

文章编号: 1009-3850(2003)04-0001-08

青藏高原东部及周边现时地壳运动

刘宇平¹, 陈智梁¹, 唐文清¹, 赵济湘¹, 张选阳¹, 张清志¹

Robert W. King², Burrcl C. Burchfiel², Leigh H. Royden²

(1. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082; 2. 麻省理工学院, 美国 麻萨诸塞 坎布里奇 02139)

摘要: 通过 1991—2001 年期间在青藏高原东部及周边地区的 GPS 测量, 获得该地区不同参考框架下的地壳运动速度场, 其测量的速度精度高于 2mm/yr。印度板块与华北地块之间的地壳形变分为喜马拉雅及高原南部、高原中部(拉萨—格尔木)和高原北部(格尔木—金塔)三部分, 它们分别吸收了印度板块与欧亚板块汇聚速率的43%、24%和32%。在欧亚框架下和相对于成都, 印度板块和华南地块之间存在着以东喜马拉雅构造结为轴心的顺时针巨型涡旋构造——滇藏涡旋构造, 运动速度分别为26~6mm/yr和24~7mm/yr, 总体上从北东方向转变为南东和南西方向, 有别于青藏高原中部的北东方向。滇藏涡旋和东喜马拉雅构造结的形成与南迦巴瓦-阿萨姆“犄角”的楔入作用有关。

关键词: 青藏高原东部; 速度场; 欧亚参考框架; 地壳形变

中图分类号: P542

文献标识码: A

印度板块与欧亚板块的碰撞汇聚作用形成了青藏高原。经过几十年工作, 已有众多的模式或学说来解释青藏高原的形成和发展^[1~4]。由于缺少现代地壳运动的定量数据, 因而难以对各种学说进行检验和验证。高精度的 GPS 技术对此提供了一种可行而快速的检测方法。近年来, GPS 技术大量应用于监测地壳运动, 获得了一些成果^[5~11]。笔者在文中将报道 1991—2001 年应用 GPS 监测青藏高原东部及周边地区现时地壳运动的结果, 并进行地质解释。

1 GPS 观测工作布署

1991—2001 年约 10 年间, 笔者在四川龙门山、云南、藏东、青海、甘肃等地区先后进行了 GPS 测量工作, 分别建立了龙门山、云南、甘肃-青海及藏东

GPS 网, 共设 42 个测场、2 个基准站(成都和西宁)、156 个测站。结合已有的全球站, 测网涵盖了印度板块、拉萨地块、羌塘地块、川滇地块、柴达木地块和甘青地块等, 构成了青藏高原东部的地壳形变监测网。

2 数据分析处理过程及结果

GPS 测量数据数据分析处理采用 GAMIT/GLOBK (10.0) 软件^[12, 13]按三步进行。

第一步用 GAMIT 软件对每年、每天的 GPS 的观测数据进行解算, 获得测站的坐标、卫星轨道、地球定向参数(EOP)等参数的松驰解。在计算中应用 SOPAC 解算的 IGS(International GPS Service)精密星历和全球站的数据, 并将几个 IGS 站(如 LHAS、KUNM、WUNH、SHAO、XIAN)的观测数据加入区域网站的分析处理中。

收稿日期: 2003-09-16

资助项目: 地矿部“八五”深部项目(85-06-214)、国土资源部“九五”重大基础项目“青藏高原东部现代地壳运动 GPS 监测”(9501101)和美国自然科学基金(EAR 8904096、EAR 9614670 和 INT 9005305)。

第二步用 GLOBK(卡曼滤波)进行多时段综合解算,以获得网平差的结果,进行重复度的计算及评估数据的质量。在进行 GLOBK 综合解算时,把区域站和100多个全球站的数据相组合进行综合处理。

第三步参考框架的选取及测站速度矢量计算。选取全球框架(ITRF 2000-NNR)、欧亚框架和华南框架计算青藏高原东部各测站的运动速度(表1)。在三种参考框架下,除个别测站(SBP5、DQD4、

表1 青藏高原东部及周边地区 GPS 测站在选择框架下的水平速度分量(mm/ yr)

Table 1 Horizontal velocity components for the GPS stations on the eastern Tibet Plateau and its adjacent areas within the selected frameworks (mm/ yr)

测 站	测站坐标		IT RF2000- NNR 框架				欧亚框架				华南框架			
	经 度	纬 度	N	±	E	±	N	±	E	±	N	±	E	±
TAIW	121. 54	25. 02	−11. 81	0. 64	35. 58	0. 88	0. 44	0. 95	11. 91	1. 14	3. 84	0. 75	3. 23	0. 93
SHAO	121. 20	31. 10	−15. 36	0. 50	31. 56	0. 58	−2. 95	0. 77	7. 44	0. 81	0. 10	0. 06	−0. 14	0. 14
WUHN	114. 36	30. 53	−13. 61	0. 55	34. 14	0. 62	−2. 60	0. 75	9. 18	0. 79	0. 91	0. 55	1. 51	0. 64
XIAN	109. 22	34. 37	−13. 39	0. 57	33. 38	0. 69	−3. 56	0. 70	7. 91	0. 79	0. 16	0. 63	0. 97	0. 76
TYP2	106. 87	33. 68	−10. 81	0. 72	35. 93	0. 87	−1. 58	0. 82	10. 27	0. 94	2. 40	0. 76	3. 18	0. 95
TJP2	105. 46	32. 02	−11. 18	0. 58	33. 52	0. 89	−2. 39	0. 71	7. 78	0. 97	1. 64	0. 60	0. 14	0. 94
SLW 2	104. 66	28. 86	−10. 46	0. 99	36. 49	1. 88	−2. 02	1. 09	11. 03	1. 93	2. 15	0. 97	2. 71	1. 89
JSP3	104. 56	31. 37	−9. 44	1. 22	35. 48	1. 67	−0. 98	1. 29	9. 81	1. 72	2. 78	1. 19	1. 59	1. 64
ZHM3	104. 50	32. 47	−12. 27	1. 82	34. 76	3. 16	−3. 80	1. 87	9. 05	3. 19	−0. 13	1. 80	1. 01	3. 15
CHDU	104. 07	30. 69	−10. 97	0. 54	35. 01	0. 77	−2. 60	0. 68	9. 32	0. 87	0. 81	0. 35	0. 71	0. 63
MJZ1	103. 73	32. 40	−9. 56	1. 38	35. 26	1. 97	−1. 29	1. 44	9. 48	2. 01	2. 50	1. 36	1. 42	1. 95
SWB1	103. 57	27. 11	−11. 86	0. 94	33. 56	2. 32	−3. 69	1. 05	8. 13	2. 36	−0. 12	0. 70	−1. 06	1. 54
SBP5	103. 48	32. 88	−8. 54	2. 34	32. 78	2. 98	−0. 33	2. 37	7. 00	3. 00	3. 39	2. 33	−1. 02	2. 96
HSC3	103. 47	36. 17	−7. 18	0. 70	41. 18	0. 84	1. 19	0. 78	15. 21	0. 89	5. 42	0. 81	8. 61	1. 00
ZGL2	103. 17	31. 46	−11. 49	1. 37	34. 20	2. 04	−3. 39	1. 44	8. 44	2. 07	0. 39	1. 34	0. 12	2. 00
KFZ1	103. 15	23. 29	−12. 49	0. 74	32. 66	1. 26	−4. 32	0. 90	7. 48	1. 35	1. 27	0. 48	−1. 27	0. 73
XSX1	103. 02	25. 17	−16. 15	0. 70	34. 22	1. 41	−8. 07	0. 85	8. 89	1. 49	−3. 70	0. 69	0. 05	1. 45
KUNM	102. 80	25. 03	−19. 19	0. 78	31. 16	1. 02	−11. 06	0. 92	4. 95	1. 11	−6. 60	0. 83	−3. 62	1. 19
LSC1	102. 76	24. 07	−15. 71	0. 71	35. 17	1. 22	−7. 65	0. 87	9. 94	1. 31	−2. 17	0. 49	1. 55	0. 85
RJJ2	102. 74	30. 70	−10. 10	1. 26	40. 30	2. 20	−2. 10	1. 33	14. 53	2. 24	1. 82	1. 23	6. 06	2. 17
MZZ1	102. 64	32. 78	−6. 84	0. 73	35. 24	0. 83	1. 32	0. 79	9. 22	0. 87	5. 58	0. 88	2. 96	1. 03
SWS3	102. 16	30. 08	−12. 32	1. 19	36. 25	3. 02	−4. 51	1. 26	10. 48	3. 04	−0. 13	1. 18	2. 46	3. 03
THZ4	102. 10	27. 87	−18. 49	0. 86	41. 17	2. 42	−10. 67	0. 97	15. 54	2. 46	−6. 29	0. 85	7. 04	2. 44
XXK1	101. 93	36. 56	−4. 50	0. 58	39. 43	0. 67	3. 47	0. 66	13. 33	0. 72	7. 85	0. 74	6. 79	0. 91
BSC2	101. 69	23. 52	−17. 55	0. 80	33. 00	1. 70	−9. 79	0. 94	7. 73	1. 76	−5. 11	0. 78	−1. 28	1. 69
DLH3	101. 58	24. 92	−18. 10	0. 70	32. 15	1. 34	−10. 37	0. 85	6. 77	1. 41	−5. 77	0. 70	−2. 17	1. 39
HKZ1	101. 01	30. 03	−17. 09	0. 74	39. 65	1. 22	−9. 42	0. 84	13. 55	1. 27	−4. 82	0. 79	5. 62	1. 34
SXD3	100. 46	25. 43	−16. 59	0. 70	31. 12	1. 48	−9. 17	0. 84	5. 64	1. 54	−4. 49	0. 71	−3. 18	1. 51
BHC2	100. 00	26. 78	−23. 61	0. 90	23. 45	1. 96	−16. 35	1. 01	−2. 24	2. 00	−11. 77	0. 90	−10. 99	1. 97
TAC3	99. 73	27. 68	−19. 94	0. 64	35. 16	1. 13	−12. 67	0. 77	9. 12	1. 19	−7. 96	0. 69	0. 75	1. 25
SZS2	99. 71	26. 53	−20. 81	0. 98	28. 38	2. 10	−13. 64	1. 08	2. 72	2. 14	−9. 00	0. 99	−6. 14	2. 11
QLQ1	99. 09	24. 93	−15. 61	0. 80	27. 81	1. 52	−8. 56	0. 92	2. 30	1. 57	−3. 87	0. 85	−6. 76	1. 61
CSD4	99. 08	40. 28	−7. 00	0. 69	31. 72	0. 81	0. 23	0. 73	5. 48	0. 84	4. 81	0. 95	−0. 23	1. 15
OLZ3	98. 44	25. 04	−13. 93	1. 15	26. 46	2. 38	−7. 13	1. 23	0. 88	2. 42	−2. 52	1. 15	−8. 37	2. 31
MDX1	98. 27	34. 87	−0. 76	0. 63	45. 15	0. 78	6. 25	0. 70	18. 73	0. 82	11. 08	0. 79	11. 73	1. 07
HCY1	98. 17	39. 85	−4. 75	0. 74	31. 51	0. 88	2. 23	0. 78	5. 18	0. 90	6. 95	0. 99	−0. 65	1. 22
XRH1	98. 17	36. 43	1. 33	0. 69	38. 40	0. 82	8. 30	0. 75	11. 98	0. 85	13. 13	0. 87	5. 32	1. 12
BTX4	97. 08	32. 86	−2. 78	0. 64	50. 34	0. 80	3. 89	0. 71	23. 87	0. 84	8. 88	0. 79	16. 39	1. 09
BMZ1	96. 89	30. 06	−10. 00	0. 61	44. 51	0. 90	−3. 46	0. 71	18. 07	0. 95	1. 56	0. 75	9. 94	1. 14
DQD4	95. 39	37. 62	0. 26	1. 58	36. 14	2. 23	6. 8	1. 59	9. 37	2. 23	11. 73	1. 70	2. 98	2. 40
G LM1	94. 80	36. 22	4. 08	0. 66	40. 56	0. 79	10. 13	0. 71	13. 91	0. 82	15. 37	0. 90	7. 09	1. 20
DHS1	94. 33	39. 95	−0. 85	0. 70	32. 26	0. 85	5. 08	0. 73	5. 63	0. 86	10. 30	1. 02	−0. 27	1. 32
LHAS	91. 10	29. 66	13. 01	0. 50	46. 85	0. 59	17. 94	0. 60	20. 05	0. 64	23. 56	0. 87	11. 56	1. 11
IISC	77. 57	13. 02	32. 36	0. 55	57. 83	0. 96	35. 59	0. 76	20. 16	1. 06	39. 63	1. 96	4. 17	2. 28

参考框架:ITRF2000-NNR;非纯旋转框架。欧亚框架:在稳定的欧亚板块上选取 16 个站(YAKZ、IRKT、KSTU、POL2、KIT3、ZWEN、METS、TROM、POTS、WTZR、NYAL、KOSC、BRUS、HERS 和 VILL),使其速度调整最小化,除 KIT3、POL2、TORM、NYAL、METS 站的 N 向量初始速度分别为−1. 1、−1. 5、−0. 7、0. 1、1mm/y,r,E 向量初始速度值分别为−0. 4、−0. 2、−1. 5、−1. 5、0 mm/ yr 外,其余站的初始速度为 0。华南参考框架:选取华南板块上的 SHAO、WHUN、CHDU、SWB1、KFZ1 和 LSC1 区域站作为参考站,使这些测站的其速度最小。TAIW、SHAO、XIAN、WHUN、LHAS、KUNM 和 IISC 为 IGS 全球站。

OLZ3、SWS3) 外, 其余各测站的速度不定度总体小于 2mm/yr 。其中在南北方向的速度不定度为 $0.50 \sim 2.40\text{mm/yr}$, 平均不定度小于 1.00mm/yr ; 东西方向的不定度为 $0.60 \sim 3.20\text{mm/yr}$, 平均不定度小于 1.50mm/yr 。

3 结果分析与讨论

欧亚框架是优选框架, 在此框架下笔者得到了青藏高原东部各测站的地壳运动速度场(表 1, 图 1)。为了更全面研究青藏高原东部的地壳形变, 将已有的青藏高原东部及邻区的 GPS 成果^[6] 全部统一在欧亚框架下, 获得了青藏高原东部的地壳速

度矢量场(图 2)。

从图 1 和图 2 可以得出, 从印度板块经喜马拉雅-青藏高原到华北地块、华南地块, 印度板块向北汇聚的速度分别被近南北方向至向东的顺时针旋转运动吸收。

3.1 印度板块与华北地块之间的汇聚速率

根据地壳运动速度场的特征, 在欧亚框架下, 班加罗尔(IISC) — 拉萨(LHAS) — 格尔木(GLM) — 金塔(CSD) 一线代表了印度板块与华北地块之间的汇聚, 地壳运动以北东为主要方向。可划分为喜马拉雅及高原南部、青藏高原中部(拉萨—格尔木) 和青藏高原北高原北部(格尔木—金塔) 三部分。

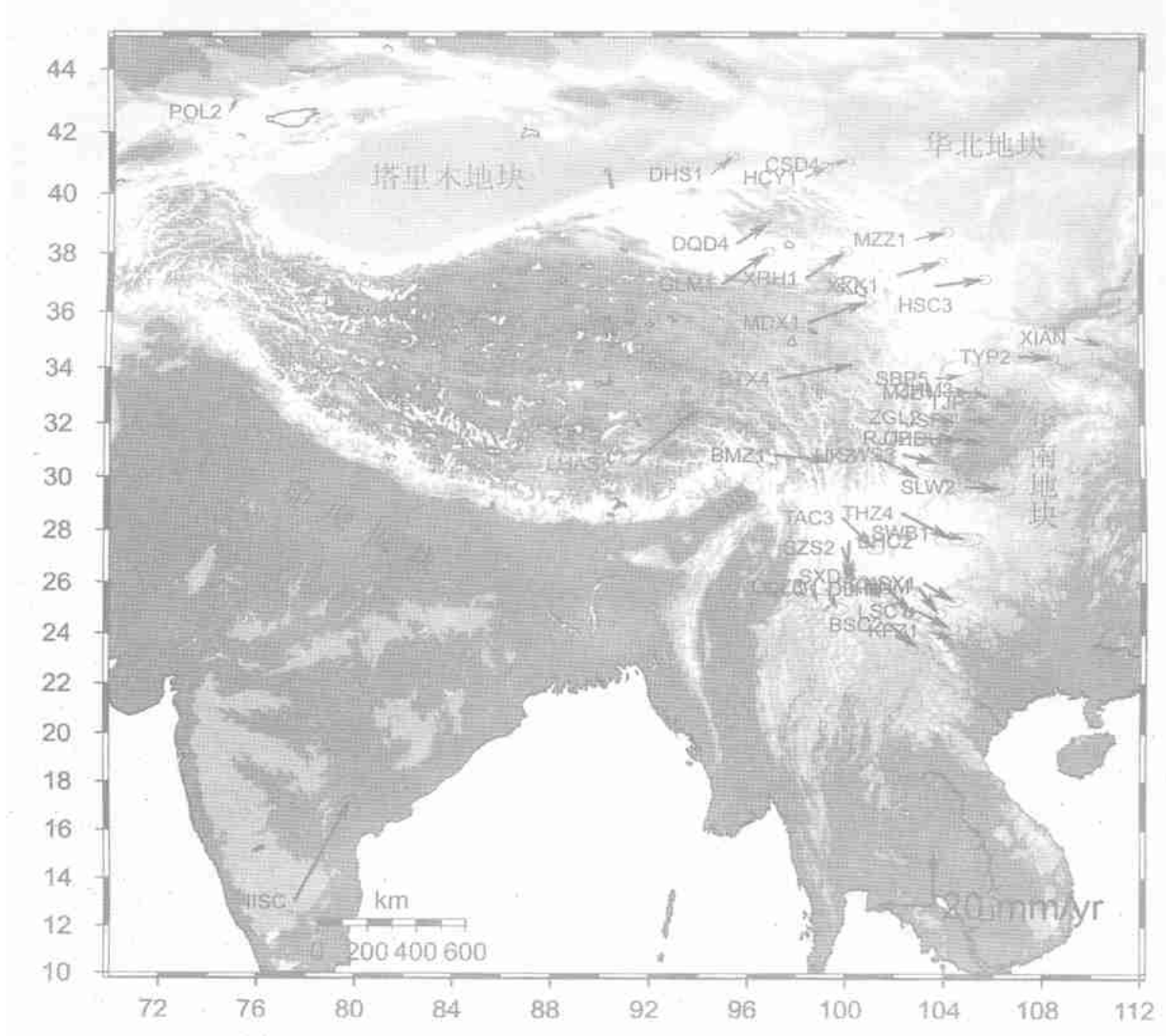
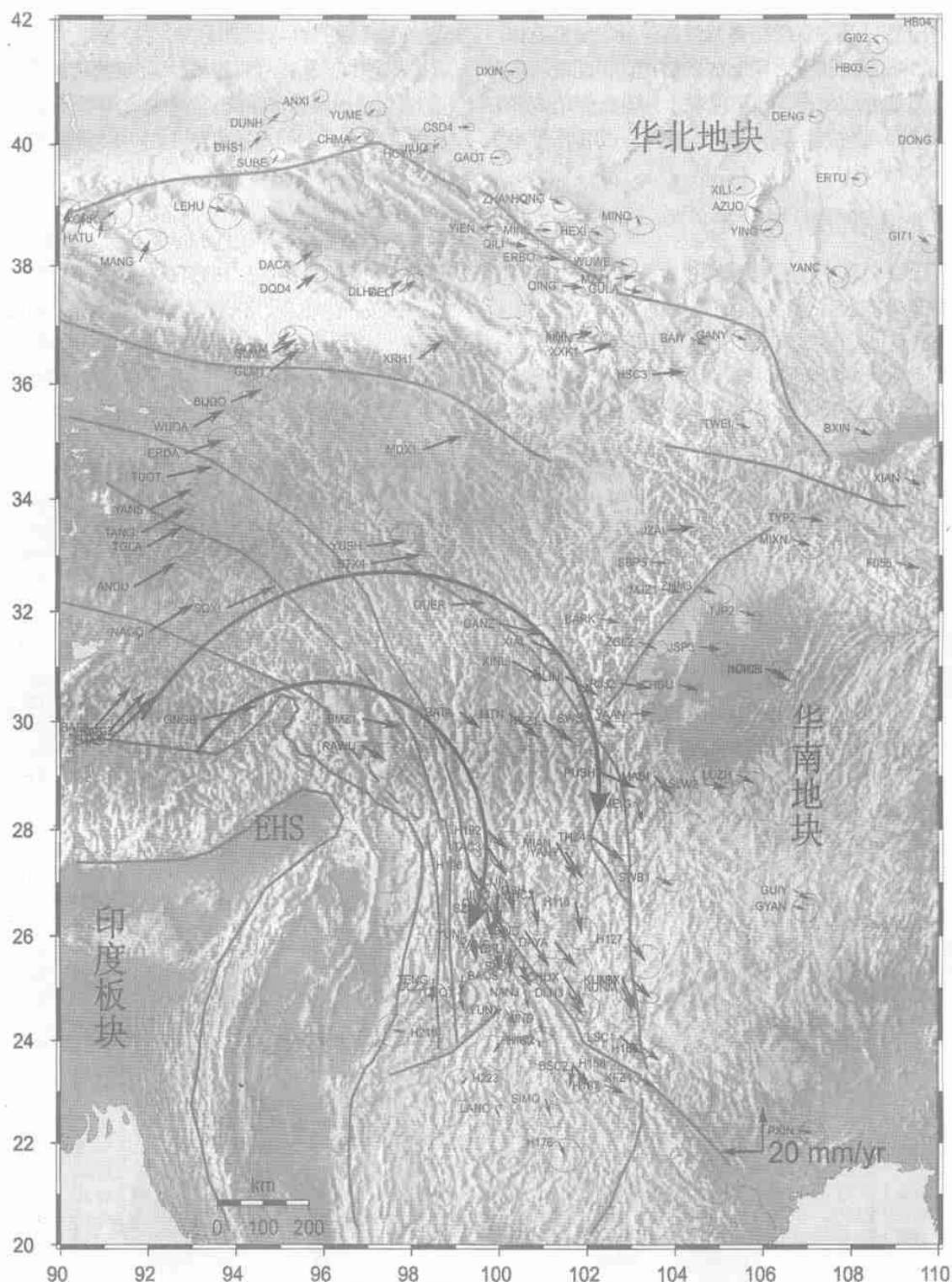


图 1 在欧亚框架下青藏高原东部 GPS 速度矢量场
(椭圆标注区为 95% 的可信度; EHS. 东喜马拉雅构造)

Fig. 1 The GPS velocity vector fields on the eastern Tibet Plateau within the Eurasia framework

(The elliptical field represents the 95 per cent confidence; EHS indicates the eastern Himalayan syntaxis. Data sources from 1991 to 2001)



(椭圆标注区为 95% 的可信度; 折线为主要活动断层; EHS. 东喜马拉雅构造结; 长箭头示涡旋趋势。除图 1 上的站外, 其余速度矢量资料据文献^[9])

(The elliptical field represents the 95 per cent confidence. The breaks represent major active faults. EHS indicates the eastern Himalayan syntaxis. The long arrows indicate the rotation trend. The velocity vector data derived from Qi Wang et al., 2001 literatures besides the stations shown in Fig. 1)

欧亚框架下, 印度板块南部的班加罗尔以 $40.90 \pm 1.30 \text{ mm/yr}$ 速度向 $N29.5^\circ E$ 方向运动, 拉萨以 $26.90 \pm 0.88 \text{ mm/yr}$ 速度向 $N48.2^\circ E$ 方向运动。IISC 的运动速度小于根据 NUVEL-1A 预测的沿 $N24^\circ E$ 方向的 47 mm/yr 速度^[14] 和古地磁预测的速度 (50 mm/yr), 但大于根据板块重建获得的沿 $N38^\circ E$ 方向的 37 mm/yr 速度。该速度接近于文献^[15] $41.9 \pm 1.40 \text{ mm/yr}$ ($N25.5^\circ E$) 的结果, 比文献^[6] $235.9 \pm 1.0 \text{ mm/yr}$ ($N26.9^\circ E$) 速度和 Holt 等^[16] 用第四纪断层及 GPS 测量获得的 $36.5 \pm 3.5 \text{ mm/yr}$ ($N27.1^\circ E$) 速度大, 比 Larson (1999)^[17] 等获得的速度低。这种差别不超出 95% 的可信度范围, 其原因可能与使用早期的 GPS 资料或与对参考框架的约束不同有关。

由于 IISC 与喜马拉雅南部之间没有大的变形^[17], 因此可以假定 IISC 速度与印度板块的速度一致, 班加罗尔与拉萨之间的速度矢量差可代表喜马拉雅吸收的汇聚速率。假定在印度板块内, 从班加罗尔到喜马拉雅山南缘和从拉萨到北喜马拉雅, 板块内部为刚性, 根据 IISC 与 LHAS 站之间的相对速度估算, 喜马拉雅的汇聚速率为 $17.65 \pm 1.27 \text{ mm/yr}$, 与 Larson (1999) 估算的 $18 \pm 2 \text{ mm/yr}$ 的汇聚速率^[17] 相接近, 与各种地质观测的 $18 \pm 7 \text{ mm/yr}$ 一致, 比文献估算的 $22.0 \pm 2 \text{ mm/yr}$ ^[15] 速度和文献估算的 $19.5 \pm 1.7 \text{ mm/yr}$ ^[11] 速度低。

拉萨—格尔木 (GLM1) 和都兰 (XRH) 之间的地壳运动速度矢方向接近 (图 1, 图 2)。在欧亚框架下, 格尔木以 $17.21 \pm 1.08 \text{ mm/yr}$ 的速度向 $N53^\circ E$ 方向运动, 都兰以 $14.57 \pm 1.13 \text{ mm/yr}$ 的速度向 $N55.31^\circ E$ 方向运动; 从拉萨到格尔木, 其速度降低 $9.937 \pm 1.11 \text{ mm/yr}$, 占印度板块和欧亚板块汇聚速率的 24%; 拉萨到都兰速度降低 $12.57 \pm 1.13 \text{ mm/yr}$ 。由此可以认为, 拉萨与柴达木之间, 地壳缩短约 $10 \sim 13 \text{ mm/yr}$ 。祁连山以北的金塔 (CSD)、嘉玉关 (HCY) 和武威 (MZZ) 的速率分别为 $5.48 \pm 1.11 \text{ mm/yr}$ 、 $5.64 \pm 1.19 \text{ mm/yr}$ 、 $9.31 \pm 1.18 \text{ mm/yr}$, 矢量方向为 $N66 \sim 87^\circ E$ 。格尔木 (GLM) 到 CSD 之间速率降低 13 mm/yr , N 和 E 向量分别缩短 8.43 mm/yr 和 9.90 mm/yr , 如果其速度投影于祁连山断裂, 则沿断裂的走滑速率为 $4 \sim 6 \text{ mm/yr}$, 垂直于断裂方向的缩短速率为 $7 \sim 11 \text{ mm/yr}$ 。

若以班加罗尔的速度代表印度板块向北俯冲的速度, 喜马拉雅到拉萨吸收了印度板块和欧亚板块

之间 43% 的汇聚速率, 拉萨到格尔木吸收了汇聚速率的 24%, 格尔木到金塔 (CSD) 吸收欧亚汇聚速率的 32%。

3.2 印度板块与华南地块之间的地壳运动

青藏高原东部 GPS 速度场指示印度板块东北角与华南地块之间青藏高原东南部的地壳运动表现为围绕东喜马拉雅构造结 (EHS) 的涡旋运动。笔者将青藏高原东部的旋转构造命名为“滇藏涡旋”^[6, 7]。涡旋总的趋势是从西向东和从北向南, 速率减小, 速度矢量方位角变大。

在欧亚框架下和相对于成都, 从拉萨到云南的腾冲、保山、思茅, 地壳运动的速率分别从 26 mm/yr 降为 $6 \sim 7 \text{ mm/yr}$ 和从 24 mm/yr 降为 $7 \sim 8 \text{ mm/yr}$, 矢量方向分别从 $N48^\circ E$ 变为 $S10^\circ E$ (图 2) 和从 $N23^\circ E$ 方向变为 $S60^\circ W$ 方向 (图 3)。

滇藏涡旋由旋转中心、旋转主体和外围三部分组成 (图 3)。旋转中心位于东喜马拉雅构造结的阿萨姆构造结; 旋转主体部分是川滇块体, 方向从北东向、经东向转变为近南和南西方向; 贡布江达—八宿 (BMZ)—中甸 (TAC3)—BHC (丽江)—SZS (兰坪)—OLZ (腾冲) 一线组成旋转的内圈; 拉萨 (LHAS)—索县 (SOX)—玉树 (BTX4)—甘孜 (GANZ)—HKZ (雅江)—THZ (西昌)—DHS (楚雄) 一线构成外圈, 各圈测站的速度比较接近。在欧亚框架和相对于成都 (华南地块), 内圈速度分别为 $26 \sim 10 \text{ mm/yr}$ 和 $18.50 \sim 7.50 \text{ mm/yr}$, 外圈速度分别为 $26 \sim 6.8 \text{ mm/yr}$ 和 $23 \sim 7 \text{ mm/yr}$ 。

由于内外圈旋转速度的差异, 从内圈到外圈, 分别出现右旋走滑断裂 (如嘉黎、高黎贡山断裂)、共轭剪切 (理塘断裂)、左旋走滑断裂 (鲜水河—小江断裂), 这些走滑断裂是主要的地震活动带。

鲁甸—昆明—通海—一个旧等为滇藏涡旋的外围, 在欧亚框架和相对于成都, 外围速率分别为 $12 \sim 5 \text{ mm/yr}$ 和 $9.5 \sim 1.6 \text{ mm/yr}$ 。

在欧亚框架下, 华南地块的运动速度为 $8 \sim 11 \text{ mm/yr}$, 总体是运动方向为 $105^\circ \sim 125^\circ$ 方向。滇藏涡旋外的川西龙门山地区, GPS 获得的速度矢量一般较小, 其速度为 $9.86 \sim 7.01 \text{ mm/yr} \pm 3.82 \sim 1.10 \text{ mm/yr}$, 矢量方向为 $92 \sim 114^\circ$ 。相对于成都, 龙门山地区没有大的运动, 地壳位移速度仅为 $3.3 \sim 0.94 \pm 3.7 \sim 1.10 \text{ mm/yr}$ 。

东喜马拉雅构造结和滇藏涡旋构造的形成与印度板块东北角的南迦巴瓦—阿萨姆“犄角”的楔入作用有关^[18], 它是深部作用和浅部构造的耦合作用的

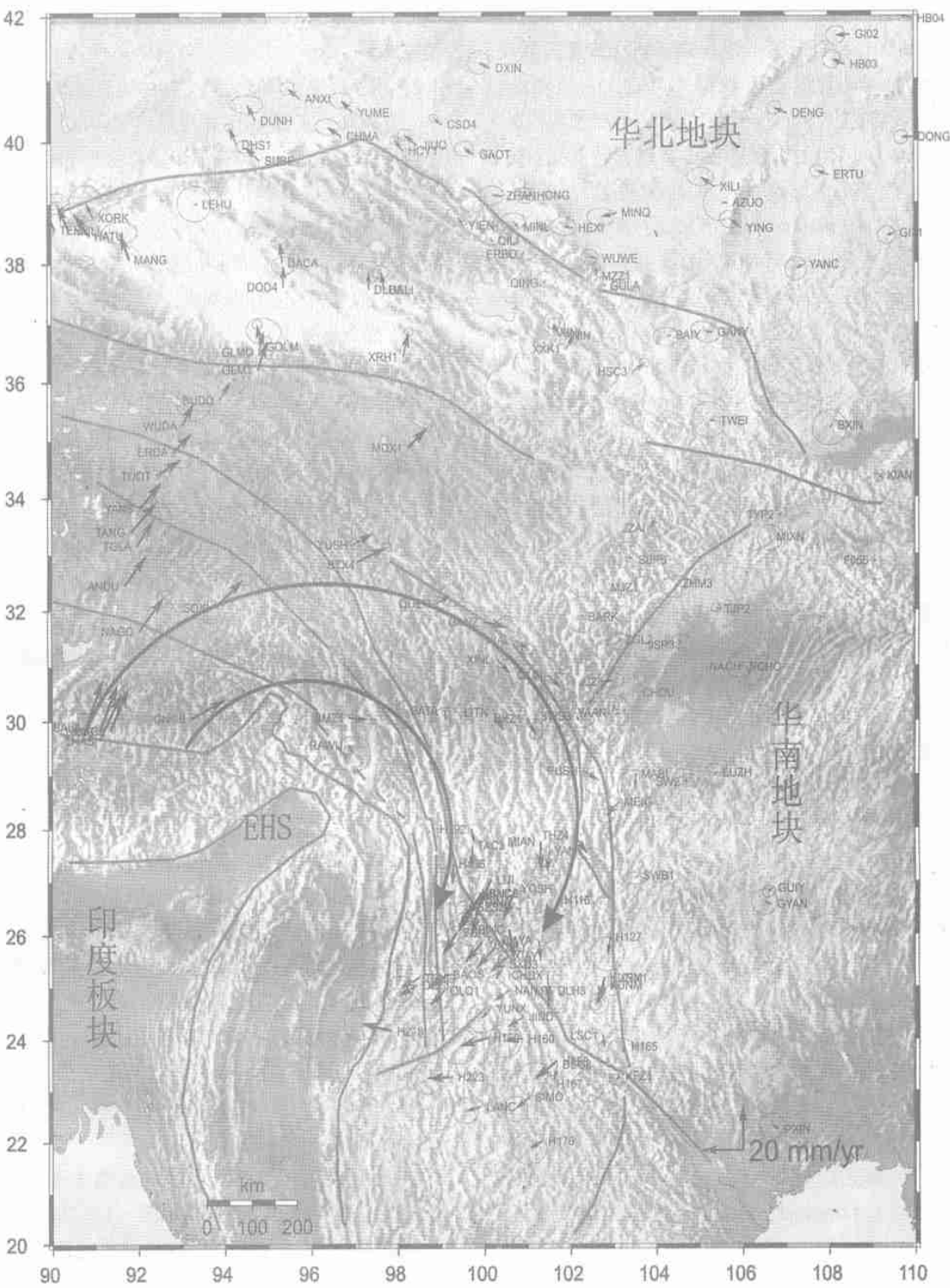


图 3 欧亚框架下青藏高原东部 GPS 测站相对于成都的速度矢量图
图例及说明见图 2

Fig. 3 The GPS velocity vector diagram for the eastern Tibet Plateau within the Eurasia framework relative to Chengdu in Sichuan (See Fig. 2 for the explanation of the symbols)

结果。当南迦巴瓦-阿萨姆“犄角”的楔入欧亚板块时,发生围绕东构造结顺时针的物质流动,从高密度区向低密度的发生流变。滇藏涡旋构造得到天然地震资料和层析成像以及古地磁的支持。

4 结 论

笔者在青藏高原东部 GPS 测量获得的观测结果,指示了青藏高原东部及邻区的地壳运动特征表现为围绕东喜马拉雅构造结的顺时针涡旋-滇藏涡旋。由于滇藏涡旋的内外圈旋转速度的差异,形成了青藏高原东部左旋和右旋的走滑断层和涡旋,它们是南迦巴瓦-阿萨姆“犄角”的楔入作用的结果。

参考文献:

- [1] TAPPONNIER M P. Cenozoic tectonics of Asia: Effects of a continental collision [J]. Science, 1975, 189: 410—426.
- [2] HOUSEMAN G, ENGLAND P. Crustal thickening versus lateral expulsion in the Indian-Asian continental collision [J]. Journal of Geophysical Research, 1993, 98(B7): 12233—12249.
- [3] ROYDEN L H, BURCHFIEL B C, KING R W et al. Surface deformation and lower crustal flow in Eastern Tibet [J]. Science 1997, 276: 788—790.
- [4] FENG SHEN, ROYDEN L H, BURCHFIEL B C. Large-scale crustal deformation of the Tibetan Plateau [J]. Journal of Geophysical Research, 2001, 106(B4): 6793—6816.
- [5] CHEN Z, BURCHFIEL B C, LIU Y et al. Global Positioning System measurements from eastern Tibet and their implications for India/Eurasia intercontinental deformation [J]. Journal of Geophysical Research, 2000, 105(B7): 16215—16227.
- [6] QI WANG, PEI-ZHEN ZHANG, FREYMUELLER J T. Present-day crustal deformation in China constrained by Global Positioning System measurements [J]. Science, 2001, 294 (5542): 574—577.
- [7] KING R W, SHEN F, BURCHFIEL B C et al. Geodetic measurement of crustal motion in southwest China [J]. Geology, 1997, 25(3): 179—182.
- [8] 陈智梁, 刘宇平, 等. 全球定位系统测量与青藏高原东部流变构造 [J], 第四纪研究, 1998, (3): 263—270.
- [9] 陈智梁. 中国西南地区地壳运动的 GPS 监测 [J]. 科学通报, 1999, 44(8): 851—854.
- [10] 王琪, 张培震, 牛之俊, 等. 中国大陆现今地壳运动和构造变形 [J]. 中国科学(D 辑), 2001, 31(7): 529—536.
- [11] 刘经南, 许才军, 宋成骅, 等. 精密全球卫星定位系统多期复测研究青藏高原现今地壳运动与应变 [J]. 科学通报, 2000, 45 (24): 2658—2663.
- [12] KING R W, BOCK Y. Documentation for GAMIT GPS Analysis Software, Release 10.0. Mass. Inst. of Technol., Cambridge, 2000.
- [13] HERRING T A. GLOBK: Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program, Version 10.0. Mass. Inst. of Technol., Cambridge, 2001.
- [14] DEMETS C, GORDON R G, ARGUS D F, STEIN S. Effects of recent revisions to the geomagnetic reversal scale on estimates of current plate motion [J]. Geophys. Res. Lett., 1994, 21: 2191—2194.
- [15] SHEN Z K, ZHAO C K, YIN A et al. Contemporary crustal deformation in East Asia constrained by Global Positioning System measurements [J]. Journal of Geophysical Research, 2000, 105(B3): 5721—5734.
- [16] HOLT W E, CHAMOT-ROOKE N, LE PICHON X et al. Velocity field in Asia inferred from Quaternary fault slip rates and Global Positioning System observations [J]. Journal of Geophysical Research, 2001, 106(B9): 19185—19209.
- [17] LARSON K M, BURGMANN R, BILHAM R. Kinematics of the India-Eurasia collision zone from GPS measurements [J]. Journal of Geophysical Research, 1999, 104 (B1): 1077—1093.
- [18] 刘宇平, 潘桂堂, 耿全如, 等. 南迦巴瓦构造结的楔入及其地质效应 [J]. 沉积与特提斯地质, 2000, 20(1): 52—59.

Present-day crustal motion on the eastern Tibet Plateau and its adjacent areas

LIU Yu-ping¹, CHEN Zhi-liang¹, TANG Wen-qing¹, ZHAO Ji-xiang¹, ZHANG Xuan-yang¹, ZHANG Qing-zhi¹, Robert W. King², Burrcl C. Burchfiel², Leigh H. Royden²
(1. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China; 2. Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts 02139, U. S. A.)

Abstract: The velocity fields of the crustal motion within the Eurasia framework were measured with a precision of higher than 2 mm/yr on the basis of the Global Positioning System (GPS) measurements from 1991 to 2001 on the eastern Tibet Plateau and its adjacent areas in western China. The crustal deformation between the Indian and North China Plates is manifested in the following three parts: the Himalayas and southern part of the Plateau, central part of the Plateau (Lhasa to Golmud), and northern part of the Plateau (Golmud to Jinta), where 43 per cent, 24 per cent, and 32 per cent of the plate convergence rates are absorbed between the Indian and Eurasian plates. There exist the giant clockwise rotated whirl structures, i.e. the Yunnan-Tibet whirl structures, which take the eastern Himalayan syntaxis between the Indian and South China plates as an axis. The velocities of motion for the Yunnan-Tibet whirl structures range between 26 to 6 mm/yr and 24 to 7 mm/yr. Unlike the NE direction of the rotation in the central part of the Tibet Plateau, the Yunnan-Tibet whirl structures on the eastern Tibet Plateau, relative to Chengdu in Sichuan, are generally rotated from the northeast to the southeast and southwest. A direct genetic affiliation of the Yunnan-Tibet whirl structures and the eastern Himalayan syntaxis to the wedging of the Namjagbarwa-Asam “horn” was postulated.

Key words: eastern Tibet Plateau; velocity field; Eurasia framework; crustal deformation

资料简介

榕江幅(G-49-(19))、三江幅(G-49-(20))(1:20万) 区域重力调查技术说明书

完成单位: 贵州省地质调查院

内容简介: 该说明书介绍了该工作区内区域重力调查。从设计书编写至野外生产, 室内资料整理及重力图件的制作, 说明书编写均达到精度要求。(一) 野外工作: 接受任务后重力仪在投入生产前的各项性能试验及参数测试, 格值精度及使用情况, 重力基点的布设及联测, 重力测点网的布设; 观测质量保证措施, 测地工作方法均作了统一布置。(二) 室内资料整理: 所应用的公式、方法及统计, 均计算了各项的精度。(三) 图件制作: 介绍了重力图件的制作情况(包括了资料的来源、制图标准)以及重力实变点的处理等。(四) 介绍了物性标本的采集方法, 物性参数统计, 岩石等值线图的绘制。

(由中国地质调查局西南资料分馆提供)