

文章编号:1001-8166(2004)03-0457-10

# 青藏高原隆升的地质灾害效应<sup>\*</sup>

彭建兵, 马润勇, 卢全中, 李喜安, 邵铁全

(长安大学地质工程与测绘工程学院, 陕西 西安 710054)

**摘 要:**根据青藏高原隆升具有持续性和阶段性加速的特征,将其整个隆升过程分为 4 个隆升阶段 15 个隆升幕,即喜马拉雅运动(6 个加速隆升幕)——递进式压缩隆升阶段;青藏运动(3 个加速隆升幕)——构造变形、断裂运动性质调整阶段;昆黄运动(3 个加速隆升幕)——高原地貌主阶段;共和运动阶段(3 个加速隆升幕)——地质灾害高发期。由于青藏高原的强烈隆升,最终使其成为我国地质灾害最为严重的地区之一。尤其是青藏高原周缘西北部的黄河上游流域、东南部的长江上游流域、西藏南部的雅鲁藏布江下游区及其东南部的“三江地区”,成为地质灾害事件集中发生的区域,其中的地震、崩滑流、断裂活动等地质灾害效应最为强烈,成为影响现代人类工程活动和生存环境的主要灾害。

**关 键 词:**青藏高原;隆升;构造运动;地质灾害

中图分类号:P694

文献标识码:A

上新世以来开始强烈隆升的青藏高原,以其整体上独特的地势高度、地貌、地质和自然环境等特征而闻名于世,自 20 世纪 80 年代以来,国内外有关青藏高原的研究在不断拓展和深入,相应的研究成果呈快速增长之势,目前已成为当代地球科学研究的热点。本文仅就青藏高原隆升所导致的青藏高原周缘区的地质灾害效应问题做一简要概述。

## 1 青藏高原隆升的基本过程

青藏高原隆升的因素非常复杂,但隆升的主要动力来自印度板块北北东方向的推挤,这一观点已为绝大多数学者们所接受。青藏高原隆升具有持续性和阶段性加速的特征,因此在不同的隆升时期,其构造变形具有不同的时空特点。不同学者对高原隆升阶段(包括阶段数、时限)的划分各不相同,如李廷栋<sup>[1]</sup>、李吉均<sup>[2]</sup>、施雅风<sup>[3]</sup>等将高原的整个隆升过程划分为三大阶段,马宗晋<sup>[4]</sup>、潘裕生<sup>[5]</sup>和钟大贵<sup>[6]</sup>等均把青藏高原隆升划分为四大阶段,但在具体时段分上又有所差异。作者从研究青藏高原构造变形效应以及工程应用角度出发,将高原隆升划分为四

大构造运动阶段,由老到新分别为喜马拉雅运动、青藏运动、昆黄运动与共和运动,在总结前人研究成果的基础上又将其细化为 15 个隆升幕,现结合图 1,将高原隆升基本过程概括如下。

### 1.1 喜马拉雅运动

青藏高原块体最早是由祁连地体、北昆仑—柴达木地体、南昆仑—巴颜喀拉地体、羌塘地体、冈底斯地体、喜马拉雅地体等自北而南逐步拼合成的一个新生大陆块体,45 Ma BP 前后印度板块与该新生大陆块体发生碰撞时起,青藏高原便开始了漫长的自南而北的递进式挤压隆升历程,到上新世初(5.3 Ma BP 前后)隆升效应波及到高原北部地区,从而宣告青藏高原大统一的新构造运动板块的完全形成。因此,喜马拉雅运动为青藏高原以后的整体隆升奠定了基础。该阶段有较明显的 6 个加速隆升幕。

(1) 45 Ma BP 前后,随印度与欧亚两大板块碰撞<sup>[7]</sup>,青藏高原开始缩短和其第一次抬升<sup>[6]</sup>,碰撞边缘开始形成喜马拉雅山脉及北部相关盆地。

(2) 35 Ma BP 前后,随高原的缓慢抬升,冈底

<sup>\*</sup> 收稿日期:2004-04-09;修回日期:2004-04-20.

作者简介:彭建兵(1953-),男,湖北麻城人,教授,主要从事工程地质与岩土工程方面的研究. E-mail: dicexy-1@chd.edu.cn

斯山脉开始形成;因板块碰撞产生的热效应,高原南部火山活动强烈;第一级夷平面开始形成(长达 13 Ma)<sup>[8]</sup>。

(3) 21 Ma BP 前后,高原进入褶皱冲断抬升期,冈底斯—念青唐古拉山区快速增厚并开始隆升<sup>[9~11]</sup>,李吉均<sup>[12]</sup>称其为喜马拉雅运动,李炳元等<sup>[13]</sup>称之为喜山二期运动。红河、澜沧江等断裂大规模左旋走滑<sup>[14,15]</sup>并形成拉分盆地,以吸收板块汇聚所产生的应变,山顶面逐步解体。

(4) 17 Ma BP 前后,欧亚板块由整体变形缩短

增厚逐步转变为局域隆升造山运动。喜马拉雅山前出现沉积,并再次进入漫长的剥蚀夷平过程,逐步形成高原上广泛分布的主夷平面<sup>[16]</sup>。

(5) 13 Ma BP 前后,青藏高原进入新的隆升幕<sup>[6,8]</sup>。南部火山活动强烈<sup>[17]</sup>,可能反映了两大板块碰撞带附近产生的热效应;南部冈底斯—念青唐古拉山脉快速隆升,中部唐古拉山和昆仑山脉自南而北递进形成;高原南部主边界断裂向南发生大规模逆掩推覆,呈前展式逆冲扩展;红河断裂运动性质由早期的左旋转变为右旋走滑<sup>[14]</sup>。

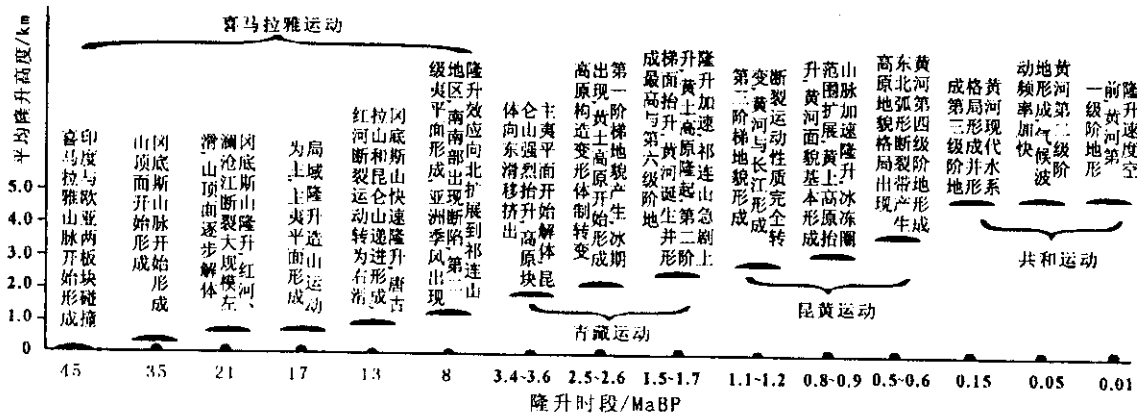


图 1 青藏高原隆升过程示意图

Fig. 1 Sketch map showing uplift of Qinghai-Tibet plateau

(6) 8 Ma BP 前后,高原进一步隆升<sup>[6,18,19]</sup>。喜马拉雅山、冈底斯山强烈隆升<sup>[9]</sup>,高原南部开始形成一系列南北向断陷盆地和断裂谷地并逐步波及到高原中部的羌塘地区<sup>[5]</sup>;阿尔金断裂的热事件<sup>[20]</sup>、高原东北边缘的海原—同心弧形构造区强烈的新生代构造变形<sup>[21]</sup>以及祁连山发生第三系地层褶皱以及强烈的逆冲推覆作用,反映了高原隆升效应的向北扩展;受高原新生地貌影响,印度季风和东亚季风开始出现,亚洲内部干旱化开始,中国风尘堆积开始<sup>[22]</sup>;第二级夷平面形成<sup>[16]</sup>。

1.2 青藏运动

经喜马拉雅运动之后,形成了包括祁连山地区在内的青藏高原大统一新构造运动板块,同时宣告青藏高原第二隆升阶段——青藏运动的开始,此后的高原变形效应,具有统一性与整体性特征,并仍保持自南而北的递进式隆升特征。该阶段有 3 个较明显的隆升幕,李吉均等<sup>[12,23]</sup>将其分别称为 A 幕、B 幕和 C 幕。

(1) 3.6~3.4 Ma BP,高原强烈隆升<sup>[22]</sup>,统一的高原主夷平面开始解体<sup>[3]</sup>;横断山系强烈隆起<sup>[24]</sup>,红

河断裂强烈右旋<sup>[14]</sup>,昆仑山强烈抬升<sup>[25]</sup>;阿尔金断裂由逆冲逐步转变为左旋走滑,标志高原开始向东滑移挤出,并导致川滇地区强烈的构造活动。

(2) 2.6~2.5 Ma BP,气候与环境发生突变的主要时段之一:大冰期出现,黄土高原开始形成<sup>[26]</sup>;高原内湖泊萎缩、消亡速度加快<sup>[27]</sup>,以高原为主体的第一阶梯地貌出现;整个高原构造变形转化为伸展变形和向东侧向滑移挤出为主的变形体制<sup>[4,28]</sup>,并导致断裂运动性质逐步发生转变,如青藏中南部 SN 向地堑和裂谷大量形成<sup>[29,30]</sup>,中北部的金沙江—鲜水河、昆仑山南缘及祁连山北缘断裂带由压扭逐步向左旋走滑转变<sup>[4,30]</sup>,六盘山和龙门山形成具左旋性质的挤压推覆构造,最新出现的祁连逆冲褶皱山链隆起速度急剧加快<sup>[31]</sup>等。

(3) 1.7~1.5 Ma BP,进入高原周缘造山造貌主阶段。随着隆升加速,高原区众多湖泊因气候、河流下切或构造变形等原因而相继消亡<sup>[27]</sup>;受高原块体向东滑移和推挤,东北缘祁连—海原断裂带逆冲成山<sup>[32]</sup>,鄂尔多斯地体隆升<sup>[33,34]</sup>、旋转并影响到华北块体<sup>[35,36]</sup>,使黄土高原开始隆起,中国大陆第二

阶梯状地形面大幅上升<sup>[27]</sup>;临夏东山古湖被切穿消失,黄河诞生,其上游出现最高阶地,到1.5 Ma BP又形成第六级阶地<sup>[32,2]</sup>;长江上游金沙江水系切穿连通昔格达各湖面而诞生并形成巨大水系雏形<sup>[23,32a]</sup>。

### 1.3 昆黄运动

在1.2 Ma BP,伴随高原的加速隆升,黄河干流向上游切穿积石峡,0.6 Ma BP又切穿李家峡,故称其为“黄河运动”<sup>[37]</sup>。同样在该时段,昆仑山哑口地区的抬升速度由此前的不到0.01 mm/a急剧上升到3.73 mm/a,昆仑古湖也逐步消退,到0.7~0.6 Ma BP形成新的拉分盆地,故把该时段的隆升过程称之为昆黄运动<sup>[38,39]</sup>。经过该隆升阶段之后,高原现代地貌格局基本形成。昆黄运动阶段有3个明显的隆升幕:

(1) 1.2~1.1 Ma BP,为昆黄运动的第一幕。澜沧江、金沙江—红河、鲜水河、东昆仑、祁连山北缘以及海原等主要断裂的运动性质转变为走滑或走滑为主,成为昆黄运动的主要特色<sup>[27]</sup>;此前的古湖泊几乎全部消亡或移位,代之以大幅度的山体隆升,尤其在高原北部,昆仑山加速隆起,祁连山主峰隆升速率甚至达到7.3 mm/a<sup>[31]</sup>;高原北部一系列盆地相继封闭<sup>[32]</sup>;离石黄土堆积,黄河中游切穿三门峡东流入海,在上游切穿积石峡进入循化盆地,并形成第五级阶地;长江切开三峡东流入海<sup>[27]</sup>,从此宣告中国大陆两大江河形成,第三阶梯状地貌形成。

(2) 0.9~0.8 Ma BP,高原持续上升,平均高度达3 km以上。昆仑山快速隆升,北祁连山隆起速率达到7.1 mm/a<sup>[31]</sup>;黄土高原进入新一轮抬升期,黄河切穿李家峡,黄河面貌基本形成<sup>[23]</sup>;黄河中游第五级阶地的形成<sup>[40]</sup>是高原隆升的远程效应;冰川大面积扩张,高原大面积山地进入冰冻圈,出现望昆冰期<sup>[41,38]</sup>;高原山体抬升加速,羌塘组及相邻山地抬升成山<sup>[38]</sup>。

(3) 0.6~0.5 Ma BP,高原面抬升至3.0~3.5 km。昆仑山抬升速率达10 mm/a<sup>[38]</sup>,昆仑山哑口古湖消亡;黄河切穿李家峡<sup>[37]</sup>,黄河上游第四级阶地形成;东北缘四大弧形断裂带全部产生<sup>[27]</sup>,奠定了高原现代地貌基本格局。

### 1.4 共和运动

0.15 Ma以来,高原以强烈的构造变形和周缘区地貌的剧烈切割为特征,出现3次加速隆升过程。

(1) 0.15 Ma BP前后,高原急剧隆升,并接近或达到现代高度;刘家峡水系切穿龙羊峡溯源侵蚀进入共和盆地,河谷剧烈下切形成兰州黄河第三级

阶地<sup>[41,37]</sup>,黄河现代水系格局形成;东昆仑山区湖泊强烈退缩和自北向南迁移<sup>[32,42]</sup>;寒冷的气候使冰川、冻土有较大规模发育<sup>[43]</sup>。

(2) 0.05 Ma BP前后,高原以小幅度继续隆升,河谷继续下切,兰州黄河第二级阶地形成;0.053~0.027 Ma BP的大间冰段期间,气候温暖湿润,导致山地冰川普遍后退,多年冻土退化和下界上移<sup>[43]</sup>,使高原东部森林面积扩大,喜暖植物增多。

(3) 0.01 Ma BP以来,高原隆升速度空前,整体抬升速率达到5.8 mm/a。随着河谷剧烈下切,兰州黄河第一级阶地形成。

## 2 青藏高原隆升的地质灾害效应

青藏高原是我国地质灾害最为严重的地区之一,由于青藏高原的强烈隆升,其周缘地区构造变形十分强烈,加之气候环境特殊,成为地质灾害事件集中发生的区域,其中地震、崩滑流、断裂活动等地质灾害效应最为强烈和严重,成为影响人类活动的主要地质灾害。

### 2.1 地震灾害

地震活动是高原隆升过程中释放变形能的主要途径之一。尤其是晚更新世以来,随青藏高原的强烈隆升,高原区乃至周缘活动断裂带进入强震活跃期<sup>[35,44~50]</sup>,这种强烈的构造活动效应甚至波及到天山构造带及鄂尔多斯周缘构造带等区域<sup>[34,51]</sup>。

青藏高原目前已成为我国乃至世界上主要强震活动区。经初步统计,自公元192—2002年,高原地区共发生6级以上地震就达376次之多。其中7~7.9级地震73次,8级以上大地震达12次。仅20世纪,我国青藏高原及其东北缘地区地震释放的能量就占了全国的40%以上<sup>[52]</sup>,2001年昆仑山口8.1级大地震再次唤起人们对青藏高原地震强烈活动的极大震撼与关注。因此,给人类造成巨大生命与财产损失的地震活动是青藏高原主要地质灾害之一。

青藏高原四周基本被7级以上地震所包围,与周边地区相比反差非常明显(图2)。高原区地震活动有以下特点:

(1) 震中主要分布在三大活造构造带上:喜马拉雅弧形断裂系、北祁连山断裂系以及东缘的六盘山—滇东南北向断裂系。晚更新世以来的绝大多数地震位于这三大地震活造带上<sup>[35,44~50]</sup>。在这三大

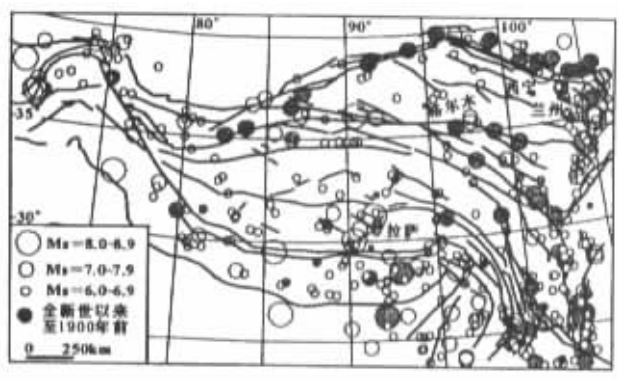


图 2 青藏高原地震与活动构造分布图  
Fig. 2 The distribution of earthquakes and active structure in Qinghai-Tibet

地震活动带上,又存在 3 处更集中的强震多发地,分别是高原东北隅的祁连山东部弧形构造带;喜马拉雅弧形带东端的那加山弯地区和西端的喀喇昆仑—兴都库什弯地区。

(2)高原区浅源地震占绝大多数,震源深度主要集中在 15~35 km 以上范围的上地壳之内;强震震源优势深度为 22 km,严格受上地壳底部的低速高导层(拆离层)控制。

(3)如果把青藏高原区地震活动分成南带(喜

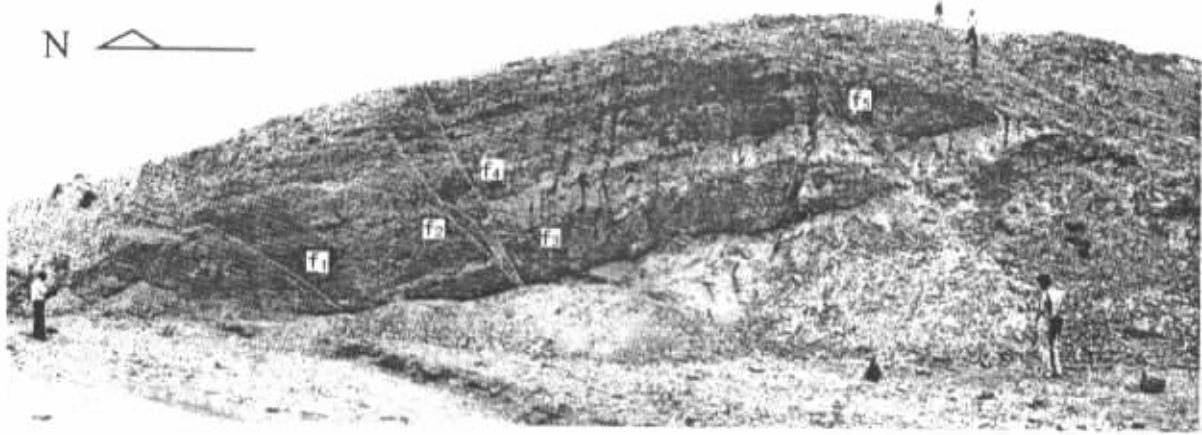


图 3 大柳树坝址区活动断层 F<sub>201</sub> 天然剖面  
Fig. 3 Natural profile of active fault F<sub>201</sub> in Daliushu dam site district

2.2 断裂活动灾害

青藏高原隆升晚期,构造变形的强度增大,高原及其周缘区活动断裂分布非常密集,数百公里以上的大型活动断裂带达十余条之多(图 4),不同运动性质的次级活动断裂更是不计其数。断裂活动不仅会孕育地震,还会导致以下一些错断效应的发生:①

马拉雅南缘地震区带)、中带(高原中部地震区带)和北带(高原北部地震区带),那么地震活动存在自高原南缘板块碰撞带逐步往北迁移的发展趋势<sup>[46]</sup>。

(4)高原内强地震活动的周期总体上由北向南逐渐变小,其中,阿尔金山和祁连山一带为 300 年左右,昆仑山和唐古拉山一带为 100 年左右,南部地区约 30 年为一强震活动期,三大弧形构造区的活动周期更小。

以历史上发生过古浪 8 级、中卫 7.5 级地震而著称的古浪—中卫—同心断裂带,是高原隆升过程中的青藏运动晚期,在其东北缘最新产生的一条活动断裂带。由于其所处的区域稳定动力学环境,晚更新世以来地震活动非常强烈<sup>[48]</sup>,是高原隆升过程中地震灾害效应的典型表现。笔者在开展对黄河黑山峡大柳树坝址的区域稳定动力学环境研究中发现,仅在该断裂的东段——中卫—同心断裂带的活动断层 F<sub>201</sub> 断面上(图 3),初步查明共和运动晚期(22 ka BP)以来至少发生过 9 次大于 7 级的古地震事件,其中,全新世以来有 3 次,分别为 8 ka BP 前后( $f_1$ ); 5.8 ka BP 以后( $f_5$ )和 8 ka BP 之后( $f_6$ );22~8 ka BP 间有 6 次破裂事件发生:断面  $f_2$ 、 $f_3$ 、 $f_4$  各一次; $f_5$  上 3 次。

基岩主断层的突然错动、扩展或长期蠕滑错动;②基岩分支断层的次生破裂扩展、错动以及新生地表破裂;③主断层突然错动、扩展或长期蠕滑错动的应变释放,导致其邻近断层产生应力调整而发生感应破裂;④由于上述几种破裂扩展效应而引发的山体蠕滑位移、滑塌、崩塌和地裂效应等。统计表明,在青

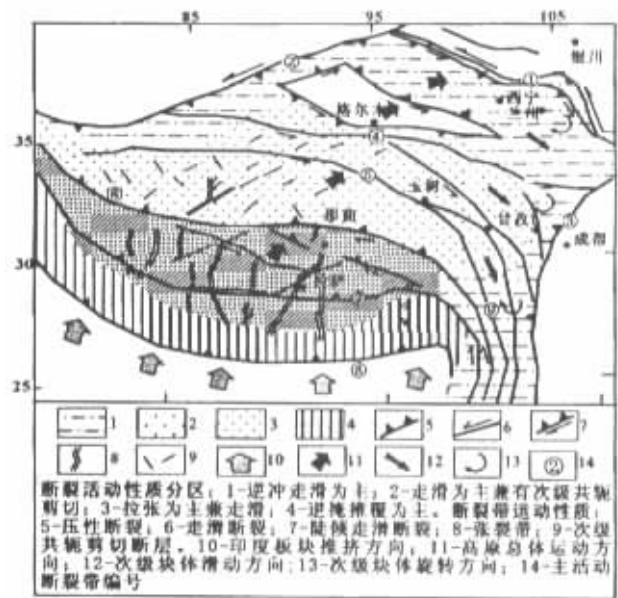


图4 青藏高原现今活动构造分布意图

Fig. 4 Neotectonics distribution in Qinghai Tibet Plateau

藏高原,当发生断层活动或破坏性地震时,距发震断层两侧 3~5 km 范围内都可能出现断层的分支破裂、次生破裂以及山体滑塌崩塌、重力裂缝等灾害效应。断层活动所产生的上述错断效应,将会使经过或者位于活动断层之上(及其附近)的道路、管线以及各类建筑物产生变形、错断或破坏等抗断问题。因此,在青藏高原区进行的各类工程活动选线、选址过程中,对断层活动灾害问题必须予以高度重视。如对黄河黑山峡河段水利开发方案制定中,由于  $F_{201}$  的活动有可能牵动大柳树坝址段的数条分支断裂发生错动而引发抗断问题<sup>[53]</sup>,并因此成为确定该河段最终开发方案的关键因素之一;正在计划中的南水北调西线工程,位于现代构造活动强烈的高原东北部,解决好工程沿线活动断层的位错问题,对于采用深埋长隧洞方案输水引入黄河具有十分重要的意义;施工中的青藏铁路沿线存在数以百计的活断层,不仅要考虑它的地震活动性,也存在未来营运过程中直接错动带来的灾害问题;青藏高原的大幅度隆升使得高原边缘区,尤其是东部缘区所形成的天然地理环境,为水资源的储蓄与开发创造了极为有利的条件,同时也由于高原强烈的隆升,使得这些地区的工程地质环境变得极其复杂,区域稳定性条件极差。因此,在如此复杂的区域构造稳定性环境条件下,如何实现既要达到最大限度地利用该区水资源,又能够使所选定的工程场址具有一个相对稳定

的区域构造环境,成为广大工程地质研究者的首要目标。

### 2.3 崩滑流等其他灾害

由于青藏高原的多次强烈隆升与河流下切作用,使高原边缘区的第一、第二阶梯面间形成了特有的地质、地貌、大气降水和地下水等环境,成为崩滑流灾害事件频繁发生的有利地区。

青藏高原边缘区是我国崩滑流最为严重的地区之一,给人民生命财产带来巨大损失。1964年7月,兰州市西固区暴雨后发生强烈泥石流,导致157人死亡;1983年3月,甘肃省东乡县洒勒山发生特大型黄土—软岩滑坡,造成237人死亡;2000年西藏迫隆藏布流域支流易贡藏布支沟发生特大崩塌—滑坡—碎屑流—泥石流,形成的堰塞湖—易贡湖溃决后形成特大规模洪水,洪峰对下游区河岸两侧造成毁灭性破坏,毁坏公路近30 km。洪峰还冲毁沿途两岸的森林植被,并诱发崩塌、滑坡,对流域生态环境带来严重破坏<sup>[54]</sup>;在我国因崩滑导致的堵江事件中,80%以上分布于青藏高原边缘的西南、西北的高山峡谷区,所造成的损失十分巨大;黄土高原的侵蚀,不仅对人类工程造成各种危害,还造成严重的水土流失和植被退化等环境灾害效应等。

事实上,从青藏运动以来,由于受到剧烈的构造变形与亚洲季风气候的双重耦合作用,高原进入崩滑流灾害发育期,其活动强度受隆升幕控制而具有一定的阶段性(图5):

(1) 3.6~3.4 Ma BP,随高原山脉的快速隆起,高原进入泥石流发育期。如临夏盆地出现的砾岩沉积中夹有一定数量的泥石流沉积<sup>[41]</sup>,昆仑山垭口地区冲积物中有泥石流交替发育的沉积物记录<sup>[25]</sup>。

(2) 2.6~2.5 Ma BP,高原地壳浅表岩石物理力学性能不断恶化,沟谷切割落差不断增大以及高原季风气候耦合作用的进一步增强,边缘区山谷泥石流发育程度进一步加强。强盛的南亚夏季风,给青藏高原山地带来丰沛的降水,大大促进了因高原隆升所导致的大冰期中冰川的发育<sup>[55]</sup>和冰川泥石流的活动;黄土高原的隆升<sup>[26]</sup>同时引起侵蚀活动的发育;云南西部、昆仑山进入火山活动高发期。

(3) 1.7~1.5 Ma BP,黄土高原因其再次抬升而进入侵蚀高峰期<sup>[32]</sup>,高原山麓沟壑崩滑流活动进一步增强。

(4) 1.2~1.1 Ma BP,伴随山脉的剧烈隆升与地形切割加剧,再次进入崩滑流高发期。如在昆仑山垭口地区沉积了厚达250 m的泥石流沉积物,时



代地貌格局的形成→气候的改变→地质灾害的频繁发生,是地球岩石圈、水圈、生物圈与大气圈等多种要素相互影响、互相耦合、共同作用、不断发展的结果。从青藏高原隆升过程中所产生的地质灾害效应发育历程上看,地质灾害活动的周期越来越短、活动强度越来越大、波及的区域越来越广、各类灾害间的耦合性与促发性越来越强:

(1) 印度板块的继续推挤将使高原继续隆升,并将导致高原地形格局改变和黄土高原的进一步抬升,由此引发黄土侵蚀的加强,使水土流失进一步加重。

(2) 青藏高原的进一步隆升,将使得山盆地形高差变大与高山峡谷反差变大而导致重力势差的增加,从而将使得崩滑流频繁发生,深埋特长隧道等人类工程病害加重,施工难度加大,高陡边坡等问题更加突出。

(3) 青藏高原隆升,将使得高原周缘构造活动性增强,地壳稳定性变差,导致地震活动更加频繁与强烈,活断层引起的灾害问题更为严重,势必使场地建筑适宜性变差、工程抗震问题更加突出。

(4) 青藏高原隆升,还将使得具有冬季冷源与夏季热源的青藏高原对气候的驱动与放大作用进一步加强,导致西北干旱气候的加剧与戈壁、沙漠、荒漠化的不断扩大。

由此可见,因青藏高原的持续隆升,在人类未来的发展进程中,所遇到的地质灾害问题会越来越严重,所面临的生存空间会越来越小,生存环境会越来越恶劣,必须加以足够重视,并努力寻求多种途径减缓其影响。

## 4 结 论

综上所述,自从 45 Ma BP 前后印度板块与欧亚大陆块体发生碰撞之后,青藏高原便开始了漫长的隆升历程,其隆升过程具有阶段性和自南而北的递进性。整个隆升过程分为 4 个隆升阶段 15 个隆升幕,各阶段所反映的构造变形与运动特征有所不同:喜马拉雅运动阶段(6 个加速隆升幕),青藏高原以自南而北的递进式压缩隆升特征为主,到上新世初,青藏高原大统一新构造运动板块完全形成,为青藏高原从此之后的整体隆升效应奠定了基础;青藏运动阶段(3 个加速隆升幕),高原隆升进入具有统一性与整体性特征的运动变形过程,该阶段以高原构造变形、断裂运动性质调整转换为主;昆黄运动阶段(3 个加速隆升幕)为高原地貌主阶段,经过该隆

升阶段之后,青藏高原现代地貌总体格局基本形成;共和运动阶段(3 个加速隆升幕),青藏高原地质环境与气候环境发生了根本变化,在地质、地貌与气候 3 个因素的耦合作用下,高原进入地质灾害高发期。

由于青藏高原的强烈隆升,最终导致高原周缘区形成了有利于地质灾害发生的特定的地质、地貌与气候环境条件,并使其成为我国地质灾害最为严重的地区之一。尤其是青藏高原周缘的西北部的黄河上游流域、东南部的长江上游流域、西藏南部的雅鲁藏布江下游区及其东南部的“三江地区”,由于强烈的构造变形与现代活动构造效应,成为地质灾害事件集中发生的区域,其中的地震、崩滑流、断裂活动等地质灾害效应最为典型、强烈和严重,成为影响人类活动的主要灾害,而这种影响将会越来越大、长期存在。

## 参考文献(References):

- [1] Li Tingdong(李廷栋). The Uplifting Process and Mechanism of the Qinhai-Tibet Plateau[J]. *Acta Geoscientia Sinica* (地球学报), 1995, 16(1): 1-9(in Chinese).
- [2] Li Jijun(李吉均), Fang Xiaoming(方小敏), Ma Haizhou(马海洲). Geomorphological evolution of the upper Yellow River and Qinghai-Tibet Plateau uplift and East Asian environmental change during Cenozoic era[J]. *Science in China* (中国科学), 1996, 26(4): 316-322(in Chinese).
- [3] Shi Yafeng(施雅风), Li Jijun(李吉均), Li Bingyuan(李炳元), et al. Uplift of the Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau and east Asia environmental change during Late Cenozoic [J]. *Acta Geographica Sinica* (地理学报), 1999, 54(1): 10-20 (in Chinese).
- [4] Ma Zongjin(马宗晋), Zhang Jiasheng(张家声), Wang Yipeng(汪一鹏). The 3-d Deformational Movement Episodes and Neotectonic Domains in the Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Acta Geologica Sinica* (地质学报), 1998, 72(3): 211-227 (in Chinese).
- [5] Pan Yusheng(潘裕生), Kong Xiangru(孔祥儒). Lithospheric Structure, Evolution and Dynamics of Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau[M]. Guangzhou: Guangdong Science & Technology Press, 1998(in Chinese).
- [6] Zhong Dalai, Ding Lin. Rising process of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau and its mechanism[J]. *Science in China* (D), 1996, 39(4): 369-379.
- [7] Dewey J, Shackleton R M, Chang C, et al. Tectonic evolution of the Tibetan Plateau [J]. *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, 1988, A327: 379-413.
- [8] Liu Jiaqi(刘嘉麒). Tectogenesis and the historical development of environment[A]. In: Lu Yanchou(卢演侑) et al., eds. Neo- tectonics and Environment[C]. Beijing: Seismological Press 2001, 11-13(in Chinese).
- [9] Harrison T M, Copeland P, Kidd W S F, et al. Raising Tibet

- [J]. *Science*, 1992, 255: 1 663-1 670.
- [10] Deng Wanming(邓万明). Cenozoic magnetic actives and lithosphere evolution of the Qinghai-Xizang[A]. In: Information and Evolution of the Tibetan Plateau, Environmental Changes and Ecological System (1994) [C]. Beijing: Science Press, 1995. 288- 296(in Chinese).
- [11] Wu Zhenhan(吴珍汉), Ye Peisheng(叶培盛), Hu Daogong(胡道功), *et al.* Crust Deformation and Tectonic-Geomorphic Evolution of the Central Tibetan Plateau[M]. Beijing: Geological Press, 2003. 120-182(in Chinese).
- [12] Li Jijun, *et al.* Uplift of Qinghai-Xizang(Tibet) Plateau and global change [M]. Lanzhou: Lanzhou University Press, 1995.
- [13] Li Binyuan(李炳元), Wang Fubao(王富葆), Zhang Qingsong(张青松), *et al.* Quaternary Geology in Xizang[M]. Beijing: Science Press, 1983. 110-129(in Chinese).
- [14] Leloup P H, Harrison T M, Ryerson F, *et al.* Structural, Petrological and thermal evolution of a Tertiary ductile strike-slip shear zone, Diancang Shan, Yunnan[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1993, 98(B5): 6 715-6 743.
- [15] Leloup P H, Lacassin R, Tapponnier P, *et al.* The Ailao Shan-Red River shear zone (Yunnan, China), Tertiary transform boundary of Indo-china[J]. *Tectonophysics*, 1995, 251: 3-84.
- [16] Cui Zhijiu, Gao Quanzhou, Liu Gengnian, *et al.* Planation surfaces, Paleokarst and uplift of Qinghai-Tibet plateau [J]. *Science in China (D)*, 1996, 39(4): 391-400.
- [17] Pan Guitang(潘桂棠), Wang Peisheng(王培生), Xu Yaorong(徐耀荣), *et al.* Cenozoic Tectonic Evolution of Qinghai-Xizang Plateau [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990. 32-70(in Chinese).
- [18] Tang Maocang(汤懋苍), Dong Wenjie(董文杰). Influences of seven Tibetan plateau raising processes on climate and environment [J]. *Plateau Meteorology*(高原气象), 1997, 16(1): 23-29(in Chinese).
- [19] Burbank D W, *et al.* Reduced Himalayan sediment production 8 Myr ago despite an intensified monsoon[J]. *Nature*, 1993, 364: 48- 50.
- [20] Chen Zhengle(陈正乐), Wan Jinglin(万景林), Wang Xiaofeng(王小凤), *et al.* Rapid Strike-slip of the altyn Tagh fault at 8 Ma and its geological implications[J]. *Acta Geoscientia Sinica*(地球学报), 2002, 23(4): 295-300(in Chinese).
- [21] Shen Xuhui(申旭辉), Tian Qinjian(田勤俭), Ding Guoyu(丁国瑜), *et al.* The Late Cenozoic Stratigraphic Sequence and Its Implication to Tectonic Evolution, Hejiakouzi Area, Ningxia Hui Autonomous Region[J]. *Earthquake Research in China* (中国地震), 2001, 17(2): 156-166(in Chinese).
- [22] An Zhisheng, Kutzbach J E, Prell W L, *et al.* Evolution of Asian monsoons and phased uplift of the Himalaya-Tibetan Plateau since late Miocenetimes[J]. *Nature*, 2001, 411: 62-66.
- [23] Pan Baotian(潘保田), Li Jijun(李吉均), Zhu Junjie(朱俊杰). Qinghai-Tibetan Plateau: A Driver and Amplifier of the Global Climatic Change—II: Uplift processes of the Qinghai-Xizang(Tibetan) Plateau[J]. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)* (兰州大学学报, 自然科学版), 1995, 31(4): 160-167(in Chinese).
- [24] Chen Fubin(陈富斌). Hengduan event: An important tectonic event of the late Cenozoic in Eastern Asia [J]. *Mountain Research* (山地研究), 1992, 10(4): 195-202(in Chinese).
- [25] Cui Zhijiu(崔之久), Wu Yongqiu(伍永秋), Ge Daokai(葛道凯), *et al.* Environmental change of Kunlun pass area since quaternary [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology* (海洋地质与第四纪地质), 1999, 19(1): 53-62(in Chinese).
- [26] Liu Dongsheng(刘东生), *et al.* Loess and the Environment [M]. Beijing: Science Press, 1985. 4-255(in Chinese).
- [27] Li Xianggen(李祥根). An Introduction to Neotectonic Movement of China [M]. Beijing: Seismological Press, 2003 (in Chinese).
- [28] Tapponier P, Molnar P. Active faulting and tectonics in China[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1977, 82(20): 2 905-2 930.
- [29] Armijo R, Tapponnier P. Quaternary extension in southern Tibet: field observations and tectonic implications[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1986, 91(B14): 13 803-13 872.
- [30] Wang Yipeng(汪一鹏), Ren Jinwei(任金卫), Ye Jianqing(叶建青), *et al.* New evidence for active fault along the Nujiang suture zone[J]. *Seismology and Geology* (地震地质), 1995, 17(1): 52-53(in Chinese).
- [31] Fu Kaidao(傅开道), Gao Junping(高军平), Fang Xiaomin(方小敏), *et al.* The uplift of main peak and size model of deposit in northern Qinghai Tibet Plateau since the 8.35 Ma BP [A]. In: Lu Yanchou(卢演侑), *et al.* eds. Neotectonics and Environment [C]. Beijing: Seismological Press, 2001. 98-104(in Chinese).
- [32] Yu Qingwen(于庆文), Li Chang'an(李长安), *et al.* Uplift, Sedimentary, Climate Evolution and their Coupling in the Northeast Margin of Qinghai-Tibet Plateau in Cenozoic[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2001. 52-101 (in Chinese).
- [33] Cheng Shaoping(程绍平), Deng Qidong(邓起东), Min Wei(闵伟), *et al.* Yellow river and quaternary tectonic movements of the Ordos Plateau[J]. *Quaternary Sciences* (第四纪研究), 1998, 18(3): 238-248(in Chinese).
- [34] Working Group on Active Fault System around the Ordos Plateau, SSB(国家地震局鄂尔多斯活动断裂系课题组). Active Fault System Around the Ordos[M]. Beijing: Seismological Press, 1998. 325-328(in Chinese).
- [35] Editorial board for lithospheric Dynamics Atlas of China, SSB (《中国岩石圈动力学地图集》编委会). Lithospheric Dynamics of China[C]. Beijing: Seismological Press, 1991. 91-270(in Chinese).
- [36] Li Wanlun(李万伦), Lu Yanchou(卢演侑), Ding Guoyu(丁国瑜). Paleomagnetic evidence from loess for the relative motion between the Ordos and its adjacent blocks[J]. *Quaternary Sciences* (第四纪研究), 2001, 21(6): 551-559(in Chinese).



- [37] Li Jijun. The environmental effects of the uplift of the Qinghai-Xizang Plateau[J]. *Quaternary Science Reviews*, 1991, 10: 479-483.
- [38] Cui Zhijiu(崔之久), Wu Yongqiu(伍永秋), Liu Gengnian(刘耕年). Discovery and character of the Kunlun-Yellow River tectonic movement and its feature[J]. *Chinese Science Bulletin(科学通报)*, 1997, 42(18): 1 986-1 989(in Chinese).
- [39] Cui Zhijiu, Wu Yongqiu, Liu Gengnian, *et al.* On Kunlun-Yellow River tectonic movement[J]. *Science in China(D)*, 1998, 41(6): 592-600.
- [40] Pan Baotian(潘保田), Li Jijun(李吉均), Cao Jixiu(曹继秀). The landforms in the middle reaches of the Yellow River and problem of physiographic stage[J]. *Journal of Lanzhou University(Natural Sciences)(兰州大学学报, 自然科学版)*, 1994, 30(1): 115-123(in Chinese).
- [41] Li Jijun(李吉均), Fang Xiaomin(方小敏), Pan Baotian(潘保田), *et al.* Late Cenozoic intensive uplift of Qinghai-Xizang plateau and its impacts on environments in surrounding area[J]. *Quaternary Sciences(第四纪研究)*, 2001, 21(5): 381-391(in Chinese).
- [42] Li Chang'an(李长安), Yin Hongfu(殷鸿福), Yu Qingwen(于庆文). Tectonic uplift, water system response and environment evolvement in the eastern part of the Kunlun Mountains[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences(地球科学——中国地质大学学报)*, 1998, 23(5): 456-459(in Chinese).
- [43] Pan Baotian(潘保田), Chen Fahu(陈发虎). Permafrost evolution in the northeastern Qinghai-Tibetan Plateau during the Last 150 000 years[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology(冰川冻土)*, 1997, 19(2): 24-132(in Chinese).
- [44] Geological Institution of SSB(国家地震局地质研究所), Lanzhou Seismological Institution of SSB(国家地震局兰州地震研究所). The Qilian-Mountain-Hexi Corridor Fracture System [M]. Beijing: Seismological Press, 1993 (in Chinese).
- [45] Guo Shunmin(醵顺民), Ji Fengju(计凤桔), Xiang Hongfa(向宏发), *et al.* The Honghe Active Fault Zone[M]. Beijing: China Ocean Press, 2001(in Chinese).
- [46] "Altun Active Fault Zone" Team, SSB(国家地震局《阿尔金活动断裂带》课题组). Altun Active Fault Zone[M]. Beijing: Seismological Publishing House, 1992(in Chinese).
- [47] The Geological Institution of CSB(国家地震局地质研究所), The Seismological Bureau of Ningxia Hui Nationality Autonomous Region, Haiyuan(宁夏回族自治区地震局). Active Fracture Belt [M]. Beijing: Seismological Press, 1990 (in Chinese).
- [48] Peng Jianbing(彭建兵), Mao Yanlong(毛彦龙), Fan Wen(范文). Study of Dynamics of the Regional Stability[M]. Beijing: Science Press, 2001. 39-222(in Chinese).
- [49] Huang Runqiu(黄润秋), Wang Shitian(王士天), Zhang Zhuoyuan(张倬元), *et al.* The Dynamic Process of Earth's Super-ficial Crust and its Engineering Environmental Effects [M]. Chengdu: Sichuan University Press, 2001 (in Chinese).
- [50] Ma Runyong(马润勇), Peng Jianbing(彭建兵), Zhou Lixin(周立新), *et al.* The study of fracture structure and the activity of F<sub>201</sub> fault in Daliushu damsite district of Heishanxia Gorge [J]. *Journal of Engineering Geology(工程地质学报)*, 2002, 10(supp.): 9-102(in Chinese).
- [51] Deng Qidong(邓起东), Feng Xianyu(冯先岳), Zhang Peizhen(张培震), *et al.* Active tectonics of the Chinese Tianshan Mountain[M]. Beijing: Seismological Press, 2000 (in Chinese).
- [52] Shi Zhenliang(时振梁), Li Yuche(李裕澈), Zhang Xiaodong(张晓东). Earthquake resistant engineering and application of seismic zonation map of China[J]. *Engineering Science(中国工程科学)*, 2002, 4(8): 20-25(in Chinese).
- [53] Ma Runyong(马润勇), Peng Jianbing(彭建兵), Men Yuming(门玉明), *et al.* Study of fracture structure framework and problems of engineering antifracturing in Daliushu damsite district of Heishanxia gorge[J]. *Journal of Geological Hazards and Environment Preservation(地质灾害与环境保护)*, 2002, 13(4): 46-50(in Chinese).
- [54] Cui Peng(崔鹏), Wei Fangqiang(韦方强), Xie Hong(谢洪), *et al.* Debris flow and disaster reduction strategies in western China [J]. *Quaternary Sciences(第四纪研究)*, 2003, 23(2): 142-151(in Chinese).
- [55] Wu Xihao(吴锡浩), Wang Sumin(王苏民), An Zhisheng(安芷生). On tectonoclimatic cycle of quasi-period of 1. 2Ma in late Cenozoic[J]. *Journal of Geomechanics(地质力学学报)*, 1998, 4(4): 1-10(in Chinese).
- [56] Li Yonghua(李永化), Zhao Jun(赵军), Cui Zhijiu(崔之久), *et al.* The study of debris flow's movement regulation and reasons in late Cenozoic Era in the eastern fringe of Tibetan Plateau and the nearby regions[J]. *Geographical Research(地理研究)*, 2002, 21(5): 561-568(in Chinese).
- [57] Li Yonghua(李永化), Zhang Xiaoyong(张小咏), Cui Zhijiu(崔之久), *et al.* Periodic coupling of debris flow active periods and climate periods during quaternary[J]. *Quaternary Sciences(第四纪研究)*, 2002, 22(4): 340-348(in Chinese).
- [58] Wang Jianli(王建力), Chen Zhong(陈忠), Zhou Xinqin(周心琴) *et al.* A Brief review on the debris flow occurrence and deposition at the northeastern Fringe of Qinghai-Xizang plateau[J]. *Journal of Southwest China Normal University(Natural Science)(西南师范大学学报, 自然科学版)*, 2002, 27(5): 766-770(in Chinese).
- [59] Zhang Chunshan(张春山), Zhang Yecheng(张业成), Ma Yinsheng(马寅生), *et al.* Distribution regularity and regionalization of geological hazards in the upper Yellow river valley [J]. *Acta Geoscientia Sinica(地球学报)*, 2003, 24(2): 155-160(in Chinese).
- [60] Duan Yonghou(段永侯), Luo Yuanhua(罗元华), Liu Yuan(柳源), *et al.* The Geological Hazards in China [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1993. 370-483(in Chinese).

**GEOLOGICAL HAZARDS EFFECTS  
OF UPLIFT OF QINGHAI-TIBET PLATEAU**

PENG Jiang-bing, MA Run-yong, LU Quan-zhong, LI Xi-an, SHAO Tie-quan  
*(College of Geological Engineering and Geometry , Chang'an University, Xi'an 710054, China)*

**Abstract:**Based on the feature of continuity and stage acceleration of Qinghai-Tibet Plateau uplift, overall uplift process is divided into four stages and fifteen uplift-episodes, namely Himalayan tectonic movement(six accelerate-uplift episodes)-progressive compressing-uplifting stage, “Qinghai-Tibet” tectonic movement(three accelerate-uplift episodes)-the adjustment on tectonic deformation and fault-kinematics, “Kunlun-Yellow river” tectonic movement(three accelerate-uplift episodes)-the geomorphologic-shaping period, “Gonghe” tectonic movement(three accelerate-uplift episodes) -high development period of geological hazards. Owing to the strong uplift of Qinghai-Tibet plateau, the plateau eventually turn into one of region that the geological hazards are most severe in China. Especially the drainage area of upper reaches of Yellow River in northeast Qinghai-Tibet Plateau , the drainage area of upper reaches of Yangtse river, lower reaches of Brahmaputra in southern Tibet and the upper reaches of Nujiang river, Lancangjiang river and Jinshajiang river in southeastern Tibet, are centralized areas that geological hazards occur, in which the earthquakes, rockfalls, landslides and mudflows are most typical, severe, and mostly hazards in human modern engineering activity and living environment.

**Key words:** Qinghai-Tibet plateau; Uplift, tectonic movement; Geological hazard.