

基于中国地磁图的西藏地磁测量对比分析*

尤伟, 施发奇, 倪喆, 李春光

(云南省地震局, 云南 昆明 650041)

摘要: 详细论述了《2005.0 中国地磁图》、《2010.0 中国地磁图》西藏测区的两次测点点位遴选及测量工作过程, 通过大量的、与规范指标要求相关的数据分析, 说明了野外观测质量的可靠性, 并对通化后的2期数据进行对比研究。结果表明: 2005~2010年在西藏测区覆盖范围, 磁偏角零等值线向西偏移, 偏移量约为 0.4° ; 地磁场总强度平均增加值为206 nT, 磁倾角的平均增值为 0.45° 。

关键词: 地磁测量; 长期变化图; 等值线图; 西藏地区

中图分类号: P318

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2012)01-0098-06

0 前言

《中国地磁图》是表示中国地区地磁场及其长期变化分布的基础图, 根据布设在地面上一定密度的地磁测点测量得到的地磁数据, 并对这些数据的通化值绘制的等值线图(徐文耀, 2009; 扬诺夫斯基, 1959)。它不仅能为中国地区地质构造、地震活动等科学研究提供基础数据, 还在矿产与石油勘探开发、定向导航等国民经济和国防建设等方面有着广泛的应用。

最早的中国地磁图是在民国二十五年(1936年), 由北平研究院物理研究所、中央研究院物理所等单位编制的《1936·中国地磁图》, 其后又编制了《1945·中国地磁图》。1950~2000年, 每10年编制一次中国地磁图, 即《1950·中国地磁图》、《1960·中国地磁图》、《1970·中国地磁图》、《1980·中国地磁图》、《1990·中国地磁图》、《2000·中国地磁图》(安振昌, 2002)。

《2005.0 中国地磁图》、《2010.0 中国地磁图》均由同一个地磁图项目的技术人员使用同一批仪器在野外测量地磁三分量, 经通化后再算出其他分量绘制而成。因而数据具有更好的精度及更优的可比性。2003年5~7月和2009年5~7月笔者作为主要技术人员, 两次参加了《中国地磁图》

西藏测区的点位遴选、测点建设、野外数据采集、数据通化等工作。本文对地磁测量的各个工作环节作了详细介绍, 通过对5年来2期数据的分析比较, 获得了西藏地区地磁场变化的基本特征。

1 测点的基本情况

1.1 《2005.0 中国地磁图》西藏测点分布

《2005.0 中国地磁图》项目组工作人员在西藏共进行了16个复测点的点位遴选、测点埋设及测量工作, 测点主要沿219国道、318国道和109国道布设。测点点位分布东自昌都地区的察雅县, 西至阿里地区的噶尔县, 南自与不丹接壤的亚东县, 北至唐古拉山口的安多县, 测点间平均距离约220 km。2003年5~7月完成野外作业, 野外测量结果通化至2005年1月1日0时0分。测点的点位分布见图1(编号为B的测点)。

1.2 《2010.0 中国地磁图》西藏测点分布

《2010.0 中国地磁图》项目组工作人员在西藏共进行了48个测点的测量, 其中包括2003年所建的16个复测点和2009年新建的32个加密点, 测点点位沿国道和省道布设, 并形成网状。增加了加密点后, 不但使测点间平均距离缩小为100 km, 而且扩大了测区范围。特别是沿着安多—尼玛—改则—革吉—噶尔省道布设的测点, 大大弥补了

* 收稿日期: 2011-06-10.

基金项目: 中国地震局和科技部共同资助公益性科学项目(2002DIB0043)、科技部2008年度科技基础性工作专项(2008FY220100)和中国综合地球物理场观测—鄂尔多斯地块周缘地区(201208009)联合资助。

复测点稀疏的问题，扩大了西藏中部的测区范围。2009 年 5~7 月工作人员完成野外作业，野外测量结果通化至 2010 年 1 月 1 日 0 时 0 分。2009 年 5~7 月观测的复测点和加密点的点位分布见图 1（编号 B 和编号 C 的测点）。

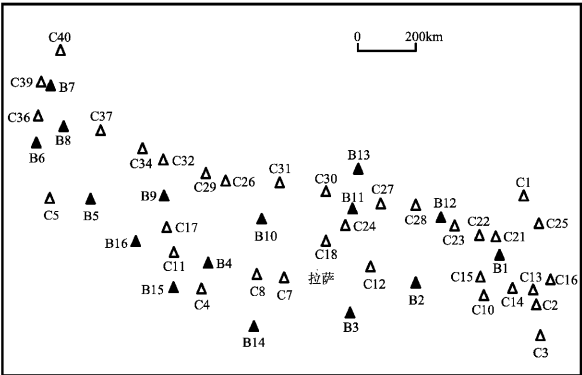


图 1 西藏测点分布图
(编号 B 为复测点, 编号 C 为加密点)

Fig. 1 Distribution of measuring points
in Xizang region (B code represents the retest
points, C code represents the encryption points)

2 点位勘选与观测

2003、2009 年在西藏完成的两次地磁测量均采用 G-856AX 质子旋进磁力仪测量总强 F ，无磁经纬仪和 CTM-DI 磁力仪测量偏角 D 和倾角 I 。地磁测量各个环节均严格遵循《中国地磁图地磁野外观测技术规范》^①（简称《规范》）以及《中国地磁图地磁野外观测技术规范实施细则》^②（简称《实施细则》）。

测点点位勘选时，首先按照设计好的点位经纬度坐标，进入以设计坐标为中心，半径 5 km 范围内，选择地势相对平坦、远离电磁干扰、接收 GPS 卫星信号无遮挡、便于架设副台、利于测点长期保存的位置粗测磁场梯度。若粗测的磁场梯度满足要求，就在该位置埋设测量标桩。测量标桩刻有测点编号及指北箭头，埋设时需要用罗盘校对方向，使测量标桩的指北箭头对准北方。测量标桩埋设完毕后，需精确测量该测点的水平梯度和垂直梯度，若水平梯度和垂直梯度都满足要求

（即最大值小于 5 nT/m），该测点的点位勘选工作完毕。

2.1 仪器比测

测量前和测量后进行的仪器比测都符合《规范》^①及《实施细则》^②要求，即前后两次比测结果的差值都小于 1 nT（G-856AX 质子旋进磁力仪）和 0.4'（CTM-DI 磁力仪），在测量过程中的仪器互检（G-856AX 质子旋进磁力仪测量主测点和自定测点间的点位差及仪器差时）也说明仪器的工作状态正常（表 1）。

表 1 测前、测后仪器比测结果之差最大值
及野外仪器差变化最大值

Tab. 1 Maximum of the difference of the instruments comparing measurement before and after measuring and the variation maximum of the difference of the instruments in field

测量 年份	G-856AX 质子旋 进磁力仪比测结果 之差最大值/ nT	CTM-DI 磁力 仪比测结果之 差最大值/ (')	G-856AX 质子旋进 磁力仪野外仪器差 变化最大值/ nT
2003 年	0.8	0.29	0.4
2009 年	0.1	0.13	0.3
标准	≤1.0	≤0.40	≤0.50

2.2 所选点位的梯度情况

因西藏大部份地区为砂岩，且人口稀少，人类活动对地磁测量造成的干扰很少。因而，在青藏高原及周边地区进行的地磁测量结果能更为真实地反映地球的基本磁场及其变化特征。《规范》^①要求所选点位的水平梯度和垂直梯度均小于 5 nT/m。这两次地磁测量都按此要求选定测点的点位，大多数点位的水平最大梯度和垂直最大梯度都在 2 nT/m 范围内。2003 年 16 个复测点所测水平最大梯度的平均值为 1.8 nT/m，垂直最大梯度的平均值为 2.6 nT/m。2009 年增加的 33 个加密测点所测水平最大梯度的平均值为 1.4 nT/m，垂直最大梯度的平均值为 1.5 nT/m。

2.3 实测点位与设计点位的偏差

在地磁图测量中，地磁测点的点位设计大致按方格网布局，《规范》^①要求所选点位与设计点位的偏差不大于 5 km。本次野外作业，多数点位选

① 中国地震局地球物理研究所. 2003. 中国地磁图地磁野外观测技术规范（修订版）.
② 中国地震局地球物理研究所. 2003. 中国地磁图地磁野外观测技术规范实施细则（修订版）.

在距设计点 3 km 范围内。由于交通、地形、气候等原因,仅少数点位的实测点位与设计点位的距离超过了 5 km,两期观测实测点位与设计点位的平均间距均在 5 km 范围内。

2.4 地磁观测及数据处理

野外测量的三分量分别是磁场总强度 F 、磁偏角 D 和磁倾角 I 。两次测量都使用 G-856AX 质子旋进磁力仪测量磁场总强度 F ,其分辨率为 0.1 nT,观测精度为 0.5 nT。使用 CTM-DI 磁力仪观测磁偏角 D 和磁倾角 I ,其分辨率为 0.1 nT,观测精度为 0.1'。其中磁偏角 D 是指磁北方向与真北方向的夹角,而真北方向是通过标志方向与标志方位角的差求得,这样就要求标志方位角的观测准确度 $\leq 0.1'$,即 6"。两次地磁测量从观测步骤、方法及最后的通化均方差各项工作均满足《规范》^①和《实施细则》^②的要求。各分量通化数据的均方差最大值见表 2。

表 2 各分量通化数据的均方差最大值表

Tab. 2 Maximum value of mean square error of normalized data in each geomagnetic component

	2003 年观测			2009 年观测		
	D	I	F	D	I	F
最大通化均方误差	0.20'	0.10'	1.27 nT	0.11'	0.08'	1.23 nT
标准	$\leq 0.5'$	$\leq 0.5'$	≤ 1.5 nT	$\leq 0.5'$	$\leq 0.5'$	≤ 1.5 nT
所属测点的编号	B1	B1、B15	B7	C13、C29	C17	B9

2.5 方位角测量及数据处理

测点和标志点之间的方位角采用 Ashtech 公司生产的 ProMark2GPS 差分仪进行测量。在测点和标志两个位置分别架设 ProMark2GPS 接收机,架设时要用对中器使两台接收机严格对中,将接收机天线固定在对中器上,并使天线的指北箭头指向北方,连接传输线、设置相应参数后,两台接收机同时开机并接收卫星数据,当接收的数据量能够计算方位角时,接收机会提示可以关机,此时,将测点和标志点两个位置的接收机同时关机,第一次测量方位角结束。

在观测磁场总强度 F 、磁偏角 D 和磁倾角 I 之后第二次测量方位角,测量过程与第一次完全一

样,设置参数时注明是第二次观测。但要保证在测点上的接收机两次架设时均需严格对中、调平,并且方向保持一致。而标志点位置的接收机在整个测量过程中,是不需要再次架设的。

两次方位角测量结束后,即可将测点和标志点的两台接收机接收到的数据传入电脑,计算测点到标志点之间的方位角。当两次测量方位角的偏差小于 6"时,取两次测量的平均值作为测点和标志点之间的方位角,整个测量过程结束。当两次测量的偏差大于 6"时,需进行第三次或更多次方位角测量。方位角测量精度见表 3。

表 3 方位角测量精度

Tab. 3 Measuring accuracy of azimuth angle

测量年份	测量点数	GPS 测量方位角三次以上的点数	所占比例 / (%)	方位角偏差平均值 / (")	方位角偏差最大值 / (")
2003 年	16	0	0.00	1.060 7	2.389 3
2009 年	48	3	6.25	1.356 0	3.932 2
合计	64	3	4.69	1.281 0	3.932 2

3 结果分析

地磁场是一个动态场(钱家栋,林云芳,1995;王建军等,2010),野外的原始数据并不具有可比性。在不同日期、不同时间所测得的观测值必须归算到同一时刻才具有可比性,才能进行各种分析,此归算过程称为通化(中国地震局,2001)。在一天中,子夜是磁场最稳定的时候,一般选择 0 时 0 分作为通化时刻(Newitt *et al*, 2002;张建国等,2009),2003 年 5~7 月的野外观测数据,经过非常严格的检查后,通化到 2005 年 1 月 1 日 0 时 0 分,通化台为拉萨地磁台。2009 年 5~7 月的野外观测数据,经过非常严格的检查后,通化到 2010 年 1 月 1 日 0 时 0 分,通化台为拉萨地磁台。经过通化后数据一方面消除了地磁场日变的影响,使同一测点在不同时间的多个观测值归算到同一个通化时刻的值并进行了平均,提高了数据的精度;另一方面使不同测点在不同日期的观测值经通化后归算到同一时刻而具有可比性。

① 中国地震局地球物理研究所. 2003. 中国地磁图地磁野外观测技术规范(修订版).
② 中国地震局地球物理研究所. 2003. 中国地磁图地磁野外观测技术规范实施细则(修订版).

本文的地磁偏角、磁场总强度、磁倾角的长期变化图及等值线图都是根据通化值作出的。

3.1 地磁偏角的长期变化

在不同的地理经度下，磁偏角的长期变化是不同的（倪喆等，2011）。以地理经度为横坐标，以磁偏角为纵坐标，利用 Excel 软件中的图表向导功能，绘制 2005、2010 年各个测点在不同地理经度下的磁偏角折线图作对比分析（图 2）。从图 2 可以看出，重复观测的 16 个复测点，2005 ~ 2010 年，以东经约 87°为界，越往西（经度越小），磁偏角增加越大；越往东（经度越大），磁偏角减少越多。磁偏角随经度变化的折线在东经 87°附近旋转，西边往上翘，东边往下压。经过计算，测区西边磁偏角增加最大值为 0.12°，即 7.2′；测区东边磁偏角减小最大值为 0.23°，即 13.8′。而东经 87°附近的几个测点磁偏角几乎未变，这说明在中国及周边地区的西南存在磁偏角的零等变线（陈斌等，2010）。

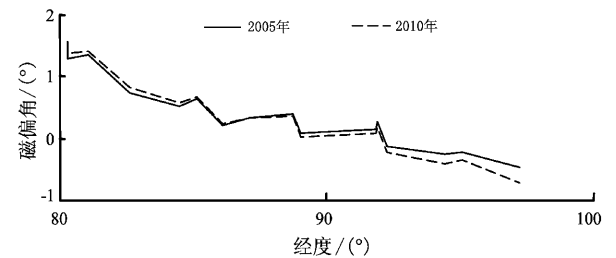


图 2 磁偏角长期变化图

Fig. 2 Secular variation of geomagnetic declination

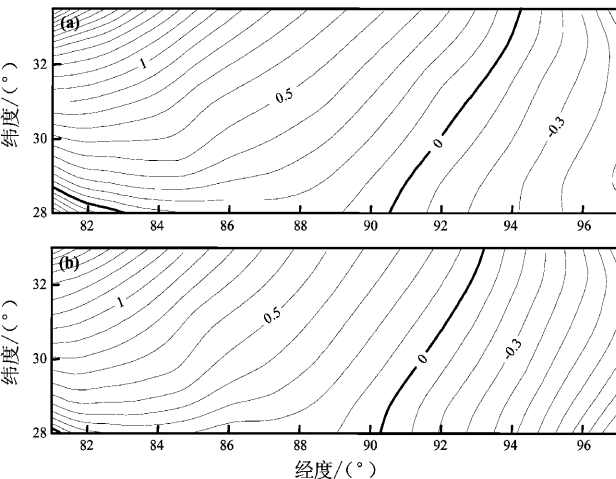


图 3 地磁偏角等值线图（单位：°）

(a) 2005; (b) 2010

Fig. 3 Contour of geomagnetic declination

利用 Surfer 8.0 软件，以地理经度为横坐标，地理纬度为纵坐标，以磁偏角通化值为数据分别绘出 2005、2010 年的地磁偏角等值线图（图 3）。比较图 3a，b，笔者发现磁偏角为零的等值线向西偏移，偏移量约为 0.4°。

3.2 磁场总强度的长期变化

在整体上，地磁场总强度是随纬度的升高而增加的。研究地磁场总强度的长期变化，以地理纬度为横坐标，以地磁场总强度为纵坐标，利用 Excel 软件中的图表向导功能，绘出 2005、2010 年各个测点在不同地理纬度下的地磁场总强度折线图作对比分析（图 4）。从图 4 可以看出，2005 ~ 2010 年西藏 16 个地磁重复测点的地磁总强度增加幅度较大，并且各测点增值比较均匀，属整个测区范围整体增加。根据计算，测区覆盖范围内地磁总强度平均增加值为 206 nT。另外，在西藏测区范围内，地磁总强度随着纬度的增加而呈趋势性增加，这也符合地球基本磁场的特征。

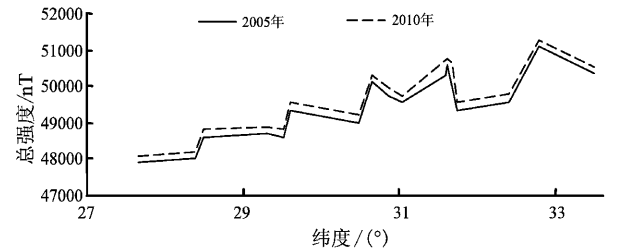


图 4 地磁场总强度长期变化图

Fig. 4 Secular variation of geomagnetic total intensity

2005 ~ 2010 年地磁场总强度的变化量为 206 nT，平均每年增加约 41.2 nT。而拉萨地磁台的总强静日二次拟合的平均年变率为 42.57 nT/a（陈斌等，2010），这说明在西藏测区地磁场总强度的平均年变率与拉萨地磁台的平均年变率是一致的。

利用 Surfer 8.0 软件，以地理经度为横坐标，地理纬度为纵坐标，以地磁总强通化值为数据分别绘出 2005、2010 年的地磁总强等值线图（图 5），比较图 5a，b，它们在形态上完全一样，只是数值增加约 200 nT，和图 4 反映的情况一样，即在测区范围内，地磁总强度增加幅度较大，并且各测点增值比较均匀。

3.3 磁倾角的长期变化

纬度越高，磁倾角越大，这是地磁场的一个基本特征。研究地磁倾角的长期变化，以地磁纬

度为横坐标,以地磁倾角为纵坐标,利用 Excel 软件中的图表向导功能,绘出各个测点在 2005、2010 年不同地理纬度下的地磁倾角折线图作对比分析(图 6)。

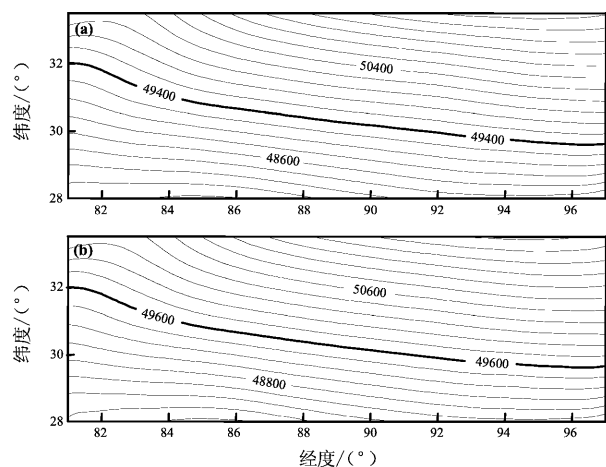


图 5 地磁场总强度等值线图(单位:nT)

(a) 2005 年; (b) 2010 年

Fig. 5 Contour of geomagnetic total intensity

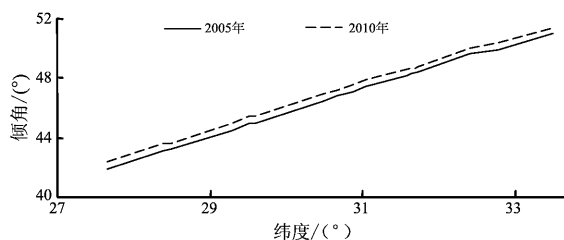


图 6 地磁倾角长期变化图

Fig. 6 Secular variation of geomagnetic inclination

从图 6 可以看出, 2005、2010 年的倾角值的大小与纬度的线性相关性非常强, 几乎是直线相关, 而与经度没有相关性。在 2005 ~ 2010 年, 各测点的磁倾角值增加幅度也几乎相等, 属于在测区范围内整体增加。根据计算, 5 年间地磁倾角的平均增值为 0.45° , 即 $27'$, 平均每年增加 $5.4'$ 。而拉萨地磁台的倾角静日二次拟合的平均年变率为 $5.27'/a$ (陈斌等, 2010), 说明在测区范围内, 地磁倾角的平均年变率与拉萨地磁台的平均年变率是相一致的。

利用 Surfer 8.0 软件, 以地理经度为横坐标, 地理纬度为纵坐标, 以地磁倾角通化值为数据分别绘出 2005、2010 年的地磁倾角等值线图(图 7)。图 7a、b 明显地反映出: 2005、2010 年的倾角等值线图上, 各条等值线与纬线平行, 在同一

纬度下的等值线所表示的值, 2010 年的值要比 2005 年的值增加约 0.45° 。

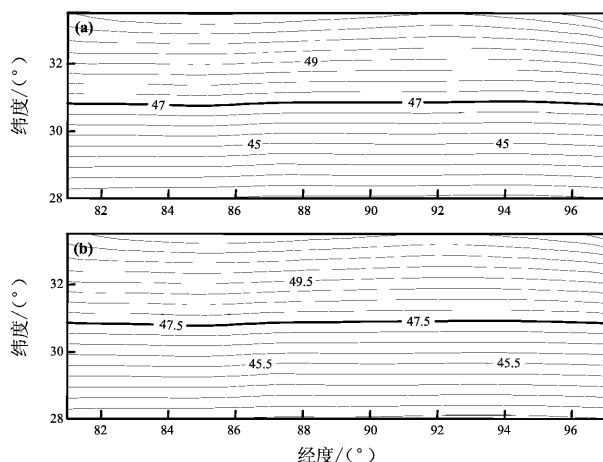


图 7 地磁倾角等值线图(单位:°)

(a) 2005 年; (b) 2010 年

Fig. 7 Contour of geomagnetic inclination

4 结论

2005 ~ 2010 年西藏地区, 磁偏角零等值线向西偏移, 偏移量约为 0.4° , 即 $24.0'$; 在东经约 87° 以西, 磁偏角在增加, 越往西(经度越小), 磁偏角增加越大, 最大增值为 $7.2'$; 而在东经约 87° 以东, 磁偏角在减小, 越往东(经度越大), 磁偏角减少越多, 最大降值为 $13.8'$ 。地磁总强度平均增加值为 206 nT , 属比较均匀的整体增加。地磁倾角的平均增值为 0.45° , 即 $27.0'$, 也属比较均匀的整体增加。

参考文献:

- 安振昌. 2002. 中国地磁测量、地磁图和地磁场模型的回顾[J]. 地球物理学报, 45(Z1): 189-196.
- 陈斌, 顾左文, 高金田, 等. 2010. 中国地区地磁长期变化研究[J]. 地球物理学报, 53(9): 2 144-2 154.
- 倪喆, 李春光, 陈斌, 等. 2011. 2006 ~ 2010 年云南东部地区磁偏角变化特征[J]. 地震研究, 34(1): 30-34.
- 钱家栋, 林云芳. 1995. 地震电磁观测技术[M]. 北京: 地震出版社.
- 王建军, 杨冬梅, 张素琴, 等. 2010. 中国地区地磁静日变化场 $S_q(H)$ 台链分布特征[J]. 地震研究, 33(4): 329-336.
- 徐文耀. 2009. 地球电磁现象物理学[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社.
- 张建国, 刘晓旭, 唐庭梅, 等. 2009. 汶川地震前后中国大陆地磁场动态演化特征初步研究[J]. 地震研究, 32(3): 231-234.
- 中国地震局. 2001. 地震及前兆数字观测技术规范(电磁观测)(试行)[M]. 北京: 地震出版社.
- B. M. 扬诺夫斯基. 1959. 地磁学(上册)[M]. 刘洪学, 周姚秀, 译.

北京:地质出版社.
Newitt L R, Barton C E, Bitterly J. 2002. 地磁复测点测量指南[M]. 李

琪, 宋彦云, 韩德胜, 等, 译. 詹志佳, 周勋, 任熙亮, 等, 校. 北
京:地震出版社.

Comparative Analysis on Magnetic Survey in Tibet Region Base on China Geomagnetic Chart

YOU Wei, SHI Fa-qi, NI Zhe, LI Chun-guang
(*Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650041, Yunnan, China*)

Abstract

We expound geomagnetic stations selection and surveying work of twice geomagnetic survey for “2005.0 China geomagnetic charts” and “2010.0 China geomagnetic charts” in Tibet. It is proved that the quality of field survey is reliable by analyzing abundant data which is related to the demands of criterion. Through comparative analyzing on the corrected data of the first and the second period, we conclude that the zero constant value line of geomagnetic declination offset toward west, and the deviant is about 0.4. The average increment of geomagnetic field total intensity is 206 nT, and the average increment of geomagnetic incidence is 0.45° from 2005 to 2010 in the surveying region of Tibet.

Key words: geomagnetic survey; secular variation chart; contour map; Tibet Region