

高锐——站在高原之上

◎文 / 周飞飞



高锐（1950年5月11日~），地球物理学家。吉林省长春市人，祖籍黑龙江省双城县（今哈尔滨市双城区）。1977年毕业于长春地质学院地球物理勘探系，1981年在长春地质学院获硕士学位。2015年当选为中国科学院院士。

长期从事地球物理与深部构造研究。在运用深地震反射剖面研究青藏高原以及其他大陆岩石圈深部结构及其构造变形成因等领域，作出了具有国际影响的系统性、创新性贡献。尤其注重地球物理探测与地质构造相结合，提出并命名青藏高原存在面对面的陆陆碰撞新类型，揭示了印度板块向青藏高原腹地俯冲的行为。提出青藏高原北边界逆冲断裂（NBT）和龙日坝断裂是扬子地块西缘边界，从深部结构约束了青藏高原北缘和东缘的动力学过程。他和他的团队主持完成的深地震反射剖面超过8000千米，为我国深反射地震研究作出了重要贡献。

站在青藏高原之上，就站在了离天最近的地方。

2015年成为新晋院士，高锐获得的祝贺特别多。能够从众多优秀的科学家中脱颖而出，本身就是对以往工作的肯定。院士无疑是神圣的，不过，对于高锐来说，还有另外一重意义——有了国家、社会更多的关注和支持，他与他的团队在科研之路上将走得更加稳健和顺畅。

他不由得凝视面前那幅青藏高原地质图，上面黑色粗线所代表的一道道深地震反射设计剖面还只完成了一小部分，他多么希望能完成它们，通过对青藏高原深部最精密的剖析，揭开大陆板块构造和地壳演化中更多的科学奥秘啊！

巍峨的世界第三极，等待着他继续攀登。

从知青到地球科学家

1981年毕业于长春地质学院应用地球物理专业的高锐，是改革开放后第一批研究生，毕业进入地质科学研究

领域时已31岁。

是的，高锐最美好的青春年华并没有与地质工作相伴，而是融在上山下乡的艰苦岁月中。

1968年，18岁的高锐作为知识青年，从长春市实验中学来到位于吉林省北部的榆树县（今榆树市）农村插队落户，当了6年地地道道的农民。当时的东北农村条件艰苦，他去的这个村——八号公社双山九队，又是全大队最穷的一个生产队。

得益于在少年体校冰球训练的经历，高锐有着超越同龄人的耐力和体力。所以，在他的记忆中，劳动强度大并非难以应付，最难抵挡的是粮食短缺和气温骤降，特别是冬季的夜晚，他们会遭遇饥饿、疲劳与寒冷的多重折磨。好在年轻不怕吃苦、充满热情，即便是在零下30多摄氏度的环境中，赶着马车运粪，也没有一个人退缩。

有一年庄稼遭灾，大部分都被大雪掩埋，老乡悲伤难过却又无可奈何，这些知青愣是顶着风雪跑到田里，把老乡都想放弃的那点儿粮食收回队里，深深感动了乡亲们。

他们不仅积极到田里干活，还主动为村子接电，教青年农民和孩子唱歌跳舞识字、学文化，希望用自己的知识改变乡村一穷二白的落后面貌。

有人说，中国知青是一个特殊的群体，动荡的年代把他们的青春一卷而去，留下的只是创伤、磨难、迷茫和痛苦的回忆。但在高锐看来，年轻时的磨砺也是一笔财富。浸满时代忧伤和青春疼痛的煅烧，造就了他坚强、勇敢的品质，赐予他不畏难、不服输、不放弃的性格。也正是“50后”知青这一代人共同经历的磨难，告诉他：无论做什么，坚持最重要，认定了心中的梦想，就得用一生来追求。

出色的表现，使高锐从知青队伍中脱颖而出，也为他赢得上大学的机会——1974年，他被推荐到长春地质学院地球物理勘探系学习，成了一名工农兵学员。

从农民到大学生，高锐很珍惜这种转变。他如饥似渴地学习。作为回报，科学的殿堂向他敞开大门，展示着地球物理探测手段的神奇，展示着地球科学奥秘的无穷魅力。大学毕业一年后，他如愿考上长春地质学院应用地球物理专业的研究生，师从申宁华教授，得到当时系里唯一的博士生导师的严格训练和悉心培养。毕业后分配到中国地质科学院矿床地质研究所，后来调到中国地质科学院地质研究所，成为一位名副其实的地球科学家。

初上青藏高原

高锐觉得，从东北农村走进大学的知识殿堂，是幸运的；从东北平原、华北平原走上高耸的青藏高原，同样也是命运的眷顾。

1986年，地质矿产部成立中国地质科学院岩石圈研究中心，高锐一开始即加入



2009年，高锐在青藏野外工作

其中，研究青藏高原岩石圈大断面，从此开启了探索青藏高原岩石圈奥秘的艰难旅程。

此时，国际岩石圈研究计划已开展数年。20世纪80年代初，中法两国地球科学家在青藏高原开展了合作研究，取得了很好的科学成果。岩石圈研究中心就是在这样的国际国内大背景下孕育而生的，其目的是在中国进一步发展深部地质研究，跟踪国际岩石圈研究计划前沿，持续探测与研究青藏高原与其他地区岩石圈的结构、构造和形成、演化。

1988年，38岁的高锐第一次踏上青藏高原。最初的几年，他的主要任务是与同事共同完成横过青藏高原的重力、磁力剖面测量和其他地球物理探测，综合编制地学大断面。

在实测亚东—格尔木、格尔木—额济纳旗两条重力剖面时，高锐真正品尝到了青藏高原的冷酷。那一次，高原反应来得特别猛烈，从海拔不到3000米的格尔木出发时还没有太多不适，但随着海拔的骤然升高，高锐逐渐感到呼吸困难、头疼欲裂，中午在海拔

4600多米的五道梁时还可以坚持，晚上到达沱沱河时，嘴唇已经明显发紫，开始呕吐。兵站的军医赶紧采取紧急措施，来不及使用导气管，就打开氧气瓶让他直接吸氧，一直吸了两个多小时后，才稍微缓解。夜里，高锐强迫自己吃了一些饭，又与寒冷和病魔抗争了一整夜，深深体会到生命与自然较量的残酷。

重力测量剖面测量的密度是每5千米一个点。科学是严谨的，甚至有些无情——只要点位已经确定，无论是什么地方，高锐和同事都要准确到达点位，进行有效测量。于是，便有了这样的一幕幕：他们，遇到冰冷的河流，将重力仪顶在头上，找点测量，顾不上河水拍击胸口；他们，仰望陡峭的山石，把仪器绑在身上，艰难地攀登；他们，拿着砍刀，硬是在茂密的林中砍出一道小缝，带着仪器钻过去……

好在，付出是巨大的，回报也是丰厚的。就是通过实测的有效重力点数据，高锐

与同事从位场角度，并结合地震等资料对青藏高原的地壳构造、均衡信息与密度结构等问题进行了进一步的综合研究，获得了相当不错的研究成果——为划分青藏高原地体单元及边界断裂延伸提供了科学依据，计算并分析了研究区内重力均衡异常与新构造运动的关系，描摹出莫霍界面的形态，从而构建起地壳构造变形的骨架。

地球科学的朝圣者

高锐的研究领域是地球物理与深部构造，主要是运用深反射地震剖面技术开展深部地震学探测，结合大地电磁探测、重磁学、地热学等地球物理学方法和岩石学探针与构造填图，综合揭示中国大陆深部结构，建立中国大陆深部构造格架和地球动力学模型，研究能源、资源形成与赋存的深部过程和地质灾害发生的深部背景。

尽管他也曾在大兴安岭、华北北缘、东部沿海等地方开展过工作，但青藏高原始终都是他最主要的科研舞台。甚至，他觉得自己就是一名朝圣者，带着对揭开科学之谜最虔诚的企盼，一次次地登上高原，一次次地探寻地下，全心全意地追求地球科学最圣洁的真理，永不停息。

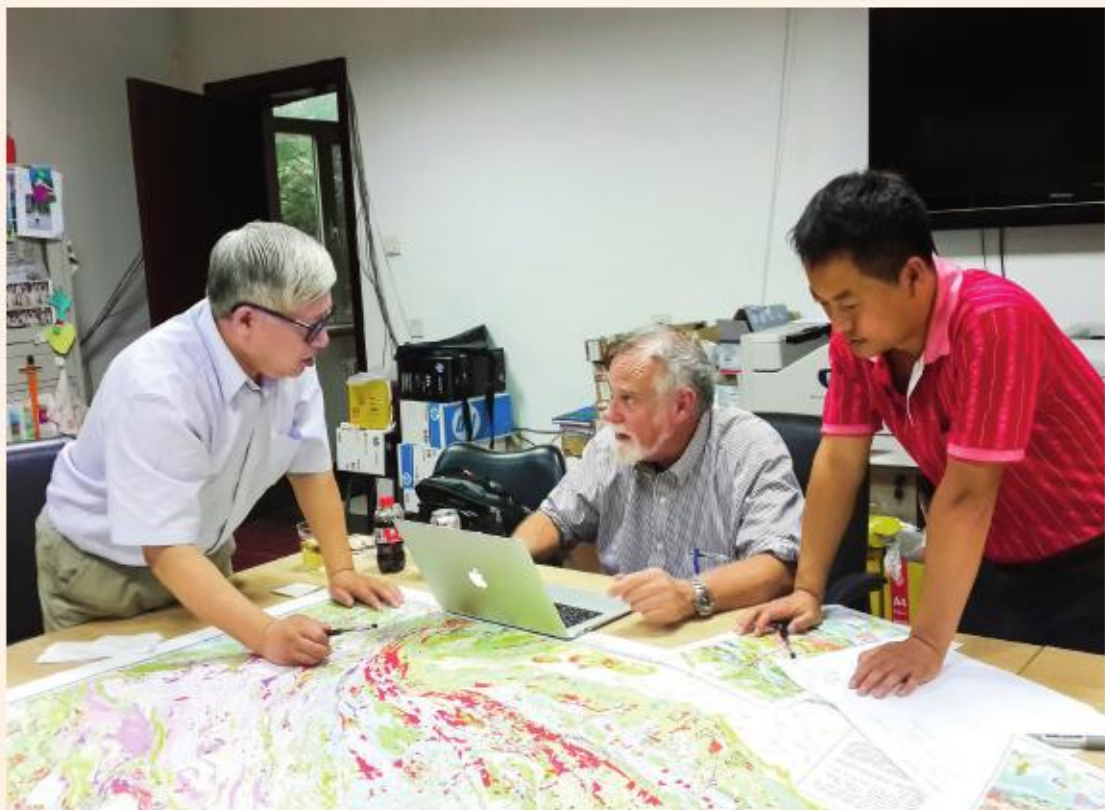
的确，在高锐以及许许多多地质人心中，青藏高原就是一个“科学圣地”，是一把“打开地球奥秘的金钥匙”。

被称为“世界屋脊”、地球“第三极”的青藏高原是地球上最年轻的地质构造单元，它的快速抬升是印度板块同欧亚板块强烈碰撞的结果。

青藏高原的隆起是几百万年以来地球历史上最重大的地质事件之一。通过研究其隆升机理和过程以及对周边乃至全球环境的影响，可以重新认识甚至破解地球科学中许多悬而未决的重大问题。



2010年，高锐（右）与全球著名的地球物理学家、美国俄克拉何马州地调局局长、美国俄克拉何马大学资深教授 G.Randy Keller（左）合作研究



2015年，高锐（左）与全球著名深地震反射剖面专家、美国康奈尔大学 Larry D.Brown 教授（中）合作研究

关于青藏高原的隆升机制，近些年来，各国科学家根据不同的证据，提出了“双层地壳说”、“大陆贯入说”、“侧向挤出说”和“地壳通道流说”等多种假设。对此，高锐的看法是，用事实说话。一切科学推断都要从对地壳中保留的板块碰撞变形证据进行的更加精细的探查入手。

高锐所常年从事的深反射地震剖面研究，就被认为是解决这个科学问题的最有效途径之一。而高锐和他的团队，也因特别注重地震探测与地质构造相结合，用数十年的辛勤汗水，在运用深反射地震剖面研究青藏高原岩石圈深部结构及其构造变形成因等领域，浇灌出了一系列具有国际影响的系统性、创新性成果。

为地球做 CT

高锐形象地把深反射地震剖面探测称作“为地球做 CT”。

这是一种全球公认的探测地球深部结构、追踪大陆演化的先锋技术，在揭示岩石圈结构、解决深部地质构造问题方面，扮演了其他方法不可替代的角色。

在中国，地质工作者从 20 世纪 50~60 年代就开始了地震反射方面的研究和探索。但由于造价昂贵，再加上“文化大革命”的影响，我国深反射地震剖面探测水平和工作程度滞后于西方国家。20 世纪 90 年代，中国深地震反射剖面探测有了发展。先是与美国学者等合作，在喜马拉雅造山带下发现了印度板块

向北俯冲的证据。随后，高锐率领团队在青藏高原西北缘、东北缘实施了多个深反射地震剖面项目，也获得揭示印度板块与欧亚板块碰撞过程的若干证据。遗憾的是，因为经费短缺，每条探测剖面都只做了短短 100 多千米。

转机出现在 2006 年。这一年发布的《国务院关于加强地质工作的决定》中，明确提出了“实施地壳探测工程，提高地球认知、资源勘查和灾害预警水平”的战略部署。

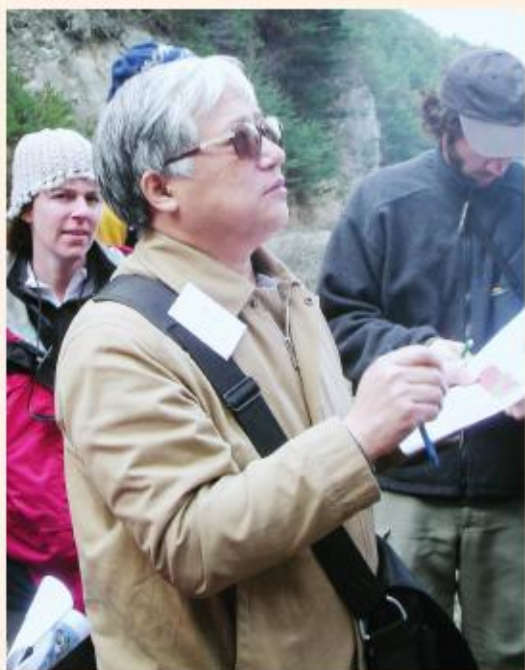
2008 年，国土资源部启动“地壳探测工程”的培育性启动计划——深部探测技术与实验研究专项（Sinoprobe），积极探索、研究、实验地壳与地幔深部探测的一系列技术方法。高锐毫无争议地成为专项九大项目之一——深部探测技术实验与集成项目（Sinoprobe-02）的负责人。

大项目就是高锐团队大显身手的舞台。在大约 5 年的时间里，他们完成了喜马拉雅造山带西缘—青藏高原腹地、青藏东北缘—华南、华北北缘、东北 4 条区域性实验长剖面，总长度约 5200 余千米，加上实际处理的成果剖面，累计长度超过 6000 千米，而在过去 50 年里我国独立进行的深反射地震实验剖面总长也只有 5000 多千米！

不仅是工作总量的突飞猛进，质量更是因为技术的发展而臻于一流。专家评述，这些高质量的“剖切地壳的 CT 断面”，以国际上深部探测精度最高、分辨率最清晰的深反射地震剖面技术为先导，建立了适应世界上最复杂的中国地壳、岩石圈结构的探测技术体系，揭示了地壳精细的反射结构图像，显示出一批具有重大科学价值的深部地质信息，其成果揭示了剖面沿线主要造山带和盆地的地壳和岩石圈地幔精细结构和构造变形成因，为资源勘查、灾害预警和地质科学理论创新提供出全新的数据和依据。来自国家各个部门同行 30 余位院士专家评价高锐团



2004 年 9 月 24 日，高锐赴青藏高原腹地羌塘草原实施深地震反射剖面探测，适应高原期间，在拉萨大昭寺前留影



2005年4月，高锐（右2）参加第20届国际喜马拉雅-喀喇昆仑-西藏研讨会（HKT）期间，在法国阿尔卑斯进行野外考察

队完成的项目成果总体达到国际领先水平。高锐由衷地庆幸，庆幸能够有机会长期扎根青藏高原这个复杂独特的年轻高原，更庆幸自己赶上了国家对地质工作高度重视的黄金时代。

着迷才能有所成就

有人问高锐：“你们出了这么多成果，有什么秘诀吗？”高锐回答：“着迷。”

因为着迷，他和队伍曾把设备、炸药顶在头上，从青藏高原边缘齐腰深的激流中艰难地淌水过去；因为着迷，他亲自带队在冬季进入羌塘，解决因冻土带和流沙而造成爆破孔塌孔等技术难题；还是因为着迷，他不仅要求自己，还要求团队中的每一个人不许在夜里12点之前入睡；因为着迷，他放弃了一项又一项的业余爱好，把全部精力都投入深地震反射这项让他不断获得“惊奇发现”的事业中。

着迷，就会有所发现，更会有所成就。

在位于青藏高原西北缘的西昆仑，他们对狭窄的板块碰撞强烈变形带实施了深反射地震剖面和宽频地震综合探测，获得了岩石圈尺度的精细结构，不仅揭示了塔里木岩石圈向南俯冲行为，而且发现了塔里木和西昆仑山大陆岩石圈相向俯冲碰撞的深部证据。依据这种南北相向倾斜相接的地震反射，他提出并命名“面对面陆-陆碰撞”新类型，发展了前人提出的塔里木板块单向俯冲导致西昆仑强烈变形的认识。

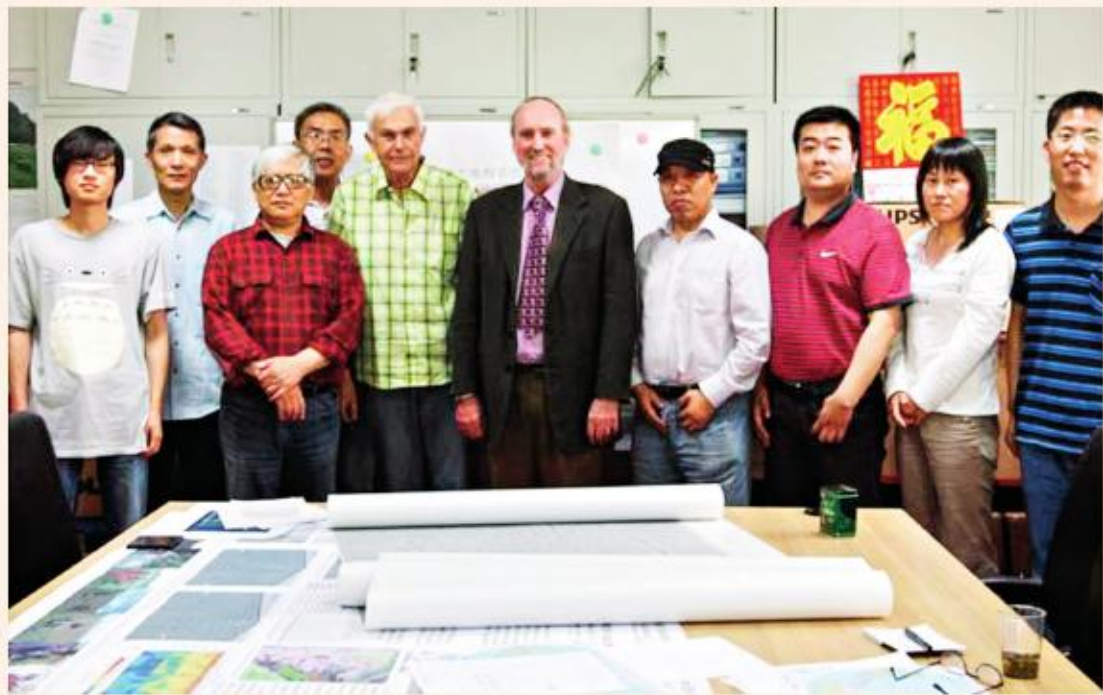
在青藏高原腹地，他们在大量实验的基础上，运用深井、大药量等新方法，突破了在青藏高原难以进行长剖面数据连续采集的技术瓶颈，获得了横过羌塘地体310千米的全地壳深反射精细结构，结合地震层析成像结果提出由于俯冲板块前缘的断离导致青藏高原腹地地幔热物质上涌的新认识，研究成果被国际学者认为是“更好地给出印度板块俯冲到青藏高原之下的深部过程”。

依据深反射地震剖面，高锐和他的团队还重新厘定了青藏高原的北部边界和东部边

界，在四川盆地地下发现隐伏的古老板块俯冲带，在松辽盆地地下发现东-西两个岩石圈板块相向汇聚的地幔反射，通过华北北缘-二连浩特盆地剖面揭示了索伦缝合带深部结构和古亚洲洋双向消亡过程，提出了海原断裂并不是直接错断莫霍面的超壳断裂的新论断，为探讨青藏高原东北缘岩石圈变形机制提供了新的地震学依据，等等。

研究深部构造具有科学意义，更有应用价值——可以为当今国家经济社会发展过程中亟待解决的能源矿产勘查、地震机理研究，以及气候生态环境演化等问题提供重要信息。

他们通过探测青藏高原东缘松潘地块的岩石圈精细结构，揭示了其与东昆仑-西秦岭造山带的关系，为松潘地块的油气远景评价提供了重要依据；他们利用高分辨率深反射地震剖面资料发现四川盆地发育疑似元古宙的裂谷盆地，为四川盆地深层油气勘查指出了新的方向；他们还通过深反射地震剖面，揭示了庐枞矿集区全地壳的精细结构，



2013年，高锐（左3）研究团队部分人员与来访的美国地调局著名的地震学家W.D.Mooney博士（左6）、德国著名的前寒武纪地质学家A.Kröner博士（左5）合影



2012年，高锐（右2）与美国著名地震学家 James Ni（左2）、Larry D. Brown（左1）等合作研究青藏高原深地震反射剖面

在研究火山岩盆地深部构造、探讨成矿深部过程等方面取得了新认识……

一项项令人激动的新进展，为中国的深反射地震剖面研究赢得了越来越多的国际关注，高锐和他的团队也逐渐获得了国际地质学界的高度认可。国际深反射地震权威、美国康奈尔大学教授在美国地质学会年会上（2013），回顾过去50年地球物理探测历程、展望未来技术发展时以 Sinoprobe-02 为例，明确指出 Sinoprobe 探测技术代表了当前国际最先进的技术。

打造高原“梦之队”

高锐从来不认为那些科研成果和种种荣誉是属于他个人的。他说得最多的就是：“个人的力量是有限的，我们所有的成绩都是整个团队奋斗的结果。”

如今，高锐领衔的中国地质科学院岩石圈研究中心从位于北京西城区百万庄大街的

地科院“总部”，迁到了离市区有些偏远的地科院青龙桥基地。地方大了很多，也少了许多来来往往的喧嚣，这让他格外满意。他觉得搞科研就应该这样安安静静地独守一隅，科学家就应该是耐得住艰苦、耐得住寂寞。

在岩石圈研究中心的一块展板上，醒目地展示着14位团队在职成员的照片，而说起一同奋斗的战友和这些年轻同事的性格、成长、业绩，高锐如数家珍，显然比讲述自己的经历更加兴奋。

高锐对新加入的年轻人寄予厚望，他惜才爱才，但要求严格。他鼓励年轻人说：“青藏高原是最接近天的地方，站在这个舞台上是最容易登上科研高峰的，重要的是坚持。”“要坚持去野外第一线，不能把青藏高原踩在脚下的人搞不了青藏地质！”

青藏高原自然环境恶劣，地质条件复杂，存在许多调查空白区，需要年轻一代去闯。直接将重要的研究任务交给年轻人承担是培养年轻人快速成长的捷径。近20年来，高锐

与其团队的年轻人，深入青藏高原腹地和周缘山脉，针对不同地质条件，发展探测技术，切开岩石圈，揭露内部结构构造，先后踏足被视为人间净土的羌塘草原、生命禁区的可可西里、茫茫崖雪的喀喇昆仑—西昆仑山、藏北的松潘草原、东北缘的西秦岭—龙门山等地，在不断获得科学新发现同时，也锻造出一支特别能战斗的高原年轻研究团队。一声令下，随时开拔，去攻克新的科学难题。

“地壳怎么长的？不像我们过去想的那样。”“地球太复杂了，我们经常会在对深反射地震剖面数据进行解译的时候，被吓了一跳。”“地学的特点就是要有多年的积累。”梦想用深地震反射探查整个高原的高锐知道，青藏高原等待人们去揭开的奥秘太多太多，不是一代甚至几代科学家能够看明白、弄清楚的，科学家要做的，唯有持之以恒。

古老和年轻、激烈和宁静、文明和荒茫、高昂与平缓、至洁与至寒，并行生长的矛盾和难以调和的复杂，给了青藏高原巨人一样的特质和品格。高锐知道，自己早已迷恋上了这片地球上海拔最高、最年轻的高原，迷恋用自己独特的方式倾听、感受、了解它，并与之对话。

高原的风，强劲自由。高锐站在高原之上，享受梦想驰骋的畅快。他标志性的银发，在高原璀璨清冷的阳光中，如雪山般冷峻，又如旗帜般耀目。今天、明天和之后的每一天，磅礴宽广的青藏高原还在坚定地向上隆升，而他和他年轻的岩石圈团队，也在地球科学的高地上，手执现代科技的金钥匙，一步步地开启地球深部奥秘之门，走向离天最近的地方。