

干溶洞对大坝隧道围岩受力性状的影响分析^{*}张军¹, 黄志鹏¹, 李晟²

(1.长沙理工大学, 湖南 长沙 410114; 2.郴州市城市规划设计院, 湖南 郴州 423000)

摘要:为研究溶洞位置对隧道围岩受力性状的影响,以湖南龙永(龙山—永顺)高速公路大坝隧道为依托工程,通过改变溶洞在隧道中的位置、间径比及洞径比,运用 MIDAS 数值计算软件分析隧道围岩位移和应力的变化。结果表明,各位置溶洞均会引起隧道围岩水平位移增加,且随着间径比的增大,最不利溶洞位置从顶部逐渐向水平和底部移动;受左侧拱脚、底部位置溶洞的影响,隧道拱顶沉降和底部隆起位移减小;受顶部、左侧拱肩及左侧水平位置溶洞的影响,隧道拱顶沉降和仰拱隆起位移有所增加,且随着洞径比的增大,溶洞最不利位置从顶部逐渐向水平位置移动;受左侧拱脚位置溶洞的影响,隧道拱脚最大主应力大幅增加;受左侧拱肩、左侧水平、左侧拱脚位置溶洞的影响,隧道底部最小主应力有所减小。

关键词:隧道;溶洞;间径比;洞径比;围岩位移;围岩受力

中图分类号:U451

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2022)05-0120-06

岩溶地区隧道施工中易发生突水突泥、塌方等灾害,威胁隧道的安全施工和运营。针对隧道施工中溶洞对隧道的影响,彭中凌等对现场实测数据与 ANSYS 有限元软件计算结果进行对比分析,得到了隧道施工中拱顶隐伏溶洞对隧道结构位移的影响规律;谭代明等结合忠垫(忠县—垫江)高速公路,运用 FLAC^{3D} 软件对侧部含有溶洞的岩溶隧道进行数值分析,得到了侧部溶洞对隧道围岩稳定性的影响规律;管鸿浩将有限差分软件与现场监测相结合,分析了侧部溶洞不同净距和水压对围岩位移的影响;王薇等对现场监测数据与 Pasternak 模型计算结果进行对比分析,得到了底部溶洞对隧道衬砌变形和内力的影响规律。鉴于溶洞影响因素复杂,目前的研究还不够全面,该文以湖南龙永(龙山—永顺)高速公路大坝隧道为工程背景,采用 MIDAS 软件进行数值计算,分析干溶洞位置、间径比、洞径比对隧道围岩受力性状的影响。

1 工程概况

大坝隧道为双洞单向交通隧道,左线桩号为 ZK85+830—ZK88+080,右线桩号为 K85+832—K88+095,两端洞口段均属于小净距隧道。隧道区为构造剥蚀作用形成的中低山地貌,水系一般发育,进出口外侧均有冲沟。隧道绝大部分在碳酸盐类的

灰岩、白云岩中穿过,其上覆土层为黏土,厚度 0~10 m。根据勘察结果,节理密集带、断层破碎带、岩溶发育区存在 16 处溶洞,按充填特征分类,大部分溶洞属于半充填型溶洞。

2 数值计算方案

2.1 计算模型与参数

计算模型与实体工程的长度比尺为 1:1,模型边界取最大开挖洞径的 3~4 倍,模型长 100 m、高 80 m,隧道底部埋深 50 m。模型顶部为自由面,底部为固定约束,左、右边界约束其水平位移(见图 1)。分析在自重应力影响下不同位置(顶部、拱肩、拱腰、拱脚、底部)溶洞、不同洞径比和间径比溶洞对隧道围岩应力和位移的影响,各方位准确位置见图 2。

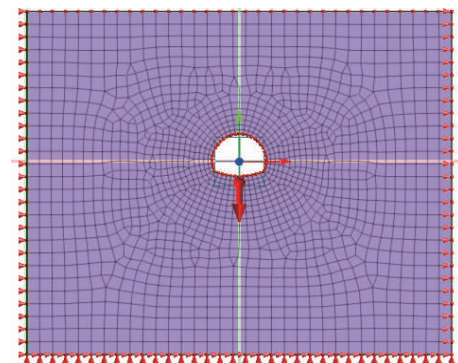


图 1 隧道数值计算模型

^{*} 基金项目:湖南省交通科技项目(201435)

为便于分析,定义洞径比为溶洞直径 d 与隧道跨度 D 之比,间径比为溶洞与隧道的净距 L 与隧道跨度 D 之比。

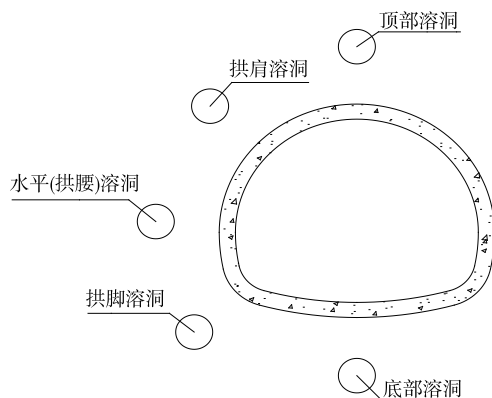


图 2 溶洞方位示意图

采用 MIDAS 数值计算软件进行模拟,围岩采用 Drucker-Prager 模型,锚杆采用植入式桁架单元。隧道施工步骤分为隧道开挖、锚杆施工及喷射混凝土。材料参数如下:围岩的弹性模量为 32 000 MPa,泊松比为 0.3,重度为 23 kN/m³,黏聚力为 2 MPa,内摩擦角为 33°;喷射混凝土的弹性模量为 25 000 MPa,泊松比为 0.2,厚度为 200 cm;锚杆的弹性模量为 200 000 MPa,直径为 2.2 cm,长度为

300 cm。

2.2 模拟工况

为便于分析,将 d 小于 $2D$ 的溶洞断面简化为圆形断面,洞径比分别取 0.2、0.4、0.7、1.0,间径比分别取 0.2、0.4、0.7、1.0,分析隧道顶部、拱肩、拱腰、拱脚、底部 5 个位置溶洞的洞径比和间径比对隧道围岩受力性状的影响。

3 模拟结果对比分析

为便于分析,采用位移比(有溶洞时位移与无溶洞时位移之比)来分析各位置溶洞对隧道位移的影响。

3.1 不同位置溶洞对隧道围岩水平位移的影响

溶洞位置对左拱腰水平位移影响的数值分析结果见图 3。由图 3 可知:各位置溶洞均会引起左侧拱腰水平位移增加,位移值随着洞径比的增大而增大,随着间径比的增大而减小;间径比小且洞径比大的顶部溶洞引起的隧道左侧水平位移最大,间径比增大至 0.4 和 1.0 时,对隧道左侧拱腰水平位移影响最大的溶洞位置为左侧拱肩和底部,这是由于间径比小的顶部溶洞对水平方向围岩刚度削弱非常大,随着间径比的增大,这种削弱明显减少,且渐渐小于

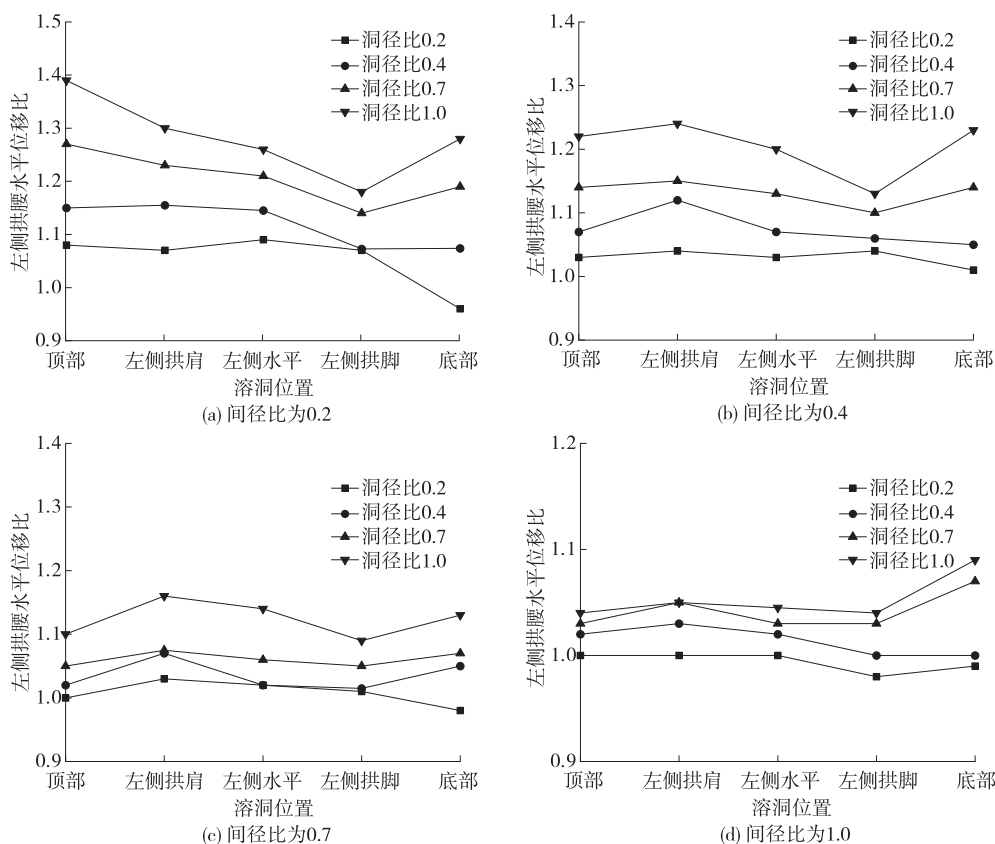


图 3 溶洞位置对左拱腰水平位移的影响

水平溶洞。

溶洞位置对隧道右侧拱腰水平位移影响的数值分析结果见图4。由图4可知:间径比较小、洞径比

较大时,顶部溶洞对右侧拱腰水平位移的影响最大,但随着间径比的增大,底部溶洞的影响逐渐大于顶部溶洞,左侧拱脚处溶洞的影响最小。

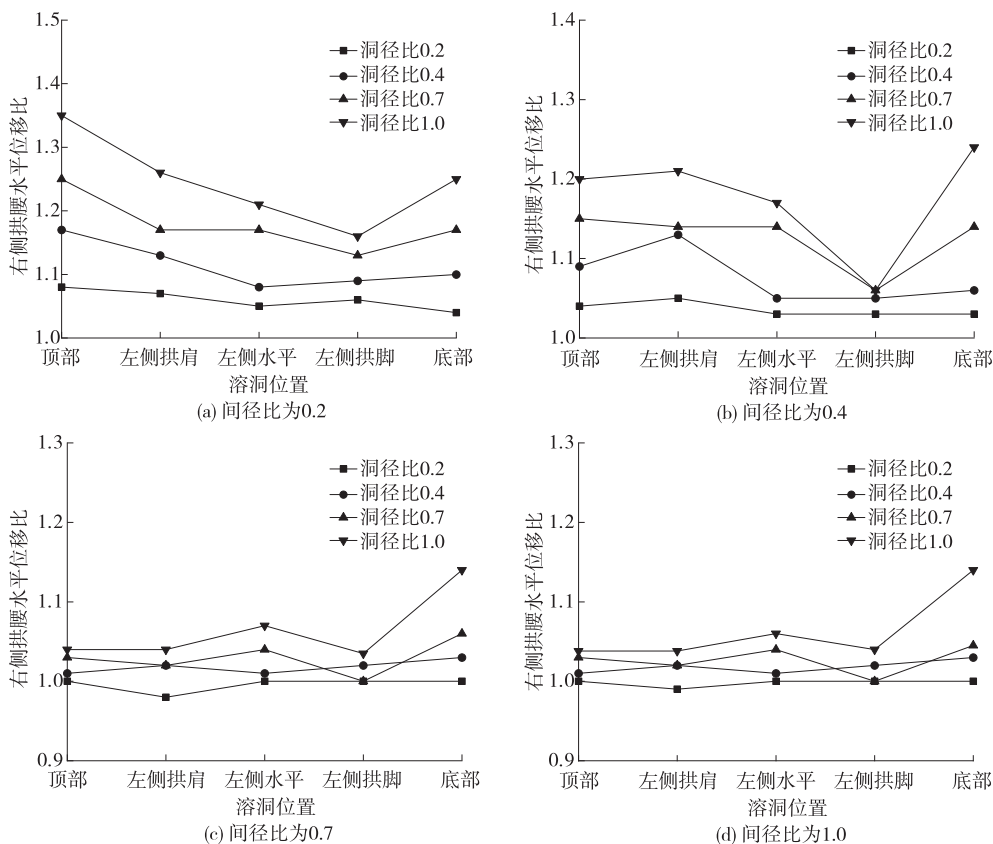


图4 溶洞位置对右拱腰水平位移的影响

对比图3、图4,顶部和底部溶洞对隧道左侧拱腰和右侧拱腰水平位移的影响规律相同,这是由隧道的结构对称特性决定的。

3.2 不同位置溶洞对隧道拱顶沉降的影响

各位置溶洞对隧道拱顶沉降影响的数值分析结果见图5。由图5可知:溶洞分布在隧道左侧拱肩、左侧水平位置且洞径比小于0.4时,各位置溶洞引起的拱顶沉降均较小,但洞径比增大至0.7时,拱顶竖向位移大幅增加;溶洞分布在隧道顶部、左侧拱脚、底部位置时,拱顶沉降随着洞径比的增大而减小,这主要是由于水平位移增加引起的隧道拱效应增强,从而使顶部沉降位移减少;随着洞径比的增大,溶洞的最不利位置从顶部逐渐向水平位置移动,这是由于存在大洞径比的溶洞相当于增加了隧道跨度,导致位移大幅增加。

3.3 不同位置溶洞对隧道仰拱隆起位移的影响

溶洞位置对隧道仰拱隆起位移影响的数值分析

结果见图6。由图6可知:隧道顶部、左侧拱肩及左侧水平溶洞均会引起隧道仰拱隆起位移增大,位移值随着洞径比的增大而增大,随着间径比的增大而减小,隧道水平位置有大洞径比的溶洞时仰拱隆起位移增幅最大;隧道左侧拱脚和底部溶洞均会引起隧道底部隆起位移减小,且随着洞径比的增大,位移进一步减小,这是由于底部溶洞对隧道底部位移的释放有抑制作用,这种抑制作用在一定范围内与洞径比成正比。

3.4 不同位置溶洞对隧道围岩主应力的影响

各位置溶洞对隧道围岩最大主应力影响的数值分析结果图7。由图7可知:最大主应力随着洞径比的增大而增大,随着间径比的增大而减小;左侧拱脚位置存在溶洞会使隧道拱脚最大主应力急剧增长,随着洞径比的增大,隧道与左侧拱脚处溶洞有出现贯穿性塑性区的趋势,但随着溶洞位置逐渐远离拱脚,拱脚最大主应力逐渐减小。

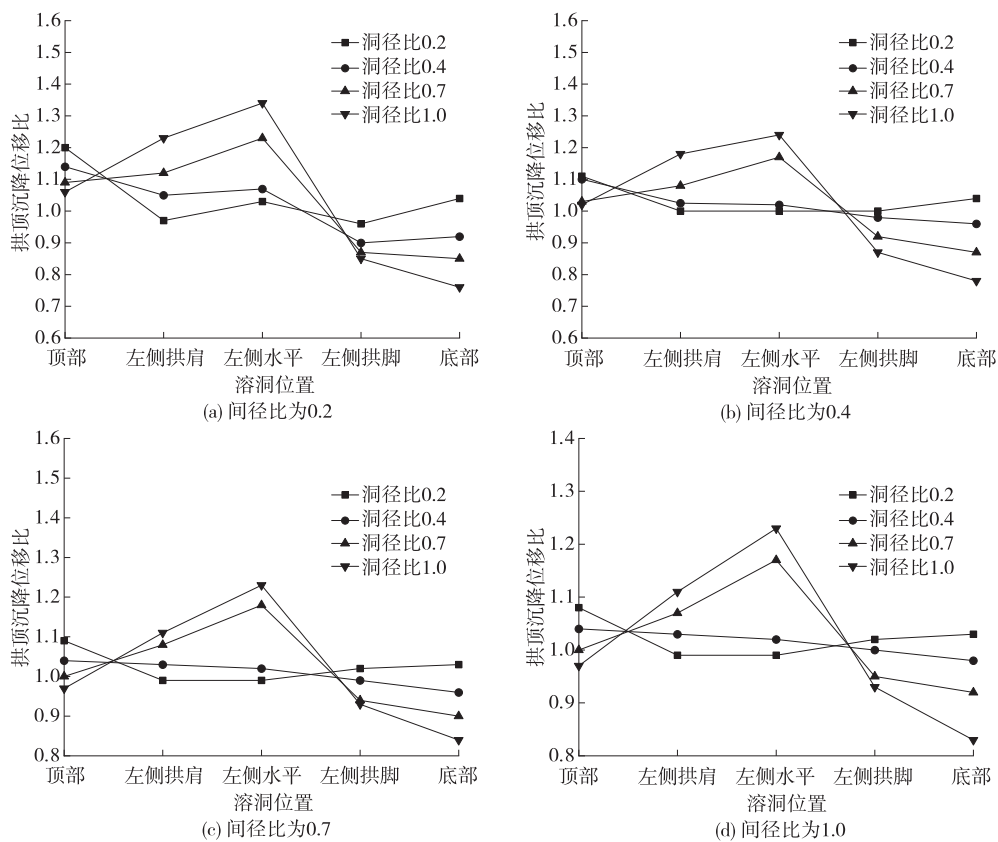


图5 溶洞位置对拱顶沉降的影响

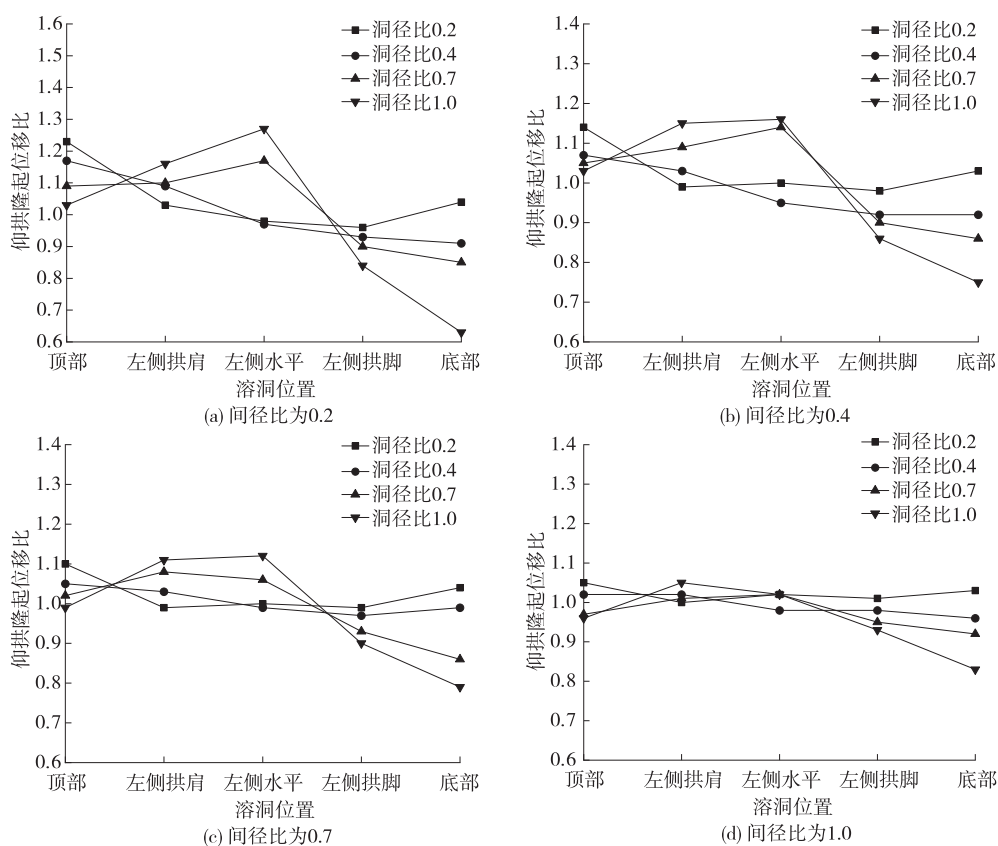


图6 溶洞位置对隧道仰拱隆起位移的影响

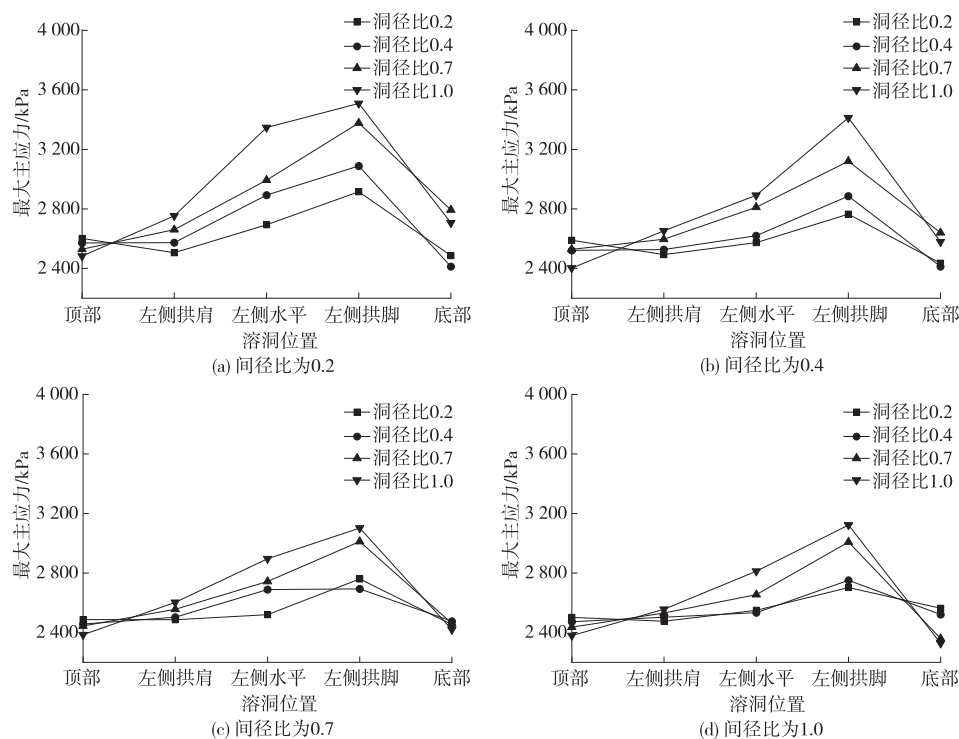


图7 溶洞位置对隧道最大主应力的影响

溶洞位置对隧道围岩最小主应力影响的数值分析结果图8。由图8可知:隧道最小主应力随着洞径比和间径比的增大而减小;洞径比小于0.4时,各

位置溶洞对隧道最小主应力的影响均较小;洞径比增大至1.0时,左侧拱肩、左侧水平和左侧拱脚处溶洞会使隧道底部最小主应力大幅减小。

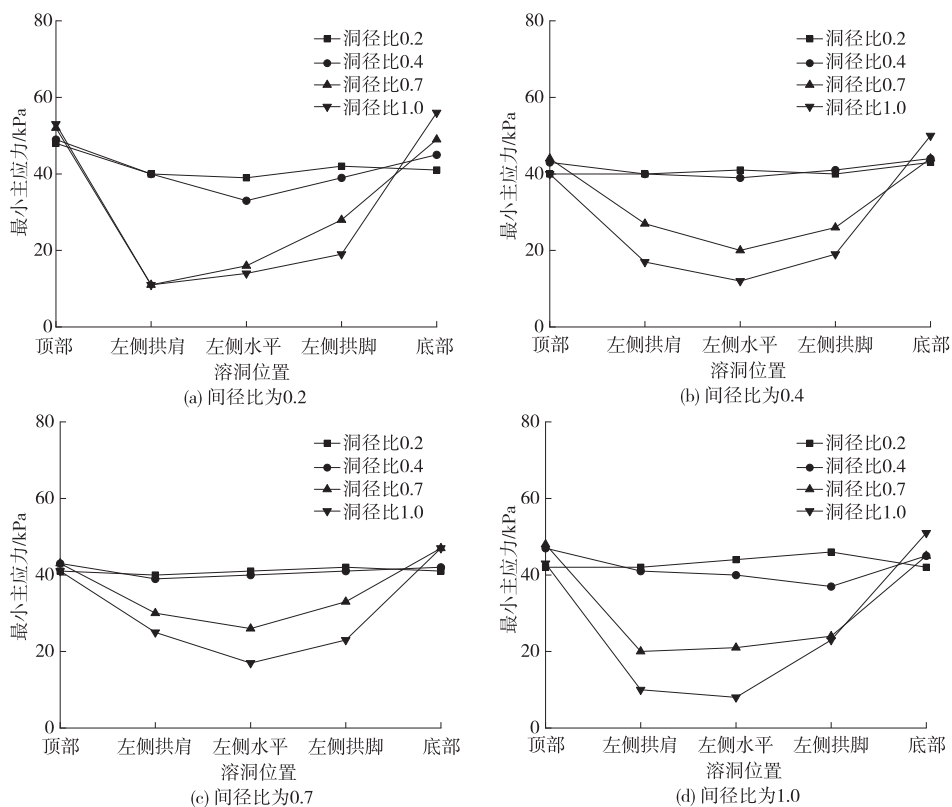


图8 溶洞位置对隧道底部最小主应力的影响

4 结论

(1) 间径比对隧道水平位移的影响较大,表现为随着间径比的增大,溶洞最不利位置从顶部逐渐向水平和底部移动,尤其是当顶部存在间径比很小且洞径比大的溶洞时,隧道水平位移大幅增加。

(2) 洞径比对隧道拱顶沉降的影响较大,表现为随着洞径比的增大,溶洞的最不利位置从顶部逐渐向水平位置移动,尤其是当水平方位存在间径比很小且洞径比大的溶洞时,隧道竖向位移大幅增加。

(3) 隧道最小主应力主要集中于隧道底部和顶部,其随着间径比和洞径比的增大而减小;最大主应力主要集中于隧道拱脚处,其随着间径比的增大而减小,随着洞径比的增大,隧道与左侧拱脚处溶洞有出现贯穿性塑性区的趋势。施工中应减小对拱脚岩体整体性的破坏,必要时适当在拱脚处加强支护。

参考文献:

- [1] 彭中凌,许健,韩国库,等.顶部隐伏溶洞对隧洞位移影响特征分析[J].甘肃农业大学学报,2018,53(5):204—208.
- [2] 谭代明,漆泰岳,莫阳春.侧部岩溶隧道围岩稳定性数值分析与研究[J].岩石力学与工程学报,2009,28(增刊2):3497—3503.

- [3] 管鸿浩.充水溶洞隧道围岩位移特征及影响因素研究[J].铁道工程学报,2016,33(8):59—65.
- [4] 王薇,张恒文,赵东,等.隧底溶洞对衬砌结构力学行为的影响[J].东北大学学报(自然科学版),2017,38(9):1353—1357.
- [5] 蒋家龙,刘长平,吴长贵.岩溶塌陷地质灾害危害及原因分析[J].西南公路,2016(3):74—78.
- [6] 李术才,潘东东,许振浩,等.承压型隐伏溶洞突水灾变演化过程模型试验[J].岩土力学,2018,39(9):3164—3173.
- [7] 李术才,许振浩,黄鑫,等.隧道突水突泥致灾构造分类、地质判识、孕灾模式与典型案例分[J].岩石力学与工程学报,2018,37(5):1041—1069.
- [8] 黄鑫,许振浩,林鹏,等.隧道突水突泥致灾构造识别方法及其工程应用[J].应用基础与工程科学学报,2020,28(1):103—122.
- [9] 朱建群,李天正.基于突变理论的岩溶隧道突水突泥风险评估模型及其应用研究[J].中南大学学报(英文版),2020,27(5):1587—1598.
- [10] 管泽英,杨朝帅.超前预注浆技术在高压富水岩溶隧道中的优化应用[J].隧道建设,2018,38(增刊1):136—141.
- [11] 李术才,李晓昭,靖洪文,等.深长隧道突水突泥重大灾害致灾机理及预测预警与控制理论研究进展[J].中国基础科学,2017,19(3):27—43.

收稿日期:2021—05—25

(上接第110页)

(2) 采用支座顶升的方法可对支座顶部区域桥面板施加一定预压力,但对大跨结构所能施加的预压力有限,使用阶段支座顶部区域桥面板不能满足抗裂要求。

(3) 抗拔不抗剪连接技术可有效释放组合结构支座顶部区域混凝土板的拉应力,并保留传统栓钉连接件的抗掀起功能,可在几乎不削弱负弯矩区组合梁整体刚度和极限承载力的同时显著提高支座顶部区域混凝土板的抗裂性能,解决负弯矩区的抗裂设计难题。

参考文献:

- [1] 上海市城市建设设计研究总院,同济大学.钢—混凝土组合桥梁设计规范:GB 50917—2013[S].北京:中国计划出版社,2013.
- [2] 中交公路规划设计院有限公司.公路钢混组合桥梁设计与施工规范:JTG/T D64—01—2015[S].北京:人民

交通出版社股份有限公司,2015.

- [3] 贺立新,宋雷.钢—混组合桥梁的应用[J].北方交通,2014(7):1—8.
- [4] 刘飞.连续钢混组合梁负弯矩区处理措施[J].北方交通,2015(1):33—35.
- [5] 陈佳佳.钢—混组合梁负弯矩区抗、阻裂方法研究[D].重庆:重庆交通大学,2015.
- [6] 邵长宇.大跨度钢—混凝土连续组合箱梁桥关键技术研究[D].上海:同济大学,2006.
- [7] 聂建国,陶慕轩,聂鑫,等.抗拔不抗剪连接新技术及其应用[J].土木工程学报,2015,48(4):7—14.
- [8] 聂建国,李一昕,陶慕轩,等.新型抗拔不抗剪连接件抗拔性能试验[J].中国公路学报,2014,27(4):38—45.
- [9] 聂鑫.钢—混凝土组合刚构桥关键结构受力性能研究[D].北京:清华大学,2013.
- [10] 张先蓉,胡佳安.武汉二七长江大桥6×90 m钢—混组合连续梁设计[J].世界桥梁,2012(4):11—14+25.

收稿日期:2021—10—14