

高速公路穿越老采空区的注浆处理工程实例

蒋金平

(南京水利科学研究院,江苏 南京 210029)

摘 要 太原—旧关高速公路穿越治西联营煤矿老采空区,地层的残余持续沉降威胁路基的稳定。在分析其工程地质特点的基础上,详细叙述了老采空区及地层的处理方案和实施过程,并给出了治理方法的数值模拟结果,可供类似工程参考。

关键词 煤矿老采空区;高速公路;地面沉降;数值模拟

中图分类号:U418.6+2 文献标识码:B 文章编号:1000-3746(2003)S1-0109-03

太原—旧关高速公路需要从山西阳泉矿区治西联营煤矿老采空区上通过。在老采空区上建高速公路、高层建筑等工程是一个新的课题。采空区地表的沉降、变形、曲率以及塌陷等,对地表建筑物影响很大,或造成裂缝,或使建筑物不能正常运营,或造成对人和财物的威胁等等。就高速公路而言,可造成路基的拉伸变动、路面不光滑、路面常出现不规则的坡度变化、路线平移、改变原设计的曲率半径等等。这样对车辆及公路本身都会造成交通事故,造成社会损失和经济损失。国内外对于“三下采煤”的研究大部分都是研究“三下采煤”的各种防护对策,如对留设保安煤柱、采用房柱式或条带开采以及回填开采、对顶板进行适当管理等方法减缓地表沉降,以及对建筑物(或构筑物)本身采取一定的保护性措施。这些都是已有建筑物下,使采动影响最小化的问题。而在老采空区上建高速公路,所针对的是部分残余沉降问题,两者有一些区别。一般地,重大工程选址都避开采空区,故迄今对采空区上建高速公路、高层建筑等重大工程的研究极少。但是,各种社会因素、经济因素逐渐要求提高土地利用效率;再者,改换场地会造成其它方面的不便、事故或经济损失。因此研究老采空区上建高速公路的工程地质适应性具有重要意义。

1 高速公路设计参数及其要求

治西段高速公路,属平原微丘地貌。根据《公路工程技术标准》(JTJ 01-88),其主要技术指标:计算行车速度 120 km/h,行车道宽度 7.5 m×2,路基宽度一般为 26.0 m,最小极限半径 650 m,停车视

距 210 m,最大纵坡 3%。该段设计为垫方路基,路基高出地面约 5~7 m,路面设计宽度为 23 m,边坡为 1:1.75,加上路基边缘防护措施,到达地面的实际宽度为 41 m。影响角按 68°设计,采空区西部埋深为 140 m 左右,那么实际影响路线的宽度为公路轴线左右各 80 m,东部采空区埋深为 120 m 左右,那么实际影响宽度为公路轴线左右各 70 m。

高速公路交通量大,相应静、动荷载也大,即使不受采空区的影响,其下的第四系土层也可能发生变形、沉降。对高速公路,在其最大纵坡、曲率达到要求的情况下,还需路面平整光滑,要求我们对公路路基进行稳定性评价,在地基条件差的地段,需采取合理措施,以保证修建后的公路能够正常运营,并使投入运营后的维修次数尽量少。而在采空区上方地表,常形成鸡窝状塌坑,采动残余影响延时较长,个别的达到一二个世纪,这既影响了公路质量,还会造成重大经济损失,故对采空区进行正确评价,采取相应措施,势在必行。

2 工程地质特点

2.1 地层分布

通过钻孔揭示,本区地层由上至下分别为:

第四系:主要分布有坡~洪积、冲积形成的马兰黄土,呈黄灰色黄土状亚粘土、亚砂土并夹有砂砾石,孔隙发育,与下伏岩层呈不整合接触,厚 3~11.5 m。

全新统人工堆积层:主要分布于通往元坪的道路附近,以亚粘土、碎石为主,黄褐色,层厚 0~4.5 m。

收稿日期 2003-04-30

作者简介:蒋金平(1971-),女,江苏兴化人,南京水利科学研究院工程师,水文地质工程地质专业,硕士,从事大坝安全与管理工
南京市广州路 223 号。

全新统冲洪积层:分布于勘察区大部分地区,包括漂石、卵石、圆砾、砂类土、亚粘土及亚砂土等,层厚 0.5~11.5 m。

中更新统冲洪积层:分布于勘察区西北部的山坡及坡脚附近,以老黄土(中液性粘土)为主,不具膨胀性,局部夹碎石、卵石及砂砾透镜体,层厚 0~15.0 m。

石炭系上统太原组:发育有三层石灰岩标志层,层内夹方解石脉,且裂隙发育,黑色泥岩、灰白色砂岩及灰黑色砂岩、泥岩交互成层,内见明显的斜层理。该组地层中含有 8 号(厚约 1.3 m)、9 号(厚约 1.1 m)、12 号(厚约 1.3 m)、15 号(均厚 6.0 m) 4 个可采煤层,含煤系数为 11%,为海陆交互沉积构造。

奥陶系中统上马家沟组:中厚层状灰岩夹泥灰岩、泥质白云岩,是本区的基盘。

2.2 开采情况

冶西矿 1987 年建成,1989 年投产,原设计能力为年产 10 万 t,而实际产量:1989 年 9 万 t,1990 年 12 万 t,1991、1992 年各 16 万 t,1993 年 14 万 t,1994 年 15 万 t。勘察区内所采煤层为 15 号煤,位于太原组底部 K_2 灰岩之下,煤层厚 4.0~10.5 m,煤层埋深西部为 120~140 m,东部为 90~110 m。

开采方式为条带状短壁仓房式开采,一次采全高。煤矿采用一对斜井开采,斜井沿 $21^\circ \sim 25^\circ$ 坡角送至煤层底板,沿斜井长约 360 m 之后顺煤层底板水平分送支巷布设采区。每一采区长 100~160 m,宽 60~80 m。采区内每一工作面长 60~80 m,宽 10~20 m。采煤方法为一次采全高,每一小采区内回采率在 80% 以上,全矿回采率(包括预留煤柱)在 40%~60% 之间,从建矿至 1995 年煤炭采出量总计 78 万 t。顶板管理方式:15 号煤层直接顶板为厚 5~8 m 的灰黑色泥岩及粉砂质泥岩,裂隙发育,极为破碎。间接顶板为厚 4~6 m 的灰白色砂岩。煤层回采后采取大冒落法管理。

为了查明采空区的分布范围,了解塌陷等情况,在本区布置了 $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ 的测网,采用瞬变电磁测深法和高密度电测法探测。地表浅部为亚粘土,在电性上呈低阻,其下为古河床砂砾石层,电性上呈高阻,与土层呈不整合接触的是严重风化的泥岩、砂质泥岩,电阻略低,再向下为煤系地层。对于采空区,其电阻为低值,对于开采留下的煤柱,形成高阻闭合圈。通过物探手段,查明了采空区分布状况。发现在矿区开采很不规则,局部留有大小、形状不等的煤

柱。

3 采空区注浆治理

3.1 目前采空区状况

为了对太旧高速公路下采空区及其上覆岩层的稳定性进行深入了解,在采空区范围内共打了 6 个钻孔,钻孔直径为 118 mm,平均钻孔深度为 152 m。从钻孔取心及钻进过程记录所揭露的情况看,采空区上覆下位岩层极为破碎,采空区尚未完全垮塌压实,还存在 0.5~7 m 的残余空洞,有进一步垮塌、上覆岩层有进一步压实的可能。

笔者采用 FLAC 程序对采空区的残余沉降量进行了模拟,数值模拟结果显示,应力和位移发展较快,按照目前的情况发展下去,采空区地表最终变形量为 2.46 m,目前实测的为 1.3 m,也就是约有 47% 的残余变形,这么大的变形对公路将产生破坏性影响,因此,为了维护路基的稳定,减小上覆岩层及地表的沉降,使上覆岩层和地表尽快地稳定下来,对采空区进行治理势在必行。

3.2 采空区的注浆治理

公路所通过的采空区已历时五六年之久,原先的井巷已极不安全,人员下井治理已不现实。而从地面对井下进行治理,由于钻孔孔径有限,采用废矸石等大直径物料也不适宜。再者,在采空区上方还存在采动区引起的离层、裂缝等,这是残余沉降的一部分,如果采用浆液胶结充填采空区及其上的一部分覆岩,既可以提高覆岩的强度,也会增加其抗变形能力。

在采空区,进行了粉煤灰注浆试验。测试结果表明,注浆可以将破碎岩体的性质提高 30%~50%。根据数值模拟成果, K_3 灰岩层以上的岩体受采动引起的拉张变形很小,故只对 K_3 灰岩层之下的岩体进行注浆。

公路经过冶西煤矿采空塌陷区沿轴线方向桩号由 $K101+060 \sim 350$,治理长度为 290 m,横向治理宽度为 100 m,如图 1 所示。在采空塌陷对公路产生影响的范围内,以路基主体路面为重点注浆加固范围,路面两侧的影响区为辅助注浆加固部位。浆液扩散范围的大小除了与注浆压力、充填材料种类、浆液浓度和注浆方法有关外,更主要的是受岩层裂隙、空洞及其联系程度的影响。浆液扩散半径为 10~20 m。为了保证高速公路地基的长期稳定,路面范围内采空塌陷区的注浆孔沿轴向方向布置 3 排,纵、横方向的孔间距均为 10 m,路面两侧各布置 2 排注

浆孔,孔间距均为 15~20 m。治理范围四周的钻孔为注砂、注浆孔,即帷幕孔。该区共布置注浆孔 84 个,进尺为 11794.42 m,边缘帷幕截流注砂、注浆孔 21 个,进尺 3025.61 m(如图 2 所示),图 3 和图 4 分别为注浆孔和帷幕孔的结构示意图。所用的注浆材料为水泥、粉煤灰及水,对帷幕孔,除此之外,还需注入砂和碎石。浆液配方为水固比 0.8,固相比(水泥:粉煤灰)4:6。

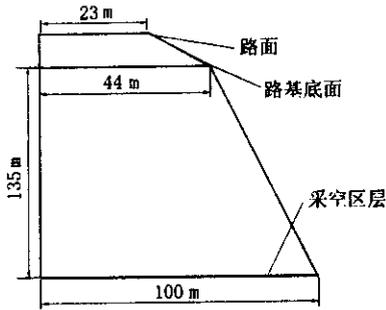


图 1 横向治理宽度计算示意图

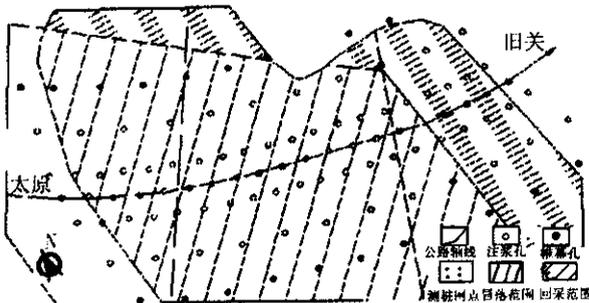


图 2 采空区治理工程平面布置图

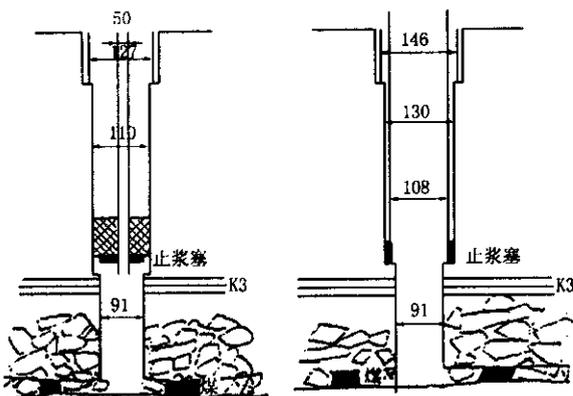


图 3 注浆孔结构

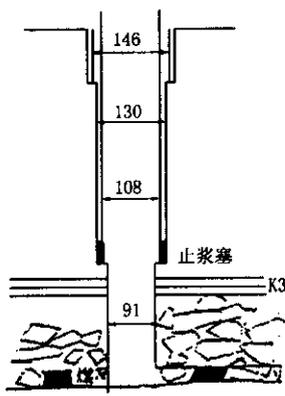


图 4 帷幕孔结构

4 治理效果

根据注浆参数及实验室的结石体的测试结果,对注浆后采空区及其上覆岩层的应力和变形进行了数值模拟研究。数值计算表明,注浆后岩层的变形速度明显减缓,地表最终沉降量 1.412 m,注浆后的沉降量仅为 108 mm。计算结果表明,对采空区进行注浆,能使采空区岩层的运动迅速稳定,采空区稳定时间仅为未注浆治理情况下稳定时间的 20%,并且大大减少了上覆岩层的残余变形,注浆后的残余变形量仅为未注浆治理情况下残余沉降量的 1%。这说明,对采空区进行注浆治理达到了稳定采空区、大幅度减小采空区残余变形的目的。如表 1 所示,治理后增加的变形量在高速公路路基的允许范围之内。

表 1 治理前后地表的变形参数

治理情况	最大沉降 /m	最大速率变化 / (mm·m ⁻¹)	最大水平位移 /m	最大水平变形 / (mm·m ⁻¹)	最大倾斜 / (mm·m ⁻¹)
治理前	1.304	0.094	0.519	3.579	8.993
治理后	1.412	0.102	0.576	3.972	9.738
增加量	0.108	0.008	0.057	0.393	0.745

5 结论

根据采空区的具体情况,利用粉煤灰、水泥浆液进行注浆治理是一个很好的办法。模拟结果表明,注浆治理有效地消除了残余沉降,仅有 0.1 m 的残余沉降,即使加上公路对土层的附加荷载引起土层的沉降,也仅有 23 cm,依然可以满足公路对路基变形的要求。治理后,倾斜仅增加了约 0.6 mm/m,对公路是安全的。

参考文献:

- [1] 蒋金平. 冶西老采空区上建高速公路的工程地质及治理研究 [D]. 徐州:中国矿业大学,1996.
- [2] 孙家驷,等. 公路勘察设计 [M]. 重庆:重庆大学出版社,1994.