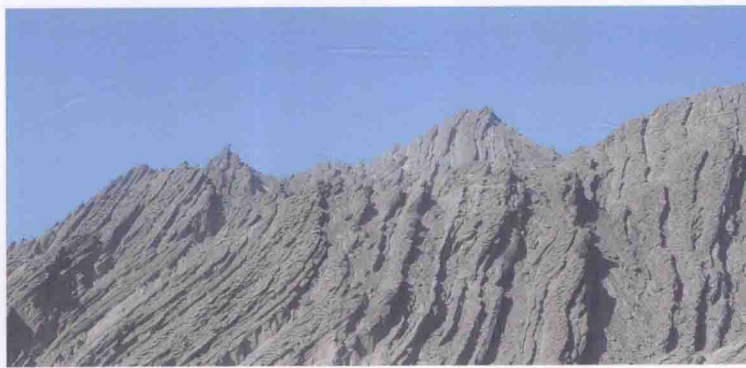
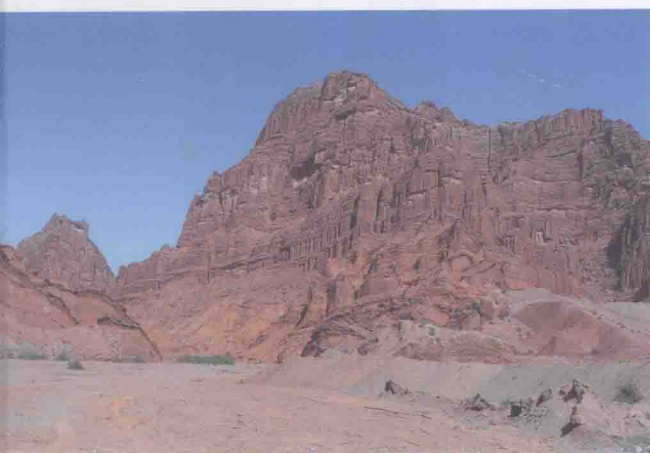


中国西部艰险地区遥感地质 综合调查工作指南

ZHONGGUO XIBU JIANXIAN DIQU YAOGAN DIZHI
ZONGHE DIAOCHA GONGZUO ZHINAN

刘 刚 燕云鹏 刘建宇 王 喆 编著



地质出版社

中国西部艰险地区遥感地质 综合调查工作指南

刘 刚 燕云鹏 刘建宇 王 喆 编著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书根据西部地区的地质背景, 简略介绍了在该地区进行遥感地质调查的工作程序、方法及要点; 针对西部地区的地质和地理特点, 对部分地质现象的成因、遥感影像特征和解译标志等进行了概略介绍; 对在该地区以遥感技术作为主要手段, 进行区域地质、矿产、地形地貌、水文地质背景、工程地质背景、地质灾害、交通信息、土地覆被等区域性综合调查的工作方法、需要遵循的工作标准等进行了阐述。

本书可供在西部地区从事遥感地质调查的专业人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

中国西部艰险地区遥感地质综合调查工作指南 / 刘刚等编著. —北京: 地质出版社, 2016. 3

ISBN 978-7-116-08209-0

I. ①中… II. ①刘… III. ①地质遥感-地质调查-中国-指南 IV. ①P627-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 038596 号

责任编辑: 蔡卫东

责任校对: 王素荣

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

咨询电话: (010) 66554528 (邮购部); (010) 66554628 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

传 真: (010) 66554686

印 刷: 北京地大天成印务有限公司

开 本: 787 mm×1092 mm ¹/₁₆

印 张: 7.5

字 数: 200 千字

版 次: 2016 年 3 月北京第 1 版

印 次: 2016 年 3 月北京第 1 次印刷

定 价: 60.00 元

书 号: ISBN 978-7-116-08209-0

(如对本书有意见或建议, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

前 言

本指南中所谓中国西部艰险地区，主要是指印度大陆和欧亚大陆在古近纪碰撞造山所波及的主要地区，也就是青藏高原及其周边地区，包括云南西部、四川西部、青海、西藏、新疆大部、甘肃西南部和内蒙古西部地区。主要的山脉包括横断山、龙门山、念青唐古拉山、冈底斯山、喜马拉雅山、喀喇昆仑山、昆仑山、祁连山、西南天山、西天山、阿尔泰山等。

中国西部艰险地区面积巨大，涉及云南、西藏、新疆、青海、四川、甘肃、内蒙古等省（自治区，直辖市），周边与印度、尼泊尔、巴基斯坦、阿富汗、吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦、哈萨克斯坦、俄罗斯等国接壤，矿产资源丰富，是我国通往中亚和海湾地区的重要通道和门户，战略位置非常重要。近年来我国周边地区形势千变万化，地缘政治错综复杂，尽快提高该地区的基础地质工作程度，为经济建设和国防建设提供基础背景资料，是地质工作面临的紧迫任务。

西部艰险地区自然地理环境复杂，有高原、山地、荒漠、草原、沼泽等各类地貌类型，其中高山（原）地区占绝对优势，海拔 4000m 以上的高山区约占总面积的 1/5。特殊的地理位置导致气候多变，自然环境恶劣，泥石流、洪水、滑坡、雪崩等多种自然灾害频发，不少地区人力和车辆无法通行。由于交通不便、条件艰苦、经济不发达，导致基础地质调查工作程度很低。至 20 世纪末，青藏高原还是区域地质调查的空白区，给经济开发和国防建设工作的顺利实施带来了极大的困难。

20 世纪末，在国土资源部领导下，中国地质调查局启动了地质大调查专项，在青藏高原及其周边地区，进行了区域地质调查空白区 1:250 000 区域地质调查等系列工作，经过数百名地质工作者近 10 年（1996~2008 年）的艰苦奋斗，完成了该地区的 1:250 000 地质填图工作，填补了我国陆域中等比例尺的地质调查空白区。与此同时，在国家自然科学基金和地质大调查专项资金资助下，自 20 世纪末以来，中国科学院、中国地质科学院、中国气象局、中国地质大学、原长春地质学院、原成都地质学院等科研院所，对青藏高原的地质演化、地形地貌、气候环境等开展了大量的探索与研究。这些工作为以后的大比例尺地质调查及更深的专业调查奠定了基础。

近 10 年来，国民经济处于高速发展阶段，铁路、公路、桥梁、厂房和民居等公共设施建设以及矿产勘探开发等规模庞大，上述国民经济建设工作需要 1:50 000 及更大比例尺的地质、水文、地貌等资料为依托，尤其是大比例

尺的工程地质、灾害地质和水文地质资料是工程建设必不可少的基础资料。但在中国西部艰险地区，由于环境恶劣、交通不便，地质工作程度很低，区域地质调查资料及研究成果，大部分还都是中比例尺（1：250 000）或更小比例尺的基础地质资料，不能直接应用于国家建设。同时，工程地质、水文地质、地形地貌等与国计民生和国防建设关系更为密切的专业地质调查工作，在中国西部艰险地区大部分是空白。

在环境恶劣的艰险地区，野外作业时间有限，常规地面调查工作效率非常低下，在人迹罕至的无人区，工作人员还面临生命威胁，工作质量也难以保障，因此，需要运用新的技术手段完成大面积区域性中大比例尺的专业调查工作。遥感技术具有宏观性强、覆盖面广、速度快，不受时间和空间限制，部分波段具有超视性的优势，是进行区域性大规模专业地质调查的有效方法和技术手段。利用卫星遥感技术，可以从宏观角度全面、快速、毫无阻碍地获取大面积区域性专业地质信息，在自然环境恶劣的艰险地区，进行大面积区域性工程地质、水文地质、地形地貌、灾害地质、交通信息等专业背景调查方面，具有独特优势。因此，中国地质调查局于“十二五”期间，在西部艰险地区部署了1：250 000和1：50 000遥感地质综合调查工作，目的是利用现代遥感技术，从遥感影像中提取各种地质和环境信息，通过处理、分析、专题图件制作和综合数据库的建立，为基础地质调查、矿产调查、水文地质调查、工程地质调查、地貌调查、环境及地质灾害调查等提供基础数据和具有参考价值的地质背景信息。

西部艰险地区由于面积巨大，进行大规模遥感地质调查需要多部门、多单位协同工作，这样就需要有统一的工作标准，其成果才能具有统一性和实用性。虽然国土资源部、中国地质调查局和相关的工作项目已经颁布了系列标准或工作技术要求，但受各种条件的限制，不同的研究人员对相关标准条文的理解可能会存在差异，同时在遥感解译工作过程中可能对地质现象的认识也会存在某些差异。另外，西部地区具有比较特殊的自然地理和地质条件，对于初次涉足该地区的工作人员，需要具有可操作性的意见或建议，作为实际工作的参考。本书作者参与编写了若干相关的遥感地质工作标准，也参与了西部地区的遥感地质调查工作，对工作过程中遇到的问题深有体会，因此想借此机会，尝试把西部艰险地区遥感综合调查过程中涉及的部分标准条文的含义、部分典型地质现象以及具体工作过程中可能遇到的其他系列问题进行简单明了的解释，并以附录形式提供了主要地物的解译标志。编写本指南的目的是为在西部地区进行遥感综合调查的工作人员提供参考。

本指南在第2章的术语解释、第4章的基础地质调查指南、附录A的常见地质要素遥感解译标志等章节，参考了谢宇平等（1994）编写的《第四纪

地质学及地貌学》、朱亮璞等（1981）编写的《遥感图像地质解译教程》、朱亮璞等（1994）编写的《遥感地质学》及于德浩等编写的未正式出版的资料^①。另外，本书得到了中国国土资源航空物探遥感中心方洪宾教授、杨清华教授、聂洪峰教授，四川省地质调查院黄洁教授、刘智高级工程师，青海省地质调查院孙延贵教授，煤炭地质总局遥感航测局高会军教授和阎永忠高级工程师，宁夏回族自治区穆真明高级工程师等人的热心指导，并提出了宝贵意见。中国国土资源航空物探遥感中心路云阁、刘采提供了部分图片，在此一并表示诚挚的感谢！

作 者

2015 年 11 月

① 《东北地区遥感调查技术标准》。

目 录

1 区域构造背景及遥感地质工作要点	1
1.1 特提斯构造域	1
1.2 古亚洲构造域	2
1.2.1 天山地区	3
1.2.2 阿尔泰山地区	4
1.3 西部地区工作要点	5
1.3.1 构造演化分析	5
1.3.2 气候、冰川及地震作用分析	6
1.3.3 调查工作重点	8
2 工作标准及术语解释	10
2.1 工作标准	10
2.2 术语解释	10
2.2.1 新构造 (neotectonics)	10
2.2.2 活动断裂 (neotectonic fracture)	10
2.2.3 现代冰川 (existing glacier)	11
2.2.4 现代雪线 (existing snow line)	11
2.2.5 绿洲 (oasis)	11
2.2.6 沼泽 (marsh)	11
2.2.7 冲出锥 (debris cone)	11
2.2.8 洪积扇 (proluvial fan)	11
2.2.9 冲积扇 (alluvial fan)	11
2.2.10 土地沙质荒漠化 (land desertification)	11
2.2.11 土地盐渍化 (land salinization)	11
2.2.12 土地水蚀荒漠化 (land water-erosion)	12
2.2.13 泥漠 (mud desert)	12
2.2.14 盐漠 (salt desert)	12
2.2.15 砾漠 (gravel desert)	12
2.2.16 台地 (mesa)	12
2.2.17 永久冻土 (permafrost)	12
2.2.18 蛇形丘 (esker)	12
2.2.19 冰砾阜阶地 (kame terrace)	12
2.2.20 冰水阶地 (fluvioglacial terrace)	13
2.2.21 融冻泥流阶地 (mud-flow terrace)	13
2.2.22 石海 (felsenmeer) 与石河 (stone river)	13
2.2.23 高速公路 (speedway)	13
2.2.24 一级公路 (arterial road)	13
2.2.25 二级公路 (secondary road)	13

2.2.26	三级公路 (third road)	13
2.2.27	四级公路 (fourth road)	13
2.2.28	等外公路 (substandard road)	13
2.2.29	基准数据 (base data)	13
3	遥感地质调查工作程序及方法	14
3.1	遥感资料收集	14
3.2	地形资料收集	14
3.3	其他资料收集与分析	15
3.4	图像处理	15
3.4.1	影像图制作	15
3.4.2	图像增强与信息提取	16
3.5	初步解译	16
3.6	实地踏勘	17
3.7	详细解译	17
3.8	野外验证	17
3.9	综合研究	18
4	基础地质与矿产遥感调查	19
4.1	工作内容	19
4.2	基础地质调查指南	19
4.3	矿产地质调查指南	24
5	地形地貌遥感调查	26
5.1	调查内容	26
5.2	调查指南	26
6	交通居民地信息遥感调查	32
6.1	工作内容	32
6.2	调查指南	32
6.2.1	公路	32
6.2.2	铁路	33
6.2.3	隧道	33
6.2.4	桥梁	33
6.2.5	居民地信息	33
7	水文地质遥感调查	35
7.1	工作内容	35
7.2	调查指南	35
8	工程地质与灾害地质遥感调查	40
8.1	工作内容	40
8.2	调查指南	40
8.2.1	岩组类型划分	40
8.2.2	地质构造解译	47
8.2.3	地质灾害调查	48

9 土地覆被遥感调查	51
9.1 工作内容	51
9.2 调查指南	53
10 野外验证	60
10.1 验证内容	60
10.2 验证工作指南	62
10.3 野外记录	62
11 遥感综合调查成果数据管理	64
11.1 成果数据标准化管理	64
11.2 国土资源遥感综合调查成果数据管理示例	64
11.2.1 总则	64
11.2.2 不同专题数据的定义	65
11.2.3 数据提交具体要求	67
附录 A 常见地质要素遥感解译标志	75
附录 B 成果数据分类编码	88
附录 C 数据库属性字段定义	90
参考文献	110

1 区域构造背景及遥感地质工作要点

西部艰险地区主要涉及两大构造域。南部是以青藏高原为核心的特提斯构造域；北部是以天山—阿勒泰地区为核心的古亚洲构造域。自古生代以来，特提斯构造域大大小小的板块之间的开合作用几乎没有停止过，至新近纪，印度板块与欧亚板块最终对接以后的后碰撞造山作用持续演化，到第四纪其影响范围已经扩大至包括北部古亚洲构造域在内的中国大陆大部分地区，在西部地区其作用尤其明显。西部艰险地区的现代地貌、地理环境及主要的构造形迹，与特提斯构造域喜马拉雅期构造运动最后一幕剧烈活动紧密相关。因此，在西部地区进行地质调查，应对喜马拉雅期构造运动特点及其影响有所了解，这样才能“对症下药”，起到事半功倍的效果。

1.1 特提斯构造域

特提斯构造域包括青藏高原及其周边地区，在我国主要涉及云南西南部、西藏、新疆南部、青海、四川西南部、甘肃西南部地区。青藏高原是亚洲大陆的最后拼合体（许志琴等，2006），其内部及周边地区的地质体，伴随特提斯洋盆的数次开启、消减和闭合，经历了多次离散、聚敛和碰撞造山的动力学过程，因此，具有十分复杂的地质结构、物质组成、流变学特征和独特的深部物理状态。最后一次印度—亚洲碰撞（Tapponnier et al., 1986），位于欧亚板块和印度次大陆间的大洋完全闭合，拉开了青藏高原隆升、高原周缘造山带的再崛起，以及大量物质的挤出流动的序幕（许志琴等，2006）。

自20世纪初以来，中外地质学家对高原的研究已经有100多年的历史，研究手段之多、涉及学科之广，在地质调查史上实属罕见。在特提斯演化阶段、南北大陆拼接位置、拼接方式、拼接时间、高原的隆升方式和时间等若干问题上，取得了大量成果。潘桂棠等（1997）认为，特提斯的演化在时间和空间上具有如下特点。在时间上可分为以下几个阶段：始特提斯阶段为Z—S，古特提斯阶段为D—T₂，新特提斯阶段为T₃—E，高原隆升阶段为N—Qh。在时空结构上，班公错—怒江缝合带以北的秦祁昆地区是早古生代的小洋盆、弧后洋盆，时代主要是C—O；羌塘—三江地区是晚古生代的小洋盆、弧后洋盆，时代主要是C₃—P；而班公错—怒江缝合带以南主要是J—K的弧后洋盆（潘桂棠等，2004）。

关于高原隆升的模式，到目前为止仍存在激烈的争论。按施雅风和李吉均（1998）的意见，大致可归纳为3种观点：第一种认为青藏高原在距今14Ma前已经达到最大平均高度，以后因为重力均衡调整东西向拉张塌陷，高度有所降低；第二种认为距今8Ma前已经达到或接近现今的高度；第三种认为距今36Ma以来青藏地区经历了多次抬升，但均被地貌夷平作用所削平，青藏高原最近一次强烈隆升开始于距今3.4~2.0Ma前，现今平均海拔在4500m以上的高原地形主要是在第四纪才形成。葛肖虹等（2014）认为，最后

一次强烈隆升发生在早更新世晚期（距今 0.8Ma），其主要证据如下：青藏高原的主夷平面形成于上新世晚期—早更新世（距今 3.6~0.8Ma），之后出现了青藏高原第四纪以来最大的冰川；塔里木、柴达木、河西走廊、吐鲁番—哈密、准噶尔等盆地内近水平的中—上更新统无一例外地都以角度不整合覆盖在下伏变形的古近系、新近系包括下更新统之上，这种地层结构甚至出现在中国东部燕山地区涿鹿盆地的泥河湾剖面，说明此幕变形事件不仅使青藏高原快速抬升了，而且其向外挤压的影响还波及整个中亚及中国东、西部几百万平方千米的面积，引发准噶尔、吐鲁番—哈密、塔里木、柴达木、河西走廊等盆地内几万米厚的中、新生界构造变形；昆仑山、祁连山、天山、阿尔泰山等上地壳挤出式双向推覆隆升和右旋走滑，以及阿尔金山断裂带的左行走滑，古黄河在三门峡的贯通、长江在三峡的贯通突破东流都发生在早更新世末，这次青藏高原的快速隆升影响到了中国大部分地区，奠定了中国构造地貌的基本轮廓（图 1.1）。



图 1.1 亚洲地形地貌—活动构造背景图
（据葛肖虹等，2014）

现代 GPS 测量结果显示（甘卫军等，2004），在印度板块的作用下，青藏高原表壳物质持续向北向东运动（图 1.2），其影响范围北部已经穿过西天山，到达新疆阿勒泰地区。

上述研究成果说明：在特提斯构造域，影响较大的是古特提斯以来的构造演化。古特提斯决定了古生代和中生代早期岩石地层的分布；新特提斯决定了中生代末期—新生代早期岩石地层的分布及主要构造形迹的形成；第四纪高原快速隆升，造就了现代地貌、构造变形和气候特点，对水文地质背景、工程地质背景和地貌具有绝对性的影响。GPS 测量数据说明高原隆升目前仍在继续，特提斯构造域还存在比较剧烈的活动。

1.2 古亚洲构造域

中亚造山带是古生代的古亚洲洋经过复杂的扩张、闭合过程形成的十分宽阔的造山区。我国西部艰险地区古亚洲构造域主要包括吐鲁番—哈密盆地、准噶尔盆地、天山、



图 1.2 中国大陆在固定欧亚参考框架下的水平运动速度场
(据王敏等, 2004, 经改编)

阿尔泰山等地貌单元, 主要涉及新疆中部和北部、甘肃北部地区。古亚洲构造域在中生代已经完成了开合演变, 但由于与特提斯构造域紧密相邻, 在新生代受到了后者的叠加改造。

1.2.1 天山地区

在天山地区, 以伊犁-巴仑台地块为界, 自震旦纪开始发育南北 2 个天山古大洋 (刘玉虎等, 2012), 直到石炭纪晚期, 南、北天山古洋盆关闭, 二叠纪至三叠纪早期, 天山地区进入后碰撞构造阶段 (图 1.3)。其后经历了中生代和新生代的数次隆升和夷平作用。中生代的夷平作用, 形成了新疆的主要含煤盆地, 新生代的隆起与夷平作用, 则造就了现代地貌及强烈的构造变形。天山地区与现代人类活动密切相关的新生代的构造演化明显受到南部特提斯构造域的强烈影响。

由于毗邻昆仑山, 天山新生代隆升作用过程直接与其南部特提斯构造域中的构造事件密切相关。关于天山的隆起造山作用, 张良臣等 (1985) 根据天山、塔里木盆地和准噶尔盆地的地层记录, 认为天山在中生代时期经历了一次隆升和两次夷平作用。马瑞士等 (1993) 认为侏罗纪的地貌与现今看到的盆地-山脉构造的地貌格局是不同的, 提出中生代时天山及其邻区, 甚至整个中亚地区, 在地貌上是准平原状态。Bullen et al. (2001)

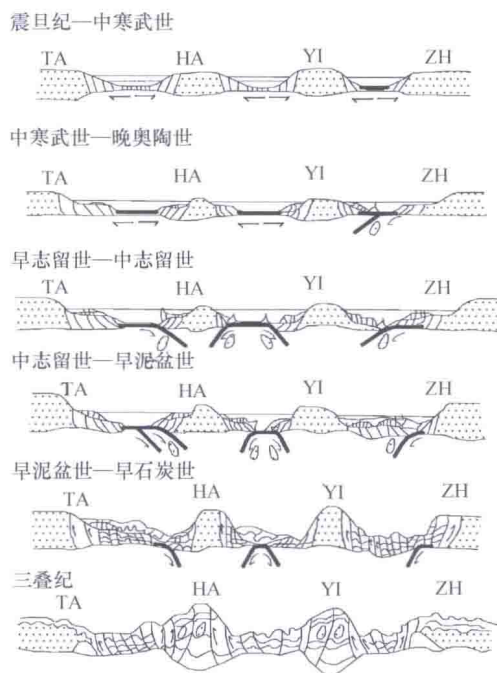


图 1.3 天山构造演化模式

(据刘玉虎等, 2012)

TA—塔里木陆块；HA—哈尔克山—额尔宾山微地块群；YI—伊利—中天山陆块；ZH—准噶尔陆块

通过对西北天山的裂变径迹年龄和沉积学的研究，认为天山隆升发生在中新世的中期。刘玉虎等（2012）通过对在南天山获得的磷灰石裂变径迹年龄分析，认为天山最新的快速隆升年龄主要集中在中新世时期。杨庚和郭华（2003）认为西南天山地区“主要受帕米尔—西昆仑造山带（特提斯构造域）的影响……第三纪（古、新近纪）印度板块与亚洲大陆碰撞，形成该区主要的构造变形”。Abdrakhamtov et al.（1996）利用全球定位系统（GPS）观测天山的移动，估算天山现今缩短速率为 20mm/a 。

上述研究成果显示，天山地区在中生代早期已经完成了板块的拼贴作用，进入陆内构造作用阶段，中生代中后期完成了一个造山—夷平的周期。形成现代地貌的构造变形和山脉的快速隆起事件，显然发生在新近纪以来，新疆地区频繁的地震和 GPS 测量结果，均说明目前仍然有强烈的构造活动。

1.2.2 阿尔泰山地区

阿尔泰造山带作为中亚造山带的一个重要组成部分，其古生代的构造演化是哈萨克斯坦—准噶尔板块向西伯利亚板块俯冲—碰撞造山，洋盆消失，两板块对接形成统一大陆的过程。古亚洲洋打开的时间可能为震旦纪（周刚等，2013），洋壳的俯冲消减始于奥陶纪，志留—泥盆纪俯冲、碰撞，泥盆纪末—晚石炭世初（ $360\sim 318\text{Ma}$ ），属后碰撞构造演化阶段。石炭纪末至早二叠世，阿尔泰造山带进入陆内演化阶段。

与天山地区相似，中生代以来阿尔泰山进入持续隆升阶段，并在新生代经历了一次快

速隆升。阿尔泰山在中生代的隆升可能更多地与西伯利亚板块和中朝板块的碰撞有关，至新生代，由于中朝板块与西伯利亚板块已经“焊接”在一起，形成欧亚板块，因此，阿尔泰山后期的隆升作用可能与印度板块与欧亚板块碰撞的远程传递有关。刘海涛等（2012）通过应用裂变径迹技术研究阿尔泰山南缘中新世以来的隆升剥露历史的研究，认为阿尔泰山地区晚白垩世晚期至始新世的构造活动，是受拉萨地块、Kohistan-Dras 岛弧增生的远距离影响，中新世以来快速隆升可能与印度板块与欧亚板块碰撞的远程效应有关。

上述天山和阿尔泰山地区的研究结果说明，天山地区的隆升变形与南部青藏高原的形成具有密切关系。天山陆内造山带，在中生代和新生代经历了数次明显的隆升事件，分别为晚侏罗世—早白垩世和中新世以来（距今 25Ma）。东西准噶尔和阿尔泰山地区则主要记录了晚中生代以来的持续隆升过程，其新生代构造活动强度相对天山要弱。许志琴等（2011）认为印度—亚洲大陆碰撞之后，板块之间汇聚收敛并未终止，印度板块仍以 44~50mm/a 的速率向北推进，俯冲到亚洲大陆之下。上述事实表明，喜马拉雅碰撞与青藏高原隆升，向北传递到了天山及阿尔泰山地区，而且具有向北逐渐减弱的特征。

青藏高原是快速隆起的大陆地块，具有特殊的地貌景观，其隆升是新生代以来地球演变历史上最为壮观的事件之一，不仅造就了青藏高原广大地域的变形，导致地貌、环境及其深部结构发生与碰撞前完全不同的巨大变化，而且影响了中国及周边地区生态气候环境的变化。板块开合及高原的隆升、夷平作用，形成了大量的复理石建造、磨拉石建造和冰川堆积物，以及伴随构造作用形成的一系列构造湖泊、河流。

受青藏高原在新生代快速隆起的影响，西部地区的重要特点是山高谷深、新构造发育、年降水量少、物理风化比较严重。由此造成的后果是气候干旱、植被种类单调且稀少、河流湖泊等地表水明显受新构造的控制、第四纪冰川异常发育、冰川遗迹分布广泛、高海拔地区基岩风化严重。因此，在西部地区进行遥感地质调查工作，必须考虑高原隆升对地质、地貌和气候的影响，充分了解区域地理和地质背景特点，建立正确的解译标志，在遥感影像和地质客观事实之间架起一座“彩虹桥”，这样才能取得理想的效果。

1.3 西部地区工作要点

1.3.1 构造演化分析

遥感地质调查工作是利用各种解译标志，把遥感图像上赋存的地质信息提取出来，通过野外验证和室内的整理分析，还原其自然属性，最后以制图的形式，把地质现象展现给读者的过程。其中，解译标志的正确建立是调查工作成功的关键，而后期的整理分析则是把从图像中提取的各种地质信息，按照自然规律和实际情况进行排列、组合（还原）的过程。无论是解译标志的建立、信息提取、野外验证，还是地质信息的还原工作，都离不开对区域地质背景的了解，即地质作用过程及其演变规律的掌握是遥感地质调查的基础。

均衡是世间万物长期处于稳定状态的基础条件,但在某段历史时期,由于偶然事件的影响均衡状态被暂时打破时,会通过自身的变化进行自我修复,以期达到新的均衡。地球的演化过程也不例外,当由于受天文事件等偶发因素的影响,均衡状态遭受破坏时,地球会以构造作用等方式进行自我调整,通过释放应力达到新的均衡。地球的构造作用方式很多,小的有断裂、褶皱、火山爆发,大的有区域地壳升降、大陆漂移、碰撞造山等。构造作用是地质发展史上起决定性作用的因素,它对区域地质、矿产、地貌、水文地质条件、工程地质背景、气候环境等,具有极为重要的影响和控制作用,因此,区域构造演化的分析是解决地质问题的钥匙,对于快速隆起的青藏高原尤其如此。

1.3.2 气候、冰川及地震作用分析

在古近纪,印度板块和古亚洲板块发生碰撞,新特提斯古大洋闭合,碰撞后强烈的构造作用使青藏高原在短时间内快速隆升,最终形成了平均海拔 5000m,面积达 2600000km² 的巨大高原。新生代以来,青藏高原与其周边的第四纪坳陷带之间形成了巨大的海拔高差,青藏高原比印度地形基准面高约 4500m,比塔里木盆地高约 4000m,比河西走廊高约 3500m。同样,受构造作用的影响,高耸的天山和阿尔泰山与周边盆地之间,也有平均海拔 1000~3000m 的高差。高海拔地貌导致气候异常、冰川发育、地质灾害频发。

(1) 气候:青藏高原的强烈隆升是引起中国东部季风区、西北干旱区和青藏高原高寒区三大区域气候巨大分异的主要原因。它不但加强了亚洲季风环流,而且阻挡了源于印度洋的暖湿气流向亚洲内陆的输送,并在高原北侧形成下沉气流,对亚洲内陆干旱化的过程有着极其重要的影响。在夏季,高原上的空气受热上升,印度洋暖湿气流前来补充,由此带来季风降雨;冬季情况正好相反,高原形成巨大的冷流,将其上方的空气冷却,然后从高原流向相对温暖的印度洋,导致北方的冷空气频频南下,从而形成强大的冬季风,致使西北地区气候干旱,大风天气增加、沙尘暴加剧,环境质量显著降低。青藏高原从南向北大概可分为以下几个气候类型:

喜马拉雅山南地区:位于喜马拉雅山以南,主要由马哈布哈拉山系组成,属于中高山温带气候,由于冰川融水和大气降水的影响,植被发育。受喜马拉雅山的大气环流屏障作用影响,每年的 10 月至次年的 3 月是干季,早晚温差较大,晨间 10℃ 左右,中午则升至 25℃;每年的 4~9 月是雨季,雨量丰沛。降水主要集中在 7~8 月,占年降水量的 65% 以上。虽然在雨季大雨瓢泼,但由于植被比较发育,岩石风化作用不强,地质灾害以陡峭地段的滑坡为主,有少量崩塌、泥石流,在山前地带冲积物比较发育。

高喜马拉雅地区:位于喜马拉雅山的主脊一带,属高寒山区,海拔在 5500~8848m 之间,终年积雪,最低气温在 -40℃ 以下,有地球“第三极”之称。总体特点是山势磅礴、冰川巍峨,干燥寒冷。由于岩石大部分被终年积雪覆盖,地质灾害不发育,主要的自然灾害为融雪洪水和雪崩。该地区发育大量的现代冰川、冰碛和冰碛湖。

藏南地区:包括喜马拉雅山北坡、雅鲁藏布江谷地、冈底斯山一线,为高原温带气候。该地区地形复杂、高低悬殊,平均海拔 2700~3700m,气温高于 10℃ 的天数介于 50~150d 之间,年降水量在 400mm 左右,西部比东部干旱。由于山势陡峭、切割强烈、高差很大,属于泥石流和崩塌的高发区。在山前沟口地区,常发育洪积、冲洪积。

高原亚寒带：包括冈底斯山以北，昆仑山以南的广阔地域，部分地区是无人区，平均海拔高于 4500m，年平均气温低于 0℃，部分地区年平均气温在-4℃ 以下，年高于 10℃ 的天数少于 50d，年降水量 100~300mm，分布有岛状和连片多年冻土。该地区具有高原寒带干旱气候特征，无农作物、植被稀疏、土地贫瘠。其中，喀喇昆仑山、昆仑山等海拔高于 4800m 的地区，全年都不会出现日气温稳定高于 10℃ 的气候，气温日较差在 15~19℃ 之间，局部地区甚至可达 23℃ 以上，年降水量约 100mm，以固态形式降雪、霰、冰雹为主。由于气候寒冷干旱、昼夜温差很大、植被稀少，导致岩石大量裸露，荒漠化严重。剧烈气温变化造成的严重物理风化（融冻）作用，使岩石支离破碎，在山坡和山顶区域形成大量的崩积物和残积物。由于松散堆积物随处可见，没有植被附着固定，所以，形成泥石流的临界降水量指标要明显低于内地。在融雪、降水、地震和重力作用下，高原荒漠地区极易发生泥石流、滑坡和崩塌等地质灾害。由于低温干旱，该地区第四系在山区以冰碛、冰水沉积、崩积、洪积为主，仅在较大河流的中下游发育少量的冲积物，在山前地带则以冲洪积和湖积为主。

（2）冰川：由于气候寒冷，青藏高原海拔 5800m 以上白雪皑皑的雪山比比皆是，天山和阿尔泰山海拔 3800m 和 3200m 以上的高山也终年积雪。雪山发育众多山岳冰川，冰川巨大的刨蚀和搬运作用，形成了大量的冰碛。除了现代冰川外，西部地区古冰川遗迹也非常发育。第四纪冰川经历了几次冰期和间冰期，在更新世大冰期，地球上绝大部分地区被冰雪覆盖，纬度较高的欧洲被冰雪覆盖，我国的庐山也发育了冰川，相比之下，海拔更高的青藏高原、天山、阿尔泰山绝大部分地区亦被冰川覆盖。全新世气候变暖，这些冰川逐渐消融，但大量的冰碛保留下来，部分地区第四纪的冰碛厚达数百米。在狮泉河地区拉达克山脉的山前及沟谷中，就保留了大量的更新世冰川遗迹，更新世冰碛背倚陡峭的极高山，大量分布在沟谷及山前地带（图 1.4）。由于冰碛结构松散、含水量大，所以极不稳定，遇到高温融雪、暴雨降临或发生地震，经常形成泥石流、滑坡等地质灾害。



图 1.4 分布在山前的更新世冰碛为物源形成的泥石流

过去 50a，青藏高原气温平均每 10a 升高 0.32℃，增幅为全球同期平均升温幅度约两倍。随着气候变暖，水循环加强，冰川整体退后，在现代冰川末端的冰碛垄，形成了大大小小的冰碛湖。在夏季高温融雪、暴雨降临或发生地震、滑坡、崩塌等地质灾害，冰碛湖

便有溃坝的危险。由于海拔太高,一旦溃坝湖水便从天而降,危害很大。据不完全统计^①,从20世纪30年代中期到20世纪90年代中期的60多年间,西藏境内共有13个冰碛湖发生过15次溃决,都形成了洪水和泥石流灾害。另外,在高原地区冰川直接堵塞河道形成的堰塞湖,也有很大的危害。目前有确切数据可查、危害较大的冰川堰塞湖,位于喀喇昆仑山叶尔羌河上游的克勒青河上。

由于冰川形成的地貌、沉积物分布广泛,与现代人类生产、生活有密切关系,所以,在西部地区进行遥感地质综合调查,冰川作用是不可忽视的因素。

(3) 地震:西部地区是崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害的多发区,地震是一个不可忽视的诱发因素。在评价地质灾害形成条件时,地震的作用经常被忽视,原因是地表坡度、汇水面积、岩土类型、风化程度等与灾害有关的因子,无论在遥感图像上还是在实地观察过程中,都是直接可见的,但地史时期无文字记录的地震作用,是不可见的。已经发生但没有文字记录的地质灾害是否与地震有关,也很难考证,因此地震因素常常被忽略。从发生于青藏高原东缘的汶川大地震可以看出,地震诱发了大量的崩塌、滑坡、泥石流等灾害。灾后拍摄的航空、航天图像显示:重灾区满目疮痍,地震诱发的地质灾害比比皆是。地震在瞬间释放出的巨大能量,打破了原有的山体岩土平衡体系,大大降低了灾害发生的条件。因此,强烈地震形成的地质灾害是群发性、灾难性的。

受新构造运动的影响,青藏高原及其周边地区是地震的多发区。青藏高原是我国最大的一个地震区,也是地震活动最强烈、大地震频繁发生的地区之一。其南部的喜马拉雅山属于地中海-喜马拉雅火山地震带(又称欧亚地震带),中部为冈底斯地震带,北部为昆仑山-阿尔金山地震带。西南天山、北天山和阿尔泰山的东南段也分别位于地震带上。其中,欧亚地震带所释放的地震能量占全球地震总能量的15%,地震烈度大,对地表造成的危害很大。由于地震降低了灾害发生的门槛,应该是地质灾害调查评价的重要因素之一。因此,在地质灾害调查过程中,一定要注意地震的影响。

1.3.3 调查工作重点

从远古开始人类就遵循顺乎自然、天人合一的方式进行生活,现代人类生活方式仍然与自然环境有着千丝万缕的联系。西部艰险地区地域广袤,但遥感地质调查在人力、物力和时间上都有限,因此工作部署不能面面俱到,应基于特提斯构造域、古亚洲构造域的区域地理和地质特点,统筹规划、重点突出。调查工作应围绕解决现代人类工作、生活所面临的地质问题,了解工作的重点和难点,以点带面,在有限的时间内解决主要问题。

根据以往工作经验,在西部艰险地区进行地质调查应重点关注以下几个方面:①第四系。西部艰险地区山高谷深、环境恶劣、交通不便,大部分地区属于不适合人类居住生活的地区,部分无人区与人类活动关系不大,因此不能作为工作的重点。而山前谷地等第四系分布区,由于海拔较低、地形相对平坦、交通便利、有水源补给,属于适合人类居住的区域,因此也是地质调查的重点区域。②新构造。西部地区受印度板块和欧亚板块的持续作用,在新近纪快速隆起,至第四纪仍处于活动状态,异常发育的新构造对地貌、水文地

^① 引自:<http://www.china.com.cn/chinese/2004/Sep/651066.htm>。