

矿山岩体采动响应与控制工程学及其应用

Mining Response on Rock Masses and Control Engineering and Their Application

刘天泉

(煤炭科学研究总院, 中国工程院院士 北京 100013)

矿山生产建设主要在地下岩体深处进行。它需要建立一套由井、巷及采场构成的复杂的地下岩体空间系统。这些地下岩体工程结构物, 尤其是采场, 在其形成过程中, 会在其周围岩体中(包括地下和地面)产生所谓的采动响应, 致使岩体本身, 岩体内的地下工程结构物、含水岩层, 地面地形、地貌、耕种地、农作物、建(构)筑物、水体, 以及自然和人工边坡、陡岩等发生变形和损害, 影响工农业生产建设和人民生活。为了减少和避免这种矿山开采损害, 人们早就开展了这方面的实测、试验和研究工作, 在获得大量成功与失败事例的基础上, 形成了以岩体采动响应规律及其控制为目标的矿山岩体采动响应与控制工程学。

一、矿山岩体采动响应与控制工程学的特征

矿山岩体采动响应工程学, 虽然也是以岩石、岩体和岩体工程作为主要研究对象, 但从其研究内容、采动损害特征及采动响应控制原理等方面看, 它与矿山岩石力学有所不同。首先, 它的研究对象所涉及的范围是从地层深处的采场和井巷开始, 直至其所波及的周围和地面的整个岩体。其次, 它不仅研究受采动岩体的应力应变及其与原始状态的变化差异, 而且更主要的是研究采动岩体屈服后的大面积大变形和大位移。再次, 采动响应在岩体中所造成的损害, 既具有不可逆性损害, 又具有可逆性损害。第四, 它的控制技术不仅着眼于控制岩体本身的变形与位移, 而且着眼于控制受保护对象的变形与位移。

矿山岩体采动响应与控制工程学研究方法的特点是, 注重实地观测与研究, 强调采动区的地质采矿条件, 分析宏观现象与变形历史, 从而得出不同地质采矿条件下的采动响应规律和控制措施, 以达到实现安全采矿、充分利用矿产资源以及保护矿

山环境的目的。

二、矿山岩体采动响应理论研究的新进展

近年来, 矿山岩体采动响应的理论研究在以下几个方面取得了新的进展。

1. 岩体变形的空间分带论

观测研究发现, 在长壁垮落法开采的条件下, 矿层周围岩体变形最普遍的形式为“三带”型: 上覆岩层(直至地表)受采动所形成的垮落带、裂缝带(或导水裂缝带)和弯曲带(简称顶三带); 下伏岩层受采动所形成的胀裂带、微裂隙带和应力变化带(简称底三带); 采空区周边矿(岩)体受采动所形成的片落带、塑性变形带及弹性变形带(简称侧三带)。岩体的上述变形分带, 深刻地阐明了矿层回采后围岩(地面)的大面积变形机理及变形程度分布规律。同时也揭示和提出, 顶三带是解决水体下、建筑物下、铁路下采矿及地面与井巷环境保护的理论和依据; 底三带是解决承压含水层上安全采矿的理论和依据; 侧三带是合理布置巷道和控制岩体与地面变形形态的理论和依据。

2. 地表变形的空间形态论

采矿引起的地表变形, 其量值及分布形态都取决于采动岩体的垮落空间形态。近年的研究表明, 在岩体不同的赋存状态下, 采动岩体垮落空间形态可概括为倒梯形、偏三角形和倒三角形等。利用等价转换原理, 可以得出计算水平、缓斜、急斜、有地质构造矿层及露天矿边坡附近的地表移动与变形的统一采动空间模型及计算公式。据此得出的地表沉陷范围形态有盆形(盘形)、瓢形和兜形等, 与实测结果一致。地表沉陷盆地按其变形性质在平面上可划分为沉降—平移—沉降带(属瞬时变形)、沉降—平移带(属主要、永久变形)及平移—沉降带(属次要、永久变形)。地表沉陷盆地的平面分带是评价

地面保护的理论和依据。

3. 岩体和地表变形的地层结构论

新近的研究表明,采动岩体和地表变形与地层的结构有密切关系。地层结构论的实质是,对地层的地质、岩性、层次、水文地质及力学结构等进行了科学分类,并解释了它们各自与采动响应机理的内在联系,进一步解决了在多种复杂地质采矿条件下岩体和地表的变形预计问题,使有可能由过去的定性解释上升为定量或半定量解释。地质结构主要是:松散层结构及松散层—基岩结构;岩性结构主要是:极软弱、软弱、中硬、坚硬及极坚硬结构;层次结构主要是:薄层结构及厚层结构;水文地质结构主要是:单一、复合、封闭—半封闭、覆盖结构;力学结构主要是:坚硬—坚硬、软弱—软弱、坚硬—软弱、软弱—坚硬结构等。

4. 岩体和地表变形的地层质量评价论

采动岩体和地表的变形,不仅取决于其原生物理力学及水理性质,而且取决于其受采动影响后的再生物理、力学及水理性质。在研究采动岩体原生和再生物理、力学和水理性质的基础上,制定了衡量采动岩体原生和再生抗采动变形能力以及隔水性和含水性一系列指标和准则,有效地解决了建筑物下、水体下、铁路下和承压含水层上采煤的安全性和可靠性评价问题。这些指标和准则是:含、隔水层按单位涌水量、渗透系数、含粘量、干燥饱和吸水率、液塑限及厚度评定;水体采动影响程度按采动等级评定;抗采动变形能力按力学结构及岩性结构评定;保护层按采高、煤层倾角及松散层底部隔水层厚度评定等。

三、矿山岩体采动响应控制技术的发展水平

为了减轻矿山开采损害的程度,必须研究制定采动响应的控制技术。根据对采动响应的研究成果,针对不同的采矿地质条件和保护对象要求,提出了采动响应的七种控制类型与途径,即下沉、变形、水平移动、垂直变形、顶板破坏高度、底板破坏深度和集中应力强度。

下沉控制的主要方法和原理:一是充填采空区,可随采随充,也可在一个工作面全部采完或部分采完后一次充填。二是在采动引起的离层裂缝带内充填,我国抚顺等矿区试验成功的离层带粉煤灰注浆充填技术,对减少地表和建筑物沉陷起到显著作用。三是在采空区内保留部分矿柱支撑顶板,包括使用房式和条带式等开采方式。近年来我国发展起来的大中小条带开采技术,分别适用于水体下和建筑物下采矿时采深的大中小等条件;正规和非正规条带开采技术,则分别适用于水体和建筑物下采

矿时矿层厚度稳定和不稳定以及地质构造简单和地质构造复杂等条件。

变形控制的主要方法和原理是,在保护区内不残留可能使地表变形叠加的矿柱,以及采用可能使地表变形互相抵消的开采方法。全柱式开采技术,即在建筑物下的矿柱全长(宽)内,用一个或多个工作面组成的回采线同时推进的开采技术,是一种控制岩体和地表变形的有效方法。据实测,在推进中的工作面上方地表的变形值为动态变形值,停采工作面上方地表的变形值为静态变形值,前者小于后者,二者的比值一般为0.4~0.7。因此,全柱式开采技术能使建筑物下面不出现停采边界,使地表只出现小于静态变形值的动态变形值,有利于保护地面的建(构)筑物。多个相邻矿层和分层工作面错开一定距离协调推进,或同一矿层合理布置工作面进行协调开采,也都是控制变形的有效方法。

水平位移控制的方法和原理主要是,防止采动影响集中在保护对象的一侧出现(对称开采技术);或是使位移出现不连续(隔离墙技术),或是使两种位移不叠加(在有滑坡倾向的山区开采时,将工作面推进方向设计成与山体滑坡方向相反的方向,以消除滑坡的产生倾向或减少滑移量)。

垂直变形控制的方法与原理主要是,采用能使拉伸和压缩变形抵消的开采方法和采用能减少压缩变形的结构措施。在开采立井矿柱时,可先采立井处的“小方块”矿柱,然后开采全矿柱,或工作面一前一后的开采方式,以抵消立井井壁及其围岩内的垂直拉、压变形,或在井壁内设可缩层来消除压缩变形。

顶板破坏高度控制的方法和原理主要是,先采薄矿层(分层)或先采较深部矿层,使其上覆岩层的整体强度降低,以达到再采厚矿层(分层)和较深部矿层时顶板破坏总高度降低的目的。我国在开采厚煤层和急倾斜矿层时试验成功的分层或分小阶段间歇开采技术,对减少整体采动影响的效果十分明显。

底板破坏深度控制的方法和原理主要是,采用小面开采和快速推进方法开采,以减少底板中剪应力的强度和底三带的深度。

集中应力强度控制的方法和原理主要是,在采空区周边矿层及其上下方矿层和岩体内卸压,一般有打钻孔卸压和采解放层卸压等方法。

四、研究岩体采动响应与控制 的重大意义与作用

进行采掘工程是出于矿业生产的需要,但又对工程本身及其周围岩体(直至地面)产生损害。它涉及矿业及矿区工农业、交通运输业及人民生活等

各个方面,影响到城镇和农村广大地区,是一个重大的社会和环境问题。研究岩体采动响应与控制工程学,实现减少和控制开采损害的目标,对我国国民经济建设和人民生活有着重大的实际意义。它主要体现在以下几个方面。

1. 矿产资源开发及其充分利用

随着勘探技术的进步及工农业和交通运输业的发展,江河湖海、城镇村庄及交通运输线路下不断发现新矿产,在已经发现的矿区范围内,又不断建房屋、修道路及其它工农业设施。过去,对这种特殊条件下的矿产资源难以开发利用,常是弃而不采,要开采生产安全也不能保证。岩体采动响应与控制工程学的发展,不仅为建筑物下、水体下和铁路下的压矿开采找到了理论依据,而且提供了开采技术途径与措施。我国在淮河下、微山湖下、渤海湾地区水域下、华东北华北东北地区巨厚流砂层下、建筑物下、铁路下及石灰岩承压含水层上进行了广泛开采,使过去不能开采的矿产资源得以开采利用、减少了矿产资源损失,取得了巨大的社会和经济效益。

2. 矿区环境保护与生态重建

矿山开采沉陷对矿区生产和生活环境带来重大影响,诸如地面塌陷及城乡公用民用建筑、交通道路和地面地下水系破坏、农作物和森林植被损害等,如能按照岩体采动响应学原理进行控制开采,可使开采损害限制在最小范围内,实现建筑物下、水体下及铁路下采煤,或在沉陷区进行生态重建,可使生态环境得到恢复。我国淮南煤矿区在淮河及河堤下采煤已进行 30 多年,河床及河堤受影响长度累计达 6 公里多,由于进行了控制开采及采取了相应维护工程措施,已在河下及堤下采煤数千万吨,并经受了多年洪水考验,安全渡汛。

3. 矿区水资源的保护

从水资源保护的观点看,岩体采动响应有破坏性与非破坏性之分。受到破坏性影响的含水岩层和地面水体会发生渗漏,水体被疏降和疏干,而受到非破坏性影响的含水岩层和地面水体,其水量和水位基本上不会发生变化。我国华东、华北、东北、西北广大地区的矿区内分布有巨厚的松散含水地层,受到不同程度的采动影响,有的矿区在离松散含水层很近的地方进行采矿,但由于实现了控制开采技术,上述含水层水位和水量也未遭到破坏。

4. 矿区山体稳定与安全

山区岩体的采动响应扩展到地表后,与平原区的不同之处在于,除了采动位移与变形外,增加了地形因素引起的位移与变形。有时形成滑坡、陡崖崩塌和滚石等灾害,对山区村镇建筑、交通道路、农田水利设施等造成重大破坏。我国南方及西南地区的矿山多处于山区,这类问题十分普遍。因此,掌握

和运用岩体采动响应与控制工程学的规律具有重要的社会意义。湖北盐池河磷矿因采场矿柱失稳引发山体陡崖开裂崩落,造成山崖滑落体积达 100 余万立方米,造成了重大的人员伤亡与财产损失。这是因为对岩体采动响应与控制缺乏分析而带来的一个惨痛教训。

5. 矿区采动沉陷地利用

矿山开采引起地面沉陷,对土地及生态系统造成影响与破坏。掌握和运用地面沉陷规律,不仅可以采取相应措施,减轻地面沉陷的损害,而且可以对沉陷地加以合理利用,为社会创造财富与效益。

国内外的长期实践表明,在采动沉陷地的利用方面,目前已取得以下成果:在采取控制开采的条件下,实现了土地的均匀沉降和少量沉降,对土地及建筑物不产生破坏性影响,保持了原有的使用功能;在没有采取控制开采的条件下,对沉陷地采取造地复田、蓄水放养种植及建造公园等。我国近年的实践证明,在采动沉陷地造地建房,不仅可以充分利用沉陷地,而且节约搬迁建筑用地;此外,在沉陷区开凿矿山竖井、修建公路铁路及水利工程等也取得许多经验。

6. 矿井采掘安全与矿柱设计

为了预防采掘工程对矿井生产的破坏,有时须根据岩体采动响应规律设计出各类保护矿柱和安全矿柱,以使矿柱尺寸既能满足采掘生产安全要求,又能最大限度地减少矿产资源损失。因此,在井筒、工业场地、建(构)筑物、村庄、铁路及高压输电线路等下方进行采掘时,都应设计保护矿柱。对于水体安全矿柱而言,既有保护水体作为水源的情况,又有使水体不向井下渗漏的情况。在我国,将水体安全煤(矿)柱分为防水、防砂及防塌三种类型,并已大量推广应用,不仅保证了水体下采煤的安全,而且由于煤柱尺寸设计合理,减少了煤炭资源损失,为国家创造了巨大财富。

7. 矿山开采损害预测与治理规划

矿山开采及开采损害的一个显著特点是所涉及和影响的范围大(小则数平方公里,大则数十平方公里),延续时间长(短则数年,长则数十年)。因此,开采损害的预测与治理规划十分必要。按现有发展水平,矿山开采损害预测有短期(对工作面和采区而言)、中期(对矿井部分区域而言)和长期(对全矿井、全工厂、全矿区或全城市而言)三类,预测精度短期较高,中、长期较低,但都能满足制定治理规划的要求。目前,我国矿区中、短期预测和规划较多,长期预测和规划较少。抚顺西露天矿北帮抚顺石油一厂地基变形的长期预测及治理规划是由笔者负责完成的,已经国家计委及国家经贸委审查批准,其中部分内容已付诸实施,显示了初步的治理效果。

(责任编辑 刘先曙)