

梁平县城东乡滑坡

岩土工程勘察报告

1 前言

1.1 工程概况

本次勘察滑坡体位于梁平县城东乡，管线 JHC057 至 JHC058 段的上方。滑坡体上部暂时还未破坏，宽度约为 27.0m，顺主滑方向长约 45.0m；目前已经滑动破坏的部分主要是下半部分，其前缘位于坡底部，最大裂缝约 20cm，滑坡前缘宽度约为 50m，顺主滑方向长约 50.0m，滑体平均厚度约为 5.6m，体积约 18520m³。

1.2 地质灾害概况及危害情况

根据本次勘查资料，滑坡区地形地貌简单，单斜地层，岩土组成种类较简单，地质构造简单，为顺层滑坡，岩性岩相变化不大，地表上层地下水丰富，管道铺设影响坡角稳定性，及雨水引起的地下水流量增大是造成滑坡的主要原因。综合评价该滑坡地质环境复杂程度级别为简单。

根据滑坡及影响区实物指标调查结果，该滑坡一旦复活，一旦再次活动，将严重危及下方天然气管道的安全，其中影响长度 50-60m，可能导致天然气管道破裂或挤压变形。因此，必须对滑坡进行有效地治理，才能真正保护国家和人民生命财产的安全，尽可能减少经济损失。

1.3 防治工程等级

该滑坡危害对象为川气东送天然气管管道，及上方公路安全，直接经济损失小于 500 万元，其防治工程等级为Ⅲ级。

本次勘探范围主要集中在滑坡体上及滑坡体周边区域。比例尺 1/500 的滑坡区工程地质测绘范围，面积 0.05km²。

1.4 勘察目的、任务

本次勘察的主要目的、任务是查明和研究以下问题：

(1) 查明该滑坡所处的地质环境，包括地形地貌、地层岩性、坡体结构、地质构造、水文地质条件、工程地质条件等。

(2) 查明该滑坡空间分布范围及形态特征、厚度变化、规模大小及滑带发育情况，研究滑坡的形成机制。

(3) 详细调查该滑坡上建筑物的类型、分布、数量、地基处理和变形破坏等情况,预测滑坡的稳定性及其危害程度,预测评价地下水变化对滑坡稳定性的影响。

(4) 对设计的治理工程轴线、场地和重点部位进行针对性的工程地质勘探和测试,进一步查明边界条件,复核有关物理力学指标及计算参数,为治理工程初步设计提供所需的工程地质资料。

(5) 对治理工程措施、结构型式、埋置深度和工程施工等提出工程地质方面的要求和建议。

1.5 技术依据

本次勘察的主要技术依据如下:

- 1) 川鲁天然气管道岩土工程勘察统一技术规定(报批后修订版)
- 2) 《输油气管道岩土工程勘察规范》(SY/T 0053-2004);
- 3) 《岩土工程勘察规范》(GB 50021-2001);
- 4) 《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2001);
- 5) 《土工试验方法标准》(GB/T 50123-1999);
- 6) 《建筑工程地质钻探技术标准》(JGJ 87-92);
- 7) 《岩土工程勘察制图标准》(SY/T 0051-2003);
- 8) 《建筑边坡工程技术规范》(GB50330-2002)
- 9) 《工程测量规范》(GB50026-93)
- 10) 《地质灾害防治工程勘察规范》(DB50/143-2003)

1.6 现场勘察工作概况

1.6.1 勘察工作方法

本次勘察以工程地质调绘、钻探和室内试验为主,并辅以工程测量(包括1:500地形图测量及定点测量)、挖探等多种现场勘测手段进行工程勘察,对所取资料进行综合分析利用。

1.6.2 勘探工作量及完成情况

野外勘察工作以钻探为主,并结合地质调查。本次详细勘察工作于2009年6月26日—7月3日完成外业勘察,于2009年7月14日完成室内土工试验,所布置的勘察工作量查明了该滑坡的分布范围、地质条件、物质组成及结构特征。

完成实物工作量详见“勘察工作量统计表”表 1。

表 1 勘查主要工作量一览表

| 分部分项工程名称 | | 单位 | 完成工作量 | 备 注 |
|------------|-------------|-----------------|-------|---------|
| 工程地质 测绘 | 1:500 地形图测量 | km ² | 0.05 | |
| | 点位测量 | 点 | 16 | |
| 勘探工程 | 钻孔 | m/孔 | 96/6 | |
| 室内试验 | 土岩样 | 组 | 8 | 具体见技术要求 |
| 报告 | 勘查报告 | 套 | 1 | |

2、自然条件及地质环境条件

滑坡位于梁平县城东乡，距白竹槽隧道进口处约 300m 的一处山坡。滑坡范围见平面图。区内交通便利，有乡间小路通至滑坡前缘，滑坡后缘上部为盘山公路，坡面原为水稻田。滑坡坡脚有川气东送天然气管道。

2.1 自然条件

2.1.1 勘察区气象特征

梁平属于四川盆地东部暖湿亚热带气候区域。季风气候显著，四季分明，气候温暖，雨量充沛，日照偏少。主要特点是：春季气温不稳定，初夏多阴雨，盛夏炎热多伏旱，秋多绵雨，冬季暖和，无霜期长，湿度大，云雾多。

2.1.2、勘察区地下水特征

根据地下水含水层的岩性、赋存状态和水动力学等特征，勘察区地下水主要为基岩裂隙水。

勘察区地下水量小，以上层滞水为主，地下水主要赋存在中侏罗系泥岩-砂岩层的节理、裂隙中。赋水性与岩体节理、裂隙的大小、密度、以及连通性等密切相关，分布不均匀，主要取决于节理裂隙发育程度。区内地下水主要靠大气降水、地表水和邻区地下水补给，由坡顶顺岩土交界层面向下渗流，当水量增大时，上层土的摩擦力降低，下滑力加大，对滑坡影响较大。滑坡体为庄稼地，基本无污染，地下水弱腐蚀性。

2.2 地质环境

2.2.1 地形地貌

滑坡区域地貌属于构造侵蚀剥蚀丘陵区，山脉走向与区域构造线方向基本一

致。区内地形相对高差约 28m。坡积土厚度一般大于 5 米，下伏主要为砂岩。

2.2.2 地质构造

梁平地质构造属新华夏系四川沉积褶皱带川东褶皱带的一部分。构造线总体为北东向，主要背斜倾向西北，局部扭转倾向相反，故造成两翼不对称，即南北翼陡，北西翼不对称褶皱，背斜轴部挤压强烈，褶皱的组合形态为狭长梳状高背斜与宽缓向斜相间排列，形成隔挡式构造。

2.2.3 地震

滑坡区域褶皱、断裂不发育，地块隆起是其主要表现特征，地震活动较少，总体上表现出地块较强的稳定性和完整性，未发现断裂带。

勘察区地震活动相当微弱，据《中国地震动参数区划图》（GB18306-2001）和《建筑抗震设计规范》（GB 50011-2001），勘察区基本地震烈度为 VI 度，场地地震反应谱特征周期 $T=0.35s$ ，地震动峰值加速度 $a<0.05g$ 。

2.1.2、勘察区地下水特征

根据地下水含水层的岩性、赋存状态和水动力学等特征，勘察区地下水主要为基岩裂隙水。

勘察区地下水量小，以上层滞水为主，地下水主要赋存在中侏罗系泥岩-砂岩层的节理、裂隙中。赋水性与岩体节理、裂隙的大小、密度、以及连通性等密切相关，分布不均匀，主要取决于节理裂隙发育程度。区内地下水主要靠大气降水、地表水和邻区地下水补给，由坡顶顺岩土交界层面向下渗流，当水量增大时，上层土的摩擦力降低，下滑力加大，对滑坡影响较大。滑坡体为庄稼地，基本无污染，地下水弱腐蚀性。

2.2 地质环境

2.2.1 地形地貌

滑坡区域地貌属于构造侵蚀剥蚀丘陵区，山脉走向与区域构造线方向基本一致。区内地形相对高差约 28m。坡积土厚度一般大于 5 米，下伏主要为砂岩。

2.2.2 地质构造

梁平地质构造属新华夏系四川沉积褶皱带川东褶皱带的一部分。构造线总体

为北东向，主要背斜倾向西北，局部扭转倾向相反，故造成两翼不对称，即南北翼陡，北西翼不对称褶皱，背斜轴部挤压强烈，褶皱的组合形态为狭长梳状高背斜与宽缓向斜相间排列，形成隔挡式构造。

2.2.3 地震

滑坡区域褶皱、断裂不发育，地块隆起是其主要表现特征，地震活动较少，总体上表现出地块较强的稳定性和完整性，未发现有断裂带。

勘察区地震活动相当微弱，据《中国地震动参数区划图》（GB18306-2001）和《建筑抗震设计规范》（GB 50011-2001），勘察区基本地震烈度为VI度，场地地震反应谱特征周期 $T=0.35s$ ，地震动峰值加速度 $a<0.05g$ 。

最大深度约 30cm，裂缝最大拉张宽度约 10cm，而且还有继续扩大的趋势，严重威胁到了公路及天然气管道安全。

从总体上来看，造成滑坡的成因主要有以下几点：

- 1、坡体结构是形成滑坡的物质基础。本处为顺向坡，坡度 22 度左右，与岩层倾角基本一致，上部坡积的粉质粘土，结构松散，易渗水，下部砂岩相对隔水，从而形成滑动带，使其具备了滑坡的条件。
- 2、天然气管沟开挖过程中，由于土方开挖等工程因素，造成岩土体结构松动，管沟边坡形成临空面，边坡岩土体发生应力重分布，是滑坡产生的直接诱因。
- 3、下雨也是形成滑坡的另一重要因素。

3.4 滑坡岩土物理力学性质

3.4.1 滑体岩土物理力学性质

勘察期间在钻孔中采取滑体土样进行室内试验，其试验结果见附件，其主要参数统计分析见表 3.1。

表 3.1 滑体粉质粘土物理力学性质统计表

| 样品编号 | 物理性质 | | | | | | | 天然快剪 | | 饱和快剪 | |
|------|-------|-------------------|-------|---------|------|----------------|----------------|-------|-------|------|------|
| | 天然含水量 | 天然密度 | 天然孔隙比 | 液限 10mm | 塑限 | 塑性指数 | 液性指数 | 粘聚力 | 内摩擦角 | 粘聚力 | 内摩擦角 |
| | % | kN/m ³ | | % | % | I _p | I _l | kPa | ° | kPa | ° |
| ZK1 | 31.9 | 1.9 | 0.936 | 42.1 | 26.0 | 16.1 | 0.37 | 24.10 | 12.30 | 11.3 | 9.30 |

| | | | | | | | | | | | |
|-----------|------|-----|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ZK2 | 38.1 | 1.8 | 1.113 | 44.0 | 27.9 | 16.1 | 0.63 | 21.60 | 8.00 | 14.4 | 5.70 |
| ZK4 | 29.1 | 1.9 | 0.849 | 36.0 | 20.9 | 15.1 | 0.54 | 20.10 | 9.10 | 12.0 | 6.90 |
| ZK6 | 29.4 | 1.9 | 0.867 | 44.0 | 25.6 | 18.4 | 0.21 | 32.10 | 13.50 | 23.2 | 10.10 |
| 样本数 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 最小值 | 29.1 | 1.8 | 0.849 | 36.0 | 20.9 | 15.1 | 0.21 | 20.10 | 8.00 | 11.3 | 5.7 |
| 最大值 | 38.1 | 1.9 | 1.113 | 44.0 | 27.9 | 18.4 | 0.63 | 32.10 | 13.50 | 23.2 | 10.1 |
| 平均值 | 32.1 | 1.9 | 0.941 | 41.5 | 25.1 | 16.4 | 0.44 | 24.48 | 10.73 | 15.2 | 8.0 |
| 标准差 | | | | | | 1.399 | 0.186 | 5.344 | 2.598 | 5.480 | 2.049 |
| 变异系数 | | | | | | 0.09 | 0.43 | 0.22 | 0.24 | 0.36 | 0.26 |
| 标准值 f_k | | | | | | 14.82 | 0.22 | 18.36 | 7.75 | 8.95 | 5.65 |

3.4.2 滑床岩土物理力学性质

勘察期间在钻孔采取滑床岩样 4 组进行室内试验，均为砂岩。试验项目包括天然密度、饱和单轴抗压强度和两组天然直剪。试验方法严格按照工程岩体试验方法标准执行。其试验结果见岩石、土物理力学试验报告。

表 3.2 砂岩物理力学性质统计表

| 野外 编号 | 天然块体密度 (g/cm ³) | | | 饱和单轴抗压强度 (MPa) | | | 天然直剪 | |
|----------------|-----------------------------|------|------|----------------|-------|-------|-----------|--------------------|
| | | | | | | | 凝聚力 (MPa) | 内摩擦角 φ (°) |
| Zk1-岩 | 2.72 | 2.73 | 2.72 | 22.90 | 22.60 | 23.70 | 3.1 | 44.0 |
| Zk2-岩 | 2.74 | 2.73 | 2.75 | 30.30 | 29.10 | 27.10 | 3.8 | 44.7 |
| Zk3-岩 | 2.75 | 2.74 | 2.75 | 32.90 | 28.70 | 31.00 | | |
| Zk4-岩 | 2.74 | 2.76 | 2.75 | 30.80 | 31.40 | 29.70 | | |
| 样本数 n | 12 | | | 12 | | | | |
| 平均值 f_m | 2.7 | | | 28.4 | | | | |
| 标准差 σ_f | 0.01 | | | 3.51 | | | | |
| 变异系数 δ | 0.005 | | | 0.124 | | | | |
| 修正系数 ψ | 0.998 | | | 0.935 | | | | |
| 标准值 | 2.7 | | | 26.5 | | | | |

(说明：勘察取芯时有部分岩石较破碎，建议标准值折减 0.5)

3.5 稳定性计算

3.5.1 计算方法

根据《岩土工程勘察规范》条文说明 5.2.8 条，推荐的滑坡稳定性计算公式计算本滑坡的稳定系数。

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \left(R_i \prod_{j=i}^{n-1} \psi_j \right) + R_n}{\sum_{i=1}^{n-1} \left(T_i \prod_{j=i}^{n-1} \psi_j \right) + T_n}$$

(1)

其中

$$\psi_j = \cos(\theta_i - \theta_{i+1}) - \sin(\theta_i - \theta_{i+1}) \tan \varphi_{i+1}$$

$$\prod_{j=i}^{n-1} \psi_j = \psi_i \cdot \psi_{i+1} \psi_{i+2} \cdots \psi_{n-1}$$

$$R_i = (N_i - u_i) \tan \varphi_i + c_i L_i$$

$$N_i = w_i \cos \theta_i$$

$$T_i = w_i \sin \theta_i$$

式中： F_s —稳定系数；

w_i —第 i 块段滑体所受的重力 (kN/m)；

R_i —作用于第 i 块段的抗滑力 (kN/m)；

T_i —作用于第 i 块段的滑动分力 (kN/m)；

c_i —第 i 块段土的粘聚力 (kPa)；

φ_i —第 i 块段土的内摩擦角 (°)；

L_i —第 i 块段滑动面长度 (m)。

滑坡推力计算公式为：

$$E_i = k w_i \sin \alpha_i + \psi_i E_{i-1} w_i \cos \alpha_i - c_i L_i \quad (2)$$

式中： E_i —第 i 块剩余下滑力 (kN/m)；

E_{i-1} —第 $i-1$ 块剩余下滑力 (kN/m)；

k —安全系数；其余参数同前。

若所得某条块的滑坡推力为负值时，说明自该条块以上的滑体是稳定的，并考虑其对下一条块的推力为零。

3.5.2 滑坡稳定性计算

选取滑坡主剖面计算稳定性，计算分块见图 3.5.2 和 3.5.3。

图 3.5.2 上部斜坡计算分块见图

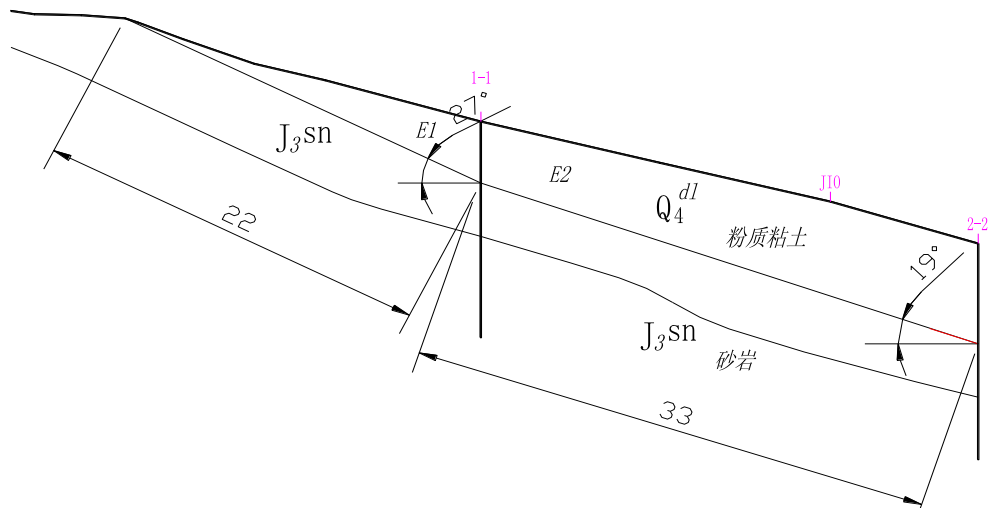


表 3.3 斜坡稳定性计算表

| 剖面编号 | 计算工况 | 条块号 | 地面线长度 | 条块重量 (KN/m) | 计算面倾角 (°) | 内聚力 (KPa) | 内摩擦角 (°) | 下滑力 (KN/m) | 累积下滑力 (KN/m) | 抗滑力 (KN/m) | 累积抗滑力 (KN/m) | 传递系数 | 稳定系数 | 稳定状态 |
|--------|------|-----|-------|-------------|-----------|-----------|----------|------------|--------------|------------|--------------|------|------|------|
| A-A' 上 | 天然 | E1 | 22 | 1955 | 27 | 26.1 | 11.3 | 966.8 | 966.8 | 953.4 | 953.4 | | | |
| | | E2 | 33 | 6720 | 27 | 26.1 | 11.3 | 1559.9 | 2490.5 | 1766.6 | 2684.2 | 0.96 | 1.08 | 基本稳定 |
| | 饱和 | E1 | 22 | 2155 | 19 | 17.6 | 8.5 | 967.6 | 967.6 | 670.8 | 670.8 | | | |
| | | E2 | 33 | 6720 | 19 | 17.6 | 8.5 | 1560.6 | 2497.3 | 1257.9 | 1908.2 | 0.97 | 0.77 | 不稳定 |

图 3.5.3 下部已破坏斜坡计算分块见图

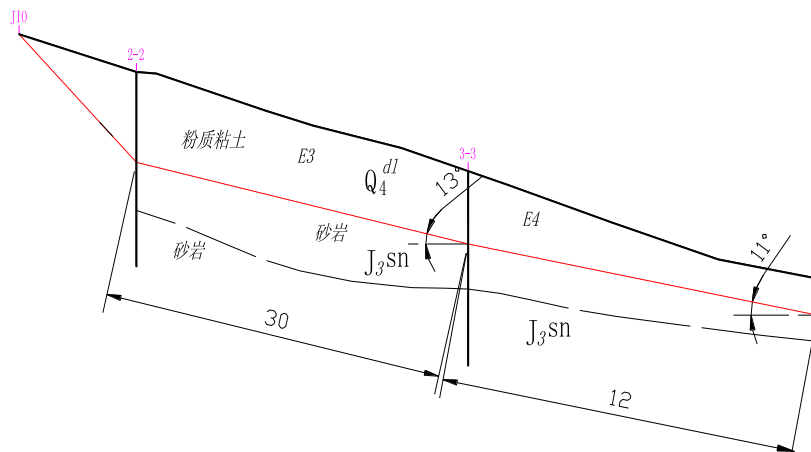


表 3.4 斜坡稳定性计算表

| 剖面编号 | 计算工况 | 条块号 | 地面线长度 | 条块重量 (KN/m) | 计算面倾角 (°) | 内聚力 (KPa) | 内摩擦角 (°) | 下滑力 (KN/m) | 累积下滑力 (KN/m) | 抗滑力 (KN/m) | 累积抗滑力 (KN/m) | 传递系数 | 稳定系数 | 稳定状态 |
|-----------|------|-----|-------|-------------|-----------|-----------|----------|------------|--------------|------------|--------------|------|------|------|
| A-A' 下 | 天然 | E3 | 30 | 6300 | 13 | 13.43 | 7.66 | 963.00 | 963.00 | 964.31 | 964.31 | 0.99 | 1.03 | 基本稳定 |
| | | E4 | 12 | 2484 | 11 | 13.43 | 7.66 | 360.63 | 1327.23 | 410.68 | 1369.88 | 1.01 | | |
| | 饱和 | E3 | 30 | 6300 | 13 | 7.27 | 5.56 | 1552.79 | 1552.79 | 624.44 | 624.44 | 1.00 | 0.5 | 不稳定 |
| | | E4 | 12 | 2484 | 11 | 7.27 | 5.56 | 253.97 | 1781.29 | 267.84 | 894.98 | 1.01 | | |

(注：上部累计剩余下滑力为：饱和状态为 589.1 KN/m 直接作用于 E3 块体；天然状态处于基本稳定状态)

经计算：斜坡上半部分在天然状态（旱季）稳定系数为 1.08，其处于暂时稳定状态，在饱和状态（雨季）时稳定系数为 0.77，处于不稳定状态；斜坡下半部分在天然状态（旱季）稳定系数为 1.03，其处于基本稳定状态，在饱和状态（雨季）时稳定系数为 0.50，处于不稳定状态。

4、边坡治理方案建议

整个斜坡在饱和状态（雨季）时稳定系数都小于 1.0，处于不稳定状态，易产生整体下滑，威胁公路及天然气管道的安全。由于该滑坡所在的斜坡下半部分已经发生明显的蠕滑错动，因此应按滑坡治理原则选取治理方案。滑坡治理原则是：技术可行、经济合理、不留后患。对于支挡工程的位置，尽可能利用滑体抗

滑段的抗滑力，以减少支挡结构的荷载。

建议对该段斜坡采取抗滑桩墙的支挡措施，在其后缘与中部设置排（截）水沟。滑坡的治理应避开雨季，在桩基坑开挖中应对坑壁进行有效的支护，抗滑桩施工时应分段跳桩施工，确保施工安全。

建议抗滑桩墙基础应嵌入滑动面下中等风化的基岩层中其深度不小于 8m。

岩石天然抗压强度标准值取砂岩 26.5MPa。

岩体天然块体密度 2.7g/cm³，饱和容重取 26.5kN/m³。

安全系数建议取 1.3。

潜在不稳定面饱和快剪残值强度 c 为 9.25kPa、 ϕ 为 6.3°。

滑体天然快剪 C 值为 18.36kPa， ϕ 值为 7.75°；饱和快剪 C 值为 8.95kPa， ϕ 值为 5.65°。

土体水平抗力系数的比例系数 m 取 15MN/m⁴。

岩体水平抗力系数 K 取 60MN/m³。

依据线路工程勘察所取附近地区水样试验结果，地表水水化学类型为 Ca-HCO₃ 水，对钢筋混凝土中的钢筋和混凝土结构无腐蚀性，对钢结构具弱腐蚀性。地下水水化学类型为 Ca-HCO₃ 水，对钢筋混凝土中的钢筋和混凝土结构无腐蚀性，对钢结构具弱腐蚀性。

5、结论和建议

5.1 建议在工程施工前，应先回填边坡上已有拉张裂缝并夯实，防止降雨时地表水大量渗入滑体内，进一步恶化滑体的稳定性。施工时，应尽量避免对坡体的大量扰动，施工过程中如发现异常，应通知勘察单位，会同各有关部门，做好验槽工作，并进行妥善处理。

5.2 应不定时地清除截排水沟中的淤泥，以免截排水设施起不到应有的作用。

5.3 建议在施工期间对滑坡进行人工观测，及时了解施工对滑坡的影响和滑坡变形的发展趋势，保证施工安全。

5.4 在滑坡的北侧，即 ZK2 附近山坡拐角处，存在滑坡隐患，建议提前预防处理。在滑坡南侧，即 ZK2 南约 20m 处，有近垂直土坡，且与天然气管道距离很近，存在滑坡隐患，建议提前预防处理。