申请博士学位论文

《皇舆全览图》测绘研究

导　师：杜石然　曹婉如

研究生：汪前进

专　业：自然科学史

研究方向：中国测绘学史

中国科学院自然科学史研究所

一九九〇年十月

《皇舆全览图》测绘研究

目　录

提　　要

《皇舆全览图》的测绘是中国运用近代方法测绘地图的开端，它在中国科技发展史中、世界测绘科学发展史中都是空前的壮举。对此课题的深入研究，有利于解决当时测绘科学发展的程度，准确地评价它的历史地位，总结出一些历史的经验和教训等问题。本文在前人研究的基础上，运用定量分析的方法，从测绘科技本身的角度对测量、计算、绘编等专题进行深入的探讨，得出了如下结论：杜赫德《概述》一书中所载经纬度值，按获取方法可分实测和推算两部分。这些数值并未全部吸取于《皇舆全览图》中，《皇舆全览图》除采用此书中部分值外，还采用了一些其它测算值，《概述》书中的测算值总平均误差为8.3分，纬度值比经度值精确。15省入算的497个地点的经纬度值60%以上高于实际值。造成测算值误差的主要原因是当时天文大地测量的理论和方法的发展程度，以现代眼光来看，测算值是存在较大误差，但在当时的条件下能够达到这样的精度，在世界上也是一流水平的，测量经度主要采用观测月食和木卫掩食的方法，而以前种精度为高。测量纬度主要采用观测太阳正午高度角和北极星高度的方法，此以后种方法较精确。《皇舆全览图》采用的是"正弦曲线等面积伪园柱投影，"即著名的桑逊投影。图上测算点投影坐标的展点，纬度的定位比经度

的精确。编绘中的非测算点总平均误差为7.2分，其总精度以贵州省为最高，广西省最低。测算值与推定值均是以高于实际值的所占比例大，表明两值之间存在某种正相关关系，即是说推定值的精度在某种程度上取决于测算值的精度。综合测算值和推定值而论，15省中以山西省地图测绘得最精确，其次是福建省和贵州省。最不精确的是广东省，其次是山东省和广西省。

绪　　言

康熙年间进行的《皇舆全览图》测绘，在中国科技发展史中，乃至世界测绘史中都是一项壮举，它对当代和后世产生过积极而深刻的影响。

第一节　测绘经过及其成果

一、起因

康熙皇帝（爱新觉罗·玄烨，1654－1722）发起和主持《皇舆全览图》的测绘，有多方面的原因，究其主要原因有两个方面：一是朝廷，确切地说是康熙，一是传教士。

㈠　康熙方面

康熙一向对绘制地图较为重视，并曾数次使用地图解决具体问题。康熙二十二年八月初三日（1683年9月23日）谕曰："朕观靳辅所绘黄河图，淮黄交汇之处形势颇相吻合，其河北一带于所题本章矛盾者甚多，应令工部行文总河，详加绘图送进。其各省地图应行文该地方官绘送兵部，以备披览①"。这是从黄河图中发现问题，责成重绘。各省巡抚、治河官员、六部等呈交皇上的有关奏摺，常附有地图。

康熙摆脱摄政王控制后亲掌朝政，他对了解全国情况尤为重视，康熙二十五年五月初七日（1688年6月27日）谕纂修《大清一统志》："务求采搜宏博，体例精详，阨塞山川，风土人情，指

掌可治，画地成图。万几之暇，朕将亲览。且俾奕世子孙披牒而维屏之寄，式版而念小人之依，以永我国家无疆之历②”。所绘地图仍据中国传统方法。

由于前辈的影响，加之康熙本人的眼光，使他对西洋历算理论和方法甚感兴趣。1669年他纠正了摄政王对传教士迫害的错误，释放了南怀仁（Ferdinandus Verbiest，字敦伯，一字勋卿，比利时人，1623——1688），传旨着他督造纪限仪，地平经仪、地平纬仪、赤道经纬仪、黄道经纬仪及天球仪。配置于观象台中。这些仪器部分在确立北京经、纬度方面起过作用。这以后，他亲自学习西洋科技、面谕南怀仁、白晋（Joachim Bouret，又作白进，字明远。法国人，1656—1730），张诚（Joannes Franciscus Gerbillon，字实斋，法国人，1654—1707），安多（Anfonius Thomas，字平施，比利时人，1644—1709）、巴多明（Dominicus Parrenin，字克安，法国人，？——1741）等讲解历算仪器的原理和操作方法，自己还亲自实习。每次巡视，大都让传教士或蒙养斋天文生等背着仪器进行太阳正午高度、北极高度、地物高度、距离和方位等方面的观测，他还经常将已掌握的西洋科技知识传授给皇太子和其他臣僚。通过这些，他确实从心底中承认西洋历算较中国传统历算先进。

导致他发起和主持测绘全国地图的主要原因恐怕还在于看出了

旧图的严重不足，新法绘图的优良。1690年1月26日尼布楚条约签定后，康熙让张诚讲述俄国使团来华所经路线，张诚打开了一张西方绘制的亚洲地图，康熙发现其中中国部分简略不详，标绘粗漏，他此时有所触动③。巴多明“来华传教，细察各省地理，见府县城镇坐落之处，多有不合线度者，即将其事奏明皇上④。”这一切使康熙皇帝萌发了用西洋方法绘制地图的念头。康熙四十七年四月（1708年5—6月）命雷孝思（Jean Baptiste Régis，字永维，法国人，1663—1736）、白晋、杜德美（Pierre Jartoux，字嘉平，法国人，1668—1720）三人测绘长城位置及其附近河流，于十月二十九日（1708年12月10日）后又试测北直隶，图成，康熙亲自校勘，认为远胜旧图，这样才下令开始测绘全国各省地图。

㈡ 传教士方面

西方人曾从《耶稣会士书简集》中发现来华传教士所扮演的角色：

“耶稣会士们确实身兼三职：在宗教领域，他们在广阔的疆土内传教；在外交领域，他们为法国的利益效劳；在科学领域内，他们从事中法两国之间的文化合作，一方面为法国人翻译中国的哲学经典，一方面也将欧洲的科学传给了中国人。他们在某种程度上，还充当了工业间谍的角色。他们搜索枯肠，削尖脑袋到处设法窃取西方垂涎已久的中国的瓷器制造术⑤。”

那么，到全国各地测绘地图，将会使三职有机地结合在一起。

1、传教士要想在中国站住脚，必须利用西方的科技，尤其是历算学，这是利玛窦（Matthieu Ricci，意大利人，1552－1610）的经验和利玛窦以来的传统。白晋说："我奉上帝的旨意，根据百年来的实践，体会到传教士要把天主教传入中国并使之在那里发展，最好的办法就是宣传科学。今后，上帝为从中国产除异教，必须利用科学⑥"，在他们看来：如果中国人认识到传教士的天文学反映了天体运行规律，便会认为他们所信仰的宗教也一定符合天理。　　他们认为康熙皇帝是传教的突破口，一则由于康熙"爱好艺术并勤奋地学习各门科学"，二则由于"这位皇帝现在不但在其国内享有绝对尊严，而且以其具有高尚而贤明的品德、丰富的阅历以及非凡的见地和诚意，受到邻近各国国民的尊敬和颂扬。他在亚洲的所有地方是赫赫有名的。如果这位君主改信天主教，必将收到人数堪与全欧匹敌的辽阔的中国改变信仰的可喜成果。继而，由于中国周围各国国民向来崇拜中国文化，遵从中国的格言与习俗，所以他们也将仿效中国，皈依天主教，从而体现了康熙皇帝改信天主教的巨大影响。这对教会来说，是前所未有的喜事……⑦"所以，他们把力量花在康熙身上，为他修历，为他讲课，乃至为他测绘地图。

2、传教士与法国政府的关系

在测绘地图的十个传教士中，除麦大成（Joannes Fran—

ciscus Cardoso，字尔章，葡萄牙人，1676—1723）、费隐（Xaverius Fridelli，字存诚，奥地利人，？—1743）外，其余八位均是法国人。这是因为南怀仁晚年认为在中国的传教士人数太少，曾向罗马教廷写信求援。这时葡萄牙势力逐步减小，故他希望法国多派传教士来，南怀仁的信传到法王路易十四的忏悔牧师手中，他将此信交给路易十四的宠臣喀伯特，喀伯特当时正在从事促进科学与艺术的发展工作，对于了解中国学术情况颇感兴趣，因此说服路易十四向中国派遣传教士。法王答应后，于1685年1月28日签署派遣敕令，并谕令"每年以9200金元补助在印度及中国的法籍耶稣会士20人⑧"，这样，张诚、白晋等五人便来到了中国。

后来，康熙帝又让白晋回国，请法国多派几位精通各门科学和艺术的传教士来。1693年，白晋奉康熙之命回法国，他给法王路易十四一件很长的奏摺（即著名的《康熙皇帝　》，1697年巴黎出版）申述了要求派人的理由：

"康熙皇帝想要从法国招聘耶稣会士，在皇宫中建立科学院⑨。"

"陛下，天主教还可以从这一计划中得到如下利益。当然为这项计划工作的人们会支援在中国的天主教及传教士。同时，他们始终不能忘记自己宣传福音这一永恒的最重要的职务。他们根据自己的特殊才能分担各自不同的课题，每年向法国学者就各项问题提供大量珍贵的准确的考察资料。并可为我们科学和艺术的进一步完善，提

供最有价值的满文和汉文书籍的翻译资料，这样一来，法国学者一边督促这些传教士，一边为了中国人把自己有价值的发明，全部送到中国传教士的手中。传教士利用这些发明使中国的异教徒，尤其是中国的学者、王侯、皇子、皇帝倾听自己关于天主真理的宣传。最终依靠上帝的恩赐，使这些人改信天主教，得以顺利成功[10]。”此奏褶又一次打动路易十四的心，终于又让白晋带来十名传教士，其中大部分是测绘地图的主要人物。

3、传教士与法国科学院

传教士与法国科学院有着密切的关系。首先，这些来华传教士均很懂自然科学，先期来华的洪若翰（Joannes de Fountaney，或作洪若，字时登，法国人，1643－1710）、白晋、李明（Aloys le Comte，字复初，法国人，1656－1737）是以数学家身份来华的。白晋本人就是法国科学院的院士。白晋后一次带来的传教士也是受过科学训练的。他们在华与法国科学院、法国其他科学家保持密切的联系，这从他们大量的通信集中便可以看出。他们所使用的仪器大都是科学院提供的，较新的科学理论和方法也是由科学院传授的。如洪若翰和刘应向康熙介绍的卡西尼（Jean Dominique Cassini）和德·拉伊尔（Philippo de Lahire，1640－1718）观测日蚀月蚀的新方法等[11]。在中国的这次大规模的测绘活动也与法国的地理研究计划有关。因为法国科学院当时正奉法王之命进行庞大的地理

研究工作，他们派遣大量的专家在大西洋、地中海、英国、丹麦、非洲和美洲各大口岸进行测量。由于此时印度和中国因保教权的关系被控制在葡萄牙势力范围之内，法国科学院没有直接派人来。由于康熙提供的机会，使得法国传教士大量进入并得到重用，使得传教士有可能以另一身份为法国科学院工作，这从冯秉正（Joseph Francois Marie de Prémare，字端友，法国人，1669—1748）给P·de Colonia的信中便可得到印证。他说："我知道欧洲方面大家都在不耐烦地等待这一工作（指测绘）的成绩；大家一定会称心满意的，但必须再给我们一点时间⑫。"传教士每测绘完一省便将地图寄往了法国，而法国皇家首席地理学家唐维尔（J·B·Bourguigron d' Anville）曾根据这些图绘成《中国新图册》（Nouvel Atlas de la China）在巴黎出版二次，在荷兰海牙出版一次，又收入杜赫德（Du Halde）的书中。

4、测绘与传教

法国传教士既是法国政府选派来的，又是教会选派来的。耶稣会组织纪律相当严格，会中规定：各地分会向省区、各省区向总会均须每月汇报一次，而各分会每月又必须直接向总会汇报。每个耶稣会士的活动都受所属耶稣会总会和罗马教皇的控制，他们的往来调离也受命于上级。因此他们的所作所为一定得符合教会的意旨和利益。

法国传教士一方面以测绘地图为手段，取悦于康熙，一方面又

履行对法国政府和教会的承诺。自康熙四十九年至五十三年（1710—1714），由于绘图的贡献，传教士在传教上获得不少便利，行踪所到，他们就在各地区展开训导教友的工作，对其抚慰、鼓励。费隐在测绘地图中，不忘传教，返京后，曾升任会长[13]。

二、中国政府提供的帮助

时间如此长，规模如此大的测绘，如果没有中国政府提供的帮助，十个外国人要想成此举，岂不是幻想。

《皇舆全览图》的测绘从一开始便得到康熙的支持，1708年，康熙"谕传教西士分赴蒙古各部、中国各省，遍览山水城郭，用西学量法，绘画地图。并谕部臣，选派干员，随往照料，并咨各省督、抚 将军，札行各地方官，供应一切需要[14]。"连冯秉正都说："我们这次所经过的中国一切大小地方、城市乡镇、山河溪涧等 ，每一地方官都奉命给我们照料一切，一点也不需要我们自己操心，这情形是欧洲绝不会有的[15]"。

具体帮助如何，可从当年四川巡抚年羹尧康熙五十三年七月初二日（1714年8月11日）的奏折中得知[16]：

1）由兵部行文移咨各省巡抚，通知前往测绘舆图事项。

2）由武英殿监视官员领衔为首，带队前往绘图。

3）官员中有响导护军参领、吏部郎中和钦天监监副等。

4）由各省巡抚通知所属府、州、县、营、驿等供应马匹及所需用地方文献及旗锣等。

5）每画好一省舆图即交该省巡抚亲信家人，由其转交巡抚亲自自封固，然后派家人直接赍送北京，进呈御览。

对于边远地区，其地图或直接由中国人绘制，如西藏地图先由满满族人舒兰和蒙古族人拉锡绘制，后又由喇嘛楚儿沁藏布喇木占巴及理藩院主事胜住测绘。有的地图则让中国人复察，如鸭绿江、图门江之间地理情况不详，便“命马喇总管穆克登偕按事部员复往详察。”

三、测绘的过程及部分地区的路线

预测始于康熙四十七年五月十七日（1708年7月4日），对长城的测量。1709年5月8日（康熙四十八年三月廿九日）开始测绘东北地区，雷孝思、杜德美、费隐测绘完吉林、辽宁返京后又奉旨测绘北直隶，从12月10日开始至1710年6月20日结束。7月22日受命测绘黑龙江地区，至12月14日图成。1711年兵分两路，雷孝思与麦大成测绘山东；杜德美、费隐、山遥瞻（Guillaume Bonjour，字景云，法国人，？－1715）测绘甘肃及新疆东部地区。1712年1月返回北京。绘西山东地图的麦大成与原留在山西的汤尚贤（Pierre Vincent de Tartre，字宾斋，法国人 ？－1724）于1711年测绘山西和陕西。1712年，雷孝思、冯秉正、德玛诺受命测绘河南、江南、浙江和福建。1713年，汤尚贤、麦大成测绘江西、广东和广西。费隐、山遥瞻于1713年8月2日测绘四川，至1714

年7月21日测完，此后便去云南，12月25日山遥瞻病死于云南。1915年3月24日，留孝思奉命前往云南，测完后接着测绘贵州、湖南和湖北。1717年元旦返回北京。全部测绘完毕。

在杜赫德《概述》书里的地图中标注了许多路线，经分析，这些路线是传教士测绘时所走的路线，兹翻译笔录长城以内部分如下。由此可以看到传教士的行踪。这些路线是主测路线，由于特殊需要，传教士还专门到了一些地点进行月食、木卫掩食和城市地形等方面的观测活动，图上并未标出。还有一些省区的路线也没有标出，其原因尚不清。

部分省的测绘路线

直隶省

一、京城→通州→烟郊店→夏店→三河县→白涧→邦均店→蓟州→马神桥→新城→遵化州→三台营→栾阳→喜峰口

二、京城→沙河城→昌平州→南口→居庸关→岔道→榆林 ——
└——海淀————————↑

怀来县→土木驿→枪竿岭→马圈铺→赤城县→郢州堡→独石城
└→沙城→新保安→鸡鸣驿—宣化府→新庄
→张家口堡→张家口 └→怀安县

三、京城→芦沟桥→良乡县→涿州 ①→定兴县→安肃县→保定府
②
→庆都县→定州→新乐县→真定府→获鹿县→井陉县→固关

②→新城县→白沟河→雄县→任丘县→河间府→接驾林→献县→

阜城县→景州→

江南省

一、（接山东省）—郑家集→东岸驿→徐州→桃山驿→新丰集→

夹沟驿→宿州→（接河南）

二、宿州—<①②　永康镇→定远县→张桥驿→镇城驿→庐州府→

河驿→桐城镇→舒城县→吕亭驿→桐城县→陶冲驿→小路口

→小池驿→太湖县→枫香驿

②　东乡镇→池河驿→大柳驿→滁州→陡岗集→东葛驿→

江浦县→浦口→江宁府

三、（接山东省）→司吾驿→宿迁县→仰化驿→众兴集→清河县→

淮安府→平河桥→宝应县→界首岭→永安工→高邮州→

露觔闸→扬州府→镇江府→丹阳县→

江西省

→九江府→德安县→建昌县→蛟桥→南昌府

湖广省

郧阳府<①②　①竹山县←军马塘←房县←保康县←王家湾塘←

归州←夔陵州<a b　a←沔阳州

b←荆州府←长阳县←施州卫←永定卫←常德府←石门县←

公安县←监利县←崇阳县←尖山铺←桃林镇←长安驿←云溪

岳州府←通城县←平江县←小塘铺←桃源县←白马渡←桃源洞←羯羊塘←杨溪湾←新店驿←太平铺←界亭驿←马鞍铺←楠木塘←辰州府←安化县←谭家桥←惊马桥←长沙府←下托铺←湘潭县←衡山县←新化县←沅州←宝庆府←南市铺←衡州府←泉溪市←黄石铺←把集铺←茶陵州←安仁县←耒阳县←阳隔洲祁阳县←孟公铺←画眉铺←永州府←香板铺←永兴县←桂东县←兴宁县←桂阳州←新田县（北）←宁远县←把截←通州←塔铺←东安县←白沙塘←武冈州←绥宁县←通道县←岔处汛←天柱县←清浪卫←

② 均州←谷城县←襄阳府←随州←安陆府←德安府←麻城县←上巴河←蕲州←兴国州←苏田桥←白沙铺←黄连港←大箕山←倪家铺—大冶县←黄州府←武昌府←汉阳府

河南省

（接山西省）→窑头村→武陟县→开封府→陈留县→杞县→宁陵县→石榴固站→会亭驿→永城县→（接江南省）

山东省

（接直隶省）→德州 ①② ①、恩县→高唐州→清平县→东阿县→东平州→汶上县→兖州府→邹县→滕县→戚城→（接江南省）

② 禹城县→齐河县（西）→长清县→崮山驿→长城驿→泰安州→新泰县→蒙阴县→徐公 →沂州→郯城县（东）→

（接江南省）

山西

一、（接直隶省）→天城卫→大同府→怀仁县→司马镇→马邑县→朔州→大水口→三岔堡→马家店→保德州→（接陕西）

二、（接直隶省）→固关→柏井驿→西交镇→平定州→新兴镇→寿阳县→鸣谦驿→徐沟县→尧城→贾令镇→祁县→五里镇→平遥县→张兰镇→介休县→两度镇→灵石县→仁义驿→霍州→辛置镇→赵城县→洪洞县→平阳府→襄陵县→京安镇→吉城镇→太平县→赵康镇→绛州→侯马镇→曲沃县→翼城县→固镇→沁水县→蒲泽→故城→（接河南）

四、另一为修历而开展观测的活动

《圣祖实录》中有关于为修历而开展观测活动的记载：

康熙五十三年十一月辛亥（1714年12月19日）"和硕诚亲王允祉等奏：昔郭守敬修授时历，遣人各省实测日景，故得密合。今修历书，除畅春园及观象台逐日测验外，亦不必各省尽测。惟于里差之较著者，如广东、云南、四川、陕西、河南、江南、浙江七省遣人测量北极高度及日景，则东西南北里差及日天半径皆有实据。得旨：广东著何国栋去，云南著索柱去，四川著白映棠去，陕西著贡额去，河南著那海去，江南著李英去，浙江著照海去⑰。"

从上文及结合文献分析可知：

1）观测的时间是1714年12月19日以后，这时广东、四川、陕西、河南、江南、浙江诸省均已测绘完，可知他们又去测，不是为了绘图。

2）所测内容：北极高度和日影。

3）目的：确立东西南北里差及日天半径。

4）地点：里差之较著者，而不是任何省都去。

5）人员：此处人员与记载测绘地图的中国人姓名不合，在四川巡抚年羹尧奏摺中没有“白映棠”。其它文献也未将上述七人与测绘地图的传教士姓名记在一起。

6）河南、江南、浙江为雷孝思、冯秉正、德玛诺三人相继所测，现又各省派去一人，一共有三人，似无此必要。

这样我们可以得出结论，此七人绝非为测绘地图所去，所测“东西南北里差”（即经、纬度）也不可能为测绘地图者的利用。他们是为修历而去，在《御制历象考成》中就有多处在广州府观测的有关数据的记载，它们对该书中一些天文常数及表格的修订起了重要作用。

五、测绘的成果

测绘工作是分省进行，故每省测完，地图便绘成，传教士将这些图中的一份委托各省巡抚转呈朝廷，另一份则寄往法国。冯秉正就这样说过："我们花了四天工夫了解这些岛屿的各种情况，它们的距离、大小，一切您都可以在我附寄的地图上看到（指澎湖岛）[18]，""现附上我们所画的一张（大港）图，它在台湾府之西二分，二百吨以上的帆船都可进口，它就控制着全港[19]"。在唐维尔所绘的地图上均标着根据"某年"所绘地图改绘。总图即《皇舆全览图》是回到北京后由杜德美统一编制的。

在《概述》中还刊有传教士绘制的32幅城市地图，它们是：北京（Peking），永平府（Yung-ping fu），龙门县（Long-men Hyen），承德府（Ching Tse fu），真定府（Chin-Ting fu），江宁府（Kyang-Ning fu），苏州府（Su-Chew fu），崑山县（Quen-Shan Hyen）、 ？ （Tsi-ki Hyen），无锡县（Vu-si Hyen），嘉定县（Kya-Ting Hyen）常州府（Chang-Chew fu），青浦县（Tsing pu Hyen），云南府（Yung-nan fu），大理府（Ta-Li fu），建宁府（Kyen-ming fu），长泰县（Chang-Tay Hyen），南昌府（Nan-Chang fu），赣 州（Kya-chew）、杭州府（Hang Chew fu），平湖县（Ping-hu Hyen）、湖州府（Hu -Chew fu），嘉兴府（Kya -Hing fu），衢州府（Ku-Chew fu），扬州府（Yong-Chew fu），武昌府（Vu-Chang fu），黄州府（Wang -Chew fu），襄阳府（Syang-yang fu），西安府（Si-Ngan fu），商南（Chwang-Lan），兰州（Lan-Chew）

和甘州（Kan-Chow）。这些地图均未注比例尺，画的较简略，主要内容为：城市的形状、大小，城门数量，城外地形，据图前后的文字可知是按一定比例绘画的，但城墙用立体图形，而地形用绘铜版山水画的画法，也是立体感较强。

这次共测算多少个地点的经纬度值，没有见到具体记载，《概述》中所附表列有641个点，也只是其中一部分，该书"序言"说："经度是以通过北京的子午线来计算的，而不是以通过巴黎的子午线来推算，因恐产生误差。纬度的观测使用了优质仪器，且极其仔细，但其结果并未全部列入本表，因为不少观测点名不见经传，且无必要在地图上标志[20]"，在英译本的《概述》里的地图边所列经纬度值表中，除了有法文本所列的经纬度值外，还在对应的地点下标有其他传教士当时或以后所测定的经纬度值，这些值有的或许在绘图中采用过（详见正文分析）。

六、《皇舆全览图》的版本

据冯宝琳等学者[21]研究，《皇舆全览图》有多种版本。

1）《皇舆全览图》，木刻墨印设色，不注比例，板框高210厘米，宽226厘米，一幅。图上注有经纬线，经纬线皆为直线，经线以通过北京的子午线为本初子午线，除本初子午线垂直于纬线外，其它经线皆以本初子午线为中经纬而相互对称、并与纬线斜交，纬线长度愈北愈短。图上反映的地域在东经32度至西经36度，北纬18度至北纬55度之间。长城内外均用汉字标注地名，于省会及主要地点复以黄纸飞签墨笔贴注（共98条），图幅上额墨笔楷书"皇舆全览图"五个大字。无年款，据图上嘉峪关外的"西几母"、"达里图"尚未设立卫所等情况推断，此图绘刻于康熙五十六年（1717年）。

2）《皇舆全览图？》。据福克司（W. Fuchs）研究，有一木版《皇舆全览图》，康熙五十六年（1717）绘刻，共有图28张，但缺少西藏全部及蒙古的最西部。

3．《康熙时代耶苏会教士地图集》（Der Jesuiten-Atlas der Kangshi-zeit），木刻，36幅，其中4幅由德国人福克司于1943年在辅仁大学影印时由别处加入，原实有图32幅。据文献记载，此图绘刻于康熙五十八年（1719年），福克司则认为绘刻于1721年—1723年。此图原刻本原知有二份，一份存巴黎的"外务文库"（ArChives des Affaires Etrangeres），一份存原北京人文科学研究所[22]。长城以内，以省分幅，用汉字标注，有经纬网，纬线为平行直线，经纬为与纬线斜交的直线。此图名为福克司所定，实际也应称《皇舆全览图》。

4．《满汉合璧清内府一统舆地秘图》，此图铜板印刷，铜版于1929年在沈阳故宫发现，共47块，其中有图者41块，据考证为传教士马国贤（Matteo Ripa）在中国所刻[23]。原印本国内未见。在沈阳发现铜版后曾予以印刷，由金梁定此名，实际应称《皇舆全览图》，本文正文研究的就是这套图，改称《皇舆全览图》。此图有经纬网，长城以内用汉字标注地名，以外用满文标注，（详细情情况见正文）。

5．《皇朝舆地全图》，康熙年间彩绘本，图上无经纬线，共16小幅合成一大幅，长城以内地名用汉字标注，以外用满文标注。

6．《皇舆全览图》，木刻墨印设色，不注比例，板框高212厘米，宽340厘米。图上绘有经纬网，形式同上述图上西藏及蒙古以西地区绘制甚详。据此分析，此图当绘刻于康熙六十年（1721

年）。图幅上额墨书楷体“皇舆全览图”五个大字。

7、《康熙分府舆图》，一函八册，康熙刻本，有图227幅。这套图由大小比例不同的图组成。最小比例的为“中国总图”，稍大为分省图，再大为府州图，最大为府州的局部地区图，四种比例尺的图所载内容也有详略不同。收入《古今图书集成》中的地图与此图基本相同，但只有216幅。李炳卫于1934年影印出版的《内府舆图》（222幅）的原图可能也是根据《康熙分府舆图》所刻，但有所改动，如此图的“临洮府图”上便被错误地接上了广西梧州府的博白县、陆川县、兴业县、郁林州、北流县、容县、岑溪县、藤县等大片地区的地图。

七、对国内外的影响

《皇舆全览图》的测绘对国内、国外，当代，后世都产生过积极而深远的影响。

（一）国内

《皇舆全览图》绘成以后曾分发各部、各省校核和使用。至雍正朝，又在此图的基础上增补和修改，绘刻成雍正十排《皇舆图》（此图绘刻于雍正四年（1726年）），雍正皇帝又将此图颁发给各省总督和巡抚，如雍正六年三月二十五日（1728年5月3日）河南总督田文镜有《恭谢赐皇舆图十排十轴摺》，同月二十七日（5日）山东巡抚塞楞额也有奏折：“为恭谢天恩事。臣齎折家人回东捧到钦赐《皇舆全图》——臣敬捧跪阅，山川疆理，细密周详，惟有慎重秘藏，于公余细心体察，以期仰副我皇上诱掖指示之圣心[24]。…”据研究，雍正《皇舆图》也有几种版本。

乾隆年间，乾隆皇帝又命何国宗，明安图等人补绘了哈密以西

康熙时未测绘的部分，在康熙、雍正二代的地图的基础绘成《乾隆十三排图》。此图原印本一直未见，但最近据冯宝琳披露，在故宫博物院图书馆找到了此图的原印本多幅[25]。此图为铜版，铜版在故宫博物院发现，1932年曾用此铜版印刷过多部。

康熙、乾隆地图并非只藏于祕府，据陈澧《记地图三本》文："余昔为《汉书地理志水道图》，有以地图三本求售者：一为《康熙内府图》，一为《乾隆内府图》，皆刻本；一为道光时修《会典地图》写本。自言其父昔为会典馆供事所得也。余买得之，……番禺吴菊湖刺史，道光中在京师，与潘谷香员外游厂肆，菊湖买《乾隆地图》，谷香买《康熙地图》，其价皆银二十两[26]"。李兆洛也曾记述他求得这些地图的情况："兆洛始得《钦定图书集成》中所刊舆地图，苦其不著天度。继得康熙《内府舆地图》，大于《集成》所绘，而有天度，亦分省，有外藩。……寻又于广东巡抚库见乾隆间所赐各省督抚《内府舆图》，则合绘之图之，东西为横幅长卷，而南北以次排之，欲临其本而未成。……继又见沈广文钦裴所藏别有乾隆《内府图》，亦总绘，而裁之正方以刻之，方逾二尺。"[26]由上述可见，文人学者们也还是能见到这些地图。他们依据这些地图进行研究和改绘或作为历史地图的底图。董方立依《乾隆十三排图》增补道光二年（1822年）以前政区地名，绘成《皇清地理图》。李兆洛依照三朝地图编绘成《大清一统舆地全图》和《历代舆地沿革图》。胡林翼，严树森也据《乾隆十三排图》编制成《大清一统舆图》（又称《皇朝中外一统舆图》）这些全国总图都是当时全国影响较大的图，晚清杨守敬所编绘的著名的《水经注图》《历代舆地图》便是以《大清一统舆图》作为底图。一直到民国时期申报馆编绘《中华

民国新地图》时还曾参考过这些地图和采用过康乾两代测算的经纬度值。

（二）国外

差不多在中国人见到《皇舆全览图》的分省图和全国总图的同时，法国人乃至欧洲人就已见到了。这是因为"当康熙钦定地图在北京刊印后，神甫们将这些地图的稿图寄回法国，稿图上原有地名，已有少数几处注上罗马音译。这些绘制得十分粗略，地名又多数未译出的稿图被送到闻名的唐维尔手中，唐维尔以缩小的比例尺复制出版，附在杜赫德的著作里㉘"。据称"耶苏会的神甫们所绘的原图，如今保存在（法国）外文部档案中…它们……装订成一本大地图集（编号：1648a）；地图都用中国纸印刷，裱在厚实的纸上，四周用中国蓝绢镶边。城镇名称是用汉文标注的，其中绝大多数还用红墨水注上俄文音译㉙"。有人还在伦敦的东印度公司图书馆发现了一套《皇舆全览图》，后来又不见了。但这个图书馆的"副馆长埃利斯先生惠予指出，国王乔治四世赠送给大英博物馆的礼品中，包括有几幅中国地图，其中一幅已查明系康熙年间原图的西部三分之一㉚"。由此可见：康熙时期测绘的地图传到欧洲决不只限于法国，但影响最大的恐怕还是要算唐维尔的改编多次出版的地图。

第二节　前人的研究成果、缺陷及本文的研究重点和方法[31]

对于康熙朝测绘活动的真正研究，应该说是从在沈阳故宫发现47块铜版开始的，金梁将其印刷出来，并定名作序。后来翁文灏依据法文资料写成《清初测绘地图考》，给了人们有关《皇舆全览图》测绘的总的概貌。他论述测绘的经过，方法及其重要意义，此

文至今仍有参考价值。紧接着在北京故宫博物院又发现了《乾隆内府舆图》的铜版，朱希祖又详加考证，写出“序”，翁氏也写了“读故宫博物院重印乾隆内府舆图记”一文，讨论了“沈阳铜版图”与“北京铜版图”所使用的地图投影，认为是“梯形投影”。方俊在《地图投影》一书中也主此说，并给出了投影公式和量度。

德国人W．福克司由于找到另一木刻《皇舆全览图》，他便就此做了一系列的文章，最后写成《康熙时代耶苏会教士地图集》，此书包括地图和文字两部分，地图部分收入康熙原刻地图32幅，另加入同时代地图4幅，文字部分包括研究部分和地名索引部分。在“研究部分”中初步地收集了“实录”等中国文献中的有关史料，对测绘过程进行了讨述，并对收入的地图的绘刻年代进行了探讨。“地名索引部分”将该地图中满洲、蒙古、新疆、西藏各处所有的地名作出两种索引，第一种索引是根据沈阳故宫的铜版地图上的满文地名编的，按照满文译音，以拉丁字母的顺序而排列各地名，在每个地名后面附上本图集中相同地点的中文译名。第二种索引是根据本图集各图之秩序排列的，每图及每个地名后附注上《乾隆内府舆图》上相同地点的相异和相同之地名。

以后，方豪又搜集到有关云南、贵州、台湾、琉球等地区测绘的史料，先后写了几篇文章。他从中西交通史和中国天主教史的角度又研究了参加测绘的传教士的情况，纠正了翁氏文章里的一些错误，提供了新的史料，并提出一些新观点。后人研究此课题引用最多的恐怕还是翁氏和方氏的著述。

曾世英从地图精度方面进行过研究，并将测算的经纬点汇集在一起加以评价和利用。

1957年方俊在所著《地图投影学》中再次讨论了《皇舆全览图》的投影问题，仍表彰前说。1963年，高儁在所撰《试论我国地图的数学要素和表示方法的演进特色》一文中对"梯形投影说"提出异议，他认为只能称是"伪圆柱投影"，但未给出具体投影名称，以后似乎没有被广泛接受。1977年丁延暻等发表《清康熙年间我国一次大规模地理经纬度和全国舆图的测绘》一文，讨论测绘的过程，方法和仪器。80年代初先后发表了钮仲勋的《我国各民族对清朝康熙乾隆年间经纬度测量的贡献》、《我国古代天文大地测量发展及取得成就的原因初探》，葛剑雄的《清朝全国地图的测绘》，任金城的《康熙和乾隆时期我国地图测绘事业的成就及其评价》冯宝琳的《康熙<皇舆全览图>的测绘考略》等。他们着重讨论了各民族在测绘中所起的作用，取得成就的原因，测算地点的数目，测绘的起因，中国人在测绘中的作用及《皇舆全览图》的版本等问题。

日本学者也对《皇舆全览图》进行了介绍和研究。如黑田源次于1937年写过两篇有关此图的短文章，三上正利也撰文论述康熙时代的测绘事业。研究得最多要数船越昭生他曾发表过多篇文章对此图的测绘进行研究，后在此基础写成《锁国日本にきた<康熙>の地理学史的研究》一书于1986年4月出版。书中除了补述了福克司所提出问题以外，着重研究了《皇舆全览图》对日本的地图编制的影响，论述了日本所绘的《皇舆全览图》系统的地图。

上述研究对于弄清历史真相，评价历史地位都起了很好的作用，但是从上文叙述中可以看得出，对于《皇舆全览图》的测绘精度，误差来源，具体使用的仪器和方法，如何编绘等测绘方面的关键问

题研究不够，或者说有些根本没有研究，有的重要问题虽说有一定程度的研究，如投影问题但没有真正解决。因此本文以解决这些关键性的问题为重点，使用细致、详尽、精度的计算方法，进行定量分析；并把一些问题（如误差来源）放在当时天文，数学整个发展背景上去研究，以期合理地加以解决。此文只限于研究康熙《皇舆全览图》的测绘，对于雍正，乾隆两朝[illegible]的研究将作为以后的连续性研究课题。

模地

注释：

①《康熙实录》卷111，页19

②《康熙御制文集》二集卷4，页4

③《张诚日记》（1690年1月26日）

④《燕京开教略》 樊国樑著 光绪14年刊本

⑤原载法文本《耶苏会士书简集·序》，转引自《中国史研究动态》第6期

⑥《康熙皇帝》，白晋著 赵晨译 p61

⑦同⑥ p63

⑧《中国天主教史人物传》 方豪 中华 书局中册 p269—270

⑨⑩同⑥ P 61

⑪同⑥P 50

⑫见方豪《康熙五十三年测绘台湾地图考》文中第三部分，冯秉正致p. de Colomia 书。

⑬同⑧ 见"费隐"

⑭《正教奉褒》页128

⑮同⑫

⑯《康熙<皇舆全览图>的测绘考略》，冯宝琳 故宫博物院院刊 1985年第1期

⑰《康熙实录》卷261 页4

⑱⑲同⑫

⑳《测绘中国地图纪事》〔法〕J. B. 杜赫德著，葛剑雄译，《历史地理》（第二辑）

㉑同⑯

㉒《评<康熙皇與全览图研究>》傅吾康（w. Franke）著，胡隽吟译 中德学志 第六卷1－2期 1944年

㉓《Memoirs of Father Ripa》Matteo Ripa 1855年，本条资料由韩琦见示，在此表示谢意。

㉔《硃批谕旨》第十册“塞楞额”卷，第三十一册“田文镜”卷

㉕ 故宫博物院院刊 1990年第一期。

㉖原载《东塾集》卷2，转引《清人文集地理类资料汇编》（一）

㉗原载《养一斋文集》卷19，转引《清人文集地理类资料汇编》（一） 谭其骧主编 浙江人民出版社

㉘㉙㉚分别见《俄国，蒙古，中国》中译本P355－356

㉛ 本节引用文献见正文后“参考文献”

第一章：《概述》所载经纬度值精度分析

《概述》中所记经纬度值绝大部分为传教士为绘制《皇舆全览图》所测算①，因而这些值的精度可以看成是这次大规模天文大地测量和推算的经纬度值的精度。为了更准确地分析这些经纬度的精度，本文将长城以内15个省的497个测算点的经纬度值进行对比统计分析。

第一节　对比统计分析原则及方法

《概述》中所载测算点均为拼音地名，法文与英文拼法不一样，本文的"附表一"是将《概述》中地图的拼音地名对照《满汉合璧清内府一统舆地秘图》和《康熙皇舆全览图》一一查出。

为了进行精度分析。本文以《中国地名录》②中所载经纬度值为依据，将译出的测算点考证出今地，由于将长城以北地区的测算点考证出今地较为困难（一是地名的汉文形式也是据当时当地读音音译，现在读音上发生较大变化；二是有的地名现在已经消失，无法确指；三是地名有的扩大了包容范围或挪动了地点，难以定出当时的地望），故列表分析时只选取了长城以内15省的测算点。

古今地点的考证，主要依据《中国历史地图集》③第七、八册，由于所用第七册部分的地图中建置时间以万历十年（1582）为限，所用第八册部分的地图中建置时间以嘉庆二十五年（1820）为限。中间相差300年，地名难免有些变化，因此便参考《清史稿·地理志》④、《清代地理沿革表》⑤及有关省份的地理沿革著述进行核实，确定出今地。

府、州、县等政区地名的定位，定在政府所在地（府治、州治和县治），至于是在政府所在地何位置则难以确定。实际在小比例尺地图中这种政府所在地均只标一不同等级的圆圈，没有表示出不同位置的经纬度差异，而且本文计算以 1′ 为最小单位（相当于 1855 米）⑥，小于此数均在误差允许范围之内，对于大部分不同等级政府所在地来说，政区地名的定位可以近似地定在政府所在地的中心。

原测算值依据《概述》附表及地图上的标识可以分为测量和推算两类，所谓测量值是指直接通过天文方法获取的值。所谓推算值是指通过三角测量然后依据测量值进行推算的值，它与后面所述推定值不同（所谓推定值是依据现存地图利用投影公式反推出的经纬度值）。测量值与推算值合称测算值。

《中国地名录》所载经纬度值以度为单位，保留小数 1位，而《概述》中的以秒为最小单位的值取整数。单位不统一无法入算，因此，便将今值转化为以分为最小单位，取整数，并将测算值进行四舍五入（≥30″加1′，<30″舍去）达到相同单位。另外，由于《概述》中的经纬度值以通过北京观象台的子午线为起算点（0度），而《中国地名录》中的经纬值以通过英国格林威治天文台的子午线为起算点（0度），两者相距 116.4 度，计算中必须先将两值换成以同一地为起算点的值。本文以北京观象台⑦为起算点，将今值减去 116.4°，正值为东经，负值为西经。

如果今值在《中国地名录》中查不到，便依据《中国历史地图集》（第八册）或《中华人民共和国地图集》⑧进行量算。15个省 505 个地点中有 8个地名定不出今值，暂缺。

在计算差值时以换算过的今值为标准，大于此值部分为负值，小于此值部分为正值，等于此值为零值<见附表一>

第二节　纬度精度

从表 1－1中可以看出：

1．15省平均误差值为 5.1分，正值平均误差值为 5.4分，负值平均误差值为 5.6分。

2．各省中，平均误差值最大的是河南省，为 7.8分，最小的是贵州省，为 3.2分。负值平均误差值最大的也是河南省，为 7.9分，最小的也是贵州省，为 2.4分。正值平均误差值最大的虽然又是河南省，为 12分，而最小的却是江南省，为 2.5分。

3．各省中，正差值占比例最大的是贵州省，为 56%，最小的是浙江省，为 3%。负差值占比例最大的是直隶省，为 98%，最小的则是贵州省，为 20%。零差值占比例最大的还是贵州省，为 24%，最小的则是直隶省，为 0。正差值数所占比例在 30%以上的有 5个省，按大小顺序排列为：贵州省、广西省、湖广省、江西省。负差值数所占比例在 50%以上的有 13省，80%以上的有 6省：直隶省、浙江省、河南省、江南省、山东省和云南省。

4．各省中，最大正差值是福建省的柘洋堡和广西省的都阳府，为 39分。最大负差值是江南省的古邳州，为 40分。15省平均最大正差值为 12.9分，平均最大负差值为 14分。最小的“最大正差值”在江南省，为 3分；最小的“最大负差值在贵州省”，为 6分。

5．各省中，最大正负差值绝对值之和最大的是广西省，为 52分；最小的是山东省，为 16分。

6．各省中，正负平均值绝对值之和最大的是河南省，为 19.9分（12.0＋7.9）；最小的是贵州省，为 7.3分（4.9＋2.4）。

15省平均“正负平均值绝对值之和”为11分（5.4＋5.6）。

第三节　经度精度

由表1-1分析又可得出如下结论：

1．15省平均误差值为11.5分，正值平均误差值为9.6分，负值平均误差值为13.5分。

2．各省中，平均误差值最大的是广东省，为23.5分；最小的是江西省，为4.4分。正值平均误差值最大的是河南省，为16.1分；最小的是江西省，为3.6分。负值平均误差值最大的是广东省，为23.9分；最小的是云南省，为3分。

3．各省中，正差值数所占比例最大的是云南省，为93%；最小的是广东省和湖广省，均为2%。负差值数所占比例最大的是广东省，为23.9%，最小的是云南省，为3.0%。零差值占比例最大的是四川省，为21%；最小的有福建省、山东省、广西省和云南省，均为0。正差值数所占比例在60%及以上有6个省：云南省（93%）、直隶省（66%）、河南省（66%）、四川省（61%），江南省和浙江省（均为60%）。负差值数所占比例在80%以上也有6个省，它们是广东省（98%）、湖广省（94%）、广西省（93%）、贵州省（84%）、山西省（82%）和福建省（81%）。

4．各省中，最大正差值是河南省的郑州，为82分（1°22′）；最大负差值是湖广省的石门县，为119分（1°59′）。15省平均最大正差值是31.5分，平均最大负差值是39.5分。最小“最大正差值”在湖广省，为4分；最小“最大负差值”在云南省，为3分。

5．各省中，最大正负差值绝对值之和最大的山西省，为133

分(71+62)；最小的云南省，为24分(21+3)。

6．各省中，正负平均值绝对值之和最大的是广东省，为28.9分(5.0+23.9)；最小的江西省，为9.5分(3.6+5.9)。15省的平均“正负平均值绝对值之和”为23.1分(9.6+13.5)。

第四节　经纬度差值比较

从上述分析结论中还可得出如下认识：

1．纬度误差正值数所占比例为20%，经度误差正值数所占比例为36%，表明经度的正差值数比纬度的多。纬度误差负值数所占比例为73%，经度误差负值数所占比例为60%，表明此项与上项相反，经度的负差值数比纬度的少。纬度误差零值数所占比例为7%，经度误差零值数所占比例为5%，两个比例均小于10%，表明经纬度误差为零的数很少，90%以上的数均存在差值。

2．纬度误差正值平均值为5.4分，经度误差正值平均值为9.6分，表明经度的正平均差值大于纬度的正平均差值。纬度误差负值平均值为5.6分，经度误差负值平均值为13.5分，也表明经度的负平均差值大于纬度的负平均差值，而且其相差距离比正值平均值的大〔(13.5－5.6)＞(9.6－5.4)〕。

3．纬度误差总平均值为5.1分，经度误差的总平均值为11.5分，表明后者大前者6.4分。纬度误差正负平均值的绝对值之和为11分，而经度误差正负平均值的绝对值之和为23.1分，后者又是大于前者。表明经度误差正负值距离较纬度的大。

4．纬度误差平均最大正值为12.9分，经度误差平均最大正值为31.5分，经度的值大纬度的值18.6分(31.5－12.9)。纬

度误差平均最大负值为 1 4分，而经度误差平均最大负值为39.5分，经度的值大纬度的值25.5分（ 39.5－ 14.0 ）。表明就是极端误差值也是经度的比纬度的大。

以上四条都表明：经度值误差比纬度值的误差大，反过来说，纬度值比经度值精确。

第五节　精度综合分析

通过列表（见表 1－ 1 ）计算分析可知：

1．1 5省测算值的总平均误差值为 8.3分。

2．各省的总平均误差值以广东省为最高（ 13.6分），其次是广西省（ 12.2分），两省高值的原因均是由于经度误差总平均值高所造成的。而经度误差总平均值高的原因又是经度误差负值平均值高所导致的。

3．各省的总平均误差值以江西省为最低（4.4分），其次是四川省（5.4分）。其原因也是由于经度误差总平均值低，更确切地说是由于经度误差负值平均值低。

4．无论是经度，亦还是纬度，其负误差值数所占比例均大于 5 0%（前者为 6 0%，后者为 7 3%），表明所测算的值大部份比实际值大。

注释

① 《概述》中所载经纬度值除去为绘《皇舆全览图》而直接测算的外，还有部分是其它传教士在康熙朝早期或此朝以前及以后所测，由于原始文献不易查到，所以很难将二部分明显分开。

表1－1

省别	测算总数	入算总数	纬度误差 正值 总数	纬度误差 正值 所占比例	纬度误差 正值 平均值	纬度误差 负值 总数	纬度误差 负值 所占比例	纬度误差 负值 平均值	纬度误差 零值 总数	纬度误差 零值 所占比例	纬度误差 总平均值	纬度误差 最大正值	纬度误差 最大负值	经度误差 正值 总数	经度误差 正值 所占比例	经度误差 正值 平均值	经度误差 负值 总数	经度误差 负值 所占比例	经度误差 负值 平均值	经度误差 零值 总数	经度误差 零值 所占比例	经度误差 总平均值	经度误差 最大正值	经度误差 最大负值	总平均值
直隶	48	41	1	2	6.0	40	98	5.6	0	0	5.6	6	14	27	66	8.5	11	27	13.3	3	7	9.2	47	42	7.4
江南	37	37	2	5	2.5	33	89	6.9	2	5	6.3	3	40	22	60	10.6	12	32	8.3	3	8	9.0	68	33	7.7
江西	30	30	9	30	2.6	20	67	5.4	1	3	4.4	8	13	7	23	3.6	21	70	5.9	6	7	4.4	6	23	4.4
福建	37	37	7	19	7.3	29	78	3.4	1	3	4.1	39	12	7	19	14.0	30	81	9.3	0	0	10.2	22	40	7.2
浙江	30	30	1	3	10.0	28	93	4.6	1	3	4.7	10	11	18	60	8.0	11	37	9.6	1	3	8.3	19	21	6.5
湖广	54	53	16	30	4.6	34	64	5.2	3	6	4.7	10	12	1	2	4.0	50	94	13.8	2	4	13.1	4	119	8.9
河南	29	29	1	4	12.0	27	93	7.9	1	4	7.8	12	16	19	66	16.1	8	28	3.3	2	7	11.5	82	6	9.7
山东	28	28	1	4	4.0	25	89	7.2	2	7	6.5	4	12	7	25	8.8	21	75	19.7	0	0	17.0	13	99	11.8
山西	28	28	3	11	5.3	21	75	6.0	4	14	5.0	9	13	4	14	4.0	23	82	8.0	1	4	7.1	71	62	6.1
陕西	28	28	6	24	5.5	21	75	6.0	1	4	5.6	8	12	14	50	12.4	12	43	13.1	2	7	11.8	38	32	8.7
四川	28	28	9	32	4.2	17	61	5.7	2	7	4.8	8	12	17	61	7.4	5	18	8.8	6	21	6.0	40	22	5.4
广东	45	45	10	22	5.7	27	60	4.0	8	18	3.7	12	13	1	2	5.0	44	98	23.9	0	0	23.5	5	40	13.6
广西	28	28	15	54	8.3	11	39	4.8	2	7	6.2	39	13	2	7	9.0	26	93	18.9	0	0	18.1	17	31	12.2
云南	30	30	5	17	3.8	24	80	6.0	1	3	5.4	7	11	28	93	8.8	2	7	3.0	0	0	8.3	21	3	6.9
贵州	25	25	4	56	4.9	5	20	2.4	6	24	3.2	19	6	5	12	10.0	21	84	9.5	1	4	[illegible].2	20	19	6.2
总计	505	497	100	20	5.4	362	73	5.6	35	7	5.1	12[illegible].9	14	179	36	9.6	297	60	13.5	24	5	11.5	31.5	39.5	8.3
最大值	54	53	16	56	12.0	39	98	7.9	8	24	7.8	40	39	28	93	16.1	50	98	23.9	6	21	23.5	119	82	13.6
最小值	25	25	1	3	2.5	5	20	2.4	0	0	3.2	11	3	1	2	3.6	2	7	3.0	0	0	4.4	3	4	4.4

注：表中总数单位为个，比例为百分比（%），各类差值的单位为分。

② 国家测绘局测绘科学研究所地名研究室编，地图出版社，1983年。

③ 谭其骧主编 地图出版社 1982年，1987年。

④ 赵尔巽等撰 中华书局 1976年

⑤ 赵泉澄著 中华书局 1955年

⑥ 一度为200里，折合公制111300米，故每分为1855米。

⑦ 因为传教士是以通过观象台的子午线为本初子午线。

⑧ 地图出版社，1979年 八开本。

第二章　所用经纬度测算方法及其误差分析

康熙朝天文大地测量及地图绘制中，传教士用来确定经纬度的方法可分两类，一类是实地测量方法（包括天文的和三角测量法），一类是依据一定的数据利用公式进行计算的方法（主要是利用球面三角公式）。在二大类方法中，实地测量方法是基础，它决定公式计算方法的精度，康熙朝所定经纬度值精度之所以远胜从前，主要依赖于此种方法的系统、全面使用。而在确定经纬度过程当中，则以公式计算方法使用的次数为多，即是说：大部分的测算值是由公式求得的。

在第一章中详细地分析了测算经纬度值的精确程度，换句话说即是分析了误差程度及分布的情况，那么什么是造成这种误差程度和分布的主要原因呢？本章则着重从对所利用的测算方法的分析中来寻求答案。

第一节　天文测量方法

一、求纬度的方法

纬度的天文测量方法主要有测“太阳地平高度”和“北极星高度”两种，兹述如下。

㈠　由太阳地平高度定纬度

据白晋《康熙皇帝》①和《张诚日记》②记载，当时用来测量正午太阳高度角的仪器有“梅纳公爵半圆仪”、“四分象限仪”、“大天文环”等。其具体测法，张诚在日记中记述道：“当时太阳正在子午线上，因为我两次望见它经过，它的上半体压在望远镜片的中线，

没有什么可觉察得到的上升或下降③”“量得它约是15°15'……因此，就这次观测来看，尼布楚的纬度是51°49'”④。雷孝思在给耶苏会的信中也记述：“持续不断进行三角法测量，远有其有利之处，这不仅可以测出一地的经度，而且还可以得到该地的纬度，此后可以通过测定太阳或北极星在子午圈的高度加以校正⑤”由此可见，这次测量中的确使用过测太阳地平高度的方法。

测出太阳地平高度后，用何种方法计算出当地纬度，未见详细记载，本文依据当时的背景材料对此作一探讨。现今所用“从太阳地平高度求当地纬度”的公式为

当地纬度＝90°＋观测时太阳赤纬——太阳中心的地心高度

太阳赤纬或直接查表得，或用内插法求得。其公式为：

$$\delta=\delta_0+n\triangle'\tfrac{1}{2}+\beta_2(\triangle''_0+\triangle''_1)$$

$$[\beta_2=\tfrac{1}{4}n(n-1)]$$

太阳中心地心高度＝太阳下边缘实测高度－蒙气差＋太阳视半径＋太阳视差改正〔即太阳地平视差×Sin（太阳天顶距）〕

此处牵涉到几个重要数值，康熙朝测绘时是否已经考虑到，所用数值又是多少，下文将逐一论述。

㈠ 蒙气差　由于大气折射，观测者所见星的方向与星的真方向不同，这个方向差定名为“蒙气差”，观测所得高度减去蒙气差即为真高度。关于“蒙气差”的概念，康熙年间已传入中国*。《康熙几

* 16世纪，弟谷测定了大气折射值，17世纪，G.D.卡西尼首先建立大气折射理论。此后不少著名学者如牛顿、布拉得雷、拉普拉斯和贝塞尔等都对大气折射进行研究。至今应用最广的是普尔科沃天文台所编的大气折射表（1870年初版）。

暇格物编》编上之上“蒙气”条说：“蒙气离地甚近，四十度以上即不用蒙气表矣，故地方高朗清处皆无蒙气。近有测量地里图人早行，晨鸡未发，忽见天际如日方升，林木村舍依稀辨色，须臾昏黑如故，移时东方始明，盖日在地平之下，光映蒙气而浮上也。正如置钱碗底，远视若无，及盛满水时则钱随水光而显见矣⑦”。《御制历象考成》（下简称《考成》）卷四“日躔历理”中“清蒙气差”条则概述了西方对蒙气差的探讨：“清蒙气差，从古未闻，明万历间西人弟谷始发之，……弟谷言其国北极出地五十五度有奇，测得地平上最大之差三十四分，自地平以上其差渐少，至四十五度其差五秒，更高则无差矣，此即新法历书所用之表也。近日西人又言于北极出地四十八度地方，测得太阳高四十五度时蒙气差尚有一分馀，自地平至天顶皆有蒙气差⑧”。《考成》完成于康熙六十一年（1722），但其修订时间始于康熙五十三年（1714），那时测绘工作正全面展开，传教士已去全国各地，因此可以推断：康熙朝天文大地测量所用的蒙气差值就是《考成》中所载的蒙气差值，即弟谷所定值⑨，它与其后的《历象考成后编》（下简称《后编》）（1742年成书）以及今天所定数值均有较大差别，现列表比较分析如下：（表2－1）

1．《考成》与《后编》相差最大值为285秒（绝对值）。最大正差值为115秒，最大负差值为285秒。地平高度3—27度为负差值，1—2度、28—45度为正差值。

2．《考成》与《1987年天文测量简历》⑩（下简称《简历》）所载值相较，最大差值（绝对值）为243秒，最大正差值为62秒，最大负差值为243秒。地平高度14—27度为负差值，28—45度为正差值。

3．《后编》与《简历》所载值相较，最大差值（绝对值）为5

蒙气差值比较表

表 2－1

地平高度	《考成》载值	《后编》载值	较差1	《简历》载值	较差2	较差3
1	1560"	1675"	+115"			
2	1200	1264	+64			
3	1020	966	−54			
4	930	768	−162			
5	870	632	−238			
6	820	535	−285			
7	765	463	−202			
8	675	407	−268			
9	630	363	−267			
10	600	328	−272			
11	570	298	−272			
12	540	273	−267			
13	510	252	−258			
14	480	233	−247	237	−243	+4
15	450	218	−232	221	−229	+3
16	420	204	−216	207	−213	+3
17	390	191	−199	194	−196	+3
18	345	180	−165	183	−162	+3
19	300	169	−131	173	−127	+4
20	270	159	−111	164	−106	+5
21	240	151	−89	155	−85	+4
22	210	145	−65	148	−62	+3
23	190	138	−52	141	−49	+3
24	170	132	−38	134	−36	+2
25	150	126	−24	128	−22	+2
26	135	120	−15	123	−12	+3
27	120	115	−5	117	−3	+2

注：较差1：《后编》值—《考成》值

较差2：《简历》值—《考成》值

较差3：《简历》值—后编值

《简历》值均将小数点后值四舍五入。

单位均为秒

地平高度	《考成》载值	《后编》载值	较差1	《简历》载值	较差2	较差3
28	105	111	+6	113	+8	+2
29	95	106	+11	108	+13	+2
30	85	102	+17	104	+19	+2
31	75	98	+23	100	+25	+2
32	65	94	+29	96	+31	+2
33	55	90	+35	92	+37	+2
34	45	87	+42	89	+44	+2
35	35	83	+48	86	+51	+3
36	30	80	+50	83	+53	+3
37	25	78	+53	80	+55	+2
38	20	75	+55	77	+57	+2
39	15	72	+57	74	+59	+2
40	10	70	+60	72	+62	+2
41	9	67	+58	69	+60	+2
42	8	65	+57	67	+59	+2
43	7	63	+56	64	+57	+1
44	6	61	+55	62	+56	+1
45	5⑪	59	+54	60	+55	+1
46		58		58		0
47		56		56		0
48		54		54		0
49		52		52		0
50		50		50		0
51		49		49		0
52		47		47		0
53		45		45		0
54		43		44		+1
55		41		42		+1
56		40		41		+1
57		38		39		+1
58		37		38		+1
59		35		36		+1
60		34		35		+1
61		33		33		0
62		31		32		+1

地平高度	《考成》载值	《后编》载值	较差1	《简历》载值	较差2	较差3
63		30		31		+1
64		28		29		+1
65		27		28		+1
66		26		27		+1
67		25		26		+1
68		24		24		0
69		22		23		+1
70		21		22		+1
71		20		21		+1
72		19		20		+1
73		18		18		0
74		17		17		0
75		16		16		0
76		14		15		+1
77		13		14		+1
78		12		13		+1
79		11		12		+1
80		10		11		+1
81		9		10		+1
82		8		8		0
83		7		7		0
84		6		6		0
85		5		5		0
86		4		4		0
87		3		3		0
88		2		2		0
89		1		1		0
90		0		0		0

秒，而且都是正差值。这说明，两值相当接近，现代值比《后编》值微大。若当时采用的是《后编》值，精确程度便会大大提高。

4．《考成》与《简历》所载值相较，绝对差值小于60秒（即1分）有地平高度为23—39、42—45度共21度，在本文计算中可以忽略不计。只有当绝对差值大于60秒（即1分）时，本文才予考虑。绝对差值最高达4分多，在分析测量误差原因中，不能不予以重视。

另外，现代进行蒙气差计算还加有修正值，这是当时所未用过的。蒙气差订正值公式为：⑫

$$R = R_0(1 + \alpha A + \beta)$$

R的最大值为1248秒

由此可见，蒙气差订正值对于测量误差也有一定的影响。

(2) 太阳视半径

太阳视半径是计算太阳中心地心高度的重要参数。为了比较当时所用数值与现代所用数值的差别，分析精确程度，理应将现代值与当时值进行对应比较分析，但是现代值的计算方法与当时所用十二次法（十二宫360度）不同，采用的是逐日法，所以不能一一对应比较。但比《考成》后成书的《后编》采用的却是十二次法，而且是比较接近于实际数值，我们不妨来进行一一对应的比较，以求分析出误差的程度（见表2－2）。

1．由表2－2可知，两者相差值为50"或51"，且都是正值，说明《后编》值大于《考成》值，并近似为常量。

2．由于《考成》值比《后编》值或曰实际值为小，因此计算得来的太阳中心地心高度就比实际的小，那么计算出来的测点地理纬度便会比实际的大。

(3) 黄赤交角

黄赤交角，清康熙时称“黄赤大距”，它是推算太阳赤纬的依据。现代求黄赤交角有一理论公式：[13]

$$\varepsilon = 23°27'08''.26 - 46.''845T - 0.''0059T^2 + 0.''000181T^3$$

T是自1900年起算的儒略世纪数，在1900年之前为负值，以后为正值

康熙朝测绘始于18世纪初，故取1700年值，即T=－2，由上述公式求得ε为23°28'34"。

那么，测量时所用黄赤交角是何值呢？据《考成》卷四“日躔历理”中“黄赤距纬”所载：“自康熙五十三年以来于畅春园累测夏至午正太阳高度，得视高七十三度二十九分十余秒，加地半径差五十秒，得实高七十三度三十分，减去本处之赤道高五十度零三十，余二十三度二十九分三十秒，为黄道赤道距最远之率”。此处所述新测的黄赤交角为23°29'30"，肯定不是测量时所用的值，因为测量已于康熙五十年（1711）全面展开。那么，究竟用何值呢？《钦定大清会典事例》[14]卷1103中记载：“（康熙）五十三年奉旨，北极高度、黄赤距度，于历法最为紧要，著于澹宁居后每日测量，钦此。遵制中表、正表、倒表各二具，均高四尺；象限仪二具，均半径五尺，昼测日影，夜测勾陈帝星，测得畅春园北极高三十九度五十九分三十秒，比观象台高四分三十秒。黄赤大距，二十三度二十九分三十秒，比旧少一分三十秒”。黄赤大距即黄赤交角，在康熙五十三年之前之“旧”值为23°31'（23°29'30"＋1'30"）此值又比《西洋新法历法》中所载值23°31'32"小32"，当为传教士测量所用值。与理论值（23°28'34"），则大了2'58"。

太阳视半径对照表

表2－2

引数		《考成》		《后编》		较差	引数	
宫	度	分	秒	分	秒		宫	度
0	0	15	33	16	23	+50"		30
	1		32		23	+51"		29
	2		32		23	+51"		28
	3		32		23	+51"		27
	4		32		23	+51"		26
	5		32		23	+51"		25
	6		32		23	+51"		24
	7		32		22	+50"		23
	8		32		22	+50'		22
	9		32		22	+50'		21
	10		32		22	+50'		20
	11		32		22	+50'		19
	12		32		22	+50'		18
	13		32		22	+50'		17
	14		32		22	+50'		16
	15		32		22	+50'		15
	16		32		22	+50'		14
	17		32		22	+50'		13
	18		32		22	+50'	11	12
	19	15	32	16	22	+50'		11
	20		32		22	+50'		10
	21		31		22	+51'		9
	22		31		21	+50'		8
	23		31		21	+50'		7
	24		31		21	+50'		6
	25		31		21	+50'		5
	26		31		21	+50'		4
	27		31		21	+50'		3
	28		31		21	+50'		2
	29		30		21	+51'		1
	30		30		20	+50'	11	0
1	0		30		20	+50'		30

引数		《考成》		《后编》		较差	引数	
宫	度	分	秒	分	秒		宫	度
1	1	15	30	16	20	+50'		29
	2		30		20	+50'		28
	3		30		20	+50'		27
	4		30		20	+50'		26
	5		30		20	+50'		25
	6		29		19	+50'	10	24
	7		29		19	+50"		23
	8		29		19	+50"		22
	9		29		19	+50"		21
	10		29		19	+50"		20
	11		28		19	+51"		19
	12		28		18	+50"		18
	13		28		18	+50"		17
	14		28		18	+50"		16
	15		28		18	+50"		15
	16		27		18	+51"		14
	17		27		17	+50"		13
	18		27		17	+50"		12
	19		27		17	+50"		11
	20		27		17	+50"		10
	21		26		17	+51"		9
	22		26		16	+50"		8
	23		26		16	+50"		7
	24		26		16	+50"		6
	25		25		16	+51"	10	5
	26		25		15	+50"		4
	27		25		15	+50"		3
	28		25		15	+50"		2
	29		25		15	+50"		1
	30		24		14	+50"	10	0
2	0		24		14	+50"		30
	1		24		14	+50"		29
	2		24		14	+50"		28
	3		23		14	+51"		27
	4		23		13	+50"		26

引数		《考成》		《后编》		较差	引数	
宫	度	分	秒	分	秒		宫	度
2	5	15	23	16	13	+50"		25
	6		23		13	+50"		24
	7		22		13	+51"		23
	8		22		12	+50"		22
	9		22		12	+50"		21
	10		22		12	+50"		20
	11		21		12	+51"		19
	12		21		12	+51"		18
	13		21		11	+50"	9	17
	14		21		11	+50"		16
	15		20		11	+51"		15
	16		20		10	+50"		14
	17		20		10	+50"		13
	18		19		10	+51"		12
	19		19		9	+50"		11
	20		19		9	+50"		10
	21		19		9	+50"		9
	22		18		9	+51"		8
	23		18		8	+50"		7
	24		18		8	+50"		6
	25		17		8	+51"		5
	26		17		7	+50"		4
	27		17		7	+50"		3
	28		17		7	+50"		2
	29		16		7	+51"		1
	30		16		6	+50"	9	0
3	0		16		6	+50"		30
	1		16		6	+50"	8	29
	2		15		6	+51"		28
	3		15		5	+50"		27
	4		15		5	+50"		26
	5		15		5	+50"		25
	6		14		5	+51"		24
	7		14		4	+50"		23
	8		14		4	+50"		22

引数		《考成》		《后编》		较差	引数	
宫	度	分	秒	分	秒		宫	度
3	9	15	13	16	4	+51"		21
	10		13		3	+50"		20
	11		13		3	+50"		19
	12		12		3	+51"		18
	13		12		3	+51"		17
	14		12		2	+50"		16
	15		12		2	+50"		15
	16		11		2	+51"		14
	17		11		2	+51"		13
	18		11		1	+50"		12
	19		11		1	+50"		11
	20		10		1	+51"	8	10
	21		10		0	+50"		9
	22		10		0	+50"		8
	23		10		0	+50"		7
	24		9		0	+51"		6
	25		9	15	59	+50"		5
	26		9		59	+50"		4
	27		9		59	+50"		3
	28		8		59	+51"		2
	29		8		58	+50"		1
	30		8		58	+50"	8	0
4	0		8		58	+50"		30
	1		8		58	+50"		29
	2		7		58	+51"		28
	3		7		57	+50"		27
	4		7		57	+50"		26
	5		7		57	+50"		25
	6		6		57	+51"		24
	7		6		56	+50"		23
	8		6		56	+50"	7	22
	9		6		56	+50"		21
	10		5		56	+51"		20
	11		5		56	+51"		19
	12		5		55	+50"		18

引数		《考成》		《后编》		较差	引数	
宫	度	分	秒	分	秒		宫	度
4	13	15	5	15	55	+50"		17
	14		5		55	+50"		16
	15		4		55	+51"		15
	16		4		55	+51"		14
	17		4		54	+50"		13
	18		4		54	+50"		12
	19		4		54	+50"		11
	20		3		54	+51"		10
	21		3		54	+51"		9
	22		3		53	+50"		8
	23		3		53	+50"		7
	24		3		53	+50"		6
	25		2		53	+51"		5
	26		2		53	+51"		4
	27		2		53	+51"		3
	28		2		52	+50"		2
	29		2		52	+50"		1
	30		2		52	+50"	77	0
5	0		2		52	+50"		30
	1		2		52	+50"		29
	2		1		52	+51"		28
	3		1		52	+51"		27
	4		1		52	+51"		26
	5		1		51	+50"		25
	6		1		51	+50"		24
	7		1		51	+50"		23
	8		1		51	+50"		22
	9		1		51	+50"		21
	10		1		51	+50"		20
	11		0		51	+51"		19
	12		0		51	+51"		18
	13		0		51	+51"		17
	14		0		51	+51"		16
	15		0		51	+51"	6	15
	16		0		51	+50"		14

引数		《考成》		《后编》		较差	引数	
宫	度	分	秒	分	秒		宫	度
5	17	15	0	15	50	+50"		13
	18		0		50	+50"		12
	19		0		50	+50"		11
	20		0		50	+50"		10
	21		0		50	+50"		9
	22		0		50	+50"		8
	23		0		50	+50"		7
	24		0		50	+50"		6
	25		0		50	+50"		5
	26		0		50	+50"		4
	27		0		50	+50"		3
	28		0		50	+50"		2
	29		0		50	+50"		1
	30		0		50	+50"	6	0

(4) 太阳赤纬

太阳赤纬，康熙时称“黄赤距度”。《考成》下卷“考成表”中列有“黄赤距度表”。它按二分二至分逆列，二分后之各宫列于上，降娄，大梁、奎沈三宫系春分后为北纬，寿星、大火、析木三宫系秋分后为南纬，其数同。二至后之各宫列于下，鹑首、鹑火、鹑尾三宫系夏至后为北纬，星纪、元枵、娵訾三宫系冬至后为南纬，其数同。太阳实行在上六宫者用顺度，太阳实行在下六宫者用逆度。

由于此表又是使用十二次法计算排列，而与现代之逐日法排列不同，故无法一一对照，只有象前述一样，以《后编》所列之数进行对比，以分析其误差情况。

从表2－3中可以看出：

1．《考成》的所有“黄赤距度”值均比《后编》中对应值大，也表明它与实际值都大（因为《后编》中的值更接近实际值）。

2．差值因宫而有别：奎沈北、析木南的差值均在25″以上；大梁北、大火南的差值均大于14″，而降娄北、寿星南的差值最大不超过14″，最小可为0。

3．差值最大值为63″，即1分有余。大于60″的值只有6个，其余均小于60″，这个差值，虽然不在测量误差范围之内（因为测量值最小单位是秒），但是在本文计算和比较的误差允许范围之内（因为本文计算和比较值精确到0.10），故不是构成本文所算误差的组成部分，可以忽略不计。

(5) 太阳视差

太阳视差，又称地半径差。天文学意义是太阳地面高度与地心高度之差。

康熙朝大地测量时所用何值，未见明确记载。据研究：应是以

表2－3

黄道	北沈实 南木析 《考成》值	北沈实 南木析 《后编》值	北沈实 南木析 差值	北梁大 南火大 《考成》值	北梁大 南火大 《后编》值	北梁大 南火大 差值	北娄降 南星寿 《考成》值	北娄降 南星寿 《后编》值	北娄降 南星寿 差值	黄道
30 00	20 11 41	20 11 16	−25	11 29 47	11 29 33	−14	00 00 00	00 00 00	0	0 00
50	13 48	13 23	−25	33 18	33 04	−14	03 59	03 59	0	10
40	15 55	15 29	−26	36 49	36 35	−14	07 58	07 58	0	20
30	18 00	17 35	−25	40 20	40 06	−14	11 58	11 57	−11	30
20	20 06	19 40	−26	43 50	43 36	−14	15 57	15 56	− 1	40
10	22 10	21 45	−25	47 20	47 06	−14	19 56	19 55	− 1	50
29 00	24 14	23 49	−25	50 50	50 35	−15	23 55	23 54	− 1	1 00
50	26 18	25 52	−26	54 19	54 05	−14	27 54	27 54	0	10
40	28 20	27 55	−25	57 48	57 34	−14	31 53	31 53	0	20
30	30 23	29 57	−26	12 01 17	12 01 02	−15	35 52	35 52	0	30
20	32 24	31 58	−26	04 45	04 30	−15	39 51	39 51	0	40
10	34 25	33 59	−26	08 13	07 58	−15	43 50	43 50	0	50
28 00	36 25	35 59	−26	11 41	11 26	−15	47 49	47 49	0	2 00
50	38 25	37 59	−26	15 08	14 53	−15	51 48	51 48	0	10
40	40 24	39 58	−26	18 35	18 20	−15	55 48	55 46	− 2	20
30	42 22	41 56	−26	22 02	21 47	−15	59 46	59 45	− 1	30
20	44 20	43 54	−26	25 28	25 13	−15	01 03 45	01 03 44	− 1	40
10	46 17	45 51	−26	28 54	28 39	−15	07 44	07 43	− 1	50
27 00	48 14	47 48	−26	32 20	32 05	−15	11 43	11 42	− 1	3 00
50	50 10	49 43	−27	35 45	35 30	−15	15 42	15 41	− 1	10
40	52 05	51 38	−27	39 10	38 55	−15	19 41	19 40	− 1	20
30	53 59	53 33	−26	42 35	42 19	−16	23 40	23 38	− 2	30

黄道	北沈实 南木析			北梁大 南火大			北娄降 南星寿			黄道
	《考成》值	《后编》值	差值	《考成》值	《后编》值	差值	《考成》值	《后编》值	差值	
27 20	20 55 53	20 55 27	−26	12 45 59	12 45 43	−16	01 27 39	01 27 37	− 2	3 40
10	57 47	57 20	−27	49 23	49 07	−16	31 37	31 36	− 1	50
26 00	59 39	59 13	−26	52 47	52 31	−16	35 36	35 34	− 2	4 00
50	21 01 31	21 01 05	−26	56 10	55 54	−16	39 35	39 33	− 2	10
40	03 22	02 56	−26	59 33	59 17	−16	43 33	43 31	− 2	20
30	05 13	04 46	−27	13 02 55	13 02 39	−16	47 32	47 30	− 2	30
20	07 03	06 36	−27	06 17	06 01	−16	51 31	51 28	− 3	40
10	08 53	08 26	−27	09 39	09 23	−16	55 29	55 27	− 2	50
25 00	10 41	10 14	−27	13 01	12 44	−17	59 27	59 25	− 2	5 00
50	12 29	12 03	−26	16 22	16 05	−17	02 03 26	02 03 23	− 3	10
40	14 17	13 50	−27	19 42	19 26	−16	07 24	07 22	− 2	20
30	16 03	15 37	−26	23 03	22 46	−17	11 22	11 20	− 2	30
20	17 50	17 23	−27	26 23	26 06	−17	15 20	15 18	− 2	40
10	19 35	19 08	−27	29 42	29 26	−16	19 19	19 16	− 3	50
24 00	21 20	20 53	−27	33 01	32 45	−16	23 17	23 14	− 3	6 00
50	23 04	22 37	−27	36 20	36 04	−16	27 15	27 12	− 3	10
40	24 47	24 20	−27	39 39	39 22	−17	31 13	31 10	− 3	20
30	26 30	26 03	−27	42 57	42 40	−17	35 11	35 08	− 3	30
20	28 12	27 45	−27	46 15	45 58	−17	39 09	39 05	− 4	40
10	29 54	29 27	−27	49 32	49 15	−17	43 06	43 03	− 2	50
23 00	31 35	31 07	−28	52 49	52 32	−17	47 04	47 01	− 3	7 00
50	33 15	32 47	−28	56 05	55 48	−17	51 02	50 58	− 4	10

黄道	北沈实 南木桥			北梁大 南火大			北娄降 南星寿			黄道
	《考成》值	《后编》值	差值	《考成》值	《后编》值	差值	《考成》值	《后编》值	差值	
23 40	21 34 54	21 34 27	−27	13 59 22	13 59 04	−17	02 54 59	02 54 56	− 3	77 20
30	36 33	36 06	−27	14 02 37	14 02 20	−17	2 58 57	2 58 53	− 4	30
20	38 11	37 44	−27	05 53	05 35	−18	3 02 54	3 02 50	− 4	40
10	39 48	39 21	−27	09 08	08 50	−18	06 51	06 48	− 3	50
22 00	41 25	40 58	−27	12 22	12 05	−17	10 49	10 45	− 4	8 00
50	43 01	42 34	−27	15 37	15 19	−18	14 46	14 42	− 4	10
40	44 37	44 09	−28	18 50	18 33	−17	18 43	18 39	− 4	20
30	46 11	45 44	−27	22 04	21 46	−18	22 40	22 36	− 4	30
20	47 45	47 18	−27	25 17	24 59	−18	26 37	26 33	− 4	40
10	49 19	48 51	−28	28 29	28 12	−17	30 34	30 29	− 5	50
21 00	50 51	50 24	−27	31 42	31 24	−18	34 30	34 26	− 4	9 00
50	52 24	51 56	−28	34 53	34 35	−18	38 27	38 23	− 4	10
40	53 55	53 27	−28	38 05	37 47	−18	42 24	42 19	− 5	20
30	55 25	54 58	−27	41 16	40 58	−18	46 20	46 16	− 4	30
20	56 55	56 28	−27	44 26	44 08	−18	50 16	50 12	− 4	40
10	58 25	57 57	−28	47 36	47 18	−18	54 13	54 08	− 5	50
20 00	59 53	59 25	−28	50 46	50 28	−18	58 09	58 04	− 5	10 00
50	22 01 21	22 00 53	−28	53 55	53 37	−18	4 02 05	4 02 00	− 5	10
40	02 48	02 20	−28	57 05	56 46	−19	06 01	05 56	− 5	20
30	04 15	03 47	−28	15 00 13	59 55	−18	09 57	09 52	− 5	30
20	05 41	05 13	−28	03 21	03 03	−18	13 52	13 47	− 5	40
10	07 06	06 38	−28	06 29	06 10	−18	17 48	17 43	− 5	50

黄道	北沈实 南木析 《考成》值	《后编》值	差值	北梁大 南火大 《考成》值	《后编》值	差值	北娄降 南星寿 《考成》值	《后编》值	差值	黄道
19 00	22 08 30	22 08 02	−28	15 09 36	15 09 17	−19	4 21 44	4 21 38	− 6	11 00
50	09 54	09 26	−28	12 43	12 24	−19	25 39	25 34	− 5	10
40	11 17	10 49	−28	15 49	15 30	−19	29 34	29 29	− 5	20
30	12 39	12 11	−28	18 55	18 36	−19	33 29	33 24	− 5	30
20	14 01	13 33	−28	22 01	21 42	−19	37 24	37 19	− 5	40
10	15 22	14 53	−29	25 06	24 47	−19	41 19	41 14	− 5	50
18 00	16 42	16 14	−28	28 10	27 51	−19	45 14	45 08	− 6	12 00
50	18 01	17 33	−28	31 15	30 55	−20	49 09	49 03	− 6	10
40	19 20	18 52	−28	34 18	33 59	−19	53 03	52 58	− 5	20
30	20 38	20 10	−28	37 22	37 02	−20	56 58	56 52	− 6	30
20	21 56	21 27	−29	40 24	40 05	−19	5 00 52	5 00 46	− 4	40
10	23 13	22 44	−29	46 29	43 07	−22	04 46	04 39	− 7	50
17 00	24 28	24 00	−28	52 32	46 09	−23	08 40	08 34	− 6	13 00
50	25 44	25 15	−29	55 32	49 11	−21	12 34	12 28	− 6	10
40	26 58	26 30	−28	52 32	52 12	−20	16 28	16 22	− 4	20
30	28 12	27 44	−28	55 32	55 12	−20	20 22	20 15	− 7	30
20	29 25	28 57	−28	58 32	58 13	−19	24 15	24 09	− 6	40
10	30 38	30 09	−29	16 01 32	16 01 12	−20	28 09	28 02	− 7	50
16 00	31 50	31 12	−28	04 31	04 11	−20	32 02	31 55	− 7	14 00
50	33 01	32 32	−29	07 30	07 10	−20	35 55	35 48	− 7	10
40	34 11	33 42	−29	10 28	10 09	−19	39 48	39 41	− 7	20
30	35 20	34 52	−28	13 26	13 06	−20	43 41	43 34	− 7	30

黄道	北沈买 南木析			北梁大 南火大			北娄降 南星寿			黄道
	《考成》值	《后编》值	差值	《考成》值	《后编》值	差值	《考成》值	《后编》值	差值	
16 20	22 36 29	22 36 01	−28	16 16 24	16 16 04	−20	5 47 33	5 47 26	− 7	14 40
10	37 37	37 09	−28	19 21	19 01	−20	51 26	51 19	− 7	50
15 00	38 45	38 16	−29	22 17	21 57	−20	55 18	55 11	− 7	15 00
50	39 52	39 23	−29	25 13	24 53	−20	59 10	59 03	− 7	10
40	40 58	40 29	−29	28 09	27 49	−20	6 03 02	6 02 55	− 7	20
30	42 03	41 34	−29	31 04	30 44	−20	06 54	06 47	− 7	30
20	43 07	42 39	−28	33 59	33 38	−21	10 46	10 38	− 8	40
10	44 11	43 42	−29	36 53	36 32	−21	14 37	14 30	− 7	50
14 00	45 14	44 45	−29	39 46	39 26	−20	18 29	18 21	− 8	16 00
50	46 17	45 48	−29	42 40	42 19	−21	22 20	22 12	− 8	10
40	47 18	46 49	−29	45 32	45 12	−20	26 11	26 03	− 8	20
30	48 19	47 50	−29	48 25	48 04	−21	30 02	29 54	− 8	30
20	49 20	48 50	−30	51 16	50 55	−21	33 53	33 45	− 8	40
10	50 19	49 50	−29	54 08	53 47	−21	37 43	37 35	− 8	50
13 00	51 18	50 49	−29	56 58	56 37	−21	41 34	41 26	− 8	17 00
50	52 16	51 47	−29	59 49	59 27	−22	45 24	45 16	− 8	10
40	53 13	52 44	−29	17 02 38	17 02 17	−21	49 14	49 06	− 8	20
30	54 10	53 40	−30	05 28	05 06	−22	53 04	52 55	− 9	30
20	55 05	54 36	−29	08 16	07 55	−21	56 53	56 45	− 8	40
10	56 01	55 31	−30	11 05	10 43	−22	7 00 43	7 00 34	− 9	50
12 00	56 55	56 26	−29	13 53	13 31	−22	04 32	04 24	− 8	18 00
50	57 49	57 19	−30	16 40	16 18	−22	08 21	08 13	− 8	10

黄道	北沈实 南木析 《考成》值	《后编》值	差值	北梁大 南火大 《考成》值	《后编》值	差值	北娄降 南星寿 《考成》值	《后编》值	差值	黄道
12 40	22 58 41	22 58 12	−29	17 19 27	17 19 05	−22	7 12 10	7 12 02	− 8	18 20
30	59 34	59 04	−30	22 13	21 51	−22	15 59	15 50	− 9	30
20	23 00 25	59 56	−29	24 59	24 37	−22	19 48	19 39	− 9	40
10	01 16	23 00 46	−30	27 44	27 22	−22	23 36	23 27	− 9	50
11 00	02 06	01 36	−30	30 29	30 07	−22	27 24	27 15	− 9	19 00
50	02 55	02 26	−29	33 13	32 51	−22	31 12	31 03	− 9	10
40	03 43	03 14	−29	35 57	35 35	−22	35 00	34 51	− 9	20
30	04 31	04 02	−29	38 40	38 18	−22	38 47	38 38	− 9	30
20	05 18	04 49	−29	41 23	41 01	−22	42 35	42 25	−10	40
10	06 04	05 35	−29	44 05	43 43	−22	46 22	46 12	−10	50
10 00	06 50	06 20	−30	46 47	46 25	−22	50 09	49 59	−10	20 00
50	07 35	07 05	−30	49 28	49 06	−22	53 56	53 46	−10	10
40	08 19	07 49	−30	52 09	51 46	−22	57 42	57 33	− 9	20
30	09 02	08 33	−29	54 49	54 26	−22	8 01 29	8 01 19	−10	30
20	09 45	09 15	−30	57 28	57 06	−22	05 15	05 05	−10	40
10	10 26	09 57	−29	18 00 07	59 45	−22	09 01	08 51	−10	50
9 00	11 08	10 38	−30	02 46	18 02 24	−22	12 46	12 36	−10	21 00
50	11 48	11 18	−30	05 24	05 02	−22	16 32	16 22	−10	10
40	12 27	11 58	−29	08 02	07 39	−23	20 17	20 07	−10	20
30	13 06	12 37	−29	10 39	10 16	−23	24 02	23 52	−10	30
20	13 44	13 15	−29	13 15	12 52	−23	27 47	27 37	−10	40
10	14 22	13 52	−30	15 51	15 28	−23	31 32	31 21	−10	50

黄道	北沈实 南木析			北梁大 南火大			北娄降 南星寿			黄道
	《考成》值	《后编》值	差值	《考成》值	《后编》值	差值	《考成》值	《后编》值	差值	
8 00	23 14 58	23 14 29	−29	18 18 26	18 18 03	−23	8 35 16	8 35 06	−10	22 00
50	15 34	15 05	−29	21 01	20 38	−23	39 00	38 50	−10	10
40	16 09	15 40	−29	23 35	23 12	−23	42 44	42 33	−11	20
30	17 17	16 14	−63	26 09	25 46	−23	46 28	46 17	−11	30
20	17 50	16 48	−62	28 42	28 19	−23	50 11	50 00	−11	40
10	18 22	17 20	−62	31 15	30 52	−23	53 54	53 44	−10	50
7 00	18 54	17 52	−62	33 47	33 24	−23	57 37	57 27	−10	23 00
50	19 24	18 24	−60	36 19	35 55	−24	9 01 20	9 01 09	−11	10
40	19 54	18 54	−60	38 50	38 26	−24	05 03	04 52	−11	20
30	20 23	19 24	−59	41 20	40 57	−23	08 45	08 34	−11	30
20	20 23	19 53	−30	43 50	43 27	−23	12 27	12 16	−11	40
10	20 52	20 22	−30	46 19	45 56	−23	16 09	15 58	−11	50
6 00	21 19	20 49	−30	48 48	48 25	−23	19 50	19 39	−11	24 00
50	21 46	21 16	−30	51 16	50 53	−23	23 32	23 20	−12	10
40	22 12	21 42	−30	53 44	53 20	−24	27 13	27 01	−12	20
30	22 37	22 08	−29	56 11	55 48	−23	30 53	30 42	−11	30
20	23 02	22 32	−30	58 38	58 14	−24	34 34	34 22	−12	40
10	23 26	22 56	−30	19 01 04	19 00 40	−24	38 14	38 03	−11	50
5 00	23 47	23 19	−28	03 29	03 05	−24	41 54	41 43	−11	25 00
50	24 11	23 41	−30	05 54	05 30	−24	45 34	45 22	−12	10
40	24 33	24 03	−30	08 18	07 54	−24	49 14	49 02	−12	20
30	24 54	24 24	−30	10 42	10 18	−24	52 53	52 41	−12	30

黄道	北沈实 南木析			北梁大 南火大			北娄降 南星寿			黄道
	《考成》值	《后编》值	差值	《考成》值	《后编》值	差值	《考成》值	《后编》值	差值	
5 20	23 25 14	23 24 44	−30	19 13 05	19 12 41	−24	9 56 32	9 56 20	−12	25 40
10	25 33	25 03	−30	15 28	15 04	−24	10 00 10	59 58	−12	50
4 00	25 52	25 22	−30	17 50	17 26	−24	03 49	10 03 37	−12	26 00
50	26 09	25 40	−29	20 11	19 47	−24	07 27	07 15	−12	10
40	26 27	25 57	−30	22 32	22 08	−24	11 05	10 53	−12	20
30	26 43	26 13	−30	24 52	24 28	−24	14 43	14 30	−13	30
20	26 58	26 28	−30	27 12	26 48	−24	18 20	18 08	−12	40
10	27 13	26 43	−30	29 31	29 07	−24	21 57	21 45	−12	50
3 00	227 27	26 57	−30	31 49	31 25	−24	25 34	25 21	−13	27 00
50	27 40	27 10	−30	34 07	33 43	−24	29 11	28 58	−13	10
40	27 53	27 23	−30	36 25	36 00	−25	32 47	32 34	−13	20
30	28 05	27 35	−30	38 41	38 17	−24	36 23	36 10	−13	30
20	28 16	27 46	−30	40 58	40 33	−25	39 58	39 46	−12	40
10	28 26	27 56	−30	43 13	42 48	−25	43 34	43 21	−13	50
2 00	28 35	28 05	−30	45 28	45 03	−25	47 09	46 56	−13	28 00
50	28 44	28 14	−30	47 43	47 18	−25	50 44	50 31	−13	10
40	28 52	28 22	−30	49 56	47 31	−25	54 18	54 05	−13	20
30	28 59	28 29	−30	52 09	51 45	−26	57 53	57 39	−14	30
20	29 06	28 36	−30	54 22	53 57	−25	11 01 27	11 01 13	−14	40
10	29 11	28 41	−30	56 34	56 09	−25	05 00	04 47	−13	50
1 00	29 16	28 46	−30	58 45	58 20	−25	008 34	08 20	−14	29 00
50	29 21	28 51	−30	20 00 56	20 00 31	−25	12 07	11 53	−14	10

黄道	北沈实			北梁大			北娄降			差值
	南木析			南火大			南星寿			
	《考成》值	《后编》值	差值	《考成》值	《后编》值	差值	《考成》值	《后编》值	差值	
1 40	23 29 24	23 28 54	−30	20 03 06	20 02 41	−25	11 15 39	11 15 26	−13	29 20
30	29 27	28 57	−30	05 16	04 51	−25	19 12	18 58	−14	30
20	29 28	28 58	−30	07 25	07 00	−25	22 44	22 30	−14	40
10	29 30	29 00	−30	09 23	09 08	−25	26 16	26 02	−14	50
0 00	29 30	29 00	−30	11 41	11 16	−25	29 47	29 33	−14	30 00
逆度	南纪星			南柳元			南訾			顺度
	北首鹑			北火鹑			北尾鹑			

《西洋新法历书》所记值。证据如下：

1．《考成》中改用新值

《考成》卷四“日躔历理”中“地半径差”一条曰：

> 今随时测太阳之高度，求得地半径与日天半径之比例最高为一与一千一百六十二，最卑为一与一千一百二十一，比旧定地半径与日半径之比例最高少二十二，最卑多二十一。

地半径与日半径是求地半径差的两个基本参数，它与“旧定”不同，所求得的新值也就不同。

2．《考成》中新值是康熙五十四年以后求得，大地测量时不可能用到。

该书中记载了“康熙五十四年乙未五月二十九日甲子午正”（1715年6月30日）和“康熙五十五年丙申三月初五日丙申午正”（1716年3月28日）在北京畅春园和广州府两地试测太阳高度、运用新的理论求算地半径差和畅春园、广州府两地的午正太阳真高。书中紧接着论述了求“地半径差”新值的具体原理和方法。这表明：本书中的“地半径差”是在前两次试测以后计算出来的。由于康熙朝的大地测量已于康熙四十七年（1708）开始，故当时不可能用到此表。在《西洋新法历书》与《考成》之间未见有同类不同值的表。据此可以推断大地测量时用的是《西洋新法历书》中的数值。

㈡ 由北极星高度求纬度

康熙朝大地测量时求纬度的方法之一便是测量北极星的高度。雷孝思说：

> 持续不断进行三角法测量，还有其有利之处，这不仅可以测出一地的经度，而且还可以得到该地的纬度，此后可以通过测定太阳或北极星在子午圈的高度加以校正。我们尽可能做这种观测，

通常在三角测量与这种高度测量所得结果之间并无明显的差异⑤。其具体测量方法未见论述。

《考成》卷四“日躔历理”中“北极高度”条详细记载了测量方法：

> 法于冬至日前后用仪器测勾陈大星出地之度，酉时此星在北极之上，候其渐转而高至不复高而止，为最高之度，卯时此星在北极之下，候其渐转而低至不复低而止，为最低之度，乃以所测最高最低之度折中取之，则北极出地之度也。

如果要求“北极星真高度”，必须作蒙气差和仪器误差改正。因为“蒙气差”当时已知道，并有表可查，作此项订正是勿容置疑的。作“仪器误差”改正未找到记载，也不知所用具体仪器性能，此一项暂不能探讨。

从上二段记载和其它文献中得知，当时即把实测得到的北极星高度值直接算作当地纬度。依据现代天文学的观点，这是不够精度的，应该进行三种改正。下面就此三种改正的数值，探讨当时由北极星高度求纬度的误差来源：

(1) 观测时间改正值

根据《简历》：恒星时$0^h\ 0^m$—$8^h\ 19^m$改正值为负值，$8^h\ 19^m$—$12^h\ 60^m$之间为正值，$20^h\ 20^m$—$24^h\ 0^m$之间为负值，$12^h\ 0^m$—$20^h\ 19^m$之间为正值。最大负值为48′，最小负值为1′；最大正值为48′，最小正值为1′。观测北极星大都夜间进行，即19^h—7^h之间，此间的改正值绝大部分为负值。如果所测值不作此项改正，所求纬度必定比实际纬度值大。

(2) 观测地点地平高度改正值

根据《简历》：改正值恒为正值，最大值为35″，最小值为0。

中国区域在15°－55°之间，其改正值在0′－29″之间。如果不作此项改正，所求纬度比实际纬度值小。

(3) 观测日期改正值

根据《简历》，日期改正值在±59″之间。若配合观测时间，在24h后、7h前为正值。

上述三种改正值中，以"观测时间改正值"为大，而且多为负，如果不作三项改正的话，综合结果是实测纬度值比实际纬度值大。这与第一章中所分析的"测算值大部分大于实际值"结论相吻合。

二、经度

(一) 是否用过"由日食定经度"的方法

翁文灏在《清初测绘地图考》⑮一文中指出经度"用太阳观察者"有哈密：

> 用太阳观察者，一七一一年九月十六日，杜德美蓬若、弗里德里、奥古斯丁诸神父测定哈密在西经二二度三二分，北纬四三度五一分。

但是结合文献综合分析，情形则不然：

1.《概述》书中所记哈密经纬度值为北42°53′20″，西22°23′20″，与此数值不同。

2.《概述》中并未将哈密处经度值标为实测值。

3.据渡边敏夫《日本·朝鲜·中国——日食月食宝典》⑯（下简称《宝典》）中"中国、朝鲜、日本的日食记录对照表与食状况"表知1711年中国境内无日食，同书"中心食带"表中也无此年的日食。这说明杜德美一行在哈密未用日食定经度。这一年的9月16日也没有月食。

其实用观察日食定经度的方法也有其自身的缺陷，因为日食的发

生并非所有地点都能看得见，如果两观察点有一点见不到也就不能进行。由于此次测量以通过北京观象台的子午线为本初子午线，其余子午线均属未定需测之属，当然应以北京观象台与其它一地进行联合观察为宜，这样也就限定了观察日食次数。从图2－1中看到1709年9月4日有通过北纬25°—23°的日全食，1720年8月4日有通过北纬35°—29°的日环食。1709年9月还未测至南方，1720年8月以前（1717年）测量早已结束，由此可见：此次测量不可能用到观察日食以定经度的方法。

但是，雷孝思却说：

> 在进行前所未有的最伟大的正规地理测绘中，首次运用三角测量法确定若干城市间的距离，然后以在远离北京的地点进行日食观测的结果加以比较，我们遵循着最可靠也是唯一切实可行的方法，当然感到由衷的欣喜。⑰

似乎是作过日食观察，没有日食发生，何以能观测日食？

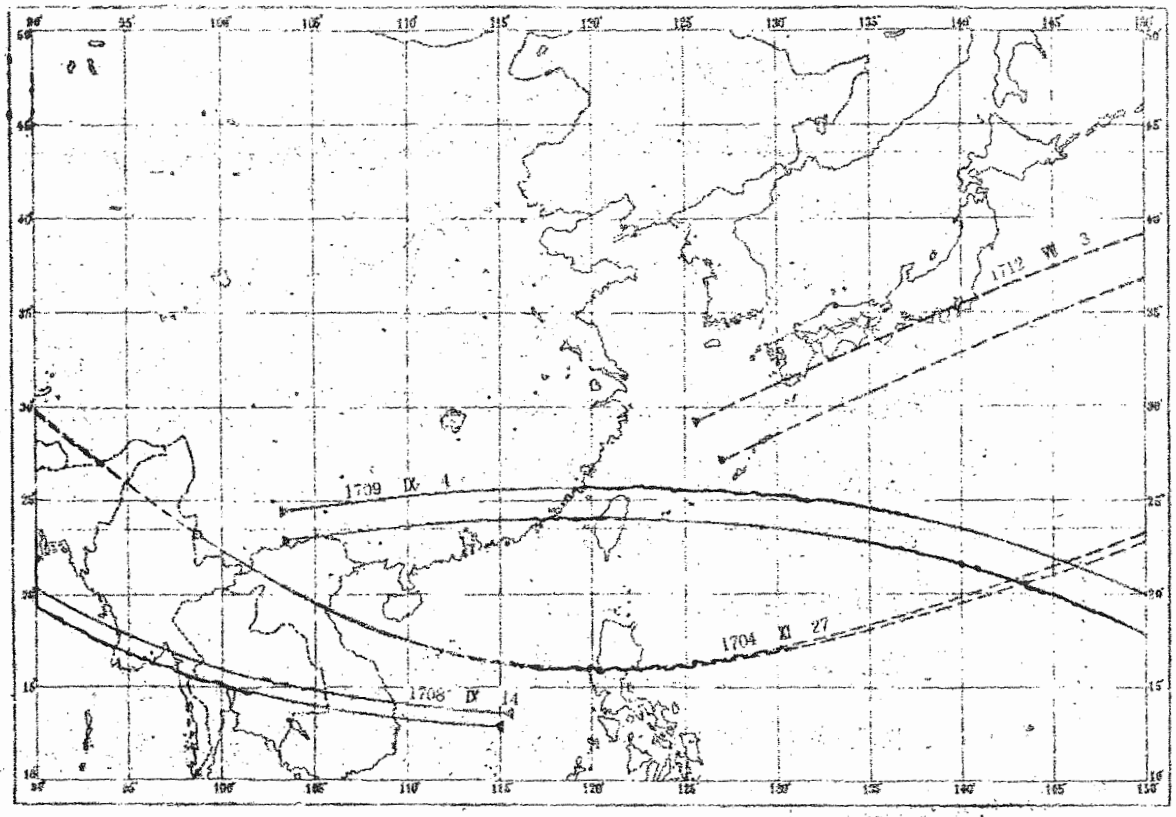
雷孝思又说：

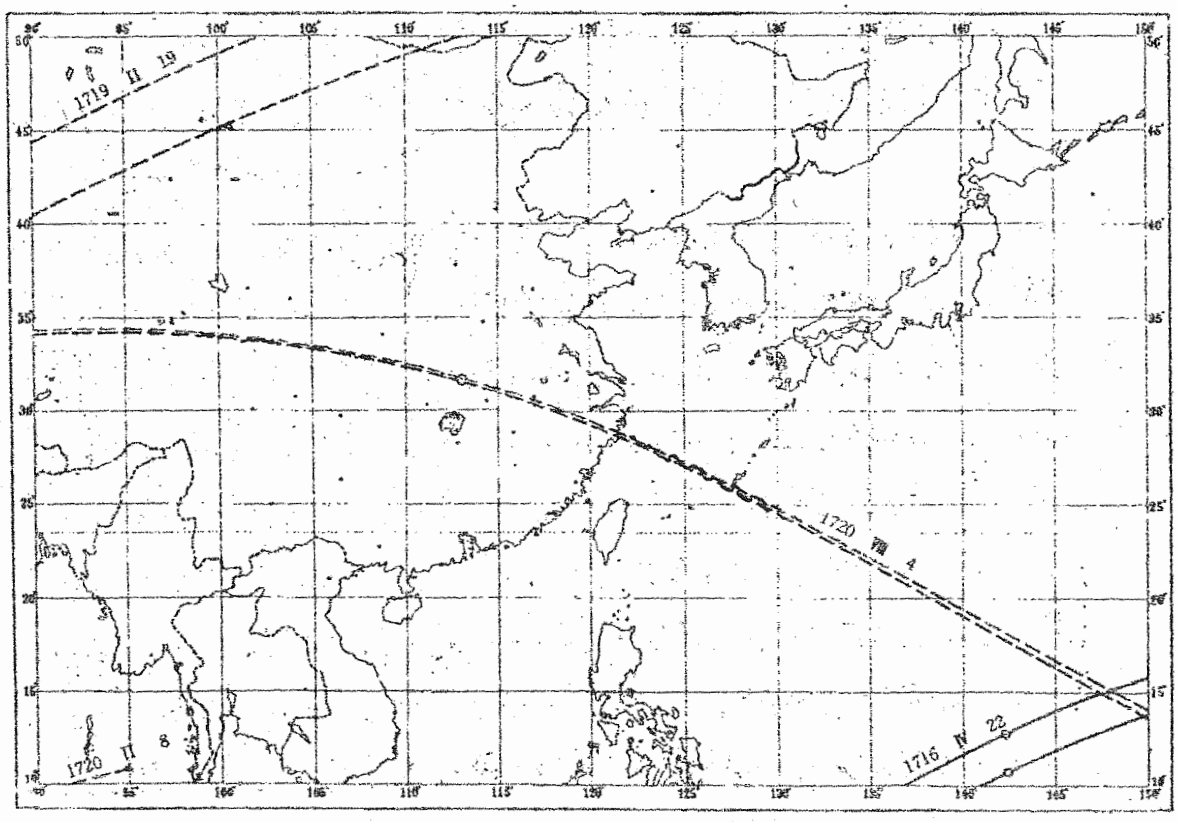
> 我们出于至诚，甘之若饴，自愿继续在帝国的东西边境和相隔适当距离的若干地点，反复进行日食观测，测定经度，以校正绘好的地图，但因全图已经告成，而且皇上已感满足，我们以为要使他再进行这项新的并非完全必要的工作是不适宜的。⑱

由此可见，日食观测最终还是没有进行。

《日食篇》中心食带图

图 2—1





引自《宝典》

㈡ 用木星卫星定经度的方法

雷孝思曾提到过用木星卫星掩食定经度*的方法，但他强调在相距很短的情况下观测是不可靠的。他说：

由于所测城市相距很近，用天文观测法实际上几乎无法进行。由于钟摆运动不均或对木星卫星掩始时间观察不够精确这样最小的误差，都会使经度测定的结果形成相当大的错误。……这就可能发生这样的情况：根据观测结果，两个城市会被画成连在一起，而实际上却存在距离，尽管距离不大。⑲

从此段记述中可以看出：

1．传教士当时确实掌握了定木星卫星掩始时间求经度的方法。

2．由于钟摆运动不均或观察误差使使用这种方法产生较大困难，故此没有能大量使用。

3．在定相距较近两地的经度，此种方法无法使用。

根据文献记载，传教士每测完一省，返回京城时，图已绘好，⑳

---

* 木星的卫星在运行中会发生五种现象：a．木星在太阳照耀下，背太阳方向有一影锥，当木星卫星进入影锥时，卫星无法反射太阳光，变得不可见了，此称为木卫食。b．当木星的卫星进入木星圆面的后面，我们从地球上观测木星卫星的视线便被木星挡住，此称为木卫掩。c．木星的卫星通过木星圆面的前面，从地球看去在木星视圆面上投下一个圆形斑点，此称木卫凌木。d．当木星某一卫星的影子投在木星视圆面上而它本身又不在木星视圆面上时，便称之为木卫影凌木。e．从地球上看去，当木星的一个卫星挡住另一个时，称为木卫互掩；当一个木卫进入另一木卫的影锥时，称为木卫互食。用来测定经度值主要利用a、b二种现象。

由此证明他们未使用在相距很远的两地通过测木星卫星掩始时间定经差推定经度的方法，由于当时是以通过北京观象台的子午线为本初子午线（即零点）当然应在观象台和另一地同时观测才能定出经度来。这种跨地域远距离的观测在当时是很难配合和迅速交换数据的。

还有一种方法就是计算出在北京观象台所见木星卫星掩食的时刻表，随身携带，观测时，与之比较，定出时差，算出经度。但是要制成一份“木星卫星掩食时刻表”，必须做大量的观测推算工作，现在还未找到证据证明传教士在中国确实编有这样一份表。最有可能的是传教士利用西方现存的同类时刻表，直接换算制作为北京观象台的时刻表，然后使用。这样，观测的精度首先取决于这份表的精度，这份表的精度又取决于西方同类时刻表的精度和所定北京观象台的经度的精度。

西方第一份“木星卫星历表”是法国天文学家G．D．卡西尼所编制。而另一天文学家罗默（Oie RØmeY 1644——1710）则在研究木星卫星的运动时发现：当木星和地球相距最远时，木卫被木星遮食的时刻较预先计算的时刻推迟；而在木星冲日，即木星和地球相距最近时，发生木卫掩食的时刻就会提早，1676年他用光传播速度的有限性正确地解释了这种现象。而英国的天文学家布拉得雷（J. BYadleY）在1725—1728年在此基础上发现“光行差”。那么康熙传教士所利用的“木星卫星历表”就算它的理论值精度很高，但那时还未发现“光行差”，也就不会作此项的改正，表明用木卫掩食获得的测量值的误差来源中便有“光行差”一项。关于北京观象台的经度值（以福岛或巴黎天文台为零点），现还未找到传教士具体使用的数值，故此项的误差暂不能分析。

㈡ 用月食定经度

1．十个观测经度值的时间和精度分析

在《概述》中所记各处经纬度凡属实测者均用星号标示。经度值为实测者有江南省江宁府、浙江省宁波府、山东省莱州府、诸城县、山西省绛州、陕西省西安府、广东省潮州府、新会县、广州府、马交十个点。根据上文分析，此十点有可能是通过观察月食和木星卫星掩食而定出。雷孝思说：

在观测中在诸如时间方面有些细微的误差是不足为奇的，即令最富经验的人也在所难免。我们亲自进行了一些月蚀观测……㉑

此段表明：传教士进行过月食观测的。

那么这十点的经度值有多少是经过月食观测获得的呢？或者更确切地说是经过在此次测量中观测月食所得，下面逐点进行分析。

1．山东省莱州府

山东省是由雷孝思和麦大成于1711年所绘。此年有两次可见月食，㉒一次发生在2月3日，一次发生在7月30日，由于莱州府靠北边，按测量路线，莱州府的经度值应是在2月3日月食观测中所取得，（见表2－4）。

2．山东省诸城县

诸城县在莱州府的南部，依文献它的经度值是在7月30日月食观测中所取得。

3．山西省绛州

山西省由汤尚贤和麦大成于1712年所测绘。此年只有一次可见月食，发生在1月24日，因此绛州的经度值当是此次观测月食所获得。

4．陕西省西安府

陕西省也由汤尚贤和麦大成测绘于1712年—1713年3月

各地地图测绘年月表①

表2－4

地　　区	测绘时间	测绘者
长城	1708.7.4－1709.1.10	雷孝思、杜德美、白晋
盛京、乌苏里江、黑龙江口热河	1709.5.8－1709.11	雷孝思、杜德美、费隐
朝鲜	1709	满族人、汉族人
直隶	1709.12.10－1710.6.29	雷孝思、杜德美、费隐
河源、雅砻江、金沙江	1709－1711	满族人、西藏人、汉族人
黑龙江中部	1710.7.22－1710.10.14	雷孝思、杜德美、费隐
山东	1711	雷孝思、麦大成
河套	1711	山遥瞻、杜德美
黑龙江源、色楞厄河、哈密	1711.4－1712.1	山遥瞻、杜德美、费隐
山西、陕西	1712－1713.3	汤尚贤　麦大成
江西、广东、广西	1713.5－1714	汤尚贤　麦大成　绰尔代　李秉忠　苗受
河南	1712	雷孝思、冯秉正、德玛诺
江南	1713	雷孝思、冯秉正、德玛诺
浙江、福建	1713－1714.11	雷孝思　冯秉正　德玛诺
台湾西部	1714.4.18－1714.5.20	雷孝思　冯秉正　德玛诺
四川	1713－1714	山遥瞻、费隐、布尔赛、英柱　郎古礼　双德
云南	1714－1715	雷孝思、山遥瞻、费隐、常保　布尔赛　英柱、郎古礼　双德
湖广、贵州	1715－1716	雷孝思　费隐　布尔赛　英柱　郎古礼、双德
哈密喝思、杂旺阿尔布滩	1716	费隐
河源　金沙澜沧等江源 拉萨 雅鲁藏布江、冈底斯阿林	1714.1715－1717	胜住、楚几泌藏布拉木占巴

注：此表依据W.Fuchs的《Der Jesuiten-Atlas der Kanghsi-Zeit》和船越昭生的《锁国日本にえた"康熙图"的地理史的研究》，补充有关资料作成。

间，1713年3月之前没有可见月食，1712年也只有1月24日所发生的那一次，如果西安府的经度值不是在这次由汤尚贤、麦大成所获得，那就有可能是通过木星卫星掩食的观测获得。

5．江南省江宁府

江南省由雷孝思、冯秉正和德玛诺于1713年测绘。此年只有6月9日发生一次可见月食，由于此次月食有可能是在浙江省宁波府观测，所以江宁府的经度可能是由观测木星卫星掩食时刻获得，因为江宁府作为南京，建有观象台，有大量的观测仪器，传教士也比较集中，所以这种可能性是存在的。

6．浙江省宁波府

浙江省也是由雷孝思、冯秉正、德玛诺于1713年测绘，此年的月食发生在6月9日，宁波的经度值应是此次观测所得。

7．广东省潮州府、广州府、新会县和马交

广东省地图由汤尚贤、麦大成等测绘于1714年。此年只在11月21日发生过一次月食。由于潮州府在广东省的东北部，按测绘顺序，11月份已测绘过，所以它的经度可能是通过观测木星卫星掩食时刻获得，而不是通过月食。广州府按其观测条件（传教士多，且有较多仪器）和测绘顺序，其经度可能便是在11月21日通过观测月食取得。新会县和马交其位置靠南，不太可能利用到此次月食，所以它的经度可能是由观测木星卫星掩食时刻而获得。

用月食定出经度的方法是较精确的方法，但是并不是每次月食发生都能见到，它受时间（白昼）、地点、食分和天气的限制，前三项可以通过计算而得知，而天气一项则是不定因素，所以我们上述的推断是在“天气良好”的前提下进行的。而木星卫星掩食则不一样，因为它发生的次数多，而且可以观测不同的卫星。但它的不足在于，观

测其掩食对仪器的要求较观测月食的高，因为它的视半径小。

那么我们推测出来用两种方法所定的经度精度如何呢？

表2－6

测量方式	测点	《概述》所载值		今值	较差	
		原值	换算值		正	负
月食	宁波府	4° 57' 19"	4° 57'	5° 6'	9'	
	莱州府	3° 45' 10"	3° 45'	3° 30'		15'
	诸城县	3° 29' 30"	3° 30'	3° 0'		30'
	绛州	5° 15' 0"	5° 15'	5° 12'		3'
	广州府	3° 31' 29"	3°331'	3° 12'		19'
木卫掩食	江宁府	2° 18' 34"	2° 19'	2° 18'		1'
	西安府	7° 34' 30"	7° 35'	7° 30'		5'
	潮州府	0° 46' 40"	0° 47'	0° 12'		35'
	新会县	3° 55' 40"	3° 56'	3° 24'		32'
	马交	3° 19' 00"	3° 19'	2° 54'		25'

从表2－6可知：

1．5个由月食观测的经度值与实际值（下简称第一类差值）中有4个为负数，即实测值大于实际值，有1个差值为正值，即实测值小于实际值。

2．第一类差值的负值平均数为16．8'，正值平均数为9'，总平均值为15.2'。

3．木卫观测值与实际值的差值（下简称第二类差值）全为负数，表明实测值全大于实际值。表明由两种方法而获得的观测值存在一种

表2－5

日期		《象纬考》载		《短本》载		《古今月食表》载食甚				较差1	较差2	较差3	备注
公元纪年	朝代纪年	食甚时刻	换算值	食甚时刻	换算值	北京平时	食限	经	纬				
1704.6.18	四十三、五、乙卯	丑正一刻二分	$2^h\ 17^m$	丑正一刻二分	2^h17^m	2^h12^m	10.8	+84	−23	0	-5^m		
12.11	十一、辛亥					14^h59^m	5.4	−110	+23				
						9^h19^m	4.8	−24	−14				
1706.4.28	四十五、三、甲戌												
10.22	四十五、九、辛未	寅初一刻六分	$3^h\ 21^m$			2^h47^m	6.4	+71	+11		-34^m		
						9^h28^m	18.3	−26	−10				
1707.4.17	四十六、三、戊辰												
10.11	四十六、九、乙丑	酉初二刻十三分	17^h43^m			$18^h\ 10^m$	18.4	−159	+7		$+27^m$		
						13^h25^m	5.1	−84	−6				
1708.4.5	四十七、三、壬戌												
9.30	四十七、八、庚申	卯初初刻四分	$5^h\ 4^m$			4^h45^m	4.3	+43	+2		-19^m		
1710.2.14	四十九、正、壬午	卯正二刻十二分	$6^h\ 42^m$	卯正二刻十二分	6^h42^m	6^h38^m	8.4	+21	+13	0	-4^m		
8.9	七、戊寅	酉初三刻一分	17^h46^m	（云　遮）		17^h43^m	7.8	−148	−16		-3^m		
1711.2.3	十二、丙子	戌正一刻七分	20^h22^m			20^h17^m	16.6	+176	+16		-5^m		
7.30	五十、六、癸酉	丑初二刻十二分	$1^h\ 42^m$			1^h38^m	15.1	+94	−18		-4^m		
1712.1.24	十二、辛未	寅初二刻二分	$3^h\ 32^m$			3^h34^m	2.7	+66	+19		$+2^m$		
						16^h9^m	1.9	−124	−21				
7.18	五十一、六、丁卯												
1713.6.9	五十二、五、癸巳	丑正一刻	$2^h\ 15^m$	（云　遮）		2^h17^m	3.3	+82	−23		$+2^m$		
						11^h3^m	4.2	−52	+22				
12.2	五十二、十、己丑												
1714.5.29	五十三、四、丁亥					14^h54^m	16.6	−108	−21				
11.21	十、癸未	（失载）		亥初初刻八分	21^h8^m	20^h48^m	17.9	+161	+20			-20^m	
1715.5.18	五十四、四、辛巳	戌正一刻四分	20^h19^m	（云　遮）		20^h17^m	6.1	+171	−19		-2^m		
						11^h46^m	7.4	−64	+17				
11.11	十、戊寅												
1717.3.27	五十六、二、庚子					11^h1^m	6.2	−47	−3				
9.21	五十六、八、戊戌	丑初三刻	$1^h\ 45^m$			1^h40^m	6.3	+90	−1		-5^m		

日期		《象纬考》载		《题本》载		《古今月食表》载食甚				较差1	较差2	较差3	备注
公元纪年	朝代纪年	食甚时刻	换算值	食甚时刻	换算值	北京平时	食限	经	纬				
1718.3.16	五十七、二、甲午	子初二刻八分	23^h38^m			23^h41^m	17.8	+123	+1		+3		
9.10	八、壬辰	寅初二刻十一分	3^h41^m	（云 遮）		3^h38^m	17.2	+62	−6		$+3^m$		
1719.3.6	五十八、正、己丑					15^h46^m	5.1	−117	+6		-3^m		
8.30	五十八、七、丙戌	寅正一刻十二分	4^h27^m	（云 遮）		4^h11^m	3.7	+54	−9		-16^m		
1721.1.13	五十九、十二、戊申	亥正三刻六分	22^h51^m	（云 遮）		22^h54^m	6.2	+135	+22		$+3^m$		
7.9	六十、六、乙巳					16^h29^m	12.3	−130	−22				
1722.1.2	六十、十一、壬寅	亥正一刻十二分	22^h27^m			22^h21^m	17.8	+142	+23		-6^m		

注：

1）《清文献通考·象纬考》

2）引自《清钦天监档案中的天象记录》（上）薄树人 科技史文集㈢上海科学技术出版社，1980年

3）观象从报 第二卷 第八期。

4）《题本》值与《象纬考》值之差。

5）《古今月食表》值与《象纬考》值之差。

6）《古今月食表》值与《题本》值之差。

性质相同的误差。

4．第二类差值的负值平均数及总平均值为19.6′，较第一类差值高出2.8′，表明由月食观测的经度较由木星卫星掩食观测的经度精确。

5．二类差值的负值有9个，占总数90%总平均值为18.3′，表明绝大部分实测经度值高于实际经度值（即今值）。

6．实测经度值的总平均误差为17.4′，而推算经度值的总平均误差为11.4′（测算经度值总平均误差为11.5′），后者比前者小，表明通过三角测量推算出的经度值较天文方法观测得来的经度值精度。

7．由本表与表2－7的比较中可以看出：凡实测值大于实际值（差值为负）的，60%的省分（山东、山西、广东）测算值中负差值数所占比例也大，凡实测值小于实际值（差值为正）的，测算值中正差值数所占比例便大，如浙江省。表明推算值确依实测值推算。

表2－7

省份	实测值		测算值		推定值*	
	正平均值	负平均值	正值比例	负值比例	正值比例	负值比例
江南省		1	60%	32%	23.5%	39.7%
浙江省	9		60%	37%	28.2%	41.0%
山东省		22.5	25%	75%	70.9%	21.5%
山西省		3	14%	82%	33.3%	18.1%
陕西省		5	50%	43%	41.1%	28.9%
广东省		28	2%	98%	73.3%	6.7%

*：见下文

2．造成误差的原因

用观察月食定经度所产生的误差为何有这样大，这主要是由于当时计算月食的理论　　和观察月食的仪器造成的。

(1)　计算月食的理论

观察月食定经差必须以一点为基准，将在另一点所定的时间与基准点的时间相比较，但基准点的时间是一理论值，（虽然它也可以实测，但距离遥远，未发明无线电通讯无法联络，加以时间紧迫，不能等到回京城作修改），若理论值本身就有误差，时间差便不准，经差自然就不准。即使可以联络，也并非每次月食在北京都可观测，由于阴天下雨的关系，实际有较多的月食均未直接观测。

乾隆三年四月庄亲王允禄等言：

> 《历象考成》一书，其数惟黄赤大距减少二分，余皆仍《新法算书》西人弟谷之旧。康熙中西人有噶西尼，法兰德等，发第谷未尽之义，其大端有三：其一谓太阳地半径差，旧定为三分，今测只有十秒；其一谓清蒙气差，旧定地平上为三十四分，高四十五度，只有五秒，今测地平上止三十二分，高四十五度，尚有五十九秒；其一谓日月五星之本天非平圆，皆为椭圆，两端径长，两腰径短。以是三者，经纬度俱有微差。戴进贤等习知其说，因未经微验，不敢遽以为是。雍正八年六月朔日食，旧法推得九分二十二秒，今法推得八分十秒，验诸实测，今法为近。㉕

上述三点也直接影响月食推算的精度。传教士测量可能仍是用《西洋新法历书》中的数据，（因为数据推算繁复，虽然传教士知其不准，也并不能进行新的验算），即使是用《考成》中的数据，与实际情况仍然不合，误差不能排除。

(2)　仪器或观测误差

仪器主要指观测仪器和记时器。由于缺之记载，我们不能断定当时究竟采用的是何种性能的仪器，但从文献记载中可知已用测微仪，而且经纬度值均以秒为最小单位，表明在当时是具有较高水平的，然而从现代水准来说，当时所用仪器精度仍不是很高。雷孝思说：

没有什么要比使时间避免误差更难的了，最好的钟摆在旅途中也会失灵，即使在一分钟之内也难免会出差错。[24]

观测者的技术水平及其相互间的配合非常重要，传教士也已意会到这一点：

还需要观测者和他的助手具有相同的眼力以保持一致，因为如果有一个人较他人看得稍快，误差即不可避免，……

时间上一分钟的误差，按照平行线的差异，会造成经度15分的误差，相当于4至5里格的距离。[25]

如果不是自动记时，这种误差是不可避免的。

第二节　三角测量方法

用三角测量来推算经纬度是康熙时测量时使用过的重要方法。雷孝思介绍说：

在进行前所未有的最伟大的正规地理测绘中，首次运用三角测量法确定若干城市间的距离，然后以在远离北京的地点进行日食观测的结果加以比较，我们遵循着最可靠也是唯一切实可行的方法，当然感到由衷的欣喜。[26]

三角测量法是在地面上布设一系列连续三角形，采取测角方式测定各三角形顶点水平位置的方法。此法由荷兰人W．斯涅耳（W．Snell）于1617年首创。[27]

三角测量首先必须确立起始边作为基线，测量它的长度和方位角，传教士在测量时也曾确定过基线：

> 因为当我们于1710年从齐齐哈尔返回时，如前所述曾由北向南在纬度47度至41度之间的平原上测定了每度间的距离。㉘

但是由于当时使用的是绳索量法，所用象限仪（测高用）“半径仅2呎，即使划分精确，也可能使所测高度产生9－10呎的误差㉙”，因此测量的结果表明存在一定数量的误差。虽然具体情况不得而知，但据雷孝思所言：“当他们将47度与其他各度比较时，发现差距竟达258尺㉚”。我们除去因地球曲率而造成的差异以外，可以确定它的误差程度：

表2－8

纬度	克拉索夫斯基椭圆体㉛		实测差值（米）	较差（米）	比例%	相当纬度差值
	每度弧长（米）	差值（米）				
41						
	111065					
42		+20	+80	+60	300	2"
	111085					
43		+19	+80	+61	320	2"
	111104					
44		+20	+80	+60	300	2"
	111124					
45		+20	+80	+60	300	2"
	111144					
46		+19	+80	+61	320	2"
	111163					
47						

从表2－8中可以看出，依据克拉索夫斯基椭圆体，41°—47°（纬度）每度相差约20米，而实际所测的则相差约80米（258尺），两者较差为60米，其误差比例为300－320%，相当于

纬度值2秒。

除了测量三角边的长度外，还需测定方位角。传教士的测角仪器就就是罗盘，罗盘指针所指非真北方向，有一个磁偏角，此角因时因地不一样，当时并没有磁偏角等值线图，所以传教士所测虽然有可能进行过误差订正，但还一定存在一些误差㉜。

三角测量中产生的重要误差之一应该是来自于对地球形状的认识，即采用何种地球形状，传教士采用的是正圆体，雷孝思说：

> 所以我们还是决定把所有的大圆，即各地的子午圈都作为是每度相等的，以便与普遍接受的地球是正圆体的观点相一致，……㉝

由于正圆体离地球的真实形状较远，所以依据此来确定每度经（纬）弧长与实际弧长便存在较大误差，由弧长反推经纬度也就同样产生误差。

从表2－9中知道：

1．在中国大陆所处范围（北纬18°—60°）内，由于所用正圆体而产生的纬线长度差值由＋704米—－411米不等，如将差值折合经度则在＋41″—－16″之间。

2．在北纬18°—60°之间，纬线长度差值为正值的有26个，平均正差值为334米，差值折合经度平均正值为14秒。纬线长度差值为负值的有16个（另有零1个），平均负差值为168米，差值折合经度平均负值为8秒。绝对平均差值为264米，差值折合经度绝对平均值为12秒。

从表2－10中可知：

1．中国大陆所处北纬18°－60°内，由所用正圆体而产生的经线弧长差值在－611米—＋106米之间，差值折合纬度则在

－20″—＋3″之间。

2．在北纬18°－60°之间，经线长度差值为正值的有6个平均正差值为61米，差值折合纬度平均正值为2秒。经线长度差值为负值的有36个，平均负差值为328米，差值折合纬度平均负值为11秒。绝对平均差值为290米，差值折合纬度绝对平均值为9秒。

纬 线 弧 长 表

表2－9

纬度	大小圈度相应值[34]	纬度弧长(里)	纬度弧长(米)	克拉索夫斯基[35]椭圆体纬度弧长（米）	差 值（米）	差值折合经度
		1度	1度	1度	1度	
0	60'00"	200.0000	111300.0	111321	+21	+0.7"
1	59'49"	199.4048	110968.8	111305	+336	+11"
2	59'53"	199.6024	111078.7	111254	+175	+6"
3	59'42"	199.01	110748.7	111170	+421	+14"
4	59'50"	199.471	111005.3	111052	+47	+2"
5	59'37"	198.7452	110601.7	110901	+299	+10"
6	59'36"	198.68	110565	110716	+151	+5"
7	59'36"	198.68	110565.	110497	-68	-2"
8	59'24"	198.017	110196.5	110245	+48	+2"
9	59'24"	198.017	110196.5	109960	-237	-8"
10	58'59"	196.6194	109418.7	109641	+222	+7"
11	58'57"	196.4858	109344.3	109289	-55	-2"
12	58'29"	194.9426	108485.6	108904	+418	+14"
13	58'29"	194.9426	108485.6	108487	+1	+0
14	58'5"	193.5906	107733.2	108036	+303	+10"
15	57'52"	192.9112	107355.1	107552	+197	+7"
16	57'34"	191.8874	106785.3	107036	+251	+8"
17	57'14"	190.7892	106174.2	106488	+314	+11"
18	56'49"	189.4076	105405.3	105907	+502	+17"
19	56'33"	188.5042	104902.6	105294	+391	+14"
20	56'14"	187.4564	104319.5	104649	+329	+11"
21	56'8"	187.1058	104124.4	103972	-152	-5"
22	55'29"	184.9172	102906.4	103264	+358	+12"
23	55'9"	183.849	102312.0	102524	+212	+7"
24	54'55"	183.0616	101873.8	101753	-121	-4"
25	54'20"	181.1144	100790.2	100952	+162	+6"
26	53'56"	179.8046	100061.8	100119	+58	+2"
27	53'9"	177.1558	98587.2	99257	+670	+24"
28	52'42"	175.6672	97758.8	98364	+605	+22"
29	52'15"	174.1656	96923.2	97441	+518	+19"
30	52'4"	173.5614	96586.9	96488	-99	-4"

纬度	大小圈度相应值	纬度弧长(里)	纬度弧长(米)	克拉索夫斯基椭圆体纬度弧长(米)	差 值(米)	差值折合经度
		1度	1度	1度	1度	
31	51'33"	171.8124	95613.6	95506	−108	−4"
32	50'58"	169.8908	94544.2	94496	−48	−2"
33	50'9"	167.1636	93026.5	93455	+428	+17"
34	49'31"	165.029	91838.6	92386	+547	+21"
35	49'16"	164.2314	91394.8	91290	−105	−4"
36	48'34"	161.896	90095.1	90165	+70	+3"
37	48'8"	160.4294	89279.0	89013	−206	−8"
38	47'19"	157.705	87762.8	87834	+71	+3"
39	46'44"	155.7782	86690.6	86628	−63	−3"
40	45'58"	153.2284	85271.6	85395	+123	+5"
41	45'7"	151.5738	84350.8	84137	−214	−9"
42	44'24"	147.9972	82360.4	82852	+492	+21"
43	43'55"	146.3914	81466.8	81542	+75	+3"
44	43'13"	144.0402	80158.4	80208	+50	+2"
45	42'15"	140.8132	78362.6	78848	+485	+22"
46	41'44"	139.1246	77422.8	77465	+42	+2"
47	40'56"	136.4562	75937.9	76057	+119	+6"
48	39'57"	133.144	74094.6	74627	+532	+25"
49	39'12"	130.655	72709.5	73173	+463	+23"
50	38'37"	128.7314	71639.0	71697	+58	+3"
51	37'53"	126.2594	70263.4	70199	−64	−3"
52	37'2"	123.4194	68682.9	68679	−4	0"
53	36'25"	121.381	67548.5	67138	−411	−22"
54	35'22"	117.8684	65593.8	65577	−17	−1"
55	34'29"	115.505	64278.5	63995	−284	−16"
56	33'16"	110.8644	61696.0	62394	+704	+41"
57	32'26"	108.1058	60160.9	60773	+612	+36"
58	31'57"	106.515	59275.6	59134	−142	−9"
59	31'10"	103.8938	57816.9	57476	−341	−21"
60	30'15"	100.8148	56103.4	55801	−302	−19"
61	28'46"	95.8744	53354.1	54108	+754	+50"
62	27'46"	92.5288	51492.3	52399	+907	+61"
63	26'43"	89.0578	49560.7	50674	+1113	+80"
64	26'27"	88.1686	49065.8	48933	−133	−10"

纬度	大小圈度相应值	纬度弧长(里)	纬度弧长(米)	克拉索夫斯基椭圆体纬度弧长(米)	差 值(米)	差值折合经度
		1度	1度	1度	1度	
65	25'21"	84.5186	47034.6	47176	+141	+11"
66	24'45"	82.4742	45896.9	45405	−492	−38"
67	23'25"	78.057	43438.7	43621	+182	+15"
68	22'14"	74.0868	41229.3	41822	+593	+49"
69	21'58"	73.1952	40733.1	40011	−722	−66"
70	20'13"	667.4048	37510.8	38187	+676	+62"
71	17'56"	59.7636	33258.4	36352	+3094	+309"
72	18'	59.983	33895.4	34505	+610	+61"
73	17'11"	57.2958	31885.1	32647	+762	+85"
74	16'21"	54.4762	30316.0	30780	+464	+52"
75	15'22"	51.247	28519.0	28902	+383	+48"
76	14'5"	46.9686	26138.0	27016	+878	+110"
77	13'45"	45.8366	25508.1	25122	−386	−55"
78	11'43"	39.0284	21719.3	23219	+1500	+214"
79	12'	40.0252	22274.0	21810	−464	−77"
80	10'5"	33.6048	18701.1	19394	+693	+139"
81	10'39"	35.5048	19758.4	17472	−2286	−457"
82	8'42"	28.9896	16132.7	15544	−589	−147"
83	8'8"	27.1172	15090.7	13612	−1479	−370"
84	6'9"	20.4992	11407.8	11675	+267	+89"
85	4'4"	13.5586	7545.4	9735	+2190	+730"
86	4'52"	16.2057	9018.5	7791	−1228	−614"

注：此表依据球面三角余弦公式：$\cos C = \cos a \cdot \cos b + \sin a \cdot \sin b \cdot \cos c$ 计算

由于 $a = b$，故公式简化为 $\cos c = \cos^2 a + \sin^2 a \cdot \cos c$

据此推算，当C接近于0°和90°度，此公式的值与实际不符。还有些值出现负增长现象。

经线弧长对照表①

表2－10

纬度 (0°)	克拉索夫斯基椭圆体纬差1°经线弧长（米）	较差②（米）	差值折合纬度	纬度 (0°)	克拉索夫斯基椭圆体纬差1°经线弧长（米）	较差（米）	差值折合纬度	纬度 (0°)	克拉索夫斯基椭圆体纬差1°经线弧长（米）	较差（米）	差值折合纬度
0				30				60			
1	110576	−724	−23"	31	110863	−437	−14"	61	111423	123	4"
2	110577	−723	−23"	32	110880	−420	−14"	62	111439	139	5"
3	110579	−721	−23"	33	110898	−402	−13"	63	111455	155	5"
4	110580	−720	−23"	34	110915	−385	−12"	64	111472	172	6"
5	110583	−717	−23"	35	110934	−366	−12"	65	111487	187	6"
6	110587	−713	−23"	36	110951	−349	−11"	66	111502	202	7"
7	110590	−710	−23"	37	110971	−329	−11"	67	111516	216	7"
8	110596	−704	−23"	38	110989	−311	−10"	68	111531	231	8"
9	110600	−700	−23"	39	111007	−293	−10"	69	111544	244	8"
10	110607	−693	−22"	40	111027	−273	−9"	70	111558	258	8"
11	110613	−687	−22"	41	111047	−253	−8"	71	111570	270	9"
12	110620	−680	−22"	42	111065	−235	−8"	72	111582	282	9"
13	110629	−671	−22"	43	111085	−215	−7"	73	111594	294	10"
14	110636	−664	−21"	44	111104	−195	−6"	74	111605	305	10"
15	110646	−654	−21"	45	111124	−176	−6"	75	111615	315	10"
16	110656	−644	−21"	46	111144	−156	−5"	76	111625	325	11"
17	110666	−634	−21"	47	111163	−137	−4"	77	111634	324	11"
18	110676	−624	−20"	48	111182	−118	−4"	78	111643	343	11"
19	110689	−611	−20"	49	111202	−98	−3"	79	111651	351	11"
20	110700	−600	−19"	50	111221	−79	−3"	80	111658	358	12"
21	110712	−588	−19"	51	111241	−59	−2"	81	111665	365	12"
22	110726	−574	−19"	52	111260	−40	−1"	82	111671	371	12"
23	110739	−561	−18"	53	111278	−22	−1"	83	111677	377	12"
24	110753	−547	−18"	54	111298	−2	0	84	111681	381	12"
25	110767	−533	−17"	55	111316	16	1"	85	111686	386	13"
26	110783	−517	−17"	56	111335	35	1"	86	111689	389	13"
27	110797	−503	−16"	57	111353	53	2"	87	111691	391	13"
28	110814	−486	−16"	58	111370	70	2"	88	111694	394	13"
29	110829	−471	−15"	59	111388	88	3"	89	111695	395	13"
30	110846	−454	−15"	60	111406	106	3"	90	111695	395	13"

注：① 由于传教士使用的是正圆体，经线弧长每度恒为111300米（200里），所以未列表中。

② 克拉索夫斯基椭圆体纬差10经线弧长值大于正圆体的相应值，差值为正值相反则为负值。

第三节　推算方法

由于时间紧，人员不足，测绘区域幅员辽阔，地理条件千差万别，所以传教士不可能测遍全国各州县。故此，对于很多地点的经纬值的确立采取利用现存原图或有关文献进行度量后而依据球面三角公式求算的方法。雷孝思说："我们亲自走遍各省各地，包括那些很次要的地点，查阅了各地官府所藏的舆图和史书，询问了所经各地的官吏和耆老搢绅[36]"。"在我们之前，已有一些耶苏会的教士在若干城市进行过月球和木星卫星的观测。对他们取得的成果我们深为满意，虽然我们也对少数不符我们尺度之处作了校正[37]"。不仅如此，他们还参考了外文的地图和资料。据《俄国、蒙古、中国》[38]一书中讲，雷孝思等人在康熙朝便编绘有范围西达地中海的地图，这部分无疑需要参考中亚，西亚地区的地图，当时中文的世界地图有利玛窦、南怀仁的可资参考外，还有可能参考了现藏故宫的《亚西亚洲图》（一幅、墨印纸本，0.93×1.19㎡）和《欧罗巴洲图》（一幅墨印纸本，0.92×1.17㎡），因为此二图印于1698年，原为法文，附有汉译签释[39]。由于传教士与俄国人交往过从，有迹象表明他们之间有过地图交换，绘图中可能还参考过俄国人的地图[40]。但原始文献不易查到，现在无法确定用过多少种图。

一、推算方法及其误差分析

《西洋新法历书》"浑天仪说"中介绍过"以经纬推距度及方向""以经及方向求距与纬""以纬与距度推经及方向""以距及方向推经纬"四种方法。在测算当中，传教士掌握的是方向和距度（即距离），要求的是经、纬度，所以应以用后三种方法为主，另实测纬度较经度容

易，实际所测的纬度值也比经度比求纬度多，那么使用最多的计算方法法应是最后两种：即“以纬与距度推经及方向”与“以距及方向推经纬度”。

从球面三角的角度说，这便是利用“一般球面三角形计算公式”或“球面直角三角形计算公式的问题”。这些公式在当时也是很常见的公式，难度不大，加以已有学者对此进行了论述，故此处从略。本文只着重探讨利用这些公式所产生的误差。

球面三角公式，顾名思义，是在正球体面上进行边角计算的公式，这就表明定地球为正球体。但地球实际上是什么也不是的“地球体”，为了便于计算而定为椭圆体，测量学上常用“克拉索夫斯基椭圆体”来描述地球形状。那么在这种“椭圆体”面上的边角计算与在正球体面上的边角计算有很大差别，经、纬线弧长不一样，这在本文第二章第二节中有详细的分析。其推算值的误差就产生在这里。

二、传教士利用地图确定的经纬度值精度分析

依据《概述》中所附经纬度表可知：有72个地点 的纬度值是依地图求得的，有74个地点的经度值是依地图求得，其中有65个地点双双依地图求得，有2个地点依地图求得2个纬度值，有2个地点依地图求得2个经度值。表中还具体指出了8幅所利用过的地图。

从表2－11中可以看出：

1、74个经度差值中有9个零值，19个正值，46个负值，分别占总数12.2%、25.7%和62.1%。最大正差值是71′，最大负差值是33′。平均正差值是12.5′，平均负差值是13.7′，经度平均差值是11.6′。

2、72个纬度差值中有9个零值，23个正差值，40个负差值，分别占总数12.5%、31.9%和55.6%。最大正差值是9′，

表2－11

地点	经度 推算	经度 今值	差值 正	差值 负	纬度 推算	纬度 今值	差值 正	差值 负	备注
玉田县	1°18′	1°18′	0		39°56′	39°48′		8	
天津卫	0°46′	0°48′	2		39°10′	39°6′		4	
上海县	4°44′	5°0′		16	31°9′	31°12′	3		
徐干县	0°10′	0°12′	2		28°41′	28°42′	1		
德兴县	0°14′	1°06′		8	28°55′	28°54′		1	
枫亭驿					25°14′	25°12′		2	
兴化府	2°49′	2°36′		13	25°25′	25°24′		1	
延平府	1°49′	1°42′		7					
浦城县	2°9′	2°6′		3					
海坛镇					25°33′	25°30′		3	
厦门所					24°28′	24°24′		4	
鸡笼港	5°10′	5°24′	14		25°17′	25°12′		5	
清浪卫	7°55′	7°42′		13					
天柱县	7°28′	7°24′		14	26°48′	26°54′	8		
沅州	7°3′	6°48′		15					
施州卫	7°3′	7°00′		3	30°16′	30°12′		4	
汉阳府	2°18′	2°18′	0						
卫辉府	1°13′	2°24′	71						
泌阳县	3°6′	3°6′	0		32°49′	32°36′		13	
汝宁府	2°8′	2°6′		2	33°01′	33°00′		1	
永阳县	2°54′	3°6′	12		34°53′	34°42′		11	
永泽县	2°45′	2°52′	7		34°57′	34°53′		4	
仪封县					35°55′	34°49′		6	
郑州					34°42′	34°42′	0		
天城卫	2°25′	2°24′		1	40°29′	40°24′		5	
助马堡	3°33′	3°29′		4	40°24′	40°18′		6	
蔚州	1°53′	1°54′	1		39°51′	39°48′			
应州	3°15′	3°18′	3		39°39′	39°30′		9	
朔州	4°2′	4°00′		2	39°25′	39°18′		7	
河曲县	5°27′	5°18′		9	39°14′	39°18′	4		
静乐县	4°32′	4°30′		2	38°31′	38°18′		13	
临县	5°31′	5°30′		1	38°5′	37°54′		11	
垣曲县	4°46′	4°32′		14	34°58′	35°7′	9		
肃州	17°22′	18°00′	38		39°46′	39°42		4	

地点	经度		差值		纬度		差值		备注
	推算	今值	正	负	推算	今值	正	负	
西宁卫	14°41′	14°36′		5	36°39′	36°36′		3	
临洮府	12°30′	12°36′	6		35°22′	35°18′		4	
庆阳府	8°46′	8°36′		10	36°3′	36°00′		3	
韩城县	6°5′	6°00′		5	35°31′	35°24′		7	
保宁府	10°30′	10°30′	0		31°32′	31°36′	4		
马湖府	12°10′	11°48′		22	28°31′	28°36′	5		
乌蒙土府	12°42′	12°42′	0		27°20′	27°18′		2	
镇雄土府	11°36′	11°36′	0		27°18′	27°24″	6		
叙州府	11°43′	11°54′	11		28°38′	28°42′	4		
真安州	8°58′	9°00′	2		28°30′	28°30′	0		
合州	10°5′	10°12′	7		30°8′	30°00′		8	
广安州	9°50′	9°42′		8	30°31′	30°24′		7	
夔州府	6°54′	6°54′	0		31°10′	31°6′		4	
威州	12°48′	12°48′	0		31°25′	31°24′		1	
南雄府	2°33′	2°6′		27	25°12′	25°6′		6	
连州	4°16′	4°6′		10	24°51′	24°42′		9	
长宁县	2°37′	2°18′		19	24°7′	24°00′		7	
潮州府	0°47′*	0°12′		35	23°36′	23°36′	0		
普宁县	0°19′	0°12′		7	23°26′	23°25′		1	
雷州府	6°48′	6°24′		24	20°52′	20°54′	2		
徐闻县	6°50′	6°18′		32	20°19′	20°18		1	
马交	3°19′	2°54′		25	22°12′	22°12′	0		
文昌县	6°15′	5°42′		33	19°36′	19°36′	0		
崖州	7°44′*	7°16′		28	18°22′*	18°23′	1		
临高县	7°14′	6°42′		32	19°47′	19°54′	7		
广州府	3°31′	3°12′		19	23°11′	23°6′		5	
柳州府					24°14′	24°18′	4		
宾州	7°52′	7°35′		17	23°13′	22°16′	3		
郁林州	7°32′*	7°12′		20	22°41′	22°36′		5	
开化府	12°7′	12°12′	5		23°25′	23°18′		7	
孟定土府	17°15′	17°19′	4		23°27′*	26°32′	5		
腾越州	17°43′	17°54′	11		24°58′	25°00′	2		
大理府	16°7′	16°18′	11						
景东府	15°25′	15°36′	11						
塔城关					27°32′	27°36′	4		

地点	经度		差值		纬度		差值		备注
	推算	今值	正	负	推算	今值	正	负	
婺川县	8°16'	8°36'	20		28°24'	28°30'			
徐庆县	8°44'	8°30'		8		'			
施秉县	8°27'	8°18'		9	27°00'	27°00'	0		
平越府	9°5'	8°54'		11	26°37'	26°42'	5		
开州	9°45'	9°30'		15	26°59'	27°00'	1		
大定州	10°56'	10°48'		8	27°4'	27°6'	2		
威宁府	12°12'	12°12'	0		26°43'	26°48'	5		
安顺府	10°36'	10°30'		6	26°12'	26°12'	0		
麻哈州	9°2'	8°54'		8	26°26'	26°24'		2	
贵定县	9°22'	9°12'		10	26°30'	26°30'	0		
贵阳府	9°52'	9°42'		10	26°30'	26°36'	6		
永从县	7°25'	7°15'		10	25°58'	26°3'	5		
总数	74		238	630	72		96	207	
平均			12.5'	13.7'			4.2'	5.2'	
总平均	8.0'		11.6'				4.2'		

最大负差值是13'。平均正差值是4.2'，平均负差值是5.2'，纬度平均差值是4.2'。

3．经度的平均差值大纬度的7.4'，经度平均正差值大纬度的8.3'，经度平均负差值大纬度的8.5'。可见所定纬度的精确度比经度的高。

4．经、纬度总平均差值为8'。

二、《皇舆全览》与《皇舆全览图》的关系

清代有一种名为《钦定皇舆全览》的书，此名与《皇舆全览图》之名极为相似。那么此书作于何时，内容如何，它与《皇舆全览图》是什么关系？

据陶湘《清代殿本书目》载："《钦定皇舆全览》残本三十九卷。光绪二十七年辛丑见此残本，尚有首册，职官名中有揆叙，癸卯购进，首帙已失。按《皇舆表》为康熙四十三年揆叙等奉敕修刻，是书当为康熙年刻[42]"。此书曾称《钦定方舆路程考略》，王重民有论述："《钦定方舆路程考略》残存三册（美国国会图书馆），稿本〔九行二十二字〕第一册题：'钦定方舆路程考略'，记山西省城、阳曲县至河南怀庆府河内县界路。第二册题：'钦定皇舆全览'，记山西五府三州小路路程下。第三册题：'钦定方舆路程考略'，又用朱笔改为'钦定皇舆全览'，记山西蔚州至浑源州北岳、天城卫至陕西宁夏、宁武所至偏头关，阳曲县至陕西榆林，阳曲县至陕西府谷县陆路路程，全在山西境内，然山西一省犹未全[43]"。此书虽说是稿本，但肯定不只山西一省的路程。傅增湘也记叙道："昔年在陶君兰泉家见有《皇舆全览》四十卷"，"所存者为京师、奉天、直隶、山东、山西、陕西等省，馀各省皆缺[44]"。今天所存，除美国国会图书馆所藏三册外，便是北京图书馆所藏《钦定皇舆全览》存三卷三册（浙江三至四，直

隶宁羌州等地）和《钦定方舆路程考略》不分卷，清钱名世，汪士铉等纂修，（存江南、河南、陕西、浙江、江西、湖南、福建、广东等部分）。另北京市中国书店《中国书店三十年所收善本书目》[45]“地理类”记曰：“钦定方舆路程考略存第二函陕西西安府九，清汪士铉撰，硃墨格抄进呈本竹纸一册”，但不知今存何处。此书修纂始于何年，为何人主持修纂等情况，傅增湘也有详细论述：

惟全书都若干卷：修纂始于何年？以佚去首帙，渺无可考。编检《官史》、《续官史》、《皇朝文献通考》诸书，均未载入。惟《通考》中有《钦定方舆路程考略》一书，题汪士铉纂进，与此书颇相类，而书名既异，又题不分卷，终莫能明也。……近阅顾侠君《间邱年谱》，乃知此书为康熙四十四年奉旨编纂者。据《年谱》载，五月于南薰殿开局，编纂《钦定方舆路程考略》，派杨开元等十二人纂录。四十六年，又载六月初五日奉勅命陈编修世南（邦彦）纂辑《四川方舆路程考略》，顾嗣立与汪泰来分纂。至五十四年侠君辞官南归，遂不详修书事，不知是出于何年辑成。然由此可以推知此书原名《方舆路程考略》及全书告成，乃定名为《皇舆全览》[46]”。王重民认为此书应纂修于康熙四十六、七年之间，其理由是：《皇朝文献通考经籍考》曾载：“臣等谨按是书无刊本，康熙中允汪士铉等奉　撰进”，而据沈彤《汪士铉行状》言：“康熙四十六年夏赴京，特授右春坊右中允，兼翰林院编修，充日讲官起居注，未几转左。四十七年以丁继母忧去官，遂不复补[47]”。四十七年已去官，然书已进，当然是在四十六、七年间。这个时间正好与康熙主持的大地测量起始时间相吻合。据此可以认为此书的修纂与三角测量有关。

另据傅增湘记述：“惟所载测量道里之法特为新异。其量法用绳计，每绳长十八丈为一营造尺绳，每十绳为一里。又绳长十六丈为一

周尺绳，十绳为一里。如量山东边福里数，由刘智庙起，回至德州止，为营造尺绳八千二百五十一里六绳，为周尺绳九千一百六十五里一绳又一丈六尺[88]”。而康熙四十六年（１７０７年）开始的测量也是以营造尺为标准，康熙规定２００里合经线一度，每里１８０丈，每一营造尺合经度百分之一秒。那么，计量单位相等，其成果当然可以利用。而且此书名为《钦定皇舆全览》，而图名为《皇舆全览图》，说明之间的紧密关系。

注释

①赵晨译、刘耀武校 黑龙江人民出版社 1981年2月

②陈霞飞译、陈泽宪校 商务印书馆 1973年11月

③④同① P26

⑤《测绘中国地图纪事》〔法〕J.B.杜赫德著，葛剑雄译 历史地理（第二辑） 上海人民出版社 1982年11月

⑥《一九八七年天文测量简历》 中国科学院紫金山天文台编 科学出版社

⑦《康熙几暇格物编》 玄烨

⑧ 四库全书本

⑨《后编》卷一："康熙年间所用蒙气差、地半径差，俱仍弟谷之旧，与刻白尔、嗜西尼等所用之数不同"。

⑩同⑥

⑪《考成》未列地平高度在45度以后的蒙气差值。

⑫同⑥

⑬《理论天文学》 科学出版社

⑭同⑤

⑮《地学杂志》 1930年第三期

⑯雄山阁出版 昭和54年5月20日初版

⑰⑱⑲⑳㉑同⑤

㉒见《古今月食表》

㉓《清史稿·时宪志》

㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲ 同⑤

㊳《中国大百科全书·测绘学》"三角测量"条 胡明城 中国大百科全书出版社 1985年11月

㉛《地图学》张力果等　高女教育出版社　1983年10月

㉞《西洋新法历书》“浑天仪说”

㉟同㉛

㊳〔英〕巴德利著　吴持哲等译　商务印书馆　P35

㊴《清内务府造办处舆图房图目初编》

㊵《彼得大帝时期的俄中关系史》〔法〕加斯东·加恩著，江载华等译，商务印书館

㊶本表依据第一章附表一而作

㊷　陶氏编刊书目本

㊸《中华善本书提要》　上海古籍出版社

㊹《藏园群书题记》　上海古籍出版社

㊺　北京中国书店编，赠阅本

㊻　同㊹

㊼　同㊸

㊽　同㊹

第三章 《皇舆全览图》所用投影研究

研究《皇舆全览图》上的投影，始于翁文灏，他在“读故宫博物院重印乾隆内府舆图记”一文中说：

沈阳及北平故宫所发见之内府舆图其绘法殊为特别，骤视之不知其为何种投影。余细加审校，始知其皆用梯形投影法（Trapzoidal projection）。此法现代用者甚少，其法先作中经线，即经过北平之子午线。在此直线上，分划纬度，每一度为一格，五度为一排。纬线皆作直线，等距平行。后选定纬线二条，照中经线同一比例，而依本身长度划分经度，每一度为一格，依此联作经线。地既球形，纬线弧愈北愈短，故依此法所作之经线除中经线外皆斜向北极。依此投影法所作之图，经纬皆成直线，且不需何种复杂算学，故易于绘制。分幅图皆可完密接合不留罅隙。离中经线较近者比例及方向距离均尚准确，但距中经线过远者，虽距离比例相差尚少，而经纬线相交过斜形势方向颇感错觉。全图比例尺图上并未注明，今按中经线量之约为一百四十余万分之一，因图绘不精不易算至更为精密。……雍正十三年法国唐维尔所作中国分省图亦用同一绘法，地名详略亦大致相同，其所作中国属地（Tartarie 即满蒙等地）图亦用同一投影，同一分幅方法，可见其同出一源，毫无疑义。但唐维尔所作中国总图及属地总图已用锥形投影法（Conic Projection）。此法于地位形势变更较少，用之于大面积之图，自较梯形法为宜。在中国之所谓内府舆图则从未见有此法者，殆以当时在华教士尚未习此欤。①

翁文灏认为《皇舆全览图》（即沈阳“所发见之内府舆图”）采用

的是梯形投影而不是锥形投影，并说“在中国之所谓内府舆图从未见有此法者（指锥形投影）”，究其原因是“当时在华教士尚未习此”。

1934年7月，方俊在《地图投影②》一书中给出了此图投影的投影公式及量度，认为《皇舆全览图》使用的是三角投影（与“梯形投影”名异实同）。1957年在所著《地图投影学》③一书第一册中再次给出了稍加变形的投影公式和量度，仍然认为地图采用的是三角投影。这一结论似乎成为定论，有关学术著作均加以引用，如《中国大百科全书、测绘学》④卷“地图史”条，《中国古代地理学简史》⑤等。然而笔者通过详细量算和核实，发现所定投影公式和量度是错误的。

第一节　《皇舆全览图》采用的不是梯形投影

一、梯形投影公式和量度：

《地图投影》一书所载的投影公式和量度⑥为：

$$X=2\sqrt{\frac{3}{\pi}}\cdot\lambda\cdot\sin\left(\frac{\pi}{4}-\frac{\varphi}{2}\right)$$

$$Y=\sqrt{\pi}\left[1-\sqrt{\frac{2}{3}}\cos\left(\frac{\pi}{4}-\frac{\varphi}{2}\right)\right]$$

$$K_m=\sqrt{\frac{\pi}{3}}\cdot\sqrt{\frac{4}{\pi}\lambda^2+1}\cdot\cos\left(\frac{\pi}{4}-\frac{\varphi}{2}\right)$$

$$K_p=\sqrt{\frac{3}{\pi}}\cdot\sec\left(\frac{\pi}{4}-\frac{\varphi}{2}\right)$$

$$= \sin^{-1} \frac{1}{\sqrt{\frac{4}{\pi^2} \cdot \lambda^2 + 1}}$$

X ：投影坐标系中的横坐标

Y ：投影坐标系中的纵坐标

φ ：地理纬度

λ ：地理经度

K_m：经线长度比

K_p：纬线长度比

x ：为经纬线的倾角（$x = 90^0 - \theta$）

《地图投影学》上所载的投影公式和量度⑦为：

（图3－1梯形投影略图⑧见下页）

$$X = 2\sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \lambda \cdot \sin\frac{1}{2}\left(\frac{\pi}{2} - \beta\right) r$$

$$Y = \sqrt{\pi}\left[1 - 2\sin\frac{1}{2}\left(\frac{\pi}{2} - \beta\right)\right] r$$

$$K_m = \sqrt{\frac{\pi}{3}} \cos t \cdot \sqrt{1 + 9\lambda^2}$$

$$K_p = \sqrt{\frac{3}{\pi}} \cdot \sec t$$

$$\sin \Theta = \sqrt{1 + \frac{a^2 \lambda^2}{2b^2}} \quad \left(a = 2\sqrt{\frac{3}{\pi}} \cdot r,\ b = \sqrt{\frac{2\pi}{3}} \cdot r\right)$$

$$K_m \cdot K_p \cdot \sin \Theta = 1 。$$

这里公式本身存在两个问题：

1．只有当λ为0时，$\sin\Theta=\sqrt{1+\frac{a^2\lambda^2}{2b^2}}$ 则成立，因为，λ为0以外任何值时 $\sqrt{1+\frac{a^2\lambda^2}{2b^2}}>1$，而$\sin\Theta$是不可能大于1的。

2．$K_m\cdot K_p\cdot\sin\Theta$不一定等于1。

$K_m\cdot K_p\cdot\sin\Theta=\sqrt{1+9\lambda^2}\cdot\sqrt{1+\frac{9\lambda^2}{2\pi^2}}$ 只有当λ为0时才等于1。

二、错误的原因

得出上述投影公式和量度的依据有二条：

1）《皇舆全览图》的投影特征与梯形投影特征相吻合。即经、纬线均为直线，纬线弧愈北愈短，经线除中经线外皆斜向北极[9]。

2）《皇舆全览图》上"中经（北京子午线）以北与以西六十度之经线与纬线成四十五度角[10]"。

那么这二条符不符合真实情况呢？其实是不符合的。

1．经线不是直线，而是曲线。

笔者通过在《皇舆全览图》上仔细量得83个经纬线交角值〔见表3－1〕，发现从低纬至高纬，同一经线与纬线的交角值有规律地逐渐减小，这证明经线为曲线。如果是直线的话交角值应相等；如果是刻版时所造成的误差的话，决不会这样有规律。

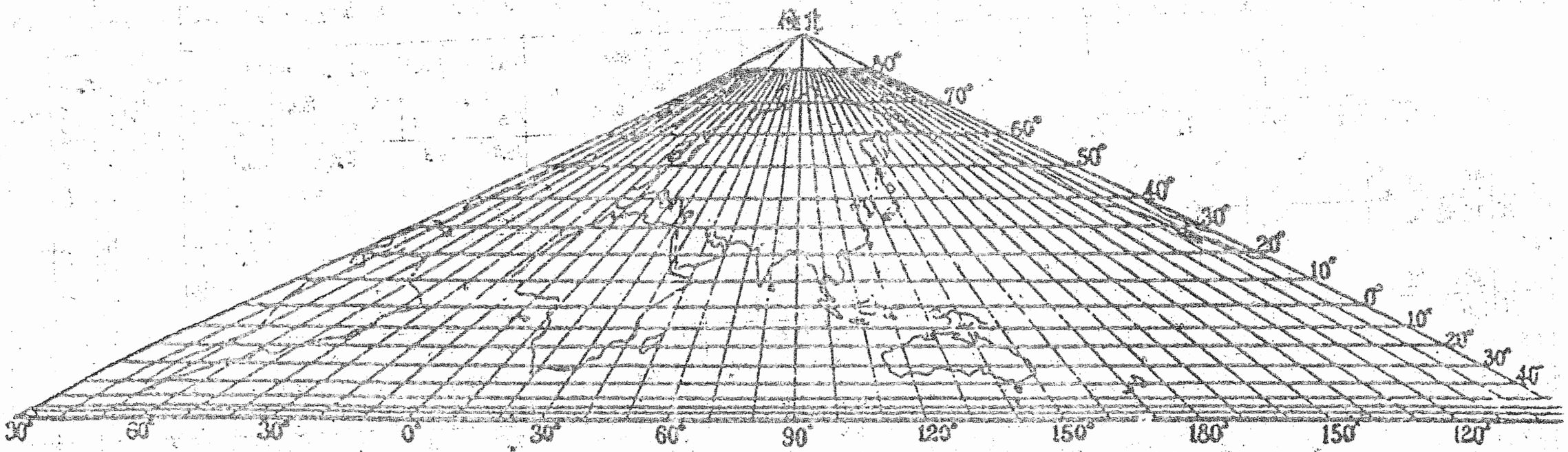

Alt
80°
70°
60°
50°
40°
30°
20°
10°
0°
10°
20°
30°
40°
90°
60°
30°
0°
30°
60°
90°
120°
150°
180°
150°
120°

图3-1 梯形投影略图 ②

经纬线交角理论值与原图测量值比较表

纬度	值类 \ 经度值数	45 W		40 W		35 W		30 W		25 W		20 W		15 W		10 W		5 W		0		5 E		10 E		15 E		20 E		25 E		30 E	
		θ	Δθ	θ	Δθ	θ	Δθ	θ	Δθ	θ	Δθ	θ	Δθ	θ	Δθ	θ	Δθ	θ	Δθ	θ	Δθ	θ	Δθ	θ	Δθ	θ	Δθ	θ	Δθ	θ	Δθ	θ	Δθ
N 50	理论值											75	0	78.7	+0.3	82.4	+0.1	86.2	+0.8	90	0	86.2	-0.2	82.4	-0.4	78.7	+0.3	75	+0.5	71.5	+1.5	68.1	-1.1
	量值											75		79		82.5		87		90		86		82		79		75.5		73		67	
N 45	理论值	61	-2.0	63.7	-1.7	66.6	-1.6	69.7	-0.7	72.9	-0.9	76.1	-1.1	79.5	-0.5	83	0	86.5	0	90	+0.5	86.5	0	83	0	79.5	-0.5	76.1	-0.1				
	量值	59		62		65		69		72		75		79		83		86.5		90.5		86.5		83		79		76					
N 40	理论值			65.8	-0.8	68.6	-0.6	71.4	-0.4	74.3	-0.3	77.4	-0.4	80.4	-0.4	83.6	-0.1	86.8	+0.2	90	0	86.8	-0.3	83.6	-0.6	80.4	-0.4	77.4	-0.4				
	量值			65		68		71		74		77		80		83.5		87		90		86.5		83		80		77					
N 35	理论值			68.2	-1.2	70.7	-0.7	73.3	-1.3	75.9	+0.1	78.7	-0.7	81.5	-0.5	84.3	-0.3	87.1	-0.6	90	0	87.1	-0.6	84.3	+0.2	81.5	-0.5	78.7	+0.3				
	量值			67		70		72		76		78		81		84		86.5		90		86.5		84.5		81		79					
N 30	理论值	68.6	-1.6	70.8	-0.8	73	-1.5	75.3	-1.3	77.7	-1.2	80.1	-1.1	82.5	-0.5	85	-1.0	87.5	-0.5	90	0	87.5	-0.5	85	-1.5	82.5	-1.5						
	量值	67		70		71.5		74		76.5		79		82		84		87		90		87		83.5		81							
N 25	理论值			73.6	-0.6	75.5	-0.5	77.5	-0.5	79.6	-1.1	81.6	+0.4	83.7	-0.7	85.8	-0.8	87.9	-0.3	90	0	87.9	+0.5										
	量值			73		75		77		78.5		82		83		85		87.6		90		88.5											
N 20	理论值									81.5	+0.5	83.2	+0.8	84.9	+0.3	86.6	+0.4	88.3	-0.2	90	0	88.3	+0.7										
	量值									82		84		85.2		87		88.5		90		89											
N 18	理论值																	88.5	-1.0	90	0												
	量值																	87.5		90													

注：此理论值依据桑逊投影量度公式推算。

2．纬线不仅平行，而且等距。

笔者通过度量图中87个纬距值，了解到其值最大的为8.15厘米，最小的为7.82厘米，其中为7.95厘米的值为30个，平均值为7.94厘米〔见表3－2〕，大小的变化杂乱无章，说明是绘制误差、刻铜版误差和图纸变形带来的综合结果，而依据方先生的投影公式计算出来的纬距值〔见表3－3〕则是有规律地递增：纬度值越大，纬距越大，如0°－1°为5.78厘米，30°－31°为7.06厘米，59°－60°为7.85厘米。这显然与实际情况不合。

3、经纬线交角量测值与公式理论值相差甚大

通过比较利用量度公式求出的理论值⑪与原图的度量值〔见表3－4〕明显地看出，二值极不吻合，差值还有规律地排列：

〔表3－4见第103页〕

表3-2

经度＼纬度	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
40W							7.95	7.98	7.95	7.95	7.9
35W							7.95	7.98	7.9	7.96	7.9
30W							7.95	7.95	7.9	7.9	7.95
25W		7.85	7.86	7.9	7.88	7.95	7.88	7.9	8.0	7.9	7.94
20W		7.95	7.90	7.95	7.9	8.00	7.88	7.82	7.89	7.9	7.9
15W		7.9	7.92	8.0	7.95	8.05	7.94	7.95	7.94	7.95	8.0
10W		7.94	8.0	8.0	7.94	8.0	7.90	7.95	7.95	7.95	7.9
5W	7.95	7.92	8.0	8.0	7.95	8.15	7.95	7.95	8.0	7.95	7.92
0	7.95	7.95	7.92	7.95	7.92	8.0	7.99	7.95	7.98	7.95	7.98
5E		7.95	7.86	7.90	7.95	7.9	8.0	7.9	7.95	7.95	7.95

梯形投影纬度坐标变化表（1° —60°）

表3—3

φ	y	Δy	$\overline{\Delta y}$	φ	y	Δy	$\overline{\Delta y}$	φ	y	Δy	$\overline{\Delta y}$
1	5.78		5.78	21	131.17		6.25	41	272.60		6.65
		5.83				6.72				7.42	
2	11.61		5.81	22	137.89		6.28	42	280.02		6.67
		5.87				6.77				7.45	
3	17.48		5.83	23	144.66		6.29	43	287.47		6.69
		5.93				6.80				7.47	
4	23.41		5.85	24	151.46		6.31	44	294.94		6.70
		5.97				6.84				7.50	
5	29.38		5.88	25	158.30		6.33	45	302.44		6.72
		6.02				6.88				7.53	
6	35.40		5.90	26	165.18		6.35	46	309.97		6.74
		6.07				6.92				7.56	
7	41.47		5.92	27	172.10		6.37	47	317.53		6.76
		6.12				6.96				7.58	
8	47.59		5.95	28	179.06		6.40	48	325.11		6.77
		6.16				6.99				7.61	
9	53.75		5.97	29	186.05		6.42	49	332.72		6.79
		6.21				7.03				7.63	
10	59.96		6.00	30	193.08		6.44	50	340.35		6.81
		6.26				7.06				7.66	
11	66.22		6.02	31	200.14		6.46	51	348.01		6.82
		6.30				7.10				7.68	
12	72.52		6.04	32	207.24		6.48	52	355.69		6.84
		6.34				7.13				7.70	
13	78.86		6.07	33	214.37		6.50	53	363.39		6.86
		6.39				7.17				7.73	
14	85.25		6.09	34	221.54		6.52	54	371.12		6.87
		6.43				7.20				7.75	
15	91.68		6.11	35	228.74		6.54	55	378.87		6.89
		6.48				7.23				7.77	
16	98.16		6.14	36	235.97		6.56	56	386.64		6.90
		6.52				7.26				7.79	
17	104.8		6.16	37	243.23		6.57	57	394.43		6.92
		6.56				7.30				7.81	
18	111.4		6.18	38	250.53		6.60	58	402.24		6.94
		6.60				7.33				7.83	
19	117.84		6.20	39	257.86		6.61	59	410.07		6.95
		6.64				7.36				7.85	
20	124.48		6.22	40	265.22		6.63	60	417.92		6.97
		6.69				7.38					

注：φ为地理纬度，y为投影中的纵坐标值，Δy为每一度的纬距，Δy为平均纬距。单位为厘米

梯形投影理论经纬线交角与原图交角度量值比较表

表 3 — 4

纬度	经度	45	40	35	30	25	20	15	10	5W	0	E5	10	15	20	25
	角度理论值	53.1	56.3	59.7	63.4	67.4	71.6	76.9	80.5	85.2	90	85.2	80.5	76.0	71.6	67.4
45	度量值	59	62	65	69	72	75	79	83	86.5	90.5	86.5	83	79	76	
	差值	-5.9	-5.7	-5.3	-5.6	-4.6	-3.4	-3	-2.5	-1.3	-0.5	-1.3	-2.5	-3.0	-4.4	
40	度量值		65	68	71	74	77	80	83.5	87	90	86.5	83	80	77	
	差值		-8.7	-8.3	-7.6	-6.6	-5.4	-4.0	-3.0	-1.8	0	-1.3	-2.5	-4.0	-5.4	
35	度量值		67	70	72	76	78	81	84	86.5	90	86.5	84.5	81	79	
	差值		-10.7	-10.3	-8.6	-8.6	-6.4	-5.0	-3.5	-1.3	0	-1.3	-4.0	-5.0	-7.4	
30	度量值		67	70	71.5	74	76.5	79	82	84	87	90	87	83.5	81	
	差值		-13.9	-13.7	-11.8	-10.6	-9.1	-7.4	-6.0	-3.5	-1.8	0	-1.8	-3.0	-5.0	
25	度量值			73	75	77	78.5	82	83	85	87.6	90	88.5			
	差值			-16.7	-15.3	-13.6	-11.1	-10.4	-7.0	-4.5	-2.4	0	-3.3			

注：大于理论值为负，小于理论值为正。

1）所有的理论值均小于度量值（除中央经线与纬线的交角外）。

2）纬度越小，差值越大，如在经线40度的位置上，经纬线交角差值从纬度45度的5．7度增加到纬度25度的16.7度，误差值竟达10度多，绝非绘制误差和图纸变形误差所能产生。

3）经度60度处，经纬线交角不是在每根纬线上等于45度。由表3—5可知纬度小于45的纬线上在经度为60度时，交角不会等于45度，而且纬度愈低，交角为45度的经线值愈大。

表3—5

纬度	W40°处交角	经度增加1度减少角度	推测W60°处交角
45	62	0.700	48
40	65	0.625	52.5
35	67	0.575	55.5
30	70	0.500	60.0
25	73	0.425	64.5

当然，我们还可以比较经线长度比，纬线长度比来进一步说明问题。但上述几条证据已足以否定“《皇舆全览图》所使用的是梯形投影”的陈说。

第二节 《皇舆全览图》采用的投影的性质

在上文中，我们已经论述了《皇舆全览图》经纬线的基本特征：

1）纬线为等距平行直线；

2）经线除中央经线为直线外，其余均为对称曲线。

依据各类投影的特征[12]〔见表3－6〕，我们发现此图采用的是伪圆柱投影。

表3－6

投影名称	经纬线形状		限定特征
	经线	纬线	
圆锥投影	直线束	同心同弧	经线间隙相等交于纬线圆心
方位投影	直线束	同心圆	同上，且经线夹角等于经差
圆柱投影	平行直线	平行直线	经纬线正交
伪圆锥投影	对称曲线	同心圆弧	
伪方位投影	对称曲线	同心圆	
伪圆柱投影	对称曲线	平行直线	
多圆锥投影	对称曲线	同轴圆弧	

确定了投影系统以后，我们再来确定投影变形性质，由于伪圆柱投影中的经线线不可能正交，所以它没有等角投影，只有等积投影和任意投影两种。

等积的条件是：

$m \cdot n \cos\varepsilon = 1$　（或 $m \cdot n \cdot \sin\theta = 1$　$\theta = 90^0 - \varepsilon$）

m 为经线比，其值为 $\dfrac{\Delta S'_m + \Delta S''_m}{2(\Delta S_m M_0)}$

n 为纬线比，其值为 $\dfrac{\Delta S_n + \Delta S''_n}{2(\Delta S_n M_0)}$

式中 $\Delta S'_m$、$\Delta S''_m$ 为特征点上下相同纬差的经线弧长

$\Delta S'_n$、$\Delta S''_n$ 为特征点左右相同经差的纬线长

ΔS_m、ΔS_n 分别为相应位置的经纬线实际弧长

M_0 为地图的主比例尺

上面三式中，ε、$\Delta S'_m$、$\Delta S''_m$、ΔS_n、$\Delta S''_n$ 可以从图上直接度量得，而 ΔS_m、ΔS_n、M_0 必须通过计算才能取得。

先求 ΔS_m、ΔS_n：

ΔS_m、ΔS_n 分别为地球上相差一度的经、纬线弧长，那么此处两种弧长为多少呢？本文第三章第二节已经论证康熙朝这次测量是将地球定为正圆体，也就是经线弧长均等，纬线大圈每度弧长与经线弧长相同。

那么具体数值如何求得呢？

《概述》中记述道：

"1度正好等于200里，每里为180丈，每丈为10尺。根据巴黎科学院的测试。每度的二十分之一合2853特瓦斯（Toise），而1特瓦斯等于6夏特米尺（Pied du Châtelet），这正好等于中国的1800丈，或10里。根据上述尺度计算，一度等于我们的20长里〔grande Lieüe，或叫海里（Lieüe marine）〕，也即等于中国的200里⑬"。据此可以确定每里的公制长度。依据上述数据，获得了3个值：

1）$2853 \times 20 \times 1.949 \div 200 = 556.0497$ 米

〔1特瓦斯＝1.949米〕

2）$2853 \times 20 \times 6 \times 0.325 \div 200 = 556.335$ 米

〔1夏特米尺＝0.325米〕

3 ）20×5565÷200=556.5 米 （1 长里（海里）=5565米）

由于尺度愈小，误差愈大，故取3），每里为556.5米，据此可以求出地球弧长、半径和每度弧长等数值：

地球弧长 360^0×200里×556.5米=40,068,000米

（40068 公里）

地球半径 40068000÷2π=6377020.3 （米）

经线每度弧长 200里×556.5米=111300 米

纬线大圈每度弧长 200里×556.5米=111300 米

依据上述参数，便可求出经、纬线弧长值，再求M。

从表3－2中可知纬距最多的值为7.95厘米，定它为纬距标准值，那么《皇舆全览图》的主比例尺为：

7.95 ÷ 11130000 = 1/140万

已经求出了ΔSm、ΔSn、M。，再来判断此图投影是否等面积。

40° 纬线上经纬线长度比值表

表3 —7

经度 / 数值	40	35	30	25	20	15	10	5
θ	65	68	71	74	77	80	83.5	87
$\sin\theta$	0.906308	0.927184	0.945519	0.961262	0.97437	0.984808	0.993572	0.99863
$\Delta S'_m$	8.7	8.6	8.3	8.2	8.2	8.1	8.1	8.0
$\Delta S''_m$	8.55	8.45	8.35	8.1	8.1	8.5	8.0	8.0
$\Delta S'_n$	6.1	6.1	6.05	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1
$\Delta S''_n$	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1
ΔS_m	11130000	11130000	11130000	11130000	11130000	11130000	11130000	11130000
ΔS_n	8527160	8527160	8527160	8527160	8527160	8527160	8527160	8527160
m	1.0849059	1.072327	1.0471698	1.0314465	1.0251572	1.0440251	1.0125785	1.0062893
n	1.0015057	1.0015057	1.0015057	1.0015057	1.0015057	1.0015057	1.0015057	1.0015057
$\frac{p}{(m \cdot n \sin\theta)}$	0.99	1.00	0.99	0.99	1.00	1.03	1.01	1.01

笔者通过度量与计算〔见表3－7〕，在连续的八个标志点上求得m·n Sin θ的积值近似等于1〔最小为0.9847393，最大为1.0064236〕，证明此投影是等面积的。而且n值也近似为1〔最小为0.9974012，最大为1.0015057〕，说明纬线无长度变形。又据表3－8可知中央经线保持等长，即$m_0=1$。

上述研究的结果表明，此图的投影是正弦曲线等面积伪圆柱投影。

中央经线上经线比值表

表3－8

φ	20	25	30	35	40	45	50
θ	90	90	90	90	90	90	90
sinθ	1	1	1	1	1	1	1
$\Delta s'_m$	7.95	7.90	7.90	7.90	8.00	7.95	7.95
$\Delta s''_m$	7.92	7.95	7.95	7.90	7.90	7.95	7.95
Δsm	1130000	1130000	1130000	1130000	1130000	1130000	1130000
m_0	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00

第三节　西方地图投影学的发展状况

西方地图投影学萌芽于古希腊时代，迪亚亚库（Dicearque）大约在公元前四世纪末期著有《地球的描述》一书，书中的地图将所定“厄泰阿”线（eutheia，从赫尔克列斯之柱开始，经过萨丁尼亚，西西里、伯罗奔尼撒等地，穿过地中海，延伸至托罗斯山脉）同西恩纳—吕西马齐子午线配合起来，画成一些座标，这些座标已经

初步勾画出以直线的经纬网构成的地图方格。其后亚历山大里亚图书馆管理员埃拉托色尼（Eratosthène，约公元前273年——公元前192年）在所著的《地理论著》（un Traite de géoqraphie）中论述了人居住部分的地图绘制方法。他的地图呈四方格状。组成图上网格的是通过亚历山大城所在的那条经线上七个地点的那些纬线（麦罗埃——西恩纳，西恩纳——亚历山大里亚、亚历山大里亚——赫勒斯滂，赫勒斯滂——波里斯丹尼、波里斯丹尼——图勒、麦罗埃——阿罗马提斯海岸），另一方面是通过一条纵线上许多地点的经线（如印度河经线、里海之门经线、幼发拉底河上的塔普萨克经线，麦罗埃——亚历山大里亚经线，罗马—迦太基经线）。在这个经纬网格上，叠加一组被称为“普林特”框格（Plinthes）和“斯弗拉吉德斯”框格（Sphragides）。这仍然是方格网法。

古罗马时代的著名地理学家托勒玫（Ptolemy公元前二世纪）在所著《地理学知识》（Instruction geograplique）中专门论述了地图投影系统，并附有图。他吸收前人的成果，并作了许多创新工作。他作过多种投影图，其中重要的有二种：1）圆锥投影图，这种投影图，经线为直线，由顶点（可能是北极）辐射出来，纬线为圆弧线，而顶点为同心圆弧的圆心。2）修正圆锥投影图，这种投投影图，除中经线为直线外，其它经线均为对称性曲线。他采用第二种种方法绘制的地图早已失传，1561年威尼斯人罗斯散利曾多原了这种“托勒玫世界地图”。

十六世纪，地图学家开始应用球面投影。球面投影可以分“极球面投影”“赤道球面投影”和“水平球面投影”三种。1507年华尔德、卢氏（Walter Luh）首先采用“极球面投影”，1540

年弗里修斯（Gemma Frisius ）采用“赤道球面投影”，1514年斯太伯（John Stab ）和威纳（J.Werner ）采用“水平球面投影”。十六、七世纪较著名的投影之一是墨卡托投影，它是荷兰人墨卡托（Gerhard Mercator）于1569年首先使用来绘制航海图。其投影表为英国人赖德（Edward wright）于1590年计算出，1665年左右格利哥利（James Gregory ）导出投影公式。这是一种正形园柱投影，经纬线为相互垂直的直线。另有一种称之为“彭纳投影”的投影，它曾在托勒玫《地理书》中被介绍过。墨卡托在1595年最早用来绘制非洲和亚洲地图，故德国人称之为“墨卡托等面积投影”。彭纳（Rigobert Bonne 1727－1795）从数学的角度解决此投影的计算问题，故称之“彭纳投影”，并沿用至今。这个投影是伪园锥等面积投影的一种，具有4种特征：1）中央经线为直线且长度无变异，2）纬线为同心圆且长度也无变异，3）中央经线与一块纬线，中央纬线与一切经线为正交，4）等面积。墨卡托在1606年还用过后来称之为“桑逊投影”的投影来绘制南美洲地图，桑逊（Nikolas Sanson）曾在1650年用它来绘制各种地图，故德国人称之为“墨卡托—桑逊投影”，英国人弗兰斯蒂（John Flamsteed）于1729年也采用它绘图，故又称“桑逊——弗兰斯蒂投影”。一般称“桑逊投影”较多。它是伪园柱等面积投影的一种，其主要特征是：经线用正弦曲线表示，中央经线与赤道等长并均为直线，纬线为平行直线，等面积。

1613年阿奎伦（Aquillon ）曾用正射投影来绘图，

这种投影大多用来绘制天球图，如绘月球图等。1745年法国的卡西尼（Cesar Frangois Cassini）用“卡西尼投影”来绘制1：86400的法国实测地图，此图至1793年再由他的儿子J．D．卡西尼（Jean Dominigue Cassini）完成。这个投影较为适用于测量上而在绘图中应用不广。其后又产生了“兰勃脱投影”（1772）、“摩尔魏特投影”（1805）和“普通多圆锥投影”（1820）[14]。

从上面的叙述中可以看到：在18世纪以前产生的投影中，其特征与本章第二节论述的《皇舆全览图》使用的投影的特征相同的只有“桑逊投影”。

第四节　桑逊投影及其投影表和量度值

桑逊投影的公式和量度[15]为：

$$X = R\varphi$$

$$y = R\cos\varphi \cdot \lambda$$

$$n = 1$$

$$m = \sec\varepsilon$$

$$P = 1$$

$$tg\varepsilon = \lambda\sin\varphi$$

$$tg\frac{w}{2} = \frac{1}{2}\lambda\sin\varphi$$

其中：X——投影纵坐标

y——投影横坐标

φ—地理纬度

λ—地理经度

R—地球半径

n—纬线长度比

m—经线长度比

p—面积比

ε—经纬线交角的余角

w—最大变形角度

上节我们得出《皇舆全览图》的n＝1，p＝1，m_0＝1，那么x、y值是否也相同呢。如果相同，那么此图的投影公式即为桑逊投影确定无疑。

先求X值：

前述本地图系用的地球图形是正圆体，地球半径R为6377020.3米，比例尺为1／140万。由于m＝1，所以只要求出相邻几个纬距值相等，就能证明公式理论值与图上的值相符合。依据公式：$X=\varphi\times 6377020.3\times\frac{1}{140万}$，取φ值得：〔见表3－9、10〕

表3－9

φ / x	21	22	23	24	25	26	27	28	29
x	166.9	174.9	182.9	190.8	198.8	206.7	214.7	222.6	230.6
Δx	8.0	8.0	7.9	8.0	7.9	8.0	7.9	8.0	
Δx'	7.90	7.95	7.9	8.0	7.88	7.82	7.89	7.9	
$\overline{\Delta x}$	7.95	7.95	7.95	7.95	7.95	7.95	7.95	7.95	

φ为纬度，x为纵坐标值，Δx为公式计算纬距。

Δx'为原图上度量的纬距，$\overline{\Delta x}$为公式计算的平均纬距　单位：厘米

桑逊投影纬度坐标变化表（1°—60°）

表3—10

φ	X	ΔX	$\overline{\Delta X}$	φ	X	ΔX	$\overline{\Delta X}$	φ	X	ΔX	$\overline{\Delta X}$
1	8.0		8.0	21	166.9		7.95	41	326.0		7.95
		7.9				8.0				7.9	
2	15.9		7.95	22	174.9		7.95	42	333.9		7.95
		8.0				8.0				8.0	
3	23.9		7.97	23	182.9		7.95	43	341.9		7.95
		7.9				7.9				7.9	
4	31.8		7.95	24	190.8		7.95	44	349.8		7.95
		8.0				8.0				8.0	
5	39.8		7.96	25	198.8		7.95	45	357.8		7.95
		7.9				7.9				7.9	
6	47.7		7.95	26	206.7		7.95	46	365.7		7.95
		8.0				8.0				7.0	
7	55.7		7.96	27	214.7		7.95	47	373.6		7.95
		7.9				7.9				8.9	
8	63.6		7.95	28	222.6		7.95	48	381.6		7.95
		8.0				8.0				8.0	
9	71.6		7.96	29	230.6		7.95	49	389.6		7.95
		7.9				7.9				7.9	
10	79.5		7.95	30	238.5		7.95	50	397.5		7.95
		8.0				8.0				8.0	
11	87.5		7.95	31	246.5		7.95	51	405.5		7.95
		7.9				7.9				7.9	
12	95.4		7.95	32	254.4		7.95	52	413.4		7.95
		7.9				8.0				8.0	
13	103.3		7.95	33	262.4		7.95	53	421.4		7.95
		8.0				7.9				7.9	
14	111.3		7.95	34	270.3		7.95	54	429.3		7.95
		7.9				8.0				7.9	
15	119.2		7.95	35	278.3		7.95	55	437.2		7.95
		8.0				7.9				8.0	
16	127.2		7.95	36	276.2		7.95	56	445.2		7.95
		8.0				7.9				8.0	
17	135.2		7.95	37	284.1		7.95	57	453.2		7.95
		7.9				8.0				7.9	
18	143.1		7.95	38	302.1		7.95	58	461.1		7.95
		8.0				8.0				8.0	
19	151.1		7.95	39	310.1		7.95	59	469.1		7.95
		7.9				7.9				7.9	
20	159.0		7.95	40	318.0		7.95	60	477.0		7.95
		7.9				8.0					

从表中我们看出：不仅理论值与度量值极为吻合，而且理论平均纬距与量度的平均纬距也完全相同，都为7．95厘米，说明桑逊投影公式中$X=R\varphi$是符合《皇舆全览图》的。

再求y值。

依据$y=R\cos\varphi\cdot\lambda$，求出系列y值〔见表3－11〕

表3－11见下页

从表3－11中清楚地看到，若保留一位小数，则Δy完全等于$\Delta y'$，从而也证实了桑逊投影的$y=R\cdot\cos\varphi\cdot\lambda$公式与《皇舆全览图》的横坐标值完全相符。到此，我们可以肯定地说：《皇舆全览图》采用的就是桑逊投影〔见图3－2〕

找到了此图采用的投影型式以后，可以根据投影公式计算出投影表〔见表3－12〕，据此表，可以求得任意经纬点的投影坐标值〔见表3－13〕，也可以从图上量出坐标值而查出此点的经纬度，还可以根据经纬点的理论坐标值与图上实际量测的坐标值来分析制图时展点的精度程度。

40度纬线经距坐标值比较表

表3－11

λ / y	0	1	4	5	6	9	10	11	14	15	16
y		6.09	24.36	30.45	36.54	54.81	60.90	67.00	85.26	91.35	97.44
Δy			6.09	6.09		6.09	6.10		6.09	6.09	
Δy'			6.10	6.10		6.10	6.05		6.10	6.10	

续表3－11

19	20	21	24	25	26	29	30	31	34	35	36	39	40	41
115.71	121.80	127.88	146.16	152.25	158.34	176.61	182.70	188.79	207.06	213.15	219.24	237.51	243.60	249.69
6.09	6.08		6.09	6.09		6.09	6.09		6.09	6.09		6.09	6.09	
6.10	6.10		6.10	6.10		6.05	6.10		6.10	6.10		6.10	6.10	

λ为经度，y为横坐标值，Δy为理论经距，Δy'为图上度量的经距　单位：厘米

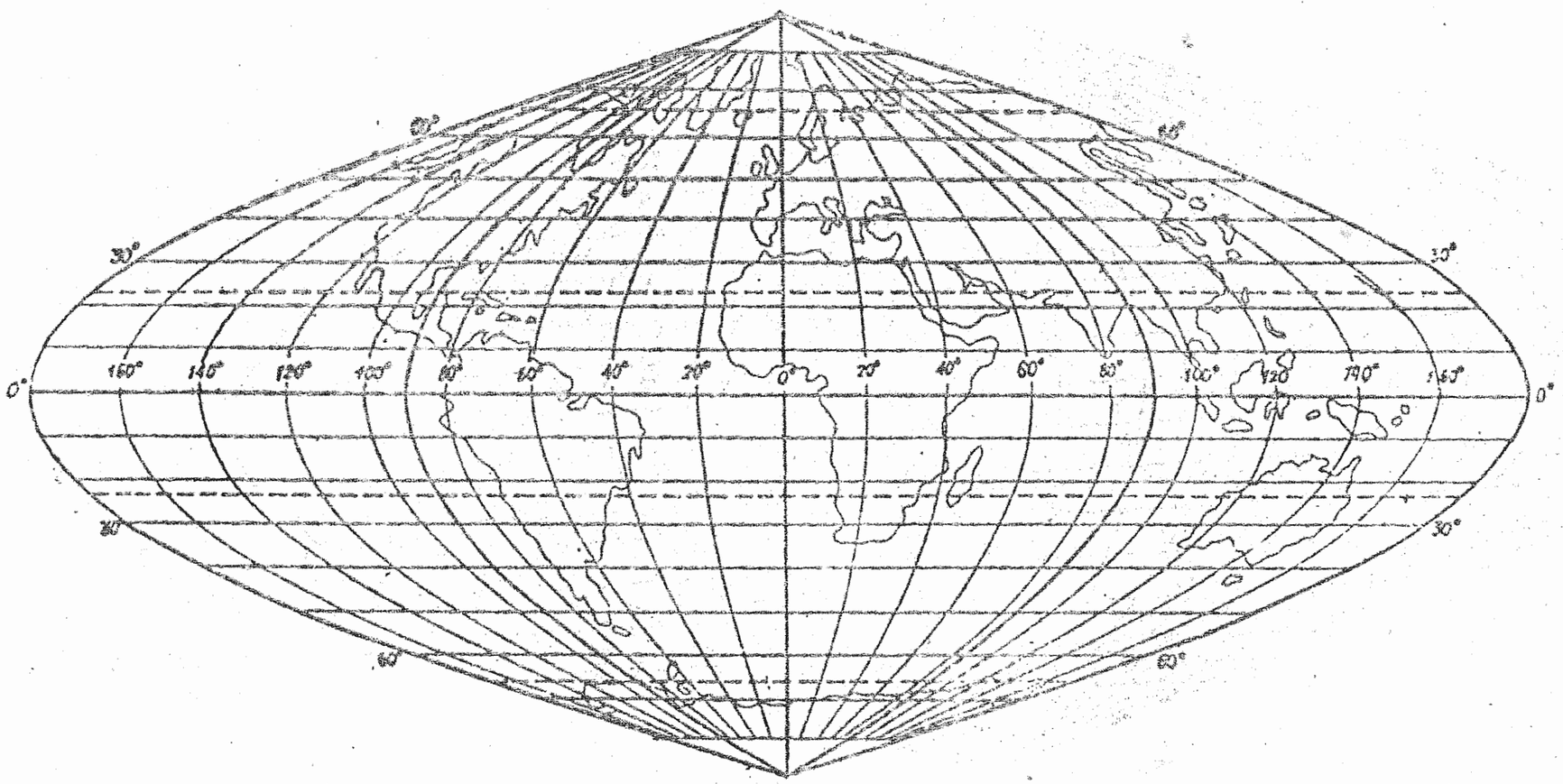


图5-2　正弦曲线等面积伪圆柱投影（桑逊投影）

第五节 《概述》所载经纬度的投影坐标值

上文已经论证了《皇舆全览图》所使用的投影是桑逊投影，并找到了投影公式及量度。我们还可以从另一角度来进一步证实。

由于有了投影公式，可以依据《概述》中所载经纬度值推算出理论坐标值。然后在《皇舆全览图》上量出图上经纬坐标值，进行比较，分析两值吻合的程度，附表二便是根据上述思路而作的。

从表3-12中可知：

1、λ算测点共493个（经、纬坐标值同时有），经度坐标差为零值者94个，占19.1%，正值者为323个，占65.5%，负值数为76个，占15.4%。

2、493个纬度坐标差值中为零值者128个，占26%，正值者100个，占20.3%；负值者265，占53.4%。其零值数负值数比经度坐标差的多，其正值数自然比经度的为少。说明纬度坐标展点得较为准确些。

3、经纬度坐标差绝对值小于等于0.2厘米者，应该是展点或铜版、纸张伸缩造成的。而大于0.2厘米小于等于0.5厘米者，可能是由于上述原因造成，也可能是由于所用不同的经纬值（即与文献所记的不同）所造成的。而大于0.5厘米的则完全是由所用的不同经纬值造成（将在下文讨论）。

4、经度坐标差绝对值小于等于0.2厘米所占数为319个，比例为64.7%，而纬度的为431个，占87.4%，从而也说明纬度坐标展点比经度的精确。其绝对值大于0.2厘米，小于等于0.5厘米的，经度的为134个，占27.2%，而纬度的只有34个，占6.9%。这个区段所产生的原因也应从展点等造成的误

差占比重大，从而更进一步说明纬度坐标展点比经度的精确。

5、绝对值大于0.15厘米，也就是相当经（纬）度相差3.8分，展点时出现这样大的误差可能性较小，尤其是有的相差1厘米以上，如高各庄纬度坐标值相差7.19厘米，沙城的经度坐标相差5厘米，是属于展点造成更是不可能，况且大于0.15厘米的绝对值，经度的为40个，占8.11%，纬度的为28个，占5.17%，数量是如此之多，很难想象展点者会糊涂到如此地步，因此可以认为是因用不同的测算值所造成。

总的来说，理论坐标值与图上坐标值是相吻合，如果换成另一种理论坐标值，那么它们之间的分裂就会明显表现出来。

表3-12

项目 / 省份	测点数	入算测点数	经度坐标差			纬度坐标差			经度坐标差绝对值			纬度坐标差绝对值		
			零值数	正值数	负值数	零值数	正值数	负值数	≤0.2cm 数量	0.2<,≤0.5 数量	>0.5 数量	≤0.2cm 数量	0.2<,≤0.5 数量	>0.5 数量
直隶	48	45	12	17	16	17	9	19	37	6	2	36	3	6
江南	38	37	15	16	6	5	10	22	33	2	2	36	0	1
江西	30	30	11	14	5	12	7	11	29	1	0	28	2	0
福建	37	36	10	18	8	11	5	20	30	5	1	32	3	1
浙江	30	30	8	16	6	14	9	7	27	1	2	28	1	1
湖广	54	54	12	33	9	15	7	32	38	13	3	47	5	2
河南	29	29	7	17	5	11	9	9	20	7	2	27	0	2
山东	28	28	9	8	11	8	6	14	26	1	1	23	1	4
山西	28	27	3	22	2	7	13	7	20	6	1	25	0	2
陕西	28	28	0	27	1	6	12	10	6	19	3	25	2	1
四川	28	28	1	27	0	3	3	22	3	19	6	26	2	0
广东	45	42	3	36	3	4	3	35	21	17	4	36	5	1
广西	28	25	1	23	1	3	2	20	15	7	3	21	2	2
云南	30	30	1	28	1	7	4	19	7	17	6	21	6	3
贵州	25	24	1	21	2	5	1	18	7	13	4	20	2	2
总数	506	493	94	323	76	128	100	265	319	134	40	431	34	28
比例	100%	97%/100%	19.1%	65.5%	15.4%	26.0%	20.3%	53.4%	64.7%	27.2%	8.1%	87.4%	6.9%	5.7%

第六节　对选用桑逊投影的评述

由于桑逊投影的中央经线和赤道无变异，所以它较适宜用来绘制赤道附近而经度相差不太大的区域（如南美洲、非洲和澳洲等）。若用于中纬度地区，则要求东西经度相距不大。若用于高纬度地区则误差很大。按照投影学的理论，如果象中国这样地域东西很宽、南北较狭，则宜用圆锥投影，如兰勃脱正形投影、亚尔勃斯投影和简单圆锥投影。但在康熙传教士绘图的时代，还没有产生兰勃脱正形投影和亚尔勃斯投影，只有“简单圆锥投影”，即“托勒玫投影”。相比较而言，还是以选用“桑逊投影”适宜。

注释：

①《国风半月刊　1932年第8期

② 地质专报

③ 科学出版社，1957年8月

④ 中国大百科全书出版社　1985年11月

⑤ 中国科学院自然科学史研究史所地学组主编　科学出版社

⑥ 见③P229

⑦ 同②

⑧ 见③P230－231

⑨ 同①

⑩ 见③P230

⑪ 《地图投影》　胡毓钜等　测绘出版社　1981年12月

P144－145

⑫ 见⑪P51

⑬ 《测绘中国纪事》　〔法〕J．B．杜赫德著、葛剑雄译

历史地理(二)

⑭ 本书依据下列资料写成：

《古希腊人的地理学》(法)保罗·佩迪什著，蔡宗夏译

商务印书馆 1983。《地图投影学》 方俊

Landmarks of Mapmaking. charles Bricker, 1985.

History of Cartography. Leo Bagrow Chicago, 1985

⑮ 同⑫ P144。

第四章 《皇舆全览图》编绘精度定量分析

《皇舆全览图》的编绘除了利用数量不多的实测和推算的经纬度值外，绝大部分是利用地图或文献资料直接填图。因此，要全面地、准确地分析地图编绘精确程度，必须也对这一部分进行分析。对这部分的分析有两种方法：一是分析所绘地理内容的准确性，但这一般只能作定性描述；二是根据图上坐标反推其经纬度值，将其与今值（实际值）比较，分析精确程度，这样能够得到定量的结果。本章便是采用这种方法。

第一节 分析的具体方式及原则

为了能够查到图上地名对应的今地的经纬度值，本文只从《皇舆全览图》上量取长城以内15省的府、州、县三级的坐标值。

康熙五十年至六十年间，府、州、县三级基本无变化，15省的总数共有1528个，由于部分府州县的经线度值已测算出，另有一些州、县的治所与府，州的治所同地，故此处均不入算，还有少数的查不到今值，只好放弃。因此实际入算的府州县有857个，占总数的56.1%。

每一府州县的坐标值均定为是其治所的坐标值，因此推算出来的经纬度值也定为是治所的经纬度值。

由于《皇舆全览图》所使用的投影的投影坐标系是以通过北京观象台的子午线与赤道相交处为原点，而图又分成41幅（每幅经度9°、纬度5°）图上最南的一根纬线其纬度是北纬18°，故此，虽然经度坐标值可以直接量得，但纬度坐标必须用理论值加上度量值。这样获得的纬度坐标值相对来说要比直接量取的经度坐标

值精确。

经纬度值的推算利用的是经过变换了的“桑迪公式”

$$\varphi = X / 7.95$$

$$\lambda = y / 7.95 \times \cos\varphi$$

今地经纬度值在《中国地名录》上查取。

第二节　非测点经纬度推定及误差分析

一、经度差值分析

从表4—1中可知：

1）零值数平均所占比例为23.7%，大于此数有山西（48.6%），江南（36.8%），贵州（33.3%），直隶（31.9%），浙江（30.8%），陕西（30.0%），江西（26.2%）七省。以山西为最高，说明经度推定值较为精确，而以广西（3.2%）为最低，次低有云南（5.9%）山东（7.6%）福建（12.9%）。

2）正差值数平均所占比例为37.3%，以云南为最高，达94.1%，表明推定经度值均低于实际值。其次是四川（77.1%）河南（68.8%）、直隶（59.6%）和浙江（41.0%），最低的是广西没有一个推定经度值低于实际经度。

3）负差值数平均所占比例为39.0%。最高为广西，96.8%的低于实际值，其次是福建（为83.9%）、湖广（75.0%）、山东（70.9%）。一般来说，正差值所占比例高，负值所占比例便低，反之亦然。但当零值数所占比例高时情形则不然。如山西，

表4－1

省份	当时所有府州县数	入府县算州数		经度																
				零值数		正差值数		负差值数		正平差均值	负平差均值	平差均值	最大差值		≤0.2°		>0.2°,≤1.0°		>1.0°	
		总数	比例	数量	比例	数量	比例	数量	比例				正	负	数量	比例	数量	比例	数量	比例
直隶	149	94	63.1	30	31.9	56	59.6	8	8.5	0.13	0.30	0.11	0.3	1.7	89	94.7	4	4.3	1	1
江南	127	68	53.5	25	36.8	27	39.7	16	23.5	0.15	0.18	0.10	0.3	0.5	62	91.1	6	8.8	0	0
江西	91	42	46.2	11	26.2	4	9.5	27	64.3	0.30	0.14	0.12	0.9	0.3	40	95.2	2	4.8	0	0
福建	70	31	44.3	4	12.9	1	3.2	26	83.9	0.70	0.17	0.17	0.7	0.3	27	87.1	4	12.9	0	0
浙江	88	39	44.3	12	30.8	16	41.0	11	28.2	0.17	0.23	0.13	0.5	1.3	35	89.7	4	10.3	0	0
湖广	140	72	51.4	12	16.7	6	8.3	54	75.0	0.17	0.19	0.16	0.7	0.8	60	83.3	12	16.7	0	0
河南	114	77	67.5	15	19.5	53	68.8	9	11.7	0.14	0.13	0.11	0.4	0.2	74	96.1	3	3.9	0	0
山东	110	79	71.8	6	7.6	17	21.5	56	70.9	0.15	0.22	0.09	0.3	0.5	63	79.8	16	20.3	0	0
山西	102	72	70.6	35	48.6	13	18.1	24	33.3	0.11	0.12	0.13	0.2	0.3	71	98.6	1	1.4	0	0
陕西	125	90	72.0	27	30.0	26	28.9	37	41.1	0.19	0.14	0.11	0.5	0.3	83	92.2	7	7.8	0	0
四川	124	83	66.9	12	14.5	64	77.1	7	8.4	0.14	0.20	0.33	0.3	0.7	77	92.8	6	7.2	0	0
广东	97	30	30.9	6	20.0	2	6.7	22	73.3	0.10	0.41	0.33	0.9	0.6	11	36.7	19	63.3	0	0
广西	69	31	44.9	1	3.2	0	0	30	96.8	/	0.35	0.14	/	1.3	12	38.7	17	54.8	2	6.5
云南	74	34	45.9	2	5.9	32	94.1	0	0	0.18	/	0.07	0.3	/	29	85.3	5	14.7	0	0
贵州	48	15	31.2	5	33.3	3	20.0	7	46.7	0.17	0.14	0.19	0.2	0.2	15	100	0	0	0	0
总数	1528	857	56.1 100	203	23.7	320	37.3	334	39.0	0.16	0.21	0.14	0.9	1.7	748	87.3	106	12.4	3	0.4

注：1）本处只列长城以内各省。

2）数值单位为度，比例为百分比，数量为个数。

3）≤0.2°；>0.2°，≤1.0°；>1.0° 数值的绝对值进行比较。

续表4－1

纬度																		总平均差值
零值数		正差值数		负差值数		正平均差值	负平均差值	平均值差	最大差值		≤0.2°		>0.2°≤1.0°		>1.0°		
数量	比例	数量	比例	数量	比例				正	负	数量	比例	数量	比例	数量	比例	
12	12.8	0	0	82	87.2	0°	0.12°	0.11	/	0.2°	94	100	0	0	0	0	0.10°
5	7.3	1	1.5	62	91.1	0.3	0.13	0.12	0.3	0.3	66	97.0	2	3.0	0	0	0.11
21	5.0	0	0	21	50.0	0	0.13	0.06	/	0.3	41	97.6	1	2.4	0	0	0.09
21	67.7	1	3.2	9	29.0	0.1	0.12	0.04	0.1	0.2	31	100	0	0	0	0	0.10
9	23.1	0	0	30	76.9	0	0.11	0.09	/	0.2	39	100	0	0	0	0	0.11
21	29.2	5	6.9	46	63.9	0.26	0.11	0.09	0.9	0.2	71	98.6	1	1.4	0	0	0.12
7	9.1	2	2.6	68	89.3	0.1	0.13	0.12	0.1	0.2	77	100	0	0	0	0	0.11
6	7.6	2	2.5	71	89.9	0.35	0.17	0.16	0.5	0.3	76	96.2	2	2.5	1	1.3	0.17
27	37.5	3	4.2	42	58.3	0.10	0.11	0.07	0.1	0.2	72	100	0	0	0	0	0.06
29	32.2	14	15.6	47	52.2	0.11	0.13	0.09	0.1	0.4	88	97.8	2	2.2	0	0	0.10
22	26.5	6	7.2	55	66.3	0.10	0.20	0.14	0.1	0.8	81	97.6	1	1.2	1	1.2	0.13
11	36.7	4	13.3	15	50.0	0.10	0.13	0.08	0.1	0.2	30	100	0	0	0	0	0.21
10	32.3	9	9.0	12	38.7	0.17	0.13	0.10	0.2	0.2	31	100	0	0	0	0	0.22
1	2.9	0	0	33	97.1	/	0.14	0.13	/	0.3	33	97.1	1	2.9	0	0	0.15
9	60.0	2	3.3	4	26.7	0.05	0.10	0.04	0.1	0.1	15	100	0	0	0	0	0.06
211	24.6	49	5.7	597	69.7	0.15	0.14	0.10	0.9	3.8	845	98.6	10	1.2	2	0.2	0.12

零值比例为第一，正差值比例为第十位，负差值比例为第九位（当为第五、六位）。

4）经度的正平均差值平均为0.16°，各省中以福建为最高（0.70°），其次是广东（0.50°），江西（0.30°）和陕西（0.19°）。最低的是山西（0.10°），此值说明推定经度低于实际值的数量最小，也就是精度最高。

5）经度的负平值平均为0.21°，高出正平均值平均数0.05°说明推定经度相距实际经度的距离较正值为大，各省中广东的负平均值最大（0.41°），其次是广西（0.35°）、直隶（0.30°）和浙江（0.23°），最小的是山西（0.21°）〔它的正、负平均差值均是最小的〕，表明推定经度值较为精确。

6）各省平均差值为0.14°。广西则居各省之首，为0.34°，其次是广东（0.33°）和山东（0.19°），最低的是山西为0.03°其次是贵州（0.09°）、江南（0.10°）等。此值是经度误差的指示值，其值愈大，表明误差愈大，反之亦然。由此可见，山西所推定的经度最为精确。

7）最大正差值在广东，为0.9°，最大负差值在直隶，为1.7°。正负最大差值绝对值和最大者是直隶（2.0°），其次是浙江(1.8°)、湖广（1.5°）、广东（1.5°），最小的是贵州，为0.4°。

最大差值是极端值，它有时是偶然因素造成的，不能正确地反映推定值的精度，但它常增高正负平均差值，给对精度的判断造成不便，所以本文又将正负差值的绝对值分为≤0.2°，>0.2°与≤1.0°之间，>1.0°。其中≤0.2°的值可以近似看成是零值，因为计算中的舍入关系，0.2°（因为以0.1°为单位）的误差只需二次

计算便能产生。>0.2° 而≤1.0° 的值可能是绘图时推定所造成，即推定时所用的基准值本身的误差和所依据的文献或地图带来的误差以及计算方式造成的误差也有可能是展点时所产生的误差（因为本文正是依据展点坐标值反推 经纬度值的）。而>1.0° 的值，则应是某些明显的偶然失误造成的。

8）经度正负差值绝对值≤0.2° 的总数达748个，占87.3%，表明所定经度误差≤0.2° 的占绝大多数。从各省的情况来看，比例最大的是贵州，竟达100%，其次是山西（98.6%）河南（96.1%）、江西（95.2%）和直隶（94.7%），比例最低的是广东，为36.7%，其次是广西（38.7%）和湖广（83.3%）。为何广东最低，令人深思，广东是传教士出入之地，测绘次数很多，本不应该如此，而山西也是传教士测量较多的地方，经度值精度确实很高。

9）在>0.2° 与≤1.00之间值的总数有106个，占12.4%。各省中比例从大至小依次为广东（63.3%）、广西（54.8%）、山东（20.3%）、湖广（16.7%）和云南（14.7%）。上文提到广东的经度差值≤0.2 的少，而在>0.2° 与≤1.0° 之间的竟占63.3%，精确度确实存在较大问题。最低的是贵州为0%，其次是山西（1.4%）和河南（3.9%）。贵州竟没有一个经度差值>0.2°，实在精确，但它是一个边远省份，科技不发达，如何能如此，值得深究。

10）经度差值存在超过1.0° 数值的省份，只有广西（2个占比例6.5%）和直隶（1个，占1%），表明所定经度的误差值绝大部分在1.0° 之内。

二、纬度差值分析

1）零值数平均所占比例为24.%，各省中比例最大的是福建，为67.7%。其次是贵州（60.0%）、江西（50.0%），上三省的零值数均达半数，表明推定的纬度值精度相当高。最低的是云南（2.9%），其次是江南（7.3%），山东（7.6%）和河南（9.1%）。

2）正差值数所占总比例为5.7%，各省中有四个省（直隶、江西、浙江、云南）没有正差值。最大值在广西（29.0%），其次是陕西（15.6%）、广东（13.3%）和贵州（13.3%）。

3）负差值数所占总比例为69.7%。云南达97.1%，江南为91.1%，山东为89.9%，河南为88.3%。最低的也有29.0%（福建），表明所定纬度值70%高于实际纬度值。

4）正差值总平均值为0.15°。各省中最大值为0.35°（山东），其次是0.3°（江南）、0.26°（湖广），最低的是0.05°（贵州）。

5）负差值总平均值为0.14°，最低的是0.10°（贵州），最高为0.20°（四川）。

6）纬度平均差值为0.10°。山东（0.16°）、四川（0.14°）、云南（0.13°）、河南（0.12°）、江南（0.12°）和直隶（0.11°）等省高于此值。最低的是贵州（0.04°），福建（0.04°），其次是江西（0.06°）和山西（0.07°）。

7）纬度差值最大正值在湖广，为0.9°，最大负值在四川为3.8°。最小最大正值为0.1°（福建、河南、山西、陕西、

四川、广东、贵州），最小最大负值也为0．1°（贵州），其次为0．2°（直隶、福建、浙江、湖广、河南、山西、广东和广西）。

8）纬度正负差值绝对值≤0．2°的占总数98．6%，表明绝大部分推定值与实际值之差不高于0.2°。其中直隶、福建、浙江、河南、山西、广东、广西、贵州8省所占比例均达100%，最低的也有96．2%（山东）。

9）绝对值在0．2°—1.0°之间的只有10个。占总数1．2%，比例最大的江南也只有3．0%。

10）绝对值大于1．0°的只有2个，一在山东、一在四川，所占比例仅为0.2%。

11）经纬综合差值平均为0．12°。各省中最大值是广西（0.22°），最小值是山西（0．06°）和云南（0.06°）。说明总的差值为12分（0.12°），与实际值较为接近。

三、经、纬差值比较分析

1）零值，纬度的所占比例比经度的高0.9%（24．6%—23．7%），正差值所占比例纬度的比经度的低31.6%（37.3%—5．7%），负差值所占比例纬度的比经度的高30.7%（69.7%—39.0%）。由此可见纬度的负差值比例大，而经度的正差值比例大。

2）经度的平均差值为0.14°，纬度的为0.10°，表明推定纬度值总体来说较推定经度值为精确。

3）正负差值绝对值，经度所占比例低于纬度所占比例11.3%（98．6%—87.3%），而在0.2°—1.0°之间，经度的所占比例则高于纬度所占比例11．2%（12.4%—12.4%）。

四、推定经纬度与测算值在差值方面的比较分析

1）整体比较

从表4－5中可以看出：推定的和测算的经纬度的负差值均比正差值较大，表明两值之间具有正相关关系。

表4－5

经纬比例 / 值类	经度		纬度	
	正差值数	负差值数	正差值数	负差值数
测算值	36%	60%	20%	73%
推定值	37.3%	39%	5.7%	69.7%

2）分省比较

从表4－6中可知：

a、经度差值，测算的与推定的成全正相关关系的有湖广、山东、四川三省，即此三省测算的经度差值与推定的经度差值具有前者零值、正差值、负差值三值所占比例大（小），后者的比例也大（小）的关系。部分正相关关系的有直隶（正差值相关）、江西（负差值相关）、浙江（正差值相关）、河南（正差值相关）、广东（负差值相关）、广西（负差值相关）、贵州（负差值相关）。上述情况表明：推定值误差的主要来源是作为基准的测定值误差，若后者大、前者也大，反之亦然。推定时所利用的文献资料或地图所带来的误差只是加强或减弱误差值的程度，但未改变误差的性质（正或负）。表中所示成负相关或零相关的事实说明推定值与文献或地图的关系，而不是与测算值的关系。

b、纬度值中，测算值的差值与推定值的差值成全正相关的有山

东、山西、甘肃为正相关的有江南（零值、负差值相关）、浙江（零值、负差值相关）、河南（零值、负差值相关）、陕西（负差值相关）、四川（负差值相关）、广东（负差值相关）、云南（负差值相关）。

五、关于坐标值误差大于0．5厘米各经纬度值的讨论

由于本图使用先进的近代地图学理论，其坐标值依据投影公式计算求得，展点也是使用精确度较高的工具，因而坐标值误差不大可能大于0．5厘米。本文推测这些地点的坐标值不是依据《概述》中所列数值计算的。可能另有测算值，其值的具体数据尚未见记载，此处依据坐标值进行推算，见表4－3　　。

从表4－3中　　发现：

1、推算纬度值总数为27个，其中纬度差值为正值的有16个，最大为1．3°，平均为0．3°；负值有4个，最大为0．8°，平均为0．3°。零值有7个，绝对平均值为0．22°。

2、推算经度值总数为41个，其中经度差值为正值有15个，最大为1．3°，平均为0．4°；负值18个，最大为0．6°，平均为0．2°。零值8个，绝对平均值为0．23°。

3、27个纬度差值中，8个小于原纬度差值，占30%，8个值相等，占30%，有11个值比原纬度差值大，占40%。由此可知，图上实际所用纬度值比文献所记值的误差数量大10%，即图上用值误差比文献值的误差大。

4、在41个经度差值中，有17个值小于原经度差值，占42%，有12个值相等，占29%，有12个值大于原经度差

表4—3

地点	图上纬度坐标	推算纬度	今纬度	纬度差值	原纬度差值	两值较差	图上经度坐标	推算经度	今经度	经度差值	原经度差值	两值较差
通州												
肥乡县	2907	36.6	36.5	+0.1	+0.2	0.1						
沙河入海口	3192	40.2	38.9	+1.3	+0.1	1.2						
高各庄	3218	40.5	39.3	+1.2	+0.2	1.0						
喜峰口	3216	40.5	40.3	+0.2	0	0.2		1.9	1.9	0	+0.4	0.4
罗文峪	3201	40.5	40.2	+0.1	+0.2	0.1						
独石口	3291	41.4	41.3	+0.1	0	0.1						
萧县							4.2	0.6	0.5	+0.1	+0.3	0.2
古邳州	2717	34.2	34.5	+0.3	+0.7	1.0						
庐州府							5.3	0.8	0.9	−0.1	−0.1	0
枫亭驿							19.6	2.7	2.4	+0.3	0	0.3
沙马矶头	1756	22.1	21.9	+0.2	+0.2	0						
嵊县	2353	29.6	29.6	0	−0.2	0.2						0
宁波府							33.9	4.9	5.1	−0.2	−0.2	0
温州府							30.4	4.3	4.1	+0.2	+0.4	0.2
天柱县							52.1	7.3	7.4	−0.1	+0.1	0.2
武冈州	2119	26.7	26.7	0	−0.1	0.1						
道州							44.4	6.2	4.9	+1.3	+0.1	1.2
长沙府	225.4	28.4	28.2	+0.2	0	0.2						1
安陆府							26.7	3.9	3.9	0	+1.1	1.1
卫辉府							14.2	2.2	2.4	−0.2	−1.2	0
仪封县							8.1	1.3	1.6	−0.3	−0.3	0
郑州	2769	34.8	34.7	+0.1	0	0.1	16.7	2.6	2.8	−0.2	−1.4	1.2
莒县	2810	35.4	35.1	+0.3	+0.2	0.1						
清平县	2932	36.9	36.7	+0.2	+0.2	0						
平阴县	2893	36.4	36.3	+0.1	+0.1	0						
东昌府	2906	36.6	36.4	+0.2	+0.1	0.1						
胶州							25.1	3.9	3.6	+0.3	+0.3	0
劝马堡	3205	40.3	40.4	−0.1	+0.1	0.2						
楼子营	3134	39.4	40.2	−0.8	+0.1	0.9						
乐平县							17.2	2.7	2.7	0	+1.0	1.0
宁夏卫							63.7	10.3	10.2	+0.1	+0.2	0.1
甘州							95.2	15.4	16.0	−0.6	−0.5	0.1

地名	图上纬度坐标	推算纬度	今纬度	纬度差值	原纬度差值	两值较差	图上经度坐标	推算经度	今经度	经度差值	原经度差值	两值较差
西宁卫							93.0	14.6	14.6	0	+0.1	0.1
凤翔府	274.2	34.5	34.5	0	−0.1	0.1						
打箭炉							99.9	14.5	14.5	0	+0.1	0.1
绵州							78.1	11.5	11.7	−0.2	−0.1	0.1
中江县							79.4	11.7	11.8	−0.1	−0.1	0
松潘卫							85.7	12.8	12.8	0	+0.1	0.1
乌蒙府							88.7	12.6	12.7	−0.1	0	0.1
镇雄府							81.2	11.5	11.6	−0.1	0	0.1
湖州府							1.5	0.2	0.2	0	+0.6	0.6
肇庆府							38.1	5.2	4.0	+1.2	+0.4	0.8
遂溪县							49.2	6.6	6.2	+0.4	+0.5	0.1
琼州府							49.1	6.6	6.1	+0.5	+0.6	0.1
万州	149.7	18.8	18.8	0	−0.1	0.1						
泗城府	193.0	24.3	24.3	0	+0.1	0.1						
贺县							36.6	5.1	4.8	+0.3	+0.4	0.1
思恩府	186.3	23.4	23.4	0	0	0						
上思州							64.6	8.8	8.5	+0.3	+0.4	0.1
南宁府							63.2	8.6	8.1	+0.5	+0.3	0.2
宣慰司							113.1	15.4	15.6	−0.2	−0.1	0.1
龙汉关	188.4	23.7	23.8	−0.1	−0.1	0	134.5	18.5	18.6	−0.1	0	0.1
永昌府							122.1	17.0	17.3	−0.3	−0.1	0.2
景东府	195.7	24.6	24.4	+0.2	+0.1	0.1						
大理府							114.8	16.0	16.3	−0.3	−0.2	0.1
姚安府							107.4	15.0	15.2	−0.2	−0.2	0
孟定府	187.9	23.6	23.5	+0.1	−0.1	0.2	125.2	17.2	17.3	−0.1	−0.1	0
旋乘县							58.5	8.3	8.3	0	+0.2	0.2
清平县							62.3	8.8	8.6	+0.2	+0.2	0
开州							69.1	9.8	9.5	+0.3	+0.3	0
安笼镇						0	78.4	10.9	11.0	−0.1	−0.1	0
龙里县	209.9	26.4	26.4	0	0	0						
都匀府	209.4	26.3	26.2	+0.1	0	0.1						

值占２９％。总的比较，图上实际所用经度值比《概述》所记值的误差数量小１３％。说明经度值在图上所用的比《概述》所记的要精确。

表4—6

经纬 / 省份	经度						纬度					
	零值		正差值		负差值		零值		正差值		负差值	
	测算	推定	测算	推定	测算	推定	测算	推定	测算	推定	测算	推定
直隶	小	中	大	大	中	小	小	中	中	小	大	大
江南	小	中	中	大	大	小	中	中	中	小	大	大
江西	小	中	中	小	大	大	小	中	中	小	大	中
福建	小	中	中	小	大	大	小	大	中	小	大	中
浙江	小	中	大	大	中	小	中	中	中	小	大	大
湖广	中	中	小	小	大	大	小	中	中	小	大	大
河南	小	中	大	大	中	小	中	中	中	小	大	大
山东	小	小	中	中	大	大	中	中	小	小	大	大
山西	小	大	中	小	大	中	中	中	小	小	大	大
陕西	小	中	大	小	中	大	小	中	中	小	大	大
四川	中	中	大	大	小	小	小	中	中	小	大	大
广东	小	中	中	小	大	大	小	中	中	小	大	大
广西	小	中	中	小	大	大	小	中	大	小	中	大
云南	小	中	大	大	中	小	小	中	中	小	大	大
贵州	小	中	中	小	大	大	中	大	大	小	小	中

注：大、中、小指零值、正差值、负差值之间所占比例而言。

结　论

本文通过大量的数据分析和对比研究得出下述结论：

1、《概述》中所载经纬值，按获得方法不同可分为实测值、推算值（此类又可分为依三角测量数据和依地图及文献资料推算两种）。

2、《概述》中所载值在绘制《皇舆全览图》时并未全部被采用。《皇舆全览图》中除采用《概述》中的部分值外还采用了尚未见记载的其它测算值。

3、测算值的总平均误差值为8．3分，纬度值比经度值精确（纬度值的平均误差为5．1分，经度值的平均误差为11．3分）。

4、15省中，测算纬度值最精确的贵州省（平均误差为3．2分），最不精确的是河南省（平均误差为7．8分）。测算经度值最精确的是江西省（平均误差为4．4分），最不精确的是广东省（平均误差为23．5分）。

5、15省中60％以上测算经纬度值高于实际值（今值）。

6、造成测算值误差的主要原因是当时的天文大地测量的理论和方法发展程度。从现代的眼光来看，测算值存在较大误差，但在当时的条件下能够取得这样经纬度，则在世界上称得上是一流水平的。

7、当时用来测量经度的主要方法是观测月食和木卫掩食，而以前种精度为高；用来测量纬度的方法主要是观测太阳正午高度角和北极星高度，而以后种方法精确。

8、《皇舆全览》（原名《钦定方舆路程考略》）与《皇舆全览图》的测绘具有某种联系。

9、《皇舆全览图》使用的是桑逊投影（正弦曲线等面积伪园

柱投影）而不是三角投影（或梯形投影）。

10、《皇舆全览图》中测算点投影坐标的展点，纬度的定位比经度的精确。

11、图上非测算点的总平均差值为7.2分，低于测算值的总平均差值。总精度以贵州省为最高，广西省为最低。

12、非测算点的纬度定位较经度定位精确。

13、非测算点的图上经、纬位置比实际经、纬位置高的所占比重大。经度位置最精确的是山西省，最不精确的是广西省。纬度位置最精确的是贵州省，最不精确的是山东省。

14、非测算点图上经度位置高于实际经度位置所占比例最大的是广西省；最小的是云南省。图上纬度位置高于实际纬度位置所占比例最大的是云南省，最小的是贵州省。图上经度位置低于实际经度位置所占比例最大的是云南省、最小的是广西省；图上纬度位置低于实际纬度位置所占比例最大的是广西省，最小的有直隶、江西、浙江和云南四省。

15、测算值与推定值均是高于实际值的所占比例大，表明前两值之间存在正相关关系，即是说推定值的精度从某种程度上讲取决于测算值的精度。

16、综合测算值和推定值而论，15省中以山西省地图测绘得最精确（总平均误差为4.3分），其次是福建省（5.0分）和贵州省（5.2分）。最不精确的是广东省（总平均误差为13.2分），其次是山东省（10.6分）和广西省（8.6分）。

参考文献：

一、A类

(一) 中文

1、《御制历象考成》　　四库全书本

2、《御制历象考成后编》　　光绪丙申秋后力志书屋镌

3、《康熙皇帝》〔法〕白晋著，赵晨译，黑龙江人民出版社 1981

《康熙帝传》〔法〕白晋著，马绪祥译，《清史资料》(1) 中华书局 1980

4、《张诚日记》(1689.6.13—1691.5.7)〔法〕张诚著，陈霞飞译，商务印书馆 1973年

5、《张诚日记》〔法〕白晋著

(1688.5.29—1689.6.12)刘晓明 王书健译

(1691.5.9—1691.9.15)张宝剑译

(1692.9.8—1692.10.22)王大维译

上三篇载《清史资料》(5) 中华书局 1984

(1696.4.1—1696.7.7)张宝剑译 载《清史资料》(6) 中华书局 1985

6、《康熙几暇格物编》

7、《清文献通考·象纬考》　　四库全书本

8、《燕京开教略》 樊国梁著 光绪14年刊本

9、《古今图书集成》

10、《数理精蕴》 光绪丙申七月文海书局印

11、《钦定大清会典事例》 台湾影印本

12、《大清圣祖仁皇帝实录》 中华书局

13、《康熙朱批奏折汇编》 中华书局

14、《清史编》"天文志"、"时宪志"、"地理志" 赵尔巽等编纂 中华书局标点本

15、《皇朝礼器图式》清乾隆二十四年敕撰 四库全书本

16、《灵台仪象志》 南怀仁著 四库全书本

17、《正教奉褒》 黄伯禄编 慈母堂重印版 上海 1904

18、《康熙帝御制文集》

19、《康熙起居注》 中华书局

20、《天文算学纂要》〔清〕陈松纂 光绪13年樹德堂刻本

21、《钦天监则例》一册 抄本

22、《天文仪器志略》 常福元 民国初震华阁印书局

23、《西洋新法历书》 四库全书本

24、《钦定大清会典》 台湾影印本

25、《圣祖仁皇帝庭训格言》 光绪二十三年刻本

26、《中国天文学史料汇编》 (待刊稿)天文史料整理组

27、《俄中两国外交文献汇编》(1619—1792) 〔俄〕班

蒂什—卡缅斯基编纂　中国人民大学俄语教研室译　商务印书馆　1982

28、《清人文集地理类资料汇编》谭其骧主编　浙江人民出版社　1986年4月

29、《清代中俄关系档案史料选编》第一编上、下　第一历史档案馆编　中华书局　1981

30、《满汉合璧清内府一统舆地秘图》　民国十八年石印本

31、《雍正十排图》　　科图藏本

32、《内府地图》　北平民社　民国二十三年三月

33、《康熙分府地图》　康熙刻本

34、《北极高度表》　〔清〕陈启运撰　陈氏六书本

35、《舆地经纬度里表》　〔清〕丁取忠撰　长沙古荷花池精舍　同治光绪间刊　又《小方壶斋舆地丛钞》本

36、《测绘中国纪事》　〔法〕杜赫德著　葛剑雄译　历史地理(二)　上海人民出版社　1982年

(二)　西文

1、Du Halde, Jean Baptiste, 1674-1743.
Description, geographique, historique, Chronologique, politique, et physique de I'Empire de la chine et de la Tartavie

Chinoise, enrichie des cartes genevales et particulieres de ces pays. de la carte genevale ~ des aartes particulieres du Thibet, ~ de la coree, ~ crnee d'un grand nombre de Figures ~ de vignettes gravees en Taille-douce voir la carte suivante. 英译本

2、W.Fuchs: Der Jesuiten-Atlas der Kangshi-Zeit, Monumenta serica Monagraph series nos 3 and 4. 北京辅仁大学 1943年

3、P.G.Bouillard, A.D.Planches: Coordonnees Geographipues (Longitude et latitude) De pekin 中国地质学会志 第八卷 1929年12月

二、B 类

(一) 中文

1、清初测绘地图考 翁文灏 地学杂志 1930年第二期

2、地图投影 方俊 1934 地质专报 乙种第六号

3、康熙测图之新史料 方豪 益世报(昆明) 1939.8.6

(收入《方豪文录》中改题为"康熙间测绘舆图之云南地方史料")

4、经纬度测量与十八世纪以来之中国舆地图 曾世英 地质评论 第七卷第四、五期 1942

5、中国实测经纬度成果汇编 曾世英 制图汇刊第一号 中央地质调查所出版 1943

6、康熙间西洋教士测绘贵州余庆舆图简史 方豪 大风 第一卷第三期 1945年10月 1947年3月21日上海《益世报》史苑第二十七期转载，1948年3月23日修正收入《方豪文录》，1968年7月再修正与"康熙间测绘舆图之云南地方史料"一文合并改题为"康熙间测绘滇黔舆图考"，收入《方豪六十自定稿》中。

7、地图投影学(一) 方俊 科学出版社 1957年

8、清康熙年间我国一次大规模地理经纬度和全国舆图的测绘 丁延祺等 广东师范学院学报（自然） 1977年第二期

9、清初全国地图的测绘 葛剑雄 百科知识 1980年第十期

10、康熙和乾隆时期我国地图测绘事业的成就及其评价 任金城 科学史集刊(10) 地质出版社 1982年

11、我国古代天文大地测量发展及取得成就的原因初探 钮仲勋 科学史集刊(10) 地质出版社 1982年

12、我国各民族对清朝康熙乾隆年间经纬度测量的贡献 钮仲勋 民族研究 1980年第三期

13、清雍正十排《皇舆图》的初步研究　於福顺　文物
1983年第十二期
14、康熙《皇舆全览图》的测绘考略　冯宝琳　故宫博物院
院刊　1985年第一期
15、清代耶稣会与西洋奇器　鞠德源　抖擞（53、54）
1983年
16、齐召南的《水道提纲》初探　陈瑞平　科技史文集(14)
上海科技出版社
17、道光增星——位置误差和清代仪器精度　伊世同　中国
天文学史文集(3)　科学出版社
18、北京观象台仪器残缺记　常福元　观象丛报　第四卷
第十二期　1914年
19、北京古观象台介绍　薄树人　文物　1962年第3期
20、故宫博物院所藏科技文物概述　李迪　白尚恕　中国科
技史料　1981年第一期
21、评"康熙皇舆全览图研究"　傅吾康著　胡隽吟译
中德学志　第六卷第1～2期　1944
22、康熙时代耶稣会士初次测绘之中国地图　福克司著　顾
华译　中德学志　第三卷第三期　1941
23、清代满族地理探险家舒兰　冯立升　《中国少数民族科

技史研究》(5) 内蒙古人民出版社 1990年

24、蒙古族拉锡的科学工作 李迪 《中国少数民族科技史研究》(5) 内蒙古人民出版社 1990年

25、康熙五十三年测绘台湾地图考 方豪 文献专刊创刊号 1949年8月

26、康熙五十八年清廷派员测绘琉球地图之研究 方豪 文史哲学报 第一期 1950年6月

27、乾隆内府铜版地图序 朱希祖 文史学研究所月刊 第一卷第一期 1933年

28、读故宫博物院重印乾隆内府舆图记 翁文灏 国风半月刊 第八期 1932年

29、试论我国地图的数学要素和表示方法的演进特色 高俊 测绘学报 第6卷第2期 1963年5月

(二) 外文

1、皇舆全览图について 〔日〕黑田源次 满州史学 第1卷第一期 1937年

2、再び皇舆全览について 〔日〕黑田源次 满州史学 第1卷第二期 1937

3、康熙时代のシベリア地图——罗振玉旧藏地图について 船越昭生 东方学报(京都)(33) 1963年

4、锁国日本にきた“康熙图”——わかゾ 图近代地理学的前驱 船越昭生 东方学报（京都）（38） 1967年

5、在华イエズス会士作成地图上锁国时代の地图——“坤舆万国全图”“康熙图”の评价，从来の研究をめぐって 船越昭生 人文地理 第24期第二期 1972年4月

6、锁国日本にきた“康熙图”の地理学史的研究 船越昭生 法政大学出版局 1986年4月

7、Fuchs.w., Materidliem Zur kartographie der Mandju Zeit. Monumenta Serica Vol Ⅲ 1938年

8、满蒙合璧清内府一统舆地秘图（介绍） 藤田元春 史林 第十七卷第三号

三、C 类

㈠ 中文

1、《四部总录·天文编》丁福保 中华书局 1957年

2、《四部总录·算法编》丁福保 中华书局 1957年

3、《中国善本书提要》 王重民 上海古籍出版社1983年8月

4、《藏园群书经眼录》 傅增湘 中华书局

5、《藏园群书题记》 傅增湘 上海古籍出版社1989年6月

6、《中国书店三十年所收善本书目》 中华书局

7、《清内务府造办处舆图房图目初编》 〔国立〕北平故宫博物院文献馆编 1936年

8、《明清耶稣会士译著书目提要》 徐宗泽 中华书局

9、《云南史料目录概说》 方国瑜 中华书局

10、《中国历史地图集》(明、清) 地图出版社 1987年4月

11、《中国地名录》 国家测绘局测绘科学研究所地名研究室 地图出版社 1983

12、《清代地理沿革表》 赵泉澄 中华书局 1955年3月

13、《中国大百科全书·天文学》 张钰哲等 中国大百科全书出版社 1980.12

14、《中国大百科全书·测绘学等》 陈永龄等 中国大百科全书出版社 1985.11

15、《一九八七年天文测量简历》 中国科学院南京紫金山天文台 科学出版社 1986年

16、古今月食表 观象丛报 第二卷第八期

17、《中国天文学史》 薄树人主编 科学出版社

18、《地图投影》 胡毓钜等 测绘出版社 1981年

19、《地图学》 张力果等 高等教育出版社 1983年

20、《彼得大帝时期的俄中关系史》〔法〕加恩著 江载华等译 商务印书馆 1980年

21、《中国天主教史人物传》 方豪 中华书局 1988年3月

22、《入华耶稣会士列传》 费赖之著 冯承钧译 商务印书馆（长沙） 1938年

23、《俄国·蒙古·中国》〔英〕巴[illegible]利著 吴持哲等译 商务

24、《中西交通史》 方豪 岳麓书社 1987.12

25、《十六、七世纪科学、技术和哲学史》〔英〕亚沃尔夫著 周昌忠等译 商务印书馆 1985

26、《中国西南历史地理考释》 方国瑜 中华书局1987年

27、郎世宁年谱 鞠德源 故宫博物院院刊

28、《中国文化与基督教的冲撞》〔法〕谢和耐 于硕等译 辽宁人民出版社 1989.4

29、康熙与西洋科学 潘吉星 《自然科学史研究》第3卷第2期

30、康熙帝与西方传教士 刘潞 故宫博物院院刊 1981年第三期

31、清钦天监档案中的天象记录（上） 薛树人 科技史文集(8) 上海科学技术出版社 1980.8

32、关于顺康乾时期的耶稣会士的评价问题 许淑明 中国史

研究动态 1985年第10期

㈡ 外文

1、《测量——古代から現代まで》 武田通治 古今书院 1981

2、History of CartoqraPhy

Leo Baqrow Chicaqo 1985

3、Old maPs& globes

Raymond Lisfer Landon 1979

4、Greek and Roman maPs

O.A.W. Dilke Landon 1985

致　　谢

本文的选题、写作和修改是在导师杜石然、曹婉如二位先生的精心指导下进行的，并得到陈美东、钮仲勋、黄盛璋、郑锡煌等先生先后给予的帮助。

在写作和修改过程中还得到王扬宗、韩琦、孙国华、张祖贵、孙小淳、杨怡、江晓原等先生、女士的帮助。另外在计算和绘图中得到许新华、易华先生、张金琦女士的帮助。

在论文撰写的整个过程中得到本所图书馆、中国科学院图书馆、北京图书馆、故宫博物院图书馆、第一历史档案馆、北京大学图书馆和中华书局图书馆等单位的帮助，谨此表示衷心的感谢。

三年的学业如果不是本所领导和老师们的关怀和教育，不是同学、朋友们的帮助和鼓励，是不能够完成的。如果不是父母亲、岳父岳母，尤其是妻子的理解和帮助，也是不能够完成的。

谨此表示深深的谢意。