

# 龙头石水电站库区干海子移民场地稳定性研究

杨富莲<sup>1</sup>, 白彦波<sup>2</sup>, 罗选红<sup>3</sup>

(1. 河南理工大学土木工程学院, 焦作 454000;

2. 成都理工大学环境与土木工程学院, 成都 610059; 3. 铁道第一勘察设计院, 西安 710054)

**摘要:**在掌握现有的工程地质资料的基础上, 根据现场勘察测绘及试验等综合分析结果, 对拟建的干海子移民安置场地的稳定性及工程建设适宜性作出工程地质评价, 为不良地质问题的治理提供合理建议及技术依据, 并对后期工程建设提供科学的依据。

**关键词:**滑坡; 塌滑变形; 地基

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)02-0124-03

## Study on Stability Ganhaizi Migration Field Longtoushi Power Station Reservoir Area

YANG Fu-lian<sup>1</sup>, BAI Yan-bo<sup>2</sup>, LUO Xuan-hong<sup>3</sup>

(1. Civil Engineering Department of Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China;

2. College of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China

3. The First Survey & Design Institute of China Railways, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** Based on grasping the existing geological materials of the project, according to reconnoitring the comprehensive analysis result of surveying and drawing and testing etc. The project geology appraisal is made about the stability and engineering construction of the migration allocation field of Ganhaizi that are planned to build, which offers rationally and technological basis for administration of the bad geological question, and the scientific basis for the engineering construction on later stage.

**Key words:** landslide; deforming of collapse and slip; foundation

### 1 场地工程地质条件

#### 1.1 地形地貌

干海子场地位于大渡河右岸侵蚀-堆积台地上。场地 SN 向长约 0.24 km, EW 向宽约 0.18 km, 大渡河从场地东侧自北向南流过。场地内地形上总体西(后缘)高东(前缘)低之势, 起伏较大。地面高程 1023~1043 m, 最大高差 20 m。

#### 1.2 地基土石的组成

区内出露基岩主要为前震旦系晋宁——澄江期闪长岩和花岗岩, 该场地及外围附近地层较为复杂, 第四系地层主要发育为冲积相砂卵石层( $Q^{al}$ )、洪积相黏土块石堆积( $Q^{il}$ )、残坡积含角砾黏土堆积( $Q^{cdl}$ )、崩坡积块石堆积( $Q^{col+dl}$ )及滑坡堆积( $Q^{dl}$ )等。

#### 1.3 地质构造

干海子场地地质构造条件简单。地基底岩层为块状花岗岩, 岩体结构较完整, 未见断裂构造, 节理及裂隙发育甚少。第四系地层均呈近水平状态, 未发现明显的构造变形迹象。

#### 1.4 水文地质条件

(1) 地下水的类型及水位。拟建场地内的地下水类型主要为储存于砂卵石层中的孔隙潜水及储存于花岗岩体内的基岩裂隙水。地下水主要受大气降水、地表水及相邻水文地质单元补给, 含水层较厚, 含水量较少, 水位在丰、枯季变化较大。勘探期间地下水的稳定水位为埋深: 3.84~10.15 m (孔口标高以下)。此外, 受局部发育的黏性土等相对隔水层

的控制, 场地内局部地段存在上层滞水。

(2) 含水层的渗透性。场地土层主要由孔隙度较高、黏粒含量较低的砂性土及碎石土构成, 现场钻探作业用水下渗较快, 雨季无地表积水, 地下水位埋深较大。显然, 地下含水层属中-强透水性地层。

(3) 地下水的腐蚀性。由钻孔及干海子沟内采集的地下水样的水化学试验分析结果, 根据国家标准 GB50021-2001, 地下水中侵蚀性  $CO_2$ 、pH 值、 $SO_4^{2-}$ 、 $Mg^{2+}$  及总矿化度等对基础混凝土无腐蚀性; pH 值、 $Cl^-$  及  $SO_4^{2-}$  等对混凝土中的钢筋及钢结构均无腐蚀性<sup>[3]</sup>。

#### 1.5 不良地质现象

(1) 滑坡: 该场地 NE 侧前缘斜坡第四系坡残积层内, 发育有一小型滑坡体。该滑坡发生于 2005 年 7 月下旬持续降雨期, 体积约 0.45 万  $m^3$ 。滑移面受坡体内的最大剪应力作用面控制, 形成机制为滑移-拉裂型座落(图 1)。形成机制为雨季持续降雨导致土体孔隙水压力升高、有效应力降低, 致使坡体抗剪强度急剧下降而失稳。

(2) 坡体表层塌滑: 场地 NE 侧前缘斜坡及 NW 侧后缘坡脚地带局部发育有小规模塌滑体, 体积一般小于 0.1 万  $m^3$ 。其形成原因仍然与雨季坡体孔隙水压力异常变化有关。

### 2 场地工程地质评价

#### 2.1 地基土石均匀性评价

根据国家标准 GB50021-2001 相关规定, 符合下式要

\* 收稿日期: 2006-04-28

作者简介: 杨富莲(1979-), 女, 河南理工大学在读硕士研究生, 专业: 工程力学; 研究方向: 计算结构力学。

求者为均匀地基:

$$\overline{E_{S1}} - \overline{E_{S2}} < 1/20 (\overline{E_{S1}} + \overline{E_{S2}})$$

按表 1 选取模量参数 E, 对该场地地基土的均匀性进行计算分析, 计算结果见表 2。由此可见, 干海子场地属不均匀地基。

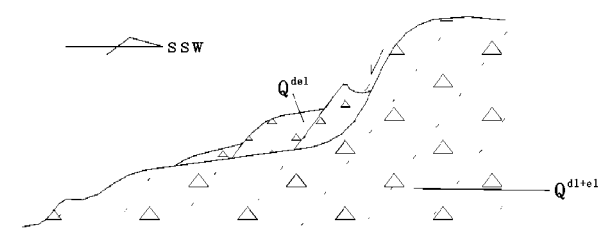


图 1 滑坡特征剖面图

表 1 干海子场地各地基土石层物理性质参数及承载力指标建议值

| 土石名称               | 含砾黏土                                  | 粉质黏土    | 含砾粉土    | 粉砂      | 砾砂      | 块碎石   | 卵砾石  |
|--------------------|---------------------------------------|---------|---------|---------|---------|-------|------|
| 剖面图中编号             |                                       |         |         |         |         |       |      |
| 物理性质               | 天然重度 $\gamma$ (kN · m <sup>-3</sup> ) |         |         |         |         |       |      |
|                    | 1.90                                  | 1.88    | 1.85    | 1.93    | 2.05    | 2.30  | 2.35 |
| 性质                 | 孔隙比 $e$                               |         |         |         |         |       |      |
|                    | 0.85                                  | 0.73    | 0.68    |         |         |       |      |
|                    | 压缩系数 $a_{0.1-0.2}$                    |         |         |         |         |       |      |
|                    | 0.25                                  | 0.28    | 0.54    |         |         |       |      |
|                    | 压缩模量 $E_S$                            |         |         |         |         |       |      |
|                    | 7.60                                  | 7.20    | 6.50    |         |         |       |      |
| 力学性质               | 变形模量 $E_0$                            |         |         |         |         |       |      |
|                    |                                       |         |         | 8.50    | 17.00   | 21.00 | 28.0 |
|                    | 内聚力 $c$ / kPa                         |         |         |         |         |       |      |
|                    | 35                                    | 27      | 22      | 12      | 15      | 10    |      |
|                    | 内摩擦角 $\varphi$ / °                    |         |         |         |         |       |      |
|                    | 15                                    | 16      | 19      | 21      | 25      | 28    | 32   |
| 承载力特征值 $f_a$ (kPa) |                                       |         |         |         |         |       |      |
|                    | 140~180                               | 130~160 | 120~150 | 110~130 | 180~210 | ≥60   | 350  |

表 2 干海子场地地基均匀性计算成果表

| 计算剖面  | 纵向         |            | 横向         |            |
|---|------------|------------|------------|------------|
|   | ZK01- ZK04 | ZK09- ZK12 | ZK01- ZK09 | ZK04- ZK12 |
| $\overline{E_{S1}} - \overline{E_{S2}}$ / MPa       | 3.68001    | 8.75657    | 2.66689    | 2.40968    |
| $1/20(\overline{E_{S1}} + \overline{E_{S2}})$ / MPa | 2.26852    | 2.28138    | 2.58586    | 1.96403    |
| 均匀性评价   | 不均匀        | 不均匀        | 不均匀        | 不均匀        |

2.2 场地的地震效应

(1) 场地基本烈度。龙头石水电站 50 年超越概率 10% 的地震基本烈度为 Ⅷ 度, 相应的基岩水平向峰值加速度为 219 gal<sup>[1]</sup>。

(2) 场地类别。由钻孔波速测试成果表明, 场地综合剪切波速  $V_{sm} = 372.59$  m/s, 根据国家标准《建筑抗震设计规范》(GB50011- 2001), 干海子场地类别为 Ⅲ 类<sup>[2]</sup>。

2.3 地基砂土液化评价

在基本烈度为 Ⅷ 度的动力条件下, 场地内的粉砂(土) 层液化问题可从以下三方面的技术指标予以初步评价。

(1) 地质时代。地基土层中粉砂层的地质时代为晚更新世( $Q_3^{\mu}$ ), 场地的地貌单元属侵蚀— 堆积台地, 高程相当于大渡河水系的 Ⅱ 级阶地。根据国家标准《建筑抗震设计规范》(GB50011- 2001), 在场地基本烈度为 Ⅷ 度的条件下, 属不液化层<sup>[2]</sup>。

(2) 剪切波速指标。根据国家标准 GB50021- 2001 相关规定, 当饱和砂土的实测剪切波速值  $V_S$  大于按下式计算的临界值  $V_{SCR}$  时, 可判别为不液化。

$$V_{SCR} = V_{SCR}' \{ [0.9 + 0.1(d_s - d_w)] / \sqrt{3/\bar{\rho}_c} \}^{0.2}$$

式中:  $V_{SCR}$  ——液化临界剪切波速基准值;  $d_s$  ——标准贯入点深度;  $d_w$  ——地下水位;  $\bar{\rho}_c$  ——黏粒含量百分数。

计算结果表明, 临界值  $V_{SCR} = 146.73$  (m/s), 实测值

$V_S \geq 321$  (m/s)。据此判断应属不液化层。

(3) 标准贯入指标。根据国家标准 GB50021- 2001 及 GB50011- 2001 相关规定, 当饱和砂土的标准贯入实测值  $N_0$  (未经杆长校正) 小于按下式计算确定的临界值  $N_{cr}$  时, 应为液化土, 反之则属不液化土。

$$N_{cr} = N_0 [0.9 + 0.1(d_s - d_w)] / \sqrt{3/\bar{\rho}_c}$$

式中:  $d_s$ 、 $d_w$  及  $\bar{\rho}_c$  ——测点深度、地下水位及黏粒含量百分率。

计算结果表明, 临界值  $N_{cr} = 6.2$ , 实测值  $N_0 \geq 11$ , 据此判断应属不液化层。

2.4 场地主要工程地质问题评价

(1) 前缘及后缘斜坡的稳定性问题。目前每年雨季, 场地前缘及后缘斜坡地带均有小型塌滑变形破坏现象发生。这类问题虽然规模一般较小, 但其发生部位具有一定的随机性, 不易预测, 且难以治理。

(2) 地基的不均匀变形问题。由于复杂的沉积相变化所致, 地基土发育不均匀, 存在地基不均匀变形问题。对于大跨度或重要建筑物, 应进行基础横向倾斜验算, 并考虑相应的工程措施。

(3) 中部冲沟的洪水冲刷问题。场地中部发育有一深 2 ~ 3 m、宽 1 ~ 2 m 的下蚀冲沟。据现场实测评估, 雨季最大洪峰流量可达 4 (m<sup>3</sup>/s)。由于其下蚀速率较快, 沟侧第四系时有局部垮塌发生。

(4) 工程边坡的稳定性问题。由于场地中部冲沟的侵蚀切割改造, 地形起伏相对较大, 建筑施工平整场地必然形成工程边坡。这些由第四系土石层构成的边坡, 在雨季饱水状态下将发生塌滑失稳问题。

2.5 场地工程地质建设适宜性分区及评价

根据场地区地形地貌、地层岩性等工程地质条件, 按场地稳定性和建设适宜性分为三个工程地质单元区段, 即 Ⅰ 区、Ⅱ 区和 Ⅲ 区。依据各建筑地段场地稳定性分类, 按《城市规划工程地质勘察规范》(CJJ57- 94) 中场地工程建设适宜性分类标准, 场地工程建设适宜性评价如下。

Ⅰ 区: 场地后缘山麓地带, 高程 > 1 028 m。地形西高东低, 平均坡度。场地稳定性差。台地后缘山麓斜坡, 地形高差较大, 沟槽较发育。地基土石层主要为崩坡积、残坡积成因的碎石土, 总体上强度较低。地下水埋深较大, 对工程建设的影响不明显。场地工程建设适宜性差, 未经治理不宜布置建筑物。

Ⅱ 区: 场地中部相对较平缓地带, 可进一步分为 Ⅱ-1 及 Ⅱ-2 两个亚区。场地稳定性较好。场地土石层主要为洪积、崩坡积和残坡积成因的卵砾石、粉质黏土、含砾土、含砾砂、砾砂及块碎石, 下覆基岩为块状粗粒花岗岩闪长和岩。地基土石层发育较厚、层位较稳定, 地下水埋深大, 工程地质条件较简单, 地基较稳定。中部冲沟谷发育, 排水条件尚可, 但需作防洪整治。场地工程建设较适宜, 可规划一般民用建筑。其中, 南部 Ⅱ-1 亚区的地基稳定性和工程建设适宜性, 明显优于北部 Ⅱ-2 亚区。

Ⅲ 区: 场地南、北及东部前缘斜坡地带。不稳定场地。台地前缘斜坡, 地形高差大。坡体土石主要为洪积、崩坡积和残坡积成因的卵砾石、粉质黏土、含砾土、含砾砂、砾砂及块碎石等, 下覆基岩为块状粗粒花岗岩闪长和岩。小型滑坡及塌滑等不良地质现象较发育, 且不易治理。环境工程地质条件相对较复杂, 属工程建设不适宜场地, 不能进行任何形式的工程建筑。

3 结论与建议

(1) 拟建场地分为三个工程地质单元区段: Ⅰ 区为 Ⅲ 类建筑场地, 环境工程地质条件相对较复杂, 属稳定性差的场

地,工程建设适宜性较差,未经治理不宜布置建筑物; Ⅱ区为类建筑场地,环境工程地质条件较简单,属于相对较稳定场地,工程建设较适宜,可规划一般民用建筑。南部Ⅰ-Ⅱ亚区的地基稳定性和工程建设适宜性均明显优于北部Ⅱ-Ⅲ亚区; Ⅲ区为类建筑场地,环境工程地质条件较复杂,属不稳定场地,属工程建设不适宜场地,不能进行任何形式的工程建设。

(2) 场地前缘及后缘斜坡地带均有小型塌滑变形破坏现象发生。这类问题不易预测,且难以治理。建议在工程规划设计时,留出足够的安全距离。

(3) 复杂的沉积相变化导致地基土石层发育不均匀,存在地基不均匀变形问题,且地基均匀性计算分析结果(表 2)表明,拟建场地属不均匀地基。对于大跨度或重要建筑物,应进行基础横向倾斜验算,并考虑相应的工程措施。

(4) 场地中部的下蚀冲沟,雨季最大洪峰流量可达 4 参考文献:

[ 1 ] 中国地震局地质研究所. 大渡河龙头石水电站工程场地地震安全性评价和水库诱发地震评价报告[ R ]. 2005.  
[ 2 ] GB50011- 2001, 建筑抗震设计规范[ S ].  
[ 3 ] GB50021- 2001, 岩土工程勘察规范[ S ].  
[ 4 ] 张倬元, 王仕天, 王兰生. 工程地质分析原理( 第二版) [ M ]. 北京: 地质出版社, 1994.

( 上接第 123 页)

好相反。对黏粒测定的影响居中,表现最明显的 4 号样测定差值为 0. 1868%, 变异系数为 0. 5751%。对粉粒测定的影响最大,表现最明显的 5 号样变异系数可达 2. 3868%。对于砂粒细划为粗砂与细砂的影响却是不确定的,1, 5, 6 号样的粗砂粒段偏大,而 4, 7 号样的粗砂粒段偏小,对应细砂粒段变化情况正好相反。而对于粉粒与黏粒更细粒级的划分其变异系数变幅却较大。说明分散条件很重要,煮沸分散 1 h 更有利于粗粉粒、细粉粒、粗黏粒、黏粒等物质分离开沉降。分散 10 min 条件下,6 号样的细粉粒测定中出现了较大负值- 0. 033 2%, 说明分散 10 min 条件下风沙土粒径详细测定会产生一定困难。因此分散是风沙土粒径详细测定中需要严格控制的一个环节,以煮沸分散 1 h 效果良好。

通过表 4 数据可看出,当采用抽样深度 8 cm, 振荡分散 1 h 的实验措施时,其实验结果在粗粉粒与粗黏粒段不能够完全准确显示,1 号样的粗黏粒与 6 号样的粗粉粒均为负值。进一步证明了分散对风沙土粒径测定的影响的存在。通过四组实验对比体现出,在用吸管法测定风沙土粒径的实验中,煮沸分散 1h, 抽样深度 8 cm 的实验控制更有利于风沙土粒径的多分段测定。

参考文献:

[ 1 ] 黄成敏, 龚子同. 土壤发生和发育过程定量研究进展[ J ]. 土壤, 2000, ( 3 ): 145.  
[ 2 ] 冯起. 半湿润地区改良风沙土土壤性质研究[ J ]. 水土保持通报, 1998, 18( 4 ): 2- 3.  
[ 3 ] 吴庆标, 王效科, 张德平, 等. 呼伦贝尔草原土壤黏粉粒组分对有机碳和全氮含量的影响[ J ]. 生态环境, 2004, 13 ( 4 ): 630- 632.  
[ 4 ] 吴世亮, 倪晋仁, 李振山. 沙漠沙的筛分粒径与粒径计粒径的比较实验[ J ]. 泥沙研究, 2002, ( 1 ): 60- 65.  
[ 5 ] 韩立发, 刘亚云试论沉降法测定颗粒粒度及其分布[ J ]. 水泥工程, 2004, ( 6 ): 19- 21.  
[ 6 ] 章明奎, 姜宏. 用微量吸管法测定红壤颗粒组成的研究[ J ]. 浙江大学学报( 农业与生命科学版 ), 2001, 27 ( 6 ): 649- 651.  
[ 7 ] 刘雪梅, 黄元仿. 应用激光粒度仪分析土壤机械组成的实验研究[ J ]. 土壤通报, 2005, 36( 4 ): 579- 582.  
[ 8 ] 华孟, 王坚. 土壤物理学[ M ]. 北京农业大学出版社, 1993. 7- 9.  
[ 9 ] 徐小玲, 延军平. 毛乌素沙地的脆弱性与可持续发展研究[ J ]. 干旱区研究, 2004, 21 ( 3 ): 286- 289.  
[ 10 ] 陈善科, 吴平. 腾格里沙漠对周边地区生态环境的影响及其综合治理措施[ J ]. 草业科学, 2003, 20( 2 ): 1- 3.  
[ 11 ] 武健伟, 赵廷宁, 鲁瑞洁. 浑善达克沙地现代土地沙漠化发展动态与成因分析[ J ]. 中国水土保持科学, 2003, 1( 4 ): 36- 39.  
[ 12 ] 刘树林, 王涛. 浑善达克沙地地区的气候变化特征[ J ]. 中国沙漠, 2005, 25( 4 ): 557- 561.  
[ 13 ] 林大仪. 土壤学实验指导[ M ]. 北京: 中国林业出版社, 2004. 62- 64.  
[ 14 ] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[ M ]. 上海科学技术出版社, 1978. 466- 508.  
[ 15 ] 林大仪. 土壤学实验指导[ M ]. 北京: 中国林业出版社, 2004. 31- 32.

( m<sup>3</sup> / s ), 沟侧第四系时有局部垮塌发生。工程布置设计时, 除进行沟水处理外, 还应按沟壁土石层的天然摩擦角确定安全距离, 或设置沟壁防护措施。

(5) 由于冲沟的侵蚀切割改造, 场地地形起伏相对较大, 建筑场地平整必然形成的第四系土石工程边坡, 雨季饱水状态下将发生塌滑失稳问题。工程设计时应考虑防护措施。

(6) 拟建场地内地基土石层由复杂沉积相环境形成的砂性土、碎石土及黏性土等构成, 地基土石层的物理力学性质参数、承载力及变形指标参见表 1, 该表所列参数可作为本场地工程技术设计的参考依据。

(7) 拟建场地 50 年超越概率 10% 的地震基本烈度为Ⅱ度, 场地类别为Ⅱ类。在基本烈度为Ⅱ度的动力条件下, 场地内的砂层不存在液化的可能性。

(8) 地下水对基础混凝土、混凝土中的钢筋及钢结构均无腐蚀性。

通过调整抽样深度, 控制分散状态、取样量及称重环节后, 用吸管法测定风沙土的多分段粒径分布也能正常进行, 这与已有的实验研究<sup>[ 7 ]</sup>中腾格里沙漠风沙土粒径分布全为砂粒有区别。

## 6 结 论

通过本次实验验证, 在吸管法测定风沙土粒径的实验中需要根据具体的粒级划分标准采取不同的实验控制措施。当采用中国制划分标准测定时, 由于测定的粒级段比较详细, 需在分散、抽样深度两环节上作严格控制且做出相应调整。

(1) 较长的分散时间有利于砂、粉、黏各粒径物质充分分离开沉降, 从而有利于细粒物质含量测定。可加入分散剂静置一晚后再加热煮沸 1 h 即可满足吸管法测定风沙土粒径的分散要求, 加热时要防止分散容器炸裂与样品喷溅。

(2) 减小取样深度后可削弱不同粒径物质密度不同导致的不等速沉降的影响, 从而有利于风沙土粒径测定。本次实验中按 8 cm 深度抽样即可满足中国制分段标准的风沙土粒径测定。