

# 青海地质环境

——青藏高原隆升与青海水文  
地质工程地质环境地质工作

● 李小林 龙作元 高忠咏 胡贵寿 刘欣 著

地质出版社



**QINGHAI DIZHI HUANJING**  
**QINGZANG GAUYUAN LONGSHENG YU QINGHAI SHUIWEN DIZHI GONGCHENG**  
**DIZHI HUANJING DIZHI GONGZUO**

ISBN 978-7-116-06314-3



定价：98.00元

# 青海地质环境

——青藏高原隆升与青海水文地质工程地质环境地质工作

李小林 龙作元 高忠咏 胡贵寿 刘欣 著

地质出版社

· 北 京 ·

## 图书在版编目 (CIP) 数据

青海地质环境：青藏高原隆升与青海水文地质工程地质环境地质工作 / 李小林等著. —北京：地质出版社，2009. 9

ISBN 978 - 7 - 116 - 06314 - 3

I. 青… II. 李… III. 地质环境 - 研究 - 青海省 IV. P141

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 166042 号

---

责任编辑：郝祥国 何 蔓

责任校对：杜 悦

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) 82324508 (邮购部)；(010) 82324580 (编辑室)

网 址：<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱：[zbs@gph.com.cn](mailto:zbs@gph.com.cn)

传 真：(010) 82310759

印 刷：北京地大彩印厂

开 本：889mm × 1194mm 1/16

印 张：20.75

字 数：700 千字

版 次：2009 年 9 月北京第 1 版·第 1 次印刷

定 价：98.00 元

书 号：ISBN 978-7-116-06314-3

---

(如对本书有建议或意见，敬请致电本社；如本书有印装问题，本社负责调换)

# 序

正当全国准备热烈庆祝新中国成立 60 周年大庆之际，意外地从遥远的青海传送来一条喜讯，欣悉青海省环境地质勘查局李小林高级工程师（教授级）等科技人员，在系统总结该省新中国成立以来在水文地质、工程地质、环境地质领域所完成的大量工作基础上，编写了名为《青海地质环境——青藏高原隆升与青海水文地质工程地质环境地质工作》的专著，现已基本完稿，要求我为该专著的正式出版，写一篇序言。我听到这一消息并看到部分内容以后，不能不为他们几十年来，通过辛勤劳动所取得的重大成就，以及他们对青海经济建设所作出的贡献，感到无比高兴。因此我立即表示同意，要为这本专著的尽快问世写序，同时也对该专著的即将出版，表示衷心的祝贺！

新中国成立以来，由于工作上的需要，我同各省都不同程度地存在业务上的联系，青海省当然也不例外，而且是其中少数几个交往较多的省份之一。早在抗日战争时期，我在前中央地质调查所兰州分所从事地质调查工作；1945 年曾参加以王日伦先生为首的祁连山综合科学考察队，从西宁出发，经大通、门源进入大通河谷，并在俄博附近垭口，跨越祁连山主脉，经民乐进入甘肃的河西走廊，成为中国第一个跨越祁连山的地质队。那个时期青海还是一个半封闭的带有神秘色彩的地方，就地质工作而言，也基本上是个空白区。祁连山在地理上是青海与甘肃两省之间的天然分界线，同时也被认为是青藏高原北部的天然边界。考察期间，在深山中从电台广播听到抗战全面胜利的喜讯，日军无条件投降，令人欣喜若狂，终生难忘。

新中国成立后，原地质调查所撤销，我调入新成立的地质部，多次被派前往青海工作。例如 1955 年与中国科学院合作被派到青海，承担青海湖的一项科研任务。1956 年为了开展全国区域水文地质普查，被派前往柴达木，组建了青海省第一个水文地质队（632 队），担任技术负责兼队长。20 世纪 70 年代，为组建水文地质普查部队，我又多次出差到西宁，筹划加强青海省的普查工作。90 年代由柴达木综合地质大队（原青海省第一水文队）总工张勇同志陪同，再度进入柴达木，并从格尔木沿公路登上昆仑山，到达西大滩距冰川附近不远的地方，壮丽的雪山风光给我留下深刻印象。

昆仑山北麓分布着非常丰富的天然矿泉水资源，那时正在筹划开发“昆仑山矿泉水”。说来很凑巧，2009 年 4 月我在北京参加了昆仑山“玉珠峰矿泉水勘察报告”的评审工作，这是一个很有开发前景的矿泉水项目。由此可见，从 20 世纪 40 年代开始，一直到现在，我始终同青海省保持了紧密的合作关系，积累了深厚的友好情谊。

青藏高原号称“世界屋脊”，海拔高度达 4000 ~ 5000m，地广人稀，居民以藏、回、蒙古族等少数民族为主，是一个自然环境与一般地区完全不同的特殊地域。青海省是青藏高原的一个主要组成部分，根据地质环境与地貌景观的差异，一般可划分为以下 4 种不同类型：① 构造复杂、强烈切割的高山峡谷地区，例如北部的祁连山地区，南部的昆仑山、唐古拉山地区等，由于构造作用的影响，都属强地震带，常形成大型或特大型的滑坡坍塌，以及雪崩泥石流等地质灾害；② 由隆升作用形成的高寒冻土高原区，普遍分布巨厚的多年冻土层，以及以融冻作用形成的各类地质灾害；③ 由中生代红层构成的低山丘陵地区，主要分布在青海湖以东的东部地区，常形成面积较大的河谷盆地，如西宁盆地、贵德盆地等，大部分城市或居民点，都分布在此类河谷平原内，人类活动是影响或破坏地质环境的主要因素；④ 以戈壁、沙漠景观为代表的干旱内陆盆地，如柴达木盆地，这里是防治荒漠化、盐碱化，保护生态环境，合理开发利用水资源的区域。

该专著把青藏高原自古近纪以来所发生的强烈隆升，作为制约地质环境演化的主要因素，详细论述

了青藏高原强烈隆升的基本机制与演化过程及其对地质环境所造成的影响。例如青藏高原的隆升对地震地质作用的影响，以及隆升作用对地质灾害分布的影响等。结合生态环境地质工作，重点分析研究了柴达木盆地的生态环境地质特征，提出了生态重建的工作方向。结合全球气候变化，对三江源地区生态环境造成的不利影响，提出了生态重建的工作建议。

20世纪70年代，青藏铁路线已铺轨进入柴达木，开始从格尔木攀登昆仑山，其主要难题，是如何通过长达560km的长年冻土地带，直达拉萨。当时青海省第一水文地质工程地质大队与中国地质科学院地质力学研究所合作，共同完成了沿线的工程地质水文地质调查，并拟定了东线与西线两条线路比较方案，进行深入的分析对比。通过大量的勘探测试工作，明确了沿线多年冻土的时空分布及其边界，其最大厚度可达126m，但受局部融区的分割，形成冻土片状分布的基本特征。同时初步查明多年冻土区地下水的分布规律，对层上水、层间水和层下水的水质、水量作出了评价，为沿线站址找到可供开采的地下水源地。

青海省是我国几条大河的发源地，各类水利工程建设都与地质环境密切相关，特别是由于工程建设所造成的地质灾害，尤为严重。该专著结合所开展的环境工程地质工作，比较详细地论述了水库库区的主要环境地质问题，特别深入分析了青海省特大型滑坡形成的影响因素及其分布特征。

综上所述，该专著内容丰富，紧密联系生产实际，有重要参考价值。该书是青海省首部地质环境研究专著，不失为理论与实践相结合的环境地质学的力作。它的出版发行，不仅为青海水工环地质工作迈上新的台阶提供了有力的科学支撑，而且必将对青藏高原及其周边地区的水工环地质工作产生影响，为推进青藏高原地区环境地质研究发挥重大的作用。

陈梦醒

2009年6月

# 前 言

环境是自然客体与人类客体相互联系的系统，这个系统可分为自然环境与人类环境两大部分。自然环境由生物、大气、水和岩石圈组成。岩石圈所组成的部分，即岩石、土壤、地下水、地质过程和现象都与大气、水、生物等自然环境紧密联系，并组成一个独立的地质环境系统。因此，地质环境是人类的栖息之地，人类的生存和发展都是寓于地质环境中。随着工业化进程的发展和人口的急剧增长，地质环境遭到不恰当开发和破坏，严重地影响着人类社会经济可持续发展，在一些地区还直接威胁着人类的生存。更为严重的是，由于无知或不关心，对地质环境所造成的无法挽回的损害，不仅影响现代人，更会给后代留下巨大的后患。

正是在这样的条件和背景下，地质科学自然地跨入了人类与环境的领域，产生了地质学的一门新的分支学科——环境地质学。同时，环境地质学也是当前一门全新学科——环境科学的组成部分。可见，环境地质学是一门具有广泛综合性的学科。目前，环境地质学还是正在形成和发展中的学科，许多认识还有待逐渐探讨、深化和统一。尽管存在着一些不同的看法，但摆在人们面前极其严峻的现实和挑战，迫使我们必须加快环境地质学的研究和发展，使之对人类赖以生存的地质环境获得新的认识，为我们自己和后代提供一个比较符合人类需要和希望的生活和生存环境。

我国是发展中的国家，也是人口大国。当前我国面临的环境问题已经相当严重，在我国特定的地质环境里和目前的国力条件下，粮食、资源、能源等都远远不能满足现在人口的需要，人均满足量都处在世界的后列，更不用说要满足不断膨胀的人口数量的需要。值得重视的是，在发展粮食、资源和能源的过程中，我们对地质环境的破坏，其损失远大于所获，更不用说其无法估计的长远影响了。

我国在发展过程中有众多的复杂的问题需要解决，而环境问题则是其中一项重大的基本问题。在自然环境的大系统中，地质环境的研究显得十分薄弱和滞后，这就使决策部门，无法审慎地考虑开发对地质环境产生的影响后果；因为不适当的决策往往会加剧已经恶化了的地质环境或产生新的问题。因此，我们需要把地质环境的研究纳入国民经济和科学技术规划和计划中，大力加强和促进地质环境的研究（全国的和地区的），以利更加合理地开发利用和保护以及改善地质环境。

近30年来，地质学的研究提出了许多新的认识，揭示地球的不稳定运动状态，深化了对大气圈、水圈、生物圈及岩石圈之间相互作用的认识，并在全国范围内进行了一系列的地质环境调查和研究工作。与此同时，青海省水工环地质调查和调研工作也进入了全面发展时期。

在水文地质方面，基本完成了青海中部柴达木盆地—共和盆地—河湟谷地以及北部祁连山地区的1:20万区域水文地质普查，完成了青海南部1:100万区域水文地质调查以及少部分地区1:20万区域水文地质普查，完成了全省水文地质远景区划以及两轮地下水资源评价。为城市、厂矿、产业园区勘察了诸多大型地下水供水水源地，地下水与盐湖卤水动态监测网日臻完善。基本查清了青海省的水文地质条件，地下水资源量及其开发利用条件与潜力，地下水动态特征以及主要环境水文地质问题。

在工程地质方面，完成了全省工程地质远景区划，完成了黄河龙羊峡至青铜峡段、宝鸡至兰州段铁路环境工程地质勘察，完成了某国防工程核污染物填埋场选址勘察，完成了西宁市水工环地质勘察评价，完成了黄河流域、西北地区工程地质图及说明书的编制，完成了南水北调西线工程超前期阶段区域工程地质及区域稳定性调查评价。为铁路、公路、桥梁、工民建、水电站等工程建设提交了大量的工程地质勘察报告，基本摸清了青海省和已建、拟建大型工程布设区的区域工程地质条件及所存在的主要环境工程地质问题。

在环境地质方面，完成了黄河源区 1:25 万生态环境地质调查、1:50 万青海省环境地质调查，完成了《青海省矿山环境保护与治理规划（2006~2015 年）》，完成了 44 个县（市）地质灾害调查与区划，完成建设工程地质灾害危险性评估 324 宗，公布了《青海省地质灾害防治规划（2006~2020 年）》、《青海省突发地质灾害应急预案》，发布了《青海省地质环境保护办法》、《地质灾害危险性评估规程（DB63/489—2004）》，制定了《青海省矿山环境治理恢复保证金管理办法》，实施了地质灾害年度防灾预案编制、动态调（巡）查和地质灾害气象预警预报制度。建成了 4 个国家地质公园、1 个国家矿山公园。基本摸清了青海省地质环境条件、地质灾害危害和主要环境地质问题。

上述工作，都从不同的学科和角度，提升了青海省水工环地质研究程度和水平，为更好地保护青海地质环境，客观地认识和了解青海地质环境条件和形成演化过程，掌握其时空变化规律，寻求拟定相应有效的保护和合理开发利用地质环境对策，对青海社会经济发展将起到一定的推动作用。为此，青海省环境地质勘查局李小林教授级高级工程师等工程技术人员，利用 20 余年水工环地质工作经验，从青海省水工环地质工作角度，分析论述了青藏高原隆升对青海省气候环境、第四纪以来沉积环境、水文地质结构与地下水资源、矿山地质环境、地震地质作用、地质灾害效应等地质环境现状及变化趋势，并综合其成果，编著了《青海地质环境——青藏高原隆升与青海水文地质工程地质环境地质工作》。

本专著共分十章，主要内容有以下几方面：

(1) 从动力学角度，以活动论和系统论的观点，详细论述了青藏高原隆升对青海地质环境的影响，以及这种影响引起的不同地质地理单元内地质环境条件和环境地质问题的差异性。

(2) 明确指出了青藏高原递进式隆升过程经历了四次较大的构造运动。喜马拉雅运动造就了青藏高原这一完整的新生地体；青藏运动，迎来了青藏高原盆岭构造发育阶段，并在向东滑移挤出过程中造就了高原内部最大的内陆湖泊—柴达木古湖，青海省现代地貌基本格局形成，并影响着青海省现代人类经济、工程活动的地质环境条件；昆黄运动，黄河溯源侵蚀到达青海，柴达木古湖分裂解体，山地进入冰冻圈范围，冰川地质作用十分活跃；共和运动，黄河、长江、澜沧江三大水系进入大切割期，青藏高原向东滑移挤出作用达到高潮，省域内北北西向构造活动强烈，串珠状盆地发育，突发性地质灾害频发，柴达木盆地汇水中心分离，盐漠化现象突出，黄河在距今 1.0 万年前后到达“两湖”地区，宣告青藏高原现今地貌格局形成，地质环境演化进入人类经济工程活动的全新世纪，并影响着青海省水、工、环境地质工作。

(3) 明确提出了青藏高原隆升对青海地质环境的影响是累进式递增，这种累进式递增影响着青海省现今地貌格局、水文、气候环境、水文地质条件、岩（土）体工程性质及地震地质作用方式、地质灾害分布、人类经济、工程活动的场所和活动方式。主要表现在以下几方面。

**地形地貌。**巍峨的高山，横贯东西，海拔多在 5000m 以上，最高达 6860m，是现代高原冰川地质作用场所；坦荡的青南高原依偎昆仑山系而生，海拔 4200~4500m，这里是冻融地质灾害分布区；开阔的柴达木盆地面积达  $25.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，海拔 2800~3000m，是青海省最为干旱的区域，盐胀溶陷灾害和风蚀作用盛行；宽广的河谷是黄河、长江、澜沧江以及呈辐射状展布的内陆河在距今 300 万年以来锲而不舍流水作用的历史见证，最低点海拔 1650m。这里高差变化大，是省内滑坡灾害多的主要因素。

**气候环境。**年均气温  $-5.9 \sim -8.7^\circ\text{C}$ ，东部  $3 \sim 9^\circ\text{C}$ ，西部  $2 \sim 5^\circ\text{C}$ ，南部  $-3 \sim -5^\circ\text{C}$ ；年均降水量多在 200~500mm 间，西部最少，17.6~43.6mm；湿润系数 0.25~0.5 间，属半干旱区，但降水集中，易诱发崩塌、滑坡、泥石流等突发性地质灾害。

**地层岩性。**发育有自下元古界以来各时代地层，并伴有大面积各时期侵入岩体，构造作用致使中生代以前地层多出露于基岩山区，而中生代以来碎屑岩类则呈叠瓦状覆于老地层之上，出露于各盆地边缘及中心，是省内易滑地层，尤其是新近系泥岩及第四系黄土极易发生滑坡。

**地质构造与地震。**受印度板块与欧亚板块碰撞挤压作用的影响，全省地壳处于收缩抬升过程，因而区域构造形迹、山系均呈北西西向弧形展布，而沉降盆地则呈近北西向排列构成省内“多隆多凹”的地貌格局。在这种挤压力的作用下，青藏高原在向东滑移挤出过程中导致了地震多发，历史上 5 级以上地震



188次，并引发了区内古老的特大型高速滑坡的发生。

岩土工程特征及人类工程活动。喜马拉雅运动加速了青藏高原内部升降运动的差异，从而导致了区内古地理气候及沉积环境的改变，演化出渐新世以来两次大的夷平和成盐作用，为境内新近系泥岩特大型滑坡的发生奠定了物质基础。昆黄运动以及后期的共和运动促使了境内长江、黄河水系的外泄，构成了今天丘陵山地与河谷平原等量齐观的地貌景观格局。丘陵山地带构成了境内滑坡密集带，而河谷平原区内是境内人类经济、工程活动的主要场所，是今天区内人类经济工程活动对地质环境破坏的主要区域。

水文地质条件。由于青海盆岭构造十分发育，因而促使了青海省境内，山地是地下水的补给区，而山前倾斜平原区是地下水的径流区，盆地中心是地下水的排泄区。这种结构特征，也使得青海绝大多数内陆盆地成为独立的水文地质单元，而东部及南部地区则由于江河水系的切穿贯通而成为半开启式水文地质单元，相互间依赖江河水系发生水力联系。

青藏高原递进式隆升过程中，造就了昆仑山以南地区平均海拔达4200m以上，形成高原区面积分布最广、厚度最大的高原冻土区，形成了丰富多彩的冻结区地下水系统。

(4) 以水文生态环境地质、环境工程地质、灾害地质、水文地质、矿山环境保护与综合治理、地质遗迹工作与工程的工程实例为依据，指出了青海省不同地质环境条件下水工环地质工作方法和思路。

一是依柴达木盆地北缘水文生态环境地质调查工作实例，系统论述了柴达木盆地生态环境演化的资源环境效应以及生态环境特征和生态重建工作方向，并结合青海省生态环境脆弱的特点，采取了查明地质环境对生态环境影响的调查方法，提出了不同地质环境条件下生态恢复重建的方式方法。

二是从系统论的观点分析了环境工程地质工作的针对性，并结合工程实例，对环境工程地质图的编制、环境水文地质研究方向、水库浸没问题预测分析、环境质量评价提出了研究方向和评价方法。

三是依青海省地质灾害分布的自然规律，提出了不同工程项目在不同地理单元内地质灾害调查与危险性评估工作方法和思路，并指出了青海省特大滑坡分布特征和影响因素，柴达木盆地土壤积盐与盐胀溶陷灾害对工程建设的影响。

四是在水文地质工作与实践中，首次提出了高压自流水资源评价工作方法和思想。结合工程实例，首次利用灰色线型数学理论，计算出青海东部浅脑山地区不同地质背景要素找水向量特征值，指明了青海东部浅脑山地区找水目标层依次是灰岩、断裂带及盆地边缘碎屑岩。

五是矿山环境保护与综合治理工作中，结合青海省情及自然环境条件，提出了覆坑平整，选用矮化披碱草为优势品系进行生态修复的理论。

六是从高原隆升对自然地质地理条件的影响效应角度，系统论述了青海地质遗迹资源的分布特征、类型及科学内涵和地学价值。对青海省水工环地质工作成果的提高和应用推广有一定的推动作用。

在本著作的编写过程中，中国科学院资深院士、著名水文地质环境地质学家陈梦熊教授给予了悉心指导，并为本书作序，使我们受到了极大的鼓舞；《水文地质工程地质》杂志社编辑部、中国国土资源地质环境记者站范宏喜主任及记者给予了关心与支持；青海省人民政府参事、省国土资源厅环境处处长李长辉、青海省地质环境监测总站站长刘红星给予了技术上的指导；青海省环境地质勘查局党委书记、局长及局委对本书的编写和出版给予了大力支持；青海省环境地质勘查局工程师朱娟、赵振参与了文字校核，以及文字、图表的编制工作。在此一并致以诚挚的谢意！

2009年6月28日

# 目 录

序	
前 言	
第一章 绪论	(1)
第一节 区域范围及地理位置	(1)
第二节 青海省水文、工程、环境地质工作发展历史	(2)
第三节 自然地质环境及主要环境地质问题概述	(4)
第二章 青海区域地质环境基本特征	(12)
第一节 地貌	(12)
第二节 水文气候	(22)
第三节 地层岩性与地质构造	(27)
第四节 水文地质	(34)
第五节 岩土体工程地质	(42)
第六节 人类经济工程活动对地质环境的影响	(45)
第三章 青藏高原隆升演化过程及其对地质灾害分布的影响	(47)
第一节 高原隆升基本事实	(47)
第二节 青藏高原隆升的基本过程	(49)
第三节 青藏高原隆升过程分析	(53)
第四节 高原隆升对地质环境的影响	(56)
第五节 青藏高原隆升与地质灾害的响应	(56)
第四章 青藏高原隆升对地震活动的影响	(65)
第一节 高原区地震活动强度和频度	(65)
第二节 高原区地震活动的时空分布特征	(67)
第三节 青藏高原活动构造与地震活动的关系	(70)
第五章 柴达木盆地及三江源地区生态环境特征及生态重建思想	(72)
第一节 柴达木盆地生态环境特征及生态重建方向	(72)
第二节 柴达木盆地生态环境演化的资源效应	(77)
第三节 三江源区生态环境演化与恢复重建研究方法讨论	(122)
第四节 三江源区生态重建工作建议	(126)
第六章 环境工程地质	(129)
第一节 环境工程地质勘查工作	(129)
第二节 环境工程地质图编制方法 (以黄河龙羊峡至刘家峡河段为例)	(133)
第三节 黄河上游龙羊峡-刘家峡段环境水文地质特征	(138)
第四节 黄河黑山峡库区水库浸没问题预测分析	(151)
第五节 宝兰铁路沿线环境工程地质质量评价	(159)
第七章 灾害地质	(170)
第一节 地质灾害危险性评估	(170)

第二节	青海特大滑坡分布特征及影响因素分析 .....	(195)
第三节	青海龙羊峡—刘家峡河段特大型滑坡成因分析 .....	(200)
第四节	青海省重大工程区潜在不稳定斜坡调查与风险评价 .....	(206)
第五节	柴达木盆地土壤积盐与盐胀溶陷灾害对工程建设的影响 .....	(210)
<b>第八章</b>	<b>水文地质 .....</b>	<b>(215)</b>
第一节	青海省阿拉尔盆地高压自流水赋存特征及其资源评价 .....	(215)
第二节	西宁市城北区朝阳村地下水位变化对地质环境容量的影响 .....	(228)
第三节	青海省东部浅脑山地区环境背景条件对地下水资源 影响程度及找水方向分析 .....	(231)
<b>第九章</b>	<b>矿山环境保护与综合治理 .....</b>	<b>(248)</b>
第一节	青海茫崖石棉矿矿区地质环境治理、尾矿综合利用 .....	(248)
第二节	青海省矿山地质环境调查与恢复治理 .....	(252)
<b>第十章</b>	<b>青海地质遗迹资源 .....</b>	<b>(255)</b>
第一节	青海地质遗迹资源概况 .....	(255)
第二节	孟达天池地学价值分析 .....	(267)
第三节	外星人遗迹成因分析 .....	(271)
第四节	青海坎布拉丹霞地貌形成演化特征分析 .....	(274)
第五节	青海省黄河干流地质遗迹资源 .....	(280)
第六节	青海年保玉则国家地质公园地质遗迹 .....	(290)
第七节	青海坎布拉国家地质公园 .....	(299)
<b>结 语</b>	.....	<b>(305)</b>
<b>后 记</b>	.....	<b>(307)</b>
<b>参考文献</b>	.....	<b>(319)</b>

# 第一章

## 绪 论

### 第一节 区域范围及地理位置

青海省位于我国西北部，青藏高原东北部，是青藏高原重要的组成部分。地理坐标：北纬  $31^{\circ}39'$  ~  $39^{\circ}19'$ ，东经  $89^{\circ}35'$  ~  $103^{\circ}04'$ 。东西长约 1200km，南北宽约 800km，总面积  $72.12 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，境内有我国最大湖泊——青海湖，由此而得名青海省，简称“青”。

新中国成立以来青海省的行政区划曾做过多次较大调整和变化，截至 2008 年底，全省 1 个直辖市、6 个自治州、1 个地区、49 个县级行政单位，115 个镇，283 个乡（图 1-1），共 554.3 万人。由于其特殊的地理位置，青海省东部地区是人口最密集的地区，青南高原是高原冻土分布区，柴达木盆地是现代积盐区，从而影响着全省水、工、环地质工作在时间和空间分布上有较大的差异。

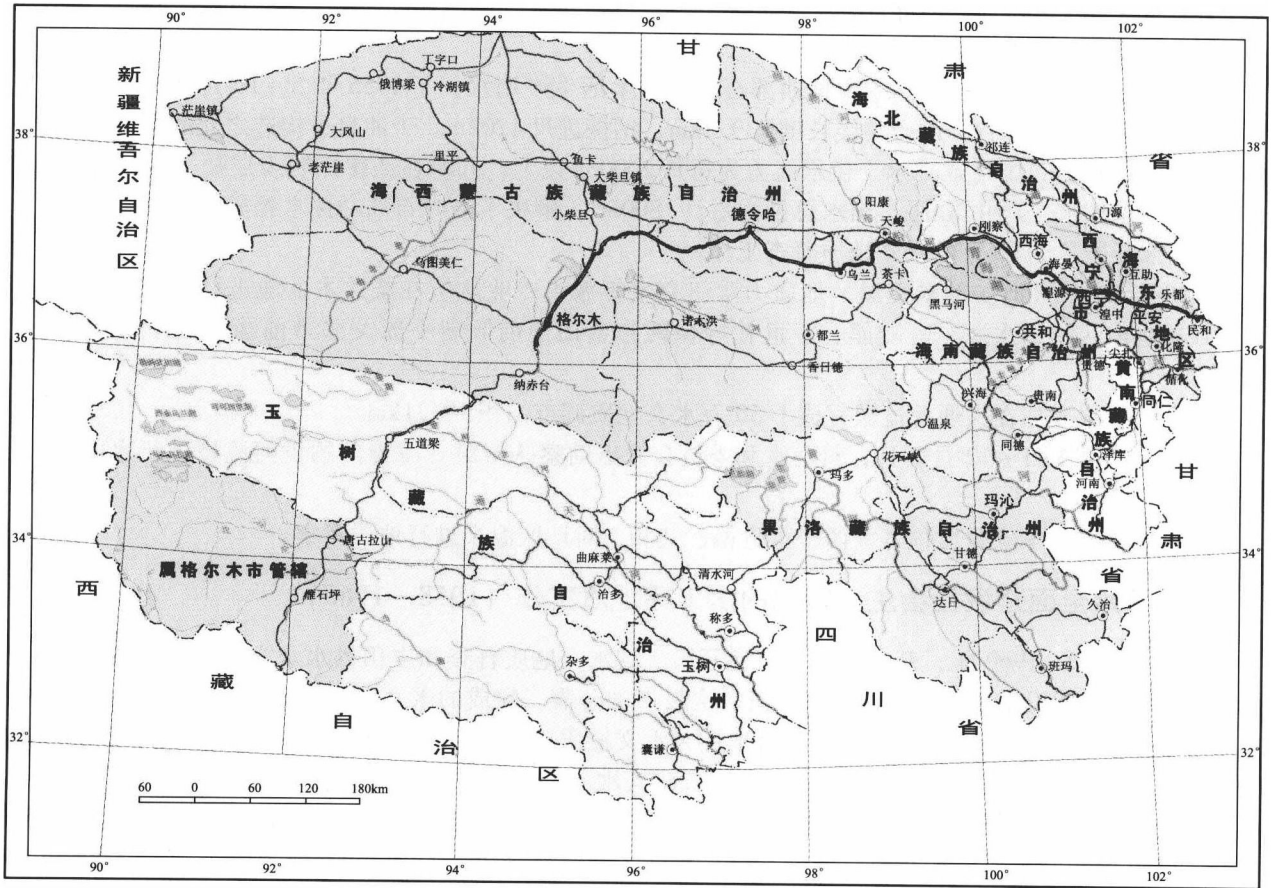


图 1-1 青海省行政区划图

## 第二节 青海省水文、工程、环境地质工作发展历史

### 一、新中国成立前的水工环地质工作（1949年以前）

新中国成立前，青海没有水工环地质工作单位，基本属于水工环地质工作空白区。主要是历朝政府遣使和一些国内外地理地质学者对湟水、黄河源、青海湖、柴达木盆地、祁连山等地的自然地理、岩石、地层、构造的考察以及对砂金、煤、石油、池盐等矿产资源的调查。

虽然人类利用地下水资源的历史可以追溯到史前时期，而青海利用地下水的史实，目前最早的仅可追溯到1983年在西宁市城东区发现的距今近两千年，东汉时期的水井遗址。该井呈圆形筒状，井径1.2m，井深约10m。除此之外，史书所载全省各地居民将地下水资源用之于城防、饮用、洗浴、灌溉、辟景等数不胜数。如诗人李焕章（1613~1688年）对贵德县地下热水用之于洗浴的诗曰：西郊卅里有沸汤，冬夏俨同烈火煎。张幕临渊为浴室，澡身每趁艳阳天。李氏当年对该热水的洗浴写照，可谓沿袭至今。

### 二、新中国成立初期的水工环地质工作（1949~1957）

新中国成立初期1949~1957年省内开展的水工环地质工作，主要部署在国民经济建设的重要地区，包括青海东部大通河流域的区域水文地质普查，黄河流域的工程地质考察，西部柴达木盆地中部和东部的水文地质普查及茫崖地区的详查，主要解决生产生活对水资源的急切需求。其中，代表性的水文地质、工程地质、地热地质工作有以下内容：

青海石油勘探局为解决柴达木盆地西部石油勘探生活生产用水，于1955年5~10月在油泉子、茫崖等地开展了水文地质详查，调查路线长度739.2km，钻探进尺1202m。于油泉子构造之北的向斜洼地找到了可供石油钻井用的盐（咸）水，供水能力为每日2000m<sup>3</sup>以上，同时在茫崖探明表层盐（咸）水之下埋藏有淡承压自流水，钻井20眼，出水总量为每日1800m<sup>3</sup>，解决了当时石油勘探水源需要。1956年在盆地中部和东部开展了1:20万的水文地质普查工作。

1956年7~8月地质部水文局、地质力学研究室等派出专业队伍在柴达木盆地进行工作。为解决冷湖石油基地生活饮用水源，陈梦熊、于世礼等在阿尔金山山前倾斜平原戈壁带前缘找到了地下水供水水源。

1957年省水利局在大通河流域完成1:50万水文地质调查面积19721km<sup>2</sup>。

1952年9月3日~12月3日，黄河水利委员会派出勘察队伍对青海境内的黄河流域进行水电资源及工程地质考察。

1956年，地质学家张文佑等由西宁至贵德、共和，对地区温泉进行地质考察。

### 三、开始全面建设社会主义时期的水工环地质工作（1958~1965）

20世纪1950~1960年，基本按自然单元开展区域水文地质普查和农田供水水文地质勘查工作，大多布置在国民经济建设重要地段，以解决经济社会发展的急需。完成的水文地质工作主要有：

(1) 青海高原东部农业区1:20万综合地质-水文地质普查。1959~1963年，为了查明青海高原东部地下水的补给、径流、排泄条件及含水层的分布及其水质的变化规律，为青海高原东部农牧业发展、厂矿企业供水提供可靠的地下水资源。西北地质局青海综合地质大队水文地质工程地质队在青海高原东部进行了1:20万综合地质-水文地质普查工作。普查区范围跨海南、海北、黄南三个自治州以及西宁、民和、乐都、互助、化隆、循化、湟源、湟中、门源、大通10个市县，地理坐标位于东经101°00'~103°00'，北纬35°20'~35°45'之间。该队范锡朋、刘炳鑫、金东锡、兰生惠、范正航、汪寿南等人以1:20万综合地质-水文地质测绘、水文地质钻探为主要手段，完成1:20万综合地质-水文地质测绘面积

29600km<sup>2</sup>、水文地质钻探 4000m, 抽水试验 260h, 浅井 354m/30 个, 试坑 527m/224 个, 水质分析样 1324 组, 土分析样 (包括岩石光片鉴定) 700 组, 地下水长期观测 20000 次/330 孔, 地球物探探测 (电测深联合剖面) 142.54km。

20 世纪 50 年代, 青海高原东部为我省最主要的工、农业区, 全省 80% 的人口聚居于此, 耕地面积 650 万亩, 占全省耕地面积的 70%~80%。“青海高原东部农业区 1:20 万综合地质-水文地质普查”的完成, 对我省工、农业建设的布局、发展, 起到了巨大的科学支撑作用。

(2) 青海省海南藏族自治州共和盆地 1:20 万综合地质-水文地质普查。其工作范围以海南藏族自治州州府恰卜恰镇为中心, 范围跨越海南、海西两个自治州, 地理坐标位于东经 98°30′~101°17′, 北纬 35°20′~37°00′之间, 涉及共和、贵南、兴海、都兰 4 县。1959~1963 年, 为我省共和盆地农牧业发展提供可靠的地下水资源。西北地质局青海综合地质大队水文地质工程地质队田生茂、朱俊才、范锡朋、孙广仁等在共和盆地进行了 1:20 万综合地质-水文地质普查工作。该项工作以 1:20 万综合地质-水文地质测绘、水文地质钻探为主要手段, 共完成 1:20 万综合地质-水文地质测绘面积 21185.97km<sup>2</sup>、测绘路线 10965.36km, 地质及水文地质点 11080 个, 水样 719 件; 水文地质钻探 2960.61m, 水质分析样 719 组, 地球物探探测 (电测深联合剖面) 480km/7 条, 查明区内地下水天然资源量: 盆地东部 2101766.4m<sup>3</sup>/d, 西部 2287007m<sup>3</sup>/d, 发现矿泉 3 处。

此项工作, 为共和盆地的畜牧业、农业的发展规划和草场、农田灌溉供水、城镇工矿、居民供水提供了重要的水文地质科学依据。

(3) 青海湖盆地 1:20 万综合地质-水文地质普查。1959~1963 年, 为了满足青海湖地区农牧业发展的需要, 西北地质局青海综合地质大队水文地质工程地质队范锡朋、田生茂、戈庆云等在青海省青海湖盆地进行了 1:20 万综合地质-水文地质普查工作。本次工作以 1:20 万综合地质-水文地质测绘为主要手段, 共完成 1:20 万综合地质-水文地质测绘面积 15025km<sup>2</sup>, 地质点 2042 个, 水文点 387 个, 测绘路线 4476km, 抽水试验 50 个/114h, 地球物探探测 (电测深联合剖面) 274km。该普查报告初步查明了青海湖盆地地质水文地质特征。粗略计算了青海湖山前平原及布哈河、倒淌河河谷平原第四纪地层中的地下水储量: 静储量 283.17×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>, 动储量 3.575×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>。

20 世纪 50 年代末 60 年代初, 随着我省人口的快速增长和所面临的粮食供给困难, 针对我省具体情况在青海湖盆地相继建立了六个国营农场, “青海省青海湖盆地 1:20 万综合地质-水文地质普查报告”的完成, 对当地农牧业发展布局及国营农场建设, 起到了巨大的支撑作用。

#### 四、“文化大革命”时期的水工环地质工作 (1966~1976)

青海水工环地质工作在“三年困难时期”由于水工环地质队伍大量减员, 水工环地质工作基本处于停止状态, 至“文化大革命”的前期, 地质部于 1964、1965 年对处于“三线”的青海水工环队伍进行了充实, 水工环地质工作进入恢复期。而至 70 年代初期由于青海省第二水文地质工程地质队、中国人民解放军基建工程兵九〇六团相继成立, 青海省水工环地质工作队伍得到了进一步壮大, 点上尤其面上的水工环地质工作得以全面展开。

该时期的水工环地质工作主要是遵循地矿部颁《区域水文地质普查规范》, 按 1:20 万国际分幅在北纬 36°以北地区开展区域水文地质普查。所完成的图幅大多符合规范要求, 报告内容充实、全面, 重点突出, 阐明了区域水文地质规律。采用补给量总和法、排泄量总和法等方法概算了地下水天然资源量, 其中部分报告还采用断面法或平均、分散布井法对地下水的开采资源量进行了计算。20 世纪 70 年代中后期地质部在全国部署的 1:20 万国际分幅区域水文地质普查, 使全省的区域水文地质工作步入了新纪元。

该时期的水工环地质工作在农牧业供水勘察方面也进行了重点部署。如 1974~1975 年, 青海省地质局第二水文地质队徐德友等在贵德县三河地区进行了 1:5 万农牧业供水勘察, 完成钻探进尺 4828m/15 孔, 查明自流水区面积约 48km<sup>2</sup>, 估算了自流可开采量: 黄河南岸 5×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup>/d, 北岸 2.6×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup>/d, 总计 7.6×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup>/d。为我省主要产粮区的农业发展和碘缺乏病区改水工程的实施提供了重要的地下水资源

开发利用依据。

该时期的水工环地质工作在城镇供水勘察方面也进行了重点部署。如西宁市塔尔水源地经青海省第二水文地质队张恩沛等于1974年3月27日至1975年11月1日历时两年的水文地质勘察,完成1:2.5万水文地质测绘面积102km<sup>2</sup>,冲击钻探467m/10孔,岩心钻探516m/18孔,抽水试验24次/24孔,实测水文地质剖面15.3km/5条,物探剖面5km/5条,对14个钻孔进行了一年以上的长观。查明老幼庄以北地段含水层厚度达60m,水量丰富,水质好,于1975年底提交了《西宁市塔尔水源地水文地质勘察报告书》。提交的地下水调节量 $3 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ ,地下水可开采量 $11.9 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 。为西宁市供水水源的规划建设提供了科学依据。

## 五、历史性转折和全面建设小康社会时期的水工环地质工作(1977~2007)

该时期随着我国经济社会的高速发展和经济转型期对生产性资源的旺盛需求,对环境保护压力的剧增特别是随着国家“西部大开发”、可持续发展战略的深入实施,青海省水工环地质调(勘)查和管理工

作也都进入了全面发展时期。

水文地质方面。基本完成了青海中部柴达木盆地-共和盆地-河湟谷地以及北部祁连山地区的1:20万区域水文地质普查,完成了青海南部1:100万区域水文地质调查以及少部分地区1:20万区域水文地质普查,完成了全省水文地质远景区划以及二轮地下水资源评价,为城市、厂矿、产业园区勘察了诸多大型地下水供水水源地,地下水和盐湖卤水动态监测网日臻完善。基本查清了青海省的水文地质条件,地下水资源量及其开发利用条件与潜力,地下水动态特征以及主要环境水文地质问题。

工程地质方面。完成了全省工程地质远景区划,完成了黄河龙羊峡至青铜峡段、宝鸡至兰州段铁路环境工程地质勘察,完成了某国防工程核污染物填埋场选址勘察,完成了西宁市水工环地质勘察评价,完成了黄河流域、西北地区工程地质图及说明书的编制,完成了南水北调西线工程超前期阶段区域工程地质及区域稳定性调查评价,为铁路、公路、桥梁、水电站等工程建设提交了大量的工程地质勘察报告。基本摸清了青海省和已建、拟建大型工程布设区的区域工程地质条件及所存在的主要环境工程地质问题。

环境地质方面。完成了黄河源区1:25万生态环境地质调查、1:50万青海省环境地质调查,完成了《青海省矿山环境保护与治理规划(2006~2015年)》,完成了34个县(市)地质灾害调查与区划,完成建设工程地质灾害危险性评估324宗,公布了《青海省地质灾害防治规划(2006~2020年)》、《青海省突发地质灾害应急预案》,发布了《青海省地质环境保护办法》、《地质灾害危险性评估规程(DB63/489—2004)》,制定了《青海省矿山环境治理恢复保证金管理办法》,实施了地质灾害年度防灾预案编制、动态调(巡)查和地质灾害气象预警预报制度。建成了4个国家地质公园、1个国家矿山公园。基本摸清了青海省地质环境条件、地质灾害危害和主要环境地质问题。

上述工作,都从不同的学科角度,提升了青海省水工环地质研究程度和水平,为更好地保护青海地质环境,客观地认识和了解青海地质环境条件和形成演化过程,掌握其时空变化规律,寻求拟定相应有效的保护和开发利用地质环境对策起到了一定的推动作用。

## 第三节 自然地质环境及主要环境地质问题概述

### 一、自然地理环境

青海省深居欧亚大陆腹部,属高原大陆性气候,具有干燥多风、寒冷缺氧、光辐射强等特点。年平均气温为-5.9~8.7℃,气温差异大,垂直变化明显,年平均气温呈南、北低,中部高之势。省域内大部分地区年降水量为200~500mm,东南部的久治、达日、班玛、囊谦及北部的门源等地年降水量在500mm以上,其中久治高达1031mm(1981年)。柴达木盆地是青海省降水量最少的地区,年降水量大多在

50mm 以下, 其中冷湖仅 17mm。

青海省位居江河之源, 湖泊众多, 河流纵横、冰川发育。流域面积大于  $500\text{km}^2$  的河流有 278 条, 河道长度大于  $100\text{km}$  的河流有 65 条。乌兰乌拉山、博卡雷克塔格山、布青山、鄂拉山、日月山、大通山、疏勒山和冷龙岭一线的东南一侧为外流流域, 西北一侧为内陆流域。外流河流域包括长江水系、黄河水系和澜沧江水系, 总面积  $34.86 \times 10^4 \text{km}^2$ , 多年平均流量为  $1586.7\text{m}^3/\text{s}$ , 年径流总量为  $500.4 \times 10^8 \text{m}^3$ 。内陆河流域总面积  $37.41 \times 10^4 \text{km}^2$ , 多年平均流量为  $399.2\text{m}^3/\text{s}$ , 年径流总量为  $125.9 \times 10^8 \text{m}^3$ 。内陆河流域按地区分为祁连山北部、青海湖、哈拉湖、茶卡—沙珠玉、柴达木、可可西里盆地等 6 个水系。河流的天然水质总特点是河流水化学成分、矿化度、总硬度等由东南向西北逐渐增加, 在内陆盆地区有明显的随海拔而变化的规律。河流天然水呈弱碱性, 其 pH 值为  $7.5 \sim 8.6$ ; 大部分河流的天然水质良好, 水污染较轻, 但湟水和格尔木河河水污染较严重, 部分离子超标。

青海省是全国五大湖泊省(区)之一, 主要分布在内流水系及外流江河发源地。全省水面大于  $0.5\text{km}^2$  的湖泊有 458 个, 水面大于  $1\text{km}^2$  的湖泊有 265 个, 湖泊总面积  $1.29 \times 10^4 \text{km}^2$ , 湖水总储量  $2246.63 \times 10^8 \text{m}^3$ 。湖泊中淡水湖 ( $M < 2\text{g/L}$ )、微咸水湖 ( $2\text{g/L} < M < 5\text{g/L}$ ) 共 449 个, 咸水湖 ( $5\text{g/L} < M < 35\text{g/L}$ ) 230 个, 盐湖 ( $M > 35\text{g/L}$ ) 44 个。

青海省冰川面积有  $4620.71\text{km}^2$ , 冰川储量  $3987.87 \times 10^8 \text{m}^3$ 。其中, 昆仑山冰川、祁连山冰川、唐古拉山冰川面积分别占全省冰川面积的  $43.4\%$ 、 $28.4\%$  和  $28.2\%$ 。

青海省东部和东南部为森林草原植被, 向西或西北植被类型依次是草原、高山草甸、高山草原、荒漠。全省的森林覆盖率为  $3.01\%$  (含灌木林地), 主要分布在东部山地; 灌丛植被广布在东部、东南部和东北部以及西南部海拔  $3600 \sim 4500\text{m}$  的山地阴坡和局部滩地; 温性草原分布在青海东北部, 而青南高原的北部和西部为高寒草原; 荒漠植被集中分布于柴达木盆地和共和盆地; 高寒草甸植被主要分布于青南高原的南部和东部海拔  $4000 \sim 4800\text{m}$  的地区及祁连山东部海拔  $3200 \sim 4000\text{m}$  的地区。

## 二、地质环境背景

### 1. 地貌

青海地域辽阔, 地势高峻, 与西藏自治区同称“世界屋脊”。平原占  $40.6\%$ , 丘陵占  $26.8\%$ , 平均海拔高度大于  $3000\text{m}$  的面积占全省总面积的  $73.3\%$ 。青海地貌复杂多样, 境内有长达  $1000\text{km}$  以上的山脉多条, 其中海拔  $5000\text{m}$  以上的山体均终年积雪、分布有现代冰川。地势西高东低、南北高中间低。东西部地貌最大的差异是因为东部的内外地质作用强度大于西部, 在强烈的流水侵蚀作用下原始高原地貌形态不复存在, 地形上表现为山高谷深; 这种流水营力作用导致东部地区斜坡重力地质作用异常活跃。而西部则以剥蚀夷平占主导, 高原夷平面十分发育。

青海地貌按形态可分为山地和平原两大类; 按内外营力及其所形成的地貌形态和组成物质, 可分为构造地貌、流水地貌、湖泊地貌、冰川地貌、冰缘地貌、风成地貌、重力地貌和黄土地貌等多种类型。综合起来可划分为阿尔金山—祁连山高山山原、柴达木—(黄)河、湟(水)中海拔盆地及青南高原等 3 个大地貌区; 东阿尔金—北祁连高山宽谷、柴达木盆地、昆仑山大起伏高山等 10 个中地貌区; 阿哈提中起伏中山—高山、茫崖—冷湖风蚀残丘古湖盆、祁漫塔格—布尔汗布达高山等 25 个小地貌区。

### 2. 地质构造及新构造运动

青海位处几大构造域的结合部, 构造活动性强, 应力状态复杂, 地壳结构不均。新生代以来, 地壳收缩抬升, 新构造活动强烈, 主要表现在地震、活动断裂和地壳差异性运动方面。

唐古拉山、昆仑山山地第四纪以来上升  $5621 \sim 5860\text{m}$ , 阿尼玛卿山上升  $5282\text{m}$ , 宗务隆山北部—阳康—布哈河北山一带上升  $3800 \sim 4000\text{m}$ , 从阿尔金山到冷龙岭于省区边界附近最高上升  $4800\text{m}$ ; 青海省北部地壳表现为大隆大陷的区域活动规律, 南部地壳表现为横向弧形运移、挤压活动规律。

青海是我国地震多发区之一, 仅次于台湾、西藏、云南、四川和新疆, 居全国第六位。20 世纪以来, 青海境内共发生 5 级以上地震 188 次; 5 级地震几乎遍布全省, 6 级地震主要分布在祁连山一带、柴达木



盆地、唐古拉山—玉树一带以及久治—达日一带，7级地震主要分布在花石峡—达日一带（即横贯青海的库赛湖—玛曲断裂带）和共和地区，2001年11月14日昆仑山8.1级地震创历史新高。

3. 岩土体类型

青海省内岩体类型按成因及岩性可分为碳酸盐岩建造、碎屑岩建造、岩浆岩建造和变质岩建造，主要分布在昆仑山、祁漫塔格山、柴达木山、祁连山及青海南部高原等地（表1-1）。其中青东古、新近系红色碎屑岩建造是省内易滑岩体。

表 1-1 青海省岩体类型一览表

岩体建造	岩性组	主要分布范围	主要岩性	特征
岩浆岩建造	1. 坚硬的块状侵入岩岩组	昆仑山、祁漫塔格山、柴达木	花岗岩、正长岩、闪长岩、辉长岩	于多年冻土区多见融冻岩屑；非多年冻土区深切峡谷段及构造交错处多见崩塌与大型滑坡
	2. 坚硬的厚—中厚层状火山岩岩组	玉树、治多、结扎、同德、可可西里山	火山岩夹结晶灰岩、玄武岩、安山岩、凝灰岩	
	3. 坚硬的薄层状火山岩岩组	大通河上游、阿木尼克山、冷龙岭、布尔汗布达山	基性火山岩、安山岩、安山质火山角砾岩	
	4. 较坚硬的厚—中厚层火山岩岩组	都兰湖、祖尔肯乌拉山、低头山	火山岩、砾岩、中酸性或酸性火山岩夹砂岩	
	5. 较坚硬的薄层状火山岩岩组	黑河南岸、达坂山	安山岩、安山玄武岩、中基性凝灰岩	
碎屑岩建造	1. 软硬相间的厚—中厚层状碎屑岩岩组	结扎、潘尼	粉砂质泥岩、细砂岩、石英砂岩、砂砾岩	成岩程度较低，胶结差，浸水易软化，受构造影响裂隙发育，尤其是泥岩与石膏岩互层区更甚，多见危岩。易发生崩滑流灾害
	2. 较坚硬的薄层状碎屑岩岩组	走廊南山南坡	粗粒石英砂岩、云母砂质页岩、粉砂岩	
	3. 软弱的厚—中厚层状碎屑岩岩组	杂多、雁石坪、西宁、民和、小柴旦、贵德、化隆盆地	泥岩、粉砂质泥岩、长石石英砂岩、粉砂岩	
	4. 软弱的薄层状碎屑岩岩组	阿卡腾能山、五道梁、二道沟、土尔根达坂	杂色砂岩、泥岩、粉砂质泥灰岩夹泥灰岩、页岩	
	5. 软弱的厚—中厚层状碎屑岩岩组	杂多、雁石坪地区	泥灰岩、生物碎屑灰岩、砂岩、粉砂岩	
碳酸盐岩建造	1. 坚硬的块状碳酸盐岩岩组	玛沁以南、阿尼玛卿山南坡	灰岩、少量砂岩和钙质粉砂岩	岩体呈块状，坚硬致密，力学强度高
	2. 坚硬的厚—中厚层状碳酸盐岩岩组	欧龙布鲁克、托莱山北坡、西倾山那棱郭勒	石英岩、结晶灰岩、少量页岩砂岩	
	3. 坚硬的薄层状碳酸盐岩岩组	黑河南岸、祁漫塔格、囊谦	灰岩夹砂岩、硅质灰岩、生物灰岩	
	4. 较坚硬的厚—中厚层状碳酸盐岩岩组	布赫特山、牦牛山、布哈河、阿拉克湖	白云岩、白云质灰岩、结晶灰岩、生物灰岩夹角砾岩	
	5. 较坚硬的薄层状碳酸盐岩岩组	大柴旦、欧龙布鲁克、杂多、阿拉克湖	砂岩、页岩、白云岩及竹叶状灰岩	
	6. 软硬相间的厚—中厚层状碳酸盐岩岩组	牦牛山、扎布杂秀、欧龙布鲁克	砂岩、砂砾岩、生物灰岩、粉砂质灰岩夹鲕状灰岩	
	7. 软硬相同的薄层状碳酸盐岩岩组	欧龙布鲁克、冷龙岭北	砂质页岩与石灰岩互层、灰质页岩夹灰岩	
	8. 软弱的薄层状碳酸盐岩岩组	怀头他拉、可鲁克	炭质页岩夹泥质灰岩、灰岩、不纯灰岩	