



中国科协学会学术部 编

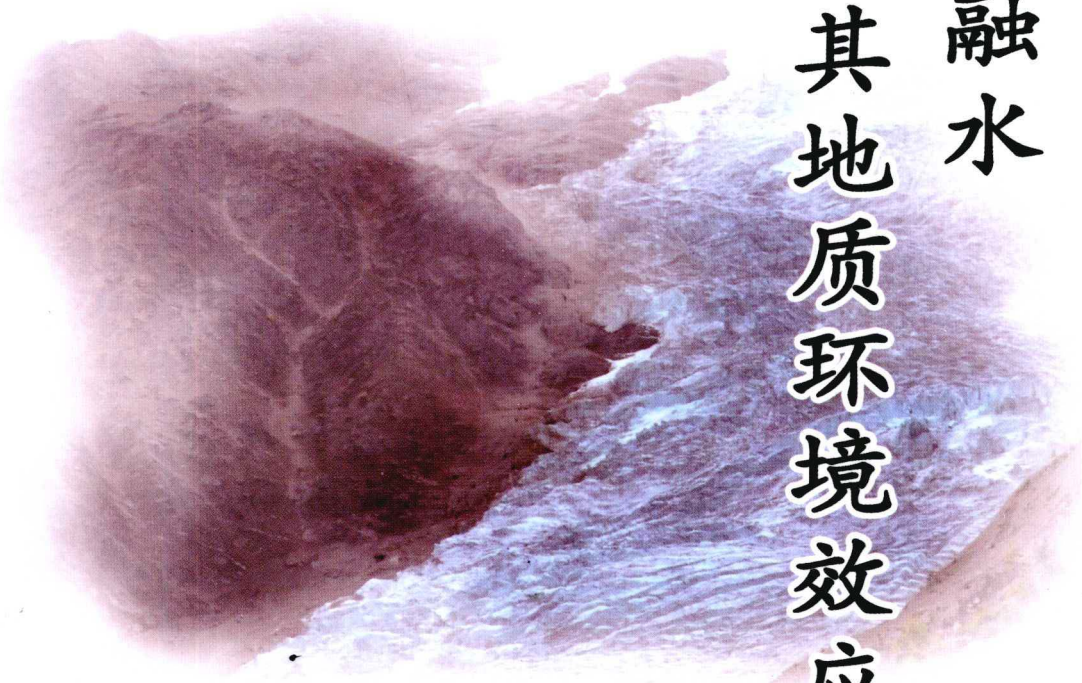
新

观点新学说学术沙龙文集

30

青藏高原冰川融水

深循环及其地质环境效应



中国科学技术出版社

新观点新学说学术沙龙文集③⑩

青藏高原冰川融水深循环及其 地质环境效应

中国科协学会学术部 编

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

青藏高原冰川融水深循环及其地质环境效应/中国科协
学会学术部编. —北京:中国科学技术出版社,2009. 10

(新观点新学说学术沙龙文集;30)

ISBN 978 - 7 - 5046 - 4993 - 5

I. 青… II. 中… III. 青藏高原 - 冰川 - 融水 - 研究
IV. P343.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 181671 号

本社图书贴有防伪标志,未贴为盗版

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码:100081

电话:010 - 62103177 传真:010 - 62183872

<http://www.kjpbooks.com.cn>

科学普及出版社发行部发行

北京迪鑫印刷厂印刷

*

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16 印张:9.875 字数:200 千字

2009 年 11 月第 1 版 2009 年 11 月第 1 次印刷

印数:1 - 2000 册 定价:18.00 元

序 言

2009年6月7~8日,中国科协第30期新观点新学说学术沙龙在河海大学成功举办。本期沙龙的主题为“青藏高原冰川融水深循环及其地质环境效应”。传统的地下水循环理论认为,地表水渗入地下后形成了地下径流,地下水在孔隙或岩体裂隙中流动,地下水的循环深度限制在上地壳。但在研究中国北方地区地下水的补给来源时发现,地下水可能还存在一种迄今为止尚没有发现的另外一种循环模式,这就是地下水的深循环。在地球上一些特殊的地区,比如在青藏高原及其周围,在中地壳到200 km的岩石圈中可能还存在着地下水的循环,地下水不是在孔隙或裂隙中流动,而是在构造空洞中以类似于地下河的方式流动。专家们分别围绕这一新观点从不同学科方向、不同视角对“青藏高原羌塘内流区水量平衡、地下水深循环的理论机制与渗漏通道的形成机理、鄂尔多斯盆地、华北平原、蒙古高原、河西走廊水量平衡以及地下水的外源补给、板块脱水与岩石圈空洞的形成、地下水深循环与青藏高原隆升、中地壳高导低速层与地震发生机制、地下水深循环与海底冷泉、岩石圈中水的相变及临界奇异性、地下水深循环与特种矿产资源超常富集成矿、深源流体与油气成因”等重大地质理论前沿问题展开了深入讨论和辩论。

与会专家一致肯定了地下水深循环理论具有重大科学研究意义,在水文地质研究领域具有独创性;对西藏内流区存在强渗漏的观点给予了高度的认同。关于中国北方干旱区如鄂尔多斯等地区丰富的地下水存在外源补给,当地降水对地下水基本上没有补给的观点许多专家也是肯定的,而且认为这一研究对我国北方地区水资源合理利用、远景规划意义重大。对地下水深循环可能引发的重大地质环境效应,专家们也表示了极大地关注。同时,专家们对当前一些国际热点水文地质问题也有许多新的看法,提出了很多值得进一步深入思考和继续研究的新观点、新思想。

总之,依托中国科协搭建的极具特色的学术谈论平台,此次会议进一步增进了认识,加强了共识,巩固了地下水深循环理论研究的学术地位。这一研究方向对揭示我国水资源格局形成机制,进一步认识青藏高原隆升、造山、地震机制、地热、油气运移、黄土高原沉积、北方河流与湖泊形成以及深源流体控制特种矿产资源超常富集等相关科学问题都有重要理论意义;一些新思想、新观点对新时期指导我国重大水利工程建设、自然灾害防治等都有现实的指导意义。地下水深循环理论研究的未来和发展趋势,为促进我国水文学基础理论研究提供了许多宝贵的建议和可借鉴的思路。专家们还对我国地学研究中存在的问题进行了深刻的剖析,指出现行的研究计划和考评体系中存在诸多问题,如果不能营造“百家争鸣”的学术氛围,地学中的新观点与新学说就不能发展壮大,我国在国际地学界的地位就不会得到提升。

本书出版的内容,即为在中国科协倡导的宽松、自由、求真、鼓励学术争鸣、活跃学术思想、促进原始创新的基本宗旨下,本着敢于质疑、勇于创新、宽容失败的精神风貌,对所有与会专家发言、辩论的录音、速记稿整理编辑而成。由于时间的限制,会议中因一个观点的热烈讨论而闪现出了许多新思想、新观点的火花,有的得到了充分的表达和记录,有的虽然提出了值得深思的科学问题,但还来不及进一步作出深入的论证,有的只在心底产生了共鸣或擦出了新的火花,尚未来得及表述或没有被及时的捕捉。但我们相信,此次学术沙龙凝聚的共识和尚存争议的思想观点,对推动水文地质重大理论科学问题深入研究有重要的意义。

陈建生 谭红兵 顾慰祖

2009年7月 南京

目 录

青藏高原冰川融水深循环及其地质环境效应	陈建生(2)
识别地下水补给来源的地球化学指示剂	卫克勤(51)
中地壳低速高导层与油气生成	张景廉(61)
幔源油气与碱性地层水	崔永强(65)
东海与鄂霍次克海的海底冷泉	栾锡武(72)
地壳内低速层及其与地震活动的关系	李松林(79)
岩石圈中水的相变及临界奇异性的地质意义 ...	胡宝群 孙占学(92)
纳木错湖水量不平衡研究	周石砾(96)
河西走廊地下水水量平衡及其祁连山区侧向流入和基底 水量的补给问题探讨——以张掖盆地为例	丁宏伟(103)
深源流体控制盐卤资源超常富集成矿	谭红兵(113)
鄂尔多斯盆地地下水源新说	饶文波(119)
专家简介	(131)
部分媒体报道	(143)



会议时间

2009 年 6 月 7 ~ 8 日

会议主题

青藏高原冰川融水深循环及其地质环境效应

会议地点

河海大学

主持人

顾慰祖 谭红兵

各位专家、各位老师早上好,非常欢迎大家来到南京参加中国科协第三十期新观点新学说学术沙龙。这期学术沙龙的主题是“青藏高原冰川融水深循环及其地质环境效应”。

青藏高原冰川融水深循环及其地质环境效应

◎陈建生

为了使诸位专家能够系统性了解我们所提出的新学说,顾慰祖、谭红兵、饶文波三位的发言内容综合为一个主题,委托我向大家作重点主题报告。

鄂尔多斯内蒙古高原华北平原的地下水外源的补给

传统的水文地质理论认为,地下水仅限于在上地壳循环。苏联和德国进行的深钻发现地下水的循环深度至少达到了 15km,已经超出了上地壳的范围。我们在中国北方的沙漠中发现可能存在着深循环的水,而且流速非常快。在此之后,我们在中国北方的鄂尔多斯、内蒙古高原和华北平原进行泉水、河流、湖泊研究中发现水中的氡同位素偏负 20‰~30‰,甚至偏负到 50‰。这些地区地下水中的同位素偏负的事件在我们进行研究之前有很多研究者已经发现了,但是很多人都认为同位素偏负的地下水来自于冰期时代当地降水的入渗补给,理由是他们同时进行了 ^{14}C 定年,根据 ^{14}C 得到的地下水年龄在 5000~30000 年之间。但是由于地下水中存在大量的来自深部的 CO_2 、 CO 等含 C 化合物,不满足放射性元素定年的基本条件,所以在这些地区采用 ^{14}C 测定年龄的方法受到限制。为了研究降水入渗补给,我们进行了地表水在包气带中的下渗试验,在“四水”转换中,包气带土壤水的运动最为复杂。非饱和带入渗试验发现,研究区大部分地区的地表水是不能补给到地下水中的。调查发现,这些地区的河流与湖泊主要来源于泉水补给,



例如,渭河、泾河、无定河、洛河、西拉木伦河、锡林河、汾河、滹陀河等几十条河流,湖泊包括岱海、黄旗海、达里诺尔等。补给河流与湖泊的泉水都是沿着北东向呈串珠状分布,氢氧同位素分析表明,研究区的泉水基本上也不是由当地降水补给的,深层承压水与基底断裂带、油气田、地震带似乎有共存关系。

青藏高原内流区存在严重的渗漏

我们在西藏的内流区发现河流与湖泊存在严重的渗漏,在羌塘块体中水平与垂直方向都存在连续的高导(地层导电性能高)低速(地震波传播的速度低)结构,由此推断,高导低速结构与地表水的渗漏之间应该存在因果关系。对于地层中高导低速的性质,地学界有不同的看法,下面将会重点讨论这个问题。研究表明,鄂尔多斯、内蒙古高原和华北平原的地下水不是来自当地的降水,我们认为这些地区的地下水可能来自外源的远程补给,根据氦、氧-18、氡等同位素判断,远程补给源区应该是纬度很高或者高程很高的寒冷地区,地表渗漏水通过深循环补给到了研究区。地下水深循环的观点前人没有提出来,我们希望能针对地下水深循环进行深入的讨论,是这期学术沙龙讨论的主题。

根据前人的地球物理探测与地球化学分析结果,我们提出了西藏内流区冰雪融水渗漏方式与渗漏通道的时空关系,地下水在羌塘渗漏到了中地壳以下。西藏内流区的渗漏水不少于 500 亿 m^3 ,循环的深度在 122 ~ 200km,从羌塘到鄂尔多斯盆地之间的上地幔有一个低速带,深循环的地下水可能就是沿着这个低速带由西向东补给的。地下水到了鄂尔多斯块体后,通过基底断裂带在地表以泉水溢出,形成了河流与湖泊,还有一部分水继续沿着东北方向的断裂带补给到内蒙古高原与华北平原中地壳的高导低速层中,地下水深循环通道的深度从 100 多 km 迅速上升到 20 ~ 30km,地下水深循环通道是根据连续的高导低速结构提出的。

青藏高原阶段性隆升受到深循环地下水的的影响

我们认为,地下水的深循环出现在青藏高原隆升之后,青藏高原的隆升是印度板块俯冲插入西藏地块而形成的,由于地下水的深循环造成了印度板块与欧亚大陆板块大约在 25Ma(25 百万年)被冷却焊接在一起了,在此之后,俯冲的印度板块在雅鲁藏布江断裂带附近断裂了,然后印度板块重新向地幔深部俯冲;在这之后大约 8Ma,还是由于地下水循环的深度增加,再次造成了印度板块与上覆的西藏地块冷却焊接在了一起,于是印度板块又发生了第二次断裂;大约 7.5Ma,印度板块再次向深部俯冲,但是遇到了增厚岩石圈的阻挡,使印度板块发生了折返。根据地球物理探测结果,地质学家们给出了一些印度板块发生断裂的原因,但是都没有考虑到深循环地下水的作用。我们认为印度板块断裂的原因很可能就是地下水渗漏冷却所造成的,冷却使两个板块焊接在一起了。青藏高原及其周边地区所产生的隆升与构造变化经历了不同的阶段,例如,25Ma 与 8.3Ma 是两个重要的时段,从我们的研究来看,这两个时段所伴随的地质事件都可能与地下水的深循环过程有直接的关系。

青藏高原地块冷却机制

首先介绍青藏高原冷却与岩石圈空隙带的形成机制。我们知道两个板块在碰撞过程中会出现一个板块插入到另一个板块之下,例如印度板块向欧亚大陆板块的俯冲,大陆内部微地块之间的俯冲也会出现这种情况。当一个板块插入到另外一个板块之下,在挤压作用下会造成地幔局部岩浆的压力升高而发生体积膨胀,上覆岩石圈中的断裂将被膨胀力扩张开,岩浆从断裂带中涌出地表,这就形成了火山,在地表向断裂带两侧伸展,深部的岩浆通过断裂把挤压膨胀的体积释放出来。与此同时,因为插入的板块携带了大量的水分,板块中的水分在高温下脱离了板块,这就是所谓的脱水作



用,脱离了板块的水分子与上涌的岩浆一起被带出地表。

脱出的水在高温高压下成为超临界态,因为水的超临界态温度为 374.15°C ,压力 22.1Ma 。超临界态的水具有超强的萃取作用,将岩浆与围岩中的金属矿物溶解成为超临界态流体。随着岩浆涌出的超临界态流体,当温度和压力降低到临界点以下,超临界流体中的水又变回到了液态形式,而“超临界溶液”中的“溶质”则沉积下来成为矿脉。当岩浆喷发释放了该地区岩浆的压力后,火山停止了喷发,冷凝的岩石将岩浆喷发的断裂通道也封堵了。这时岩浆喷发虽然停止了,但是插入在岩石圈下部的板块运动并没有停止,我们知道,印度板块向欧亚大陆板块的运动,现在还保持在每年 $5\sim 6\text{cm}$ 的速度。由于板块运动没有停止,插入板块所携带的大量水分还继续向地幔岩浆中输入,于是我们要问,从板块脱出的水到哪里去了? 板块脱出的水很快就成为超临界态水,这些超临界态的水由于密度小而向上运动,它们在岩浆浮力的作用下进入断裂带中,因为上地壳的断裂带已经被凝固的岩浆所封堵,它们只能聚集在中地壳以下的断裂带中,并取代了原来聚集在中、下地壳断裂带中的岩浆。这个水置换岩浆的过程类似于化学采样中常用的排水集气法:将装满水的玻璃杯沉到湖底,将杯口朝下对准冒气点,湖底的气泡进入杯中后将水逐渐置换掉。板块脱水就是通过这种方式将中、下地壳断裂带甚至壳幔结合部的岩浆置换,形成超临界态流体聚集层。由于超临界态的水分子很小,具有极强的萃取作用,水分子可以渗入岩石结构的内部萃取其中的金属元素,形成超临界态流体。 1000°C 水的电离度是平时的1000倍,氢离子和氢氧根离子的浓度同时升高了各1000倍,水已失去了原有的那种“平和”的本性,成为无坚不摧的强腐蚀剂。于是被超临界态水所占据的中、下地壳的断裂带中的围岩遭到了超临界水的强烈破坏,这些围岩中的金属元素被溶解后,岩体的骨架疏松了,强度大幅度地降低,形成比断裂带宽出很多的薄弱层。

由于俯冲插入的板块把软流圈与上覆的岩石圈隔离起来,地幔岩浆的

高温被板块屏蔽,软流圈中的热量不能够通过对流的方式传递给上覆的岩石圈。岩石圈底部以前的温度如果是 800°C ,现在被板块插入后,温度梯度就要重新调整降低了。岩石圈温度的降低使原来聚集在中、下地壳的超临界态流体的温度降低到了临界点温度以下,温度低于临界点后,超临界水重新变成液态,“溶液”中的“溶剂”与“溶质”发生了分离,“溶质”向下沉淀成为矿物,而“溶剂”水则留在了中地壳。由此我们认为,下地壳和壳幔接触带的镁铁质层可能就是通过这种方式形成的。

也就是说,印度板块插入西藏块体之下以后,一方面是冷板块插入软流圈起到降温作用;另一方面,插入的板块将阻隔了软流圈与岩石圈之间的对流;第三,岩浆中的热量被脱出的水分子带走了,上升的水分子起到了对流的作用,使夹在插入板块与上覆岩石圈之间的岩浆温度下降得更快一些。在这三种方式的共同作用下,岩石圈的温度梯度下降了,为形成中地壳的空隙带奠定了基础。

中地壳导水空隙带的形成

中地壳断裂空隙带形成的初期,空隙带中充满了从热液中分离出来的卤水,空洞的温度很高。随着岩石圈温度的降低,岩石出现了收缩,裂隙的宽度增加了,导水的性能也随之增加。温度梯度的降低,使液态水的活动范围从原来的上地壳扩大到了中地壳以下,于是地下水就可以通过这些导水的断裂带进入中地壳的空隙带中。最初进入中地壳断裂空洞中的地下水,被加热后体积发生了膨胀,密度减小了,变轻后的水向上浮动,最终以温泉的形式溢出地表。冷水流入空隙带和热水流出空隙带的过程类似于烧开水,这种垂向对流的方式使空隙带中的温度逐渐地降低了,而且大量来自地幔与深部地壳的盐类,例如,锂、硼等被带出了地表,形成了特殊的盐湖或盐矿。

如果空隙带上覆地表的高程差异较大,从海拔高的地表入渗到空隙带



的水,可以在空隙带中流动,并在地表高程低的一端排出,这样在空隙带中就形成了沿着空隙带方向的水平对流。垂向对流的驱动力是空隙带的高温,而水平对流方式的驱动力则是水头差。空隙带中的温度在这两种对流方式的作用下不断地降低,而且还影响到断裂带周围岩石的温度,尤其对下地壳以及上地幔岩石圈温度的降低起到了重要的作用,受软流圈对流影响较小的岩石圈在地下水对流的作用下温度降低的幅度更大一些,增厚的速率也更大一些。

印度板块与西藏地块的冷却“焊接”

国外学者 Rowley 和 Currie 测定了青藏高原伦布拉盆地沉积岩的氧同位素比值,认为青藏高原的高度在 35Ma 前就达到了 4000m 以上。如果青藏高原的隆升是印度板块接近水平插入到西藏块体的结果,那么羌塘正好位于西藏地块的对称中心位置,这个位置受到板块边缘由火山活动引起的软流圈对流的影响最小,降温幅度最大,于是理所当然地成为冷却的中心。北羌塘的火山活动发生在 45 ~ 29Ma,在此之后的火山活动向青藏高原的边缘发展了。由此推断,羌塘地块在 28 ~ 25Ma 温度梯度应该是逐渐下降的,到了 25Ma,在北羌塘下部夹在岩石圈与印度板块之间的岩浆已经凝结成岩。

大家会问,为什么会得出这个结论呢?原因是在 25Ma 发生了天山、祁连山被挤压褶皱隆升,秦岭在 24Ma 也发生了挤压褶皱隆升。如果印度板块与上覆的西藏岩石圈冷却“焊接”在一起了,印度板块向北的运动就必须带动西藏块体一同运动,西藏块体通过挤压塔里木块体对天山施加压力,造成天山褶皱隆升;同时西藏地块的压力通过较厚的柴达木块体向祁连山施加压力,造成祁连山的褶皱隆升;岷山、秦岭也在西藏地块的挤压下在这个时期发生褶皱。所以我们认为,青藏高原周边的造山带在这个时期活动的动力来源还是印度板块,只不过在此之前印度板块与西藏块体之间存在相对的运动,西藏块体并没有与印度板块一起向北运动,或是在印度板块的带动

下西藏地块也向北运动,但并非是同步的,运动速度比下部的印度板块小很多。随着印度板块与上覆西藏地块之间岩浆温度的降低,摩擦力越来越大,西藏地块在印度板块拖拽力的作用下发生了变形,形成了一些西倾的逆冲断层,康马穹隆等构造也是在拖拽力下产生的。需要指出的是,这些逆冲断层和穹隆构造并非是来自东部板块向西俯冲的结果。

于是我们推断,印度板块与上覆岩石圈“焊接”后,带动着西藏块体向北运动了一段时间,这个时间大约经历了几百万年,随着阻力的增加,印度板块在雅鲁藏布江断裂带附近发生了断裂,这是剪切作用的结果。然后断裂的印度板块重新向下俯冲,由于俯冲板块受到了增厚的岩石圈的阻挡,俯冲的角度增大了,这个结论是根据 Tapponnier 的地球物理探测结果作出的,因为在西藏块体下发现了残留的印度板块。

大家一定会问,你是通过什么证据说明羌塘块体的岩石圈在不断地增厚?羌塘块体岩石圈增厚的证据同样来自于地球物理资料,因为大地电磁测深与地震波反演都表明,低角度俯冲的印度板块受阻于羌塘地块,在运动到北纬 $33^{\circ} \sim 34^{\circ}$ 改变了俯冲角度,大角度向深部俯冲。这是为什么呢?我们将俯冲角度的改变解释为受到了阻挡。那么受到了什么物体的阻挡呢?当然是增厚的岩石圈了。因为北羌塘的火山活动出现在 29Ma 以前,火山活动停止后岩石圈就进入了快速冷却阶段,断裂后重新向北俯冲的印度板块,因为插入到密度大的深部地幔中,在浮力作用下,南羌塘地块发生了隆升,而羌塘地块在南羌塘的带动下也发生了隆升,由于浮力的中心偏离在南羌塘,羌塘地块与残留在西藏块体之下的印度板块可能被错断,并逐渐发展为深循环的垂向导水通道,这些断裂带可能就是 INDEPTH 探测到的垂向分布的低速带。我们估计,17Ma 羌塘岩石圈的厚度约达到了 200km,在地壳中循环的地下水通过这些错断的断裂带向深部循环,不断地将深部岩石圈断裂带的热量带出地表,促使岩石圈迅速地冷却增厚,羌塘块体岩石圈在水循环冷却的作用下增厚的速度超过了 12mm/a 。



地幔岩石圈导水空隙带的形成

在大约 25Ma, 断裂后重新俯冲的印度板块与前述的一样, 在高温下进行脱水, 板块脱水的排泄成为我们关注的重点。因为, 羌塘块体的岩石圈已经冷却增厚到了 100 多千米, 俯冲板块造成局部地幔软流圈的高压已经不能将上覆增厚的岩石圈拉伸扩张开裂, 高压的岩浆不能够通过上覆岩石圈涌出地表, 所以局部高压的岩浆只能向其他相对低压的地区流动, 但是岩浆到底流向了何处呢? 地球化学家为我们提供了岩浆的流动情况。喻学惠教授等人的研究发现, 在西秦岭、甘肃的礼县和宕昌, 在 23 ~ 7.1Ma 期间有岩浆喷发, 岩浆的性质为钾质碱性超基性火山岩, 与中国东部新生代碱性玄武岩的特征不同, 与西藏地块地幔软流圈的岩浆具有相同的地球化学特征。由此可知, 25Ma 以后再次俯冲插入的印度板块造成了地幔岩浆向东部流动, 并在西秦岭涌出地表形成火山。值得指出的是, 在岩浆向东部的流动过程中, 从印度俯冲板块脱出的水也随着岩浆一道向东运动。火山活动结束后, 与前面的分析一样, 残留在通道中的没有排出地表的水聚集在岩浆的上部形成热液带, 而超临界水对岩浆中的金属元素进行了萃取, 而且还对上覆的岩体进行了强烈的“腐蚀”, 岩体的骨架在超临界流体的“腐蚀”作用下解体, 形成了层状分布的薄弱构造带。

由于羌塘块体来自地表水入渗的循环在不断地冷却下覆岩石圈, 造成岩石圈的厚度在不断地增加, 使羌塘岩石圈下部形成低温与低压区。另一方面, 在深部软流圈中, 来自印度板块的脱水不断地向羌塘地块下部的低压区聚集, 由于岩石圈增厚的速度超过了 12mm/a, 聚集在羌塘地块之下的热液与岩浆不断地被冷却, 岩浆冷却成岩后, 水分就被包裹在岩石中呈一层一层的带状分布, 最终形成了一些层状分布的空洞群, 这就是法国科学家 Mc Namara 最先发现的 Sn 波缺失地层。板块脱水为什么会在羌塘块体的岩石圈下部聚集呢? 因为这里是一个低压区, 脱水物质形成的超临界态流体从

高压向低压区流动。

总结一下,印度板块阻挡了地幔软流圈的热对流,羌塘盆地的地下水最先渗到了中地壳的断裂空隙带中循环,水循环极大地加速了岩石圈的冷却速度,使具有双地壳结构的西藏地块的岩石圈迅速地增厚,始终处在冷却环境之中,岩石圈不断地增厚。没有排出的板块脱水保存在岩石圈中就形成了岩石圈中的空洞,如果这些空洞是连通的,就可以形成导水的通道。由于岩浆在运动过程中可能携带了来自印度俯冲板块脱出的水,岩浆活动结束后残留在地层中的水所占据的水平带状的空隙就可能演变成导水的通道,由于岩石圈冷却与俯冲板块的脱水是同时进行的,这些水所占据的空隙在垂向上具有层状的结构。

刚才我是把机理讲一下,现在讲我们已经获得的证据。

证据 1 羌塘盆地的地表水存在严重的渗漏

西藏高原的面积为 120 万 km^2 ,分为内流区与外流区两部分,外流区的面积小一点,为 59 万 km^2 ,占到西藏总面积的 49%,而内流区的面积为 61 万 km^2 ,占到总面积的 51%。但是,外流区实测得到的径流量是 4280 亿 m^3 ,而内流区根据蒸发量估算的径流量只有 202 亿 m^3 ,两者相差了 20 多倍。中国科学院青藏所做了青藏高原冰川降雪量的研究,他们选了 5 个冰川进行了 50 年以来降水分布的研究,其中有两个冰川位于西藏内流区与外流区的边界上,这两个冰川是古里雅冰帽与唐古拉山小冬克玛底冰川,通过冰芯样得到的平均年降水量分别是 450mm 与 260mm,而外流区祁连山与喜马拉雅冰川的年平均值在 200 ~ 700mm 之间,所有冰芯的降水量都是扣除了蒸发量以后的,这就是说,实际的降水量要大于冰芯所保存下来的水量。我们对比冰芯降水量可以看出,西藏外流区与内流区的降水差别并不是很大,外流区平均比内流区边界上的降水量相差不到 100mm,但是径流量相差了 20 多倍,这表明西藏内流区根据蒸发量来估算径流量有问题,因为没有考虑到渗

漏地下的水向盆地以外地区的排泄。在北羌塘的卫星遥感图上可以发现,很多的河流是来自于冰川融雪的补给,河流的宽度超过了1km,但是河流没走多远就消失了,并没有形成湖泊,这表明河水存在严重的渗漏。我们测定了羌塘盆地最大的两个湖泊纳木错与色林错的盐分,分别为1.7g/l和14g/l,根据盐分积累得到的湖泊年龄分别为122年和1133年;根据湖泊中藻类可知,纳木错湖在100年前还是一个电导率只有400ms/cm的淡水湖泊,这表明湖泊的年龄很轻。但这个结论显然是有问题的,因为在大约3万年前这两个湖泊就已经演变成为封闭的湖泊了。由此可知,这两个湖是一定存在渗漏的,因为蒸发可以将水分带走,但是盐分要留下来的。中国科学院湖泊所进行的调查发现,西藏内流区TDS在0.3~1g/l之间的淡水湖泊有14个,总面积达到了3209km²,这些湖泊都是存在渗漏的。

证据2 北羌塘钻孔中发现的大规模的溶洞

国家地调局成都矿产研究所在南羌塘与北羌塘各打了一个钻孔,他们要在这里找石油。北羌塘钻孔打到200多米的时候就遇到了灰岩中的大溶洞,钻孔无法继续打下去,只好移动孔位,在一百多米远的地方又重新布钻。钻孔发现,显示油气特征的膏岩层完好,是良好封盖层,但膏岩层下部并不是封存的卤水,井水的TDS在366~1160mg/l之间,钻孔过程中出现井漏。在岩石裂隙中发现了沥青脉,在沥青包裹体里发现了油气。这表示北羌塘地区曾经是一个含油气很高的盆地,而且石油经历了成熟的过程,但是后来遭到了地下水渗漏的侵入,油气也随着地下水流走了。在灰岩地层钻孔揭露了六层溶洞,加起来的厚度是25m,最后一个溶洞的高度是18.75m,这个巨大的空洞使钻孔没法继续打下去,本来打算钻1km的孔,只打了不到400m就放弃了。

我们关心的是羌塘的渗漏水与油气流到哪里去了?刚才我说过,西藏内流区的湖泊与河流存在着渗漏,现又发现灰岩地层中存在着巨大的