第 18 卷　第 3 期
1996 年 8 月　(319～325)

地　震　学　报
ACTA SEISMOLOGICA SINICA

Vol. 18, No. 3
Aug., 1996

长江三峡地区沉积层与基底层细结构*

胡鸿翔　　边银菊　　高世玉

(中国北京 100081 国家地震局地球物理研究所)

摘要　叙述长江三峡地区四条地震测深剖面沉积层与基底层速度细结构的研究结果. 测区西部的鄂西丘陵地区沉积盖层速度较大，总厚度为 0～3 km，但在秭归盆地南侧与沮水河谷沉积层厚度加大，分别为 5.0 与 4.0 km. 测区东部的江汉平原区沉积盖层巨厚，达 5～8 km. 速度明显偏小. 基底面速度在整区达 6 km/s 以上. 在沉积层内部还可细分一层面，在江汉平原区深度达 3～4 km，而在其它地区接近地表. 剖面多处为断裂所切割，断裂所经之处不仅速度等值线变化剧烈，且速度值也明显偏低.

基底层以速度高并梯度小著称，层内存在三处高速异常区，分别位于黄陵背斜的西、南和东侧. 它们是地壳深处玄武岩类高速物质上涌产物，估计这过程发生于黄陵背斜形成之前. 由于其活动，造就或影响了基底面剧烈深度变化，以及相应断裂的发育与活动.

主题词　**速度结构**　**断裂带**　高速异常区　长江三峡地区　沉积层　基底层

引言

为配合三峡地区大规模水利电力建设，1988 年该地区进行了人工地震测深的野外施工工作，该项目属长江三峡重大科技课题，野外观测资料的初步分析处理结果见陈学波等(1994)工作，其结果揭示了该地区深部构造背景和基底断裂构造状况. 对于反映浅层速度结构的初至波而言，原先的解释工作只考虑分块均匀速度模型，而未考虑梯度层模型，因而得不出结晶基底内部速度变化数据，也无法获得沉积层内速度分布状况，所得信息量也有限. 本研究根据这种状况，应用改进的射线追踪方法与廻折波法，对梯度层模型进行细处理，研究结果不仅取得了丰富的信息量，而且也大大提高结果的精度.

本文阐述长江三峡地区 4 条纵测线初至震相的分析处理及其结果. 这里假定地震射线都在通过测线的竖直剖面内传播，不考虑由于介质横向不均匀影响造成的射线侧向传播问题.

1　测区地质构造背景与测线分布

四条纵测线位于三峡工程区及其外围地区，属扬子准地台区. 鄂西地区丘陵起伏、地形复杂，分布有从元古代至中生代的各种地层，而其东部的江汉平原却一马平川，为新生

* 地震科学联合基金资助课题(93084 号). 国家地震局地球物理研究所论著 96A0071.
1994-12-26 收到初稿，1995-08-22 收到修改稿，1995-11-14 决定采用.

http://www.dizhenxb.org.cn

代沉积所覆盖. 其中的Ⅰ号主测线为东西走向，从川东的奉节至湖北沙市附近的观音挡，全长约 290 km,其西段的测线沿长江展布，测线上共设 6 个炮点：奉节、西湘口、香溪、小溪塔、袁码头与观音挡. 该测线起始于四川台坳的川东陷褶束，向东经湖北上扬子台坪的秭归台褶束、黄陵背斜(黄陵断穹)，终止于两湖断拗的江陵凹陷. 穿过的较大断裂有新华断裂、仙女山断裂、通城河断裂等；Ⅱ号测线在主测线南侧，全长约 150 km，其上共布有 4 个炮点：南潭河、资丘、沿市口与袁码头. 该测线跨越两个地质构造单元：上扬子台坪的长阳台褶束与两湖断拗的江陵凹陷，穿过的重要断裂有新华断裂、仙女山断裂与天阳坪-监利断裂等；Ⅲ号测线呈北北东方向，并穿越前两条测线，其总长约 130 km，设置的炮点有：五峰、资丘、香溪与古夫. 该测线跨 3 个地质构造单元：长阳台褶束、恩施台褶束与黄陵背斜之西部，穿过仙女山断裂与新华断裂等，整条测线都位于上扬子台坪范围内；Ⅳ号测线走向北东，其上只有沿市口与远安两个炮点，也穿越了Ⅰ和Ⅱ号两测线. 该测线总长约 150 km，起始于长阳台褶束，向北擦边经过江陵凹陷而进入黄陵背斜，北边一小段经沮水河谷进入远安台褶束. 穿过的主要断裂有天阳坪-监利断裂、雾渡河断裂、通城河断裂与远安断裂等. 所有测线位置与测区地质构造背景都示于图 1 上.

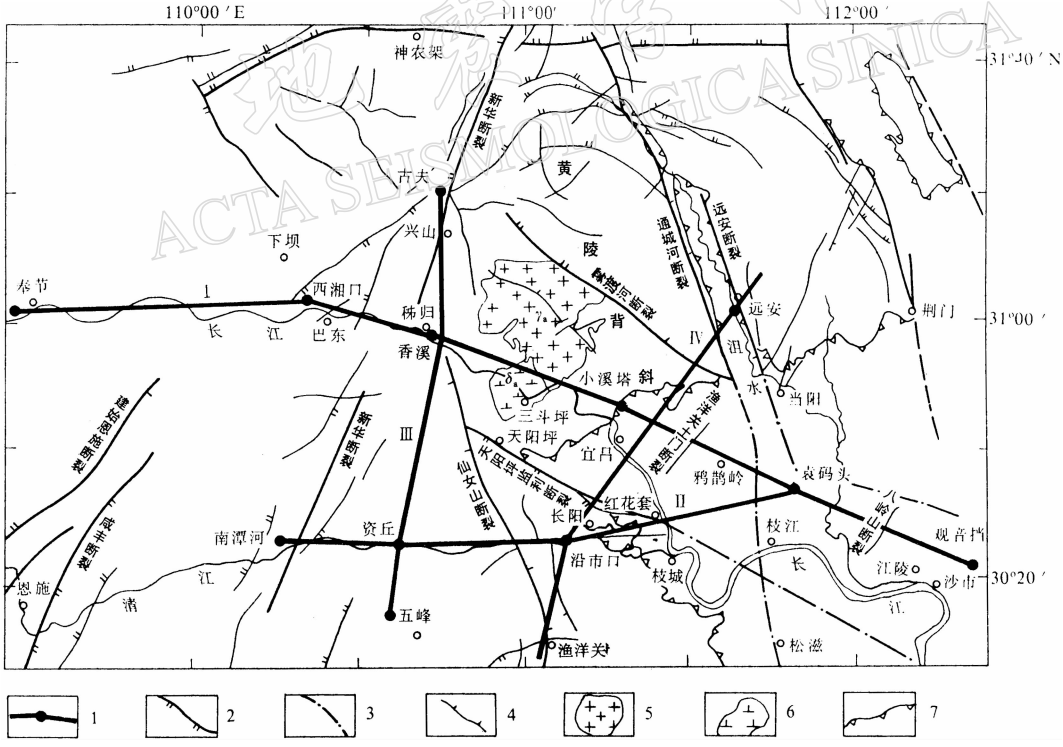

图 1 测线位置与测区地质构造背景(湖北省地质矿产局，1990)

1. 测线与炮点；2. 主要断裂；3. 隐伏或推测断裂；4. 一般断裂；

5. 酸性花岗岩类；6. 中性闪长岩类；7. 构造层与陆相拗陷界限

测区的中心部位为黄陵背斜，背斜轴向北北东,其两翼不对称，东翼平缓，西翼较陡峭. 背斜中心部位出露大片扬子期酸性与中性侵入岩类，三峡坝区三斗坪即位于该背斜之南部，也即香溪与小溪塔两炮点之中间位置.

http://www.dizhenxb.org.cn

2　资料处理方法

除了Ⅳ号测线的南北二端外，测线上所有炮点的初至走时数据都构成了较为完整的相遇相逐系统. 初至波读取的距离范围为 0～100 km，在近距离处该震相性质为沉积层内强梯度廻折波，稍远即转为基底层内弱梯度廻折波. 本区特点为基底层内速度很大，而其梯度值又偏小，因而 Pg 廻折波偏弱，且衰减迅速，有关原始初至数据情况示于表 1. 根据读取数据，用 Pavlenkova(1973)方法与差异时距曲线法构制了各测线的浅层速度初始模型，接着用改进的 SEIS-81 程序对该原始速度模型做仔细的射线追踪计算处理，每个观测点都对应一条理论射线. 为了提供较精确的计算结果，要求理论射线的终止点与实际观测点间的距离误差不超过 0.1 km，而走时的差距对于 75% 以上的测点不能超过 0.03 s. 从而获得沉积层与结晶基底面以下的速度细结构. 结合地区的地质构造特点作出深度 10 km 范围内的地质上的推测与解释.

表 1　各炮点初至震相情况

剖面号	炮点名	方向	初至震相测点数	炮检距范围/km
Ⅰ	奉　节	东	16	8.15～101.92
	西湘口	西	13	1.81～65.69
	西湘口	东	22	1.92～88.53
	香　溪	西	24	6.57～98.53
	香　溪	东	24	4.64～78.60
	小溪塔	西	37	2.72～102.69
	小溪塔	东	20	2.50～62.75
	袁码头	西	30	0.84～92.72
	袁码头	东	15	1.89～55.70
	观音挡	西	4	1.57～8.85
Ⅱ	南潭河	东	21	5.27～72.86
	资　丘	西	12	1.40～31.93
	资　丘	东	16	3.15～63.45
	沿市口	西	23	3.78～83.36
	沿市口	东	19	3.65～62.51
	袁码头	西	22	2.78～94.64
Ⅲ	五　峰	北	9	5.44～73.76
	资　丘	南	4	3.71～22.49
	资　丘	北	9	5.84～79.39
	香　溪	南	8	3.12～66.40
	香　溪	北	6	8.56～42.59
	古　夫	南	17	1.99～58.78
Ⅳ	沿市口	南	17	2.24～35.09
	沿市口	北	18	6.70～101.10
	远　安	南	17	1.23～71.99
	远　安	北	11	2.23～26.27

必须说明的是，本文所述的基底面实际上是 6 km/s 的等速度面，它只能是大体接近于地质意义的基底面. 对于后者其深度要比 6 km/s 的等速面更大些. 因为先前的工作表明(陈学波等，1994)，在全区 Pg 波的界面速度为 6.10～6.45 km/s，在炮检距 40 km 以远它才成为初至，因此它所对应的界面显然应深于该等速面，但在 6 km/s 等速面以下的等速线

地震学报 ACTA SEISMOLOGICA SINICA

分布图上(图 2)看不到该基底面的反映，无法勾划出其确切位置. 因此，本文所述的基底面不含地质上的意义.

3 计算处理结果

射线追踪处理的 4 条速度剖面图以速度等值线的分布来表示，其结果示于图 2 上. 同图上还示出其地质解释结果.

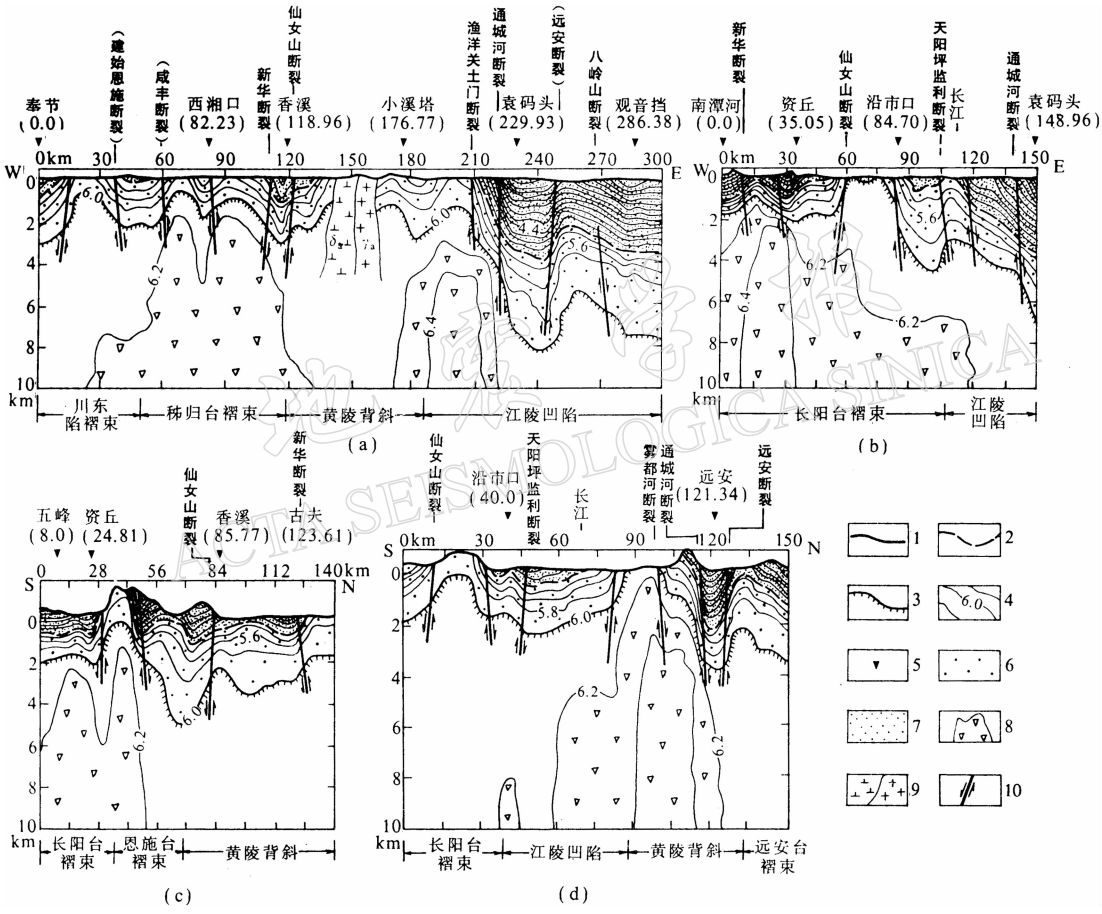

图 2 四条剖面的结晶基底与沉积盖层的速度结构

(a) 奉节—观音挡；(b) 南潭河—袁码头；(c) 五峰—古夫；(d) 沿市口—远安

1. 地形，2. $v=5.2$ km/s 速度等值线，3. $v=6.$ km/s 等值线(大体的结晶基底面)

4. 速度等值线，5. 炮点名称及位置，6. 下古生代沉积，7. 上古生代—新生代沉积，

8. 基底层内高速区，9. 扬子旋回中性闪长岩类或花岗岩类，10. 断裂及其错动方向

从图 2 上可以看到，剖面上下速度等值线的密度差别很大，基底层以速度大并梯度小为其特点，而沉积层内正相反，它们的分界大体在 $v=6$ km/s 等值线上，因而此线大体表示了基底面的位置，它相当于元古代地层. 实际上基底面本身也存在界面速度横向变化；其次，在沉积层内部等值线密度上下也有明显变化，其分界大体在 $v=5.2$ km/s 位置，下部为下古生代以前地层，属加里东旋回；上部为上古生代以后的地层，属印支—华力西旋

http://www.dizhenxb.org.cn

回与喜马拉雅—燕山旋回. 图上的沉积凹陷区与盆地表示较清楚，例如秭归盆地、沮水河谷、江陵凹陷等，这里等值线密集成凹弧状. 而等值线较陡峭变化部位往往对应于断裂位置，其错动情况一目了然 并且根据幅度可大体估计断裂的错距. 根据这样的理解与判断，将四条测线的分析解释结果分述如下.

3.1　Ⅰ号剖面

基底面在测线中央的黄陵背斜处出露地表，在西侧秭归盆地处稍深，其地表为侏罗纪沉积物，两侧有新华断裂与仙女山断裂通过，前者为逆断层，后者为正断层. 黄陵背斜区出露古生代与中生代沉积，中央并有扬子期酸中性侵入岩活动. 测线东段在穿过渔洋关—土门断裂与通城河断裂后，基底面急剧加深至 7～8 km，这里为江陵凹陷区，5.2 km/s 的等值线深度达 3～4 km，地表大多是第四纪沉积，局部地区为第三纪沉积物. 在凹陷区内推测存在隐伏断裂，为远安断裂与八岭山断裂，都属正断层，凹陷区内下古生代地层厚达 4 km. 剖面西段的秭归台褶束至川东陷褶束一带，基底面变化不大，所切割的几条断裂规模都小，这里很可能存在建始—恩施断裂与咸丰断裂的影响，地表以中生代沉积为主. 下古生代地层多处出露. 该剖面上引人注目的特点为，在基底面以下的黄陵背斜的东西两侧都存在高速异常区，速度值在 6.2 km/s 以上，在基底面急剧变化部位甚至在 6.4 km/s 以上，这种现象在其它剖面上也能见到.

3.2　Ⅱ号剖面

在剖面西段的长阳台褶束内，基底面深度较小，但在沿市口炮点的东西二边变化剧烈，从西侧接近地表的深度急剧加深到东侧 4 km 以上，这里存在断裂作用. 由此往东过了天阳坪—监利断裂后，测线进入江陵凹陷区，基底面逐渐加深到 6～7 km，5.2 km/s 的等值线也逐渐加深至 3 km，天阳坪—监利断裂呈东盘向上仰冲的逆断裂性质. 凹陷区内估计存在二处断裂影响，其中一处为袁码头炮点附近的通城河断裂，为正断层性质. 在测线西段，基底面深度在 2 km 以内，其中新华断裂与仙女山断裂反映较显著，后者为正断层，资丘炮点西侧估计存在另一断裂影响. 由于这段测线沿清江展布，5.2 km/s 的等值线深度稍大些. 长阳台褶束的地层大多为下中生代至古生代沉积，沿市口附近出露寒武纪古老地层. 在Ⅱ号测线的南潭河至沿市口的广大地区，基底面以下也存在 6.2 km/s 以上的高速异常区，尤其在南潭河与资丘之间，速度可高达 6.4 km/s 以上.

3.3　Ⅲ号剖面

剖面南段位于长阳台褶束与恩施台褶束内，基底面深度在 2 km 以内. 在此两构造单元交界处存在断裂影响，因在资丘炮点北侧，基底面以及 5.2 km/s 速度线都显著上隆. 整条测线上大片地区为下中生代至古生代地层，香溪附近却出露大片侏罗纪沉积. 剖面的北段位于黄陵背斜西部，基底面开始加深，在香溪的南侧，也即秭归盆地以南，形成一小凹陷，深度达 4～5 km，然后向北又逐渐抬升. 凹陷处沉积较厚，下古生代地层的厚度可达 4 km. 在香溪与古夫附近界面抬升较为剧烈，这两处正好是仙女山断裂与新华断裂穿过的位置，二者都是北盘抬升类型，但新华断裂却具逆断层性质. 由于该断裂与测线交角小，因此剖面图上表现不太明显. 古夫附近以古生代地层为主. 在此剖面的南端，基底面以下也出现速度在 6.2 km/s 以上的高速异常区，估计它与在Ⅱ号测线西段上出现的高速异常区是同一实体，其最小深度仅 2 km 左右.

地震学报 ACTA SEISMOLOGICA SINICA

3.4 Ⅳ号剖面

该剖面为北东方向. 其南段在沿市口以南位于长阳台褶束内，这里基底面上隆接近地表，其南北两侧都有断裂影响，南侧为北盘抬升的仙女山正断裂. 地表以古生代地层为主. 由此往北剖面经过江陵凹陷的边缘地区，基底面下陷至 2 km 左右，沿市口北侧下陷较剧烈，这里天阳坪—监利断裂穿过，断裂呈南盘抬升逆断层性质. 长江从宜昌附近流过，这里广大地区地表为白垩纪沉积. 由宜昌再向北，基底面又急剧上隆至地表附近，估计此处存在断裂作用，这里测线进入黄陵背斜区. 隆起区北侧为雾渡河断裂，由此开始基底面又急剧下沉，到远安附近达最深点. 远安地处沮水河谷，后者实际上是一地堑结构，其西南侧为通城河断裂，东北侧为远安断裂，二者都具正断层性质. 在此地堑区速度等值线密集并变化剧烈，表明这里经历过较大规模构造运动. 5.2 km/s 的等值线也呈基底面的形态，过了远安断裂，剖面进入了远安台褶束，基底面又开始缓缓下沉. 沮水河谷为白垩纪至第四纪沉积带，在其西侧为下中生代至上古生代地层，东侧却是三叠纪沉积.

在宜昌与远安间的基底面上隆处，基底面以下的高速异常区也十分显著，速度可高达 6.4 km/s以上. 这一异常区与Ⅰ号测线东段的异常区为同一实体.

从图 2 还可看到，每个构造图上除了有名的断裂外，还有若干无名的从速度等值线推测的断裂，其真实性还有待探讨与证实.

4 问题讨论

(1) 以上四条剖面上在基底层内都发现高速异常区，其平面上在深度 6 km 的大体分布示于图 3.

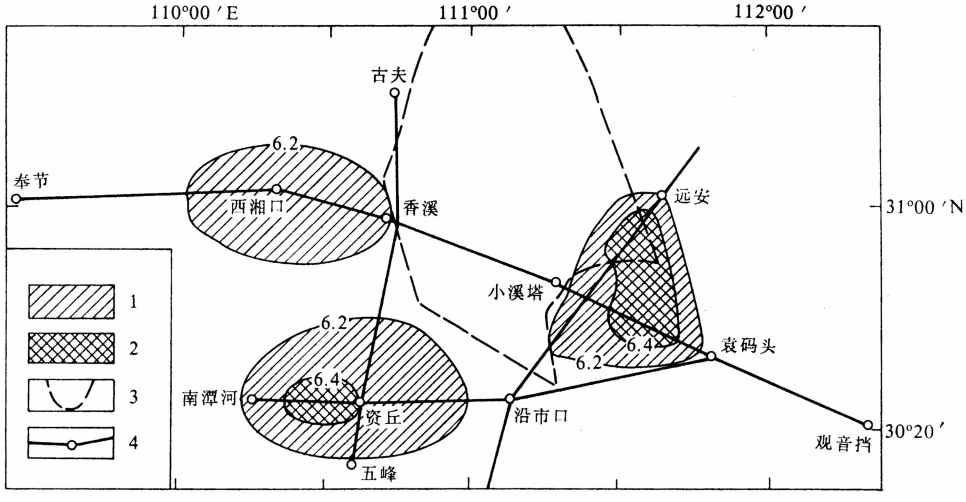

图 3 深度 6 km 处的高速异常体的平面分布

1. 速度 6.2 km/s 以上区；2. 速度 6.4 km/s 以上区；3. 黄陵背斜的边界；4. 测线与炮点

从图 3 看，这样的高速异常区共三块，分别分布于黄陵背斜的西侧、南侧与东侧地区，即分别位于姊归台褶束、长阳台褶束以及江陵凹陷与黄陵背斜交界的区域内，其中南侧与东侧的两块分别含有 $v>6.4$ km/s 的更高速区.

http://www.dizhenxb.org.cn

估计高速体是由地壳深部物质上涌形成的，推测是玄武岩类物体．鄂西的这些地区地表多是下中生代至古生代地层，这些玄武岩类的岩浆活动也多是古老地质年代构造运动的产物，而到了近代该地区已处稳定状态；其次，这三块高速体都位于黄陵背斜的外侧，因此黄陵背斜的上隆与高速体的上涌无关，可能是高速体完成上涌后，由于其它因素的构造力引发黄陵背斜其后的形成．

（2）姊归盆地南侧基底面凹陷幅度较大，下古生代沉积可厚达 4 km，而 5.2 km/s 的等值线变化却相对不剧烈，其上侧的上古生代至下中生代沉积也不厚(图 2c)．表明该凹陷形成年代久远，主要形成于加里东旋回时期．与之形成对照的是远安附近的沮水河谷与江陵凹陷区，这里 5.2 km/s 的等值线与基底面几乎是成相等剧烈程度的同步变化，其上部上古生代至新生代的沉积也较厚，说明这两处的凹陷形成较晚，可能是印支—华力西旋回的产物．

（3）东侧的高速异常区位于鸦鹊岭一带，此区速度在 6.4 km/s 以上．由于深部玄武岩类岩浆上涌，造成通城河断裂西盘抬升，东盘显著下沉．这里基底面显著向东下倾，因此，高速物质的上拱，不仅形成了南北走向的通城河断裂，还造就了此处基底面的剧烈深度变化与地形起伏．因此，该高速体在本区构造活动中起重要作用．

（4）西侧的高速异常区位于巴东一带．此区速度较小，但更接近基底面，它造成秭归台褶束的隆起．在其东侧形成西盘抬升的新华断裂，在东侧它可能还影响到咸丰断裂或建始—恩施断裂的活动．类似情况也存在于以资丘为中心的南侧高速异常区，其上涌活动造就或影响了东侧的新华断裂．

地震学报 ACTA SEISMOLOGICA SINICA

参　考　文　献

陈学波，等，1994．长江三峡工程坝区及外围深部构造特征研究．北京：地震出版社．1～138

湖北省地质矿产局，1990．湖北省区域地质志．中华人民共和国地质矿产部地质专报，区域地质，第 20 号．北京：地质出版社．548～604

Pavlenkova N I，1973．Interpretation of refracted waves by the reduced traveltime curve method．*Physics of the Solid Earth*，**8**：544～550