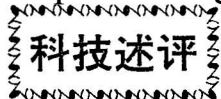


<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>



“山根”说在我国的证实和有关问题

王若华

(中国地质科学院地质研究所)

艾里的“山根”说,很多人赞同,也有人反对。本文根据我国最新数据指出,“山根”说在我国可以得到证实。至于世界第一高山喜马拉雅山有其独特的形成环境,下面没有相应巨大“山根”,或者说喜马拉雅山的山根不够完全。如果把喜马拉雅山和青藏高原作为一个整体来看,那也可以说中国既有世界最高的山峰,又有最深的山根。这一现象与“山根”说并不矛盾,不能作为山根说的证伪。

“山根”说主张地表以上的山,好像树,也有“根”。山越高,其根越深。这就是说,山根的深浅同山的高低成正比。

一、“山根”说的提出和几种有关的假说

245年以前(1735),法国数学家、水形学家皮尔·布格(Pierre·Buguer)发现在(厄瓜多尔)钦博拉索南北两侧朝着火山口的铅垂线与估算的数值相比要小一些。如他说,“安第斯山脉的吸引力小于估计的数据”。对此,他没有做进一步探讨,仅是做了记录。稍后,英国乔治·埃佛勒斯爵士^[1](Sir George Everest, 1847)把印度恒河平原的卡利安普尔(Kalianpur)和卡利安纳(Kailiana)两地的纬度用天文方法和大地三角测量结果做了对比,发现两个结果有5.3″的弧度差异,而在地面上相应的差距应是550呎。埃佛勒斯认为这是喜马拉雅山和青藏高原巨大质量对铅垂线吸引力的影响。这虽然是一种推测,但是已比布格前进了一步。于是这就成为一值得注意的问题:为什么高山对铅垂线吸引力的实测数值比理论数值小?对此曾有种种解释。

如有人猜想山是空的^[2],所以实测数值小。但山不是空的,此说自然不能成立。此外还有比较有参考价值的解释。

艾里的“山根”说。1855, 54岁的英国天文学家乔治·比德尔·艾里爵士(Sir George Biddell Airy)用山的比重较轻的论点来解释上述现象。他在其《大地测量中明显干扰测量台站纬度的山脉引力效应计算》^[3]中,提出山脉质量小,所以实测的引力比理论数值小。为了保持稳定,他设想山下有根。地表上的山和地表下的根都由较轻的物质构成。根的深浅与山的高低成正比,山越高,根越深。这就是各处密度相同的较轻表面物质,在山脉底下要比低地底下更深地延伸在较

重的物里面。类似冰山浮漂于海洋上面。这就是说,山脉底下地壳最厚,大陆、低地下面地壳中等,海洋下面地壳最薄。

普拉特的互补说。同年,46岁的英国数学家、副教授、约翰·亨利·普拉特(John Henry Pratt),按喜马拉雅山质量的最小数值,计算出北边距该山较近的卡利安纳铅垂线偏斜度的理论数值应是29.853″,而距该山较远的卡利安普尔的理论数值则是11.968″,两者之差应为15.885″,而实测数值为5.23″。实测数值是理论数值的1/3。他在《印度一侧喜马拉雅和高原的引力对铅垂线影响不大》^[3]中,提出地壳的密度不同,有平衡调节作用。高山的岩石厚度小于平地的岩石密度,或者说小于平均的岩石密度,两者互相补充。也就是说,山脉的形成可能是岩石密度差异的结果。

以上两个假说都是对喜马拉雅山地区铅垂线偏斜现象的解释,而且都隐约含有均衡的意思,可是哪一种解释也没有明显提出“均衡”这一术语。直到37年以后才有人提出。

杜顿的地壳均衡说。1892年,英国地质学家杜顿(Clarance Edward Dutton)根据地壳流体静力平衡趋势,最先提出“地壳均衡”(Isostasy)^{[2], [4]}这一术语。他的地壳均衡说,后人同艾里的“山根”说、普拉特的“互补说”联系起来,可是迄今为止,在大地测量学家、地球物理学家以及地质学家间,还有争论,因为毕竟还没有人能定量地划出哪些地壳的均衡是由艾里的“山根”平衡的,哪些地壳的均衡是由普

- 1) 十九世纪中叶,此人曾一度为印度三角测量队队长,并用他的姓“埃佛勒斯”命名我珠穆朗玛峰。
- 2) 关于杜顿提出“地壳均衡”这一术语的年代,有两种说法,一是多数公认的年代1889,见1977年版《美国大百科全书》,一是按其论文发表年代1892,本文采用后者。

拉特的密度差异平衡的。

坦姆斯 (E. Tams) 的“反山根” (ant-root) 说。他在《沿大陆和海洋地震面波传播速率》^[5]一文中, 根据地震面波的传播数据, 指出大洋下面, 超硅镁层上伸到地壳里的“反山根”。对此, 将另文论述。

二、几种假说在实践中的验证

美国岩石学家亨利·斯梯芬斯·华盛顿 (Henry Stephens Washington) 的验证。

他在《均衡作用和岩石密度》一文中指出:

“一个地区火成岩平衡密度与其平均高度成反比”。^[6]他把美国科罗拉多州到太平洋 13 个地区含水的和不含水的火山岩 (共 1527 个样品) 密度做了统计, 得出了这一论点。参阅表 1。至此, 普拉特的高山岩石密度小于低处岩石密度的假说, 不仅是定性的推测, 而且有定量的计算数值。这就使普拉特的假说得到进一步的证实。

美籍德人地球物理学家古登堡 (Beno Gutenberg) 等的研究。古登堡在《地球的物理建造》^[7]中, 提出欧洲阿尔卑斯山脉下面, 地壳厚度增加。他是根据地震纵波, 通过短距离的进程时间计算的。稍后, 美国地震学家贝瑞里 (Perry Byerly) 在《从地壳均衡观点看内华达山》^[8]一文中, 报道了内华达山东边震源所发生的纵波到达该山西部附近的台站比计算数值多几秒钟。对此, 他认为内华达山脉有根, 纵波之所以延迟是山根的影响。

表 1 各地区火成岩密度

地 区	h (米)	(a)	(b)	(n)
(美) 科罗拉多	2134	2.76	2.71	171
墨西哥	2000	2.79	2.74	47
大西洋海岛	1830	2.89	2.81	34
安第斯山	1820	2.81	2.75	39
阿尔卑斯山	1550	2.78	2.70	161
(英) 哥伦布	1190	2.81	2.75	49
美国	760	2.78	2.73	295
澳大利亚	350	2.81	2.72	238
德国	300	2.81	2.74	252
英国	100	2.83	2.76	57
大西洋海脊	-1830	2.89	2.81	56
大西洋海盆	-4116	2.89	2.81	56
太平洋	-4520	3.09	3.04	72

各地区火成岩平均密度: a, 不含水分的样品, b, 含水分的样品, h, 平均高度, n, 分析数目。

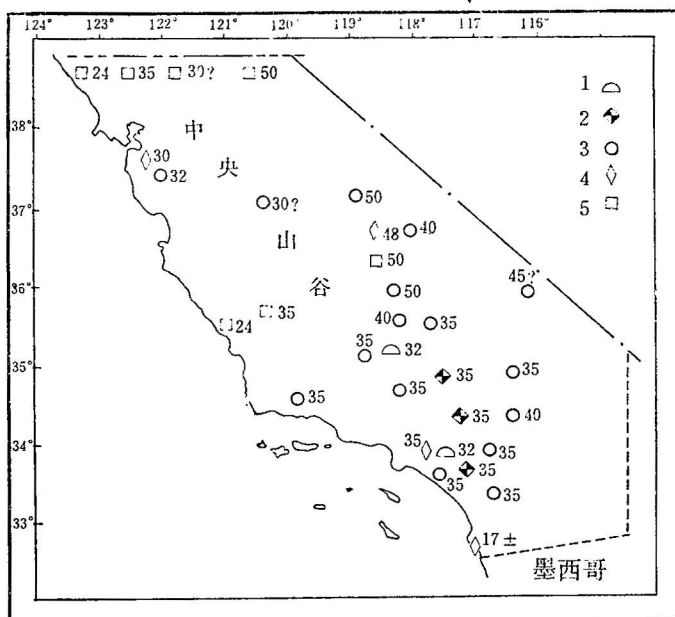


图 1 美国加利福尼亚州地壳厚度

1—人工爆炸反射波; 2—天然地震反射波; 3—折射波; 4—面波;
5—重力

(根据古登堡 1956 年图略加简化)

响。再后, 上述古登堡在《山根的地震证据》^[9]一文和贝瑞里的《从地震证据看次大陆构造》^[10]一文, 都先后证明内华达山有根, 而且证明美国西部海岸加利福尼亚南部地壳的厚度越近海岸一侧越变薄。古登堡的论点, 用五种方法取得的数据证明, 即: 重力、人工爆炸反射波、天然地震反射波、折射波、面波、重力, 共得到确定莫霍分界面深度数据 32 个, 其中折射波的 16 个, 重力的 7 个, 其余三种方法, 数据不多, 图 1。

苏联地球物理学家罗兹尼钦科 (Vladimirovich Riznichenko Yurily) 也指出苏联的一些地方花岗岩底面向下凹陷, 地表上的花岗岩体向上突出。^[11]虽然他没有使用“山根”这一术语, 实质上说明苏联的一些地方有“山根”。

苏联阿里耶夫 (S. A. Aliev) 的验证。他在《北帕米尔地震的实验》^[12]中, 指出北帕米尔地区下面, 地壳最厚不超过 65 公里 (图 2)。但是施密特 (O. H. ИИМИТ) 在《中亚地壳和上地幔》^[13]中, 指出北帕米尔的卡拉库列湖下面地壳厚度 (埋深) 在 75 公里以上。

卡里依 (P. Caloi) 的验证。他根据地震数据也证明阿尔卑斯下面有山根^[14]。

霍姆斯 (Arthur Holmes) 的验证。英国地质学家霍姆斯综合世界有关地震数据, 编制世界范围的地

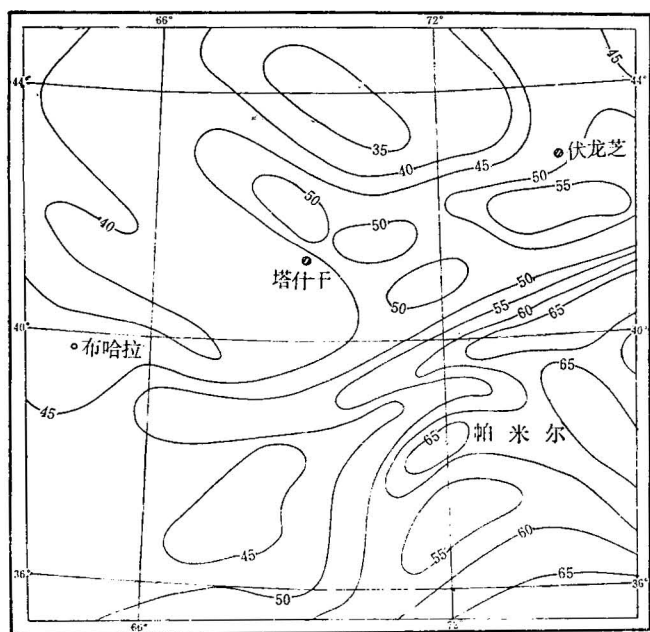


图 2 帕米尔和南天山一带地壳等厚度图
(根据阿里耶夫等人1976年图略加简化)

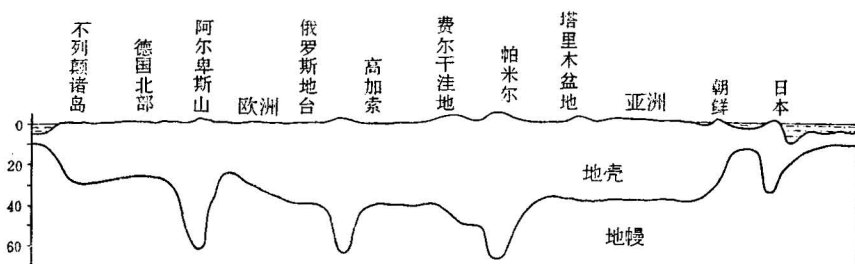


图 3 英国—日本之间山根示意图
(根据霍姆斯1965年图略加简化)

即海洋下面超硅镁层可上伸到地壳里。从他的承认海洋底下有“反山根”一点，就可以驳斥他自己的在大陆上高山下面没有山根的论点。在这一点上，可以同意塔特尔的地壳里岩石密度有横向变化的观点。虽然布奇尔和塔特尔都不同意地表下高山的下面有山根，但可以认为塔特尔的工作更有价值一些。第一，他证实了安第斯山地区重力数据和地震数据并不吻合，从这一点上看，是他以数据进一步证实山根说的一个特殊的例证；第二、是他首先提出：“(这)表示在广大地区内地壳是不均匀的，或者地幔上部的岩石密度可能有水平方向的变化。”他的论点，尤其是关于地幔上部岩石密度有水平方向变化一点，于十七年后，为澳大利亚地球化学专家林伍德 (Alfred Edward Ring-

wood) 引伸为上地幔三大特点之一^[18]。

我国的验证。我国深部构造的研究是解放以后开始的，但成绩显著。如按重力数据编制的中国地壳等深线图。图4是国内外第一张有数据作依据的图件。此外，许多同行对我国深部构造提出许多有见地的论点¹⁾。下面就了解到的和“山根”说有关的若干数据，试作初步探讨。

根据图4及小比例尺地形图，可以切制几条横剖面。这里选用几条，图5、6，从图4、5、6可以得出以下几点看法：

(1) 中国山有“山根”，如慕士塔格、祁连山、

1) 许多次青藏高原会议的文件。

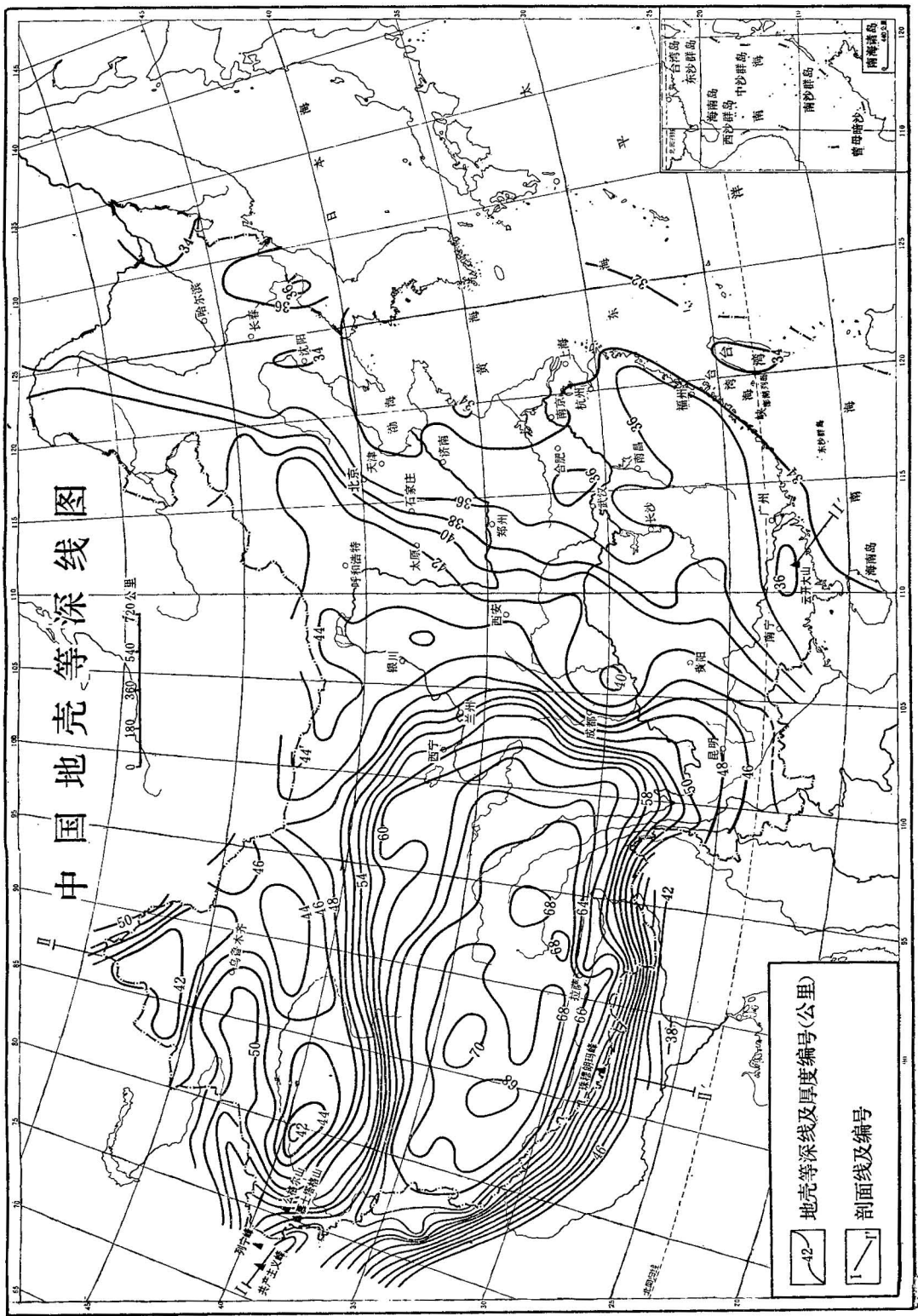


图 4
(根据物探所1979年图略加简化)

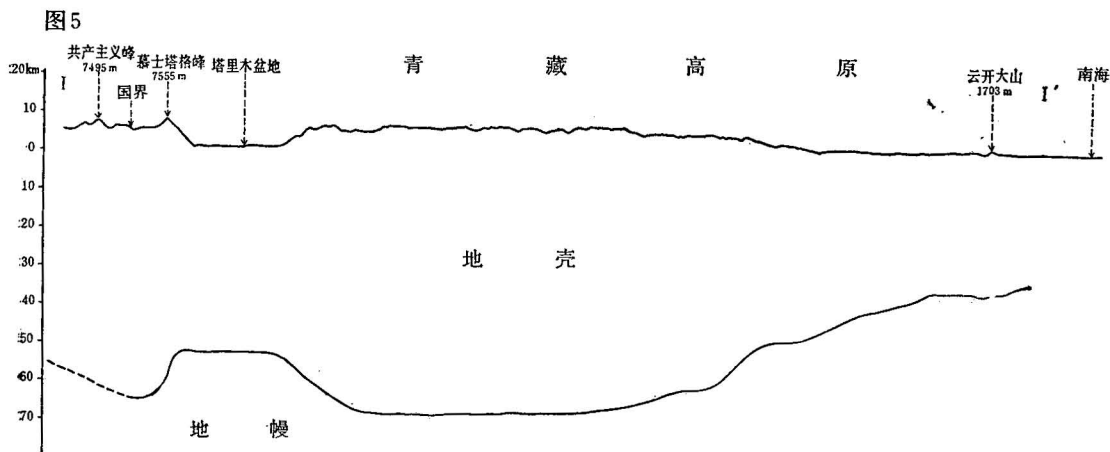


图 5 中国慕士塔格峰—云开大山间剖面示意图 (I—I') (笔者根据图 4 切制)

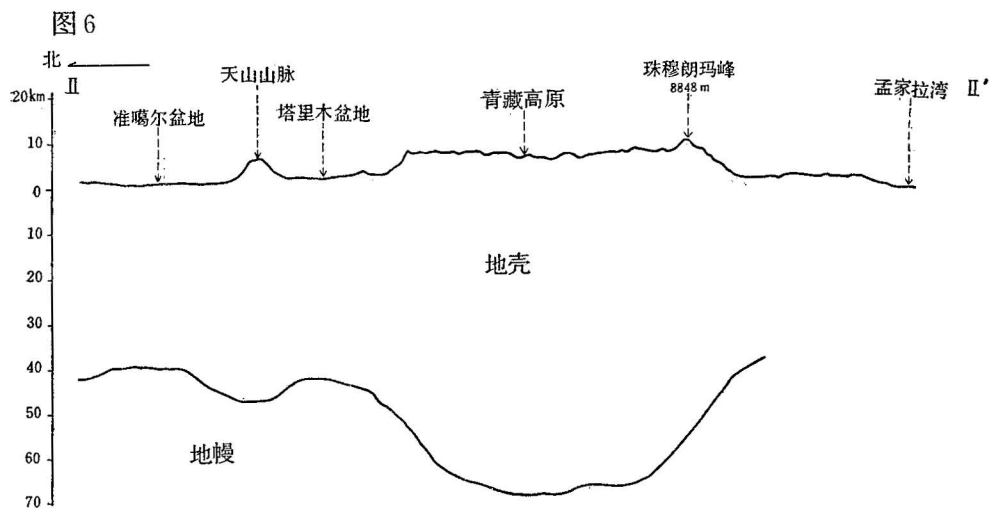


图 6 通过珠穆朗玛峰的南北向剖面示意图 (II—II') (笔者根据图 4 切制)

天山、青藏高原、公格尔山。“山根”说认为低地地壳较薄。这一点在中国也得到验证，如准噶尔和塔里木两盆地下面的地壳相对较薄。

(2) 可以认为霍姆斯1965年编制的世界范围综合地壳剖面图的亚洲一段(图3)不够准确，有以下五点应加订正。至于他的另外两条剖面，留待另文讨论。

1. 霍姆斯推断世界最深的山根，在帕米尔高原的下面，这一点与我们所了解的数据一致。但是确实深度应按照施密特测得的75公里订正^[19]。

2. 亚洲一段的地壳西厚东薄，近似楔形。东缘地壳厚度，约为西部的1/2，并非如他绘制的水平状态。从文字描述中知道，‘亚洲一段图形，是在没有地震纵波数据的情况下推断的。这在60年代中叶是可以允许的。但我们的关于地壳厚度是根据重力数据计算

的。目前既已有重力数据图件(图4)，应据此订正。

3. 亚洲一段中国境内是有山根的，但其形状呈平缓起伏状(图5,6)而绝非如霍姆斯推断的“牙齿”状。他推断塔里木盆地下面地壳厚约40公里，这个数据与我们的相近。

4. 亚洲一段中国部分地壳情况，国内同行已有图件加以描述(1978, 1)^[1]，稍后郭文魁在《中国地质演变情况》^[19]一文中就曾写道：“中国现在的地势是西高东低，而在西部又以青藏高原为最高，特别是喜马拉雅形成世界屋脊。以地球物理方法测定的我国地壳厚度为西厚东薄，在西部尤以青藏高原为最，这可

1) 中国地质科学院地质矿产所大地构造组 1978, 1:
《中国大地构造轮廓》地质矿产研究第7页图3。

能是由于岩石密度不同而均衡调节的结果。山越高根越深，”这一精辟论述是可以订正霍姆斯的叙述的。

5. 我国境内地壳最厚地段在青藏高原下面，并不在帕米尔高原的下面。

三、喜马拉雅山下面有无山根？以及各家论点

如前所述，大多数学者提出的数据都表明“山根”说在全世界绝大部分地区得到验证。霍姆斯指出：北美的科罗拉多高原和南美的安第斯山是仅有的两座没有山根的高原和山岭。这两处例外，将另文探讨。本文仅对大多数学者已经注意到喜马拉雅山这世界最高的山下面似乎并没有“山根”这一现象，作一合理解释。

喜马拉雅山顶峰珠穆朗玛，高8848米，它下面地壳的厚度是多少，各家说法不一。本文选用几家数据，供参考，如表2。根据我们的数据，可以认为喜马拉雅山下面地壳的厚度不超过68公里，正处在地壳从南边印度地盾较薄地壳向青藏高原较厚地壳迅速转变的斜坡上。这里地表之下，没有一个深的“山根”与地表以上高耸的喜马拉雅主峰珠穆朗玛峰相对应，这与世界其它地区的情形不同。现象如此，如何解释？据现有资料可分为两派，提出两种假说。

表2 喜马拉雅山地壳厚度

推断人	提出年代	厚度(公里)
恰克拉巴太	1954	60—75 ^[20]
达塔	1962	60—75 ^[21]
霍姆斯	1965	60 ^[15]
加普塔	1967	60—75 ^[22]
坦顿	1967	60—70 ^[23]
乔德哈里等人	1975	70—75 ^[24]
阿里耶夫	1976	65—70 ^[12]
我国	1980	45—68 ^[25]

喜马拉雅山没有达到平衡说。这可以说是多数人的解释。此说以纠拉特(B. L. Qulattee)和科诺(M. Kono)为代表。纠拉特在《印度的均衡作用》^[26]一文中指出，喜马拉雅山没有达到平衡，也就是说，根据杜顿均衡说原理，高耸的喜马拉雅山还没有来得及自行调整，产出深入地表以下的“山根”。此外，日人科诺的《东泊米尔的重力异常和喜马拉雅地壳构造的关联》^[27]一文，也持此论点。

国内学者大多也是如此看法的¹⁾，如唐伯雄等人在《喜马拉雅山脉中部地区的均衡重力异常》^[28]一文中写道：“本文采用艾里-海斯卡宁的均衡假说，计算喜马拉雅山脉中部地区的均衡重力异常……从图中可以清楚地看出：喜马拉雅山区域是正正常区域，在

珠穆朗玛峰附近存在着120毫伽的正均衡异常，因此得出了喜马拉雅山地区地壳不均衡的结论。指出：产生正的均衡重力异常，可能是由于喜马拉雅缺乏山根所致。”

喜马拉雅山已达平衡说。持此论点的学者较少，以奎勒夏(M. N. Qureshy)和丘格(R. S. Chugh)等人为代表。奎勒夏在其《玄武岩层的加厚，可能是喜马拉雅山上升的原因——在重力基础上的建议》^[29]一文中，根据自由空气布伽重力异常和印度次大陆喜马拉雅以及印度恒河盆地高度的关系，推断印度已达平衡。并从印度次大陆地盾加雅附近延向喜马拉雅主峰珠穆朗玛峰25公里处的剖面，得出喜马拉雅山下面地壳厚81公里。他说，这81公里地壳的加厚是由50公里的玄武岩层引起的。他还说，喜马拉雅块段是印度地盾活动的一部分。从而推断喜马拉雅山的上升与此50公里厚的玄武岩层有关。并引用20世纪初福默(L. I. Fermor)的超深成壳(infra-plutonic shell)来解释喜马拉雅山的上升。

丘格(R. S. Chugh)和巴塔查吉(J. C. Bhattacharji)的研究。他们合著的《喜马拉雅均衡性的研究》^[30]一文，根据海弗德(Hayford)异常结合补偿的大地水准面，认为喜马拉雅已达平衡。还推算出喜马拉雅下面地壳厚度为47公里。

本文同意喜马拉雅山没达到平衡的论点。根据国内外学者的研究，绝大多数人同意喜马拉雅山是印度板块向北漂移与欧亚板块碰撞的产物²⁾。根据一些学者的论证，知道印度板块每年还以不超过5.5厘米/年的速率向北漂移^[32]。国内外甘塞尔A(Caussar, A.)^[33]、海米特(J. Hamet)^[34]和刘东升^[35]等研究推断喜马拉雅山正以10厘米/年的速率上升。可是按杜顿为解释山根假说而创立的均衡假说，所指的平衡则是稳定不动，至少是相对稳定。从这一均衡说看，喜马拉雅山仍以10厘米/年的速度上升，显然不能认为它是达到平衡的。根据这最新资料，奎勒夏所作达到平衡的推论是不能成立的。另外，他用福默的所谓超深成壳的说法来解释喜马拉雅的上升现象也有值得研究的地方。因为福默在《地壳均衡和地震火山作用与地球超深成壳的关系》^[36]一文中，确曾提出“超深成壳”这一术语。按福默当时下的定义，所谓

- 1) 曾融生，1972，《莫霍界面的重力补偿和地壳结构的基本模式。
- 2) 也有个别学者，如匈牙利构造学家鲍尔兹萨尔^[31](T. Boldizsar)，就不同意喜马拉雅山是板块碰撞的产物。他认为青藏高原及其他阿尔卑斯型山脉是厚地壳均衡调整的结果。

“超深成壳”是：“在地壳相当深的地方有一高度石榴石化的岩石壳”。这定义所说“相当深”究竟有多深？所谓“高度”石榴石化，究竟又有多高？都没有确定的量。可见这个“超深成壳”的定义是不够明确的。此外，奎勒夏又把它等同于“低速带”（即软流圈asthenosphere）。按低速带最早是贝瑞尔（J. Barrell）1914年在其《地壳的增度》^[37]一文提出这一术语的。他把这一个壳的位置限定于坚固的岩石圈下面。从今天对软流圈的认识来看，这个低速带，已不在地壳之内，而是位于上地幔的上部。而当年福默的超深成壳是在地壳里面的。奎勒夏根据福默的一个定义不明确的“超深成壳”来推断喜马拉雅山下地壳厚81公里，显然不可信。因此，本文在关于地壳厚度假说对比表里，没有引用奎勒夏的数据。国内腾吉文等通过人工爆炸取得的爆炸数据，计算出喜马拉雅东段亚东地带地壳厚45-68公里^[25]，可以认为这个数据是可靠的，也是最新的数据。

至于丘格推断的喜马拉雅山下面地壳厚47公里的数据，包括在腾吉文数据范围之内，是可以承认的，但是丘格认为喜马拉雅山已达到平衡的推断却难于成立。因为，如前所述，喜马拉雅山逐年上升，尽管上升率微小，但表明没有达到平衡。还有，喜马拉雅既是世界第一高峰，若达到平衡，其地表下也应有较厚的地壳——“山根”，这“山根”也应该是世界最深的山根。可是丘格推断的喜马拉雅山下面地壳厚度仅47公里，却又认为喜马拉雅山已达到平衡，这是不可理解的，也与艾里提出的“山根”说不符，因此，丘格的论点难于成立。

喜马拉雅山脉的形成有其独特的地质环境。

如前所述，喜马拉雅山是印度板块和欧亚板块碰撞的结果。徐仁从舌羊齿等古植物生态推算出喜马拉雅山自晚上新世以来已上升3400米^[38]，现仍继续上升。这一现象，如何解释？有以下几种推断。

印度板块的俯冲。国外多数人认为印度板块向欧亚板块下面以低角向下俯冲。以瓦尔西等人（W. E. K. Warsi and Peter Molnar）为代表。他们在《喜马拉雅山的构造和大地构造》^[39]一文中，指出“……在4000万到5000万年前，印度板块与欧亚大陆相碰撞，……此后印度板块以50毫米/年的速度，且以低角度向欧亚板块的下面俯冲，实际是印度岩石圈的向下弯曲”。国内外同行也有类似看法¹⁾。他们认为，……喜马拉雅山的不断上升，肯定受到一种上升力的作用，这种力的方向和均衡调整力相反，数值更大，我们称之为“支撑力”，这个“支撑力”可以用印度板块与欧亚板块的碰撞来解释。……”换句话说，就是

喜马拉雅山的没有达到平衡是俯冲的印度板块继续拱抬的结果，阻止按重力平衡原理，自行调整产生山根。陈福明也有类似的看法^[40]。

印度板块的仰冲。近年来国内外学者根据地震震源面向南倾斜的现象，提出印度板块向北漂移，仰冲到欧亚板块之上^[41]。也有人认为，主要是印度板块向欧亚板块俯冲，在消减过程中，一部分洋壳物质发生仰冲侵位^[42]。还有人根据中源地震，推断喜马拉雅山地带的南北两侧相同俯冲，构成“V”字形展布^[43]。

无论俯冲，还是仰冲，都不影响对喜马拉雅山不均衡状态的解释。从地震震源面向南倾斜，和雅鲁藏布江缝合线超基性岩体向南倾斜的产状现象，似可认为印度板块向北仰冲的解释更合理些。

总之，可以认为“山根”说在我国是得到证实的。世界第一高峰喜马拉雅下面所以没见到相应的山根，是独特地质环境的产物。喜马拉雅山在碰撞以前，还不是山，而是碰撞成山，成山之后还在逐年上升，阻止其按均衡原理自行调整、产出山根和达到平衡，也可以说喜马拉雅的山根，不够完全。假若把喜马拉雅山和青藏高原作为一个整体来看，那也可以说中国既有世界最高的山峰，又有最深的山根。因此，从国内有山就有根的绝大多数实例看，“山根”说在我国是得到证实的。

本文图4虽然只用重力数据探讨“山根”说，与国外用多种方法验证，颇感不足。幸好重力方法是比较可靠的方法，早经古登堡确证（1959）。不过今后还应用另外手段做进一步工作。

本文承郭文魁先生审阅并提出宝贵意见，谨此致谢。

参考文献

- [1] Holsms, Arthur, 1965, Principles of Physical Geology, New and rev. ed. New York, Nelson, p. 29.
- [2] Airy, George Biddell, 1855, On the computation of the effect of the attraction of mountain masses disturbing the apparent astronomical latitude of stations in geodetic surveys. Phil. Trans. Roy. Soc. (London) 145, pp. 101-104.
- [3] Pratt, John Henry, 1855, On the attraction of the Himalayan mountains and of elevated regions beyond upon the plumb line in India. Phil. Trans. Roy. Soc., London, 145, pp. 53-

1) 周桃秀、程振炎（物探所），1979，《喜马拉雅山重力资料的初步分析》。

- 100.
- [4] Dutton, C. E., 1892, On some of the greater Problems of physical geology, Bull. Phil. Soc. Wash. 9, 51—64; Reprinted in “Physics of the Earth”, Vol. 2, Natl. Research Council(1931), No. 78, pp. 201—211.
- [5] Tams, E., 1921, Ueber Fortpflanzungsgeschwindigkeit der seismischen Oberflächenwellen Längs Kontinentaler und ozeanischer Wege. Zentr. Mineral. Geol. Palaontol. pp. 44—52, 75—83.
- [6] Washington, H. S., 1922, Isostasy and rock density, Bull. Geol. Soc. Am. 23, pp. 272—410.
- [7] Gutenberg, Beno, 1933, Der physikalische Aufbau der Erde, In “Handbuch der Geophysik” (Gutenberg, B. ed.) Vol. 2, pp. 440—564. Borntraeger, Berlin.
- [8] Byerly, P., 1938, The Sierra Nevada in the light of isostasy, Bull. Geol. Soc. Am. 48, pp. 2025—2031.
- [9] Gutenberg, B., 1934, Seismological evidence for roots of mountains, Bull. Geol. Soc. Am. 54, pp. 473—478.
- [10] Byerly, P., 1956, Subcontinental structure in the light of Seismological evidence, Advances in Geophys. 3, pp. 106—152.
- [11] Riznichenko, Y. V., 1957, On the study of the structure of the earth's crust during the third IGY. Bull. Acad. U. S. S. R. Geophys. Ser. 2, pp. 1—14.
- [12] Aliev, S. A. et al., 1976, The seismic experiment in the northern Pamirs, Geodynamics. p. 130, Am. Geophysical Union, Washington, D. C. edited by Charles L. Drake.
- [13] Шмидт, О. Ю., 1977, Земная кора и верхняя мантия средней Азии из науки.
- [14] Caloi, P., 1958, The crust of the earth, from the Apennines to the Atlantic, reconstructed in accordance with the data supplied by seismic surveys. Z. Geophys. 24, pp. 65—95.
- [15] Holmes, A., 1965, Principles of Physical Geology, New and Fully rev. ed. New York, Nelson. p. 928.
- [16] Tatel, H. F. & M. A. Tuve, 1958, Carnegie Seismic Expedition to the Andes. 1957. (Abstract) Trans. Am. Geophys. Union 39, pp. 533—534.
- [17] Bucher, W. H. 1957, “The Deformation of the earth's crust” Reprinted (1933, Princeton Univ. Press). Hafner, New York.
- [18] Ringwood, A. E., 1975, Composition and Petrology of the Earth's Mantle, p. 5. McGraw-Hill Book Company, New York.
- [19] Kono W. K., 1978, General Aspects of the Geological Evolution in China, Third regional conference on geology and mineral resources of southeast Asia, Bangkok, Thailand, pp. 867—871.
- [20] Charkrabarty, S. K., 1954, Geophysical analysis of the earth's crust, Poc. Indian. Soc. Congr., 41st Hyderabad, pp. 15—26.
- [21] Datta, A. N., 1962, An estimate of the ‘Roots’ of the Himalayas from seismological evidence Bull. Natl. Inst. Sci. India 22, pp. 32—41.
- [22] Gupta, H. K., and H. Narain, 1967, Crustal structure in the Himalayan and Tibet plateau region from surface wave dispersion. Bull. Seismol. Soc. Am., 57(2): pp. 235—248.
- [23] Tandon, A. N., 1967, Seismological studies of the Earth's Crust and the Upper Mantle. Upper Mantle Symposium, Hyderabad. India, pp. 57—69.
- [24] Choudhury, S. K., 1975, Gravity and crustal thickness in the Indo-Gangetic plains and Himalayan region. India, Geoph. J. Roy. Astr. Soc. 40, p. 441—452.
- [25] 腾吉文等, 1980, 西藏高原当雄—亚东地带地壳结构和速度分布的爆炸地震研究。青藏高原科学讨论会论文集第61页, 中国科学院青藏高原科学讨论会组织委员会印, 北京。(印刷单位, 下同)
- [26] Gulattee, B. L., 1958, Isostasy in India, Bull. Natl. Inst. Sc. of India, II. pp. 6—10.
- [27] Kono, M., 1974, Gravity anomalies in east Nepal and their implications to the crustal structure of the Himalayas. Geophys. Jour. Roy. Astr. Soc., 39, pp. 283—299.
- [28] 唐伯雄等人, 1980, 喜马拉雅山脉中部地区的均衡重力异常, 青藏高原科学讨论会论文集第60页,
- [29] Qureshy, M. N., 1969, Thickening of A basalt layer as a possible cause for the uplift of the Himalayas—A suggestion based on gravity data. Tectonophysics—Elsevier Publishing Company, Amsterdam Printed in the Netherlands Vol. 7, No. 2, Feb.
- [30] Chugh, R. S. & J. C. Bhattacharji, 1974, Study of Isostasy in the Himalayan. Himalayan Geology Vol. 4, 1974, p. 454.
- [31] Boldizar, T. 1980, Tectonics of Chinhaï (Tibet)

- Beijing, China, p. 68.
- [32] 朱志文等人, 1980, 西藏高原古地磁研究和大陆漂移。青藏高原科学讨论会论文集第75页。
- [33] Gansser, A., 1966, *Eclogae Gel. Helv.*, 59, pp. 831—848.
- [34] Hamet, J. & C. J. Allegre, 1976, Rb-Sr systematics in Granite from Central Nepal (Manaslu) Significance of the Oligocene age and high $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio in Himalayan orogeny, *Geology*, 4, pp. 470—472.
- [35] 刘东升: 1980开幕词《对青藏高原科学考察的回顾和展望》。青藏高原科学讨论会
- [36] Forman, L. L., 1914, The relationship of isostasy, earth quakes and vulcanicity to the earth's infra-plutonic shell. *Geol. Mag.* 51, pp. 65—67.
- [37] Barrell, J., 1914, The strength of the earth's crust. *J. Geol.* 22, p. 659.
- [38] Hsü, J., 1978, On the Paleobotanical evidence for continental drift and the Himalayan uplift, *The Palaeobotanist*, Vol. 25, pp. 131—145.
- [39] Warsi, W. E. K. & Molnar, Peter, 1976, *Eclogue et Geologie De L'Himalaya*, Colloques internationaux du C. N. R. S. No. 268, p. 464.
- [40] 陈福明 1980 从冈底斯岩杂岩带的地质地球化学特征试论印度-欧亚板块的碰撞。青藏高原科学讨论会论文集第37页
- [41] 环文林等 1980 青藏高原震源分布与板块构造, 青藏高原科学讨论会论文集第58页
- [42] 邓万明等 1980 雅鲁藏布蛇绿岩带的层序形成和就位。青藏高原科学讨论会论文集第39页。
- [43] 滕吉文等 1980 青藏高原及其邻近地区的地球物理场特征与大陆板块构造。青藏高原科学讨论会论文集第57页