

国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2015CB251600)资助

国家自然科学基金项目(51404254、51474206、51264035)资助

中国博士后科学基金项目(2015T80604、2014M560465)资助

江苏省博士后科研资助计划项目(1302050B)资助

中央高校基本科研业务费专项资金项目(2013QNB24)资助

中国矿业大学第九批优秀青年骨干教师项目(中矿大人字(2014)14号)资助

覆岩采动裂隙及其含水性的 氦气地表探测机理研究

张东升 张 炜 王旭锋 著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2015CB251600)资助

国家自然科学基金项目(51404254、51474206、51264035)资助

中国博士后科学基金项目(2015T80604、2014M560465)资助

江苏省博士后科研资助计划项目(1302050B)资助

中央高校基本科研业务费专项资金项目(2013QNB24)资助

中国矿业大学第九批优秀青年骨干教师项目(中矿大人字[2014]14 号)资助

覆岩采动裂隙及其含水性的 氦气地表探测机理研究

张东升 张 炜 王旭锋 著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书主要包括:地下煤岩层中氦气析出过程及实验验证、地下多层均匀多孔介质中氦气运移规律、氦气地表探测综合实验系统设计与研制、地下煤层开采覆岩移动规律与采动裂隙动态发育特征分析、氦气地表探测物理模拟实验分析、氦气地表探测现场实证。本书可供从事采矿工程及相关专业的科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

覆岩采动裂隙及其含水性的氦气地表探测机理研究/张东升,张炜,王旭锋著. —徐州:中国矿业大学出版社,2016.1

ISBN 978-7-5646-2167-4

I. ①覆… II. ①张… ②张… ③王… III. ①氦—应用—地表—探测—研究 IV. ①P931.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 298620 号

书 名 覆岩采动裂隙及其含水性的氦气地表探测机理研究

著 者 张东升 张 炜 王旭锋

责任编辑 王美柱

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtp@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 880×1230 1/32 印张 6.375 字数 177 千字

版次印次 2016 年 1 月第 1 版 2016 年 1 月第 1 次印刷

定 价 38.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)



前 言

有效掌握覆岩采动裂隙时空动态演化规律,是解决煤炭资源开发与安全和环境灾害预防三者矛盾的重要基础。目前,针对覆岩采动裂隙动态发育过程及其含水性的监测监控方面缺乏一种可靠、有效、易操作的方法和手段。在利用氦气地球物理化学特性地表探测覆岩采动裂隙及其含水性方面作有益探索,以期开发出一套简单易行又快速可靠的氦气地表探测新技术。本书以工作面开采过程中覆岩采动裂隙及其含水性与氦气浓度之间的相关性为主要研究对象,采用理论分析、数值模拟、物理模拟及现场实证等研究方法,对覆岩采动裂隙及其含水性的氦气地表探测机理进行了研究。主要研究成果有:① 尝试将氦气的地球物理化学特性应用于采矿工程领域,首次将放射性测量方法引入地下煤炭开采覆岩采动裂隙动态发育过程及其含水性方面的探测,进一步拓宽了氦气探测技术的应用领域。② 首次建立了更加符合采矿实际地质情况的地下多层均匀多孔介质中氦气运移数理模型,对地下多层均匀多孔介质中氦气运移规律进行了分析。同时,进一步建立了异常气象条件下地下多层均匀多孔介质中氦气运移数理模型,对异常气象条件下地下多层均匀多孔介质中氦气运移规律进行了分析。③ 使用大型三维实体模型设计软件 Pro/Engineer Wildfire 4.0 设计并研制出了国内首个覆岩采动裂隙及其含水性的氦气地表探测综合实验系统。该综合实验系统主要由可调节二维/三维物理模拟实验台架、氦气输出装置和 KJD-2000R 连续测氦仪等几大部件组成,具有拆装简便,物理模型铺设方便,在同一物理模拟实验台架上可快速实现二维或三维物理模拟实验等优点,克服了传统探测方法物理模拟实验系统复杂和笨重的缺

点。④ 物理模拟实验结果表明,工作面超前影响范围内的采动裂隙能够给氦气提供良好的运移通道,氦气浓度变化趋势较为明显,氦气对覆岩层内的采动裂隙反应较为敏感,能够及时地反映采动裂隙的动态发育状态,两者之间具有较好的相关性。同时,含水层对氦气在覆岩层中运移影响十分明显,氦气在运移过程中能够以一定的饱和度溶解于含水层中,在溶解到达饱和后,能够沿着覆岩层中的采动裂隙继续向上运移至地表。⑤ 浅埋与深埋两种不同地质条件下氦气地表探测现场实证结果表明,工作面开采过程中对应地表的采动裂缝动态发育状况与氦气浓度变化特征之间具有较好的相关性,进一步验证了氦气地表探测的可行性。提出了氦气异常系数的概念,并以此作为工作面开采过程中覆岩层中基本顶破断氦气地表探测预测指标,初步确定了可以判断基本顶发生破断的氦气异常系数临界值。

在本书的撰写过程中,参考了许多国内外文献资料,所做的现场实证工作得到了河北冀中能源邯郸矿业集团和内蒙古伊泰煤炭股份有限公司领导和工程技术人员的大力支持,在此一并致谢。

由于作者水平所限,书中难免存在错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

著 者

2015 年 10 月

目 录

1 绪论	1
1.1 问题的提出与研究意义	1
1.2 国内外研究现状与存在问题	4
1.3 研究目标与研究内容	13
2 地下煤岩层中氦气析出过程及实验验证	16
2.1 氦气的产生及其基本性质	16
2.2 地下煤岩层中氦气析出过程	18
2.3 氦气的测量	21
2.4 煤岩样试件氦气释放实验验证	26
3 地下多层均匀多孔介质中氦气运移规律	32
3.1 高能物理基本知识	32
3.2 任意形状均匀多孔介质中氦气运移规律	41
3.3 半无限大均匀多孔介质中氦气运移规律	45
3.4 地下多层均匀多孔介质中氦气运移规律	49
3.5 异常气象条件下地下多层均匀多孔介质中 氦气运移规律	54
4 氦气地表探测综合实验系统设计与研制	57
4.1 综合实验系统总体设计方案确定	57
4.2 基于 Pro/Engineer 软件的综合实验系统三维 仿真设计	59

4.3	综合实验系统关键部件稳定性校核·····	66
4.4	综合实验系统实体装置研制·····	68
5	地下煤层开采覆岩移动规律与采动裂隙动态发育特征分析·····	76
5.1	西部矿区常规浅埋煤层地质赋存条件分类·····	76
5.2	煤层埋藏相对较深的河北邯郸矿区地质条件概述·····	78
5.3	地下煤层开采覆岩移动规律与采动裂隙动态发育特征分析·····	81
6	氡气地表探测物理模拟实验分析·····	103
6.1	物理模拟模型设计·····	103
6.2	物理模拟模型制作·····	109
6.3	物理模拟实验步骤·····	110
6.4	物理模拟实验结果小波变换分析·····	113
6.5	含水层对氡气浓度变化影响规律分析·····	142
7	氡气地表探测现场实证·····	156
7.1	氡气地表探测现场实证流程·····	156
7.2	宝山煤矿 6203 工作面现场实证分析·····	159
7.3	亨健煤矿 2507 工作面现场实证分析·····	169
7.4	浅埋与深埋不同地质条件下测量结果对比·····	179
7.5	基本顶破断氡气地表探测预测指标确定·····	181
	参考文献·····	183

1 绪 论

1.1 问题的提出与研究意义

煤炭作为我国的主体能源,分别占一次能源生产和消费总量的 77% 和 65% 左右^[1,2],在国民经济建设中具有极其重要的战略地位。根据国家发改委的最新研究预测^[3],以煤炭为主体的能源结构在今后 50 年内不会有大的改变,2015 年煤炭占全国能源消费总量不会低于 55%,直到 2050 年煤炭在一次能源消耗中所占比例仍将达到 50% 左右。在此形势下,煤炭资源的开采无疑成为我国经济稳定、持续及快速发展的前提条件。

(1) 有效掌握覆岩采动裂隙时空动态演化规律,是解决煤炭资源开发与安全和环境灾害预防三者矛盾的重要基础。

根据中国煤田地质总局第三次全国煤田预测结果^[5],我国煤炭资源自然分布在地域上呈现出北富南贫、西多东少的总体格局。近年来,我国煤炭资源开发的重心逐渐从东部向西部转移,形成了以内蒙古自治区为代表的西北和以贵州省为代表的西南两大主要煤炭资源开发重点区域^[6]。然而我国西北煤田煤层埋深较浅(200 m 以内),地处内陆腹地,该区长年干旱少雨,蒸发量大,水资源极度贫乏,地表生态地质环境系统十分脆弱,土地荒漠化程度较高,几乎集中了我国全部沙漠和戈壁,水土流失严重^[7-9]。井下长壁工作面大规模开采极易导致覆岩采动裂隙由下向上扩展直接与地表沟通,引起浅表水及地下水漏失、地表植被枯死、土地荒漠化趋势加剧、工作面溃水溃沙及煤层自然发火危险等一系列安全与环境灾害,导致原本十分

脆弱的生态地质环境不断恶化,使潜在的自然环境脆弱性转化成为现实的破坏^[10-15]。

而对于我国东部矿区而言,为了缓解矿井开采后期的资源紧张局面,许多矿井开始开采第四系松散含水层下的浅部煤炭资源^[16-18]。由于未能准确把握覆岩采动裂隙的动态发育状况,导致一些矿井发生透水等重特大事故,造成巨大的人员伤亡和财产损失。同时,我国东部矿区地表村庄、建筑物和农田较为密集,井下煤炭资源的开采极易对其造成不同程度的破坏,严重影响了当地居民的日常生活和生产活动。

因此,准确把握覆岩采动裂隙场的扩展与分布特征,分析清楚覆岩由下向上变形、破裂、压实过程中采动裂隙场的动态形成和闭合的可能性以及与上覆水体水力联系情况,成为解决煤炭资源开发与安全和环境灾害预防三者矛盾的重要基础,由煤炭资源开采导致的一系列安全与环境灾害如图 1-1 所示。

(2) 针对覆岩采动裂隙动态发育过程及其含水性的监测监控方面缺乏一种可靠、有效、易操作的方法和手段。

目前,关于覆岩采动裂隙发育特征方面的数值模拟和物理模拟方法和手段较多^[19-28],但纵观当前已有研究成果和现场工程实践经验^[29-60],在覆岩采动裂隙动态发育过程及其含水性的监测监控方面没有一种可靠、有效、易操作的方法与手段。传统的“三带”设计理论^[61]已不适合我国西部矿区浅埋煤层条件,而覆岩采动裂隙的扩展及能否与上覆松散含水层沟通,是我国西部干旱半干旱矿区保水开采和东部矿区松散含水层下压煤开采能否成功的关键。同时,其所采用的相关开采控制措施的有效性,也必须通过有效的监测监控手段来保证。现有的监测监控方法和手段不仅存在安装工程量大、操作复杂、成本高、数据获取困难等缺点,而且在监测效果和可靠性等方面易受井下各种采矿地质条件的影响而难以达到预期的监测目的。如受井下工作面超前采动支承压力的影响而难以达到全程监测,无法完全反映采动全过程,不能准确判定覆岩采动裂隙的动态发

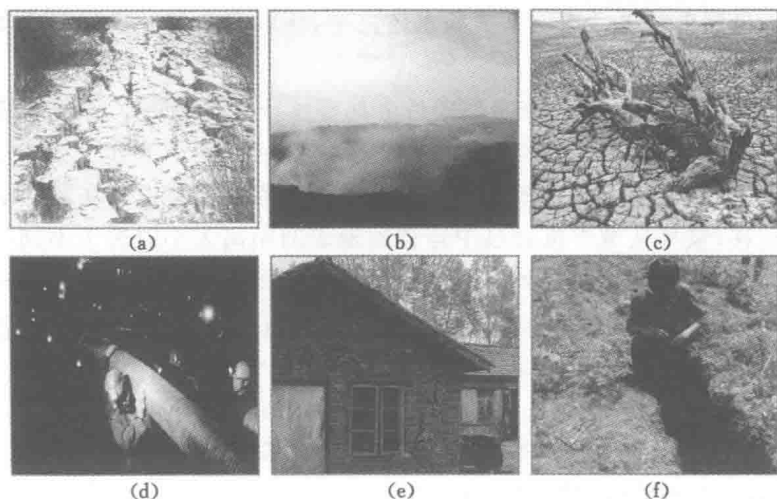


图 1-1 煤炭资源开采引起的安全与环境灾害

(a) 地表采动裂缝;(b) 自然发火;(c) 植被枯死;
(d) 煤层顶板透水;(e) 房屋开裂;(f) 农田破坏

育状态,更难以判定是否与上部松散含水层沟通,影响了安全高效开采技术的有效实施。因此,迫切需求对覆岩采动裂隙动态发育过程及其含水性的监测监控方法及手段进行创新。

(3) 在利用氡气地球物理化学特性地表探测覆岩采动裂隙及其含水性方面作有益探索,以期开发出一套简单易行又快速可靠的氡气地表探测新技术。

氡是一种化学元素,在自然界状态下,具有 27 种同位素。氡常见的三种放射性同位素为 ${}^{219}_{86}\text{Rn}$ 、 ${}^{220}_{86}\text{Rn}$ 和 ${}^{222}_{86}\text{Rn}$,而人们通常所说的氡是指 ${}^{222}_{86}\text{Rn}$,具有 3.82 d 的半衰期,其直接母体为镭的同位素(${}^{226}_{88}\text{Ra}$),间接母体是铀的同位素(${}^{238}_{92}\text{U}$)。氡通常的单质形态是氢气,是人类所接触到的唯一具有放射性的最重的惰性气体。氡在常态下无色、无味、无臭,易溶于水和有机质,难以与其他物质发生化学反应,化学性质较为稳定。由于氡是由铀最终衰变而成,而铀以一定的含量存

在于自然界的煤、岩石、土壤和水体之中,所以在自然环境中氡无处不在^[62]。

氡的活动性很强,在自然条件下具有较好的迁移能力,其在地质环境中除以气态方式迁移外,还能以溶解态伴随地下水和土壤水迁移。氡气一般通过扩散运动、气体流动或两者组合的方式在覆岩层中运移,氡气从地下覆岩层中运移到地表的距离大小取决于不同的岩性。例如,在同质沙层里,氡气可运移的垂直距离为 360 ~ 420 m^[63-65]。另外,我国也观测到井下 400 m 左右埋深煤层自燃区上方的地表附近土壤中氡气浓度有大幅度上升现象^[66]。由此可见,氡气至少在井下 400 ~ 500 m 的范围内,能够从地下煤岩层中运移到地表,所以在我国西部矿区浅埋煤层及东部中深部煤层(500 m 以内)开采过程中应用没有问题。

由于氡气具有放射性,即使浓度很小,也可被测出。同时,它又具有惰性气体的地球物理化学性质,即在微孔或微裂隙中可传输和积聚^[67-71]。而将氡气的地球物理化学特性应用于采矿工程领域,将放射性测量方法引入地下煤炭开采覆岩采动裂隙动态发育过程及其含水性方面的探测,尚处于空白领域。为此,著者在上述空白领域作有益探索,进行覆岩采动裂隙及其含水性的氡气地表探测前期的相关基础性研究,为后续开发出一套简单易行又快速可靠的监测监控新技术奠定基础。研究成果将会打开覆岩采动裂隙及其含水性的监测监控技术的新局面,可以进一步拓宽氡气探测技术的应用领域,可为西部矿区保水开采、覆岩采动裂隙分区、工作面顶板破断来压预测及井下老空区含水区域定位等提供理论依据。

1.2 国内外研究现状与存在问题

覆岩采动裂隙及其含水性的氡气地表探测机理研究是一项多学科交叉的综合性课题,主要涉及煤矿开采学、矿山地质学、放射性测量等多个学科。通过教育部科技查新工作站(国家一级查新工作站)

查新及查阅国内外博硕论文和 SCI、EI、ISTP 等数据库收录的文献,发现国内外在氦气运移机理及氦气探测技术工程应用方面研究较多,且工程应用主要集中在地质勘查找矿、地质填图、探测隐伏构造、寻找基岩地下水和地热、预测地震和火山爆发等工程地质方面,以及在煤层自燃区火源定位等煤矿安全领域方面进行了初步探索,但在利用氦气地球物理化学特性进行地表探测覆岩采动裂隙及其含水性的相关研究方面则未见报道。

1.2.1 氦气的运移机理研究

氦自从 1900 年被德国科学家多恩(F. E. Dorn)在铀制品中发现以来,随着现代科学技术向纵深方向发展,该放射性元素及其衰变子体受到了国内外众多学者的广泛关注。100 多年来国内外学者对氦及其子体是如何从地下深部运移至地表附近做了大量的研究工作,提出了许多关于氦气运移的理论和机制,研究成果归纳起来主要体现在两大方面:外因方面和内因方面。

(1) 外因方面

① 扩散对流作用

Fliigge 和 Zimens 两位学者于 1939 年最早提出氦气的运移是由扩散作用所引起的。该理论认为,由于浓度差的存在,导致氦气从浓度高的地方向浓度低的地方迁移。它是建立在 Fick 定理基础上的一种氦气运移理论,至今仍被认为是氦气迁移最主要的作用机制之一。

Fleisher 和 Mogro Campero 两位学者于 1979 年提出了氦气运移的对流理论。该理论认为,由于地下介质中存在压力梯度和温度梯度,氦气满足流体对流理论,氦气在对流作用机制下,可以运移很长距离,远远大于扩散作用,该理论至今同样被认为是氦气迁移最主要的作用机制之一。

M. M. Соколов 等学者^[78]于 1980 年在实验室条件下对氦气运移机理进行了研究,该研究发现氦的运移能力不能仅用扩散理论解释,还必须从对流的角度进行解释。

刘庆成等学者^[79]在前人研究的基础上,针对氦气运移设计了一种实验模型,并采用氦气的扩散对流理论对实验结果进行检验,实验证明氦在近地表岩石、土壤和空气中的运移,可以用氦气的扩散对流理论进行解释。

李韧杰^[80]认为氦气在充满流体的空隙中迁移的动力主要来源于体积活动梯度和压力梯度,扩散是低渗透性介质中氦气运移的主要作用机制,而对流是高渗透性介质中氦气运移的主要作用机制,通常情况下氦气运移是扩散和对流两种方式的结合。李良等学者^[81]应用氦气扩散理论,推导出了水氦异常变化与体积应变的关系,认为氦气的扩散效应,导致水氦异常变化,从而使得体积应变变量放大约10 000倍。程业勋等学者^[82]通过理论计算,推导出了近地表空气中氦气运移理论方程,并在实验室条件下进行了模拟实验,进一步讨论了氦气扩散系数、对流速度及析出率等参数对氦气运移的影响情况。

② 孔隙流体作用

孔隙流体理论是建立在 Darcy 定律基础上的一种氦气运移作用机制。该理论认为,在地下岩石毛细孔隙中,地下流体的不断运动,将溶解在其中的氦气带动迁移,迁移距离的大小则取决于地下流体的流动速度。

M. H. Wilkening 等学者^[83]认为氦气的半衰期很短,其决定了地下岩石中氦气运移距离较短,氦气从地下深部迁移至地表,必须依赖地下快速流动的流体来实现。S. Lombardi 等学者^[84]认为地下介质中氦气浓度的大小与介质本身的渗透系数有关。

李亚平等学者^[85]认为地下水中氦的迁移主要取决于水的迁移,氦气可随着地下水沿着破碎带或裂隙带向地表运动。戴华林等学者^[86]认为,当地下岩石中存在岩溶、节理裂隙及断裂破碎带时,它们便可以给地下水及气体提供良好的储存场所和运移通道,地下水及气体的流动便可以带动氦气一起运移。

③ 微气泡搬运作用

微气泡搬运作用理论^[87]认为,在地下潜水面以下,有微气泡的

存在,氦气能够附着在微气泡上向上快速运移,从而可以运移很长距离。而在地下潜水面以上,氦气主要以扩散和对流两种方式向上运移。

K. Kristiansson 和 L. Malmqvist 两位学者^[88]认为,氦气能够吸附到微气泡上并随之一起向上迁移,迁移的速度取决于微气泡上升的速度,当氦气从一个微气泡上脱离后会迅速地吸附到另外一个微气泡上。

④ 接力传递作用

Peter F. Folger 等学者^[89]采用数值模拟计算方法对水氢的运移机理进行了研究,认为水氢的迁移必须依靠其他载体的流动来实现,但氦气的长距离迁移与其直接母体镭和间接母体的迁移有着十分密切的联系。

白云生等学者^[90]对氦气多种运移机制分析后认为,在很多情况下,地下介质中氦气的运移距离取决于铀矿体周围发育的原生晕和次生晕程度,氦气的直接母体镭的运移距离决定了氦气的运移距离,氦气的迁移机制一般为单棒接力传递或多棒接力传递作用。刘泰峰等学者^[91]认为地下介质中氦气的迁移首先是其母体镭随地下水流动的迁移,它可以在潜水面下通过扩散迁移,或在潜水面上沿裂隙的含水面迁移。吴慧山等学者^[92]针对氦气作长距离迁移的问题,认为扩散和对流作用只能使氦气作短距离运移,氦气的长距离运移必须依靠接力传递作用来实现;氦气往往借助于外界其他物质或自然力,通过接力传递作用实现长距离迁移。

关于氦气运移机理外因方面的研究还有:应力应变作用、温度压力作用、抽吸作用、泵吸作用、地热作用及地震应力作用等。

(2) 内因方面

影响氦气迁移的内在因素主要有:与氦原子质量有关的重力性质,如结晶分异和熔离作用等;与氦原子核结构有关的放射性性质,如衰变和核反冲等;与原子及电子排列有关的化合物的键性及其能量的特点。

内因方面导致氡气迁移机制的研究目前主要有以下基本认识^[93-98]:氡及其子体和母体多为 α 辐射体,它们放出的 α 粒子减速后成为 ${}^4_2\text{He}$ 核,其能与氡及其子体和母体形成复合团簇。 ${}^4_2\text{He}$ 的密度远小于空气密度,当形成的复合团簇浮力大于其重力时,团簇便会在浮力的作用下自行上升,虽然氡及其子体相对密度较大,但却出现了具有“自身”向上运移的现象。

1.2.2 氡气探测技术工程应用研究

正因为氡气地球物理化学性质的特殊性,众多学者开始探索利用氡气解决相关领域的实际问题,并逐步形成了氡气探测技术,目前在多领域中被广泛运用。

(1) 人体健康防护

由于氡气是一种具有放射性的气体,故其积聚到一定浓度后(200 Bq/m^3),会对人体健康造成伤害,主要易得肺癌。居室中的氡主要来源于房屋地基、建材、户外空气、供水及用于取暖和厨房设备的天然气等,如图 1-2 所示。在日常起居生活中,可通过加强室内通风和地基注水等措施,将居住空间中氡气浓度降到 200 Bq/m^3 以下。随着人们对氡的认识与研究的深入,发现高浓度氡可导致疾病,而氡浓度低于人体允许接受的照射剂量水平时,则可利用它来治病。

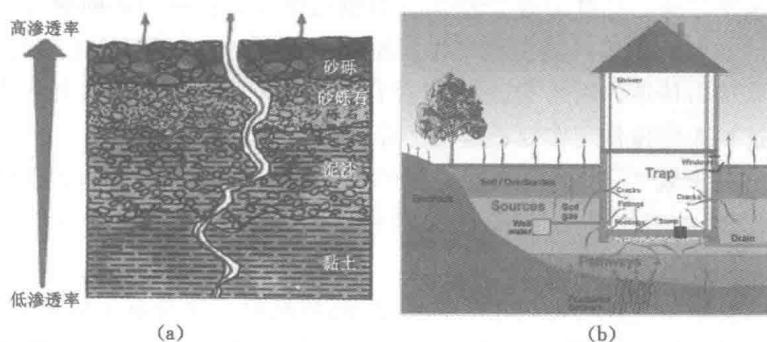


图 1-2 氡气来源示意

(a) 地层中运移; (b) 居室氡来源

低浓度氡可杀灭病毒和细菌,具有消炎、镇静、止痛、增强新陈代谢和免疫能力,调节五脏六腑的保健功能^[99]。根据中华人民共和国国家标准《天然矿泉水地质勘探规范》(GB/T 13727—92)附录 B 医疗矿泉水水质标准规定:有医疗价值的氡水的浓度是 37 Bq/L,可称为矿水的氡的浓度是 47.14 Bq/L,命名为医疗氡水的氡的浓度是 129.5 Bq/L^[100]。

(2) 地质领域应用研究

目前,氡气探测技术在地质领域的应用日益广泛。在矿产地质、水文地质、工程地质、灾害地质及环境地质等方面已有了一定的成功实例和工程经验^[101-110],主要体现在以下几个方面:

① 寻找地下矿藏资源

刘汉彬等人^[111]在鄂尔多斯盆地某矿床进行土壤氡测量条件试验的基础上,对鄂尔多斯盆地西缘研究区进行了区域测量工作。通过对测量数据处理,划分出了 5 片具有成矿远景的异常区,并对氡异常进行了评价解释。研究结果表明,土壤氡测量方法能够在盆地范围范围内划分出异常区,是一种快速评价砂岩型铀矿化的重要地球化学勘查方法。鲁祖惠等人^[112]测量了山东某凹陷地表下氡(²²²Rn)浓度和 γ 辐射强度,根据测量的异常值圈定了含油气沉积区域。测量结果表明,油气沉积上方的近地表呈现出低值的²²²Rn浓度和 γ 辐射场,表现“晕状”模式,即相对于背景值,在油气沉积上方强度偏低,而在其周边区域偏高。

② 寻找地热和基岩地下水

刘菁华等人^[113]在佳木斯城区地下热水调查中,运用了水中氡浓度测量和土壤中氡浓度测量综合方法,通过对水中氡浓度及土壤中氡浓度测量值的正态化变换以及原始氡浓度异常分析,提取了局部异常,综合各种其他外界异常信息,确定出了城区地下热水的有利远景区。滕彦国等人^[114]为了寻找基岩山区地下水富集带,将测氡技术应用于泉州市清源山地下水资源勘探工作中。测氡结果表明,在清源山一带明显存在两条 NWW 向和 NW 向断裂,结合相关地质

资料认为 F_1 断裂带和 F_2 断裂带是地下水赋存的理想位置。

③ 探测地下隐伏构造

张平安^[115]为了进一步查明东莞广盈大厦高层塔楼区域基岩隐伏断裂的具体位置及其活动性质,采用静电 α 卡氦气勘测技术有效掌握了断裂走向、断裂规模以及活动性等,为楼层选址及设计提供了可靠依据。刘江平等人^[116]认为土壤氦(Rn)射气测量是探测隐伏断裂的存在,判断裂的位置、走向及倾向的一种有效手段。通过在胜利油田进行氦射气探测,并结合其他现代先进勘探手段,发现该区域主要的隐伏活动断裂有无棣—益都断裂、胜北断裂和埕子口断裂。其中,无棣—益都断裂活动性最强。唐岱茂等人^[117]认为地下岩溶陷落柱体的内外必然存在着氦气浓度差异,同时由于氦气可以从地下深处迁移至地表,因此无论是开放型岩溶陷落柱还是封闭型岩溶陷落柱,均可在其对应地表形成氦气异常。通过 α 杯测氦法的实验证实,根据氦气异常的峰值状态,可以确定岩溶陷落柱的具体位置和范围。

④ 地质灾害预测预报

靳泽先等人^[118]以厚层状黄土古滑坡、黄土红层老滑坡、厚层黄土新滑坡和基岩滑坡四种不同类型滑坡及周边地区为试验场,采用 FD-3017 测氦仪进行长期氦气浓度变化监测,得出了氦的平面分布规律与滑坡空间预报、垂直剖面分布规律与滑带位置的确定、临滑前运移规律与滑坡时间预报。廖丽霞等人^[119]通过对 1987 年以来的华安汰内井中的水氦监测结果统计,并结合福建地区 ML 4.5 级以上地震灾害和台湾地区 MS 7.0 级以上地震灾害发生情况,发现华安汰内井中的水氦对上述两个地区的地震灾害具有较好的映射关系,但对两者的映射特征存在一定的差异性。具体的差异性表现在:水氦对福建地区地震灾害的映射特征呈现出突跳性振荡,异常特征持续时间较短,且一般在地震前约 20 d 出现异常;而水氦对台湾地区地震灾害的映射特征呈现出高值异常,异常特征持续时间较长,且一般在地震前约 11 个月出现异常。

(3) 煤矿安全领域初步探索