

# 金沙江大具盆地中的巨大洪水沉积

吴庆龙<sup>1,2,3</sup>

(1.虚拟地理环境教育部重点实验室(南京师范大学),江苏 南京 210023)

(2.江苏省地理环境演化国家重点实验室培育建设点,江苏 南京 210023)

(3.江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心,江苏 南京 210023)

**[摘要]** 金沙江虎跳峡下游的大具盆地填充着一套以棱角、次棱角状灰岩、大理岩碎屑为主的沉积,其最大厚度可达 100~200 m。这套碎屑堆积的粒度、分选性、层理等特征在空间上存在很大变化。过去的研究者将它们看作是冰碛物、冰水沉积甚至湖泊沉积。然而,大具盆地周围的山岳冰川在第四纪冰期并不能下降至海拔仅 1 500~1 700 m 的大具盆地,而冰水和湖泊的水动力条件也无法形成这样的碎屑沉积。中国文明起源时期黄河积石峡溃决大洪水沉积证据的发现和确认为理解大具盆地这套特殊碎屑的成因提供了新思路。沉积特征的比较分析表明,大具盆地中的碎屑堆积与黄河积石峡溃决大洪水沉积在特征上非常相似,且均分布于深切峡谷的下游,可推断它是虎跳峡滑坡堰塞湖巨大溃决洪水的沉积物。这说明金沙江在史前时代发生过我们未曾想象过的灾变性巨大洪水事件。

**[关键词]** 金沙江,大具盆地,特殊碎屑堆积,溃决洪水,巨大洪水,虎跳峡

**[中图分类号]** P512.31 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1001-4616(2019)04-0118-06

## The Sediments of Megafloods in the Daju Baisin of the Yangtze River

Wu Qinglong<sup>1,2,3</sup>

(1.School of Geography, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

(2.Key Laboratory of Virtual Geographic Environment(Nanjing Normal University), Ministry of Education, Nanjing 210023, China)

(3.Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, China)

**Abstract:** A suite of special sediments are distributed in the Daju Basin, just downstream the Tiger-leaping Gorge of the Yangtze River. They mainly consist of angular and subangular lime and marble clasts with thicknesses of up to more than 200 m and with heights of more than 250 m above river level. Some researches took them as moraine, aqueoglacial deposits, or lake sediments. However, the glaciers in glacial period could not have descended to the Daju Baisin, the flows melt from mountain glacials should have deposited rounded and subrounded gravels due to abrasion during transportation, and the lake environment should have formed typical lacustrine sediments consisting of silt and clay. The discovery of a massive outburst flood at ~1920 BCE in the Yellow River valley provides a new enlightenment to comprehend the origin of the special deposits in the Daju Baisin. Detailed observations show that the clastic deposits in the Daju Baisin share very similar characteristics with the identified sediments formed by a large outburst flood occurred at the dawn of Chinese civilization in the Yellow River valley. Thus, it could be concluded that the massive clastic sediments filled in the Daju Baisn should have been deposited by mega outburst floods from giant landslide dams in the Tiger-leaping Gorge that we never imagined.

**Key words:** the Yangtze River, the Daju Baisin, special clastic sediments, outburst flood, megaflood, Tiger-leaping Gorge

大具盆地是长江上游金沙江段的一个小型山间盆地(图 1a、b、c),宽度和长度均为 5 km 左右,底部海拔在 1 500~1 700 m 之间;大具盆地周围的山地海拔基本都在 2 800~3 000 m 以上,其南侧的玉龙雪山和西南侧的哈巴雪山的海拔高度分别为 5 596 m 和 5 396 m。大具盆地西南侧是著名的虎跳峡,金沙江出虎跳峡后由南向北穿过大具盆地西侧,在一套灰岩、大理岩碎屑为主的堆积中下切并形成一段深度 150~200 m

收稿日期:2019-05-20.

基金项目:江苏高校优势学科建设工程项目、中国地质调查项目(121201102000150009-16)、国家自然科学基金项目(41771155、41130210、41271017、41001010、41301010、41271074、41271082)。

通讯联系人:吴庆龙,教授,研究方向:地貌学、地质考古学。E-mail:w\_wendell@163.com

的峡谷;在这段峡谷坡面的局部,还发育了 2~3 级较窄的阶地. 发源于玉龙雪山的将台河(图 1b、1c)在金沙江右岸的这套碎屑堆积中下切形成了 50~120 m 深的 V 型沟谷(图 1e). 在金沙江右岸宽阔的碎屑堆积面上,发育若干条弧形的槽谷和长梁:槽谷的宽度约为 100~300 m,深度约 10~30 m,底部平坦,向上游变浅并消失,向下游汇入头台河(图 1c);长梁十分宽缓. 大具乡就坐落在其中的一个长梁上(图 1c).



(a) 大具盆地的地理位置。(b) 大具盆地及其周围地图(底图来自于 Google Earth)。(c) 大具盆地斜视图(视向向北)。黄色半透明区为 OFS 分布区(底图来自于 Google Earth)。(d) 大具盆地中金沙江两岸 OFS 构成的堆积阶地,可见左岸剖面(照片右测)有大型倾斜层理发育。(e) 将台河 V 型谷中 OFS 剖面。OFS 分选性很差,有大型倾斜层理发育。(f) 大具 OFS 阶地顶部剖面,夹有巨大砾石。(g) 虎跳峡口的 OFS 剖面。碎屑间具有大量的空隙,并具有倾斜层理。(h) 发育不整合面的 OFS 剖面。夹有土壤块体。(i) 夹有土壤层和不整合面的 OFS 堆积剖面。(j) 图(h) OFS 剖面的微距照片。注意:其中夹有少量磨圆的砾石;夹有较多的土壤团块,但碎屑及土壤团块之间无粉砂黏土填充。(k) 大具盆地东部以粗砂-细砾碎屑为主的 OFS 剖面,水平层理发育。(l) 剖面 d-l 的位置见图 1c。

图 1 金沙江大具盆地中的特殊碎屑堆积(即溃决洪水沉积 OFS)

Fig. 1 The special sediments(outburst flood sediments:OFS) in the Daju Baisin, Upper Yangtze River Valley

大具盆地中的这套特殊碎屑堆积很早就受到了研究者的关注. 在20世纪60年代沈玉昌<sup>[1]</sup>将其称为“河流和冰水沉积物”;赵希涛等<sup>[2]</sup>认为这套碎屑包含冰碛物、冰水堆积物和“湖相”小砾石等类型;Kong等<sup>[3]</sup>认为它们是被改造的冰碛坝. 然而,它们的特征既不符合冰碛和冰水堆积的特征,也不符合湖泊沉积的特征. 古冰川学家的研究结果明确不支持大具盆地南部的粗大碎屑堆积为古冰碛<sup>[4]</sup>. 中国新石器与青铜的转变时期黄河积石峡溃决洪水沉积证据的发现和确认<sup>[5]</sup>,为理解大具盆地中这套特殊碎屑的成因提供了新的思路.

## 1 大具盆地中巨厚碎屑堆积的特殊性

野外考察发现,这套碎屑堆积存在以下特征:

第一、碎屑的岩性简单,几乎都由大理石和灰岩碎屑组成,也含有少量的其它岩屑(例如绿泥石片岩碎屑)和土壤团块(图1h、j). 第二、碎屑在形态上以棱角状、次棱角状为主,磨圆或滚圆的砾石很少(图1j). 第三、堆积厚度很大,在金沙江左岸最大厚度估计可达200 m,右岸的厚度估计120~150 m. 第四、碎屑堆积的拔河范围很大,最低处与金沙江水面相差无几,最高拔河超过了约250 m,甚至更高. 第五、该碎屑堆积的分选性在空间上存在显著变化:在靠近金沙江的剖面上,其分选很差,其中的巨砾粒径可达10 m(图1e),而在大具盆地的中部和东部,则具有较好的分选性(图1h、i、k);而且,这套碎屑颗粒的表面和孔隙中普遍不含粉砂和黏土组分. 第六、这套碎屑的粒径在空间(图1c)上存在显著的变化:在靠近虎跳峡出口和金沙江的地方,其粒度粗大(图d、e、f、g),而在远离金沙江大具盆地的中部和东部(右岸)粒径迅速变细(图1h、i、k、l). 第七、这套碎屑堆积通常发育层理:例如,在金沙江岸边剖面(图1d)和将台河剖面(图1e)可见高角度大型倾斜层理,而在大具盆地中部和东部,细粒碎屑堆积层理十分发育(图1h、i、k),主要表现为平行层理,并存在不整合侵蚀面(图1h、i).

可见,大具盆地的这套碎屑堆积与河流流域中常见的各种碎屑堆积存在十分显著的差别.

## 2 讨论

### 2.1 大具盆地中的粗大碎屑堆积是冰碛物吗?

赵希涛等<sup>[2]</sup>认为大具盆地南部的粗碎屑堆积是冰碛物;Kong等<sup>[3]</sup>则认为大具盆地的碎屑堆积是被改造的冰碛坝. 但是,多方面的证据并不支持它们是古冰川堆积物.

首先、根据古冰川学家郑本兴的研究,玉龙雪山古冰川在第四纪冰期的活动下限约为2 860 m<sup>[4]</sup>,而大具盆地的海拔仅为1 500~1 700 m,相差1 000 m以上,可推断玉龙雪山的古冰川不可能下降至大具盆地;考虑到大具盆地的干热河谷效应,就更加不可能了.

第二、如果玉龙雪山或哈巴雪山的古冰川曾下降至大具盆地并形成大规模的冰碛或冰碛坝,那么在它们与大具盆地之间就应该遗留下来典型的U型冰川谷,然而,连接玉龙雪山、哈巴雪山和大具盆地的两条沟谷(包括将台河)(图1b)不具有任何U型谷特征,说明在末次冰期并无古冰川到达大具盆地.

第三、典型冰碛砾石表面普遍保留冰川擦痕,而大具盆地中所谓冰碛的碎屑堆积中的砾石及巨砾的表面几乎见不到任何擦痕.

第四、大具盆地中所谓冰碛的粗大碎屑堆积往往具有巨大的倾斜层理(图1d),完全不符合冰碛的无层理特征.

由此可以完全排除大具盆地这套粗大碎屑为第四纪古冰川所形成的冰碛或冰碛坝.

### 2.2 大具盆地中的特殊碎屑堆积是冰水沉积吗?

沈玉昌曾将大具盆地的一部分碎屑堆积物看作是冰水沉积<sup>[1]</sup>,但实际上,用冰水动力无法解释其特征:

首先,如果大具盆地有一部分碎屑是玉龙雪山古冰川的冰水所沉积,那么冰水水流应该经将台河(图1b)等沟谷到达大具盆地. 现代的将台河长度约16 km,而冰期时因为冰川高度下降,将台河的长度应减小至10 km左右. 现代将台河下游河床上的灰岩砾石的磨圆度普遍很好,因此,如果冰期中的冰水水流将灰岩、大理岩的碎屑搬运10 km至大具盆地时,其必然会转变为次圆状甚至磨圆状的砾石. 然而,大具盆地的这套堆积几乎都是棱角状、次棱角状的,因此,它们不可能是经历了较长搬运距离的冰水沉积物.



其二,这套碎屑堆积中可见较多的土壤团块(图 1h、j);由于土壤团块硬度极低,在河床上经过很短距离滚动和磨蚀即可耗损殆尽,因此完全可以排除它们与冰水作用存在因果关系。

其三,如果大具盆地的这套碎屑堆积是玉龙雪山和哈巴雪山的冰水沉积,它们应该具有扇体的形态特征,其扇顶应该位于玉龙雪山和哈巴雪山山麓沟口。然而,实际上并不存在以将台河等沟口为扇顶的扇状堆积体。

### 2.3 大具盆地的碎屑堆积是金沙江的正常的河流相沉积吗?

沈玉昌<sup>[1]</sup>将大具盆地的部分碎屑堆积与河流沉积相联系,但未具体说明它们是金沙江的沉积,还是支流沉积。大具盆地中的支流规模极小,不可能沉积如此规模和厚度的碎屑堆积体。那么它们是否为金沙江正常洪水所沉积呢?这种可能性也可以完全排除:

第一、金沙江是大型河流,其正常洪水由大范围内的暴雨降水汇聚而成,因此其输送和堆积的砾石在岩性上必然复杂多样,而这完全不符合大具盆地中这套碎屑岩性十分简单的特征。

第二、现今金沙江沿岸的河床砾石普遍具有很好的磨圆度,有些甚至达到滚圆程度,完全不同于大具盆地这套堆积以棱角状、次棱角状碎屑为主的特征。

### 2.4 大具盆地中的细砾碎屑堆积是湖泊环境的沉积吗?

赵希涛等认为大具盆地中的这套碎屑堆积的主要部分是早更新世晚期的“湖相”沉积,推断当时在这里发育“古大具湖”,成因可能是堰塞湖<sup>[2]</sup>。然而,用湖泊环境也无法解释这套碎屑的成因:

第一,湖泊是静水或准静水环境,典型湖相沉积为粉砂黏土所组成的纹泥,黄河、岷江、雅鲁藏布江等河流上古堰塞湖的典型沉积也是纹泥<sup>[6-11]</sup>;而大具盆地内的这套堆积物为粗砂、细砾或更粗的碎屑。

第二,虽然大具盆地内很多细砾碎屑具有良好的层理,但其中经常出现土壤团块,甚至在盆地中心的碎屑堆积中也夹有粒径近 2 m 的土壤块体(图 1h);在湖泊静水或准静水环境下,如此粗大的土壤块体根本无法从湖泊边缘到达湖泊中心位置。

由此可以推断,大具盆地中的碎屑堆积也不是“古大具湖”沉积物。

### 2.5 大具盆地的这套碎屑是山洪、泥石流沉积吗?

这套碎屑也不可能是山洪、泥石流沉积:

首先,大具盆地周围坡面及沟谷流域中的气候适宜,土壤发育。如果发生山洪或泥石流,其堆积物中必然含有大量粉砂和黏土,而这套特殊碎屑堆积却十分干净,在砾石的表面缺少粘附的粉砂黏土,在砾石的空隙之间也普遍缺乏填充的粉砂、黏土基质。

其次,如果大具盆地的这套碎屑为山洪和泥石流沉积,那么其堆积体在形态上就具有洪积扇-泥石流扇的形态特征,且扇顶就位于沟口;而实际上,这套碎屑堆积在各个沟口并不具有类似泥石流扇、山洪堆积扇的形态特征。

### 2.6 大具盆地的这套碎屑是远程滑坡碎屑堆积吗?

滑坡和远程滑坡也可以形成大规模的碎屑堆积,但远程滑坡堆积是一种非常快速的堆积,缺乏层理,分选极差,含有大量棱角状、次棱角状角砾甚至次圆状岩屑,并夹有大量粉砂;而大具盆地中这套堆积层理比较发育,且几乎不含粉砂。因此,大具盆地中的这套碎屑也不可能是滑坡或远程滑坡所形成的碎屑堆积。

## 3 溃决洪水与大具盆地特殊碎屑堆积

### 3.1 黄河积石峡溃决洪水沉积的发现

本文作者等在 2007 年曾根据黄河积石峡古堰塞湖推测<sup>[6]</sup>溃决洪水是史前喇家聚落遗址<sup>[12,13]</sup>毁灭废弃的重要原因,但未曾去寻找溃决洪水的直接证据——溃决洪水沉积,因为在当时中国地貌学与第四纪地质学领域有关巨大溃决洪水沉积的研究仍然处于空白状态。2007 年 8 月本人在积石峡出口东侧祁公滩阶地上注意到了一套特殊的碎屑堆积并深感困惑,但仍然未将其与溃决洪水相联系。

2008 年 7 月本人在反复思考积石峡古堰塞湖与喇家遗址的关系时将祁公滩特殊碎屑堆积与溃决洪水联系了起来,并猜测环境考古学家所描述的喇家遗址中“黑砂层”和“黑砂脉体”<sup>[13,14]</sup>也是这一溃决洪水的沉积;随后的野外调查证实了这一猜测,而深入的研究则发现积石峡溃决大洪水正是中国传说大洪水的起源<sup>[5]</sup>。

### 3.2 大具盆地特殊碎屑堆积与积石峡溃决洪水堆积的比较

2011年本人在金沙江小江口至巧家段发现巨大溃决洪水沉积后,开始关注金沙江的巨大洪水问题,并根据 Google Earth 判断虎跳峡下游的大具盆地中相间分布的弧形槽谷是由巨大规模的溃决洪水所形成。2016年4月以来的多次实地考察发现,大具盆地的碎屑堆积与黄河积石峡溃决洪水沉积存在很多相似的特征:

第一、它们都以棱角状、次棱角状碎屑为主,偶尔夹有磨圆度良好的砾石或土壤团块。第二、岩性组成都简单:积石峡溃决洪水沉积碎屑主要以紫褐色泥岩和绿片岩为主,而大具盆地的特殊沉积主要由灰岩和大理岩碎屑组成。第三、堆积体的形态均复杂多样,有些为扇状堆积体,有些则为古地形面上的披覆体,有些则填充在地震裂缝中。第四、粗大碎屑堆积体的分选性很差,包含从巨砾到粗砂的各粒级碎屑;而细粒质的碎屑堆积体分选性好,并发育良好的层理;几乎所有碎屑堆积体都缺少粉砂和黏土组分。第五、碎屑堆积厚度可以很大,都远远超过了黄河和金沙江正常洪水的深度;第六、其拔河高度可以达到正常洪水位十倍甚至几十倍。

### 3.3 虎跳峡滑坡堰塞湖的溃决洪水与大具盆地中的特殊碎屑堆积成因

上述沉积特征上的高度相似性说明,大具盆地这套大规模碎屑堆积也是滑坡堰塞湖溃决洪水堆积。通过正向推理就可以对这一推论予以满意的解释:

第一、虎跳峡是金沙江最深的峡谷,深度达3 000~4 000 m。这意味着虎跳峡两侧的玉龙雪山和哈巴雪山必然一直存在强烈构造隆升,而强烈构造隆升又说明在第四纪期间强烈地震频繁发生。如果若干次强烈地震中有一次地震能在虎跳峡造成巨大滑坡,金沙江上必然会形成一个巨大的堰塞湖。由于大型河流的滑坡堰塞湖极高的溃决概率或必然溃决性,就会形成巨大溃决洪水。

第二、虎跳峡两岸岩体以灰岩、大理岩为主。如果虎跳峡形成了滑坡堰塞湖,其坝体物质也主要由大理岩、灰岩碎屑组成。当溃决洪水发生时,洪水自坝体侵蚀搬运的物质也必然以灰岩、大理岩碎屑为主;当溃决洪水进入大具盆地时的堆积碎屑也必然主要是大理岩和灰岩。

第三、由于大具盆地紧邻虎跳峡,碎屑搬运距离很短,且多数碎屑在巨大洪水的超强动力水流中以悬移状态搬运,缺少磨蚀机会,因此其堆积物必然以棱角状和次棱角状碎屑为主。

第四、虎跳峡的巨大溃决洪水进入大具盆地时,因地形展宽而动力减弱时,其堆积物在粒径上必然发生明显分选:在虎跳峡出口堆积的碎屑最为粗大,向下游则逐渐变细,在远离虎跳峡出口的盆地东部更细。这完全符合实际观测到的大具盆地特殊碎屑粒径的空间分布特征。

由此可以推断,大具盆地中这套大规模特殊碎屑堆积,实际上是虎跳峡史前滑坡堰塞湖的巨大溃决洪水所形成。国外研究者所总结的巨大淡水洪水沉积特征<sup>[15]</sup>和国内研究者基于小型溃坝事件所总结的溃坝沉积特征<sup>[16]</sup>也支持大具盆地中这套沉积是巨大溃决洪水沉积物。

## 4 结论

金沙江大具盆地中分布着一套大规模的特殊碎屑堆积,过去曾被认为是冰碛、冰水堆积或湖泊堆积。沉积学上的比较分析排除了它们与冰川、冰水、湖泊、山洪、泥石流、远程滑坡存在成因联系的可能。这套特殊碎屑堆积与已经确认的公元前1920年黄河积石峡溃决洪水沉积具有高度相似的特征,说明它也是溃决洪水沉积;用虎跳峡滑坡堰塞湖的巨大溃决洪水可十分满意地解释这套碎屑的沉积特征。大具盆地中这套碎屑堆积是史前时代金沙江巨大洪水的见证,而这一发现对我们理解和预防史无前例的巨大洪水灾难具有十分重要的启示价值。

**致谢:**衷心感谢苏怀博士2011年邀请本人在金沙江考察,正是在本次考察中,作者发现了金沙江巨大洪水的沉积并为之震撼,由此开始了金沙江巨大洪水的研究。感谢汪永进教授、赵志军教授和孔兴功教授对2016年4月大具盆地的科学考察所提供的支持,感谢朱振峰在此次野外考察中提供的帮助。本文得到了中国地质调查项目(121201102000150009-16)和国家自然科学基金(41771155、41130210和41271017)以及江苏高校优势学科建设工程项目的资助。感谢赵井东研究员在有关古冰川和冰碛问题的讨论帮助。特别感谢审稿人对本文建设性的意见。

[参考文献]

- [1] 沈玉昌. 长江上游河谷地貌[M]. 北京:科学出版社,1965:47-48.
- [2] 赵希涛,张永双,胡道功,等. 云南丽江地区大具盆地早更新世金沙江砾石层的发现及其意义[J]. 地质通报,2006,25(12):1381-1386.
- [3] KONG P, NA C, FINK D, et al. Moraine dam related to late Quaternary glaciation in the Yulong Mountains, southwest China, and impacts on the Jinsha River[J]. Quaternary science reviews, 2009, 28, 3224-3235.
- [4] 郑本兴. 云南玉龙雪山第四纪冰期与冰川演化模式[J]. 冰川冻土, 2000, 22(1):53-61.
- [5] WU Q L, ZHAO Z J, LIU L, et al. Outburst flood at 1920 BCE supports historicity of China's Great Flood and the Xia dynasty[J]. Science, 2016, 353(6299):579-582.
- [6] 吴庆龙,张培震,张会平,等. 黄河上游积石峡古地震堰塞溃决事件与喇家遗址异常古洪水灾害[J]. 中国科学:地球科学, 2009(8):1148-1159.
- [7] 彭建兵,毛彦龙,杜东菊. 黄河积石峡水电站水库滑坡工程地质研究[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1997.
- [8] 陈智梁,孙志民, Royden L H, 等. 四川泸定昔格达组的堰塞湖成因及其意义[J]. 第四纪研究, 2004, 24(6):614-620.
- [9] 王兰生,杨立铮,王小群,等. 岷江叠溪古堰塞湖的发现[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2005, 32(1):1-11.
- [10] 周洪福,韦玉婷,聂德新. 黄河上游戈龙布滑坡高速下滑成因机制及堵江分析[J]. 工程地质学报, 2009, 17(4):483-488.
- [11] LIU W, LAI Z, HU K, et al. Age and extent of a giant glacial-dammed lake at Yarlung Tsangpo gorge in the Tibetan Plateau[J]. Geomorphology, 2015, 246:370-376.
- [12] 叶茂林. 青海民和喇家史前遗址的发掘[J]. 考古, 2002(7):3-5.
- [13] 夏正楷,杨晓燕,叶茂林. 青海喇家遗址史前灾难事件[J]. 科学通报, 2003, 48(11):1200-1204.
- [14] 杨晓燕. 基于不同空间尺度的环境考古研究[D]. 北京:北京大学, 2013.
- [15] CARLING P A. Freshwater megaflood sedimentation; what can we learn about generic processes? [J]. Earth-science reviews, 2013, 125, 87-113.
- [16] 崔之久,张梅,崔鹏,等. 初论堰塞湖溃坝沉积相特征[J]. 山地学报, 2015, 33(2):129-140.

[责任编辑:陆炳新]