

青山河地质灾害的成因及治理的探究

李相军, 曹钟广

(大冶有色金属公司铜绿山矿, 湖北 黄石市 435101)

摘要:通过水文地质分析和理论计算,揭示了青山河地质灾害的内在和外部成因,总结治理的经验教训,提出了最佳治理方案,经过实施,遏制了地质灾害的危害程度,为地质灾害治理作了成功的探索。

关键词:地质灾害;灾害成因;灾害治理

青山河位于铜绿山矿南露天西侧,由南向北流入大冶湖,流域汇水面积 $7 \sim 8 \text{ km}^2$,主要接受大气降雨补给,为间歇性小溪,最大瞬间洪水流量为 $6.44 \text{ m}^3/\text{s}$,最高洪峰水位为 23.13 m 。该河中下游距南露天矿采场约 50 m ,属喀斯特地貌,1980年代开始产生沉陷、塌坑现象。

随着南露天开采境界增大,深度加深及周边抽取地下水,特别是进入20世纪末,周边小井采掘深度越来越深,每年汛期,洪水决堤、漫坝,从塌坑灌入溶岩,造成采矿的极大隐患。铜绿山矿及当地政府对该河进行了长达20多年的治理,但由于对地质灾害规律的认识和研究不够,不能从根本上遏制灾害的发生。

进入21世纪,矿里组织技术人员作了大量地质勘察工作,研究塌陷规律,总结历年来的经验教训。2003年财政部、国土资源部青山河地质灾害治理批准列为矿山地质环境治理项目(财建[2003]530号),矿山配合投入相当资金,为探究更有效遏制和治理青山河地质灾害创造了条件。

1 地质灾害的成因

1.1 工程地质及水文地质

青山河及矿区地层为三叠系大冶群的灰岩和白云质灰岩。岩浆岩为燕山早期第三次岩浆侵入形成的石英闪长岩。岩浆岩除环绕大理岩残留体外还沿层间断裂带侵入与大理岩发生接触。接触带为断裂活动持续叠加的部位,进一步发育为接触破碎带。

青山河中下游长约 1000 m 区域的喀斯特地质构造与矿区破碎大理岩相连,是矿区岩溶的补给源。

区域内 $5 \sim 10 \text{ m}$ 厚表层土下为较破碎碳酸盐岩体,主要由大冶群第5,6,7个岩性段的大理岩组成。

第5岩性段($T. dy^5$)岩石呈黄-褐黄,略带色,层面缝合线较稀疏,胶结构较紧密,性脆而坚硬。

第6岩性段($T. dy^6$)层面缝构成,胶结紧密,性较脆而坚硬。

第7岩性段($T. dy^7$)层理较闭合,胶结紧密,性脆且坚硬。

青山河矿区大理岩岩溶裂隙含水量的分布范围与 -500 m 标高以上的大理岩残留体相一致。含水岩自风化带以下的深度至少超过 200 m ,与大理岩风化破碎的发育深度相一致,沿接触带与围岩裂隙含水层无严格分界线。

青山河靠近南露天流域,岩溶发育,以岩溶裂隙为主的地下水与西南边坡相连为径流通道,在洪水期,南露天坑涌水量突然增大,涌水量达 $168 \text{ m}^3/\text{h}$,压力 $0.01 \sim 0.06 \text{ MPa}$ 。

1.2 地质灾害的成因及演化

青山河地质灾害有其发生、发展、形成的过程,是其深刻的内部原因及特殊的外部条件共同作用的结果。

1.2.1 流域岩溶裂隙水流的渗流及塌陷机理

青山河岩溶区域地表层 $5 \sim 10 \text{ m}$ 冲积土层,下为较破碎大理岩,从工程勘探资料可看出,有一定数量大小溶洞分布且与南露天相连。区域近似地构成了多孔介质中变形场、渗流场、温度场以及多场耦合作用的模型。假设土层和岩层为饱和与准饱和的多孔介质,固体颗粒不可压缩,水是可压缩的,渗流服从达西定律,热质在固、液介质中传导,对流为主。

3 场全耦合模型的控制方程由考虑渗流与热应力影响的静力平衡方程;考虑岩体骨架位移与温度影响在内的可压缩流体的渗流连续性方程;以及热

传导、对流及热、液、固耦合的能量守恒方程构成。应用奥地利岩石工程软件 FINAL 进行有限元分析。土层、岩层的参数及边介条件分别见表 1、表 2。

表 1 土层、岩层、3 场耦合分析参数

岩层名称	容重 ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	摩擦角 ($^{\circ}$)	内聚力 (kPa)	岩体热膨胀系数 ($10^{-5} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$)	水热传导系数 ($10^{-3} \text{kJ} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1} \cdot \text{ms}^{-1}$)	水比热容 ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$)
表土层	19	18	9	0.61	0.52	4.01
大理岩	22	28	15	0.72	0.66	4.80
灰岩	23	30	20	0.80	0.72	4.91

岩层名称	弹性模量 (10^9kPa)	泊松比	岩层厚度 (m)	渗透系数 ($10^{-6} \cdot \text{ms}^{-1}$)	岩体比热容 ($10^{-3} \text{kJ} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1} \cdot \text{ms}^{-1}$)	岩体热传导系数 ($10^{-3} \text{kJ} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1} \cdot \text{ms}^{-1}$)
表土层	0.1	0.09	5~10	0.1	0.38	0.801
大理岩	0.5	0.20	15~20	0.2	0.61	2.10
灰岩	0.6	0.23	—	0.2	0.72	2.75

表 2 3 场耦合分析边界条件

边界面	水平位移	竖向位移	渗流	温度
底面	固定	固定	不透水	不散热
顶面	自由	自由	透水	散热
右面	固定	自由	不透水	动态边界
左面	固定	自由	不透水	动态边界

分析结果表明,在 3 场耦合的作用下,水分迁移、固体颗粒运动而引起不均匀沉降,沉降点在域中心段比边界多 25%,沉降量中间为 16.9 mm,两边为 12.9 mm,水头呈梯度降低。根据水文地质资料进行理论计算,证明了以下事实:

(1) 青山河岩溶区域因采矿尤其是露天采矿使地下水位从地表下 1 m 降至 -20 ~ -90 m,呈漏斗梯度分布;

(2) 常年经历干旱—大气补水—干旱的循环,导致表土层、岩层沉降—有限恢复—再沉降,同时,土体岩体颗粒被渗流场的水不断地运走,形成溶洞空区,逐渐破坏岩体平衡,形成垮落带,深部断裂带形成后,靠近地表开始形成弯曲带;

(3) 由于区域岩体为较破碎风化的大理岩,又有地表水渗透,使岩体 C 、 φ 值迅速下降,加速垮陷,弯曲带也成为断裂垮落带,诱成地表沉陷、塌陷等地质灾害。

1.2.2 塌陷区地质灾害的演化

青山河流域原是一派山青水秀的田园景色。20 世纪 80 年代初期,南露天向海平面标高以下剥离日渐加深,南露天西南帮地下涌水逐渐加大。青山河出现小范围塌陷,主要集中在以公路桥为中心左右约 200 m 的河床附近,有时出现崩堤。汛期洪水灌入岩溶后,增加了南露天的涌水量。铜绿山矿在河

床及塌陷区采取了一些工程措施,在一定程度上缓解了灾害损失。

20 世纪 90 年代中期以后,一方面,周边小矿井无序开采,形成许多未充填新空区,损坏原有治水设施,大量抽取地下水使地下水位急速下降,加剧地表塌陷程度,扩大塌陷区范围;另一方面,流域内许多不规范的小选厂,随意在河床筑坝拦水取水,尾砂浆又排入河床,造成河堤破损,河床淤塞,过流量大为减少,汛期洪水决堤、漫坝从塌陷坑流入岩溶,给露天及井下采矿造成极大威胁,不仅严重制约矿山正常安全生产,而且植被破损,影响环境保护,还引起复杂的工农关系问题。

2 地质灾害治理的探索

2.1 传统治理的历程及误区

知道塌陷区与采矿排水的对应关系后,对小范围的塌陷一般采用简单的抛石回填,对河堤也是简单地恢复,对塌陷严重的河床采用或石填、或钢砼、或钢板直铺,最后用钢板河床。结果每年投入巨大,收益甚微,未能有效地解决问题。进入 21 世纪后,地质灾害危害程度呈上升趋势,主要存在以下误区:

(1) 对塌陷区危害的严重性、长期性认识不足,抱有侥幸心理;

(2) 对塌陷区产生的发展规律研究不够,认为只要回填扎实,将河堤做牢固就一劳永逸;

(3) 治理方法单一,没有综合性措施;

(4) 对乱采乱挖、乱排乱放制止不力。

2.2 治理方法

2.2.1 水泥帷幕注浆堵水方法

离南露天西南帮永久性开采境界 50 ~ 100 m, 长约 500 m 处, 布置两排钻孔, 孔径 DN100, 孔深 100 ~ 200 m, 注浆配合比为水: 水泥: 砂 = 0.7 : 1.0 : 0.5, 水灰比尽量取小值; 注浆压力控制在 2.5 ~ 6.0 MPa; 每孔水用量为 1.5 ~ 8.0 t。在破碎第 5 岩性段约 150 m 长段, 孔距由 15 ~ 20 m 改为 10 m, 注浆水泥改为加入高标号 425 华新水泥, 缩短初凝时间, 提高早期强度, 同时加入添加物料, 改善提高堵水效果。经钻孔取样, 胶结凝固构造面岩石渗流作用明显减少, 露天涌水基本停止, 只有少量渗流现象; 塌陷区地下水位明显回升到 10 m 左右。治理效果较明显。

2.2.2 清理小矿井和充填空区

1996 年后, 个体业主西南有数个小矿井, 无序开采, 采矿量逐年增加, 采掘深度逐年加深, 形成不充填空区、破坏水泥幕墙防水设施, 大量抽排地下水, 流域地下水位又降至 -45 ~ -100 m, 又多次大范围激活了塌陷地质灾害。南露天坑地下涌水增大, 曾 2 次造成淹设备停产事故, 洪水漫坝冲毁农田, 损失很大。2003 年, 矿山与地方管理部门达成共识后, 对小矿井进行清理, 充填空区, 对渗透层进行封堵。

2.2.3 桩基钢砼连续槽式河床及其它治理方法

青山河河段、公路桥 100 多米长是塌陷重灾区。河床、河堤常常毁坏, 是洪水灌入岩溶的重要途径, 也是治理重点。人工砼河床一层又一层, 1990 年, 甚至采用钢板焊制人工河床, 都不能阻止地质灾害发生。1998 年, 在公路桥两侧各 100 m 范围内, 采用桩基钢砼连接槽式人工河床, 桩挖至基岩深 1 m 内, 并对桩基溶洞用砼充填筑实。

钢砼连续槽式人工河床设计成连续箱梁, 保证了结构整体强度、刚度和稳定性, 通过洪水能力大大提高, 又不影响发生塌陷时的回填, 大大减少了洪水灌入岩溶。

汛期时, 应全面检查青山河堤完好性、淤塞、塌陷等情况; 修整河堤, 疏通河道, 回填塌陷坑。回填时, 先用大块石料, 再铺设土夹石碾压, 最后用 500 ~ 1000 m 粘土覆盖并碾压实。有条件的地方, 应植树恢复植被或复垦。

2.2.4 治理成果及遗留的问题

2005 年 5 月, 治理项目竣工验收合格, 发挥了效能, 连续 2 年南露天减少排水电费约 100 万元以上, 减少工农赔偿费 30 万元以上。整个汛期保证了采矿正常生产、安全生产, 没有发生洪水漫坝、塌陷大范围复活, 洪水灌入岩溶的现象。生态环境得到了较大改善, 基本制止了水土流失状况, 大片农田已复垦耕种, 达到了治理的目的。

但是, 极少数个体业主因利益驱动, 仍有偷采、无序开采治理区地下矿藏, 人为破坏地下治水设施现象时有发生; 在治理区内私自办小选矿厂, 乱排乱放, 人为破坏地表治水设施的行为并没彻底制止; 比较系统的检查监测系统尚未建立, 如地下水位、水压、径流量等数据采集等。

3 结 论

(1) 青山河塌陷区的形成是由区域特定喀斯特地质构造、水文地质、采矿采动与抽取地下水共同作用的结果。地质灾害的发生频度和危害程度与采动对裂隙破碎渗水带破坏程度、抽取地下水深度、区域内河床畅通与完好程度、大气降雨强度有直接关系。

(2) 帷幕注浆, 人工河床、河床加固与疏通、塌陷区回填夯实、植被恢复, 地下采空区充填与裂隙封堵等工程措施综合运用, 从根本上遏制了地质灾害发生的频度, 降低危害程度。同时, 应加强对塌陷区的管理, 强化日常监督检查, 处罚人为破坏违法违纪行为。

(3) 建立塌陷区科学检测和预报制度。塌陷区内按水压、水位梯度设置检测井, 定期或不定期检测数据。对数据进行分析, 发现异常应进一步分析和研究, 加之对塌陷区域地物地貌异常现象分析, 作出科学而准确的预报, 及时采取技术、管理和工程措施, 消除或减轻地质灾害损失。

(4) 只要该区域继续采矿、大量抽取地下水, 青山河塌陷区复活的可能性依然存在。因此, 青山河地质灾害的预防、预报和治理将是一项长期、艰苦的而有意义的挑战。

(收稿日期: 2007-05-11)

作者简介: 李相军 (1964-), 男, 湖北大冶市人, 硕士, 建筑工程高级工程师, 执业监理工程师, 从事冶金矿山建设工程技术管理与研究工作, E-mail: gxl-829@qq.com。