

文章编号: 1008—2786(2003)05—0589—06

# 叠溪地震区龙池岸坡中埋藏古沟槽的空间分布特征

许向宁, 王兰生  
(成都理工大学环境与土木工程学院, 成都 610059)

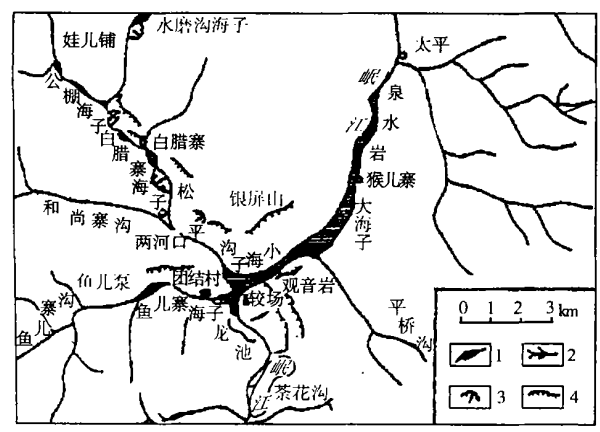
**摘 要:** 围绕叠溪地震区的龙池岸坡在引水隧洞施工开挖过程中多处出现沟谷相的松散堆积物这一地质现象为线索, 在多次现场地质地貌调研分析的基础上, 采用甚低频电磁法现场测试和 RaA 氦气现场测试的验证分析, 阐明了龙池岸坡中埋藏古沟槽的空间分布特征, 揭示岷江河谷近期演化特征, 解决引水工程施工中所关心的地质问题; 通过本次研究不仅对龙池岸坡的稳定性有了新的认识, 而且为类似强震区的岸坡稳定性分析提供新的思路和方法。

**关键词:** 叠溪地震; 古沟槽; 空间分布特征; 地质分析; 甚低频电磁法; RaA 氦气测试

中图分类号: X141; P694      文献标识码: A

著名的 1933 年叠溪 7.5 级地震造成崩滑堵江, 形成大、小海子堰塞湖(图 1)。目前正在施工的天龙湖水电站工程, 以小海子堰塞坝为坝址, 并利用天然的大、小海子水库进行季调节, 取水口位于小海子天然坝址上游右岸, 引水至小寨沟建厂发电。其引水隧洞的 1<sup>#</sup>支洞位于岷江右岸龙池区, 在隧洞开挖过程中多处看到有“沟谷”相物质出露, 每处出露的分布范围大小不一, 物质成份主要是不同粒径、表层风化程度较低的灰岩卵石、碎屑及砂, 造成隧洞在相当长度范围内开挖及支护困难, 并多次发生危及施工人身安全的事故。

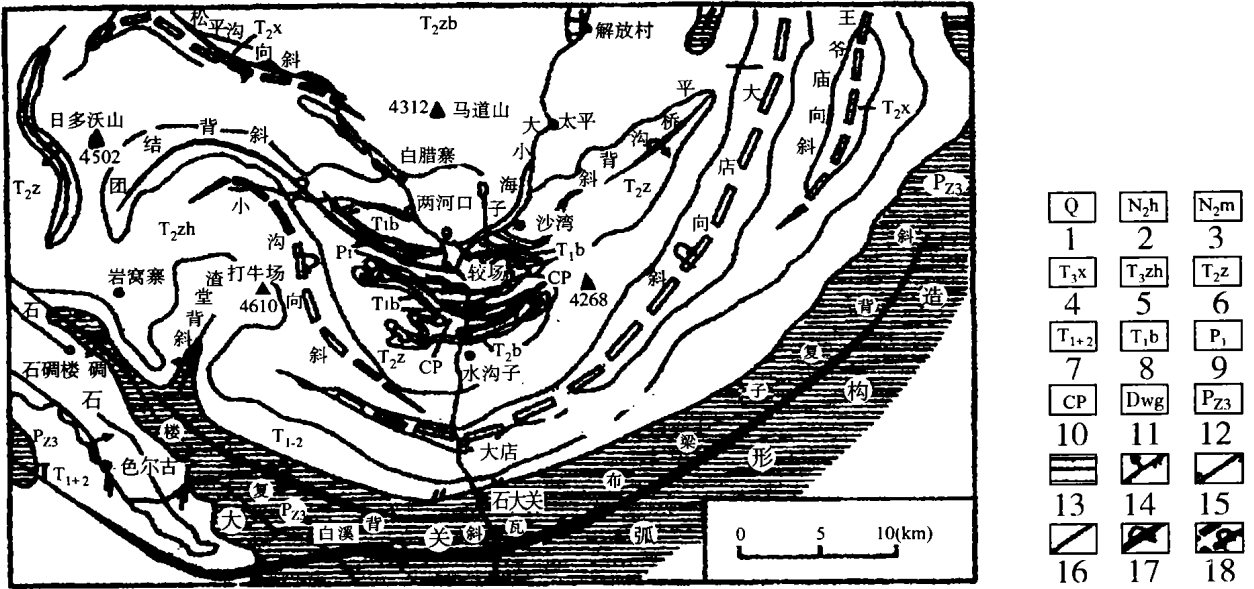
为此, 有人担心整个龙池山体都是松散堆积体构成的不稳定坡体或是类似于对岸较场的大型地震滑坡坡体, 引水隧洞主洞不能由此通过; 也有人怀疑现在的龙池从前是一个古河道形成的冲积平台, 其上覆物质为阶地堆积。作者们经调查发现, 正在施工的龙池区岸坡存在着较深第四纪覆盖层, 特别在支洞正上方的覆盖层厚度约在 400 m 左右, 判断该处早期为一古沟槽, 并且在该古沟槽的两侧是可能保存有完整的基岩基座, 龙池山体整体应是稳定的。为此有必要进一步查明龙池岸坡中埋藏古沟槽的空间分布特征, 分析岸坡稳定性, 解决引水工程施工中所面临的地质问题, 以保证工程施工的顺利进行。



1. 海子; 2. 河流; 3. 滑坡; 4. 崩塌  
图 1 研究区斜坡变形破坏分布图  
Fig. 1 Subarea of slope deformation-failure

## 1 地质背景概况

叠溪地震灾害区地处著名的“SN 向地震构造带”中段, 在大地构造上属特提斯喜马拉雅域东北缘, 即松潘—甘孜 NWW 向地槽褶皱带的东部和西部秦岭近 EW 向地槽褶皱带南部与龙门山 NE 向断裂带的交汇部位的三角地带内, 由一系列紧密线状弧形同斜倒转褶皱及相伴的冲断层组成。区内出露的地层有泥盆系危关群(Dwg)、石炭系(C)、二叠系(P)、三叠系波茨坦组(T1b)和杂谷脑组(Tz)的岩层, 大多不同程度地区域变质, 如变质砂岩, 大理化灰岩、千枚岩和板岩等(图 2)。在较场和龙池区分布有深覆盖的第四系堆积层。



1. 第四系; 2. 新第三系上新统红土组; 3. 新第三系上新统马拉敦组; 4. 三叠上统新都桥组; 5. 三叠系上统侏罗组; 6. 三叠系中统杂谷脑组; 7. 三叠系中下流; 8. 三叠系下统波茨沟组; 9. 下二叠系; 10. 石炭二叠系; 11. 泥盆系危关组; 12. 上古生界; 13. 秦岭东西向构造带; 14. 石大关弧形构造; 15. 压扭性断层; 16. 扭性断层; 17. 性质不明断层; 18. 倒转背斜; 19. 向斜和倒转向斜

图 2 叠溪地震灾害区地质构造格架图

Fig. 2 Geological tectonic in Diexi earthquake area

2 岸坡地质地貌特征

2.1 龙池岸坡的地质地貌

研究区位于岷江山脉南部,地貌以侵蚀构造高中山为主,地面高程 2 135~2 600m,地面坡度,中部平台部位约 8°左右,前缘陡坡坡度 35°~65°,后缘坡度 18°~40°,总体呈现出上下侧陡、中部平缓的特征。区内第四纪地质背景复杂,多种成因类型堆积物交错叠置,堆积物质成分多样,共有五种成因类型的第四系堆积层,分别是全新世崩滑堆积层(Q<sub>4</sub><sup>col+del</sup>)、洪积泥石流堆积层(Q<sub>4</sub><sup>pl+sef</sup>)、全新世崩坡积堆积层(Q<sub>4</sub><sup>col+dl</sup>)、全新世崩坡泥石流堆积层(Q<sub>4</sub><sup>col+dl+sef</sup>)、冰水堆积洪积层(Q<sub>4</sub><sup>fr+pl</sup>)(图 3)。从岸坡的地面调研来看,“古沟槽”内为洪积泥石流堆积层(Q<sub>4</sub><sup>pl+sef</sup>),推测在“古沟槽”内早期主要是冲洪积物,有卵石、砾石、砂等,之后由于多次发生沟谷型泥石流,堆积于冲洪积层之上或混杂于洪积层之中,物质成分以块碎石土为主,由冲沟两侧的崩塌物质以及河流冲刷沉积物构成物源。

2.2 支洞内施工开挖调研情况

位于叠溪地震区龙池岸坡的天龙湖水电站引水隧洞 1<sup>#</sup>支洞施工开挖过程中,在 310 m 附近多处看到有“沟谷”相物质出露,每处出露的分布范围大小

不一,物质成份主要是不同粒径、表层风化程度较低的灰岩卵石、碎屑及砂。堆积层主要可分为上下两层,上层为砂卵石层为主,卵石大小不一,直径 2~50 cm,卵石磨圆度好,呈圆状,岩性以灰色灰岩为主,风化程度较低,无胶结,结构中密;下层为碎石土层,块碎石大小不一,多呈棱角状,较松散,受地下水的的作用明显,顶部接触面一带可见大致呈水平展布的重结晶方解石脉体。显然,上层的砂卵石层属“沟谷”相物质,在洞中呈断续出露。

2.3 地质分析

综合上述洞中揭露的现象、经过地面的地质地貌及第四纪地质调查,对沟谷地貌的发育演化作综合分析,有下列要点:

1. 1<sup>#</sup>支洞岸坡地面存在一槽谷地形,沟槽走向 N45°~75°E。沟槽表面覆盖泥石流堆积,形成一泥石流台地,纵坡约 15°左右,至 2 480 m 高程以下形成一陡崖,造成崩塌滑坡堆积,切露的剖面上面见堆积物的层次,表明槽谷形成后,不断接受沟槽水流泥石流以及沟壁崩滑堆积的充填堆积。

2. 深切沟槽两侧在地貌上分别有两个台地。上游(左)侧台地高程 2 450 m,剖面上可见一岩质滑坡,上覆黄土状土层;下游(右)台地高程 2 496 m,在靠槽沟壁处可见到早期冰水堆积的卵砾石土层,粒径一般为 5~30 cm,成分花岗岩、片麻岩、闪长岩

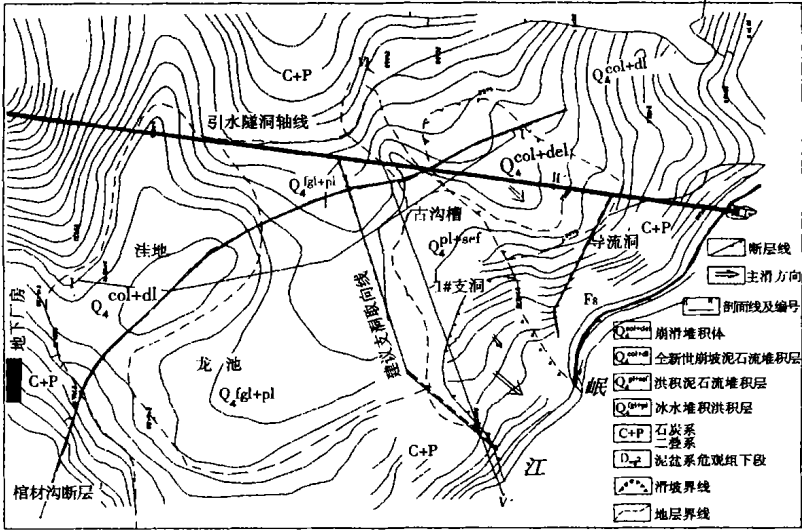


图 3 龙池岸坡平面图

Fig. 3 Plane of Longchi slope

等, 已明显风化。与其相当, 在靠近岷江侧仍保留有一相似高程的台地, 表部堆积物中可见有卵砾石土。这些高阶地上的卵砾石正是 1<sup>#</sup>支洞中的卵砾石的来源地。

3. 槽谷下游(右侧)平台的基座已可见有相对较完整的基岩, 其产状(由于处在陡崖处, 无法直接量得)与 1<sup>#</sup>支洞洞口附近岩层产状相近。基座靠近槽谷一侧, 可见局部向槽谷方向滑动, 但已被槽谷堆积物覆盖。

4. 槽谷下游(右侧)平台的下游侧即为龙池溶蚀洼地。洼地周边可见有岩溶块石再胶结物, 并查见断层迹象, 推断由对岸叠溪棺材沟断层向龙池延伸, 切过沟槽下游(右侧)平台的后侧。

5. 槽谷左侧(下游侧)平台靠近鱼儿寨沟方向的斜坡上 2 300 m 高程左右, 可见到残留的叠溪古堰塞湖相沉积物, 层理清晰。而在槽谷一带岸坡上未保存湖相沉积物。另外, 1<sup>#</sup>支洞开挖 500 m 左右处, 发现有树根, 直径 15 cm, 纤维仍清晰可见, 炭化程度不深, 属朽木(照片 2), 初步鉴定 1 000 多年(Q<sub>4</sub>)。据此, 可推断古沟槽形成于岷江古堰塞湖消亡之后或消亡过程中的 1 000 多年前。

6. 根据上述特征可以判定 1<sup>#</sup>支洞所在位置为 1 000 年左右的深切沟谷所在地, 槽谷被沟谷冲积物, 崩坡积物以及泥石流堆积所充填。根据地质地貌调查, 沟谷两侧台地基座和台地下覆盖层组成物质均表明台地保存完整, 未发生过整体的变动。为对检验上述地质分析推断是否合理, 开展了氦气和

甚低频测试工作。

### 3 古沟槽的现场测试验证

为对检验上述地质分析推断是否合理, 并进一步研究龙池区岸坡古沟槽的空间分布特征, 采用了 RaA 测氦和甚低频测试手段, 对龙池区岸坡覆盖层及古沟槽的空间发育分布状况进行了现场测试。

#### 3.1 RaA 氦气测试成果分析

1. 图 4 的 4—4' 测线为岸坡地表“古沟槽”前缘陡缓结合部位, 横向即为“古沟槽”断面, N<sub>RaA</sub> 曲线呈明显波状起伏, 最高值达 231, 根据现场调研该点应为岸坡地表“古沟槽”槽谷底低点附近; 最低值为 6。说明这一带为高异常区, 裂隙开启性好, 岩体相对于周边解体程度较高、破碎, 有可能是“古沟槽”槽谷谷低部位。

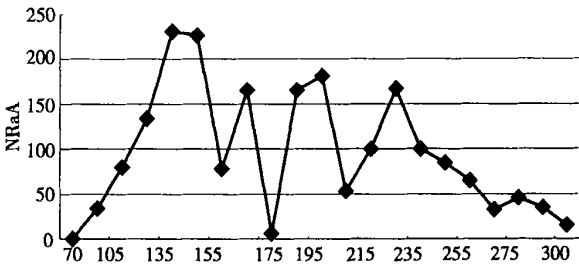


图 4 4—4' 测线 RaA 曲线图

Fig. 4 RaA curve of 4—4' survey line

2. 图 5 的 6—6 横测线在平面上位于“古沟槽”堆积平台的中部,  $N_{RaA}$  曲线也呈明显波状起伏, 变化幅度大, 在其横断面的中部 30 m 范围内氦气脉冲计数值均很高, 最高达 299, 横断面(“古沟槽”)左侧略低, 高值为 237, 低值为 48, 表明“古沟槽”在此处附近可能存在一低点。

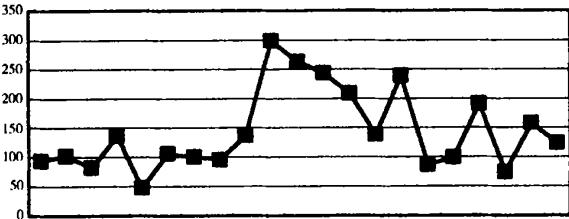


图 5 6—6 测线 RaA 曲线图  
Fig. 5 RaA curve of 6—6 survey line

3. 图 6 所示的 12—12' 横向测线在实地横切过岩溶洼地, 图中可以看出在靠近岩溶洼地底部测线氦气脉冲计数值较高, 且变化幅度大, 前者最大达 89, 最小 0, 属高异常区, 表明靠近岩溶洼地底部位置, 岩体解体程度均很高。

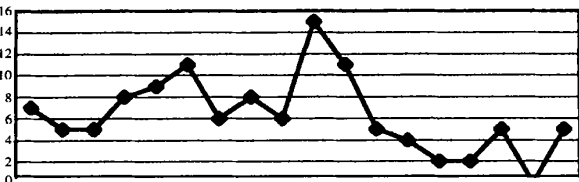


图 6 12—12' 测线 RaA 曲线图  
Fig. 6 RaA curve of 12—12' survey line

4. 根据氦气脉冲测量灰度图, 结合现场调查, 考虑 RaA 计数值连续出现的宽度及长度, 可分别将岸坡上“古沟槽”测区和洼地测区的 RaA 测氦成果异常值分为 3 个区(见图 7、8):

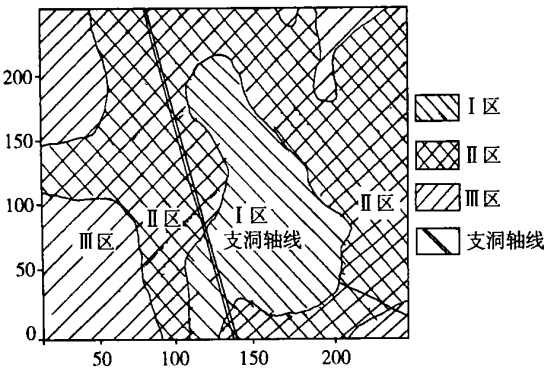


图 7 古沟槽区 RaA 测试成果灰度图  
Fig. 7 RaA testing production of Ancient Groove area

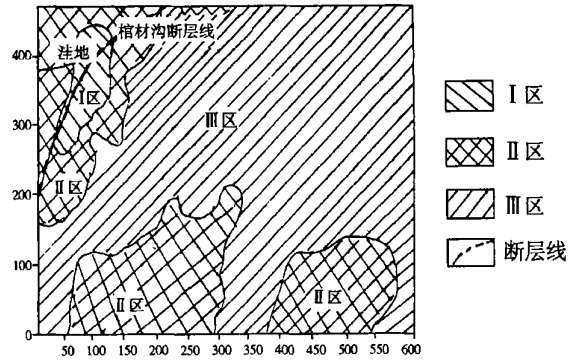


图 8 洼地区 RaA 测试成果灰度图  
Fig. 8 RaA testing production of Longchi depression area

I 区属氦值高异常区;  
II 区为氦值中异常区;  
III 区为一般区。

从图 7 古沟槽区 RaA 测氦成果异常值分区图中, 可以明显看到一条相似于岸坡“古沟槽”槽谷形态的区域, 其纵向走向与地面沟槽走向基本相同, 即  $NE45^{\circ} \sim 75^{\circ}$ 。有一高异常值成带状, 即 I 区氦值高异常区沿河谷走向分布在槽谷中部, 因此可以帮助推测在该沟槽中部有深覆盖层存在。

从图 8 洼地区 RaA 测氦成果异常值分区图中, 可以明显看到左上角一椭圆状分布的高异常值区域 (I 区), 证明越靠近岩溶洼地底部氦值越高; 棺材沟断裂以一弧型穿过洼地, 其走向正是图中左上角的高异常值分布带; 图的右侧较大范围为异常值较低区域 (III 区), 对应于实地 (图 3) 为岩溶洼地与“古沟槽”间的山脊部位, 结合地面调研可以判断该区域为以大理化灰岩为主的基岩坡体。

### 3.2 甚低频磁法测试成果分析

由图 9 和图 10 可见, 在古沟槽各横切断面的中部位置约 150 m 范围内出现异常带 (即等效电流密度等高线的高值带), 即为古沟槽深覆盖层部位。异常带在横断面上又分为左右两个, 间隔约 100 m。从测试数据上看, 这些高值点为极化椭圆倾角的零点。这说明接近沟谷底部导电性明显较好, 可能存在一个富水带。因此说明覆盖层是含水的。

### 3.3 甚低频电法测试成果分析

在前述测试工作的基础上, 对古沟槽区增加采用了美国 EM—16R 进行 VLF 电阻测量工作。目的是通过该法测量得到的视电阻率值和相位角值, 计算得到覆盖层的厚度值, 从而可以帮助查明岸坡上“古沟槽”深覆盖层的大致分布情况以及“古沟槽”

的空间分布形态。从电阻率等值线图(图 11)来看, 图的右上角具有明显较高的电阻率值, 对应于实地为古沟槽左侧台地及后缘坡体位置, 其较好地证明了古沟槽左侧台地及后缘坡体下伏有相对较完整的岩体。而在图的中间位置电阻率值明显相对较低, 并能明显看出与实地槽谷地形完全对应的电阻率低值带, 说明其下可能有深覆盖层或富水带等良导体存在。图的右下角可看出一电阻率值增高的趋势带, 说明其下也有相对较完整的岩体存在, 仅由于测区范围的限制未能看出更明显的效果。

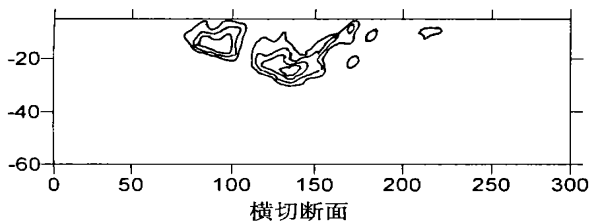


图 9 4—4 横测线电流密度等值线图

Fig. 9 Current intensity isoline of 4—4 survey line

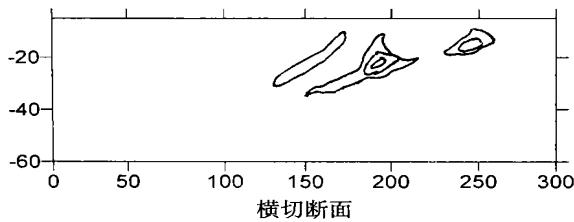


图 10 6—6 横测线电流密度等值线图

Fig. 10 Current intensity isoline of 6—6 survey line

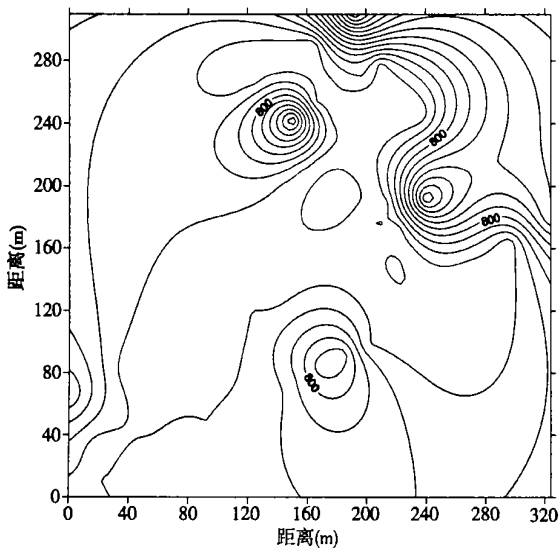


图 11 电阻率等值线图

Fig. 11 Resistance ratio isoline

综合以上信息, 可以有效地帮助证明龙池岸坡上古沟槽覆及其盖层的存在, 特别是通过图 11 的电阻率等值线图, 可以明显地看出岸坡上古沟槽及其覆盖层的空间分布形态。

### 3.4 测试成果综合分析

根据测试成果综合分析可得出以下几点认识:

1. 岸坡地表古沟槽中部存在等效电流密度等值线的高值带, 即富水带, 倾向 SE, 并在古沟槽横断面上可找到极化椭圆倾角为 0 的多个点。

2. 在岩溶洼地内出现异常带(等效电流密度等值线的高值带), 即岩溶洼地底部附近存在导电性较好的含水裂隙, 且越靠近洼地底部其值越高。

3. 沿推测的古沟槽方向确有一个氦气高值带, 证明沟槽的展布方向与地质分析推测的结果基本一致; 沟槽的右(下游)侧有一明显的低值区, 为基岩基座构成的台地; 岩溶洼地一带为另一氦气高值区, 周边为相对低值, 表明岩溶洼地的底部存在深覆盖层或岩体的解体程度较高。

4. 岷江左岸的棺材沟断裂以一弧型越过岷江至右岸, 刚好穿过该洼地, 往北穿越古沟槽, 因此靠近洼地底部存在较高的氦气高异常值分布带。

5. 采用美国 EM—16R 进行 VLF 电法补充测试成果表明: 1<sup>#</sup>支洞地面两侧分别存在覆盖层的突变点, 即在沟槽中部存在明显的深覆盖层; 从电阻率等值线图上可明显看出岸坡沟槽的空间分布形态。这些信息有效地证明了岸坡古沟槽及其含水覆盖层的存在。

## 4 主要认识及施工验证

### 4.1 主要认识

通过地面地质调查分析以及采用氦气和甚低频电磁法现场测试, 证实了下述事实:

1. 龙池岸坡中存在一古沟槽(冲沟), 沟槽走向 N45—75°E。沟槽右侧(下游侧)为由早先冰水堆积物的卵砾石土层构成的基座台阶, 粒径一般为 5~30 cm, 成分有花岗岩、片麻岩、闪长岩等, 已明显风化; 沟槽的左侧(上游侧)为由老的岩质滑坡上覆黄土土层构成的台地。槽谷被沟谷冲积物、崩坡积物及泥石流堆积物所充填。

2. 古沟槽展布方向大体与 1<sup>#</sup>支洞进洞方向相一致, 隧洞 310~550 m 段就在该古沟槽内穿越, 揭露出的堆积物源于槽谷和两侧台地上物质。

3. 氦气测试和甚低频测试证实了地质分析的结论, 揭示了古沟槽的存在和溶蚀洼地的周边环境以及棺材沟——龙池断层可能的延伸方向; 并且证明沟槽两侧台地下伏有基岩基座, 为基座阶地。

4. 根据 500 m 洞深处采集到的树根观察, 其碳化程度不高, 属污木型, 推测年龄约 1 000 多年。因此可以判定 1<sup>#</sup>支洞所在位置为 1 000 多年前的深切沟谷所在地, 槽谷被沟谷冲积物, 崩坡积物以及泥石流堆积所充填。沟谷的形成是在岷江古堰塞湖消亡之后或消亡过程中产生的。

5. 沟谷左右两侧为古老的冰水堆积平台所形成, 根据地质地貌调查, 台地基座和台地下覆盖层组成物质均表明台地保存完整, 未发生过整体的变动。1933 年大地震除表部有些滑塌、崩塌外, 未发生与较场滑坡和干海子滑坡相类似的大规模破坏。

6. 根据本次调查推测, 1<sup>#</sup>支洞目前的前进方向已接近基岩, 由于古槽谷曾暴露于空气, 经历过强烈风化, 有一层风化壳, 穿过该风化壳后则可进入基岩。

#### 4.2 施工验证

据施工现场反馈, 目前支洞施工已进入基岩, 证明了前述的分析判断是正确的; 古沟槽的存在并不影响整个龙池山体的稳定, 前方的引水隧洞主洞中不会再出现类似的地质结构, 但可能与前方棺材沟——龙池断层的延伸段相交。

总之, 通过本次研究不仅对龙池岸坡的稳定性有了新的认识, 而且为类似强震区的岸坡稳定性分析提供了新的思路和方法。

#### 参考文献(Reference):

- [1] Xu Xiang-ning, Wang Lan-sheng *et al.*. On the Mechanism of Slope Deformation-fallur and Their Prevention in High Earthquake-intensity Area, Master Dissertation of Chengdu University of Technology, 2002 [ 许向宁, 王兰生, 等. 高地震烈度区斜坡变形破坏机制与防治对策研究 成都理工大学硕士论文, 2002 6]
- [2] Wang Lan-sheng, Yang Li-zheng, Li Tian-bin *et al.*. Evolution Mechanism of Jiaochang Earthquake Landslide on Ming River and Its Controlling. *Journal of Geological Hazards and Environment Preservation*, 2000, 11(3). [ 王兰生, 杨立铮, 李天斌, 等. 四川岷江叠溪较场地震滑坡及环境保护[J]. 地质灾害与环境保护, 2000 11(3). ]
- [3] Xu Xiang-ning, Wang Lan-sheng, Evolution Mechanism of Song-ping River Earthquake Landslide on Minjiang River and its Controlling. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2002, 6(2). [ 许向宁, 王兰生. 岷江上游松平沟地震山地灾害与生态环境保护[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2002 (6). ]
- [4] Zhang Zhuo-yuan Wang Shitian WangLansheng. The Analytical Principle of Engineering Geology. Beijing: Geological Publishing Company, 1994. [ 张卓元, 王士天, 王兰生. 工程地质分析原理 [M]. 北京: 地质出版社, 1994. ]
- [5] Shi Bao-lian. VHF Electromagnetic Technique, Beijing: Geological Publishing Company. [ 史保连. 甚低频电磁法[M]. 北京: 地质出版社, ]

## The Embedding Ancient Groove's Spatial Distributing Characteristics in the Longchi Slope in Diexi Seismic Area

XU Xiang-ning, WANG Lan-sheng

(Chengdu University of Technology, Chengdu, 610059 China)

**Abstract:** The paper cluing on the geo-phenomena which the loose accumulation appeared on multi-place in process of hole dibbling in the Llongchi slope in Diexi seismic area and based on the investigating and analyzing on geo-physiognomy times, adopting VLF testing and RaA testing, clarified the spatial distributing characteristics of the embedding ancient groove's in the Longchi Slope, disclosed the recent evolutive characteristics of Min-jiang river, solved the geo-issue about water-project concerned; The research not only acquired new viewpoints about the stability of the Longchi Slope, but also offered new idea and way on slope's stability analyzing in analogous strong earthquake area.

**Key words:** Diexi Earthquake ; Ancient Groove ; Spatial Distributing Characteristics ; Geo-analyzing ; VLF Testing ; RaA Testing