

文章编号: 1006-2106(2012)10-0015-06

采空区铁路工程地质选线研究^{*}

李国和 李桂芳^{**}

(铁道第三勘察设计院集团有限公司, 天津 300251)

摘要: 研究目的: 为更好指导采空区铁路勘察选线工作, 系统总结采空区铁路勘察选线设计的基本流程, 提出采空区铁路选线安全距离计算方法、相关参数标准及选线途径。

研究结论: 研究表明, 在不同等级铁路安全距离计算中, 应采取相应的岩移角选取标准, 高速铁路及无砟轨道客运专线应采用边界角, 而普速铁路可采用移动角。结合工程实例, 提出采空区铁路工程地质选线的方法和途径, 包括线路方案比选——在矿区外围选线、局部方案优化——在矿区内选线, 以及基于采空区变形计算和监测的铁路选线。

关键词: 铁路; 采空区; 选线; 方法

中图分类号: TB21 **文献标识码:** A

Research on Railway Alignment in Goaf

LI Guo-he, LI Gui-fang

(The Third Railway Survey and Design Institute Group Corporation, Tianjin 300251, China)

Abstract: Research purposes: In order to guide the survey and railway alignment in the goaf region, the basic procedures of the railway survey and alignment are summarized, and the computing method for the safety distance in the goaf, the relative parameter and standard and the way for railway alignment are presented.

Research conclusions: The study shows the boundary angle should be used for calculating the safety distance for high-speed railway and the passenger dedicated line of ballastless track, and the rock displacement angle should be used for calculating the safety distance for normal speed railway. Moreover, combined with engineering examples, the method and way for the railway alignment in goaf are presented, including the comparison and selection of the railway alignments in the periphery of mining area, local optimization of alignment in the mining area and the railway alignment based on calculation and monitoring of the deformation of goaf.

Key words: railway; goaf; alignment; method

我国矿产资源丰富,种类繁多,开采历史悠久,遗留了大量的采空区。尤其在东北、华北、西北等广大地区,煤炭资源丰富,石炭系、二叠系、侏罗系等煤系地层分布广泛,煤层厚度大,煤矿开采历史悠久,采空区分布广、规模大,埋藏条件复杂多样,不仅有众多历史悠久的古窑,也有正在大范围开采的新近矿区,加之其它种类矿产的开采,致使采空区分布情况复杂,勘察和处理难度大。在铁路勘察设计中,采空区已经成为影响

铁路方案选择的重要不良地质因素之一。

多年来,在铁路工程建设中,采空区的影响越来越大,如朔黄线、胶新线、京沪线、石太线、太中线、沈丹线、张唐线、丹大线等都遇到了不同程度的采空区问题,还有阳涉线、武墨线、德龙烟线等众多地方铁路采空区问题也十分突出。近期,已开工建设的太中线、朔准线、张唐线等铁路均穿越了大范围的采空区,在铁路勘察、选线设计及施工中均遇到了亟待解决的采空区

^{*} 收稿日期: 2012-06-26

^{**} 作者简介: 李国和, 1967 年出生, 男, 教授级高级工程师; 李桂芳, 1964 年出生, 女, 高级工程师。

问题。因此,系统研究和总结采空区铁路勘察选线方法、途径及相关参数选取标准,能够为今后铁路采空区勘察及选线设计工作提供有利的指导。

1 采空区铁路勘察选线的基本流程

在采空区铁路勘察选线过程中,首先要充分收集既有资料,主要包括如下几类:(1)区域地质勘察报告、地质平面图、剖面图、柱状图、构造地质图等基础地质资料;(2)矿山地质报告,了解矿藏的种类、分布、厚度、储量、深度和埋藏特征;(3)矿藏采掘工程平面图、井上井下对照图、采区平面布置图、矿藏开采规划图以及相关的文字资料;(4)采空区的沉降、变形观测资料;(5)采空区分布范围内已有公路、铁路工程的设计、施工、处治资料等。

采空区铁路勘察选线是在充分利用矿区矿产勘察资料及矿区采掘资料的基础上,进行采空区调查和勘探,结合铁路勘测设计对矿层分布、采空区分布等进行详细的勘测及核实,为铁路安全范围确定、安全矿柱留设及采空区处理设计提供必要的参数。在此基础上进行多方案的比选,在综合考虑各项技术条件、经济条件及环境因素的基础上,确定技术可行、经济合理的线路方案。

采空区勘察、评价及铁路选线设计基本过程如图1所示。

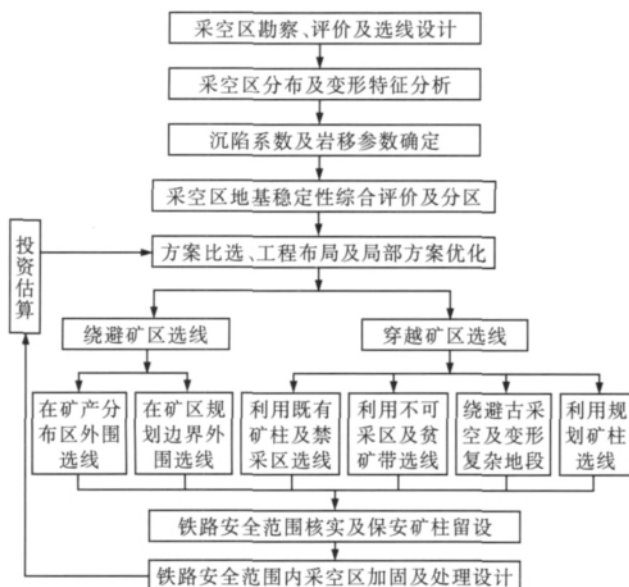


图1 采空区勘察、评价及铁路选线设计流程

2 采空区铁路选线安全距离计算

2.1 小型采空区安全距离计算

小型采空区地表塌陷一般呈漏斗状。此时,自采

空区边界至地表塌陷变形边界之间的投影距离称为影响带宽度。在铁路选线设计中,影响带宽度一般以扩散角进行估算,并增设一定宽度的围护带,将线路选择在采空区边缘一定距离以外通过,以确保铁路的安全。此时,围护带宽度与影响带宽度之和为安全距离。由安全距离所划定的区域为安全范围,如图2所示。

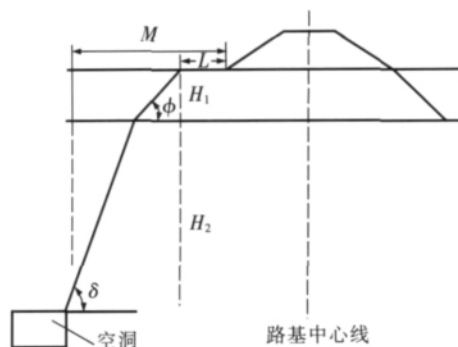


图2 小型采空区安全距离计算图示

安全距离计算公式为:

$$M = L + H_1 \cdot \cot \phi + H_2 \cdot \cot \delta \quad (1)$$

式中 L ——围护带宽度(m);

H_1 ——松散层厚度(m);

H_2 ——顶板以上基岩厚度(m);

ϕ ——松散层坍塌扩散角($^\circ$);

δ ——岩体坍塌扩散角或岩移角,普速铁路取移动角,高速铁路取边界角,当无地方经验时,可按 $\delta = k(45^\circ + \phi/2)$ 计算;

k ——修正系数,普速铁路取1.0,高速铁路取0.8;

ϕ ——岩石内摩擦角。

2.2 大型采空区的安全距离估算

对于煤矿壁式开采形成的大型采空区一般在地表形成沉陷盆地,线路选择时尽可能绕避沉陷盆地及边缘影响带。对于路基、桥梁工程,绕避采空区的安全距离均可采用式(1)进行计算,参数选取要结合工程技术要求、大型采空区特点及当地经验综合确定。当无第四系覆盖及基岩隧道,则采用式(2)计算。

$$M = L + H \cdot \cot \delta \quad (2)$$

式中 H ——顶板基岩厚度。

受护范围应根据不同工点类型具体确定。其中,桥梁一般以承台外侧轮廓线为受护范围外边界;路堤以坡脚线,路堑以堑顶线为受护范围外边界,当有护道或侧沟时,也应含在受护范围之内。桥梁和路基安全距离计算如图3~图5所示。

对于岩石隧道工程可采用式(2)计算,对于黄土隧道则采用式(1)进行计算。需注意的是,在确定受护边界时,扩散角上边应与隧道外轮廓相切,不能简单

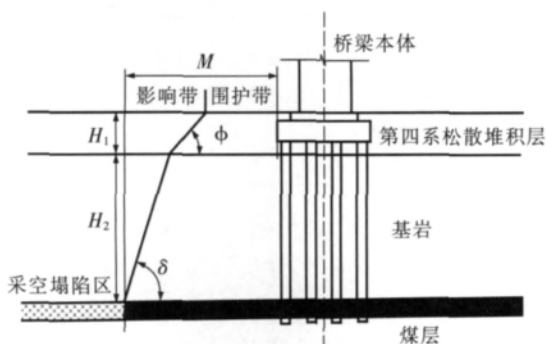


图 3 桥梁工程安全距离计算图示

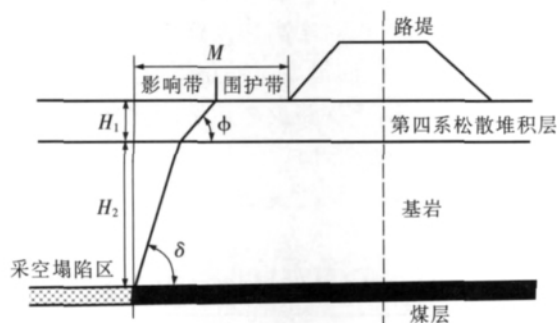


图 4 路堤工程安全距离计算图示

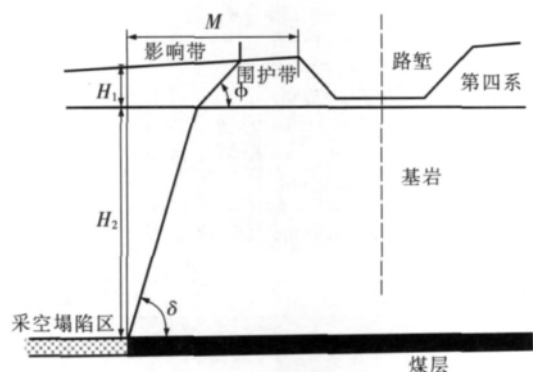


图 5 路堑工程安全距离计算图示

以外边墙计算。隧道安全距离计算如图 6 和图 7 所示。

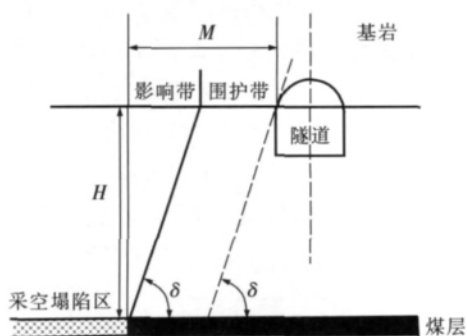


图 6 岩石隧道安全距离计算图示

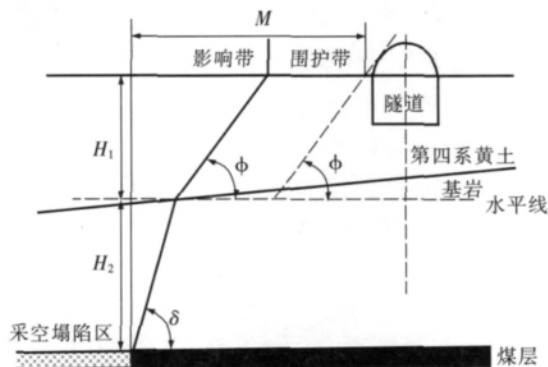


图 7 第四系黄土隧道安全距离计算图示

3 安全距离计算参数的选取

3.1 受护对象与围护带宽度

参考《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》^[1]及《铁路工程地质手册》^[2],留设安全矿柱时,路堤应以两侧路堤坡脚外 1 m 为界,路堑应以两侧堑顶边缘为界,在两侧界线以内的范围为受护对象,然后沿受护对象边界以外留设围护带。按铁路等级,参照《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》规定及以往路基设计经验确定围护带宽度。围护带宽度按铁路等级确定,如表 1 所示。

表 1 围护带宽度表

铁路等级	围护带宽度/m	铁路等级	围护带宽度/m
高速铁路、客运专线、国铁 I 级	20	国铁 III 级、运量大的工企 I 级	10
国铁 II 级	15	工矿企业专用铁路	5

3.2 岩移角选取

根据相关规范和手册,对于一般工业与民用建筑,采用移动角来计算采空区变形影响范围是可以满足建筑物变形控制标准的,但对于所有铁路工程而言,统统采用移动角来计算则是不科学的。由于不同等级的铁路,有不同的速度目标值,变形控制标准也有所差异。

3.2.1 岩移角与工程变形控制标准的关系

在煤矿开采沉陷研究及表述中,最常用的岩移角量有 3 个:边界角、移动角和裂缝角。边界角是在移动盆地主断面上以下沉值为 10 mm 的点作为边界点至采空边界的连线与水平线在煤柱一侧的夹角。移动角是移动盆地主断面上临界变形值的点与采空区边界点的连线与水平线之间在采空区外侧的夹角,临界变形值控制标准为:地表倾斜值 $i \leq 3 \text{ mm/m}$;地表曲率 $K \leq 0.2 \times 10^{-3} / \text{m}$;水平变形 $\varepsilon \leq 2 \text{ mm/m}$,取最外侧的一个点。裂缝角是移动盆地主断面上最边缘裂缝与采空区

边界点的连线与水平线之间在采空区外侧的夹角。可见,在铁路选线中,采用边界角作为扩散角最安全,移动角次之,而采用裂缝角是不安全的。

《铁路路基设计规范》(TB 10001—2005)^[3]对路基的工后沉降量控制标准为:I级铁路不应大于20 cm,路桥过渡段不应大于10 cm,沉降速率不应大于5 cm/年;II级铁路不应大于30 cm。《高速铁路设计规范(试行)》(TB 10621—2009)^[4]中对高速铁路无砟轨道路基工后沉降控制标准为15 mm,路基与桥梁、隧道或横向结构物交界处的工后沉降差不应大于5 mm,不均匀沉降造成的折角不应大于1/1 000;高速铁路有砟轨道路基工后沉降一般地段 $\leq 5 \sim 10$ cm。桥梁墩台基础工后沉降限值为20 mm(无砟轨道)和30 mm(有砟轨道),相邻墩台沉降差为5 mm(无砟轨道)和15 mm(有砟轨道)。可见,在上述变形控制标准中,国铁(I级、II级)路基工后沉降量控制标准为20~30 cm,与移动角临界变形值点的沉降比较相近;高速铁路无砟轨道路基工后沉降控制标准为15 mm,桥梁墩台基础工后沉降限值为20~30 mm,接近并略大于边界角10 mm的沉降标准。

在《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》^[1]中建议采用的采空区地表变形控制标准为:地表倾斜 $i \leq 3$ mm/m;曲率 $K \leq 0.2 \times 10^{-3}$ /m;水平变形 $\varepsilon \leq 2$ mm/m。对下沉变形标准未给出明确规定。通过若干采空区变形监测及计算实例对比,当采用移动角($65^\circ \sim 75^\circ$)计算时,其临界变形值点处的下沉量往往达到几十厘米。如本溪采空区开采沉降计算结果表明,不同方向上其临界变形值点处的下沉量达到20~30 cm。此时的沉降数值与普速铁路(国铁I级、II级)工后沉降要求比较接近,但远远大于无砟轨道高速铁路路基及桥梁的工后沉降标准。此外,根据桥梁墩台基础工后沉降变形标准,有砟轨道相邻墩台沉降差限值15 mm,无砟轨道相邻墩台沉降差限值5 mm。按常规32 m墩台间距计算,倾斜限值分别为0.469 mm/m和0.156 mm/m,远远小于移动角所对应的倾斜值 $i = 3$ mm/m。因此,对于无砟轨道高速铁路而言,采用移动角来计算安全距离和保安矿柱宽度是存在工程隐患的。

根据《高速铁路设计规范(试行)》(TB 10621—2009),高速铁路最小竖曲线半径采用标准为1 5000~25 000 m,曲率为 $0.04 \sim 0.067 \times 10^{-3}$ /m(表2),均小于一般建筑物所采用的移动角临界变形值控制标准($K \leq 0.2 \times 10^{-3}$ /m)。因此,对于高速铁路,采用移动角作为扩散角计算安全距离是不能保证高速铁路舒适度要求的。

表2 最小竖曲线半径采用标准及曲率

$V/(km/h)$	300 及以上	300 以下及 250 以上	250 以下及 200 以上
R_{sh}/m	25 000	20 000	15 000
K/m^{-1}	0.04×10^{-3}	0.05×10^{-3}	0.067×10^{-3}

京沪高速铁路过韩台煤田时,曾对张山子煤矿采空区地表塌陷变形进行了详细计算,计算结果表明,当采用边界角作为扩散角时,其10 mm的沉降变形标准基本能够同时满足高速铁路其他变形控制要求^[5]。

3.2.2 岩移角选择

根据上述分析,对于一般普速铁路,可以采用移动角来计算安全距离,而对于高速铁路,采用移动角计算铁路安全距离是不能满足高速铁路工后沉降变形控制要求的。因此,在高速铁路及客运专线勘察设计中,应选取边界角或经过变形预计来选取安全可靠的扩散角,否则将存在不安全因素。各等级铁路的变形要求及岩移角选取如表3所示。

表3 各等级铁路的变形要求及岩移角选取

铁路等级	变形控制标准	岩移角 选取
高速铁路 (无砟)	路基工后沉降:15 mm; 桥梁:20 mm; 相邻墩台沉降差:5 mm	边界角
高速铁路(有砟)	路基:5 cm(时速350、300)、10 cm(时速250); 桥梁:30 mm; 相邻墩台沉降差:15 mm	边界角
国铁I级	路基:20 cm, 沉降速率 ≤ 5 cm/年	移动角
国铁II级	路基:30 cm	移动角
国铁III级及 工企专用线	—	移动角

3.2.3 岩移角换算

由于倾斜煤层开采后形成的采空区也是倾斜分布的,所以在不同方向上的岩移角量也有所不同。在铁路勘察选线中,对于倾斜分布的采空区岩移角需要进行相应的角度换算。首先在平面图上量出各剖面处受护边界(或线路走向)与煤层走向的夹角 θ ,然后根据《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》及《铁路工程地质手册》提供的方法,采用式(3)对斜交剖面上山和下山移动角 β' 和 γ' 分别进行计算。

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

$$\cot \gamma' = \sqrt{\cot^2 \gamma \cdot \cos^2 \theta + \cot^2 \delta \cdot \sin^2 \theta} \quad (3)$$

式中 β 、 γ 和 δ ——分别为下山、上山和走向方向的岩层移动角;

θ ——围护带边界与煤层走向线之间的夹角。

4 采空区铁路工程地质选线的途径和方法

采空区铁路工程地质选线应结合铁路各勘测阶段要求及勘察设计深度来进行,在预可研阶段进行大区域的方案选择,在经济技术条件合理的前提下,尽量绕避采空区分布区域。在可行性研究阶段重点进行采空区分布路段内局部方案的比选,结合线路走向和采空区分布,选择技术条件好、安全可靠的途径经过采空区。

4.1 线路方案比选——在矿区外围选线

在方案研究中,对于大范围的采空区及采矿区域,线路首先选择在矿区以外进行选线,应尽可能绕避采空区及影响带,绕避正在开采及规划开采区域,在矿区以外通过。主要选线途径如下。

4.1.1 在矿产分布区域以外选线

采空区主要形成于矿产开发活动,对于那些由于

采矿形成的采空区,利用矿床分布规律来进行铁路选线是主要捷径之一。在方案研究阶段,利用矿产勘查资料进行大区域铁路选线不仅可以极大减轻采空区的影响,而且可以有效避免线路工程大量地压覆矿产资源。在矿产分布区域以外进行选线通常有以下几种方式。

(1) 以含煤地层底界或煤层露头为标志在含矿区域外侧选线。在铁路勘察选线中遇到这种情况最多是在华北地区。奥陶系与石炭系地层之间的不整合面就是含煤岩系与非含煤岩系的重要分界线,也是山西省铁矿赋存层位的底界,在此分界线外侧选线,即可绕避含煤及含铁等主要矿产分布区域,也即绕避了采空区。

如石太路客运专线通过山西阳泉矿区时,为了绕避大范围采空区和减少压煤量,线路舍弃了南方案阳泉方案,而选择了北方案盂县方案,线路整体绕出了石炭、二叠系煤系地层分布区域,从而绕避了大范围的采空区,并避免了大量的压矿,如图8所示。

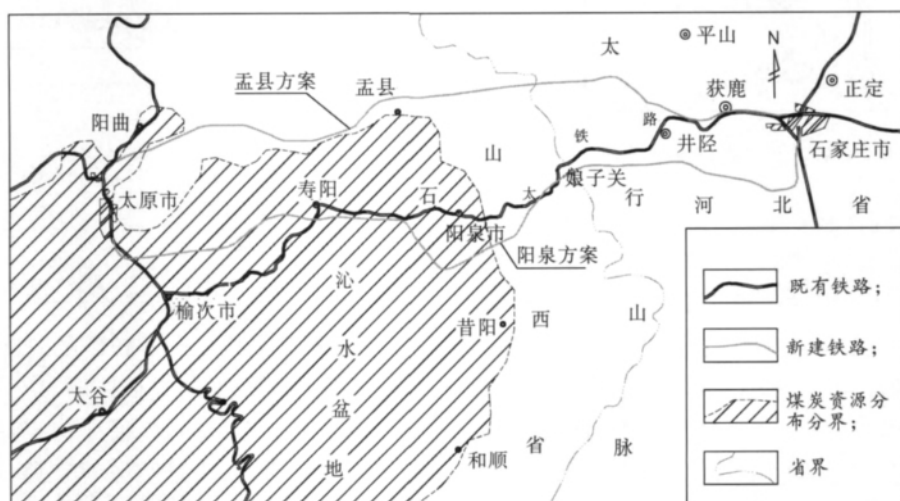


图8 盂县矿区煤矿采空区与铁路线位的位置关系

根据矿层产状及延伸方向,线路选择在矿层露头线以外。首先根据区域矿产勘察资料给出的矿层露头线,核实后在露头线外侧选线。当区域矿产资料缺乏时可进行地质调绘及横断面勘探,横断面垂直于矿层走向布置,根据横断面矿层分布确定露头点,多个相邻露头点相连即为露头线。找出矿层露头线以后即可在其外侧进行选线。

(2) 以构造界线为标志在含矿区域外侧选线。大型构造带常控制区域构造格局,同时控制两侧的地层沉积及矿产形成。如在华北及东北地区的断陷盆地成煤过程,具有工业价值的可采煤层均分布在盆地中。因此,在盆缘断裂外侧进行选线,即可保证线路走行于盆地以外的无煤区,也即绕避了煤矿采空区。

如京沪高速铁路为绕避官桥煤田采空区影响,方案研究中使铁路线位DK 600~DK 620路段位于纵一断裂的东侧下盘寒武系灰岩区内,沿纵一断裂平行行走。线位距八一煤矿采空塌陷区最近距离约300 m,距官亭煤矿采空塌陷区约2 km以上,之间以纵一断裂划分为两种截然不同的区域。因此,线路很显然在官桥煤田各煤矿采空影响范围以外经过,绕避了采空塌陷的影响,如图9所示。

4.1.2 在矿区开采规划范围以外选线

对于大型矿区,一般都有完整矿区开采规划图和采掘布置图,有明确的矿界范围。选线中将线位布置于矿界外侧,绕避矿区开采规划范围。要求线位与矿界之间的安全距离要足够大,保证在未来开采导致的

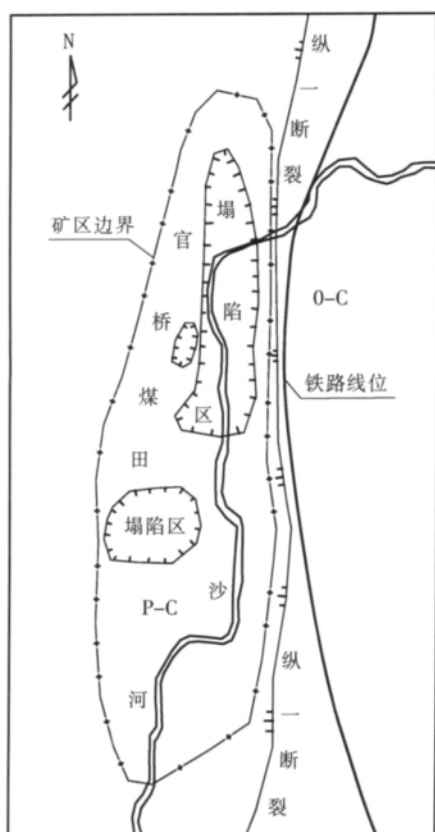


图9 官桥煤田采空区与铁路线位关系

地表变形不会影响到铁路安全。

沈丹铁路客运专线于 CK 2 + 500 ~ CK 6 + 000 右侧经过林盛煤矿。林盛煤矿位于沈阳市苏家屯区林盛堡镇和沙河镇境内。矿区地表地形平坦,地面标高一般为 40 m。矿区地层顶部为第四系砂层,厚度 70 m,其下为石灰岩、含煤砂岩。矿区构造整体为一轴向 NNE 向、两翼不对称的倾伏向斜。西翼地层倾角 $20^{\circ} \sim 40^{\circ}$,东翼较陡,由北至南从 20° 逐渐增高到 70° ,对线路可能产生影响的为其东翼部分,且东翼采煤向西开采,离线路越来越远。线路距离林盛煤矿边界 940 m。线位与矿区的位置关系, A - A' 为计算断面。如图 10 所示。

根据表 1,客运专线围护带宽度取 20 m。地面高程 56 m,采空区深度高程 -500 m。第四系覆盖层及松散岩体厚度为 180 m,移动角取 30° 。下伏岩层塌陷扩散角按表 4 选取下山边界角 β 。根据沈煤集团所提供的资料,岩体下山边界角 $\beta = 65^{\circ} - 0.8\alpha$ [煤层倾角 ($^{\circ}$)] = $65^{\circ} - 0.8 \times 20^{\circ} = 49^{\circ}$ 。采用式 (3) 进行角度换算。本工程塌陷扩散角取 45° 。

根据式 (1) 计算线路与采空区之间的安全距离 M。

$$\begin{aligned} M &= L + H_1 \cot \phi + H_2 \cot \delta \\ &= 20 + 180 \times \cot 30^{\circ} + 376 \times \cot 45^{\circ} \end{aligned}$$

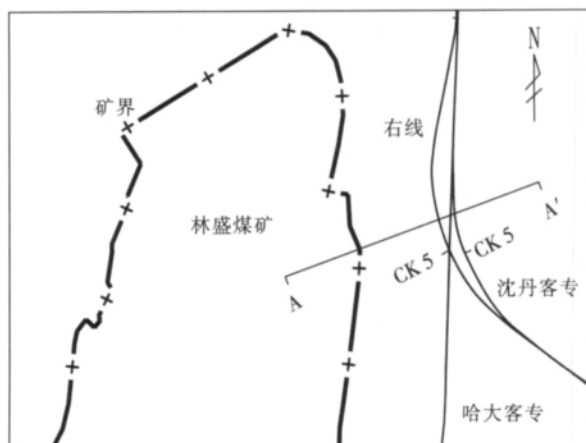


图10 林盛煤矿与线路平面位置关系

= 708 m

计算得到的安全距离为 708 m,而线位离采空区边界为 940 m,故本线路工程基本绕避了林盛煤矿采空区影响范围。

表4 沈煤集团林盛煤矿煤柱留设参数表

冲积层移动角 φ	30°
走向移动角 δ	75°
上山移动角 γ	75°
下山移动角 β	$75^{\circ} - 0.8\alpha$ [煤层倾角 ($^{\circ}$)]
走向边界角 δ	65°
上山边界角 γ	65°
下山边界角 β	$65^{\circ} - 0.8\alpha$ [煤层倾角 ($^{\circ}$)]

4.2 局部方案优化——在矿区内选线

当铁路不得不通过矿区时,应分析论证线位与采空区的空间关系,尽可能使线位走向与采空区主采方向大角度相交,减少采空区对铁路的影响范围。同时应重视以下几个方面的选线途径。

4.2.1 利用矿柱和不可采区域选线

在矿区内选线时应充分考虑矿区开采规划及土地利用规划,避免由于选线不合理而造成多占压矿产,同时尽量减轻铁路建设与矿山接续开采的相互干扰。选线途径有: (1) 利用矿区已留设矿柱及不可采区域选线,如矿区内重要井巷工程、重要建筑物、重要道路、公路、既有铁路、村镇、水体等下方一般均留有保安矿柱,可供选线时共用; (2) 利用贫矿带及开采价值较低的区域选线,尽可能不压覆或少压覆可开采的矿床; (3) 与矿山开采规划紧密协调,充分利用规划矿柱及限采区域选线。

4.2.2 绕避古采空区及变形复杂地段

当大的方案确定以后,根据采空区分布及变形特征,对线路经过的采空区分布地段采取局部优化措施,

(下转第 100 页)

究[J]. 铁道工程学报 2010(12):93-98.

Luo zhiyong. Soft Soil Area Reversed Subway Transfer Station Pit Deformation Characteristics [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2010(12):93-98.

- [9] 霍润科, 颜明圆, 宋战平. 地铁车站深基坑开挖监测与数值分析[J]. 铁道工程学报 2011(5):81-85.

Huo Runke, Yan Mingyuan, Song Zhanping. The Monitoring and Numerical Analysys of Deep Foundation in Subway Station. [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2011(5):81-85.

(编辑 赵立兰)

(上接第 20 页)

宜绕避下列地区:(1) 绕避人为坑洞密集、时间久远难以查明的古老采空区分布地带和处理工程复杂的大面积采空区及其影响范围;(2) 绕避地表处于活跃阶段、可能出现非连续变形地段及移动盆地边缘地带,线路方案设计中尽可能避免采空区最大变形处出现竖曲线顶点和平面曲线半径最小点;(3) 绕避因地表移动或变形可能引起边坡失稳和山崖崩塌地段;(4) 绕避特厚煤层和倾角大于 55° 的厚煤层露头地段。

尽量选择线路从分布范围狭窄、开采厚度小、分布深度小、变形均匀、易处理的地段通过,降低处理费用和安全风险。

4.2.3 越岭地段铁路选线

线路经过有采空区分布的越岭地段时,应充分论证两侧山坡的地形、地质条件及采空区分布特征和处治难度,选择采空区影响最小的位置越岭。越岭方式应充分考虑采空区影响深度、范围,进行深路堑和隧道方案的比较,有条件时尽量选择在采空区的下方通过,以避免因采空区变形、塌陷对铁路工程的危害,并应充分论证老窑积水及有害气体可能对铁路工程带来的影响。

隧道洞口应避免布置在采空区变形较大及地表移动可能引起边坡失稳和山崖崩塌的地段。

4.3 基于采空区变形计算和监测的铁路选线方法

4.3.1 基于采空区地表变形计算进行铁路选线

对于规模化开采形成的大型采空区,可采用概率积分法或利用成熟的地表移动计算软件计算出采空区上方地表移动与变形值,形成等值线图,再依据工程变形控制标准进行线路位置的选择。

4.3.2 基于采空区变形监测进行选线

差分干涉雷达技术(D-InSAR)是一种先进的遥感技术,其覆盖范围广,空间分辨率高,可全天时、全天候对地表变形实施大范围连续监测。相对其它同精度的监测方法,D-InSAR 技术成本较低,并且有稳定的数据来源。这些特点表明,如果利用 D-InSAR 不同时期的监测成果进行工程沿线矿区沉降分析,可以定期获得不同时期内铁路沿线广大范围内地表沉降变形量。可在新建铁路预可行性研究及可行性研究阶段进行广大区域内的采空区变形监测及分析,分析成果可进一步在铁路选线中加以应用。

5 结论

本文基于采空区特点和以往研究成果,总结提出了采空区铁路勘察选线的基本流程、不同类型采空区安全距离计算方法及参数选择标准,探讨了岩移角与不同等级铁路变形控制标准的关系,提出了不同等级铁路安全距离计算及安全矿柱宽度计算的岩移角选取标准。

结合工程实例,提出了采空区铁路工程地质选线的方法和途径,包括线路方案比选——在矿区外围选线、局部方案优化——在矿区内选线,以及基于采空区变形计算和监测的铁路选线方法,并以实例加以说明在不同条件下铁路选线的基本步骤和对关键技术问题所采取的处理措施。

参考文献:

- [1] 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.
State Bureau of coal industry. Rules for Coal Pillars Reserving and Mining Coal under Buildings, Water, Railroad, Main Roadway and Shaft [M]. Beijing: Coal Industry Press, 2000.
- [2] 铁道第一勘察设计院. 铁路工程地质手册[K]. 北京: 中国铁道出版社, 1999.
The First Railway Survey and Design Institute. Handbook of Railway Engineering Geology [K]. Beijing: China Railway Publishing House, 1999.
- [3] TB 10001—2005 铁路路基设计规范[S].
TB 10001—2005, Code for Design of Railway Subgrade [S].
- [4] TB 10621—2009 高速铁路设计规范(试行) [S].
TB 10621—2009, Code for Design of High Speed Railway [S].
- [5] 陈则连. 煤矿采空区地表岩移对高速铁路的影响研究[J]. 铁道工程学报 2009(4):5-8.
Chen Zelian. Research on Influence of the Displacement of Surface Rock in Coal Mine Goaf on High-speed Railway [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2009(4):5-8.

(编辑 曹淑荣)