

综合物探方法在河北保定向阳村地面塌陷区调查中的应用

徐锦山, 邓波

(华北地质勘查局五一九大队, 河北保定 071051)

摘要:向阳村地下土体层在水的作用下非均匀流失引起地面坑(洞)沉降、塌陷,直接造成房屋损毁,严重影响村民正常生产生活秩序。采用高密度电法和浅层地震勘探等综合物探方法,对地面塌陷灾害区开展调查工作,可查明调查区内地层分层结构、岩土层厚度和隐伏断裂破碎带分布状况,并预测划分出塌陷危险区、塌陷预防区和相对稳定区,为后续灾害治理工作确定具体范围,给治理施工设计提供科学依据。

关键词:综合物探;地面塌陷;浅层地震;高密度电法

文章编号:1003-8035(2012)04-0099-05

中图分类号:P642.26

文献标识码:A

0 引言

保定市徐水县西部属于低山丘陵区,境内1958年修建以拦洪为主,灌溉为辅的瀑水水库,水库库容 $9750 \times 10^4 \text{ m}^3$,最高水位标高45.18m^[1]。从1964年开始,水库西侧的贾庄村、向阳村等多个村庄陆续出现地面沉降、塌陷地质灾害,1994年后灾害发展日趋严重,其中向阳村已出现塌陷坑20多处,涉及村民25户,至使30余间民房地基不均匀沉降,墙体开裂甚至房屋倒塌。2008年为对水库西侧村庄地面塌陷地质灾害开展有效防治,在向阳村投入浅层地震、高密度电法和钻探等方法,进行塌陷区灾害治理前期调查工作,通过调查分析该区地灾形成机理,掌握地面沉降、塌陷分布规律与发展趋势,确定具体治理范围,为灾害防治选择正确的技术路线和针对性的施工方法提供科学依据。

1 地质及灾害概况

1.1 地质概况

向阳村东距瀑水水库约300m,西临西山山脚500m,地势较平缓,海拔高程56~47m。区内出露地层为第四系(Q),主要是全新统冲洪积土层,经工程核实自上而下共分四层,其中地表层为褐色耕土层(Q₄),以粉土为主,厚度0.3~0.6m;中部为黄土状粉土层(Q₃),褐色,稍湿,含砂质土,厚度7.7~9.1m;下部为粉质粘土层(Q₂),褐色,硬塑,湿,含铁染、锰结核,厚度9.8~10.4m;底层为砾土层(Q₁),杂色,湿,中密,揭露厚度6m,碎石成分主要为强、中等风化石英砂岩,次为强风化泥质页岩等,呈棱角状,

块状结构,一般粒径为3~6cm,裂隙发育,漏水严重。下覆震旦系(Z)基岩地层由老至新分别为铁岭组(Z_{2l})含碎石条带白云岩、下马岭组(Z_{3x})千枚状泥质页岩、景儿峪组(Z_{3j})石英砂岩等,岩层产状较平缓,基岩顶板埋深为60m左右。调查区处于近南北向和近东西向两组断层构造中,基岩破碎比较发育。

1.2 地面塌陷情况

地面塌陷是岩土体覆盖层向下陷落,并在地面形成塌陷坑(洞)的一种地质现象^[2]。向阳村地面塌陷的主要表现形式为土洞。土洞呈串珠状分布,以村东出现较多,一般已随现随填。土洞多呈不规则圆形,少量呈椭圆形,直径0.5~1m,深0.5~2m,洞壁上陡下缓,呈坛状,壁上分布有竖向节理、裂缝。地面塌陷集中在丰水年,特别是雨季中后期,塌陷发展较迅速,而干旱年相对平静。近年来降水量有所减少,塌陷发展相对平缓。地面塌陷空间上显示自西向东、自南向北的发展规律。

1.3 地面塌陷成因

向阳村地面塌陷是由地形地貌、地层岩性、地质构造、地表水、地下水等综合因素叠加引起。该村地形西高东低,西山地表降水自西向东流经村区形成地表水,地表水渗灌补给地下水,第四系中上层黄土状粉质土疏松多孔、吸水性强,湿陷性的粉质土吸入渗

收稿日期:2012-04-19;修订日期:2012-06-12

作者简介:徐锦山(1961—),男,本科,高级工程师,主要从事地球物理深部找矿、工程物探方法的应用和研究。
E-mail:huabei519@126.com

入水之后会向下部空间运移,由于下部的粉质粘土层,韧性中等,中压缩性,透水性较弱,起到了隔水层和阻止上层土向下流失的作用,一般粘土层稳定的区域内就不会产生塌陷灾害。但粘土层下覆的砾土层裂隙发育,透水性较强,加之基底层岩石断裂破碎发育,纵横交错的裂隙带构成地下水畅流的良好通道,当山区渗入汇集的地下水沿通道形成径流和砾土层内地下水位升降变化时,上覆的粘土层受到潜蚀作用,粘土层被掏挖流失,经长期地下水持续作用,粘土层变薄、陷落甚至消失,缺失了下部阻隔层的保护,粉土层再遇到地表水渗灌时,即会崩解、坍塌,形成上覆土层中的坑洞,最终导致了地面塌陷。

2 综合物探技术方法

2.1 物探方法前提

采用浅层地震和高密度电法等综合物探方法进行勘查测量,查明向阳村及周边第四系覆盖层内不同土层的厚度,以及厚度变化分布情况;查明基岩地层的结构、构造和隐伏产状,以及岩石遭受构造破坏情况,结合已知水文地质资料分析认识地层、构造与地面塌陷的关系,依地面塌陷形成机理,预测划分主要地面塌陷危险区域及分布范围,这是降低调查的成本,缩短调查周期的有效手段^[3]。

调查区属于北方半干旱区,工作期间雨水较少,地下水水位较深,在勘查深度范围内的土质层、基岩层和破碎构造带均处于含水不饱和状态,湿度则因组成质地、结构、密实度、透水性等不同而存在差异,岩石的不同质地、湿度决定了岩石的电阻率相对高低,其中粉质土层含水较少电阻率较高,含水较多的粘土层电阻率较低,砾土层(破碎带)透水性强,其电阻率高于粘土层,基岩电阻率最高,这些电阻率差异是高密度直流电阻率法评价的物理前提。调查区土层、基岩层和构造带地震波传播物性差异明显,存在浅层地震方法划分地层、构造的地球物理条件。

2.2 综合物探方法

综合物探工作方法布设在包括村住宅建筑用地的 0.25 km^2 正方形区域内,根据施工条件,沿村子内的街道和小路布设东西方向高密度电法剖面 13 条,共 5.5 km ,依村中心为基点布设南北、东西方向“十”字浅层地震反射剖面 2 条,共 1.0 km 。

高密度电法使用 WGMD-3(60 道)高密度电阻率测量系统,浅层地震反射波法采用 Summit II plus 地

震仪。高密度电法数据资料使用国产专用软件进行资料处理和二维反演计算,浅层地震数据资料使用美国 FOCUS 2.0 软件进行处理。

高密度电法选择 α (温纳四极)工作方式^[4],电极距 5 m 。野外工作时一次布设 60 个电极,观测每个数据道上的 ΔU 值、 I 值,一个排列完成后,向前滚动 12 个电极,再重复以上测量,直到整个剖面测量完毕,经计算机数据处理后,绘制 ρ_s 值等值线拟断面色阶图。浅层地震反射波法采用 32 道接收多次覆盖观测方法工作,道间距 2 m ,偏移距 2 m ,覆盖次数为 12 次,记录长度 1 s ,记录间隔为 0.5 ms ,震源采用 24 磅重锤锤击方式。为提高信噪比和分辨率,突出浅层勘查效果,在浅层地震原始数据资料处理过程中,重点对于干扰信号进行消除和压制。经数据处理后最终得到水平叠加的时间剖面。由速度谱分析和速度扫描得到较准确的各层均方根速度模型,再根据均方根速度与其速度的关系,对比分析时间剖面的反射波组,确定反射层的构造形态,从而获得相应的解释剖面。

3 综合物探成果解释

3.1 成果解释分析

由高密度电法二维反演电阻率断面图分析,调查区断面图均显示为四个电性层,自上而下分别是浅表层:视电阻率中等,高低变化杂乱无序,一般在 $20 \sim 80\Omega \cdot \text{m}$ 之间变化,深度在 1 m 左右,主要是地表水泥、砖石等构筑、回填物的反映;过渡层:分布在 $1 \sim 9\text{ m}$ 以内区域,处于向下视电阻率由高变低的过渡带上,应是黄土状粉土层的反映;低阻层:视电阻率小于 $25\Omega \cdot \text{m}$ 的低阻区,分布在 $9 \sim 20\text{ m}$ 深度范围内,低阻区分布一般呈水平长轴状出现,间有收缩或断续现象,主要是低阻的粘土层引起;高阻梯度层:视电阻率向下逐渐增高,视电阻率大于 $25\Omega \cdot \text{m}$,主要分布在 20 m 以下,应是区内砾土层、风化基岩层的反映(图 1)。

高密度电法解释的地质岩性分层结果与勘察成果基本一致。各岩性层基本呈水平展布,整体略显西高东低,厚度不均匀,其中低阻层薄厚变化或消失反映了粘土层的稳定和受破坏程度,因此,在低阻层中,视电阻率在 $20 \sim 25\Omega \cdot \text{m}$ 之间的低阻粘土层变薄区域,粘土层受破坏程度较高,推测为塌陷危险区,原低阻层层位上视电阻率在 $25\Omega \cdot \text{m}$ 以上,说明此处低阻粘土层基本消失,是已经或正在发生的塌陷点,视电阻率在 $20\Omega \cdot \text{m}$ 以下区,低阻粘土层仍存在,推测为塌陷预防区(图 2)。

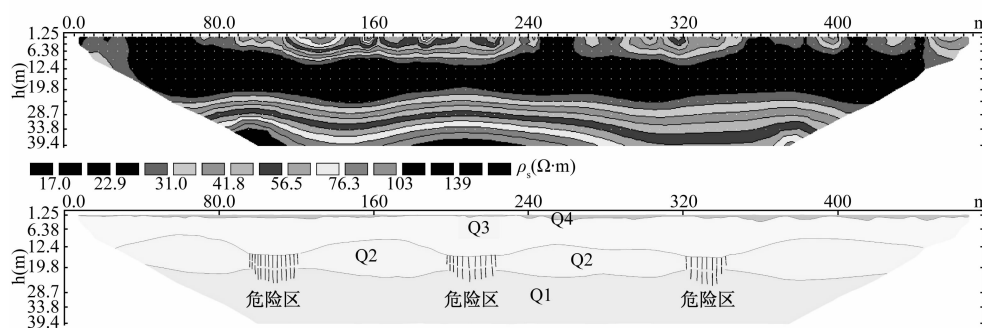


图1 10线高密度电法拟断面(上)及解释图(下)

Fig.1 10-line electricity method proposed section (on) and the interpretation chart (bottom)

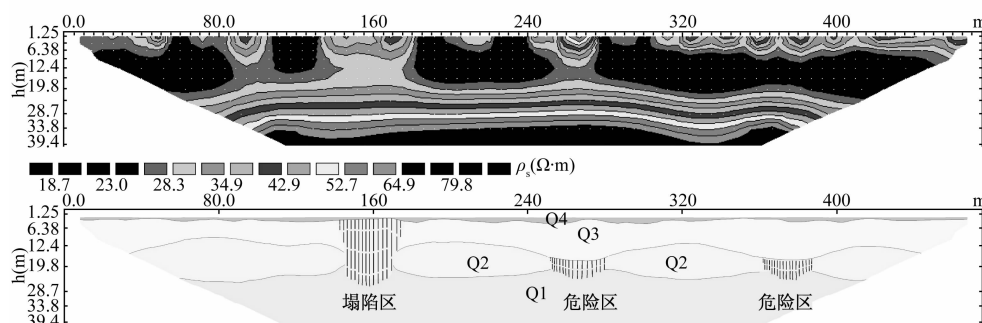


图2 7线高密度电法拟断面(上)及解释图(下)

Fig.2 7-line electricity method proposed section (on) and the interpretation chart (bottom)

从浅层地震剖面上看,在100~140ms内有比较强的反射波组,同向轴清晰、连续,推测为弱风化基岩地质界面的反映,埋深50~70m,基岩同向轴在剖面的90m和480m两处明显错断,水平断距不大,应为两条隐伏挤压性逆冲断裂构造的反映,断裂均倾向南东,倾角 $65^{\circ} \sim 70^{\circ}$,基岩同向轴以上至40~60ms之间,对应风化石英砂岩,泥质页岩等,一般反射波强度较弱,但在部分区域显示一定的连续性,说明对应岩层相对稳定,另部分区域内杂乱无章,连续性差,反映岩石破碎严重,如在剖面上的150m、255m和380m等三处,分别存在有宽度不等的破碎区域,推测为破碎带位置(图3)。

浅层地震剖面解释结果,调查区内推测断裂构造 F_1 、 F_2 共2条,破碎带共4条,分别为 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 。 F_1 、 F_2 断裂均呈北东走向,相互基本平行,间距约130m, F_1 位于向阳村中南部, F_2 位于村子北边,断裂两边都延伸到村外。 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 破碎带位于两条断裂之间,间距50~60m左右,呈北东向并行排列。

3.2 预测划分塌陷区

在地表调查发现的塌陷基础上,根据高密度电法解释推断的起隔阻作用的粘土层薄厚状况与受破坏程度,以及浅层地震反射波法推测的隐伏断裂破碎带走向与分布状态等,将调查区划分为塌陷危险区、塌陷预防区和相对稳定区等三类区域(图4)。塌陷危险区是指土层的结构、构造已经或正在产生塌陷变化的地质灾害区,调查区内共圈定出4个危险区,主要分布于向阳村的中偏东北部,均为北西走向的条带状,一般宽度为30~40m,长度100~130m,整体呈北东向并行排列。塌陷危险区位于 F_1 、 F_2 断裂之间,其分布、走向与破碎带 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 基本吻合,这是由于地下水沿破碎带流动产生搬运、溶蚀作用造成,符合该区地面塌陷形成机理,也得到工程勘察证实;塌陷预防区是指 F_1 、 F_2 断裂之间除危险区之外的区域,其粘土层虽受到一定程度破坏,但仍能起到隔阻作用,当遇较长丰水季节时,不排除出现塌陷灾害的风险;其余区域地层结构、构造相对稳定,土层破坏程度弱,目前也未发现塌陷灾害,圈定为相对稳定区。

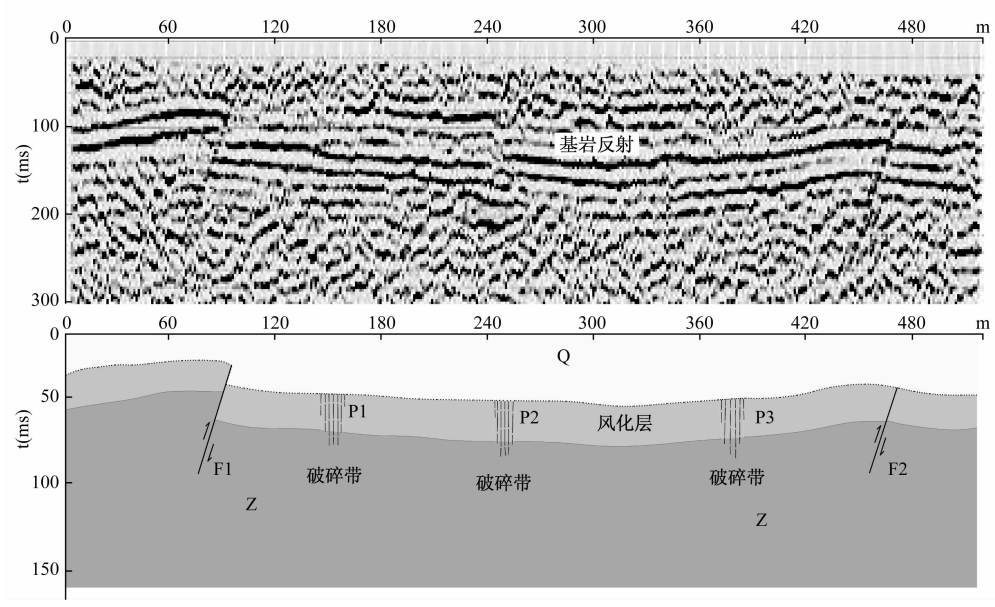


图 3 B 线浅层地震剖面 (上) 及解释图 (下)

Fig. 3 B line shallow earthshock profile (on) and the interpretation chart (below)

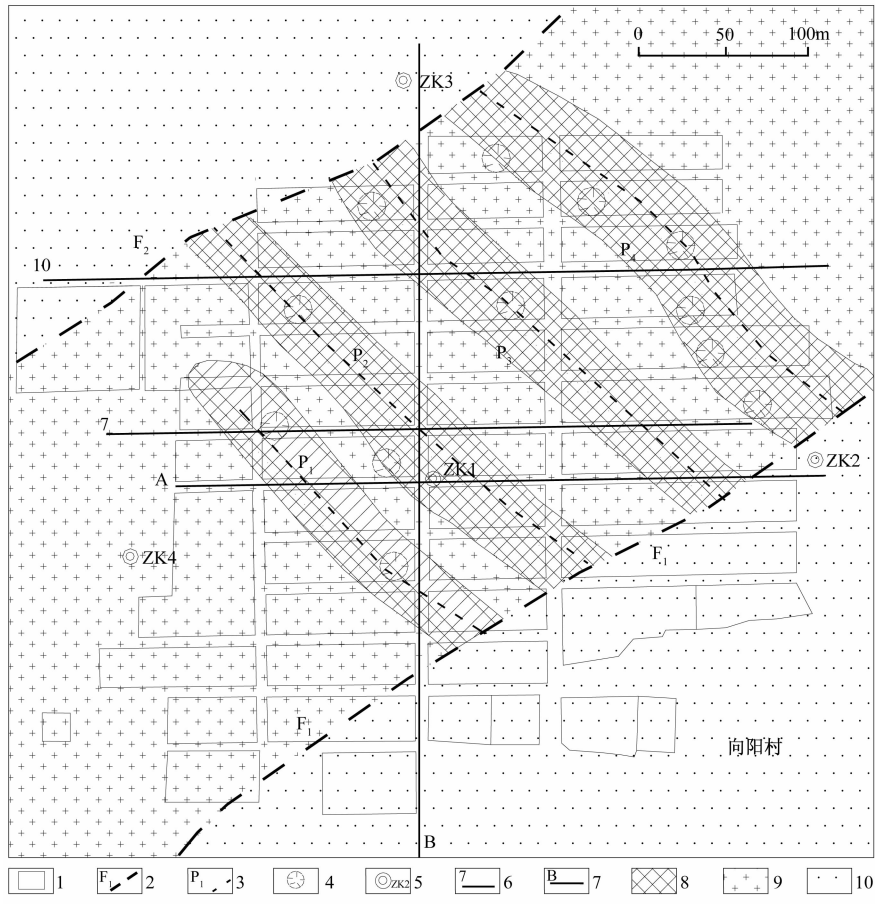


图 4 向阳村地面塌陷点及灾害区预测分布图

Fig. 4 Xiangyang Village of ground subsidence and disaster area prediction distribution

1 - 居民区; 2 - 推断断裂; 3 - 推断破碎带; 4 - 地面塌陷点; 5 - 钻孔及孔号; 6 - 电法勘探线; 7 - 地震勘探线; 8 - 塌陷危险区; 9 - 塌陷预防区; 10 - 相对稳定区

4 结论与建议

(1)向阳村民宅建筑区大部分位于两条断裂之间的塌陷预防区内,部分还处在塌陷危险区中,应作为地面塌陷灾害治理的重点区域范围,并根据所处分区差异,选择相应的施工方法进行综合治理。

(2)高密度电法对解决塌陷灾害区第四系分层厚度特别是低阻层厚度变化与分布效果明显,浅层地震勘探对探测分析隐伏断裂、破碎带及基岩界面空间位置方法有效。在瀑河水库地面塌陷区防治工作中,可作为前期调查的主要方法。

(3)自然地面塌陷地质灾害成因复杂,查明其规模、形态、分布和发展规律难度很大。综合物探方法可以进行二维断面甚至三维立体的探测并形成解释图像,有利于对灾害区进行分析评估,这是从点推面的钻探勘察方法所不能取代的。

参考文献:

[1] 王景山,田级生,陈秀萍.河北省瀑河水库侧向倒灌

岩溶塌陷[J].中国地质灾害与防治学报,2004,15(4):123-124.

WANG Jingshan, TIAN Jisheng, CHEN Xiuping. Baohe reservoir lateral intrusion of karst collapse in Hebei [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2004, 15(4): 123-124.

[2] 郭建强.地质灾害勘查地球物理技术手册[M].北京:地质出版社,2003.

GUO Jianqiang. Geological disasters geophysical technical manuals [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2003.

[3] 田钢,刘菁华,曾绍发.环境地球物探教程[M].北京:地质出版社,2005.

TIAN Gang, LU Jinghua, ZENG Shaofa. The geophysical tutorial for the environment and earth [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005.

[4] 傅良魁.电法勘探教程[M].北京:地质出版社,1983.

FU Liangkui. Electrical prospecting tutorials [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1983.

Application of synthetical geophysical method to ground collapse zone research of Baoding Xiangyang village

XU Jin-shan, DENG Bo

(No. 519 Team of North China Exploration Bureau, Baoding 071051, China)

Abstract: Xiangyang Village underground soil layer under the action of water, non-uniform loss caused by the ground pit (hole) subsidence, collapse, a direct result of the houses were destroyed, seriously affected the villagers' normal production and life order. using integrated geophysical methods for high density electrical and shallow seismic exploration, survey work on the collapse area, identify the survey area, the stratigraphic hierarchy, the soil layer thickness and the buried fault fracture zone distribution, and predict the division of the collapse danger zone, collapse prevention area and a relatively stable area, determine the specific scope, designed to control construction to provide a scientific basis for follow-up disaster control work.

Key words: