

矿井保安煤柱的开采 与地面建筑物的加固

刘天泉 周家俊 編

中国工业出版社

65
L78

矿井保安煤柱的开采 与地面建筑物的加固

刘天泉 周家俊 編

中国工业出版社

矿井保安煤柱的开采与地面建筑物的加固

刘天泉 周家梭 编

煤炭工业部书刊编辑室编辑(北京东长安街煤炭工业部大楼)

中国工业出版社出版(北京德胜门内大街10号)

北京市书刊出版业营业登记证出字第110号

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ ·印张 $6 \frac{11}{16}$ ·插页2·字数158,000

1966年2月北京第一版·1966年2月北京第一次印刷

印数0001—2,250·定价(科六)1.00元

*

统一书号: 15165·4341(煤炭-361)

前 言

解放后，在党的正确领导下，我国开展了建筑物和结构物保安煤柱开采的試驗和研究工作。为了了解波兰有关这方面科学技术发展的情况，煤炭工业部于一九六三年派考察組赴波兰人民共和国，考察城市和工业建筑物下采煤問題。本书主要是根据考察情况編写的，还从波兰等国的书刊中搜集了部分资料做了补充。

书中簡要地介紹了波兰采矿科学技术工作者关于地下开采对地表影响的理論研究情况；比較系統地闡明了減少地下开采对地表和建筑物、结构物有害影响的开采方法；建筑物和结构物的加固措施；采矿区地面建筑物的設計原則；此外，还介紹了开采生产豎井井筒煤柱的方法。

本书共分七章。第一、二、三、四、七章由煤炭工业部煤炭科学研究院刘天泉編写，第五、六章由北京煤矿設計研究院周家俊編写。

本书的編写工作是在煤炭工业部技术司、北京煤矿設計研究院副院长兼总工程师姜景昀和北京煤矿設計研究院主任工程师吳鋒的指导下进行的。在編写过程中，承煤炭工业部煤炭科学研究院和北京煤矿設計研究院的一些同志搜集和翻譯了部分資料，描繪了插图；承蔡培、仲惟林、张克勤三位同志帮助审閱稿件，并提出許多改进意見，特此表示感謝。

編者希望本书能对讀者有所帮助，但由于編写時間短促以及編写人員的水平有限，书中难免有不妥之处，恳請同志們批評和指正。同时殷切希望同志們在工作中注意总结这方面的經驗，使之更加丰富更加成熟，为我国的地下資源得以最大限度的利用做出贡献。

編 者

一九六五年元月

目 录

前 言

第一章 绪论	1
第一节 波兰开采保安煤柱的概况	1
第二节 波兰开采保安煤柱的主要经验	2
第三节 波兰开采保安煤柱的实例	4
1. 貝托姆市保安煤柱的开采	4
2. 波布勒克鋼鉄厂保安煤柱的开采	6
3. 和平鋼鉄厂保安煤柱的开采	6
4. 茲柯达机械制造厂保安煤柱的开采	7
5. 貝托姆市北郊居民住宅区保安煤柱的开采	10
6. 现有的生产竖井井筒保安煤柱的开采	10
第二章 地下开采对地表的影响	23
第一节 地表移动特征	23
1. 稳定的地表移动盆地剖面方程式	24
2. 稳定的地表移动盆地边缘区的变形	34
3. 推进的工作面上方地表移动盆地边缘区的变形	42
第二节 地表移动与变形的预计方法	44
1. 布得雷克——克諾特地表移动預計公式	44
2. 柯赫曼斯基地表移动預計公式	57
第三章 减少地表变形的办法	62
第一节 减少下沉值	62
1. 密实充填	62
2. 部分开采	66
3. 分层开采	71
4. 分期开采	72
第二节 消除或减少开采影响的叠加	72

1. 顺序开采	74
2. 合理布置各煤层或分层开采边界的位置	75
3. 干净回采	75
4. 正确安排工作面的推进方向	79
第三节 协调开采	80
1. 数个煤层协调开采	81
2. 数个分层协调开采	82
3. 保安煤柱内部和外部协调开采	82
第四节 消除开采边界的影响	83
1. 长工作面开采	83
2. 连续开采	83
3. 联合开采	84
第五节 提高回采速度	85
1. 回采速度与地表变形的关系	85
2. 确定工作面合理推进速度的方法	87
3. 提高回采速度的方法	88
第四章 开采保安煤柱的开拓准备方式和采煤方法	89
第一节 开拓和采区准备	89
1. 开拓准备原则	89
2. 回采工作面的布置方式	93
第二节 采煤方法	95
1. 水砂充填条带式采煤方法	95
2. 大冒顶条带式采煤方法	100
3. 水砂充填倾斜长壁式采煤方法	100
4. 掘可维斯基采煤方法	101
第五章 建筑物和结构物的保护措施	102
第一节 概述	102
第二节 建筑物和结构物保护等级和地基等级的划分	104
1. 建筑物和结构物保护等级的划分	104
2. 地基等级的划分	106
第三节 现有建筑物受采动影响破损的程度和保护措施 的预计方法	107

1. 現有建築物受采動影响破損程度的表示方法	107
2. 現有建築物保護措施的預計方法	108
第四節 建築物和結構物的保護方法与保護措施	112
1. 保護方法的分类	112
2. 現有建築物的保護措施	117
3. 設備基礎、綫路和管道的保護措施	127
第五節 錨固拉杆斷面的計算方法	130
1. 受地表曲率影响的計算方法	130
2. 受地表水平變形影响的計算方法	131
3. 計算例題	134
第六節 現有建築物的加固实例	135
1. 現有建築物的加固方案	135
2. 貝托姆市北郊某孤儿院的加固情况	138
3. 上西里西亞矿区卡閼鐵教堂的加固情况	140
第七節 技术经济指标	142
第六章 采煤区地面建築物的設計原則	145
第一節 磚石承重的居住建築物設計原則	145
1. 城市和居民点规划	145
2. 建築物的形式与构造要求	145
3. 變形縫的設計	146
4. 基礎的設計	146
5. 牆壁的設計	150
6. 过梁的設計	150
7. 樓板和屋面板的設計	150
8. 建築裝修	151
第二節 大型砌块建築物的設計原則	151
1. 結構型式分类	151
2. 牆壁的設計	152
3. 樓板的設計	153
4. 地下室的設計	153
第三節 鋼筋混凝土框架建築物的設計原則	153
1. 適用范围	153

2. 填充牆的設計	153
3. 變形縫的設計	154
4. 基礎的設計	155
5. 框架的設計	155
6. 樓板和屋蓋的設計	156
7. 梯子間的設計	156
8. 其他	156
第四节 单层工业厂房的设计原则	157
1. 适用范围	157
2. 地表变形对建筑物的影响	157
3. 一般設計原則	157
4. 變形縫的設計	158
5. 单跨横向系統构造的几种型式	159
6. 多跨横向系統构造的几种型式	161
7. 纵向系統构造的几种型式	162
8. 屋面系統的設計	163
9. 柱的設計	165
10. 牆的設計	166
11. 吊車梁軌道的設計	166
12. 基礎的設計	167
13. 其他	168
第七章 竖井保安煤柱的开采	169
第一节 概述	169
第二节 开采方法	169
1. 哈述巴煤矿施蒙竖井保安煤柱的开采	172
2. 卡洛尔矿克施什托夫竖井保安煤柱的开采	173
第三节 预防井筒和井架破坏的措施	175
第四节 开采竖井保安煤柱的观测工作	180
附表	183
表 I, 函数 $\varphi(\xi, \eta)$ 求算表, $b=0.5$	185
表 II, 函数 $\varphi(\xi, \eta)$ 求算表, $b=0.6$	187
表 III, 函数 $\varphi(\xi, \eta)$ 求算表, $b=0.7$	189

VII

表 IV, 函数 $\varphi(\xi, \eta)$ 求算表, $b=0.8$	191
表 V, 函数 $\varphi(\xi, \eta)$ 求算表, $b=0.9$	193
表 VI, 函数 $\varphi(\xi, \eta)$ 求算表, $b=1.0$	195
表 VII, 函数 $\varphi(\xi, \eta)$ 求算表, $b=1.2$	197
表 VIII, 函数 $\varphi(\xi, \eta)$ 求算表, $b=2.0$	198
表 IX, 函数 $\frac{\partial \varphi(\rho, b)}{\partial b}$ 求算表。	201

第一章 緒 論

第一节 波兰开采保安煤柱的概况

波兰上西里西亚矿区是波兰工业化程度最高、居民密度最大的地区。地面稠密的建筑物压住了大量的煤炭资源。据统计，上西里西亚矿区地面建筑物和结构物保安煤柱的储量约在50亿吨以上（计算到一千米深度）。为了开发压住的资源，增加矿井产量，早在1920年和1930年间，上西里西亚煤田少数矿井已开始有计划地开采城市和钢铁厂等企业的保安煤柱。但是，大规模地在城市和建筑物、结构物下进行开采工作，却是从1945年开始的。1950年到1955年波兰人民共和国六年计划期间，由保安煤柱采出的煤炭产量为一亿零八百万吨，平均每年采出一千八百万吨。在1956年到1960年五年计划期间，由保安煤柱采出的煤炭产量为一亿二千七百万吨，平均每年采出二千五百四十万吨。其中1959年为三千万吨，1960年为三千三百万吨，占波兰煤炭总产量的三分之一。近年来，由于开采保安煤柱的经验不断丰富以及理论研究工作的进步，开采规模和范围更加扩大了。

从1945年到现在，波兰已经成功地开采过和正在顺利地开采着二百多个各种不同类型建筑物和结构物的保安煤柱。其中包括钢铁厂、机械制造厂、化工厂、毛纺厂、现有的生产竖井井筒、人口稠密的市、镇、居民村，以及铁路、河流、公路、桥涵、上下水道、瓦斯管道、高烟囱群等的保安煤柱。此外，在保安煤柱范围内，浅部有金属矿、深部有煤矿的情况下也进行了开采工作。

在建筑物和结构物下面进行安全开采的深度主要取决于开采方法和建筑物、结构物本身的允许变形值。到目前为止，波兰在

建筑物和结构物下面进行开采的深度一般是 200 米至 500 米，較浅的約 100 米。

开采建筑物和结构物保安煤柱的基本方法是：一方面采用开采方法措施，以达到尽量減少开采对地表的影响；另一方面对建筑物和结构物采用专门的建筑結構措施，以增加其承受变形的能力。从波兰的經驗看来，在一般情况下，除了采用开采方法措施以外，对建筑物和结构物只是部分地采用建筑結構措施或不采用建筑結構措施。对于重要的建筑物和结构物，如竖井井筒、永久性大型建筑物，則采用較多的保护措施。在某些情况下，当采用了开采方法措施以后，可以不需要对建筑物和结构物采用建筑結構措施。如最近几年內开采和平鋼鉄厂和波布勒克鋼鉄厂的保安煤柱，其开采厚度为 5 和 10 米，由于采用了水砂充填条带式开采方法，地表的移动和变形值未超过地面建筑物和结构物的允許变形值；因此，未采用任何建筑結構措施。

开采建筑物和结构物保安煤柱时，被采动的建筑物和结构物是否会受到严重的损害，以及是否需要对它們采用建筑結構措施，除了取决于开采深度和所采用的开采方法外，在很大程度上取决于建筑物和结构物本身的结构特征和强度。由于上西里西亚矿区地面建筑物大部分为砖石承重的鋼木混合結構，承受变形的能力較大，同时，煤层埋藏深度較大，不整合于煤系地层上面的覆盖层較厚，开采工作对地表的影响較小；所以，在較多的情况下，除了采用开采方法措施外，对建筑物和结构物只采用简单的建筑結構措施。

第二节 波兰开采保安煤柱的主要經驗

波兰开采建筑物和结构物保安煤柱的主要經驗是：

(1) 开采保安煤柱的措施有开采方法措施和建筑結構措施两个方面，主要是开采方法措施。

(2) 开采重要的建筑物和结构物保安煤柱时，一般采用水砂充填条带式开采方法，即部分开采方法。实践表明，用这种方

法开采保安煤柱能够使建筑物和结构物不遭受任何损害或是损害极小。因此，在多数情况下，除了采用开采方法措施外，不需要采用建筑结构措施。

(3) 开采一般性的建筑物和结构物保安煤柱时，采用长工作面、顺序地分层开采的方法，可以将煤层全部采出。顶板管理方法主要是采用优质砂进行密实充填，有时也可以采用风力充填，在某些情况下，甚至可以采用大冒顶方法。

(4) 开采建筑物和结构物保安煤柱的一般性开采方法措施有：

(a) 采空区内不残留煤柱；

(b) 回采工作由煤柱的一侧向另一侧进行，或由煤柱中央向两侧进行，迎面开采是不允许的；

(c) 厚煤层分层开采；

(d) 同时开采数个煤层或分层时，必须进行协调开采；

(e) 工作面推进速度应尽量地快；

(f) 合理布置各煤层或分层的开采边界，避免边界重迭所造成的迭加影响。

(5) 保护建筑物和结构物主要的建筑结构措施是：

(a) 沿墙壁设锚固拉杆；

(b) 在基础四周设锚固圈梁；

(c) 将长形建筑物和结构物用变形缝分成数个彼此独立的部分；

(d) 在大型设备、精密机器下面设调平装置；在管路上设补偿接头。

上述建筑结构措施的采用方式有：

(a) 开采前的预先加固；

(b) 开采过程中危害变形出现以前的加固；

(c) 开采后的修缮和加固。

(d) 开采保安煤柱时，必须系统地进行地表和建筑物变形的观测工作，以便及时了解开采方法措施的效果和正确确定采用

建筑結構措施的时间。

(7) 开采工业建筑物保安煤柱时, 厂、矿双方必須密切合作, 在有关部門的統一领导下, 組織开采、建筑、机电、測量等方面的技術人員, 共同制定开采方法措施和建筑結構保护措施。同时, 为了保証建筑物和机器設備等的經常性保护、修理工作, 应組織專門的維修队伍。

第三节 波兰开采保安煤柱的实例

1. 貝托姆市保安煤柱的开采

貝托姆市是上西里西亞煤礦区的一个中等城市。全市人口約 20 万, 市中心区人口約 14 万。該城历史約有 900 年, 市內的建筑密度較大。最高的公共建筑物为教堂, 其十字尖頂离地面高約 30 至 40 米。市中心区的建筑物一般为六十年前修建的四层和五层的砖墙承重、木楼板的楼房。最老的建筑物有一百零二年的历史。市中心区四周有一批近代修建的混合結構的楼房住宅, 也有較低的一、二层建筑物 (图 1-1)。此外, 保安煤柱范围内还有国家铁路干綫、貝托姆火車站和铁路、公路交叉桥等。

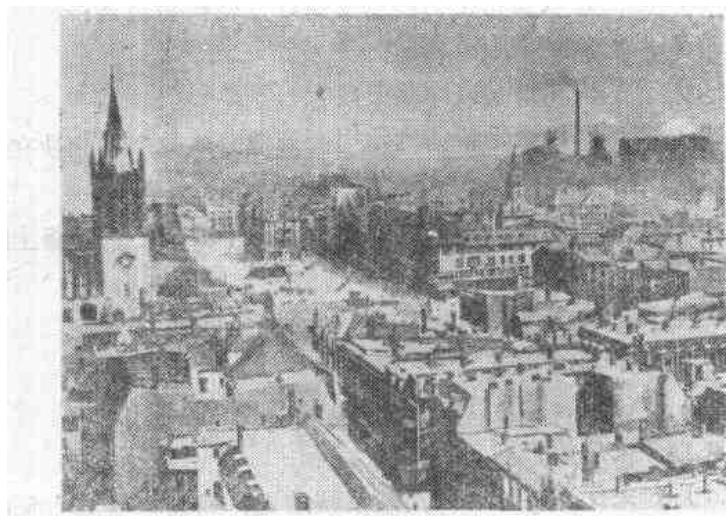


图 1-1 貝托姆市中心区全貌

該地区的地质条件是：第四紀冲积层的厚度为10~70米，其下为三迭紀地层，厚90~160米。三迭紀地层中有鉛鋅矿，矿层厚2.5~10米，离地表的深度为40~90米。三迭紀地层以下为石炭紀煤系地层，与上覆第四紀、三迭紀地层呈不整合接触，含煤20余层，煤层总厚45~60米。煤系地层呈盆地构造，煤层傾角为 $10^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 。

开采保安煤柱的工作是从1949年开始的。在进行开采以前，首先对市内建筑物的建筑结构和使用情况进行了詳細的調查。根据調查結果得出，在开采引起的水平变形值不超过3毫米/米的情况下（即按Ⅱ級保护等級），建筑物不会受到严重的損害。然后对采动后的地表移动与变形进行了預計。預計按以下原則进行：

- （1）采用克諾特地表移动預計公式；
- （2）选择几个有代表性的地点（如两个矿的井田边界綫、煤柱边界綫、断层綫、平均深度区）計算开采每个煤层的地表移动与变形值；
- （3）不考虑数个煤层开采影响的迭加；
- （4）已被加固的采动建筑物或已被采动但未发生損害的建筑物，其保护等級不变。

根据对預計的地表移动与变形值的分析，采用了以下的开采方法措施：

- （1）采用水砂充填长壁式采煤方法；
- （2）采用含泥率低于12%的优质砂作充填材料，进行十分細致的密实充填；
- （3）各个煤层的回采工作面之間和开采边界之間保持适当的距离，以便消除开采影响的迭加，在局部地区使开采影响互相抵消；
- （4）由构造盆地底部向上开采。

实际上，保安煤柱的开采工作可以分为两个阶段：第一阶段由1949年到1959年，开采了浅部水平（离地表的深度为250米

至510米)六个煤层,总厚17.5米;第二阶段由1959年到現在,由盆地底部的深部水平(离地表的深度为630米)向上开采了一个煤层。在第一阶段开采期間,由于未能全部实现上述开采方法措施,总计有大约百分之四十的建筑物遭到不同程度的損害;在第二阶段开采期間,由于实现了由盆地底部向上开采的措施,建筑物的損害比过去几年大为减少,每年遭到輕微損害的仅为1~2%。

对于遭到开采影响而被損害的建筑物,一般只采用錨固拉杆加固或粉刷墙壁等措施。对于瓦斯管道,采用将使用年限較久的鑄铁管换成鋼管,以及增加补偿器等措施。到目前为止,开采工作对上下水道尚未发生有害的影响。但是,为了預防在局部地段一旦遭受破坏时,能够保証市区用水,将上水道改成环形系統。

2. 波布勒克鋼鉄厂保安煤柱的开采

保安煤柱范围内共有8~9个可采煤层。第一个被开采的煤层为510层^①,为可采煤层中最下面的一层,傾角 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 。煤系地层之上为三迭紀和第四紀地层,与煤系地层呈不整合接触。

波布勒克鋼鉄厂为波兰的一个中型鋼鉄企业。它有炼鋼、軋鋼、高炉炼焦等主要車間及其他輔助車間和设备,如电石气厂、瓦斯管道、高烟囱群等。开采煤层离地表的深度为345米至540米,煤厚10米,采用水砂充填条带式采煤方法,分三层开采。开采条带和保留条带的寬度均为30米,回采率为50%。开采工作从1958年开始到1963年止,有三分之一的范围已采完三个分层;有二分之一的范围已采完两个分层;其余部分已采完一个分层。地表最大下沉值为322毫米,最大水平变形值为 ± 0.5 毫米/米。所有厂房和设备未遭受任何損害。

3. 和平鋼鉄厂保安煤柱的开采

和平鋼鉄厂保安煤柱的地质条件是:第四紀冲积层厚度由几米到十几米,局部地方尖灭。煤系地层为頁岩和砂岩互层,砂岩

① 系煤层编号,以下同。

較多。

保安煤柱範圍內共有 11 個可采煤层，淺部的三層已於該鋼鐵廠建廠前用大冒頂方法采完，煤柱外部的煤层部分用大冒頂方法開采，部分用水砂充填方法開采。

從 1952 年開始，在煤柱範圍內，由下而上地開采了 510 和 507 兩個煤层；目前正在回采 507 層，並且計劃開采 504 和 502 兩層。

510 層厚 6 米，傾角 $3^{\circ} \sim 6^{\circ}$ ，采深 450 米，採用水砂充填條帶法，分兩層回采，上、下分層間隔時間為 12~15 個月。開采條帶和保留條帶的寬度均為 30 米（圖 1-2）。

510 層於 1958 年采完。采完後，立即開始回采 507 層。該層厚 3.3 米，傾角 $12^{\circ} \sim 14^{\circ}$ ，采煤方法與 510 層相同。

510 和 507 兩層采完後，由於斷層和淺部老采空區的影響，使部分建築物遭到不同程度的損害。對采動後遭到損害的建築物進行了加固。統計資料表明，加固及建立地表和建築物變形觀測站所耗去的費用占噸煤成本的 1%，其中觀測站費用為 0.4%。

4. 茲柯達機械製造廠保安煤柱的開采

這是一個在工業建築物下面用水砂充填傾斜長壁式采煤方法全部開采的例子。

茲柯達機械製造廠廠址面積為 300×310 米，主要保護對象為廠房、設備及上下水管道。設備為各種類型的機床，其中包括輕型、中型、重型和特重型等精密機床。

保安煤柱的地质条件為：第四紀沖積層厚十餘米，煤系地層為頁岩、砂質頁岩和砂岩互層，砂岩和頁岩各半，其中有幾層厚達 30 米的砂岩。傾角為 12° ，無地质構造破壞。可采煤层由上而下為 504、506、507、510 等層，總厚 12~14 米。

在開始回采以前，用克諾特地表移動公式進行了地表移動與變形的預計。預計是分煤层進行的，並且考慮了水砂充填全部開采與水砂充填部分開采兩種方法。預計中，沒有考慮各層的影響迭加。

根据厂房的建築結構特点和主要設備的工作条件，規定了允許的地表和設備最大變形值：地表水平變形值为 ± 3.1 毫米/米，地表傾斜值为5.7毫米/米，地表最小曲率半径为16.4公里，吊車纵向傾斜为1:100，横向傾斜为1:200，水平移动为10毫米/米。

分析了地表變形值預計結果和允許變形值以后，采用了以下的开采方法措施：

1. 水砂充填全部开采方法；
2. 由浅部向深部一层一层地順序开采；
3. 工作面快速推进，不得長時間停留；
4. 干淨回采，不保留任何煤柱；
5. 工作面由煤柱南側向煤柱北側推进，不得迎面开采；
6. 用若干个工作面联成一个台阶状长工作面，煤柱內共布置七个长壁工作面，每个工作面长50~70米（图1-3）。

厂房和设备的加固措施是在回采过程中进行的。例如，加固了屋頂的联接部分，調換了部分机床的基础，在部分机床的基础上安装了調平楔子，重新布置了部分机床的位置，加固了吊車和若干动力設備等。为了能够及时地完成上述工作，厂方成立了專門的維修队。

504层于1957年开始回采。骸层厚2.7~3.9米，采深235~350米。

地表移动观测結果表明，在504层回采过程中，地表移动平緩；504层全部采完以后，移动盆地平坦，最大下沉值为420毫米，地表实际變形值較預計變形值小（最大傾斜值1.75毫米/米，为預計的43%；最大水平變形值0.8毫米/米，系压缩變形，为預計的33%）。在上述情况下，厂房和設備未发生任何比較严重的損害。机床工作状况良好，特別是安装在整体刚性基础上的机床，其工作未受到任何影响，其中包括一台特重型立式旋床，其基础傾斜达1毫米/米。对變形較大的吊車和部分机床进行了調平。电气設備未发生損害，仅发生一次電纜损坏事故。