

浅谈某铜矿岩溶塌陷防治方法

吴谦谦

安徽铜冠（庐江）矿业有限公司 安徽合肥 230000

摘要：岩溶塌陷作为岩溶地区一种典型的地质灾害，其发生前发育过程缓慢且塌陷时具有突发性，预测及治理难度较大，不仅会对环境造成破坏，而且还会危及人民的生命和财产安全。某铜矿由于长时间的抽排岩溶地下水，导致矿区陆续产生多处岩溶塌陷，对周边建筑、农田及河道等造成一定影响，针对以上问题，本文结合矿山地质条件，采用以井下堵水为主、地面防治为辅、监测配合（“两头堵，中间截”）的综合防治方法进行防治，该方法成功在矿山应用，减轻了岩溶塌陷灾害，保障了矿山安全生产和村民的安居乐业，为其他类似矿山治理做出参考。

关键词：铜矿；岩溶塌陷；井下堵水；塌陷治理

引言

我国可溶岩分布广泛，据统计，面积达344万km²，占国土面积的1/3以上，是世界上岩溶最发育、类型最全齐全的国家之一^[1]。岩溶塌陷是岩溶区特有的地质灾害，主要发育在覆盖型岩溶区，地势相对平坦，其隐蔽性及突发性对矿山资源的开发造成较大影响。

为此，国内外学者们针对岩溶塌陷开展了大量研究工作。针对岩溶塌陷的形成机理，吴远斌等^[2]以越岭隧道工程引发的岩溶塌陷作为研究对象，将岩溶塌陷过程分为两阶段：疏干初期突涌型岩溶塌陷和疏干后期降雨型岩溶塌陷；康彦仁等^[3-4]对全国多个塌陷点进行了研究，划分了八种模式，除“潜蚀”外，还有“真空吸蚀”、重力致塌式、冲击致塌式、振动致塌式、荷载致塌式、溶蚀致塌式和根蚀致塌式；徐贵来等^[5]对武汉市的岩溶地质和塌陷做出系统调查和监测，结果表明，塌陷为同时受自然和人为作用型的复合动力性灾害；陈亮晶等^[6]对湖南宁乡大成桥地区岩溶发育进行分析，发现产生塌陷的内在因素是岩溶发育、覆盖层厚度薄、力学性质差且双层结构土广泛分布于冲沟及冲积平原；王延岭等^[7]等对秦菜盆地岩溶塌陷作出调查，将岩溶塌陷分为3种基本地质模式：单层、双层及多层结构土层；针对岩溶治理，罗小杰^[8]提出应根据沙漏型、土洞型和泥流型3个塌陷机理修复有缺陷的岩溶地质结构；牟春梅等^[9]提出对浅层软弱土层采用水泥压力灌浆加固，对岩溶古塌陷采用分段化学灌浆处理；谭靖等^[10]对源市伏口镇岩溶塌陷进行治理；主要采取清除填堵法、跨越法治理塌陷坑和边坡支护等；王煜琴^[11-12]提出对塌陷坑进行回填、土地复垦，对“天窗”型进行帷幕灌浆，减少水源进入；

郭维君等^[13]提出针对矿区岩溶塌陷主要着重于改变地下水动力条件，减少地下水的侵蚀及搬运作用；陈奇等^[14]提出清除填堵法，跨越法，强夯法，灌注法，注浆加固，帷幕注浆堵水，深基础法，高压喷射注浆法，地表水疏、排、围、改，平衡地下水、气压力；

综上所述，对于地面塌陷的治理，采取预防为主、治理为辅、防治结合的办法，防治塌陷的主要措施有：河流改道、修堤拦洪、修沟引流、塌洞回填（注浆）、河床防渗、河床注浆加固、帷幕注浆截流、人工河床等。对于该铜矿而言，河床改道是不可能；修堤拦洪、修沟引流措施也不适合于该矿塌陷区地段；塌洞回填措施是目前矿山对待塌陷的常见办法，但复发率高；河床防渗手段也只是治表，不能消除塌陷发生的内在原因；帷幕注浆截流投资太大、工期较长，注浆效果存在较大风险；人工河床能减缓塌陷，但也可能造成塌陷外扩。因此，本文从矿山实际出发，采用以井下堵水为主、地面防治为辅、监测配合（“两头堵，中间截”）的综合防治方法进行防治。

1 矿山塌陷概况

某铜矿为隐伏接触交代矽卡岩型大型铜矿山，矿体赋存于三叠系大理岩与闪长岩接触带矽卡岩带中。该铜矿采用井下大直径深孔充填采矿法，强化开采，主副井和斜坡道联合开拓。矿山处于小型山间盆地，四周环山（海拔150~300m），中间低平（海拔30~50m），汇水面积约10km²。盆地内发育两条河流，由北向南汇入主河。

该铜矿矿区东、西、北为丘陵高地，由弱至极弱富水的三叠系上统碎屑岩含水岩组、岩浆岩裂隙含水岩组

构成。既为地表、地下分水岭, 又为相对隔水边界。南为东山、西山丘陵及两河河谷盆地, 河谷上部为弱至中等第四系孔隙含水岩组, 下部为强富水的三叠系中下统碳酸盐岩裂隙岩溶含水岩组。三叠系中下统碳酸盐岩岩溶发育深度在马山口以南一般在-100m以上, 且浅部开口型岩溶发育, 向北的该铜矿区加深至-180m至-300m。该铜矿矿体位于侵蚀基准之下, 三叠系中下统碳酸盐岩为矿体直接顶板, 矿体底板为闪长岩体。矿坑主要充水源为三叠系中下统裂隙岩溶含水岩组。



图 1.1 某铜矿地表塌陷照片

随着矿山的不断开拓, 矿山疏干排水的深度和强度不断地加强, 沟通矿区和以南地区的-300m以上三叠系中下统裂隙岩溶, 并进一步向上沟通了浅部岩溶洞隙而产生大范围的岩溶塌陷(图1.1), 据统计, 共发生塌陷130余处, 分布见图1.2, 主要分布于马山口至潘家老屋、水磨村以东的河谷盆地。

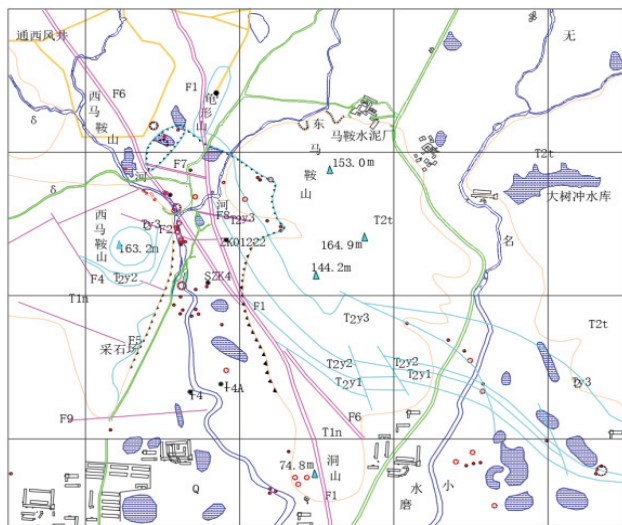


图 1.2 某铜矿溶洞塌陷分布图

岩溶塌陷的形态特征: 岩溶塌陷平面上多呈圆形、少数椭圆形; 剖面上呈竖井状为主, 部分为坛状、锅底状。岩溶规模以小型为主, 少数为中大型, 个别为大型。小型塌陷坑直径一般1~3m, 深0.5~3m; 中大型塌陷坑直径一般3~6m, 部分达10~20m, 深0.5~6m; 大型塌陷坑为连通型溶洞, 一次塌方量达1000m³以上, 洞内较复

杂, 洞口上部小下部大。

2 井下堵水措施

造成岩溶塌陷的最直接原因就是井下的大量疏干排水, 因此, 消除井下产生大量涌水的条件或减少泥砂的涌出就可以减缓塌陷的产生及发展。井下堵水又分为两个方面: 巷道掘进期间的堵水和采矿期间的堵水。

2.1 巷道堵(避)水

该铜矿目前采取的巷道堵(避)水措施主要有以下三个:

①工作面预注浆

继续采取工作面超前探水与工作面预注浆的措施, 防止突水。先用三孔超前探水, 再视出水量大小增补注浆孔, 以形成井筒帷幕, 避免地下水大量涌出。

②壁后注浆

对于巷道残余涌水点, 或者是原有的浑水点, 应采取壁后注浆的措施, 封堵涌水点, 既减少涌水量, 又防止泥砂涌出。

③避水

对于富水区或富水断裂带, 在条件许可时, 也可采取回避的办法。

2.2 采场堵水

该铜矿矿体顶板为含水丰富的大理岩, 在未超前疏干的情况下, 采矿期间必将大量涌水, 影响了采矿作业的正常进行, 加速了地面塌陷的发展。因此, 考虑到矿山井下实际情况、水文地质条件及技术可行性等, 采取矿体顶板帷幕注浆堵截是最佳选择。

通过上述井下堵水措施, 控制矿坑涌水量, 防止矿坑突水, 避免矿山疏干地下水降落漏斗外扩。

3 地面防治措施

岩溶矿山为防止地面塌陷频繁发生, 应针对塌陷的不同状况, 分别采取各种防治措施, 同时地面塌陷的预防工作也是尤为重要的。

3.1 地面塌陷的预防措施

①防止河水漫至地势低洼的塌陷区

为防止河水漫灌至地势低洼的塌陷区, 可筑坝加高加固径流河段, 将雨季河水全部引入下游河段。

②河床防渗

由于本区地表水与第四系存在水力联系, 而第四系又与大理岩存在密切的水力联系, 为防止河水沿第四系松散层渗流至岩溶含水层中, 应对河道进行块石护坡、砗或粘土铺底的加固防渗。

③控制地下水位下降速度

当地下水位骤降时,产生塌陷的强度及频率都大,因此,可通过井下主要涌水孔(涌水点可安装导水管)安装闸阀,动态地调节排水量,从而达到控制地下水位下降速度的目的。

④控制涌水点泥砂排放

当井下涌水点泥砂量增大时,地表将产生塌陷,因此控制涌水点泥砂的排放,将能大幅降低地表塌陷产生的规模及频率。

⑤灌注地面裂缝

当地表出现裂缝，特别是环形裂缝时，预示着塌陷将发生，为此可及时配制粘土水泥浆或尾砂水泥浆，对着地裂缝进行自溜灌浆，将塌陷消除在陷落之前。

3.2 暴露塌洞治理

该铜矿目前对已有塌洞的治理主要是采取用废石或粘土袋回填的措施, 该种简易处理方案具有见效快、成本低的优势, 但也存在复发率高的缺陷。可按照塌陷的特点分别采用不同的治理措施。

①非重点地段塌陷治理

对于非重点地段的塌陷, 一般采取简单的回填措施, 具体方案有两种: 一是用编织袋装粘土或直接用粘土对塌洞进行回填, 上面2米则用粘土覆盖并夯实, 防止积水入渗造成垂向潜蚀; 二是用矸石回填塌洞, 上部2米仍用粘土覆盖压实, 防止积水入渗。在一定程度上能有效的控制塌陷的复发规模及频率, 但不能达到根治的目的。

②重点地段塌陷治理

对于重点地段的这类塌陷,为防止塌陷反复活跃,主要采用矸石回填与简易注浆充填结合起来,达到防止地表水入渗的目的。针对该矿塌陷特点,可以采用先期预埋花管后进行矸石回填再注浆治理(图3.1)。

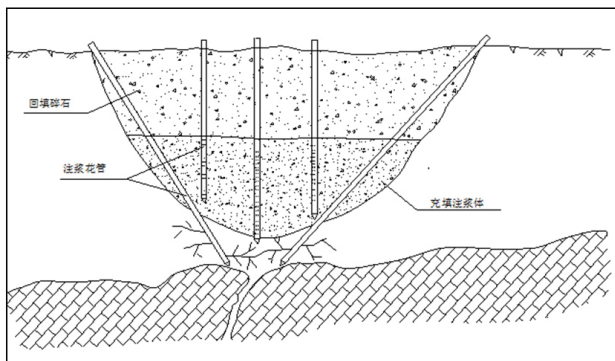


图3.1 塌洞埋管回填注浆示意图

对于其中非重点地段仍可采用上节所述回填方案。而对于重点治理地段,其治理方案主要有两种:一种是利用塌陷产生的地裂缝(或塌洞口),直接自溜灌注水泥

尾砂浆、粘土水泥浆或水泥水玻璃双液浆,采用较少的工程措施治理塌陷;另一种是先用粘性土对塌洞进行回填后,再采用钻探及注浆措施直接封堵溶洞口、过水通道,达到根治塌陷的目的。后者为注浆方案,工艺较复杂。

该方案的着眼点是力求用尽量少的钻探注浆工程封堵溶洞口(如处理地段位于塌陷高发区,则应多灌入浆液,一并封堵与溶洞口相通的过水通道),从而达到根治的目的。

该方案注浆工艺有2种：一是钻杆注浆（见图3.2），二是孔口压盖注浆（见图3.3）。

上述两工艺,各有利弊,相对而言前者更适合中心孔,而后者更适用于周边孔。同样在塌陷活跃区内,为防止落水洞周边裂隙产生潜蚀导致塌陷,应多灌入浆液,将落水洞口及其过水通道一并封堵。

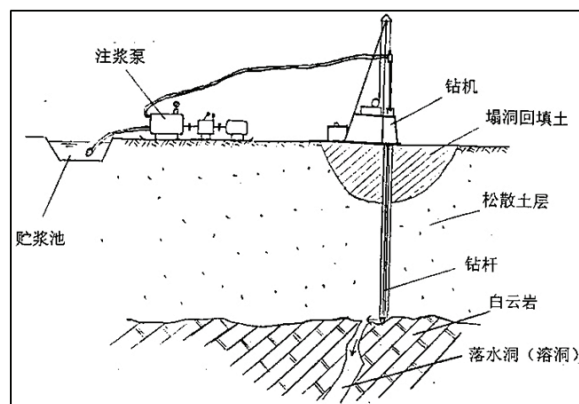


图 3.2 钻杆注浆示意图

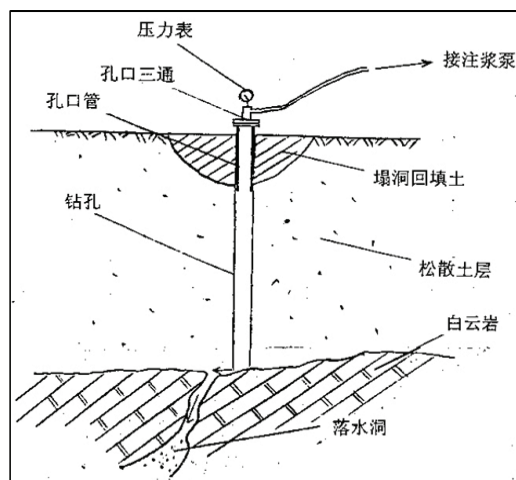


图 3.3 塌洞孔口压盖注浆工艺示意图

注浆材料宜采用大量低廉的充填浆液或控制浆液扩散的速凝浆液。可供选择的注浆材料有两类：A类：水泥尾砂（泥）浆、水泥粉煤灰浆、水泥粘土浆；B类：水泥水玻璃双液浆。

据区域岩溶塌陷报告,该铜矿疏干漏斗内的可岩溶区均划成了高易塌陷区,其范围是相当大的,如全面进行治理,其代价是相当高昂的,因此,应选择重点地段进行针对性的治理,具体方案是:先采用五极纵轴激电测深法对居民区、河床等重点地段进行物理探查,以查明浅部岩溶发育情况,如存在浅部岩溶并经钻探证实后,再进行地面注浆治理。

结语

本文以某铜矿的岩溶塌陷情况为研究对象,结合矿山水文地质条件,运用以井下堵水为主、地面防治为辅、监测配合(“两头堵,中间截”)的综合防治方法进行防治,经过矿山多年以来的治理情况来看,以上方法得到了充分证实,效果明显,最大限度地减少了塌陷引发环境地质问题,降低了岩溶塌陷地质灾害对周边地区生产、生活带来的影响,促进矿山矿产资源开发与地质环境保护协调发展,建设一个生态优美、环境良好、和谐可持续发展的矿山。研究成果对于国内外其他类似矿山具有科学的指导和借鉴意义。

参考文献

- [1] 蒋小珍,冯涛,郑志文,雷明堂,张伟,马骁,伊小娟.岩溶塌陷机理研究进展[J].中国岩溶,2023,42(03):517-527.
- [2] 吴远斌,殷仁朝,雷明堂,戴建玲,贾龙,潘宗源,马骁,周富彪.重庆中梁山地区隧道工程影响下岩溶塌陷形成演化模式及防治对策[J].中国岩溶,2021,40(02):246-252.
- [3] 康彦仁.岩溶塌陷的形成机制[J].广西地质,1989,(02):83-90.
- [4] 高诗明.下伏岩溶地层地铁盾构隧道结构受力特性研究[D].中国地质大学,2017.
- [5] 徐贵来.武汉市覆盖层-岩溶地面塌陷形成机理与危险性评价[D].中国地质大学,2016.
- [6] 陈亮晶,孙锡良,皮景,王璨,欧健.湖南宁乡大成桥地区岩溶地面塌陷分布特征及影响因素分析[J].中国岩溶,2014,33(04):490-497.
- [7] 王廷岭,陈伟清,蒋小珍,管振德.山东省泰莱盆地岩溶塌陷发育特征及形成机理[J].中国岩溶,2015,34(05):495-506.
- [8] 罗小杰.覆盖型岩溶地面塌陷防治与应急处置[J].人民长江,2016,47(05):38-44.
- [9] 牟春梅,何永超,李翠娟.桂林某体育场岩溶塌陷成因分析及治理措施[J].工业建筑,2013,43(S1):459-463.
- [10] 谭婧,左文贵,肖宇,曾毅.岩溶塌陷地质灾害应急治理方案[J].中国科技信息,2016,(22):49-50+52.
- [11] 王煜琴.莱芜铁矿区岩溶塌陷危险性评价及生态治理对策[J].地理科学进展,2008,(06):70-75.
- [12] 李阳明,易伟功.非煤矿山河道防渗治理措施应用研究[J].采矿技术,2023,23(03):177-180.
- [13] 郭维君,崔晓艳,陈学军.泗顶铅锌矿区岩溶塌陷成因及治理对策分析[J].金属矿山,2009,(12):41-43.
- [14] 陈奇,武强.矿区岩溶塌陷工程治理研究[J].工程勘察,2008,(06):31-35.
- [15] 杨柱,叶强,李阳明,胡强.复杂大水矿山近矿体帷幕注浆技术优化及应用[J].矿业研究与开发,2023,43(11):157-162.