综合分析 ,并在工程实践中验证修订。该方法根据评价对象的洞隙条件 ,与条件相似的已有成功或失败工程实例进行模拟评价。

2 半定量评价方法

由于洞体受力状况、围岩应力场的演变十分复杂 ,要确定洞体破坏形式和取得符合实际的岩体力学参数又很困难 ,加之受到探测手段的局限 ,很难查清洞体与围岩的边界条件与性能指标。因此 ,定量评价方法的应用在工程实践中受到很大的限制 ,而半定量的评价方法较为实用 ,并且目前也在不断的探索提高。

2.1 安全采深估算(顶板厚跨比)法

对于岩溶洞穴 ,根据近似的水平投影跨度 L 和顶部最薄处厚 h ,求出厚跨比 h/L ,作为安全厚度评价依据 ,不考虑顶板形态、荷载大小和性质。因水平洞顶比拱形差 ,故取近似水平状态的 h/L 作为估算安全厚度的最小比值 ,由经验知  $h/L \geq 0.5$  是安全的 ,一般可取  $h/L \geq 1.0$  作为安全界限。

对于采矿采空区 ,考虑采空区顶板岩体为重力下落 ,

允许开采之最小埋深计算如下:

$$H_s = B / \tan^2(45^\circ - \Phi/2) \tan \Phi \quad (1)$$

式中  $H_s$  为最小允许开采埋深,  $B$  为采宽 (m); 平均值  $\Phi$  为采空区顶板岩体的内摩擦角。

## 2.2 估算顶板安全厚度法

对于岩溶洞穴, 将溶洞围岩视为结构自承重体系, 据洞体形态、完整程度、裂隙情况进行内力分析, 所得  $h$  再加适当安全系数, 即为顶板安全厚度。

对于采空区洞穴, 计算顶板保护层的最小厚度, 即临界厚度 ( $H_0$ )。

$$H_0 = (0.25 \sim 0.35)(B + H) \quad (2)$$

式中  $B$  为采宽 (m),  $H$  为采高 (m),  $B$  和  $H$  均取平均值。

## 2.3 顶板冒落高度估算

对于采空区顶板冒落高度, 根据采矿工程手册计算各采空区顶板冒落高度 ( $H_i$ ):

$$H_i = [100M / (4.6 + 19)] + 2.2 \quad (3)$$

式中  $M$  为矿房开采高度 (累加高度)。

## 2.4 散体理论分析法

借助于隧道工程设计中采用的松散介质力学平衡理论, 结合地质条件, 简化引用。散体理论法主要有坍塌堵塞法和经验公式法。

## 2.5 试验测试法

通过实验确定岩溶顶板的稳定性, 主要有电阻应变片测试法和载荷试验法。

# 3 定量评价法

此法因涉及岩土体力学参数和边界条件甚多且不易确定, 故一般先由假定条件建立相应的物理力学模型或数学模型, 再进行分析计算, 据结果对岩溶空洞稳定性作出评价和判断。

## 3.1 稳定系数法

基底以下浅埋洞体稳定性评价取决于两类作用力的关系: 致塌力, 包括洞顶岩土自重、附加荷载、垂向和侧向渗流力、真空吸蚀力、振动力; 抗塌力包括塌落岩土体局边摩阻力及颗粒联结粘聚力。

## 3.2 普氏压力拱理论分析法

普氏压力拱理论是普遍使用的顶板稳定性分析方法, 适用于上覆岩土层厚度  $h > (2.0 \sim 2.5)h_1$  的深埋洞体, 在岩土体中可以形成自然平衡拱 (压力拱、塌落拱), 压力拱高  $h_1$  与洞跨  $2b$  和洞高  $h_0$ , 以及土层内摩擦角及坚固系数  $f_i$  有关。

## 3.3 有限元数值分析法

有限元法是一种十分成熟的数值方法, 它几乎适用于所有的计算领域, 具有适用性强、处理非均质、非线性、复杂边界问题方便等突出优点。目前, 有限元法已广泛应用于地基基础工程、地下工程等领域, 是分析岩土工程问题最有效的方法之一。经过几十年的发展和应用, 积累了

大量的程序资料, 但大多数有限元程序都是针对结构问题开发的, 用于岩土工程问题还有许多困难, 特别是没有引入适合岩土材料的弹塑性模型, 此外, 有限元前后处理程序不完善, 并且程序的数据输入量大, 很难避免数据输入错误。故有限元法的应用, 有待进一步发展和完善。

## 3.4 应用统计法

上述各种分析方法都是针对洞体单体而言。对于整个岩溶区地基稳定性的评价, 文献[7]、[8]根据岩溶塌陷成因和形成条件, 应用数学地质方法, 提出了一种定量评价和预测岩溶塌陷的方法——逐步判别分析法。同时, 文献[9]在应用地质定性分析的基础上去合多元统计的定量方法, 探讨出一种对岩溶塌陷区发展趋势预测和评价的有效方法。

# 4 工程实例

某石膏矿区位于石门县南部, 距石门县城直距 32 km, 共有 5 个采矿企业, 本次分析的天德主井—澧南、蕲城实业、天台、金鑫南、金鑫北、天德北和天德风井落平 7 个采空区。由勘测资料可知, 矿区出露的地层简单, 由下至上依次为二叠系下统栖霞组 ( $P_{1q}$ )、第三系古新统 ( $E_1$ )、第四系全新统 ( $Q_h$ ), 各地层分布特征及岩性如下:

二叠系下统栖霞组 ( $P_{1q}$ ): 岩性为青灰色厚层含硅质生物泥晶灰岩, 可见厚度 10~20 m; 第三系古新统 ( $E_1$ ): 主要为长石石英砂岩、泥质粉砂岩、粉砂岩, 含膏岩系分部于此层, 由含石膏的泥岩、泥质粉砂岩、钙质粉砂岩组成。厚度 (平均) 276 m; 第四系全新统 ( $Q_h$ ): 主要含砾粘土或砂砾层, 厚度小。

## 4.1 采空区稳定性评价方法

本次评价采用半定量评价方法, 由公式 (1)~(3), 计算了各采空区的安全开采深度、顶板保护层应保留厚度、冒落高度, 并选取计算所得到的安全开采深度 ( $H_s$ )、顶板保护层厚度 ( $H_s$ )、采空比三项指标对采空区稳定性进行分级分区。共分为四级, 即 级为不稳定 (区), 级为稳定性差 (区), 级为基本稳定 (区), 级为稳定性好 (区)。

根据矿山开采经验, 三项指标各自的稳定性划分标准为:

①安全开采深度 ( $H_s$ ): 开采深度 ( $H_k$ )  $< H_s$  时, 为不稳定;  $H_s \leq H_k \leq 1.5H_s$  时, 稳定性差;  $H_k > 1.5H_s$  时, 稳定。

②顶板保护层厚度 ( $H_0$ ): 实有厚度小于应有厚度最小值时为不稳定; 实有厚度大于或等于应有厚度最小值, 但小于或等于应有厚度最大值时, 为稳定性差; 实有厚度大于应有厚度最大值时为稳定。

③采空比: 采空比  $> 60\%$  为不稳定;  $40\% \leq$  采空比  $\leq 60\%$  为稳定性差; 采空比  $< 40\%$  为稳定。

采空区稳定性进行分级分区标准如下:

级, 不稳定 (区): 三项指标的稳定性结论均为不稳定;

级, 稳定性差 (区): 三项指标的稳定性结论有一项

或多项为稳定性差,其余为不稳定;  
级 基本稳定(区):三项指标的稳定性结论必须有一项为稳定;  
级 稳定性好(区):三项指标的稳定性结论均为稳定。

4.2 各采空区的稳定性评价

根据以上标准对各采空区进行分级,分级结果见表1。从分级结果看,天德主井—澧南采空区、藪城实业大部分采空区和天台的部分采空区属不稳定区( ),天德主井—澧南采空区已形成塌陷,藪城实业部分采空区、天台的部分采空区和金鑫南、天德北、天德风井落平采空区属稳定性差区( );天台的部分采空区和金鑫北采空区属基本稳定区( )。天台采空区稳定性分级横跨三级,其中采空底板高程10 m以上为不稳定区( );采空底板高程 10 m~-35.0 m 为稳定性差区 ( );采空底板高程-35 m 以下为基本稳定区( )。

表 1 采空区稳定性评价总表

采空区名称	安全开采深度 Hs(m)	顶板保护层厚度 H <sub>0</sub>		冒落高度 H <sub>1</sub> (m)	采空比 (%)	稳定性评价	
		实有厚度 (m)	应有厚度 (m)			等级	等级代号
天德主井-澧南	160.0	2.5	8.7~12.3	87.0	86.0	不稳定,已塌陷	
藪城实业	120.0	2.6	7.8~10.9	66.0	78.0	不稳定-稳定性差	
天台	94.0	1.8	6.9~9.6	53.0	67.0	不稳定-基本稳定	
金鑫南	75.0	2.0	6.3~8.7	66.0	91.0	稳定性差	
金鑫北	66.0	2.5	5.3~7.4	53.0	81.0	基本稳定	
天德北	144.0	3.0	9.~12.9	48.4	76.0	稳定性差	
天德风井落平	94.0	0~2.0	6.0~8.4	36.0	88.0	稳定性差	

5 结 语

采空区及岩溶洞穴地基稳定性的分析评价经历了一个定性→半定量→定量的过程,本文从这 3 个方面出发,系统研究了采空区及岩溶洞穴地基稳定性的分析评价方法,其中,定性法包括综合分析法和经验类比法;半定量

法包括安全采深估算(顶板厚跨比)法,估算顶板安全厚度法,顶板冒落高度估算,散体理论分析法和试验测试法;定量评价法包括稳定系数法,普氏压力拱理论分析法,有限元数值分析法和应用统计法等。最后,文章将半定量评价法应用于某一具体的工程实例。

参考文献:

[1] 吴梦军,许锡宾,刘绪华,等.岩溶对公路隧道围岩稳定性的影响研究[J].地下空间,2003,23(1):59-62.  
[2] 牟春梅.岩溶区地基岩体溶洞顶板稳定性评价[J].西部探矿工程,2002,(4):33-35.  
[3] 黎斌,范秋雁,秦凤荣.岩溶地区溶洞顶板稳定性分析[J].岩石力学与工程学报,2002,21(4):532-536.  
[4] 蒋继昭.柳州至桂林高速公路西河大桥 2 号墩溶洞稳定性评价与容许承载力的确定[J].广西交通科技,1995,20(4):29-31.  
[5] 朱寿增,周健红,陈学军.桂林市西城区岩溶塌陷形成条件及主要影响因素[J].桂林工学院学报,2000,20(2):100-105.  
[6] 刘之葵,梁金城,周健红.岩溶区上洞发育机制的分析[J].工程地质学报,2004,12(1):45-49.  
[7] 牟春梅.岩溶区地基岩体溶洞顶板稳定性评价[J].西部探矿工程,2002,(4):33-35.  
[8] 赵明阶,王学军,刘绪华.隧道侧岩溶分布对围岩稳定性影响的数值模拟研究[J].重庆建筑大学学报,2003,25(1):6-11.  
[9] 周建普,李献民,张可能.岩溶地基处理方法[J].矿冶工程,2002,22(1):32-33.

《小产品生产实用技术》

随着市场经济的快速发展,一些量大面广的农副产品加工技术、小商品生产技术倍受读者的青睐。为进一步总结交流生产技术经验,促进小产品生产的发  
展,应广大读者的恳切要求,本刊特组织有关专业技术人员收集、编辑了近年来国内行之有效的“小产品生产实用技术”资料。这些加工制作技术投资少、见效快、无风险、易上马,有较强的实用性、可操作性。它是脱贫的好帮手,致富的活“财神”。可以相信,该资料的出版,定会对广大城镇、农村扶贫致富有较大的帮助。

该资料分为 5 个部分,共计 271 项:  
(1)食品加工制作 (2)小建材生产方法 (3)化学日用品制法 (4)工艺品及其它小商品制作 (5)资源综合利用。  
《小产品生产实用技术》为大 32 开,定价为 22 元,欲订购者请汇款至本刊读者服务部。  
地 址 (410001)湖南省长沙市八一路 59 号  
电 话 (0731)4586795  
联系人:《企业技术开发》读者服务部