

文章编号:1001-1986(2006)03-0055-03

地下巷道对工程建设场区稳定性影响的评估

秦玉虎¹,雷醒民¹,范文²

(1. 煤炭工业西安设计研究院,陕西 西安 710054;

2. 长安大学,陕西 西安 710054)

摘要:地下巷道上方的工程建设,需进行在地面荷载作用下工程建设场区稳定性和地面变形的评估。采用随机介质理论,根据地下巷道结构特征、支护条件和地质条件,将岩土体视为一种“随机介质”,将开挖岩土体引起的地表下沉视为一随机过程,对不同工况下地下巷道周围岩土体的应力及应变作了计算机模拟计算分析,进行定量计算评估,得出场区稳定性、地面最大沉降和倾斜度的定量评估结论。

关键词:巷道;随机介质;稳定性评估

中图分类号:TU457 **文献标识码:**A

Assessment of underground roadway's influence to stability of engineering building estate

QIN Yu-hu¹, LEI Xing-min¹, FAN Wen²

(1. Xi'an Coal Industry Design & Research Institute, Xi'an 710054, China;

2. Changan University, Xi'an 710054, China)

Abstract: Under the ground-load effect the ground distortion and stability of engineering building estate above underground roadway are evaluated by the random medium theory. In the light of structural character, geologic and retaining conditions the rock mass is regarded as random medium and the ground subsidence in digging soil and rock as random course. As a result it is possible to simulate the stress and straining of soil and rock surrounding roadway in different engineering conditions and carry through ration assessment, resulting assessment conclusions of estate stability, the most gradient and ground subsidence.

Key words: underground roadway; random medium; stability assessment

1 引言

某一拟建的重要工厂项目,主要建(构)筑物附加荷载为200 kN/m²,要求基底沉降不大于100 mm,倾斜度不大于2‰。但在其下现存在A号煤层的2条近北西向巷道和在场地东侧规划的B号煤层内4条近北西向新巷道,这些巷道对工程建设威胁程度较大,在建设前必须作出场地稳定性专项评估工作,给出定性和定量的结论。

2 场地地质条件

据区域地质资料,地层倾角小于3°,倾向220~260°。场区表层为新近回填的素填土,以下地层构成为:a. 第四系松散层(Q₄),厚度约15 m;b. 中侏罗统直罗组(J_{2z}):由砂岩、砂质泥岩组成,为本地区的Y号煤层,砂质泥岩厚度14.39 m,粗砂岩厚度8.36 m,砂质泥岩厚度12.06 m;c. 中侏罗统延安组(J_{2y}):为主要可采煤层,A号煤层(A—2中)埋深约76 m,B号煤层埋深约110 m,C号煤层埋深约150 m。本区地下水按照埋藏条件可分为潜水和承压水,粉质粘土层阻滞了地下水的下渗。地下水位埋深较大,水量

不大,大气降水为补给源,顶板以淋水为主。

3 巷道与地面建筑的关系

通过现场调查,场区地下现有A号煤皮带集中巷和回风巷两条巷道,巷道埋深约76 m,两条巷道断面尺寸分别为5 m×3.3 m和5 m×3.6 m,两巷道间距为25 m。场区内A号煤层平均厚度为5.08 m,倾角为1~3°。两条巷道施工均采用机械掘进,A号煤皮带集中巷和回风巷均采用喷锚支护,顶板锚杆为Φ16的圆钢,长度1.6 m,端部锚固。每排4根,排距1 m。煤帮无支护,帮、顶喷浆厚度均为50 mm。目前巷道稳定。拟建的巷道有4条,准备开采B号煤,埋深在110 m左右。巷道断面尺寸同上。地面建筑位于这些巷道的正上方且横跨巷道。

4 巷道稳定性及地表变形评估

4.1 建筑物荷载分布

建筑物上部荷载影响深度按《建筑地基基础设计规范》的规定计算:a. 土中自重应力的计算 $\sigma_z = \sum \gamma_i H_i$ 。b. 土中附加应力的计算:按均匀矩形荷载作用下考虑: $\sigma_z = \alpha_z P_0$ 一般情况下,对于老采空

区,当建筑物荷载在地基中产生的附加应力等于相应深度处地基土层自重应力的 10%时,可认为建筑物荷载对该深度处的地层不会产生大的影响,该深度即为建筑物荷载影响深度。对于上层为可压缩层,下层为不可压缩基岩的情况,荷载对称轴附近的附加应力较均质地基大,出现应力集中现象。

4.2 巷道岩体结构特征

根据已有地质资料,巷道上覆岩性特征如下:**a.** A 号煤伪顶为泥岩,局部为砂质泥岩,厚度 0.50~0.80 m;**b.** A 号煤直接顶为泥岩、砂岩,厚 1.50~7.16 m,抗压强度为 21.18~33.82 MPa,泥岩类软化系数为 0.67~0.85; **c.** A 号煤老顶为砂岩及粉砂岩,厚约 24.00 m,抗压强度为 27.00~45.98 MPa;**d.** A 号煤直接底为泥岩,厚度为 0.43~8.00 m,泥岩软化系数为 0.60~0.63;**e.** B 号煤顶板以砂岩为主,厚约 30.00 m,抗压强度为 19.04~37.68 MPa;**f.** B 号煤底板有少量的粘土岩,软化系数为 0.65~0.84,抗压强度为 33.85~51.35 MPa,易软化,遇水崩解;**g.** C 号煤顶板为粉砂岩、细砂岩互层,厚度约 25.00 m,抗压强度为 33.02~53.02 MPa。

4.3 评估方法

根据随机介质理论,具体工作思路是:**a.** 野外调查收集资料;**b.** 分析试验数据;**c.** 基于随机介质理论建立地表变形的计算模型;**d.** 建立巷道几何模型;对圆形断面,确定巷道半径 A ,半径收敛值 ΔA ,地层影响角 β ;对椭圆形断面,确定巷道半径 A 、 B ,半径收敛值 ΔA ,地层影响角 β ;对拱形断面,确定巷道横、纵半径 J_A 、 J_B ,半径收敛值 ΔA ,地层影响角 β ;**e.** 地表变形及影响半径计算估计,得出评估结论。本文按照拱形断面模型进行评估。

4.3.1 计算原理

设在距地面一定深度处存在任意形状断面的巷道,按平面应变问题考虑。如图 1 所示,断面的顶部距离地表的深度为 H ,图中对于巷道单元土体采用 $\zeta\eta$ 坐标,对于地表面则采用坐标系统 XOY 。如果

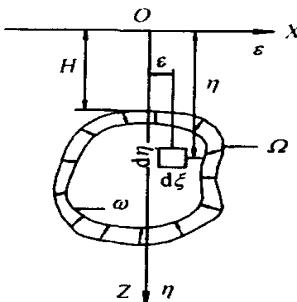


图 1 巷道单元示意图

Fig. 1 Sketch map of roadway cell

巷道全部塌落,经过长时间后,将引起地表的最大下沉。将整个巷道分解成为无限多个巷道单元,在单元 $d\zeta d\eta$ 的影响下,可求得距离巷道中心为 X 的地表最终下沉量为:

$$W_c(X) = \frac{1}{r(0)} \exp \left[-\frac{\pi}{r^2(0)} X^2 \right] d\zeta d\eta \quad (1)$$

假定整个巷道范围 Ω 内每个巷道单元完全塌落,应用叠加原理,可得此时的地表下沉值为:

$$W(X) = \iint_{\Omega} \frac{\tan \beta}{\eta} \exp \left[-\frac{\pi \tan^2 \beta}{\eta^2} (X - \zeta)^2 \right] d\zeta d\eta \quad (2)$$

实际上,上式计算得到的地表下沉为最不利的情况。引起地表发生沉降的原因只是由于巷道周围的岩土体向巷道空间运动而导致的巷道断面收缩。如果巷道刚形成时的断面为 Ω ,随着时间的推移,断面由 Ω 收缩为 ω ,则根据叠加原理,地表下沉应当等于巷道范围 Ω 引起的下沉与巷道范围 ω 引起的地表下沉之差,可得:

$$W(X) = \iint_{\Omega - \omega} \frac{\tan \beta}{\eta} \exp \left[-\frac{\pi \tan^2 \beta}{\eta^2} (X - \zeta)^2 \right] d\zeta d\eta \quad (3)$$

同理,根据叠加原理,可求得巷道引起的地表的水平位移 $U(X)$ 为:

$$U(X) = \iint_{\Omega - \omega} \frac{(X - \zeta) \tan \beta}{\eta^2} \exp \left[-\frac{\pi \tan^2 \beta}{\eta^2} (X - \zeta)^2 \right] d\zeta d\eta \quad (4)$$

分别对式(3)和(4)进行微分运算,可得到由于地表不均匀沉降而导致的地表点的倾斜 $T(X)$ 、水平变形 $E(X)$ 为:

$$T(X) = \frac{dW(X)}{dX} = - \iint_{\Omega - \omega} \frac{2\pi \tan^3 \beta}{\eta^3} (X - \zeta) \exp \left[-\frac{\pi \tan^2 \beta}{\eta^2} (X - \zeta)^2 \right] d\zeta d\eta \quad ; \quad (5)$$

$$E(X) = \frac{dU(X)}{dX} = - \iint_{\Omega - \omega} \frac{2\tan \beta}{\eta^2} \left[1 - \frac{2\pi \tan^2 \beta}{\eta^2} (X - \zeta)^2 \right] \exp \left[-\frac{\pi \tan^2 \beta}{\eta^2} (X - \zeta)^2 \right] d\zeta d\eta \quad ; \quad (6)$$

对于某些地面保护对象,它们对地面不均匀沉降所导致的地面弯曲十分敏感,由微分几何可知,地表下沉曲线 $W(X)$ 的曲率可表示为:

$$K(X) = \frac{\frac{d^2 W(X)}{dX^2}}{\left[1 + \left(\frac{dW(X)}{dX} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \quad .$$

由于实际上巷道引起的地表倾斜值 $T(X)$ 不大,在数量上一般多为千分之几而不超过百分之几,因此地表的曲率可表示为:

$$K(X) = \frac{d^2 W(X)}{dX^2} = - \iint_{\Omega - \omega} \frac{2\pi \tan^3 \beta}{\eta^3} \quad .$$

$$\left[\frac{2\pi\tan^2\beta}{\eta^2}(X-\zeta)^2 - 1 \right] \exp\left[-\frac{\pi\tan^2\beta}{\eta^2}(X-\zeta)^2 \right] d\zeta d\eta. \quad (7)$$

4.3.2 拱形断面巷道

对于拱形断面巷道(图2),巷道顶部距地表深度为H,巷道断面初始横向及纵向半轴分别为JA和JB,同样假定巷道形成后断面半轴均匀收缩了 ΔA ,则引起的地表下沉分布W(X)和水平位移分布U(X)分别为:

$$W(X) = \int_a^b \int_c^d w(X, \zeta, \eta) d\zeta d\eta + \int_e^f \int_g^h w(X, \zeta, \eta) d\zeta d\eta - \int_k^j \int_l^l w(X, \zeta, \eta) d\zeta d\eta - \int_m^n \int_o^p w(X, \zeta, \eta) d\zeta d\eta; \quad (8)$$

$$U(X) = \int_a^b \int_c^d u(X, \zeta, \eta) d\zeta d\eta + \int_e^f \int_g^h u(X, \zeta, \eta) d\zeta d\eta - \int_k^j \int_l^l u(X, \zeta, \eta) d\zeta d\eta - \int_m^n \int_o^p u(X, \zeta, \eta) d\zeta d\eta. \quad (9)$$

以上两式的积分上限和下限分别为: $a=H$; $b=H+h_0$;

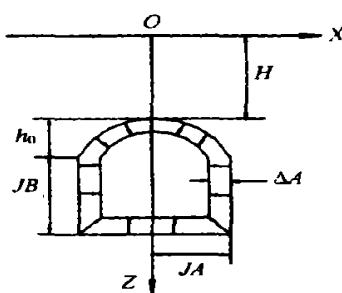


图2 拱形断面巷道图

Fig. 2 Cross section of arched roadway

表1 地下巷道变形引起的最大地表变形

Table 1 The most ground distortion owing to roadway's distortion

ΔA /mm	地层影响 角/(°)	W_{\max} /mm	U_{\max} /mm	T_{\max} $/10^{-4}$	E_{\max} $/10^{-4}$	K_{\max} $/10^{-4}$
3	26	0.61	0.30	0.1	0.1	0.0
	28	0.67	0.30	0.1	0.1	0.0
	30	0.73	0.30	0.1	0.1	0.0
	32	0.79	0.30	0.1	0.1	0.0
	34	0.85	0.30	0.1	0.1	0.0
5	26	1.02	0.51	0.1	0.2	0.0
	28	1.12	0.51	0.1	0.2	0.0
	30	1.21	0.51	0.2	0.2	0.0
	32	1.31	0.51	0.2	0.2	0.0
	34	1.41	0.51	0.2	0.2	0.0
10	26	2.05	1.01	0.2	0.3	0.0
	28	2.23	1.01	0.3	0.3	0.0
	30	2.42	1.01	0.3	0.4	0.0
	32	2.62	1.01	0.4	0.4	0.0
	34	2.83	1.01	0.4	0.4	0.0
100	26	20.90	10.33	2.3	3.1	0.1
	28	22.78	10.33	2.7	3.4	0.1
	30	24.74	10.33	3.2	3.7	0.1
	32	26.77	10.33	3.8	4.0	0.1
	34	28.89	10.33	4.4	4.3	0.2

$$c = -\sqrt{(H-\eta) \cdot \left(\frac{a^2 + h_0^2}{h_0} + H - \eta \right)}; \\ d = -c; e = H + h_0; f = H + h_0 + JB; g = -JA; \\ h = -g; i = H + \Delta A; j = H + h_0; \\ k = -\sqrt{(H-\eta) \cdot \left(\frac{a^2 + h_0^2}{h_0} + H - \eta \right) + \Delta A^2 - \Delta A \cdot \frac{a^2 + h_0^2}{h_0}}; \\ L = -k; m = H + h_0; n = H + h_0 + JB - \Delta A; \\ o = -\sqrt{a^2 - \frac{a^2 + h_0^2}{h_0} \cdot \Delta A + \Delta A^2}.$$

影响半径可以表示为:

$$R = \frac{H + h_0 + JB}{\tan \beta} + JA. \quad (10)$$

根据以上简化的计算模型,可以计算出任意埋深下的巷道在地表面所引起的地表变形。

4.4 评估结果

通过计算得到地表最大变形参数见表1,结果表明巷道中心最大向下变形量不超过30 mm,由巷道引起的地表倾斜度不会超过2‰,由此判定巷道对地表的影响较小。

5 讨论

a. 通过野外现场调研和对已有资料分析,采用采煤岩层与地表移动问题研究的随机介质理论,计算了地下巷道可能引起的地表位移量与倾斜量。得出场区范围内现有地下巷道和已规划巷道不会对上部建(构)筑构成威胁,规划场地可以作为建设场地的结论。考虑到场区内的岩性特征,遇水极易软化,风化现象严重,长期强度低,从安全角度考虑,场区下巷道废弃后,严禁回采巷道两侧的支承臂。建议巷道废弃之后,进行封巷充填处理。对将要开拓的新巷道需加强支护措施,防止风化剥落。地基处理时,宜尽量采用散体材料桩或垫层,垫层宜采取增强抗变形能力措施。

b. 随机介质理论是评价地下巷道可能引起的地表位移沉降量与倾斜量的好方法,但在实际应用中单一的方法会因边界条件的不同变化得出不同的结论,因此应采用多种方法综合进行分析计算,以相互验证,作出可靠正确的判断。

参考文献

- [1] 孙忠弟.《高等级公路下伏空洞勘探、危险程度评价及处置》研究报告集[M].北京:科学出版社,2000.
- [2] 凌贤长,蔡得所.岩体力学[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2002.
- [3] 阳军生,刘宝琛.城市隧道施工引起的地表移动及变形[M].北京:中国铁道出版社,2002.
- [4] GB50007—2002.建筑地基基础设计规范[S].
- [5] GB50011—2001.建筑抗震设计规范[S].