

摘要:结合广州市轨道交通广佛线穿越广州市大规模岩溶区,针对该区岩溶发育强烈、地下水丰富、工程地质条件十分复杂的现状,总结了广佛线岩溶地质环境,对岩溶对轨道的交通风险进行了分析,并提出相应的防范措施,为该段具体的工程设计提供参考依据。

关键词:岩溶特征,风险防范,措施

1 工程概况

广佛线是连接广州与南海、佛山的城际快速轨道交通线,起点佛山魁奇路站,经祖庙南桂路、海五路、芳村体育馆、西朗、白鹤洞沙园、南洲客运站,终点为沥站,线路全长约 35 km,共设 21 座车站。

2 地质背景与岩溶发育特征

广佛线位于广三断裂以南,广从断裂以西,石碣断裂以东的三水断陷盆地内。沿线已完成的勘察成果均反映出雷岗公园—海五路区间和桂城—南桂路区间有石灰岩分布,且不同程度地发育有土洞及溶洞,如图 1,图 2 所示。

溶洞内大部分有黏性土或砂土充填物,溶洞发育较浅,隧道洞身穿越溶洞,岩溶发育在小范围内是无规则的,对盾构施工影响较大,施工前需采取措施处理,如灌注水泥砂浆或早凝水泥浆。溶洞位于地下水水位以下,溶洞内充填物一般饱和含水。溶洞内介质的纵波波速 V_p 在 1 500 m/s~2 000 m/s 之间。溶洞外介质一般为灰岩、炭质灰岩,其纵波波速 V_p 在 4 000 m/s~6 000 m/s 之间。溶洞内外介质存在极为明显的波速差异。

2.1 溶洞高度

如表 1 所示,在统计的两个区间共揭露的 88 个溶洞中,溶洞高度全部小于 13 m,其中,高度在 0 m~3 m 占 52.27%,高度在 3 m~6 m 占 31.82%,高度在 6 m~9 m 占 12.51%,高度大于 9 m 占 3.42%。

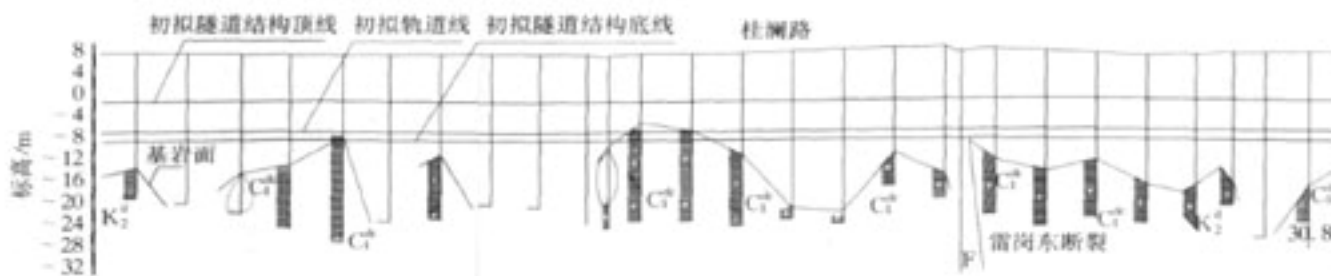


图 1 雷岗公园—海五路区间线路工程地质断面图

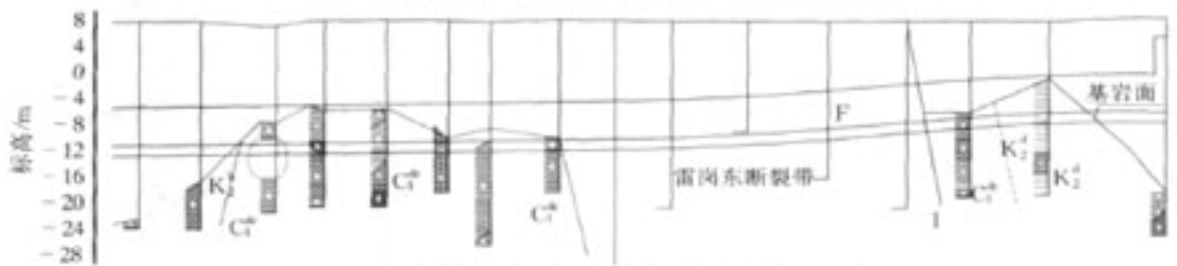


图 2 桂城—南桂路区间线路工程地质断面图

表 1 广佛线首见溶洞高度统计表

高度范围/m	溶洞数	所占百分比/%
0~ 1.0	13	14.77
1.1~ 2	19	21.59
2.1~ 3	14	15.91
3.1~ 4	9	10.23
4.1~ 5	12	13.64
5.1~ 6	7	7.95
6.1~ 7	6	6.82
7.1~ 8	1	1.14
8.1~ 9	4	4.55
9.1~ 10	0	0.00
10.1~ 11	1	1.14
11.1~ 12	1	1.14
12.1~ 13	1	1.14
累计	88	

2.2 首见溶洞顶板距结构底板厚度

如表 2 所示,首见溶洞距结构底板厚度总的来说较小,在统计范围内全部小于 15 m,其中厚度小于 5 m 占 20.51%,厚度在 5 m~10 m 占 48.72%,厚度在 10 m~15 m 占 30.76%。



表 2 广佛线首见溶洞顶板距结构底板厚度

厚度范围/m	溶洞个数	所占百分比/%
1~ 2	2	5.13
2~ 3	0	0.00
3~ 4	3	7.69
4~ 5	3	7.69
5~ 6	3	7.69
6~ 7	2	5.13
7~ 8	3	7.69
8~ 9	4	10.26
9~ 10	7	17.95
10~ 11	3	7.69
11~ 12	3	7.69
12~ 13	3	7.69
13~ 14	1	2.56
14~ 15	2	5.13
累计	39	

2.3 场地岩溶连通性分析

场地土溶洞的连通性是从钻探钻进过程记录及物探 CT 剖面的成果得出:1)各土洞之间的连通性较差,但与下部存在的溶洞具有连通性。2)各溶洞之间的连通性较差,但在垂直方向上存在着与下部(勘察范围外)可能存在的溶洞连通的可能,在水平方向上溶洞之间主要通过裂隙连通。

3 岩溶地质现象对工程的影响

由于土洞埋藏标较高较浅,而且在地下水动力不断变化的条件下,自下而上的发展快,对线路建设或建成后运营会产生塌陷的危害,危险性较大。

除桂城—南桂路区间 ZCK8+550 外侧的 R13 溶洞(顶板标高-8.7 m)在隧道结构标高范围外,其他溶洞距隧道底 2 m~8

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

m。按半定量的溶洞顶板坍塌自行堵塞洞体所需厚度的计算公式 (其中,H 为坍塌高度;H₀ 为洞体最大高度;K 为岩石松散(胀余)系数,K=1.1~1.2)计算预测,大多数溶洞顶板将会坍塌,存在着危及隧道盾构施工及运营安全的危险。

4 工程风险防范措施研究

1)隧道中和底板下的土洞、溶洞,易造成坍塌,对隧道的稳定和施工安全产生威胁,可在隧道施工前采用高压注浆对土洞、溶洞进行处理,材料可用水泥浆,如发现漏浆严重可加化学添加剂;由于土、溶洞发育的复杂性及充填物的存在,土洞与下部溶洞,溶洞与旁侧裂隙及下部未被查明土、溶洞之间具有连通性及洞体旁侧对水泥浆的扩散作用等因素,高压注浆的施工参数(如钻孔网度、灌浆量等)需根据现场试验确定。

2)场地土、溶洞水、基岩裂隙水具有承压性,在隧道盾构施工的掘进过程中应保持压力平衡,在竖井及车站施工中,应密切注意不透水的残积土及全风化层的厚度变化并监测其承压能力,防止承压水突涌。



3)根据线路桥位所经地段地质条件,故桩基失稳主要位于岩溶发育带地段,施工过程中应采取的防治措施:**a.**在岩面起伏较大,全风~强风化层发育不均和接触带等地段,桩基础的持力层应选择承载力高的微风化岩层作持力层,施工过程中桩尖应按规范要求进入持力层。**b.**在勘察基础上,结合桥梁结构、荷载及沉降要求,施工类型宜采用冲(钻)孔灌注桩,并在施工过程中对岩溶和软弱夹层发育地段的桩位要进行超前钻,以确保桩基的稳定性。**c.**通过岩溶发育及断裂地段应加密钻孔,以查明其具体位置及影响范围,桩孔宜尽量避开溶洞或断裂破碎带布置。**d.**在承载力达不到要求时,桩端应采取扩大头或采取群桩并经检测合格后方可进行上部结构施工。**e.**桩孔成孔质量应严格控制,考虑到局部地段有溶洞、液化砂土和软土分布,灌注桩施工过程中应注意止水,防止孔壁坍塌,灌浆时孔底应清理干净。

4)岩溶地面塌陷的防治措施:**a.**对位于岩溶发育区桥基,浅部宜采用爆破强行振塌,深部桩基应穿过溶洞嵌入完整基岩内;若采用溶洞顶板作持力层,则应查明溶洞发育规模、顶板厚度及裂隙切割情况,并对顶板强度进行验算;**b.**岩溶发育区范围内不宜进行大降深抽排地下水,以防引发塌陷;**c.**对于位于岩溶发育区的桥基,宜对桩位进行工程地质超前钻探;**d.**设计施工时,在岩溶发育地段,可采用跨越结构,并根据荷载及跨度,适当调整桩距;**e.**若隧道底板下有溶洞分布时,宜采用灌浆堵塞,并视具体情况可采用梁板配合处理;**f.**对施工附近地面及建筑物进行位移变形监测,一旦地面出现裂缝,应及时采取措施处理。

5 结语

1)对全线的明挖基坑和周边建(构)筑物加强监测,除要求承包商加强施工监测外,还应委托第三方进行监测。

2)加强对基础资料的调查和收集,探明沿线周边建(构)物的基础和结构形式。对周围环境的影响是工程设计的重要内容之一,设计应对环境影响作出预估,并提出相应的控制措施。

3)对破碎带、岩溶地段应加强地质钻探工作,探明岩溶的大小、分布范围。

4)建议邀请有丰富经验的科研院所等机构对全线的岩溶地基稳定性进行安全性评估。

参考文献:

[1]陈国亮.岩溶地面塌陷的成因与整治[M].北京:中国铁道出版社,1994.

[2]吴梦军,许锡宾,刘绪华,等.岩溶对公路隧道围岩稳定性的影响研究[J].地下工程,2003(23):55-56.

[3]雷金山,阳军生,周灿朗,等.广州轨道交通岩溶地质模型相似材料试验研究[J].铁道科学与工程,2007(6):73-77.

[4]李 遽.高速公路隧道施工中的岩溶研究[J].工程力学,2002(1):764-768.

[5]周灿朗,刘成军,雷金山.广州轨道交通二号线北延段穿越岩溶区风险分析与工程对策[J].长沙铁道学院学报,2008(1):32-33.

