

文章编号: 1001-8166(2003)01-0022-08

大地热流对中国西部环境与生态演变的影响及其研究意义

匡耀求, 黄宁生, 吴志峰, 胡振宇, 孙波, 刘承帅
(中国科学院广州地球化学研究所 广东 广州 510640)

摘要 中国西部地区生态环境的优劣与大地热流的高低有良好的对应关系。大地热流较高的西南地区生态环境优良,孕育了我国最好的生物多样性,而大地热流较低的西北地区环境恶劣,生态脆弱,荒漠化严重。大地热流的脉动影响区域大气系统下垫面的热力背景和气流运动,从而影响降水的分布和区域气候的干湿程度,大地热流的高低决定了一个地区地表生态系统能量供给的下限,是生态系统演变过程中一个重要的物种限制因子,制约了一些地区生态系统物种的多样性,进而影响到区域生态系统的稳健性。对大地热流影响生态系统发育和演变机理的研究将为人类科学干预地表生态系统的演化、恢复与重建退化生态系统提供科学依据与技术方案。提出了西部生态环境整治的一些新的思路。

关键词 大地热流 生态环境 西部大开发 荒漠整治
中图分类号: X141 文献标识码: A

地球内部的热量以传导、对流、辐射等各种方式源源不断地传向地表。其中以火山爆发、间歇喷泉等突发形式在局部以高强度快速向外散发的热量,给人们以深刻印象,易为人们所熟悉,但以传导方式在大范围内缓慢向外散失的热量则通常不易被人们所察觉,而后者却是地球热能释放的主要渠道。这种热流目前还只受到地球物理学界的关注。通常把单位时间内由地球内部以传导方式通过单位地球表面散失的热量称为大地热流。

大地热流数据目前已被广泛应用于大地构造学与岩石圈动力学研究、地热资源勘查以及盆地油气资源的评价等工作中,并且作为过去气候重建和盆地热演化过程模拟以及岩石圈成分模型的约束条件,但是直到最近才有将大地热流与区域生态环境相联系的报道^[1-3]。

水、热条件和地貌特征是植被生态和水土环境

形成与分异最主要的控制性因素。这些环境要素之间相互联系、相互制约导致了区域生态环境时空分布的差异性,因而在不同地区表现出不同程度的脆弱性特征。区域生态系统与外界发生交换的因素主要是水和热。水文条件对生态的影响已受到广泛关注,人们对沙漠的认识总是与缺水相联系,虽然在诗人的笔下也感觉到了沙漠的“冷漠”,但是至今还没有关于沙漠缺乏热能的认识,对沙漠治理的思路始终还没有离开“水”。最近提出的大地热流可能是影响区域地表环境与生态演变的重要因素的新认识^[1],可能为探讨西部地区生态环境脆弱的原因和治理对策开辟新的思路。

1 大地热流对中国西部环境与生态演变的影响

一讲到西部地区,人们总是与恶劣的自然环境

收稿日期: 2001-11-05; 修回日期: 2002-08-19.

* 基金项目: 广东省社会发展科技攻关项目“广东省大地热流与生态区划研究”(编号: 2002C32203) 资助.

作者简介: 匡耀求(1963-),男,湖南双峰人,研究员,主要从事地球化学和区域可持续发展研究. E-mail: yaoqiu@sgg.ac.cn

相联系。其实,中国的西部地区有相当一部分地区的自然环境状况并不差,有些地区甚至还相当优越,如西南地区的自然环境就比较好,云南还有植物王国和动物王国之称,其生物多样性可与热带雨林媲美。自然环境真正比较恶劣的地区在西北,而且西北地区的自然环境也是随地而异,即使在被称之为“死亡之海”的塔克拉玛干大沙漠的周边也分布有众多的绿洲。

对沙漠中绿洲的分布,人们倾向于认为与水有关,一般认为沙漠中只要有水就会有绿洲。因此,绿洲应该是沿河道或古河道分布。可是,塔里木盆地的绿洲除了西部有一些绿洲主要沿着塔里木上游的叶尔羌河流域和喀什噶尔河流域分布外,南部的绿洲,如若羌、且末、民丰、于田、策勒、和田、墨玉到皮山、叶城这一线的绿洲却是沿着垂直于河流的方向发育,而这一绿洲发育线正是塔里木地体与昆仑山地体的接合带,是深部地热释放的通道。与其说是水分的多少控制了绿洲的发育,还不如说是地下热流的强弱影响了区域水分的分布,进而控制了绿洲的发育。

水资源短缺被认为是制约西部开发的主要因素,因而人们把目光集中在地下水体的开发和南水北调工程上。“大西线南水北调工程”试图通过调雅鲁藏布江的水来浇灌西北地区的沙漠以改善西北地区的生态环境,这种愿望是不错的,但是这样真的能够把西北的沙漠转变成绿洲吗?美国人也曾经认为科罗拉多高原上的很大一片地区寸草不生是由于缺水的缘故,综合考虑下游防洪和水量调节的需要,美国国会于 1956 年批准立项修建了格林峡谷大坝(Glen Canyon Dam),到 1969 年水库蓄水就达到了设计水位,在高原上悬起了美国第二大人工湖泊,即鲍威尔湖(Lake Powell),但是,30 多年后的今天,被冷水长期浸润的鲍威尔湖流域两岸不但仍然是光秃秃的,而且水库蓄水后还使该流域的水生生态出现退化,物种减少,有 5 种鱼类已近于绝迹。为什么科罗拉多高原上的这片土地上寸草不生呢?从美国西部大地热流等值线图^[1]上可以看到,该区正是美国大陆大地热流最低的一个地带,该高原的荒漠区域与大地热流低于 60 mW/m^2 等值线范围基本吻合。看来,区域生态的发育,仅有水是不够的,大地热流的高低可能是一个重要的影响因素。

从目前非常有限的大地热流测量数据(表 1)可以看出,我国西北地区一些盆地的大地热流也是相当低的。由此看来,我国西北地区环境的恶劣和生

态的脆弱,未必是由于缺水造成的,缺水只不过是这种脆弱生态体系表现出的一种现象,大地热流低才是根本原因。如果是这样的话,仅靠“南水北调”未必能够达到根本扭转西北地区生态环境恶化趋势的目的。

西北地区的大地热流明显低于西南地区,西藏南部和云南的大地热流最高,四川、陕西、内蒙古次之,西北地区的塔里木盆地和准噶尔盆地大地热流最低。藏北高原的羌塘盆地、新疆塔里木盆地和准噶尔盆地以及内蒙古西部是我国西部大地热流最低的四块大的“冷地”^[1,7,13],这也是目前我国最大的四片荒漠区域。我国主要的沙漠,如塔克拉玛干沙漠、古尔班通古特沙漠、巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠、库布齐沙漠和毛乌素沙地都分布在这四片“冷地”里,其中的六大沙漠占据了全国沙漠总面积的 69.7%,而藏北高原沙漠化土地面积更占据了整个西藏沙漠化土地面积的 97.1%。我们常说“高处不胜寒”,但地处西南高原的云南和藏南却是一方“热土”,是中国大地热流最高的地方,孕育了我国最好的生物多样性,成为动、植物的王国,成为我国不同民族人口最集中的地区,也成为世人向往的世外桃源——香格里拉。四川、陕西、内蒙古大地热流中,三省区总体上相差不大,其生态环境的优劣受纬度高低的影响较为明显。

表 1 中国西部主要盆地的大地热流特征
Table 1 The terrestrial heat flow of the main basins in western China

构造单元	大地热流(mW/m^2)		测点数	资料来源
	平均值	变化范围		
准噶尔盆地	42.3	23.4 ~ 53.7	35	文献[6]
塔里木盆地	44	31 ~ 72	76	文献[7]
羌塘盆地	45	2	2	文献[7]
土一哈盆地	45	3	3	文献[7]
柴达木盆地	53	32 ~ 75	21	文献[8]
花海盆地	56	40 ~ 66	5	文献[9]
酒泉盆地	53	50 ~ 57	3	文献[9]
甘南盆地	56	35 ~ 76	4	文献[10]
海拉尔盆地	61	54 ~ 71	18	文献[10]
汾渭地堑	68		15	文献[7]
鄂尔多斯盆地	62.9	54.6 ~ 69.8	30	文献[11]
四川盆地	55	35 ~ 60	21	文献[10]
昆明盆地	85	70 ~ 105	9	文献[10]
楚雄盆地	75	70 ~ 83	8	文献[7]
兰坪—思茅盆地	71	55 ~ 99	7	文献[10]
腾冲盆地	85.4	78.9 ~ 118.0	6	文献[10]
仓坡湖泊	140		1	文献[10]
羊卓雍错	125	80 ~ 242	10	文献[10]

显然,西部地区大地热流高低与生态环境优劣有良好的对应关系。

鄂尔多斯盆地³⁰个测点的大地热流有明显的空间变化规律(表2)北纬^{37°04'}以南(相当于陕甘宁盆地)的⁹个测点全部大于 60 mW/m^2 ,平均值为 65.3 mW/m^2 。北部(相当于鄂尔多斯高原)的²¹个测点中,东经^{108°00'}以东(陕西榆林到内蒙鄂尔多斯市的铁路沿线地区)的¹⁰个测点全部大于 60 mW/m^2 ,平均值为 67.3 mW/m^2 ,而东经^{107°00'}以西(毛乌素沙地的主体)的¹¹个测点有¹⁰个小于 60 mW/m^2 ,只有¹个测点大于 60 mW/m^2 ,而且该测点位于东经^{106°06'54"}北纬^{38°44'41"}是鄂尔多斯盆地西北端的边缘,可能属于河套断陷带,其余¹⁰个测点的平均值为 56.3 mW/m^2 。北部东经^{107°30'~108°00'}范围目前为数据空白。这就是说,鄂尔

多斯盆地东北部和南部的大地热流比西北部平均高出 $9 \sim 11 \text{ mW/m}^2$,东部的铁路沿线一带是盆地内大地热流最高的地带。显然,大地热流在鄂尔多斯盆地内部的这种分布格局与该盆地内不同区域生态环境的优劣也是基本对应的。

任战利等^[11]曾利用磷灰石裂变迹法研究了鄂尔多斯盆地中生代晚期以来的热演化史,计算出西北部天深¹井中生代晚期古大地热流高达 $95 \sim 118 \text{ mW/m}^2$,比现今大地热流(56 mW/m^2)高 39 mW/m^2 以上,东南部麒麟¹井中生代晚期古大地热流为 81 mW/m^2 ,比现今大地热流(68 mW/m^2)高 13 mW/m^2 。这说明,中生代晚期,鄂尔多斯盆地的大地热流是相当高的,但中生代以来,大地热流出现了大幅的下降,这可能是鄂尔多斯盆地的生态环境出现明显退化的重要原因。西北部大地热流下降幅度远远大于东南部,说明了盆地内不同地区生态环境退化程度的差异。从榆林市到鄂尔多斯市的铁路沿线是整个盆地内目前大地热流最高的区域,这可能也是鄂尔多斯高原东部(榆林地区)沙漠的治理能够取得较好效果的重要原因之一。

因此,我们认为,区域地球内部热流的变化可能是导致不同地区地表环境变化的一个重要因素,这可能是控制中国西部生态环境背景的一个重要的区域性自然因素。

2 大地热流影响环境与生态演变的可能机理

由于大地热流在地表的通量与太阳辐射能相比要小^{3~4}个数量级,大地热流作为来自地球内部的能量在地球圈层耦合过程中的作用和地对地表生态环境的影响还未引起人们足够的重视。在研究全球大地热流的分布时,通常假定来自地下的热流是稳态的,只有地温曲线具有稳态传导型特征的热流测量数据才被认为是高质量的,而对非稳态的热流数据,通常将其归入质量较差或局部异常类别而被剔除^[19]。由于假定地热是稳态的,因此在考虑影响生态系统演变的因素时,也把地热排除在外。

我们知道,热流的方式通常有³种,即对流、传导和辐射。来自地外的热流(如太阳能)主要以辐射的方式进入地表环境,并主要通过光合作用与地表生态系统发生作用,而来自地下的热流则主要以对流和传导的方式进入地表环境。对流方式的地表热流在地表通常表现为火山作用、岩浆活动、地震、温泉等多种形式,沿着地球岩石圈的脆弱地带分布,传

表2 鄂尔多斯盆地大地热流测量数据

Table 2 The terrestrial heat flow data of Erdos Basin

区域	顺序号	测点位置		大地热流(mW/m^2)	
		东经	北纬	实测值	平均值
西北部 (毛乌素沙地)	1	106°06'54"	38°44'41"	64.0	56.3
	2	106°40'26"	37°04'41"	54.9	
	3	106°08'07"	38°08'31"	57.5	
	4	106°08'12"	38°09'00"	55.0	
	5	106°40'18"	37°09'34"	54.6	
	6	106°05'26"	37°02'33"	59.4	
	7	106°08'31"	38°08'05"	55.9	
	8	107°09'33"	37°58'43"	56.1	
	9	107°04'14"	38°04'02"	55.9	
	10	107°09'59"	37°04'28"	58.2	
	11	107°09'59"	37°06'10"	56.0	
东北部 (铁路沿线)	12	108°00'07"	39°03'11"	67.8	67.3
	13	108°03'11"	37°59'47"	65.6	
	14	109°01'51"	37°05'06"	65.4	
	15	109°00'15"	39°04'02"	62.3	
	16	109°09'49"	37°03'11"	68.1	
	17	109°03'11"	37°05'06"	68.4	
	18	110°09'21"	37°04'54"	68.0	
	19	110°00'55"	38°04'28"	68.4	
	20	110°01'31"	37°09'34"	68.9	
	21	110°00'11"	37°05'06"	69.8	
	南部 (陕甘宁盆地)	22	107°02'49"	36°03'50"	
23		110°03'02"	36°04'54"	69.2	
24		107°06'05"	36°02'20"	62.4	
25		109°04'25"	36°07'14"	65.1	
26		108°01'04"	36°08'56"	62.3	
27		109°02'13"	36°08'31"	65.5	
28		109°09'33"	36°54'53"	66.5	
29		110°00'00"	36°07'01"	67.3	
30		109°03'50"	37°03'24"	66.2	

注:数据引自文献^[11]

导方式的地下热流通常被称为大地热流。大地热流是温度梯度和热导率的乘积,其高低与区域地温梯度以及岩石的热导率有密切的关系。对流方式的热流通常是脉动的,即热流的强度随时间发生周期性波动,而传导方式的热流通常是稳态的,即在可以观测到的范围内随时间波动的幅度很小。一个地区地下岩石的热导率(除了近地表处因湿度改变而有所变化外)通常是不变的,但地温梯度则与地表的温度、地下热储的温度和深度有关。地表的温度与其接受太阳辐射的强度、地表土壤与植被的储热性能等因素有关,通常随季节而变化,但变化幅度和影响深度有限,通常在某一深度有一个常温层,而地下热储的温度和深度则与深部岩石圈的性质和热流的形式有关,其温度通常随着地壳构造活动强弱而表现出周期性的变化。地壳活动性不同的地区,地下热储温度变化周期有不同的时间尺度,短至 10^1 a尺度,长至 10^6 a尺度。因此,自地下传导到地表的热流也会随着其深部热储温度的变化而表现出不同程度的脉动特性。一个地区的地下热流通常是对流方式和传导方式的结合,只是在不同的时间、不同的地段两种方式的热流所占的比例不同而已。因此,一个地区的地下热流总体上是脉动的,只是这种脉动的幅度和周期的长短在不同的地区和不同的地壳演化阶段有显著的不同。地壳性质比较稳定的地区,地下热流的通量较小,而且脉动的幅度较小,脉动的周期很长,通常是以 10^5 a为尺度的,在人类可以观察到的时段内很难观察到它的变化,因而认为其地下热流是稳态的,而地壳性质比较活跃的地区,地下热流的通量较大,而且脉动的幅度较大,变化的周期可以短至 $10^0 \sim 10^1$ a尺度,这些地区的地下热流随时间和空间的变化均很大。

因此,来自地下的热流对地表生态系统的影响应从2个大的方面考虑。其一是稳态地下热流通量(即大地热流)的分布格局与地表生态系统分布格局的关系,其二是地下热流的脉动对地表生态系统演变的影响。

气候变化与生态演变有密切关系。有学者已经注意到地下热流的脉冲值可以比大地热流平均值高出2个数量级,可直接影响到气候的变化^[14-15]。如在雅鲁藏布江的“大峡谷热点”区,来自地下的热流高达 25 W/m^2 ,而该区传导的稳态热流仅为 300 mW/m^2 ,即地下热流的脉冲值可以比稳态值大2个数量级^[15]。这种地下热流的脉冲值已接近高纬度地区冬季地表太阳辐射的热流强度(27 W/m^2),如此

强大的地下热流无疑会影响到区域大气系统下垫面的温度,成为影响气流运动和降水分布的一个重要因素。汤懋苍等^[15]曾提出了气候变化的“地心说”,指出短期气候系统以内能耗散为特征,其能耗水平为 $10^{-1} \sim 10^{-2} \text{ W/m}^2$,与大地热流属同一数量级,因此,大地热流的脉动可以影响到短期($10^{-1} \sim 10^1$ a)气候变化。汤懋苍等^[15]还指出,在地热区的壳中国绕暖中心存在着一种逆时针旋转的涡旋力,并把这种地热区称之为“地热涡”。通常,地热涡的强度(即大地热流的脉冲值)愈大则降水愈强。大地热流值越高的区域,地热脉动的频率和幅度越大。

汤懋苍等^[17]自1974~1990年连续16年观察了我国冬季地温距平场与半年后汛期降水量的关系,发现冬季地温场对随后的夏半年降水量有明显的影响,并据此预报汛期降水量取得了成功。北半球的冬季,太阳不能直射地面,地面接受的太阳辐射较少(尤其是北半球的高纬度地区),冬季地温场基本上是地下热流的反映。汤懋苍等^[15]还发现了地震与降水的关系,并认为地震影响随后的降水不是由于地震本身的机械能,而是它对地壳的破坏,从而引起地热释放的增多。

来自地下的热流对地表生态与土壤环境的影响,尤其是对植被生长的影响,目前很少有人研究。尽管已发现土壤内热流的运动有“白天由上至下,夜间由下至上”、“夏季吸热,冬季放热”的运动规律^[17],但却将土壤内热流的来源归结到了太阳辐射。其实,种植葡萄的农艺人员早就发现,严重影响葡萄生长和坐果能力的葡萄缺铁症并不是土壤铁含量不足造成的,而主要是由于土壤情况限制了根的吸收,如粘土、排水不良的土壤、冷凉的土壤较多出现缺铁症,春天冷凉、潮湿天气,常遇到大量缺铁问题。也就是说土壤的温度会影响葡萄根吸收铁质的能力。“粘土、排水不良的土壤、冷凉的土壤”均是热导率较低的土壤,很可能是热流不足限制了葡萄根吸收铁质的能力。我国多年平均的土壤热流场及与深层大地热流场有良好的对应关系^[17],来自地下的热流是土壤热流场的重要组成部分。

2001年7月以来,我们观察到,在两种不同热导率土壤里引种的桉树出现了截然不同的生长趋势。一种为热导率比较高的花岗岩风化壳砖红色土壤,另一种为热导率很低的石墨化炭质页岩灰色形成的黄色土壤。同样于2001年7月^[1]日种植的桉树,采用同样的2叶小苗,挖同样的坑,施同样的底肥,在同样的定时自动喷灌以及同样的太阳辐射条

件下,这两种土壤上桉树的长势在 2 个月后就出现了明显的差异。随着时间的推移,这种长势差异越来越大。到冬季尤其明显,1 年后花岗岩风化壳土壤里的桉树已长到将近 400 cm 高,而且枝繁叶茂,而石墨化炭质页岩风化形成的土壤里,桉树的高度只有约 100 cm,显得稀稀拉拉。热导率比较高的花岗岩风化壳砖红色土壤,热容量较大,保热性能较好,热导率很低的石墨化炭质页岩风化形成的黄色土壤则热容量较小,保热性能较差,土壤热流状况很可能对桉树的长势产生了显著的影响。为什么地膜覆盖技术在农作物种植上能够取得好的效果?地膜的覆盖除了能够保持土壤的水分外,很可能还起到了阻止地内热流散失的作用。

各种生物只分布在它们所能耐受的温度范围内,显然,温度或热能是生态系统能否维持和发展的限制因子。在地表的绝大部分地区,由于太阳辐射的通常比大地热流要高得多,因此,地表生态系统的温度上限主要由太阳辐射的强度和温室效应的强弱决定,但在冬季,太阳辐射强度大大减弱,尤其在夜晚,几乎没有太阳辐射,这时生态系统的温度主要由大地热流的强度决定,即生态系统的温度下限通常是由大地热流所控制的。可以认为,大地热流是这些地区生态系统发育与演变过程中一个重要的物种限制因子^[1]。

种种迹象表明,区域大地热流的高低对区域生态系统的演化可能有重大影响。大地热流的脉动影响区域大气系统下垫面的热力背景和气流运动,从而影响降水的分布和区域气候的干湿程度^[2];大地热流的高低决定了一个地区地表生态系统能量供给的下限(即温度下限),可能制约了一些地区生态系统物种的多样性,进而影响到区域生态系统的稳健性。目前看来,来自地下的热流对地表生态系统的作用表现在以下几个方面:

(1) 来自地下的热流可能是维持地表生态系统延续(冬季和夜晚)的一个重要能源。

(2) 大地热流的高低可能影响到植被的生长和光合作用的效率。

(3) 大地热流的高低可能影响到区域土壤微生物的活性和土壤的呼吸。

(4) 大地热流的高低还可能影响到植物根系吸收养分的能力。

(5) 土壤中微生物总生物量的主要限制因子是土壤温度和湿度。大地热流既影响土壤的温度,也影响土壤的湿度,因而是影响土壤中微生物总量的

一个重要因素。

虽然大地热流与太阳能的通常量相比是微不足道的(在太阳能通常量的测量误差范围内),但是地下热流在地表生态系统中所起的作用却是不可低估的。中国武林中有一句老话叫做“四两拨千斤”,用来比喻地下热流相对于太阳能在地表生态系统中所起的作用可能是最恰当不过的了。

以往对生态系统的研究局限于生物学领域和地理学领域,在考虑生态系统的影响因素时,主要考虑了地面以上的因素,结果导致对区域生态系统的认识不全面,在生态建设和治理过程中走了很多弯路,甚至在不断投入巨资治理后还要面对生态环境日益恶化的严峻现实。比如国家和地方政府已长期投入大量的资金建设“三北防护林工程”,防止沙漠的扩张,然而北方沙漠的面积不但没有减少,而且土地沙漠化的面积还在日益扩大,连首都北京也越来越频繁地遭受沙尘暴的打击和威胁。现在,人们倾向于认为,人类不合理的经济活动是荒漠化的主要原因,并从社会经济方面找到了一些原因,如人口过剩、过度耕种、过度放牧、毁林和低下的灌溉水平等。其实,荒漠化的问题古已有之,只不过是规模和速度没有现在显著而已。早在公元 7 世纪初,唐代诗人王之涣就有了“春风不渡玉门关”的慨叹。黄土高原西部有一套厚达 250 m、多达 231 层的黄土,根据其中记录的地磁极性变化和小动物化石,确定它的形成年代为 $22 \times 10^6 \sim 6 \times 10^6$ a 前。形成这样丰厚的风尘,需要大面积干旱区作为粉尘来源,还要有强劲的风将粉尘搬到黄土高原,因此西北地区的荒漠化至少在 22×10^6 a 前就开始了^[19],那时人类还没有出现。社会经济因素对荒漠化无疑有影响,但在很多情况下未必是根本因素,顶多是加剧了荒漠化的速度而已。导致荒漠化的根本因素是什么呢?其实地球上的荒漠化并不是发生在社会经济活动强度最大的地区,而主要是在自然生态体系比较脆弱的地区,为什么这些地区的自然生态体系如此脆弱呢?从自然因素看,大地热流较低和地热活动的减弱可能也是一个重要的原因。

3 研究意义和应用前景

对地下热流影响生态系统发育和演变机理的研究将为人类科学干预地表生态系统的演化,恢复与重建退化生态系统(如水土保持、退化植被系统恢复、山地丘陵坡地生态环境综合整治和沙漠的改造以及高效生态产业开发等)提供科学依据与技术方

西部一些地区在过去曾经将农业用地盲目扩展到了不适于农作物生长的地方,造成了人力、物力和财力的浪费,也加剧了对当地本来已经十分脆弱的生态环境的破坏。研究大地热流在生态发育过程的作用和机理后,我们就可以根据区域大地热流状况,确定西部哪些区域适合于发展什么样的农作物,哪些区域的生态比较脆弱,需要特别保护,通过科学的区划和合理的规划,指导西部地区的开发和建设,协调区域农业与生态的发展。

我国是受荒漠化危害最严重的国家之一,国家和地方政府每年投入了大量的人力、物力和财力防治荒漠化,为什么我们的荒漠却越治越多呢?为什么有些地区的生态整治效果明显,而其他很多地区却收效甚微呢?过去,防治荒漠化的思路停留在干旱区先锋植物的选育和推广上,而较少考虑各地的具体情况。现在虽然也强调要因地制宜,宜林则林,宜草则草,乔、灌、草相结合,但到底那些地区宜林,那些地区宜草呢?学术界一直在强调人类对生态系统的破坏力(destructive power)不要超出生态系统的承受力(bearing capacity)才能保持生态系统的良性循环,问题是不同区域生态系统的承受力是不一样的,如何确定不同区域生态系统的承受力呢?

如果认识了大地热流影响生态演变的机理,就有可能对区域生态环境作出综合区划,合理规划西部农业和生态的发展与布局,进而为改造沙漠、防止沙漠扩张、改良生态体系提供科学依据。

在干旱、半干旱地区的整治和开发中,人们总是从缺水的思路出发,试图通过抽取地下水来恢复植被,改良正在恶化的生态环境。殊不知,地下水对区域地表生态系统来说可能是一个重要的“热储”,是区域生态系统的一个重要的热量调节器,可能是保证生态系统稳定的重要因素。如果过量抽取地下水,大大降低地下水位,破坏了这一热量调节器的功能,区域生态系统的稳定将受到威胁,区域生态系统将朝着脆弱化的方向演变,结果可能导致恶性循环。这可能就是为什么塔里木河下游流域的先锋植物胡杨林不断枯萎的重要原因之一,也可能是我们的荒漠越治越多的重要原因之一。

对比沙漠区与沙漠中绿洲地带的大地热流,通过对沙漠形成机制的研究,将为寻求改造沙漠的有效途径防治风沙提出科学依据。例如,可以把核废料埋入沙漠地下数公里深处,让其中的放射性核素衰变产生的热量不断温暖其下部的沙漠而营造出一片片的绿洲,有效防止沙漠的扩张,这既可以解决核

废料处置的难题,又找到了改造沙漠的途径。由于大地热流较低的沙漠地带大多是稳定地块,如果把一些核电厂和核原料提炼厂建在沙漠中的湖泊边缘,不但可以就近有效解决核废料处置问题,同时可以不断改善周围沙漠地区的生态环境,遏制沙漠的扩张,防止风沙灾害的产生。美国华盛顿州里奇兰(Richland)市的汉福德(Hanford Site)核废料处置基地就可能意外地产生了这样的效果。该基地^[2] 20世纪60年代以前是美国曼哈顿计划的核原料生产基地,现在是核废料处理基地。基地建在一个大地热流很低的稳定地块上,位于哥伦比亚(Columbia)河与斯内克(Snake)河的汇合处,水资源丰富。现在,该基地所在的中心位置形成了一个大地热流相对较高的地带^[3],整个区域在大地热流图上呈现为一个环形的大地热流低值带,环形低热流地带上仍然是荒漠,而中间较高热流地带已成为居民区和重要的农业生产基地。很可能是掩埋在深处的核废料改变了该地块中心区域地表的大地热流状况。

认识到大地热流对区域生态系统的影响后,生态建设和治理就会有新的思路。比如,干旱是西北地区经济社会发展的主要制约因素,如何改善西北地区的水分条件呢?大地热流是区域地壳的成分和结构特征决定的,我们目前要对其作出改造还比较困难。但是,通过研究地下热流影响大气降水的机制,我们可以受到启发,如可以通过调整和改变我们的生产和生活方式去影响大气系统来增加区域的降水量。下垫面的温度升高有利于增加降水量,有没有办法提高西北地区下垫面的温度呢?如果改变作息,晚上上班,白天休息,把城市或工厂和居民区的能源生产和消耗集中在晚上,这样就可以在不增加(或很少增加)能源消耗的情况下改变一个地区大气系统下垫面的热力背景,造成局部下垫面的热异常,达到增加区域大气系统垂直对流的目的,可能会增加降水。建议在乌鲁木齐、库车、阿克苏等城市开展这样的试验。

参考文献(References):

- [1] Kuang Yaoqiu, Huang Ningsheng, Zhu Zhaoyu et al. Terrestrial heat flow—An important natural factor influencing the evolution of the ecological system and the environment in the western China [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2002, 21(1): 30-34. [匡耀求, 黄宁生, 朱照宇, 等. 大地热流——影

匡耀求. 来自地下的热流对农业生态环境的影响及研究意义. 全国农业地学学术研讨会, 长沙, 2002.

- 响西部环境与生态演变的重要自然因素[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2002, 21(1): 30-34.
- [2] Kuang Yaoqu, Huang Ningsheng, Zhu Zhaoyu, et al. Preliminary discussion on the influence of the terrestrial heat flow on the evolution of the ground ecosystem and environment[J]. *Geology in China*, 2002, 29(1): 86-95. [匡耀求, 黄宁生, 朱照宇, 等. 试论大地热流对地表环境与生态演变的影响[J]. 中国地质, 2002, 29(1): 86-95.]
- [3] Kuang Yaoqu. The effects of terrestrial heat flow on the environment of lake Dianchi and new approach to control the pollution in lake Dianchi[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2002, 21(2): 86-91. [匡耀求. 大地热流对滇池环境的影响与滇池污染治理的新思路[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2002, 21(2): 86-91.]
- [4] Ma Jin, Shan Xinjian. An attempt to study fault activity using remote sensing technology—a case of the Mani earthquake[J]. *Seismology and Geology*, 2000, 22(3): 210-215. [马瑾, 单新建. 利用遥感技术研究断层现今活动的探索——以玛尼地震前后断层相互作用为例[J]. 地震地质, 2000, 22(3): 210-215.]
- [5] Morgan P, Goswami D D. Heat flow and thermal regimes in the continental United States [A]. In: Pakiser L C, Mooney W D, eds. *Geophysical Framework of the Continental United States* [C]. Geological Society of America Memoir, 1989, 172: 493-522.
- [6] Wang Shejiao, Hu Shengbiao, Li Tiejun, et al. Terrestrial heat flow of Jungar Basin [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(12): 327-332. [王社教, 胡圣标, 李铁军, 等. 准噶尔盆地大地热流[J]. 科学通报, 2000, 45(12): 327-332.]
- [7] Wang Yang, Deng Yunlu, Wang Jiyang, et al. Terrestrial heat flow pattern and tectonic domains in the continental area of China [J]. *Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences*, 2001, 18(1): 51-58. [汪洋, 邓晋福, 汪集, 等. 中国大陆热流分布特征及热—构造分区[J]. 中国科学院研究生院学报, 2001, 18(1): 51-58.]
- [8] Shen Xianjie, Li Qichua, Wang Jijian, et al. Terrestrial heat flow measurement and calculation of statistical heat flow in Caidam Basin [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 1994, 37(1): 56-65. [沈显杰, 李国祥, 汪维安, 等. 青海柴达木盆地大地热流测量与统计热流计算[J]. 地球物理学报, 1994, 37(1): 56-65.]
- [9] Ren Zhanli, Liu Chiyang, Zhang Xudui, et al. Recovery and comparative research on themal history on Qiqiang Basin swarm [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2000, 43(5): 635-645. [任战利, 刘池阳, 张小会, 等. 酒泉盆地群热演化史恢复及其对比研究[J]. 地球物理学报, 2000, 43(5): 635-645.]
- [10] Wang Jiyang, Li Nansheng, Wang Jianghai, et al. *Geothermics in China* [M]. Beijing: Seismological Press, 1996. 1-299.
- [11] Hu Shengbiao, He Lijuan, Wang Jiyang. Compilation of the heat flow data in the China continental area (3rd) [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2001, 44(5): 611-626. [胡圣标, 何丽娟, 汪集. 中国大陆地区大地热流数据汇编(第三版)[J]. 地球物理学报, 2001, 44(5): 611-626.]
- [12] Hu Shengbiao, He Lijuan, Wang Jiyang. Heat flow in the continental area of China: A new data set [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2000, 179: 407-419.
- [13] Ren Zhanli. Thermal history of Ordos basin assessed by apatite fission track analysis [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 1995, 38(3): 339-349. [任战利. 利用磷灰石裂变径迹法研究鄂尔多斯盆地地壳热史[J]. 地球物理学报, 1995, 38(3): 339-349.]
- [14] Tang Maocang, Zhong Dalai, Li Wenhua, et al. Evidence for a hotspot on the Earth in Yaluang Zangbo Grand Canyon Gulf [J]. *Science in China (D)*, 1998, 28(5): 463-468. [汤懋苍, 钟大贵, 李文华, 等. 雅鲁藏布江“大峡谷”是地球“热点”的证据[J]. 中国科学(D辑), 1998, 28(5): 463-468.]
- [15] Tang Maocang, Gao Xiaoping. Some statistic characteristics of Geothermal vortex in China during 1980—1993, part on spatial-temporal distribution of geothermal vortex [J]. *Science in China (D)*, 1997, 40(6): 561-568.
- [16] Tang Maocang, Dong Wenjie, Wang Baolin, et al. The heat flow field of a land: the comparison with that of the deep layer in China [J]. *Advance in Earth Sciences*, 1991, 6(4): 10-17. [汤懋苍, 董文杰, 王宝林, 等. 我国土壤热流场及与深层大地热流场的比较[J]. 地球科学进展, 1991, 6(4): 10-17.]
- [17] Tang Maocang, Hu Zonghai. Statistical analysis of the influence of strong earthquake on precipitation [J]. *Acta of Northwest Seismology*, 1990, 12(1): 19-29. [汤懋苍, 胡宗海. 强震影响降水量的统计分析[J]. 西北地震学报, 1990, 12(1): 19-29.]
- [18] Tang Maocang, Gao Xiaoping. Geocentrism on climate change—New thought for short-term climate prediction [J]. *Advance in Earth Sciences*, 1995, 10(1): 47-55. [汤懋苍, 高晓清. 气候变化的“地心说”——关于短期气候预测的新思维[J]. 地球科学进展, 1995, 10(1): 47-55.]
- [19] Guo ZT, Ruddleman W F, Hao Q Z, et al. Onset of Asian desiccation by 22 Myr ago inferred from loess deposition in China [J]. *Nature*, 2002, 416: 159-163.

EFFECTS OF TERRESTRIAL HEAT FLOW ON THE
ENVIRONMENT AND ECOLOGIC EVOLUTION OF
WESTERN CHINA AND ITS SIGNIFICANCE

KUANG Yao-qiu , HUANG Ning-sheng ,

W U Zhi-feng , HU Zhen-yu , SUN Bo , LIU Cheng-shuai

(Guangzhou Institute of Geochemistry , Chinese Academy of Sciences , Guangzhou 510640 , China)

Abstract The quality of the ecological environment correlated very well with the density of the terrestrial heat flow in the western China. The ecological environment is excellent and the biodiversity is the best in the southern part of western China where heat flow from interior of the earth is quite high , while ecological environment is very bad , the ecologic system is fragile and desertification is serious in the northern part of western China where heat flow from interior of the earth is quite low . The pulse fluctuation of terrestrial heat flow may affect the background them al pattern of the underlying surface of the atmospheric system and the movement of air flow , so as to affect the spatial distribution of rainfall and humidity of the regional climate . At the same time , as one of the heat energy source of the ground ecosystem , the terrestrial heat flow defines the lower limit of the energy supply of the ecosystem in the region and is considered to be an important limiting factor for species in the process of ecologic evolution , which may constrain the biodiversity of the ecosystem in some region and thus affect the robustness of the regional ecosystem . The study on the mechanism of how the terrestrial heat flow affect the development and evolution of the ecosystem , will provide scientific basis and technical support for the human being to interfere the evolution of the ground ecosystem rationally and restore or reconstruct the degraded ecosystem . Some new idea and important proposals for the control and improvement of ecologic environment in western China were put forward in the paper.

Key words Terrestrial heat flow ; Ecologic environment ; Development of western China ; Control of desertification .