

文章编号: 1005-0523(2006)02-0005-04

高速公路路基下采空区稳定性评估与治理措施

刁心宏¹, 刘峰², 龚葛萍³, 朱光涛¹, 官伟¹

(1. 华东交通大学, 江西 南昌 330013; 2. 江西交通科学研究院, 江西 南昌 330008; 3. 江西河海路桥工程有限责任公司, 江西 金溪 344800)

摘要: 采用理论和半定量方法对昌金高速公路金鱼石路段路基下采空区的稳定性进行了评估, 结果表明采空区围岩不稳定, 并且对路基稳定性有显著影响; 介绍了对采空区的处理方案.

关键词: 高速公路; 采空区; 路基稳定性

中图分类号: TU3

文献标识码: A

1 引言

昌金高速公路通过的地区为江西省西部的丘陵地带, 沿线遇到多处软土、膨胀岩、岩溶和采空区等地质不良地段, 其中 K522+600~840 段路基下存在采空区. 这些采空区的存在, 无疑是路基稳定和将来高速公路运营的安全隐患. 为了确保高速公路工程质量和运营安全, 对路基下存在的采空区的稳定性进行评估, 并进而提出合理的处理措施是十分必要的.

2 工程地质概况与采空区分布及其特征

采空区位于萍乡市荷尧乡金鱼石村西侧, 本地段地形地貌为低山丘陵, 路线右侧为山坡, 山坡自然坡角为 25°~35°, 地面高程海拔 80~110 m, 比高约 30 m. 根据钻探揭露, 在采空区范围内, 地层自上而下为第四纪全新统及更新统坡积层、上三叠统安源组煤系地层, 主要有填筑土、煤渣、含碎石粘土、炭质页岩、粉砂岩夹炭质页岩、冲填土. 采空区主要分布于 K522+670~690 和 K522+732~784 两处. 前者采空区高 0.5~1.0 m, 埋深约 9 m, 规模较小, 向南偏东方向展布, 空区顶底板均为炭质泥、页岩; 后者采空区高约 2.5~8.7 m, 埋深约 10 m, 向西或南偏西方向展布, 规模大, 延伸长, 采空区顶底板均为炭质泥、页岩或粉砂岩. 根据钻探资料

分析, 本路段采空区是由采煤形成的, 采空区内均充填有松散、呈土状的炭质泥、页岩, 含泥质物, 局部夹炭质页岩、粉砂岩, 结构松散, 透水性强.

3 路基下采空区与地表稳定性评估

采空区稳定性与各种地质因素及非地质因素有关, 前者包括采空区的工程地质条件、水文地质条件、采空区地应力及采空区岩体的力学特性等, 后者则主要与开采方法与施工技术等因素有关. 当新建公路在采空区的影响范围内时, 应根据采空区的埋深、范围和上覆岩层的性质等对采空区顶板和路基进行稳定性分析、评价, 或根据经验确定是否采取处理措施.

3.1 理论分析

该方法认为采空区开采前岩体内部应力是平衡的, 且只存在垂直压应力和水平压应力, 矿层采空后采空区周围岩体失去支承, 围岩压力发生变化, 采空区顶板某一范围内的岩体在重力作用下具有向下移动的趋势. 根据力的平衡原理, 当达到平衡时采空区上覆岩层受采空区影响的高度与采空区跨度之间存在如下关系:

$$H_0 = \frac{a}{\tan^2(45 - \frac{\phi}{2}) \tan \phi} \quad (1)$$

式中, H_0 ——采空区上覆岩层临界厚度(m);

a ——采空区跨度(m);

收稿日期: 2005-12-26

作者简介: 刁心宏(1961-), 男, 华东交通大学土木建筑学院, 主要从事岩土工程、道路与铁道工程专业教学与科研工作.

ϕ ——岩体内摩擦角($^{\circ}$)

比较采空区顶板埋藏深度 H 与临界深度 H_0 , 即可粗略地评价顶板的稳定性.

当: $H < H_0$ 时, 顶板不稳定;

$H_0 < H < 1.5H_0$ 时, 顶板稳定性差;

$H > 1.5H_0$ 时, 顶板稳定.

勘探结果表明, 两处采空区埋藏情况与围岩(炭质页岩、泥岩)力学参数见表 1.

表 1 采空区几何与力学参数表

	采空区高度采空区埋深采空区跨度			粘聚力 C (MPa)	内摩擦角 $\alpha(^{\circ})$	变形模量 E (MPa)
	h(m)	H(m)	b(m)			
小采空区	0.5-1.0	9	25-30	4	50	5000
大采空区	2.5-8.7	10	40			

根据勘探, 采空区已为顶板冒落的岩石、冲填土部分充填, 但充填体松散、强度较小, 大部分接顶不好. 因此, 这里将采空区的跨度考虑为原采空区跨度的 $1/3$ 进行计算, 即小采空区的跨度取为 9 m, 大采空区的跨度取为 13 m.

由式(1)可得:

对于小采空区

$$H_{0小} = 9 / (\tan^2(45-25) * \tan(50)) \\ = 57 \text{ (m)}$$

对于大采空区

$$H_{0大} = 13 / (\tan^2(45-25) * \tan(50)) \\ = 82 \text{ (m)}$$

显然, $H_{0小} > H_{0大} > H_{大}$.

所以, 目前的采空区顶板不稳定, 即采空区不稳定.

3.2 半定量评价

目前, 半定量的评价方法主要有荷载传递线交汇法、顶板坍塌自行堵塞估算法、成拱分析法、双向板分析法和弹性理论应力分析法.

由于金鱼石路段路基下的采空区为古代采煤形成的, 平面几何形态复杂, 且采空区部分地被充填, 使采空区的空间形态更为复杂, 故不能采用弹性无限板中圆形孔周围应力的齐尔西解, 也不宜采用基于弹性理论的双向板分析法, 所以这里仅采用采空区顶板坍塌自行堵塞估算法和成拱分析法, 对该路段采空区的稳定性进行半定量的分析.

1) 顶板坍塌自行堵塞估算法

该法认为, 顶板塌落后体积松胀, 当塌落向上发展到一定高度, 采空区可被松胀物自行堵塞. 在没有地下水搬运的情况下, 可以认为采空区空间已被支撑而不再向上扩展了. 设采空区空间体积为 V_0 , 塌落体体积 V 松胀后不仅充填了塌落空间, 还充填了 V_0 , 此时塌落高度 Z 可由下式确定.

$$Z = \frac{H_0}{K-1}$$

式中 K ——顶板岩石的松胀系数, 通常 K 取 1.05—1.3

H_0 ——采空区高度(m)

当采空区的埋深大于 Z 时, 可认为地表是稳定的.

根据勘探, 采空区已为顶板冒落的岩石、冲填土部分充填, 但充填体松散、强度较小, 接顶不好. 这里按照充填率 50% 计算, 并换算为未接顶的高度 H . 即小采空区的未接顶高度为 0.5 m, 大采空区的未接顶平均高度为 4.3 m.

取采空区顶板岩石经长期压实后的松胀系数 $K=1.05$, 则塌落影响高度为:

对于小采空区

$$Z = H_{0小} / (K-1) \\ = 0.5 / (1.05-1) \\ = 10 \text{ (m)}$$

对于大采空区

$$Z = H_{0大} / (K-1) \\ = 4.3 / (1.05-1) \\ = 86 \text{ (m)}$$

显然, 最终塌落的影响高度大于或接近于采空区覆盖岩层厚度, 所以地表不稳定.

2) 成拱分析法

把采空区顶板看成拱状塌落, 而其上荷载及岩体则由拱自身承担, 此时破裂拱高 H 为:

$$H = \frac{0.5a + H_0 \tan(90 - \phi)}{f}$$

式中 a ——采空区跨度(m);

H_0 ——采空区高度(m);

ϕ ——采空区岩体的内摩擦角($^{\circ}$);

f ——采空区围岩的普氏坚固系数.

当采空区的顶板厚度大于 H 时, 采空区稳定.

勘探表明, 采空区顶板岩体为风化破碎软弱岩体, 岩体的普氏坚固系数取为 $f=1\sim 3$, 则顶板的破裂拱高度为:

对于小采空区

$$H = \frac{0.5a + H_0 \tan(90 - \phi)}{f} \\ = (0.5 * 30 + 1 * \tan(90 - 50)) / 2 \\ = 7.9 \text{ (m)}$$

对于大采空区

$$H = \frac{0.5a + H_0 \tan(90 - \phi)}{f} \\ = (0.5 * 40 + 8.7 * \tan(90 - 50)) / 2 \\ = 13.7 \text{ (m)}$$

成拱高度接近于或大于采空区顶板岩层厚度, 所以地表不稳定.

通过以上分析可知, 昌金高速公路金鱼石路段路基下存在的采空区不稳定, 并影响其上路基的稳定和安全, 必须进行处理.

4 采空区处理

路基下采空区的处理, 可以分为采空区埋深较小时的处理方法和埋深较大时的处理方法. 采空区埋深较小时, 常采用从地表挖开进行换填、压实, 或挖开后砌片石、碎石充填并

灌砂浆等处理方法,当采空区埋深较大时,可采用的处理方法主要有空区充填注浆法、空区覆岩加固补强法、灌注桩法、高架桥跨越法和综合方法。昌金高速公路金鱼石路段的采空区虽然埋深不大,仅有10 m左右,但采空区顶板为岩石,不易开挖。而且事先未充分估计采空区对路基的危害,路面开裂后才认识到其危害程度,也不可能再行开挖。同时,勘探表明采空区已被冒落的岩石和冲填土部分充填,大量开挖再填筑效果有限。综合分析后认为,用充填注浆法和覆岩结构加固补强法处理采空区较为切实可行。

根据昌金高速公路采空区的特点,确定采用注浆方法进行采空区的加固。

4.1 采空区处理范围

由于采空区的范围不仅可能存在于公路的路基下,而且在路基的红线外还可能存在着采空区,所以在治理采空区前必须先对处理宽度及处理深度进行确定。

1) 处理宽度

采空区处理长度以实际分布长度为准,处理宽度为路面范围内向外侧按应力扩散角 β 来考虑,加两侧边坡及保护带的宽度,如图1所示。

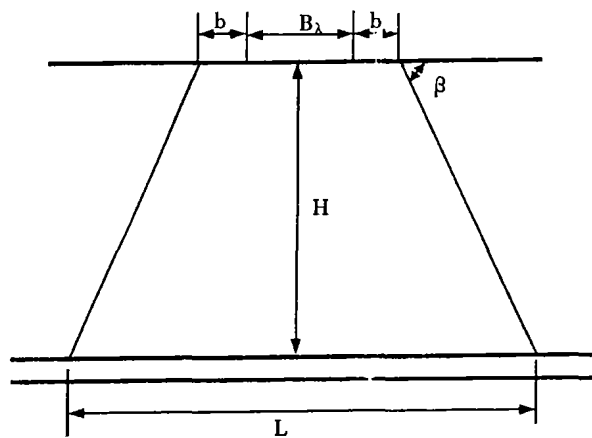


图1 采空区与地表对应关系

计算公式: $L = B_L + 2b + 2H \tan \beta$

式中 L ——采空区治理宽度(m);

B_L ——路基宽度(m);

b ——道路一侧边坡及保护带的宽度(m);

β ——采空区上覆岩层应力角($^\circ$);

H ——采空区埋深(m)。

取路基面总宽度为30 m,采空区上覆岩层应力角为 60° ,采空区埋深为10 m,则需要处理的宽度为:

$$\begin{aligned} L &= 30 + 2 \times 10 \times \tan 60^\circ \\ &= 64.6 \text{ (m)} \end{aligned}$$

2) 处理深度

当通过上述方法确定了采空区的处理宽度后,对不在处理宽度范围内的采空区可不予处理。对于那些处于处理宽度范围内的采空区还要确定采空区的处理深度。当采空区的顶板埋深在10 m以内,采空区的高度在15 m以内时,处理的深度为穿越采空区底板岩2 m。

4.2 注浆材料

综合萍乡当地实际情况,对于该煤矿采空区注浆治理工程,选择水泥、粉煤灰和水作为注浆材料。

注浆材料主要由水、水泥、粉煤灰、速凝剂等组成,水为当地河水,其 $S_4O_4^{2-}$ 应小于 0.27 mg/m^3 ,pH大于4;水泥为325#普通硅酸盐水泥,其质量应符合国家GB175-92标准;速凝剂为水玻璃、氯华钠等。砂为当地产细砂。

在现场注浆施工前,采用不同的注浆浆液配合比,对注浆浆液的配合比进行了详细的研究,最后选定为1:0.5~1:0.6。当孔隙率较大时,加入少量细砂。

4.3 注浆压力和注浆结束标准

注浆压力包括注浆泵的压力和孔口管压力两部分,为控制注浆工程的质量,主要考虑孔口管压力参数,试验结果表明:注浆压力应控制在 $0.3 \sim 1.0 \text{ MPa}$ 。

通过试验可知,在注浆孔的注浆末期,泵压逐渐升高,当注浆压力在 1.5 MPa ,流量在 $70 \sim 100 \text{ L/min}$,稳定 $10 \sim 15 \text{ min}$ 时,可作为该注浆孔施工的结束标准。

4.3 注浆量和注浆时间

按施工机械的制浆能力,确定单位注入量,由于帷幕孔与周围的采空区的连通性较好,每孔注浆量较大,现场每孔注入量控制在 $10 \sim 15 \text{ m}^3/\text{h}$ 。注浆时应对注浆孔的注浆量和注浆时间进行详细的记录,注浆压力达到或超过 $0.3 \sim 1.0 \text{ MPa}$ 以后,或当注浆管提升至地表以下 $1 \sim 1.5 \text{ m}$ 深度范围内均可终止灌浆。若注浆量过大、注浆时间长,而注浆压力达不到设计压力时,应调整水灰比,增大浆液浓度,或采取间断注浆或加入矿渣、细砂等填料。

4.4 施工工艺流程

测放孔位—钻机就位—钻进—验收—安放注浆管—插入钢筋—搅拌水泥浆—注浆—起管—插管—封孔。

4.5 注浆孔布置

注浆的范围和深度以前面计算的结果为准。采空区注浆孔的布置见图2。

注浆孔间距均按1.8 m布置;A、B排布置在边坡上,C排布置在距路基外边缘1.0 m。A、B、C三排横向间距均为1.8 m,呈“品字形”布置;D排布置在E排与C排的中间,E排布置在纵向裂缝处及附近。

K522+676~690、K522+732~784路基在渗水严重、采空区、有裂缝或薄弱地带的注浆孔,A、B、C三排孔不变,在路基增设15排孔,纵横向间距均为1.8 m。

左右路幅路基布置1100个注浆孔,其中采空区684个,每孔均加入细砂、早强剂。

5 结论

1) 理论分析和半定量分析表明,金鱼石路段路基下的采空区不稳定,其顶板岩石的冒落可能波及地表,即路基是不稳定的。因此,应当对采空区进行处理,以保证高速公路的运营安全。

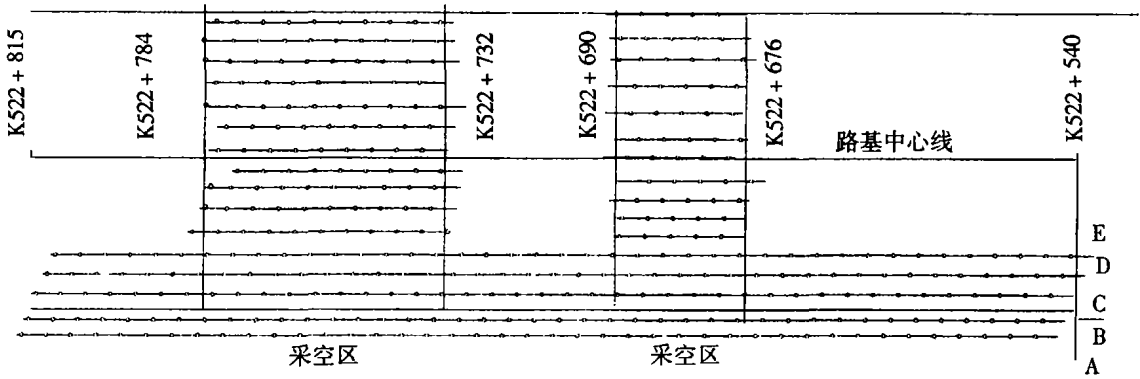


图2 K522+540~815采空区注浆孔平面布置示意图

2) 采用注浆法对采空区进行处理是合理可行的。路基沉降观测表明,对采空区的处理达到了预期的目的,其处理方案对类似工程有借鉴意义。

参考文献:

- [1] 刘文娟,田俊良,张晓强.用注浆充填法治理郑少高速公路采空区[J].铁道建筑,2005(5):47-49.
- [2] 童立元.高速公路下伏多层采空区注浆充填法治理试验研究[J].公路交通科技,2002(5):19-27.
- [3] 王玉清,张晓强,张晓春.某高速公路下覆采空区的确定及危害程度探讨[J].地质灾害与环境保护,2004,15(4):

30-34.

- [4] 郭广礼.老采空区上方建筑地基变形机理及其控制[M].徐州:中国矿业大学出版社,2001.
- [5] 孙忠弟.高等级公路下伏空洞勘探、危险程度评价及处治研究报告集[R].北京:科学出版社,2000.
- [6] 张志沛.高速公路下伏采空塌陷区的治理方法[J].中国煤田地质,1997,9(4):46-48.
- [7] 余学义.高等级公路下伏采空区危害程度分析[J].西安公路交通大学学报,2000,20(4):43-45.
- [8] 赵永国.公路路基下伏人工洞穴的成因、危害与处治技术[J].公路,2002(8):59-62.

Stability Evaluation and Disposal Measure to Abandoned Workings Under Highway Roadbed

DIAO Xin-hong¹, LIU Feng², GONG Ge-ping, ZHU Guang-tao¹, GUAN Wei¹

(1. East China Jiaotong University, Nanchang 330013; 2. Jiangxi Traffic Institute, Nanchang 330000, China)

Abstract: Stability of abandoned workings under roadbed at Jinyushi segment of Changfu-Jinyushi highway is evaluated with theoretic and semi-quantificational method. The results indicate that the abandoned workings is not steady and greatly influence stability of highway roadbed. Then, disposal scheme to abandoned workings is introduced.

Key words: highway; abandoned workings; stability of roadbed