

东莞 X233 线（清凤公路）K14+600~K14+720 路段 地质灾害（滑坡）详细勘察报告

（全一册）

广东核力工程勘察院

二〇一一年五月

东莞 X233 线（清凤公路）K14+600~K14+720 路段 地质灾害（滑坡）详细勘察报告

（全一册）

工 程 勘 察	证书编号	190198-kj		项目负责	赖志强	
	等 级	综合甲级		技术负责	黄慧英	
地质灾害 勘查	证书编号	4420051110002		报告编写	黄慧英 吴茂富	
	等 级	甲级				
ISO9001:2000 证 书	00704Q11321R1M			报告审核	庄师柳	
				总工程师	艾桂根	
				院 长	苏文聪	

广东核力工程勘察院

二〇一一年五月

内 审 意 见

我院总工办对《东莞 X233 线 K14+600~K14+720 路段滑坡详细勘察报告》进行了内部审查。经过认真核对并充分讨论形成意见如下：

1 勘察目的和任务明确，采用的技术标准恰当，资料收集较全面；采用调查测绘、钻探、物探、原位测试、水文试验、室内岩土水测试、工程测量等手段对滑坡进行综合勘察，勘察手段正确，针对性强。

2 野外第一手资料丰富、详实、齐全，特别是对滑坡边界、地貌特征等各类滑坡要素记录详细、真实。

3 基本查明了滑坡体的分布范围、空间形态、滑坡物质结构、滑带特征、滑坡区岩土物理力学性质等工程地质及水文地质条件。

4 报告通过多种勘察、试验方法，综合地面调查情况，建议岩土参数原则合理，对滑坡稳定性评价采用方法恰当、分析准确、结论可信，建议治理方案针对性强、合理可行，达到设计要求。

广东核力工程勘察院

二零一一年二月十五日

关于《东莞 X233 线（清凤公路）K14+600—K14+720 路段滑坡详细勘察报告》专家评审意见的回复

一、李爱国（教授）

意见 1：本项目属地质灾害项目，建议补充完善地质灾害报告；

回复：地质灾害评估报告由业主（东莞市地方公路管理总站，以下不再累述）提供，我院已和业主交换意见。

意见 2：滑坡详细勘察报告建议调整为地质灾害勘察报告；

回复：已按专家意见修改。

意见 3：补充及完善工程地质测绘，工程地质测绘建议适当扩大范围；

回复：工程地质测绘内容已按专家意见补充、完善，范围扩大至滑坡区外围约 100m。

意见 4：滑动带深度（平均约）20m，不一定正确，建议进一步结合自动定时监测确定；滑动带位置也应该明确；

意见 5：地下水的监测建议长期监测，另建议补充对地下水位移等特征的监测；

回复：目前本滑坡所做的地勘工作量，已基本满足规范要求；鉴于本项目的特殊性，对滑动带的监测工作建议由业主提出，并由具有相应资质的单位来尽早完成。

意见 6：完善边坡稳定性分析，补充滑坡下滑力的计算；

回复：已按专家意见对勘察报告进行了适当修改，补充、完善了稳定性计算内容。

意见 7：滑坡治理设计中滑坡区建议采用抗滑桩、外滑坡区建议采用锚杆格构架的治理形式；

回复：已按专家意见对勘察报告进行了适当修改，补充、完善了治理措施建议

等内容。

二、刘小敏（教授）

意见 1：建议对所圈定的滑坡体范围及治理范围作进一步论证分析，以适当缩小上述范围，减少治理工程和投入；

回复：本项目经专家评审后，我院组织精干力量再次到滑坡现场进行调查，最后确定原报告提出的滑坡范围和现场滑坡各项特征基本相符，并根据实际情况对报告内容进行了适当修正。

意见 2：根据地质调绘及工程物探资料，建议采取深层排水的工程措施；

意见 3：滑坡治理建议加强上部支挡，下部重点是加强深层排水及支挡相结合（的工程措施）；

回复：已按专家意见修改，补充、完善了治理措施建议等内容。

意见 4：建议在治理设计中对包括滑坡在内的整个边坡治理中，建立完整系统的排水措施；

回复：已按专家意见对勘察报告进行了适当修改，补充、完善了治理措施建议等内容。

三、钟永刚（高工）

意见 1：补充边坡地质灾害（滑坡）范围的依据；

回复：本项目经专家评审后，我院组织精干力量再次到滑坡现场进行调查，最后确定原报告提出的滑坡范围和现场滑坡各项特征基本相符，并根据实际情况对滑坡范围作了适当修正。

意见 2：补充有关工程措施的计算分析资料；

回复：已按专家意见修改，补充、完善了滑坡稳定性分析计算等内容。

四、董荣（高工）

意见 1：治理工程设计参数建议中提供地层承载力基本容许值 f_{a0} 、桩周土摩阻力标准值 q_{ik} 应指明依据规范《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTG D60-2007）；本规范所提供的 q_{ik} 值实际为极限值，与其他规范有所不同，应引起设计及其他使用人注意；

回复：已按专家意见修改，对参数建议值重新作了修正。

意见 2：从勘察资料看边坡滑坡受地层产状制约较明显，本（滑坡）滑动方向与地层倾向基本一致，建议设计在治理下部滑体时要考虑滑体上部未滑动部分的稳定性，以免产生上部进一步的滑动；

回复：已按专家意见对勘察报告的治理建议内容做了修改，提醒设计注意该问题。

意见 3：建议继续加大力度调查研究滑体的大小，是否是连续的，是否有那么厚；

回复：本项目经专家评审后，我院组织精干力量再次到滑坡现场进行调查，最后确定原报告提出的滑坡范围和现场滑坡各项特征基本相符，并根据实际情况对滑坡范围作了适当修正。

广东核力工程勘察院

2011 年 5 月 16 日

目 录

1 前言 1

 1.1 任务来由 1

 1.2 地质灾害情况及危害情况 1

 1.3 勘察目的与任务 2

 1.4 勘察工作概况 2

 1.4.1 勘察工作的主要依据 2

 1.4.2 勘察工作时间 2

 1.4.3 勘察工作量布置 2

 1.5 完成工作量及勘察质量评述 3

 1.5.1 完成情况 3

 1.5.2 勘察质量评述 4

2 滑坡区自然地理及地质环境条件 4

 2.1 自然地理 4

 2.2 地质环境 5

 2.2.1 地形地貌 5

 2.2.2 地层岩性 5

 2.2.3 地质构造与地震 6

 2.2.4 水文地质条件 6

 2.2.5 人类工程活动 7

3 滑坡基本特征及类别 8

 3.1 滑坡空间形态 8

 3.1.1 地貌 8

 3.1.2 滑坡形态及规模 8

 3.2 滑坡物质组成及结构特征 9

 3.2.1 滑体 9

 3.2.2 滑带 9

 3.2.3 滑床 9

 3.3 滑坡水文地质 10

 3.3.1 地表水 10

 3.3.2 地下水 10

 3.4 滑坡物理力学参数 11

 3.4.1 滑体土物理力学参数 11

 3.4.2 滑带土物理力学参数 11

 3.4.3 滑床岩石物理力学参数 11

3 滑坡稳定性分析评价 12

 3.1 滑坡稳定性分析 12

 3.1.1 滑坡变形特征及发育史 12

 3.1.2 滑坡类型及变形破坏模式 13

 3.1.3 滑坡成因及影响因素 14

 3.1.4 滑坡稳定性判断 15

 3.2 滑坡稳定性计算 15

 3.2.1 计算剖面及模型 15

 3.2.2 计算方法及公式 15

 3.2.3 计算工况 15

3.2.4 计算参数 16

3.2.5 滑坡稳定性设计标准的确定 16

3.2.6 计算结果 16

3.3 滑坡稳定性综合评价 16

3.4 滑坡稳定性敏感因素分析 17

4 滑坡发展变化趋势及危害性预测 17

4.1 发展趋势预测 17

4.2 危害性预测 17

5 防治方案建议 17

5.1 工程支挡轴线工程地质特征论述 17

5.2 防治方案建议 18

5.2.1 支挡工程 18

5.2.2 排水工程 19

5.2.3 监测系统 19

6 结论及建议 20

6.1 结论 20

6.2 建议 20

6.2.1 治理工程设计参数建议 20

6.2.2 治理措施建议 21

6.2.3 建筑材料建议 21

附表：

- 1、勘探点一览表 2 张
- 2、土工试验成果统计表 4 张
- 3、岩石试验成果统计表 4 张
- 4、原位测试成果统计表 2 张
- 5、地层统计表 4 张
- 6、滑坡稳定性计算表 5 张
- 7、地质测绘定点一览表 2 张

附图：

- 1、滑坡工程地质平面图（1:500）1 张
- 2、滑坡工程地质剖面图（1:500）12 张
- 3、滑坡稳定性计算模型图（1:500）5 张
- 4、钻孔工程地质柱状图（1:200）21 张
- 5、物探成果图 29 张

附件：

- 1、土工试验报告 1 份
- 2、岩石试验报告 1 份
- 3、水质分析报告 1 份
- 4、地质测绘照片 9 张
- 5、钻孔岩芯照片 21 张
- 6、物探勘察报告 1 册

东莞 X233 线 K14+600~K14+720 路段 滑坡详细勘察报告

1 前言

1.1 任务来由

东莞市 X233 线为连接清溪及凤岗两经济重镇的交通要道，其中 K14+600~K14+720 路段位于清溪镇与凤岗镇交界的浸校塘村，公路左侧山体在 2005 年公路拓宽改造后发生严重变形，持续变形时间已达 5 年。本段山体在 2006 年经地质灾害评估确定为滑坡，由东莞市政府列入地质灾害处治项目。2010 年 12 月，受东莞市地方公路管理总站委托，广东核力工程勘察院承担了 X233 线 K14+600~K14+720 路段滑坡详细勘察任务。我院接受任务后随即派出精干的技术人员，在收集资料的基础上，对该滑坡进行了仔细踏勘与核查，并根据现行勘察规范及滑坡的实际地质情况编制了勘察纲要，得到了公路管理总站及设计单位的认可。

1.2 地质灾害情况及危害情况

X233 线 K14+600~K14+720 路段滑坡位于东莞市清溪镇与凤岗镇交界的浸校塘村 X233 线东侧（详见图 1-1）。据调查，该滑坡变形产生于 2005 年 6 月，目前该滑坡处于蠕滑阶段，典型特征是：下小雨后轻微变形，下大雨后大幅变形。一旦该滑坡发生滑动，将直接威胁到滑坡区数百人的生命、财产安全，同时会切断公路交通，经济损失巨大。



滑坡交通位置图 图 1-1

根据地质灾害危险性评估分级有关规定，滑坡所在区域为工业建筑区，为重要建设项目；地质环境条件复杂程度为复杂，地质灾害危险性评估分级为一级。

危险性实物调查表 表 1-1

调查对象	危害情况	经济损失
人口及建筑面积	现滑坡体周边常住人口约 200 人，建筑面积约 1500m ²	2000 万元
单位	滑坡左侧翡翠山湖物业公司及工厂常住人口约 200 人，建筑面积 2000m ²	2500 万元
市政管道	滑坡前缘污水、煤气、通信管道	150 万元
公路	滑坡前缘 X233 线	200 万元
电力线路	滑坡后缘 110Kv 输电线路	500 万元
合计经济损失约 5350 万元		

1.3 勘察目的与任务

根据业主及设计要求，本次勘察的目的是为了详细查明 X233 线 K14+600～K14+720 东侧滑坡及周边区域的工程地质与水文地质条件，为滑坡防治设计提供地质依据。

本次勘察的主要任务是：查明滑坡范围、规模、性质及滑坡要素特征；查明滑坡治理工程的工程地质条件，确定岩土体物理力学参数；分析滑坡发展趋势，评价滑坡稳定性，计算滑坡稳定性系数，综合评价滑坡稳定性；提出治理滑坡的方案建议，为治理工程设计提供准确的勘察资料。

1.4 勘察工作概况

1.4.1 勘察工作的主要依据

- 本次勘察工作执行的主要依据有：
- （1）《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001，2009 年修订版）；
 - （2）《建筑边坡工程技术规范》（GB50330-2002）；
 - （3）《公路工程地质勘察规范》（JTJ064-98）；
 - （4）《公路勘测规范》（JTG C10-2007）；
 - （5）《1:500、1:2000 地形图图式》（GB/T7929-1995）；
 - （6）《工程测量规范》（GB50026-2007）；
 - （7）《全球定位系统（GPS）测量规范》（GB/T18314-2002）。
 - （8）《地质灾害危险性评估技术要求(试行)》（国土资源部国土资发[2004]69 号文之附件 1），2004 年 3 月；
 - （9）《X233 线 K14+600-K14+720 路段地质灾害处治工程详细勘察技术要求》，中国华西工程设计建设有限公司，2010 年 11 月 12 日；

- （10）《地质灾害防治工程勘察规范》（DB50/143-2003），重庆市地方标准；
- （11）《工程地质手册》（2007 年 2 月，第四版）；
- （12）《铁路工程物理勘探规程》（TB10013-2004）；
- （13）《物探工程测量规程》（DZ/T0153-95）。

1.4.2 勘察工作时间

2010 年 12 月，受东莞市地方公路管理总站委托，我院随即派技术人员对该滑坡区域进行了踏勘与核查，12 月 23 日完成勘察方案和工作量布置。12 月 24 日我院组织技术人员、设备进场施工，至 2011 年 01 月 15 日全部野外工作结束。2011 年 01 月 16 日开始转入勘察报告编写，2 月 18 日勘察报告完成，前后共历时 56 天。

1.4.3 勘察工作量布置

根据业主及设计方要求，本次勘察具体工作量布置如下：

（1）勘探

布置纵向勘探剖面 5 条，横向剖面 7 条，间距 25～40m，剖面总长 3167.8m。勘探工程采用钻探、物探相结合布置，其中钻探 42 孔/1050m，物探 8 条/2125m。钻探孔包括 24 个技术孔（要求取样及原位测试）和 18 个一般孔（取芯分层），钻孔完工后采用水泥封孔，以防大气降水从钻孔中下渗进入滑面影响滑坡稳定性。物探同时采用高密度电法、瑞雷面波法和地震反射波法，并选取适当钻孔作波速、电阻率测井。

（2）工程测量

1:500 地形图测量，滑坡测量范围为现状坡顶线外 100m 控制，测量面积约为 60000m²，道路测量范围为道路中心线两侧各 25m，面积为 37108m²，1:500 地形测量范围共计 97108m²；1:200 剖面测量 12 条/3167.8m。

（3）工程地质测绘

1:500 工程地质测绘范围为滑坡边界外 100m 范围内，测绘面积约 0.10km²。工程地质测绘的详细程度要求图上宽度大于 2mm 的地质现象必须描绘到地质图上，对于评价滑坡形成过程及稳定性有重要意义的地质现象，在图上宽度不足 2mm 时，扩大比例尺表示，并标注实际数据。地质界线图上误差不超过 2mm。此次勘察完成测绘面积 0.10km²，野外定点 58 个，其中包括岩性观测点 5 个、地质观测点 3 个，滑坡边界点 6 个、地貌观测点 39 个、水文地质点 5 个。

（4）水文地质

施工期间，对泉点进行调查和流量的定期观测，各钻孔进行回次水位观测和终孔水位观测，并在滑坡核心区选取 ZK14 钻孔作为水文观测孔进行动态水位观测试验；在地表开挖了 2 个试坑进行 4 次渗水试验；取 2 件地下水样品进行水质简分析和侵蚀 CO₂ 分析。

（5）室内岩土试验

在施工的 24 个技术性钻孔中分层取土样、每层土样均大于 6 组，进行土常规、渗透系数、天然剪切和饱和剪切试验，取岩样（大于 6 组）进行重度、饱和抗压、天然及饱和抗剪试验，所有样品均按规范要求采取、包装，及时送至广东核力工程勘察院检测中心测试。

（6）原位试验

在施工的 24 个技术性钻孔中进行标准贯入或重型动力触探试验。

（7）地球物理勘探

根据技术要求和勘察方案，结合地质剖面，在滑坡勘探线上布置高密度电法测线 6 条，长度 1545m；地震反射波法测线 1 条，长度 320m；瑞雷面波法 6 条共计 160 点；钻孔波速及电阻率测井 4 个。

1.5 完成工作量及勘察质量评述

1.5.1 完成情况

外业工作于 2010 年 12 月 24 日进场，至 2011 年 01 月 15 日结束，历时 23 天，先后完成了地形图、剖面及勘探点测量、工程地质测绘、钻探、物探、取样、原位测试等工作。本次勘察完成工作量见表 1-2。

本次勘察完成主要工作量统计表				表 1-2	
序号	勘察工作内容		单位	设计工作量	完成工作量
				数量	数量
1	工程测量	1:500 地形图测量	km ²	0.0971	0.10
		1:200 剖面测量	m/条	3167.8/12	3167.8/12
		勘探点测量	点	42	42
2	地质测绘	1:500 地质测绘	km ²	0.10	0.10
3	工程勘探	钻探	m/孔	1050/42	1039.40/42
		物探	高密度电法	m/条	1545/6
		地震反射法	m/条	320/1	320/1
		瑞雷面波法	点/条	160/6	160/6
4	取样	波速、电阻率测井	m/孔	90/4	99/4
		土样	组	18	91
		岩样	组	12	88
5	现场试验	水样	组	2	2
		渗水试验	次/坑	--	4/2
		标准贯入试验	次	72	80
6	原位测试	动力触探试验	m	5.0	0.6
		土样试验	组	18	86
7	室内试验	岩样试验	组	12	85
		水质简分析	组	2	2
		地下水观测	孔	42	42
8	观测	地下水动态观测	次/孔	10/1	14/1

1.5.2 勘察质量评述

本次勘察工作采用综合勘察方法和手段，严格执行相关规程规范和技术要求，精心组织、科学施工，认真完成了勘察任务，全部勘察工作质量优良，达到详勘技术要求。

（1）工程地质测绘：测绘用底图 1:500，测绘调查点和各种界线在图上的误差小于 2mm，精度满足要求；测绘范围超过滑坡边界 100m。

（2）地形测量、钻孔的定位和剖面测量采用 RTK 移动 GPS 施测。高程采用 1985 年黄海高程系，坐标采用 1954 年北京坐标系，精度满足要求。

（3）钻探采用小循环钻进或干钻，在滑动面(带)范围内，采用单动双管钻进。当钻进接近预计滑动面(带)或发现滑动面(带)迹象(软弱带或含水层)时，控制钻进回次进尺，每回次不超过 0.5m，采取率大于 80%。滑体每回次进尺小于 0.80m，岩芯采取率 81%~85%；滑床每回次进尺小于 0.80m，岩芯采取率大于 85%。钻孔严格按钻探规程及技术人员的要求进行。

岩芯取出后，按上下顺序摆放于岩芯箱中并逐层编录，特别注意了滑动带土物质特征的描述。钻进深度、滑体厚度、滑动带范围、基岩面量测误差控制在±5cm 之内。

现场地质技术人员跟班编录，并根据现场不同地质情况及时指导施工。土样和岩石试样采取后立即密封，及时送试验室试验完成。原状土样采用薄壁贯入式取土器。

（4）钻孔完工后及时封闭孔口，以防地表水、大气降雨从钻孔中下渗进入滑面，影响滑坡稳定性，孔口采用水泥封孔。

（5）所有试验工作及时送我院实验检测中心完成，试验项目严格按相关规程规范和勘察方案执行。

（6）本次根据地质调查及滑坡特征，并结合场区地质环境条件，采用高密度电法、地震反射波法、瑞雷面波法及钻孔波速、视电阻率测井等综合地球物理勘探方法。野外数据的采集严格按相关规程规范和勘察技术要求进行，测线布置合理，参数选择恰当，解释效果明显。

高密度电法采用 E60 型高密度电法仪，点距 4m，50~80 个电极，排列长度最长 320m；瑞雷面波法采用 R24 高精度地震仪，震源采用重锤锤击震源，12 道检波，偏移距 10~20m，道间距 1~2m，采样间隔 0.5ms，采样长度 1024ms；地震反射波法 R24 二十四道地震仪：采用 12 道，4 次覆盖，扣板法锤击震源，道间距 3m，偏移距 20m，炮点距 6m，记录长度 256~512ms，采样率 125~250us；波速测井采用 R24 型二十四道地震仪，采样间隔 125us，记录长度 256ms，检波器道数为 3 道，锤击震源，单孔波速检层法，测量点距 1m，从孔底逐点向上测量；电阻率测井采用 WDJB-1 型多功能数控集流集电仪，顶部梯度电极系，N0.1M0.95A，测量点距 1m，从孔底逐点向上测量。

2 滑坡区自然地理及地质环境条件

2.1 自然地理

该滑坡位于清溪镇及凤岗镇交界处 X233（清风公路）东侧，滑坡中心地理坐标为东经 114° 08′ 25″，北纬 22° 46′ 22″。至清溪镇 6km、至凤岗镇 3km，交通便利。滑坡区周边多工厂，人口密集，经济发达。

清溪镇属亚热带季风气候区，长夏无冬，日照充足，雨量充沛，温差振幅小，季风明显。据东莞气象台多年资料统计，多年平均气温 23.1℃，最高气温 38℃，最低气温 0.5℃。多年平均湿度 87.5%。1996~2005 年年平均雨量为 1802mm，最大

年降雨量 2793.6mm，最小年降雨量 1260.8mm。1956～2005 年茅峯水库降雨统计分析，多年平均降雨大于 300mm 的月份有 3 个月，为 6～8 月；大于 200mm 的有 5 个月，最大多年平均降雨约为 6 月，降雨量为 325.6mm，最大日降雨量为 264.7mm，1956～2005 年共 25 年最大日降雨资料统计，降雨量大于 200mm 以上的年份有 5 年。从日最大降雨量和月平均降雨量分析可以看出，该区日降雨强度不大，但多年月平均降雨量大。流域的暴雨既有锋面雨，也有台风雨，且多集中在每年 4～9 月份，锋面雨主要出现在 4～6 月，降水范围大、历时长、强度小。7～9 月为后汛期，台风降雨活跃，降水范围小、历时短、强度大，台风雨一般出现在 7～9 月份。一次暴雨持续时间多在三日之内，以一日为主。最大一日降雨量 367.8mm。风向多为南西、南东向，平均风力 8 级，阵风最大 10 级。

2.2 地质环境

2.2.1 地形地貌

滑坡区所在山体边坡属构造剥蚀丘陵地貌，地面高程 45～145m，高差约 100m。山体呈波状或岗丘形态，自然坡度 $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$ ，地形相对平缓。由于滑坡作用及冲沟的发育，造成多级滑坡平台、缓陡相间地形，局部隆起与拗陷并存的复杂地貌形态。地表多林木、灌木，植被覆盖良好。

2.2.2 地层岩性

根据野外地质调绘及钻探揭露，滑坡区地层较为简单，自新至老依次分为第四系土层（Q）及侏罗系中统塘厦组粉砂岩（J₂t）。

（1）第四系土层（Q）

广泛分布于斜坡上部，按成因类型可分为坡积含碎石粉质粘土（Q^{dl}）、残积粉质粘土（Q^{el}）、滑坡滑动堆积形成的软弱层（Q）。上覆滑坡堆积层纵波波速 630～

820m/s，横波波速 120～300 m/s，电阻率一般小于 200 Ω·m。分述如下：

1-1 坡积含碎石粉质粘土（Q^{dl}）：广泛分布于斜坡表层，地层厚度 1.0～13.5m，平均厚度 5.06m。黄褐色、灰褐色，可塑～硬塑状，成份以粉粒、粘粒为主，含约 15～40%强风化粉砂岩碎砾石，粒径一般 0.2～5cm，最大 14cm，棱角状。土质不均，粘性一般，土芯多呈块状，本层常夹有较大块石。实测标贯击数 N=7～31 击，标准值 14.3 击。

1-2 残积粉质粘土（Q^{el}）：广泛分布于斜坡上部，地层厚度 1.5～11.0m，平均厚度 4.56m。红褐色、黄褐色，可塑～硬塑状。成份以粉粒、粘粒为主，局部含少量强风化粉砂岩碎砾石，最大粒径 8cm，棱角状。土质较均，粘性较好，土芯多呈柱状。实测标贯击数 N=10～38 击，标准值 17.8 击。

1-3 软弱层（Q）：多分布于强风化基岩上部，地层厚度 2.0～23.0m，平均厚度 8.76m。灰褐色、灰黑色夹黄褐色，成份以软塑～可塑状粘性土为主，含较多强风化粉砂岩碎砾石，最大粒径 15cm，棱角状。土质不均，成份混杂，结构松散易垮塌，浸水极易软化。实测标贯击数 N=6～20 击，标准值 11.1 击。本层与强风化破碎层呈过渡关系，甚至难于区分，厚度变化较大。

（2）侏罗系中统塘厦组粉砂岩（J₂t）

为一套海相砂岩建造，按岩石风化程度不同，分为强风化及中风化两层。

强风化粉砂岩：灰黑色夹黄褐色，薄层状结构，碎块状构造。岩质软，手可折断，锤击易碎。节理裂隙极发育，岩体极破碎，岩芯多呈碎块状，采取率较低。实测标贯击数 N=41 击。其纵波波速 1300～1750m/s，横波波速 350～550m/s，电阻率一般大于 500 Ω·m。

中风化粉砂岩：灰黑色夹灰白色，薄层状结构，块状构造。岩质较硬，锤击声脆。节理裂隙较发育，主要裂面轴夹角约 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 、 $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ ，层面轴夹角约

70°～75°，硅质、钙质充填胶结。岩体较完整，岩芯多呈柱状，RQD=50～95%。地层产状变化不大，滑坡后缘处产状为 316°∠25°，前缘左侧产状为 25°∠18°，前缘右侧产状为 5°∠20°。纵波波速大于 2000m/s，横波波速大于 700m/s，电阻率一般大于 500 Ω·m。

各地层原位测试成果详见附表 4（原位测试成果统计表），厚度、层面及层底高程等要素详见附表 5（地层统计表）。

2.2.3 地质构造与地震

根据广东省区域地质图，滑坡区位于高要—惠来东西向断裂构造西南侧，紫金—博罗断裂带南段。根据野外地质测绘及钻探、物探成果，滑坡区内未见活动性断裂构造发育，亦无明显褶皱构造，属较简单的北西倾向单斜构造。基岩节理裂隙以顺层裂隙为主，次生裂隙为辅。岩体中的原生节理裂隙以 NNE 向构造节理为主，次生裂隙包括风化裂隙及边坡的卸荷裂隙，风化裂隙方向分散，发育深度较大，裂面较平整，呈黄褐色夹灰黑色，张开度 1～5mm，多充填泥质、钙质，延伸长度 5.0～10.0m，发育密度 3～8 条/m。风化裂隙与卸荷裂隙、层面、构造裂隙组合，对边坡稳定不利。

根据《建筑抗震设计规范》（GB50011-2001）及 1:800 万《中国地震动峰值加速度区划图》（2001），勘察区属地震基本烈度Ⅵ度区，地震动峰值加速度为 0.05g，地震动反应谱特征周为 0.35s，抗震设防烈度为 6 度，设计基本地震加速度值为 0.05g，设计地震分组为第一组。

2.2.4 水文地质条件

根据含水岩土层性质，滑坡区地下水可分为松散土层孔隙水和基岩风化裂隙水两种类型。分述如下：

（1）松散土层孔隙水

该类型地下水分布在滑坡区内残坡积土层及滑坡体软弱层中，由于介质透水性较差，地形切割凌乱，整体富水性差，水量小。据钻探揭露，该类型地下水具有较为连续的地下水面，一般位于在软弱层中下部。

该类型水主要接受大气降水补给，具有浅循环、短径流、快交替的动态特点，其水量随大气降水量的增减有较大变幅。

（2）基岩风化裂隙水

该类型地下水主要分布于强风化粉砂岩层的风化裂隙中，由于风化裂隙极发育，张开度及连通性较好，形成了一定的储水空间，赋存有较多地下水。该类型水排泄条件良好，在大面积接受降雨补给后，水量可明显增大，而枯水季节则断流，动态变化较大。

勘察期间，滑坡前缘剪出口（公路东侧）密集发育泉水，实际泉水特征及流量见下表 2-1。同时，钻孔 ZK14 完成后（于 2010 年 12 月 31 日终孔）放置 Φ60mm 的 PVC 管道，设立了动态水位观测（见照片 2-1），每 24 小时测量地下水水位一次，水位记录见表 2-2。

滑坡前缘泉水发育特征统计表 表 2-1

编号	泉水出露位置	出露高程（m）	含水层岩性	类型	流量（L/s）	调查日期（年月日）
Q1	前缘剪出口	47.80	松散土层	下降泉	0.41	2010.12.23
Q2	前缘剪出口	46.50	松散土层	下降泉	0.007	2010.12.23
Q3	前缘剪出口	45.30	软弱层	下降泉	0.004	2010.12.23
Q4	前缘剪出口	45.40	软弱层	下降泉	0.009	2010.12.23
Q5	前缘剪出口	45.50	软弱层	下降泉	0.025	2010.12.23
Q6	前缘剪出口	45.50	软弱层	下降泉	0.057	2010.12.23
Q7	前缘剪出口	45.40	软弱层	下降泉	0.016	2010.12.23
Q8	前缘剪出口	45.50	软弱层	下降泉	0.007	2010.12.23

钻孔 ZK14 地下水位测量纪录表

表 2-2

测量日期 (年月日)	水位深度 (m)	水位高程 (m)	天气状况
2011.01.01	19.87	53.89	晴
2011.01.02	19.90	53.86	晴
2011.01.03	19.92	53.84	晴
2011.01.04	19.93	53.83	小雨
2011.01.05	19.80	53.96	小雨
2011.01.06	19.71	54.05	阴
2011.01.07	19.65	54.11	阴
2011.01.08	19.70	54.06	晴
2011.01.09	19.76	54.00	晴
2011.01.10	19.81	53.95	多云
2011.01.11	19.85	53.91	小雨
2011.01.12	19.75	54.01	小雨
2011.01.13	19.72	54.04	多云
2011.01.14	19.70	54.06	阴



照片 2-1

ZK14 水文观测孔

2.2.5 人类工程活动

据调查访问，2005 年前后因修建厂房，X233 公路东侧滑坡前缘边坡开挖后，形成了人工边坡，边坡高 6~10m；滑坡前缘左侧因修建住宅楼进行边坡开挖，形成了人工边坡，边坡高 8~32m。滑坡前缘遭到破坏，原始地貌被改变，存在临空条件，在外界影响下，对滑坡的复活影响较大。见照片 2-2、2-3。



照片 2-2

滑坡前缘（X233 公路边）人工边坡



照片 2-3

滑坡前缘左侧（物业公司后）人工边坡

3 滑坡基本特征及类别

3.1 滑坡空间形态

3.1.1 地貌

本滑坡所处山体总体呈 NW—SE 走向，地面高程 45~145m，坡度一般为 15°~20°，局部可达 30°~40°。地形相对较平缓，植被覆盖良好。坡体均为岩、土多层结构斜坡，上部为残坡积土层，中部为软弱层及破碎的强风化基岩，下部为较完整的中风化基岩。坡体下部剪出口前沿临空面为土质边坡，高度 3~8m，人类工程活动强烈，少有植被。前缘两侧为厂房、住宅楼等建筑物，人口密集。见照片 3-1。

滑坡区整体呈特有的圈椅状地貌，沿滑坡边界线特别是后缘处已发育明显的张裂缝，滑体后部已发育出一条长度约 300m、高度 5~30m 的弧形陡坎，坎壁滑痕清晰可见。前缘位于 X233 公路东边，标高 45.30~47.80m，已形成明显的剪出口，隆起的鼓丘沿公路平行分布，土质松软，在滑体前缘连续分布有新奥燃气管道标志，管道标志已被隆起的前缘鼓丘抬升、推移；后缘靠近高压电线 54#塔基，受滑坡影响，其块石混凝土基础已形成明显的裂缝。滑体范围内马刀树、醉汉林随处可见，一些高大树木根系被裂缝错断裸露出来。野外调查表明，滑坡体不同部位有不同程度的变形、裂缝现象，其中滑体后缘拉张主裂缝走向 300°~350°，延伸长度一般超过 30m，单条发育；滑体前缘裂缝走向一般平行于主滑向，，宽度较大，延伸长度相对较小，多条近平行发育，次生裂隙密集；滑体中部裂缝发育不甚规则，多受地形影响发育成陡坎，走向不定，多呈弧状弯曲，宽度较大，多条网状、羽状发育。



照片 3-1 滑坡地貌卫星照片

3.1.2 滑坡形态及规模

据地质测绘成果，确定滑坡后缘位于 NW—SE 走向山脊下方，为新近产生的拉张裂隙带；滑坡体剪出口为 X233 公路边坡坡脚；主滑方向为 308°。滑坡平面呈宽短扇形，纵向上呈舌形。滑坡体前缘剪出口中点标高约 48m，后缘标高约 130m，纵向长度约 270m。滑坡体地表呈三级台阶状，其中：一级阶面标高 55~60m，纵向长度约 40~60m，横向宽度约 100m；二级阶面标高 65~85m，纵向长度约 90~130m，横向宽度约 50~130m；三级阶面标高 100~110m，纵向长度约 60~100m，横向宽度约 130m。滑坡区地表密集发育大量拉张裂缝（见后附地调照片），这些拉张裂缝走向大多呈 SN 走向，缝宽 10~120cm 不等，近似直立，延伸长度 5~100m 不等。对地面的破坏主要表现为松弛下陷，局部形成 5~50cm 高度的断阶。野外调绘过程

中技术人员曾做过测试，在一些张裂缝周围土质极为松软，硬质钢钎可直插入土 2m，脚踩陷入 20cm。

根据物探成果，在主滑方向的测线上，有明显的低电阻率条带状异常带和较低的、倾斜的条带状波速异常，视电阻率等值线总体呈倾斜的、压扁的椭球状，且有多个局部异常。从 6 条测线的瑞雷面波速度等值线图显示，总体速度随深度增大而增大，在强风化粉砂岩之上出现相对较低的倾斜的条带状速度异常，瑞雷波速度为 120～210m/s。

本滑坡体纵向长度 270m，横向宽度平均 205m，面积约 $5.34 \times 10^4 \text{m}^2$ ，钻探揭露滑体后部厚度约 25m，中部约 20m，前部约 12～15m，平均滑体厚度约 20m，总体积 $106.8 \times 10^4 \text{m}^3$ 。按滑体体积分类，该滑坡属巨型滑坡。

3.2 滑坡物质组成及结构特征

3.2.1 滑体

本滑坡滑体自上而下由坡积含碎石粉质粘土（ Q^{dl} ）、残积粉质粘土（ Q^{el} ）、及软弱层（Q）组成，其中：

1-1 含碎石粉质粘土：黄褐色、红褐色、灰黑色，可塑～硬塑状。该土层在滑坡范围内广泛分布，在滑体中部 ZK10 钻孔揭露最大厚度 13.50m，最小厚度 1.00m，平均厚度 5.06m。在滑体前缘与残积粉质粘土层接触面最低高程约 48.63m。

1-2 粉质粘土：红褐色、黄褐色，可塑～硬塑状。广泛分布于滑坡区，为表层含碎石粉质粘土及下层软弱层之间的过渡层，在滑坡前缘 ZK39 钻孔揭露最大厚度 11.00m，最小厚度 1.50m，平均厚度 4.56m。在滑体前缘与下层软弱层接触面最低高程约 45.60m。

1-3 软弱层：灰褐色、灰黑色夹黄褐色，成份以软塑～可塑状粘性土为主，含

较多强风化粉砂岩碎砾石。本层多分布于强风化基岩上部，成份混杂，结构松散易垮塌，浸水极易软化。在滑坡左侧中后缘 ZK26 钻孔揭露最大厚度 23.0m，最小厚度 2.00m，平均厚度 8.76m。在滑体前缘与强风化粉砂岩接触面最低高程约 40.90m。

3.2.2 滑带

通过工程地质测绘及钻孔揭露，综合确定本滑坡为深层土质滑坡，发育一条深层主滑带，主要位于软弱层下部与破碎的强风化粉砂岩接触带，局部因滑动切割强风化粉砂岩层。滑带的组成物质主要为软塑～可塑状粘性土，黄褐色、灰黑色，多呈潮湿状，滑体前缘泉水渗出部位滑带呈饱和状。片状碎砾石被挤压，具有明显的定向排列特征。土体呈层纹状或鳞片状，滑动镜面和擦痕较为普遍，产状与下伏强风化基岩接触界面平行，擦痕指向 308° 。滑带前缘最低高程 47m，后缘高程 85～100m，纵向呈折线形，前部平缓沿基岩产状倾斜，后部顺坡向逐渐倾斜变陡；滑带横向呈两端基本对称的平缓弧形。

3.2.3 滑床

滑床岩性为侏罗系中统塘厦组粉砂岩（ J_2t ），滑床组成物质主要为强～中风化粉砂岩，灰黑色夹黄褐色，薄层状结构，碎块状、块状构造。岩层厚度较大，局部因滑动切穿直接以中风化粉砂岩作为滑床。其产状变化不大，滑坡后缘处产状为 $316^\circ \angle 25^\circ$ ，前缘左侧产状为 $25^\circ \angle 18^\circ$ ，前缘右侧产状为 $5^\circ \angle 20^\circ$ 。

由滑坡后缘至前缘基岩面坡度由陡变缓，滑坡范围内滑床形态纵向上呈后缘陡倾、中部过渡、前缘较为平缓或局部反倾的折线型，横向上由前缘至后缘呈由倾向 NE 过渡至倾向 NW 的平缓折线型。

3.3 滑坡水文地质

3.3.1 地表水

本滑坡处于倾向单一的自然斜坡地带，区内无地表水体分布。

3.3.2 地下水

受地表岩性（以粘性土为主，属相对隔水层）及地形地貌（中部核心区三面临空、谷深坡陡）控制，大气降水多以地表径流形式排出区外，不利于地下水的补给。

滑坡区纵向岩土层组合自上而下为：含碎石粉质粘土（强透水层）→粉质粘土（微透水层）→滑带土（相对隔水层）→强风化粉砂岩（强透水层）→中风化粉砂岩（隔水层）。因此，滑坡区在长期降雨条件下，在滑带附近形成局部上层滞水，上部土体至滑带土层间可形成较为稳定的地下水赋存带，对滑坡的稳定极为不利。

勘察期间选取主滑剖面中部典型钻孔 ZK15（技术孔，孔深 31.00m，地下水位 15.40m），对残坡积粘性土、滑带土（软弱层）及滑床基岩（强风化粉砂岩）分别做了注水试验，同时在核心区挖 2 个试坑对表层粘性土做了简易渗水试验。

①残坡积粘性土（0~9.40m）：

钻孔中注入水的流量为 0.36m³/d，水位稳定在孔深 0.20m，水位稳定后连续观测孔内水位，水位基本稳定在 0.20~0.25m 之间，连续观测 4 小时，按下式计算：

$$k = \frac{0.366Q}{ls} \lg \frac{2l}{r}$$
（工程地质手册，2007 年 2 月第四版 P1013，推荐公式 9-3-16）

式中：k—渗透系数（m/d）；

Q—注水试验的水流量（m³/d）；

l—试验段长度（m），取 9.20m；

s—钻孔水头高度（m），取 s=15.40-0.20=15.20m；

r—钻孔半径（m），取 0.065m。

经计算，残积粘性土的渗透系数为 2.31×10⁻³m/d，属微透水层。

同时在地表作试坑（底面积 50cm×50cm）对表层坡积含碎石粉质粘土层做简易渗水试验，试坑 1（SK1）注入水的平均流量为 8.3m³/d，试坑 2（SK2）注入水的平均流量为 9.2m³/d，水柱稳定高度 0.10m，连续观测 5 小时，按下式计算：

$$k = V = \frac{Q}{F}$$
（工程地质手册，2007 年 2 月第四版 P1014，推荐公式 9-3-18）

式中：k—渗透系数（m/d）；

V—渗透速度（m/d）；

Q—注水试验的水流量，取平均值 8.75m³/d；

F—试坑底面积（m²），取 0.25m²；

经计算，表层坡积含碎石粉质粘土的渗透系数为 35m/d，属强透水层。

钻孔注水试验值一般偏小；试坑渗水试验因未考虑侧向渗透，同时表层土受植被影响孔隙较多，试验值偏大。

②软弱层、滑带土（9.40~19.80m）：

钻孔中注入水的流量为 4.02m³/d，水位稳定在孔深 0.20m，水位稳定后连续观测孔内水位，水位稳定在 0.20~0.25m 之间，连续观测 4 小时，经计算后，本层渗透系数为 0.024m/d，属弱透水层。

③强风化粉砂岩（19.80~25.80m）：

钻孔中注入水的流量为 26.7m³/d，水位稳定在孔深 0.20m，水位稳定后连续观测孔内水位，连续观测 3 小时，经计算，滑床基岩的渗透系数为 0.26m/d，属中透水地层。

根据地质测绘，滑坡前缘周边标高 45.30～47.80m，公路边发现 8 处泉水出露，泉水出露在松散土体及下部软弱层。2010 年 12 月 23 日对所有泉水进行统一观测，泉点以散点渗流排泄，流量约 0.007～0.057L/s。在泉水出露附近有相对隔水层，在雨季滑带饱水，对滑坡的稳定不利。

勘察期间在滑坡前缘（公路边）主滑线两侧距离约 70m，取泉水样 2 组作测试，根据地下水水质分析报告和《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001，2009 年修订版），按环境类型为 II 类判断地下水对混凝土结构有微腐蚀性；按地层透水性 B 类判断地下水对混凝土结构有微腐蚀性（ $\text{HCO}_3^- < 0.5\text{mmol/L}$ ）；地下水对钢筋混凝土结构中的钢筋有微腐蚀性。详见下表 3-1 所示。

水质分析结果与规范值对照表 表 3-1

分析项目		规范值	分析结果		判定结果
			水样 1	水样 2	
II 类环境	硫酸盐含量 SO_4^{2-} (mg/L)	<300	7.73	11.60	微腐蚀
	镁盐含量 Mg^{2+} (mg/L)	<2000	2.45	2.45	微腐蚀
	苛性碱含量 OH^- (mg/L)	<43000	0.00	0.00	微腐蚀
	总矿化度 (mg/L)	<20000	64.25	48.51	微腐蚀
透水性 B 类	PH 值	>5.0	6.70	6.60	微腐蚀
	侵蚀性 CO_2 (mg/L)	<30	2.61	5.22	微腐蚀
对钢筋的腐蚀性	水中含量 Cl^- (mg/L) 按干湿交替考虑	<100	6.98	5.23	微腐蚀

3.4 滑坡物理力学参数

3.4.1 滑体土物理力学参数

勘察期间对滑坡主滑体的 1-1 含碎石粉质粘土（ Q^{dl} ）取了 20 组试样、1-2 粉质粘土（ Q^{el} ）取了 26 组试样做土常规、渗透系数及天然、饱和快剪试验。根据试验成果统计：

滑体土 1-1 含碎石粉质粘土（ Q^{dl} ）天然重度 γ 标准值为 15.6KN/m^3 ；饱和重度 γ_{sr} 标准值为 19.1KN/m^3 ；取土样 1 件作室内渗透系数试验，渗透系数 k 为 $4.15 \times 10^{-2}\text{cm/s}$ ；天然抗剪强度：粘聚力 c 标准值 18.5kPa ，内摩擦角 ϕ 标准值 14.2° 。

滑体土 1-2 粉质粘土（ Q^{el} ）天然重度 γ 标准值为 16.5KN/m^3 ；饱和重度 γ_{sr} 标准值为 16.6KN/m^3 ；取土样 3 件作室内渗透系数试验，其渗透系数 k 为 $9.00 \times 10^{-7} \sim 3.17 \times 10^{-5}\text{cm/s}$ ，平均值 $1.13 \times 10^{-5}\text{cm/s}$ ；天然抗剪强度：粘聚力 c 标准值为 17.2kPa ，内摩擦角 ϕ 标准值为 14.6° ；饱和抗剪强度：粘聚力 c 为 18.9kPa ，内摩擦角 ϕ 标准值为 13.2° 。其它参数详见附表 2（土工试验成果统计表）。

3.4.2 滑带土物理力学参数

勘察期间对滑带土（软弱层）取了 48 组试样做土常规、渗透系数、天然及饱和快剪、天然及饱和残余剪切试验。根据试验成果统计：

滑带土（软弱层）天然重度 γ 标准值为 16.9KN/m^3 ；饱和重度 γ_{sr} 标准值为 17.8KN/m^3 ；取土样 1 件作室内渗透系数试验，渗透系数 $k=3.37 \times 10^{-4}\text{cm/s}$ ；天然抗剪强度：粘聚力 c 标准值为 20.2kPa ，内摩擦角 ϕ 标准值为 14.8° ；饱和抗剪强度：粘聚力 c 标准值为 13.5kPa ，内摩擦角 ϕ 标准值为 13.5° ；天然残余抗剪强度：粘聚力 c 标准值为 18.0kPa ，内摩擦角 ϕ 标准值为 15.8° ；饱和残余抗剪强度：粘聚力 c 标准值为 18.0kPa ，内摩擦角 ϕ 标准值为 15.4° 。其它参数详见附表 2（土工试验成果统计表）。

3.4.3 滑床岩石物理力学参数

滑床岩石为粉砂岩，勘察期间取了 88 组岩样作了密度、天然及饱和抗压、抗剪试验、弹性模量试验，统计结果详见附表 3（岩石试验成果统计表）。

根据试验成果统计，中风化粉砂岩天然重度标准值为 26.7kN/m^3 ；天然抗压强度 f 标准值 62.7MPa ，饱和抗压强度 f_{rk} 标准值 49.3MPa ，属较硬岩；天然抗剪强度：

粘聚力 c 标准值 8.55MPa，内摩擦角 ϕ 标准值 45.97° ；饱和抗剪强度：粘聚力 c 标准值 8.26MPa，内摩擦角 ϕ 标准值 45.64° ；弹性模量 E 标准值 4.98MPa，泊松比 ν 标准值 0.26。

3 滑坡稳定性分析评价

3.1 滑坡稳定性分析

3.1.1 滑坡变形特征及发育史

勘察期间技术人员通过对当地居民进行的走访、询问，了解到在 2005 年 5 月以前本滑坡前缘斜坡基本处于原始地貌状态，未发生明显变形；5 月以后，阴雨天气较多，加之前缘斜坡受人为工程活动频繁影响，前缘斜坡开始产生裂缝变形，并继续向斜坡后缘发展至今，已于中后部产生规模巨大的滑坡陡坎（见照片 3-1），形成了滑坡典型的圈椅状地貌。滑体范围内马刀树、醉汉林随处可见，一些高大树木根系被裂缝错断裸露出来。该滑坡逢小雨小滑，逢大雨大滑，雨季时前缘斜坡常滑塌至 X233 公路路面，阻断交通。各种迹象表明，该滑坡仍在继续发展。

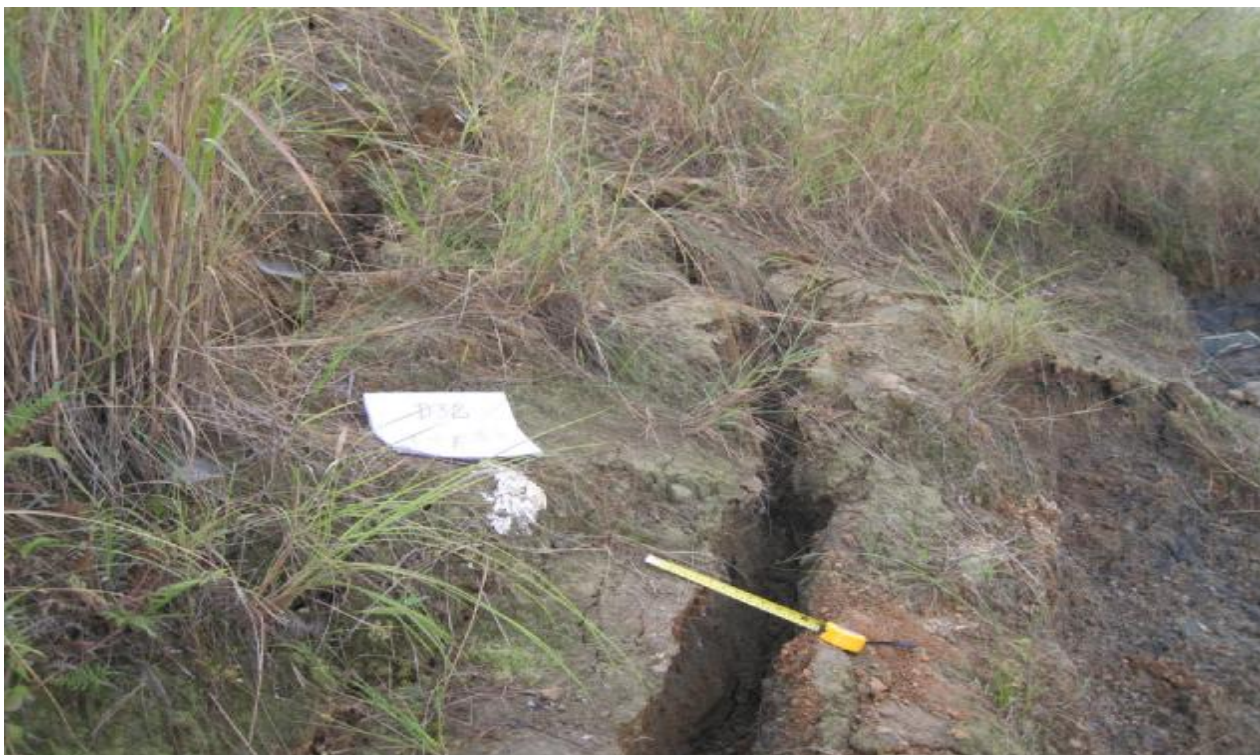


照片 3-1 滑坡中后部典型滑壁

野外调查表明，滑坡体不同部位有不同程度的变形、裂缝现象，其中滑体后缘拉张主裂缝走向 $300^\circ \sim 350^\circ$ ，宽度一般 20~50cm，可测深度一般 50~80cm，延伸长度一般超过 30m，单条发育；滑体前缘裂缝走向一般平行于主滑向，多为 $300^\circ \sim 320^\circ$ ，宽度较大，一般 30~80cm，局部可达 150cm，可测深度一般 100~150cm，延伸长度相对较小，一般小于 20m，多条近平行发育，次生裂隙密集；滑体中部裂缝发育不甚规则，多受地形影响发育成陡坎，走向不定，多呈弧状弯曲，宽度较大，一般 40~100cm，可测深度一般 150~300cm，延伸长度一般超过 30m，多条网状、羽状发育。典型裂缝见照片 3-2、3-3 和 3-4。



照片 3-2 滑坡后缘典型裂缝



照片 3-3 滑坡前缘典型裂缝



照片 3-4 滑坡中部典型裂缝

据钻探及物探成果，纵向上滑动面大范围贯通，滑面上擦痕长而显著，表明了上部滑体沿滑面已发生了明显的位移，最明显的就是在滑体前缘连续分布有新奥燃气管道标志，前缘右侧出现明显的剪出口，管道标志已被隆起的前缘鼓丘抬升、推移（见照片 3-5）。综合分析，本滑坡在现状条件下处于潜在的不稳定状态。

3.1.2 滑坡类型及变形破坏模式

勘察表明，本滑坡属地表坡残积土沿土岩界面软弱层滑动的土质滑坡。本滑坡体纵向长度 270m，横向宽度平均 205m，面积约 $5.34 \times 10^4 \text{m}^2$ ，平均滑体厚度约 20m，总体积 $106.8 \times 10^4 \text{m}^3$ 。按滑体体积分，该滑坡属巨型滑坡；按滑动体厚度分类，该滑坡属深层土质滑坡；按引起滑动的力学性质分类，该滑坡整体属推移式滑坡。

滑坡变形方式自前缘至中后部为推移式，巨型滑坡壁形成后，滑体后部失去支撑产生较规则的拉张裂缝，从推移式过渡到牵引式。对地表破坏主要表现为差异性

垂直和水平位移，对地表设施破坏性强。



照片 3-5 滑坡前缘剪出口

3.1.3 滑坡成因及影响因素

滑坡的形成包括三个基本条件和一个诱发因素，基本条件包括地层岩性及地质构造条件、地形及地貌条件、气候及径流条件，诱导因素如人工开挖坡脚、破坏自然排水系统、坡顶堆载、地震等。从本滑坡产生、发展的过程分析，地层岩性、地质构造、地形地貌条件是其产生的主导因素，气候及径流条件是本滑坡发展的重要条件，人类工程活动（斜坡前缘开挖形成高边坡、开挖坡脚）是本滑坡进一步发展的诱发因素。

（1）地层岩性条件

厚度较大的第四系残坡积松软土层和强风化破碎基岩为滑坡的形成提供了物质基础。滑坡区第四系土层厚度一般大于 15m，强风化破碎基岩厚度一般大于 5m，

土层以可塑～硬塑状含碎石粉质粘土、粉质粘土为主，强风化破碎基岩为粉砂岩，节理裂隙极发育，岩体多破碎呈碎块状、碎石状，结构松散、强度低，这种地层结构为易滑坡地层。

（2）地质构造条件

软弱层（面）的存在为滑坡的形成提供了良好的地质构造条件。在第四系松散堆积物与强风化粉砂岩之间普遍存在一条厚度约 2～5m 的软弱层，主要由软塑～可塑状粘性土组成，混杂较多强风化粉砂岩碎砾石。软弱层与稳定基岩产状基本一致，组合形成倾向坡外的外倾结构面，前部中部倾角 $18^{\circ} \sim 20^{\circ}$ ，后部倾角 25° ，这样的倾角组合可以使滑体产生一定的下滑分力，使软弱层发展成为滑动面。

（3）地形及地貌条件

本滑坡位于 NW—SW 向“八”字型山脊下方，山脊作为地形地貌单元的分界线，滑坡后缘主裂缝正是沿山脊下方的等高线弧形发育，形成了滑坡后缘边界；中部坡体自然坡度 $20^{\circ} \sim 25^{\circ}$ ，局部约 30° ，坡向与地层产状基本一致；滑坡前部坡脚处为人工切坡，高度约 3～10m，使滑坡体直接面对开阔平坦的公路而未受到任何阻力，为滑坡形成及滑动提供了足够的临空条件。

（4）气候及径流条件

滑坡区属亚热带海洋性季风气候，降雨丰沛，多年月平均降雨量大。处于独立的水文地质单元，汇水面积大。

滑坡中部地形较平坦，植被茂密，形成了较大面积的汇水区。大气降水后，因地表径流条件不佳，地表土质松软、多孔隙，降水迅速入渗，遇到软弱层（相对隔水层）后，在软弱层底部形成富水带，不仅严重降低了土体的抗剪强度，而且增加了上方滑体的重量，使滑体产生更大的下滑力。

（5）人类工程活动

人类工程活动是滑坡产生的诱发因素。特别是 2005 年后切坡施工，在斜坡前部坡脚处形成高度 3~10m 的人工边坡，使滑动带软弱层出露。人工边坡施工时挖除了部分能起到抗滑作用的坡脚岩土体，使滑坡体直接面对开阔平坦的公路而未受到有效阻力，为滑坡形成及滑动提供了足够的临空条件。

3.1.4 滑坡稳定性判断

野外勘察表明，本滑坡滑动面基本贯通、特征明显，滑坡区地表拉张裂缝发育，滑体土沿滑带位移明显，并有沉陷或隆起等异常现象，滑坡后缘形成明显的滑壁，滑坡前缘已形成明显的剪出口并持续位移。综合以上各种条件，宏观判断该滑坡处于临界状态~欠稳定状态。

3.2 滑坡稳定性计算

3.2.1 计算剖面及模型

选择平行于滑坡主滑方向的 I - I、II - II、III - III、IV - IV、V - V 共 5 条纵剖面进行计算，其中 I - I、II - II 及 III - III 这 3 条剖面计算结果起决定性作用，IV - IV 及 V - V 这 2 条剖面计算结果起辅助性作用。计算模型见附图 3。

3.2.2 计算方法及公式

本滑坡为折线形滑动面，采用传递系数法计算。计算公式采用《建筑边坡工程技术规范》（GB50330-2002）中的推荐公式：

$$K_s = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (R_i \prod_{j=i}^{n-1} y_j) + R_n}{\sum_{i=1}^{n-1} (T_i \prod_{j=i}^{n-1} y_j) + T_n}$$

$$y_j = \cos(q_i - q_{i+1}) - \sin(q_i - q_{i+1}) \tan f_{i+1}$$

$$\prod_{j=i}^{n-1} y_j = y_i \times y_{j+1} \times y_{j+2} \times \dots \times y_{n-1}$$

$$R_i = N_i \tan f_i + c_i L_i$$

$$T_i = W_i \sin q_i$$

$$N_i = W_i \cos q_i$$

$$W_i = V_{iu} g + V_{id} g' + F_i$$

式中：

K_s—滑坡稳定性系数；

ψ_j—传递系数。第 i 条块的剩余下滑力传递至第 i+1 块时的传递系数（j=i）；

R_i—作用于第 i 块的抗滑力（kN/m）；

T_i—作用于第 i 条块滑动面上的下滑分力（kN/m）；

N_i—第 i 条块滑动面的法向分力（kN/m）；

c_i—第 i 条块的粘聚力（kPa）；

φ_i—第 i 条块的内摩擦角（°）；

L_i—第 i 条块滑动面的长度（m）；

θ_i—第 i 条块底面倾角（°），反倾时取负值；

W_i—第 i 条块自重与建筑等地面荷载之和（kN/m）；

γ—岩土体的重度（kN/m³）；

F_i—第 i 条块所受地面荷载（kN/m）。

3.2.3 计算工况

目前滑坡区地下水基本稳定在中前部滑体底部、滑面以上，形成了滑带水，且自滑体前缘剪出口呈线状密集分布泉水，地下水渗流形成了一定的动水压力，对滑坡稳定影响较大，故按涉水考虑，水位以下岩土体取饱和重度；滑坡区属地震基本

烈度为Ⅵ度区，不考虑地震荷载影响；滑坡区地表无建筑物，不考虑地表荷载影响。

- 工况一：自重+天然状态
- 工况二：自重+强降雨（连续降雨）饱水状态

3.2.4 计算参数

勘察期间分别对滑体、滑带土（软弱层）取样测试，因局部土质不均、含有少量碎砾石，室内试验制样时对试样有一定的干扰，物理力学指标须剔除异常值，经统计后结合当地经验综合给定的岩土参数取值见下表 3-2。

滑坡稳定性计算参数取值表 表 3-2

地层编号		1-1	1-2	1-3
时代成因		Q ^{d1}	Q ^{e1}	Q
地层岩性		含碎石粉质粘土	粉质粘土	滑带土（软弱层）
重度 γ (kN/m³)	天然状态	15.6	16.5	16.9
	饱和状态	19.1	16.6	17.8
粘聚力 c (kPa)	天然状态	18.5	17.2	20.2
	饱和状态	--	18.9	13.5
内摩擦角 φ (°)	天然状态	14.2	14.6	14.8
	饱和状态	--	13.2	13.5

3.2.5 滑坡稳定性设计标准的确定

根据《建筑边坡工程技术规范》（GB50330-2002）表 5.3.1 规定，边坡工程稳定性安全系数与边坡工程安全等级和计算方法有关，按一级边坡、折线滑动法查表，安全系数 K_{st} 取值 1.35；综合滑坡现状稳定性、破坏后果严重性、治理难易程度等因素，本滑坡稳定性计算安全系数 K_{st} 取值 1.35。

3.2.6 计算结果

本滑坡稳定性计算过程详见附表 6，计算结果见下表 3-3。

滑坡稳定性计算结果表 表 3-3

剖面编号 工况	I - I	II - II	III - III	IV - IV	V - V
天然状态	1.49	1.24	1.89	1.09	1.66
饱水状态	1.25	1.01	1.55	0.89	1.38

3.3 滑坡稳定性综合评价

根据计算结果，参考通用性较强的重庆市地方标准《地质灾害防治工程勘察规范》（DB50/143-2003）中规定，其判别标准见下表 3-4。

滑坡稳定状态划分表 表 3-4

滑坡稳定系数 Ks	Ks<1.00	1.00≤Ks<1.05	1.05≤Ks<Kst	Ks≥Kst
滑坡稳定状态	不稳定	欠稳定	基本稳定	稳定
注：Kst 为滑坡稳定性安全系数				

综合计算结果表明，该滑坡在天然状态条件下处于欠稳定～基本稳定状态，强降雨饱水状态下处于不稳定～欠稳定状态。其中滑坡主滑面 I - I 及右侧的 2 条剖面 II - II、IV - IV 处于不稳定～欠稳定状态，而主滑面左侧的 2 条剖面 III - III 及 V - V 处于基本稳定～稳定状态，与野外观测到的滑坡变形特征现状基本吻合。详见下表 3-5。

滑坡稳定性判别表 3-5

剖面编号	工况	安全系数 Kst =1.35	
		稳定系数	评价结果
I - I	1	1.49	稳定
	2	1.25	基本稳定
II - II	1	1.24	基本稳定
	2	1.01	欠稳定
III - III	1	1.89	稳定
	2	1.55	稳定
IV - IV	1	1.09	基本稳定
	2	0.89	不稳定
V - V	1	1.66	稳定
	2	1.38	稳定

3.4 滑坡稳定性敏感因素分析

根据滑坡天然状态，利用滑坡主剖面 I - I 计算抗剪强度变化对滑坡稳定性影响程度，结果见下表 3-6。

主剖面 I - I 抗剪强度对滑坡稳定系数影响敏感性分析表 表 3-6

ϕ (°) C (kPa)	11	12	13	14	15	16	17	18	19
15	1.070	1.152	1.235	1.321	1.408	1.498	1.591	1.686	1.785
16	1.089	1.171	1.255	1.340	1.428	1.518	1.611	1.707	
17	1.109	1.190	1.274	1.360	1.448	1.538	1.631		
18	1.128	1.210	1.294	1.380	1.468	1.558			
19	1.147	1.229	1.313	1.399	1.488				
20	1.166	1.249	1.333	1.419					
21	1.186	1.268	1.352						
22	1.205	1.287							
23	1.224								

计算结果显示，当滑带土内聚力 C 值每增加 1kPa，滑坡稳定系数提高 0.019，当滑面内摩擦角 ϕ 值每增加 1°，滑坡稳定系数提高 0.08，表明滑带土内摩擦角 ϕ 的变化对滑坡稳定性影响更为显著。滑带土体内聚力随含水量增大降低幅度大，天然状态粘聚力 20.2 kPa，到饱水状态急剧降至 13.5 kPa，而含水量对内摩擦角影响较小，由天然状态的 14.8° 降至饱和状态的 13.5°。

勘察表明本滑坡是由人类工程活动诱发产生，在降水条件下加剧发展形成的。降水是影响本滑坡稳定性的主导因素。

4 滑坡发展变化趋势及危害性预测

4.1 发展趋势预测

本滑坡体纵向长度 270m，横向宽度平均 205m，面积约 $5.34 \times 10^4 \text{m}^2$ ，钻探揭露

滑体后部厚度约 25m，中部约 20m，前部约 12~15m，平均滑体厚度约 20m，总体积 $106.8 \times 10^4 \text{m}^3$ ，属巨型滑坡。据钻探及物探成果，纵向上滑动面大范围贯通，上部滑体沿滑面已发生了明显的位移，前缘公路边出现了明显的剪出口。滑坡体后缘裂缝发育加剧贯通，将会发生牵引蠕滑。综合分析，本滑坡在现状条件下处于潜在的欠稳定状态。如再遇较长期降雨，滑坡将进一步加速滑动，尤其是滑坡后缘范围将进一步扩大，产生更大的危害。

4.2 危害性预测

本滑坡位于东莞市清溪镇与凤岗镇交界的浸校塘村 X233 线东侧，目前该滑坡处于蠕滑阶段。一旦该滑坡发生滑动，将直接威胁到滑坡区数百人的生命、财产安全，同时会切断公路交通，破坏滑坡前缘公路路面、地下管线及标志设施，对滑坡后缘以外高压线塔产生威胁，同时对生态环境、地表植被、沟谷水系产生严重影响，甚至造成次级灾害，如泥石流等，经济损失巨大。详见表 1-1。

5 防治方案建议

5.1 工程支挡轴线工程地质特征论述

根据本滑坡的工程地质特征及力学性质，建议工程支挡轴线选择在剖面 VII - VII 附近。支挡范围地面高程 55~65m，高差约 10m，距主滑前缘水平距离约 40~60m。支挡主要对象为滑坡前缘由含碎石粉质粘土、粉质粘土及软弱层组成的主滑体，滑体下部为强~中风化粉砂岩滑床。滑体一般厚度 10~17m，两侧厚度较薄，中部地面平坦开阔，两侧较陡，自然坡度约 25~35°。支挡处有稳定的地下水，埋藏深度约 6~10m，水量较大。

根据钻探揭露，（含碎石）粉质粘土及以粘性土为主的软弱层为组成滑体的主要物质，该土层重度相对较小，干强度中等，粘性较好，韧性差，天然状态下自稳能力较好，可形成高约 3m 的近直立边坡，但在饱和状态下极易崩解，遇暴雨冲刷时局部易形成流土，在确定防治方案时应考虑粉质粘土的上述特性。工程支挡轴线处中风化粉砂岩裂隙不甚发育，岩体较完整，岩体呈薄层构造、块状结构，岩体完整性较好，力学性质较好。

5.2 防治方案建议

本滑坡治理应根据地形地貌、地质条件、稳定性影响因素来综合考虑，并应贯彻以下原则：

- (1) 预防为主，防治结合；
- (2) 综合治理与长期监测相结合；
- (3) 支挡工程与排水工程相结合。

5.2.1 支挡工程

根据滑坡的稳定情况、纵向剩余下滑力的大小及分布特征，采用二级支挡进行防治。对于一级支挡，采用抗滑桩进行支挡，桩位建议设置在剖面Ⅶ-Ⅶ一线，即滑坡前部平台区段；对于二级支挡，滑坡前缘形成高切坡地段采用格构式预应力锚杆（索）方式支护，坡脚可设置重力式挡墙。

抗滑桩施工包括施工准备、桩孔开挖、地下水处理、护壁、钢筋笼制作与安装、混凝土灌注及混凝土养护等工序。施工前应按工程要求进行备料，修建施工平台，井内外设置足够的照明设备，平整孔口施工场地，配备足够的井内排水设施和井内通风设施，并做好施工区的地表截、排水及防渗工作等施工准备。

抗滑桩开挖及临时支护循环程序为：施工放样→钻孔→爆破→通风散烟→出渣

及井壁修整→立模→浇筑护壁早强混凝土→进入下一循环施工。桩孔开挖以人工开挖为主，桩孔采用分序间隔方式开挖，每次间隔 1~2 孔，可根据施工单位施工能力自行调整，前序抗滑桩混凝土浇筑完成 7 天后进行后序抗滑桩的开挖施工。按由浅至深，由两侧向中间的顺序施工。表面松散层段采用人工开挖，孔口做锁口处理，桩孔身作护壁处理。基岩或坚硬孤石段采用人工钻孔爆破方式，为防止爆破振动造成塌孔和周边已完成的桩体破坏，应采用少药量、多炮眼的松动爆破方式，并进行爆破监测，爆破质点震动速度控制在 2.5m/s 以内。开挖基本成型后再人工刻凿孔壁至设计尺寸。由于地质条件差，抗滑桩井室高度大，井室开挖采用分层掘进的方法，一次最大开挖高度以不超过 1m 为宜，并及时进行井壁支护，防止井壁出现坍塌现象。对于坍塌严重段应采用先注浆后开挖的方法。弃渣采用卷扬机吊起，吊出后立即运至指定的渣场，以免堆放在滑坡体上，防止诱发次生灾害。

开挖护壁采用现浇早强混凝土，混凝土强度达到设计强度的 70%以上时，方可进行下一循环的施工，每开挖一段即护壁一节。为确保施工安全，对护壁钢筋混凝土采用型钢对撑等临时措施。桩孔经检查合格后进行桩身混凝土灌注，桩身混凝土灌注要求连续进行，不留施工缝。混凝土通过串筒或导管注入桩孔，每连续灌注 0.5~0.7m 时，插入振捣器振捣密实。对出露地表的抗滑桩及时用麻袋、草帘加以覆盖并养护，养护期在 7 天以上。

桩顶预应力锚索在桩体混凝土达到设计强度的 70%后开始施工，预应力锚索施工程序为：造孔→锚索加工→内锚固段固结灌浆→外锚墩打筑→锚索张拉段及外锚墩防腐处理→锚索张拉与锚固力锁定。可采用 GLP-150 钻机钻孔，导槽人工下锚方式、分级张拉施工，SNS-200/10 注浆泵灌浆。

5.2.2 排水工程

水是诱发滑坡的主要因素，治滑的关键之一是治“水”，所以排水工程对滑坡的稳定性起十分重要作用。建立完善地表排水系统，防止地面水浸入滑体。对地表裂缝进行粘土封塞处理，夯实松软地表土，对一些积水洼地进行回填；在滑坡范围内修筑排水沟，并作防渗处理；在滑坡后缘之外布设截水沟；在滑体前缘设置泄水通道，并结合墙背盲沟及结构泄水处理，坡面结合检查梯设急流槽，以及平台侧沟、路堑边沟等；对滑体前部设置深层排水系统，采用的方法为长水平钻孔或集水井。

5.2.3 监测系统

滑坡监测的目的是：为了解和掌握滑体的演变过程，及时捕捉滑坡灾害的特征信息，为滑坡的正确分析评价、预测、预报及治理工程提供可靠资料和科学依据。同时，监测结果也是滑坡分析评价及防治工程效果的重要参数。因此，监测既是滑坡调查、研究和防治工程的重要组成部分，又是滑坡地质灾害预测信息获取的一种有效手段。

滑坡监测技术方法通常有地面宏观形迹的简易观测、地面仪器监测、空间遥测和遥感监测、综合的实时监测预报系统等。根据专家评审意见，勘察单位建议对该滑坡建立地表与深部相结合的综合立体监测网，并与长期监测相结合；滑坡监测方法的确定、仪器的选择，既要考虑到能反映滑坡体的变形动态，又要考虑到仪器维护方便和节省投资。滑坡监测系统包括仪器安装，数据采集、传输和存储，数据处理，预测预报等，所采用的监测仪器必须具有仪器生产准许证，产品质量合格。使用前，须经过国家有关计量部门标定，并具有相应的质检报告。

滑坡监测内容一般包括：地表大地变形监测、地表裂缝位错监测、地面倾斜监测、建筑物变形监测、滑坡裂缝多点位移监测、滑坡深部位移监测、地下水监测、孔隙水压力监测、滑坡地应力监测等。应建立地表与深部相结合的综合立体监测网。

地表大地变形监测是滑坡监测中常用的方法。监测点的选定应根据崩塌滑坡的平面形态布设监测网点，监测网点分控制点和监测点，控制点埋设在崩滑体区外围，为相对不动点，监测点布设在崩滑体内，一般布设上、中、下三条直线主要是为控制崩滑体变形化范围，用视准线测量监测点的位移变化动态。可采用全站仪、GPS等测量仪器了解滑坡体水平位移、垂直位移以及变化速率，点位误差要求不超过 $\pm 2.6\sim 5.4\text{mm}$ ，水准测量每公里中误差小于 $\pm 1.0\sim 1.5\text{mm}$ 。

地表裂缝位错监测是监测滑体中裂缝两侧相对张开、闭合变化情况，监测点选择在裂缝两侧，特别是主裂缝（滑坡体与边界外稳定体之间的裂缝）两侧，监测点一般两个一组，测量其距离或在裂缝两侧设固定标尺，以观测裂缝张开、闭合和垂直变化，此外，还可在建筑物（电塔基座、挡土墙、浆砌片石沟侧壁等）的裂缝上贴水泥砂浆片等观测该裂缝的变化情况。可采用伸缩仪、位错计，或千分卡直接量测，测量精度 $0.1\sim 1.0\text{mm}$ 。

地下水动态监测应以了解地下水位为主，可进行地下水孔隙水压力、扬压力、动水压力及地下水水质监测。

滑坡深部位移监测是监测滑坡体整体变形的重要方法，用以指导防治工程的实施和效果检验。可采用钻孔倾斜仪了解滑坡深部，特别是滑带的位移情况，系统总精度不超过 $\pm 5\text{mm}/15\text{m}$ 。

锚索测力计用于预应力锚索监测，以了解预应力动态变化和锚索的长期工作性能，为工程实施提供依据。可采用轮辐式压力传感器、钢弦式压力盒、应变式压力盒、液压式压力盒进行监测。长期监测的锚杆数不少于总数的5%。

压力盒用于抗滑桩受力和滑带承重阻滑受力监测，以了解滑坡体传递给支挡工程的压力。压力传感器依据结构和测量原理区分，种类繁多，使用中应考虑传感器的量程与精度、稳定性、抗震及抗冲击性能、密封性等因素。

上述监测方法的测量次数和时间间隔应随滑坡所处阶段以及主要动力破坏因素的不同而有所差异，滑坡变形缓慢阶段（蠕动阶段）监测宜每月一次，滑坡变形加快时监测次数相应加密，雨季应加密监测次数。监测工作应连续进行，直到其经防治工程治理后不再变形为止。每次监测需作好野外记录，并将其制成表格，并绘制观测时间——位移曲线图、平面位移矢量图、时间位移曲线图和降雨量关系图等，及时进行监测工作总结，为预测滑坡发展趋势和防治工程设计提供基础资料。

监测的最终目的在于预报灾情，达到防灾减灾的目的，为保证人民生命财产安全，滑坡监测站应建立有线（电话、磁石单机）和无线（甚高频、短波单边带）通信联络险情警报系统，若发现险情，应立即上报主管部门，将险区内人员撤离，把灾害损失到最低限度，确保人民生命安全。

6 结论及建议

6.1 结论

（1）滑坡地段地形地貌及水文地质条件较复杂、地质构造及地层组合相对简单，其周边人类工程活动强烈。

（2）本滑坡体面积约 $5.34 \times 10^4 \text{m}^2$ ，平均滑体厚度约 20m，总体积 $106.8 \times 10^4 \text{m}^3$ 。按滑体体积分类，该滑坡属巨型滑坡；按滑动体厚度分类，该滑坡属深层土质滑坡；按引起滑动的力学性质分类，该滑坡整体属推移式滑坡，纵向滑面呈折线型。

（3）从本滑坡产生、发展的过程分析，地层岩性、地质构造、地形地貌条件是其产生的主导因素，气候及径流条件是本滑坡发展的重要条件，人类工程活动是本滑坡诱发的诱发因素。

（4）该滑坡在天然状态条件下处于欠稳定～基本稳定状态，强降雨饱水状态

下处于不稳定～欠稳定状态。

6.2 建议

6.2.1 治理工程设计参数建议

滑体土：

1-1 含碎石粉质粘土（ Q^{dl} ）：天然重度 $\gamma = 15.6 \text{KN/m}^3$ ；饱和重度 $\gamma_{sr} = 19.1 \text{KN/m}^3$ ；渗透系数 $k = 4.15 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ ；压缩系数 $a_v = 0.62$ ，压缩模量 $E_s = 3.09 \text{MPa}$ ；天然状态粘聚力 $c = 18.5 \text{kPa}$ ，内摩擦角 $\phi = 14.2^\circ$ ；基本承载力容许值，对于可塑状土取 150kPa ，对于硬塑状土取 180kPa ；桩周土摩阻力标准值，对于可塑状土取 40kPa ，对于硬塑状土取 55kPa 。

1-2 粉质粘土（ Q^{el} ）：天然重度 $\gamma = 16.5 \text{KN/m}^3$ ；饱和重度 $\gamma_{sr} = 16.6 \text{KN/m}^3$ ；渗透系数 $k = 1.13 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ ；压缩系数 $a_v = 0.59$ ，压缩模量 $E_s = 3.26 \text{MPa}$ ；天然抗剪强度：粘聚力 $c = 17.2 \text{kPa}$ ，内摩擦角 $\phi = 14.6^\circ$ ；饱和抗剪强度：粘聚力 $c = 18.9 \text{kPa}$ ，内摩擦角 $\phi = 13.2^\circ$ ；基本承载力容许值，对于可塑状土取 160kPa ，对于硬塑状土取 200kPa ；桩周土摩阻力标准值，对于可塑状土取 45kPa ，对于硬塑状土取 60kPa 。

滑带土

天然重度 $\gamma = 16.9 \text{KN/m}^3$ ；饱和重度 $\gamma_{sr} = 17.8 \text{KN/m}^3$ ；渗透系数 $k = 3.37 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ ；压缩系数 $a_v = 0.50$ ，压缩模量 $E_s = 4.35 \text{MPa}$ ；天然抗剪强度：粘聚力 $c = 20.2 \text{kPa}$ ，内摩擦角 $\phi = 14.8^\circ$ ；饱和抗剪强度：粘聚力 $c = 13.5 \text{kPa}$ ，内摩擦角 $\phi = 13.5^\circ$ ；天然残余抗剪强度：粘聚力 $c = 18.0 \text{kPa}$ ，内摩擦角 $\phi = 15.8^\circ$ ；饱和残余抗剪强度：粘聚力 $c = 18.0 \text{kPa}$ ，内摩擦角 $\phi = 15.4^\circ$ ；基本承载力容许值取 80kPa ，桩周土摩阻力标准值取 30kPa 。

滑床岩石

滑床岩石为粉砂岩，中风化粉砂岩天然重度 $\gamma = 26.7 \text{ kN/m}^3$ ；天然抗压强度 $f = 62.7 \text{ MPa}$ ，饱和抗压强度 $f_{rk} = 49.3 \text{ MPa}$ ；天然抗剪强度：粘聚力 $c = 8.55 \text{ MPa}$ ，内摩擦角 $\phi = 45.97^\circ$ ；饱和抗剪强度：粘聚力 $c = 8.26 \text{ MPa}$ ，内摩擦角 $\phi = 45.64^\circ$ ；弹性模量 $E = 4.98 \times 10^4 \text{ MPa}$ ，泊松比 $\nu = 0.26$ ；弹性抗力系数 $k_0 = 200 \text{ MN/m}^3$ （查《工程地质手册》取的经验值）；基本承载力容许值取 2000 kPa 。

粘结强度取值：中风化粉砂岩与锚固体粘结强度特征值取 400 kPa ，强风化粉砂岩与锚固体粘结强度特征值取 150 kPa ；土体与锚固体粘结强度特征值取 60 kPa 。

上述基本承载力容许值及桩周土摩阻力标准值依据规范《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTG D60-2007）取值；岩体破裂角取值：根据 GB50330—2002 第 6.3.4 条之规定，边坡岩体破裂角（粉）砂岩取 61° 。

6.2.2 治理措施建议

根据滑坡的稳定情况、纵向剩余下滑力的大小及分布，采用二级支挡进行防治。建议一级支挡用抗滑桩进行支挡，桩位建议设置在剖面 VII-VII 一线；二级支挡采用滑坡前缘坡脚挡墙和预应力锚杆（索）格构或其它形式支护，并与治“水”措施同步进行，滑坡的防治应结合公路规划采用综合防治措施。

同时，必须考虑滑坡受地层产状制约较明显，本（滑坡）滑动方向与地层倾向基本一致，建议设计在治理下部滑体时要考虑滑体上部未滑动部分的稳定性，以免产生上部进一步的滑动。建议尽快对本滑坡进行治理，在治理工程设计前对支挡工程线进行补充勘察。

6.2.3 建筑材料建议

根据建议方案，防治工程主要的建筑材料为钢筋及混凝土，可采用凤岗镇骏宇混凝土公司生产的混凝土，该公司生产的混凝土质量良好，符合建设工程质量要求，运输距离约 4 km ；可采用东莞高上钢材有限公司生产的钢筋，强度高、质量好，符

合建设工程质量要求，运输距离约 40 km 。