

基于矿山工程特点的地质灾害危险性评估

以河南某石灰岩矿山为例

郭新华, 郭文秀, 田小玉
(河南省国土资源科学研究院, 河南 郑州 450053)

摘要: 矿山工程的特点: 建设项目分散; 地质环境条件相对复杂; 各功能区对地质环境的要求及破坏程度差异较大。针对矿山分项工程的地质灾害危险性评估, 对指导矿山地质灾害防治具有现实意义。文章以河南某地石灰岩矿山为例, 着重介绍矿山分项工程地质灾害危险性预测评估的基本思路、分析方法及防治对策。在查清地质环境条件及地质灾害现状基础上, 结合采矿工程破坏性强、爆破材料仓库对环境要求高等分项工程的特点, 以表格的形式分别对矿山工业广场、采矿场、碎石车间、爆破材料库、矿石库、废石场等分项工程引发、加剧和遭受地质灾害的危险性进行预测。根据地质灾害的危害对象、危害程度和期望价值损失率对分项工程建设场地的危险性及适宜性进行评估, 并分类、分项提出地质灾害防治措施。实践证明, 以分项工程为研究单元的矿山地质灾害逐项分析预测模式, 所得结论与建议, 便于矿山工程设计、施工和运行管理人员对地质灾害评估成果的运用。

关键词: 矿山工程; 分项工程; 地质灾害; 危险性评估; 河南省

文章编号: 1003-8035(2006)01-0113-06 **中图分类号:** P642 2 **文献标识码:** A

1 前言

矿山工程具有建设项目分散、地质环境条件相对复杂、各功能区对地质环境的要求及破坏程度差异较大等特点, 针对这些特点开展矿山地质灾害危险性评估, 对指导矿山地质灾害防治具有现实意义。本文结合某石灰岩矿山地质灾害危险性评估实例, 着重介绍矿山分项工程地质灾害危险性预测评估的基本思路、

方法及防治对策。

1.1 工程概况

拟建矿山工程位于河南省中西部丘陵区, 详查探明的水泥石灰岩矿体东西长约 1860m, 南北宽 400~500m(裸露地表), 矿层倾向 NE10~20°, 倾角 9~20°, 设计生产能力 200 10⁴t/a, 为一大型矿山。共有 6 个分项工程零星分布于方圆约 2 0km² 范围内(表 1)。

表 1 分项工程一览表
Table 1 Subentry projects

分项工程名称	占地面积(m ²)	场地地形特点	主要建筑(设施)	工程活动特点
矿山工业广场	150 180	高平台	办公室, 汽车库, 水泵房, 材料库, 储油库, 变电所, 汽修间, 洗车台	平整场地
采矿场	1900 480	微凸岩丘	大型挖掘机, 装载机, 推土机, 运输车	露天爆破采矿, 采坑最大深度 70m
碎石车间	40 50	傍河平台(河岸有岩质陡坎)	重型折式给料机, 单段锤式破碎机, 起重	有动力机器基础振动
爆破材料库	140 70	斜坡, 平均坡度<12°, 局部<60°	20t 炸药, 5 万发雷管	平整场地
矿石库	60 50	丘间低平地		露天堆放(中转)场
废石场	360 240	丘间洼地	堆废渣 270 万 m ³	露天堆放

1.2 矿区地质环境条件及评估工作级别

矿区的南、北两侧分别为石河和田河, 龙兴寺中型水库紧靠矿区南侧(图 1); 地貌类型相对单一, 地形略有起伏, 地面高程 270~350m, 相对高差 70~80m, 在石河和田河凹岸有岩质陡崖多处, 平均地形坡度约 5%; 组成地表的物质以古生界寒武系石灰

岩、白云质灰岩、页岩为主, 在洼地部位分布有薄层第四系松散堆积物, 地层岩性岩相稳定; 远离全新活动

收稿日期: 2005-01-05; 修回日期: 2005-01-27
作者简介: 郭新华(1956), 男, 教授级高级工程师, 主要从事地质灾害防治与岩土工程研究。

断裂,地质构造相对简单;采矿区及主要工程场地岩土体工程地质性质良好,局部岩层中的节理裂隙和岩溶中等发育;受龙兴寺水库和河流的影响,开采深部矿体的工程水文地质条件较差;破坏地质环境的人类(已有零星采矿)工程活动较强烈;现状调查地质灾害发育程度一般。局部沿河陡崖和废弃采石坑有崩塌现象。石河、田河河床内有泥石流堆积。

拟建矿山工程为重要建设项目,评估区地质环境条件复杂程度中等,评估工作级别为一级。

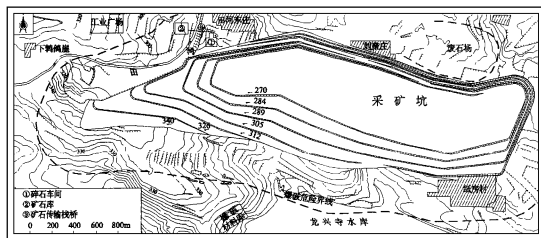


图1 矿山工程规划平面布置图

Fig.1 The planning map of mine projects

2 矿山建设引发、加剧地质灾害危险性的预测

2.1 矿山建设引发地质灾害危险性的预测

2.1.1 采矿引发崩塌灾害的危险性预测

采矿区位于龙兴寺水库北岸,露天采矿最大深度70m,采矿高程低于龙兴寺水库最高洪水位13.62m(图2);岩体中构造节理、裂隙、溶隙比较发育。从岩层产状、岩体工程地质水文地质条件多因素综合分析,均不利于矿坑边坡的稳定。其中采矿坑南边坡为顺层坡,又受龙兴寺水库水位压力及渗透水的影响,是最不利地段;采矿坑NE边距废石场很近,地面附加荷载大,为易引发高边坡崩塌的部位。由于采坑深度大,内有从事生产作业的矿山员工和机械设备,南侧靠近龙兴寺中型水库,预测采矿活动引发采矿坑边坡崩塌灾害的危险性中等。

2.1.2 碎石车间建设引发崩塌灾害的危险性预测

碎石车间位于矿区NW部的田河东岸,场地西边距田河东岸陡坎约12m(图3)。该处陡坎高4~6m,坡度大于70°,组成岩石为寒武系上统蓟山组中厚层泥质条带白云岩,构造节理、裂隙和岩溶较发育。工程建设增加了该陡坎的顶部荷载,碎石机运行中的动荷载对该陡坎的稳定性也产生一定影响。本分项工程建设有引发田河东岸岩质陡坎崩塌的可能性。陡坎崩塌的

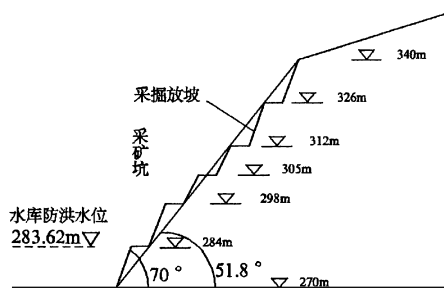


图2 采坑北侧设计边坡示意图

Fig.2 The sketch map of the designed side slope at the northern side of the mining pit

注:图中数字为海拔高程(m)

危害对象主要是碎石车间基础及其矿石传输系统。其次,对田河排泄洪水也有不利影响。据现场调查,该陡坎高度不大,岩体较稳定;工程避开距离大于陡坎高度的2倍。预测其危害程度不大,危险性小。

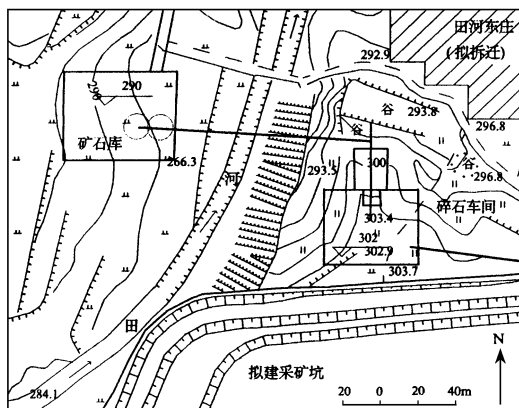


图3 碎石车间和矿石库场址地形图

Fig.3 The relief map at the ore grinding plant and ore storage site

2.1.3 爆破材料库建设引发滑坡灾害的危险性预测

爆破材料库位于采矿区SW侧的斜坡部位,南距龙兴寺水库北岸100m,主要建筑有炸药库和雷管储存库,属高危险物资储运场所。根据现场调查,该场地平均地面坡度大于12°,且有大于60°的不稳定斜坡存在(图4)。在出露的寒武系中统泥质条带灰岩夹页岩地层中,构造裂隙发育,库房建设挖、填石量较大,有引发不稳定斜坡失稳的可能性。考虑到该场地将存放大量的易燃易爆物品,预测对矿山和龙兴寺水库的安全威胁大,次生灾害危害严重,其危险性大。

2.1.4 废石场引发泥石流灾害的危险性预测

矿山废石场位于采坑的NE侧,现场为一SE走向的自然冲沟,沟宽约100m,沟底较平缓,深约10~

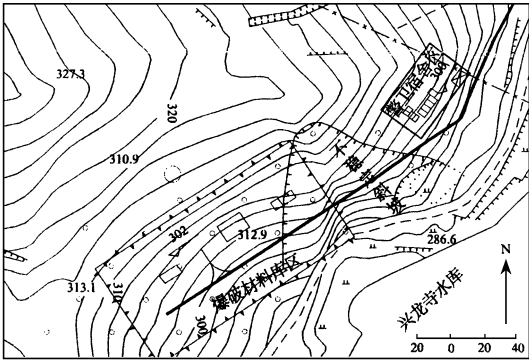


图 4 爆破材料库场址地形图

Fig. 4 The relief map at the explosion material storage site

25m, 向下游与田河交汇。预测废石堆放量 270 万 m^3 。目前圈定的废石堆场面积约 8 64 万 m^2 , 按自然堆放计算, 废石堆高度 93m, 斜坡达 29°, 堆顶高程可达到 380m, 成为评估区最高点; 如果按碎石土的天然休止角 25° 计算, 需占地面积 9 8 万 m^2 , 超过了设计划定的场地面积, 废石场有引发泥石流灾害的可能性。但废石引发的泥石流灾害对矿山工程影响不大, 主要危害下游沿线村庄。经预测分析, 泥石流对下游的危害程度较轻—较严重, 危险性中等; 对矿山工程

表 2 矿山建设加剧的地质灾害危险性预测分析一览表

Table 2 Risk prediction analysis of geological disasters exaggerated by the mine construction

分项工程名称	主要不利地质环境条件分析	工程建设特点分析	加剧灾害种类	危害对象	危害程度	易损性分析	危险性预测评估
采矿场 (坑)	田河南岸陡崖较发育, 高度 10~30m, 田河在该段的侧蚀作用较强, 现状有崩塌 危岩体分布	最大开挖深度 70m, 西北侧直接开挖到田河岸边, 采矿爆破和大型机械作业	崩塌	田河河道堵塞, 排洪受阻; 石门口水库淤积	较轻	经济损失小, 一般无人员伤亡	危险性小
采矿场	距田河太近, 田河南岸陡崖较发育, 高度 10~30m, 田河在该段的侧蚀作用较强, 现状有崩塌 危岩体分布	采矿爆破、大型机械作业, 对陡崖有破坏作用	泥石流	田河河道堵塞, 排洪受阻; 石门口水库淤积	较轻	经济损失小, 一般无人员伤亡	危险性小

3 矿山建设可能遭受地质灾害危险性的预测

矿山建设可能遭受地质灾害的种类、危害对象、危害程度、工程易损性分析及危险性预测评估见表 3。根据表 3, 爆破材料库遭受滑坡灾害的危险性大; 采矿场和碎石车间遭受崩塌灾害的危险性中等, 遭受岩溶塌陷灾害的危险性小; 废石场遭受泥石流灾害的危险性小; 矿山工业广场和矿石库遭受岩溶塌陷灾害的危险性小。

的危害轻微, 危险性小。
2 1 5 矿山工业广场、采矿场、碎石车间和矿石库引发岩溶塌陷灾害的危险性预测

现场调查中发现, 在评估区北部(田河北岸)的寒武系上统厚层状石灰岩地层中, 地表岩溶现象发育, 有多处岩溶洞穴, 直径 0.2~1.2m, 最大可探深度 30m; 地面溶蚀现象较发育, 如溶隙、溶坑、溶孔等。根据矿山设计和矿区水文地质条件, 工业广场、碎石车间、矿石库和采矿场北半部位于岩溶较发育地区, 其中工业广场、碎石车间、矿石库属加荷场地, 采矿场对石灰岩岩体的破坏较强, 均有引发岩溶塌陷灾害的可能性。岩溶塌陷对工业广场、碎石车间、矿石库和采矿场均有危害。但因建筑物荷载不大, 岩体自身工程地质性质良好, 采矿活动不会造成地下水位大幅度下降, 岩溶塌陷的规模 and 危害程度有限, 预测其危险性小。

2 2 矿山建设加剧地质灾害危险性的预测

采矿活动加剧的灾害种类主要有崩塌、泥石流, 其危险性预测详见表 2。结果表明, 采矿场加剧崩塌和泥石流灾害的危险性小。

4 地质灾害危险性综合评估及建设场地适宜性评估

4 1 综合评估原则与量化指标

4 1 1 综合评估原则

综合考虑评估区的地质环境条件、现状评估和预测评估结果, 结合矿山工程特点及地质灾害的发育程度、危害对象、危害程度、防治难度等因素, 重点以威胁人身安全和造成损失的大小作为危险性级别划分依据; 对同一分项工程则按危险性级别取最高的原则确定危险性等级。

表 3 矿山建设遭受的地质灾害危险性预测分析一览表
Table 3 Risk prediction analysis for geological disasters which the mine construction are subjected

分项工程名称	主要不利地质环境条件分析	工程建设特点分析	遭受灾害种类	对本工程的危害程度	工程易损性分析	危险性预测评估
矿山工业广场	岩溶较发育	工业广场建有办公、生活设施	岩溶塌陷	较轻	经济损失较小	危险性小
采矿场(坑)	南侧有龙兴寺水库,边坡为顺层坡;构造节理、裂隙、岩溶较发育;	最大开挖深度 70m,低于水库最高洪水位 13.62m;北侧有废石(渣)堆及其附加荷载	崩塌	较严重	对采矿作业的人员、机械有威胁,经济损失较大	危险性中等
			岩溶塌陷	较轻	经济损失小	危险性小
碎石车间	西侧有田河侧蚀形成的陡坎,高 4~6m,场址距陡坎约 12m;南侧紧靠采矿坑	建筑物加荷,碎石机振动对西侧陡坎和采矿坑边坡稳定有不利影响	崩塌	较严重	影响建筑地基和设备基础,经济损失较大	危险性中等
			岩溶塌陷	较轻	经济损失较小	危险性小
爆破材料库	场地地形坡度>12°,局部有不稳定斜坡,岩层构造节理、裂隙较发育	存放 20t 炸药,5 万发雷管,属危险建筑;平整场地对斜坡有影响,且还会形成新的人工陡坎	滑坡	严重	经济损失大,有较多人员伤亡	危险性大
矿石库	岩溶较发育	矿石堆放	岩溶塌陷	较轻	经济损失较小	危险性小
废石(渣)场	场地面积狭窄	废石(渣)量 270 万 m ³ ,堆渣高度大	泥石流	轻微	经济损失小	危险性小

4.1.2 量化指标的确定

鉴于评估区面积不大、矿山工程分散、采矿坑挖掘深度大等特点,地质灾害危险性评估的分级指标以定性-半定量为主。根据地质灾害发育条件,危害范围及对象,承灾体的重要性、危害程度及后果,估算受灾体的期望价值损失率作为危险性分级依据:

$$I = J_{损} / J_{总} \times 100\%$$

式中: I 受灾体期望价值损失率(%);
 $J_{损}$ 受灾体遭受破坏预测损失,一般用经济指标衡量(万元);
 $J_{总}$ 受灾体灾前价值,一般用经济指标衡量(万元)。
 I 值的确定根据危害对象的重要性、危害部位及其产生的后果逐项工程分析取值(表 4)。

表 4 地质灾害危险性综合评估分级标准
Table 4 Grade standards of the comprehensive risk evaluation for geological disasters

危险性等级	主要灾种	地质灾害发育条件	危害范围及对象	分项工程相对重要性	危害程度及后果	I (%)
危险性小	岩溶塌陷,小型崩塌,泥石流	侵蚀地貌不发育;局部岩溶较发育;河流侧蚀形成的陡崖-危岩体零星分布,规模不大;河道汇水面积和泥石流物质来源有限;矿山建设对地质环境影响不大	矿山工业广场,矿石库,没有采矿活动的地段	对矿山生产影响不大	对人身和机械没有威胁,危害不大,防治难度小	< 5
危险性中等	崩塌,泥石流	矿山建设对地质环境影响较大;有采矿形成的高边坡-危岩体,岩体层间裂隙、构造裂隙、岩溶裂隙较发育,成兴寺水库洪水位高,地下水渗透条件好,废石堆对采矿坑边坡稳定也有影响;废石堆体积和高度过大	采矿坑,碎石车间房,废石场下游沟、河及小型水库、零星农田	对矿山生产和人身、设备安全影响较大	对人身和机械设备有威胁,危害较大,后果较严重,防治难度较大	$5 \sim 35$
危险性大	滑坡	自然地形坡度较大;现有不稳定斜坡;平整场地对地质环境影响大	爆破材料库	存放 20t 炸药和 5 万发雷管,属危险建筑	离龙兴寺水库和矿区附近,破坏后果十分严重	> 35

4.2 地质灾害危险性综合评估

根据现状评估和预测评估结果,分别对各分项工程地质灾害危险性进行综合评估(表 5)。其结果:矿山工业广场、矿石库地质灾害危险性小,主要灾种是岩溶塌陷;采矿场、碎石车间、废石场地质灾害危险性

中等,其中采矿场和碎石车间以崩塌灾害为主,泥石流和岩溶塌陷灾害为次,废石场主要为泥石流灾害;爆破材料库地质灾害危险性大,主要灾种是滑坡。

4.3 建设场地适宜性评估

各分项工程建设场地适宜性评估结果,矿山工业

表 5 各分项工程建设场地地质灾害危险性综合评估表

Table 5 Comprehensive risk evaluation of geological disasters at the construction sites of subentry project

分项工程名称	现状评估 危险性级别	预测引发灾害		预测加剧灾害		预测遭受灾害		I (%)	综合评估 危险性级别
		灾种	危险性级别	灾种	危险性级别	灾种	危险性级别		
矿山工业广场	小		小	岩溶塌陷 崩塌	小 中等	岩溶塌陷 崩塌	小 中等	< 5 15	小
采矿场	小	崩塌	中等	泥石流 岩溶塌陷	小 小	泥石流 岩溶塌陷	小 小	< 5 < 5	中等
碎石车间	小	崩塌	小	泥石流 岩溶塌陷	小 小	崩塌 岩溶塌陷	中等 小	10 < 5	中等
爆破材料库	小	滑坡	大		小	滑坡	大	> 50	大
矿石库	小		小		小	岩溶塌陷	小	< 5	小
废石场	小	泥石流	中等		小	泥石流 岩溶塌陷	中等 小	5~ 10 < 5	中等

广场和矿石库场地适宜工程建设; 采矿场、碎石车间 治措施, 爆破材料库场地适宜性差, 需采取避让或加
和废石场场地基本适宜工程建设, 需要采取一定的防 固处理措施(表 6)。

表 6 各分项工程建设场地适宜性评估表

Table 6 Feasibility evaluation at construction sites of the subentry project

分项工程名称	分级说明	适宜性级别
矿山工业广场	地质环境条件复杂程度简单, 工程建设引发、加剧地质灾害的可能性小, 危险性小, 遭受岩溶塌陷灾害的危险性小, 防治难度小	适宜
采矿场	裂隙、岩溶较发育, 地质环境条件复杂程度中等, 工程建设遭受崩塌灾害的危险性中等, 引发、加剧崩塌灾害的危险性中等, 但采取措施可避免受灾	基本适宜
碎石车间	靠近陡坎地形, 地质环境条件复杂程度简单, 工程建设引发、加剧崩塌、岩溶塌陷灾害的危险性小, 遭受崩塌灾害的危险性中等, 但采取防治措施可减免损失	基本适宜
爆破材料库	地形坡度较大, 有不稳定斜坡, 地质环境条件复杂程度中等, 工程建设引发滑坡灾害的危险性大, 遭受滑坡灾害的危险性大, 危害后果严重, 防治成本高	适宜性差
矿石库	地质环境条件复杂程度简单, 工程建设遭受地质灾害的可能性小, 引发、加剧地质灾害的可能性小, 危险性小, 防治任务小	适宜
废石场	地质环境条件复杂程度简单, 工程本身遭受泥石流灾害的危险性小, 工程建设引发、加剧泥石流灾害的危险性中等, 但采取防治措施后可避免损失	基本适宜

4 4 防治措施可能遭受的地质灾害类型、危险性级别、场地适宜级

4 4 1 各类地质灾害的防治措施别制订针对性的防治措施(表 7)。

根据 以防为主, 避让与治理相结合 的原则, 对

表 7 各类地质灾害防治措施一览表

Table 7 Prevention and control measures for the geological disasters

地质灾害类型	分布位置	危险性级别	场地适宜性级别	主要防治措施
滑坡	爆破材料库现址	危险性大	适宜性差	避让或加固处理
崩塌	采矿场及其周边, 碎石车间 场区及其附近的田河东岸	危险性中等	基本适宜	放坡、护坡、减载、防水、 避让、加强监测
泥石流	废石场及其下游沟谷地带	危险性中等	基本适宜	扩大堆石场容积、建拦截坝、疏通水道、 防暴雨冲刷、加强监测
岩溶塌陷	矿山工业广场、矿石库, 碎石车间, 采矿场	危险性小	适宜	以监测为主, 发现塌陷 及时回填或加固

4 4 2 各分项工程地质灾害防治措施程可能遭受的不同灾害类型、危险性大小、场地适宜

矿山设计、施工和运行过程中, 针对不同分项工 性级别, 分别制订地质灾害防治措施(表 8)。

表 8 各分项工程地质灾害防治措施一览表

Table 8 Prevention and control measures for the geological disasters in subentry projects

分项工程名称	地质灾害类型	危险性级别	场地适宜性级别	主要防治措施
矿山工业广场	岩溶塌陷	小	适宜	以监测预防为主,发现塌陷及时采取回填或加固措施
	崩塌	中等		注意放坡、护坡、减载、防水、避让,加强监测
采矿场	泥石流	小	基本适宜	废石场远离采矿坑,修建拦截堤,疏通排水,防止洪水灌入采坑,加强监测
	岩溶塌陷	小		以监测预防为主,发现塌陷及时采取回填或加固措施
碎石车间	崩塌	中等	基本适宜	选址尽量远离田河陡坎,采矿场在靠近碎石场部位预留保安距离,注意放坡、护坡、防水,加强监测
	岩溶塌陷	小		以监测预防为主,发现塌陷及时采取回填或加固措施
爆破材料库	滑坡	大	适宜性差	避让,无法避让时对斜坡加固,疏通排水,地面防水,加强监测
矿石库	岩溶塌陷	小	适宜	以监测预防为主,发现塌陷及时采取回填或加固措施
废石场	泥石流	中等	基本适宜	扩大堆石场容积,建拦截坝,疏通水道,防暴雨冲刷,加强监测

5 结语

矿山地质灾害危险性评估应针对工程特点,充分考虑其建设项目分散,而各分项工程对地质环境的要求和破坏程度都有很大差异的实际情况。本文结合实例,对矿山各分项工程的地质灾害危险性、场地适宜性进行逐项、分类评估,并针对分项工程提出防治措施,建立了以分项工程为研究单元的矿山地质灾害逐项分析预测模式。其思路和方法同样适用于其它类型的矿山工程,所得结论和制定的建议不仅具有很

强的针对性,而且便于矿山工程设计、施工和运行管理人员对地质灾害危险性评估成果的运用。

参考文献:

[1] 潘懋,李铁锋.环境地质学(修订版)[M],北京:高等教育出版社,2003.
[2] 罗元华,张业成,张,等.地质灾害风险评估方法[M].北京:地质出版社,1998.
[3] 刘传正.地质灾害勘查指南[M].北京:地质出版社,2000.
[4] 潘懋,李铁锋.灾害地质学[M].北京:北京大学出版社,2002.

Risk evaluation of geological disaster on the basis of mine characteristics
a case study of a limestone mine in Henan Province

GUO Xin-hua, GUO Wen-xiu, TIAN Xiao-yu

(The Land & Resources Scientific Research Institute of Henan Province, Zhengzhou 450053, China)

Abstract: Mining projects have some characteristics as follows: (1) decentralization of construction projects; (2) relative complexity of geological environment; (3) the differences of the function areas between geological environments and damages. Aiming at the risk evaluation of geological disaster of subentry projects of mine, it also has practical significance to instruct the prevention and control measures of the geological disasters of mine. Taking a limestone mine in Henan Province as an example, this paper mainly introduces basic consideration devaluation ways of thinking, analysis methods and preventional countermeasures. The basic ansiderations of evaluation are as follows: on the basis of finding out conditions of geological environment and present situation of geological disaster, combining with features of subentry project such as mining engineering having great damage and demolishing material stock excessively depending on environment and so on, the risk of the geological disasters caused and aggravated by subentry projects such as industry square, mine square, crushed stone shop, demolishing material stock ore shop and waste square is predicted through tables, according to the harmed objects, the damage degree and the loss rate of expectation price, the risk and the feasibility of subentry project construction sites are evaluated. Then, the corresponding prevention and control measures of the geological disasters are put forward for different subentry project construction sites. Item by item analysis prediction model of geological disasters taking on subentry projects as studying unit helps the usage of achievements in evaluation of geological disasters for design and construction of mine project and the management.

Key words: mine project; subentry project; geological disaster; risk evaluation; Henan Province