

DIZHI ZAIHAI
KANCHA
DIQIU WULI
JISHU SHOUCHE

地质灾害勘查 地球物理技术手册

● 郭建强 主编

地质出版社



地质灾害勘查地球物理技术手册

主 编：郭建强

副主编：朱汝烈

编 写：(按姓名拼音顺序)

曹福祥	程业勋	封绍武	高新平	高幼龙
李大心	连 克	刘海生	彭 成	孙党生
孙建平	唐大荣	王洪德	吴庆曾	武 毅
赵连锋	朱介寿	朱庆俊		

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本《手册》以狭义的地质灾害——崩塌（危岩）、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝、地面沉降、海水入侵及堤坝渗漏、坍塌等8个灾种为主线，扼要地给出了其定义、分类、特征及其勘查中的主要地质问题；同时按直流电阻率法、电磁法、弹性波法、层析成像法、测井、放射性及其他方法等方法门类以表格形式列出各方法能够解决的具体地质问题，应用条件和技术经济特点，并根据初步勘查、详细勘查和专项勘查不同阶段的要求提供物探方法选优的参考表。为便于参考和利用，《手册》还提供了部分典型地球物理勘查实例，并对所涉及的地球物理方法的基本原理、观测方法、技术要求、信息和数据处理方法、成果表达形式、资料解释原则和常用仪器设备进行了扼要介绍。

本书适用于从事地质灾害勘查的工程地质和地球物理技术人员以及有关研究人员和管理者，也可作为大中专院校师生的参考书。

图书在版编目（CIP）数据

地质灾害勘查地球物理技术手册/郭建强等编著.-北京：地质出版社，2003.11
ISBN 7-116-03855-8

I. 地… II. 郭… III. 地质灾害-地球物理勘探-技术手册 IV. P694-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2003）第 091415 号

责任编辑：陈 磊 李 燕

责任校对：关风云

出版发行：地质出版社

社址邮编：北京海淀区学院路 31 号，100083

电 话：(010) 82324508（邮购部）；(010) 82324565（编辑部）

网 址：<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱：zbs@gph.com.cn

传 真：(010) 82310759

印 刷：北京京科印刷有限公司

开 本：787mm×1092mm¹/₁₆

印 张：16

字 数：400 千字

印 数：1—1800 册

版 次：2003 年 11 月北京第一版·第一次印刷

定 价：40.00 元

ISBN 7-116-03855-8/P·2380

（凡购买地质出版社的图书，如有缺页、倒页、脱页者，本社发行处负责调换）

前 言

地质灾害是严重危害人民生命财产安全和制约社会经济可持续发展的自然灾害之一。统计资料显示,全国因地质灾害造成的损失每年高达 270 亿元,目前共发现各类地质灾害点百万处,每年发生地质灾害达十余万次,有 700 多个县(市)、数万个村庄面临严重威胁。全国有 24 个省(区)存在地面沉陷灾害,塌陷坑总数达 3 万多个;46 个城市和地区发生地面沉降和地裂缝灾害;人为诱发地质灾害已占地质灾害总数的 50%。

随着长江三峡工程移民迁建以及西气东输、南水北调和西部大量的铁路、公路等基础设施建设工程的开展,诱发和加剧西部地质灾害的发生,危害程度不断增加。例如,长江三峡工程库区的巴东、巫山、奉节等搬迁新县城址和一批乡镇新址,受到滑坡、泥石流灾害直接危害或潜在威胁。2000 年 5 月 1 日发生于重庆市武隆县城北的崩塌灾害,造成 70 多人惨死的悲剧;5 月 29 日,贵州省兴义市白龙山山体裂缝造成大面积滑坡,使煤矿工人及过往群众十余人失踪,车辆被掩埋损毁。宝成铁路、成昆铁路、川藏公路长期受崩塌、滑坡、泥石流困扰,每年都发生阻断交通事件。

在地质灾害勘查中,作为基本技术手段的地球物理勘探技术具有显著优势地位和重要作用。其表现为:针对不同地质灾害体需查明的地质问题,可选择适宜的地表和地下(井中)地球物理勘探方法组合,进行经济、实用的立体勘查。应用各种地球物理勘探方法的层析成像技术,获得地质灾害体直观和形象的数字图像;可以提供诱发地质灾害的地下水流向、流速等参数;可以提供灾害治理工程所需的弹性模量、泊松比、抗压强度等力学参数;提供用于地质灾害勘查的各种地球物理勘探方法成果综合分析的平台,实现多元信息(地质、钻孔、物探)的管理和分析。在近年开展的地质灾害调查勘查中,已经成功地应用了一批行之有效的物探技术方法。如,浅层高分辨率人工地震法、音频大地电场法、自然电位法、 α 杯法、瞬态面波法、弹性波跨孔层析成像、无线电波透视层析成像和声波检测、密度测井、井下电视等,均发挥了相应作用。

地质灾害既是一种自然地质现象,也是受人为工程活动诱发、加剧危害的一种灾害事故。致灾主体是在自然地质作用或人为活动触动下,内部结构发生改变,岩石或土体性质恶化、脆弱,直至失稳破坏的特殊地质体。其岩石(土)性质及结构、力学性质、电磁特性、声学性质、含水性及渗透性能等水理性质、放射性等一系列特性与围岩特性存在显著差异。针对性的运用地球物理勘查技术,可方便、快捷地提供反映灾害地质体点、线、面上的丰富信息,为判定地质灾害的范围、内部结构、变形破坏关键部位,建立灾害体地质概念模型、分析成灾机理,判断灾害体稳定程度及其发展趋势,进行灾害体防治工程及监测系统设计等提供重要基础资料信息。地球物理勘查技术可加快地质灾害勘查速度、提高勘查精度,是地质灾害勘查防治不可缺少的重要手段。

由于地质灾害勘查的目的物尺寸相对较小,内部结构复杂,场地地形条件较差,应用地球物理技术勘查地质灾害具有一定的特殊性。需要针对地质灾害的特征和物探方法的选

择进行系统、全面的总结，为地质灾害勘查的进一步发展提供指导。此外，随着人们对地质灾害危害和机理认识水平的不断提高，地质灾害的评估、防治、监测工作力度逐渐加大，客观上要求勘查工作的程度和精度不断提高，加之，物探新技术方法的不断发展，为地质灾害勘查提供了更丰富的技术手段，需要及时、有选择地引入地质灾害勘查工作中，提高勘查技术的整体水平。为避免地质勘查物探技术运用的盲目性，加快其技术的发展步伐，需要逐步完善地质灾害勘查的地球物理技术系列，以适应地质灾害勘查、防治、减灾工作的形势。

随着计算机的普及和信息技术的发展，地理信息系统日渐成为有效的应用工具之一。它以其有效的数据管理形式对地质灾害勘查中获取的多源数据信息进行管理、更新、维护、快速查询检索，并以多种方式输出决策所需的地理空间信息及相关资料，具备空间实体的定义能力及空间关系的查询能力，并能将地面地理信息与地下地质信息在同一应用平台上有机结合，弥补了传统信息管理方式的不足，是对数据进行综合管理的理想工具、手段；同时，其基于矢量和栅格数据的空间分析功能使物探数据综合解释成为可能。

为满足从事地质灾害勘查防治的工程地质和地球物理勘查专业人员工作之需，按国土资源部地质环境司的部署，组织多年来从事地质灾害勘查、科研、教学工作，积累有相对丰富经验的科技人员，共同总结，编写了《地质灾害勘查地球物理技术手册》。

鉴于地质灾害的类型和地球物理技术方法种类繁多，《手册》涉及的地质灾害种类范围仅狭义概念化为：在自然地质作用或人为因素引起（诱发）影响下，近期可能发生的直接危害人群生命财产安全、造成一定损失、恶化地质环境的地质体失稳破坏现象。具体包括崩塌（危岩）、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝、地面沉降、海水入侵及堤坝渗漏、坍塌等8种地质灾害。地球物理技术包括直流电法、电磁法、弹性波法、地球物理层析成像法、测井、放射性等几个方面。

为便于使用和避免内容的重复，《手册》编写分两个部分。第一篇为地质灾害勘查，共分九章。第一章至第八章为8个灾种，分别是崩塌（危岩）、滑坡、泥石流、地面塌陷（陷落柱）、地裂缝、地面沉降、海水入侵和堤坝渗漏、坍塌。各章以其灾种的分类，自然属性为主线，内容包括灾种的定义、分类、特征、勘查的基本要求、解决的主要地质问题、勘查的地球物理方法、优化组合方案以及典型勘查实例分析。第九章为地质灾害勘查地球物理信息系统的建立。第二篇为地球物理方法，共分六章，六类方法，分别是直流电法、电磁法、弹性波法、层析成像法、测井和放射性及其他方法。主要内容包括：方法基本原理、观测方法、技术要求、信号与数据处理方法、成果表达形式、资料解释原则和常用仪器设备。为便于查阅，正文之后以附录形式列举了相关的规范、标准书目以及常用的单位、符号、代号、参数、系数等表。

本《手册》由中国地质调查局水文地质工程地质技术方法研究所牵头，邀请部分勘查、科研、院校科技人员分工编写而成。具体编写内容及分工为：第一篇地质灾害部分，由王洪德编写第1章及第2章之第1、2节，由高幼龙编写第3章及第4章之第1、2节，由高新平编写第5章及第6章之第1、2节，由孙建平编写第7章及第8章之第1、2节，第9章由朱庆俊编写；各章之地球物理技术与实例部分由郭建强汇编；全篇由朱汝烈、郭建强统编。第二篇物探方法部分，由曹福祥编写第10章之自然电位法、充电法、高密度电阻率法及第11章之频率域电磁测深法、瞬变电磁法等节，由连克编写第10章之

电阻率测深法、电阻率剖面法、激发极化法及第 11 章之音频大地电场法、甚低频电磁法等节，由李大心编写第 11 章之探地雷达节，由唐大荣、彭成编写第 12 章之浅层地震法节，由孙党生编写第 12 章之瑞雷波法节，由吴庆曾编写第 12 章之声波法节，由朱介寿、赵连锋编写第 13 章层析成像法节，由武毅编写第 12 章之电磁剖面法及第 14 章之电阻率法测井、自然电位测井、放射性深井、参数测井等节，由封绍武编写第 14 章之井下电视节，由程业勋、刘海生编写第 15 章之氦气法节，由郭建强编写第 15 章之汞气测量法、微重力测量法、地温法等节，各方法编写者同时提供了部分应用实例；全篇由郭建强统编。全《手册》文字、图件处理由邵汝君、史彦新、王璇完成。

《手册》的编写，始终得益于国土资源部地质环境司的支持和李烈荣、柳源、李继江等同志的指导，借此表示衷心感谢。囿于编写者水平、阅历及工作区域范围所限，《手册》所述内容偏颇、谬误在所难免，所举实例亦难免缺乏代表性、典型性。敬请读者指正。

作 者
2003 年 4 月

目 录

第一篇 地质灾害勘查

1 崩塌	(4)
1.1 崩塌的定义及分类	(4)
1.2 崩塌勘查中解决的主要地质问题	(5)
1.3 崩塌勘查的地球物理方法	(6)
1.4 崩塌勘查地球物理技术方法组合	(8)
1.5 崩塌勘查典型实例示范	(9)
2 滑坡	(18)
2.1 滑坡的定义及分类	(18)
2.2 滑坡勘查中解决的主要地质问题	(20)
2.3 滑坡勘查的地球物理方法	(21)
2.4 滑坡勘查地球物理技术方法组合	(23)
2.5 滑坡勘查典型实例示范	(24)
3 泥石流	(43)
3.1 泥石流的定义及分类	(43)
3.2 泥石流勘查中解决的主要地质问题	(45)
3.3 泥石流勘查的地球物理方法	(46)
3.4 泥石流勘查地球物理技术方法组合	(47)
3.5 泥石流勘查典型实例示范	(47)
4 地面塌陷	(49)
4.1 地面塌陷的定义及分类	(49)
4.2 地面塌陷勘查中解决的主要地质问题	(50)
4.3 地面塌陷勘查的地球物理方法	(51)
4.4 地面塌陷勘查地球物理技术方法组合	(53)
4.5 地面塌陷典型实例示范	(54)
5 地裂缝	(75)
5.1 地裂缝的定义及分类	(75)
5.2 地裂缝勘查中解决的主要地质问题	(76)
5.3 地裂缝勘查的地球物理方法	(77)
5.4 地裂缝勘查地球物理技术方法组合	(78)
5.5 地裂缝勘查典型实例示范	(79)

6 地面沉降	(81)
6.1 地面沉降的定义及分类.....	(81)
6.2 地面沉降勘查中解决的主要地质问题.....	(81)
6.3 地面沉降勘查的地球物理方法.....	(82)
6.4 地面沉降勘查地球物理技术方法组合.....	(83)
6.5 地面沉降勘查典型实例示范.....	(83)
7 海水入侵	(84)
7.1 海水入侵的定义及分类.....	(84)
7.2 海水入侵勘查中解决的主要地质问题.....	(85)
7.3 海水入侵勘查的地球物理方法.....	(85)
7.4 海水入侵勘查地球物理技术方法组合.....	(87)
7.5 海水入侵勘查典型实例示范.....	(87)
8 堤坝渗漏、坍塌	(91)
8.1 堤坝渗漏、坍塌的定义及分类.....	(91)
8.2 堤坝渗漏、坍塌勘查中解决的主要地质问题.....	(91)
8.3 堤坝渗漏、坍塌勘查的地球物理方法.....	(92)
8.4 堤坝渗漏、坍塌勘查地球物理技术方法组合.....	(94)
8.5 库岸坍塌、堤坝渗漏勘查典型实例示范.....	(94)
9 地质灾害勘查地球物理信息管理系统的建立	(105)
9.1 概述.....	(105)
9.2 地球物理信息的标准化.....	(107)
9.3 地质灾害勘查地球物理信息管理系统的建立.....	(109)

第二篇 地球物理方法

10 直流电法	(117)
10.1 自然电位法.....	(117)
10.2 充电法.....	(120)
10.3 电阻率剖面法.....	(122)
10.4 电阻率测深法.....	(124)
10.5 激发极化法.....	(126)
10.6 高密度电阻率法.....	(128)
11 电磁法	(131)
11.1 音频大地电场法.....	(131)
11.2 电磁剖面法.....	(132)
11.3 甚低频电磁法.....	(136)
11.4 频率域电磁测深法.....	(138)
11.5 瞬变电磁法 (TEM).....	(139)
11.6 探地雷达.....	(142)

12 弹性波法	(151)
12.1 浅层地震法	(151)
12.2 瑞雷波法	(158)
12.3 声波法	(164)
13 地球物理层析成像	(182)
13.1 地球物理层析成像基本原理	(182)
13.2 地球物理层析成像野外观测技术	(183)
13.3 地球物理层析成像资料处理	(185)
13.4 地球物理层析成像仪器设备	(186)
14 测井	(189)
14.1 电阻率法测井	(189)
14.2 自然电位测井	(192)
14.3 放射性测井	(193)
14.4 参数测井	(197)
14.5 井下电视	(200)
15 放射性及其他方法	(203)
15.1 氦气法	(203)
15.2 汞气测量	(210)
15.3 微重力测量	(213)
15.4 地温法	(220)
附录 1 引用标准、规程规范、规定及相关手册	(223)
附录 2 物理量的量纲和单位	(224)
附录 3 常用单位的换算	(228)
附录 4 岩石和土的物性参数	(234)

第一篇 地质灾害勘查

地质灾害勘查的目的在于探明灾害体的地质环境条件及其内部结构特征，确定灾害体范围、规模，分析灾害形成、发生、发展的原因、机理及控制因素，评价灾害体稳定状态，预测发展趋势及危害性，为被动避让或主动防治的可行性方案论证提供决策依据，并为防治工程设计、施工、监测预报提供相关技术参数。

因此，地质灾害勘查不同于一般工民建和工程地质勘查，其显著特点是始终将查明和分析地质灾害体的岩土体结构变异、稳定状态及潜在危害置于突出地位。针对灾害体的种类、性质、规模及其对国民经济和人民生命财产的可能危害程度，在不同的勘查阶段采用相应的勘查手段和技术方法，布置相应适当的勘查工作量。地质灾害勘查一般可分为初步勘查、详细勘查和专项勘查阶段。

(1) 初步勘查：任务在于调查地质灾害的范围、规模、地质背景条件、灾害体的岩土体结构及变形破坏基本特征，分析形成灾害的主要原因及控制性因素，定性评价、判定灾害体的稳定状态。

此阶段使用的勘查方法主要为充分利用已有地质、水文工程地质区测资料和遥感（航卫片）资料基础上的地质-工程地质调查、测绘、填图，配合以适当的地球物理勘查技术方法，并以剥土、坑槽探等山地勘探工程予以验证，必要时在灾害体重点部位布置少量钻探工作。

(2) 详细勘查：详细勘查阶段重点在于查明灾害体岩土体的物理力学性质及控制灾害体稳定状态的软弱结构面特征。主要工作内容为获取表征岩土体的物理、力学性质的有关参数数据，探测控制灾害体发生、发展、破坏的构造断裂、裂隙、裂缝、破碎带、软弱夹层、基岩风化带、溶洞、采空区、老窿的分布埋藏情况及地下水的埋藏、补给、径流情况，为灾害体的形成机理和控制因素分析，控制性软弱、破坏面（带）特征及位置的确定，稳定性计算、评价及发展趋势、危害性的分析预测提供依据，并为防治方案论证决策和防治工程设计、施工及监测预报系统的布置提供技术基础参数。

详勘阶段除进行大比例尺工程地质测绘填图外，宜根据灾害种类、规模、岩土体基本特征等地质背景条件，优化选择适宜的地球物理勘查技术方法进行地面勘查工作，同时加大钻探、坑槽探、竖井、平斜探硐等勘探工程量及岩土体原位试验和岩土试样实验室测试。在进行勘探工程的过程中，充分利用井、孔、硐、槽进行地球物理方法的检测、测试，提供岩土体物理性质和动力学参数资料。

(3) 专项勘查：对国民经济具有重大危害、经论证决策须进行工程防治治理的重点、典型地质灾害体，还应进行专项勘查。其目的是对灾害体岩土性质、物理力学参数、灾害体内部结构、控制性软弱破坏面等敏感关键部位的性质特征进行专门勘查、试验、分析、计算、评价，为防治工程设计、工程措施的选定和施工程序、场地布置安排，工程监测预

报系统的建立和运行提供详细、准确的技术参数依据。

在此阶段，投入的勘查工作量一般不会太大。宜首先充分运用适宜的地球物理勘查方法做专门补充勘查，进行“无损探测”，论证布置必要补充的钻孔、竖井、平硐等勘探工程，尽量减小勘探工程对灾害体稳定状态和防治工程措施的干扰破坏。在灾害体实施的防治工程补充进行的勘探工程的井、孔、硐中，还可充分运用地球物理技术方法进行岩土体性质特征和成孔质量的测试、检测，为修订补充防治工程设计和施工反馈有价值的资料信息。

显然，对于不做防治治理的地质灾害体，一般无须进行专项勘查。

可见，在地质灾害勘查的各个阶段，都可以充分运用适宜有效的地球物理勘查技术方法，与常规、传统的调查、勘探技术手段有机配合，互为补充，在地质灾害从查明情况到防治治理工程实施的全过程中发挥其独特作用。

为充分发挥地球物理勘查技术方法在地质灾害勘查中的作用，在具体的方法、手段选用时应考虑如下选择原则：

(1) 充分收集分析工作区已有地质、工程地质、水文地质、物探成果资料及水文、气象等相关资料。根据工作区地质环境、灾害种类选择相应技术方法。

(2) 地质和物探技术人员共同赴工作区现场踏勘，根据工作区现场条件，结合各种物探工作方法的原理、适用范围、适宜的工作环境及须尽力避免的制约、不利因素，因地制宜分析选择。

(3) 勘查总工作量许可的前提下，尽可能选用多种方法、手段，发挥各自特长，互相验证、补充；并做到地面与深部（井、孔、硐内）物探工作搭配适当。

在勘查中，各种地球物理勘查技术方法总的技术要求是：

(1) 根据勘查总体任务、设计要求及相应物探方法勘查技术规范、标准，编制专门设计书（或总设计书的物探章节）。

(2) 对灾害体岩土性质、结构及物理力学性能基本情况掌握不足时，对拟选的物探方法及工作布置方案宜先进行适量的前提性试验勘查工作。

(3) 主要物探剖面应尽量与工程地质剖面 and 山地工程勘探剖面重合或靠近。物探剖面数量上应多于山地工程剖面，且其勘查测试应先于山地工程进行，为山地工程点位布置提供参考依据，并利于山地工程揭露的灾害体有关性质信息验证物探成果资料的准确性。

(4) 物探勘查、测试、探查的深度应大于崩滑体的厚度、控制性软弱结构面（带）的埋深或垂向延伸深度和钻孔最大孔深、平斜硐的硐底埋深。

(5) 物探异常点和设计的山地工程点位附近及灾害体设计勘查重点地带应加大物探工作力度：增加补充剖面、加大测点密度和探测深度、采用多方法勘查等。

(6) 充分利用山地工程井、孔、硐，进行（灾害）体内多种物探手段测试、勘查、检测，确定控制性软弱结构面的准确位置和性质特征。

此外，用于地质灾害勘查的地球物理方法门类繁多，勘查方法的选择显得尤为重要，本手册地球物理方法的选择与优化主要考虑以下原则：

(1) 必要性原则，勘查工作不同于研究工作，目的性、实用性很强。因此，必要性是首要考虑的因素；

(2) 有效性原则，方法的有效性和解决问题的能力是方法选择的基本条件；

- (3) 经济性原则，不同勘探阶段，对问题的解决程度要求不同，投入的勘探经费不同，合理的经费支撑是基础；
- (4) 多样性原则，考虑不同方法的相互替代或补充；
- (5) 灵活性原则，根据目的、任务，经费可以选择合适方法组合。

1 崩 塌

1.1 崩塌的定义及分类

1.1.1 定义

崩塌 (falling) 是高陡边坡 (含人工边坡) 上被陡倾的张性破裂面分割的块体完全脱离母体后, 以滚动、跳动、坠落、倾倒等为主的移动现象与过程。危岩体是正在开裂变形, 并可能发生崩滑的危险山体。

1.1.2 分类

(1) 按起始运动形式分为: 倾倒式崩塌、滑移式崩塌、错断式崩塌、拉裂式崩塌、鼓胀 (塑流) 式崩塌、陷落挤出式崩塌 (表 1-1)。

表 1-1 崩塌分类说明表

崩塌类型	岩 性	结构面	地 貌	崩塌体形状	受力状态	起始运动形式	失稳主要因素
倾倒式崩塌	黄土、石灰岩及其他直立岩层	多为垂直节理, 柱状节理, 直立岩层面	峡谷, 直立坡, 崖	板状, 长柱状	主要受倾覆力矩作用	倾倒	静水压力, 动水压力, 地震力, 重力
滑移式崩塌	多为软硬相间的岩层, 如石灰岩夹薄层页岩	有倾向临空面的结构面 (可能是平面、楔形或弧形)	陡坡通常大于 55°	可能组成各种形状, 如板状, 楔形, 圆柱状等	滑移面主要受剪切力	滑移	重力, 静水压力, 动力压力
鼓胀式崩塌	直立的黄土, 粘土或坚硬岩石下有较厚软岩层	上部垂直节理, 柱状节理, 下部为近水平的结构面	陡坡	岩体高大	下部软岩受垂直挤压	鼓胀, 伴有下沉、滑移、倾斜	重力, 水的软化作用
拉裂式崩塌	多见于软硬相间的岩层	多为风化裂隙和重力拉张裂缝	上部突出的崖	上部硬岩层以悬臂梁形式突出	拉张	拉裂	重力
错断式崩塌	坚硬岩石或黄土	垂直裂隙发育, 通常无倾向临空面的结构面	大于 45° 的陡坡	多为板状, 长柱状	自重力引起的剪切力	错断	重力
陷落挤出式崩塌	可溶岩或含矿岩层	垂直裂隙发育, 有倾向临空面的结构面	大于 45° 的陡坡	楔状, 块状岩块及其他形状	自重力引起的张力剪力, 作用于空区顶板	陷落, 下沉	重力, 地震力

(引自胡厚田, 1989)

(2) 按动力成因分为:

自然动力型: 降雨型崩塌、冲蚀型崩塌、风化剥蚀型崩塌、地震型崩塌、堆积加载型崩塌。

人工动力型: 明挖型崩塌、洞掘型崩塌、爆破型崩塌、水库蓄水诱发型崩塌、渗漏型崩塌、人工加载型崩塌。

(3) 按潜在规模(体积)分为:

巨型 $> 100 \times 10^4 \text{ m}^3$;

大型 $100 \times 10^4 \text{ m}^3 \sim 25 \times 10^4 \text{ m}^3$;

中型 $25 \times 10^4 \text{ m}^3 \sim 1 \times 10^4 \text{ m}^3$;

小型 $< 1 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

(4) 按物质组成为: 岩质崩塌、土质崩塌(黄土崩塌、除黄土外不细分土质崩塌)、岩性不明崩塌。

(5) 按崩塌类型分为: 单体崩塌、崩塌群、危崖等。

1.2 崩塌勘查中解决的主要地质问题

1.2.1 勘查的基本要求

(1) 调查崩塌区自然地理条件及地质环境;

(2) 查明崩塌体产出地位置、形态、分布高程、几何尺寸、体积规模;

(3) 查明崩塌体的地质结构, 包括地层岩性、地形地貌、地质构造、岩(土)体结构类型、斜坡组构类型。岩土体结构应重点查明软弱(夹)层、断层、褶曲、裂隙、裂缝、岩溶、采空区、临空面、侧边界、底界(崩、滑带)以及它们对崩塌的控制和影响;

(4) 查明崩塌体的水文地质条件和地下水赋存特征;

(5) 查明崩塌变形发育史及变形特征;

(6) 划定崩塌灾害范围, 确定崩塌派生灾害的范围;

(7) 查明非地质孕灾因素(如降雨、开挖、采掘等)的强度、周期以及它们对崩塌变形破坏的作用和影响;

(8) 研究崩塌体变形破坏形式特征, 研究其稳定性。

1.2.2 地球物理勘查解决的主要地质问题

(1) 探测第四系覆盖层厚度, 划分第四系与下伏基岩界面;

(2) 探测含水层的埋深、厚度及分布;

(3) 探测岩溶、裂缝的分布、埋深及充水性;

(4) 探测覆盖层较薄时的基岩风化厚度;

(5) 覆盖层较薄时, 探查下伏地层中褶皱、岩脉、断层的位置与产状;

(6) 探查崩塌体边界条件(裂缝、隐伏裂缝、断裂面、溶蚀面等)、软夹层, 崩塌体底部界面(土体富水带、下伏基岩面、滑带等);

(7) 探查崩塌体的岩体结构、岩性接触带、破碎带、裂隙带;

(8) 探测崩塌堆积体厚度、堆积床形态、崩积体内地下水。

1.3 崩塌勘查的地球物理方法

针对崩塌体勘查中需解决的主要地质问题, 根据各种地球物理方法的适应性、应用条件及经济、技术特点, 可选择相应方法进行勘查, 见表 1-2。

表 1-2 崩塌勘查的地球物理方法选择表

方法名称	解决问题	应用条件	经济、技术特点	
直流电法	电阻率剖面法	1. 探测隐伏断层、破碎带的位置; 2. 探测隐伏地下洞穴的位置、埋深, 判断充填状况; 3. 探测拉张裂缝的位置、充填状况	地形起伏小, 要求场地宽敞	资料简单、直观, 工作效率高, 以定性解释为主; 成本低
	电阻率测深法	1. 测定覆盖层厚度、确定基岩面形态; 2. 探测隐伏破碎带的位置; 3. 探测隐伏洞穴的位置、埋深; 4. 探测塌陷区地层结构, 岩性接触关系	1. 地形无剧烈变化; 2. 电性变化大且地层倾角较陡地区不宜	方法简单、成熟, 较普及; 资料直观, 定性定量解释方法均较成熟; 成本较低
	高密度电阻率法	1. 探测隐伏断层、破碎带的位置、产状、性质; 2. 探测隐伏地下洞穴的位置、形态、埋深, 判断充填物性质; 3. 探测隐伏裂缝的位置、产状、延伸及充填状况; 4. 测定覆盖层厚度, 确定基岩面形态; 5. 划分基岩风化带, 确定其厚度; 6. 探测崩塌体的地层结构, 岩性接触关系; 7. 测定崩塌堆积体的厚度, 确定堆积床形态	1. 地形无剧烈变化, 要求有一定场地条件; 2. 勘探深度一般较小, < 60 m	兼具剖面、深测功能, 装置形式多样, 分辨率相对较高, 质量可靠, 资料为二维结果, 信息丰富, 便于整个分析; 定量解释能力强; 成本较高
电磁法	音频大地电场法	1. 探测隐伏断层、破碎带的位置; 2. 探测隐伏裂缝的位置、连通情况; 3. 探测岩性接触带位置; 4. 探测隐伏洞穴的位置	1. 受地形、场地限制小; 2. 天然场变影响较大时不宜工作; 3. 输电线、变压器附近不宜工作	仪器轻便, 方法简单, 适合地形复杂区工作, 资料直观, 以定性解释为主, 适于初勘工作; 成本低
	电磁剖面法	1. 探测隐伏断层、破碎带的位置; 2. 探测隐伏裂缝的位置、连通情况; 3. 探测岩性接触带的位置; 4. 探测隐伏洞穴的位置、大致埋深及充填性质	1. 地形相对平坦; 2. 强游散电流干扰区不宜工作	对低阻体较灵敏, 方法组合较多, 可针对不同地质体采用不同方式探测, 资料结果较复杂, 以定性解释为主; 成本低
	甚低频电磁法	1. 探测隐伏断层、破碎带的位置; 2. 探测隐伏裂缝的位置、连通情况; 3. 探测岩性接触带的位置; 4. 探测隐伏洞穴的位置、判断充填性质	1. 有效勘探深度较小, 一般数十米; 2. 受电力传输线干扰易形成假异常	被动源电磁法, 较轻便, 受地形限制较小, 以定性解释为主; 成本低
	电磁测深法	1. 探测隐伏断层、破碎带的位置、产状、性质; 2. 探测隐伏地下洞穴的位置、形态及充填物性质; 3. 探测崩塌体的地层结构, 岩性接触关系; 4. 探测崩塌堆积体的厚度, 堆积床形态	1. 适于地表岩性较均匀地区; 2. 电网密集、游散电流干扰地区不宜工作	工作简便, 效率高, 勘探分辨率较高, 受地形限制小, 但在山区受静态影响严重; 成本适中
	瞬变电磁法	1. 探测隐伏断层、破碎带的位置、产状、性质; 2. 探测隐伏地下洞穴的位置、形态及充填物性质; 3. 测定覆盖层厚度, 确定基岩面形态; 4. 划分基岩风化带, 确定其厚度; 5. 探测崩塌体的地层结构, 岩性接触关系; 6. 探测崩塌堆积体的厚度、堆积床形态	1. 受地形、接地电阻影响小; 2. 电网密集、游散电流区不宜工作;	静态影响和地形影响较小, 对低阻体反应灵敏, 工作方式灵活多样; 成本适中

续表

方法名称		解决问题	应用条件	经济、技术特点
电磁法	探地雷达	<ol style="list-style-type: none"> 1. 探测隐伏断层的位置、产状、性质; 2. 探测隐伏地下洞穴的位置、形态; 3. 探测覆盖层厚度,确定基岩面形态; 4. 划分基岩风化带,确定其厚度; 5. 探测裂缝的位置、产状; 6. 探测崩塌体的地层结构,岩性接触关系; 7. 探测崩塌堆积体的厚度、堆积床形态 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 受地形、场地限制较小; 2. 勘探深度较小,最大深度 30~50 m 	具有较高的分辨率,适用范围广;成本较高
	浅层地震法	<ol style="list-style-type: none"> 1. 探测隐伏断层的位置、产状、性质; 2. 探测隐伏地下洞穴的位置、形态; 3. 测定覆盖层厚度,确定基岩面形态; 4. 探测崩塌体的地层结构,岩性接触关系; 5. 探测崩塌堆积体的厚度、堆积床形态 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 人工噪音大的地区施工难度大; 2. 要求一定范围的施工场地 	对地层结构、空间位置反映清晰,分辨率高,精度高;成本高
弹性波法	瑞雷波法	<ol style="list-style-type: none"> 1. 探测隐伏裂缝的位置、产状; 2. 探测隐伏地下洞穴的位置、形态; 3. 测定覆盖层厚度,确定基岩面形态; 4. 探测崩塌堆积体的厚度、堆积床形态 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 受地形、场地条件限制较小; 2. 勘探深度较小,目前一般在 30~50 m 	适合于复杂地形条件下工作,特别是对浅部精细结构反映清晰,分辨率高,工作效率高,资料直观;成本适中
	声波法	<ol style="list-style-type: none"> 1. 探测隐伏裂缝的延伸、产状; 2. 测定崩塌体岩石力学性质,确定岩石完整程度; 3. 探测破碎带、裂缝带,较弱地层的位置、厚度; 4. 检测防治工程质量,确定其强度、均匀性,破坏情况 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 钻孔测试需在下井管之前进行; 2. 干孔测试需要特殊的耦合方式; 3. 可对岩心(样)进行测试 	测试工作技术简单,资料分析直观,效率高,效果明显,并可获得动力学参数;成本适中
层析成像	电阻率层析成像	<ol style="list-style-type: none"> 1. 探明崩塌体地层结构,确定地层厚度、产状; 2. 探明隐伏洞穴的位置、空间形态、充填性质; 3. 探明隐伏断层,破碎带的位置、产状; 4. 探明隐伏裂缝的位置、产状 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 充水(液)孔、孔内无套管; 2. 井-井探测有效距离小于 120 m; 3. 剖面与孔深比一般要求小于 1 	属近源探测,准确性较高,适合对重点部位地质要素的详细了解,资料结果比较直观、精确;成本较高
	电磁波层析成像	<ol style="list-style-type: none"> 1. 探明崩塌体地层结构,确定地层厚度、产状; 2. 探明隐伏洞穴的位置、空间形态、充填性质; 3. 探明隐伏裂缝的位置、产状; 4. 探明隐伏断层、破碎带的位置、产状 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 孔内无套管; 2. 井-井探测有效距离一般在 100 m 以内; 3. 剖面与孔深比一般要求小于 1 	适合对重点部位地质要素的勘探,资料准确、直观;成本较高
	地震层析成像	<ol style="list-style-type: none"> 1. 探明崩塌体地层结构,确定地层厚度、产状; 2. 探明隐伏洞穴的位置、空间形态; 3. 探明隐伏断层的位置、产状; 4. 探明隐伏裂缝的位置、产状 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 钻孔的激发、接收条件要尽可能一致; 2. 可在井管孔中施工; 3. 井-井探测距离小于 120 m; 4. 剖面与孔深比一般要求小于 1 	适合对重点地质要素的了解,资料准确、直观;成本较高
	声波层析成像	<ol style="list-style-type: none"> 1. 探明隐伏裂缝的位置、产状; 2. 探明隐伏洞穴的位置、空间形态; 3. 探明崩塌体的力学性质、完整程度 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 受发射能量限制,井-井跨距一般较小,最大约 30~50 m; 2. 剖面与孔深比一般要求小于 1 	为无损检测工作,孔内工作激发比较简单,可测声波参数多,信息量大;成本较高

续表

方法名称		解决问题	应用条件	经济、技术特点
测井	井下电视	1. 了解钻孔内岩石破碎带的发育特征、状况; 2. 了解钻孔内洞穴的位置、形状及发育特征; 3. 确定钻孔的施工质量	1. 干孔、清水孔; 2. 孔内无套管	信息量大、直观,能提供彩色井壁图像,利于分析;成本适中
	放射性及其他方法			
	氦气法	1. 探测隐伏裂缝的位置、分布; 2. 探测隐伏断层的位置、分布	1. 受地形、场地、环境的限制小; 2. 测点尽可能避开近期的人工扰动地段	方法简便,限制少,适于普查工作;成本低
	汞气测量法	1. 探测隐伏裂缝的位置、分布; 2. 探测隐伏断层的位置、分布	1. 受地形、场地、环境的限制小; 2. 取样点避免近期的人工扰动	方法简便,资料直观,效率高,适于普查工作;成本低
	微重力测量	1. 探测隐伏洞穴的位置、埋深; 2. 探测隐伏断层、破碎带的位置	1. 要求精确的测地工作; 2. 不受场地、环境限制,在坑道、平硐中可开展工作	测量条件简单,资料分析难度较大,适合于在某些特殊环境下的工作;成本高

1.4 崩塌勘查地球物理技术方法组合

根据崩塌体勘查不同阶段的目的任务,结合地球物理方法的技术特点,可供优选的方法及其组合见表 1-3。

表 1-3 崩塌勘查地球物理方法优化组合表

方 法		工 作 阶 段		
		初步勘查	详细勘查	专项勘查
直流电法	电阻率剖面法	※※	※※	※
	电阻率测深法	※	※※	※
	高密度电阻率法	※	※※※	※※
电磁法	音频大地电场法	※※※	※※	※
	电磁剖面法	※	※※	※
	甚低频电磁法	※※	※※	※
	电磁测深法	※	※	※
	瞬变电磁法	※	※※	※※
	探地雷达	※	※※	※※
弹性波法	浅层地震法	※※	※※※	※※
	瑞雷波法	※	※※※	※※
	声波法	※	※※※	※※※
层析成像法	电阻率层析成像	※	※※	※
	电磁波层析成像	※	※	※※※
	地震层析成像		※※	※※※
	声波层析成像	※	※※	※※
测井	井下电视		※※	※※
放射性及其他	氦气法	※※	※	※
	汞气测量法	※※	※	※
	微重力测量	※	※	※

注: ※可用方法; ※※常用方法; ※※※优选方法。