CHINESE
NATIONAL
GEOGRAPHY

2018
总第691期
05

RMB30元/HK$40元
国内统一刊号:CN11-4542/P
邮发代号:2-806
www.dili360.com

中国国家地理

主打报道

雾霾般袭来，流感般虐人
花粉过敏来啦!

14 位专家热议：
造一条黄河，穿半个中国
“红旗河”调水可行否?

角逐亚洲最长：
中国双河洞首超马来西亚清水洞夺冠

朝下看才能欣赏——天山特克斯峡谷
滑翔，中国山河上的新穿越
云南德宏：生物珍稀丰富超乎想象

ISSN 1009-6337
9 771009 633001 05>

一汽-大众
FAW-VOLKSWAGEN

CCTV. 国家品牌计划
TOP品牌



C-TREK | 蔚领

C-TREK 蔚领随你漫游中国，回味

旅行不是每一个目的地，而是每一次都能活在蔚领，SUV风格跨界造型，革新动力组合，率性天窗，纵览一路风情，惬意而行…从此随时随地，

车之道，为大众

省图现刊
X0346671
请爱护条形码
(此码用于电脑管理)

中国 长春 www.faw-vw.com vw.faw-vw.c 4008-171-888

广告



每一幕心·旅生活之美

当地，这源自心的发现，也来自您的每一次出发。跨界旅行车出发；589L超大后备箱，任载旅行装备，随兴启程；全景与您爱的人一起，心·旅生活。

扫码了解更多

Volkswagen

中国国家地理
CHINESE NATIONAL GEOGRAPHY

《中国国家地理》杂志·月刊·1950年1月创刊·每月7日出版
国际标准刊号 / ISSN 1009-6337　**国内统一刊号** / CN11-4542/P　**广告证** / 京朝工商广字第0036号
编辑出版 /《中国国家地理》杂志社
社址 / 北京市朝阳区安外大屯路甲11号地理科学馆　**邮政编码** / 100101
E-mail / cng@cng.com.cn　**网址** / www.dili360.com
总机 /（010）64865566－376　**会员热线** / 4006521360
主管 / 中国科学院　**主办** / 中国科学院地理科学与资源研究所·中国地理学会

CONSULTANT 顾问

王文澜 冯骥才 孙鸿烈 李乐诗 茹遂初 唐登银
秦大河 黄效文 谭兆璋 薛凤旋 张子扬 刘纪远

科学总指导 / 葛全胜
社长·总编 / 李栓科
执行总编 / 单之蔷

EDITORIAL DEPARTMENT 编辑部

主编 / 单之蔷（兼）
内容总监 / 刘晶　**设计总监** / 介彬　**图片总监** / 王彤
资深编辑 / 李志华
编辑 / 高新宇　陈惊鸿　张璇　骆凡　马子雷
李欧　康静　雷东军
特聘编辑 / 刘乾坤
校对 / 陆凤山　李成林
美术编辑 / 李晟（兼印务）　崔晓琳
图片编辑 / 吴敬　马宏杰　王宁　宋文
地图编辑 / 陈云　王岩
繁体版协调 / 骆凡
英文版主编 / 刘晶（兼）
英文版编辑 / 李润萍　金畅南
E-mail / bjb@cng.com.cn
传真 /（010）64842217
行政部 / 江郁（主任）　吕鑫　刘景欣　孙媛媛　鲁娜　冯文潇

NEW MEDIA DEPARTMENT 新媒体部

总经理 / 才华烨
副总经理 / 闫瑞杰
市场总监 / 李曦
网站主管 / 卢建爽　**微信主管** / 杨静　**项目主管** / 王威
电话（010）64889218·64869398

ADVERTISING AGENCY 广告代理

北京全景国家地理广告有限公司
总经理 / 高颖
副总经理 / 黄志鹏　陈辉
客户部 / 邢蕾　史楠　张雨潇　伏亚丽　赵雅靓
策划部 / 乔涵　洪玥　刘秀阳
广告热线（010）64848933·2007·1815
（010）64865566·290·289·256
传真（010）64842066

BPA WORLDWIDE　本刊发行量经BPA国际媒体认证公司认证

中国国家地理畅读·微信小程序

随时随地畅读《中国国家地理》
《博物》《中华遗产》精彩内容
微信扫描二维码即可使用

中国国家地理·微信订阅号

扫描二维码或搜索微信号“dili360”
关注中国国家地理微信订阅号

中国国家地理·官方微博

扫描二维码或搜索“中国国家地理”
关注中国国家地理官方微博

中国国家地理·手机视频

探索未知世界　寻觅自然奇观
观看方式
安卓手机用户 下载“咪咕视频”客户端：
导航>合作专区>中国国家地理
即可安装中国国家地理手机视频客户端
无限精彩　尽在中国国家地理手机视频
观看节目2元/条　包月15元/月（不含GPRS流量费）

中国国家地理·荣誉

第二届中国出版政府奖期刊奖
国家新闻出版广电总局

新闻出版“走出去”先进单位
国家新闻出版广电总局

数字出版转型示范单位
国家新闻出版广电总局

“百强报刊”
国家新闻出版广电总局

“中国最美期刊”
中国（武汉）期刊交易博览会组委会

中文报刊海外发行最受海外读者欢迎TOP50
中国国际图书贸易集团

中国邮政发行报刊百强排行榜
中国邮政集团公司报刊发行局

国家百种重点期刊
国家新闻出版广电总局

新中国60年最具影响力的期刊
中国期刊协会

最具品牌传播价值期刊
中国品牌与传播大会

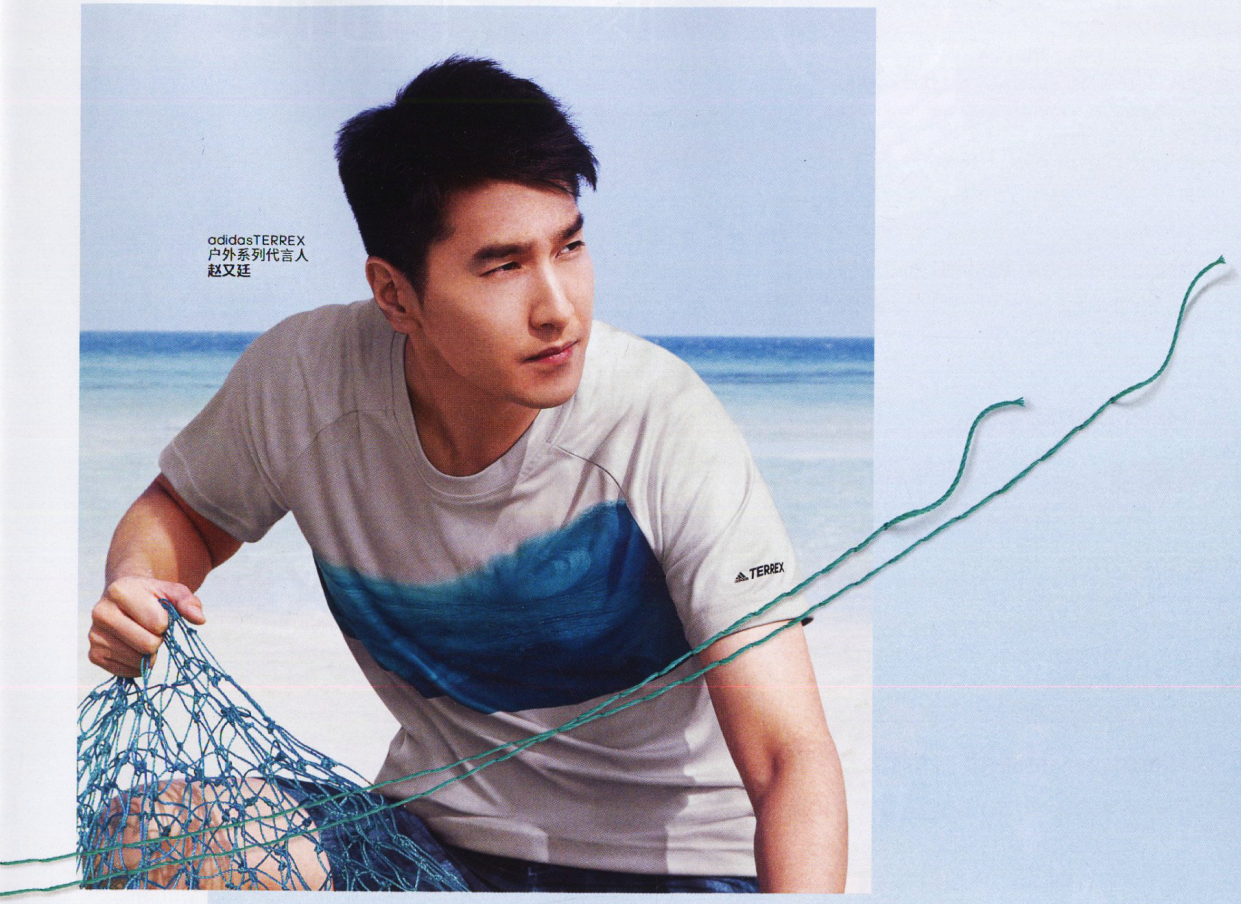
最受广告主青睐的杂志
国新出版物数据调查中心

中国标杆品牌
哥伦比亚新闻评论

中国邮政发行畅销报刊
中国邮政集团公司

adidas TERREX
户外运动品牌

PARLEY



转危为线
织造蔚蓝

由我创造

北京 · 上海 · 天津 · 成都 · 青岛 · 大连 · 沈阳 · 武汉 · 济南 · 西安 · 合肥 · 兰州 · 郑州 · 锦州 · 长春 · 盘锦 · 临沂 · 吉林 · 太原 · 济宁 · 通化 · 营口 · 白山 · 鞍山 · 辽阳 · 洛阳 · 威海 · 无锡 · 烟台 · 石家庄 · 牡丹江 · 佳木斯 · 哈尔滨 · 乌鲁木齐 · 呼和浩特

ADIDAS.COM/TERREX

adidas TERREX微信

广告 图片为样品拍摄，仅供参考，请以实物为准

中国国家地理
CHINESE NATIONAL GEOGRAPHY

CIRCULATION AGENCY 发行服务

北京全景地理书刊发行有限公司
总经理 / 李宁
发行部 / 吴超 盛文武 宋丽娟 王洪武 袁荣荣
国内发行 / 北京报刊发行局
订购处 / 全国各地邮局 • **邮发代号** / 2-806
国外发行 / 中国国际图书贸易总公司 • **代号** / M80
发行热线（010）64849250
传真（010）64841987
会员热线（010）64879277 • 64806269
E-mail / hyb@cng.com.cn

SCIENTIFIC EXPEDITION 科学考察部

陈辉（主任） 邢悦 陈锐 刘洋
电话 / 传真（010）64852136

BRAND EXTENSION 品牌发展

王杰（主任） 郭晓冬 冯亚楠
电话 / 传真（010）64842136

MEDIA & TV CENTER 影视中心

北京全景国家地理影视有限公司
总经理 / 孙钢
电话（010）64983156 • 64982153 • 64982142
传真（010）64985211

BOOK PUBLISH DEPARTMENT 图书部

北京全景地理书业有限公司
总经理 / 陈沂欢
电话（010）82842695 • 82845677
传真（010）82841175

香港代表处 / 香港全景国家地理传媒有限公司
地址 / 香港湾仔告士打道151号资本中心11楼全层
网址 / http://hk.dili360.com

繁体字版
市场合作 / E-mail bd@cng.com.hk
订阅服务 / E-mail cs@cng.com.hk
电话 / 香港（852）98066887 大陆（8620）87533180
传真 / 香港（852）30139084 大陆（8620）87533992

制版 / 北京美光制版有限公司
印刷 / 北京华联印刷有限公司
分印点 / 中华商务联合印刷（广东）有限公司
湖南新华精品印务有限公司
上海中华商务联合印刷有限公司

广告目录
ADVERTISEMENT CONTENTS

封面拉页 全新奥迪 A8L
第一跨页 一汽-大众
版权对页 ADIDAS 阿迪达斯
版权对页 TISSOT 天梭
P46-P47 ISUZU 江西五十铃
P63 “惠济”摄影大赛
封 底 路虎发现神行 发现中国24节气

版权声明
COPYRIGHT ANNOUNCEMENT

本刊发表的文字、图片、地图、光盘等的版权归《中国国家地理》杂志社所有，未经本社书面许可，不得为任何目的、以任何形式或手段复制、翻印及传播，本刊保留一切法律追究的权利。

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted for any purpose, in any forms or by any means, unauthorized copying, reproduction , hiring public performance and broadcasting without the prior written permission of the publishers are prohibited.

特别承诺

本刊凡出现印装差错，一律由北京华联调换。
地址 / 北京市经济技术开发区东环北路3号北京华联印刷有限公司
邮编 / 100176 电话 / 67876655

公示

根据国家新闻出版广电总局《关于开展新闻记者证2017年度核验工作的通知》，我单位对已申领记者证的人员进行严格检验，现将我单位已领取新闻记者证人员名单进行公示。新闻出版广电行政部门举报电话为（010）83138953。

已领取新闻记者证名单：

王杰 高新宇 才华烨 刘晶 黄秀芳 陈惊鸿 刘乾坤

《中国国家地理》杂志社

这一刻
..... 创造下一刻

天梭杜鲁尔系列新品震撼上市 .....



2018 年 4 月 21 日，瑞士著名制表品牌天梭表于上海举办了以“这一刻 创造下一刻”为主题的天梭杜鲁尔系列新品上市发布会，并正式发布以品牌诞生地命名的全新杜鲁尔系列新品。



天梭杜鲁尔系列新品正式发布

揭秘杜鲁尔系列灵感起源

神秘又充满魅力的蓝色成为了活动现场的最大亮点，这一来自于瑞士自然风光的色彩元素同样也是本次发布的杜鲁尔系列新品的主色调。杜鲁尔系列作为品牌致敬诞生地的腕表，在品牌 165 周年之际，以“来自瑞士的蓝色魅力”展现出瑞士天梭表的全新时刻。



天梭杜鲁尔系列新品上市活动现场

黄晓明与刘亦菲再度聚首

天梭杜鲁尔系列发布现场，两位天梭表全球代言人黄晓明与刘亦菲再度聚首，对于天梭表而言，两位代言人不只是伙伴，更是知己，两位代言人也在现场分享了他们同品牌的众多故事。

作为演员的他们，在攻读剧本和排演的过程中反复揣摩，不停研究角色的心理和神态，成功塑造出了不一样的银幕角色，而正是这样对每一个时刻每一个机会的把握，成就了如今成绩斐然的自己，也诠释了赋予纪念意义与时刻精神的杜鲁尔系列新品。



黄晓明、刘亦菲在发布会现场讲述自己与品牌的时刻精神

致敬初心 诠释时刻魅力

本次发布的杜鲁尔系列采用神秘而又富有魅力的“午夜蓝”色调，犹如日夜幻化星辰交替，这一源自瑞士自然风景的色彩为腕表带来了丰富质感。此外，表圈的巴黎饰钉纹精致优雅，环绕一圈，仿佛阿尔卑斯群山的雪峰，而这一原本作为建筑装饰的元素至今仍可在力洛克小镇观赏到。喷涂防眩目涂层的拱形蓝宝石玻璃表镜，弧线优美迷人，如瑞士蓝湖美景，冰洁透澈，让读数计时更轻松。

广告

28 主打报道 FOCUS

花粉过敏悄然降临 百万放大倍率揭秘致敏源

Here Comes the Pollen Season: The Micro-view of Those Tiny Allergies at One Million Times Magnification

撰文 / 李凯　供图 / 牛洋 等

花开的季节让人欣喜，也会令相当一部分人紧张。我国对花粉过敏的人群数量近年来快速增长，悄然成为新的社会话题。这些细若尘埃的颗粒为什么会引发人体不适？致敏花粉有哪些种类？它们分布何地，容貌如何？围绕这些问题，我们策划制作了本次报道。



48 12个关键词、14位专家带你一起热议“红旗河”

Twelve Key Words and Fourteen Experts: Debate on the Feasibility of Hongqi River

2017年12月以来，“红旗河”这个名字频频见于媒体，并引发了全社会的关注。但实际上它并非一条真正存在于自然之中的河流，而是一个有关我国西部调水的方案。

这个宏大的调水工程，勾画出了一个令人心潮澎湃的未来，在获得众多推崇的同时也引起热烈争议。从科学的角度来看，在专业上还没有经过认真辩论的问题，不宜直接拿给公众来“评判”；也不能把科学上还有巨大争议的事情，推给政府去“决策”。为此，本刊从有关“红旗河”构想的描述中提炼出最关键的12个词，并由此引申出争议最大的几个问题，特邀多位水利、工程、地理等领域的专家（排名不分先后），就此进行释读并展开热烈讨论，力求让读者尽可能深入地了解“红旗河”的各个方面：创新、收益、风险、困难……

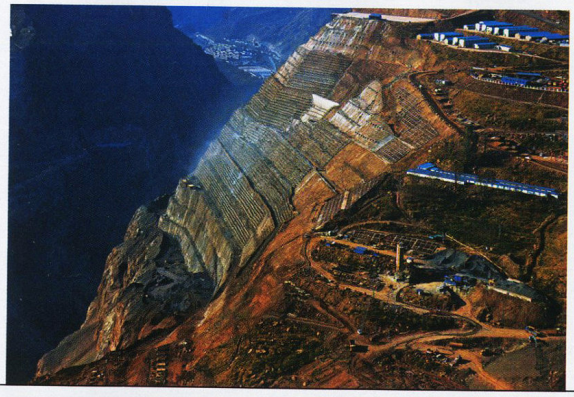
14位专家

王浩　杨勤业　关志华　何希吾　姜鲁光　谭成轩　梁季阳　邓铭江　景可　田长彦　李保国　郑度　金德生　杨勇

（排名不分先后）

60—67页 关键词

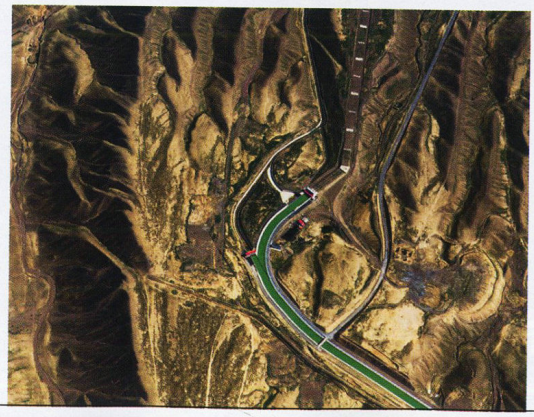
水库　青藏高原边缘　全程自流　缺水地区





50—59页 关键词

西部调水　取水　隧洞　明渠



68—79页 关键词

4万亿
绿洲
灌区和牧场
生态

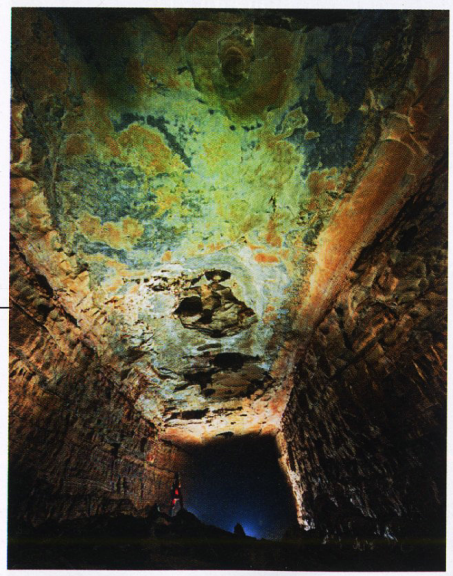


双河洞、清水洞 谁是亚洲第一长洞？

Shuanghe Cave and Clearwater Cave: Which is the Longest in Asia?

80

1978年，一支由英国皇家地理学会组织的科考团队在马来西亚沙捞越地区第一次对清水洞进行了科学探察；1988年，他们在清水洞测量出的长度为59.3公里，清水洞从此获得了亚洲第一长洞的称号。同年，中国贵州省山地资源研究所的科研人员对绥阳县双河洞进行了首次测量，测得长度为17公里。在此后的几十年中，随着双方探洞人员的深入探测，清水洞和双河洞的长度都在不断增加，双河洞从默默无闻成为“中国第一长洞”，并渐渐开始向清水洞发起挑战。时至今日，清水洞与双河洞，究竟是谁摘得了亚洲第一长洞的桂冠呢？



双河洞

历经三十一载，终成亚洲第一长洞

The Shuanghe Cave: Named the Longest Cave in Asia after 31-year Exploration

撰文 / 钱治　摄影 / 赵揭宇

82



清水洞探索四十年

前亚洲第一长洞能否重夺桂冠？

The 40-year Exploration of Clearwater Cave: Can the Former Longest Cave of Asia Reclaim Its Crown?

撰文 / Tony Waltham　摄影 / Robbie Shone 等

102

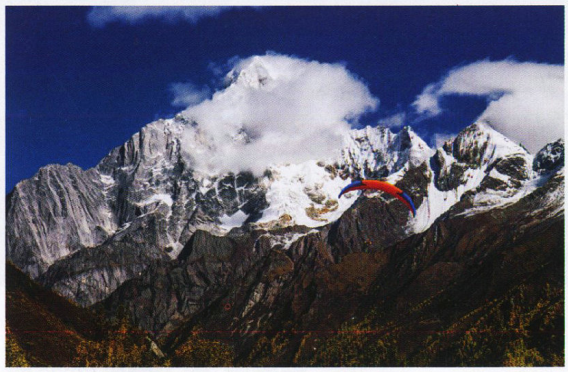


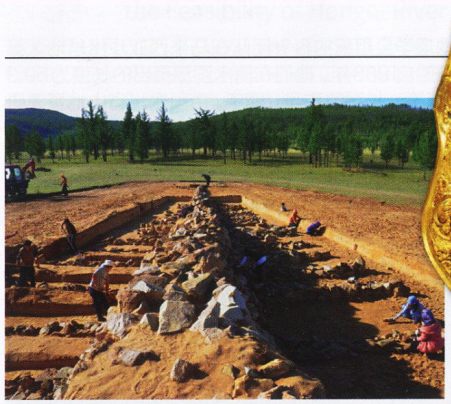
天山特克斯峡谷 116
能为中国定义一种峡谷新类型吗?
The Tekes Valley in Tianshan Mountains: Can it Broaden the Definition of China's Valley Types?
撰文 / 李剑　摄影 / 刘灵波 等

在一般人的概念里，只有崇山峻岭里才有深切的峡谷。不过令人意外的是，新疆天山地区的特克斯峡谷却是一个另类，它是在一片平坦的地面上“冒”出来的峡谷。人们不禁要问：为何在辽阔的草甸平面上，竟能出现如此壮观而奇特的峡谷？并且这里的峡谷不同于南疆峡谷的苍茫、干旱，峡谷内河流奔腾，雪岭云杉、野果林郁郁葱葱，为新疆增添了别样的“湿”意情怀。那么，特克斯峡谷能否算是中国大地上的一种新型峡谷？

132 山河上的新穿越
滑翔伞下的天空传奇
Overfly the Ranges and Rivers: Exploring the Natural Splendors from a Paraglider
撰文 / 七天

在中国壮丽的山河间，正在出现一个空中新舞台。在这舞池中起舞的人，是尚未被大众熟知的无动力滑翔伞爱好者们。他们在山河间不断探索，建构着属于自己的空中传奇和线路网——可滑翔上百公里、可凭海临风、可直上雪峰之巅……一次次的探寻中，充满了发现、传奇，以及不期而遇的危情与惊喜。





蒙古国匈奴贵族墓葬探秘
揭开两千年前匈奴王墓的面纱
Into the Tombs of Xiongnu Nobilities in Mongolia: Unveiling the Secrets two millennia ago
撰文 / 周立刚　摄影 / D.Erdenebaatar 等

在茫茫大草原上，掩映在松树林中大小不等的石堆并不引人注目，石堆之下掩埋的却是曾经影响两汉历史、骁勇善战的匈奴王者。这一次，我们跟随中国考古学者周立刚，深入蒙古国中部的后杭爱省，一起探访两千年前匈奴贵族留下的墓葬遗迹。 146

在全国范围内，每5种高等植物中，就有一种可见于德宏，每10种陆生和水生脊椎动物中，就有一种可见于德宏。这个地处云南西部的自治州不但是我国生物多样性最丰富的地区之一，同时分布着许多珍稀濒危生物和当地特有种，这吸引了来自全国各地的摄影师。通过他们的镜头，这块秘境得以展现在人们眼前。





云南德宏
这里生物的珍稀丰富超乎想象
Dehong Prefecture of Yunnan: The Unimaginable Richness in Local Biodiversity
撰文 / 赵一 方澍晨 160

本期封面
空气中形形色色花粉的微观形态
供图
王红、牛洋





❶ ❷ ❸ ❹

更多资讯请登录
中国国家地理网
www.dili360.com

这一期，我们首先把关注点放在了得票很高的备选封面1上，这张照片不论是在编辑部内部，还是在网上，支持率都不低。它的确精彩，这是中国贵州绥阳县双河洞的一个天坑。画面中，光线从上边照射下来，有一种深邃感。框式构图引导人视觉看向画面中下部的人，继而人的渺小与空间的宏大形成强烈对比，让人过目难忘。而画面中下部的探洞者所在的那块巨石，正是最后崩塌下来把窗口打开形成天窗的石头，但遗憾的是，主体还不够突出，只能暂时舍弃。

备选封面2是一位无动力滑翔伞高手飞翔在四姑娘山云雾和雪峰之间。近年，一群尚未被中国大众熟知的无动力滑翔伞爱好者群体，正开始在中国壮丽山河间探索。飞伞的人像迁徙的鸟般，逐风而行，不断寻找和探索适合滑翔的场地与路线。只见山上的滑翔伞，如冰峰上开出的一朵绮丽之花。滑翔伞的动与雪山的静，交相呼应。但如果要求更苛刻一些，这张照片的构图略显常规，属于中规中矩吧。

当我们第一次看到备选封面3的照片时，就深深被它吸引。这的确是一种独特的景观：在雪山下的草原上，竟出现了一条峡谷！峡谷中是茂密的森林，草原于峡谷而言，就像在空中一般。这是新疆的库尔代峡谷。茂密的雪岭云杉，蒸腾的雾气，这一切将库尔代峡谷装扮得犹如一块远离人间的世外桃源。画面的色调冷暖对比明显，上部气温冷的雪山是暖色调，下部气温暖的峡谷是冷色调，形成了极具戏剧化的效果。而伊犁河谷地区丰沛的降水和冰雪融水，使得这里的河流水量丰富，可以深切天山的夷平面，于是形成了这样独特的峡谷景观——雪山、高山草甸、雪岭云杉与陡峭的峡谷在此交相辉映，画面丰富却不杂乱。

但是，当我们看到备选封面4的照片时，目光实在很难从画面上挪开。只见一个个形状非常新奇的“小东西”散落在干净的画面上，有的像魔方、有的像蚕茧、有的像网球，非常有趣，让人不禁好奇它们究竟是什么。原来，这是不同植物成熟的花粉，在数十万甚至百万放大的倍数之下，几十微米大小的花粉呈现出非常清晰的超显微结构。在扫描电子显微镜下，它们纤毫毕现，形状竟十分讨喜，仿佛将人带入另一个完全不同的微观世界，十分别样。而这张照片的色调明媚，有春天的味道，也恰好出自本期主打报道。那么，这期的封面就是它了！

SCIENTIFIC EXPEDITION
科学考察

“中国国家地理号”
西沙群岛亲子科考

西沙群岛
时间：2018年7月20日至25日
费用：8800元起/人
（山河探享会会员9.8折）

暑假，来自全国各地的青少年朋友及家长们相聚在海南三亚，乘船前往我国南海的永乐群岛，和自然科学指导老师们一起，踏上典型的热带岛礁，畅游复杂多样的珊瑚礁生态系统，探索海洋的奥秘。

英国博物馆亲子夏令营
英国
时间：2018年7月16日至27日（12天）
费用：38800元/人
（山河探享会会员9.8折）

夏令营系列

丝路文化亲子营
敦煌站
时间：2018年8月11日至16日
费用：6900元/人

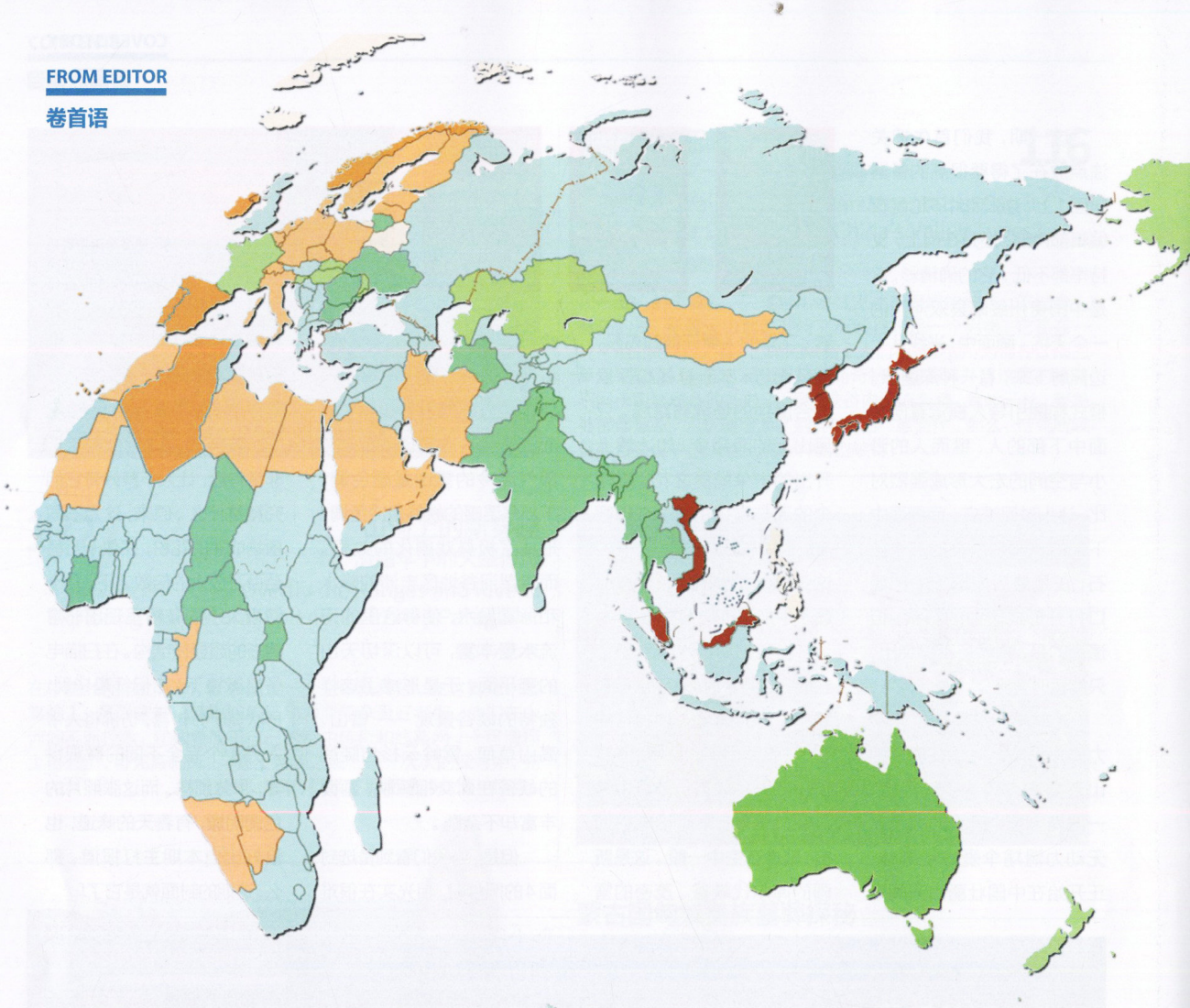
丝路文化亲子营
张掖站
时间：2018年8月5日至10日
费用：7900元/人
摄影/郑复新

摄影/马宏杰

兴全基金 AEGON-INDUSTRIAL Fund
中国国家地理大讲堂
2018.5.17
遍访极高山，你能看到什么？
主讲人
李国平
极高山摄影师

报名及了解更多活动详情请扫描上方
中国国家地理科学考察部官方微信号二维码
咨询电话：010-64851539
010-64852136

黔东南
苗侗文化亲子营
贵州站
时间：2018年8月21日至27日
费用：6900元/人



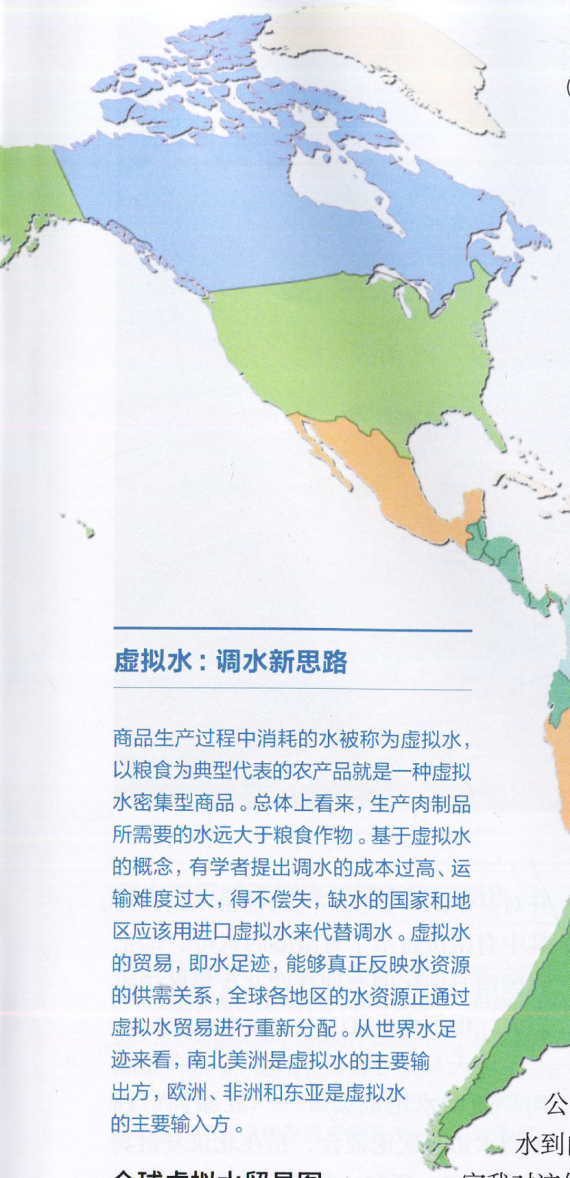
从虚拟水的视角看“红旗河”大调水

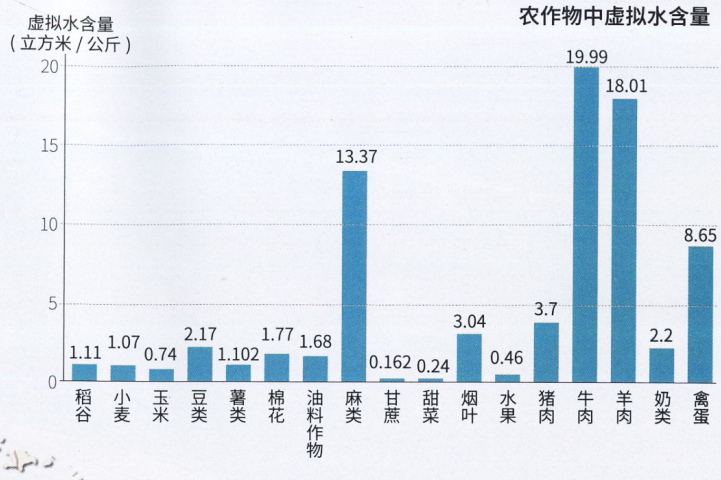
撰文 | 单之蔷

调水方案很多，无人重视，但“红旗河”是个例外

由于工作的关系，我经常遇到研究在中国大地如何调水的人。有的是教授，有的是水利专家，也有利用业余时间来研究调水方案的人。之所以有这么多人被调水吸引，是因为中国水资源分布不均衡。南方湿润多水，却缺少土地；北方干旱少水，却有着大面积的、平坦的、由于缺水无法利用的土地。因此把南方的水调到北方，总是吸引着中国人去构想各种方案。

我印象很深的一位是中国地质大学（北京）的陈昌礼教授，教授把我请到他家里，给我讲他的调水构想，他的调水方案很有想象力：把渤海的水提升到张家口一带的坝上（中国地形的第二阶梯），然后利用内蒙古北部一道东西向的地堑凹槽作河床，让海水自流到新疆，至此分为3支，一路去吐鲁番盆地，一路去北疆准噶尔盆地，一路去南疆塔里木盆地，这些水到了盆地聚集成湖泊，在炎热的阳光照射下，湖水蒸发变成水汽和云，在北半球西风带的吹送下，这些水汽和云向东南移动，遇到东南方





虚拟水：调水新思路

商品生产过程中消耗的水被称为虚拟水，以粮食为典型代表的农产品就是一种虚拟水密集型商品。总体上看来，生产肉制品所需要的水远大于粮食作物。基于虚拟水的概念，有学者提出调水的成本过高、运输难度过大，得不偿失，缺水的国家和地区应该用进口虚拟水来代替调水。虚拟水的贸易，即水足迹，能够真正反映水资源的供需关系，全球各地区的水资源正通过虚拟水贸易进行重新分配。从世界水足迹来看，南北美洲是虚拟水的主要输出方，欧洲、非洲和东亚是虚拟水的主要输入方。

全球虚拟水贸易图

图 例

（立方米 / 人 / 年）

＋输入地区

－输出地区

- <－1000
- －1000 ～－500
- －500 ～－250
- －250 ～ 0
- ＋ 1 ～＋ 100
- ＋ 100 ～＋ 250
- ＋ 250 ～＋ 500
- ＞＋ 500
- 无数据

向的大山，就会冷凝变成雨水降落，雨水汇聚成河，河水灌溉土地，沙漠变成绿洲……

还有一位领导干部退休后，研究调水，并给我寄来他的方案，他的构想是把黄河改道。现在黄河从山东东营市附近入渤海，黄河所携泥沙每年在入海口还能造就几十平方公里的土地，他主张把黄河的入海口改成从江苏附近入黄海。因为渤海是中国内海，黄河造地并未增加国土面积，但在黄海就不同了，黄海造地能增加国土面积，并把领海向韩国和日本方向推进。

西安有一位中学地理教师很感人，他两次到北京我的办公室找我，给我看他的调水方案，他是研究怎样调黑龙江水系的水到内蒙古和吉林之间的科尔沁沙地，把那里的沙地变成粮仓。其实我对这位老师的调水方案还是很赞赏的，感觉上这个方案可行，我认为这个方案的水与土地距离近，若实施，成本低，收获大。

我遇到的调水方案很多，比如调西藏的水入新疆的郭开方案，还有调长江的支流小江之水入渭河进黄河、改变黄河缺水状态的方案。

虽然调水方案很多，但大都未能引起社会的关注，更谈不上实施了。但是最近有一个宏大的调水方案——“红旗河”西部调水方案与前面那些调水方案的命运完全不同了。这个方案在社会上引起了强烈的反响，新华网、人民网纷纷报道。甚至我的微信朋友圈中，也有朋友转发，赞赏该方案。

路线长相当于长江，调水量超黄河的一个西部调水方案

前几天我在北京连续参加了两个会，都是关于“红旗河”调水的论证会。一个是在中科院地理科学与资源研究所，参会的十几位地理科学家，都是对我国地理环境极为熟悉的资深专家，有几位一直是研究水资源的。这些专家的发言在后面的文章中你可以看到。他们中大多数对“红旗河”调水的必要性、可行性表示了质疑，



合理用水，维护新疆绿洲农业

新疆属于中温带干旱地区，主要依靠山地降水和冰川融水作为水资源补给，不仅水量少，而且在光、热的作用下蒸发潜力巨大。伊犁哈萨克自治州在新疆西北部，境内的伊犁河水量充沛，成就了伊犁河谷“中亚绿洲”的美誉。摄影 / 范书财

并对其中的一些技术问题提出不同意见。其中有两位表示了有限度的认可，即把我国南方地区的水调往西北干旱区是可以的，但工程不宜过大，调水不宜多。

几天后，我又参加了一个“红旗河”的调水论证会——“红旗河”西部调水第三次论证会，是在北京友谊宾馆召开的。这次参加会议的有水利和水电系统的专家，还有一些是高校系统的教授，更引人注目的是有几位中国工程院的院士参加了会议。与在地理科学与资源研究所的会有所不同的是，这次参加会议的专家大都坚定地支持“红旗河”调水方案。

中午吃饭时，同桌的有两位是河南生产大型挖掘机械公司的总工，他们给我介绍了他们生产的大型工程机械如何性能卓越。我们越是说工程如何艰难，他们越是兴奋，感觉穿山越岭对他们来说，却是极有吸引力的挑战和商机。听他们讲他们的机械如何挖掘隧洞，感觉“红旗河”好像当年的河南林县（现林州市）红旗渠一样已经在崇山峻岭中展开，只不过当年在太行山悬崖峭壁上挥动着铁锤和钢钎的人已经换成隆隆轰鸣的大型挖掘机……

说了这么多“红旗河”，我这里简要介绍一下这个正在构想中的调水工程的大致情况：“红旗河”工程全长6188公里，相当于长江的长度（约6300公里）。计划调水600亿立方米，超过黄河全年平均水量（约580亿立方米）。“红旗河”主体工程投资约为4万亿元，建设周期大约十年，每年工程预算约4000亿元，相当于中国一年GDP的二百分之一。“红旗河”建成后，将在西北地区创造20万平方公里的绿洲，2亿亩的灌区和牧场，形成一条1000公里长的运河，给1.5亿人提供就业的机会。这个工程可能成为中国史上最大的工程，比古代的长城和今天的三峡大坝的工程量还要大。

“红旗河”西部调水方案为什么影响这么大？

“红旗河”西部调水方案，为什么影响这么大？我想有这样几个原因，在此之前，关于西部调水的方案有多种，如林一山的“四江一河调水西进”方案，陈传友、关志华的“藏水北调”方案，张世禧的“西藏大隧道”方案，朱效斌的“三江贯通”方案，郭开的“朔天运河”调水方案……

“红旗河”西部调水方案与以上方案比，具有一些明显的吸引人的地方，这也是它能在社会上引起强烈反响的重要原因。与上面方案比，“红旗河”的方案有一个专业的团队在做，其中有几位院士，还有一些教授等，而其他方案要么是专家们利用业余时间做的方案，要么是民间人士做的方案。国家层面的西部调水方案也有，作为整个南水北调方案的一个组成部分，称之为西线方案，但是这个方案未在社会上进行大规模宣传。

我们知道南水北调的东线和中线工程已经完工并且运行，西线由于成本、技术难度

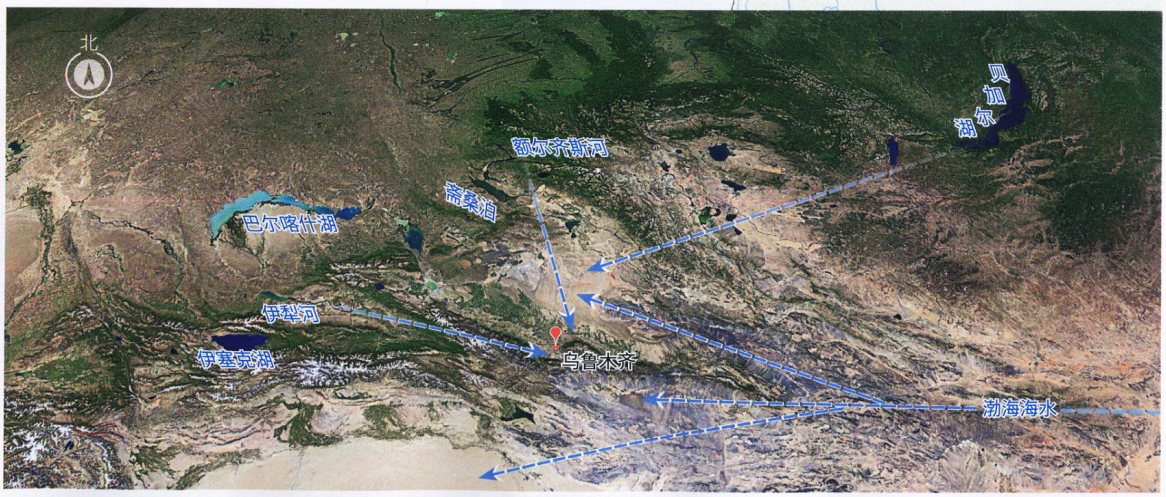
调水工程能否解决新疆干旱问题？

在解决新疆的干旱问题上涌现了很多有创意也有争议的想法。曾有人设想从俄罗斯的贝加尔湖调水，还有从新疆西北角调水到克拉玛依和乌鲁木齐的工程，不久前中国还与哈萨克斯坦合作完成了伊犁河应急调水任务。“红旗河”藏水入疆调水线路是目前讨论的热点问题，调水计划干线从雅鲁藏布江开始，绕着青藏高原边缘，沿途分水，最后引水入疆，整个计划调水600亿立方米，相当于再造一条黄河。



“红旗河”西部调水方案线路图

有关新疆的调水设想





河南省平顶山市
沙河渡槽
供图 / 南水北调中线
建管局宣传中心



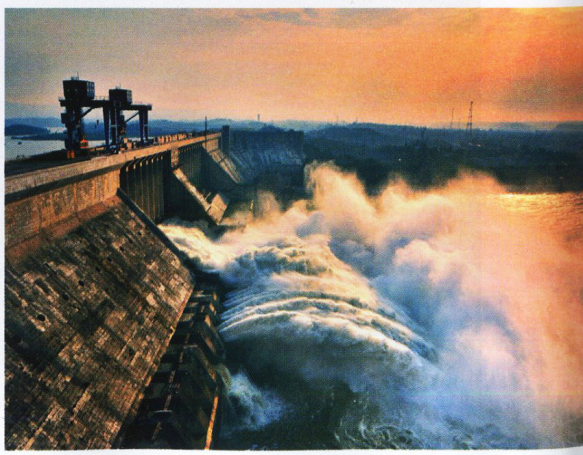
河北省定州市渠道
供图 / 南水北调中线
建管局宣传中心



河南省郑州市
穿黄隧洞
供图 / 南水北调中线
建管局宣传中心



山东省济宁市邓楼泵站
供图 / 南水北调东线总公司



湖北省丹江口水库
摄影 / 杨飚



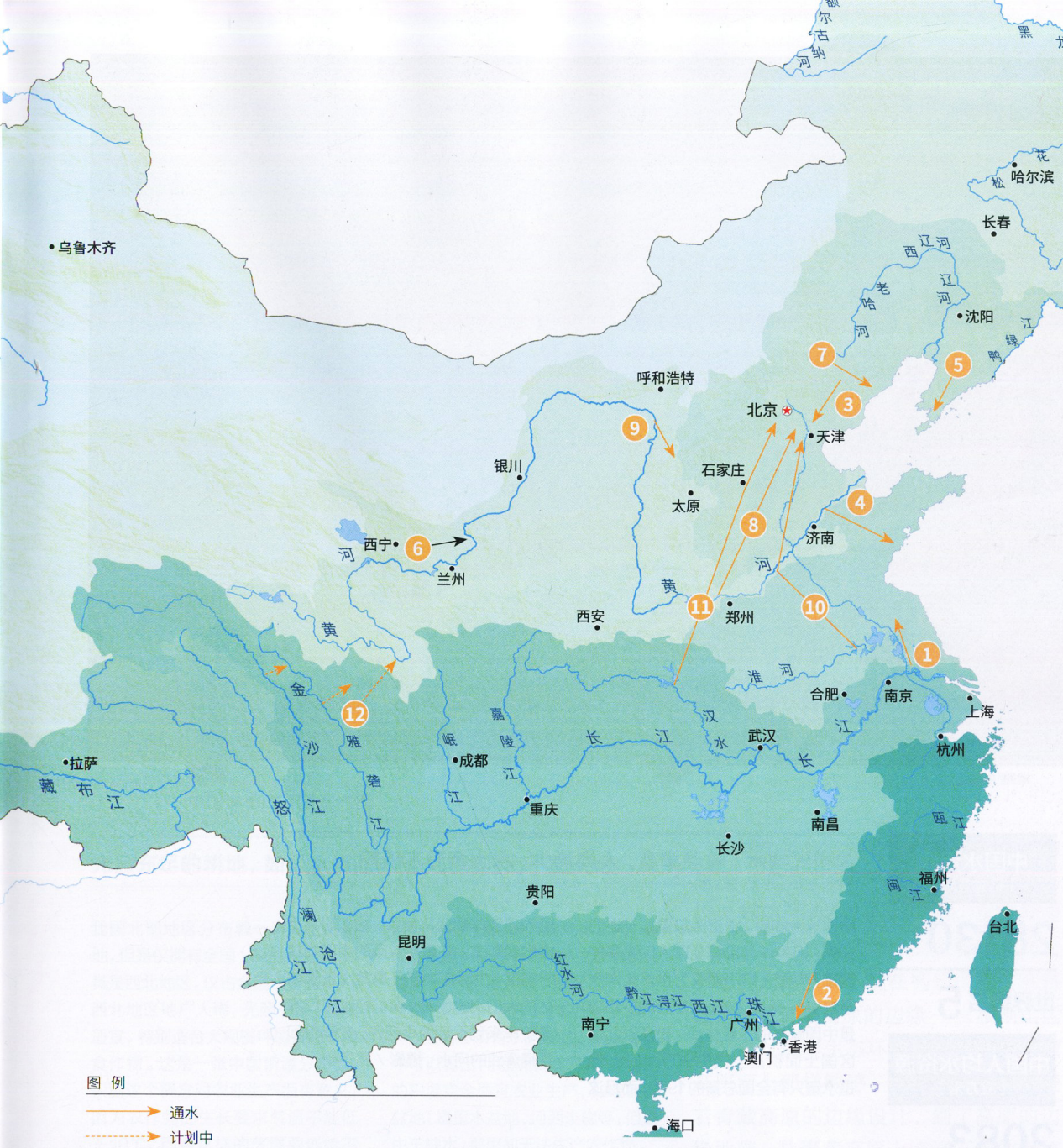


图 例

通水

计划中

水量 小 大

我国调水工程分布图

11项工程，构成中国的调水网络

技术的成熟和国力的强大，使得一个个大规模跨流域调水工程在中国的国土上修建成功。从环境、生态、经济成本和用水效率的角度来看，调水的是非得失，现在还不能妄下定论；但从受水区的角度来说，得益于这些超级工程，生存、生活乃至发展用水都得到了基本保障。

序号	工程名称	调水方向		调水量（亿立方米 / 年）	线路长度（公里）	通水时间
		从	到			
1	江水北调	长江	淮河	34.5	400	1961
2	东深供水	东江	香港	24.2	83	1965
3	引滦入津	滦河	天津	25.8	234	1983
4	引黄济青	黄河	青岛	6.4	275	1989
5	引碧入连	碧流河	大连	1.3	170	1997
6	引大入秦	大通河	秦王川	4	70	1995
7	引青济秦	青龙河	秦皇岛	1.7	80	1991
8	引黄入冀补淀	黄河	白洋淀	6.2	482	2017
9	引黄入晋	黄河	太原	12	314	2011
10	南水北调东线	长江	黄淮海平原	148	1156	2013
11	南水北调中线	长江	京津冀	140	1432	2014
12	南水北调西线	长江	黄河	170	700	计划中



中国水资源
（亿立方米）

28130

世界排名5

中国人均水资源
（立方米）

2083

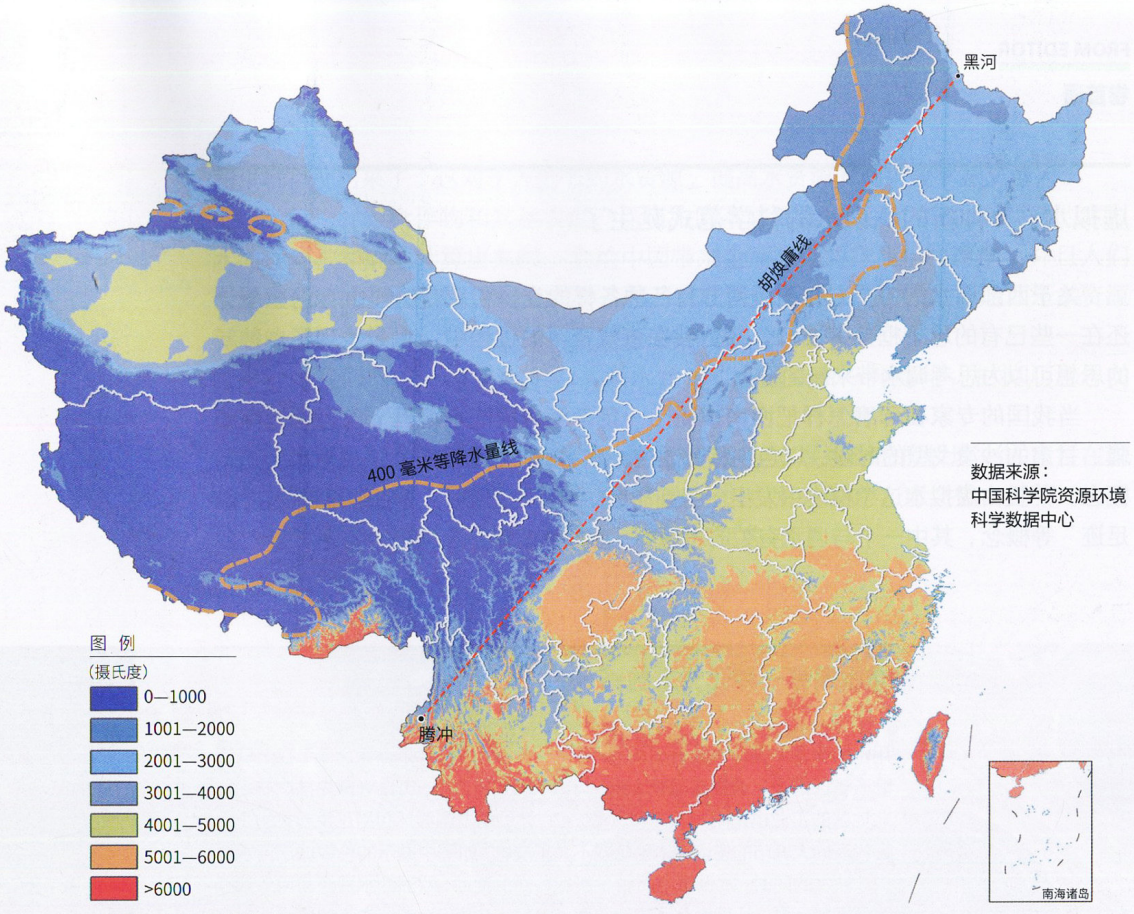
世界排名104

中国式缺水：总量丰富，人均稀少，水土资源不匹配

中国地大物博，水资源总量居于世界前列，但是作为目前全球人口最多的国家，中国人均水量仅为世界人均水量的1/4。除此之外，时空分配不均也是中国缺水的主要体现。长江以北地区国土面积占全国的60%以上，但是水量只有全国总量的19%，而且这里的河流年际变化巨大，枯水期甚至会出现断流。宁夏是典型的中国式缺水省区，生活在中部干旱黄土丘陵地区的人们用水困难，他们拖家带口推着驴车来到很远的小河沟，才能带回几桶浑浊的河水。摄影 / 王正明

等问题一直没有上马，但是水利部黄河水利委员会早在上世纪50年代就已经组织专家进行了南水北调西线的调查、勘探等可行性研究，但最终的方案没有在社会上公开，其调水范围不包括雅鲁藏布江、怒江、澜沧江，调水量仅为170亿立方米，调水路线分三条，其一从大渡河、雅砻江支流达曲自流到黄河上游贾曲，其二在雅砻江干流修建阿达枢纽引水至贾曲，其三从通天河干流建侧仿水库，经雅砻江至贾曲。

这个方案是黄委会的专家们比较了50多个方案后才确定下来的，但方案的调水量与调水路线其宏伟壮丽程度远不及“红旗河”，故影响不大。“红旗河”的方案如其团队在宣传时所说的“设计巧妙”，很吸引人。我理解这个设计巧妙是指它的设计路线，没有经过青藏高原的高原面，而是围绕着青藏高原的边缘地带绕了一圈，好像是给青藏高原镶了一个边，这样做给人们的印象是没有在青藏高原上动土。公众对青藏高原面上的生态环境很敏感。



中国≥ 10℃积温分布图

光照充足的耕地，如果水资源丰富，或能造出千里沃野

我国北部地区分布着一半以上的耕地，但是仅拥有全国1/5的水资源，尤其是西北地区，仅占全国水量的4%。西北地区地广人稀，光照充足，温度适宜，特别适合大规模种植谷物等粮食作物。这是一张中国积温分布图，积温这个概念对农业生产很有意义，因为农作物的生长要求气温不能低于10℃，而且这样的气温要连续不断，这段时间内每天的气温之和，被称为积温。有利于农作物生长的积温值有一个区间。一个地区的积温只有在这样的区间内，才能进行农业生产，但是必须有水的配合。从这张图中可以看出，我国西北部有许多地区的积温完全适宜农业生产，如吐鲁番盆地、塔里木盆地、河西走廊等，但是由于缺水，那里却无法生产农作物。

高原面一方面是中国几条大江河的源区，还有青藏高原上是中国一些珍稀的大型野生动物群的栖息地，在高原面上动土，要影响到动物群的生活，必然引起公众的反对。现在构想中的引水路线走的是青藏高原的边缘——横断山区，而公众对这里生态环境的关注不如青藏高原面上那样敏感。三是引水路线围绕着青藏高原的边缘设计，到了高原的边缘地带，从青藏高原上流淌下来的河流水量大增。以往的一些方案取水点往往选在青藏高原面上，这时河流刚离开源头不远，集水不够，因此这种设计取水量不够，为了多取水，就设计高坝截水，即使如此，能够截留的水量也有限，因此这样的调水方案很难获得公众的共鸣。四是“红旗河”方案把澜沧江、怒江、雅鲁藏布江这三条水量大的大江包括进来了，使得调水量大增。调水600亿立方米是“红旗河”一系列宏伟目标的基础，如在西北地区创造20万平方公里的绿洲，2亿亩的灌区和牧场，改变西北干旱区的生存环境……这些靠的都是“红旗河”如同一条黄河一样的调水量。前面提到的郭开的“朔天运河”调水方案虽然包括了西藏的三条大江，方案中西边路线与“红旗河”很接近，但是过了黄河后，却进入青海湖，然后再分为三支，这是明显的败笔，因此难以获得人们的认可。

最关键的是以往西部调水方案生不逢时，那时的国力还不足以支撑这样的工程。

虚拟水：一种新的认识水的科学范式诞生了

关于西部调水的各个方案正反两方有各种各样的支持和反对的理由，这些争论还在一些已有的思想框架下进行。最近我在查找资料的过程中，倒是发现了一种新的思想可以为思考调水带来新的视角。

当我国的专家在琢磨怎样把西南横断山一条条河谷里的水跨越千山万岭调到新疆、甘肃的沙漠戈壁的时候，以色列和西欧的一些学者正在提出一个“虚拟水”的新概念，并且由虚拟水这个概念引发出一些新思想。如“水足迹”、“生态足迹”、“碳足迹”等概念，其中一个与调水有关的思想叫“虚拟水战略”。

节水是另一种意义上的调水

用水紧张是中国北方的普遍情况，西北五省区需要水资源来灌溉农田，华北地区的工业也是用水大户，以北京为代表的大城市的生活用水也耗费不少。缺水的同时，水资源浪费也是不可忽视的问题。从南水北调工程的原则——“先节水后调水”——可以看出来，节水才是当务之急。在上马调水工程之前，可以考虑先推广节水技术。水资源循环利用正是新兴的节水技术，如图中展示的伦敦城市污水循环沉淀池，欧洲的水资源利用效率很高，正是因为欧洲先进的污水处理再利用技术。



何谓虚拟水？虚拟水就是生产商品和服务时所耗费的水资源数量。因为这些水是看不见的，只是内含在或者是镶嵌在商品和服务中，因此称之为虚拟水。恕我孤陋寡闻，尽管虚拟水这个概念已经提出 20 多年了，我过去听说过，但未加注意，今天因为要研究西部调水，才开始学习这个概念，没想到经过学习，我已经被这个概念所吸引，并且发现我获得了一个看调水的新视角。

我为什么赞赏虚拟水这个概念。因为用这个概念你可以看到许多你过去看不到的东西，而且它会颠覆你的常识和一些固有的思维习惯，让你的思想活跃起来。比如一个人一天用多少水这个问题，大部分人想到的都是实体水。我在网上查了一下，这个问题还有许多网页，还有学校考试问这个问题。回答五花八门，有的人只能想到喝水、刷牙、洗澡、冲马桶；有的人想得深一些，还想到了吃的水果和饭里也有水，但是他们想的是如果把水果和粮食像榨汁一样能榨出多少水，还是实体水；有的人想得更全面些，把人分成南方人和北方人，南方人洗澡次数多，北方人洗的次数少等；但是几乎没人想到虚拟水。

如果仅仅考虑实体水当然一个人一天用不了多少水，有人算出大约一个人一天用水 130 升，但一旦考虑到虚拟水，问题就完全不一样了。比如一个苹果含虚拟水 70 升，一公斤大麦含虚拟水1070升，一公斤牛肉含虚拟水19990升 …… 如此算来，中国人平均一个人一天大约要消耗近 2000 升，即 2 立方米的水，全年消耗水大约 800 立方米。虚拟水的概念使我们跳出了实体水的束缚，看到了人与水的真实关系。而且当我们算出各种商品和服务其中内含的实体水之后，各种商品对水资源消耗的真实

图景就呈现出来了。这对于人们节约水资源，提高水资源的利用效率意义重大。

当每一样粮食作物和其他农副产品在中国不同的地方生产，它们所耗费的虚拟水的差异被精确地计算出来时，会给中国带来全面深刻的产业结构调整。并且人们会比较各地的产业优势、机会成本，进而采取相应合理的经济行为。这才是水资源管理的最高境界。

平时我们节约一点实体水，关紧水龙头，但是浪费一杯咖啡，扔掉几盒外卖，节约水的意义就消失了。

虚拟水的意义远远不止这些，由虚拟水我们还能联想到虚拟耕地。这还是在农产品的范围内思考，如果把工业品也用虚拟水的视角来研究，那会带来更深刻的变化。虚拟水这个概念会把我们的思想带到更广阔的远方。



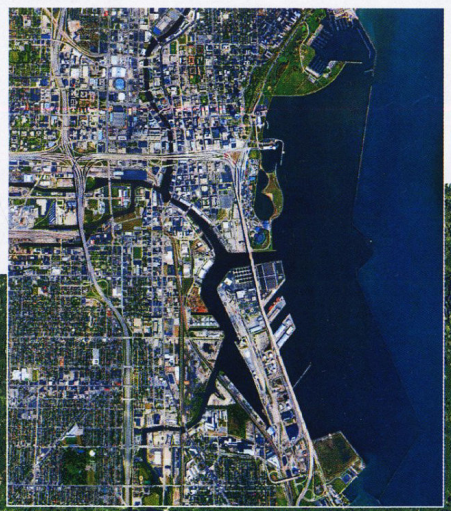
向素食者致敬：他们比我们每日节水1611公斤

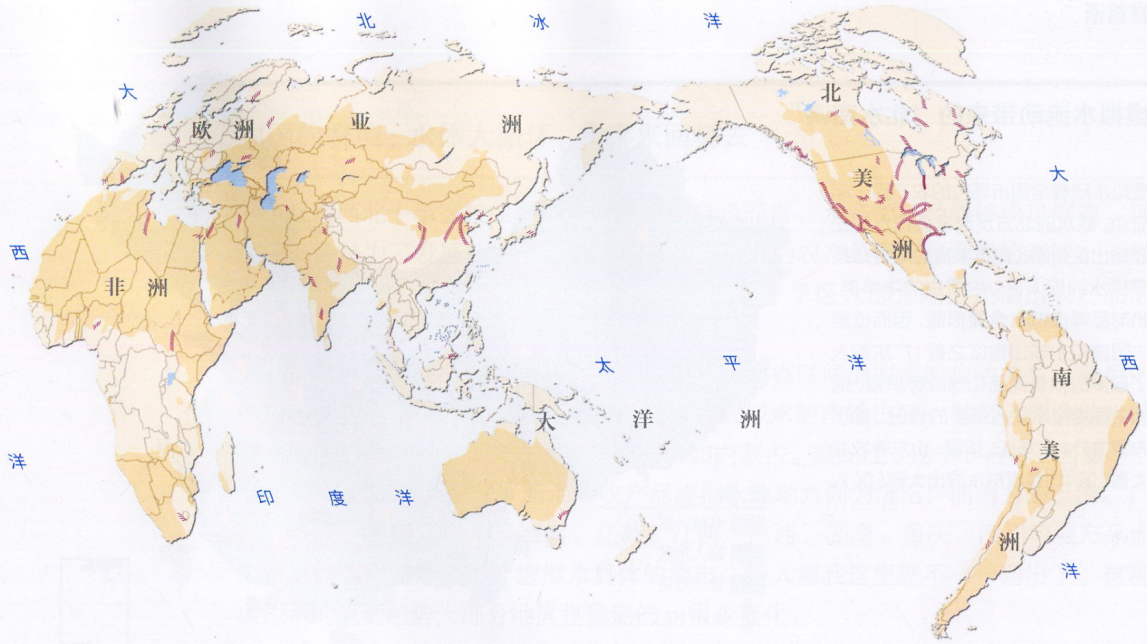
有一个例子，可以说明虚拟水的概念的意义。比如我身边有几个朋友是素食者，过去我对他们素食的看法，局限于这是他们的一种文化追求（比如信奉一种思想），或者是一种对食物的偏好，或者是一种养生之道，总之素食似乎是一种个人行为，与他人无关。但是自从我有了虚拟水的视角之后，素食者在我的眼中完全变了。

从虚拟水的视角看，一公斤牛羊肉中的虚拟水含量是一公斤玉米的20多倍。这样算来，肉食者大约每日每人用水量4265升，素食者每日人均用水量2654升。食素一日，可节省1611升水。因此从虚拟水的视角，我们就发现了素食者的行为不是一种对公众无意义的个人行为，而是对人类地球这个生命共同体做出了重要的贡献。为了地球这个大家庭，我们应该向素食者致敬。

北美五大湖储存了地球上大量的淡水资源

全球淡水资源分布得不均衡，北美的五大湖中储存了巨量的淡水资源。五大湖地处加拿大和美国的交界处，除了密歇根湖全属于美国外，其他四个均为美、加两国共有。五大湖紧紧相连，休戚相关，共有24万平方公里的湖面，是世界上面积最大的淡水宝库。这为加拿大和美国的农业生产提供了丰富的水资源。由于土地和水资源的合理组合，加拿大和美国成了全球名列前茅的农产品出口国，实际上就是大量地输出虚拟水。为了农业生产，五大湖周边修建了许多调水工程。美国曾酝酿着从苏必利尔湖调水来补充密西西比河，但被质疑会“抽干”五大湖，该计划被无限期搁置。2016年，美国的沃科夏小镇成为第一个被允许从密歇根湖调水的湖区外城市，右图是规划中的引水点。





全球调水工程分布图

遍布全球的调水工程，修建目的各不相同

20世纪初，全世界兴起跨流域调水热，“知识就是力量，科技是改造自然的最有力的武器”这样的思潮开始流行，国际贸易也远不如今天这样发达。那时既没有虚拟水的概念，也没有虚拟水战略，因此还不流行进出口虚拟水。当时各个国家和地区为解决粮食问题，往往依赖修建大型调水工程。据《世界调水工程》一书统计，全球已经有40多个国家和地区建成了350多项调水工程。

这才是地球表面最真实的水系图

在参加“红旗河”西部调水的研讨会上，我听到了这样一种说法，“红旗河”串联起中国西部各大水系，最终实现“合理管控和利用中华水系，构建国家水网”的目的。

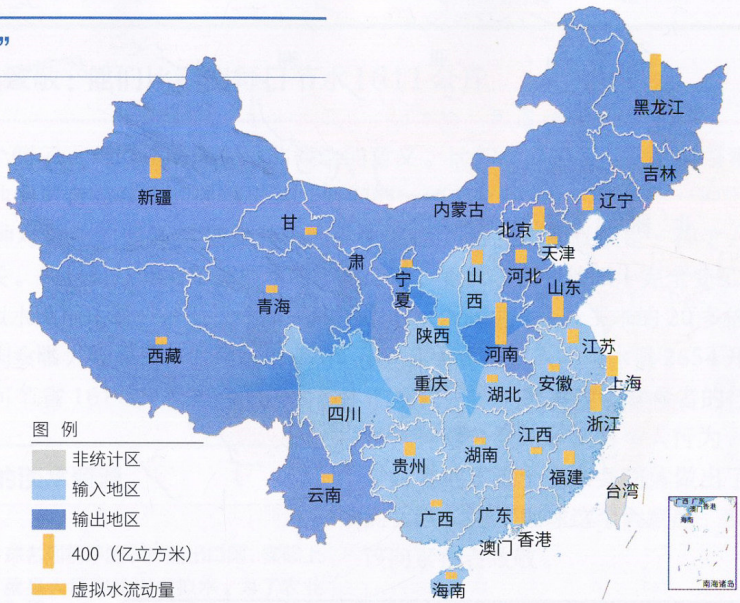
在没有接触虚拟水的概念前，我们所理解的水系和水网，只能是地表上实体水所构成的水系和水网。这样的水系图，无论我们画得如何清晰准确，它们都无法画出这些水系与人类的关系。但是今天利用虚拟水的思想和方法，我们能画出一种全新的水系图。这种图不仅能表达地表上各种实体水的分布，还能画出地球表面虚拟水的分布和流动。这样的水系图远比那些实体的水系图深刻，因为它表达的是人类与水的关系，是人与水的关系图。我们可以称这种图为全球虚拟水水系图。

虚拟水水系图可以有各种比例尺，从全球，到国家，甚至可以到一家企业都可画出这样的图。在大地上这些虚拟水的流动和分布我们看不到，而且这些水并不遵从实体水的流动规律。这些图中的虚拟水超越实体水的流域水系界线，跨过高山，越过海洋，把地球上的各个地区、国家、集团、企业之间的经济关系表达出来了。

由此看来，在地球表面有两种水网和水系，一种是实体水的，一种是虚拟水的。“红旗河”说到的水系和水网显然不是虚拟水的水系和水网。

虚拟水流动带来的“北水南调”

虚拟水随着全国市场内的农产品一起流动，缺水的北方反而是虚拟水的主要输出区，而水资源丰富的南方却是虚拟水的流入区。内蒙古的牛羊肉、奶制品等虚拟水含量很高，因而位居中国虚拟水输出省区之首；广东购入了最多的粮食商品和棉麻等织物，成为中国虚拟水输入最多的省份。除了内蒙古外，黑龙江、新疆、山东等农业大省（区）均是虚拟水流出大省（区）。



2010 年中国各省区农产品虚拟水流动情况

数据来源：华中师范大学李红伟硕士、胡静教授的研究成果

中国的西北干旱区是富饶的荒漠

其实就水资源短缺而言，一般来说是局部区域的现象，就全球范围来看，水资源是够人类使用的，只是分布不均匀，才导致了缺水。通过虚拟水的贸易是可以解决水资源短缺的。农业用水达到全球用水量的 70%，我国的农业用水占到全国用水总量的 60%。因此农产品成为虚拟水的主要载体，虚拟水的流动主要是指农产品的贸易。

这就涉及到了由虚拟水的概念引出来的一个思想：虚拟水战略。这个所谓的战略是这样的：“富水国家或地区通过实物贸易向贫水国家或地区输出水密集型农产品（主要是粮食）。富水国家或地区向其他国家和地区出口农产品尤其是粮食，实际就是以虚拟的形式出口它的水资源。而贫水国家和地区进口粮食等农产品相当于进口水资源。贫水国家和地区通过进口虚拟水获得自己的粮食安全，再发展自己有比较优势的产业加入经济循环。”

首先我们要对我国所谓缺水的西北干旱区有个基本了解。虽然按照降水量与蒸发量来看西北是荒漠，但是上帝特别照料这片土地，它把我国的西北干旱区造成了盆地中的荒漠，盆地周围有高山和极高山环绕，高山增加降水，极高山上有冰雪融水，这样周边的高山和极高山上就发育了河流，这些河流养育了一处处绿洲，因此我称之为“富饶的荒漠”。这是世界上其他地区的荒漠不能比拟的，如非洲的撒哈拉，西亚的阿拉伯半岛上的沙漠，中亚的卡拉库姆沙漠等。像新疆塔里木盆地中的塔里木河，全长 2179 公里，是世界上最长的内流河，全年平均径流量 429 亿立方米，这些水资源量已经超过了黄河水资源量的一半以上。

中国的窘境：水体大循环，从哪来回哪去

我国西北干旱区就生存和农产品自给自足而言，水资源已经能够满足需要。现在的调水是为了发展的需要，调去的水生产出来的农产品是为了贸易的需要。一般有生活经验的人从直觉上就能判断，我国西北干旱区大部分地区是输出农产品的，也就是输出虚拟水的。

事实也是如此。有一份研究报告研究了我国省区间虚拟水的流动关系。最后的结论是：我国不仅西北干旱区大多数省区是虚拟水的净输出区，甚至大部分缺水的北方地区都在向富水的南方输出虚拟水。如内蒙古、黑龙江、辽宁、吉林、西藏、宁夏、河南、河北、山东、青海等农产品虚拟水流动方向为流出；而南方的上海、广东、浙江、福建、贵州、海南、江苏、江西、广西、湖南、重庆、四川等农产品虚拟水的流动方向是流入。虚拟水具体的流出、流入量我这里就不一一列出了。这种虚拟水的流动趋势大部分地区是稳定的，很少变化。

对一个缺水的地区，如中国北方，最好的发展模式应该是出口含水少的水疏散的商品，而进口因本地缺水而难以生产的水密集型商品，也就是实施虚拟水战略。但目前中国却呈现的是相反的状态，即缺水的北方不是进口虚拟水，而是输出虚拟水。

现在看来中国真正的水循环，是北调南流，真实的水被调到北方（如南水北调东线和中线工程），虚拟的水又被调回南方（北方的粮食运回南方）。完成一个水循环，从哪来回哪去。我称之为“水归来”：水 — 土地 — 虚拟水。这既是现实，又是荒谬。





千辛万苦地调水灌溉，又变成虚拟水流向南方

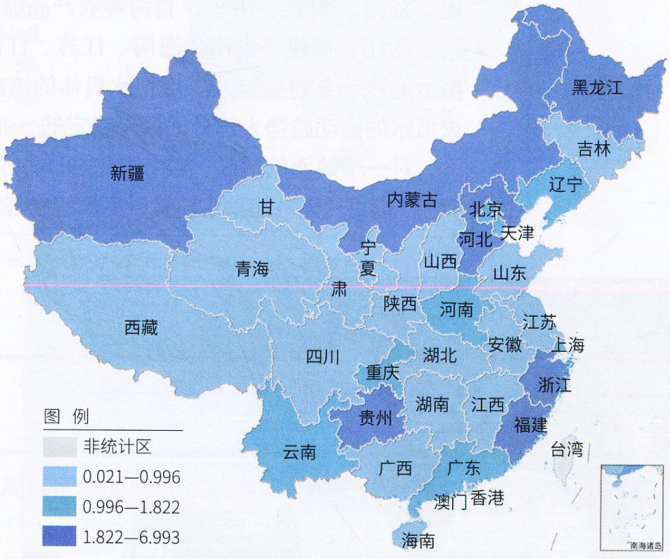
水窖是宁夏人民储存水源的关键，吴忠市同心县几乎每家都有水窖，雨雪天是大家最为盼望的，碰上大雪，家里的小孩都要推上铲车出门，“抢收”老天赐予的水资源（上图，摄影 / 贺永泽）。新疆人在干旱区调水的智慧在坎儿井工程上得到了最好的体现，高大山脉的山麓是地下潜水的涌出地带，在这一地带挖井储水，然后通过地下廊道汇集到低洼地区，灌溉着农田。泉水经过地下廊道调到了需水的农田，坎儿井调水的智慧之处是采用地下廊道引水，避免了水的蒸发损失（右图，摄影 / 郝沛）。但是西北人民千辛万苦地调水灌溉，发展农业，消耗大量水资源的农产品却销往多水的南方各地，本就稀缺的水变成看不见的虚拟水被输送到了南方。

一公斤牛肉与20吨水的相遇

为什么说这是荒谬和浪费呢（有人不同意，他们认为这是中国国情决定的，是合理的，而虚拟水战略是偏颇的）？

我是这样想的，首先前面已经说了我国的西北干旱区是富饶的荒漠，那里的人面临的不是生存问题，其次也不存在那里的人口和城市太少、不足以维护中国的版图的问题，而是那里的人口数量和城市数量足以支撑中国的边疆稳定，否则这么多年来，新疆、宁夏、内蒙古怎么可能连续不断稳定地出口虚拟水呢？现在这里输出的虚拟水是本地水，如果这些地方用调来的水生产农产品，那么这里输出的虚拟水将在国内没有竞争力，在国际市场更没有竞争力。

让我们用虚拟水的概念想象一下，一公斤牛肉含虚拟水19990升（一升水重一公斤），人家一公斤牛肉所需的20吨水是靠天上下雨获得的，你的一公斤牛肉所需的20吨水是“红旗河”从西藏雅鲁藏布江跨越千山万水越过了多少著名大山的分水岭，钻过了多少隧洞运来的，就算是自流过来的，那沿途蒸发渗漏能流到新疆，十分不易，途中还可能遭遇与易贡大塌方、冰湖大溃决、古乡泥石流、通麦天险、汶川大地震相似的地质灾害……可以说这牛肉是用马拉松水产出的。这样的牛肉能参与市场竞争吗？



中国各省区农产品虚拟水流动合理性指数

内蒙古、新疆的虚拟水流动都不合理

有研究人员计算了全国各省区的虚拟水流动合理性指数，指数越高越不合理。从计算结果来看，内蒙古、新疆和贵州的虚拟水输出过多；而广东、浙江等省份的虚拟水输入过大，可以适量提高农业生产的比例。西藏、湖北等地较为合理。虽然仅仅考虑虚拟水的因素来调整产业会过于片面，但虚拟水的合理性指数的确为许多地区制定新的发展方向提供了思路。



数据来源：华中师范大学李红伟硕士、胡静教授的研究成果

国际贸易中包含着巨大的虚拟水流量

我国是世界上最大的大豆进口国和消费国，这些大豆主要来自美国，2017年一年，中国就进口了139亿美元的美国大豆。在广西防城港的码头上，几台龙门吊车正在从一艘万吨巨轮上把堆成山一样的美国大豆卸下来。其实你可以把这些大豆分解成一立方一立方的水和其他物质。也就是这些大豆中饱含的虚拟水随着大豆的输入到了中国，中国也节省了生产这些大豆所需要的水资源。但是过分依赖进口也会影响国家的粮食安全，一旦两国之间的贸易出现争端，粮食进口将会成为不稳定因素。这也是虚拟水战略受到质疑的原因之一。摄影 / 王宁



南水北调后，怎么又北水南流，虚拟耕地在作怪

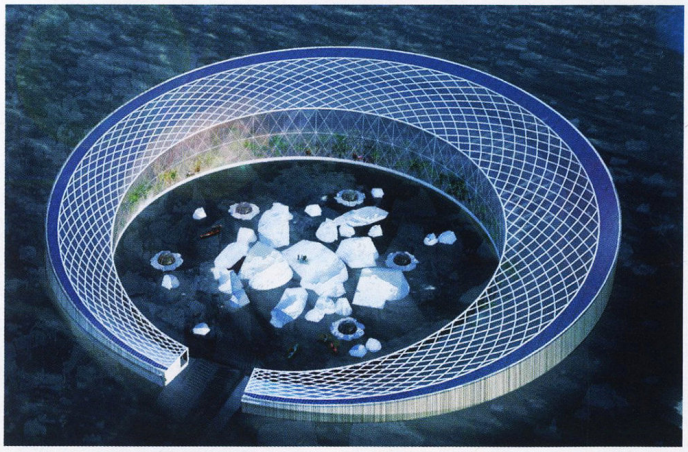
一方面我们通过南水北调工程从南方把实体水调到北方，另一方面又以粮食的形态流回南方；一方面实体水从富水的南方被调到贫水的北方，另一方面水又以虚拟的形式从贫水的北方流回了南方。为什么会产生这种现象？其中一个重要的因素是耕地。南方经济发达，土地被大量占用进行工业生产，城市化规模也大，土地减少，地价升高。据统计在我国的粮食成本中土地占比达17%左右，而水则占比大约1%。土地资源的重要性远远高于水资源。尤其是房地产业的迅猛发展，更是抬升了土地的价格，土地价格的升高，使得用土地进行农业生产的机会成本大大升高，也使在南方发达地区利用土地进行农业生产的比较优势丧失。

我们引进一个由虚拟水引发的概念虚拟耕地，所谓虚拟耕地就是生产商品和服务时所使用的土地资源，这些土地资源虽然看不到，但它们镶嵌在那些商品和服务里了。由于水只有和土地合在一起才能生产粮食，因此粮食中既含有虚拟水也含有虚拟耕地。当粮食贸易带着虚拟水流动时，它也带着虚拟耕地在流动。可以说南方买回来的不是水，它买回来的是耕地，是虚拟耕地流向了南方。这样看我国大地上的南水北调工程与“北水南流”现象就好理解了。好理解不等于合理。这里面是否提升了水资源和土地资源的利用效率，还是个问号。也许我们在局部地区和全国范围看是合理的，但是放到全球尺度看就未必合理了。

实水北调也好，虚水南流也罢，本质上是中国土地与水的空间分离，更本质的是人与土地的分离。南方之所以缺乏土地，是人均土地的缺乏，是因为人向南方聚集，人多了才产生了土地匮乏的问题。

有人专门研究了虚拟水稳定呈现输入型的省区（市）的人口迁移状况，发现这些地方与虚拟水净流入相伴随的就是人口的净流入。如北京、上海、广东、浙江、福建地区人口增长的速度很快，数据显示，从2001年至2010年，这些地方人口净增长量分别为：578.9万人、688.7万人、2658万人、833.5万人、253万人。然而这些地方的耕地却增长缓慢，与人口的增长无法匹配。

因此南水北调的本质还是人口的南移，准确地说，是人口从西北向东南移动。那么能不能做到让中国人不向东南移动，而是向西北移动呢？这让我想起了著名的胡焕庸线。人们说这条线无论中国政治社会怎么变化，或者有外力把人口从东南向西北迁移，但过一段时间，这条线还是恢复原样。当年的胡焕庸先生从国外留学回来，开始时，他只想画一张中国人口分布密度图，他在一张中国地图上点点，每一个点代表100人，当他把点点完时，发现中国的东南地区密密麻麻布满了黑点，但是西北却是空白一般，因为中国东南部的珠三角、长三角、杭州湾一带一平方公里有1000多人，许多城市超过1500人，但中国的西北大部分地区一平方公里平均不到100人，很多地方不到10人。他发现从黑龙江的黑河向云南的腾冲连一条线，这条线把中国分成两部分，西北部分占国土面积的64%，但人口却只占4%；东南部分占国土面积的36%，人口却占96%。



南极，全球最大的淡水资源

地球的淡水资源仅占全部水资源的3.5%，在这般有限的淡水资源中，又有一大半都是我们暂时无法利用的冰川和永久冻土。其中以冰雪的形式储存地球上的、淡水资源最多的地方，就是人类难以居住生活的南北极地区，全球60%以上的淡水都蕴含在南极冰盖和北极冰山中。如何开发这份巨大的淡水资源宝库引发了许多人的奇思妙想。法国的建筑师给出了一份大胆的设想——到南北极去做一个浮动在海上的巨大温室。设想中的半球形温室漂浮在南极附近的海面上，将从南极大冰盖上分裂下来随着洋流移动的冰山从浮动温室专门设计的缺口中拉进来，让其融化成水用来浇灌温室中的农作物。打量着漂浮在南大洋上的巨大冰山，那些水资源缺乏的国家还有各种各样的利用想法，有的直接在冰山附近建设啤酒或矿泉水厂，有的则想干脆把冰山用船拖到自己的港口，成为自己的淡水资源。



“红旗河”撼动不了胡焕庸线

“红旗河”调水有一个重要的说法，就是水调到新疆，可以吸引1.5亿人口去新疆，这对新疆的稳定具有重要的意义。也就是说“红旗河”西部调水工程，构想者认为可以移动胡焕庸线。我认为这几乎不可能。

为什么调水到新疆，就能吸引人到新疆呢？当今中国社会已经超越了温饱生活，正在追求具有更高品质的生活。人们追求的并不是水和土地，以及由此产生的工作机会，这是物质匮乏的农业社会的追求。现在是哪里生活舒适惬意，哪里提升生活品质的机会多，人们就向哪里迁移。目前中国有三个人口净流入的地区，一个是粤港澳大湾区，一个是长三角经济区，还有一个是京津冀城市群，这才是人口流动的方向。

因此无论是南水北调也好，虚拟水南流也好，根本的问题是南方对人有吸引力，中国人愿意向南方流动。如果人口向南方流动的趋势不能改变，怎样调水也解决不了这个矛盾。如果中国人口转变迁徙的方向，或者停止迁徙的脚步，那个矛盾和窘境自然就解决了。

注意到了前面提到的虚拟水流入和人口净流入的城市了吗？那里面有一个例外，就是在一众人口净流入的南方城市中出现了一个北方城市，那就是北京。由此可以看出北京的意义。有人以北方缺水为由主张迁都，但是如果把首都迁到富水的南方，不但不能解决调水的问题，而且会出现这样的现象：新首都由于人口的增加，耕地更加匮乏，需要从北方调更多的农产品，加剧了虚拟水南流，为了保证北方的生产，再扩大实体水北流，陷入浪费的死循环。

由虚拟水我们加深了对北方城市意义的认识，尤其是对京津冀城市群意义的认识。北方有地，南方有水，只要北方能留住人，就能减少实体水的南水北调，也就减少了虚拟水的北水南流。如呼和浩特、乌鲁木齐、兰州、银川、西安、太原这些城市吸引的人越多，留住的高级人才越多，越能调来更多的虚拟水。

人口向南方迁移，南方房地产高涨，土地价格上升，南方的土地即使荒芜，也无法进行农业生产。因此需要向南方调虚拟水，调虚拟耕地。假使问题反转，我们把北方弄得像南方一样有吸引力，使得人口能够向北方迁移，问题就会得到解决。

如果我们不希望南水北调，那么就好好地建设北方的城市吧。



责任编辑 / 祁滢
图片编辑 / 吴敬
版式设计 / 介彬
地图编辑 / 王岩

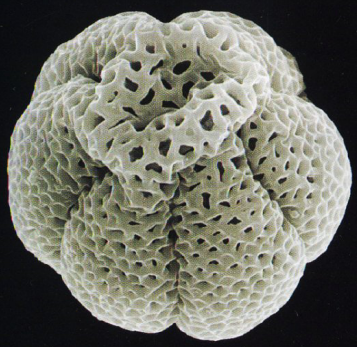


纷繁复杂的花粉记录着不同的遗传密码

不同植物的成熟花粉大小及形态差异巨大。在扫描电子显微镜下，种类纷繁的花粉纤毫毕现地展现在我们眼前。这组显微影像的原始资料来自于中国科学院昆明植物研究所王红研究员及其研究团队。扫描电子显微镜拍摄记录的底图为黑白影像，研究者通过花粉实体观测为影像上色，尝试复原其真实样貌。细观每一粒花粉，它们大多具有复杂而有序的精细结构。不同植物类群之间的差异，在花粉中亦有表现。

花粉过敏悄然降临

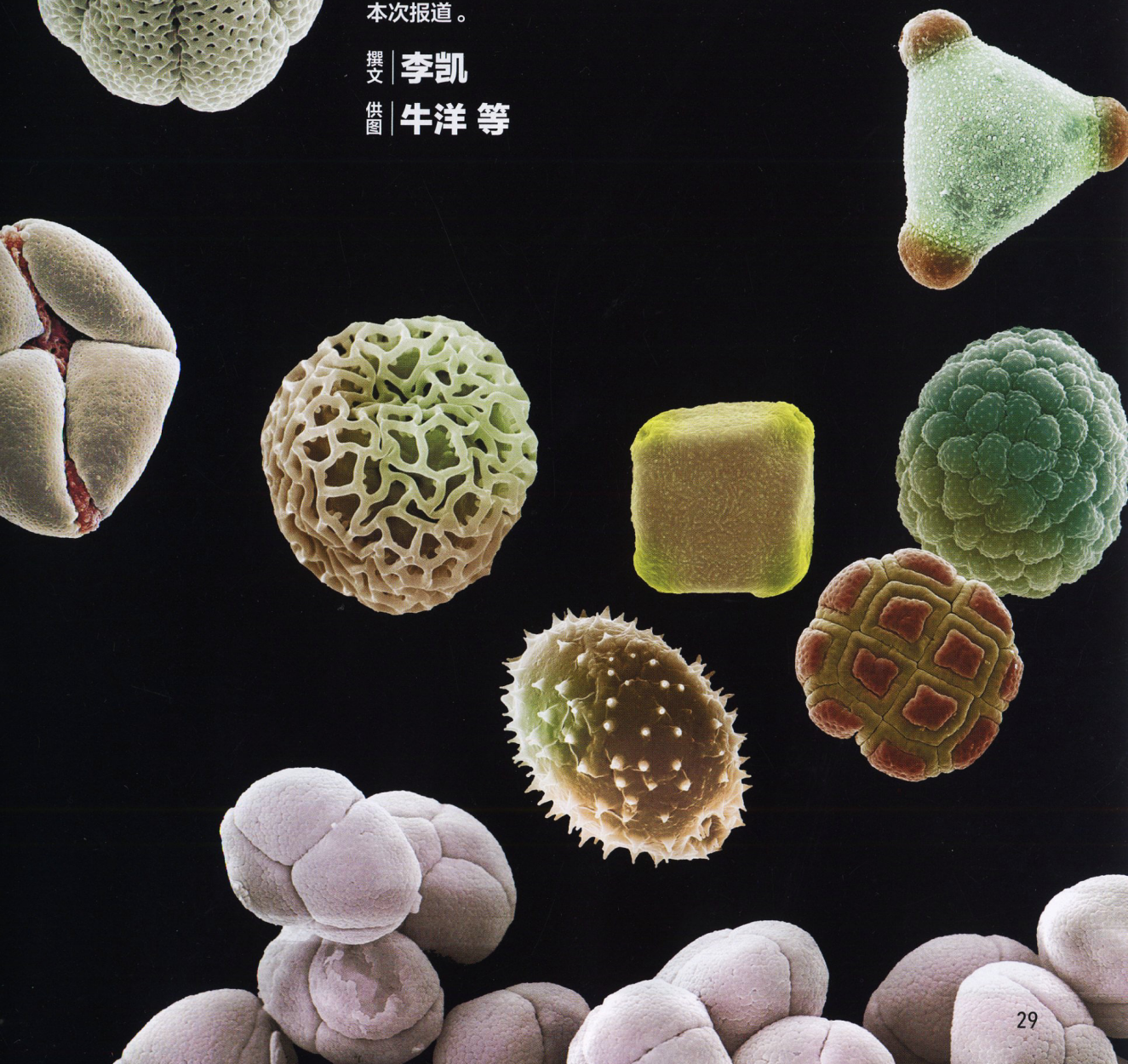
百万放大倍率揭秘致敏源



花开的季节让人欣喜，也会令相当一部分人紧张。我国对花粉过敏的人群数量近年来快速增长，悄然成为新的社会话题。这些细若尘埃的颗粒为什么会引发人体不适？致敏花粉有哪些种类？它们分布何地，容貌如何？围绕这些问题，我们策划制作了本次报道。

撰文 | 李凯

供图 | 牛洋 等



西湖美景三月天，春雨如酒柳如烟。

然而从事植物学研究的牛洋博士并不这样想。“春季最担心去西湖岸边，尤其是晴天。”纷繁花朵盛开的季节，空气中飘舞的花粉会引起他强烈不适——流鼻涕，淌眼泪，打喷嚏，皮肤红肿……

非常尴尬，牛洋的工作恰恰与花粉以及传粉过程有关。

靠风传播的花粉是导致过敏性鼻炎的重要因素

春季的杭州，空气中主要致敏花粉来源于柳树、杨树、松树、悬铃木等乔木。这些树种人们都很熟悉，但说起它们的花粉，却让人感到陌生。

植物可以通过多种方式传递花粉，虫媒和风媒是其中最常见的两类。以昆虫为主要传播媒介的或



松树种类繁多，几乎在我国任何城市都可见到。在分类学上，它们大多属于裸子植物门松科松属，此类乔木既可以在山地构成森林，也被应用于园林绿化。每年春末至初夏，松科植物上散发出的黄色花粉烟雾——无限放大之后，花粉形如古代的银锭，两侧膨大的结构是微型气囊，气囊可以帮助其在空气中传播到更远距离。松科植物的花粉大量飘散在空中，可能引发过敏者身体不适。在日本，松树花粉甚至可以使部分猕猴出现眼睛流泪等过敏症状。



松科树木花粉
Pinaceae
长 70 至 80 微米



松树花粉：春末夏初随着空气飘散如烟



者色泽艳丽或者香气扑鼻，它们吸引并依靠昆虫作为传粉使者；以风为主要传播媒介的花通常不艳丽也不起眼，它们将亿万花粉释放到空气中，花粉依靠风的动力大范围飘散，寻找授粉机会。

杨柳、松树等花粉大多靠风传播。牛洋博士任职于中国科学院昆明植物研究所，他曾进行的一项研究，恰与风媒花的繁育方式相关。相比于桃花、樱花等虫媒花的花粉，风媒花的花粉更加细小轻盈。牛洋说：“花粉携带植物的雄配子，相当于精子的载体。相比于依靠昆虫传播花粉的植物，风媒花的授粉效率要低很多，所以它们需要释放惊人数量的花粉，来弥补大海捞针般的授精机会。”

海量的风媒花粉在无形中给免疫系统敏感的人群带来了困扰。

在上世纪末，很少人有提及花粉过敏。然而近二十年间，因花粉而引起的过敏性鼻炎乃至哮喘等疾病的发病人数显著增加，其中儿童患病率上升尤为明显。

按照多篇较新基础医学文献的统计，几乎所有发达国家的花粉过敏病人口都在增加。在欧洲，花粉过敏的发病率由 20 世纪初的 1% 上升到了 20%，其中法国、英国的花粉过敏人数预估已占到全国总人口的 25% 以上；在美国，发病率大约为 5%—15%；日本为 13%。我国对花粉过敏的人群比例没有上述国家那样高，估计为 1%，部分高发地区可达 5%。



樱属花粉 *Cerasus* 长 120 微米

然而这个数据或许已经不再准确。2016 年，英国的《过敏反应》杂志（ALLERGY）刊登了北京同仁医院张罗等研究者撰写的论文。根据来自 18 座大中型城市的 4 万多份电话调查，论文提出了中国过敏性鼻炎的患病率达到 17.6% 的结论 —— 在 2005 年，这个数据尚为 11.1%。

引发过敏性鼻炎的致病因素有很多，比如花粉、尘螨、霉菌的孢子等等。但在我国北方，花粉无疑是最主要的致敏源。

除了过敏性鼻炎，飘散于空气中的花粉可诱发流泪、流鼻涕、皮肤瘙痒、皮炎乃至支气管哮喘等一系列变态反应疾病。

百花盛开的季节，你对花粉过敏吗？

通常情况下，春季绽放的桃花、樱花等花粉致敏性很低。但对于少数较为特殊的过敏者而言，这些色泽美艳、依靠昆虫传粉的鲜花，其花粉同样会引起身体不适。幸运的是，无论桃花还是樱花，花期都较为短暂，一年中释放花粉的时间段非常有限。



摄影 / 谭秀颖

免疫系统过于灵敏？或许不是好消息

19 世纪初，欧洲医学界通过临床实验确定部分过敏疾病与植物花粉有关，并将这类疾病命名为“枯草热”。1974 年，美国学者提出“致敏花粉属于空气污染物”的观点；在我国，枯草热如今被更加准确地改称作“花粉症”。

较之杭州等气候湿润的南方城市，花粉症在我国北方地区更加常见 —— 风媒花粉的传播需要依靠干燥空气。

微小的花粉并无毒性，它们如何成为致病的因



摄影 / 王辰

素？简而言之，是因为部分人群的免疫系统过于敏感了。

抵御病原体的攻击，人体有三道防线。皮肤、黏膜是保卫人体的第一道防线；体液中的杀菌物质和吞噬细胞是保卫人体的第二道防线，这两道防线人生来就有，并且对多种病原体都有防御作用，因此被叫做“非特异性免疫”。

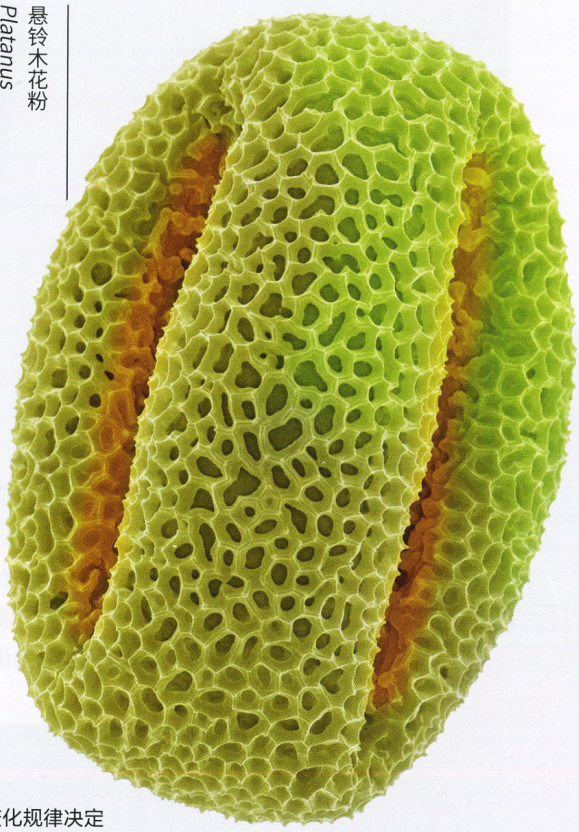
如果这两道防线被突破，人体的第三道防线将发挥作用。这道防线主要由免疫器官和免疫细胞构成。针对不同的病原体（抗原），第三道防线可以产出专门抗击这种病原体的蛋白质（抗体），产出“特异性免疫”。

第三道防线的防御功能过于强大，未必是好事。超级敏感的免疫系统，对有些情况会“反应过度”。原本无害的物质如果刺激免疫系统并使其做出不必要的应答，可能造成机体功能紊乱——这种情况就是所谓的过敏反应。

以花粉为例。花粉中某些特定蛋白，会与过敏者身体中名为 IgE 的一类免疫球蛋白结合，继而刺激肥大细胞（一种免疫细胞）释放过敏介质组织胺。组织

行道树的选择：悬铃木引发争议

悬铃木花粉
Platanus
长 22 微米



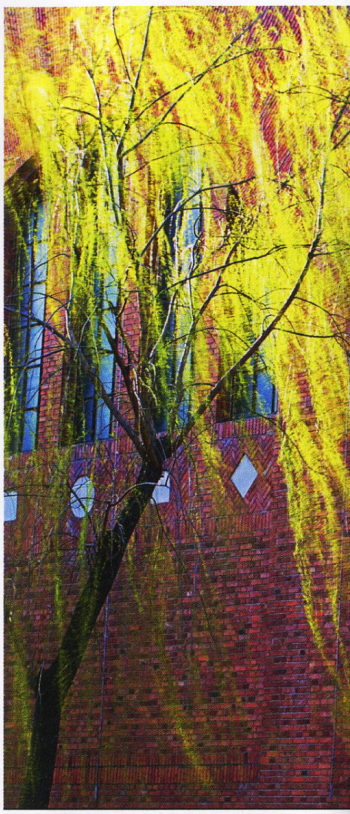
地域性、季节性特征及气候变化规律决定了致敏花粉的传粉时间和分布范围。上海、南京、杭州、武汉等城市中，悬铃木作为行道树出现在街边，至今已有百年。此类高大乔木虽然不是我国本土物种，但其树型优美，在很多城市颇受青睐。每年春季，悬铃木不起眼的花朵悄然绽放，向空气中释放花粉。扫描电子显微镜让我们看到，其花粉表面布满丝瓜瓤状的网纹。除花粉之外，悬铃木果实产生的毛屑也会对人体产生刺激。

摄影 / 邰志强



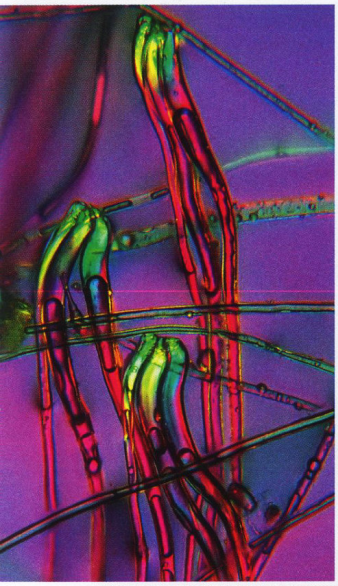
胺会使毛细血管通透性增加，继而引起黏膜水肿、泪腺等腺体分泌增加以及皮肤红肿、瘙痒。

解释得简单粗暴些，将人体比作一个城市，抗体就像是维护监察执法的警察。如果警察过于敏感，对诸如花粉这般原本无害的可疑者实行“错杀一千，不放一个”的严酷打击，身体便会出现过敏症状。



故都的秋虽美，过敏者却更加向往三亚

摄影 / 张超



十年前，也就是北京房价飞涨的起始阶段。好友郝大海卖掉了北京的两套房产，全家搬至海南三亚。搬家的原因很直接：他和父亲都有过敏性鼻炎，而且随着年龄增长，越来越严重。父子二人到了海南后，身体一切安好。他们本以为鼻炎与北京的雾霾有关，没想到 2017 年秋季，趁北京空气质量连续优良的日子回到故乡，老毛病又犯了。

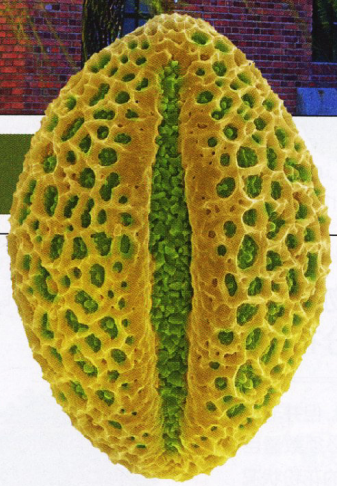
郝大海原先的职业是中学语文教师。他吐槽说：“最头疼给学生讲的课文就是郁达夫散文《故都





摄影 / 陈海滢

除了飞絮，杨柳的花粉也是春季重要的致敏源



柳树花粉
Salix
长 25 微米

在我国北方城市，春季可能会遇到“晴日飞雪”的场景。杨树、柳树的飞絮来自于这两类树木的雌株。显微镜下，可以看到杨絮白色的长毛结构其实是种子基部生长的附属物，它们可以协助种子更远距离地随风旅行。相比于毛絮，杨树和柳树的雄株释放的花粉有着更强的致敏性。



摄影 / 顾垒

的秋》。讲这篇文章时，我全身都觉得痒。”

在医院进行皮试（皮肤敏感试验）检查之后，困扰郝大海的致敏源真相大白，它们是菊科蒿属植物与桑科葎草属植物的花粉。蒿属植物的种类多而复杂，不妨将其统称为蒿草。在秋季，蒿草类花粉是我国许多地区空气中的主要致敏源。

华北地区的蒿草类花粉主要出现在 8 月至 9 月。根据中国科学院地理科学与资源研究所的黄赐璇研究员在 20 世纪末的调查结果，北京地区 9 月中旬空气中的蒿草花粉浓度可达每立方米 353 粒。如果以成年人平均每周吸入 98 立方米空气计算，则在这周内，每个北京人吸入的蒿草花粉超过 3 万粒。

这些花粉来自何处？2016 年《国际生物气象学杂志》（International Journal of Biometeorology）刊登了一篇文章。通过建模分析，该项研究认为影响北京的蒿草花粉主要来源于北京西北、河北北部以及内蒙古。

固沙的蒿草，迫使内蒙古中部、陕北、山西等地出现“花粉移民”

在北京同仁医院，我采访了变态反应（鼻过敏）科的副主任医师段甦。段甦告诉我，在我国北方地区，春季空气中的致敏源主要是乔木花粉；秋季则为杂草花粉。医院接纳的患者在秋季更多，其

花粉为什么致敏？

花粉过敏属于环境性疾病，与花粉种类、人体基因等多种因素有关。近年来花粉过敏发病率呈逐年上升趋势，逐渐成为影响人们生活质量的新问题。花粉对人体本无毒性，但对于免疫系统极为敏感的人群而言，其结构中某些特定的蛋白质能够与人体内相应的抗体结合，继而刺激免疫细胞释放组胺。组胺会使身体产生瘙痒、淌眼泪、打喷嚏等过敏症状。绘图 / 彭韶冲





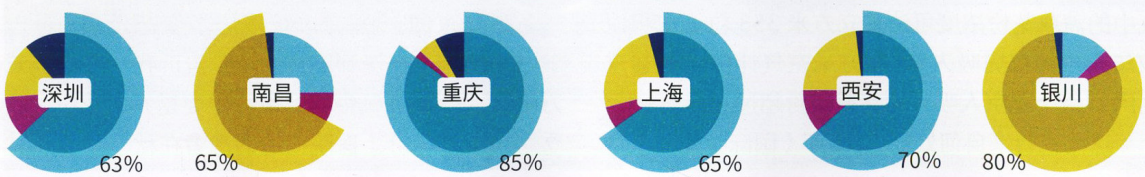
我国十大花粉致敏植物及受之影响的主要城市分布图

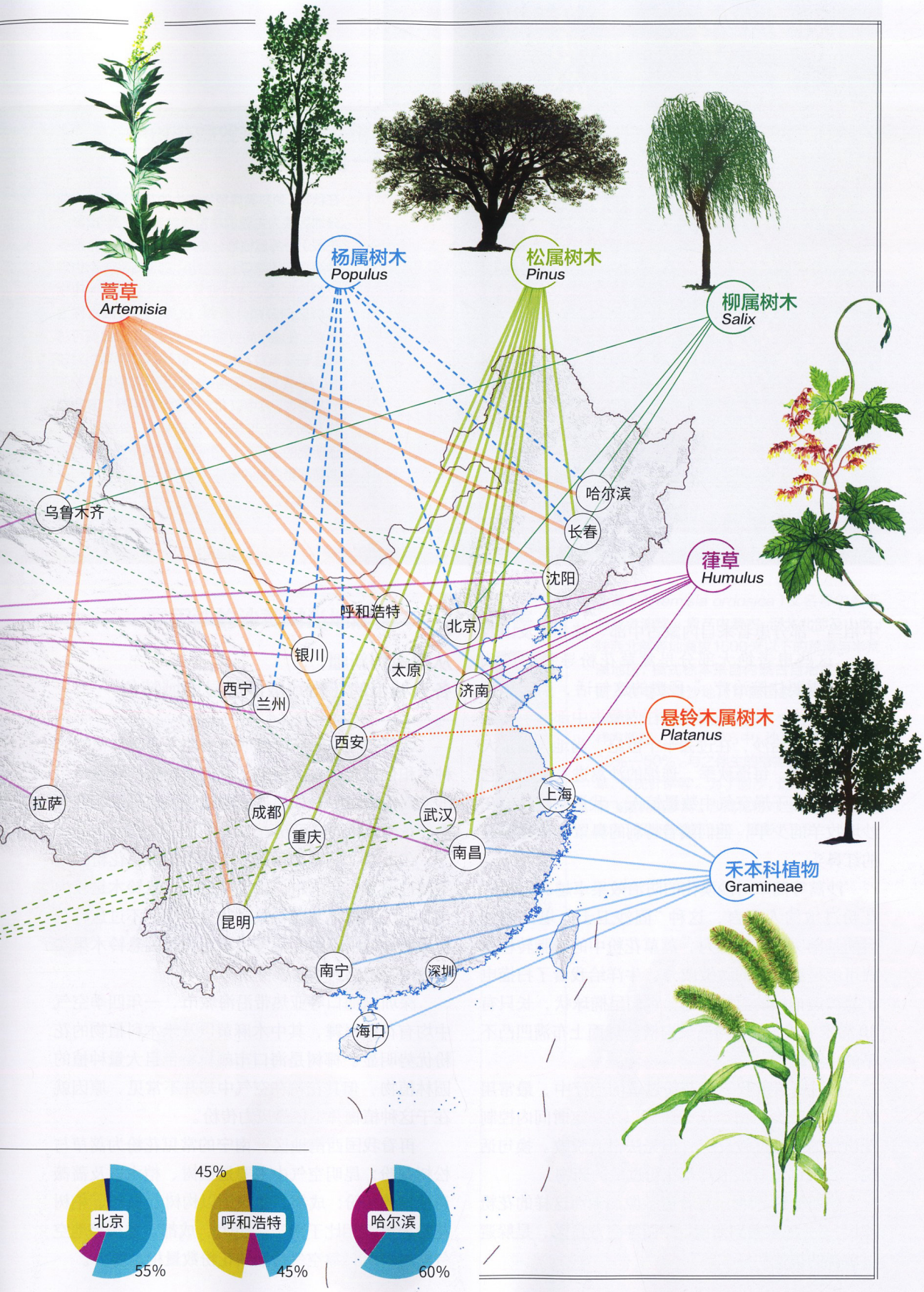
我们身边虽然存在许多种类的花粉，但并非每一种都会引起过敏。致敏的花粉必须数量巨大，并且容易被人体吸入。大气中的花粉状况与地理环境以及花粉源的构成有关，同时也受到季节以及空气湿度等因素的影响。在我国大部分地区，花粉致敏最为严重的季节是春季与秋季：其中春季空气中的花粉主要来自于乔木，秋季则更多源于蒿草等草本植物。我们绘制了十类主要的花粉致敏物种，并列出了受到它们影响的部分城市。就全国范围来看，目前西北、华北等地花粉过敏的人群比例较其他地区更高。绘图 / 林语尘

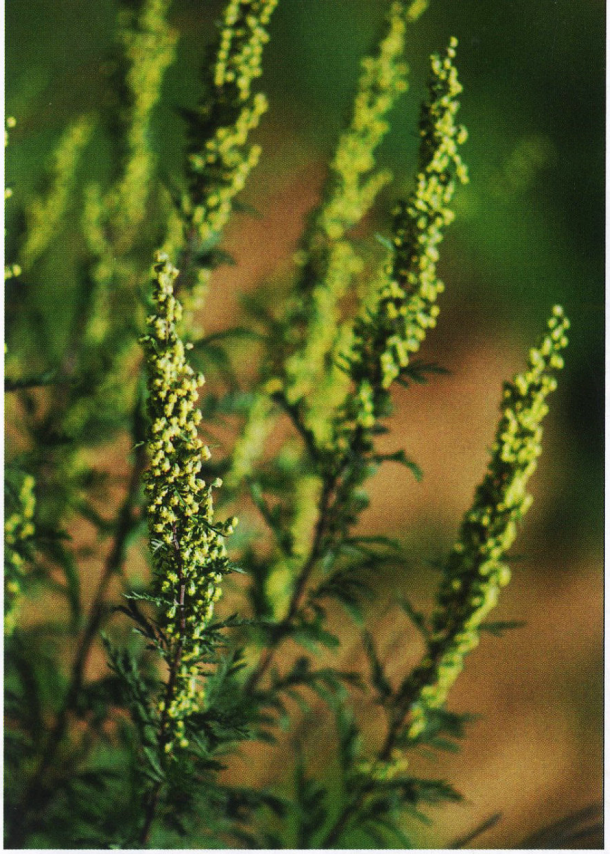
不同季节空气中花粉数量占全年总数的比例分布



春季表示为3月至5月；夏季为6月至8月；秋季为9月至11月；冬季则为12月至次年2月。我们所列举的城市中，春季花粉数量占绝对优势的有：深圳、重庆、上海、西安、北京、哈尔滨；秋季花粉数量占绝对优势的有：南昌、银川；在内蒙古自治区的呼和浩特，春秋两季花粉数量几乎持平。




蒿草
Artemisia
杨属树木
Populus
松属树木
Pinus
柳属树木
Salix
葎草
Humulus
悬铃木属树木
Platanus
禾本科植物
Gramineae
乌鲁木齐
哈尔滨
长春
沈阳
呼和浩特
北京
银川
太原
西宁
兰州
济南
西安
拉萨
成都
重庆
武汉
上海
南昌
昆明
南宁
深圳
海口
北京
55%
45%
呼和浩特
45%
哈尔滨
60%



蒿草花粉：我国秋季致敏花粉中排名第一位的杀手

在秋季，菊科蒿属植物产生的花粉是我国大部分地区最为主要的花粉致敏源（左图 摄影／王辰）。蒿属植物分布广泛且种类众多，很多种类之间的差异非常微小，即便专业人士也难以准确鉴定。不过要将蒿属植物与其他植物类群区别开却并不难，这类植物可以被称为蒿草，在城市间只要有裸露土地，它们便可茁壮生长。蒿草花粉主要靠风传播，花期相对较长，7—10月全国各地空气污染物中均可监测到其身影，其中以北方地区尤其明显。蒿属植物花粉长约30微米，形态卵圆，外壁上有三道明显的纵向沟。目前认为，蒿草花粉中的磷脂转移蛋白是致敏的主要成分。

中相当一部分患者来自内蒙古中部、陕北以及山西。

“这些患者绝大部分是蒿草花粉导致的过敏，严重的需要住院治疗。”段甦的这句话，引起了我的格外关注。我曾经两次去往内蒙古中部的毛乌素沙地，因为治沙，在过去半个世纪，当地飞播了大面积的沙蒿。每逢秋季，连绵的沙蒿进入花期，它们的花粉在干燥空气中数量惊人。我遇到过几位在沙地牧羊的少年，他们戴着特制的鼻罩，像是小丑的红鼻头。

沙蒿等蒿草对沙漠化的防治效果卓越，但是对花粉过敏的人而言，这种“固沙卫士”堪比瘟神。目前基础医学研究认为，蒿草花粉中的磷脂转移蛋白可能是最主要的致敏成分。牛洋给我看了扫描电子显微镜拍摄的蒿草花粉：它们呈椭球状，长只有30微米；球体上有三道长沟槽，球面上布满凹凸不平的小突起。

段甦则告诉我，在花粉过敏的治疗中，最常用的是抗组胺类药物。这类药可以在一定时间内控制花粉症的急性过敏反应，但无法根治脱敏。换句话说，目前尚没有根治蒿草花粉过敏的药物。

陕西榆林等地，有着更多像郝大海这样的花粉移民——把家搬到海南、广西等南方省区，是躲避过敏源的最佳抉择。

从海南到新疆，各大城市的花粉致敏源彰显地域特色

城市空气中的花粉组成与当地主要园林植物的种类和传粉方式直接相关，因此有较强的地域特色。即便在南方城市，如果遇到晴朗干燥的日子，空气中的花粉数量同样可观。

在上海，初夏的构树以及秋季的葎草花粉构成主要过敏源；在杭州、武汉与南京，悬铃木是较为常见的行道树，其花粉数量非常可观。不过这种花粉致敏性似乎不强，更多过敏患者是因悬铃木果实飘散的毛屑感到不适。

深圳、海口等亚热带沿海城市，一年四季空气中均有花粉飘舞，其中木麻黄以及禾本科植物的花粉优势明显。椰树是海口市颇具特色且大量种植的园林植物，但其花粉在空气中却并不常见，原因就在于这种植物并不依靠风力传粉。

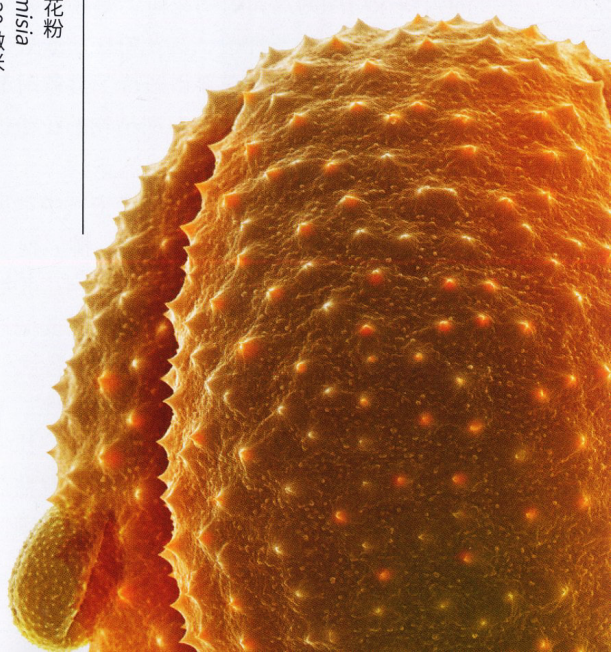
再看我国西南地区，南宁的常见花粉为蒿草与松树花粉；昆明空气中主要是松树、桤木以及蔷薇科植物的花粉；成都、重庆则以构树、枫杨、柏树花粉为主。相比于南宁、昆明，成都、重庆等地空气湿度较大，靠空气传播的花粉数量相对要少。



固沙的沙蒿对当地居民产生致敏危害

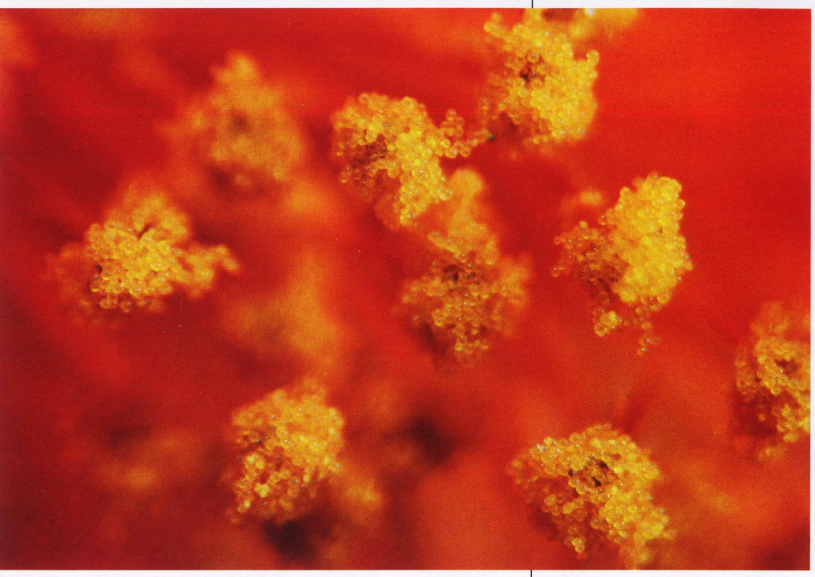


蒿草花粉
Artemisia
长约 30 微米



沙蒿（*Artemisia ordosica*）又名鄂尔多斯蒿或者油蒿。原产内蒙古、河北北部及山西、陕西北部等地海拔1500米以下的荒漠与半荒漠地区，模式标本采自内蒙古自治区鄂尔多斯。在毛乌素沙地，《中国国家地理》编辑部组建的考察队曾经进行了10米×10米的植物样方调查。在多个样方中，沙蒿的覆盖度达到30%—50%，与之伴生的植物有乳浆大戟、羊草、克氏针茅等。为了固沙，这一带曾经大面积飞播种植沙蒿。沙蒿花粉对当地居民的致敏危害，近些年显现出来。摄影 / 王彤

植物为什么要制造这么多花粉？





花粉携带着植物的雄性配子，是遗传物质的载体。花药上的花粉囊是生长和散出花粉的结构，而柱头则是接受花粉的结构。植物为什么要产生那么多花粉？进化生态学家尝试从各个角度回答这一问题，其中重要的一点就是传粉效率。以昆虫传粉的花，最终能够到达柱头的花粉不足1%；靠风传粉的花粉，遇到雌花柱头的几率更是低得可怜。制造大量花粉，是抵御传播途径中各种损失所必须的代价。摄影 / 牛洋

地处青藏高原的拉萨以及西北地区的乌鲁木齐、兰州、银川、西宁、西安、呼和浩特等城市中，最主要的致敏花粉均为蒿属植物花粉。其中在西安城区，随着悬铃木的广泛种植，其花粉在初夏数量可观并具有一定致敏性；而在呼和浩特，夏秋时节除了蒿草花粉，禾本科、藜科、菊科植物的花粉也较常见。

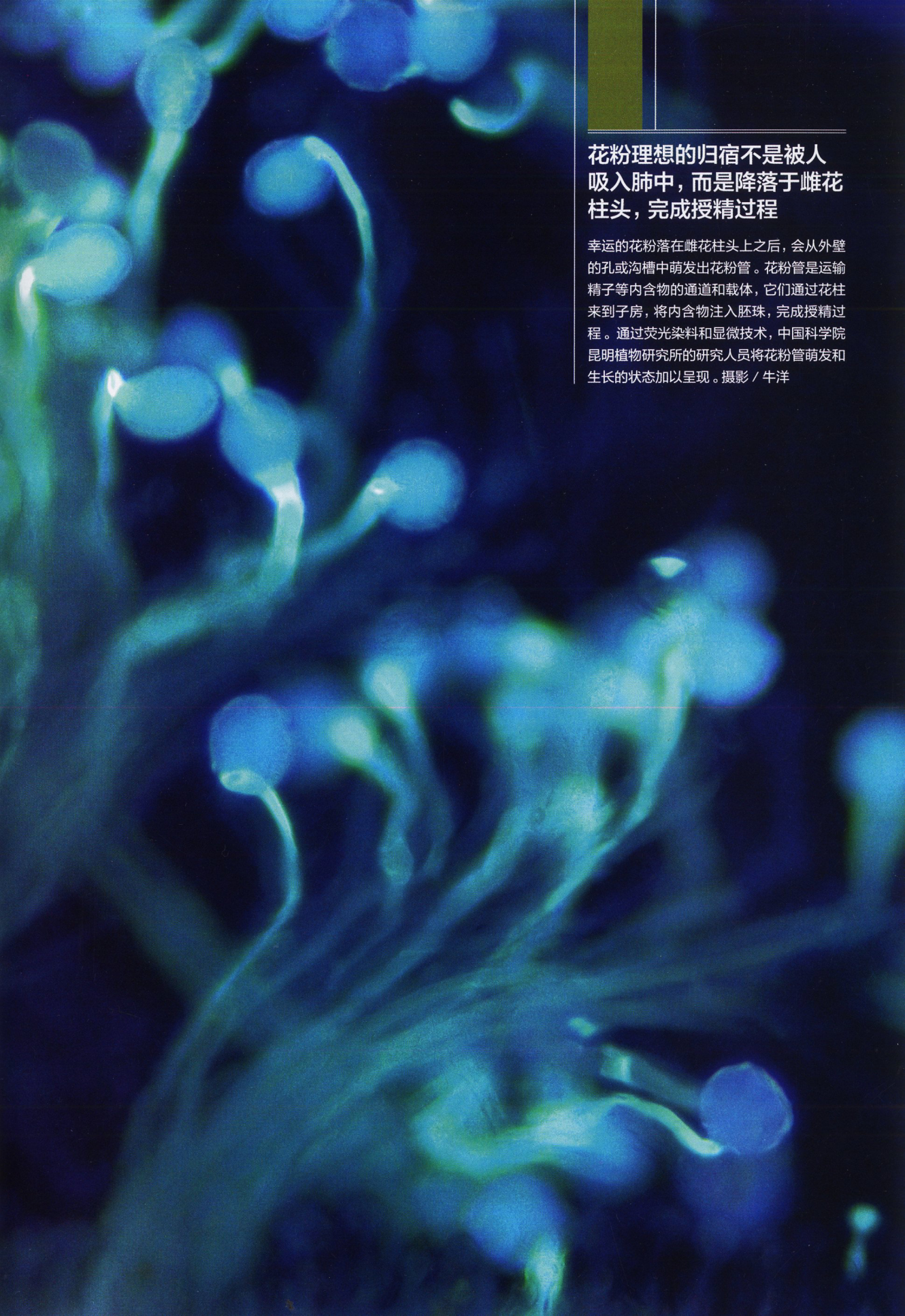
哈尔滨、长春、沈阳，这些城市空气中常见的花粉种类与京津地区趋同。春季的杨、柳、松、榆与秋季的蒿草花粉构成主体成分，但我国东北地区花粉过敏患者的比例较华北以及西北地区要低许多。

上述信息，来自于过去30年间全国各地的花粉监测。监测空气中的花粉，并不十分困难。早在19世纪末，西方人便发明了花粉收集器。其中最常用的方法是：把涂有粘附剂的载玻片竖直粘在风标上，随着风标转动，大气中的花粉以及尘霾便会被粘在载玻片上。随着技术不断进步，收集空气中花粉的方法几经改良，精度得到进一步提高。

根据各地的基础信息可以总结出：我国大部分地区春季的致敏花粉主要来自于柳树、杨树、松柏、榆树、悬铃木等乔木；秋季致敏花粉则来源于蒿属、豚草属、葎草属以及禾本科、藜科的草本植物。

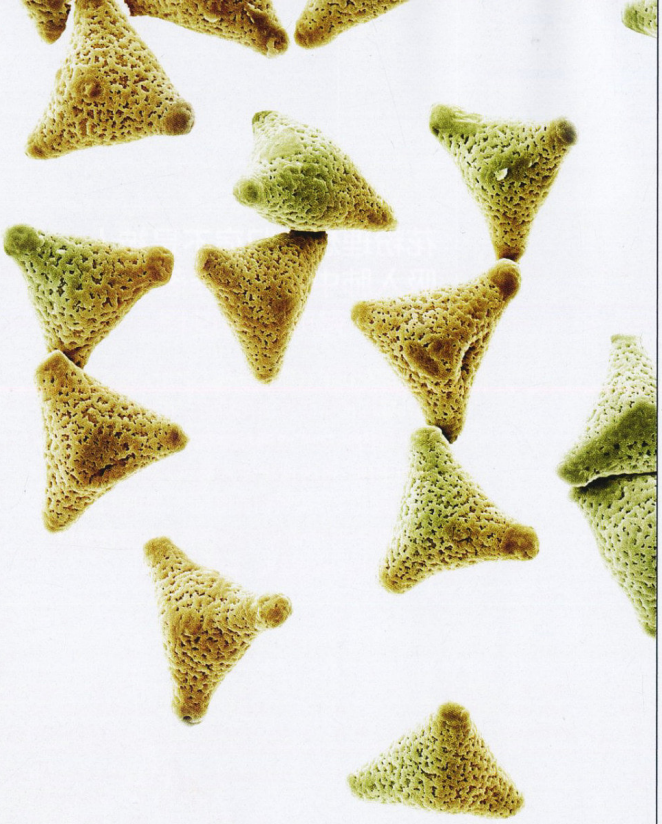
中科院昆明植物研究所的研究团队揭秘花粉众生相

在中国科学院昆明植物研究所，我看到了许多花粉的高清显微图片。这些图主要来自于王红研究员所带领的研究团队。在数十万至百万倍的放大倍数之下，几十微米大小的花粉呈现出非常清晰的超显微结构。



花粉理想的归宿不是被人吸入肺中，而是降落于雌花柱头，完成授精过程

幸运的花粉落在雌花柱头上之后，会从外壁的孔或沟槽中萌发出花粉管。花粉管是运输精子等内含物的通道和载体，它们通过花柱来到子房，将内含物注入胚珠，完成授精过程。通过荧光染料和显微技术，中国科学院昆明植物研究所的研究人员将花粉管萌发和生长的状态加以呈现。摄影 / 牛洋



火轮木花粉 *Stenocarpus* 长约 25 微米

扫描电子显微镜拍摄的高清图像对于花粉形态学的基础研究有着重要意义。这些图像也让我们感受到，形形色色的花粉并非面目狰狞的恶魔。一种火轮木类的花粉形态如膨脆可口的妙脆角。供图 / 张明英

花粉并非面目狰狞，有些就像美味的糕点和零食

在以往的科普读物中，花粉常被绘制成流星锤、狼牙棒之类的狰狞样貌。可我这次看到的花粉图片，形态真实而且可爱：棣木花粉像魔方；樱花花粉像蚕茧；西番莲花粉像网球；南瓜花粉像鼓成球的河豚；金莲花花粉像陕西肉夹馍；马先蒿的花粉像是被偷去了中间肉饼的汉堡包。

如此千姿百态的花粉也是为植物分门别类的重要依据：亲缘关系较近的植物，往往具有相似的花粉形态，而关系较远的植物，花粉形态也常有差异。正是如此，研究者才能通过空气中的花粉形态确定致敏植物的大致种类。

除棣木外，上述花粉大多来自于低致敏性的虫媒花。然而近几十年来，随着过敏人数的上升，因虫媒花花粉致敏的病例也在悄然增加。以樱花为例：无论在日本还是我国，越来越多的人发现在樱花盛开的季节，与花接近时会出现过敏反应。

致敏花粉种类的复杂化，使得医生对致敏源的排查更加困难。在撰写这篇报道的时候，我发现身边对花粉过敏的朋友数量超出想象，可能导致过敏的花粉，堪称千奇百怪。

和我同办公室的同事，擦鼻涕已经用光了一打抽纸。他本以为自己是感冒，但许久无法康复。某天他把桌上开花的几盆多肉植物搬到别处，病症终于奇迹般消失了。

扫描电子显微镜揭示花粉超微结构

谷志佳

中国科学院昆明植物研究所
工程师

摄影 / 王洽



扫描电子显微镜（Scanning Electron Microscope），简称 SEM，是一种大型分析仪器，被广泛用于观测各种固态物质表面超微结构的形态和组成。扫描电子显微镜根据电子光学原理，用聚焦很细的电子束照射样品表面，电子束与样品相互作用产生各种信息，使物质的细微结构在高放大倍数下清晰成像。

扫描电子显微镜有许多独特的优点：（1）放大倍数大，扫描电子显微镜可实现 10-100 万连续变倍。（2）分辨率高。其分辨率与电子束直径有关，电子束斑越小，分辨率则越高，现在场发射扫描电子显微镜分辨率可达到 1 纳米。（3）景深大，视场大，富有立体感。

花粉大小从几微米到几百微米。它们形状稳定，许多微细形态特征可以明显地体现出种间差异与生存信息，在遗传学和分类学研究中有重要的科学价值。相比于光学显微镜，扫描电子显微镜对花粉立体结构成像，尤其是超微结构成像有更好的效果。

酷似“马卡龙”的花粉难成美食，却对地质考古意义重大



马先蒿花粉
Pedicularis
长约 22 微米

分布于我国青藏高原及横断山区的马先蒿属植物（下图 摄影 / 牛洋），某些种类的花粉像是被偷吃掉肉饼的汉堡包，或者法式甜点马卡龙（供图 / 赵延会）。以干重计算，花粉含有16%—40%的蛋白质、1%—7%的淀粉、0—15%的糖、3%—10%的脂肪以及磷酸盐等物质，确实营养丰富。但花粉外壁非常坚固，能够抵抗较大强度的酸、碱、高温、高压以及氧化，很难被人体消化吸收。不过从另外角度来看，花粉数量多、体积微小、外壁坚固，它们在第四纪沉积物中可以比较完整地保留下来，在地层中形成化石。在地质考古、古气候、第四纪古植被等研究领域，花粉类化石具有重要意义。

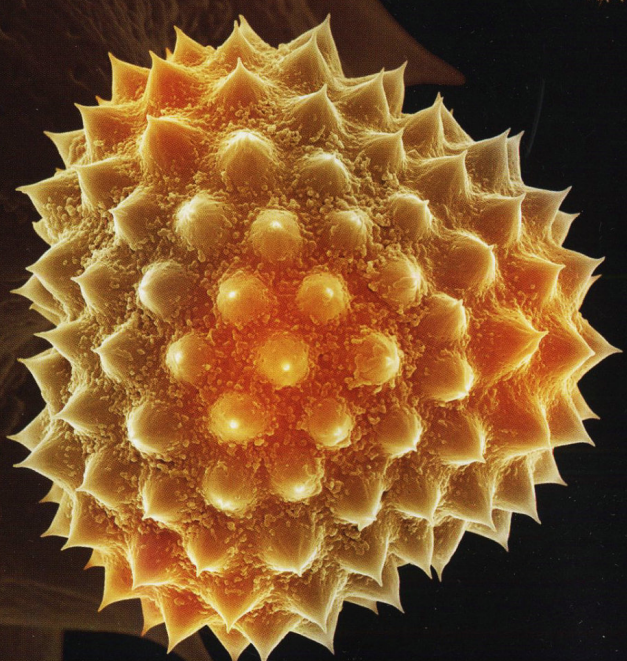


豚草花粉长度仅有20—22微米，样貌平淡无奇，像干瘪的荔枝。可它们却是美国和加拿大最主要的致敏花粉。在20世纪30年代，豚草以入侵物种的身份出现在我国东北地区，近半个世纪来，它们在我国大江南北大肆繁衍，花粉致敏的严重程度甚至超过蒿草，成为未来潜在的隐患。

豚草：强致敏性的入侵物种构成潜在隐患

豚草花粉
Ambrosia
长约 20 微米

5μm

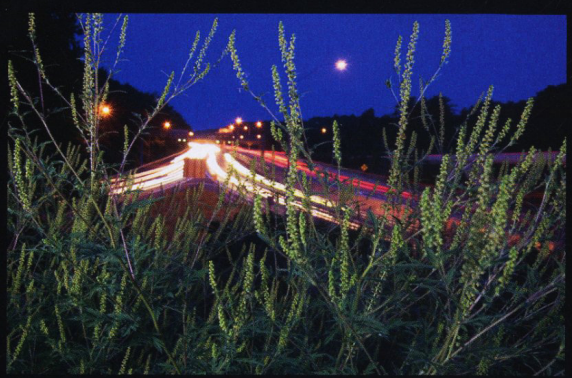


花粉症逐渐成为社会话题，医学领域上空飘来一朵乌云

花粉症患者为什么越来越多？究其原因，一方面可能与生活水平提高有关——卫生的习惯无形中促进人体免疫系统变得敏感；另一方面则因为致敏源的增加。随着城市化的加速，公园绿地面积不断扩张，空气中花粉数量也随之上升。

此外，城市雾霾对花粉症患者的增加亦有促进。雾霾的成分非常复杂，其中包含了矿物质、油滴、动物毛屑、燃烧后的粉尘等等。在花开的季节，空气中的污染物会让花粉更加持久地飘浮，甚至可能改变花粉的表面形态及结构。

从空间尺度来看，大气中花粉的来源与扩散路径则会涉及到更加广泛的区域。我想起在毛乌素沙地看到的大面积沙蒿——到了花期，沙蒿的花粉



在空气中会呈现出爆发性增长。随着空气运动，这些花粉可能会在较大范围内造成影响。

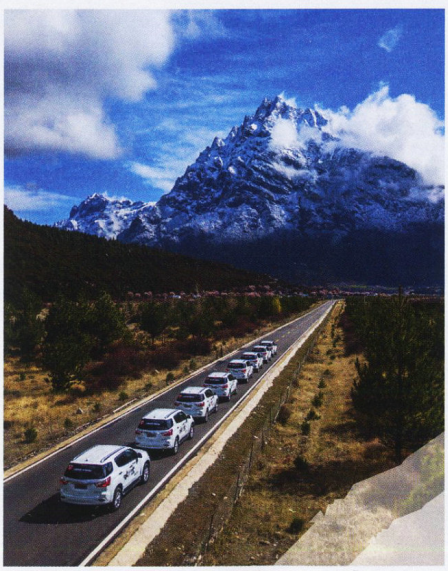
花粉过敏看似事小，细究起来却是涉及植物生态学、大气生物学、免疫反应学的综合性难题。花粉症能否被彻底根治？越来越多的人翘首以待。

责任编辑 / 高新宇　图片编辑 / 高新宇
版式设计 / 介彬　地图编辑 / 陈云

牧行万里 探知神州

——江西五十铃 mu-X 牧游侠携手《中国国家地理》
藏东南冰川科考活动完满收官





4 月 20 日，历时 8 天披荆斩棘，江西五十铃 mu-X 牧游侠携手《中国国家地理》科考系列活动首站——“探界冰川之极，行摄雪山之美”藏东南冰川科考活动在西藏林芝完满收官。这也是国内首支携会员与媒体，深入藏东南进行科学考察的专业车队。

探界冰川之极，行摄雪山之美

此行全队先后驱车至来古冰川、仁龙巴冰川、米堆冰川及尚未官方命名的“栋曲”冰川。来古冰川以发育美丽的拱弧构造闻名，是帕隆藏布的源头，冰雪融水流进然乌湖，湖畔是茂密的原始森林，还有很多原始的藏族村落；仁龙巴冰川，冰舌末端海拔达到 4560 米，至今未被开发仍保存着原始状态；米堆冰川是藏东南海洋性冰川的典型代表，由高到低横跨高山草甸、灌木丛和针阔叶混交林三个植被地带；而“栋曲”冰川更是人迹罕至仍未被命名（由于冰川附近流经栋曲河，暂称作“栋曲”冰川），冰舌延绵进云杉林海中。全队人员沿冰川徒步，测量冰舌最低海拔，记录冰碛湖湖水温度，航拍冰川末端全貌，用热情和严谨的态度探界冰川之极，行摄雪山之美。

朗秋星夜露宿，云杉林海漫步

素有冰川之乡美称的波密，也是我国单位面积森林蓄积量最高的地区，在海拔 3000 米左右的原始森林中坐落着一个名为朗秋的藏族村庄。这里万籁俱寂，被难以望穿的绵延雪山和幽邃而神秘的荒野密林所包围，队员们在环境如此美好的地方搭起户外帐篷，围坐在熊熊篝火旁，在一片繁星之下畅聊一路下来的所感所想；次日徒步穿越中国完整的云杉森林，用生长锥取树木年轮样本作相关研究，在天然氧吧里探寻动植物的奥秘。



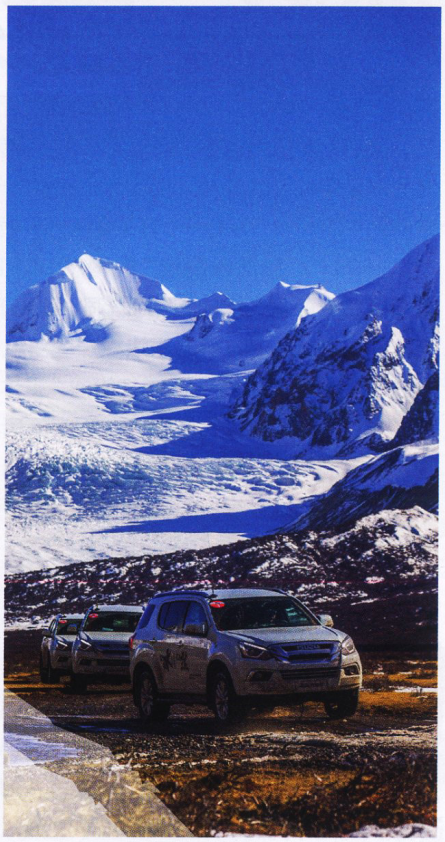
科考级 SUV 牧游侠，一路实力护航

都说“川藏难，难于上青天”，从林芝到波密到然乌，从来古冰川到仁龙巴冰川，平均海拔均在 3800 米左右，雨雪冰雹等各种恶劣天气，以及随时可能发生的泥石流、塌方使得这一段路程并不平坦。而仁龙巴冰川更是由于同时具备冰雪路面、炮弹坑、搓板路、起伏坡、河水路等各种难以跋涉的非铺装路面，变得更加人迹罕至。mu-X 牧游侠则发挥科考级 SUV 的英雄本色，一路保驾护航。

高原地区空气稀薄，驰骋于此地，一台动力强劲的发动机是强大助力。2000 转时达到最大扭矩 430 牛米的澎湃输出，即使是 1.9T 车型也能轻松攀上海拔 4900 米的山口；前双叉臂后整体桥式悬架和 225 毫米的最小离地间隙，使得车辆的抓地力和通过性相融合；越野标配的分时四驱和后桥差速锁，在经过陡坡泥坑等烂路时攀爬脱困，翻山越岭不在话下；4 月的正午，仁龙巴冰川部分冰雪消融积流成河滩，而涉水深度达到近 950 毫米的牧游侠却能穿流而过。







科考之路漫漫，mu-X 牧游侠的大空间，能够装载大量随行物品；全新的标配腰托缓解长途驾乘的疲劳感，Carplay&Carlife 交互系统，实现双平台智能手机互联为旅途增添更多娱乐享受；一箱油能跑 700-800 公里的续航力更免去加油不便的烦忧。

探界冰川之极，行摄雪山之美，藏东南活动告一段落。接下来《中国国家地理》还将与江西五十铃 mu-X 牧游侠带领科考团队陆续探访三江源、阿尔金无人区和新疆南戈壁，在祖国的大美山河中，用车轮和脚步丈量天地，用科学和专业敬畏自然！

（注：文内车辆相关数据来源于江西五十铃）

广告

12个关键词 14位专家

带你一起热议“红旗河”



杨勤业
中国科学院
地理科学
与资源研究所
研究员



王浩
中国工程院院士
“红旗河课题”专家组组长

编者按

2017年12月以来，“红旗河”这个名字频频见于媒体，并引发了全社会的关注。但实际上它并非一条真正存在于自然之中的河流，而是一个有关我国西部调水的方案。

按照“红旗河课题组”的构想：该工程计划从雅鲁藏布江中游取水，采取山区打隧洞、平原开明渠、河道之间用水库等方式，沿青藏高原边缘全程自流，输水至我国西北缺水地区。并初步估算，“红旗河”主体工程投资约为4万亿元，建设周期大约十年。工程实施后，将在西北地区创造20万平方公里的绿洲、2亿亩灌区和牧场，形成一条1000公里长的运河，使得西北地区具备承载超亿人口的生存与发展空间。

这个宏大的调水工程，勾画出了一个令人心潮澎湃的未来，在获得众多推崇的同时也引起热烈争议。从科学的角度来看，在专业上还没有经过认真辩论的问题，不宜直接拿给公众来“评判”；也不能把科学上还有巨大争议的事情，推给政府去“决策”。为此，本刊从有关“红旗河”构想的描述中提炼出最关键的12个词，并由此引申出争议最大的几个问题，特邀多位水利、工程、地理等领域的专家（排名不分先后），就此进行释读并展开热烈讨论，力求让读者尽可能深入地了解“红旗河”的各个方面：创新、收益、风险、困难……

西部调水

绿洲



关志华
中国科学院
地理科学与
资源研究所
研究员

何希吾
中国科学院
地理科学与
资源研究所
研究员



姜鲁光
中国科学院
地理科学与资源研究所
副研究员



谭成轩
中国地质科学院
地质力学研究所
研究员



青藏高原边缘

梁季阳
中国科学院
地理科学与资源研究所
研究员

灌区和牧场



杨勇
横断山脉研究会
会长

“红旗河”干线、支线及相关水系、流域图

按照“红旗河课题组”公布的构想：“红旗河”西部调水工程预计年总调水量为600亿立方米——相当于黄河的年径流量；干线长度为6188公里（含自然河道）——接近于长江的干流长度；从西南诸河、长江流域调水，到黄河流域和内流诸河流域。此外还设计有3条支线——通向延安方向的“红延河”，通向内蒙古、北京方向的“漠北河”，以及通向吐哈盆地的“春风河”。

资料提供：“红旗河S4679课题组”本页绘图／谭希光

西部调水

调水是解决西北干旱区发展问题的最佳方法吗？

专家观点

邓铭江

“调水对我们新疆来讲太重要了”

郑度

“我国的西北干旱区不应靠调水来解决发展的问题”

何希吾

“我国的水资源布局，总体到底应该怎样搞，那么多的水量是往东调，还是往西调，这是个根本的问题”

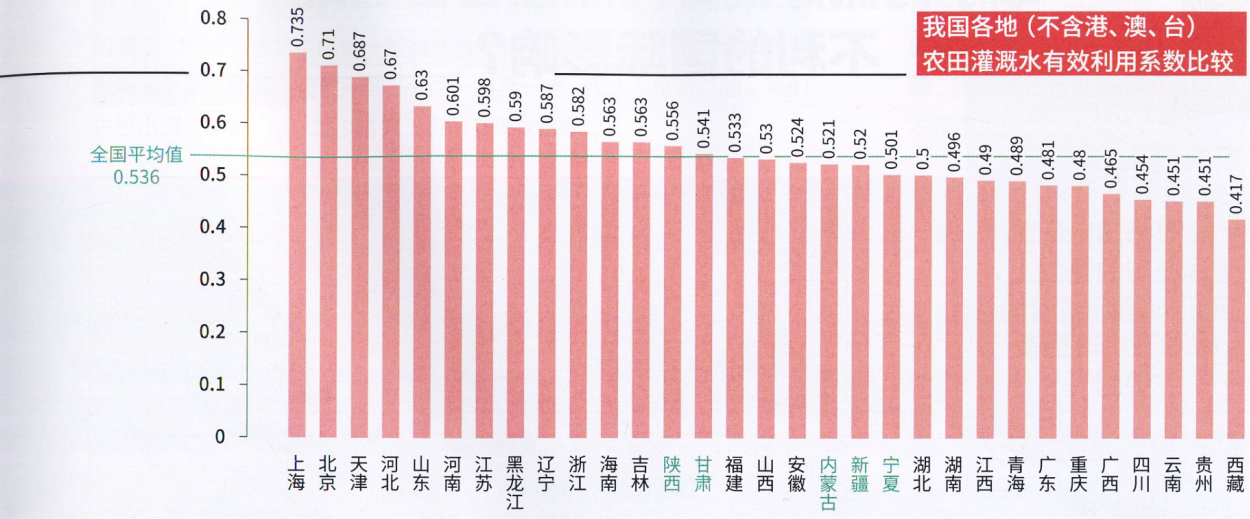
邓铭江

西线调水是我国建设“水三线”战略空间格局的重大工程。哪三线？第一条线就是胡焕庸线。第二条线是阳关线，一定要想法把水送出阳关。第三条线是新疆的奇策线，沿奇台和策勒画一条直线，把新疆分为面积大致相等的西北部和东南部两个部分。西北部水资源量、GDP、人口、耕地面积都占新疆90%，而东南大壁山河全是荒土。这不但是我们国家空间战略格局的一种悲哀，更是新疆资源配置、空间开发失衡的悲剧。**胡焕庸线提出80多年，经过这么多年仍然没有突破，我们新疆孩子上学的口号就是突破“新西兰”（新疆、西安、兰州），他们都不愿意在这里待，都跑到胡焕庸线东南去了，包括西北各省区的孩子，谁不向往北京、上海啊？胡焕庸线东南人口越聚越多。调水对我们新疆来讲太重要了，必须要建设我们的绿洲，为民族融合提供资源和平台，否则这就是一句空话。**

从水资源循环开发和社会经济发展的角度来讲，目前为止，新疆农产品生产每年的耗水量约600亿立方米，其中有300亿立方米通过虚拟形式流通到了内地，为什么呢？**全国棉花40%产量在新疆，哈密瓜、香梨，这些农产品中都有耗水量，无形当中把300亿立方米的一条大河西水东调，这种经济形式是以牺牲环境作为代价的。无论是从新疆社会水循环，还是自然水循环的角度来讲，我们也应该把这个用水量补起来，维持这样一个社会、经济、生态良性循环。这非常需要，非常迫切，意义重大。**



本图摄于宁夏南部的海原县，这里曾经与西吉、固原等几个贫困县统称为西海固，是我国西北地区最为贫瘠的干旱地之一。在西海固也曾建设许多水利工程，然而其后续利用却令人堪忧，图中豪华的水利设施如今成为了干渴找水的牲口的福地。摄影 / 杨勇



数据来源：中华人民共和国水利部《各地区农田灌溉水有效利用系数测算分析成果表（2015）》

农田灌溉水有效利用系数指灌溉期间被农作物利用的净水量与水源渠首总引水量的比例，是反映灌溉用水管理的一项重要指标。上表是我国各地区与全国平均农田灌溉水有效利用系数的比较。虽然西北地区（新疆、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西）缺水情况严峻，但新疆、宁夏和内蒙古的这一指标均低于全国平均水平，在如何提高水资源利用率的问题上，这些地区还有很大的发展空间。

郑度 **从全世界范围来看，有的干旱区像中东的以色列，他们没有从远方调水，但重视水资源管理和节水，而且发展得很好。所以，我国的西北干旱区不应靠调水来解决发展的问题。从人类改造自然的工程来看，上世纪30年代美国对西部草原的大开发，50年代前后，苏联的斯大林改造计划（从咸海调水要改造中亚干旱区）都是失败的。所以人类要总结成功经验，吸取失败教训。否则就会像马克思引自比·特雷莫的名言所说：“不以伟大的自然规律为依据的人类计划，只会带来灾难。”**

我国西北干旱区的新疆在全球有独特的优势：它具有“山盆结合”的地貌特征：如新疆有三山（阿尔泰山、天山、昆仑山）夹两盆（准噶尔盆地和塔里木盆地）；另外，它位于北半球中纬度盛行的西风带内，遇到山地障碍时可形成一定降水，是本区降水的主要来源，在高山则形成积雪和冰川。高山里的冰雪融水和山地径流到了盆地平原就可种植庄稼形成绿洲。**我国西北干旱区水资源的利用，关键在于受人类活动的影响。比如塔里木河上游对水资源的不合理利用（如阿克苏要建森林城市），导致中下游缺水，兵团和地方政府要协调好水资源的管理。此外，上世纪90年代新疆在天山北麓引进了不少内地企业，导致缺水和污染；南疆和田等绿洲近年扩大枣树的种植，也会影响粮食生产所需的用水等。**

何希吾 我国的水资源布局，总体到底应该怎样搞，那么多的水量是往东调，还是往西调，这是个根本的问题。**是往东去解决包括华北地区在内的东部平原地区的缺水问题，还是把水调到西部干旱半干旱的边远地区，这应有个基本的判断。这样才能够为我国的建设工作提供一个科学依据。**任何重大工程都应遵循自然规律、经济规律和社会规律，违背这些规律，都不会成功。

取水

取水河流是国际河流是否会造成不利的国际影响?

专家观点

邓铭江

“在遵循国际河流基本原则的基础上,我们对国际河流的开发不应该畏首畏尾”

关志华

“我们先提出调水研究,可以减少将来下游国家来找麻烦”

何希吾

“南亚和东南亚国际关系很复杂,我认为目前我们国家不要给自己再找麻烦,必须慎重”

杨勇

“如果我们闭门造车,眼睛就盯着我国境内的这一段,可能留下来的隐患比较大”



“红旗河”取水河流及周边国家位置图

邓铭江 国际河流两条总原则,一个是不造成重大损害,二是合理开发利用。在遵守以上原则的基础上,我们对国际河流的开发不应该畏首畏尾。西南跨界河流不同于西北和东北,西北跨界河流的焦点是干旱区水权,东北跨界河流的焦点是国土边界,**而西南跨界河流的下游水量极其充沛,焦点问题应是开发与航运,较前两者更容易协调。西南跨界河流目前开发程度不高,“红旗河”调水方案取断面水量约20%,对下游防洪减灾有积极的作用,对生态环境影响不大,对下游水电开发会造成少量的经济损失。**

关志华 西部调水涉及到的几条国际河流（澜沧江、怒江、雅鲁藏布江），这些河流的水质很好，水量也很丰富，但现在白白往外流。**我们提出调水，可以先进行研究，这样下游国家将来修建水利、水电工程时，需要优先考虑我们的调水需要。目前国际调水没有一定的规定，如果下游是干旱区一般会优先考虑下游多用，但印度、缅甸和泰国等国家都不缺水。**我们用到三分之一甚至一半，我认为是可以的。我们先提出调水研究，可以减少将来下游国家来找麻烦。

何希吾 南亚和东南亚地区国际关系很复杂，我认为目前我们国家不要给自己再找麻烦，必须慎重。**国际河流开发利用，水权分配是比较复杂的，涉及到方方面面的权益问题，不是中国想怎么弄就怎么弄。**



“红旗河”工程设计的取水河流中，有三条是国际河流，分别是雅鲁藏布江、怒江和澜沧江。这三条河流均发源于我国境内，下游流域涉及印度和东南亚共7个国家（见地图）。根据目前公布的信息，“红旗河”从雅鲁藏布江“大拐弯”处开始取水，上图是西藏雅鲁藏布大峡谷的入口，雅鲁藏布江在这里水量十分丰沛。摄影 / 谢罡

杨勇 目前我国的流域规划，特别是国际河流的规划都是滞后或者是缺失的，雅鲁藏布江、怒江、澜沧江到目前为止还缺少统一的流域规划，也少有流域内相关国家的沟通、合作共享机制。**在以往的开发当中，特别是近些年的水电开发，已经有这方面的一些质疑，产生过一些矛盾，甚至引发了一些国际问题或不稳定的隐患因素。对于雅鲁藏布江这样一条国际河流来讲，我们要更加慎重，更加谨慎。考虑到国际影响、中国形象，在中国提倡“一带一路”和“人类命运共同体”的战略思维下，应该在国际河流的开发利用上更加具有大国风范，才符合这个战略。**如果我们闭门造车，眼睛就盯着自己境内的这一段，可能留下来的隐患比较大，所以现在要加强和南亚国家在雅鲁藏布江的开发利用上的沟通协调机制，最重要的是要补上流域规划的短板，兼顾整个流域的功能和需求，提出造福流域人民和流域发展的行动指南，或者是相互兼顾的行为准则。

隧洞

在工程上隧洞的施工会遇到哪些困难，怎么克服？

专家观点

王浩

“整个6188公里线路，只有一条55公里长的隧洞，剩下都小于40公里”

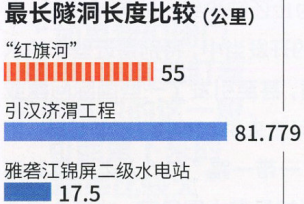
梁季阳

“超大埋深、超长距离、超大洞径的输水隧洞将是工程的最大难点”

隧洞总长度比较（公里）



最长隧洞长度比较（公里）



王浩 **整个6188公里线路，一共是136条隧洞，只有一条55公里长的隧洞，剩下都小于40公里，隧洞的总长度是2337公里，平均长度17.2公里。**工程上可以实现，现在穿秦岭的隧洞长98公里，上面覆盖着2012米非常新鲜坚硬的花岗岩，石英含量40%以上，都快通了。

由于调水量大，隧洞断面就要足够大，这是施工中必须解决的一个难题。**虽然世界上有直径20米以上的超大隧洞，但是从技术经济比较看，“红旗河”工程不主张超大口径的单洞，而是用“加大坡度＋多洞”的方案来解决。加大坡度，流速就快了，洞就小一些。“红旗河”工程的平均坡降是万分之二点一，分配上就是考虑到黄河以南要钻隧洞，所以坡度分配多一点，钻隧洞的地方坡度都保证在万分之三以上，这样洞径就会小一点，过了黄河，可以多挖明渠，少用点坡降。多洞，就是用多条15米左右直径的隧洞来代替超大直径的单洞，这样总造价能便宜一点，技术上也更成熟一点。**这种情况并不增加工程难度和造价，最大的制约因素是地形，也就是山体能否布置得开。只要地形允许，反而会降低造价。当然，以600亿立方米的取水量，这种并排隧洞会不止一处，但都已经找到了地形允许的线路。取水区西南诸河的分水岭都是高大山体，需要钻隧洞，但不是硬钻，而是绕着钻，选山体最薄弱的地方钻，让洞短一点、小一点，说选线很巧妙，就妙在这些地方。要降低工程量、缩短隧洞长度，选线的工作量极大。至于深埋隧洞，数量很少，最大埋深也都浅于现有的雅砻江锦屏二级水电站隧洞（最大埋深2500米）、引汉济渭工程秦岭隧洞（最大埋深2012米）。

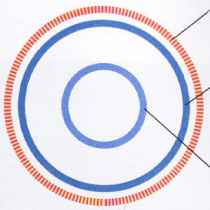


梁季阳

从南往北调水，走线方向是南向北，而我国地势三级“阶梯”是自西向东低下来的。**谁都知道水往低处流，那么在青藏高原东麓，会有大量大小不等的河流由西向东流动，正与“红旗河”调水线路呈正交。这就需要穿过无数的山脉河流，也就需要修筑大量隧洞与渡槽，就像西南地区的铁路叫“桥隧相连”，过了桥就是隧道，出了隧道就是桥，这种工程难度极大。**

南水北调中线穿黄工程，隧洞直径 7 米，被称为“控制性的最复杂的工程”，当时这个工程设计年调水量约 100 亿立方米，流量约 300 立方米 / 秒。而现在以“红旗河”规划的调水量，它的流量大约是 2000 立方米 / 秒，我估算了一下隧洞的断面直径要到 25 米，远远大于中线穿黄工程。**现在世界上最大的盾构机直径小于 18 米，所以要开挖断面直径是 25 米的隧洞根本就实现不了。即使是双隧洞布置，洞径也达 18 米。超大埋深、超长距离、超大洞径的输水隧洞将是工程的最大难点。而南水北调中线工程在平原地区实施，打隧洞可以开挖竖井，这样用了五年时间，而深埋隧洞在地下的掘进速度是很慢的。所以对工程的困难可能严重估计不足。**

隧洞直径比较



在长距离调水工程中，引水隧洞的建设往往是施工的重点和难点，其难度取决于隧洞的设计长度、洞径、最大埋深以及施工地的地质条件等因素，本跨页中的3个图表为“红旗河”设计隧洞与我国在建的重大水利工程隧洞相关数据比较。图为南水北调中线穿黄工程中的穿黄隧洞，它被称为该工程的“咽喉”。隧洞长4.25公里，单洞内径7米，主体工程于2007年12月底正式开工建设，2012年底全部完工。

明渠

采取明渠形式有何利弊？

专家观点

王浩

“采用明渠而不是暗渠，主要是出于成本考虑，此外希望兼顾通航功能”

关志华

“新疆古代用坎儿井就是为了避免蒸发，现在建明渠，是把老祖宗的宝贵经验都丢掉了”



王浩

跟暗渠比，明渠成本比较低，但是蒸发量大是一个缺点。不过，蒸发会对生态有好的影响，水分多了，生态格局就会反向演替，荒漠会向草原转变，会产生绿洲带。温度和湿度上也会有一些影响，夏天温度可能降低一两度，冬天温度可能提高一两度，相对湿度、降雨量的增加也都在算，需要多方案比较。影响最大的方案，夏天局部地区每天可以增加一两毫米的降水量。目前正在用很细致的水文气象模型测算。

如果通航，新疆和河西走廊地区的矿石、原油、粮食、棉花等大宗货物就可以走水运。水运很便宜，吨公里运费是公路运输的1/20，铁路运输的1/10。但是凡事有利就有弊，要通航，保持3000吨级的船队通过，水面的宽度就要达到135米，水深就要4米，这样情况下水面蒸发就大一些。如果不通航，就可以搞最优水利断面，就是一个竖着的手机那样的长方形，这样断面最小，阻力最小，流速最快，蒸发也最小。目前这种浅/宽的设计主要是为了兼顾1000公里的通航，像京杭大运河那样。另外也有折中的考虑，可以搞复式断面，就是“河中河”，在航道底下再挖条河，加大水深，等于把浅宽的渠道和深窄的河槽相结合。在工程方面，修建明渠没有问题，能够保证质量。



关志华

在干旱地区建一条1000公里长的运河，想象很好。但是传统的运河都是敞开式的，一是解决输水，二是解决航运，现在又加上个旅游。运河建在湿润地区或者半干旱半湿润地区，我认为是适合的，但是建在干旱地区，蒸发强度太大，水还没运到就蒸发了不少。

我在新疆的渭干河流域和青海柴达木盆地进行过节水型农业体系的研究。新疆的水面蒸发接近2000毫米/年，青海的水面蒸发大约是1600—1800毫米/年，水面蒸发量大，而且蒸发以后会把水中的盐分浓度提高，所以含盐量也增大。**因此新疆自古就用坎儿井，在地下输水，一是减少了水量损失，二是水的矿化度没有什么变化。**我觉得明渠在“红旗河”工程里边恐怕不太适合，把老祖宗的宝贵经验都丢掉了。

还有污染的问题。这么长的距离用运河输水，很难保证水质。西南诸河的水都很清，水质都很好，如果是调去供当地人饮用，一点问题没有，除了解决灌溉以外，工业和生活用水都可以顺带解决。**我觉得在环境质量比较高危地区就用暗渠或管道来输水。在西北用暗渠或管道输水的话，要比搞明渠更好一些。**

所以总的来讲，我不太主张搞明渠大运河，特别是在蒸发和环保的问题上。

传统的人工输水渠道往往采取明渠的形式，长距离、大规模的明渠一般会用做运河。我国最著名的运河即建于2500多年前的京杭大运河（上图 摄影/王宁）。运河作为一种适应经济、政治等需要而进行的改变自然的工程，能够改变水文的自然状态，本身也受到自然环境的深刻影响。





拥有长期缺水历史的新疆有着荒漠地区特殊的灌溉系统——坎儿井。由于新疆地理环境特殊，地表水极易干涸，而坎儿井利用坡度引地下水源灌溉农田，水分不会因为炎热、狂风等大量蒸发，从而在保证水量稳定的同时实现了自流灌溉。
摄影 / 郝沛

水库

有关水库是如何规划设计的？施工方面是否有困难？

专家观点

王浩

“受水区‘天然库容’与调出水区高坝结合”

景可

“中段或中下段需要一个不小于三峡库容量的大水库”

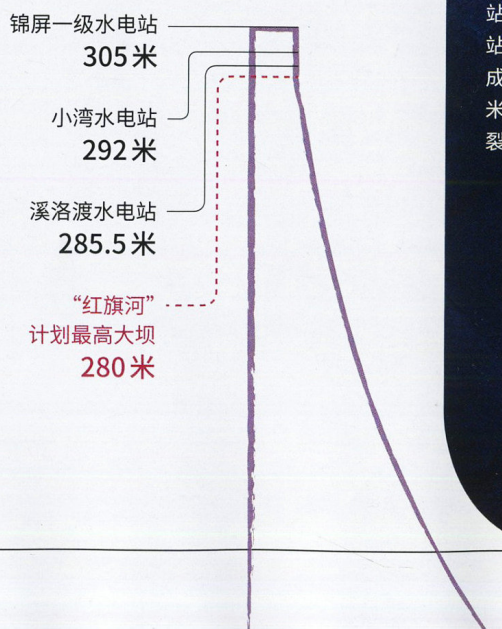
杨勇

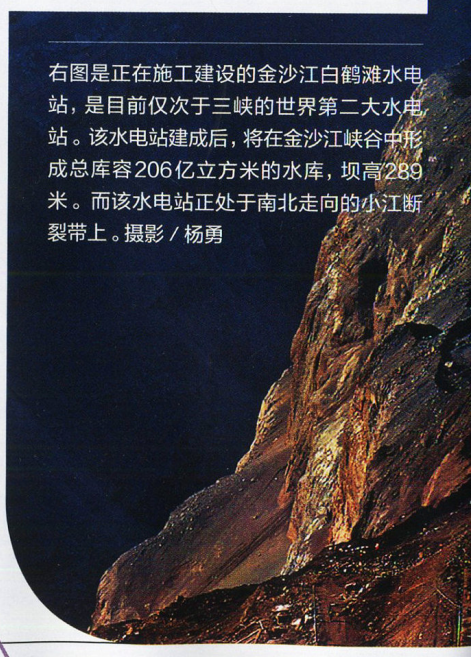
“应当尽量充分利用现有的水利系统”

王浩 储水的问题是可以解决的。一是在受水区找到了比较大的“天然库容”（干涸的湖盆），二是在调出水区也设计了比较大的调蓄库容。**目前在受水区找了共400亿立方米的“天然库容”，可以用来存蓄水资源，保障供水安全。在调出水区，计划建12座坝高100米以上的大坝，包括两座280米的高坝。**高坝是大家比较关心的问题，280米是建议高度。这两座坝都可以降低，有多个方案。一座可以降到130米，一座可以降到150米，在其间任何一个高度都是可调的，也就是说，线路的走向和建坝的高度都是可以调整的，这需要详细的论证。但是坝越高，调蓄能力越强，洪水兜住得越多，能减小枯水期引水量。建水库大坝有两条需要强调的：第一，大坝建成后，永久性淹没高度最多达到150—160米，淹没的河段只有几十公里，影响是非常有限的。第二，这个地方降雨量大、温度高，陆生生态系统和空中的水汽系统都不会受到任何影响。施工方面没有问题。世界上最高的坝都在中国，中国已经建成了一个305米高的雅砻江锦屏一级水电站大坝，所以建280米大坝有整套的工程经验。

在规避地质风险方面，主要通过选线来解决，选线可以实现“闹中取静”，巧妙地避开这些高烈度区。另外还会辅以一些工程上的相应措施，比如在经过几个最近10年平均每年错开4毫米（相对位移4毫米）的活断层时，可以采用柔性连接技术，这在以往的工程设计中也有过先例，比如云南滇中调水工程，就经过了3处活断层。

我国现有280米以上高坝比较

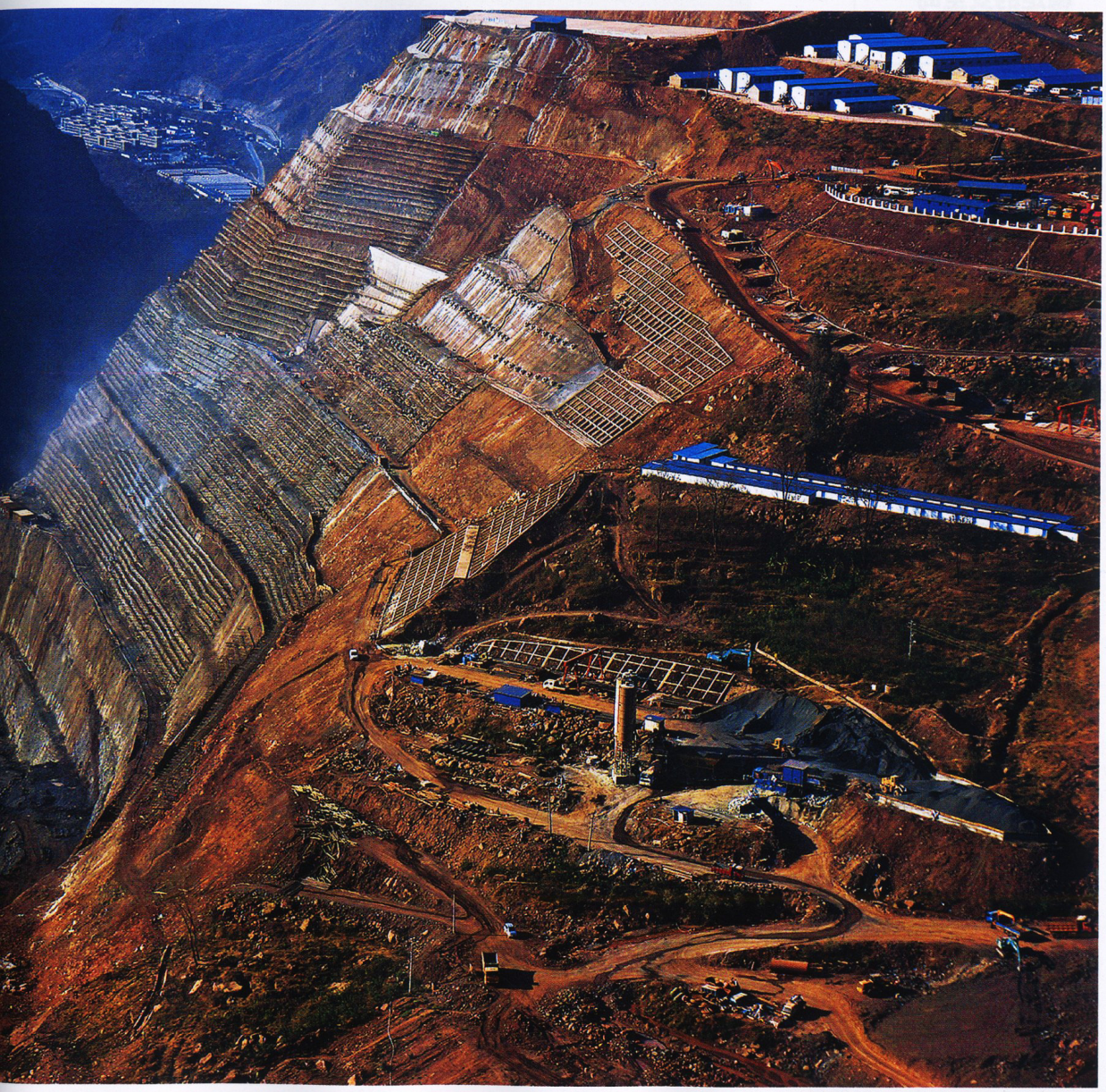




右图是正在施工建设的金沙江白鹤滩水电站，是目前仅次于三峡的世界第二大水电站。该水电站建成后，将在金沙江峡谷中形成总库容206亿立方米的水库，坝高289米。而该水电站正处于南北走向的小江断裂带上。摄影 / 杨勇

景可 引水时间与用水时间不吻合。用水时间只有5个月（4月—9月是农业用水期），5个月要调600亿立方米的水是不可能的，至少要10个月（取水区有两个月的封冻期）。**如果引水要10个月，只有5个月用，就有一个储存问题，需要在中段或中下段建一个大型水库，这个水库，我想不应该小于三峡的库容量。**这个水库还必须建设在海拔高度高于引水线的位置，能选择到这样的区域吗？

杨勇 实际上在这个区域中，不管是西北地区或者是“红旗河”经过的地区，都已经建设了很多水利设施和水利系统，**应该尽量地优化利用，尽量地连接现有的系统，这样的话，一个是避免工程重复，第二是现有的水利系统往往与需求地相关，比如城市、灌溉区等国家已经投入了很多，但是发挥的作用不尽人意，甚至有不少无效工程。**“红旗河”从工程角度应该与原有的系统尽量结合起来，把原有系统整合优化，使其减少工程量，节约投资，充分把原有的水利设施更加优化地利用。



青藏高原边缘

青藏高原边缘地质结构复杂，选线从此经过，地质风险有多大？

专家观点

谭成轩

“虽然这里地质构造复杂活动强烈，但还是有相对比较稳定的安全岛”

杨勇

“抗震措施能够做好，但次生灾害无法预料”

关志华

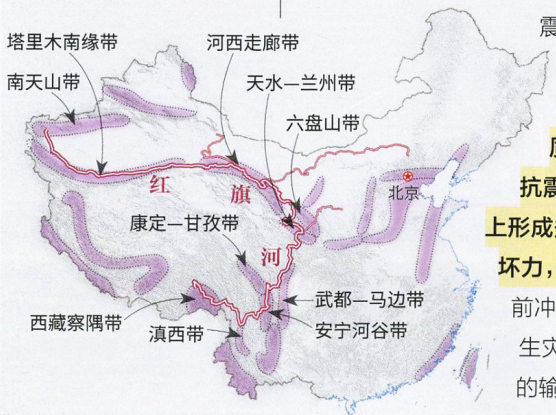
“调水地自然地理条件复杂，工程不宜太大”

谭成轩

调水肯定要考虑地质的因素，从地球科学上讲，一些地质灾害，比如地震、活动断裂等，是避免不了的，因为这个选线位于中国地势一二级阶梯陡变带中，是中国大陆上地壳活动最强的地方，避也避不开，可能有很多人提出这样的质疑。**但事实证明，2008年5月12日发生在该陡变带上的龙门山断裂带的汶川里氏8.0级大地震，紫坪铺等水库没出什么大问题。20世纪60年代，我国西南大三线建设运用李四光教授的区域地壳稳定性评价“安全岛”理论，确定了一些重要大型地面和地下基础设施，也都没受什么破坏。所以，虽然这里构造活动强烈，但还是有“安全岛”的，还是有相对比较稳定的地方，**可以通过区域地壳稳定性评价“安全岛”研究选取相对比较稳定的调水线路。目前，穿越这个陡变带已有滇藏铁路、川藏铁路等选线的成功案例，调水线路和铁路类似，都属于线性工程，并且调水线路的地壳稳定性要求应该低于铁路。

杨勇

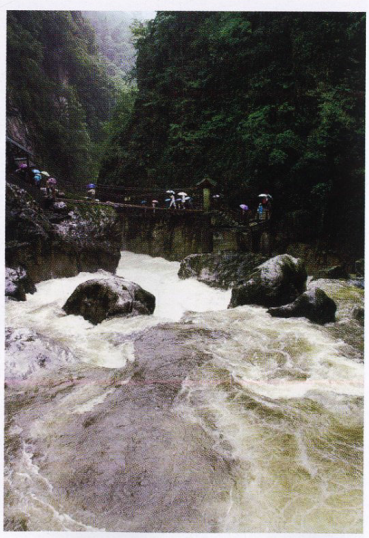
地质问题是很多地质工作者和工程界人士最担忧的问题，是公众最关心的，也是最复杂的一个问题。青藏高原边缘是一个地震活动带，所以地震问题是决定工程成败的关键问题。抗震措施在工程上可以解决，但相应的会增加巨大的成本，也会承受巨大的风险。以我们现在对地震的研究认识来说，青藏高原东部究竟以后会发生什么样的地震灾害，谁都预料不了。而且青藏高原东部处于我国二级地形阶梯，河流侵蚀强烈，地质十分破碎，**地震灾害会伴随着一系列长期的次生灾害，包括山崩堵江、形成广泛的地质危岩体、产生巨量泥石流物原，虽然工程能够做到相应的抗震强度和相应的建筑物抗震裂度，但是强地震后在这些江河上形成多大的崩塌体、多大的堰塞湖，堰塞湖溃决后形成多大的破坏力，谁也预测不了。**环青藏高原东部有众多的地质遗迹，如山前冲积平原、洪积台地以及被埋藏的古人遗址等，都证明地震次生灾害造成的灾难是巨大的。所以在这样的地带要做这么宏大的输水工程，它承受的地质风险必定是巨大的。



“红旗河”沿线地震带分布图



“红旗河”干流沿青藏高原边缘分布，与我国环青藏高原的地震带基本重合（见左页地图）。未来的工程建设能否抵御这一带频发的地质灾害，是很多人最担忧的问题。下图是2008年汶川大地震前的龙门山银厂沟（摄影／李勋），这里是距成都大约100公里的避暑胜地，被称为成都的“后花园”。地震后，银厂沟原本分离的两座山彻底合并在了一起（上图 摄影／张超音）。



关志华 调水地自然地理条件复杂。从西藏雅鲁藏布江调水，调水的地方紧靠着全国高地震危害的地区。**1950年8月15日曾经发生过里氏8.6级的墨脱大地震，墨脱倒了半片山，把雅鲁藏布江都堵断了，整个断流，断流以后第二天才冲出缺口。**我们1973年考察雅鲁藏布江下游大峡谷墨脱的时候也遇到了小地震，在木房子里摇晃，瓶子都倒了。所以这是高强度地震地区，也是大断裂带，地质构造十分复杂。因此工程上不宜弄太大。



【征集令】

“大美惠济”摄影大赛

《中国国家地理》杂志社与郑州市惠济区联合举办的“大美惠济”摄影大赛已经启动，欢迎全国摄影爱好者投稿。

一、征集时间：截至2018年6月30日
作品评选：2018年7月底

二、拍摄内容和主题

惠济区的自然生态、旅游资源、产业发展、历史文化、体育运动、城区环境、城市建设、市民生活和城市精神融合等。

三、作品参赛细则

彩色、黑白胶片和数字作品（相机、手机）均可参赛。

照片仅可做亮度、对比度、色彩饱和度的适度调整，不得做合成、添加、大幅度改变色彩等技术处理。

登录中国国家地理网站（www.dili360.com）“大美惠济”大赛专题页面上传作品，长边要求1600-3000像素，分辨率为300dpi。

图片需为距投稿之日两年以内拍摄的作品，历史老照片不受此规定限制。参赛者保证其参赛作品由参赛者本人独立创作完成，且保证参赛作品不出现任何侵犯他人权益的情形，包括但不限于侵犯他人肖像权、名誉权、隐私权、著作权、商标权等。因上述侵权而产生的一切法律责任及造成的一切损失均由参赛作者本人承担。

参赛者同意大赛进行期间，所有投稿作品将可能被放置到互联网上进行展示，或刊载于报纸、期刊以及评选活动的相关材料中。参赛者同意主办单位拥有大赛所有获奖作品的使用权。参赛作品可用于网站、新媒体平台、展览、画册、视频等的传播和制作，并不再支付稿酬。

《中国国家地理》杂志社拥有本活动规则的最终解释权。凡投稿的作者，均视为同意并遵守以上各条规定。

四、评选方式

奖项由《中国国家地理》编辑进行初选，评审专家结合网友投票情况评出最终获奖作品。大赛设置一、二、三等奖和优秀奖若干名，一等奖1名，奖金2万元；二等奖2名，奖金各8000；三等奖3名，奖金各3000元，优秀奖奖金300元。

五、获奖者权益

由《中国国家地理》颁发奖金和获奖证书。

获奖作品将被收入《大美惠济》（画册、暂定名），并支付稿酬和样书。

活动咨询：
010-64865566—255，257，238
010—64842136

广告

全程自流

全程自流如何实现？“红旗河”如何实现翻越长江黄河分水岭呢？

专家观点

王浩

“‘全程自流’是必须遵循的原则，不会涉及用电抽水”

杨勇

“坡降和摩擦系数，是决定能否自流的关键”

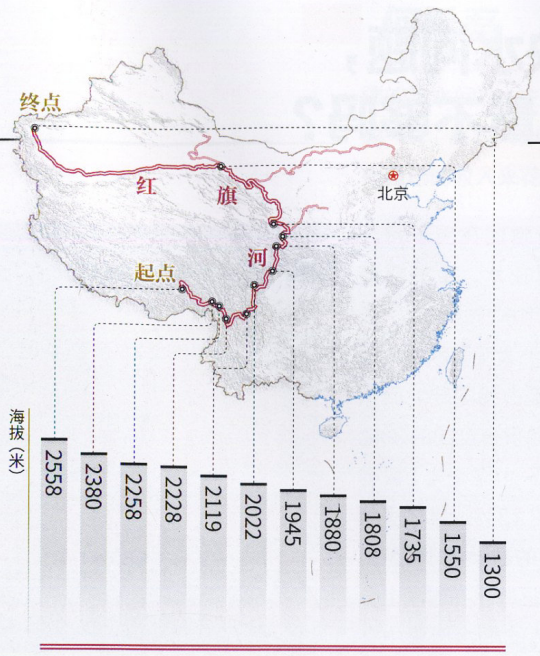
姜鲁光

“‘红旗河’的‘全程自流’，是有前提条件的”

王浩 **“红旗河”工程不穿黄，是平交，与黄河汇合，所以没有任何问题。调的水会进入刘家峡水库库区，利用刘家峡水库的57亿调蓄库容进行调蓄。**南水北调工程是从地下穿黄河而过的，因为南水北调是饮用水，而“红旗河”是Ⅰ类水Ⅱ类水，水质好，黄河上游水质也好，可以并进去。“全程自流”是必须遵循的原则，不会涉及用电抽水。



图为甘肃省白银市景泰县的黄河提灌工程。景泰县紧邻黄河，是黄河上游重要的灌溉农业区，但由于地势高于黄河水位，无法实现自流灌溉，只能利用水利设施把黄河水从低处提升，从而翻越分水岭，灌溉农田。相比自流而言，水泵提水的建设和管理维护费用要大幅增加，所以“红旗河”能否实现全程自流是非常关键的问题。摄影 / 宋文



“红旗河”重要节点海拔高度比较

资料提供：“红旗河 S4679 课题组”

上图是“红旗河”工程目前公布的几个重要节点的海拔高度，按照规划，“红旗河”总长度6188公里，全程落差1258米，平均坡降约万分之二点一，采用隧洞和明渠相结合的方式沿青藏高原边缘进入新疆，从而实现全程自流。

杨勇

长距离全程自流首先要看它的高差和坡降，取水点到受水点的高程的选择，这是第一。第二，**要考虑到摩擦系数。输水管道和水渠用什么材料，它的阻水系数是多大，还要考虑到水体中和西北沙尘暴进入水渠产生的泥沙的问题，另外就是水生物附着、沿途蒸发等都会成为阻流因素。**南水北调的东线工程已经出现这个问题，由于坡降太小，有一定的摩擦系数，再加上水体本身的一些泥沙和生物作用，都影响到自流。而“红旗河”输水距离更长，经过的自然区域环境因素更复杂，而且有长距离的隧洞系统，所以它的输水自流的影响因素更多，这也是非常复杂的技术问题。“红旗河”由于受到取水点和受水点的海拔高度的限制，输水高程的选择空间不大，所以在具体的工程设计当中要充分考虑到它的复杂性和影响因素。

姜鲁光

理想意义上的“全程自流”，应该是不过多施加人为干预，利用自然河道或人工渠道，实现从调出地到调入地的自流。但事实上，**包括“红旗河”在内的跨流域调水工程所谓的“全程自流”，通常都是有前提条件的。即要么在调出河段通过人工修筑水坝，提升调出水位；要么通过人工开凿隧洞的方式，引导水流穿过分水岭山体。**

“红旗河”设计每年调水 600 亿立方米至黄河流域和西北地区，这意味着，如果每时每刻不间断地输水，每天要输水 1.64 亿方。过水断面的流量至少要达到 1900 立方米 / 秒，才能满足调水需要。这么大的水量，在白龙江附近跨过长江 — 黄河的分水岭，无论是明渠还是隧洞输水，这都是前所未有的挑战。由于白龙江受水河段每年的径流量只有 30 亿 —50 亿立方米，**一旦调来 600 亿立方米的客水，白龙江河谷及现有的水利工程是难以接纳突如其来的超大水量的。如果将 600 亿立方米通过电力抽水的方式，跨过长江 — 黄河分水岭，大约需要消耗掉三峡电站全年的发电量。**如果通过开凿隧洞的方式，每年将 600 亿立方米的水量送入黄河流域，隧洞的直径至少要达到 25—30 米才能满足调水需要（这是按 5 米 / 秒的超快流速、全年不间断输水估算的。如果水流速度较小，或者无法保证全年不间断调水，则隧洞需要更大的横断面直径，才能满足调水需要）。

缺水地区

新疆的缺水问题，关键在于总量不够吗？

专家观点

田长彦

“新疆占我国陆地面积的1/6，但其水资源仅占全国的3%，而且这880亿方的水资源总量中，还有230亿方流到国外去了”

何希吾

“光喊缺水没意义，新疆水的问题是利用效率很低”

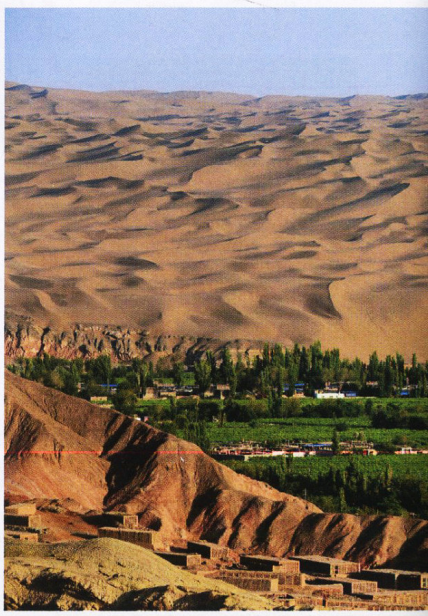
金德生

“要想富先找水”

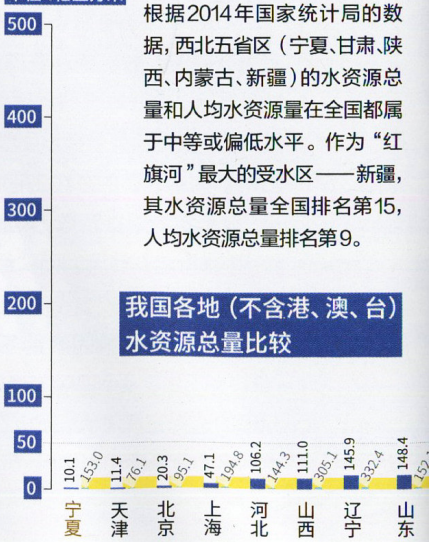
田长彦

新疆现在属于资源型缺水，并不是管理型缺水，也不是用水方式粗放。新疆深居内陆，是亚洲大陆和欧亚大陆的地理中心。新疆占我国陆地面积的1/6，但其水资源仅占全国的3%。其年均降水量145-147毫米，只有全国年均降水量的23%。且那里蒸发量高，是降水量的数十倍，甚至百倍。此外，新疆地区降水在时间上分布不均，全年70%的降水量集中在5—8月份；在地域分布上也极不均匀，84.3%的降水在山区。以天山划分，天山以北面积约45万平方公里，占全疆面积27%，地表径流量占全疆的52%；天山以南面积121万平方公里，占全疆面积的73%，而径流量却占48%。东西差异就更大，东北占97%水量，西南占3%水量。**此外，新疆880亿方的水资源总量中，还有230亿方流到国外去了。**

但是，新疆现在的滴灌面积在全中国，甚至全世界都是最大的，高效节水面积达到了4000万亩，是世界上高效节水在大田应用最好的一个地区。现有耕地面积官方数据6055万亩，因此新疆确属资源性缺水而不是用水方式问题。新疆10%的绿洲稳定、工农业发展、生态建设、沙漠治理、盐碱地改良利用都需要水资源支撑。



单位：亿立方米



根据2014年国家统计局的数据，西北五省区（宁夏、甘肃、陕西、内蒙古、新疆）的水资源总量和人均水资源量在全国都属于中等或偏低水平。作为“红旗河”最大的受水区——新疆，其水资源总量全国排名第15，人均水资源总量排名第9。

我国各地（不含港、澳、台）水资源总量比较

何希吾

新疆的水资源如何利用是个值得深究的问题。新疆水资源总量并不少，有880多亿立方米，但利用效率很低。解决新疆的缺水问题，主要是合理用水和高效用水。**水资源利用的问题和用钱的问题一样，月收入2000元钱也缺钱，2万元也缺钱，有个怎么花的问题。要根据自己的收入来花。水资源利用也是同样道理，光喊缺水没有意义。**



新疆水资源分布不均，其西北部约占水资源总量的93%，东南部只占7%。在新疆有水即为绿洲良田，无水就是戈壁荒漠。图为位于天山东部南麓鄯善县沙漠中的一片绿洲。摄影 / 范书财

金德生

贫困落后地区要发展经济，一个是“要想富先修路”，这个不够，还有一个是“要想富先找水”。新疆缺水，缺到什么程度，要看现状及未来。事实上柴达木盆地周边地区缺乏地表水，然而地下水资源还是相当丰富的，另外高山上的冰川积雪蕴藏着丰富的水源，当然这部分水资源是不能轻易调用的。新疆地区工农业、生活、生态环境等需要多少水量？供需之间差值多大？需要研究，这是一个严谨的科学问题。要从发展眼光、环境影响的角度考察，施雅风先生生前曾说过，现在因为全球升温，气候变暖，我国西北地干旱地区的湿度有所增加，降水量会有一定程度增加的趋势。新疆地区是否缺水，缺多少？搞清楚后，如需要调水，才能确定调多少！



数据来源：中华人民共和国国家统计局《各地区水资源情况（2014年）》

我国各地（不含港、澳、台）人均水资源量比较

关键词（九）

4万亿

4万亿的工程款是如何预估出来的，是否够用，是否会对我国国民经济造成负担？

专家观点

王浩

“分摊到建设期，每年4000亿元，不到GDP的千分之五”

杨勇

“我们可以用更优化的途径、比‘红旗河’设想更好的路径来花这4万亿”

景可

“4万亿这点钱够吗？”

王浩 “红旗河”主体工程包括水库、隧洞和明渠三部分，由于每一类工程都没有突破已建工程的规模，所以有大量案例工程投资可供参考。目前是在充分调研国内同规模工程投资的基础上，估算“红旗河”工程投资。由于工程实施条件的变化，还在投资估算中考虑了部分不可预见的费用，综合估算下来，预计“红旗河”骨干工程总投资约4万亿元。但是还有一些不可控的因素，比如搭车涨价、哄抬地价等，这也是最可能超出工程预算的部分。

至于国家有没有财力支撑建设“红旗河”，**用数据比较可以看出，分10年投资4万亿元，并不是一个特别困难的事情。第一，2017年中国GDP为82万亿元，“红旗河”工程总投资约占年GDP的4.8%。分摊到建设期，每年4000亿元，不到千分之五，随着未来经济发展，这一比例还会进一步降低。**第二，“十二五”时期，我国水利建设完成总投资超过2万亿元，“十三五”时期，预计水利建设投资规模为2.43万亿元。第三，“十二五”期间，中国铁路投入3.58万亿元，仅2016年中国铁路投资就超过8000亿元。



景可 现在城市地铁，每公里造价都要两三个亿，如果建那么长、宽的水道，4万亿这点钱够吗？

南水北调工程和三峡工程是我国两个大型的水利工程。国务院南水北调工程建设委员会办公室2013年4月15日发布消息，截至2013年3月底，东、中线一期工程建设项目（含丹江口库区移民安置工程）累计完成投资2085.8亿元，占在建设计单元工程总投资2234.4亿元的93%。2013年6月7日，审计署公布长江三峡工程竣工财务决算草案审计结果：三峡工程财务决算总金额为2078.73亿元。

杨勇 如果用4万亿，也许有更多更好的解决西北水资源困扰的方案，比“红旗河”设想更好的途径，而且可以造福更多的人。长期以来，“工程治水”是利益作怪。**用4万亿围绕水的问题以宏观视野综合治理必然能够培育更多的水产业。用4万亿来解决中国面临的水问题、水短板，中国整个水的系统会优化好多。**

关键词（十）

绿洲

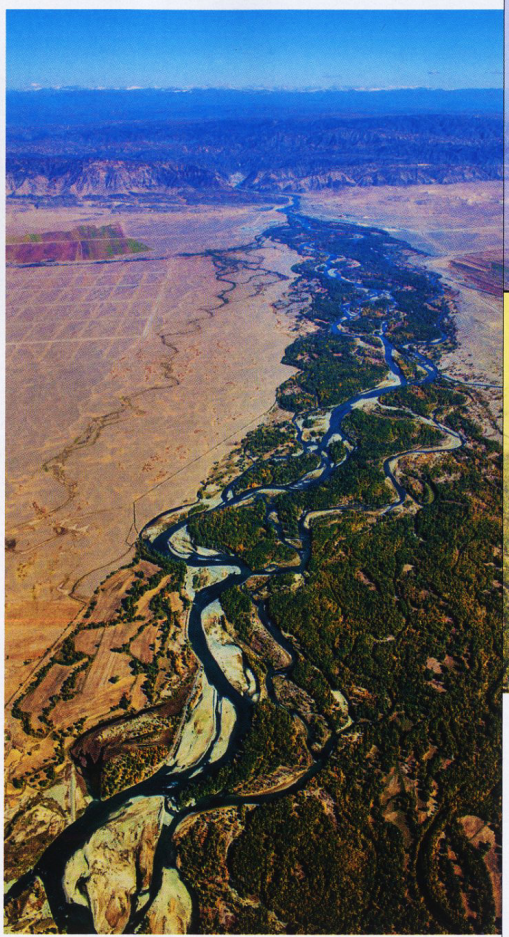
如何创造20万平方公里的绿洲呢？是否有这个必要？

专家观点

王浩

我国干旱半干旱区总面积现在是370万平方公里，**“红旗河”工程增加的绿洲，在地图上宏观上其实是这样几个“线条”：沿河5000公里长，两岸各40公里宽，这样总共是20万平方公里的绿洲带。**20万平方公里绿洲与370万平方公里干旱区，这样一个尺度和体量，不会对生态有大的影响。

习近平主席致《联合国防治荒漠化公约》第十三次缔约方大会高级别会议的贺信中明确指出，土地荒漠化是影响人类生存和发展的全球重大生态问题。当前，我们国家正在开展大规模荒漠化治理，有数据显示，从2010年以来，我国沙化土地面积平均每年减少1980平方公里，这就是一种敬畏自然、尊重自然、顺应自然、保护自然的表现。我国西北面临的主要生态问题就是土地荒漠化，这是由西北干旱内陆河流域基本特点决定的。内陆河流域山区是径流形成区，平原是径流耗散区，荒漠与沙漠地带则是河流的散失区，上中游过度增加用水，必然会造成下游水量的减少，导致荒漠生态环境恶化。**“红旗河”调水的目的不是消灭沙漠，也不是为了征服自然，只是适当利用一些外来水源，在不影响原有流域生态用水的情况下，建设人工绿洲，逐步恢复和改善受到气候变化与人为活动影响的生态环境，去争取更加优质的生存与发展空间。**



王浩

“沿河5000公里长，两岸各40公里宽，这样总共是20万平方公里的绿洲带”

景可

“600亿立方水完全不够建设20万平方公里的绿洲”

乌伦古河蜿蜒在新疆古尔班通古特沙漠北缘，孕育着两岸的狭长绿洲。但近年来，随着人们对河水的过度索取，乌伦古河流域的河谷林与湿地逐渐萎缩，下游常年缺水。绿洲如何建造与维护，值得思索。摄影／范书财

景可

在干旱区发展生态林必须要有充足的灌溉，那么在干旱地区建设1亩绿地需要多少水？据最新资料，新疆为了维持塔里木河下游大海子水库以下511平方公里湿地的存在，自2000年至2017年的17年间，共向下游生态输水70亿方，平均每年输水4亿方，平均每平方公里每年耗水78万方。**“红旗河”的目标是发展20万平方公里的生态林，如果按略低于大海子水库以下湿地生态用水的标准计算，每平方公里每年需水量约75万方，那么建设20万平方公里生态带每年总共需水量是1500亿方。**



对于用调水的方式缓解新疆水资源匮乏问题，人们已有过不少设想，甚至付诸实践。碧色的渠水，红色的坝顶，在伊犁大地上格外醒目，这是新疆引额尔齐斯河水至克拉玛依的调水工程，用于解决北疆地区的工农业生产用水困难。与之相比，“红旗河”项目从规模、距离、成本上都要宏大百倍。摄影 / 范书财



灌区和牧场

专家观点

田长彦

“新疆光热资源非常丰富，只要有水，沙漠就是绿洲，就是农田，就是生态林地”

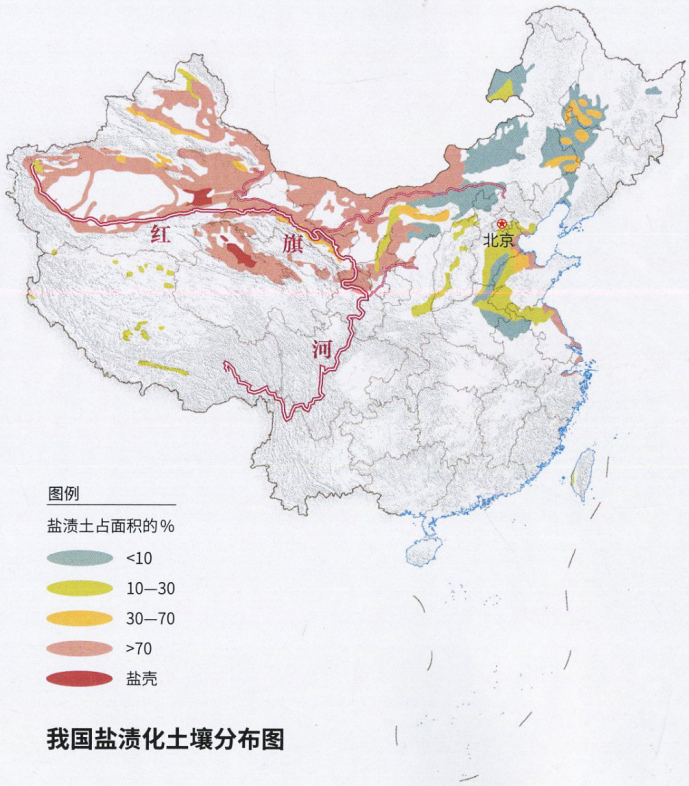
李保国

“对于600亿方水能创造多少农田的问题，目前的设想太理想化了”

关志华

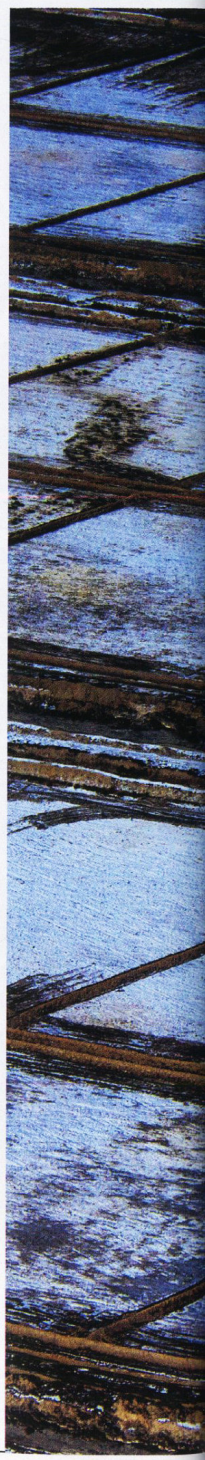
“由于盐的问题，必须要控制灌区的规模”

目前规划的调水量可以支持2亿亩灌区和牧场吗？如果实现了2亿亩灌区，这么大区域土地盐碱化问题如何解决？



我国盐渍化土壤分布图

雪白的盐粒覆盖着库尔勒的土地，这样的景象在新疆并不罕见。西北地区蒸发量大、降水量小，土壤本身含盐量较高，一旦灌区排水不畅，就很容易出现盐渍化问题（盐渍化概念的范围小于盐碱化，盐碱化土壤还包括了达到碱化特性但不到盐化特性的土壤）。如地图所示，内蒙古中西部、柴达木盆地、准噶尔盆地边缘和塔里木盆地边缘的盐渍土面积占土地面积70%以上，而华北平原等地的盐渍土面积大多在30%以下。摄影 / 范书财



田长彦



新疆的沙漠总面积约40万平方公里，沙漠之所以为沙漠就是因为缺水。**新疆光热资源非常丰富，只要有水，沙漠就是绿洲，就是农田，就是生态林地。其实好多农作物在新疆产量达到世界前列，比如棉花，中科院1998—2000年创造的棉花产量的世界纪录是在和田策勒的沙地上实现的，现在最多一亩地甚至可以产到800多公斤。**这在其他地区是不可想象的，但在新疆的沙漠上，只要有水就可以种植。高效节水滴灌种植的玉米现在亩产可以达到1500公斤，大豆在新疆可以实现近500公斤亩产，林果品质也是一流。但缺水，是制约新疆农业发展的最短板。新疆后备耕地至少还有2.6亿亩，但没有水，只要有水就可以直接开发利用。

现在新疆主要使用滴灌技术，在生育期每亩灌溉水量不超过300方，基本可以支持2亿亩耕地的灌溉。如果加上冬春灌洗盐的用水，每亩地大约会需要400方水，可以满足1.5亿亩农田灌溉。

新疆的农业就是与盐碱做斗争的农业，在盐碱地治理中有成熟的工程、农艺和生物改良的经验。只要认识水盐运动规律，科学地规划，就没有问题。大家担心是有道理的，盐随水来，盐随水去。比如内蒙古巴彦淖尔、甘肃景泰县等地的引黄灌区，由于在规划过程中未考虑盐渍化问题，灌排体系不配套，只灌不排，致使地下水上升，现在出现了较为严重的次生盐渍化问题。但这是在前期规划过程中认识不足造成的，如果认识到位，在建设过程中做好相应的排水排盐科学规划，就不会造成绿洲盐渍化。

任何事情都有两面性，所以要权衡利弊。从新疆的需求来说，调水对新疆的社会稳定和发展、国家的粮棉瓜果供给、一带一路战略的实施是有好处的。

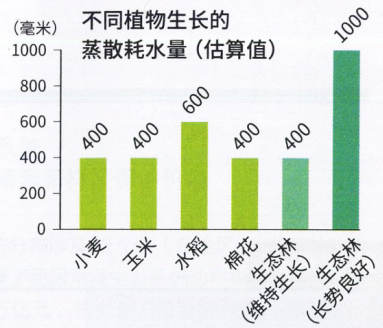


李保国　**引水的雅鲁藏布江，就按矿化度0.1克/升左右计，看起来是很低了，但不要小看这么点盐。600亿方水带去60亿公斤盐，相当于平均每天1600万公斤盐撒到西北大地上。**这还光是算水里的盐，没有算水流到当地以后风化，从土壤里溶出来的盐。假如不采取措施，任由灌溉用水的盐分留下，大概50年后，这里所有灌区内的土壤就开始盐渍化了。所以在维持灌溉农业的同时，还必须用一部分水，把带来的盐分也给淋洗走，这个土壤才能可持续利用。

滴灌情况下，小麦或玉米生长一季大概需要400毫米的水，这是纯粹用于蒸散的水量，也就是最低值了。但因为需要控盐，400毫米的水还不够。阿克苏地区用滴灌技术种棉花，现实生产中包括淋洗控制盐分需要接近每年900毫米的水。如果控制得很好，理论上也需要至少600毫米的水。按600毫米计算，600亿方水只能发展1.5亿亩农田。但是这依然是理论数字，因为管道输水的利用率约0.9，渠道输水利用率也只有0.4左右。总而言之，我认为对于600亿方水能创造多少农田的问题，目前的设想太理想化了。



在新疆伊犁的人工绿洲，喷灌的农田在大地上画出了一个个圆圈。目前，滴灌、喷灌等节水技术的使用在新疆等干旱地区已经比较普遍。由于要放水排盐，在这里种植同样作物的耗水量比其他地区更大。从青藏高原引来的宝贵水资源究竟能发展多少农田和牧场，需要精打细算。摄影 / 李翔



关志华

灌溉渠道有灌水系统，也有排水系统，用排水限制土壤的含盐量。为了保证河流水质不会变坏，排水在新疆是受到严格控制的。排出的水里含盐量高，还可能有化肥和农药，排到河流里会影响下游取水的质量，人畜饮水和农田灌溉都会受到影响，因此必须要控制灌区的规模，特别是灌区排水的盐的含量。只有在汛期盐浓度被稀释的时候，才允许排到河里。大部分时间和大部分地区的灌区，排水是排到低洼地、干枯的湖泊里面，这些地方就是用来存盐。

我去过罗布泊，低洼地那真的是盐壳，走在上面嘎嘎作响。青海还有盐墙，当地人拿钢钎子戳出砖那么大的盐块，拿出来搁在一个地方，然后从湖里舀一点咸水倒在上面，几天时间就能砌成盐墙。这墙半透明，类似于干砌石那样，一块块垒起来，在中间浇点盐水，水分蒸发了以后互相就咬合成了墙。还有盐桥，汽车可以在上面开。如果路上有坑要修补，就取点盐水倒进去，过几天一结晶就又平了。

此外，“红旗河”估算灌溉定额是 300 立方米每亩，我认为这是偏低的。我们通过在青海做的一些计算和研究了解到，柴达木盆地作物需水量大约是 400 多方水，这还只是公式计算出来的理论值。而像新疆蒸发强度大，即使用滴灌，在没有大棚的情况下仍要比北京的滴灌耗水量大。

生态

这样大规模的调水工程，是否会造成生态问题？怎么避免或解决？

专家观点

王浩

“我们就从千年尺度上看看沟通了海河、黄河、淮河、长江和钱塘江五大水系的京杭大运河，真的是找不出它的生态风险到底在哪儿”

李保国

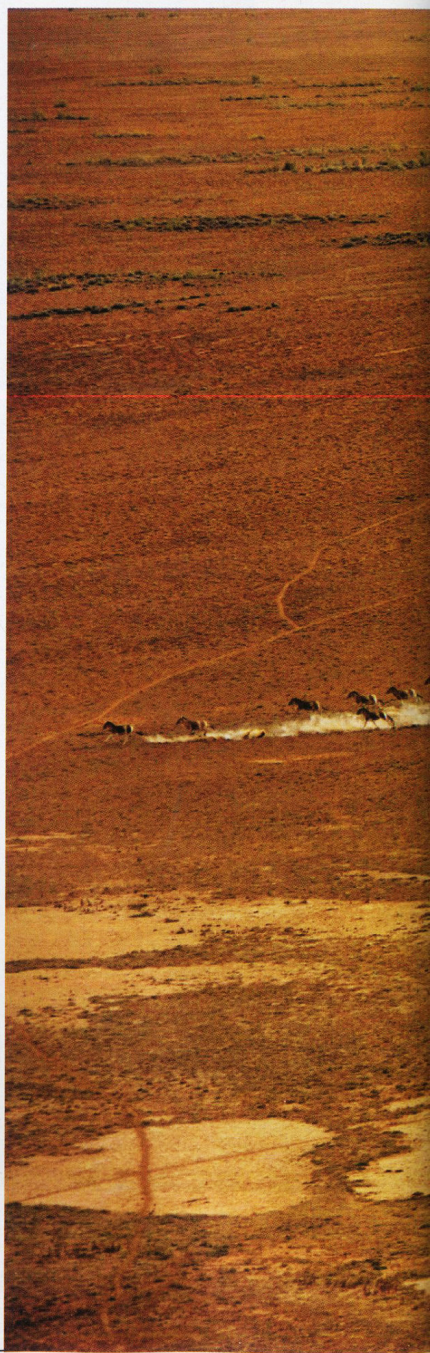
“干旱区也是生态，是大自然的生态，假如说是为了生态而调水，没有必要在地球上这么去做”

杨勤业

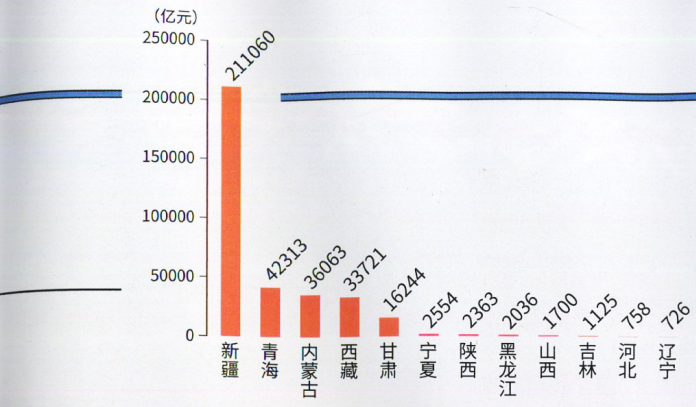
“在缺水区增加水量并非愈多愈好，生态平衡与水量平衡之间有密切关系”

王浩 “红旗河”在工程建设过程中以及运行初期会较大规模地改变原有生态系统，可能会存在生态环境风险，这是要认真对待并将可能影响控制到最小程度的，需要从调水线路设计、工程方式选择、施工技术创新、科学运行管理等各个层面管控生态风险。

不仅仅是千年尺度上，在百年、十年尺度，“红旗河”的利也是远远大于弊的。我们就从千年尺度上看看沟通了海河、黄河、淮河、长江和钱塘江五大水系的京杭大运河，真的是找不出它的生态风险到底在哪儿。但在两千多年的历史进程中，大运河为中国经济发展、国家统一、社会进步和文化繁荣作出了重要贡献，至今仍在发挥着巨大作用。



我国著名的植物学家、中国科学院院士吴征镒曾于2010年提出在新疆建立中国荒漠区野生生物资源保育与研究中心。吴征镒说：“新疆地域辽阔，拥有我国最大的荒漠区及特有的生物物种和资源，在全球干旱区生物资源中占有极其重要的地位。”图为新疆卡拉麦里国家级自然保护区中的蒙古野驴群。这片地区看起来只是一片荒漠戈壁，却生活着大量的荒漠野生动物。保护区保护对象主要有普氏野马、蒙古野驴、鹅喉羚等多种野生有蹄类动物以及它们独特的栖息地。沙漠植物胡杨、沙拐枣、梭梭、铃铛刺、红柳和野蔷薇等植物都是这些野生动物赖以生存的食物来源。摄影 / 李翔



我国荒漠生态系统分省动物物种资源多样性保护价值

我国荒漠生态系统分布涉及12个省（自治区）。北京林业大学的刘博等人计算了我国荒漠生态系统动物物种多样性保护总价值，为35.1万亿元。按分省（自治区）统计，新疆的价值最高，青海、内蒙古、西藏、甘肃价值数接近，而宁夏、陕西、山西、河北、吉林、黑龙江、辽宁价值较低。

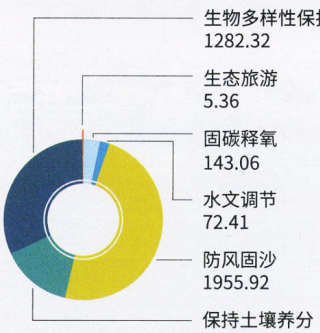
李保国

项目称要解决西北最大问题——生态问题。但是，**什么是生态问题？干旱区也是生态，是大自然的生态，人为调水在干旱地区形成的绿洲也是一种生态，那是人为地创造一个生态系统。维护这个系统肯定有很大的付出，特别是算经济账的话。搞生态是不是需要在这么大空间范围、跨众多流域去调水，有没有这个必要？要是说为了生存，大家不够吃，国家再也没有其他途径解决粮食安全问题，进行调水，这个我可能支持。但是假如说是为了生态而调水，没有必要在地球上这么折腾了。**实际上，往干旱地区调水是彻底改造原有的生态系统，人为建立一个新的生态，是人从生存或生活质量改善上而言的生态，不是自然生态的概念。有人说生态差，但它就是这种自然生态系统，就不适合人类生存，或者人口承载力就很小。西北地区，特别是新疆极端干旱地区，这是由地球的运动、海陆分布格局及喜马拉雅山存在这种大的地学条件决定的。我觉得工程问题都好说，随着技术进步我们可以解决，就看花多大成本怎么维护了或者运行多长时间了。关键问题是有没有必要。

荒漠生态系统类型是发育在降水稀少、蒸发强烈的极端干旱环境下，植物群落稀疏的生态系统类型。新疆地域辽阔，拥有我国最大的荒漠区及特有的生物物种和资源。比较完整的荒漠生态系统由高山冰川、高山草甸、高山草原、中山草甸、中山半荒漠、低山荒漠、戈壁带、人工绿洲、自然绿洲、裸地（固定、半固定沙丘、流动沙丘）组成。摄影 / 李翔

额济纳旗荒漠生态系统服务功能价值评估

单位：亿元 / 年



数据来源：任晓旭《荒漠生态系统服务功能检测与评估方法学研究》

荒漠生态系统服务功能价值曾长期被低估，实际上在固碳释氧、水文调节、防风固沙、生物多样性保护、生态旅游等方面，荒漠生态系统都具有相当的价值。图表为内蒙古额济纳旗荒漠生态系统服务功能的货币化评估。

杨勤业

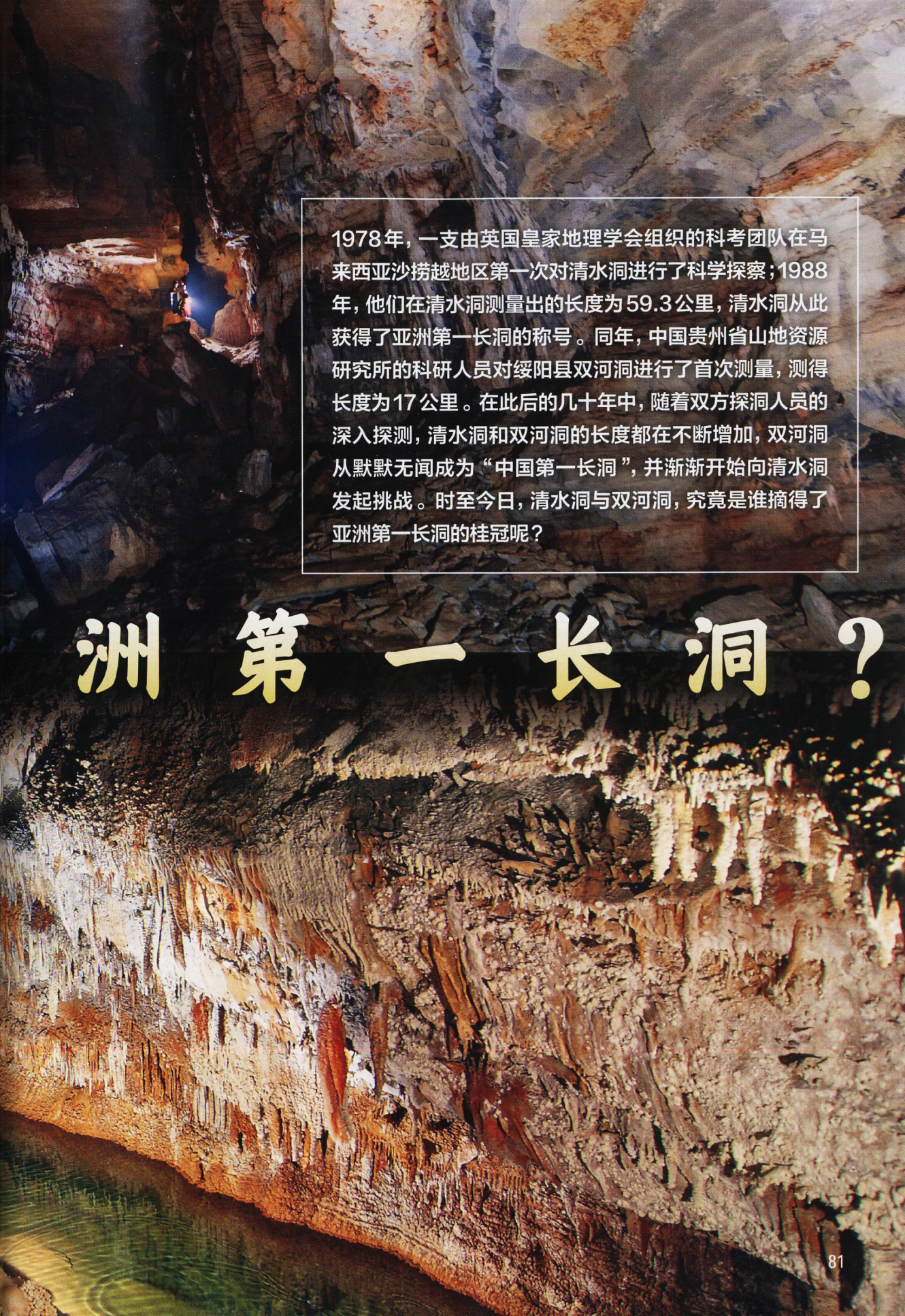
跨流域远距离调水是一项复杂的工程。调水进入干旱内流区，生态环境后果不确定性尤其大。在决策之前，首先要对可用水资源地表水和地下水的水量与水质进行综合评价；其次，对各种不同目的需水情况进行评价；第三，对现有水资源的使用效率作出评价；第四，对调水工程的工程效益、环境影响进行评价。**从环境与生态角度看，调入区的调水规模必须适宜，在缺水区增加水量并非愈多愈好。生态平衡与水量平衡之间有密切关系。众所周知，对于一个地区，水量平衡要素（如降水、蒸发、地表水与地下水等）是重要的生态物理因子。跨流域调水工程会引起相关地区水量平衡要素及其对比关系发生变化，最终将导致生态系统的改变。**一般说适宜于生态平衡的调水，环境影响可望较小，但是调水工程还包含其他一系列环境影响的问题，必须作进一步的讨论。调水对环境影响的评价直接涉及到工程的可行性，其影响有正有负，内容十分广泛。由于水是自然环境的重要组成物质，也是最活跃的环境因子。**调水改变水平衡与水文循环会连带着环境的变化。调水对环境影响的过程，可以归纳为以下模式：调水→改变原来的水文过程→自然环境变化→社会经济变化。以上模式表示了影响由初阶到高阶的顺序。因此，跨流域调水工程不仅仅是一个复杂的水利工程，还是一个十分复杂的生态系统工程，更是一个重大的社会经济工程。**环境问题涉及复杂的地球物理的、化学的和生物的过程，在现有认识水平下，仍需深入研究，而不能鲁莽行事。

责任编辑 / 张璇 付薇 顾纯 任远方 刘聪慧　图片编辑 / 吴敬
版式设计 / 崔晓琳　地图编辑 / 陈云





双河洞 清水洞 谁是亚

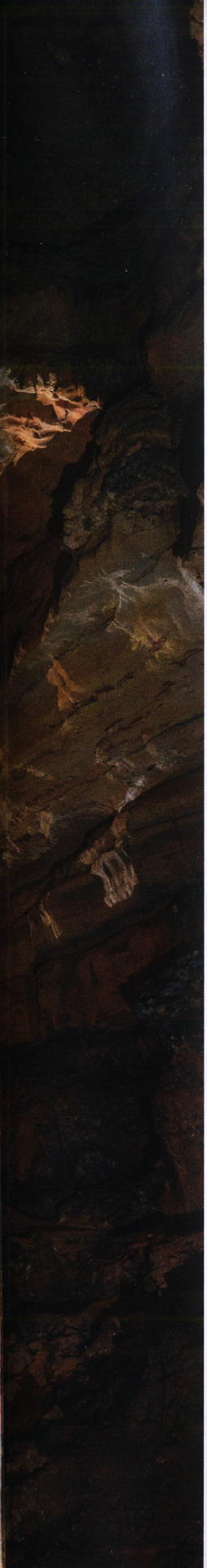


1978年，一支由英国皇家地理学会组织的科考团队在马来西亚沙捞越地区第一次对清水洞进行了科学探察；1988年，他们在清水洞测量出的长度为59.3公里，清水洞从此获得了亚洲第一长洞的称号。同年，中国贵州省山地资源研究所的科研人员对绥阳县双河洞进行了首次测量，测得长度为17公里。在此后的几十年中，随着双方探洞人员的深入探测，清水洞和双河洞的长度都在不断增加，双河洞从默默无闻成为“中国第一长洞”，并渐渐开始向清水洞发起挑战。时至今日，清水洞与双河洞，究竟是谁摘得了亚洲第一长洞的桂冠呢？

洲第一长洞？



洞穴，深藏在地底深处的神秘世界，充满了奇迹与未知。有时你必须蜷缩着身体钻过狗洞一般狭小的洞道，有时你需要鼓足勇气踏入冰冷的地下暗河，有时你只能咬着牙在满地的泥浆中摸爬滚打……但是，当你再迈出下一步时，眼前也可能出现这样一幅气势惊人的场景：恢宏的洞道、不同时期崩塌形成的层次分明的穹顶、脚下一步之外即是断崖……只有当你身处其中时，你才能明白洞穴具有何等的魅力，为什么长久以来吸引着众多探洞者孜孜以求。



2018年3月24日，
贵州省遵义市绥阳县双河洞吸引了全国乃至全世界的关注
——洞穴专家宣布：双河洞探明长度达到238.479公里，
超过马来西亚清水洞成为亚洲第一长洞，在世界十大长洞中排名第六。
从1987年贵州省著名的地质学家杨汉奎带领团队
对双河洞系统进行首次科学考察以来，
31年来中外洞穴专家对双河洞的探测一直没有停止。
是什么吸引了他们如此持之以恒地进行探索？
双河洞是如何从默默无闻成为亚洲第一长洞的？
在今后它的长度还会继续增加吗？

双河洞

历经三十一载，终成亚洲第一长洞

撰文 | 钱治　摄影 | 赵揭宇

当新闻发布会上，李坡和让·波塔西联合宣布“双河洞已探明长度达到238.479公里，领先于马来西亚清水洞，成为亚洲第一长洞，长度位居世界第六位”时，我本以为自己会非常激动，但实际上却没有，我只是拿起手机，看了一眼上面显示的日期——2018年3月24日。我的心中一片平静，还有一些理所当然的释然。

李坡，贵州省山地资源研究所研究员，双河洞科考中方首席专家。1988年，他和同事们对双河洞进行了首次测量，测量长度为17公里。

让·波塔西，法国洞穴联盟副主席，双河洞科考常驻首席专家。2001年，应李坡邀请，第一次探测了双河洞。在那次探测中，他带领着由6位法国洞穴学家组成的洞穴探险队，将双河洞的长度刷新为50公里。

而我从1993年第一次接触双河洞开始，与它的联系已经越来越紧密。从2001年至今，我几乎每年都会来到这里进行探测。

我向四周看了看，参加这次科考活动的20位国内洞穴专家和13位外国洞穴专家，许多人都是老朋友——所谓“老”，不

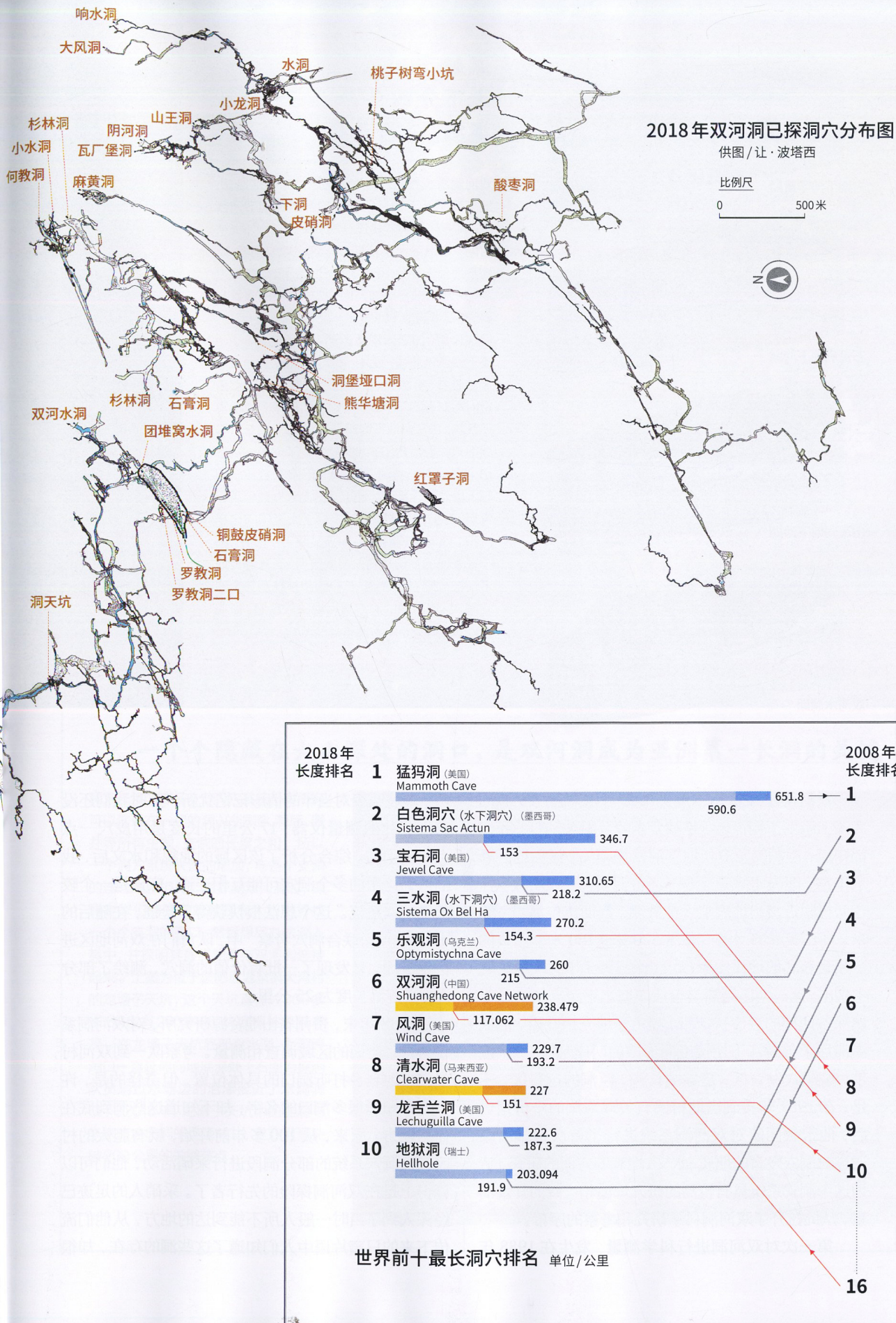
光是指我们曾多年、多次合作，也因为有不少人都是四五十岁的“老”人了。让·波塔西今年56岁，李坡今年58岁，而我也已经53岁了，我们有时会开玩笑说，在双河洞探洞，我们从小伙子探成了小老头，可还是没探完。探洞，与登山、潜水等活动相比，外表的光鲜度确实要逊色许多，既不能站在雪山之巅摆pose，也没法在珊瑚丛中凹造型，只能穿着朴素的探洞服在暗无天日的洞穴中滚泥巴，年轻人中吃得了这份苦，受得了这份脏，经得起这份累的确实不多。不过，在每年的探洞活动中，还是不断有年轻人加入，他们对洞穴都是发自内心的热爱。今年队伍中最年轻的队员，要数26岁的加拿大姑娘洁西和24岁的贵州小伙赵飞。

从2018年3月12日开始，我们这支由中国、法国、加拿大等国队员组成的科考队，在双河洞系统进行了为期15天的考察。此前，截至2017年4月25日，双河洞的长度已经达到了200.427公里。

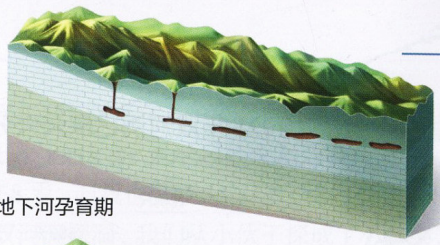
37.5公里长的中国第一长洞

在计算河流长度时，人们计算的是从河源到河口的干流长度，所以确定河源对河流长度至关重要。在计算洞穴长度时，国际洞穴界是这样规定的：一个洞的长度，等于属于这个洞穴系统的所有主洞、支洞、竖井等加起来的总长度。只要能连通起来的，就算一个洞穴系统。因此，洞的长度与人们对其的探测息息相关，通过探测连通的枝枝岔岔越多，洞的长度也就越长。现在的世界第一长洞美国猛犸洞，是经过了前后200多年的探测，才终于达到了现在651.748公里的长度。而在1972年，弗林特山脊洞穴与猛犸洞的相连，让这个世界第一洞穴的长度从139.2公里激增为232.4公里。

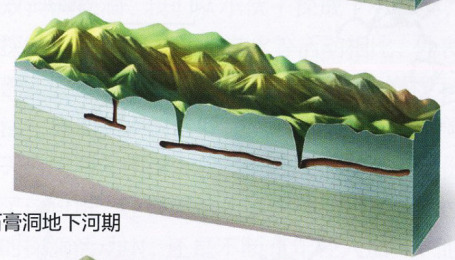




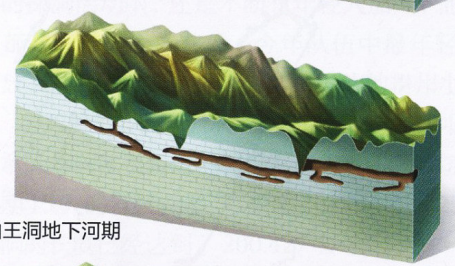
世界前十最长洞穴排名 单位/公里



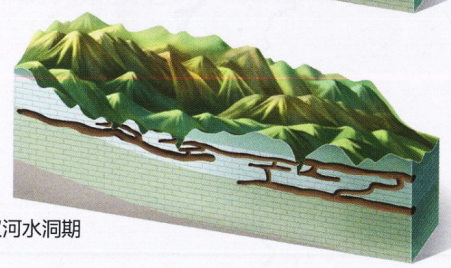
古地下河孕育期



石膏洞地下河期



山王洞地下河期



双河水洞期

深超 500 米，上下分四层，水洞、旱洞并存

双河洞系统是经过多次的间歇性新构造抬升，地下河不断下切后所形成的网络状地下河系统，其演化和洞穴化过程主要经历了以下4个时期：古地下河孕育期——这时地表河发育，地下河尚未完全形成，降水主要沿节理裂隙下渗，对岩石进行溶蚀，形成规模较小的竖井及斜洞；石膏洞地下河期——经历了不断的溶蚀、侵蚀作用，加之新构造运动对本区的抬升，河流下蚀作用加强，竖井、落水洞发育，古地表河流由竖井、落水洞潜入地下，并在地壳间歇稳定时期对基岩不断地侧蚀，主要形成三条地下河系统；山王洞地下河期——大约在19.8万年以前，地壳继续抬升，地表河、地下河进一步下切，杉林洞、石膏洞、罗教洞、皮硝洞、红罩子洞等上层洞由于受下层地下河的溯源侵蚀和袭夺作用，部分成为旱洞，并接受了大量洞穴化学沉积；双河水洞期——地壳又经历了抬升，由于地表河的下切及洞顶崩塌作用，石膏洞古地下河被分割为罗教洞、石膏洞和杉林洞三个独立洞穴，这时期的洞穴坍塌现象较普遍，形成多处天窗和天坑（绘图 / 谭希光）。



双河洞位于贵州省遵义市绥阳县芙蓉江支流池武溪上游地下河流域，是其分水岭及斜坡地带。我们都知道，溶洞的发育与地下河密切相关。这一地区降水丰富，地表水缺乏，地下河普遍发育，在田教、桂花两村附近流出地表汇入池武溪。河面水位海拔 680 米，高出芙蓉江水面（海拔 520 米）160 米。已故的贵州省著名的地质学家杨汉奎在 1985 年的一篇论文中指出：这一地区距离芙蓉江岸坡水平距离仅 9 公里，属深谷两岸的近岸伏流带，是由于地壳抬升后，池武溪滞后于芙蓉江下切速度而形成的两岸悬谷 — 伏流带，是洞穴发育区，是寻求长洞、巨洞的远景区。于是，在 1987 年接到当地村民有关双河洞的一份报告后，他带领团队对双河洞系统进行了首次科学考察，通过对洞穴发育的地质、水文、地貌等方面的研究，认为这个洞穴系统具有较高的研究价值和广阔的开发前景，从此拉开了双河洞科学研究和考察的序幕。

第一次对双河洞进行科学测量，发生在 1988 年初。李坡至今对当年的情形记忆犹新：“那时我们还没有现代化的测量仪器，17 公里的长度是用皮尺一点点拉出来的。综合分析了该区域的地貌和水文后，我们认为这里的多个洞穴可能互相连通，应该是一个较大的洞穴系统。”这个想法很快获得了验证，在随后的“1988 年中日联合洞穴考察”中，队员们在双河地区进行了探测，又发现了一批有价值的洞穴，测绘了部分洞段，测量长度为 25 公里。

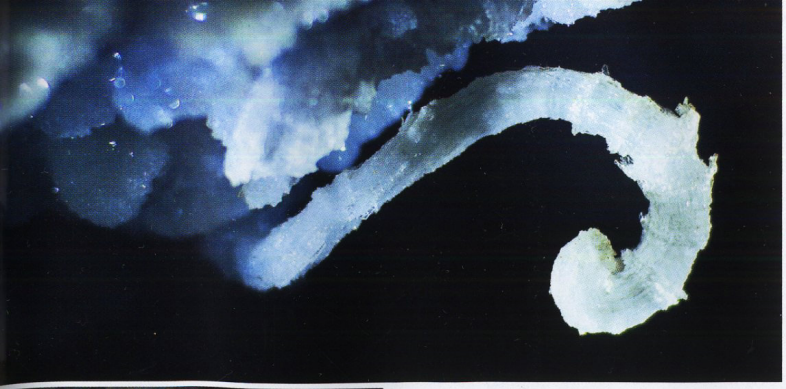
1988 年末，贵州省山地资源研究所，对双河洞系统展开了全面的区域调查和测量。考察队一到双河村，就向当地老乡打听洞口的具体位置，但奇怪的是，许多人都知道很多洞口的名字，却不知道这些洞到底在什么地方。原来，从 100 多年前开始，就有胆大的村民进入洞穴系统的部分洞段进行采硝活动，他们可以算得上是在双河洞探险的先行者了。采硝人的足迹已经深入到了当时一般人所不能到达的地方，从他们流传下来的只言片语中人们知道了这些洞的存在，却很

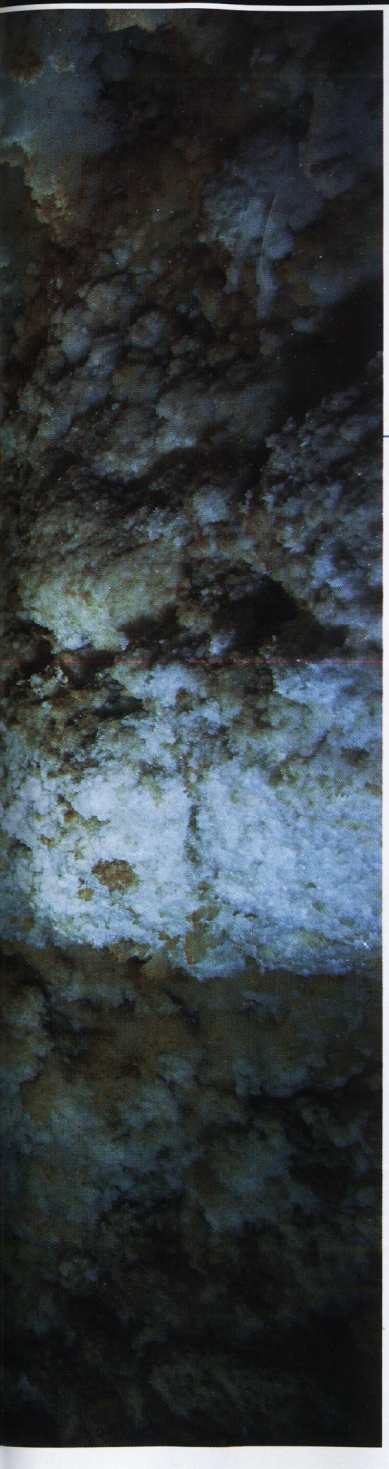
一个个隐藏在大山深处的洞口，是双河洞成为亚洲第一长洞的关键

洞穴长度，是指一个洞穴系统（即所有可以连通在一起的洞）的洞道、洞厅、竖井等所有主洞、支洞的长度之和。所以一个洞穴系统长度的增加，与各个支洞的连通息息相关。在探测双河洞时，探洞专家们需要做的就是在大山中寻找一个个支洞的洞口，然后想尽办法深入其中，并探明其最终能否与双河洞连接起来。上图为位于绥阳县温泉镇大湾村的龙塘子天坑，这个天坑直径达300多米、深度有200多米，坑底植被极其丰茂。在龙塘子天坑底部有水洞、上洞等洞口一直延伸向地底深处（右图为探洞队员趟过水塘边的沼泽接近了水洞洞口）。2016年，龙塘子天坑中的上洞与辛家湾凉风洞的连通成功，是双河洞突破200公里的关键节点。









与一般发育在石灰岩中的溶洞不同，双河洞是发育在白云岩地层中的超长洞穴系统，部分白云岩地层里还含有膏岩层（主要成分是硫酸钙）。膏岩是形成石膏的物质来源，石膏在岩缝里沉积，形成的晶簇、卷曲石、晶花等，晶莹剔透、姿态各异，在皮硝洞的支洞石膏晶洞里沉积最为集中，在长约800米的洞顶、洞壁、洞底上，几乎都有分布，面积达3万余平方米（左图）。但这些美丽其实只是副产物，膏岩更重要的作用是在洞穴的形成中起到了催化和拓展作用：首先，膏岩在水流的作用下会产生溶解作用，溶解于水中的硫酸钙在进入洞中后由于环境的变化重新沉积，其体积会膨胀30%—50%，并对其周围岩层产生强大的膨胀挤压作用，导致岩层进一步破碎，有利于喀斯特作用；其次，膏岩遭溶解后，增加了水介质中的硫酸根离子浓度，加剧了水流对白云岩的溶解；第三，膏岩自身为一种较碳酸盐岩更易溶蚀的岩石，其被溶解后的残留空洞也可发育成为洞穴。

石膏，美丽只是副产物，它对双河洞洞穴的形成至关重要

少有人前去探看。正当队员们一筹莫展之际，有人推荐了一位熟悉附近地形的村民赵中国。

赵中国当年31岁，据他介绍，他小时候读村小时，老师总爱在周末带学生去附近的洞口捡石膏，换钱买粉笔和书本，大大小小的洞口跑了十几个。后来在外地上学时，一位同学邀请他去参观一个溶洞，大家都啧啧称奇，他才知道这些在老家“多得不摆咯”的洞子竟然是别处少见的奇观，而且还具有很高的旅游和科研价值。于是他对洞上了心，开始特意钻山找洞。在他的带领下，那一年探洞队员们找到了双河洞系统中的麻黄洞、杉林洞、阴河洞、大风洞、皮硝洞、山王洞等洞口，历经几次测量，将双河洞的实测长度提高到了32公里。在后来的日子里，赵中国成为我们最好的向导和朋友，他陪着我们穿越了层层迷洞，共同经历了这场跨越30年的发现之旅。

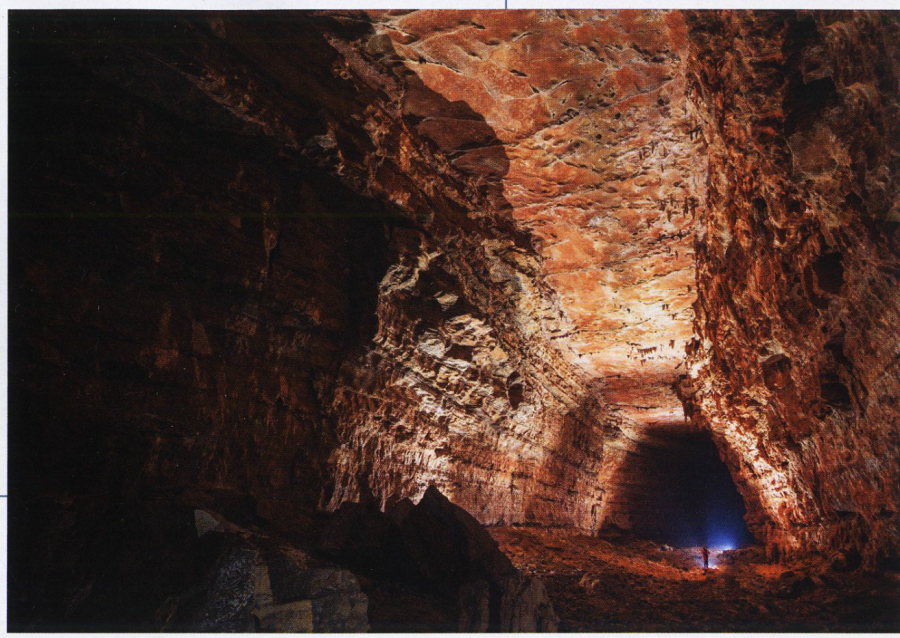
1994年，贵州省山地资源研究所研究员贺卫，主持了贵州省科学研究基金项目“双河洞成因及古环境研究”，6名地质、水文、环境、生物等专业的科学家参与其中。他们对双河洞进行了多次实地探测和研究，对双河洞的形成、发育及演化过程进行了探讨，提出了膏岩层的存在对双河白云岩洞穴形成的重要意义。同时，对洞穴内的碳酸钙沉积物进行了碳—氧同位素测量分析和U系年代测定，探索了洞穴形成以来双河洞穴系发育区域的古环境变化，为此后的探索奠定了坚实的基础。这一年，双河洞测量长度为37.5公里，超过了当时的中国第一长洞湖北利川腾龙洞（腾龙洞当年测量长度为33.5公里）。

此后，随着腾龙洞和双河洞的持续探测，双方的长度交替上升，但最终双河洞渐渐站稳了我国洞穴长度排名榜上第一的位置。



岩层中的二价铁、三价铁，在洞顶绘出天然壁画

左页和右页的两张照片，拍摄的是位于皮硝洞某支洞中的同一洞道。这段洞道的横剖面呈较为少见的矩形，更特殊的是它的洞顶。左页图拍摄于2016年，洞顶有些部分是刚崩塌下来的，新形成的岩层断面中所含的二价铁离子还没来得及氧化，所以显露出了二价铁的绿色。右图拍摄于2018年，此时洞顶岩层中的二价铁，已因为较长时间暴露在空气里，被氧化为三价铁，显示出了三价铁棕红的颜色。



突破100公里

在历年探测双河洞的经历中，2006年的那次最令我难忘。

2006年3月12日—4月12日，贵州省洞穴协会、法国洞穴联盟、日本洞窟协会的20名多学科专家组成的中法日“2006高岭”洞穴科学考察队，对双河洞系统进行了一次大规模考察。在这次考察活动中，我们每天都有新的进展。

4月7日，我们对皮硝洞进行了深入测量。随着双河洞长度的增加，我们需要继续测量的地方也越来越远，在皮硝洞，我们每天花在往返路途上的时间长达9个多小时，这使我们大量的体力和时间都无可避免地浪费在了走路上。从桂花村后山翻越垭口进入母猪塘盲谷口，两个位于盲谷右岸的巨大洞口便映入眼帘，一为盲谷的落水洞，称为“下洞”，洞口海拔800米；另一洞口即为皮硝洞，海拔为857米。

皮硝洞是一个大型干洞，截至当日，我们测量过的长度已达14公里。从洞口向南发育的主洞道很宽大，宽20米，高15米。前进1300米后洞道出现了分岔，在洞道东侧有一条很特别的支洞。这个支洞长约1公里，洞内沉积了大量的石膏沉积物，其中在近800米洞道的洞顶、洞壁甚至部分洞底，都被雪白的石膏沉积物所覆盖。石膏沉积物沉积类型多样，既有石笋、石钟乳、石柱、石帘等，亦有婀娜多姿的卷曲石，更有晶莹剔透的石膏晶簇、晶花等。我们将此支洞称为石膏晶洞。

在1300米的分岔处主洞分为左、右两支，右支向西发育1000米后到达一个深20米的竖井，下到竖井底部前行不远又会遇到一个25米高的陡坎，紧接着又是一个30米深的竖井。在下竖井时我们使用了单绳技术（即SRT技术，指通过手脚并用操作上升器、下降器、扁带等器械组合，在一根绳索上上升或下降），单绳技术的出现，使过去只能通过绳梯、滑轮等原始工具的探险变得快捷、简单了许多，因此有人称之为“洞穴中的高速公路”。下完该竖井再前行200米后便进入一洞厅，洞厅内有一条小溪流入一小落水洞中。此处要穿过一个有一定危险性的竖井——首先必须穿越一堆不稳定的大石块，然后因为这个竖井壁上有瀑布存在，所以要选择合适的路线小心下降，以避免淋湿受冻。接着再下4个竖井（深度分别为13米、30





“蓝色长廊”，长度800米，是世界上最长的天青石洞道

当探洞队员们第一次踏入位于石膏洞支洞中的这段洞道时，大家都惊呆了——洞顶和洞壁在头灯的照射下，显示出一片迷人的浅蓝色，让人如同身处梦幻之中。探洞队员们为它命名为“蓝色长廊”（右图）。经过之后的深入研究，洞穴专家们确认这美丽的蓝色来源于从洞顶和洞壁岩缝中挤压、析出的天青石。天青石的主要成分是硫酸锶，较难形成完好的晶体，多为集合体，呈钟乳状、结核状、纤维状以及细粒状等（上图）。

米、11 米、24 米），眼前出现了两条流向东北的小溪，两溪相汇后，流入另一条更大的地下河，从汇入点向北 500 米即可到达麻黄洞中一个竖井的底部。此处为皮硝洞与麻黄洞的连接点。

在有小落水洞的洞厅内，我们攀爬过高 27 米的陡坎后继续沿陡坡向上，就进入了一个上层洞。该洞长度为 3000 余米，在这里，一名法国队员发现了一个去年没有测量过的竖井，这个竖井深达 175 米，艰难地下到底后，钻过一个小洞，队员们惊喜地发现，里面有个不大的洞厅，厅内还有很多岔洞，都是以前从来没有到过的。这个发现使大家兴奋万分，因为这就意味着该洞的实际长度可能比以前大家想象的还要长很多。

4 月 9 日一大早，法方的 4 名队员就进入这个 175 米深的竖井进行测量，原来定于晚上 12 点出洞，没想到了预定时间，前去接他们的司机在山下只等到了两个人出来。大家分析认为下面的支洞众多，地形非常复杂，两人一定是走岔了路出不来了。

4 月 10 日凌晨 6：00，天亮了，仍不见两人的影子，救援队决定出发寻找他们。早晨 7：10，救援队进洞，一直找到下午 3：00，整整 8 个小时，终于将



两人找到了。这时离他们进洞已经整整 30 个小时了。确实如大家猜测的那样，两人果然是在那个竖井下面的厅里迷路了。

由于竖井下面测量难度太大，所以当晚两名法方队员只测了 1 公里不到，但就是这宝贵的 1 公里数据，将双河洞的实际测量长度正好提升到了 100 公里以上，达到了 100.012 公里。

亚洲第一长洞

2018 年 3 月上旬，来自全国各地和国外的洞穴专家们纷纷赶到了绥阳。我也又一次见到了老朋友赵中国，他再次赶来给我们当向导。在这些年的时间里，他用双脚丈量了双河流域近 200 平方公里的土地，发

山穷水尽疑无路，“洞”暗“井”明又一程

探索洞穴的最大魅力在于未知，当迈出下一步时谁也不知道前方已是尽头又或是一个前所未见的新发现。行进到照片中这段洞道时，水平延伸的洞穴陡然结束，脚下突然变成了断崖，一个巨大的竖井出现在了探洞队员们的眼前。竖井之下是什么？一个新的洞厅、几个未知的洞口、抑或是一个深潭？它们能否与双河洞主洞连通？会不会有前所未见的奇观藏在其中？队员们的心中充满了强烈的好奇，干劲十足，各司其职，有条不紊地开始了工作，准备踏上一段新的征程。



不断有新发现，同时也有更多新未知需要进一步探测和发现，是我们持续探索双河洞的动力



李坡
贵州省山地资源研究所
研究员

绘图 / 李亚龙



双河洞的探测工作开始于上世纪80年代，当时我们的资金有限、设备较差、人力有限（当时只有科研人员做这方面的工作），为此，选择了与国外探洞专家合作。他们带来了先进的理念、技术与设备，对我们的帮助很大。因合作愉快，一直合作至今。

这一超长洞穴给我们提出了很多的思考和研究的方向。一般来说，石灰岩地区更易发育长洞、大洞，为什么在此区域的寒武系娄山关组的白云岩地层中发育了如此众多的洞穴和超长的洞穴系统？还有没有其他没探测到的洞可能与之连接？这是我们初期探测的动力。随着后来探测的进一步深入，不断有新发现，同时也有更多新未知需要进一步探测和发现，为此，我们就这样年复一年地持续了下来。

虽然双河洞不可能是无限长，肯定有彻底探完的一天。但具体什么时候能探完还真说不清，这就是探洞的意义和乐趣所在——因为尚未探测过的洞道没有人知道前方是结束还是有新发现。我认为，双河洞目前还有许多未知区域，10年内要彻底探完难度很大。而且就算洞穴系统彻底探完了，探洞的乐趣也不会就此消失，那些在探测过程不断涌现的新发现、新未知，都是吸引后来人继续探测下去的动力。比如说洞穴的形成经过了漫长的地质历史时期，各洞道间的相互关系是研究此区域水文地质演变和新构造运动的有力证据；在喀斯特地区，洞内的沉积物（包括流水冲积物和次生碳酸钙沉积物）中保存了大量第四纪以来的地理信息，是研究第四纪以来古气候和古生态环境变化的重要证据；洞穴的特殊环境也造就了许多新物种，是研究生物多样性的不可或缺的场所……在双河洞这样一个世界上罕见的超长洞穴系统中，所隐藏的秘密还有太多太多。

31年来双河洞探测历程

1988年
贵州省山地资源研究所的考察队
对双河洞进行了首次测量
测量长度为
17公里

1992年
35.2公里

1994年
37.5公里

2001年
50.5公里

2003年
70.502公里

2004年
78.5公里

2005年
85.29公里

2006年
中法“2006高岭”洞穴科学考察队
在龙塘子水洞和皮硝洞又发现了新的支洞
双河洞测量总长度达到
100.012公里

2007年
106.058公里

2008年
117.062公里

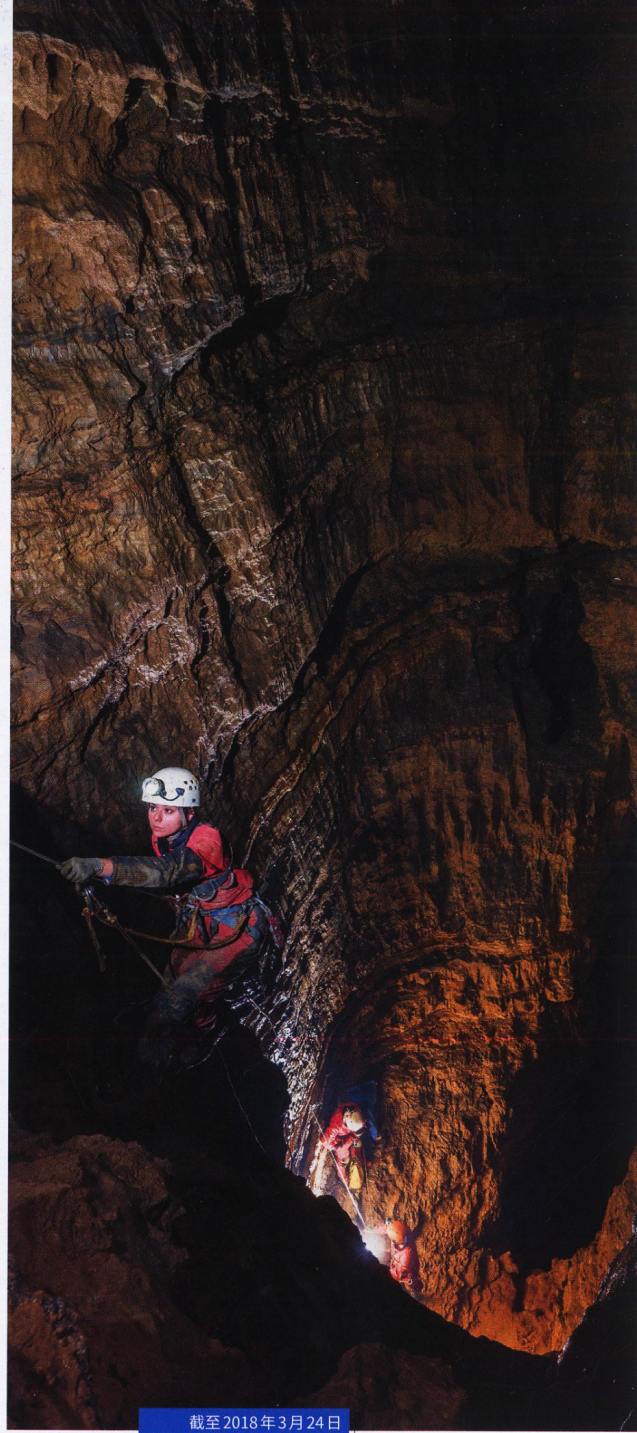
2009年
122.1公里

2010年
128公

现了 500 多个洞口，还亲手绘制了一摞厚厚的洞穴分布图。虽然他绘的图没有坐标，比例、位置等也够不准确，外人都看不懂，但我们找到他，凭借着自己绘的图和记忆，他基本都能带我们找到洞口。

今年的双河洞科考参与人数众多，所以大家决定分头行动。3 月 13 日，考察队分成了三组，一组到龙塘子天坑上部发现的新洞中进行初探，一组探测碓窝洞，另一组在何教洞准备第十三届中法洞穴技术培训班 SRT 技术培训 —— 部分新的队员在参加过这次培训后才能投入到实地探测中来。

龙塘子天坑上部发现的新洞有好几个，但在“先锋队”下洞探测后，通过对地下河的流向、岩层走向、岩层结构等方面仔细观察，发现它们与双河洞并不属于一个系统。最终我们确定只有在 3 月 14 日探测的八仙洞和 3 月 16 日探测的神仙洞，具有测量意义。在进行洞穴探察过程中，探洞队员一般会分三批下洞：第一批下洞的队员为“先锋队”，他们主要负责寻找新的洞道，开拓新的行进路线；第二批队员主要负责绘制洞图和详细测量工作，现在我们普遍都使用手持激光测距仪来测量，不仅提高了准确度也降低了难度；第



探索、测量、研究，在双河洞探洞并非只是一项简单的探险活动

在双河洞探洞，并不仅仅是一项富有探险气质的户外活动，也是一场严肃认真的科考。队员们首先要有高超的绳降技术（右图），还需要掌握一定的测绘技巧，左页图中的队员正在用手持激光测距仪进行测量，测绘结果会被传输到手机或电脑中保存起来，等待进一步处理。但也不能完全依赖仪器，有时也需要有人在现场进行人工记录或绘图。而在后续，队员们还会展开对洞穴岩层、土壤、洞穴沉积物等的进一步研究。

截至 2018 年 3 月 24 日
双河洞超过马来西亚清水洞
成为亚洲第一长洞
已测长度为
238.479 公里

（长度 / 公里）

11年
38.409公里

2012年
145.8公里

2013年
151.8公里

2014年
161.788公里

2015年
172.788公里

2016年
186.333公里

2017年
200.427公里

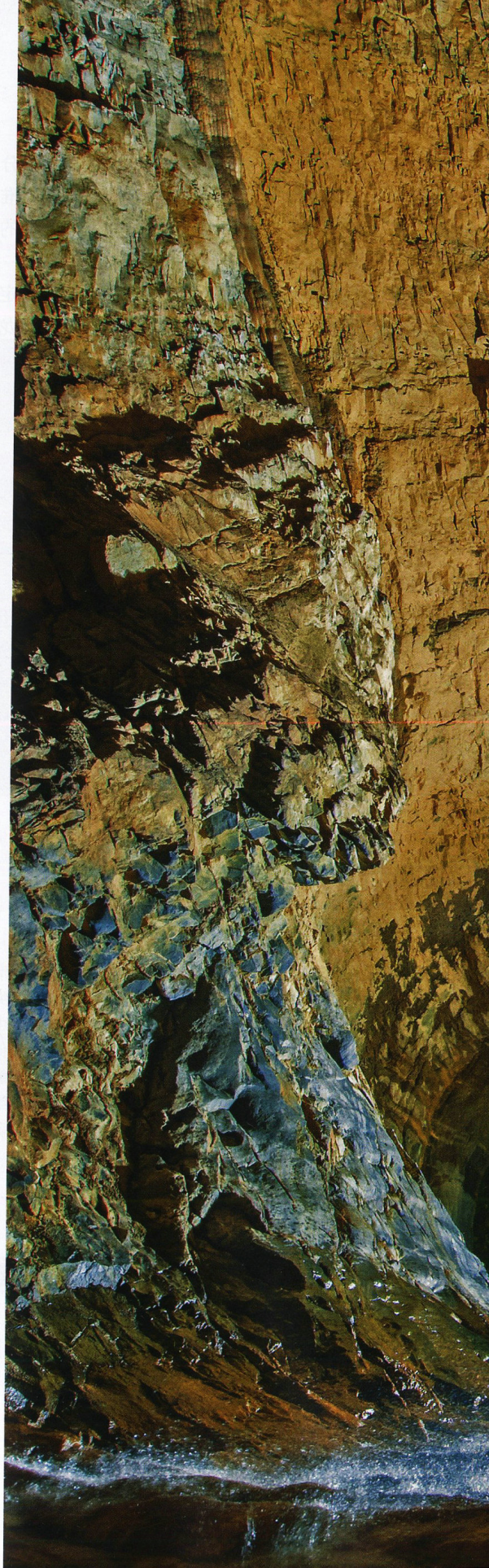
三批队员，主要负责摄影和其他科学考察项目，不仅要留下宝贵的洞穴影像资料，还要进行一些采样、现场分析等科研工作。

3月18日下午，突然下起了大雨，通向洞口的道路往往都是泥土路，被雨水泡后又泥泞又湿滑，连四驱车都无法开到洞口，人员和装备都运不上去。而下雨也可能造成地下河水位上涨，这对我们探洞来说是十分危险的，大家只能默默祈祷雨赶快停止，以便继续工作。到19日下午，天终于放晴了。为了安全起见，我们决定等到第二天再对碓窝洞进行深入探测。

碓窝洞是2003年当地村民发现的一个新洞口。碓窝，是当地农村沿用了上千年的一种捣米石器，形如尖底的碗。由此，你也可以想象一下现场的情形——我们首先要下降到一个200米深的天坑底部，然后才能进入洞口。由于探测难度很大，直到2015年，我们才发起了对碓窝洞的探测。去年，我们在碓窝洞探测的洞穴长度已达到8.257公里，为了连通碓窝洞和双河洞，让·波塔西曾在洞内进行了连续84个小时的探测，但一直没找到与双河洞的连通点。

3月20日，碓窝洞的先锋队出发了，三位成员分别是来自法国的让·波塔西和卡罗斯，还有来自重庆的刘佳（小葱）。刘佳是一个特别利落、飒爽的女生，胆大心细，技术过硬，已有14年探洞经验，人称重庆洞穴探险队的“一姐”。整整一天一夜后，他们3个人终于回来了，都明显疲惫不堪。刘佳由衷感慨道：“碓窝洞太复杂，难度太大了。”她说，洞里有许多纵横的暗河、深潭、竖井、缝隙，洞穴结构非常复杂，如同迷宫一般。不过这次探测也是成果斐然，碓窝洞终于与双河洞连通了，并且测量长度增加为9公里。

31年来，我们在极端复杂的双河洞穴系统中，总共调查和记录了各类洞穴（洞口）280多个，对其中将近100个洞穴进行了实测，现已探明有56个洞口可以进入双河洞，另外已知的143个洞口还暂时未与双河洞相连。经过探测和研究我们了解到，整个双河洞系统分为4层，由4条地下河和1条季节性地下河（分别是龙塘子地下河、红罩子洞地下河、响水洞地下河、何教洞地下河和阴河洞地下河）、8条主洞道、200余条支洞组成。已测量出的总长度为238.479公里，探明深度594米，不仅是中国第一长洞，也超越了马来西亚清水洞，成为了亚洲第一长洞，长度名列世界第六位。





巨大的石臼
昭示着地下河的力量

贵州地区海拔高度较高，地下河有更多的机会流入地表河流，双河洞的水洞在旱季时水位降低，不需潜水也可进入探索。在这些水洞中，地下河留下了一处处奇观。比如照片中所示的巨大石臼，这是水流携带的砂石，磨蚀岩层形成的，水量越大、水流越急、高差越大，冲击力和磨蚀力也越大，形成的石臼就越大。目前在双河洞水洞中，已发现最大的石臼深度达30多米。

在未来，还有更多的洞穴有待连通

地图中所绘的是双河洞系统现已探明（白线）以及待连通（红线）的洞穴分布图。在今年的科考活动中，新发现的八仙洞、神仙洞与双河洞主洞实现了连通，使得双河洞的长度进一步延伸。更重要的则是碓窝洞的连通，这个发现于2003年，但由于探测难度大，到2015年才开始探索的洞穴终于与双河洞主洞连接了起来，让双河洞一下子增加了9公里的长度，实现了总长度238.479公里的突破，超过马来西亚清水洞，成为了亚洲第一长洞。但对双河洞的探索还远远没有结束，洞穴专家与探洞爱好者们，还将继续寻找更多的洞口和支洞，进行深入探索和研究。



2018年双河洞已探明及待连通洞穴分布图

供图/让·波塔西



在这 30 多年的时间中，在长度上马来西亚的清水洞曾长期是双河洞追赶超越的目标。至 2018 年 4 月，清水洞测量长度为 227 公里，与它临近的几个洞穴系统 ——Benarnt 洞穴系统，已测长度为 50.19 公里；Teriken 洞穴系统，已测长度为 32.57 公里；Cobra-Bridge-Cloud 洞穴系统，已测长度为 20.63 公里，目前这 3 个洞穴系统暂时未能与清水洞连通，如果相连，总长度将在 330 公里左右。

在双河洞洞穴系统的石膏洞以上，我们已测量了 57 公里；在龙塘子天坑以上，测量了 32 公里；在团堆窝天坑上部，测量了 11 公里。如果相连，双河洞的总长度也将超过 330 公里。

清水洞，是在极其有限的一块石灰岩山体范围内（长约 25 公里，宽约 5 公里），发育出了洞穴密度和洞穴空间惊人的巨型洞穴；双河洞，是在比石灰岩更难溶、很少发育大型洞穴的白云岩中，形成的极其复杂的巨型洞穴，不仅在我国具有唯一性而且在世界上也极其罕见。这两个各具特色的亚洲长洞长度的不断延伸、研究的不断深入，不仅对研究其自身的形成和演化机制有重要意义，对世界范围内岩溶地质学、地貌学，乃至古气候、古生态环境等方面的研究也都具有重要意义。

在马来西亚，英国探洞队对清水洞的探测还在不断进行。而我们也将继续付出努力，继续探测！我们的理由极其简单：双河洞值得付出！

责任编辑 / 张璇　图片编辑 / 张璇
版式设计 / 李晟　地图编辑 / 陈云



1978年，探洞家安迪·艾维斯带领英国探险队第一次在马来西亚沙捞越的姆鲁山区发现了清水洞。在接下来的40年中，探洞者沿着清水洞的复杂网络不断向山体深处探索，清水洞也一度成为亚洲第一长洞。尽管在2018年上半年，中国贵州绥阳的双河洞取代了清水洞暂夺亚洲第一，但有关清水洞的传奇故事还远未结束。作为1978年清水洞的发现者之一，英国地质学家托尼·沃特汉姆将给我们讲述已历时40年的清水洞探索故事，预测清水洞将会延伸往何处。

清水洞探索四十年

前亚洲第一长洞能否重夺桂冠？

撰文 | Tony Waltham　摄影 | Robbie Shone 等



1978年4月3日星期一，我乘坐小艇正从梅里瑙河（River Melinau）逆流而上。马来西亚沙捞越州的热带雨林闷湿茂密。与我同船的除了科考队员本·里昂（Ben Lyon）外，还有当地本南族部落的两位船工与一位挑夫。在我们左侧，原始森林朝着低地平原舒展延伸。无数条浑浊小溪裹挟着泥沙从森林里蜿蜒而出，汇入梅里瑙河。而右手边，数百米高的陡峭石灰岩峭壁从林冠层中冲天而出，壮丽无比。

突然，我们发现原本浑浊的梅里瑙河水被分成了两种截然不同的颜色。左侧河道依然浑浊，而右侧却变得清澈见底。小船向前行驶不远，但见汩汩清流从一块隐匿在茂密树丛后的巨大砾石间流出，汇聚入梅里瑙河。尽管当时我们无法知晓这股溪流到底源自何方，但纯净的流水却给出了明确的暗示：一个不为人知的溶洞就掩藏在这座巨大石灰岩山体之中。大小不一的砾石便是早已崩塌洞口的古老遗存。我们或许将是历史上首批发现这个大型洞穴的人。但此刻，小船必须先按计划前往河流的上游，到位于梅里瑙峡谷（Melinau Gorge）附近的另一个洞穴进行考察。

这是我到达加里曼丹岛沙捞越地区的第一周。一支由英国皇家地理学会（Royal

丛林深处寻秘洞

左图：清水洞位于马来西亚沙捞越州的姆鲁山地区。姆鲁山地区以其茂密的热带雨林和奇特的石灰岩喀斯特地貌闻名天下。在该照片中，姆鲁山宏伟的石灰岩峭壁被茂密植被覆盖，却依然清晰可见。摄影 / Jerry Wooldridge

下图：抵达清水洞最佳的路径之一，就是坐船溯梅里瑙河而上，在趟水过浅滩之后，上岸进入洞穴。1978年，英国探洞者正是用这样的方式首次抵达清水洞。截至2018年，已探明的清水洞出入口已达20个，但很多位于山脊之上的出入口从外部很难到达。摄影 / Jerry Wooldridge





从被发现，到被命名

左图：马来西亚沙捞越丛林中的原始部落本南族，他们是世代生活在沙捞越的土著居民。尽管在1978年英国科学家和探洞者到达并第一次命名了清水洞，当地居民却早已知晓了清水洞的存在。摄影 / Tony Waltham

右图：清水洞中有着复杂的地下暗河系统。英国探洞者最初就是沿着一条清澈溪流发现了清水洞的位置，然后沿着清水洞中的地下河道进行探索。不过，沿地下河探索也有其危险性。沙捞越雨林中经常出现的短时暴雨会造成地下河突然暴涨，威胁探洞者的生命。
摄影 / Jerry Wooldridge

Geographical Society）组织的科考团队正在此集结，即将对姆鲁山（Gunung Mulu）周边广大区域开展多方面自然科学调查。科考队的一大计划便是在这个地区建立起国家公园，以保护其中的珍稀热带雨林免受伐木企业的觊觎。在真正建立保护区之前，科学家们必须尽可能细致地了解，这里有哪些值得关注与保护的自然景观和生物。科考队中汇集了近百位来自英国的探险家与科学家，整个科考项目将在这个地区持续整整一年。在熙熙攘攘的科考队伍中，有一支特殊的六人小分队。他们的主要任务是探索姆鲁山山脊西侧区域，寻找未知的洞穴。而我，就是这六人小分队中的一员。

1978年的发现

次日，探洞小分队中的三位在一名本南族船工带领下，向着昨日发现的那条清澈溪流进发。这位船工透露，有一个洞穴入口正位于溪流上游不远处的森林中，在大约高于河岸30米的地方。他带领着三位探险队员从河岸下船，在穿过一片森林后，一个黑漆漆的洞穴出现了。四人沿着由巨大落石堆成的陡坡手脚并用攀爬而下，抵达了一条地下暗河的河岸边。展现在众人面前的是一条宽高各有 30 多米的巨大洞穴走廊，从此延伸向无尽的黑暗。这便是“清水洞”。

三个探洞队员立马行动起来，他们趟入河流，逆流向上，小心翼翼地绕过暗礁边缘，游过一个幽暗的地下小湖，与激流展开搏斗。这是一场充满奇妙发现的地下冒险。戴维·布鲁克（Dave Brook）是探洞三人组之一，他是那个时代最成功的英国探洞者。直到现在他还觉得，在清水洞的第一天是他一生中最难忘的时刻。

在清水洞的第一天，探洞队最终被一个地下湖泊所阻挡。整个湖岸下切进黑暗，深不可测，显然简单泅渡并不保险。此时此刻，三人离最初进入的洞口已有接近 2 公里的距离。探洞小分队决定原路折返回森林中的科考基地，养精蓄锐。第二天，他们重新回到昨日发现的洞口。然而就在此时，一场暴雨不期而至，洪水淹没了洞穴。探洞科考刚刚启动便被迫暂停。

一周之后，情况终有好转。队伍重新集结，这次六名队员都加入了进来。队员们徒步、攀爬、泅渡，再次到达了先前阻挡我们的湖边。在这里，其中三人展开一艘充气橡皮筏，开始在幽暗中航行。往前划了一段距离之后，洞顶逐渐变矮，最终岩石与水面相接，完全封锁了前路。不过，小分队中的另三人却发现了新的出路。他们沿着陡峭小径向上攀爬，摸入了一条巨大的上层洞道，柳暗花明又一村！

翌日，行动继续。探险队员们沿着前一日探明的路线前进，直到探索时间所剩无几。地下河水位又猛然暴涨，我们赶在被洪峰淹没之前逃出生天，



幸运躲过了一劫。

又挨过了一周的漫长等待，队伍再次返回清水洞。这次我们做了更周全的准备，随行携带了足够多的绳索、折梯、食物、睡袋、额外灯具以及专业洞穴调查设备。沿着之前探明的河流，队伍上溯到巨大的高层“复兴洞道”（Revival Passage）。团队被分为三组，两人向前探索，两人负责绘制地图，另两人则寻找可能隐藏在黑暗中的其他洞穴分支。在伸手不见五指的地下，日夜交替早已失去了意义，只有腕表的“嘀嗒”声能够指明时间的流逝。不知不觉，已是入夜。当晚，我们在一间宽阔的大厅停歇。洞厅一隅落有一帘瀑布，为我们提供了充足的水源。但没多久，细小珠帘变成了“轰隆”作响的暴瀑。洞外的雨水已从地表下渗到此处，使得洞穴中的河流变得无法通行。

幸好，我们不急于折返。地下营地的位置不错，干燥且位置较高，甚至不用费心搭建帐篷。尽管此刻离最初进入的洞口已相距甚远，但第二天早晨我们没走多久就又发现了一个新出口。在接下去两天，我们继续深入探索，绘制地图，闯入一间又一间宏伟洞厅。不断有新的出入口被发现，而洞外就是莽莽沙捞越林海。在整个 1978 年的科考中，我们一共探索了 26.3 公里长的清水洞洞穴通道。

40年探洞风雨路

在之后的岁月中，又有25支探洞队相继来此进行洞穴探索。姆鲁洞穴考察项目(Mulu Caves Project)迄今为止已历时整整40周年。清水洞发现者之一安迪·艾维斯(Andy Eavis)是项目最初的组织者与负责人。之后，越来越多的英国顶级洞穴专家加入了进来。包括清水洞在内，姆鲁洞穴网络的总长已超过500公里，但这也许只是整个姆鲁洞穴系统的冰山一角。单单是清水洞的长度，在2017年时就已拓展到226.3公里，在当时排名世界第8，亚洲第1。尽管清水洞的长度远非世界之最，但它的众多洞穴洞道与世界上其他任何大型洞穴系统相比，都更为宽阔空旷。清水洞也因此被誉为“全世界内部空间最大的洞穴”。

探洞是一个漫长且进展缓慢的过程，探索清水洞亦不能例外。几乎每年，英国探洞者都会返回清水洞，踏入黑暗，继续向前、向上、向下探索。新的廊道、洞厅与连接洞道不断被发现。这些新的通路将清水洞与一些附近已知洞穴连接了起来。有时候，在一个不起



叹为观止的巨大空间——阿比洞厅

清水洞系统中最大的洞厅之一，阿比洞厅。清水洞并不是世界上最长的洞穴，但它内部的空间之大，迄今为止绝无仅有，清水洞也因此被誉为“全世界内部空间最大的洞穴”。

眼的拐角就能发现新的洞穴分支。清水洞的探索总是充满着惊喜。年复一年，我们对于这个神奇洞穴的认知也一点点增多。

1988 年，探洞者发现了清水洞与相邻风之洞（Cave of the Winds）间的连接洞道，风之洞顺理成章成为了清水洞系统错综复杂的南部终端。在同一次探洞活动中，人们又在清水洞发现了一段新的洞穴网，而这层网络就在 1978 年首次被发现的清水洞洞穴正上方。在清水洞已知北翼之外，黑石洞（Blackrock Cave）也被发现。洞内的一条暗河“爆竹溪流”（Firecracker Streamway）由东向西穿过整座石灰岩山体，直指清水洞内的地下暗河。尽管爆竹溪流不过是清水洞暗河系统中的一股涓涓细流，但这个发现足以让人兴奋不已。人们逐渐意识到，清水洞以其附属洞穴系统的庞大与复杂远超想象。

数年之后，探洞队返回黑石洞，沿着这条溪流继续探索。洞穴的长度不断延伸，人们走过似乎永无尽头的巨大长廊，直到他们发现了一条未知洞道。在艰难爬过一堆巨大坠落石砾之后，探洞队抵达了清水洞最北端。探洞队员同时也对上层洞穴进行了更深入搜

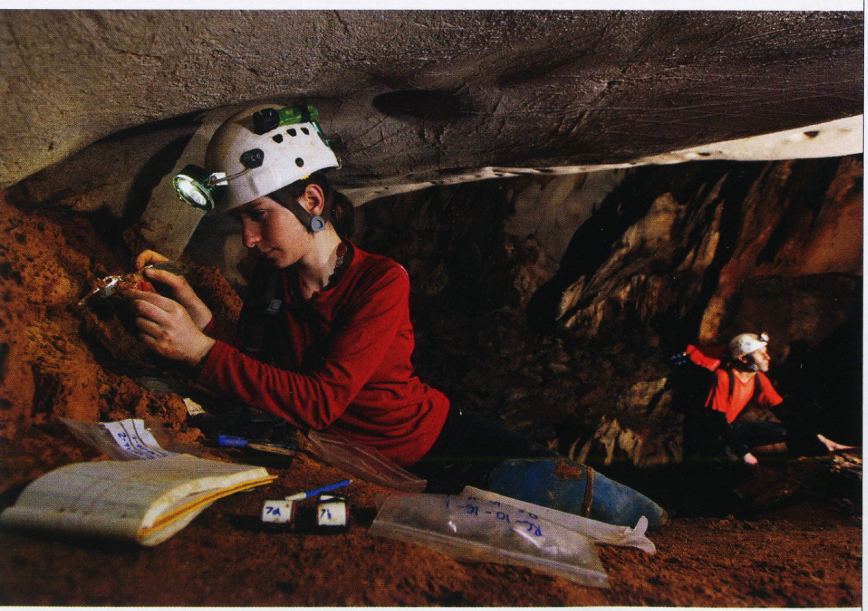


索，在通过一段下行廊道后，科考队竟直抵在 1978 年发现的地下河主河道。这段主河道是一条宏伟的地下峡谷，长宽都达到了 20 米，只是两头都被乱石所阻塞，唯有水流可从间隙通过。

仅仅从最近的洞口到达这些洞穴分支，就需要整整一天。而绘制详细地图也需要花费更多时间。在大多数探洞科考中，探洞者往往会在洞穴中宿营，省却了折返奔波的劳顿。有时，他们会在洞里一次就待上一周或是更长，才能够向洞穴更深处进发。虽然远离阳光，但这些营地却很舒适。

洞穴生物为探洞者指路

洞穴内生物的生存关键是食物来源，而食物必须来自洞外。在黑暗的洞穴中，几乎没有自然生长的食物来源。大多数洞穴生物都只存在于靠近洞穴入口处。蝙蝠是洞穴生态系统中的重要营养提供者。数以万计的蝙蝠每日在洞外捕食，然后聚集在洞内休憩。它们的排泄物不断从空中坠落，滋养了大量地表植物、昆虫和以这些生物为食的其他动物。在清水洞已知的 20 个洞口附近，甲虫、蠼螋、蜘蛛和蜈蚣无处不在。



在洞穴中追溯历史

深入山体的清水洞网络几乎与世隔绝，如同是一个封闭的时空胶囊。科学家能够在这里追溯过去的地质、水文和生物历史。图中的女科学家正在采集土壤沉积物样本，期望能够找到清水洞地下河系统的形成原因。



Andy Eavis
英国著名洞穴探险家
“姆鲁洞穴计划”负责人

绘图 / 李亚龙

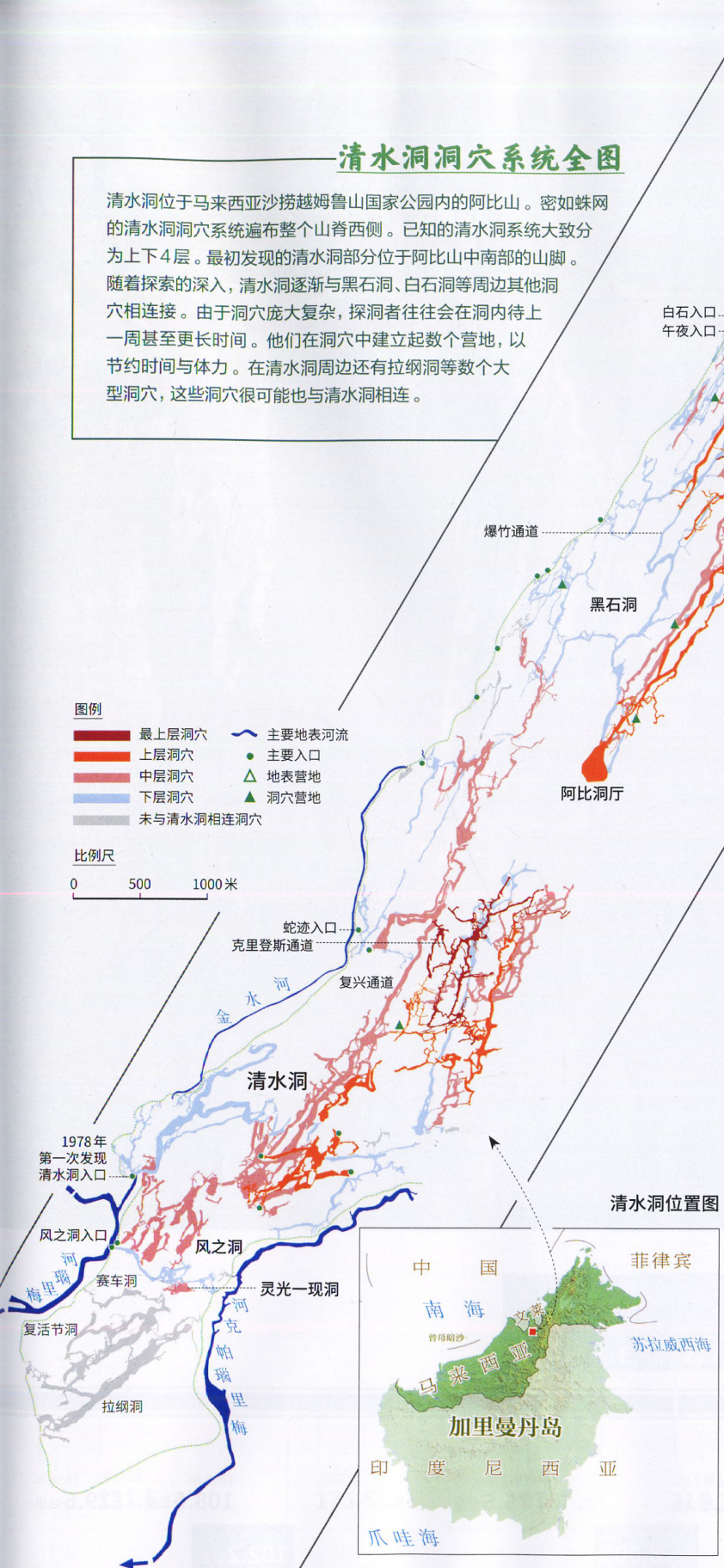
我们为何钟情清水洞？

当我在 1978 年第一次前往婆罗洲沙捞越发现清水洞时，不过 28 岁。如今，却已是白发苍苍。在这之后的 40 年中，我又多次回到清水洞探索。最近一次是在 2018 年 1 月。对于我个人而言，清水洞并没有承载太多特殊意义，但它的独特魅力却促使英国探洞队在过去 40 年间对其进行了不间断探索。

尽管整个姆鲁山的石灰岩山体被限制在一块仅约 25 公里长，5 公里宽的狭小区域，但它的洞穴密度和洞内空间却可算是世上绝无仅有。大约 20 年前，英国探洞队第一次意识到清水洞有机会成为世界上最长洞穴之一。在 1995 到 1997 年的探索活动中，探洞者陆续发现了一些清水洞与周围大型洞穴的连接通道。整个清水洞网络的长度纪录也从这时期开始大幅跃升，很快就挤进了世界前十的行列。如今，整个姆鲁地区至少还有一半的洞穴未被探明。绝大多数已探索的山洞都集中在姆鲁山山脊西侧和较低海拔区域，东侧地区以及位于山体较高处的一些洞穴网络还几乎没有被探索

清水洞洞穴系统全图

清水洞位于马来西亚沙捞越姆鲁山国家公园内的阿比山。密如蛛网的清水洞洞穴系统遍布整个山脊西侧。已知的清水洞系统大致分为上下4层。最初发现的清水洞部分位于阿比山中南部的山脚。随着探索的深入，清水洞逐渐与黑石洞、白石洞等周边其他洞穴相连接。由于洞穴庞大复杂，探洞者往往会在洞内待上一周甚至更长时间。他们在洞穴中建立起数个营地，以节约时间与体力。在清水洞周边还有拉纲洞等数个大型洞穴，这些洞穴很可能也与清水洞相连。



过。在未来，清水洞的长度一定还会持续增长。

当然，清水洞在将来很可能会被双河洞或者其他中国洞穴大幅超过。中国境内的喀斯特地貌规模远比姆鲁山要大得多，有太多大型洞穴还有待被探索。我对于探洞者在中国境内找到规模更大的超长洞穴系统充满信心。

不过，探索洞穴并不只是单纯的爱好或者竞赛，它也有其重大科学意义。洞穴的形成与该地区的地质变动、水文变化和其他自然历史变迁密不可分。封闭的洞穴环境犹如一个时空胶囊，洞穴内的空气、土壤与岩石中保留着独一无二的古气候与地质环境信息。我们通过同位素测定法，能发现清水洞形成于大约250万年以前，而它的形成速度与全球长期气候波动有着直接关联。微生物学家们在清水洞甚至收集了大量土壤微生物样本，以此来研究几十万年前的古微生物群落。因此，清水洞的独特环境也是英国科学家们在过去四十年中对它一直青睐有加的原因。



1978年
英国科考队
对清水洞进行了首次测量
测量长度为
26.3公里

1980年
37.5公里

1984年
51.6公里

1988年
清水洞成为
“亚洲第一长洞”
测量长度为
59.3公里

1990年
75.6公里

1991年
102.2公里

1998年
108.6公里

2005年
129.6公里

40年来清水洞探测历程

小小的雨燕在石洞高耸的崖壁上修筑了密密麻麻的巢穴，它们有时会飞行超过一公里的距离到林中取食。雨燕也会产生大量粪便，但“产量”却远不及蝙蝠。以雨燕幼雏和蝙蝠为食的大蛇也不鲜见。一米左右的游蛇会爬上峭壁，吞食巢穴中嗷嗷待哺的幼雏，或是捕捉偶尔飞过的蝙蝠。这些蛇类习惯沿着同一条路线往返于捕猎点和巢穴之间。时间一长，在一些光滑岩石上就会被反复摩擦出一条肉眼可见的凹槽，被称为“蛇迹”。在1978年的科考中，探洞者沿着岩石上的蛇迹，发现了蛇迹入口(Snaketrack Entrance)，一个此前并不为人所知的秘密洞口。

经年累月堆积起的蝙蝠粪便恶臭异常，使得多数清水洞入口处的环境都让人难以忍受。探洞者们会极力避免在此处逗留，快速抵达没有生物打搅的洞穴深处。不过，有时气味也会对探洞者的探索别有助益。当天气与时间适合时，冷空气会从洞穴深处吹出，裹挟着洞口的恶臭向外弥散。探洞者从很远处就能闻到熏天臭气。只要循着味道，人们就能找到附近尚未被发现的秘密入口。

向着洞穴深处继续进发

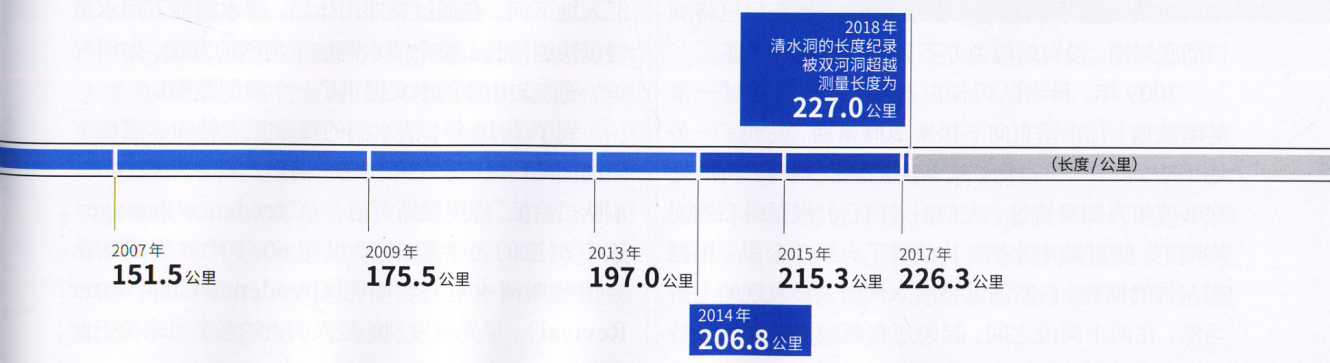
在2003年的探险中，两名探洞者在雨林探索中偶然闻到被冷空气裹挟而来的粪便臭味。他们追溯着异味的来源，穿越茂密原始丛林，在姆鲁山山坡上发现了白石洞(Whiterock Cave)的入口。不出意外，白石洞也有着复杂的洞穴网络。从白石洞探索向

从过去到未来 不断向上再向上

左图：两名探洞者正沿着陡峭岩壁向上攀爬。在过去40年间，英国探洞者对于清水洞的探索大致是一个不断向上的过程，从最初探索的地下河区域，到较为上层的黑石洞，再到更上层的白石洞。白石洞与最底层的地下河网间有超过500米的垂直落差。在白石洞的上层可能还存在尚未被发现的洞穴层。摄影 / Jerry Wooldridge

右图：科考队员正在通过位于白石洞的扎哈拉洞道(Zahara Passage)。白石洞在整个清水洞系统中属于位置较高的一层，与最低层的地下暗河洞道间有数百米海拔落差。扎哈拉洞道在遥远的过去曾经是地下暗河的一部分。但随着山体的地质变动，河流水位不断下降，最终，新的地下暗河系统在白石洞之下形成，扎哈拉洞道也随之干涸。







下，很快就能到达下层的另一个洞穴。这个洞穴就是黑石洞。很自然地，白石洞也成了清水洞系统的新部分。白石洞中的很多洞道都大得惊人，单单是著名的阿比洞厅（Api Chamber）就三百米长，两百米宽。

比阿比洞厅更深的上层洞道更为惊艳。在接下来的数年中，一条接近 8 公里长，宽度和高度皆达 25 米的超长走廊被发现，整条洞道沿着山脊伸展。它的北部分支离山体外部仅有数米的距离，但巨石早已将洞口彻底封锁，没有蝙蝠粪亦不见雨燕巢穴的痕迹。

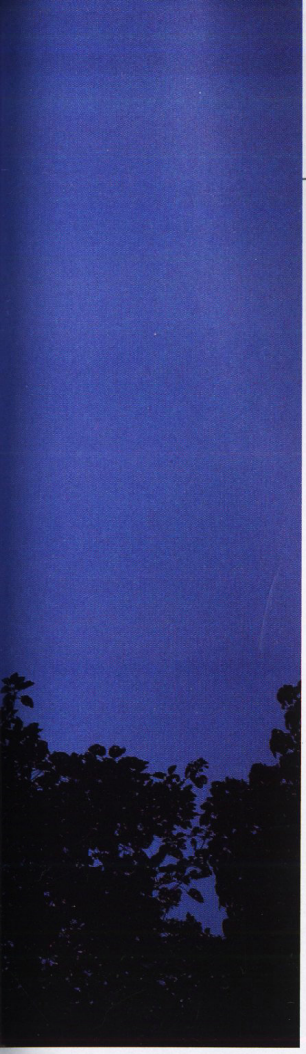
2009 年，科考队再探白石洞。队员们穿过一条陡峭狭道，几乎垂直向下探索 200 米后，发现了一条地下暗河 —— 白石河。这条洞道逼仄难行，狭窄处只够成年人侧身挤过。人们沿着白石河满是砾石的河岸向下，趟过数个水塘，共前进了大约 5 公里。根据探洞者的推算，白石河就是清水河尚未被发现的上游。当然，在两个河段之间，起码还有两段未知洞穴等待被发现。在白石河上游尽头，河水从落石的缝隙间喷涌而出，而整个塌陷区几乎可以确定就在梅里瑙河支流的正下方。

清水洞地下河网的真正起源之谜被破解了，梅里瑙河就是它的源头。在通过清水洞之后，河水会再次汇聚入梅里瑙河。除了来自梅里瑙的河水外，热带雨林每日下午的定时降雨也会通过石灰岩岩缝与瀑布，汇入地下河。在通过整座山体后，清水洞地下河水量得以快速增长。整个清水洞地下河网的发现，为研究单一石灰岩山体的水文提供了一个典型范例。

到了 2014 年，清水洞的探索重点转向远离地下暗河的高层区域。在距离地下河面 500 米的地方，探洞队员首抵“克里登斯洞道”（Creedence Passage）。这个洞道的名字源自 20 世纪 60 年代的美国乐队克里登斯清水复兴合唱团（Creedence Clearwater Revival），早先被发现的复兴洞道的名字也来源于此。

洞穴生物给探洞者指明方位

在清水洞的探索中，探洞者往往会在洞口发现大量洞穴生物。在洞口崖壁上歇息的蝙蝠群会排泄大量粪便，为其他动植物提供充足养分（左图 摄影／王宁）。大量雨燕则会在崖壁上筑巢，养育后代。红尾游蛇等蛇类会在洞口附近的崖壁上活动，捕捉偶尔飞过的蝙蝠和雨燕。此外，蝎子之类的节肢动物种类也很丰富。在探洞者寻找洞穴入口时，这些洞穴生物可以为其提供额外指引。









探索克里登斯洞道绝非易事，探洞突击队必须轻装而行，只携带必要的宿营装备。因远离水源，队员们在这段旅程中还需要额外背负足够的饮水。在垂直向上攀爬过数个竖井后，队员们才得以最终到达这层洞穴。

清水洞到底还有多长？

在未来，英国探洞者将继续拜访姆鲁，那里仍有太多的未知洞穴等待着人们去发现。最新发现的克里登斯高层洞穴洞道表明，在白石洞上方还存在一整个尚未被探索的大型洞穴网络。清水洞的地下河迷宫亦有诸多未知节点和段落等待人们的光临。在被巨石封锁的阿比洞厅及其临近的高层洞道附近，有一处下行洞道等待被探索。人们也许能够沿着这个洞道到达巨型地下河流系统的另一个分段。

或许在未来的某一天，人们会在风之洞附近发现一条不起眼的洞道，抑或是一条石灰岩石中的狭窄裂隙。穿过此处，就会到达清水洞旁的拉纲洞（Lagang's Cave）。到那时，清水洞的长度纪录又将经历一次大突破。这个突破不知会发生在何时何处，但我相信它一定会到来。



继续进发——向着阿比山的心脏

一名英国探洞队员正在探索名为“1954”的洞道。这条沙土色的倾斜洞道位于清水洞的北部高层深处。探洞者可从位于梅里瑙峡谷的清水洞北部洞口进入，沿这段洞道深入阿比山山体，最终抵达巨大的阿比洞厅。

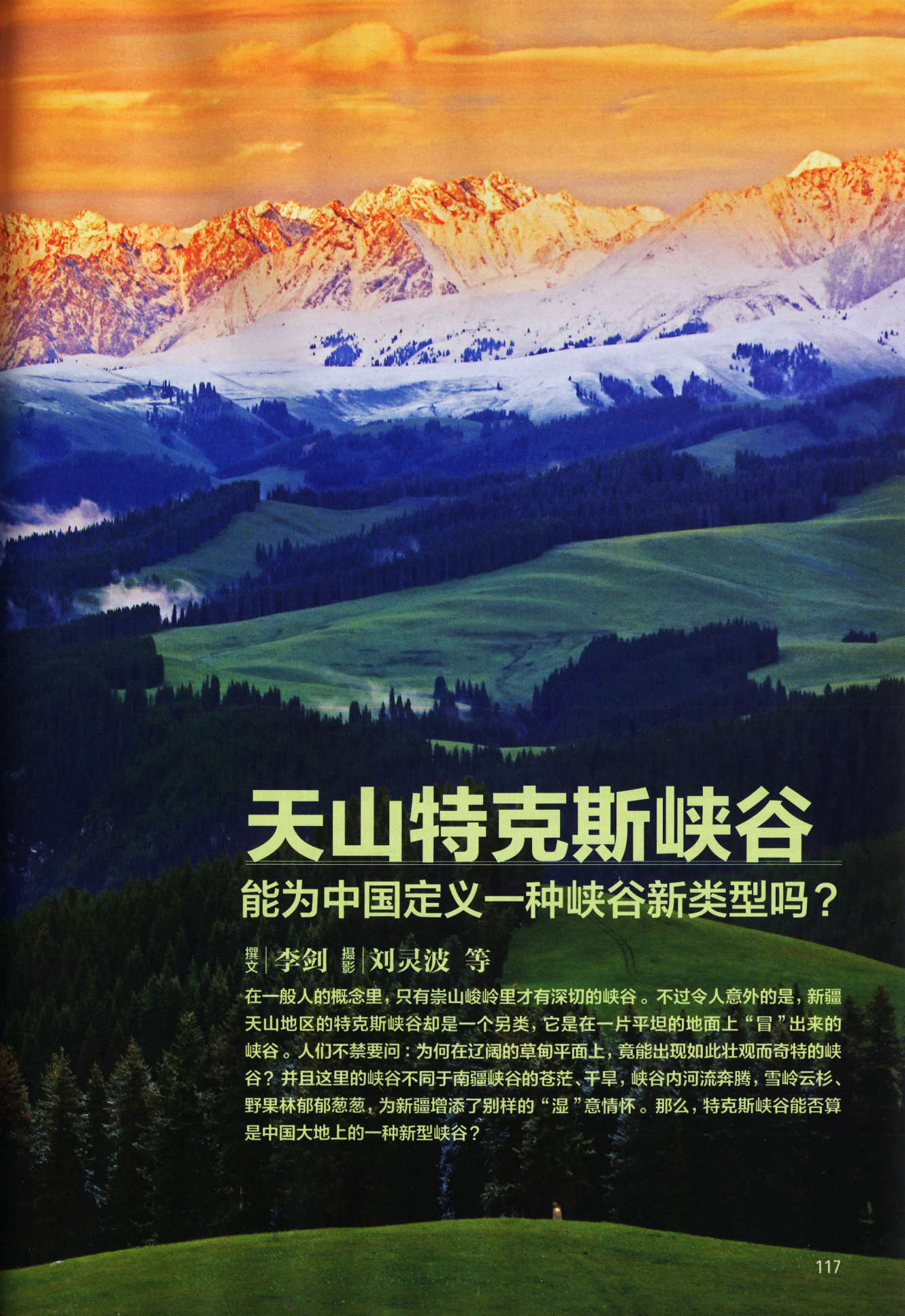


责任编辑 / 郦冰熹　图片编辑 / 郦冰熹
版式设计 / 李晟　地图编辑 / 陈云



库尔代峡谷

茂密的雪岭云杉，蒸腾的雾气，这一切将库尔代峡谷装扮得犹如一块远离人间的世外桃源。库尔代河位于新疆伊犁哈萨克自治州特克斯县，属于特克斯河支流阔克苏河的支流，而特克斯河又是伊犁河最重要的一条支流。伊犁河谷地区丰沛的降水和冰雪融水，使得这里的河流水量丰富，可以深切天山的夷平面，形成了独特的峡谷景观——雪山、高山草甸、雪岭云杉与陡峭的峡谷在此交相辉映。

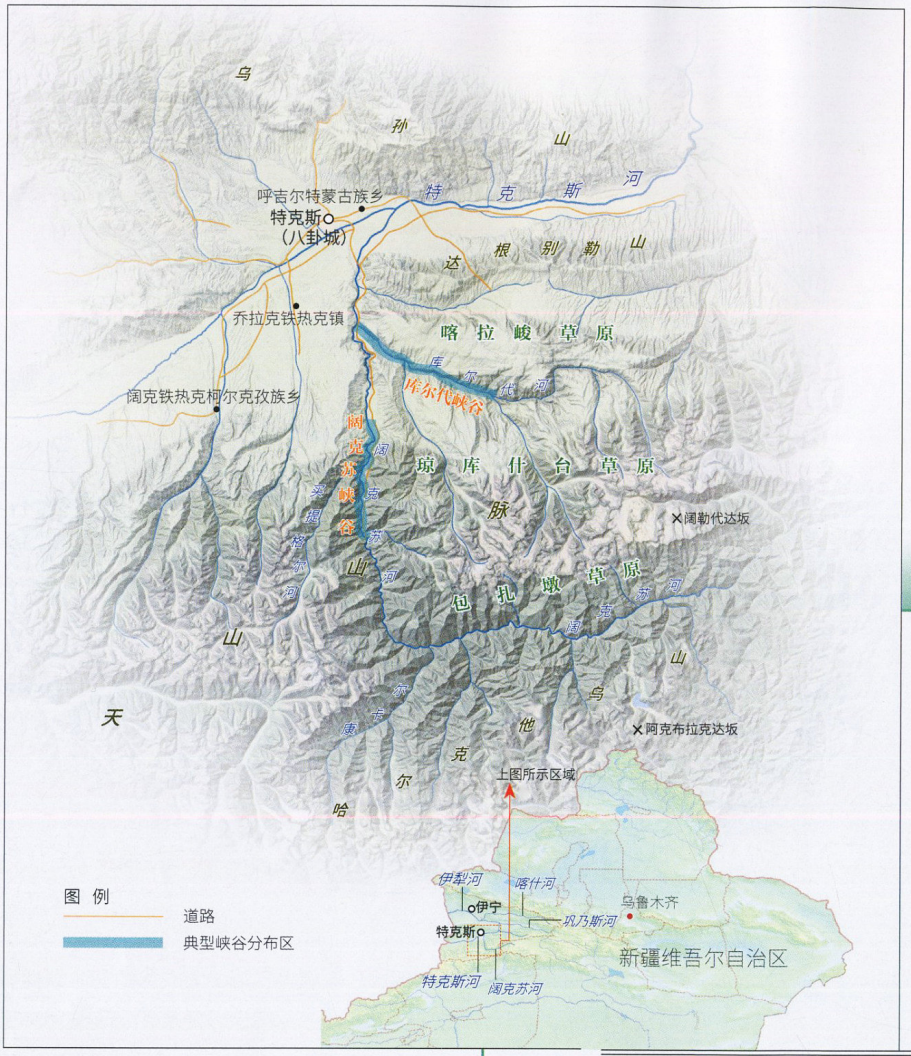


天山特克斯峡谷

能为中国定义一种峡谷新类型吗？

撰文 | 李剑　摄影 | 刘灵波　等

在一般人的概念里，只有崇山峻岭里才有深切的峡谷。不过令人意外的是，新疆天山地区的特克斯峡谷却是一个另类，它是在一片平坦的地面上“冒”出来的峡谷。人们不禁要问：为何在辽阔的草甸平面上，竟能出现如此壮观而奇特的峡谷？并且这里的峡谷不同于南疆峡谷的苍茫、干旱，峡谷内河流奔腾，雪岭云杉、野果林郁郁葱葱，为新疆增添了别样的“湿”意情怀。那么，特克斯峡谷能否算是中国大地上的一种新型峡谷？



特克斯峡谷分布图

特克斯峡谷位于新疆伊犁哈萨克自治州特克斯县的特克斯河流域，主要由阔克苏峡谷和库尔代峡谷组成。特克斯河是伊犁河的支流，发源于汗腾格里峰北侧，由西至东流向喀德明山，其后和巩乃斯河汇合，再折向西流，与喀什河汇合，进入哈萨克斯坦，最终流入巴尔喀什湖。特克斯河在特克斯县境内有大小18条河流注入，大的支流有三条：阔克苏河（旁边的库尔代河是其支流）、乔拉克铁热克河、阔克铁热克河。

说起峡谷，我们头脑中现出的形象往往是，一条河流切开一座高山，在两山夹峙之间蜿蜒流淌而去。但如果你去过新疆伊犁哈萨克自治州的特克斯峡谷，这种固有概念就会被打破——峡谷竟然出现在了一马平川的高山草甸上。我们试着想象一幅画面：你正在草原上策马奔驰，突然在你面前，毫无征兆地出现了一道深深的峡谷，隆隆的水声从脚下的谷底传来。如果不及时勒住马的缰绳，你就可能连人带马摔下了悬崖，那种震撼估计会让你记忆一辈子。你这时才知道，这看似平坦、广阔的草原上，竟然还隐藏着幽深的峡谷。

特克斯峡谷位于天山山脉的中段，伊犁哈萨克自治州特克斯县的特克斯河流域，由阔克苏和库尔代这两段相邻的峡谷组成。不同于名声在外的天山库车大峡谷，外界几乎很少知道特克斯峡谷，而且连研究新疆地理的专家学者也很少关注它。人们不禁要问：为何在辽阔的高山草甸平面上，会出现如此壮观而奇特的峡谷——除了“平地出峡谷”这一特点之外，特克斯峡谷还不同于南疆峡谷

的苍茫、干旱，峡谷里却是郁郁葱葱，布满雪岭云杉、野果林，峡谷内大河奔流不息，为新疆增添了别样的“湿”意情怀。

那么，特克斯峡谷算是中国大地上的一种新型峡谷吗？这种迥异于普通峡谷的“平地裂缝式”峡谷，是否能为中国定义一种新的峡谷类型呢？

特克斯峡谷颠覆了我对峡谷的认知：高山草甸上竟然出现了深深的“裂缝”

我对峡谷的认识，最早是源于长江三峡，它给我树立了峡谷的样板：两边是巍峨陡峻的山峰，江水从河谷中缓缓流过。后来又接触了更多的峡谷，例如新疆的奎屯大峡谷、库车大峡谷，还有雅鲁藏布大峡谷、金沙江虎跳峡、太行山大峡谷，这些峡谷都是由陡峭耸立的山峰和深切山体的河谷组成。

按照峡谷的一般定义，发育在山体由坚硬岩石组成的地段，经过地质运动的抬升和河流长时间的侵蚀作用，所形成的深度大于宽度、谷坡陡峻的谷地，就叫峡谷。

如果进一步解释峡谷多发育在崇山峻岭中的原因，也不难理解，因为峡谷的形成，一定要有河流下切与山脉抬升的互相配合，是河流与山脉“你情我愿”携手合作的结果，缺一不可。在地质构造运动中，山脉所在地区的隆起速度较快，从而会加速河流的侵蚀下切作用，容易形成峡谷；相反，在平原地区，由于地表隆起速度较慢，加之地面平缓，因此河流流速缓慢，向下切割侵蚀的作用减弱，更多是发生侧蚀和堆积作用，所以多半会形成冲积平原。

因此，我对峡谷的最初认识也和大多

中天山的特殊地理环境，是孕育特克斯峡谷的温床



穆桂金
中国科学院
新疆生态与地理研究所
研究员

绘图 / 季媛

特克斯峡谷所在的天山地区，属于中天山。中天山蜿蜒于天山山脉的中部，起伏和缓，围隔出众多的山间盆地，由西向东主要有昭苏盆地、大尤尔都斯盆地、小尤尔都斯盆地、焉耆盆地、库米什盆地、吐鲁番盆地和哈密盆地等。除了昭苏盆地和大、小尤尔都斯盆地之外，其他盆地连同周边山地均为干旱荒漠景观（包括干燥裸岩山地荒漠和戈壁沙漠平原荒漠等），唯有向西开口的伊犁谷地，有效拦截了西风气流带来的水汽并形成丰富的降水，不仅孕育了包括特克斯河在内的河流水系，还滋润了包括中天山在内的广大土地，养育了丰富多样的生物物种，成为亚洲中部干旱区的湿岛和多物种生物的汇聚中心。

中天山较好地保存了夷平面地貌，并以断块抬升的形式，展现了典型的山地夷平面阶梯地貌。当然，较为完整的夷平面并不唯一出现在中天山，如南天山中段的库鲁克塔格山保存有低位夷平面，而北天山东段的喀尔力克山则保存了发育有现代平顶冰川的高位夷平面。这些都是最典型的天山夷平面。只是在伊犁谷地，因为丰富的降水，在中天山夷平面上孕育了美丽的草原和森林，有了多彩华丽的四季装点。

中天山发育了很多十分壮观的大峡谷，显然它们与水量丰富的河流有密切关系。河流水量大应该是形成大峡谷的充分条件，但并不是必要条件。形成大峡谷的必要条件是具有显著的相对高差的地势，使河流下切侵蚀作用得以持续进行。如特克斯河、阔克苏河和开都河等，它们都有丰富的水量，形成了壮观的大峡谷。特克斯河进入伊犁谷地汇入伊犁河之后，水量更大了，却放弃了下切作用而改为以侧蚀为主，形成宽广的阶地。开都河也是一样，进入焉耆盆地之后，完全放弃了下切而转为堆积，形成广大的冲积平原。又如库车河和库尔楚河等水量并不十分丰富的河流，却在南天山不同地段分别形成了十分壮观的库车大峡谷和库尔楚大峡谷。



数人一样，峡谷就是高山与深谷的组合，高山出峡谷似乎是一个毋庸置疑的结论。

我对峡谷认识的改变，是在见到特克斯峡谷之后发生的。我出生在伊犁河谷，以前对本地的自然地理并没有太多了解。直到有一年，因为工作缘故，我开始在伊犁河谷各地行走，来到了特克斯河支流阔克苏河旁边的喀拉峻草原。那是我第一次见到喀拉峻草原，非常广袤壮美。虽然叫草原，它其实属于高山草甸，位于伊犁河谷东侧的天山地区，海拔只有 2000 米左右。

车子在草原上奔跑，上下轻微地起伏，人坐在车里，感觉有些像坐花轿。等下了车，才发现，眼前居然出现了一条险峻的峡谷 —— 特克斯峡谷的一部分阔克苏峡谷。这条峡谷给了我很大震撼 —— 原来峡谷不仅是蜿蜒在崇山峻岭间，还可以出现在广袤的平地上。

此刻，我站在峡谷东侧平缓起伏的草原上，向下俯视阔克苏峡谷陡峭的崖壁和在谷底流淌的绿色河水。抬眼西望，



峡谷的西侧也是平缓起伏的草原。也就是说，我所看到的阔克苏峡谷，居然是下切平地的一条峡谷，看起来就像平地上陡然出现的一条大裂缝。假如我站在距离峡谷两三百米以外看不到峡谷的地方，我不会想到，就在这片壮阔平缓的草原上，竟然还藏着一条陡峭的峡谷。

可以说，阔克苏峡谷颠覆了我以往对峡谷的认识——峡谷，不只是高山深谷，一马平川的草原上照样可以“开裂”出犹如地裂缝一般的峡谷。

阔克苏峡谷

虽然还是4月，位于海拔3000米左右的阔克苏峡谷，已然是云雾缭绕、万物复苏的迹象。专家认为，在海拔2500米以上地区，峡谷多以冰川侵蚀形成的U形谷为主。在海拔2500米以下，峡谷则以流水侵蚀为主。丰富的降水，使得特克斯峡谷所在的中天山一带诞生了众多水量巨大的河流。其中中天山的东部有发源于额尔宾山、上游在尤尔都斯盆地内穿峡而过的天山第三大河开都河；中西部有天山第一大河伊犁河，它也是整个新疆最大的河流。伊犁河的主要河源有三条，从北向南，分别是喀什河、巩乃斯河和特克斯河。要论径流量，伊犁河的这三大支流，在天山山地的河流中，也都位于前列。像第一大支流特克斯河，就凭借80亿立方米的年径流量位居第一。

阔克苏和库尔代是特克斯峡谷的两个“代言人”，兼有天山的壮丽和江南的秀美

特克斯河是天山北侧第一大河流伊犁河的最大支流，从其发源地天山汗腾格里峰北坡，到与喀什河在雅玛渡交汇后被称为伊犁河之间，支流众多，形成密布的河网。特克斯河在山地、草原上切割出了许多峡谷，其中特克斯河最大支流阔克苏河，以及阔克苏河的支流库尔代河，深切草原所形成的峡谷，就是特克斯峡谷最典型的两段峡谷代表。

库尔代河从东向西，在阔克苏峡谷的北侧汇入阔克苏河。两条峡谷都分布在草原上，虽然位于相邻的一片草原，距离较近，但阔克苏峡谷和库尔代峡谷在景观上又各有特点。

相比阔克苏峡谷的粗犷，库尔代峡谷则既有天山的壮丽，又兼有江南的秀美，为伊犁河谷的“塞外江南”称号做了极好的诠释——郁郁葱葱、湿润苍翠的景观，确实跟江南有些相似。

直到今天，我一年前沿库尔代峡谷考察时的震撼还始终挥之不去。那是去年6月，我们来到喀拉峻草原一个叫野猪坡的地方，在这里，库尔代河横切草原，奔涌的水声从四五百米深的谷底回荡上来，像是在空旷的草原上奏响着

在遥感图中，上方一直延伸到雪山的河流为库尔代河，左侧呈现“L”形拐弯的是阔克苏河。这两条河流，在深切天山夷平面时，形成了深深的峡谷。在阔克苏河所属的伊犁河流域，伊犁河以及它的支流在中天山区域形成了天山山地最为密集的水系网络。这些水量巨大的河流从高山奔涌而下，在山地夷平面上下切，造就了许多沟壑纵深的峡谷，也使中天山成为天山山地峡谷最为密集的区域。比如中西部有位于那拉提山北麓的库尔德宁沟谷，发育于特克斯河下游、一纵一横穿过喀拉峻草原的阔克苏峡谷和库尔代峡谷，位于特克斯河中游、深切比依克山地的阿合牙孜峡谷等。东部有横穿额尔宾山、那拉提山的开都河峡谷，蜿蜒于阿吾拉勒山地的喀什河峡谷，切割阿吾拉勒山和那拉提山的巩乃斯河峡谷。

阔克苏峡谷与库尔代峡谷遥感图



河谷形态剖面示意图

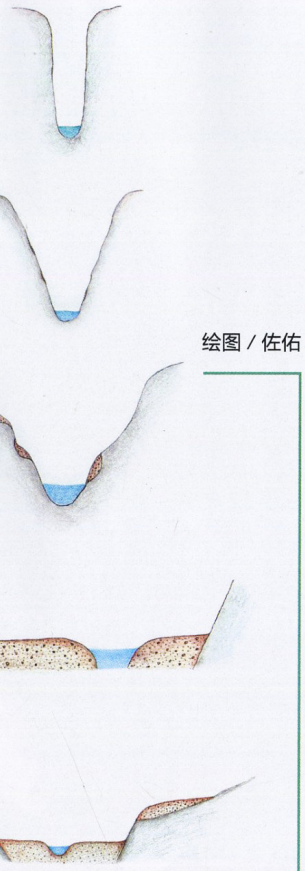
隘谷
是切入地面很深的河谷，谷壁几乎垂直，是峡谷发育的初期阶段。

嶂谷
谷壁倾角大于60度，由隘谷发展而来。

狭义峡谷
谷壁倾角在30—60度之间，由嶂谷发展而来。

宽谷
河谷剖面呈U字形或槽形，发育有河漫滩，由狭义峡谷发展而来。

复式河谷
河谷剖面呈阶梯状，有典型的阶地，由宽谷发展而来。

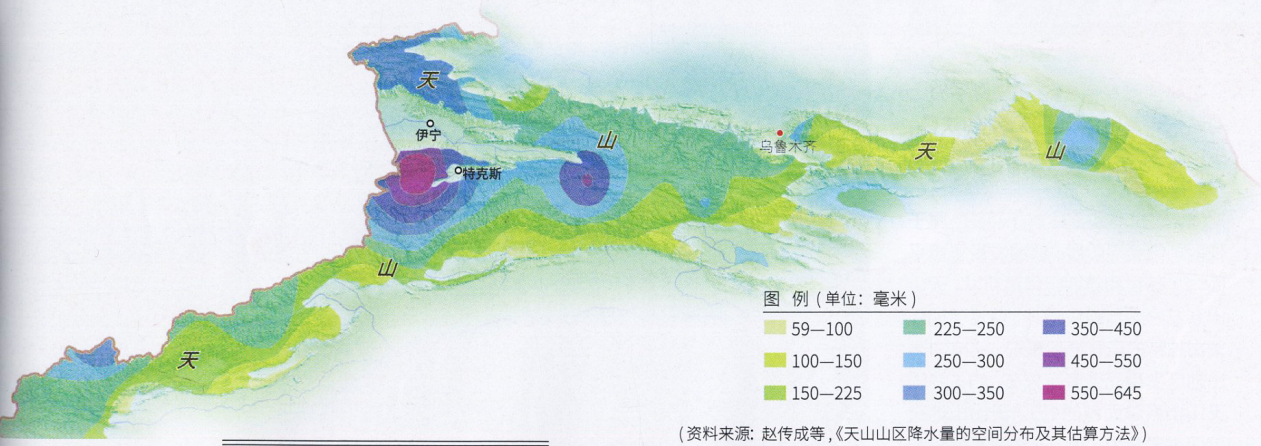


绘图 / 佐佑

一曲贯天彻地的自然之歌。峡谷两侧铺着层层叠叠的雪岭云杉，一层压着一层，浓烈如墨。

回首望去，是生长着各色花朵的草原绵延起伏，直至远方；沿峡谷向东，雪岭云杉延至山脊，与高山草甸相互交织，直达雪峰下侧。刚刚还是阴云密布，整个峡谷云雾缭绕。不一会儿，云开雾散，金色的阳光铺洒下来，远处雪峰现出轮廓，山顶熠熠生光，凛冽的山脊线切割着天空和草原。近处，草色、山色瞬间明亮起来，像突然诞生了一个新的世界。

如果以为这就是库尔代峡谷的全部，那就错了。当我们沿山路下到峡谷底部，看到在库尔代峡谷的坡地两侧，还散布着一株株的野果树。长年在特克斯河流域奔走的当地摄影师刘灵波告诉我们，等到了秋天，这些红红黄黄的果树点缀在峡谷里，非常好看。由于优越的水热资源，伊犁河谷成为第四纪冰期喜暖湿气候植物的避难所，也是许多栽培果树（如苹果、杏、核桃等）的野生起源地。



（资料来源：赵传成等，《天山山区降水量的空间分布及其估算方法》）

1998—2008年天山山区多年平均降水量分布图

从天山年降水量分布图可以看出，伊犁河谷地是新疆降水最多的地区，谷地内年降水量达到250—300毫米，两侧山地迎风坡年降水量更是在500毫米以上。伊犁河谷所在的中天山区域气候温暖湿润，与天山的山脉走势有关。新疆地区的水汽主要来自于大西洋和北冰洋，中天山区域几乎呈一个向西开口的喇叭形，最大限度地承接着西来的湿润气流，从而形成了大量降水。因此，整个新疆的降水分布，概括起来，大致为天山西部多于天山东部，天山北坡多于天山南坡，而西段天山的内部——也即中天山的腹地又远多于天山山地的南北外缘。



库尔代峡谷

库尔代河流经天山第三级夷平面上的喀拉峻草原，形成了深切的峡谷。天山山系于晚古生代晚期强烈褶皱隆起成为高大山地，中生代和第三纪期间，地壳活动整体趋于平稳，属于长期剥蚀夷平阶段，普遍发育了夷平面。上新世和第四纪早更新世，天山山系发生剧烈断块隆升，奠定了现代天山独特的层状地貌景观。当前，天山地区夷平面仍多有分布，约占我国天山山系总面积的1/5。天山山地夷平面主要分为3级：一级夷平面分布在海拔4000米以上的高山地带，二级夷平面海拔大多为3200—2800米，三级夷平面即最低一级夷平面，海拔在2500—1800米，各级之间还有次级夷平面。摄影 / 赖宇宁



保存完整的夷平面和水量丰富的河流，两者组合孕育出另类的特克斯峡谷

当见到特克斯这种“平地裂缝式”峡谷后，我不禁产生了疑问：为什么在特克斯流域所在的天山地区，会有如此大面积的像喀拉峻草原这样的平地？这些平地之上，为何又发育了如此深切的峡谷？

其实，像喀拉峻草原这样的大平地，在地理学上有一个专门的名词——夷平面，它是地壳处于相对稳定状态下，经过漫长地质时期的侵蚀、剥蚀作用，将山地夷平成起伏平缓地面的结果。

北京大学城市与环境学院的崔之久教授告诉我：“夷平面在我国很多地方都有分布，像长江三峡和张家界所在地区都是夷平面，但因为流水切割侵蚀剧烈，这些区域的夷平面保留得不完整、不清晰了。天山的夷平面可以说保留得最好，青藏高原的夷平面也不如它保存得好。我曾经坐飞机从喀什到乌鲁木齐，途经天山中段，从空中看天山夷平面非常壮观、醒目。因为天山隆起的时间比较晚，夷平面年代比较新，所以说河流还没来得及将它彻底切割瓜分，因此夷平面保留得比较完整。”

在长期的地质运动过程中，天山地区发育出了三级夷平面。这三级夷平面中，第二、三级夷平面由于较少受到冰川侵蚀，因此保存得更好。在特克斯河流域，广袤的喀拉峻草原、琼库什台草原，就位于第三级夷平面上，它们是特克斯峡谷形成的天然大舞台。

另外，伊犁河谷的地形呈向西敞开的喇叭口状，从西而来的湿润气流在河谷内长驱直入，遇到山地抬升，在迎风坡面形成大量降水。因此，伊犁河谷成为新疆降水最多的地区，谷地内年降水量达到250—300毫米。而特克斯河流域正位于河谷山地的迎风面，降水就更为丰富，山区年降水量可高达600毫米，加上丰富的冰川融水补给，使得特克斯河成为伊犁河水量最大的支流。

不过，就算有了夷平面和河流，要形成“平地裂缝式”峡谷，还缺乏一个关键因素——河流流经静止的夷平面，是无法下切形成峡谷的。但上天似乎早就预料到了这一点，暗中施展了魔力。中国科学院新疆生态与地理研究所研究员穆桂金说：“这些夷平面曾经有过快速抬升的时期，因此河流可以迅速下切，形成深切的河谷。”

到了这里，谜底总算可以全部揭开了：特克斯峡谷的形成，就是河流深切夷平面的结果。它与两大因素有关，一是有较为完整的夷平面，并且曾经有过快速抬升期；二是这一区域气候湿润，降水丰富。

以阔克苏峡谷和库尔代峡谷为例。发源于海拔4500多米的天山哈尔克他乌山北麓的阔克苏河和库尔代河，从高山上裹挟着冰川和积雪融水奔涌下来，再汇集中山带丰富的降水，形成水量巨大的河流，深深切入天山第三级夷平面上

库尔代峡谷

库尔代峡谷内，生长着郁郁葱葱的雪岭云杉。令人惊异的是，在库尔代峡谷，一般生长于天山北坡的雪岭云杉，居然在峡谷的南北坡面都能浩浩荡荡地蔓延生长。雪岭云杉是天山主要的建群树种，喜阴、喜湿，在天山北坡呈带状分布，具有涵养水源、保护生态的重要作用。中天山是天山雪岭云杉分布最密集、生长最好的区域。这一区域的山体岩石为石灰岩、火山岩等，峡谷切下去很深、很陡峭，而且又是峡谷密集区，坡势陡峻的地方云杉密布，平缓的地方草甸起伏，形成了非常优美的峡谷景观。从伊犁河谷地进入的暖湿气流在中天山两侧的迎风坡上形成大量降水，因而在背阴的中天山北坡上形成了蔚为壮观的雪岭云杉带。摄影／张兵



的喀拉峻草原、琼库什台草原，形成了深陷的“裂缝”——阔克苏峡谷和库尔代峡谷。

特克斯峡谷算不算一种新型峡谷？专家建议可以称它为高位夷平面峡谷

说到峡谷的分类，地质学家、四川省地矿局教授级高级工程师范晓介绍说，在广义上，峡谷可分为隘谷、嶂谷、狭义峡谷这三类。这三者的区别，在时间上来看，隘谷多为峡谷形成的初期阶段，谷壁近乎垂直；嶂谷由隘谷发育而成，谷壁倾角大于60度；狭义峡谷是由嶂谷发展而来，倾角在30—60度之间。狭义峡谷进一步发展，就会形成宽谷和复式河谷。

按照上述的分类，特克斯峡谷无疑属于狭义峡谷的范畴。但如果从景观上看，特克斯峡谷与其他地区众多的狭义峡谷有着很大不同，这些差异在前文中已经做了阐述。而且狭义峡谷这个概念很宽泛，它只是描述了峡谷本身的特性，而没有兼顾峡谷与周边地貌、植被等景观的综合关系。也就是说，“高山出峡谷”这种一般的景观描述，并不能概括“平地裂缝式”的特克斯峡谷这种特殊状貌。

其实，特克斯峡谷的独特之处，正是在于峡谷植被及周边地貌组合而成的特殊景观——远处是覆盖着皑皑白雪的雪峰，峡谷顶面是连绵起伏的草原，峡谷内壁生长着郁郁葱葱的雪岭云杉，再

阔克苏峡谷与库尔代峡谷交会处

阔克苏峡谷、库尔代峡谷在海拔约1300米处交会。图中左侧是库尔代峡谷，右侧是阔克苏峡谷。巨大的天山山系发育出的峡谷各有特点。北天山一带的峡谷，植被稀疏，裸露出来的地层颜色丰富，色彩斑斓；而南天山峡谷的地表，整体是或红或黄的土层颜色，给人一种震撼的荒寂感。总体来说，它们带给人的观感，是西北内陆干旱气候下所孕育出的峡谷景观。但中天山峡谷却呈现出了迥然不同的景观：这些峡谷大多为水量巨大的河流切割山地夷平面形成，沟谷深邃，水流充沛，植物覆盖率高，生物多样性在天山南北的峡谷中最为丰富，将这些峡谷称为天山最有诗意的峡谷带也并不为过。





往下，峡谷底部是在天山山地只分布于伊犁河谷的野果林。也就是说，从横向上看，特克斯峡谷两侧广袤的高山草甸，带给人极为广阔、壮观的延伸视觉冲击；在纵向上，雪山、高山草甸、雪岭云杉、野果林等形成的垂直地带性地貌景观，又为特克斯峡谷营造出一种独特的立体美感。可以说，特克斯峡谷是一种横向和纵向景观的双层精彩。

回头看已有的峡谷分类，我不得不再次发出疑问：狭义峡谷这个分类名称，能概括出特克斯峡谷的特点吗？特克斯峡谷这种独特的形态和地貌景观，是不是可以成为一种新的峡谷类型——“平地裂缝式”峡谷呢？

对于这个问题，穆桂金认为：“目前人们几乎没有关注、研究特克斯峡谷，也没有对这种峡谷进行进一步的分类。其实对它进行分类，是一件很有意义的事情。这是一种新类型的峡谷，有它的独特性，它是在干旱区的湿润地段形成的峡谷。虽然从形态上看，用‘平地裂缝式’峡谷来形容特克斯峡谷，也没有什么大问题，但如果要更为严谨地来命名的话，我建议可以称它为高位夷平面峡谷。”

阔克苏峡谷

在阔克苏峡谷附近的草原上，一户哈萨克族牧民正在搭建自己的毡房。哈萨克族逐水草而居，迁徙转场，有草原有牧场的地方就是他们的家园。考古表明，早在新石器时代初期，特克斯河两岸便有人类的活动足迹，包括水草丰茂的喀拉峻草原。舒适的气候，优良的牧场，使得人类在这块土地上的活动逐渐增多。秦代以前，有塞种人居住，汉代成为大月氏、乌孙国故地，在喀拉峻草原的包扎墩，著名的乌孙古道便是明证。明代，天高皇帝远的喀拉峻草原又成为厄鲁特蒙古游牧地。今天的喀拉峻草原上生活的居民多为哈萨克族。哈萨克族是中国的古老民族之一，由古代许多氏族、部落、部落联盟逐步融合、发展而来。摄影／赖宇宁



阔克苏河与特克斯河交汇处

阔克苏河在冲出中天山、汇入特克斯盆地后，深切的峡谷河段结束，开始了在盆地的蜿蜒流淌。最后在特克斯县东北约10公里处，阔克苏河汇入特克斯河，走完了它波澜壮阔的生命旅程。阔克苏河所在的伊犁河谷的山地北坡，绵延着新疆整个天山区域面积最为广阔的雪岭云杉，谷地两侧分布着诸如野苹果林、野核桃林、野杏林等种类多样的野果林。再加上高山草甸连绵起伏，整个河谷山地植被覆盖率达70%以上，因此称伊犁河谷为天山区域的一块绿岛，实不为过。而在谷地内，喀什河、巩乃斯河、特克斯河及其大小支流纵横其间，最终汇成我国天山地区径流量最大的河流——伊犁河。摄影 / 赖宇宁



与名声在外的库车大峡谷相比，特克斯峡谷还只是一位藏在深宫的佳人

特克斯峡谷虽然景观独特，却一直鲜为人知。2005 年，在《中国国家地理》杂志的《选美中国》专辑里，由专家评选出了中国最美的十大峡谷，新疆天山唯一入选的峡谷是库车大峡谷。而在入围的 20 个峡谷中，也没有特克斯峡谷的名字。

我不禁为特克斯峡谷叫屈。确实，库车大峡谷很壮美，由主谷和 7 条支谷组成的大峡谷全长 5000 多米，峡谷两侧山体由泥质沙岩构成，通体呈现赭红色。在当地维吾尔语中，这条峡谷被称为“克孜利亚”，意思就是红色的山崖。而崖壁经过流水和风化侵蚀，又呈现出犹如一根根椎体林立或怪石堆积的奇观。要是在库车大峡谷中行走，内心很容易被它的雄浑和荒寂感染。可以说，库车大峡谷集中体现了干旱荒漠气候孕育出的南疆峡谷的特点。

与库车大峡谷相比，在温润气候下发育的特克斯峡谷，从上而下，雪山裸岩、高山草甸、山地针叶林、山地草原、山地阔叶林等依次垂直分布，成为天山山地生物多样性极为丰富的区域之一。这些植被的组合，又使得特克斯峡谷堪称景观最丰富的峡谷之一。如果将库车大峡谷看作是南疆的峡谷典型，那么特克斯峡谷就是北疆峡谷的精华了。

不过，与库车大峡谷的声名在外相比，在景观的壮美和独特上毫不逊色的特克斯峡谷，却显得过于低调，以至于在世人眼中籍籍无名了。如果打一个比方，特克斯峡谷就像是一位被藏在深宫、未被人识的佳人。不知道会不会有一天，它也能一朝闻名天下知 ……

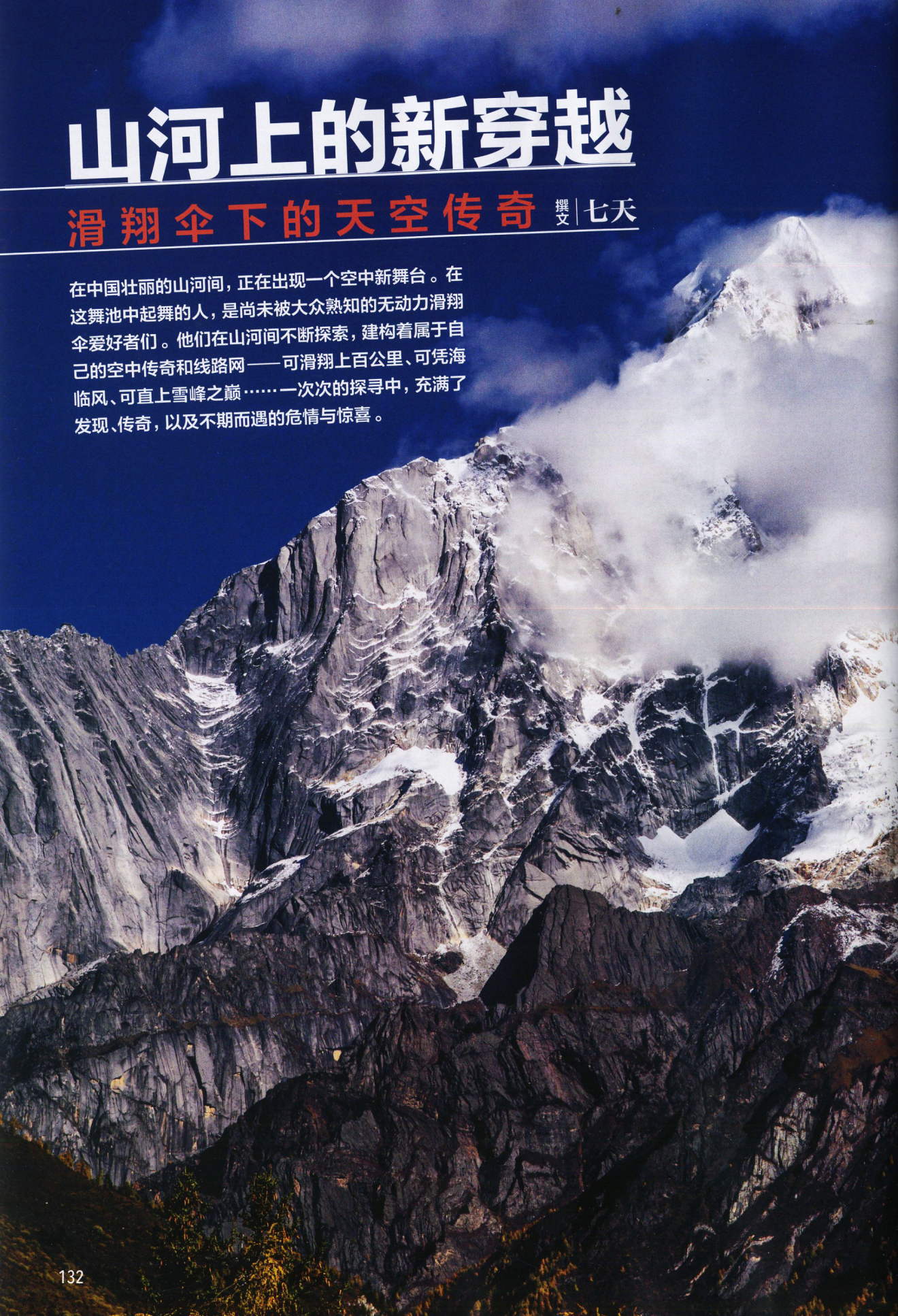
责任编辑 / 雷东军　图片编辑 / 王彤
版式设计 / 介彬　地图编辑 / 王岩

山河上的新穿越

滑翔伞下的天空传奇

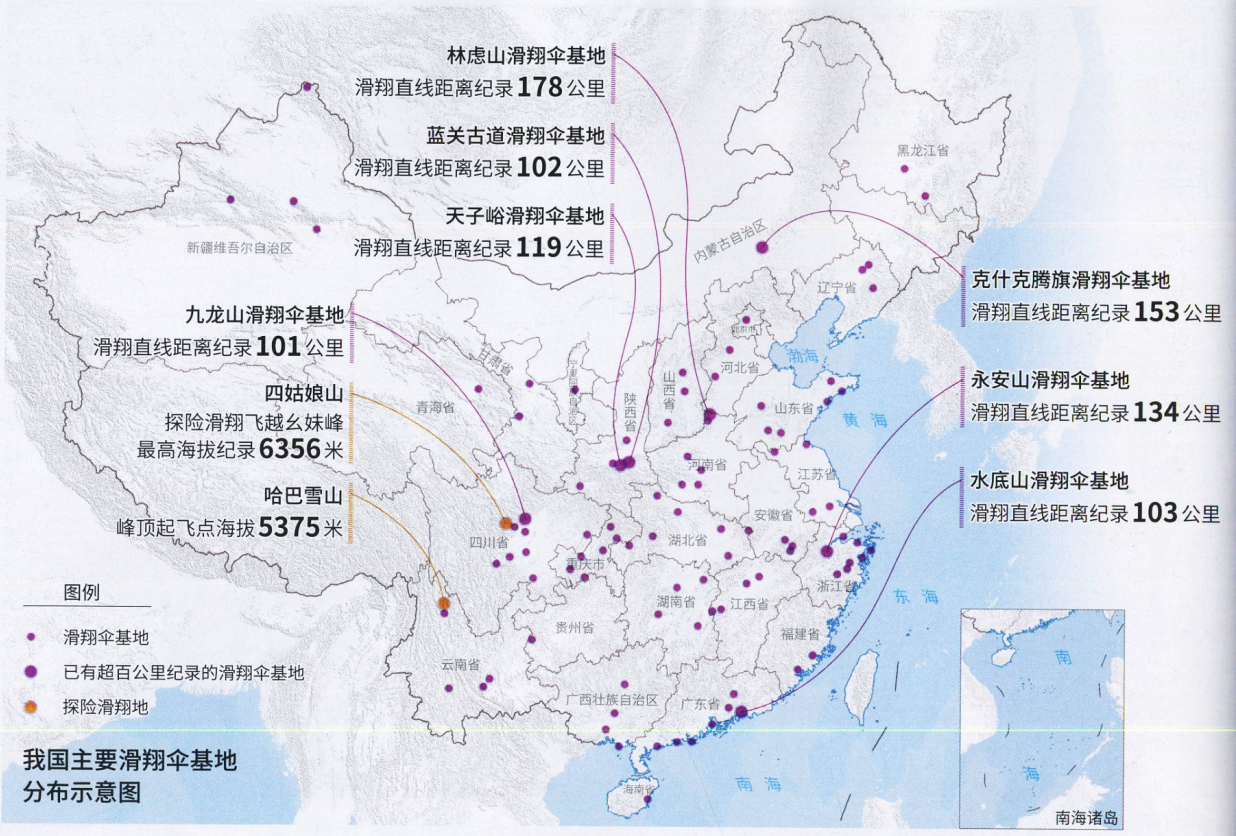
撰文 | 七天

在中国壮丽的山河间，正在出现一个空中新舞台。在这舞池中起舞的人，是尚未被大众熟知的无动力滑翔伞爱好者们。他们在山河间不断探索，建构着属于自己的空中传奇和线路网——可滑翔上百公里、可凭海临风、可直上雪峰之巅……一次次的探寻中，充满了发现、传奇，以及不期而遇的危情与惊喜。





飞伞的人像是迁徙的鸟儿，逐风而行，不断寻找和探索适合滑翔的场地与路线。除了难度相对低的休闲飞行外，更具挑战性和不确定性的长途越野飞行、特技飞行和探险飞行也如磁铁般吸引着滑翔高手们或挑战自我，或华山论剑。图为无动力滑翔伞高手飞翔在四姑娘山的云雾和雪峰之间。摄影 / 刘康明



我国主要滑翔伞基地分布示意图

不断铺展的空中舞池

在滑翔伞运动进入中国三十年后，伴随着国家逐步对低空领域的开放，体育与旅游的融合，在伞友们的不断探索下，中国的空中滑翔舞台已初具规模，滑翔伞基地数量超过100个，遍布全国，有的优秀基地多次举办高规格国际滑翔比赛。除了专业和业余运动员之外，在经验丰富的双人伞飞行员的带领下，毫无经验的普通人也可以领略空中飞翔的魅力。上图为我国主要滑翔伞基地分布示意图。右图为某滑翔基地的起飞场。供图 / 陈广玉

山野穿越、重走古道、走山脊、走海岸线 …… 为了更好地拥抱山河之美，如今许许多多的户外爱好者们摈弃了高速公路、高速铁路，选择更贴近自然的方式，获得更深刻多元的“在路上”的体验。

其实，在华夏壮美的山河之上，还有另外一种特殊的穿越模式 —— 滑翔伞穿越。在这条路上穿行和探索着的人，是中国无动力滑翔伞爱好者们。他们触摸着风，追赶着云，穿行在中国的山川河流、原野海滨之上，像是御风而行的侠客。

中国无动力滑翔伞运动从上世纪 80 年代末起步，到今天拥有滑翔伞飞行执照的人尚不到一万人，从人数来看算是极小众的运动。然而，凭借着“伞友”们的热情和不断探索，在当今的华夏大地之上，一个颇有规模的滑翔线路网已被建构起来。截至 2017 年底，中国绝大部分省区都有可供滑翔飞行的场地，全国总数已超过 100 个。或是本场休闲飞行、或是长距离越野飞行，甚至登山探险飞行。举目仰望，空中已有一个精彩的舞台。

我想，当人类祖先第一次看见鸟儿展翅翱翔时，便开启了渴望飞翔的梦想，飞伞的人也称自己为“鸟人”。几年来，国内的滑翔场地我已飞过近半，因为滑翔，我看到了一个精彩而崭新的世界。

很多人都会问我：“你们从哪里起跳？”这是将滑翔伞与降落伞混为一谈了。而滑翔伞与降落伞最大的不同在于，它是一个飞行器。虽然无动力，但是沿着山、随着风、跟着云，可以越飞越高，它可以将我们带向迷人的远方。

越野滑翔，追风逐云的空中新航线群

打开中国地图，在伞友们的心中，城市与道路会渐渐隐去，山川河流的走向则变得醒目，另一张图逐渐浮现——那是属于飞伞者的点、短线和长线，点是滑翔伞场地起飞和降落点，短线是本场或短途飞行轨迹，长线则是更为激动人心的越野线路，另外还有计划和梦想中的飞行线路。目前，国内最长直线滑翔纪录已接近 200 公里。

长距离越野滑翔，对环境的观察和判断是重点。太阳照射地球，形成水平运动的风、垂直运动的气流，借助这股自然的合力，无动力滑翔伞得以像鸟儿一样飞行。在合适的条件下，热气流会清晰地以云的形式表现出来。一个善于观察的飞伞者需要准确判断哪一股热气流对应的是哪一块云，风向风力，并善加利用。同样，海拔、地貌、日照、温差、湿度、地表反射率等都会影响滑翔。可以说，在全球没有相同的两个场地，甚至同一个场地的每一次飞行也都是不一样的。这些都让滑翔变得微妙，与大自然有着千丝万缕的互动，充满了不确定性和乐趣。

说起中国的越野滑翔，就不能不说林州，这里是中国伞友心中的“滑翔圣城”。

林州位于河南省北部的南太行东麓，这里的林虑山国际滑翔基地起飞区海拔 1280 米，与林州盆地有 850 米的巨大高差。太行山脉绵延 400 公里，守护在华北大平原西侧。大多山段是中央高山、两侧中山、低山依次降低，而林州一带的太行山，悬崖峭壁，界线分明，如一道巨型屏障屹立在林州大地西部，气流迎崖而上。壮丽的太行大峡谷有典型的嶂石岩地貌，台壁交错、谷幽峰奇，如徐徐展开的雄伟长卷。绵长山脉和辽阔大平原的结合，不仅让空中翱翔有了更广阔的空间，越野飞出后降落点也更容易寻找。沿着太行山，往北可抵石家庄，往





南直指焦作，滑翔条件得天独厚。2016 年 5 月 24 日，伞友宋俊明从林虑山起飞，直线飞行距离达 178 公里，创造了国内新纪录。

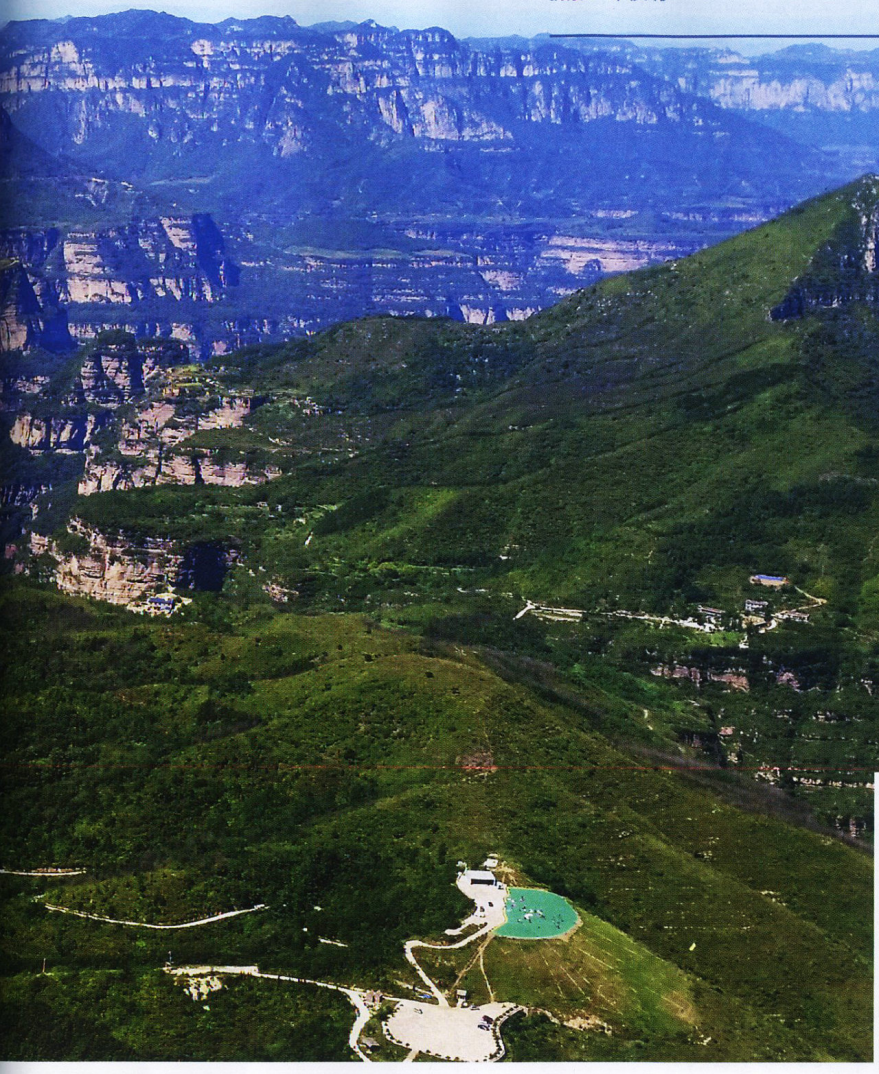
如果研究下中国超过百公里的滑翔轨迹，就会发现，许多都沿着山脉与平原的交界地带飞。越野飞行需要有持续的热气流，飞出后需要有较多的可选降落区。而绵长山脉和广阔平原的结合提供了可能 —— 风吹向山坡，太阳照射山地阳面，都会形成上升气流，不过山地的纵横沟壑也会产生扰动气流。相比起来，平原气流条件更为稳定，且到处都是合适的降落点。在平原与山地的结合地带，两种地形的优点合二为一，景观也更为壮丽优美，往往可能出现优质的越野滑翔走廊。

1987 年，安阳航校校长张杰受命为国家寻找滑翔伞场地，林虑山就这样被发现。从开飞到现在，这里迎接过 90 多个国家和地区的伞友，有 80 万次的安全起降，“亚洲第一，世界一流”的场地是实实在在飞出来的。这里是多少“新鸟”向往的地方，多少“老鸟”回望的地方。

在林州飞行多年的伞友已总结出一套太行“心经”—— 春天

林州，太行之畔的中国滑翔伞运动摇篮

经过三十年的发展，林州的林虑山（属太行山脉）已成为国内历史最长，发展最成熟，飞行条件最好的滑翔越野场地。太行山在林州一带南北绵延，这里的一切都像是为滑翔伞运动量身定制，完美的地形和气流，壮阔的嶂石岩大峡谷。沿着山脉飞行，随时往外飞出都能找到合适落点。图为飞行在太行山上空的滑翔者。摄影 / 宋俊明





太行山越野滑翔轨迹示意图

山花烂漫，如飞在花海之中；夏季气流较强，山下小麦成熟收割时节，气温升高，收割、翻地、播种等农业活动会造成地表温差，整个平原到处都是热气流激发点，能飞得很高很远（最高纪录海拔4800米）；秋天气流平和更适合享受飞行；冬天雪后的太行大峡谷风骨卓然，让滑翔者如入画中。

如果说林州滑翔基地的发展还有些自上而下的官方色彩，而国内更多滑翔基地的发现和成长则完全是民间的自发行为。

秦岭的滑翔故事就颇具代表性。伞友“远景”（网名）是秦岭蓝关古道场地的发现者。他在2008年迷上了滑翔伞，刚开始时多在小山飞行，后去林州观摩高水平滑翔伞比赛，观察和体验了太行山线路后，他不禁想起

了家乡的秦岭——同样是几百公里的连续山脉，外侧为广阔平原，都有明显的沿山脉的稳定规律气流带，易寻找备降地，每年可飞天数也有保证……他产生了一种强烈的直觉：在秦岭，滑翔伞也一定能飞得更高更远。

于是，从2009年开始，他沿着蓝田、长安、户县、周至一带秦岭北坡开始寻找。2011年春，蓝田蓝关古道一带有公路修到了山顶，他在这附近发现了潜在的优质起飞点。插上风筒，观察记录气象数据、清理灌木杂草后，4月10日，他和几位伞友开始了第一次试飞，渐渐有外地高手也来飞。2011年22公里，2013年95公里，2017年119公里，秦岭的越野飞行直线距离纪录被不断刷新。现在，沿着秦岭山脉，已有蓝关古道起飞场、天子峪起飞场、鹰嘴峰起飞场。秦岭成为太行山之外另一个被看好的潜力巨大的滑翔越野之地。虽然与成熟的林州太行一线相比，秦岭滑翔走廊还显得有些“青涩”，但在鹰嘴峰基地的开发者宋俊明眼中，秦岭与太行各有千秋，比起太行绝壁的巍峨，秦岭更为秀丽。

在中国的天空中，一条又一条精彩的滑翔越野线路飞越成功，如越过天际的道道彩虹。

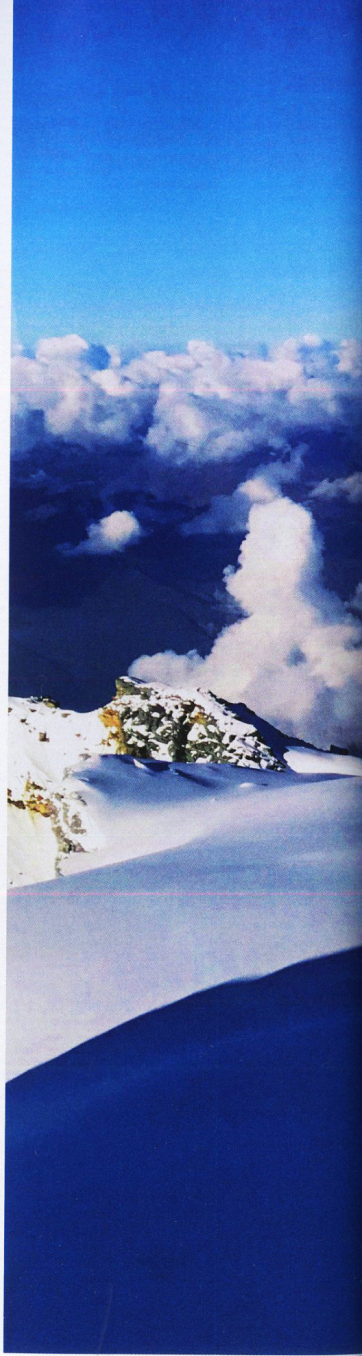
内蒙古赤峰克什克腾旗，地处内蒙古高原、大兴安岭南端和燕山余脉的交会地带，融草原、沙地、山地、丘陵、草甸多样地貌为一体，天广地阔。在这里，长距离滑翔线路从克旗起飞场开始，向四个方向展开，如一朵盛开的天空之花。每个方向都产生了超百公里越野纪录。2014年，刘海鹏等四位资深滑翔伞玩家从赤峰穿越到辽宁西部的朝阳，完成了全程500公里的滑翔越野挑战（徒步+滑翔）。

贡献了超百公里越野滑翔纪录的，还有四川的龙门山脉、广东的莲花山脉，这两处也是难得的冬季越野飞行好地点。

雪山探险滑翔，飞行的冰峰侠客

不断的探索和超越，也是滑翔飞行的魅力之一，惊心动魄的探险滑翔是伞圈最为人津津乐道的传奇。

2016年10月18日，李群国、元林朝、宋俊明三人团队飞越四川的四姑娘山，这是首次有人以无动力滑翔伞的方式完成四姑娘山的飞越。他们从海拔3900多米的朝山坪草甸起飞，元林朝完成了大峰、二峰、三峰飞越，最高到达幺妹峰附近海拔6177米位置，李群国更是以6356米的高度环绕幺妹峰顶（海拔6250米）一圈，完美实现了四峰连飞。





哈巴雪山探险滑翔飞行轨迹示意图



登顶哈巴雪山，以鹰的姿势飞下

2017年10月18日，元林朝及其团队连夜攀登，在清晨登顶哈巴雪山成功。面对并不理想的风力、风向以及苛刻的地形条件，元林朝驾驶滑翔伞从海拔5375米处起飞，飞行40多分钟，直线20多公里，在海拔1969米的山下着陆点安全降落。图为两次失败后，终于成功起飞后的瞬间。供图 / 元林朝

上图为元林朝从哈巴雪山峰顶起飞后，冰峰在侧，云海在下的难忘一刻。摄影 / 元林朝

元林朝，中国滑翔伞国家队教练，国内最优秀的滑翔伞飞行员之一。2015年10月，他去四姑娘山拍摄一个滑翔伞主题短片，对当地气候、地形有了了解，四姑娘山的魅力深深吸引和震撼了元林朝。他判断，在气象条件合适的情况下，滑翔伞飞越幺妹峰是可能完成的，一个梦想就这样诞生了。回去后，元林朝开始着手组建飞行团队，他向两位国内越野飞行与特技飞行最拔尖的人物宋俊明与李群国发出邀请，两人听说后非常激动，欣然应邀。

经过前期准备、体能训练，解决高海拔缺氧及御寒等一系列问题后，2016年10月14日，飞行小组来到了四姑娘山脚下。试飞时，高原突变的气候给了他们一个下马威，宋俊明和李群国刚起飞就突遇强上升气流，两三分钟后已高出起飞点差不多有1000米，而远处有积雨云正在快速生成，两人赶快做螺旋俯冲、大摆荡等快速消高动作，刚刚降落，一场瓢泼大雨就猛烈袭来。

有惊无险，连续几天适应性飞行后。10月18日，他们正式挑战四姑娘山，宋俊明率先起飞试探，但没有遇到好的上升气







流，降落在预定地点。观察了宋俊明的飞行路线后，穿戴好装备的元林朝与李群国耐心等待，他们静静感受着风和气流的变化，注视着云的形成与消散、鹰的盘旋…… 下午 1 点多，云雾笼罩的大峰、二峰、三峰峰顶渐渐显露真容，气流风持续时间变长…… 是时候了！

两人抓住时机起飞，元林朝飞过大峰、二峰、三峰，在幺妹峰下距崖壁很近的区域依靠微弱的上升气流不断盘升，到达海拔 6100 多米时，忽遭浓雾扑面，连头顶的伞都已看不见，为安全考虑，遂依靠仪表指示向外飞出。返航途中，手台里收到李群国成功飞越幺妹峰的消息。在朝山坪降落点，元朝林降落后静静站在原地，李群国落地后两人紧紧拥抱，相拥而泣。

这是一次壮举，陌生的飞行区域、复杂的高原气象、高空低温及缺氧危险，几位冰峰侠客依靠着梦想和团队的力量，共同完成了这次挑战。

2017 年 10 月 18 日，元林朝带领团队登顶位于云南香格里拉市的海拔 5396 米的哈巴雪山，在风力风向不理想和雪峰绝壁的苛刻地形条件下，他从海拔 5375 米处纵身飞下，再圆雪山冰峰之梦。

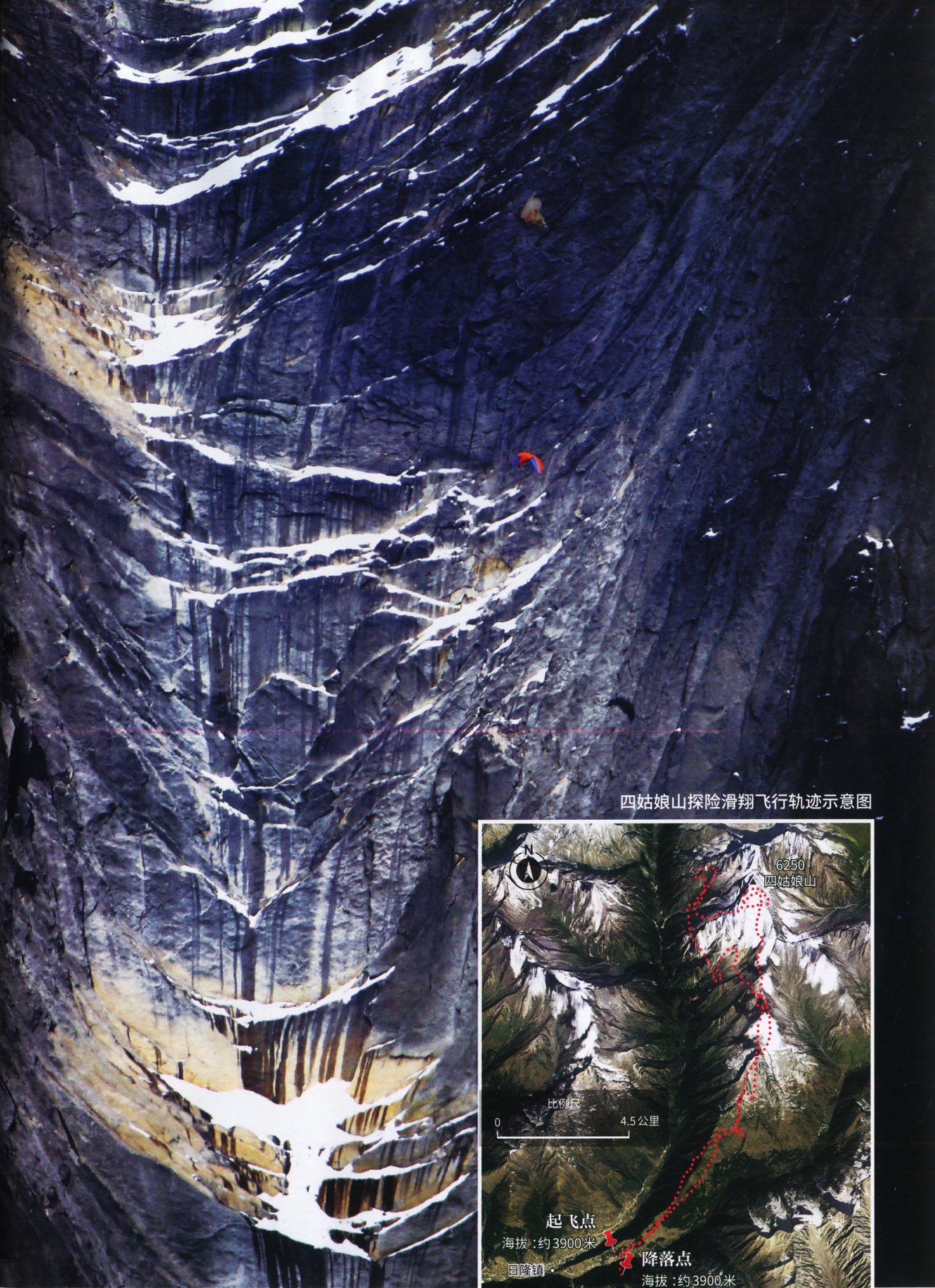
飞越四姑娘山，史诗般的滑翔探险

2016 年，元林朝、宋俊明、李群国三人团队以无动力滑翔伞方式成功飞越四姑娘山。他们如勇敢的雄鹰，挑战高反、乱流、低温、狂风、浓雾等重重危险和困难。

左上图为四姑娘山主峰之侧的滑翔伞，如冰峰上开出的一朵绮丽之花。历史上，只有极少数人曾以攀登的方式登上过海拔 6250 米的幺妹峰。摄影 / 刘康明

上图为正在飞越幺妹峰的李群国。在高寒缺氧的条件下鹰击长空。摄影 / 李群国

右图为元林朝飞过四姑娘山刀削斧劈般的绝壁。摄影 / 刘康明



四姑娘山探险滑翔飞行轨迹示意图

滑翔秦岭，中国中央山脉上的天空廊道

继太行山之后，秦岭的长途越野滑翔潜力也渐渐被伞友们发现和挖掘出来。秦岭一年四季可飞，山体连绵，热气流充沛。近年来，这里已经举办过秦岭百公里滑翔伞挑战赛、秦岭极地300公里铁人飞行挑战赛等赛事。图为双人伞滑翔者正在秦岭上空穿越。摄影 / 王西晋

秦岭越野滑翔轨迹示意图



云中漫步，一张天空之网正在铺展

越野滑翔、特技滑翔、极限探险滑翔都需要丰富经验和高超技术。其实，滑翔伞运动包容性很强，经过一定的学习，从十几岁的孩子到六七十岁的老人都能自由翱翔，享受休闲飞行的乐趣。而依靠双人伞和有经验的飞行员，毫无经验的人也能像鸟儿一样飞行。

伞友们有个共同特点，走出家门便习惯性地抬头看天、看云、看风，看到山头就想是否可以从上面飞下来，一个又一个的场地就是这样被发现，被飞出了名气。不同的地理位置、地形会有不同的特点。比如群山环绕的四川盆地，相对于其他地区风力偏小，而海边大风天居多，这都会带来不同的飞行体验。

一般来说，一年可飞天数多，气象和场地条件相对稳定，空域与地域条件良好，交通方便，就是一个不错的滑翔伞飞行场地了。而如果气流条件优秀、风景又格外秀美的话，便更多了一层魅力。



从沿海到高原，从休闲飞行到极限探险

从上世纪80年代末中国无动力滑翔伞运动萌芽，到今天不过30年。但从沿海到高原，从普通人也能参与的休闲飞行到属于勇士的极限探险滑翔，动人的飞行故事已遍布天空。

上图为浙江温州苍南县雾城村滑翔伞基地，碧海蓝天，风景秀美，在这里飞伞，处处都是视觉盛宴。供图 / 黄祥宇

下图为西藏羊卓雍错（海拔4441米）上的飞伞者。摄影 / 宋俊明

目前，滑翔基地在全国分布并不均匀，浙江、广东、四川、湖北这4个省伞友人数多，场地相对也较多。比如浙江就有12个场地，分布地从内陆山区到沿海，非常多样化——永安山既适合做本场飞行，也产生过上百公里的越野飞行纪录，伞友郑洪泽则直接从永安山飞到了千岛湖；温州苍南县雾城村的滑翔伞基地，面向一派碧海蓝天，几十公里的黄金海岸迤逦铺展；台州安基山滑翔伞基地，梯田壮丽，往北可飞往天台县的天台山基地，往西南可以飞往丽水的羊上基地。



山区场地多靠捕捉热气流达到长时间留空，需要晴好天气；而海风场地的风持续稳定，即使没有好的阳光也可长时间留空。2014年9月，伞友天涯涯在宁波慈溪龙山留空9小时30分38秒；2016年这一纪录被伞友在新疆石人沟场地打破；同年8月山东伞友大成在青岛四舍山创造了11小时6分9秒的国内留空新纪录。

福建的泉州九都、漳州的长泰以及火山岛等几个基地相隔不远，向南还有广东的汕尾水底山、惠州小鹰嘴、江门下川岛、阳江海陵岛以及海南万宁龙滚等基地；向北有浙江以及山东沿海场地。可以说，沿着中国的海岸线，

从南到北都分布着滑翔伞基地，在碧海蓝天中享受着飞翔飘浮的感觉，是属于飞伞者的别样幸福。



天空是飞行者的舞池，“鸟人”迷恋着蓝天下的自由气息。我自己就很享受旅行飞伞的方式——背着伞包，去往全国甚至世界各地的滑翔伞基地飞行。飞伞者如同迁徙的鸟儿，随着气候气象的变化寻找适合飞行的地方。冬天南下往广东、福建一带滑翔，温暖；夏天则可以去北方草原，凉爽。人数虽不多，但三五成群，结伴而飞，恰如一队相随相伴的鸟群，创造着属于自己的天空故事。

滑翔传奇，仍在山河之上不断书写

今天，在世界上许多国家，滑翔伞已经成为一项较为成熟的休闲探险运动。一些举世闻名的滑翔胜地极为壮丽精彩，如阿尔卑斯山脉周边、新西兰皇后镇、土耳其费特希耶等。在巴西，滑翔伞飞出了直线距离 564 公里的世界纪录；在喀拉昆仑山脉与喜马拉雅山脉，挑战者们曾凌云而上海拔 8000 米的高空；有双人伞



追风逐云，滑翔是天、地、人、伞的共舞

滑翔者敬畏自然，善于观察，要与风、云、气流、地形的变化不断协调。2018 年 8 月将在印尼雅加达举办的第十八届亚运会上，滑翔伞将首次成为正式比赛项目，这标志着滑翔伞运动的蓬勃发展和更精彩的未来。图为在林州林虑山国际滑翔基地上空翩然起舞的伞友们。供图 / 陈广玉



从全球七大洲的最高峰飞下……著名的阿尔卑斯极限越野赛，选手从奥地利萨尔茨堡出发，以越野徒步＋滑翔伞的方式穿越阿尔卑斯山脉，穿越奥地利、德国、瑞士、法国等国，最终抵达摩纳哥，全程1000多公里。滑翔伞为勇敢者赋予了飞翔和探索的能力，带来了无限的可能。

而在中国，壮丽多样的山河原野也给予了飞伞者们无限的梦想空间，除了已有的100多个滑翔基地，这些空中的探路者们仍在不断发现和探索新的场地和线路。中国滑翔伞飞行员直线距离纪录保持者宋俊明（国内飞行178公里，澳洲飞行235公里）已经飞越华山，飞出了黄山环线。在他的心中，新疆更是一处潜力无穷的宝地。“新疆是我在中国的飞行中感觉最迷人的地方，那拉提、赛里木、喀纳斯，一个比一个迷人。”他对伊犁河谷格外关注，那儿三面环山，东西长360公里，“有可能实现300公里的连续飞行”。

另一个消息是，中国西藏登山队，世界上唯一一支以团体形式攀登全球14座8000米级高峰的登山队也已开始在西藏发展滑翔伞运动，有了他们的加入，想来，在不久的将来，在中国乃至世界各地的极高山上，中国人将会带来更多冰峰极限滑翔的传奇。

责任编辑／陈惊鸿　图片编辑／陈惊鸿
版式设计／李晟　地图编辑／陈云





蒙古国匈奴贵族



久埋于地下两千年的棺木已经腐朽，一块紧贴棺木侧壁的玉璧却依然完好无损。这块直径达18厘米的玉璧纹样精美，是典型的汉文化器物，与中原地区汉代贵族墓出土同类器物相比，无论是玉料还是工艺，这块玉璧都属上乘之作。与玉璧一同掩埋于棺木之间的是黄金器物。

在茫茫大草原上，掩映在松树林中大小不等的石堆并不引人注目，石堆之下掩埋的却是曾经影响两汉历史、骁勇善战的匈奴王者。这一次，我们跟随中国考古学者周立刚，深入蒙古国中部的后杭爱省，一起探访两千年前匈奴贵族留下的墓葬遗迹。

墓葬探秘

揭开两千年前匈奴王墓的面纱

撰文 | 周立刚

摄影 | D. Erdenebaatar 等

2017年7月，我带领考古队在蒙古国的一座甲字形大墓旁开始了为期两个多月的田野考古工作，这是一个针对匈奴贵族墓葬的中蒙联合考古项目。

赴蒙古国之前，队友们对这里的印象还停留在大草原和蒙古包上，闲聊时，匈奴贵族最后的归宿地总是将我们探讨的话题引向两千年前的马蹄与硝烟。

匈奴，这个颇具传说意味的游牧部落，在中原大地上酝酿第一次大一统的战国时期，兴起于北方大草原上。到了西汉时期，匈奴已经发展成一支强大的势力，与汉王朝之间演绎了数百年或战或和的历史，留下白登之围、封狼居胥、苏武牧羊等脍炙人口的故事。然而，随着匈奴的内部分化和迁徙，其名称在南北朝后期从史书上消失，逐渐被遗忘在草原深处。

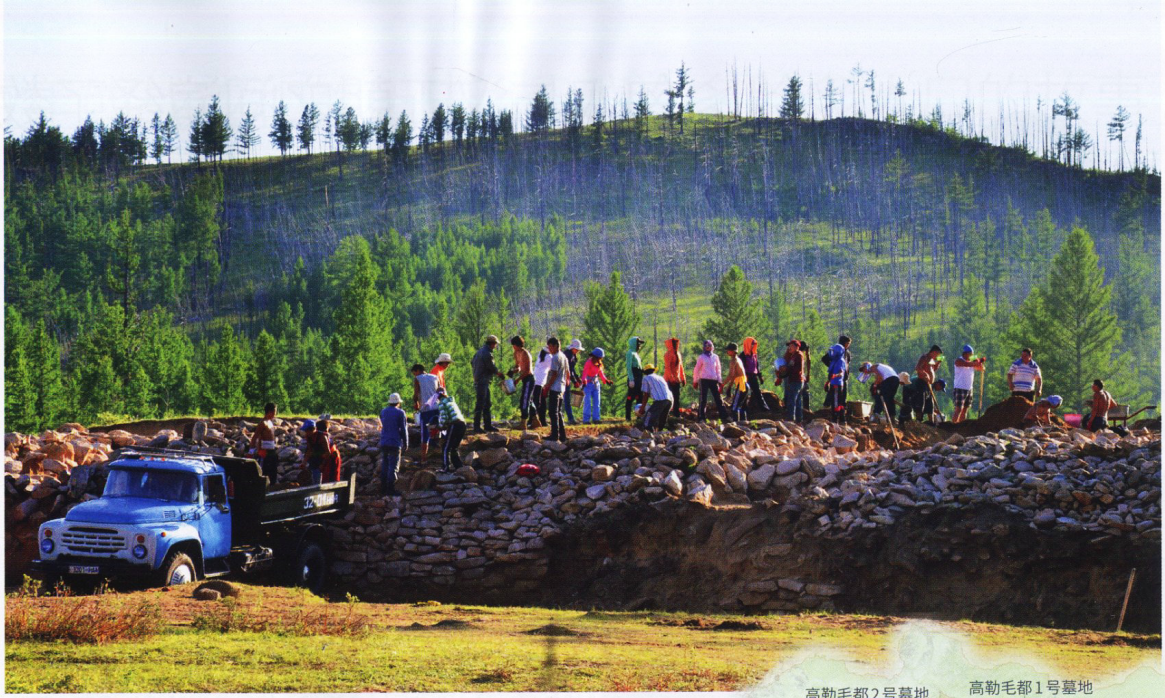
大型匈奴墓考古，揭开两汉时期匈奴王室的辉煌

我们开展考古工作的地点位于蒙古国中部后杭爱省境内。东西长2200多米、南北宽1300多米的高勒毛都2号墓地坐落在一片北低南高的山坡上，北侧是一条叫做鹿河的小溪自东向西流过，东西南三面都有缓坡围绕。在北面开阔的坡地上，零星分布的松树林中，安葬着近百名匈奴贵族。将高像素的航拍照片放大到一定程度，可以明显看到地面露出的墓葬轮廓。这些墓葬的积石有的高出地面近1.5米，有的则已经完全被掩埋到草皮之下。

与中原地区两汉时期的大型贵族墓葬不同，这些大约建成于东汉初年的匈奴贵族墓葬并没有高大的封土堆，都是用石块在地面砌成明显的甲字形标

在开阔坡地上零星分布的松树林中，



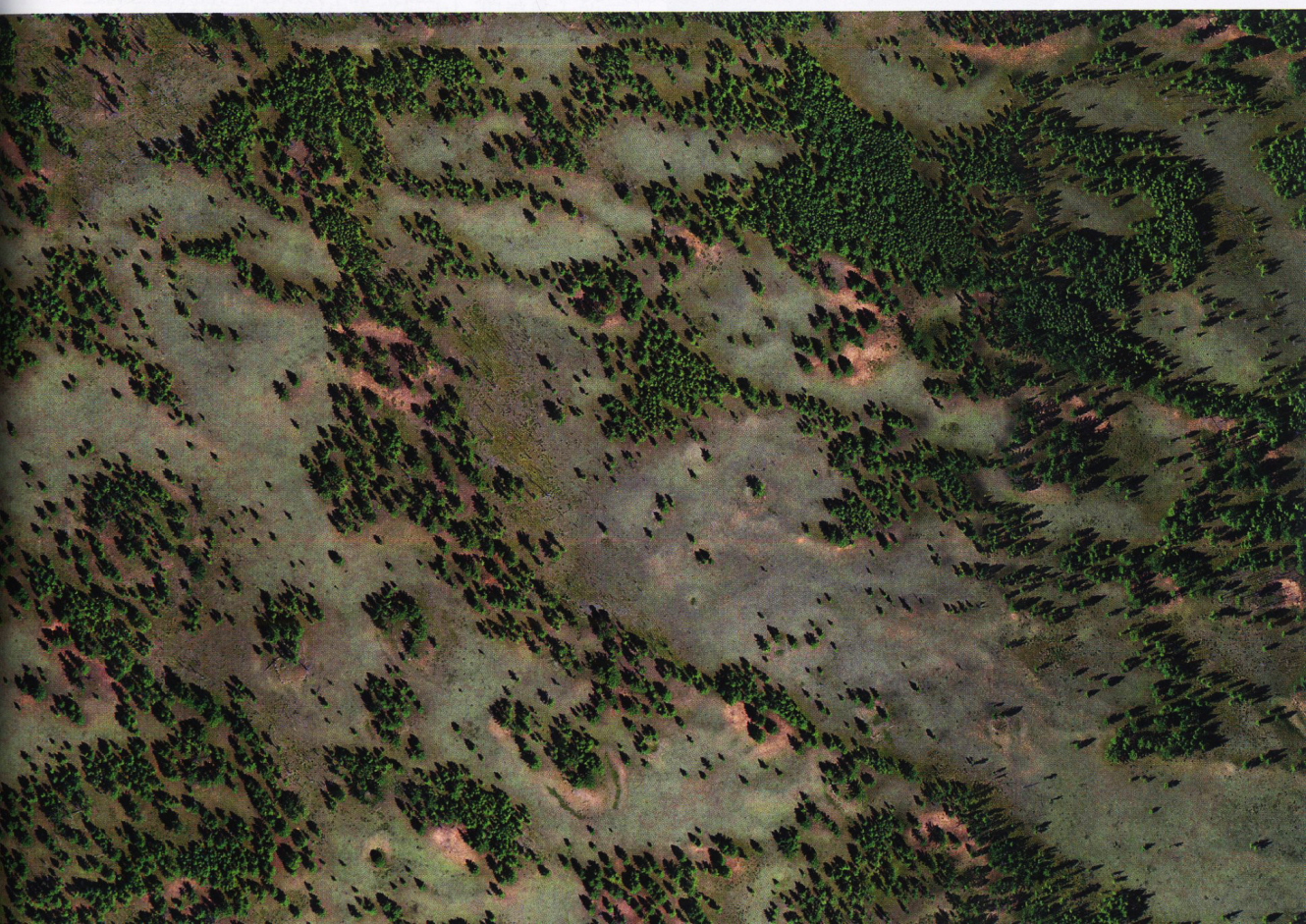


上图为高勒毛都2号墓地1号墓葬（M1）发掘场景。墓顶积石堆上，参与考古挖掘的蒙古学生正在清理，所有工作均为手工完成。下图为高勒毛都2号墓地全景航拍（摄影/任潇 聂凡）。



蒙古国高勒毛都墓地位置图

安葬着近百名匈奴贵族。





王子今
中国人民大学国学院教授
著名秦汉史学家
绘图 / 晓秋

匈奴高等级贵族墓葬的文化内涵中有非常醒目的汉文化的构成

蒙古国高勒毛都 2 号墓地考古发掘的 1 号墓葬（M1）和 189 号墓葬（M189）的重要收获，反映了汉代匈奴与中原王朝密切的文化交往。随葬多辆车体装饰彩绘云纹的马车，直径达 18 厘米的极其华贵的玉璧，有汉字铭文的铜镜等文物遗存的发现，告知我们这处匈奴高等级贵族墓葬的文化内涵中，有非常醒目的汉文化的构成。匈奴与汉王朝长期处于敌对、竞争乃至战事频仍的状态，“兵连而不解”，“而干戈日滋”（《史记 · 平准书》），然而，正如德国军事历史学家克劳塞维茨所说：“战争是一种人类交往的行为。”而即使在相互杀伐期间，双方的经济文化交往仍未断绝。匈奴“好汉物”，即倾心中原物质文明，以致战时仍“尚乐关市，嗜汉财物，汉亦尚关市不绝以中之”（《史记 · 匈奴列传》）。在和亲交好时代，双方联系尤为密切。公元前 198 年冬，“汉高帝使刘敬奉宗室女名为公主，以妻单于；岁赠匈奴絮、缯、酒、米、食物，约为兄弟以和亲”，这种交往形式时断时续，后世往往沿承。M1 地面石堆与《史记 · 匈奴列传》所说“无封树”的传统葬俗有异，可见匈奴埋葬习俗源流复杂，而 M1 墓道与墓室构成的甲字形结构，间隔为三部分的棺室形式，不能排除受到汉地葬式影响的可能。

具有典型草原民族文化特征的文物在高勒毛都 2 号墓地的发现，增益了我们对匈奴文化的认识。镶嵌绿松石的金器，长度近 30 厘米的马饰，雕饰以雪豹、羚羊为原型的动物纹饰的金银器，都是值得珍视的遗存。而独角兽形象的纹样，可以帮助我们理解河西汉墓出土随葬品所见独角兽模型的文化渊源。

葬墓出土的一件相当完整的玻璃碗值得特别注意。这件玻璃器有蓝白相间的纹饰，形制与以往多见罗马帝国的产品十分接近，可能来自丝绸之路的西端。我们有关匈奴在草原丝路贸易史中曾经有活跃表现的推断，或许可以因此得到助证。



绘图 / 王金燕

百年或战或和的历史，留下许多脍炙人口的故事。

图中考古工作人员正在紧锣密鼓地进行墓葬清理工作。2017年7月，一个由河南省文物考古研究院、洛阳市文物考古研究院和蒙古国乌兰巴托大学联合实施的考古项目在蒙古国后杭爱省启动，图为高勒毛都2号墓地M189的11号陪葬墓清理现场。因为墓坑内都是黄沙，所有的清理工作都是用刷子进行。视线里的两件陶罐是本年度陪葬墓中的重要发现。摄影 / 聂凡



志，高度从几十厘米到两米多不等。据蒙古学者研究，这里的松树林形成于近三百年间，由风从西伯利亚带来树种，落地生根而成。这些人工堆成的四百多个石堆，小者数十平方米，最大者达两千多平方米。

站在墓地环顾四周，我发现不远处有几座石头山，“墓葬用的石头就是从附近山上采来的？”我问此次联合考古项目的蒙方负责人——乌兰巴托大学考古系主任额尔登巴特尔教授。教授告诉我，最近的石头山距这里直线只有七八百米，他们做过实验，冬天结冰之后，山上的石头能够直接滑下来，运输非常方便。但是，至于骁勇的匈奴人究竟为何选择这里作为他们王者最后的归宿地，仍然是一个谜。

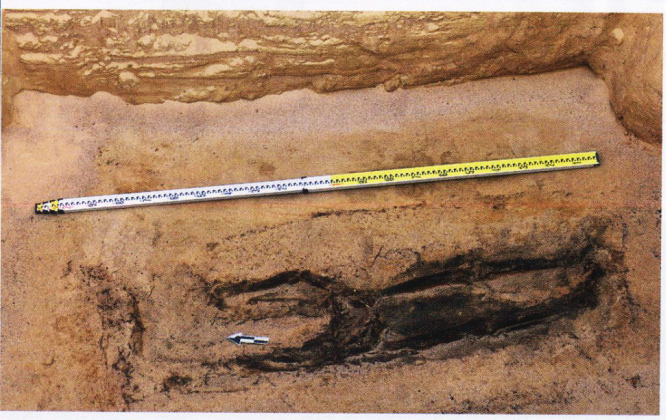
在已经发现的匈奴贵族墓地中，规模最大的三处都位于蒙古国境内，其中两处在呼尼河畔，尽管相距约 150 公里，但都被当地人称作高勒毛都（Gol Mod）。高勒毛都在蒙古语中是丛林之中的意思，准确地反映了墓地所在的地理环境。为了表示区别，考古学家将这两个墓地分别称为高勒毛都 1 号墓地和高勒毛都 2 号墓地。

由于人烟稀少，高勒毛都 2 号墓地在 2000 年左右才被发现。额尔登巴特尔教授和他的团队随后在此开展了调查，并用近 10 年的时间对其中规模最大的 1 号墓葬（M1）进行了发掘，由此揭开了匈奴王室的面纱。

高勒毛都 2 号墓地的 M1，由 46 米 ×46 米的墓室和 37 米长的墓道组成一个甲字形墓葬，墓室深度达 21 米。在被石块和沙层交替填充的墓室中，首先被发现的是一架马车。尽管被盗扰破坏了大部分车体，仍有一侧车轮和部分车厢保存完好，上面的彩绘云纹装饰清晰可见，是典型的汉代马车式样。这架马车之下是两层石块夹一层沙，让蒙古考古学家吃惊的是，第二层石块下有近 1 米厚度的木炭层——不是中原地区贵族墓所见的那种为了防潮所堆积的木炭，而是木质器物被烧毁后形成的。木炭层中夹杂的铜质和铁质马车构件表明，被烧毁的是十余辆马车。根据车辆和构件的特征，考古学家推测这些随葬的马车都来自汉王朝。

墓室底部是 6 米 ×8 米规格的木棺，从地表一直延伸到棺内的盗洞让考古学者们心寒。盗洞直接进入的棺室中，墓主的骨骼只留下些许碎片，任何关于性别年龄的鉴定工作都无法开展。不过，紧贴木棺侧壁的地方，有一块玉璧逃脱了盗墓者的魔掌。这块直径 18 厘米、装饰精美、保存完好的玉璧是

针对墓地的破坏活动并不同



墓葬发掘过程中，新发现层出

上图：在高勒毛都2号墓地M189的9号陪葬墓墓底，可以清楚地看到人骨虽然保留着仰身直肢的葬式，但是头部已经不见了。这一现象在本次发掘的多个陪葬墓中都有发现，也是我们判断墓葬曾经遭到报复性破坏的证据之一。摄影 / 聂凡

下图为M1出土的铜质和铁质器物。随葬的马车已经烧毁，留下铜或铁质的构件。图中花朵状的构件一般装饰于车上伞盖弓骨的末端，称为盖弓帽。图中器物均出自高勒毛都2号墓地M1。

典型的汉文化器物，成为这座墓葬的抢眼发现之一。这块玉璧与中原地区汉代贵族墓出土同类器物相比，无论是玉料还是工艺，都属上乘之作。

负责发掘的额尔登巴特尔教授说，清理到墓室底部时已经是寒冬。为了赶在大雪到来之前完成工作，发掘人员实行三班倒二十四小时作业。一天半夜，他刚从工地回到蒙古包内准备休息，一名学生气喘吁吁地跑来找他，说是有紧急情况汇报。因为当时正在进行的是 21 米深的地下作业，周边的流沙稳定性很差，教授以为是流沙引发了安全问题，吓得马上站了起来。他没有详细询问就直接跑到了工地的坑底，只见工作人员围成一团，大家都目不转睛地盯着沙土中一片金灿灿的器物。原来，又是一个重要发现。棺室被分隔成三个部分，除了安葬人骨的部分，还有两个隔室没有被破坏。其中一个隔室里整齐堆放着成套的马饰，包括一套金饰和两



于一般意义上的盗墓，很可能是一种报复性活动。

右图是2017年夏季在M189的12号陪葬墓中出土的一件铜鍪（一种大口锅），器身可见火烧之后留下的烟炱，说明这是件实用器物。这种铜器在类似12号陪葬墓的小墓葬中十分罕见，考古队员在进行清理工作时既兴奋，又小心。摄影 / 聂凡



套银饰。最大的圆形饰件直径 13 厘米，长条形饰件长度近 30 厘米。除了尺寸惊人之外，经过仔细清理发现，金银器上面都有精美的独角兽纹饰，多以雪豹、羚羊等动物为原型；金器上还镶嵌有绿松石。这是目前为止匈奴贵族墓葬中出土的最完整、精美的成套马饰。

蒙古学者非常肯定地认为 M1 就是一代匈奴国王的墓葬，也就是汉朝文献中记载的单于的墓葬。虽然缺乏文字材料，无法断定墓主的具体身份，但上述这些发现无不体现了墓主在匈奴社会中的特殊地位。





M1 所在的高勒毛都 2 号墓地中，类似的大型墓葬有近百座，当时的发现只是揭开了神秘面纱的一角。出土物明确的汉文化特征也引起了中国考古学者的极大兴趣。于是，2017 年，一个由河南省文物考古研究院、洛阳市文物考古研究院和蒙古国乌兰巴托大学联合实施的中蒙联合考古项目由此诞生，工作地点就在这个墓地。

匈奴，这个颇具传说意味的游牧部落，





黄金节约
置于马头部革带相交处

黄金节约纹饰图



金灿灿的马饰，承载着游牧民族的审美

根据M1出土马饰的特征，蒙古手绘师复原了黄金马饰在马身上装饰的对应位置。当卢、鞲饰、靳和鞦饰、节约是汉代车马身上的饰品。黄金的使用，与人们对马的驯服和审美息息相关，在亚洲及亚洲以外地区都有发现，尤其集中在游牧民族占主导地位的北亚、西亚和中亚一带。图中黄金马饰均出土于M1。绘图 / R. Battsengel

“视金银如粪土”的盗墓行为

在考古发掘的过程中，我发现每一个甲字形大墓的墓室顶部正中都有一个大小不等的圆形坑。根据这些坑的规模，我猜测是盗墓行为所致。从蒙古同行那里求证，M1 的发掘证实了我的猜测。

从盗洞里面和旁边直径达五六十厘米的松树来看，盗洞形成的年代已经十分久远。

有一个现象引起了大家的注意：M1 的盗洞从墓顶直通棺室，里面的人骨被洗劫一空，仅剩下几块残骸，但放置在逝者身上的玉璧却逃过一劫，一侧隔室里成套的金银马饰也未曾被扰动。难道说盗墓者未料到放置尸骨的棺室旁边还有其他空间？盗洞直接从墓顶穿入棺室的情况看，盗墓者似乎对墓葬的结构非常熟悉，因此这种假设难以成立。二十多米深的墓

在数千公里之外发现熟悉的文字和器物，

坑内填满流沙和石块，挖掘一个盗洞的难度非常大，显然也不是少数几人能够完成的。这些现象指向一个推测：盗墓活动应该是有组织的行为，并且目的并不是墓内的珍贵随葬品。

主墓一侧的小型陪葬墓也未能幸免。这些积石墓的地表本来都是圆形石堆，但是现在看到的都是中部有大小不等空白区的石圈，说明中部的石头可能被移走，目的是进入下面的墓坑。我们随后对M189的陪葬墓进行了发掘，结果发现，这些规模不大的陪葬墓都遭到不同程度盗扰。

我自己专门从事人骨研究，因此特别注意M189陪葬墓中人骨的情况，我发现了另一个令人吃惊的现象。如M189的7号陪葬墓中人骨的上肢及头部完全不见踪迹，其他陪葬墓的情况也类似：8号的下颌骨在棺外发现，头部及部分肩部不见了，陶器却保存完好；9号的头骨在棺外，下肢未经扰动，陶器保存完好；10号的头骨在坑中石块缝隙中发现，棺内肩部以下人骨未经扰动；12号的头骨及



出土于M1的玻璃碗

欧亚大陆各地的器物在这里汇聚

M1第28号陪葬墓出土的蓝白相间玻璃碗，与欧美博物馆所藏罗马玻璃碗在工艺和造型上十分相似，可以确认是一件来自罗马帝国的物品。至于这件器物为什么出现在亚洲北部的草原深处，目前学者仍在努力寻找答案。

有汉文化印迹的玉璧、马车、铜镜，北方草原风格的金银器、陶器和铜器，罗马玻璃碗——这些器物分别来源于欧亚大陆上相距数千公里的地方，在两千年前同时汇集于草原深处的大型墓葬中，令人叹为观止。



出土于M1的玉璧

有一种万里他乡遇故知的感觉。

部分肩部不见了，下肢未经扰动，随葬铜器及金饰保存完好。这些现象说明，针对这一墓地的盗扰活动也没有放过陪葬墓，同样，盗扰的目的也不是随葬品。

双方学者讨论之后，大家一致认为针对这个墓地的破坏活动并不同于一般意义上的盗墓，很可能是一种报复性活动。作为匈奴的东邻，乌桓西汉时期分布在汉东北边郡的塞外之地。《汉书·匈奴传》记载“汉复得匈奴降者，言乌桓尝发先单于冢”；《后汉书·乌桓鲜卑列传》也记载汉昭帝时乌桓曾经毁掉匈奴单于墓葬，说明乌桓曾经对匈奴贵族墓葬实施过报复性破坏。我们的发掘证实了文献记载的描述，这种有组织的、以破坏墓葬为手段的报复性活动的确发生过。至于破坏活动的实施者是否就是文献记载的乌桓人，这种行为发生了一次还是持续多次，就是我们需要继续研究的问题。



出土于蒙古国其他匈奴墓葬的陶罐



出土于M189的8号陪葬墓的昭明镜
摄影／聂凡



出土于M189的11号陪葬墓的规矩镜
摄影／聂凡



时而沮丧，时而惊喜，金银铜铁玉等质地的文物都被我们集齐了

高勒毛都 2 号墓地这种带斜坡墓道的甲字形墓葬，是我国商周以来常见的贵族墓葬形制。但是，在主墓一侧呈弧形分布的陪葬墓又呈现出截然不同的风格。这些陪葬墓不仅规模明显较小，而且都是圆形积石墓。它们不同于汉代中原地区的陪葬墓有专门的墓园，而是呈弧形分布于主墓的一侧，个别主墓两侧都有，如众星拱月一般。外国学者将这些陪葬墓形象地称为卫星墓。这种分布特征不仅凸显了主墓的地位，也成为一道特殊的景观。

本次发掘的 M189 陪葬墓有 12 座，1 到 5 号陪葬墓非常小，没有出土任何随葬品，甚至连一块陶片都没有。6 号陪葬墓出土两件铁镞让大家兴奋了半天，然而接下来的 7 号陪葬墓又是空空如也。联合考古工作开展了一个多月，12 座陪葬墓已经只



石块与沙层交替填充的墓室，其形制来源依然没有定论

图为M1墓道清理现场，从事这些清理工作的主要是蒙古国乌兰巴托大学的学生。墓道中部有一道南北向石墙，两侧有石块砌成的鱼骨状石墙。墓道内的这种石墙结构在匈奴贵族墓葬中比较少见。

剩下5座，如果这么大规模的联合考古工作只有这些发现，无论是我们，还是蒙方队员，都将非常尴尬。额尔登巴特尔教授那几个星期的心情很沉重，给我说了很多次sorry，抱歉自己没有选好工作地点。我安慰他说我们都是做考古工作的，都知道地下情况的不可预知性。

8月26日，蒙方老师带队清理8号陪葬墓，中方队员在上面做测绘摄影。突然间，蒙方一个老师大声叫道:“立刚，有器物!”，他激动的声音吓了我一跳。

顺着他手指的方向，我看见的仍然是黄沙和几团朽掉的树根。见我表情疑惑，他着急地用小刷子再刷了几下，我终于看清楚了——是一个灰褐色陶罐，端端正正地站在沙土里。看样子，陶罐没有被破坏，这是一个多月来发现的第一件完整陶器。闻讯赶来的额尔登巴特尔教授脸上乐开了花。

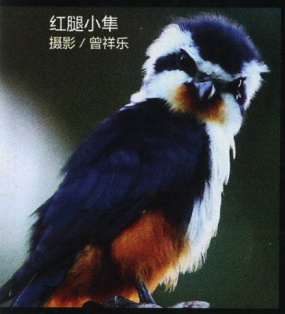
转折就从这里开始，3天后，我们在这座墓葬的底部清理出一枚铜镜，尽管只是碎片，但是上面的汉字和纹饰非常清晰，表明这是一面汉代的昭明镜。在数千公里之外的草原上，两千年前的墓葬中发现熟悉的文字和器物，此时的中方队员颇有一种万里他乡遇故知的感觉。这就是我们要寻找的历史证据。为了这些发现，晚上，双方队员专门喝酒庆祝。

随后的发现可谓高潮迭起。9号、10号陪葬墓又发现1件陶器和数件铁器，11号墓底发现3件陶器和1枚铜镜。这个时候，教授几乎每天都是哼着小曲来工地。

本年度田野发掘即将结束的时刻，我们又清理出1件铜镜和1件十分精美的金镶玛瑙饰件，而墓主腰部还有1件铁质包银的腰带。这12座陪葬墓虽然规模不大，但是出土了5件完整陶器、1件铜鍑、3枚铜镜。这些发现可能对于中原地区来说算不上丰富，但是在草原地区足够让人惊讶了。我们开玩笑说金银铜铁玉等质地的文物都齐全了，教授说这些发现相比1号墓的陪葬墓也不逊色——我们都知道，晚饭他就要迫不及待地拿出藏在床底的伏特加了。

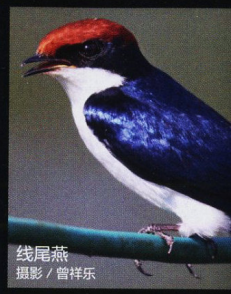
几千年来，那些矗立于草原上的青铜时代石冢（巨型石堆，有祭祀功能或本身就是墓葬），散落于蒙古各地的鹿石（表面雕刻有以鹿为主的动物形象和武器工具形象的拟人化石柱），和掩映在呼尼河畔松林中不同形制的石堆早已为牧民们熟知，但是它们所承载的历史信息却是近年来在考古学家的努力下才逐渐为人们知晓的。在这些掩映于丛林之中的匈奴贵族墓葬，我们看到了匈奴帝国的一个剪影。

责任编辑 / 张妍文　图片编辑 / 王彤
版式设计 / 李晟　地图编辑 / 王岩

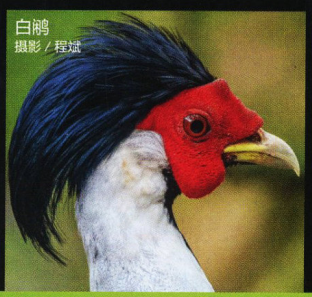

红腿小隼
摄影 / 曾祥乐

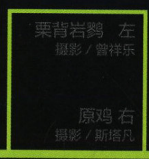

蛇雕
摄影 / 曾祥乐

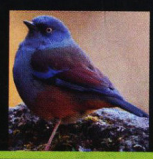

花头鹦鹉
摄影 / 何海燕

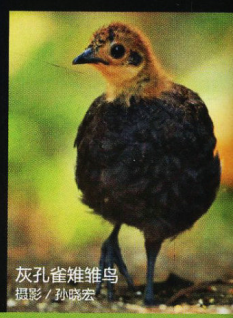

线尾燕
摄影 / 曾祥乐


灰孔雀雉
摄影 / 孙晓宏


白鹇
摄影 / 程斌


栗背岩鹛 左
摄影 / 曾祥乐


原鸡 右
摄影 / 斯塔凡

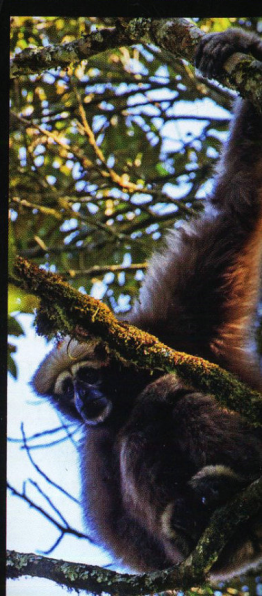

灰孔雀雉雏鸟
摄影 / 孙晓宏

云南德宏

这里生物的珍稀丰富超乎想象

撰文 | 赵一　方澍晨


豹猫
摄影 / 徐永春


天行长臂猿 下
摄影 / 彭建生


椰子狸
摄影 / 程斌

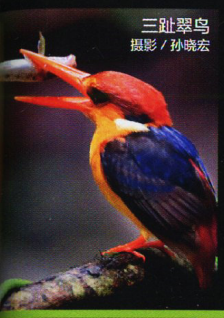

爽背大鼯鼠
摄影 / 彭建生


亚洲小爪水獭
摄影 / 程斌


蓝绿鹊
摄影 / 曾祥乐


双角犀鸟
摄影 / 孙晓宏


长叶球兰
摄影 / 曾祥乐


三趾翠鸟
摄影 / 孙晓宏


林雕鸮
摄影 / 程斌


黄足松鼠
摄影 / 程斌


滇西蝴蝶兰
摄影 / 曾祥乐


云南竹叶青
摄影 / 曾祥乐

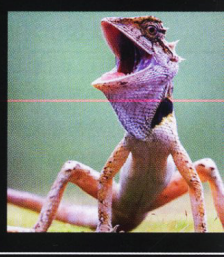
在全国范围内，每5种高等植物中，就有一种可见于德宏，每10种陆生和水生脊椎动物中，就有一种可见于德宏。这个地处云南西部的自治州不但是我国生物多样性最丰富的地区之一，同时分布着许多珍稀濒危生物和当地特有种，这吸引了来自全国各地的摄影师。通过他们的镜头，这块秘境得以展现在人们眼前。


薛叶卷瓣兰 左
摄影 / 曾祥乐

白唇树蜥 下左
摄影 / 曾祥乐

棕背树蜥 下右
摄影 / 程斌






茶色林蛇
摄影 / 曾祥乐


红蹼树蛙
摄影 / 曾祥乐


菲氏叶猴
摄影 / 程斌


西域湍蛙
摄影 / 彭建生


多疣小树蛙
摄影 / 彭建生

受到不同生物系交错影响的“交叉路口”

德宏所在的地区，东北侧连接云南高原的横断山地，西南侧连接南北缅甸生物地理省，因此被置于不同生物系的交错影响下，处于一个通道和过渡部位。这里既有热带、温带物种间的流通，又有东西不同季风气候环境下的物种过渡变化，因此造就了极为丰富的生物多样性。



云雾和密林下，藏着无比丰富的野生生物

德宏山高谷深，生态系统多样。最高峰大娘山海拔3404.6米，水系则有怒江、瑞丽江和大盈江。受印度洋西南季风的影响，这里是全国少有的南亚热带季风气候类型地区。特殊的地理特征与气候条件为野生生物提供了良好的生存环境。摄影 / 程斌

早上 7 点多，虽然外面已经是阳光普照，但在云南德宏傣族景颇族自治州（以下简称“德宏”）一片郁闭度很高的阔叶林区里，光线从密密的枝叶缝隙间穿过，显得有些昏暗。远远的，一只色彩艳丽、体型有些像鸡的大鸟慢悠悠地踱了过来。它顶着一对颜色艳丽的肉质角，腹部覆盖着深色的羽毛。

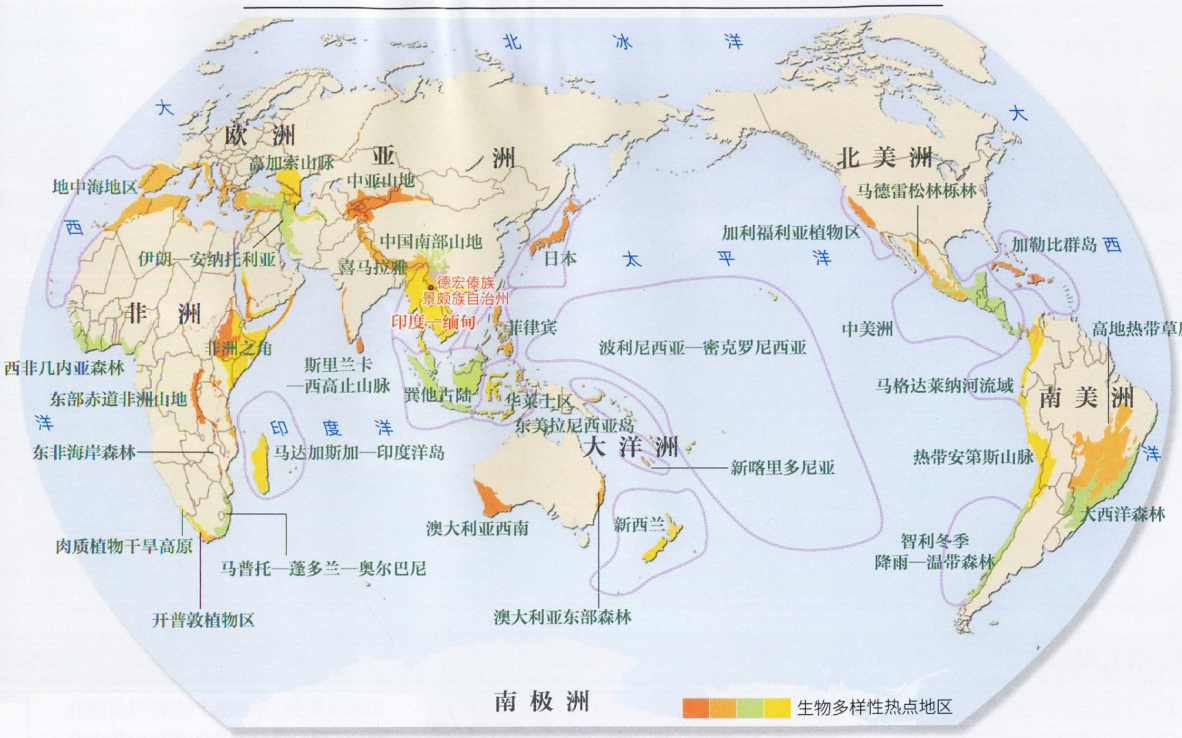
不知不觉间，它的行动触发了一架隐藏在附近的红外相机，镜头连闪，为它留下了 3 张影像。

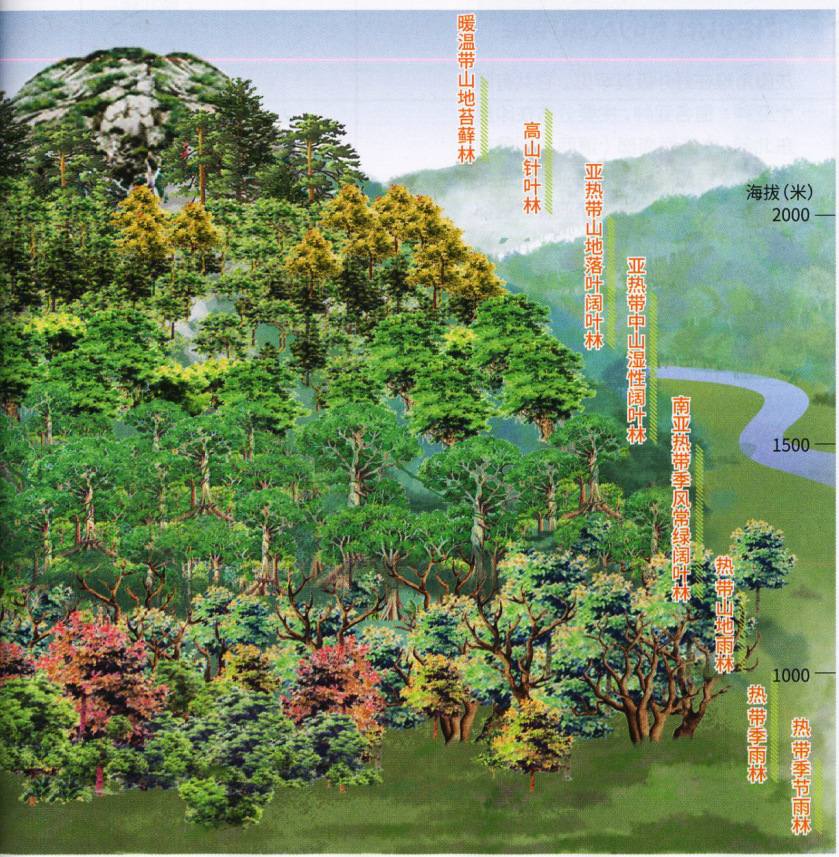
“刚看到这些照片时，我们还不知道它们的珍贵。”崔士明说。就在不久前，他所在的摄影团队在附近安装了 60 台红外相机，希望能拍摄到隐藏在这片森林中的珍稀野生动物。当他们回收相机时，惊喜地发现了云豹、云猫、小熊猫、豺、金猫、大灵猫等众多物种，其中有很多还是国家重点保护动物。

当沉浸在兴奋中的队员们看到这几张“大鸡”的照片时，以为这是国家二级保护动物红腹角雉，直到一位熟悉鸟类的摄影师再一次梳理照片时，才注意到它腹部的羽毛呈灰色——这是一只成年的雄性灰腹角雉！它的珍稀程度远比红腹角雉高，是国家一



全球生物多样性热点地区示意





德宏地区自然植被垂直分布示意

这里位于世界生物多样性热点地区

保护国际基金会（Conservation International）在全球划出了35个生物多样性热点地区（上图），这些地区有着地球表面生物多样性最丰富也最濒危的陆地生态系统。德宏位于“印度—缅甸热点地区”的东北边缘，由此可见其在世界生物圈中所占的重要位置及其对物种保护的意义。左图为德宏的森林生态系统，由于海拔高差达3000米以上，这里的植被垂直带谱明显，森林生态系统植被类型多样，这也是这个地区生物多样性丰富的重要原因。绘图 / 张晓鸥





我国第一只
被相机拍下的灰腹角雉

灰腹角雉在野外极其罕见。它共有两个亚种：指名亚种，主要分布在印度东北部、中国西南部（滇西北到藏东南）以及缅甸北部；不丹亚种，主要分布在不丹东部。这两个亚种数量都不多，世界自然保护联盟2013年评估整个灰腹角雉的野外种群数量仅有2500—9999只。这是国内第一次拍到它的野外影像记录，照片拍摄于德宏境内的铜壁关自然保护区，这里有灰腹角雉的典型生存环境。
供图 / 中共德宏州委宣传部

级重点保护动物，更难得的是，在此之前，这种鸟类在中国只存在于文字记录中，这是首次在野外捕捉到它的影像记录！

说到这里，崔士明仍然很激动。灰腹角雉是全球已知的五种角雉中体型最大的一种，雄雉体长可达65—70厘米，体重可达两公斤。同时，它也是野外数量最少的一种，珍稀程度非常高。世界自然保护联盟（IUCN）2013年评估整个灰腹角雉的野外种群数量为2500—9999只，在我国，它仅在西藏东南部、云南极西北部地





德宏地区是犀鸟在我国分布的最北限

犀鸟的外形极富特色，让人一见难忘。这种大鸟在国内已经濒临灭绝，而德宏还分布着三种，其中双角犀鸟（左图 摄影 / 大山之魂）是体型最大的一种，它的翼展可达1.5米，花冠皱盔犀鸟（右图 摄影 / 陈健伟）在我国境内的分布仅记录于德宏铜壁关自然保护区。由于德宏处于热带和南亚热带的过渡地带，使得该地区成为部分鸟类的自然分布边缘，以犀鸟为例，这里是它在我国分布区域的最北限。

区有过文字记录。

“这绝对算得上是我们的意外收获，一个最棒的收获。”崔士明的队友、生态摄影师程斌说。“灰腹角雉行踪诡秘，很难见到。我们这次有了影像证据，科研价值十分重要。现在当地已经投入了更多人力物力深入研究，将进一步保护它们。而且，这样的明星物种能唤起当地更多人保护生态的意识。”

而这只是德宏境内珍稀生物的冰山一角。作为中国生物多样性最丰富的地区之一，德宏吸引了来自全国各地的生态摄影师，程斌和崔士明就是其中的两位。为了给这里难得一见的动植物留下影像记录，他们所在的“自然影像中国”拍摄团队在这里拍摄了一年多时间，亲眼见证了这里的神奇。

拍伊江巨蜥，不是争分夺秒，是“争秒夺秒”

对程斌来说，他在德宏看到的很多场景都是超出想象的。在此之前，虽然这里已经是著名的犀鸟之乡、观鸟胜地，但是对于这里的生物多样性，外界却所知甚少。即使对于多年关注自然生态的程斌来说，他能够对中国绝大多数自然宝地如数家珍，对这里却也感到陌生，而整体的生物多样性影像记录，在这里更是十分缺乏。拿着相机，程斌和队友们踏入的几乎是一片外界目光尚未触及的空白。

进入德宏的原始森林，即使有足够的心理准备，程斌仍然被这里生物种类的繁多所震撼。他感觉，就像推开一扇门，进了“桃花源”。

程斌有这样的感觉并不奇怪。德宏的物种丰富程度非比寻常，资料显示，这个面积只有1.15万平方公里的区域内，已发现高等植物339科1908属6033种，占全国总数的22.3%、云南省的33.5%；记录有陆生和水生脊椎

动物 5 纲 37 目 114 科 379 属 725 种，占全国总数的 11.51%，占云南省总数的 35.13%。

更值得强调的是，这里有国家一级重点保护动物 72 种，国家二级重点保护动物 245 种，国家级重点保护植物种类也多达 72 种。在如此狭小的范围内，有这么丰富的物种，在国内实属罕见。而且，其中很多种类在国内仅见于该地区，例如伊江巨蜥、花冠皱盔犀鸟、白颊山鹧鸪、黄嘴河燕鸥等。

为了追踪伊江巨蜥，程斌和队友们的越野车沿着河谷非常缓慢地行驶着。与惯常步行靠近野生动物的方法不同，开车拍摄伊江巨蜥是更好的方法。因为巨蜥对人非常敏感，行动又异常迅速，看见人就跑得没了踪影，对车却没那么敏感。

车里，程斌一直保持着一个有点儿奇特的姿势：把相机架在车窗外，没有系安全带，甚至连身边的车门都没有关，这是为了随时能下车行动。“拍它们，不是争分夺秒，是‘争秒夺秒’，一切都在几秒之内。”

雨林气候非常潮热，汗一个劲儿地淌，他很快就觉得全身湿透了。常常这样开了十几公里，还没见到巨蜥的影子。



❶

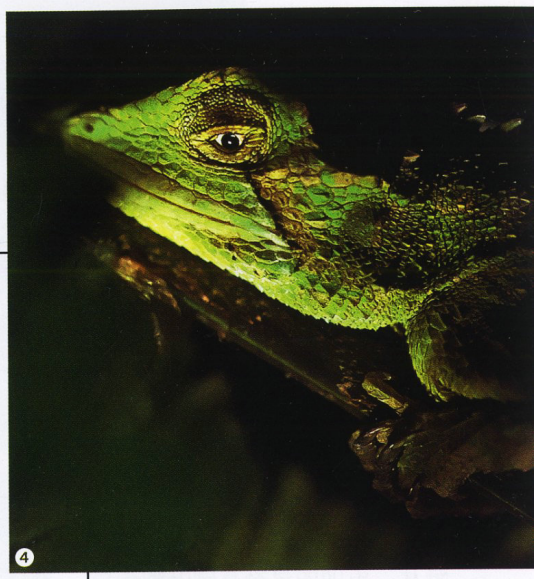


❷



❸





④

路遇“两爬”，对摄影师来说是种惊喜

德宏的两栖爬行类动物种类也很丰富，其中很多种类在我国分布范围十分狭窄，如伊江巨蜥（图③摄影／程斌）、费氏短腿蟾（图⑤摄影／曾祥乐）。与它们的相遇，对摄影师来说往往是一种惊喜，因为可以拍到十分惊艳的画面，图①和图②分别为云南竹叶青、卡西弯趾虎（摄影／曾祥乐），图④为一种树蜥（摄影／程斌），图⑥则为正在进食的绿瘦蛇（摄影／曾祥乐）。绿瘦蛇具有蛇类中罕见的中心视网膜敏感点，被称为“视力最好的蛇类”，捕食时会用尾部把极端细长的身体支起，看清目标后再进行攻击。



⑤



⑥

伊江巨蜥一般独居，大部分时间在地面上活动，有时也会攀上树干。几天下来，全队的人都有点神经质了，远远看到一个相似的影子，就会条件反射地当成是巨蜥，立刻刹车，集体亢奋，情绪起伏就像坐过山车。终于，他们在一片山坡上成功拍到了一条成年的雄性伊江巨蜥，体长大约 75 厘米，尾巴长约 1 米，它行动迅捷而有力，显得非常健康。

在我国，野生的巨蜥数量已经十分稀少。为了保护这一濒危物种，我国已将巨蜥列为国家一级重点保护动物。在我国早期研究巨蜥的文献中记载，国内巨蜥只有 1 种，即圆鼻巨蜥，主要分布于广东、广西、云南和海南四省区。随后，有研究者在云南畹町地区发现一种巨蜥新种：伊



江巨蜥。关于伊江巨蜥的分类地位，目前存在两种观点，一种观点将伊江巨蜥作为一有效种，另一种观点认为伊江巨蜥是孟加拉巨蜥的指名亚种。尽管对伊江巨蜥的分类地位有不同看法，但国内存在两种巨蜥已被多数学者所接受。程斌拍到的就是后者，只分布在德宏盈江铜壁关、芒允和陇川户撒河下游，是一种颇有传奇色彩的巨蜥。

从2016年起的一年多时间里，程斌一共六次赶赴德宏。德宏州辖二市三县，即芒市、瑞丽市、盈江县、陇川县和梁河县，程斌和队友们的拍摄地点主要集中在盈江县和瑞丽市，以及德宏西部边界的铜壁关自然保护区。不同季节、不同地点、不同海拔，每次进山都能邂逅到难得一见的各类野生动物：国家一级重点保护的菲氏叶猴、灰孔雀雉，在国内仅分布于本区的鸟类红腿小隼、花冠皱盔犀鸟，野外几近灭绝的亚洲小爪水獭、鹰嘴龟，中国科学家新近命名的新种天行长臂猿等。



仅铜壁关自然保护区就记录到鸟类400余种

双角犀鸟、灰孔雀雉、黑鹇等等，都是摄影师的“心尖肉”

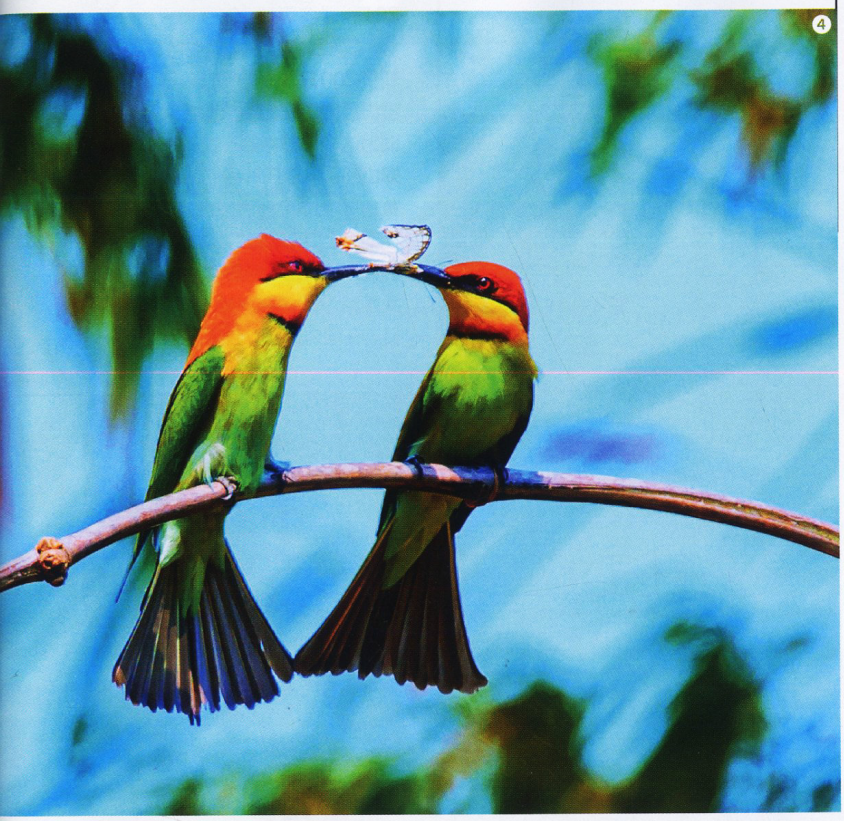
孙晓宏也是这个团队中的一员，所不同的是，与团队为期约一年的拍摄不同，他已经持续关注这里5年了。几乎每个月，他都会从北京飞一次德宏，去拍鸟和其他野生动物。德宏现有鸟类680余种，排名全国第一，这惊人的数字背后，是琳琅满目的各种珍禽。孙晓宏被这些美丽的生灵深深吸引，5年间，他已经走遍德宏的角角落落，仅在盈江县就拍到了近400种鸟类。

犀鸟是当地最富特色的鸟。这种在我国已经濒临绝迹的大鸟，在盈江县还保留着比较完整的栖息地和较为稳定的种群。中国一共有5种犀鸟，盈江就发现了其中3种：双角犀鸟、花冠皱盔犀鸟和冠斑犀鸟，热心于自然摄影和生态保护的孙晓宏就是最早关注盈江犀鸟的摄影师之一。

孙晓宏记得，那是2014年，人们还不关注犀鸟，当地人也只是见过，没人说得上名字。为了

德宏鸟类品种繁多，物种、科级分类阶元和目级分类阶元的多样性都很丰富，仅在铜壁关自然保护区（分为互不相连的3个片区，分别位于盈江县、陇川县和瑞丽市）就记录到400余种鸟类。上世纪90年代，我国学者开始对这个区域的鸟类多样性进行调查，国内和欧美的观鸟爱好者也从那一时期开始，陆续来到这里观察欣赏鸟类。图①为在国内仅见于铜壁关自然保护区的黄嘴河燕鸥（摄影／孙晓宏），图②为线尾燕（摄影／孙晓宏），图③为猛隼（摄影／曾祥乐），图④为栗头蜂虎（摄影／鄂万威）。





拍到双角犀鸟，他和同伴们在盈江当地的村子里拿着照片不停地询问村民，有没有人见过这种大鸟。突然，有个村民说：“我家地里就有！不远，跟我走吧。”没想到，这一走就是3个多小时。山路难行，路边的橡胶林不时散发出腐烂后形成的瘴气，让他们走十来步就得喘口气，歇一歇。终于到了，看到那块地里突兀地长着一棵高高的大树，孙晓宏心里一阵激动：犀鸟最喜欢在这种大树上筑巢。望眼欲穿地等了一会儿，一只大鸟果然飞了回来，从体型就可以看出，这果然是三种犀鸟中体型最大的双角犀鸟！这种犀鸟全长可以达到1.3米，翼展更是可达1.5米，再加上一只大嘴和响亮怪异的叫声，从远处飞来，当真是气势无朋。孙晓宏和同伴们满心欢喜，连忙告诉村民，这是国家二级重点保护鸟类，千万不能打不能吃。“结果人家说，这种鸟肉是酸的，不好吃。”孙晓宏现在回想起来，仍然有些哭笑不得。

丰富灵动的鸟类，也让德宏当地的摄影师流连忘返。郑彬曾经钟情于拍摄风光和人文，但自从在一次摄影展上看到家乡竟然有这么多珍稀动植物之后，她迷上了自然生态摄影，成了德宏第一位女性自然生态摄影师。几乎每个周末，她都会带着长焦镜头在德宏的深林里穿梭。“双角犀鸟、灰孔雀雉、黑鹇等等，都是我们摄影师的‘心尖肉’。”郑彬说。她觉得，德宏的好处还在于，就算是只为拍鸟，也能路遇无数野生动物，比如各种猴子、蛇、松鼠等等，其中不乏珍稀品种，这对于摄影师来说往往是额外的惊喜。

郑彬所拍过最难拍的鸟，要属绯胸鹦鹉。这是一种国家二级保护动物，虽然不是德宏所独有，

但是要成百上千只地一起出现，却是国内罕见的。她去瑞丽市弄岛镇拍绯胸鹦鹉，前前后后去了至少 10 次，才拍到满意的画面。“（它们）特别地机敏，休息时会站在竹棚上，因为翠绿的羽毛和竹子的颜色很相近，不认真看，根本不知道它是站在那儿的，所以只能用望远镜看好，扛着相机和脚架悄悄地靠近，一点儿声响都不能发出，就连不小心踩到一点树叶，它们都会受惊飞走。”

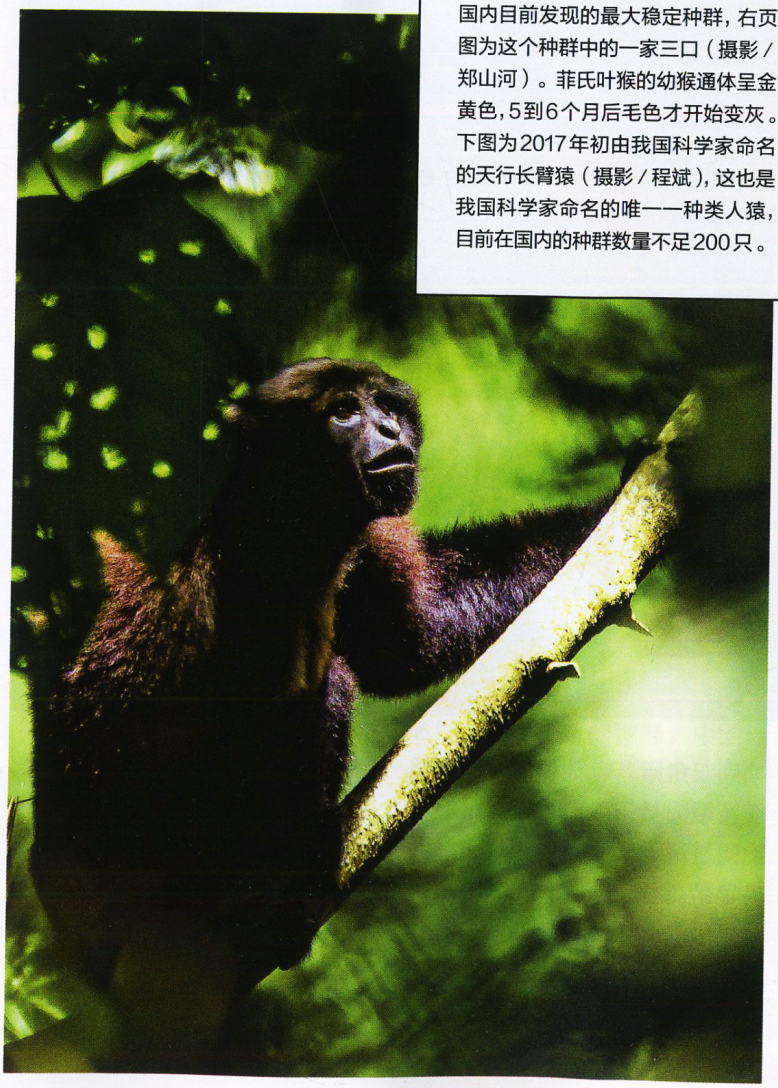
一个“侦察兵”探出脑袋，成就了郑山河的一桩奇遇

巧合的是，郑彬的哥哥郑山河也是德宏当地一位小有名气的摄影师。他时常陪着妹妹去拍鸟，但让他至今仍历历在目的，是今年年初在芒市轩岗乡野拍时的一桩奇遇。

那是位于高黎贡山余脉一座不知名小山中的村子，村民已经搬迁，附近已经没有人烟了，前来野拍的郑山河沿着一条放羊的小道进了山。这是一座峡谷，一路上瀑布特别多，水极其清澈。他经过一道又一道小瀑布，穿过野生的芭蕉林，越过茂密的灌木丛，慢慢深入了峡谷。走到一个山洼时，突然发现树梢有动静，他赶快隐蔽起来，拿出望远镜偷偷观察。一个灰色的小脑袋从叶子中探出头来，正在四下张望。他一看，就知道这是世界濒危物种、国家一级重点保护动物菲氏叶猴了。“这是一个‘侦察兵’，紧接着大部队就出现了，满树地就在那里玩儿。”

虽然不知道具体数量，但郑山河觉得这群菲氏叶猴比曾经看到的都多得多。在极度兴奋下，他开始迅速向猴群靠近，在翻越山涧时还摔下来擦伤了手臂和大腿。爬上山坡后，他发现，这个猴群的数量确实多得异乎寻常。后来的观察证实，这个猴群的数量在 200 只以上（通常菲氏叶猴猴群不超过 30 只，最多可达 60—80 只），他无意中发现了全国最大的菲氏叶猴种群！

而所有这些，都只是德宏神



摄影师拍下了菲氏叶猴最大种群中的一家三口

生活在德宏的菲氏叶猴属于滇西亚种，20世纪80年代的统计资料显示，其数量仅有1500—2000只。上世纪末，大量原始森林被砍伐，菲氏叶猴的种群数量急剧下降，在有些栖息地甚至绝迹。通常菲氏叶猴群体不超过30只，最多可达60—80只，而今年1月初，生态摄影师郑山河在德宏发现了200只左右的菲氏叶猴群，这是国内目前发现的最大稳定种群，右页图为这个种群中的一家三口（摄影/郑山河）。菲氏叶猴的幼猴通体呈金黄色，5到6个月后毛色才开始变灰。下图为2017年初由我国科学家命名的天行长臂猿（摄影/程斌），这也是我国科学家命名的唯一一种类人猿，目前在国内的种群数量不足200只。



奇之一页。保护国际基金会在全球确定了35个生物多样性热点地区，这些热点地区拥有地球表面生物多样性最丰富也最濒危的陆地生态系统，德宏就在其中“印度—缅甸热点地区”的东北边缘上，由此可见其生物多样性之丰富。

为什么这么多动植物聚集于此，使这里成为国内罕见的野生动植物乐园？

西南林业大学林学院教授尹五元研究德宏生态多年。他解释，首先，在第四纪冰期（开始于距今200万—300万年前，结束于1万—2万年前），全球气温降低，寒冷气候带往低纬度地区移动，大量动植物因此灭绝。而德宏山高谷深，纬度偏南，地史上受第四纪冰期的影响甚小，因此是著名的古老动植物避难所。

其次，德宏生态系统多样。它的总体地形是地势东北高而陡峻、西南低而宽缓的切割平原，海拔最高点在全州最高峰大娘山，达3404.6米，最低点在羯羊河与拉扎河交汇处，海拔210米，高差达到3194.6米，植被垂直带谱十分明显。地形复杂、气候多样，对生物多样性的形成和发展起到了关键的作用。

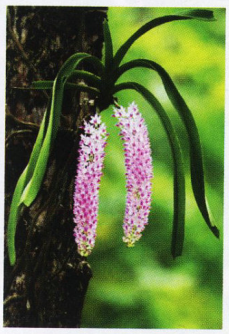
更值得注意的是，这里的生物独具特色。德宏所处地区的生物地理位置在我国乃至世界的生物地理区系上都是十分特殊的，在植物地理学上，这一地区是滇缅泰植物区与东喜马拉雅植物区的结合部，也是泛北极植物区（喜马拉雅—西藏）与古热带植物区（东阿萨姆—上缅甸）的交汇地带。其东侧连接云南高原、横断山地以及滇缅泰地区，西侧连接南北缅甸生物地理省。有许多印缅区系的动植物成分，在我国就只分布于这一地区，而不再往东分布，这是这一地区与我国其他地区的显著区别，也使其成为我国生物区系中最特别而有价值的区域之一。



❶



❷



❸

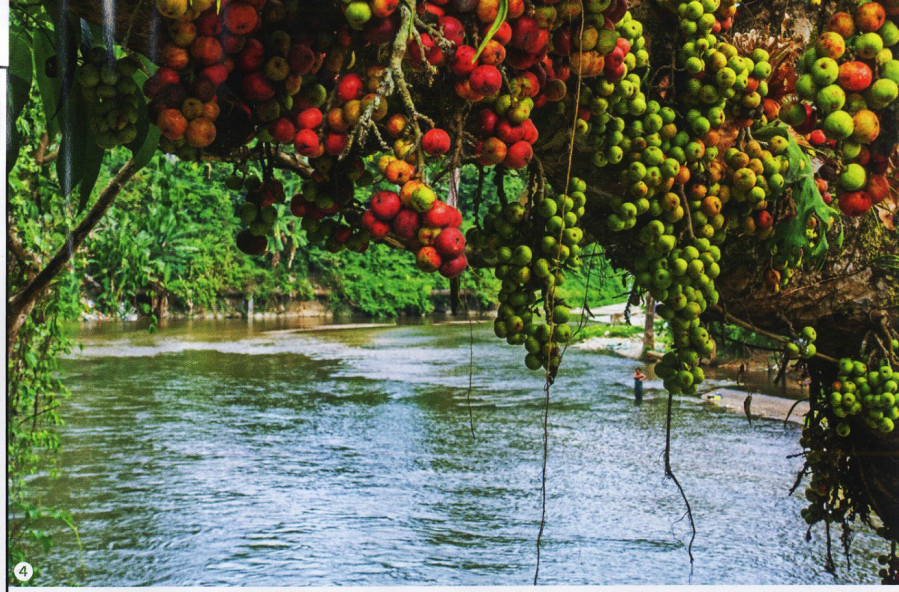
不过，德宏特殊的地形地貌、复杂的气候环境同时也决定了这里生物多样性的脆弱性。它的具体表现就是种群数量少，分布地域狭小，生态适应能力低，对外界干扰非常敏感。因此，遇到自然灾害或人为破坏，很容易陷入濒危境地甚至灭绝，特别是那些国家公布的濒危物种。

实际上，直到上世纪40年代之前，德宏几乎与外界隔绝，与内地并无公路相通，只是偶尔有西方科学家通过缅甸进入德宏考察动植物。德宏的生态资源真正进入国人视野，是从20世纪70年代末开始的。当时，中科院昆明植物研究所的专家首先确认了阿萨姆娑罗双、东京龙脑香等重要树种在该地区的分布，引起了广泛的关注。那以后，随着



这里是著名的古老植物避难所

地史上，德宏所在地区受第四纪冰期影响甚小，使其成为著名的古老植物避难所。桫椤出现于距今约3亿年前，是世界上最古老的乔状蕨类之一，存世数量很少，而在这里就有分布（下图 摄影／程斌）。德宏铜壁关保护区现有国家级保护植物58种，中国特有种911种，占总种数的1/4。保护区特有种达43种，鹿角蕨就是其中著名的一种，它形似梅花鹿的鹿角，有极高的观赏价值，在我国仅见于这一狭窄区域（图②摄影／程斌）。图①、图③分别为兜唇石斛、指甲兰（摄影／曾祥乐），图④为聚果榕（摄影／彭建生）。



④



更多物种的发现，保护当地生态的价值愈加凸显。1986年，云南省人民政府批准在德宏辖区内成立了铜壁关自然保护区。

几十年前，德宏的动植物种类比现在还要丰富。资料显示，20世纪50年代初期，这里还是亚洲象、孟加拉虎、金钱豹、云南野牛等野兽出没的地方，而现在，孟加拉虎、亚洲象、云南野牛已绝迹多年，金钱豹的数量也在日趋减少。

德宏州首府芒市的环保局人士曾分析，生态环境被破坏，是当地物种数量减少的重要原因。不合理的围湖造田、开垦沼泽、砍伐原始植被、开矿、修路、水电建设、旅游开发、种植人工经济植物，导致许多生物的栖息繁衍地成为“孤岛”，隔断了生物种群间的联系，影响了它们的正常生存，许多生物的数量急剧下降甚至消失。

此外还有外来物种和环境污染的危害。外来物种如罗非鱼、埃及塘鲺、美洲斑潜蝇等，挤占了原有土著生物的生存空间，破



玉米收割季，天空下起“ 鹦鹉雨 ”

绯胸鹦鹉名列《世界自然保护联盟》濒危物种红色名录。它多分布于亚洲南部，我国境内的云南、广西等地也能看到它们的身影，但很难见到成百上千只绯胸鹦鹉翱翔在天际。去年德宏瑞丽市的玉米收割季节，成熟的玉米田引来了大批绯胸鹦鹉，被当地人形容为“下了一场鹦鹉雨”。人们说，鹦鹉翱翔时，鸣叫声和翅膀搅动气流的声音甚至在山谷中形成了回声。上图为这难得一见的壮观景象。

摄影 / 郑彬

坏了原有的食物链，导致一些特有物种处于濒危境地。

令程斌、孙晓宏等生态摄影师欣慰的是，他们观察到，近年来，德宏对于生态的重视程度日益提高。以盈江县为例，近几年以“世界观鸟金三角”著称，生态旅游已有相当发展，当地人在从观鸟游客身上获得收益的同时，护鸟的意识也增强了。保护好生态，正在成为当地各方共同利益的基石。

“生物和人、生物和环境、生物和生物之间，都是有关联的。探索这三种关系，是吸引我关注德宏的理由。”程斌说。不同生物之间各得其乐、平衡自在，也许就是一种最佳的关系。

责任编辑 / 付薇
图片编辑 / 王宁
版式设计 / 崔晓琳
地图编辑 / 王岩

省图现刊
X0346671

募

热线：4006-521-360

杂志会员价

	1年（2018）	3年（2018—2020年）
《中国国家地理》	360元	980元 ~~（原价1080元）~~
《中华遗产》	360元	980元 ~~（原价1080元）~~
《博物》	180元	510元 ~~（原价540元）~~
《中国国家地理》+《博物》	430元 ~~（原价540元）~~	
《中国国家地理》+《中华遗产》	570元 ~~（原价720元）~~	
《中国国家地理》+《中华遗产》+《博物》	690元 ~~（原价900元）~~	

付款方式

方式一：网购（支付宝 / 网银 / 微信）

1. 地理商城
http://store.dili360.com

2. 淘宝旗舰店
http://zhongguoguojiadili.tmall.com

3：中国国家地理微店

手机淘宝扫描　微信扫描

注意 杂志社接到读者反映：有不法商贩电话推销本刊，在支付刊款后却收不到书刊，造成财产损失。故此提醒读者，请到杂志社认证发行渠道购买，或致电杂志社服务热线 4006-521-360 确认。

方式二：银行转账
账号：1100 6021 0010 1491 95002
开户行：交通银行北京分行亚运村支行
开户名：《中国国家地理》杂志社

为便于我们更好地为您服务，请把转账凭证及收件人的联系方式和所购产品信息一起传真至010-64859755

方式三：邮政商务汇款
商户客户号：111300308
商户客户名称：中国国家地理杂志社



《中国国家地理》订阅卡

包含 12 期《中国国家地理》杂志，我们负责邮寄。为企业和个人准备的可以享用整年的问候，持卡人只需刮开密码就可自行激活卡片并完成下单，杂志每月寄送。

定价：360 元 / 张
团购热线：4006521360

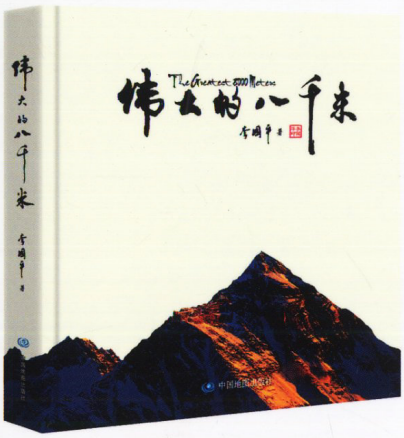
新　品　预　告

《中国国家地理·广西专辑》
——《中国国家地理杂志》2018年1、2月合辑



对广西的印象是不是仍停留在“桂林山水甲天下”呢？其实广西处处是桂林。《广西专辑》不仅形象地展示了广西的自然风光，还讲述着广西是“最甜的省区”、“最长寿的省区”等众多国内之最。

定价※60.00元／套



《伟大的八千米》画册

作者※李国平

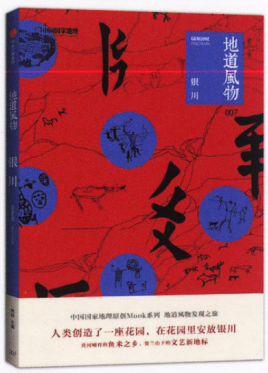
装帧※12开◎铜版纸◎336页

定价※398.00元

会员价※320.00元

世界极高山摄影师李国平用了将近十年时间，完成个人独自拍摄世界第三极14座海拔8000米以上雪山的壮举，成为全球完成此举的第一位摄影师。其摄影画册《伟大的八千米》（中英文对照），用镜头记录了这一场又一场拍摄孤旅。

《地道风物·银川》



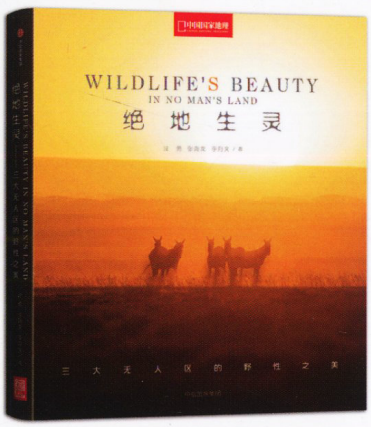
人类创造了一座花园，在花园里安放银川。它是黄河哺育的鱼米之乡，也是贺兰山下的文艺新地标，打开本书，重新认识这一面野得豪放，一面美得细腻，既古老又年轻的宝地。

主编※姚瑶

装帧※16开◎平装◎224页

定价※68.00元

会员价※56.00元



《绝地生灵：三大无人区的野性之美》

作者※成勇　张海龙　李月文

装帧※8开◎精装◎256页

定价※198.00元

预售价※160.00元

在中国西藏自治区、青海省、新疆维吾尔自治区交界处，有一片被称为“生命禁区”的土地。虽然海拔高、气候恶劣、人迹罕至，但这里是生命的乐园。本书全景展现了分布在这一区域中的羌塘、可可西里、阿尔金山三大无人区的自然之美，以及千百年来生活在这片土地上的诸多野生动物的生存状况与精彩瞬间。

K/14
2018-5

路虎·发现神行
与吴尊一起发现中国24节气
35.8万元起

landrover.com.cn 贵宾专线: 400-820-0187

