

# 四川康定县玉农希钙华景观及其水循环系统

郭建强, 曹 俊

四川省地质公园与地质遗迹调查评价中心, 四川成都 610213

**摘 要:** 地处康定县贡嘎山西侧的玉农希钙华景观是继九寨沟、黄龙钙华景观发现之后又一具有世界遗产潜质的高寒岩溶风境地。本次调查工作是四川省国土资源厅安排的四川省重点地质遗迹保护可行性规划的第二批项目。项目首次对玉农希钙华景观进行了较系统的调查研究, 从地质遗迹景观及形成景观的水循环的角度查明了钙华景观的特征, 剖析其景观形成的水循环系统, 进而作了区域性对比分析, 初步探索其形成机理与演化规律。玉农希钙华具有极高的科学价值、美学价值和观赏价值, 可与九寨、黄龙媲美, 必须采取科学、合理的措施对其加以保护。

**关键词:** 钙华景观; 地质背景; 水循环; 形成演化; 对比分析; 玉农希; 四川

中图分类号: P642.25 文献标志码: A 文章编号: 1006-3021(2009)03-345-09

## Yulongxi Travertine Landscape in Kangding County of Sichuan Province and Its Related Hydrological Cycle System

GUO Jiang-qiang, CAO Jun

Sichuan Geopark & Geological Relics Survey and Assessment Center, Chengdu, Sichuan 610213

**Abstract:** The Yulongxi travertine landscape in west Gongga Mountain of Kangding County may be regarded as another subnival belt karst landscape with the worldwide heritage potential value following Jiuzhaigou and Huanglong. The survey is the second batch of projects for important geological heritage protection feasibility planning in Sichuan arranged by Bureau of Land and Resources of Sichuan Province. The authors investigated for the first time the Yulongxi travertine landscape and studied geological heritage landscape characteristics and hydrological cycle systems. On such a basis, a regional comparative analysis was made, and the formation mechanism and evolutionary regularity of the landscape were tentatively discussed. The Yulongxi travertine landscape has considerable scientific, aesthetic and visual values and can compare well with Jiuzhaigou and Huanglong. It is hence very necessary to protect this landscape with scientific and rational measures.

**Key words:** travertine landscape; geological background; hydrological cycle; formation and evolution; comparative analysis; Yulongxi; Sichuan

康定县玉农希钙华景观区位于四川省康定县南侧, 属贡嘎山乡管辖, 地理座标: 东经 101°38'06"-101°41'07", 北纬 29°34'57"-29°37'06", 面积 11.9 km<sup>2</sup>。为贡嘎山国家重点风景名胜区、贡嘎山自然保护区的重要组成部分。玉农希南距贡嘎山乡 23 km, 北距康定县城 182 km, 距省会成都 423 km, 有营(官寨)九(龙县)公路从其西边外围经过, 至营(官

寨)九(龙县)路口 35 km。目前, 区内部无任何游览交通设施。

玉农希属山地寒温带, 气候受西南季风控制, 年均气温 3.4 , 7 月均温 14.4 , 最高气温 20 , 1 月均温 -3-10 , 无霜期 80 天。年均降水量 701 mm, 多集中在每年的 5-9 月。钙华滩上主要有三股流水, 中间一股是涌出地面的喷泉水, 在钙华滩的北东

本文由四川省国土资源厅地质遗迹保护项目资助。

收稿日期: 2008-03-10; 改回日期: 2009-02-20。

第一作者简介: 郭建强, 男, 1963 年生。四川成都人。教授级高级工程师。主要从事地质公园和生态地质环境调查、评价与规划工作。

通信地址: 610213, 成都市双流华阳镇通济桥下街 198 号。电话: 028-85638069。E-mail: guojianqiang@vip.sina.com。

和南西两侧还有两股山溪水。钙华滩上主要是中间这股流水在流动，呈漫流、散流以及少量沟状流水，或呈跌水坠流，或从落水洞、钙华裂隙处潜入地下，流过一段距离后又流出地表，从上至下共有三段面流和潜流，最终从钙华滩的扇缘处流入玉农希河内。

调查区在 1972-1977 年，开展了 1:20 万区域地质调查工作，著有《1:20 万贡嘎幅区域地质调查报告》；2001-2005 年，开展了 1:25 万区域地质调查，著有《1:25 万康定县幅区域地质调查报告》。20 万区调中提到了钙华，但仅圈定了范围，研究程度极低。玉农希钙华景观是继九寨沟、黄龙钙华景观发

现之后又一具有世界遗产潜质的高寒岩溶风景地。为了对其进行科学保护，实施可持续开发，探究钙华的沉积景观、水循环系统，以及进行钙华研究对比、研究钙华演化是非常必要的，对贡嘎山国家重点风景名胜乃至香格里拉国际旅游区可持续发展都具有重要意义。

康定玉农希钙华景观区处于青藏高原与四川盆地的过渡地带。出露地层为三叠系、第四系。三叠系地层为一套巨厚的黑色浅变质岩。从老到新为中统扎尕山组一段、扎尕山组二段，上统杂谷组及雅江组(图 1)。其中扎尕山组一段岩性为灰色千枚岩夹少量粉砂岩，顶部夹透镜状泥灰岩；扎尕山

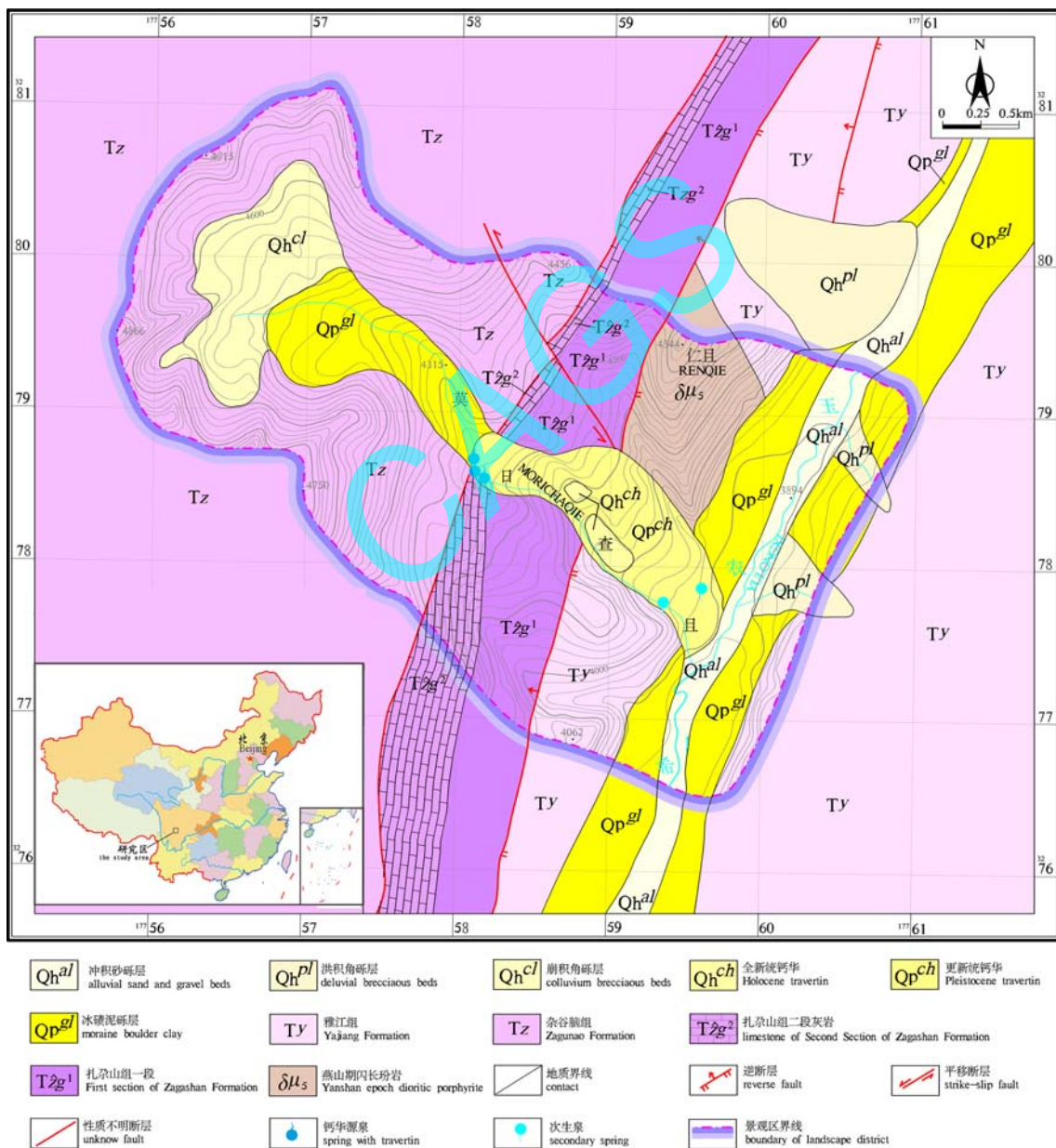


图 1 康定玉农希钙华景观区地质图  
Fig. 1 Geological map of travertine landscape area in Yulongxi, Kangding

组二段段岩性为灰、乳白色块状大理岩,灰色泥质结晶灰岩;杂谷脑组段为灰色厚层-块状细砂岩、粉砂岩为主夹泥岩;雅江组由灰色厚层-块状中细粒岩屑长石砂岩与深灰色板岩互层构成。扎尕山组中分布的碳酸盐岩,为钙华景观的形成提供了较为丰富的物质基础。

本区玉农希灰白色石英闪长玢岩,分布于仁且一带,岩体长1300-2000 m,宽500-1000 m,形态不规则,呈岩株状侵入于中三叠统扎尕山组地层中。

调查区内构造线方向主体呈南北向,属哈德-忠古复式向斜东翼,沿扎尕山组两侧发育两条断裂构造,东边为玉农希主断层,西侧为其分支断层,在断裂带上发育有上升泉即玉农希钙华喷泉。两条断裂把扎尕山组围成宽0.4-1.2 km长条带。区域资料表明,玉农希主断裂带为一条深层次长期活动的断裂带,断层面舒缓波状,总体产状倾向西,倾角70°以上。断层破碎带宽约70 m,岩石节理、裂隙十分发育,为形成玉农希钙华景观的水循环系统提供了有利的通道条件。

玉农希钙华景观区东侧即为雄伟挺拔的四川第一峰贡嘎山,终年为冰雪覆盖,其四周冰蚀冰碛地貌十分发育。玉农希为一条典型的冰川U谷,呈近南北向延伸,而莫日查且为它的一条支冰川U谷。其沟源由6个大小不等、形态各异的冰斗组成的冰斗群。冰斗海拔可分为4400 m、4500 m、4600 m三个高度,其平面形态呈圈椅状。冰斗底部坡度为5°-15°,冰斗壁坡度为30°-60°之间。冰斗内见有大量后期崩积岩块叠置于早期冰碛物之上。莫日查且沟长4.6 km、宽230-450 m、海拔3800-4400 m;中段坡度较陡,上下段坡度相对较小,分别为15°-30°和3°-8°之间。谷底宽阔,原始地貌表现为明显的阶梯状。由于地面流水切割出的地形相对低而成为地下水排泄点,为露天钙华的堆积形成创造了条件。

玉农希钙华全由方解石组成,其中中粗粒柱状方解石占70%-80%,微、细粒与粉晶泥晶方解石占20%-30%。中粗粒方解石为柱状与粒状结构,柱长在0.5-1 mm之间,呈平行节状结构。大约相距1-3 mm之间有一层微-泥晶方解石,从而使岩石呈现层状构造。

## 1 钙华景观特征

玉农希河西侧,有一条支沟叫莫日查且沟,呈北西-南东310°方向延伸,在其海拔高程为3890-4250 m的地段,钙华堆积“铺天盖地”,形成长2135

m,宽285-650 m,面积达1373173 m<sup>2</sup>的钙华堆积层,从下至上总体呈“之”字形展布,形成8个大小不等的阶梯式的钙华台地或钙华滩,坡度分别在5°-40°之间,表面洁白,酷似一条蜿蜒的白龙。其表面,由钙华边石坝构筑的彩池群,由钙华滩流构筑的钙华瀑布以及钙华塌陷坑、钙华石林,钙华层纹以及泉流等等,交错纵横、相互连接,娇艳千姿、斑斓夺目(图2)。

### 1.1 钙华泉景观

#### 1.1.1 钙华喷泉

1号钙华喷泉:位于莫日查且中游(图3),海拔4243 m,有较大的泉眼4处,2007年4月份实际测得其中规模最大的一处泉眼的流量为40 L/s,水温15℃,pH值6.20-6.25(泉口东侧5 m处的地表水的水温20℃,pH值为8.21),泉眼直径约1 m,泉水向上喷发高度1.20-1.60 m,水质较为浑浊,呈浅乳白色,属上升喷泉,具有较强的硫化氢气味,在泉口附近一定距离内见有新生钙华沉积。

2号钙华喷泉:位于1号钙华喷泉的南侧,海拔4240 m,泉水温度为12℃,pH值为6.92,流量5 L/s,具有较强的硫化氢气味,在泉口附近见有新生钙华沉积。

3号钙华喷泉:位于1号钙华喷泉的南侧,海拔4240 m,水温度为15℃,流量4 L/s,pH值为7.12。

#### 1.1.2 次生泉

次生泉指的是,钙华源泉之水再次渗入钙华滩底部,沿底部裂隙流动,遇到阻挡再次涌出地表。次生泉主要位于莫日查且沟的中下游,即图中4-5号泉,其水温8℃,pH值为7.51-7.55,流量20-30 L/s,在泉口处未见新生钙华沉积。

### 1.2 边石坝彩池

钙华边石坝为一种弧形薄壳堤坝,所包围的部分充满了水并向坝外漫流,水中滋生着多种颜色的水藻,水池呈现出彩色,故称彩池。玉农希的边石坝彩池大小共有200多个,它们主要聚集成三群,从下游至上游分别为翡翠彩池、玉树彩池、盆景彩池。三大群边石坝彩池有相似的组合形态,却有不同的景色与环境,彼此又间隔一定距离,构成三大景点。

(1) 翡翠彩池:距莫日查且沟口920 m,发育于海拔4020-4040 m之间,相对高差20 m,由80多个彩池组成(图4),面积21771 m<sup>2</sup>,其中面积最大的一个彩池长54 m、宽46 m,其余的长一般为10 m、宽5-6 m。彩池水深多为20-50 cm,最深可达2 m以上。



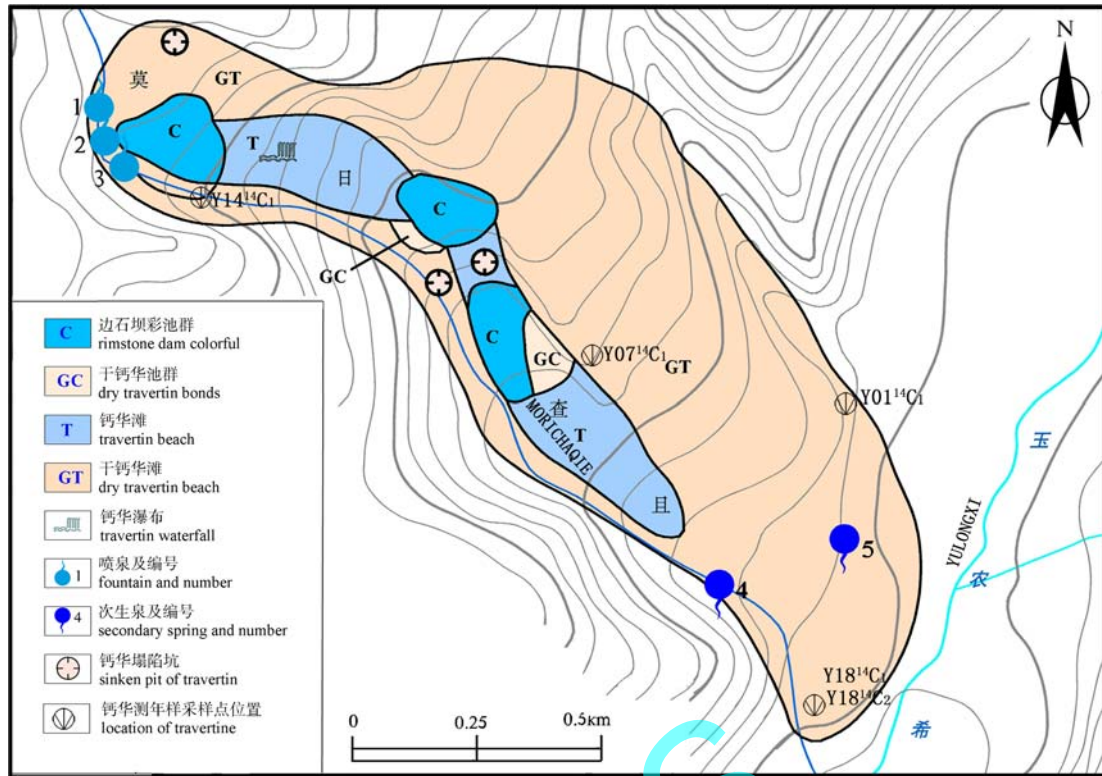


图 2 玉农希钙华景观分布图  
 Fig. 2 Distribution of Yulongxi travertine landscape



图 3 1号钙华喷泉  
 Fig. 3 No. 1 travertine fountain

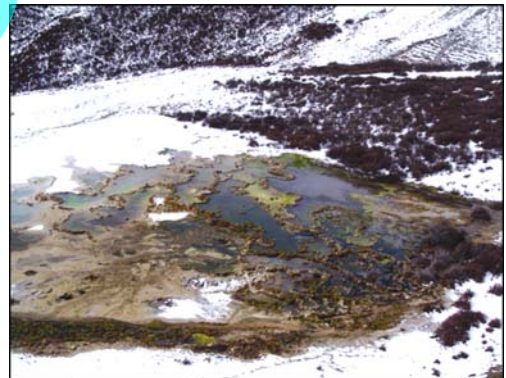


图 5 玉树彩池  
 Fig. 5 Jady tree-like colorful pond



图 4 翡翠彩池  
 Fig. 4 Emerald-like colorful pond

边石高 30–50 cm, 顶部宽 15–30 cm, 呈不规则弯曲状, 坝呈直立型或内凹型, 胶结较紧密。彩池无色透明, pH 值 7.42, 在池底见有白色新生钙华沉积。池中发育有少量绿藻与褐藻, 在阳光照耀下显淡蓝、淡绿等色调, 蓝天、白云、远山、近树倒映其中, 令人流连忘返。

(2) 玉树彩池: 距莫日查且沟口 1250 m, 发育于海拔 4080–4100 m 之间, 相对高差 20 m, 由 65 个彩池组成 (图 5), 面积 19963 m<sup>2</sup>, 其中面积最大的一个彩池长 30 m、宽 5–20 m, 其余的长一般为 7–15 m、宽 1–6 m。彩池水深 20–40 cm, 最深可达 1.5 m

以上。边石坝呈不规则弯曲状,高 30–50 cm,顶部宽 10–20 cm,多呈内倾型,直立型较少,胶结较紧密。池水 pH 值 8.38,在池底见有白色新生钙华沉积。池水无色透明,池中发育少量绿藻与褐藻,天光云影共徘徊。

(3) 盆景彩池:距莫日查且沟口 1810 m,发育于 4230–4400 m,相对高差 10 m。由 40 多个彩池组成,面积 25330 m<sup>2</sup>,彩池中大部分长有灌丛。

### 1.3 钙华滩流

玉农希钙华滩流分布于盆景彩池至沟口的整个莫日查且沟景观区,分布高程 3890–4250 m,总面积 119470 m<sup>2</sup>。主要部分分布于盆景彩池—玉树彩池群—翡翠彩池之下,全长 1300 m,宽约 10–175 m,水流 pH 值 9.45。在这倾斜的谷底,呈乳白色、浅灰白色、浅灰黄色,片状水流在起伏的倾斜底板上泛起阵阵银白色的涟漪,好似一条白龙在游动,在阳光下银白色的表面总是金光闪闪,耀眼夺目,十分壮观,故有“黄龙有金沙滩、玉农有白沙滩”之美称。

玉农希钙华滩流是横断山脉发现同类景观中形态最壮观、最长、色彩最丰富。当然其中也在局部地段长满了灌丛或部分长了灌丛,或变黑,或沙化,经 <sup>14</sup>C 测年,钙华形成于(18360±200)–49000 a B.P.之间,时代属晚更新世晚期。

### 1.4 钙华瀑布

钙华瀑布是岩溶水流至陡坎处,沿陡坎沉淀形成的表面具有流线、流纹及流涛等流水形态的钙华体。玉农希较大的钙华瀑布有盆景池瀑布,由盆景彩池翻水所形成,瀑布宽 80 m,高 15 m,坡度 50°,在丰水季节十分壮观,水流 pH 值 9.45。

### 1.5 干钙华池群

由于水量减少或地表水流向的改变,部分彩池无水流入,由于久旱后又久雨造成彩池的边石坝剥落、开裂、破碎甚至垮塌;或者彩池因后期溶蚀而产生漏失等退化现象。干彩池主要分布于翡翠彩池的东侧以及玉树彩池的西侧,总面积 13498 m<sup>2</sup>。

### 1.6 钙华坑

钙华坑是由于钙华体被后期溶蚀陷落形成的穴坑,主要分布于玉树彩池与翡翠彩池的上方,主要有三处,呈竖井状,平面形成常呈月牙形、椭圆形,径长 0.6–7 m,可见深度 2 m。

### 1.7 钙华石林

钙华石林分布于莫日查且北东侧小山脊一带,由于新构造运动的抬升,使钙华失去含钙水流的养护从而逐渐被溶蚀形成类似于灰岩地区的石芽、溶

沟、溶槽景观。石芽高 20–100 cm,发育密度为 40 根/100 m<sup>2</sup>,具“蜂窝状”外貌。钙华石芽小巧玲珑,体态娇美,造型精致,似能工巧匠精心雕刻而成,身临其境,如入仙境一般,令人陶醉。

## 2 形成景观的水循环系统

区内以玉农希断裂带为界,可分为西部、东部二个水文单元。

### 2.1 各单元水文地质特征

#### 2.1.1 西部水文单元——补给—径流区

含水系统:可划分为(1)岩溶裂隙含水系统,分布于玉农希断裂带西侧,呈北东向展布,含水层(组)岩性为大理岩,泥质结晶灰岩,砂板岩夹透镜状灰岩,泉流量为 40 L/s;(2)冰碛层孔隙含水系统,厚数十米。冰碛物因含泥质,富水性相对较弱;(3)相对隔水系统,由分布于玉农希断裂带西侧的杂谷脑组砂岩、板岩组成。

可溶性岩组岩溶发育特征:可溶性岩组为扎尔山组灰—乳白色块状大理岩、灰色泥质结晶灰岩,厚 270 m。石林与峰丛发育,高 2–15 m,多为 5–10 m,呈不规则状,直径大小不一,一般为 3–5 m,最大可达 15 m 以上,石林密度为 5–10 根/100 m<sup>2</sup>。石林沿倾向 21°、倾角 36°与倾向 326°、倾角 89°的两节理发育而成。远观,象一个个古罗马时代的城堡,极为漂亮、神秘。

岩溶地下水单元分布、面积:玉农希莫日查且沟岩溶地下水单元西以莫日查且沟源山脊一带为界,东以莫日查且沟中游海拔 4180 m 以上的碳酸盐岩分布区为界,南、北边界则延伸较远,其面积远远大于地表汇水面积,约有数十平方公里。

排泄条件:整个玉农希断层带内岩石十分破碎,节理裂隙发育,碳酸盐岩的溶孔溶隙较发育。地形起伏,高程在 4100–4600 m 之间,由多条北西—南东向的冰川 U 形谷及冰蚀山脊组成,U 谷内堆积有冰碛物。冰蚀山脊为寒冻风化带,地表为石漠及高山草地、灌丛带,大气降水入渗条件较好。大气降水降至地面后多入渗形成浅层地下水,然后除大部分补给地表水外,有一部分通过其下伏的基岩断裂裂隙、溶孔溶隙下渗成为岩溶溶孔溶隙水,并进行深循环交替。深层地下水在其缓慢运移中,首先溶解了大量的二氧化碳,具有了较强的溶蚀能力,加强了对碳酸盐岩的溶蚀作用,水中也富含了较多的钙离子、重碳酸根离子及二氧化碳。当深层地下水运移到玉农希断裂带西侧边界断层(喷泉断层)一带时,受到非可溶岩的阻挡顺断层破碎带上升,在莫日查



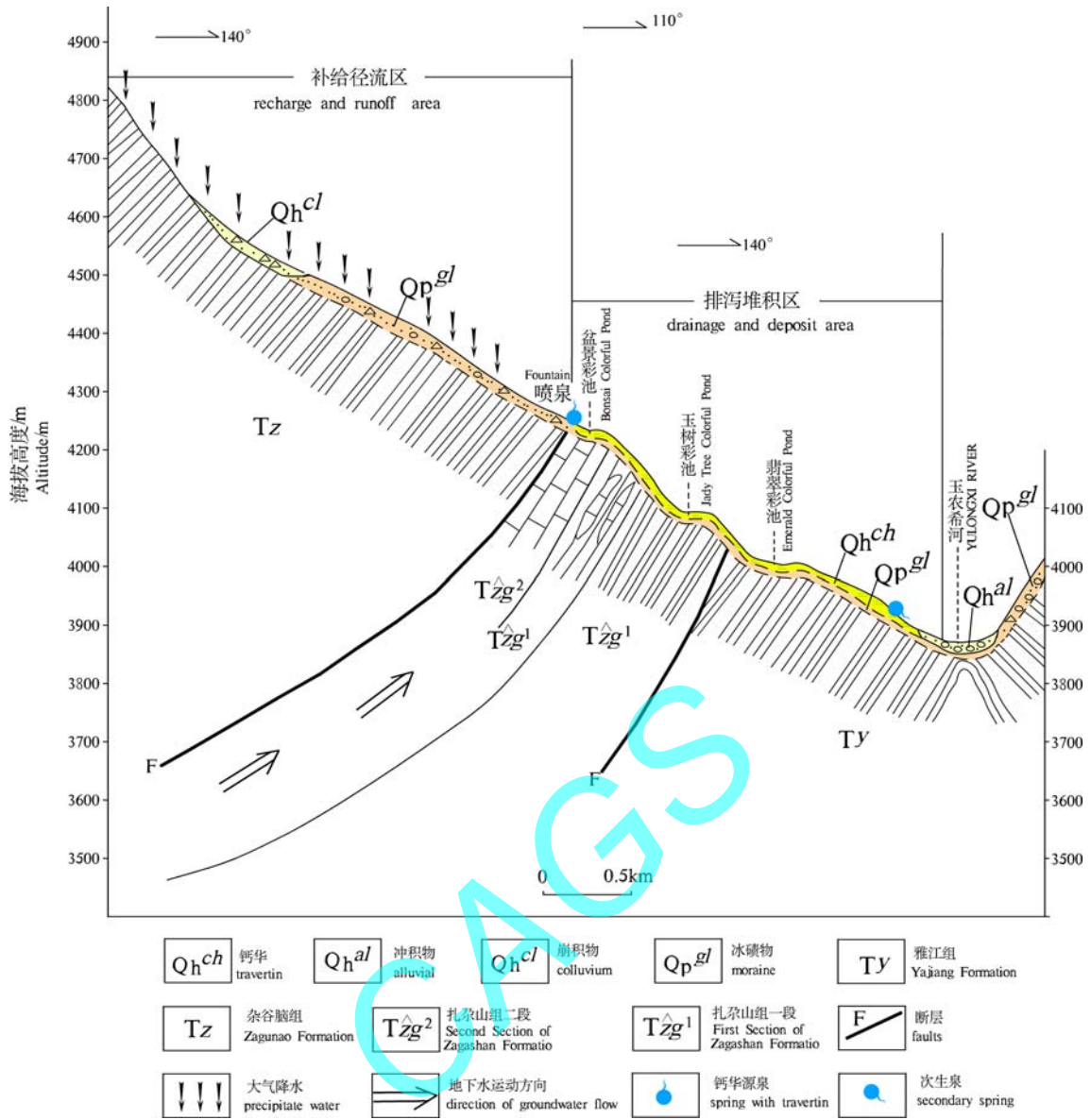


图 6 玉农希钙华景观区水循环剖面示意图  
 Fig. 6 Diagrammatic section of hydrological cycle in Yulongxi travertine landscape

且沟中游海拔 4243 m 处形成喷泉群出露，总流量为 49 L/s，即每年流量为  $154.95 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，最终与上游来水混合(图 6)。

2.1.2 东部水文单元——排泻堆积区

含水系统：可划分为(1)钙华层含水层裸露地表，赋存孔隙潜水，富水性好，钙华层一般厚 5–20 m，在莫日查且东侧厚可达 40 m 以上，泉流量 20–30 L/s；冰碛层孔隙含水系统伏于钙华层孔隙含水系统之下，厚数十米，冰碛物因含泥质，富水性相对较弱，成为钙华层地下水活动的隔水底板；(2)相对隔水系统，分布于玉农希断裂带以东，由三叠系雅江组砂、板岩地层构成。

非可溶性岩组构成北西侧岩溶地下水稳定的隔

水界面：由三叠系雅江组砂、板岩构成的非可溶性岩组，成为第四纪末次冰川退缩堆积、玉农希钙华堆积、钙华景观的下伏地层。

2.2 水循环特征

分布于玉农希断裂带西部三叠系杂谷脑组砂、板岩地层构成的含水系统，以及玉农希断裂带内东侧三叠系雅江组砂岩、板岩构成的含水系统，呈南北向相对隔水系统将玉农希可溶性岩组围限成带状，控制着地下水的径流和排泄。对调查区地表水体景观的稳定起着极其重要的作用。

玉农希西部的水文地质单元为玉农希钙华源泉的补给区。由可溶性岩组组成的含水系统，发育延伸北西向的次级断层，断裂带内岩石破碎，裂隙

发育，碳酸盐岩的溶孔溶隙较发育。该区域地形起伏，冰碛层发育。大气降水降至地表，除少部分形成生态水外，大部分入渗形成地下水，通过三叠系石灰岩区，发生水-岩作用，使钙、重碳酸根含量增高，富含钙、重碳酸根的岩溶地下水流至砂岩与板岩互层地段受阻后，沿玉农希断裂溢出地面形成喷泉群，即钙华的源泉(1-3号喷泉)，泉水温度在12°-15°。

玉农希东部水文地质单元为玉农希钙华的堆积区。源泉喷出地表后，泉水在莫日查且沟宽缓冰川U谷中流动，受冰碛地貌起伏的影响，在斜坡上水流呈分散片流，水温降低，水层变薄压力减弱，二氧化碳大量逸出，钙华快速沉淀，形成钙华滩；在陡坎处，阻拦水流形成彩池，其池内的钙华年复一年堆积，形成近于水平的钙华层；水流翻越堤坎处会加快钙华沉积，形成边石坝(程星等，1999)，边石坝逐渐增高，形成钙华瀑布。玉农希钙华沉积模式属泉华沉积(李华举等，2006)。玉农希钙华形成机理归结为温度、压力和水动力综合效益，值得指出的是，玉农希钙华沉积作用中植物、藻类等生物岩溶作用也非常明显。

玉农希钙华景观区含钙水主要来源于玉农希西部水文地质单元来水，包括浅层地下水、钙华源泉

水。而在钙华堆积区中含钙水流又进行三次循环转化，形成多个漏失段和溢出段，在这一特殊的地质环境中，地下水、地表水周而复始的循环雕琢，从而形成了“钙华喷泉、边石坝彩池群、钙华滩、钙华瀑”世界罕见的钙华景观组合。

由此表明，钙华的沉积严格受含钙水流作用的控制，含钙水流到哪，哪里就有钙华沉积。因此，1-3号喷泉及其地下水流域是保护的核心，即玉农希西部的水文地质单元，而钙华堆积区，是重要的游览观赏区，即玉农希东部水文地质单元。

### 3 钙华景观的对比分析

#### 3.1 玉农希周边钙华分布特征

在区域上，露天钙华景观主要沿青藏高原东缘高寒高山地区成带状分布。南可达云南中甸白水台(赵希涛等，1998；李强等，2002)，向北东依次分布着康定玉农希、宝兴县赶羊沟、小金县海子沟、黑水卡龙沟、松潘牟尼沟(李宏业等，2003)、松潘漳腊、松潘黄龙(刘再华等，1993，2000；郭建强等，2002；王华等，2007)、九寨沟县神仙池与九寨沟(郭卫星，1988；郭建强等，2000；张强等，2001)等地，且多成为我国重要的风景名胜或旅游区。其主要特征参数见表1。

表1 青藏高原东缘高寒高山地区钙华景观特征对比表

Table 1 Comparison of travertine landscape characteristics in east marginal Qinghai-Tibet plateau subnival belt

名称	康定玉农希	云南白水台	黑水卡龙沟	松潘牟尼沟	九寨沟县神仙池	黄龙钙华
分布海拔与面积	海拔 3890-4250 m, 面积 1373173 m <sup>2</sup>	海拔 2520-2608 m, 总面积 500000 m <sup>2</sup>	海拔 3120-3640 m	海拔 2940-3400 m	海拔 2920-3280 m	海拔 3114-3597 m, 总面积 634712 m <sup>2</sup>
景观组合	喷泉、边石坝彩池、钙华滩、钙华瀑	钙华台地、藻滩、泉华瀑、泉华彩池、钙华锤、钙砾石	钙华源泉、边石坝彩池、钙华滩、钙华瀑	钙华瀑布、钙华崩塌湖	钙华源泉、边石坝彩池、钙华滩、钙华瀑	钙华源泉、边石坝彩池群、钙华滩、钙华瀑
形成时代	13860-49810 年	12.7 万年-2500 年	72900-10900 年	17590-20190 年	17430-23540 年	12730-35000 年
钙华源泉水温、流出状态	水温 12-15 , pH 值为 6.20-6.25, 属上升喷泉, 喷高 1.20-1.6 m, 具有较强的硫化氢气味	有两个泉眼, 水温 10 , pH 值 6.77	从残坡积物中渗出, 泉口不明显	珍珠泉, 水温 25 , 上升喷泉, 具较浓的硫磺气味	钙华源泉为上升泉, 出露于钙华体中	钙华上升泉, 水温 6 , 流量稳定
边石坝彩池数量	3 组边石坝彩池群, 有 200 多个彩池	多层钙华彩池	6 组大的边石坝彩池群	有 5 个大的钙华崩塌湖	有 5 个大的边石坝彩池群	有 11 组大的边石坝彩池群, 共有彩池 3400 多个
钙华滩规模、色彩	长 1300 m, 宽约 10-175 m, 呈浮白色、浅灰白色、浅灰黄色	多处藻滩	有 6 段钙华滩, 但规模均不大		最大的钙华滩宽 80 m, 长数百米, 呈白色、浅黄色	金沙铺地长 867.5 m, 最宽 131.8 m, 呈浅黄-金黄色
钙华瀑布规模	宽 80 m, 高 15 m	高 10-15 m	最高瀑布达 80 m 高	高 93.2 m, 由三阶组成		瀑宽 167 m, 高 25 m

从表 1 中可以清楚地看出如下特点：

(1) 玉农希钙华景观分布于海拔 3890–4250 m 之间，是国内海拔最高的露天钙华景观；

(2) 玉农希钙华源泉为一低温喷泉，水温 12–15，泉水喷发高度 1.2–1.6 m，pH 值为 6.20–6.25，具有较强的硫化氢气味，是全国露天钙华源泉中唯一的钙华喷泉，极具观赏性。

(3) 玉农希主题景观组合为钙华喷泉、边石坝彩池群、钙华滩、钙华瀑布，在国内露天钙华景观组合中独一无二，辅以草甸、灌丛、雪山、冰川、温泉、藏传佛教寺庙等配套景观，具有极高的美学价值、观赏价值和保护、科研价值。

(4) 玉农希钙华形成时代 > 4 万年，是云南白水台钙华之外形成时代较早的露天钙华。

除上述钙华景观外，在青藏高原东缘其它地区也见零星分布的钙华，如康定甲根坝亚拢沟，小金县四姑娘山景区的喇嘛寺，石棉县白水河，若尔盖降扎等，均属于钙华退化演化阶段的产物，已失去旅游景观价值。

### 3.2 钙华演化趋势

青藏高原东缘的钙华沉积总体均发生于末次冰

期(4 万年)以来，其中，漳腊已完全退化，而牟尼沟、卡龙沟等总体亦处于退化阶段，黄龙沟在地质历史时期处于成长平衡期，神仙池和九寨沟、云南白水台处于成长期。从测年成果分析，玉农希钙华形成的时间较早(表 2)，往后依次是黄龙大湾张家沟、黄龙主沟、九寨沟、神仙池、牟尼沟、漳腊、卡龙沟。大湾张家沟与川主寺漳腊的钙华景观已完全处于消亡阶段。

根据玉农希钙华分布特征，钙华溶蚀塌陷分布于玉树彩池北西侧、翡翠彩池之下，面积仅占玉农希钙华分布区的很小一部分，并且大多位于干钙华分布区，不会对核心区景观造成太大影响；野外现场测量，玉农希钙华水流在各段的 pH 值是不一致的，在现今的边石坝彩池群、钙华瀑布、钙华滩等地明显高于其它地段，pH 值的高低直接影响钙华的沉积快慢；玉农希钙华彩池的边石坝高度各段差异不大，一般为 20–50 cm，胶结较紧密，目前处于稳定阶段。由此可见，玉农希钙华景观是相对稳定的，但仍处于不断的动态变化之中。

综上，钙华的发展演化阶段不由其形成时代的老新决定，而与自身所处的地质背景、水循环系统

表 2 青藏高原东缘其它景区钙华  $^{14}\text{C}$  测试成果一览表  
Table 2  $^{14}\text{C}$  ages of travertine in east marginal Qinghai-Tibet plateau and other regions

序号	实验号	原编号	样品类型	采样地点	采样时间	测定年代(a) (半衰期 5730)
1	T2007-11-0302	Y01 $^{14}\text{C}_1$	钙华	玉农希莫日查且沟口	2007	18360±200
2	T2007-11-0303	Y07 $^{14}\text{C}_1$	钙华	玉农希莫日查且中游小山脊	2007	> 40000；参考值 49810 a
3	T2007-11-0304	Y14 $^{14}\text{C}_1$	钙华	玉农希莫日查且北部钙华滩	2007	32039±1930
4	T2007-11-0305	Y18 $^{14}\text{C}_1$	钙华	玉农希莫日查且沟口西侧	2007	33246±1300
5	T2007-11-0306	Y18 $^{14}\text{C}_2$	钙华	玉农希莫日查且沟口西侧	2007	> 40000；参考值 44550a
6	789	M1001 $^{14}\text{C}_1$	钙华	松潘牟尼沟二道海	2005	20190±510
7	790	M1002 $^{14}\text{C}_1$	钙华	松潘牟尼沟三联	2005	17590±890
8	791	M1003 $^{14}\text{C}_1$	钙华	松潘县牟尼沟扎嘎沟	2005	18030±330
9	792	S3001 $^{14}\text{C}_1$	钙华	九寨沟县神仙池景区	2005	19390±630
10	793	S3003 $^{14}\text{C}_1$	钙华	九寨沟县神仙池景区	2005	17430±420
11	794	S3009 $^{14}\text{C}_1$	钙华	九寨沟县神仙池景区	2005	23540±850
12	987	Z1001 $^{14}\text{C}_1$	钙华	四川省松潘县漳腊	2005	12660 ± 230
13	988	Me1002 $^{14}\text{C}_1$	钙华	四川省黑水县卡龙沟	2005	7290 ± 300
14	989	Me1004 $^{14}\text{C}_1$	钙华	四川省黑水县卡龙沟	2005	10900 ± 160
15	2374	HD1006 $^{14}\text{C}_3$	钙华	松潘县黄龙景区中寺	2004	29830 ± 4380
16	797	H 黄 $^{14}\text{C}_1$	钙华	松潘县黄龙景区中寺	2004	24590±860
17	2368	P 张 1 $^{14}\text{C}_1$	钙华	黄龙大湾张家沟	2004	12730 ± 210
18	2731	P 张 4 $^{14}\text{C}_1$	钙华	黄龙大湾张家沟	2004	30800 ± 1500

注：表中  $^{14}\text{C}$  年龄测试单位为中国地质科学院岩溶地质研究所同位素实验室， $^{14}\text{C}$  测年国家标准物质为糖碳，采用日本 Aloka 公司生产的 LB1 低本底液体闪烁仪测定，检测仪器编码：8-104；同位素样品分析方法： $^{14}\text{C}$  年龄测定 DZ/T0184.1-0184.22-1997。



控制下的钙华源泉的稳定性密切相关。玉农希钙华具有极高的科学价值, 美学价值和观赏价值, 与贡嘎雪山、冰川、温泉、森林、草甸、寺庙有机组合, 突现浓郁的香格里拉神韵, 必将成为四川的又一大旅游精品产品。

### 参考文献:

- 程星, 熊康宁, 陈进. 1999. 边石坝结构及其水动力条件研究[J]. 中国岩溶, 18(2): 135-142.
- 郭建强, 范晓, 杨俊义, 吴昊. 2000. 四川九寨沟水循环系统研究[G]. “九五”全国地质科技重要成果论文集, 北京: 地质出版社, 812-817.
- 郭建强, 彭东, 杨俊义. 2002. 松潘黄龙水循环及钙华景观成因研究[J]. 四川地质学报, 22(1): 21-26.
- 郭卫星. 1988. 川北自然风景中钙华景观的形成与发育[J]. 山地研究, 6(1): 54-59.
- 李宏业, 尹观, 杨俊义, 范晓. 2003. 四川牟尼沟水体的同位素地球化学特征[J]. 地球学报, 24(6): 529-534.
- 李华举, 廖长君, 姜殿强, 姜光辉. 2006. 钙华沉积机制的研究现状及展望[J]. 中国岩溶, 25(1): 57-62.
- 李强, 戴亚南, 游省易, 刘再华. 2002. 云南白水台钙华沉积成因及主要沉积类型研究. 中国岩溶, 21(3): 178-181.
- 刘再华, 袁道先, W.Dreybroadt, U.Svensson. 1993. 四川黄龙钙华的形成[J]. 中国岩溶, 12(3): 185-191.
- 刘再华, 袁道先, 何师意, 张美良, 张加桂. 2000. 地热 CO<sub>2</sub>-水-碳酸盐岩系统的地球化学特征及 CO<sub>2</sub> 来源—以四川黄龙沟、康定和云南中甸下给为例[J]. 中国科学(D 辑), 30(2): 209-214.
- 王华, 杨更, 覃嘉铭, 郭建强, 曹俊. 2007. 四川黄龙大湾—张家沟钙华沉积剖面的古气候记录研究[J]. 地球学报, 28(5): 469-474.
- 张强, 许模, 孙晋玉. 2001. 四川黄龙-九寨沟自然风景区 CaCO<sub>3</sub> 沉积研究综述[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 26(专辑): 56-64.
- 赵希涛, 李铁松, 和尚礼. 1998. 中国云南白水台[M]. 北京: 中国旅游出版社, 1-68.

### References:

- CHENG Xing, XIONG Kang-ning, CHEN Jin. 1999. A research on the structure of rimstone dams and the hydraulic conditions[J]. Carsologica Sinica, 18(2): 135-142(in Chinese with English abstract).

- GUO Jian-qiang, PENG Dong, YANG Jun-yi. 2002. Study of water circulation and genesis of travertine landscape in Huanglong[H]. Acta Geologica Sichuan, 20(1): 21-26(in Chinese with English abstract).
- GUO Jian-qiang, FAN Xiao, YANG Jun-yi, WU Hao. 2000. Study of water circulation system on Jiuzhaigou, Sichuan[G]. Proceedings of Nation's Important Geological Scientific Achievement, Beijing: Geological Publishing House, 1986(in Chinese with English abstract).
- GUO Wei-xing. 1988. The travertine landscape's forming and development on natural scenery in north Sichuan[J]. Mountain Research, 6(1): 54-59(in Chinese with English abstract).
- LI Hong-ye, YIN Guan, YANG Jun-yi, FAN Xiao. 2003. Isotopic Geochemical Characteristics of Water Bodies in Munigou, Sichuan Province[J]. Acta Geoscientica Sinica, 24(6): 529-534 (in Chinese with English abstract).
- LI Hua-ju, LIAO Chang-jun, JIANG Dian-qiang, JIANG Guang-hui. 2006. The Status quo and prospect Of research on travertine precipitation mechanism[J]. Carsologica Sinica, 25(1): 57-62(in Chinese with English abstract).
- LI Qiang, DAI Ya-nan, YOU Sheng-yi, LIU Zai-hua. 2002. Study on the feature of tufa deposits in baishuitai, Yunnan[J]. Carsologica Sinica, 21(3): 178-181(in Chinese with English abstract).
- LIU Zai-hua, YUAN Dao-xian, HE Shi-yi, ZHANG Mei-liang, ZHANG Lia-gui. 2000. Geochemical features of the geothermal CO<sub>2</sub>-water-carbonate rock system and analysis on its CO<sub>2</sub> sources Examples from Huanglong Ravine and Kangding, Sichuan[J]. Science in China (Ser. D), 30(2): 209-214(in Chinese with English abstract).
- LIU Zai-hua, YUAN Dao-xian, DREYBROADT W, SVENSSON U. 1993. Forming of travertine in Huanglong, Sichuan[J]. Carsologica Sinica, 12(3): 185-191(in Chinese with English abstract).
- WANG Hua, YANG Geng, QIN Jia-ming, GUO Jian-qiang, CAO Jun. 2007. Records of paleoclimate changes based on the Dawan-Zhangjiagou travertine deposition profile in Huanglong, Sichuan[J]. Acta Geoscientica Sinica, 28(5): 496-474(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Qiang, XU Mu, SUN Jin-yu. 2001. Review on CaCO<sub>3</sub> deposit study in Huanglong-Jiuzai national scenic spots, Sichuan[J]. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 26(Album): 56-64(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Xi-tao, LI Tie-song, HE Shang-li. 1998. Baishuitai in Yunnan, China[M]. Beijing: China Travel & Tourism Press, 1-15(in Chinese with English abstract).