

上覆煤层采空区对公路隧道的影响分析及处治技术

王锐¹, 田娇²

(1.贵州省兴义公路管理局, 贵州 兴义 562400; 2.贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司)

摘要:以某高速公路隧道工程为背景,采用现场调查及数值计算方法,分析了上覆煤层采空区对公路隧道的影响,总结了采空区与隧道的安全距离,并给出了采空区隧道合理处治方案。该文的研究结果为确定采空区公路隧道的合适处治方案提供了依据,具有一定的工程实用价值。

关键词:上覆采空区;煤层;公路隧道;处治技术

高速公路隧道为线性工程,由于采空区覆岩的不均匀沉降变形,很容易造成隧道路面错落起伏、衬砌结构变形、开裂等破坏现象,对高速公路隧道的正常运营以及破坏后的补救修复,构成了严重的安全隐患和潜在危害。地下采空区具有隐伏性强、空间分布特征规律性差、采空区顶板冒落塌陷情况难以预测等特点,高速公路隧道采空区的潜在危害性评价及其处治技术研究,是高速公路建设中急待解决且具有挑战性的技术难题,深入研究采空区的工程性状与工程灾害问题,对于工程的安全运营具有重大意义。

近年来,在工程实践中关于采空区的勘察、稳定性评价和治理方面积累了宝贵的经验,诸多学者在这些方面也做了大量研究并取得了较好的成果,但研究对象大多为下伏采空区,对于上覆采空区的研究很少,特别是上覆采空区与隧道的相互影响及相应的处治技术方面尤为欠缺。现行JTG/T D31-03-2018《采空区公路设计与施工技术细则》对上覆采空区也仅作了原则性规定,其操作性及对类似工程的指导性不强。该文以某公路隧道为例,以现场调查及数值计算为手段,分析上覆采空区对该公路隧道稳定性的影响,总结采空区与隧道的安全距离,探讨上覆采空区高速公路隧道有效的处治方法。

1 工程概况

某隧道为双向四车道公路隧道,隧道洞身围岩均为二叠系上统龙潭组煤系地层,出口端分布有大量民间采煤煤洞,隧道通过地区采煤层数为两层,煤层厚度

0.4~2.5 m,煤层层间间距2.0~3.5 m,采空区与隧道缓倾斜相交,采空区的高度约为5.5 m,隧道与采空区的距离最大约为70 m,往隧道出口方向延伸,采空区距隧道顶部的距离不断减小,在洞口处,隧道顶部标高与采空区标高几乎相同,如图1所示。

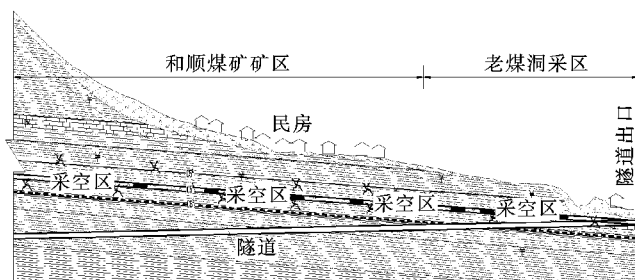


图1 隧道出口端纵断面示意图

1.1 工程特征

(1) 场地整体稳定性极差。该地区采煤时间较长,煤层的开采使得大面积采空区存在于隧道洞身及其影响范围内,采空区冒落带、裂隙带发育范围大,破坏了原有围岩体的结构及物理力学性质,导致该隧道所处场地整体稳定性极差。

(2) 围岩强度低。洞身围岩为第四系碎石土及煤系地层强至中风化砂岩、泥质粉砂岩、泥岩、炭质泥岩及煤层,隧道出口端碎石土覆盖层很厚,围岩本身强度不高,加上采空区老窑积水使得围岩强度大大降低。

(3) 地表沉降控制要求严。隧区地表居民住房密集,过往煤层开采出现过致使地表沉降过大、民房开裂的情况。隧道位于浅埋段,产状水平,围岩自稳性差,施工过程中对场地的扰动及采空区的影响易引起隧道

洞身围岩失稳坍方及地表塌陷,从而对地表住房产生影响引起涉农问题。因此该隧道的施工对地表沉降的控制尤其严格。

1.2 工程难点

全洞段均位于含煤地层内,隧洞出口洞段均位于采空变形区内,整体成洞条件差,隧洞开挖易出现垮塌,危及洞顶及附近村民房屋及其他建筑物安全。现行规范对采空区仅作了原则性规定,对工程的指导性不强,该隧道建设需评价采空区对公路隧道稳定性的影响,分析确定采空区与隧道的安全距离,并提出有效的处治方法。

2 采空区范围隧道围岩稳定性分析

选用 MidasGTS NX 数值计算软件分析上覆采空区对隧道的影响。选取隧道距采空区 0~10、10~30、30~50、50~70 m 共 4 个段落,对在既有上覆采空区条件下开挖隧道进行模拟计算,分析围岩的稳定性。计算模型的物理力学参数如表 1 所示。

隧道与采空区相对位置纵断面如图 2 所示,各区段的计算模型及网格划分如图 3 所示。

各区段隧道竖向位移最大值及处治建议见表 2。

表 1 计算模型的物理力学参数

材料名称	计算参数					计算模型
	重度/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性模 量/MPa	黏聚力/ MPa	内摩擦 角/($^{\circ}$)	泊松比	
粉质黏土	18	15	0.030	15	0.43	摩尔库仑
泥岩	20	1 300	1.18	20	0.35	摩尔库仑
采空区	10	5	0	15	0.45	摩尔库仑
泥质粉砂岩	21	1 700	1.56	22	0.35	摩尔库仑
喷射混凝土	25	28 000			0.2	弹性

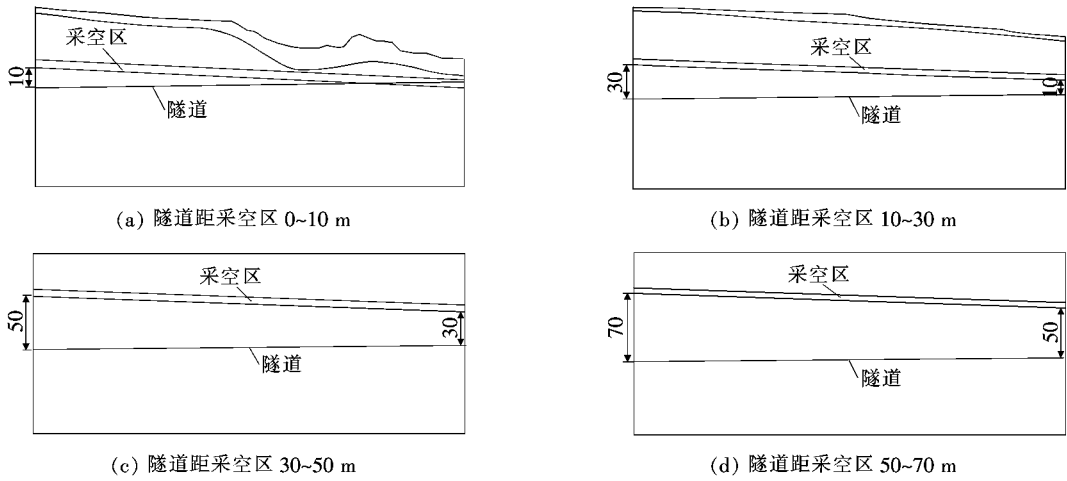


图 2 隧道与采空区相对位置纵断面示意图(单位:m)

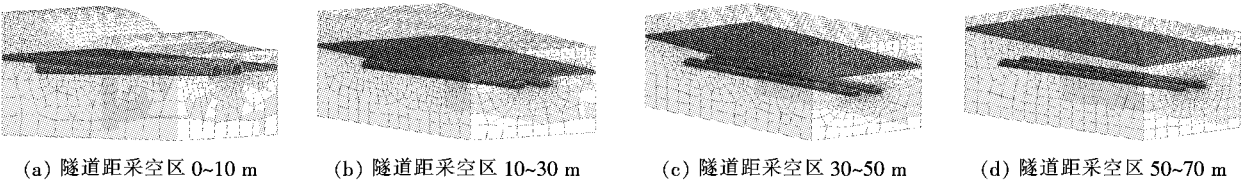


图 3 计算模型及网格划分

表 2 采空区各区段隧道最大竖向位移及处治建议

项目	不同隧道与采空区间距(m)时最大竖向位移/mm			
	0~10	10~30	30~50	50~70
沉降	433.0	17.5	9.7	9.0
隆起	115.0	36.4	9.6	9.5
处治建议	采空区对隧道影响很大,需处治	采空区对隧道有一定影响,需适当处治	采空区对隧道影响很小,可不处治	采空区对隧道影响很小,可不处治

当隧道与采空区的距离为 0~10 m 时,围岩塑性区贯通至地表,大范围出现大变形,已经远超隧道周边设计允许变形值 $[(0.2\sim0.8)B=26\sim104\text{ mm}]$,覆盖层越薄,要求越严格],上覆采空区的存在对隧道影响很大,需对隧道进行处治;当隧道与采空区的距离为 10~30 m 时,上覆采空区的存在对隧道有一定的影响,围岩的变形量不是很大,但是塑性区与采空区贯通,避免隧道开挖再次扰动采空区引起较大塌陷,需对隧道进行适当处治,保证围岩稳定;当隧道与采空区的距离大于 30 m 时,上覆采空区对隧道影响很小,可以忽略采空区的影响。

3 采空区范围隧道围岩处治方案

对隧道与采空区距离为 0~10 m 的段落,采用超前管棚注浆、斜向钢花管注浆及环向钢花管注浆的方式对隧道周边围岩进行注浆加固处理: $\phi 108\text{ mm}\times 6$

mm 超前管棚,长 9 m,环向间距 40 cm,纵向排距 400 cm,外插角 $5^{\circ}\sim 8^{\circ}$; $\phi 42\text{ mm}\times 4\text{ mm}$ 斜向(环向)注浆钢花管,长 4.5 m,间距 $50\text{ cm}\times 80\text{ cm}$ (纵 \times 环),梅花形布置。对隧道与采空区距离为 10~30 m 的段落,采用超前小导管注浆及中空注浆锚杆注浆的方式对隧道周边围岩进行注浆加固处理: $\phi 42\text{ mm}\times 4\text{ mm}$ 超前小导管注浆,长 4 m,环向间距 40 cm,纵向排距 200 cm,外插角 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$; $\phi 25\text{ mm}$ 中空注浆锚杆,长 3.5 m,间距 $50\text{ cm}\times 120\text{ cm}$ (纵 \times 环),梅花形布置。

施工过程中对隧道围岩进行超前加固处理确保围岩稳定后方可进行下道工序施工,且在施工过程中必须加强超前地质预报及对有害气体的检测、防止老窖积水从裂隙渗出流入隧道引起突水突泥等问题、避免对隧道洞身造成大的扰动、加强注浆质量控制。

对处治后的围岩稳定性进行分析,超前支护及加固区计算模型如图 4 所示,超前支护及加固区的物理力学参数如表 3 所示,其余参数与表 1 相同。

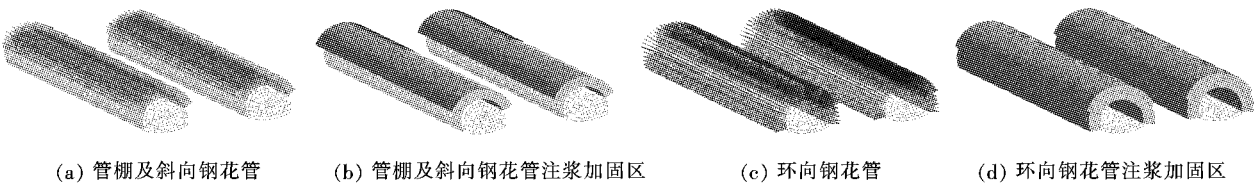


图 4 超前支护及加固区计算模型

表 3 超前支护及加固区的物理力学参数

材料名称	重度/ ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	弹性模 量/MPa	黏聚力/ MPa	内摩擦 角/ $(^{\circ})$	泊松比	计算模型
超前管棚	33	85 200			0.28	弹性
斜向钢花管	40	124 000			0.27	弹性
环向钢花管	40	124 000			0.27	弹性
注浆加固区	23	3 600	3	33	0.32	摩尔库仑

各区段隧道在围岩注浆加固处理后的竖向位移如图 5 所示。由图 5 可以看出:经加固处理后,隧道的最大沉

降值分别为 12.9 mm(隧道距采空区 0~10 m)及 9.3 mm(隧道距采空区 10~30 m),符合变形控制的要求。

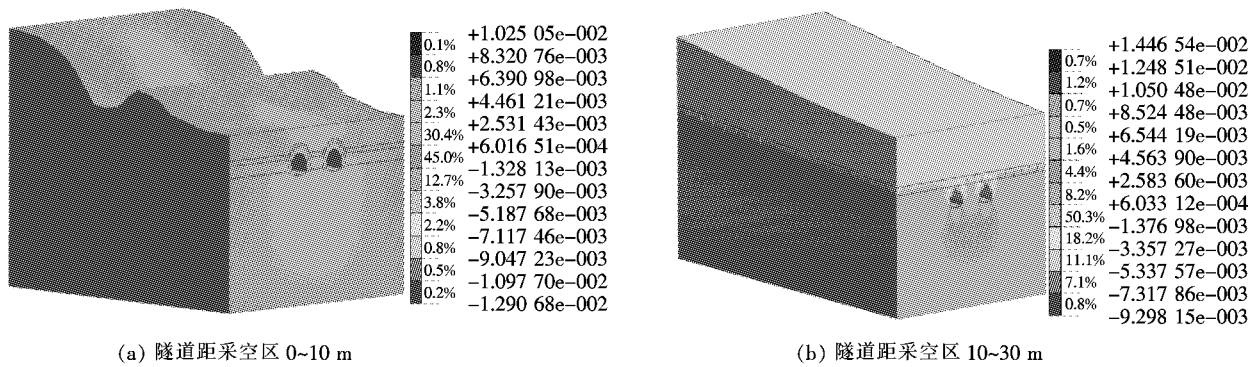


图 5 围岩注浆加固后的竖向位移(单位:m)

4 处治效果评价

将采空区范围内隧道围岩不处治及处治情况下的位移计算值与实测值进行对比,结果见表 4。

表 4 采空区各区段隧道竖向位移对比分析

隧道距采空区距离/m	竖向位移/mm		
	不处治	处治	实测值
0~10	443.0	12.9	14.4
10~30	17.5	9.3	11.2
30~50	9.7		10.8
50~70	9.0		10.3

由表 4 可知:经处治,较好地控制了围岩稳定,达到变形控制要求。对比分析可知,当隧道与采空区的距离为 0~30 m 时,对隧道周边围岩进行注浆加固处理,有效地减少了隧道变形量。位移实测值与处治后的位移计算值较接近,验证了处治方法的有效性,同时证明了数值分析的可靠性。

该隧道于 2018 年 6 月 27 日正式通车运营,在运营期隧道处于正常服役状态,说明该隧道采取了较好的处治措施,控制了隧道及地表变形,顺利通过了煤层采空区。

5 结论

(1) 当隧道与采空区的距离小于 10 m 时,上覆采空区的存在对隧道影响很大,需对隧道围岩进行处治

以确保隧道正常施工及运营。

(2) 当隧道与采空区的距离大于 10 m 且小于 30 m 时,上覆采空区的存在对隧道有一定影响,需对隧道围岩进行适当处治以避免再次扰动采空区,确保围岩稳定。

(3) 对于 V 级围岩,上覆采空区对隧道结构影响的安全距离可取 30 m。

(4) 当采空区处于隧道上方,且隧道与采空区的距离小于二者的安全距离时,对隧道周边围岩进行注浆加固处理,能起到较好的效果,可以基本消除采空区对隧道的影响。

(5) 通过工程实践给出了上覆采空区公路隧道的有效处治方法,并通过数值分析验证了方法的可靠性。

参考文献:

[1] 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(4).

[2] 童立元,刘松玉,邱钰.高速公路下伏采空区危害性评价与处治技术[M].南京:东南大学出版社,2006.

[3] 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).

[4] 王树仁,慎乃齐,张海清,等.下伏采空区高速公路隧道变形特征数值分析[J].中国矿业,2008(3).

[5] 聂承凯.采空区公路隧道勘察处治技术[J].公路,2014(5).

[6] 刘建海.采空区隧道结构稳定性分析[J].公路,2014(5).

[7] 李天富.隧道穿越煤层采空区数值模拟与处治对策研究[J].公路交通技术,2017(1).

[8] 陈杨.公路隧道穿煤矿采空区段围岩稳定性研究[J].煤炭技术,2018(3).