

贺西矿 煤层顶板稳定性 分析与控制技术

刘少伟 张辉 姚宝珠 李耀晖 著

图书在版编目 (CIP) 数据

贺西矿煤层顶板稳定性分析与控制技术/刘少伟等著. --北京: 煤炭工业出版社, 2016

ISBN 978 - 7 - 5020 - 4911 - 9

I. ①贺… II. ①刘… III. ①煤层—顶板—稳定性研究 IV. ①TD327.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 156651 号

贺西矿煤层顶板稳定性分析与控制技术

著 者 刘少伟 张 辉 姚宝珠 李耀晖

责任编辑 张江成

编 辑 李景辉

责任校对 李新荣

封面设计 王 滨

出版发行 煤炭工业出版社 (北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

电 话 010 - 84657898 (总编室)

010 - 64018321 (发行部) 010 - 84657880 (读者服务部)

电子信箱 cciph612@126.com

网 址 www.cciph.com.cn

印 刷 北京建宏印刷有限公司

经 销 全国新华书店

开 本 710mm × 1000mm¹/₁₆ 印张 10¹/₂ 字数 200 千字

版 次 2016 年 1 月第 1 版 2016 年 1 月第 1 次印刷

社内编号 7757

定价 30.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换,电话:010 - 84657880

前 言

在煤矿五大灾害中，顶板事故数量高居首位。我国煤矿步入综合机械化开采时代后，虽然采煤工作面的顶板事故有所下降，但是掘进工作面顶板事故仍然多发，支护后巷道冒顶事故也时有发生。因此，应在开采、开掘前研究煤层顶板区域稳定性，并预知事故发生的可能区域，为设计者、施工者提供参考，保证矿井的安全生产。

煤层巷道在煤矿井下广泛存在，每年新掘巷道 20000 余千米，煤巷占 80% 以上。煤层巷道相对于岩巷具有掘进速度快、支护成本低、稳定性差等特点，锚杆支护技术在煤巷中已广泛采用，但煤巷冒顶仍然是其瓶颈问题。

作者科研团队于 2007 年和 2009 年在贺西矿进行了“采空区下回采巷道位置优化与控制技术”及“贺西矿煤巷锚杆支护成套技术”两个项目的研究。在近 8 年联合攻关技术难题过程中，采用现场调研、实验室实验、理论分析和现场工业性试验等综合研究方法，结合煤矿现场工程地质条件，对该矿井巷道煤层顶板稳定性与控制技术进行了深入系统的研究，并取得了一系列研究成果，现将有关成果加以整理、出版，以期为广大煤矿工程技术人员在掘进、开采过程中煤层顶板的控制提供参考。

本书中较多核心思想和技术灵感来自于中国矿业大学（北京）博士生导师马念杰教授。多年来，在教学与科研过程中得到了马老师的悉心指教，每次都有醍醐灌顶之感，在这里深表谢意。本书第 1 章由刘少辉、姚宝珠共同撰写，第 2 章由姚宝珠、张辉共同撰写，第 3 章由李耀晖撰写，第 5 章由刘少伟撰写，第 4 章、第 6 章由张辉撰写。

本书部分研究成果得到了国家自然科学基金“煤巷顶板锚固体波导特性与失稳模式”(No. 51104055)、“煤巷顶板锚固孔钻进动力响应特性与冒顶隐患识别”(No. 51274087)项目的资助,特此感谢。在作者的研究和写作过程中,引用了一些单位和国内工程技术人员及有关学者发表的文献资料,在此对所引文献的作者表示深深的感谢。由于时间仓促,作者水平有限,书中缺点和错误在所难免,恳请专家、同行批评指正!

著 者

2015年5月

目次

1	贺西矿概况	001
1.1	贺西矿位置及交通情况	001
1.2	井田地层	001
1.3	含煤地层	004
1.4	可采煤层	006
1.5	井田地质构造	013
1.6	矿井水文地质类型	016
2	贺西矿煤巷地质力学评估	018
2.1	贺西矿井田地应力分布信息	018
2.2	试验巷道位置的选择	020
2.3	煤岩坚固性系数测定	022
2.4	煤岩物理力学参数测定	025
2.5	巷道顶板岩层结构探测	027
2.6	本章小结	033
3	贺西矿煤层顶板稳定性分类及区域智能划分	034
3.1	国内外煤层顶板稳定性研究现状	034
3.2	顶板稳定性影响因素	037
3.3	贺西矿煤层顶板分类方法	038
3.4	煤层顶板稳定性分类智能划分系统开发	040
3.5	贺西矿3号煤层顶板稳定性智能分区	063
3.6	本章小结	070
4	采空区下回采巷道位置优化及协同支护原理	071
4.1	采空区下回采巷道概况	071
4.2	采空区底板力学分布特征分析	073
4.3	煤柱对底板岩层应力分布的影响	077

4.4	采空区下回采巷道不同位置力学特征模拟分析	085
4.5	采空区下回采巷道协同支护原理	099
4.6	本章小结	102
5	接长锚杆结构设计及特性实验	103
5.1	接长锚杆结构设计	103
5.2	接长锚杆实验室拉拔实验	108
5.3	连接部受力阶段与微观结构关系实验	118
5.4	初期设计的接长锚杆受力数值分析	129
5.5	接长锚杆连接结构优化设计及拉拔实验	138
5.6	本章小结	140
6	贺西矿煤层顶板控制技术工业性试验	141
6.1	试验巷道条件	141
6.2	试验巷道支护设计思路	141
6.3	支护设计参数	142
6.4	工作面回采巷道支护效果监测与分析	145
6.5	本章小结	156
	参考文献	157

该组位于下马家沟组之上,厚度为 253.60 m。下部为灰黄、灰白色角砾状白云质泥灰岩夹薄层泥灰岩;中部为青灰、灰黑色中厚层白云质豹皮灰岩,夹白

云质灰岩及少许白云岩；上部为灰、深灰色厚层状石灰岩、白云质灰岩及豹皮灰岩，夹白云质泥灰岩及泥质白云岩。

2. 峰峰组 (O_2f)

该组连续沉积在上马家沟组地层之上，共同构成煤系地层基底。 H_5 、 H_6 、 HX_7 号钻孔资料显示，本组厚度为 131.78 ~ 140.30 m，平均厚度为 136.04 m，层理及岩溶裂隙较发育。

1.2.2 石炭系 (C)

1. 中统本溪组 (C_2b)

该组厚度 19.70 ~ 45.38 m，平均厚度 32.94 m。平行不整合于奥陶系中统峰峰组地层之上，以山西式铁矿及铝质泥岩为底界， K_1 砂岩底为顶界；岩性以灰色铝质泥岩及黑色泥岩为主，底部铝质泥岩多呈团块状，常与黄铁矿结核共生。

2. 上统太原组 (C_3t)

该组厚度为 67.29 ~ 104.24 m，平均厚度为 81.87 m。连续沉积在下伏本溪组地层之上，以石英砂岩 K_1 为底界， K_3 砂岩底为顶界，为井田内主要含煤地层之一。按沉积环境和岩性特征分类，可将该组分为一、二、三段。

1) 一段 (C_3t_1)

由 K_1 石英砂岩底至 L_1 石灰岩底，厚度为 37.97 ~ 41.47 m，平均厚度为 40.19 m。岩性以黑色泥岩、浅灰色中厚层状砂岩为主，底部为灰、灰白色细粒石英砂岩 (K_1)，含岩屑及泥质包体，具微波状层理和交错层理，接触式铁质、泥质胶结为主，中部夹 0 ~ 2 层极不稳定的生物碎屑微晶灰岩及铝质泥岩。含煤 3 ~ 4 层，自上而下编号为 8、8_上、10、11 号煤层。

2) 二段 (C_3t_2)

由 L_1 石灰岩底至 L_5 石灰岩顶，厚度为 25.62 ~ 49.97 m，平均厚度为 34.53 m。岩性主要由 3 ~ 5 层生物碎屑泥晶（微晶）灰岩 (L_{1+2} 、 L_3 、 L_4 、 L_5 灰岩) 夹碎屑岩类组成，含煤 2 层，自上而下编号为 6、7 号煤层。

3) 三段 (C_3t_3)

由 L_5 灰岩顶至 K_3 砂岩底，厚度 3.70 ~ 12.80 m，平均厚度 7.15 m。岩性以深灰 - 黑灰色泥岩、砂质泥岩为主，局部夹薄层炭质泥岩和 5 号薄煤层，顶部一般为灰色铝质泥岩，含菱铁质及黄铁矿结核。

1.2.3 二叠系 (P)

1. 下统山西组 (P_1s)

该组厚度 68.42 ~ 89.90 m，平均厚度 77.50 m，岩性以灰色砂岩、灰黑 - 黑色砂质泥岩、泥岩为主，局部夹炭质泥岩及铝质泥岩，含煤 3 ~ 5 层。该组底部的中粒 - 粗粒砂岩 (K_3) 层位稳定，呈灰色 - 深灰色，厚层状，成分以石英为主，分选性差，由下而上粒度从粗到细，底部一般为薄层细砾岩，砾径 5 ~

10 mm, 常含大量煤屑, 厚 1.95 ~ 20.10 m, 平均厚 10.44 m。

2. 下统下石盒子组 (P_1x)

该组厚度 69.64 ~ 129.90 m, 平均厚度 88.58 m, 连续沉积在山西组之上, 下界为 K_4 砂岩底。该组地层以河流湖泊相沉积为主, 属陆相沉积, 按沉积环境和岩性特征可分为上、下两段。

1) 下段 (P_{1x_1})

K_4 砂岩底至 K_5 砂岩底, 厚度 45.69 ~ 78.40 m, 平均厚度 53.70 m。岩性以灰色 - 深灰色砂质泥岩及泥岩为主, 夹少量砂岩, 含煤线 0 ~ 3 层, 极不稳定。底部 K_4 砂岩为灰白色 - 深灰色中厚层状中 - 粗粒长石石英砂岩, 成分以石英为主, 长石次之, 含岩屑、云母及重矿物, 夹炭质或有机质条纹和泥质包体, 呈脉状层理及交错层理。

2) 上段 (P_{1x_2})

K_5 砂岩底至 K_6 砂岩底, 厚度 23.95 ~ 51.50 m, 平均厚度 34.88 m。岩性以灰 - 灰绿色砂岩为主, 顶部为灰 - 灰绿色夹紫色斑块的含铝质泥岩 (俗称桃花泥岩), 是野外确定其 K_6 砂岩良好的辅助标志。井田内仅在北部沟谷中有零星露出。

3. 上统上石盒子组 (P_2s)

以 K_6 砂岩底为底界, 连续沉积在下石盒子组之上, 顶界为 K_8 砂岩底, 厚度 343.79 ~ 499.98 m, 平均厚度 356.51 m。岩性主要由灰色、灰绿色、紫色砂岩、砂质泥岩、泥岩组成, 全组共分三段。

1) 下段 (P_{2s_1})

以 K_6 砂岩底为底界, 以“中间砂岩”底为顶界, 厚度 89.88 ~ 105.12 m, 平均厚度 91.45 m。岩性主要由灰绿色砂岩夹紫红色、黄绿色砂质泥岩及灰黑色砂质泥岩组成。底部 K_6 砂岩为灰 - 灰白色厚层状中 - 粗粒长石石英砂岩, 厚度 2.40 ~ 5.00 m, 平均厚度 3.40 m。

2) 中段 (P_{2s_2})

以“中间砂岩”底为下界, K_7 砂岩底为上界, 东北部部分被风化剥蚀, 厚度 92.60 ~ 116.10 m, 平均厚度 106.20 m。岩性以紫红色砂质泥岩为主, 夹灰色、灰绿色砂岩及灰黑色泥岩。“中间砂岩”为粗 - 中粒厚层状长石石英砂岩, 泥质胶结, 含砾岩。

3) 上段 (P_{2s_3})

厚度 145.37 ~ 173.08 m, 平均厚度 158.86 m。由 K_7 砂岩底至 K_8 砂岩底, 岩性以葡萄紫色泥岩及砂质泥岩为主, 夹灰色、灰绿色砂岩及蓝色泥岩条带。底部 K_7 砂岩为灰白 - 灰绿色厚层状长石石英砂岩, 泥质胶结, 底部含砾岩。

4. 上统石千峰组 (P_2sh)

厚度 146.60 ~ 210.80 m, 平均厚度 182.40 m。底部以 K_8 砂岩连续沉积在上

石盒子组地层之上,岩性为红-砖红色砂质泥岩、泥岩与砂岩互层,该组地层仅在井田东南部沟谷中有所出露。

1) 三叠系 (T_1) 下统刘家沟组 (T_{1l})

底部以 K_{10} 砂岩连续沉积于石千峰地层之上,岩性为红-砖红色砂质泥岩、泥岩与砂岩互层,该组地层仅在井田西南部沟谷中有所出露,出露厚度不超过 150 m。

2) 上第三系 (N) 上新统 (N_2)

沟谷中多有出露。出露角度不整合在下伏基岩地层之上,以红色、棕红色黏土为主,夹钙质结核层,底部常为胶结松散的砾岩。井田出露面积较小,仅在河谷,沟谷两侧零星出露。

1.3 含煤地层

井田内主要的含煤地层为石炭系上统太原组 (C_3t) 和二叠系下统山西组 (P_1s)。

1. 石炭系上统太原组 (C_3t)

该组为主要含煤地层之一,厚度 67.29 ~ 104.24 m,平均厚度 81.87 m,为典型的海陆交互相旋回沉积。按沉积环境和岩性特征将本组分为一、二、三段。

1) 一段 (C_3t_1)

K_1 砂岩底至 L_1 灰岩底,厚度 37.97 ~ 41.47 m,平均厚度 40.19 m,从下而上为:

K_1 , 厚度 0.78 ~ 8.85 m,平均厚度 2.99 m,细粒砂岩,灰白色、灰色中厚-薄层状,成分以石英为主,硅质胶结,脉状层理,夹泥岩条带;局部相变为粉砂岩,为砂坪沉积。

K_1 顶 ~ 10 号煤底,厚度 9.12 ~ 43.14 m,平均厚度 20.35 m,深-黑灰色泥岩、粉砂岩,薄层状,水平纹理,含星散状黄铁矿,见不完整植物化石,局部夹一层薄煤层 (11 号)。

10 号煤层,厚度 3.19 ~ 5.63 m,平均厚度 4.57 m,黑色,细条带状结构,以亮煤为主,暗煤次之,光亮型煤,似金属光泽,夹 0 ~ 4 层夹矸,层位稳定,结构复杂,全区可采。

10 号煤顶 ~ 8 号煤底,厚度 7.03 ~ 11.08 m,平均厚度 4.57 m,深-黑灰色泥岩、粉砂岩,薄层状,水平纹理,含星散状黄铁矿。

8 号煤层,厚度 0.74 ~ 2.91 m,平均厚度 1.23 m,黑色,细条带状结构,以亮煤为主,暗煤次之,光亮型煤,似金属光泽,局部夹 1 ~ 2 层夹矸,层位稳定,全区可采。

8 号煤顶 ~ 8_上 号煤底,厚度为 0 ~ 2.05 m,平均厚度为 1.21 m,深-黑灰色

泥岩、薄层状，水平纹理，见不完整植物化石。

8_上号煤层，厚度 0.63 ~ 1.05 m，平均厚度 0.72 m，黑色，细条带状结构，以亮煤为主，暗煤次之，光亮型煤，似金属光泽，层位稳定，大部分可采。

2) 二段 (C₃t₂)

L₁ 灰岩底 ~ L₅ 灰岩顶，厚度 25.62 ~ 49.97 m，平均厚度 34.53 m。以海侵石灰岩发育为特征。由 L₁、L₂、L₄、L₅ 石灰岩构成主体格架，与深 - 黑灰色泥岩，灰 - 浅灰色中细粒砂岩及 6、7 号等薄煤层组成向上变浅的海退层序。石灰岩中均匀层理为主，含完整及不完整动物化石。化石主要为蠕、孔虫、腕足类碎片。泥岩中含黄铁矿结核及散晶，水平纹理，透镜状层理，少量植物化石。该段标志层横向稳定，沉积结构清楚，该段形成在海侵基础之上，所以未形成主要可采煤层。

3) 三段 (C₃t₃)

L₅ 灰岩顶 ~ K₃ 砂岩底，厚度 3.70 ~ 12.80 m，平均厚度 7.15 m。以泥岩、砂质泥岩发育为特征，夹 5 号等薄煤层，含星散状黄铁矿。

2. 二叠系下统山西组 (P₁s)

主要含煤地层之一，厚度 68.42 ~ 89.90 m，平均厚度 77.52 m。该组属于我国重要含煤地层之一，遍布中国北部及东北南部，煤层多、储量大、质量好、层位比较稳定，经济价值很大。

1) K₃ 砂岩

厚度 1.95 ~ 20.10 m，平均厚度 10.44 m。主要为细粒砂岩，薄层状，层面含较多植物化石，波状层理、脉状层理发育，为潮坪沉积。

2) K₃ 顶 ~ 4 号煤底

厚度 3.16 ~ 19.22 m，平均厚度 10.44 m。岩性为泥岩、砂质泥岩、粉砂岩为主，局部夹细砂岩；中 - 厚层状；波状层理、透镜状层理发育，含菱铁矿结核及植物化石碎片。该段属于潮汐强烈改造的三角洲前缘席状砂沉积。

3) 4 号煤

厚度 0.34 ~ 4.59 m，平均厚度 2.26 m。黑色，亮煤为主，暗煤次之，夹镜煤条带，光亮型煤。似金属光泽，结构简单，层位稳定；为潮汐三角洲前缘基础上发育的独立泥炭沼泽沉积。

4) 4 号煤顶 ~ 4_上 号煤底

厚度 0 ~ 10.28 m，平均厚度 5.54 m。岩性以灰黑色、深灰色泥岩为主，局部为细粒砂岩；为三角洲分流间湾沉积。

5) 4_上 号煤

厚度 0 ~ 1.78 m，平均厚度 0.76 m，黑色，亮煤为主，暗煤次之，光亮型煤，似金属光泽，结构简单，较稳定，大部分煤层可采；为三角洲前缘泥炭沼泽沉积。

6) 4_上号煤顶~3号煤底

厚度1.22~16.10 m, 岩性以深灰色灰黑色泥岩、砂质泥岩局部为细砂岩, 见植物化石; 为三角洲分流间湾沉积。

7) 3号煤层

厚度0.95~2.71 m, 平均厚度1.75 m; 黑色, 亮煤为主, 暗煤次之, 光亮型煤, 似金属光泽, 结构简单, 厚度稳定, 局部夹一层夹矸; 为三角洲前缘泥炭沉积。

1.4 可采煤层

井田内3、4、8、10号煤层为全井田可采煤层, 4_上、8_上号煤层为大部分可采煤层, 6号煤层为局部可采煤层, 详见表1-1。

表1-1 可采煤层情况特征

含煤地层	煤层	见煤点厚度/m 最小~最大 平均	煤层间距/m 最小~最大 平均	结构 夹矸层数	可采性	稳定程度
山西组	3	$\frac{0.95 \sim 2.71}{1.75}$		简单 0~1	全井田可采	稳定
	4 _上	$\frac{0 \sim 1.78}{0.76}$	$\frac{1.22 \sim 16.10}{7.76}$	简单 0	大部分可采	较稳定
	4	$\frac{0.35 \sim 4.59}{2.26}$	$\frac{0 \sim 10.28}{5.54}$	简单 0~1	全井田可采	稳定
太原组	6	$\frac{0.31 \sim 1.20}{0.61}$	$\frac{9.36 \sim 62.30}{32.72}$	简单 0~1	局部可采	不稳定
	8 _上	$\frac{0.63 \sim 1.05}{0.72}$	$\frac{25.07 \sim 39.79}{30.01}$	简单 0	大部分可采	较稳定
	8	$\frac{0.74 \sim 2.91}{1.23}$	$\frac{0 \sim 2.05}{1.21}$	简单 0~2	全井田可采	稳定
	10	$\frac{3.19 \sim 5.63}{4.57}$	$\frac{7.03 \sim 11.08}{9.12}$	复杂 0~4	全井田可采	稳定

1. 3号煤层

3号煤层赋存在山西组中部, 全井田稳定可采, 煤层厚度0.95~2.71 m, 平均厚度1.75 m。上距K₄砂岩38.40 m, 下距4_上号煤层7.76 m, 厚度变化不大(图1-2)。煤层中一般不含夹矸, 局部含夹矸1层, 结构简单, 夹矸为泥岩或

炭质泥岩。顶板岩性多为泥岩，个别为中、细粒砂岩；底板岩性多为泥岩及砂质泥岩。该煤层为全井田范围内可采的稳定煤层。

2.4_上号煤层

4_上号煤层赋存在山西组中下部，煤层厚度 0 ~ 1.78 m，平均厚度 0.76 m，上距3号煤层 7.76 m，下距4号煤层 5.54 m。该煤层在井田的中北部与4号煤层合并（图 1-3）。结构简单，不含夹矸。顶板以泥岩和砂质泥岩为主，底板为泥岩、砂质泥岩。该煤层为大部分可采的较稳定煤层。

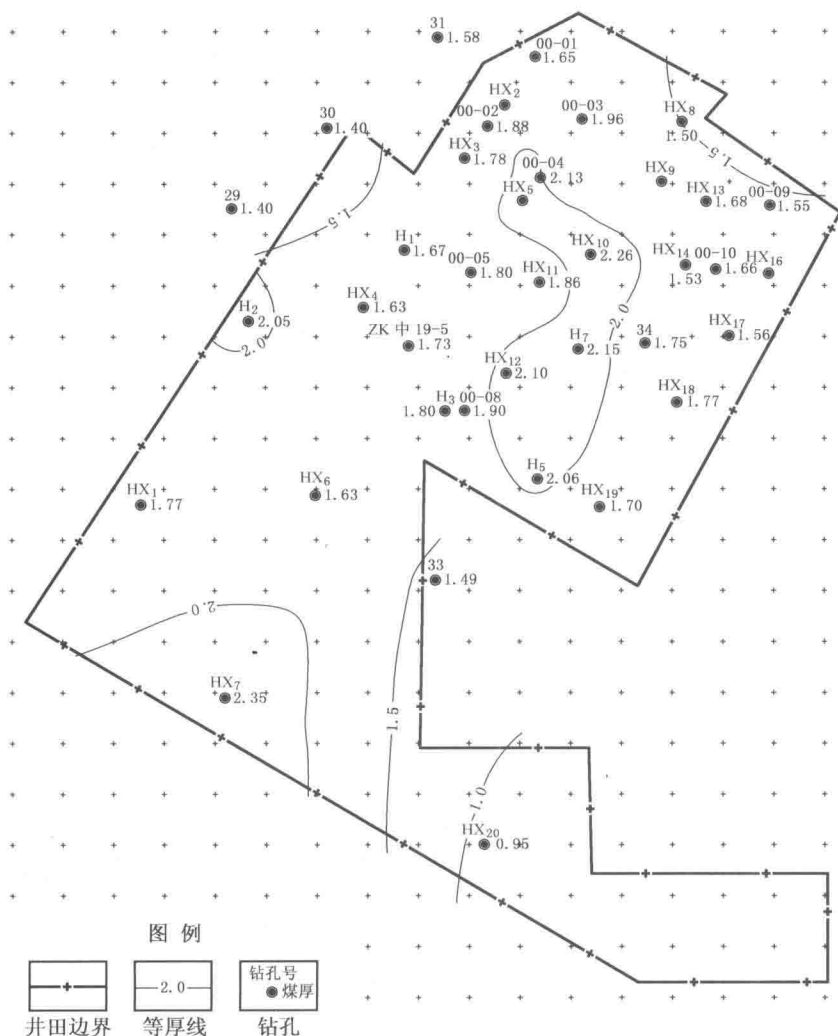


图 1-2 3 号煤层等厚线

3. 4 号煤层

4号煤层赋存在山西组下部,上距4_上号煤层5.54 m,下距K₃砂岩21.05 m,煤层厚度0.35~4.59 m,平均厚度2.26 m。井田中北部与4_上号煤层有小面积的合并区,其余大面积为分叉区(图1-4)。4号煤层结构简单,局部含一层夹矸,顶板多为细砂岩、砂质泥岩、泥岩,底板多为粉砂岩、泥岩。该煤层为全井田可采的稳定煤层。

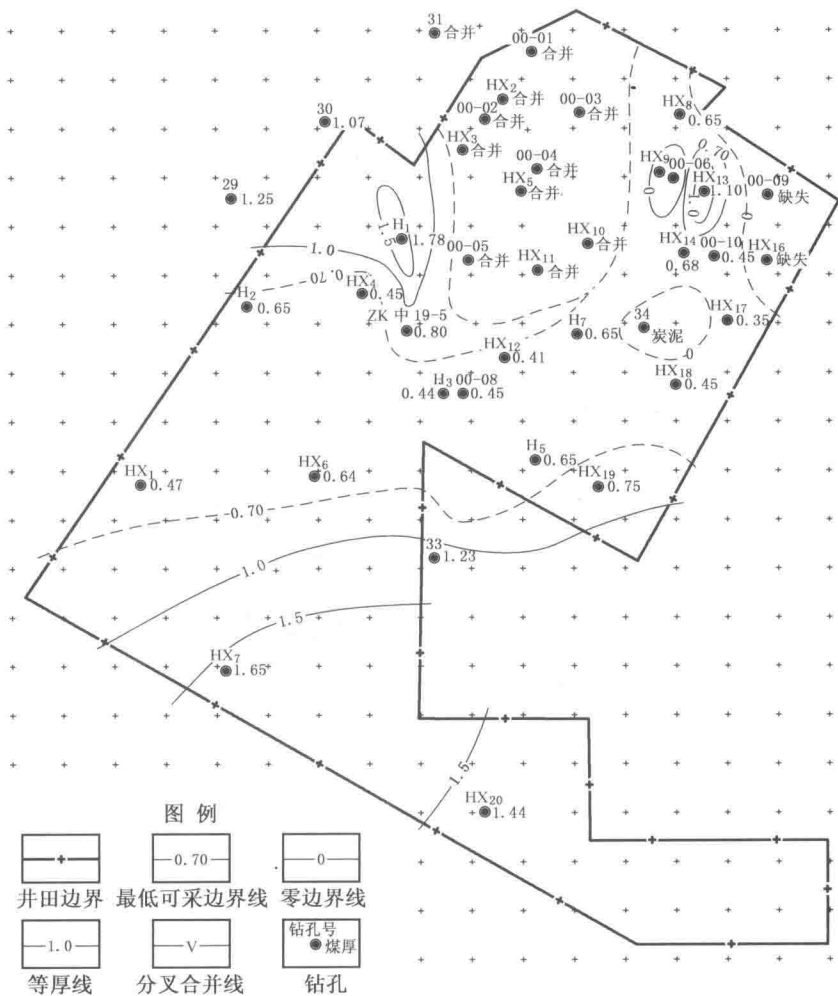


图 1-3 4_E 号煤层等厚线

4.6 号煤层

6 号煤层赋存在太原组中段, 位于 L_5 灰岩下, 厚度 0.31 ~ 1.20 m, 平均厚度 0.61 m, 距下部 8_上 号煤层 30.01 m。该煤层结构简单, 顶板为石灰岩, 底板为泥岩、砂质泥岩。该煤层为局部可采的不稳定煤层 (图 1-5)。

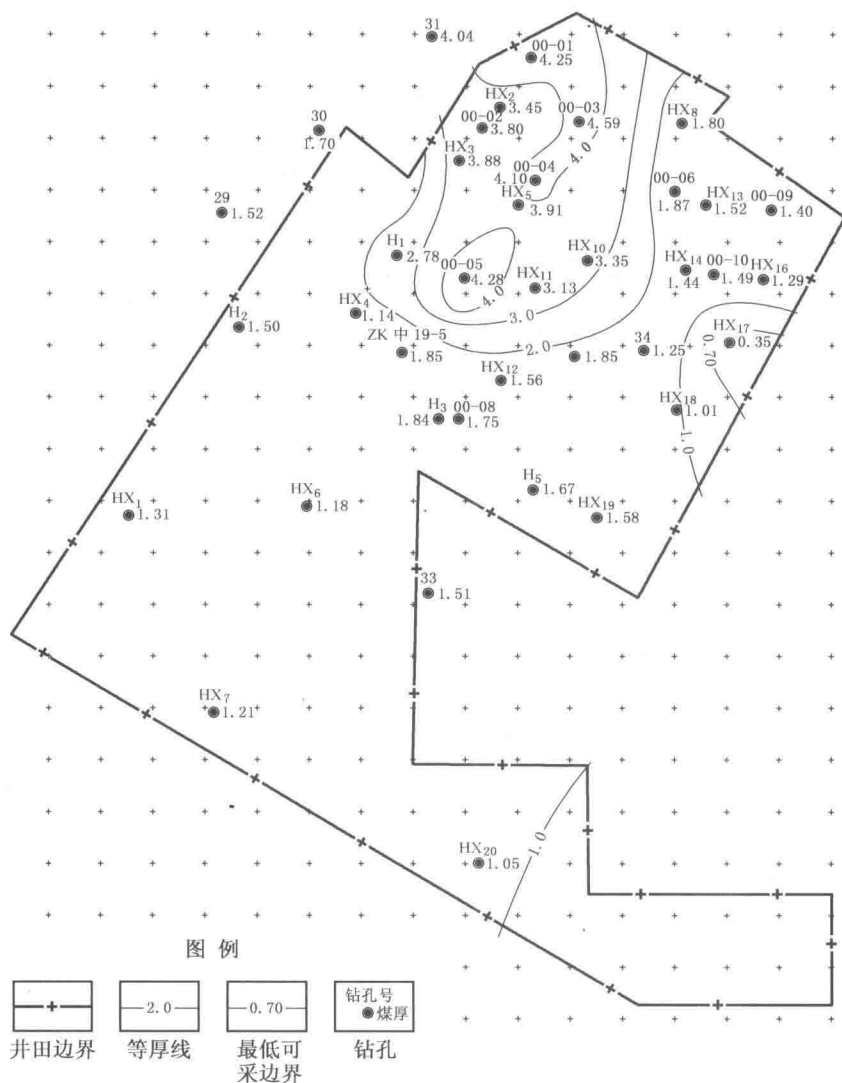


图 1-4 4 号煤层等厚线

5.8_上 号煤层

8_上 号煤层赋存在太原组下段顶部, 位于 L_1 灰岩下, 厚度 0.63 ~ 1.05 m, 平

均厚度 0.85 m，距下部 8 号煤层 1.08 m。该煤层结构简单，不含夹矸，顶板为 L_1 灰岩，局部为薄层泥岩，底板为泥岩。该煤层在井田南部与 8 号煤层合并为一层（图 1-6），为大部分可采的较稳定煤层。

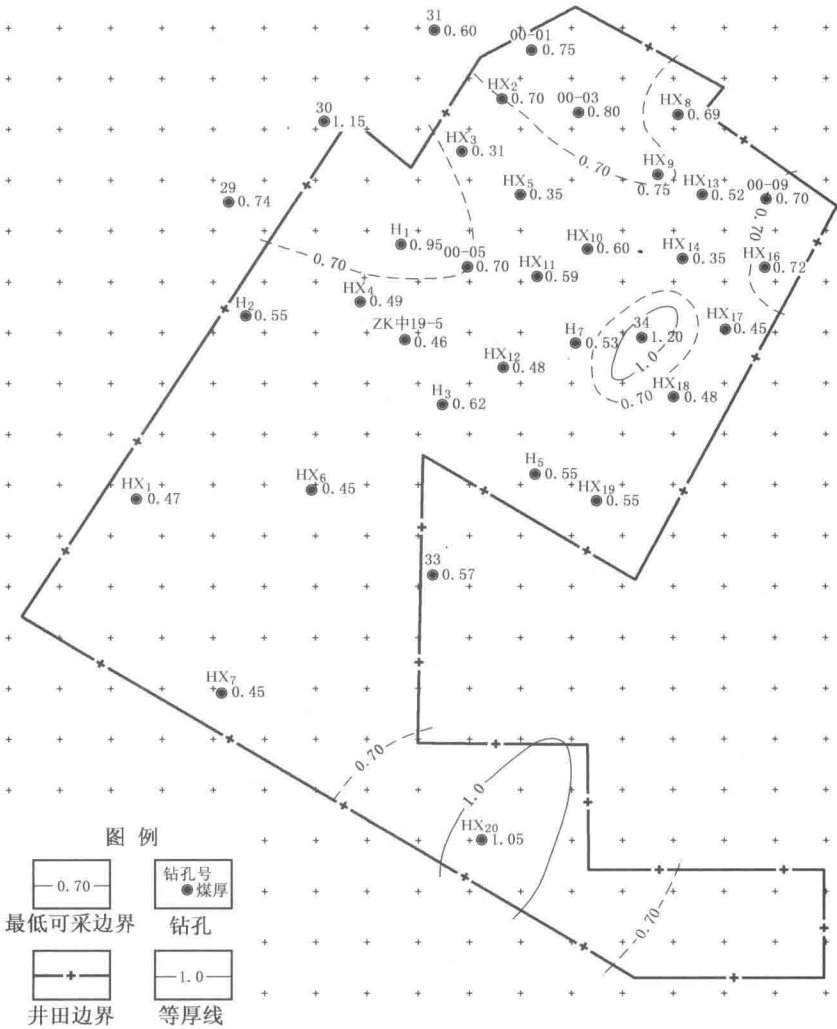


图 1-5 6 号煤层等厚线

6. 8 号煤层

8 号煤层赋存在太原组下段顶部，煤层厚度 0.74 ~ 2.91 m，平均厚度 1.23 m。上距 8_上 号煤层 1.08 m，下距 10 号煤层 9.12 m。在井田南部与 8_上 号煤

合并为一层（图 1-7）。该煤层结构简单，顶板以泥岩、石灰岩为主，底板主要为泥岩和砂质泥岩，为全井田稳定可采煤层。

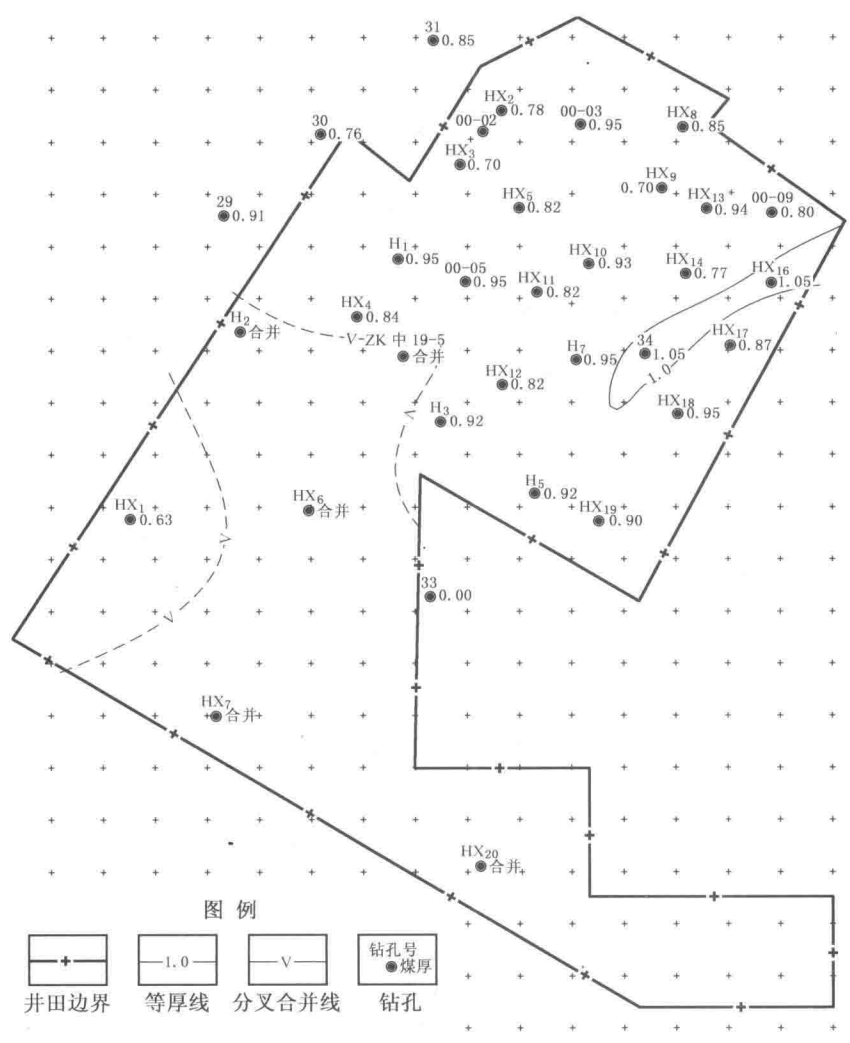


图 1-6 8_上 号煤层等厚线

7. 10 号煤层

10 号煤层赋存在太原组下段上部，煤层厚度 3.19 ~ 5.63 m，平均厚度 4.57 m。上距 8 号煤层 7.03 ~ 11.08 m，平均距离为 9.12 m，下距 K₁ 砂岩 9.12 ~