

# 高速铁路穿越煤矿采空区稳定性分析

王刚刚

(中国铁路设计集团有限公司 天津 300251)

**摘要:**我国煤炭资源丰富,分布广泛,尤其在华北、西北地区,石炭、二叠等含煤地层,煤层厚度大,种类多,埋藏条件复杂多样。这就导致了煤矿开采过程中采空区规模、分布的复杂多样性。在高速铁路的建设过程中,线路经过采空区地段就必须充分考虑采空区对线路的危害和影响。本文结合工程实例通过对高速铁路通过地段煤矿采空区的充分地质调绘及资料收集工作,合理的选取了岩移参数,对采空区进行了稳定性分析及计算。为线路科学合理的绕避采空区提供了一定的指导和参考。

**关键词:**采空区 高速铁路 岩移参数 稳定性分析

## 0 引言

某新建高速铁路经过黄河冲积平原区,区内地形平坦,为典型的黄河冲积平原地貌。线位经过华北煤矿分布区,在线位里程 CK385~CK390 段落穿过一煤矿矿区,矿区内分布采空区,采空区边界距离线位最小距离 2000m。因矿区尚在开采作业过程中,采空区范围不断扩大,所以对采空区进行稳定性分析,确定高速铁路通过区的安全煤柱范围对铁路安全选线至关重要。

## 1 矿区及采空区地质条件

### 1.1 矿区概况

矿区地处黄河冲积平原区,地形平坦,海拔标高 36~46m,矿区内无大的河流和地表水系,气候属大陆性季风气候,四季分明。矿区大致呈西北到东南方向狭长分布,与线路在东南部斜交而过(图1)。

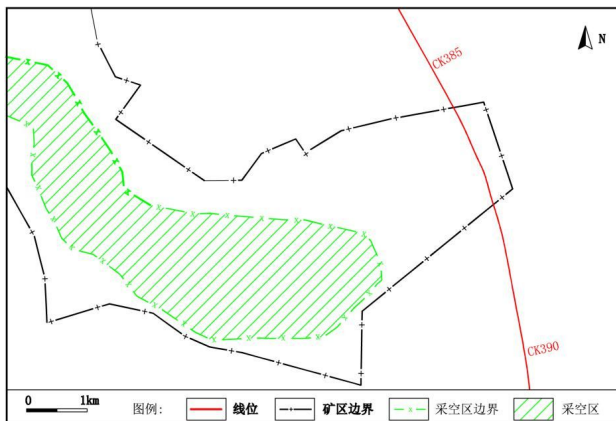


图1 煤矿采空区与线位关系示意图

### 1.2 地层岩性

矿区为全隐蔽的华北型石炭、二叠系煤田,煤系以中、下奥陶统为基底,沉积了石炭系中统本溪组、上统太原组,二叠系山西组和石盒子组,其上被新近系和第四系所覆盖。主要含煤地层为太原组和山西组,其中山西组含煤4层,太原组含煤15层。全井田各煤层平均厚度累计13.28m,可采及局部可采煤层平均厚度累计6.37m,3(3<sub>下</sub>)煤层平均厚2.55m,是主采及首采煤层。

### 1.3 地质构造

矿区总体呈一轴向近南北、向北倾伏的向斜构造,地层倾角多在10°左右,局部发育次一级褶曲。断层较发育,以南北向和北东向居多,断层落差变化大,相互切割,构造较为发育。

### 1.4 水文地质

根据区域水文地质条件,矿区内无大型河流通过,井田含水层自上而下主要有第四系砂砾层、新近系砂层、山西组3煤层顶底板砂岩、太原组三灰、十灰、奥陶系灰岩等含水层,其中对煤层开采有影响的含水层主要为3煤层顶底板砂岩、太原组三灰、十灰,奥陶系灰岩作为煤系基底含水层,将以底鼓突水方式影响下组煤的开采。

### 1.5 矿区开采情况

矿区具采矿权设置,分布采空区,面积约11.59km<sup>2</sup>,矿区地质构造发育,为一向北倾伏的向斜构造,主采煤层为山西组3(3<sub>下</sub>)煤层,可采煤层厚度平均2.55m,煤层埋深450~1300m。

开采方式:井田采用立井开拓,采用走向长壁后退式采煤法,单一水平开拓全井田,工作面顶板采用全部冒落法管理。

## 2 采空区稳定性分析

### 2.1 开采安全深度计算

根据《铁路工程地质手册》<sup>[1]</sup>推荐计算方法,安全开采深度为

$$H=K \cdot M$$

H——安全开采深度(m); K——安全系数,参考表2-1取值;

M——矿层采出厚度(m)。

表2-1 计算安全系数K值表

采动情况	煤层倾角 (°)	安全系数		
		建筑物级别		
		I	II	III
初次采动	0~45	175	125	75
	46~90	150	100	75
重复采动	0~45	200	150	75
	46~90	150	100	75

因矿区煤层倾角 $\alpha=10^\circ$ ,含多层煤,考虑重复采动,铁路

建筑物级别为 I 级时,  $K=200$ 。矿区按照主采、首采煤层厚度计算安全深度如表 2-2, 由计算结果可见矿区内安全开采深度超过了煤层最浅埋藏深度, 地表具有塌陷沉降危险。

表 2-2 安全深度计算表

K 值	可采平均累计厚度/m	首采、主采平均厚度/m	煤层埋深 /m	安全深度 /m
200	6.37	2.55	450~1300	510

2.2 岩移角选取

岩移角的选择是工程保护效果好坏的关键, 如岩移角取值偏大, 就达不到保护工程线路的目的, 还可能造成运营安全; 取值偏小, 则会处理既有采空时造成工程浪费, 在留设安全煤柱时将占压大量资源。

根据各等级铁路变形控制要求, 国铁 ( I 级、II 级) 路基工后沉降量控制标准为 20~30cm, 与移动角临界变形值点的沉降相近; 高速铁路无砟轨道路基工后沉降控制标准为 15mm, 桥梁墩台基础工后沉降控制标准为 20mm, 接近并略大于边界角 10mm 沉降标准<sup>[3]</sup>。因此, 对于高速铁路无砟轨道路基、桥梁工程应采用边界角进行计算。

矿区现开采煤层为缓倾斜煤层, 倾角  $\alpha=10^\circ$ , 矿区煤层的成煤时期为古生代石炭、二叠纪, 上覆基岩以二叠系石盒子组砂岩为主, 其次为泥岩、砂泥岩, 参考《铁路工程地质手册》<sup>[1]</sup>、《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》<sup>[2]</sup>, 类比国内相似地质条件下其它矿区经验得出:

$$\delta = \gamma = 70^\circ$$

式中:  $\delta$ —岩层走向移动角,  $\gamma$ —岩层上山移动角;

$$\beta = 70^\circ - 0.6\alpha = 70 - 0.6 \times 10^\circ = 64^\circ$$

式中:  $\beta$ —岩层下山移动角,  $\alpha$ —煤层倾角;

矿区煤层是倾斜煤层, 煤层倾角为  $10^\circ$ , 对于倾斜煤层开采形成的采空区也是倾斜分布的, 因此在不同方向上的岩移角也是不同的。设角度  $\theta$  为在平面上线路走向与煤层走向的夹角, 矿区煤层为一轴向近南北的向斜, 在平面上测得线路走向与煤层走向夹角  $\theta$  为  $27^\circ$ , 根据斜交剖面移动角  $\beta'$  和  $\gamma'$  换算公式如下:

$$\cot \beta' = \sqrt{\cot^2 \beta \cdot \cos^2 \theta + \cot^2 \delta \cdot \sin^2 \theta}$$

$$\cot \gamma' = \sqrt{\cot^2 \gamma \cdot \cos^2 \theta + \cot^2 \delta \cdot \sin^2 \theta}$$

上述数据带入公式计算得  $\beta' = 65^\circ 6'$ ,  $\gamma' = 70^\circ$ 。

根据《铁路工程地质手册》<sup>[1]</sup>边界角公式 (1)、(2)、(3) 得出岩层走向边界角  $\delta_0 = 55^\circ$ ; 上山边界角  $\gamma_0 = 55^\circ$ ; 下山边界角  $\beta_0 = 51^\circ 48'$ 。

$$\beta_0 = \beta' - 15^\circ \times (1 - 0.01\alpha) \quad (1)$$

$$\gamma_0 = \gamma' - 15^\circ \quad (2)$$

$$\delta_0 = \delta - 15^\circ \quad (3)$$

2.3 安全边界计算

线路绕避采空区安全距离计算公式为:

$$M = L + H_1 \cdot \cot \varphi + H_2 \cdot \cot \delta \quad (4)$$

式中:  $L$ —围护带宽度, 高速铁路维护带宽度取 20 (m);

$H_1$ —松散层厚度 (m);

$H_2$ —顶板以上基岩厚度 (m);

$\varphi$ —松散层移动角 ( $^\circ$ );

$\delta$ —岩层移动角, 普速铁路取移动角, 无砟轨道高速铁路取边界角;

$k$ —系数, 0.8~1.0, 普速铁路取 1.0, 无砟轨道高速铁路取 0.8。

鉴于矿区地处黄河冲积平原区, 松散层为黄河冲积形成, 含水丰富, 且地层多为砂质黏土, 类比我国淮北矿区、淮南矿区、皖北矿区以及阜新矿区经验, 当冲积层为第四系、第三系土砂层, 煤层为石炭、二叠系地层, 开采深度大于 100m, 煤层厚度大于 2.5m, 开采方式为走向长壁全部陷落法施工时, 松散层移动角  $\varphi$  取值  $40^\circ \sim 50^\circ$ , 此处按  $40^\circ$  取值。根据矿区井上井下对照图相应钻孔数据揭露松散层厚度为 541m, 主采煤层埋深 1150m, 考虑线位西侧煤矿开采影响, 此处边界角取倾向下山边界角  $51^\circ 48'$ , 数据带入公式 (4) 得出安全边界距离  $M$  为 1144.2m。

线位距离采空区最小距离为 2000m, 安全煤柱范围为 1144.2m, 因此线位通过区是稳定的。考虑矿区采空区范围是动态变化的, 在高速铁路的建设过程中, 一定要确定安全煤柱范围, 确保安全煤柱范围内地表沉降满足沉降设计要求。

3 结论

(1) 煤矿采空区因其复杂的地质条件对高速铁路线位的选择具有特殊的控制作用, 在铁路的建设过程中通过收集矿区资料和现场走访调查确定采空区的范围、开采深度及地质条件, 对高速铁路的安全选线至关重要。

(2) 本文充分利用矿区及采空区既有资料, 类比国内相似地质条件下其它矿区经验, 选取了合理的岩移参数, 对线位附近采空区进行稳定性分析, 计算得出采空区附近高速铁路安全边界范围。

(3) 对于高速铁路, 通过计算得出采空区边界角和安全边界, 进而对采空区进行稳定性分析是一种科学合理的方法。

参考文献:

[1] 铁道部第一勘测设计院. 铁路工程地质手册[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1999.

[2] 国家煤炭工业局. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2000.

[3] 李国和, 李桂芳. 采空区铁路工程地质选线研究[J]. 铁道工程学报, 2012 (10): 16~20.

个人简介:

王刚刚, 1987, 工程师, 2015 年 6 月毕业于西南交通大学, 地质工程专业, 硕士研究生, 2015 年 8 月, 就职于中国铁路设计集团有限公司地质勘察设计研究院。

王刚刚, 身份证号码: 372301198709291015