

广州科学城保利林语山庄高边坡支护工程的实践

陈国勇¹, 吴厚信², 杨 枫³, 杨年发¹, 黄 涛²

(1. 广东省南方岩土工程公司 广东 广州 510080; 2. 广东省地质建设工程集团公司 广东 广州 510080; 3. 广州科学城保利房地产有限公司 广东 广州 510000)

摘 要 主要介绍了广州科学城保利林语山庄高边坡支护设计方案与施工方法。支护方案综合采用了锚索、锚杆、抗滑桩、钢管桩、格构梁及挡土墙等多种支护方法,有效地提高了边坡的稳定性。应用有限元方法来验证设计方案的合理性,模拟结果与工程实践基本吻合。

关键词 高边坡支护;锚索;锚杆;抗滑桩;钢管桩;格构梁;挡土墙;有限元

中图分类号:P642.22 文献标识码:B 文章编号:1672-7428(2006)05-0033-04

Practice of High Slope Support Project in Guangzhou/CHEN Guo-yong¹, WU Hou-xin², YANG Feng³, YANG Nian-fa¹, HUANG Tao²(1. South Soil & Rock Engineering Company of Guangdong, Guangzhou Guangdong 510080, China; 2. Guangdong Geology Construction Engineering Company Group, Guangzhou Guangdong 510080, China; 3. Guangzhou Science City Real Estate Agency Limited, Guangzhou Guangdong 510000, China)

Abstract: This paper mainly introduces the reinforcement design and construction way of some high slope in Guangzhou. Various methods are used in the reinforcement program, such as anchor wire, rockbolt, anti-slide pile, steel-pipe pile, lattice girder and soil blocking wall, which have effectively raised the slope stability. The FEM method was adopted to verify the rationality of the design program. The situation results confirmed with engineering practice.

Key words: high slope support; anchor cable; anti-slide pile; steel-pipe pile; lattice girder; soil blocking wall; FEM

1 工程概况

广州科学城保利林语山庄位于广州市北东侧,科学城开创大道旁,三面环山,规划总用地 370000 m²,总建筑面积 280000 m²。场地属低山残丘地貌,东西宽约 630 m、南北长约 1010 m。区内为新征场地,有 3 个废弃的采石场。

原地形坡度一般 15°~30°,局部区段 30°~45°。边坡最大垂直高差 63.77 m,分层开挖高度为 9~15 m,开挖土石方工作量约 70000 m³,支护总面积约 43000 m²,边坡工程安全等级为一级,目前是广州地区规模最大的高边坡支护工程。

2 工程地质及水文地质条件

为便于设计和施工,整个区分为 6 区、7A 区、7C 区、8 区和 9 区,区内主要地层有:

(1)坡积层,分布在剥蚀残丘上,为粉质粘土,可塑~硬塑状,夹石英碎块,厚度 0.60~1.20 m;

(2)残积层,主要为花岗岩、混合岩风化残积而成,砂质粘性土夹孤石,厚度 1.30~11.20 m;

(3)基岩,以岩浆岩为主,大面积分布在该区,为斑状黑云母二长花岗岩,部分可见混合岩及片麻岩分布,按风化程度分为全风化、强风化、中风化、微风化。

本区内无大的断裂带通过,仅在 7C 区边坡出露一条宽 10~20 m 陡倾角的硅化带(内有石英脉穿插),与开挖边坡近似垂直。区内岩石节理、裂隙较发育,经边坡岩体结构调查,对区内 961 条节理、裂隙采用数学模拟方法进行分析,结果见表 1。

区内边坡地下水贫乏,只在局部地段见基岩裂隙水。

3 设计思路

根据该区工程地质及水文地质条件,边坡高度及坡度、建筑物平面位置、高程等,经过技术、工程

收稿日期 2006-01-18

作者简介 陈国勇(1961-)男(汉族),广东新会人,广东省南方岩土工程公司副总经理、总工程师、工程师,岩土工程专业,从事岩土工程工作,广东省广州市东风路 751 号(020)87694578、13609042513 chen_gy2000@tom.com;吴厚信(1941-)男(汉族),广东省地质建设工程集团公司原副总经理、高级工程师,矿产地质专业,从事岩土工程工作,广东省广州市云鹤南街 3 号大院 50 号 3007(510075)(020)33468751, wuhouxin_1@163.com;杨枫(1971-)男(汉族),辽宁沈阳人,广州科学城保利房地产有限公司工程技术部经理、工程师,工民建专业,从事岩土工程工作,广东省广州市广州科学城罗南路,13316228967;杨年发(1964-)男(汉族),江西南康人,广东省南方岩土工程公司常务副总经理、高级工程师,岩土工程专业,从事岩土工程工作,13808865548;黄涛(1970-)男(布依族),贵州兴义人,广东省地质建设工程集团公司岩土工程设计研究所所长、高级工程师,岩土工程专业,从事岩土工程工作,广东省广州市东风路 739 号(020)37654413。

表 1 采石场边坡走向潜在楔体与单滑面总数表

采石场号	边坡走向/倾向	破坏模式	统计个数	平均滑动方向 / (°)	平均滑面、交线倾角 / (°)	平均安全全坡角 / (°)
1 号(9 区)	125°/SW	楔形体	2928	207.8	55.5	57.9
		单滑面	46	230.1	72.9	74.5
2 号(7C 区与 9 区之间)	205°/ NWW	楔形体	12795	292.8	49.5	52.4
		单滑面	110	281.1	63.6	65.3
3 号(7A 区与 7B 区之间)	235°/NW	楔形体	21980	316.9	54.8	57.1
		单滑面	147	320.0	63.8	66.0

经济等论证与比选 ,最终选用锚梁的支护结构 ,并辅
以其它防护措施。其设计思路如下。

(1)本场地地质构造较复杂 ,工程活动对原有
地质环境影响强烈 ,场地地质灾害危险性评估等级
为一级 ,根据区域地质构造以及边坡岩体结构与地
质条件评价 ,查明地层分布及潜在的滑坡体 ,预测可
能发生的地质灾害 ,采取有效预防措施 ,确保项目开
发与利用。同时根据工程建设所形成边坡位置、高
度、岩土体结构、规模与特征等 ,进行边坡稳定性的
定性定量评估及计算。

(2)支护设计综合采用排水、削顶、压脚、阻滑、
缓坡、锚梁和绿化等措施。

(3)设计计算采用理论计算和经验判断相结合
的方法 ,要充分考虑到土、岩交界面不仅是透水软化
面 ,同时也是潜在的可能滑移面。

(4)对坡顶、坡面和边坡排水沟中不稳定的孤
石进行清理或加固处理。

(5)边坡坡顶、坡面和坡脚排水系统的设置对
边坡安全至关重要。设计时采用排水和泄水相结合
的方法 ,制定定期巡检制 ,确保排水通畅。

(6)施工期和使用期应对各区坡体建立完善的
质量检测档案和监测系统 ,确定预警值 ,并制定相应
的应急预案 ,以确保边坡安全。

(7)锚索(杆)、锚具的防腐应满足永久性锚索
(杆)的要求 ,对预应力锚索(杆)的锚具经防腐处理
后 ,采用钢筋网罩 ,现浇 C30 混凝土封闭。

4 支护设计

本边坡工程有如下特点 (1)坡顶上方为较平
缓山坡 ,坡脚或台阶间为别墅群 (2)坡段保持原有
自然边坡形态 ,边坡较长 ,地质条件变异较大 (3)
根据别墅群布置位置和边坡的实际高程 ,分级分段
开挖支护 (4)边坡支护完成后 ,为恢复生态环境 ,
支护面覆土绿化。

本边坡支护设计贯彻安全可行、经济合理、技术

先进的原则 ,采用预应力锚索(或锚杆)加格构梁的
支护结构 ,按各区开挖坡形 ,分 3 ~ 5 级台阶开挖 ,每
级台阶垂直高差 < 15 m ,台阶间设置 2 ~ 4 m 宽的平
台 ,边坡坡率一般为 1: 0.8 ~ 1: 1 ,个别坡段由于
征地红线、坡度、建筑物的布局等限制 ,坡率为 1:
0.6 ~ 1: 0.7。计算时 ,根据场地地质条件等 ,采用
平面滑动法或折线滑动法进行稳定性评价 ,按规范
要求边坡稳定安全系数 < 1.35 ,由于该边坡为永久
性边坡 ,且坡脚有建(构)筑物 ,本边坡要求稳定性
安全系数 > 1.5。对个别达不到要求的坡段 ,在坡脚
增设抗滑桩或钢管桩。

4.1 预应力锚索

杆体采用 2 ~ 6 × 7Ø5 钢绞线($f_y = 1860$ N/
mm²) ,开口孔径 110 ~ 130 mm ,部分 Ø150 mm ,长度
15 ~ 32 m ,自由段长度一般 7 ~ 18 m ,锚固段长度 5
~ 10 m ,个别坡段在预应力锚索水平方向之间增设
一排锚杆。

4.2 锚杆

杆体采用 Ø25、28 mm 钢筋 ,开孔口径 110 ~ 130
mm ,长度一般为 8 ~ 21 m。

4.3 抗滑桩

在 7A 区南段及 6 区北段由于出露全风化及强
风化岩 ,局部有裂隙水 ,在坡脚增设一排 Ø1200 mm
钢筋混凝土抗滑桩 ,间距 3 m 或 4 m ,要求入微风化
岩 2 m ,桩顶设计 4 × 7Ø5 预应力锚索。

4.4 钢管桩

采用 MQ - 50 型钻机垂直成孔 ,孔径 150 mm ,
下入 Ø114 mm × 3.5 mm 钢管 ,间距 3 m ,长度 25 m
或 8 m ,入微风化岩 5 m ,钢管每间隔 1 m 设出浆孔
一个 ,梅花形错开 ,出浆孔直径 8 ~ 10 mm ,孔底全孔
压力注浆 ,浆液为 32.5R 早强型普通硅酸盐水泥净
浆 ,水灰比 0.5 ,注浆压力 0.5 ~ 1.0 MPa。

4.5 风景石加固

位于 6 区坡顶 ,风景石大小为 :18 m × 12 m × 10
m ,重约 5000 t ,采用 3 排预应力锚索加微型桩等加
固措施。桩顶布设 1.2 m × 0.6 m 压顶梁 ,水平向呈
“ ⊥ ”形。

4.6 格构梁

格构梁规格为 0.3 m × 0.3 m ,主筋为 4Ø22 及
2Ø16 组成 ,箍筋 8@200 ,保护层 50 mm。预应力锚
索的格构梁规格 0.4 m × 0.4 m ,主筋 4Ø25 及
2Ø16 ,箍筋 8@200 ,保护层 50 mm。格构梁每间隔
30 m 设一道伸缩缝 ,宽度 2 cm ,内填二油三毡 ,支护
结构完成后 ,坡面覆土绿化。

4.7 边坡排水

(1)坡顶截水沟 1.0 m×0.6 m ,每级平台排水沟 0.3 m×0.3 m ,坡脚排水沟 0.6 m×0.3 m。

(2)边坡见裂隙水时施工斜向排水孔排水 ,孔径 130 mm ,下入 Ø100 mm PVC 管 ,长 1.0 ~1.5 m ,管壁设出水孔 ,并包土工布滤层填砂埋设。

(3)各坡段排水分级汇入坡脚市政排水系统。

4.8 挡土墙

8、9 区和 Z 字路沿坡脚设置挡土墙 ,底宽 2.7 m ,顶宽 1.0 m ,高 3.0 m ,垫层 0.5 m(内倾 15°) 。采用浆砌块(片)石 ,水泥砂浆标号 M7.5 ,挡墙平面要求平整、美观。设置泄水管 ,挡土墙地基承载力必须达到 120 kPa。墙后填土采用碎石或粗砂 ,填筑前应测定填土的内摩擦角。在土层较差 ,边坡较陡地段 ,采用钢筋混凝土挡土墙。

本边坡应做好测量放线工作 ,指导边坡开挖及

填土施工 ,严禁超挖。开挖遵循自上而下的原则。边坡开挖需填土时 ,必须采取分层回填 ,分层夯实的方法。别墅下方一般填筑碎石 ,严禁填土。要采取有效办法控制爆破 ,一般采用微差爆破法 ,以降低对边坡及支护结构的影响。

坡顶设变形观测点和测斜孔 ,每周观测一次 ,全区设计。除施工方对边坡进行自检外 ,必须安排第三方进行监测。加强边坡监测 ,做好动态设计及信息化施工工作。

5 设计验算

边坡支护设计典型剖面见图 1。岩土参数取值见表 2 ,设计计算安全系数 1.515 ~1.962 ,部分坡段 1.212 ~1.369 ,安全系数 <1.5 的坡段 ,坡脚增设抗滑桩。

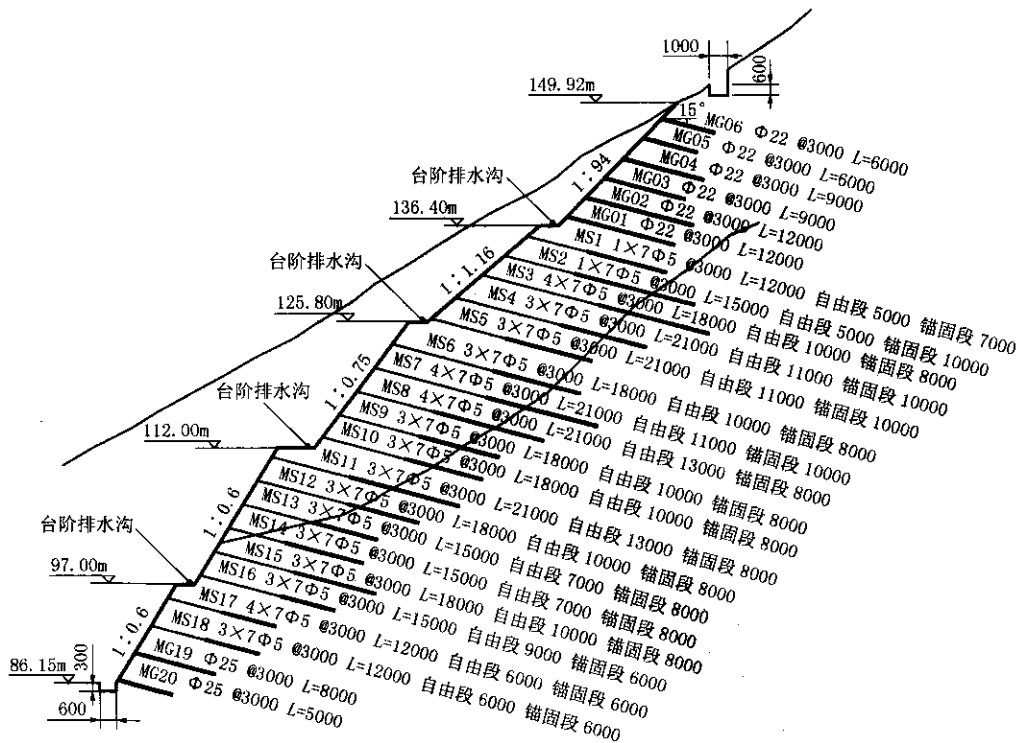


图1 边坡加固设计图

表 2 岩土参数取值表						
地层编号	状态	地层成因	土岩名称	重度 (kN · m ⁻³)	粘聚力 (kPa)	内摩擦角 (°)
②	硬塑	Q ^{el}	残坡积土	18 ~ 19	20 ~ 25	22
③ ₁	全风化	γ	花岗岩	18 ~ 19	28 ~ 30	25 ~ 26
③ ₂	强风化	γ	花岗岩	21	80	26 ~ 28
③ ₃	中风化	γ	花岗岩	22	150	30
③ ₄	微风化	γ	花岗岩	23	200	33

为验证设计方案的合理性及预测边坡在开挖后

的变形 ,对预开挖边坡进行了有限元模拟。依据勘察及设计资料 ,本模型概括了全风化、强风化、中风化及新鲜岩体 ,采用与设计相一致的岩土参数。为消除边界影响 ,模型取 4 倍所要分析边坡长度的范围 ,边界采用单向约束。经网格化后 ,模型共有 2570 个单元 ,7877 个节点。模型采用平面应变方法 ,用弹性理论进行计算。

图 2 所示为本模型单元划分图 ,图中显示了模

型的边界条件及岩土体分布状况,图3为开挖后模型在开挖边坡段的局部放大图,图4为边坡开挖以后,未加支护的边坡变形图,图5为按设计方案采用锚索(杆)进行支护后的边坡变形图。分析图4和图5可知,未支护前,边坡在开挖后产生了较大变形,最大约为11 mm,支护后边坡的最大变形约为4.35 mm,可见边坡变形受到了有效的控制,设计方案安全有效。

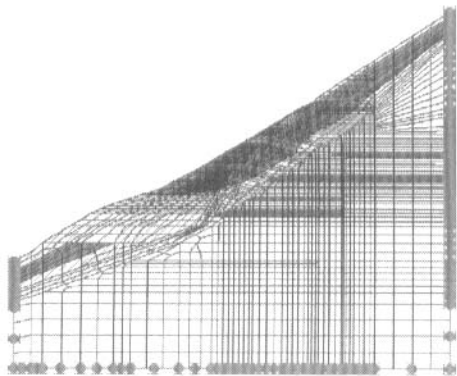


图2 模型单元划分图

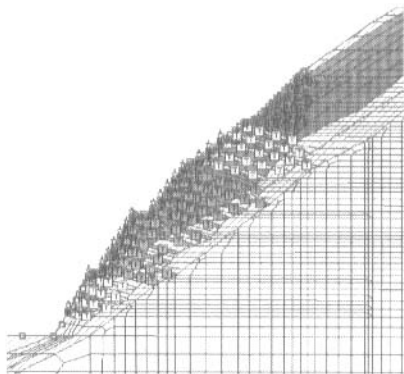


图3 开挖后模型在开挖边坡段的局部放大图

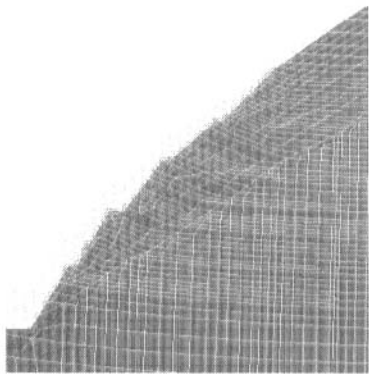


图4 边坡开挖以后未加支护的边坡变形图

6 施工

自上而下逐级开挖土石方,人工修坡,测量布设锚孔位置,搭设脚手架,设备就位,自上而下施工。

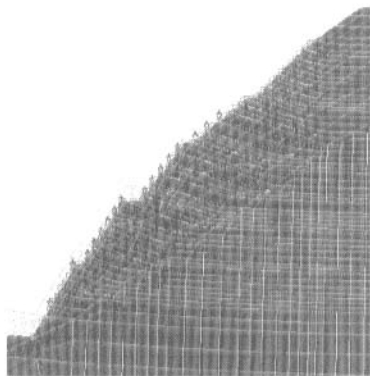


图5 按设计方案采用锚索(杆)进行支护后的边坡变形图

预应力锚索(杆)采用YQ100型潜孔钻机配35.5 m³空压机风动成孔,成孔直径110~130 mm,部分 $\varnothing 150$ mm,倾角15°~20°,下锚并清孔后进行二次注浆,第一次注浆压力0.5 MPa,3~4 h后进行二次压力注浆,注浆压力1.0~2.0 MPa,浆液采用32.5R早强型普通硅酸盐水泥净浆,水灰比0.5,必要时加入适量早强剂。注浆体强度30 MPa。

锚杆杆体每2.0 m设一个对中架。预应力锚索对中架自由段每2.0 m设一个,锚固段每1.5 m设1个。均作防锈处理。格构梁施工时,预应力锚索加套 $\varnothing 73$ mm钢套管,预埋2条6分($\varnothing 19$ mm)小钢管,预应力锚索张拉锁定之后,并进行第三次压力注浆,以封闭孔口段锚头。锚头除锈、刷防锈漆,用M20砂浆保护,保护层厚度 ≤ 50 mm。外刷防水剂。

预应力锚索张拉锁定:当预应力锚索和格构梁完成15天后,进行预应力锚索张拉锁定。张拉设备须标定,分级张拉后回放锁定。

监测结果 7C、7A及6区边坡共布设水平位移、地面沉降观测点47个,位移报警值30 mm,控制值50 mm。经10个月监测,施工方自测最大位移值15 mm,第三方监测最大水平位移值13 mm。本边坡在2005年6月经过百年一遇的暴雨考验,边坡稳定。

覆土绿化:支护结构完成后,在坡面上植筋,分层架设人字形格栅,由于原土含砂量较高,须覆客土,客土主要由腐植土、缓施肥、保水剂、稻草、水泥(1%)等组成,采用机械运输方式将客土运至各坡面,分层夯实,种植灌木及花草复绿,安装喷灌系统,恢复生态环境。

7 结语

(1)本边坡规模大,临近有重要建(构)筑物,地质条件较复杂,工程安全等级高。支护设计前进行

(下转第41页)

