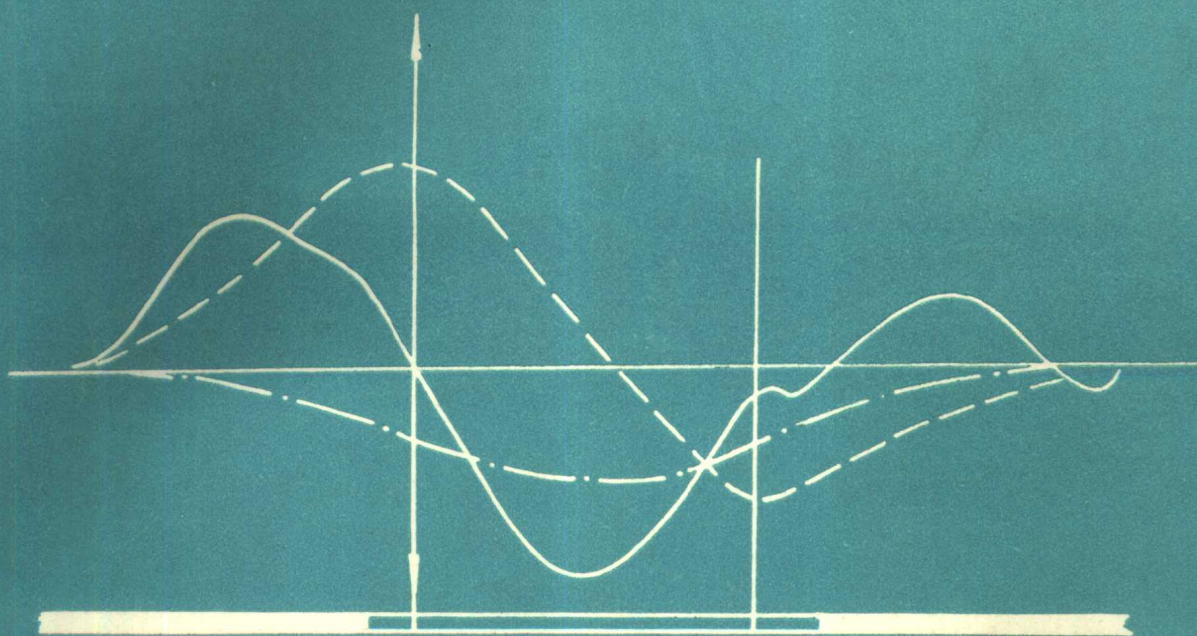


矿山开采沉陷 及其损害防治

王金庄 邢安仕 吴立新 编著



煤炭工业出版社

矿山开采沉陷及其损害防治

王金庄 邢安仕 吴立新 编著

煤炭工业出版社

(京)新登字 042 号

内 容 提 要

本书较系统、详细地介绍了峰峰矿区三十多年来在矿山开采沉陷规律研究及其在建筑物和铁路下采煤中的应用成果。书中介绍了峰峰矿区地表移动参数观测成果,较详细地论述了地表移动变形分布规律和计算方法——峰峰型典型曲线法,及采动过程中的地表移动变形规律。阐述了建筑物下条带开采覆岩移动机理、地表移动变形计算、条带合理尺寸的确定及优化方法,介绍了峰峰矿区三十多年来在建筑物及铁路下采煤方面的实践与认识。

本书可供煤矿、冶金、建材、化工等矿山开采、矿山测量、环境保护等专业的生产、设计、科研人员及高等院校师生参考,也可供矿区城市规划、设计部门及有关专业人员参考。

矿山开采沉陷及其损害防治

王金庄 邢安仕 吴立新 编著

责任编辑:聂孟荀

*

煤炭工业出版社 出版发行

(北京安定门外和平里北街 21 号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

*

开本 787×1092mm $1/16$ 印张 14 $3/4$

字数 345 千字 印数 1—500

1995 年 12 月第 1 版 1995 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 7-5020-1231-1/TD8

书号 3999 G 0336 定价 18.30 元



前 言

峰峰矿务局自 50 年代中期开始地表移动观测及建筑物下、铁路下采煤的试验研究工作。60 年代初,与原北京矿业学院矿山测量教研室、现中国矿业大学先后签定了三次十年科研合作协议,共同开展峰峰矿区地表移动规律及建筑物下、铁路下采煤试验研究。

峰峰局自 1954 年在一矿 1294 工作面建立第一个地表移动观测站以来,30 多年来共建立了 40 多个地表移动观测站,近百条观测线,2500 余个观测点,观测线总长约 50 余公里,做了大量观测工作,取得了丰富的实地观测资料。在此基础上,经分析研究,求出了适合峰峰矿区条件下的地表移动基本参数及其计算公式;基本掌握了峰峰矿区地质采矿条件下的地表移动规律;并对采动过程中(动态)的地表移动规律、地表下沉速度,地表下沉速度合理观测时间间隔、水平移动分布等问题进行了探讨研究;建立了适合峰峰矿区的地表移动计算方法——峰峰型典型曲线法。

1958 年,峰峰局在四矿和村纱厂下进行首次建筑物下采煤试验,30 多年来在建筑物、村庄及车站下共进行 30 余处试验,从建筑物下采出煤炭约 475 万 t。通过各种建筑物下采煤试验研究,求出了砖木结构房屋受采动影响的破坏程度与地表变形关系;求出了峰峰型农村房屋受采动影响开始破坏的临界变形值。1966 年~1967 年,我们进行了我国首次采动建筑物预加固试验研究(五矿南四区旧钢厂)。在我国,第一次在村庄下成功地采用多工作面(4 个工作面)同时联合开采,首次在建筑物下进行厚煤层分层冒落条带开采及近距煤层群条带开采试验,并对条带煤柱稳定性及覆岩移动进行了实地观测研究,深入地系统地研究了条带开采条件下覆岩移动机理;首次提出了条带开采条件下地表最大下沉值计算方法,并取得了采动区砖砌体结构房屋抗采动理论计算与结构措施优化设计的实践经验。

1949 年,峰峰局在一矿首次进行铁路下采煤,30 多年来,在 40 多公里的铁路下进行了多次重复采煤,共采四个煤层,最大采出总厚度达 8.8m,共采出煤炭约 2499 万 t。在进行铁路下采煤试验中,对受采动影响路基的稳定性,特别是高路堤的稳定、移动变形对道岔、信号、通讯、站场、站台等铁路设施的影响及其维修措施等问题进行了试验研究,提出了保证线路行车安全的关键主要是道床稳定性问题,由此,应延长维修周期,确定合理起道高度。

为配合峰峰矿区地表移动规律及建筑物下采煤现场试验研究,在中国矿业大学北京研究生部建立了相似材料模拟实验室,配合现场进行室内模拟试验研究,对现场试验和理论分析起了重要作用。

峰峰矿区地表移动规律及建筑物下、铁路下采煤试验研究能够坚持 30 多年不间断,科研上取得可喜成果,主要是科研为生产服务,解决了峰峰局严重的“三下”采煤问题,对矿井挖潜、缓解矿井生产地区接替紧张局面、延长矿井服务年限、矿井完成生产计划和减亏等起了促进作用。同时,也与峰峰矿务局、矿历届领导的大力支持和重视,原北京矿业学院、现中国矿业大学历届领导的支持和帮助分不开。

具体参加试验研究的人员有峰峰矿务局及各有关矿的矿山测量、采煤、地质、建筑、物

探等专业的技术人员及工人；有原北京矿业学院、现中国矿业大学矿山测量教研室及北京研究生部测量研究室的教师、研究生及部分大学生，煤炭科学研究总院北京开采所特采室、煤炭科学研究院唐山分院测量研究所也参加了部分研究工作。在整个研究过程中，河北省煤炭厅、煤炭部技术司、生产司、教育司也都给我们很大支持和帮助。

峰峰矿区地表移动规律及建筑物下采煤研究成果是现场、学校和科研单位相结合的产物，是教学、科研与生产多专业、多学科相结合的结晶。

在峰峰矿区开采沉陷与“建下”开采领域已鉴定和公布的技术成果基础之上，结合国内外有关资料，系统地总结经验，提高认识而撰写此书，目的是为峰峰矿区今后更好的开展“三下”采煤工作，并供国内其他矿区及同行们参考和借鉴，也期望得到同行们的指教。

参加本书编写的有王金庄（绪论、2、4）、邢安仕（1、5、6）、吴立新（3）。王金庄负责全书的总编审。

在编写和出版过程中得到峰峰矿务局局长、兼总工程师刘延安同志、河北省煤炭厅厅长许世亮同志、科教处处长田茂祥同志及煤炭部科教司教材编审室聂孟荀编审的帮助，在此表示谢意。

由于作者水平有限，编写时间较仓促，书中不妥之处在所难免，欢迎读者指正。

作 者

1994. 4

目 录

前言

绪论	1
1 峰峰矿区地表移动观测成果	3
1.1 概述	3
1.1.1 煤田地质特征	3
1.1.2 采煤方法	4
1.1.3 地表与覆岩移动观测综述	4
1.2 地表移动角量参数	5
1.3 地表移动变形最大值的计算	7
1.3.1 地表最大下沉值的计算	7
1.3.2 地表最大倾斜值的计算	9
1.3.3 地表最大曲率值的计算	9
1.3.4 地表最大水平变形值计算	9
1.4 地表最大下沉速度	10
1.4.1 地表最大下沉速度合理观测时间间隔的确定	10
1.4.2 地表最大下沉速度的计算	15
1.5 地表移动的持续时间	18
1.5.1 地表移动活跃期的确定	18
1.5.2 地表移动初始期及衰退期的确定	21
1.5.3 地表移动持续的总时间	22
2 采动过程中地表移动变形	23
2.1 概述	23
2.2 工作面推进过程中地表点的移动轨迹	23
2.2.1 走向主断面内地表点的移动轨迹	23
2.2.2 倾斜主断面内地表点的移动轨迹	26
2.3 工作面推进过程中走向主断面内地表移动变形规律	26
2.3.1 地表下沉速度和地表下沉分布规律	26
2.3.2 超前影响角与最大下沉速度角	29
2.3.3 地表倾斜变形变化规律	31
2.3.4 地表曲率变形变化规律	33
2.3.5 地表水平移动变化规律	34
2.3.6 地表水平变形变化规律	34
2.4 采动过程中地表任意点下沉速度的预计	36
2.4.1 走向主断面上地表任意点下沉速度预计	36
2.4.2 倾斜主断面上地表任意点下沉速度计算	39
2.4.3 地表任意点任意时刻的下沉速度计算	40

2.4.4 采动过程中地表任意点下沉速度预计结果的验证	41
2.4.5 采动过程中地表任意点下沉速度预计的几点结论	46
2.5 采动过程中地表移动变形预计	46
2.5.1 工作面推进过程中走向主断面内地表任意点下沉、倾斜、 曲率变形计算	46
2.5.2 工作面推进过程中地表任意点下沉、倾斜、曲率变形计算	49
2.5.3 预计所用参数求取方法	50
2.5.4 采动过程中地表移动变形预计步骤举例	51

3 条带开采覆岩移动机理及地表移动计算	56
3.1 概述	56
3.1.1 我国条带开采现状	56
3.1.2 峰峰矿区进行条带开采的必要性	57
3.2 条带煤柱受力特征及其动态过程试验分析	57
3.2.1 煤柱受力的非均匀性	57
3.2.2 煤柱附加应力分布形态的动态过程	60
3.2.3 条带煤柱附加应力分布形态演变的全过程	61
3.3 条带开采覆岩移动机理	64
3.3.1 国内外条带开采实践	64
3.3.2 相似材料模拟试验与数值分析	64
3.3.3 覆岩与地表沉陷机理与计算模式	65
3.3.4 现场钻孔观测试验	66
3.4 开采条带宽度设计原理与方法	68
3.4.1 覆岩内部组合结构及托板控制原理	68
3.4.2 托板边界约束条件与托板筛选	69
3.4.3 托板临界暴露尺寸的确定	71
3.4.4 开采条带宽度设计	74
3.4.5 实例演示	74
3.5 保留条带宽度设计原理与方法	75
3.5.1 现有条带留宽设计方法评述	75
3.5.2 设计方法的前提假设	76
3.5.3 煤柱屈服区宽度计算公式	76
3.5.4 煤柱极限强度确定方法	77
3.5.5 煤柱宽度“平台”载荷设计方法	78
3.5.6 实例演示	79
3.6 条带开采地表最大下沉值计算	81
3.6.1 岩体强度的确定	81
3.6.2 煤柱压入底板量 W_1	81
3.6.3 煤柱压缩量 W_2	83
3.6.4 岩柱压缩量 W_3	84
3.6.5 承重岩层压缩量 W_4	85
3.6.6 计算实例	86
3.7 条带开采地表移动模式及移动变形预计	88
3.7.1 地表移动模式与移动机制	88

3.7.2	地表最大下沉量的预计	88
3.7.3	地表移动变形预计公式	90
3.7.4	地表移动预计参数的确定	92
3.8	峰峰矿区建筑物下条带开采实践	93
3.8.1	一矿工人村下厚煤层分层冒落条带开采试验	93
3.8.2	二矿工业广场区域建筑物下条带开采试验	93
3.9	建筑物下条带开采应注意的几个问题	97
3.9.1	断层活化引起地面出现集中破坏带	97
3.9.2	古窑采空区及古窑井活化引起地面塌陷	98
3.9.3	回填沟影响	99
3.9.4	地下管道受采动影响的特点	100
3.9.5	同一煤层相邻老空区活化影响	100
3.9.6	重复条采煤柱不对齐的影响	101
4	地表移动变形预计	103
4.1	概述	103
4.2	典型曲线的建立	104
4.2.1	下沉无因次曲线分析	104
4.2.2	下沉典型曲线的建立	114
4.3	用典型曲线法预计地表下沉	121
4.3.1	预计步骤	121
4.3.2	地表下沉预计与实测结果的比较	122
4.3.3	地表倾斜、曲率变形预计	123
4.3.4	地表移动变形预计步骤	123
4.4	地表水平移动与水平变形预计	128
4.4.1	主断面上地表水平移动分布规律	128
4.4.2	地表水平移动与水平变形的预计	140
5	矿区建筑物采动损害与保护	150
5.1	概述	150
5.2	建筑物的损坏与采动损害识别	151
5.2.1	非采矿因素引起建筑物的损坏	151
5.2.2	开采沉陷对地面建筑物的影响	152
5.2.3	采动损害的识别	155
5.3	建筑物保护煤柱留设中的问题与对策的探讨	156
5.3.1	建筑物保护煤柱效果分析	157
5.3.2	关于建筑物保护煤柱留设几个问题的思考	159
5.3.3	特殊地质条件下的建筑物保护	162
5.4	采动建筑物损害程度的估计	165
5.4.1	采动建筑物损害程度与地表变形关系的确定方法	165
5.4.2	我国采动建筑物损害等级标准	165
5.4.3	国外评定采动建筑物损害程度的方法	168
5.5	峰峰矿区建筑物下采煤的实践	176
5.5.1	五矿南四区上方建筑物加固与采动试验研究 ——采前建筑物加固措施试验实例	177

5.5.2 辛寺庄村下野青煤层多工作面联合开采试验	
——以井下开采措施为主（多工作面联合开采）、地面维修措施为辅的	
开采实例	187
5.6 建筑物下采煤的综合技术措施	193
5.6.1 概述	193
5.6.2 技术措施的评价与方案选择	193
5.6.3 减少采动损害影响的开采技术措施	195
5.6.4 建筑物抗采动及地面减小变形影响的技术措施	199
6 铁路下采煤	206
6.1 概述	206
6.2 采动铁路路基与道床稳定性	207
6.2.1 采动铁路路基的稳定性	207
6.2.2 采动铁路道床的稳定性	208
6.3 铁路下采煤的技术措施	210
6.3.1 采前准备	210
6.3.2 线路的移动与维修	211
6.3.3 开采技术措施	213
6.3.4 其他铁路上部建筑物的采动损害防治技术措施	214
6.3.5 其他安全措施	215
6.4 峰峰矿区铁路下采煤实例	216
6.4.1 新峰铁路煤柱试采	216
6.4.2 “马磁线”和村火车站下采煤	219
结束语	224
参考文献	225

绪 论

地下有用矿物被采出后，破坏了采区周围岩体内部的原始应力平衡状态，使岩层产生移动、变形和破坏。当开采面积达到一定范围后，起始于采场附近的移动将扩展到地表，引起地表下沉，在地表形成一定范围的下沉区（在平原地区形成明显的“洼地”），这种下沉区俗称塌陷区，一般称之为“下沉盆地”。

矿区开采的实践说明，在大多数情况下，由于矿山开采的影响可使移动岩体内的井筒、巷道、峒室及其它井下工程遭到破坏。矿山开采引起的地表移动和变形将影响位于下沉盆地范围内的房屋建筑、河流、铁路、管道及其它构筑物，改变它们的原有状态，甚至破坏。地表沉陷将引起地形、地貌产生变化和破坏，影响农业耕种、影响景观，影响矿区地面生态环境。

总之，开采地下宝藏可以造福于人类，但同时矿山开采也给人类带来不少危害，人们一般称之为开采损害。对开采造成的损害必须采取措施治理。

由于人们对开采沉陷研究的不够，因而地下开采使铁路、房屋遭到破坏，井下透水造成人员死亡的惨案时有发生。1875年在德国的约汉·载梅尔矿，由于地表塌陷使铁路钢轨悬空，影响列车运行。据1895年德国的“幸福”杂志记载，在波希米亚的柏留克城发生了地下开采危及地面的严重事件，地面的突然崩塌毁坏了31所房屋。1916年日本在海底下采煤时，海水沿着由于开采影响而扩大的构造裂缝溃入井下，两小时内淹没了矿井，死亡237人。

以上事例足以说明，开采沉陷给人类带来很大危害，因此，世界各主要产煤国的矿山技术人员越来越重视对开采沉陷的研究。前苏联、波兰、德国和英国等对开采沉陷的理论及“三下”采煤技术都进行了深入的研究，做了大量试验研究工作，并取得了丰硕成果。

我国开采沉陷的研究工作是在新中国成立以后开始的。开滦、峰峰和淮南矿区在50年代初期即建立了地表移动观测站，开始了我国开采沉陷科学研究的仪器观测工作。50年代后期，我国的一些主要矿区，如开滦、淮南、峰峰、新汶、阳泉、本溪、鹤岗、抚顺、阜新等矿区，先后制定了开展地表移动观测的规划，有计划地建立观测站。经过30多年的实地仪器观测，积累了大量的实测资料。在此基础上，经过综合分析，基本掌握了在本矿区的开采条件下的地表移动规律及地表移动基本参数。就全国范围提出了具有我国特色的地表移动预计方法。

30多年来，在开展地表移动规律研究的同时，我国积极开展建筑物、铁路和水体下（简称“三下”）采煤试验研究工作，取得了很大成绩，积累了较为丰富的经验。

在丰富的地表移动观测资料、“三下”采煤实践经验和科学研究成果的基础上，1986年制定了符合我国实际情况的我国第一个“建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程”。该规程集中了我国30多年来在开采沉陷及“三下”采煤的主要研究成果。它标志着我国在开采沉陷理论及“三下”采煤技术方面已接近或达到世界先进水平。

开采沉陷研究涉及测量、采矿、地质、建筑、力学等许多学科知识。近十几年来，这

些学科的新成果，特别是电子计算机技术及新仪器在开采沉陷及“三下”采煤技术中的应用，使开采沉陷研究水平及“三下”采煤技术得到很大提高，从而大大促进了煤矿生产实践中“三下”采煤具体问题的解决，对煤矿企业完成生产计划、老矿挖潜、延长矿井寿命及充分开采地下煤炭资源起了很大作用。

但是，还应看到，由于开采沉陷及“三下”采煤是个比较复杂的问题，目前还有许多问题研究的还不够，这就需要我们在学习国外先进经验的基础上，继续努力开展科学研究与生产实践，不断探索，大胆创新，为提高我国开采沉陷的理论水平和“三下”采煤技术而努力工作。为在我国建设具有中国特色的社会主义而奋斗。

1 峰峰矿区地表移动观测成果

1. 1 概 述

峰峰矿区位于河北省南部，属邯郸市峰峰矿区、武安市和磁县辖区，是太行山东麓煤田之一。矿区各矿专用铁路线与京广铁路相接，构成环行线路和支线网络，矿区公路纵横交错，交通便利。

矿区地形属太行山东麓山前丘陵带，中部奥陶纪隆起形成鼓山，将矿区分割成东西两部，地表高差 200 余米。地面有三条主要河流，即北部的南洺河属季节性河流；中部有以奥陶系灰岩隆起泉群为源的滏阳河；南部有漳河。另外尚有拦截滏阳河水的东武仕水库和拦截漳河水的岳城水库。煤田上方村镇密集，加之各类厂矿企业、居民点、工业民用建筑群，压煤十分严重。

1.1.1 煤田地质特征

峰峰煤田属石炭二迭系。煤系地层分山西组和太原组，总厚 180m，含可采煤层 6~7 层，煤层总厚度 13.0m 左右。其中山西组含煤一层，厚度一般 3~5.5m。太原组含煤 6 层，各层厚度为 0.6~1.5m 左右。下三层煤因受其底部奥陶灰岩水的威胁暂不可采。见表 1-1 峰峰煤田可采煤层特征表。煤层倾角 10°~20°，极个别有 50°~60°。

煤田内断裂构造极其发育，多为高角度的正断层。煤田东部为单斜构造，倾向东方；西部为轴向南北的向斜。

表 1-1

煤层组	煤层编号	煤层名称	与上层的间距, m			煤层厚度, m			含 夹 石 情 况			顶 底 板 情 况			
			最大	最小	一般	最大	最小	平均	层数	一般厚度 m	岩 性	顶 板	底 板	稳定性	构造
上 四 层 组	2	大煤				6.80	0.35	3.52	0~4	0.2~30.0	炭质泥岩 砂质泥岩	砂岩及 砂质泥岩	泥岩及 砂质泥岩	稳定	较复杂
	3	一座	41.98	10.16	28.00	1.22	0.07	0.60				泥岩及 砂质页岩	泥 岩	稳定	简单
	4	野青	15.00	6.00	10.00	2.05	0.14	1.00				石灰岩	砂岩及 砂质泥岩	稳定	简单
	6	山青	35.00	28.00	30.00	2.54	0	1.10				石灰岩 及砂岩	泥岩及 砂质泥岩	稳定	简单
下 三 层 组	7	小青	26.00	4.94	18.00	3.20	0	0.84	0~2	0.2	炭质泥岩	灰岩及 砂质泥岩	泥岩及 砂质泥岩	半稳定	较复杂
	8	大青	39.77	6.47	25.00	2.07	0.25	0.88				灰 岩	泥岩及 砂质泥岩	稳定	简单
	9	下架	9.00	0.91	7.00	5.18	0.15	2.28	0~5	0.15	炭质泥岩	泥岩及 砂质泥岩	泥岩及 砂质泥岩	稳定	复杂

煤层的覆岩为砂、泥岩互层，硬度中等。地表第四系松散层一般为 20m 左右，局部达 70~80m。矿区东部井田，地势较低，局部地表潜水位高，有开采沉陷积水问题。

1.1.2 采煤方法

峰峰矿区厚煤层采用倾斜分层走向长壁采煤方法，全部陷落法管理顶板，落煤方式为炮崩和机割。薄煤层顶板管理方式一般为缓慢下沉。地表移动观测区域的开采深度为 70~400m，回采速度为每月 50~100m。

由于地质构造十分复杂，采区布置受断层限制，工作面长短不一，其形状也不规则。

为研究地面建筑物的保护，曾专门试验多工作面联合开采、条带开采等特殊采煤方法。

1.1.3 地表与覆岩移动观测综述

峰峰矿区地表水系发育，铁路公路交通发达，各类建筑物密集，为地下资源的合理开发带来了一系列的技术难题。

为了解决这些十分重要的问题，首先必须掌握矿区岩层与地表移动的基本规律及地表移动基本参数。而实地观测是当前国内外普遍采用的研究煤矿开采沉陷及其损害、防护的最有效和切实可行的方法。长期以来，在原北京矿业学院矿山测量教研室的协助下，我们进行了大量的实地观测研究工作。峰峰矿区岩层与地表移动规律的研究主要按以下方向进行：

- ① 为解决矿区建筑物保护问题，寻求地表移动规律及主要参数；
- ② 建立地表移动的计算方法；
- ③ 研究地表移动的动态过程；
- ④ 研究覆岩破坏的基本规律；
- ⑤ 探求地表变形与建筑物破坏的关系；
- ⑥ 研究和试验保护地面建筑物的特殊采煤方法，以及采用这些特殊采煤方法时的覆岩和地表移动规律及参数。

研究地表和覆岩移动的方法，首先要建立各种不同类型的观测站，用仪器进行长期观测。

从 1955 年到 1991 年间峰峰矿区共建立了成果较好的观测站 40 余个，近百条观测线，观测线总长度近 50km，观测点总数达 2500 多个。

峰峰矿区先后设置了以下类型的观测站：

- ① 地表短期观测站：在矿区地表移动资料贫乏的情况下，为迅速取得某些参数，要求在短期内（2~3 个月）获得观测成果；
- ② 普通地表移动观测站：按采动性质又可分为初次采动和重复采动两种；
- ③ 建筑物观测站：在地表与建筑物基础或墙壁上对应设置观测点；
- ④ 铁路观测站：沿铁路路基与对应钢轨上设置观测点；
- ⑤ 岩体内部巷道观测站：在井下巷道内设点，观测采动对巷道及岩层的影响；
- ⑥ 钻孔观测站：在煤岩体内部打钻孔，用压缩木测点和应力计测定采动后岩层的位移、应力及岩层破坏情况。

峰峰矿区地表移动观测站在 50 年代观测的一批成果中，由于当时的技术水平、仪器设备条件的限制，大多数设站、观测质量较差，成果利用率也较低。经 1965 年的第一次综合分析以后，从设计、标定、埋点到观测质量等均有提高，并开始逐步用精密仪器进行施测，

量边亦强调往返丈量。高程观测必须满足Ⅳ等水准要求，其符合水准测站中误差达到 $\pm 3.4\text{mm}$ ；闭合差水准测站中误差达 $\pm 1.5\text{mm}$ ；建筑物观测闭合线路测站中误差为 $\pm 2.8\text{mm}$ ，三者加权平均 $\pm 2.4\text{mm}$ ，边长丈量求取的偶然误差系数 a 为 0.004 ，系统误差系数 b 为 0.0001 。

1.2 地表移动角量参数

在进行大量的地表移动观测基础上，将各不同地质采矿条件下取得的观测结果进行综合分析，求出了适合峰峰矿区的地表移动主要角量参数，见表1—2。^[1]

对于松散层移动角是用间接方法求出的^[1]，并得到了松散层实地观测站的验证。

表1—2

符号	名称	经验公式或值	中误差	平均偏差	实测数据数量	注
φ	松散层移动角	56°			13	
δ_0	走向边界角	58°		10	均值	
β_0	下山边界角	$62.4 - 0.3\alpha - 1.56m$	± 2.1	1.56	12	
γ_0	上山边界角	$41 + 1.5\alpha$ 或 58°			7	暂取
δ	走向移动角	74	± 2.0	1.38	17	
β	下山移动角	$74 - 0.6\alpha$	± 2.4	2.20	15	
γ	上山移动角	$63 + \alpha$			5	暂用
δ'	走向最大拉伸角	$81 + 0.1(H_0/m)$	± 3.2	2.40	12	
β'	下山最大拉伸角	$85 - 0.6\alpha$	± 2.1	1.6	16	
γ'	上山最大拉伸角	$75 + 0.18(H_0/m)$	± 4.6	3.70	8	
θ	最大下沉角	$90 - 0.6\alpha$	± 2.6	2.00	23	
ψ_1	下山充分采动角	$64 - 0.55\alpha$	± 4.1	3.20	13	
ψ_2	上山充分采动角	$55 + 0.4\alpha$			13	
ψ_3	走向充分采动角	58°				暂取
Φ	最大下沉速度滞后角	$15.65\ln(H_0/C+1)$		1.00	10	
S	起动距	$0.3H_0$				

注： α —煤层倾角； m —开采厚度； C —工作面推进速度； H_0 —平均采深。

直接法即利用表土层观测站方法直接求得。1965年8月在峰峰三矿建立了3238表土层观测站。该观测站煤层倾角 $\alpha=9^\circ$ ，倾斜上山方向移动范围均在表土层内，所求得的上山移动角 $\gamma=56^\circ$ 。即可看成松散层移动角 $\varphi=56^\circ$ 。

间接法的实质是假定整个矿区沿走向基岩移动角 δ 及松散层移动角 φ 保持不变，对于每一条走向剖面观测线均可组成如下关系式：

$$S_i = h_i \operatorname{ctg} \varphi + H_i \operatorname{ctg} \delta \quad (1-1)$$

式中 S_i ——临界变形值最外点至采空区边界之水平距离；

h ——松散层厚度，m；

H ——基岩厚度，m。

拉伸变形点和采区边界连线与水平线在煤壁一侧之夹角,分别用 δ' 、 β' 、 γ' 表示走向、下山和上山方向的最大拉伸变形角。它的功用是可以确定地表最大拉伸或地表最大裂缝的位置,为保护建筑物和建筑物下开采提供依据。

充分采动角在双向充分采动条件下,走向充分采动角 $\psi_3 = 58^\circ$ 。仅走向达到充分采动时, $\psi_3 = 55^\circ$ 。重复采动情况下 $\psi_3 = 58^\circ$,开切眼一侧 $\psi_3 = 58^\circ$,停采线一侧 $\psi_3 = 55^\circ$,开切眼一侧与停采线一侧之充分采动角 ψ_3 值不等说明走向主断面上的地表下沉曲线不对称。但相差并不太大。因而在峰峰矿区的地表移动变形预计中采用 $\psi_3 = 58^\circ$ 。

下山充分采动角 ψ_1 和上山充分采动角 ψ_2 实测资料较少,所求的经验公式尚需进一步修正。

对于上山方向的边界角和移动角,因实测资料不多,仍需进一步补充完善其经验公式。

超前影响角随推进速度增大而变大,重复采动的超前影响角变小,与覆岩性质关系也很密切。

1.3 地表移动变形最大值的计算

地表移动稳定后,移动盆地内移动变形最大值是反映移动变形剧烈程度的重要参数。

1.3.1 地表最大下沉值的计算

1. 充分采动条件下地表最大下沉值的计算

对于水平煤层:

$$W_0 = qm \quad (1-2)$$

对于倾斜煤层:

$$W_0 = qm \cos \alpha \quad (1-3)$$

式中 q —— 下沉系数;

m —— 煤层法向厚度;

α —— 煤层倾角。

这里主要是确定下沉系数。其值大小决定于上覆岩层的性质、顶板管理方法、采动性质等因素。峰峰矿区属中硬岩性,顶板管理方法为全部陷落。通过大量实际观测资料求出的最大下沉系数是:

初次采动: $q = 0.78$;

重复采动: $q = 0.88$;

小煤重复采动: $q = 0.94$;

2. 非充分采动地表最大下沉值的计算

在非充分采动条件下,地表最大下沉值 W_m 不仅与采厚、倾角、岩性、顶板管理方法、采动性质有关,而且与采动程度有关。随着采区尺寸的增大,地表下沉值逐步增大,直至采区尺寸达到充分采动,地表下沉达到最大值。

任意条件下的地表最大下沉值,可用下式表示:

$$W_m = qm \cos \alpha f(D_1/H_0, D_2/H_0)$$

根据实测资料建立 $\frac{W_m}{m \cos \alpha} = f\left(\frac{D_1}{H_0}\right)$ 的函数关系,见相关图(图1-2)。

图1-2曲线适合于 $y = ax^b$ 型式(式中 $a > 0$, $b > 0$) 采用回归分析方法对 $y = ax^b$ 作变

量线性回归，应用最小二乘法求出 a 、 b 系数值： $a=0.726$ ， $b=0.33$ 。

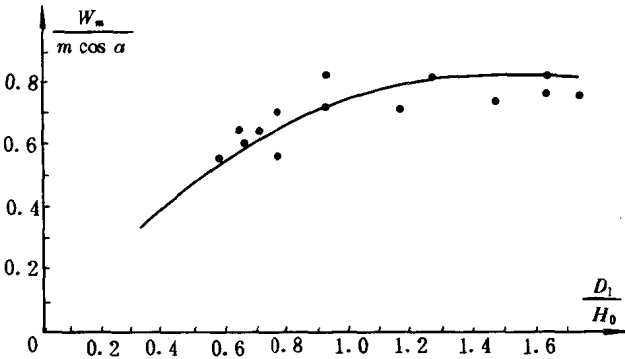


图 1-2 $\frac{W_m}{m \cos \alpha}$ 与 $\frac{D_1}{H_0}$ 之相关图

考虑到走向和倾斜两个方向上不充分采动；则得到非充分采动条件下地表最大下沉 W_m 的计算公式：

$$W_m = qm \cos \alpha \sqrt[3]{n_1 n_2} \tag{1-4}$$

式中 n_1 —— 倾斜方向采动程度系数；
 n_2 —— 走向方向采动程度系数，当 n_1 或 $n_2 > 1$ 时，取值为 1；

q —— 下沉系数，根据采动性质分别选取 0.78、0.88 或 0.94。

采动系数一般以 $n_1 = K_1 \frac{D_1}{H_0}$ ， $n_2 = K_2 \frac{D_2}{H_1}$ 表示， K_1 和 K_2 亦可按下式求出：

$$K_2 = \frac{1}{2} \text{tg} \psi_3 \quad \text{对峰峰条件 } \psi_3 = 58^\circ,$$

$$\text{则 } K_2 = \frac{1}{2} \text{tg } 58^\circ = 0.8, \quad K_1 = \frac{\sin \theta \sin \psi_1 \sin \psi_2}{\sin (\theta + \alpha) \sin (\psi_1 + \psi_2)}.$$

将 $\psi_1 = 64^\circ - 0.55\alpha$ ， $\psi_2 = 55^\circ + 0.44\alpha$ ， $\theta = 90^\circ - 0.6\alpha$ 代入上式可知 K_1 是 α 的函数。将不同之 α 代入上式求 K_1 值列于表 1-3（倾斜方向采动程度系数随倾角 α 变化表）内。

表 1-3

α	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
K_1	0.8235	0.8216	0.8134	0.7989	0.7784	0.7521	0.7205	0.6838	0.6429	0.5978

从表 1-3 中可以看出 K_1 随 α 增大而减小。当 $\alpha < 25^\circ$ 时， K_1 值可近似看做等于 0.8，当 $\alpha > 25^\circ$ 时，应考虑 α 对 K_1 取值之影响。峰峰矿区煤层倾角一般小于 25° ，因此可以确定 $K_1 = 0.8$ 。即得：

$$n_1 = 0.8 (D_1/H_0), \quad n_2 = 0.8 (D_2/H_0) \tag{1-5}$$

如果令 $n_1 \geq 1$ ， $n_2 \geq 1$ ，则得 $D_{01} = 1.25H_0$ ， $D_{02} = 1.25H_0$ 即当工作面尺寸等于平均采深之 1.25 倍时，地表即可达到充分采动。

按所求公式计算地表最大下沉值与实测值比较，求得平均偏差为 6.9%。

3. 地表最大下沉值计算与实测值产生偏差的原因分析

分析地表最大下沉值预计公式可以看出：影响最大值的因素有 D_1 、 D_2 、 H_0 、 α 和 m 。其中煤层厚度 m 的测量精度是最主要因素，影响最大。为了提高地表最大下沉值 W_m 的预计精度，必须提高测量煤层厚度的精度，否则只设法改进计算公式之结构也将无济于事，而对此过去未被人们所注意。在以往的实践中，有人把设计时的煤层厚度当成实际开采厚度，把煤层垂直厚度当作法线厚度，测量煤层厚度不准确，伪顶冒落情况未测量，有的测量误差达到