

Kaikai Chenxianqu Jianshe Daxing Jianzhuqun Lilun Yu Shijian

开采沉陷区建设大型建筑群 理论与实践

王录合 李 亮 王新军 翟加文 编著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

开采沉陷区建设大型建筑群 理论与实践

王录合 李 亮 王新军 翟加文 编 著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书对现有开采沉陷区建筑的各种理论和方法进行了系统的分析和总结,并进行了更深入的研究,形成了系统的开采沉陷区建筑可行性和稳定性评价理论体系,为开采沉陷区土地的建筑利用提供了技术支持。书中系统的介绍了开采沉陷区的形成过程、利用的可能性及其中的关键问题、不同采空区的覆岩破坏规律及“活化机理”、开采沉陷区残余变形的预计计算方法、地表残余变形监测方法、抗变形建筑物设计方法等内容。本书的研究成果用于指导位于老采空区上方的朝川循环经济工业园的建设,通过合理的建筑物布局及井上、下措施,项目的建设效果达到了预期的目标,为企业创造了良好的经济效益和社会效益。研究成果也得到了相关专家的一致肯定,先后获得了国家煤炭工业科技进步奖和河南省科技进步奖等多项奖励。

本书可供采矿工程、岩土工程、土地资源管理专业学生学习使用,对相关企业在开展采空沉陷区建设时具有借鉴意义。

图书在版编目(CIP)数据

开采沉陷区建设大型建筑群理论与实践/王录合等

编著. —徐州:中国矿业大学出版社, 2009. 8

ISBN 978 - 7 - 5646 - 0417 - 2

I. 开… II. 王… III. 采空区—建筑群组合—建筑设计
IV. TU2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 131587 号

书 名 开采沉陷区建设大型建筑群理论与实践

编 著 王录合 李 亮 王新军 翟加文

责任编辑 刘红岗 黄运涛

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

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

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 13.75 字数 343 千字

版次印次 2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷

定 价 28.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

在我国一次能源消费比例中煤炭占 70% 左右,预计到 21 世纪 20 年代煤炭所占比例仍将超过 50%。随着国民经济对煤炭需求的日益增加,我国煤炭产量逐年上升。2006 年前 10 个月,我国原煤产量达 12.85 亿吨,同比增长 16%。大量开采的煤炭资源在为国民经济做出巨大贡献的同时,也带来了严重的环境污染和面积越来越大的采煤沉陷地。研究表明,截至 2006 年 12 月 3 日,我国煤矿累计采空沉陷面积已超过 70 万公顷。经测算,我国煤矿平均沉陷面积仍将以 0.24 ha/万吨的速度增加,重点煤矿的平均采空沉陷面积约占矿区含煤面积的 1/10,按矿区人口计算,人均采空沉陷面积为 1.86 ha。采空沉陷会导致江河断流,泉水、地下水枯竭,土地干旱贫瘠,农业欠收,生态环境恶化;还会导致高速公路、铁路、机场,西气东输、南水北调等重大工程以及城市建筑因处理采空沉陷而增加建设难度和费用;使处于采空沉陷区的煤矿城市面临着地质灾害加重和经济发展变缓的双重夹击。因此,老采空沉陷区的复垦是我国各大矿区面临的一个现实而紧迫的任务。

随着国民经济的发展,城镇化进程进一步加快。党的十七大报告明确提出:“全面繁荣农村经济,加快城镇化进程”。基础设施、房地产业、公用服务业将是城镇建设的三大主力战场,对建筑用地提出了新的更高的要求。另一方面,为确保国家 18 亿亩耕地的底线不能动,使得建筑用地和耕地之间的矛盾显得日益明显。对于矿业城市,将采矿引起的沉陷地开发为建筑用地可以有效地缓解这种矛盾,因此,在开采沉陷区进行建筑的各种关键问题成为当前研究的一个热点。

开采沉陷区建筑地基的变形和破坏规律及其稳定性评价在国内外均属于一个较新的课题,牵涉到采矿、地质、测量、建筑、力学、岩土、勘察等众多领域的众多学科,具有很强的跨学科性和综合性。部分领域的专家学者针对这一课题中的一些问题进行了研究,得到一些有用的结论。但是,许多方面的问题没有得到很好的解决,尚未形成系统的理论体系,难以用于指导现场实际的开采沉陷区建筑应用。

平煤集团朝川矿贯彻集团公司“以煤为本,相关多元化”的大集团长远战略,围绕“煤炭深加工、拉长产业链、提高产品附加值、发展循环经济”的思路,决定在开采沉陷区建立朝川循环经济工业园,将开采出的原煤就地深加工,形成原煤开采、洗煤、焦炭、煤化工、煤气发电等为一体的循环经济链条,使企业进入良性的经济运行模式,增加企业自身的发展潜力,提高对周边经济的影响力及

对区域资源的整合能力。

在这种背景下,平煤集团和中国矿业大学组织科研小组,对现有的开采沉陷区建筑的各种理论和方法进行了系统分析和总结,并进行了深入的研究,形成了系统的开采沉陷区建筑可行性和稳定性评价理论体系。研究成果用于指导位于老采空区上方的朝川循环经济工业园的建设,通过合理地规划建筑物布局及井上下措施,项目的建设效果达到了预期的目标,为企业创造了良好的经济效益和社会效益。研究成果也得到了专家的一致肯定,先后获得了国家煤炭工业科技进步奖和河南省科技进步奖等多项奖励。

为了更好地推动开采沉陷区建筑项目的实施、推广项目组的研究成果和国内外专家学者已经做过的工作,特编写此书,以形成开采沉陷区建筑利用的系统评价体系,为开采沉陷区土地的建筑利用提供技术支持。本书系统地介绍了开采沉陷区的形成过程、利用的可能性及关键问题、不同采空区的覆岩破坏规律及“活化机理”、开采沉陷区残余变形的预计计算方法、地表残余变形监测方法、抗变形建筑物设计方法等内容。最后,以朝川焦化工业园为例,系统地介绍了开采沉陷区稳定性评价体系和建筑利用的方法,为其他开采沉陷区建设提供实例参考。需要说明的是,本书提到的开采沉陷区均为煤炭资源开采引起的沉陷基本稳定区域,不包含其他矿产资源采空区和正处于开采剧烈变形的区域。

书中引用了大量前人的资料,在所引用处均做了标注,在此一一表示感谢。由于编写时间仓促,作者水平有限,书中缺点和错误在所难免,希望广大读者批评指正。

编 者

2009年5月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 矿山开采与开采沉陷区.....	1
第二节 国外开采沉陷区土地利用研究综述.....	5
第三节 国内开采沉陷区土地利用研究综述.....	6
第四节 开采沉陷区建筑利用研究理论体系的构建.....	9
第二章 老采空区覆岩移动破坏基本规律	11
第一节 采矿方法简述	11
第二节 不同采矿方法形成的采空区特点	17
第三节 长壁采煤法采空区覆岩破坏的基本规律	18
第三章 开采沉陷区地表移动变形预测方法	29
第一节 井下开采引起的地表沉陷和破坏	29
第二节 地表下沉盆地稳定后全面积开采沉陷分布规律	32
第三节 开采沉陷预计方法及预计参数	34
第四节 矿区沉陷预测预报系统	46
第五节 平顶山矿区沉陷规律及预计参数	54
第四章 老采空区的物探技术	66
第一节 电法勘探	66
第二节 电磁勘探	72
第三节 地震勘探	78
第四节 氦气勘探	84
第五节 微重力勘探	88
第五章 老采空区覆岩稳定性分析及地表残余沉降预测方法	93
第一节 老采空区覆岩失稳“活化”机理分析	93
第二节 老采空区砌体梁结构岩体的失稳形式及其稳定条件	95
第三节 老采空区煤柱稳定性分析	96
第四节 地面建筑荷载对地下老采空区“活化”的影响	97
第五节 地表残余沉降预测方法及预测参数.....	104
第六章 地基稳定性评价的数值模拟研究	110
第一节 数值模拟研究现状.....	110

第二节	数值模拟软件简介·····	120
第三节	数值模拟实例·····	126
第七章	安全技术措施及监测研究·····	143
第一节	地基处理技术·····	143
第二节	老采空区处理技术和措施·····	145
第三节	建(构)筑物损害预防和控制措施·····	152
第四节	开采沉陷区变形监测及资料处理方法·····	156
第八章	朝川矿开采沉陷区建设大型建筑群基本情况·····	166
第一节	地质、采矿基本情况·····	166
第二节	大型建筑群基本情况·····	171
第九章	朝川矿开采沉陷区建设大型建筑群地质灾害风险评价·····	175
第一节	地质灾害危险性的现状评估·····	175
第二节	地质灾害危险性的预测评估·····	177
第三节	地质灾害危险性的综合评估及防治措施·····	181
第十章	朝川矿开采沉陷区建设大型建筑群地基稳定性评价·····	185
第一节	地基稳定性评价·····	185
第二节	建筑物布局设计·····	187
第三节	安全技术措施·····	189
第四节	监测资料分析及实际建设效果评价·····	195
第十一章	建设效益分析与推广应用前景·····	200
第一节	项目建设进程·····	200
第二节	经济效益和社会效益分析·····	202
第三节	推广应用前景·····	206
参考文献 ·····		208

第一章 绪 论

第一节 矿山开采与开采沉陷区

地下煤炭资源被采空后,上覆岩层的原始平衡状态遭到破坏,岩层发生移动和变形。随着开采程度的加剧,岩层移动和变形的范围逐渐扩大。当井下开采范围达到一定程度后(一般是工作面的推进距离达到采深的 $1/4 \sim 1/2$),开采的影响波及地表,形成开采沉陷区。随着开采面积的增加,开采沉陷区的范围也不断扩大,最终形成一个比开采范围大得多的沉陷盆地。

一、岩体内的原始状态

未经采动的岩体,在地壳内受到各个方向力的约束,处于自然应力平衡状态。岩体内的应力状态主要取决于上覆岩层的重量和性质。假设在深度为 H 的岩体内,有一个小的单元立方体,如图 1-1 所示。在开采前,它处于原始的应力平衡状态,它的各面上的剪应力可以认为是零,垂直应力(或称自重应力) σ_z 和水平应力 σ_x, σ_y 可分别用下式表示:

$$\sigma_z = \gamma H \quad (1-1)$$

$$\sigma_x = \sigma_y = K\gamma H \quad (1-2)$$

式中 γ ——上覆岩石的重力密度;

H ——单元立方体所在的深度(即上覆岩层的厚度);

K ——侧向压力系数。

侧向压力系数,是表示由垂直应力产生的水平应力与垂直应力的比值。它一般为垂直应力的 $25\% \sim 43\%$ 。侧向应力都是压应力,也都是主应力。

由图 1-1 知,在岩体处于应力平衡状态时,小立方岩体的上部岩层会产生一个垂直向下的应力 σ_z ,而其下部必然有一个向上的反作用力 σ_z (忽略小单元体的自重)。在上、下力的作用下,这个小立方体在垂直方向产生压缩变形,而在水平方向产生伸长变形。设这个立方体在垂直应力 σ_z 的作用下,沿 x 轴方向的伸长值为 $(\mu/E)\sigma_z$;在水平应力 σ_y 的作用下, x 轴方向的伸长值为 $(\mu/E)\sigma_y$;在水平应力 σ_x 的作用下,在 x 轴方向的压缩值为 σ_x/E 。 E, μ 分别为岩石的弹性模量和泊松比。另外,考虑到岩体的受力情况多为受压,因此岩体力学中一般规定压应力为正,拉应力为负。于是,综合上述情况,在 x 轴方向产生的总变形为

$$\epsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \mu \frac{\sigma_y}{E} - \mu \frac{\sigma_z}{E} \quad (1-3)$$

或者

$$\epsilon_x = \frac{1}{E}K\gamma H - \frac{\mu}{E}K\gamma H - \frac{\mu}{E}\gamma H \quad (1-4)$$

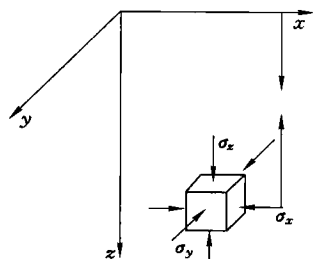


图 1-1 岩体内部的应力状态

但是,处于地下深处的小立方岩体,在采动之前,各个方向产生大小相等、方向相反的变形,其总变形量为零。所以式(1-4)可写成:

$$K - \mu K - \mu = 0$$

由此

$$K = \frac{\mu}{1 - \mu} \quad (1-5)$$

因此,得

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{\mu}{1 - \mu} \gamma H$$

由式(1-5)可知,侧压力系数 K 值的大小取决于岩石的泊松比。大量试验表明,岩石的泊松比并不是常量,它是随着垂直应力的增加而增大,因而侧压系数也增大,并逐渐趋于 1.0^[1]。

侧向压力系数理论上可根据弹性理论进行计算, $K = \mu / (1 - \mu)$, μ 为泊松比。实际 K 由实验确定,在原位可用自钻式旁压仪测得。由于测试困难,可用下列经验公式进行计算^[2]。

砂性土 $K = 1 - \sin \varphi'$; 黏性土 $K = 0.95 - \sin \varphi'$; 超固结土 $K = \text{OCR}^{0.5} (1 - \sin \varphi')$ 。式中, φ' 为土的有效内摩擦角; OCR 为土的超固结比。我国《公路桥涵地基与基础设计规范》给出了静止土压力系数的参考值,如表 1-1 所列。

表 1-1 静止土压力系数 K 参考值

土类	砾石、卵石	砂土	粉土	粉质黏土	黏土
K	0.20	0.25	0.35	0.45	0.55

二、地下开采引起的上覆岩层移动^[3]

局部矿体被采出后,在岩体内部形成一个空洞,其周围原有的应力平衡状态受到破坏,引起应力的重新分布,直至达到新的平衡,这是一个十分复杂的物理、力学变化过程,也是岩层产生移动和破坏的过程,这一过程和现象称为岩层移动。

以近水平煤层开采为例,说明覆岩移动和破坏过程及其应力状态的变化。当地下煤层被采出后,采空区直接顶板岩层在自重及其上覆岩层的作用下,产生向下的移动和弯曲。当其内部拉应力超过岩层的抗拉强度极限时,直接顶板首先断裂、破碎、相继垮落,而基本顶岩层则以铰支梁或悬臂梁弯曲的形式沿层理面法线方向移动、弯曲,进而产生断裂,离层。随着工作面的向前推进,受采动影响的岩层范围不断扩大。当开采范围足够大时,岩层移动发展到地表,在地表形成一个比采空区大得多的下沉盆地,如图 1-2 所示。

由于岩层移动的结果,致使顶板岩层悬空及其部分重量传递到周围未直接采动的岩体上,从而引起采区周围岩体内的应力重新分布,形成增压区(支承压力区)和减压区(卸载压力区)。在采区边界煤柱及其上、下方的岩层内形成支承压力区,在这个区域,煤柱和岩层被压缩,有时被压碎,挤向采空区。图 1-3 为一采区断面示意图, ab 、 cd 为煤柱边界, a_1b_1 、 c_1d_1 为挤压后的边界。由于增压的结果,使煤柱部分被压碎,承受载荷的能力减小,于是支承压力区向远离采空区方向转移。在采煤工作面的顶、底板岩层内形成减压区,其压力小于开采前的正常压力。由于减压的结果,使岩层像弹性恢复那样发生膨胀,因此在顶板岩层内可能形成离层。而底板岩层除受减压影响外,还要受水平方向的压缩,因此可能出现采空区底板向上隆起的现象。

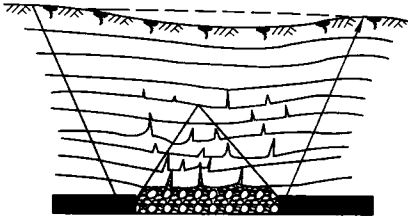


图 1-2 采空区上覆岩层移动示意图

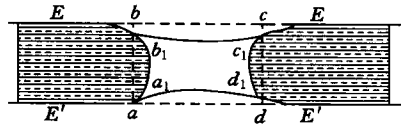


图 1-3 采空区周围岩层破坏和移动

三、废弃采空区的形成

根据岩层移动和变形特征及应力分布情况,在移动过程终止后的岩层内可大致划分为三个移动特征区(如图 1-4 所示)。

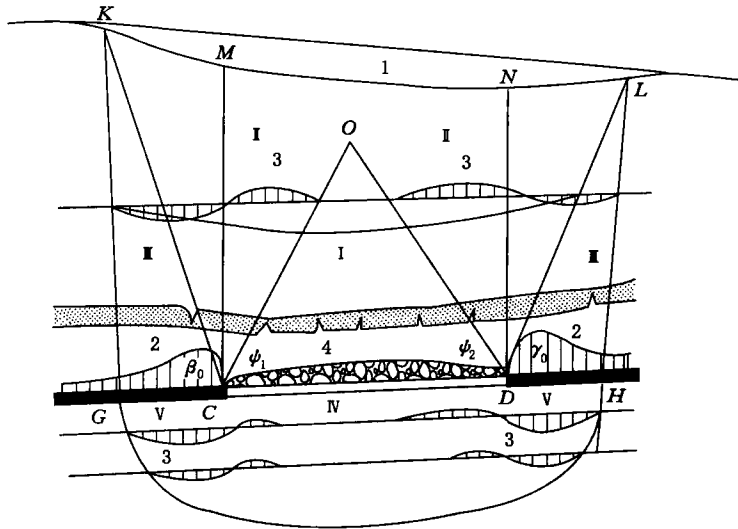


图 1-4 采空区影响范围内的影响带划分示意图

1——地表下沉曲线;2——支承压力区内的正应力图;3——沿层面法向岩石变形力;4——冒落带;
I——充分采动区(减压区);II——最大弯曲区;III——岩石压缩区(支承压力区)

充分采动区 COD 位于采空区中部的上方,其移动特征是:煤层顶板处于受拉状态,先向采空区方向弯曲,然后破碎成大小不一的岩块向下垮落而充填采空区。此后,岩层成层状向下弯曲,同时伴随有离层、裂隙、断裂等现象。成层状弯曲岩层的下沉,使垮落破碎的岩块逐渐被压实。移动过程结束后,此区内下沉的岩层仍平行于它的原始层位,层内各点的移动向量与煤层法线方向一致,在同一层内的移动向量彼此相等。

岩石压缩区(支承压力区)位于采空区边界煤柱上方 GKMC 和 HLND 范围内。在支承压力区之上的岩层内,不仅有沿层面法线方向的拉伸变形,而且还出现沿层面法线方向的压缩变形。

在充分采动区 I 和支承压力区 III 之间是最大弯曲区 II,在此范围内岩层向下弯曲的程度最大。由于岩层弯曲的原因,在层内产生沿层面方向的拉伸和压缩变形。在煤层底板岩

层内应力也发生了相应的变化,形成压缩区Ⅴ及隆起区Ⅳ。

在水平或缓倾斜煤层条件下,开采影响范围内岩体的应力分布如图 1-5 所示。以上介绍的是发生在水平煤层或缓倾斜煤层开采条件下的岩层移动特征。在倾斜煤层,特别是急倾斜煤层开采条件下,岩层移动的主要特征是岩石沿层面错动。在采空区上边界上方,岩层和煤柱在自重力的作用下,顶板岩层在产生法向弯曲的同时,受沿层理面分力的作用而产生沿层理面向采空区方向的错动和滑落。当煤层倾角接近和大于 50° 时,这种现象可扩展到煤层的底板岩层。若煤层的顶、底板岩层强度均较小时,则可同时产生沿层理面的下滑。

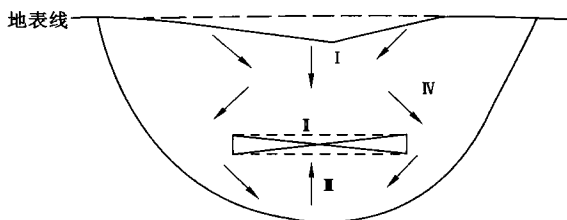


图 1-5 采动岩体应力分布图

I ——地地下沉曲线; II ——采空区; III ——采区煤层底板; IV ——上覆岩层
 ←——应力的方向

开采影响区内的岩体经过各种移动和变形后充填到采空区内,采空区内的部分空间通过岩土体的传递,发展到地表,形成开采沉陷区。开采沉陷区的一个显著特点就是下覆岩土体受开采扰动,形成了一种新的暂时的平衡状态。这种平衡状态在各种内外力的作用下很容易打破,发生二次移动和变形,进而影响到地面的建筑物。

四、开采沉陷区利用的可能性及关键问题

地下开采结束以后,虽然经过长时间的自然压实,但是开采后形成的地下空洞、岩体中的离层、裂缝和垮落岩块的欠压密、孔隙中饱和水等现象(问题)将长期存在。在开采沉陷区修建建筑物、地震活动、邻区开采、多煤层开采、强排地下水以及废弃老采空区中围岩和矿柱的强度弱化等都可能打破覆岩中原来的相对应力平衡状态,造成采空区及其覆岩的二次移动和变形,最终导致地面出现不平衡沉降、倾斜岩体沿层面或断层面产生滑动变形、空洞垮落引起地面突然沉陷等现象,进而导致地面建(构)筑物沉降、局部开裂、倾斜等,突然性的沉陷可能造成严重人员伤亡和财产损失。

由于采矿方法、技术水平、覆岩性质和结构等情况的差异,老采空区及其覆岩的破坏情况、受力状况是极其复杂的,因此废弃老采空区“活化”具有隐蔽性、复杂性、突然性和长期性等显著特点^[4]。“隐蔽性”主要是指老采空区位于地下深处,其特征一般难以弄清,其“活化”过程难以直接观察。“复杂性”是指老采空区的“活化”受多种自然和人为因素影响,其“活化”机理、过程及其对地表的影响规律非常复杂。“突然性”是指许多存在较大残留矿硐的浅部老采空区,其失稳破坏常常是突然性的,沉陷的时间难以准确估计。“长期性”是指老采空区“活化”是一个长期的过程,可能在采后几年至几十年内、甚至上百年后发生,也可能是长期的缓慢变形过程;在发生过明显“活化”的老采空区仍有再次“活化”的可能^[4]。

一般情况下,废弃采空区上覆岩层大致分为三个不同的开采影响带,即垮落带、裂缝(或

称断裂)带和弯曲带。

垮落带是指用全部垮落法管理顶板时,采煤工作面放顶后引起煤层直接顶板岩层产生破坏的范围。垮落带内岩层破坏的特点是:垮落岩块大小不一,无规则地堆积在采空区内;垮落岩石具有一定的碎胀性,垮落岩块间空隙较大,岩石具有的碎胀性是使垮落能自行停止的根本原因;垮落岩石具有可压缩性,垮落岩块间的空隙随着时间的延长和采动程度的加大,在一定程度上可得到压实,一般是稳定时间越长,压实性越好,但永远不会恢复到原岩体的体积。

裂缝带是指在采空区上覆岩层中产生裂缝、离层及断裂,但仍保持层状结构的那部分岩层。裂缝带内的破坏特征是:裂缝带内岩层不仅发生垂直于层理面的裂缝或断裂,而且产生顺层理面的离层裂缝。

弯曲带位于裂缝带之上直至地表。此带内岩层的移动特点是:弯曲带内岩层在自重力的作用下产生层面法向弯曲,在水平方向处于双向受压缩状态,因而其压实程度较好;弯曲带内岩层的移动过程是连续而有规律的,并保持其整体性和层状结构,不存在或极少存在离层裂缝。

由于岩石具有的碎胀性使采空区顶板垮落能自行停止,随着时间的延长和采动程度的加大,在一定程度上可得到压实,形成新的稳定,且仍然具有一定的承载能力;又由于弯曲带岩层保持其整体性和层状结构,不存在或极少存在离层裂缝,因此,废弃采空区经过一段时间的稳定会形成新的平衡,完全具有建筑利用的可能性。

废弃采空区建筑利用的关键问题是:采空区上方建筑加载后,是否会破坏采空区本身的平衡,引起新的活动,简称“活化”;引起“活化”后可能产生多大的移动变形量;产生的移动变形是否超过建(构)筑物的容许变形值及如何采取相应的工程技术措施等。

第二节 国外开采沉陷区土地利用研究综述

在国外,开采沉陷区的地面沉降问题同样早就引起了人们的重视,有许多文献和报道介绍和讨论了废弃采煤场之上的沉陷问题、地基处理和建筑物保护问题。美国有 30 个州出现了废弃采空区地面沉降问题,其中地下开采量最大的宾夕法尼亚、西弗吉尼亚、肯塔基、俄亥俄和伊里诺斯等五个州沉陷问题最为突出;R. E. 格雷和 R. W. 普鲁恩通过对匹兹堡煤层下沉的研究,指出报废矿(房柱式开采)的地表下沉发生时间无疑受岩层和煤柱破坏速度及其他因素的影响,地表变形预期会随着覆岩厚度的增加而减少,但统计结果认为房屋的破坏程度实际上与覆岩厚度没有明显关系;实例(覆岩厚度 14~75 m)表明覆岩的厚度再大未必一定能保证地面不会发生下沉^[5]。

为保证部分开采(如房柱式开采、条带开采)时地表的长期稳定性,许多采矿专家对矿柱、矿场设计方法进行了深入的研究和改进,使得部分开采控制覆岩移动技术更加可靠;但许多技术落后地区和地方小矿没有严格的采矿设计,仍在大量采用老式的或不可靠的采矿方法,形成了新的老采空区沉陷隐患,并在许多地区造成了严重的采空区沉陷损害事件。

国外尤其是美国,各主要采煤的州都成立了处理采空区沉陷问题的专门机构,并有专门处理老采空区地基的岩土公司(如 The Judy Company)^[6],在调查研究房柱式老采空区、地基处理等方面有比较丰富的经验。澳大利亚和英国分别有在 100 a 和 150 a 历史的房柱式

老采空区上建设大型医院和楼房的实例报道^[7,8]。在抗变形建筑设计方面,美国和英国采取的措施是将建筑物设计成柔性结构或刚性结构。英国 CLASP(地方专用方案协会)曾提出了一套柔性结构建筑物系统,效果较好^[9];刚性建筑是其基础通常由厚板或由厚抗剪切墙强化的混凝土排基组成,但采用刚性设计保护建筑物可能使它的造价大大增加。

对有关文献^[10~13]的分析可知,国外的老采空区问题大多为针对局部开采的房柱法废弃矿区问题,研究的方法主要采用调查统计方法,缺乏较深入的理论研究;采取的处理措施主要包括全部充填采空区支承覆岩、采用灌注柱法或深桩基局部支承覆岩、水诱导沉陷法等;处理后的地面主要用于开发建设居民区等。对应用长壁开采法形成的开采沉陷区的地基稳定性问题和地基处理等方面基本没有进行系统研究和工程实例。

经文献检索,美国从 1977 年开始确立、1983 年开始实施开采沉陷区的土地复垦计划;英国在 Leabrook Road Site 地区实施大面积的土地复垦项目;西班牙实施的矿区土地复垦项目内容包括:去除矸石山、植树造林、拆除旧的装置、建立新的工业区。

国外文献在开采沉陷区的土地利用方面大多以土地复垦为主。

第三节 国内开采沉陷区土地利用研究综述

随着我国煤炭工业生产和矿区建设的发展,矿区土地资源破坏、建设用地紧张的问题日益突出。而开发利用废弃老采空区土地,对于提高矿区土地利用效率、缓解矿区土地资源紧张的问题是一种有效的方法。许多矿区开始了沉陷区土地资源的开发利用工作,在废弃采空区上方地表兴建建筑物的事例也日益增多,有一般性工业厂房和民用建筑群,也有兴建或扩建大型电厂、选煤厂、储煤建筑物等。但是,由于没有或缺少对老采空区“活化”研究和采取一些必要的技术措施,开采沉陷区土地开发也产生了一系列严重的问题,如新建(构)筑物出现开裂、沉陷、变形,地表沉陷,设备因基础变形而无法正常使用等,或由于大大增加的地基处理费用和复杂的技术措施造成建设项目财政困难和难于实施^[4]。

实践表明,开采沉陷区土地通过地基稳定性技术论证并采取一定措施后可作为一般建筑用地使用,甚至可以作为大型建筑物用地。例如:淮北岱河矿在充填的煤矸石基础上建房;淮南新庄孜煤矿在老采空区上方建设大型洗煤厂^[14,15],其主厂房的西南角直接位于采动破碎基岩区上方,裂隙发育带上界面距地表仅 15 m;潞安五阳矿在采空区附近修建坑口电厂^[16];徐州也在老采空区上方进行电厂扩建^[17];太旧高速公路通过大面积老采空区上方^[18]等等。

国内有一些文献讨论了老采空区的探测、地基稳定性评价和处理问题,如采用高分辨率地震技术探测老采空区位置^[19];以建筑物荷载影响深度和采空区垮落断裂带发育高度相互重叠来分析地基稳定性和确定建筑物的层数^[20],在开采沉陷区应设计和研究特种结构住宅^[21]等。有学者运用随机介质理论以矿山地表的三维问题对厂房建筑的最终稳定的地表移动和变形值进行了预计,结果与地表实测结果基本相符^[22]。对于在老采空区上方进行建设,仅仅考虑地面附加建筑物荷载对老采空区稳定性的影响是远远不够的,老采空区自身的稳定性及其“活化”也是影响地面建筑物安全的主要因素。国内也有采用注浆充填老采空区建设工业建筑的实例,如阳泉固庄煤矿装车站、本钢电焊条厂等。在老采空区上建设大型厂房的实例有本钢特钢厂厂房(四跨单层厂房,采空区原煤层采高 2.3 m、埋深 759~799 m);

本溪热电厂主厂房(框架结构,采空区原煤层埋深 320~440 m),由于采深较大,不存在老采空区“活化”的影响,均按常规进行了设计^[22]。

国内文献在开采沉陷区土地利用方面已有大量文献报道,除了土地复垦之外,在建筑方面有各种应用,如电厂、选煤厂、水泥厂、炼钢厂、办公大楼、焦化厂、公路、木厂、仓库、宿舍及居民楼、学校、铁路、工业广场等。

选择几个实例介绍如下。

一、实例 1——本钢建设工程

新建工程包括炼钢厂房、除尘间、除尘烟囱、精整车间、铁路桥、综合楼、水池等。整个工程费用为 1.2 亿元,厂房每年产特钢 35 万吨,为亚洲最大的电炉特钢厂房。

新建电炉炼钢车间由四跨不等高的单层工业厂房组成,主厂房占地面积近 3 万平方米。其中原料跨为 21 m×240 m,设有桥式吊车 3 台。电炉跨为 21 m×300 m,有 30 t 电炉四座,每座都有相应的变电器设施,有桥式吊车 4 台。铸锭跨为 21 m×240 m,布有横向过跨铸锭车,有桥式吊车 4 台。脱整模跨为 24 m×240 m,主要有缓冷机和脱整模设施操作区,车间内通过铁路线,有桥式吊车 5 台。此外主厂房内设有炉外精炼设备和预留 $R=7.5$ m 的一机二流板坯连铸机位置。同时还有烟囱、水塔、高压线塔等设施。

厂区主要构筑物荷载状况:一般为 15~20 t/m²,最大为 30 t/m²。

此处只采一层煤,走向长壁工作面,全垮落管理顶板。进行四个块段开采,分别于 1980 年、1981 年、1982 年 3 月结束。采高 2.3 m,采深 759~799 m,倾角 3°。两个块段开采已引起地表下沉与变形。两个较小块段开采还未影响到地表,其中相对较宽者为 50 m。

1982 年 10 月建立地表移动观测站,实测表明:1984 年 8 月地表已稳定,随厂房基建,观测站测点陆续被破坏。为进行监测,1986 年 12 日又重新建立地表监测站以监测地表变化。

致使采空地表重新失稳可能有下列诱因:

① 存在着流沙层;② 存在着地下水动力作用;③ 为岩溶发育区;④ 为破碎带、地质陷落柱、古滑坡体等地质不稳定体;⑤ 存在着厚层坚硬灰岩、砂岩顶板,在开采过程中周期性折断而处于暂时稳定;⑥ 老采空区地表在拟建荷载作用下的活化。

综合分析上述因素及地震影响,断定:如出现地表“活化”只可能由拟建荷载作用引起,故只研究拟建荷载的影响。

通过分析认为,此处最小采深 759 m,故此处采空地表不会“活化”。在厂房荷载作用下采空区地表继续稳定,厂房生产安全,故建厂时不采用预加固措施。厂房建成后也不需要采用任何稳定措施。

二、实例 2——本溪热电厂建设工程

本溪热电厂坐落在本溪煤矿、彩电煤矿老采空区上方。

1. 基本情况

本溪煤田区域地层发育较全,煤田范围内从新到老依次有:第四系 Q ;白垩系大峪组 K ;侏罗系大明山组 J_3 与卧龙组 J_1 ;二叠系林家组 P_2^1 ,石千峰组 P_2^3 ,上石盒子组 P_2^{1-2} ,下石盒子组 P_2^{2-3} ,山西组 P_1 ;石炭系太原组 C_3 、本溪组 C_2 ;奥陶系马家沟组 O_2 、亮甲山组 O_1^2 、冶里组 O_1 ;寒武系风山组 ϵ_3^3 、长山组 ϵ_3^2 、固山组 ϵ_1^1 、张夏组 ϵ_2^2 、当十组 ϵ_1^2 、石桥子组 ϵ_1^1 、馒头组 ϵ_1^1 ;震旦系桥头组 Z_3 、南芬组 Z_2 、钩鱼台组 Z_1 ;前震旦系 An_2 。热电厂厂址区只发育第四系

Q;二叠系上石盒子组 P_2^{1-2} 与下石盒子组 P_2^{1-3} ,山西组 P_1 ;上石炭系太原组 C_3 。

整个地层中砂岩占 75%,页岩占 16%,黏土层占 0.6%,煤占 1.6%,煤层上覆以砂页岩为主,结构紧密,裂隙不发育、中硬岩层,倾角为 $0^\circ \sim 25^\circ$ 。

主要可采煤层 1~8 层,1~5 层为上煤组,属薄煤层,厂区下方埋深 320~400 m。累计厚度 2.6~4.2 m,倾角为 $9^\circ \sim 14^\circ$,赋存较稳定。6~8 层为下煤组,属中厚煤层,厂下采面埋深 400~440 m。累计采厚 3.0~5.4 m,倾角为 9° 。5~6 层间距为 60~80 m。

本溪煤田有三大构造体系:东西向纬向构造,北东向华夏式构造,北东向新华夏系构造。在上述区域构造体系控制下,本溪煤田主要断裂有 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 。彩屯地区次一级断裂有 F_6 、 F_7 。彩屯立井东部断层 F_7 位于厂区以东 500 m,斜少岭断层 F_6 位于厂区以西 500 m。厂区在构造位置上属稳定地带,不受古构造影响。厂区范围内工程勘察发现有三条拉张型小断层,倾角 $75^\circ \sim 80^\circ$,断距 2~3 m,断带宽 0.8~1.2 m,并早已稳定。

厂区位于辽东块隆西部次级构造——太子河凹陷内,经历过多次构造运动。 F_{11} 工字楼断裂是市区最大的第四纪活动断裂,对厂址有一定影响。太子河断裂为较大区域断裂带,距厂址 4 km。经北起本溪市偏岭,经过张家街、千金沟、福金沟延伸到辽阳首山一带,最后一次活动时间为 $(16.21 \pm 1.22) \times 10^4$ 年。1974 年和 1987 年发生过两次震群活动,最大震级 $M_s = 4.8$ 级,断层仍有一定活动性。

本溪地处上地幔凹陷区内,地壳厚度 33~35 km。1972 年以来,共发生地震 $M_s \geq 1.0$ 级 390 次,其中 2.0~2.9 级 88 次,3.0~3.9 级 8 次,4.0 级以上 1 次,最大 4.8 级。主要集中在参窝水库、桥头—弧家子、柳河和清河城地区。

本溪热电厂位于中国地震烈度区划图(1990)Ⅶ度区内,本溪市地震小区划结果表明,本溪市历史上最大地震影响裂度为Ⅵ度,未来地震对厂址区可能造成Ⅶ度破坏。

厂址下方为原本溪煤矿五坑区,走向长壁式后退开采,自然垮落法管理顶板,自上而下、由浅入深顺序开采。上煤组已于日伪时期及解放初期相继全部采完。下煤组于 1959 年起相继开采。厂区下方残煤,采高 2.2~2.4 m,又于 1973~1980 年进行第二次开采。

拟建厂区以南之建国初期开采的老采区,尚有部分残煤可供开采。沿走向长 680 m,倾斜长 230~360 m,采高 1.0~1.3 m,采深 440~480 m,倾角 9° 。

2. 未来残采及其影响

厂区以南未来残采区,走向长 680 m,倾斜长 230~360 m,采高 1.0~1.3 m,采深 440~480 m,倾角 9° 。按地表移动随机介质理论空间问题的预计体系进行变形预计。

根据本溪地区建筑物下采煤长期实践,该区地表移动基本参数为:下沉系数 $\eta = 0.70$,水平移动系数 $b = 0.30$,主要影响范围角的正切 $\tan \beta = 2.0$,开采影响传播系数 $K = 0.425$,拐点平移距 $S_0 = 0.08 H$, H 为煤层埋藏深度。

由此可得厂区地表最大下沉与变形值分别为:最大下沉值 $W_{\max} = 264$ mm,最大水平移动 $U_{\max} = 208$ mm,最大倾斜值 $T_{\max} = 4.6$ mm/m,最大水平变形 $\epsilon_{\max} = 2.1$ mm/m,最大曲率 $K_{\max} = 0.05 \times 10^{-3}$ mm/m²。根据原煤炭部 1985 年颁布的“三下采煤”规程,该厂应属Ⅰ类保护对象,对于Ⅰ类保护对象的构筑物所允许的采动地表临界变形值: $T \leq 3$ mm/m, $\epsilon \leq 2$ mm/m, $K \leq 0.2 \times 10^{-3}$ mm/m²。可见,地表实际变形值接近且略大于Ⅰ级保护所允许的地表临界变形值,故考虑到未来残采影响,此处建设新的本溪热电厂基本可行,但必须考虑适当的抗变形结构措施。

第四节 开采沉陷区建筑利用研究理论体系的构建

老采空区上方建筑利用的可行性评价体系如图 1-6 所示。

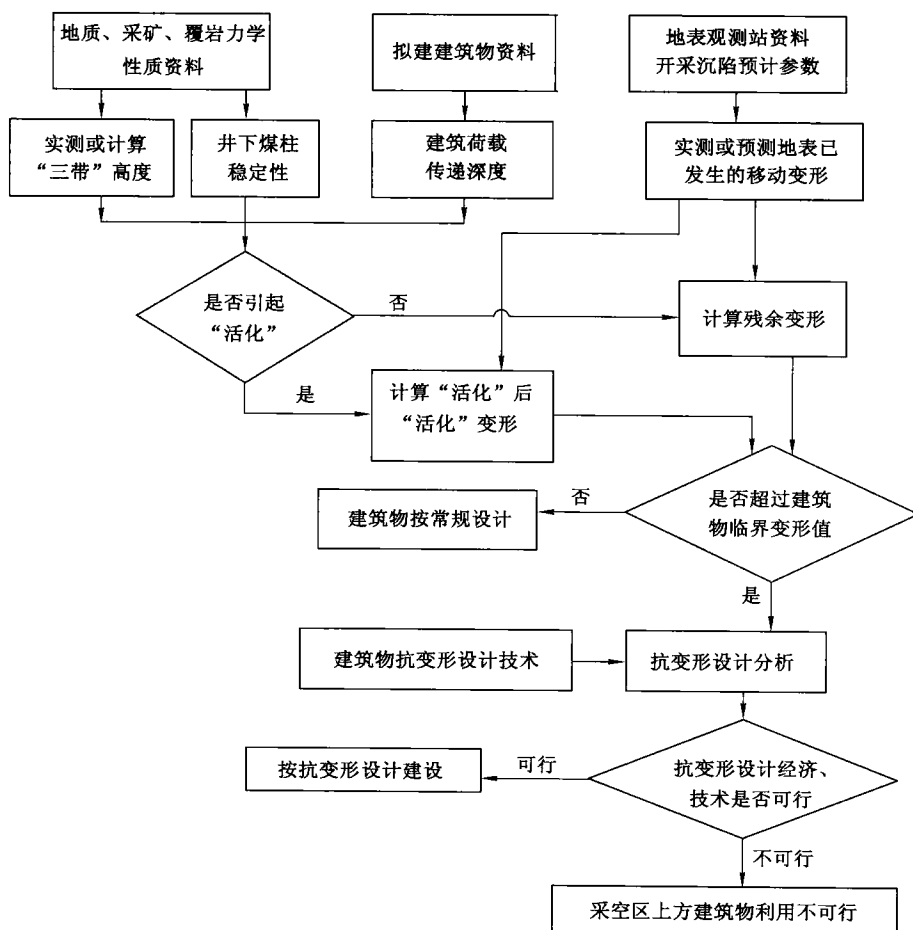


图 1-6 老采空区上方建筑利用的可行性评价体系图

对老采空区上方建筑利用的可行性进行评价前,必须要开展如下几个方面的研究:

1. 场址区现状研究

场址区现状研究包括获取老采空区上覆岩层的物理力学性质;计算或实测确定煤层开采形成的垮落带、裂隙带和弯曲带高度;计算或实测确定地表已发生的移动和变形值。

2. 拟建建(构)筑物荷载传递研究

在地面建筑荷载作用下,地基土体中将产生附加应力,并按一定规律向下传递,改变老采空区上方破裂岩土地基的受力状态。地面建筑物的类型、基础形式、荷载大小不同,其作用于地基上的附加应力的分布形式、地基沉降量、地基扰动深度也不同。

3. 老采空区“活化”的可能性研究

在地面荷载及其他因素作用下,老采空区是否产生“活化”;井下煤柱是否能保证长期稳定。

4. 场址区残余变形研究

老采空区不产生“活化”时的地面残余移动变形;老采空区产生“活化”时的地面极限移动变形。

5. 建(构)筑物抗变形能力研究

确定重要建(构)筑物的临界变形值。

6. 抗变形措施研究

针对重要建(构)筑物进行抗变形设计,提高抗变形能力。

7. 变形监测研究

变形监测研究具体包括监测方法、资料处理方法等。