

油气田工程测量

代 敏 宋长松 李本国 编著

中國石化出版社

油气田工程测量

代 敏 宋长松 李本国 编著

中国石化出版社

内 容 提 要

本书根据油气田勘探开发和生产经营过程中的不同要求,结合我国石油工程测量人员的实践经验和近几年迅猛发展的测绘新技术,全面介绍了油气田工程测量的主要内容,对分属于油气田不同部门的地面建设测量、物探测量和井位测量进行了总结梳理,并提供了具有油气田工程特点的实例。

本书的主要对象为在油气田工作的测绘技术人员,特别是刚刚进入油气田工作的测绘专业大中专毕业生,可通过本书了解油气田工程测量的特点和方法。本书也可作为石油类大学测绘专业学生的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

油气田工程测量/代敏,宋长松,李本国编著.
—北京:中国石化出版社,2003
ISBN 7-80164-378-X

I. 油… II. ①代…②宋…③李… III. 油气田—测量
IV. TE151

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 028704 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

北京精美实华图文制作中心排版

海丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×1092 毫米 16 开本 12.5 印张 316 千字 印 1—1000

2003 年 7 月第 1 版 2003 年 7 月第 1 次印刷

定价:25.00 元

序

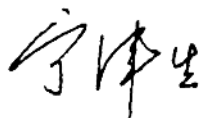
工程测量学是研究工程建设和自然资源开发中各个阶段进行控制、地形测绘、施工放样和变形监测的理论和技术的学科。它是测绘科学技术在国民经济和国防建设中的直接应用,因此它是来自于生产实践并服务于生产实践的一门应用科学。那些活跃在生产第一线的测绘工作者掌握着丰富的第一手资料,如果他们在繁忙的工作之余,拿起笔来对自己的工作进行系统总结,将是很有价值的工程测量学专著。但是已有的大多数工程测量专著或教材都出自大学教师之手。生产第一线的测绘工作者之所以难以出版专著,原因可能是多方面的。其中主要的,一是生产十分繁忙,野外作业流动性很大,没有时间和精力从事写作;二是在生产单位难以收集到全面资料,手头的第一手资料虽然丰富,但往往只能代表一个方面,要想写出书来,还需要更多更全面的资料,这一点,在大学就容易解决。

令人欣慰的是,我终于读到了一本来自生产第一线的作者撰写的工程测量著作——《油气田工程测量》。这本书的第一作者代敏同志1987年从武汉测绘科技大学工程测量专业毕业后就一直在油田从事测量工作,具有丰富的油田工作经验。十多年来,作者的足迹到过新疆的沙漠,青海的高原,非洲的草原和南亚的丛林,负责或参与的油气田工程测量项目有200多项。第二作者宋长松同志不仅有丰富的油气田测量经验,而且在软件开发方面有很深的造诣。他们两人和李本国同志一起克服上述困难,共同完成了这本《油气田工程测量》,是值得肯定的。

我有幸成为《油气田工程测量》的第一读者,先睹为快嘛!读完此书,我十分高兴地看到,作者根据亲身生产实践经历,比较全面地总结了油气田工程测量的各方面特点,把测量的原理、方法和仪器熟练地应用于油田的勘探开发和生产管理之中,不仅满足了油田生产生活需要,同时也丰富了工程测量的内容。尤其值得称颂的是,现代测绘新技术,如全球定位系统(GPS)、遥感(RS)和地理信息系统(GIS)等在全书中占有相当比重,而且避开了与一般工程测量专著或教材中无甚区别的内容。全书文笔流畅,语言简洁,更由于内容几乎全部取材于生产实践,因此有较强的可操作性,即使是对油田生产十分陌生的读者也很容易读懂和使用。

当然,可能由于作者一直在生产第一线忙碌,对编写此类著作缺少经验,书中章节的编排、内容的组织、理论的阐释、事例的列举等方面都有可商榷之处。但瑕不掩瑜,本书仍然是一本难得的完全来自生产第一线的工程测量专著。如果测绘专业的学生有意在毕业后到油田工作,那么在学习《工程测量》课程时把这本书当作参考书,将会对以后的工作有很大帮助。而对于广大测绘工作者,尤其是从事工程测量的科技工作者,本书也是一本有价值的参考书。

中国工程院院士



2003年3月26日于武汉大学测绘学院

前 言

油气田工程测量的工作主要包括三部分内容，一是为油气田地面建设（主要是规划设计和施工）服务的测绘工作；二是为地球物理勘探服务的测量工作，即物探测量；三是石油天然气井位的放样和复测，即井位测量。这三部分内容既有联系，也有区别。在我国现行体制下，从事这三部分测量工作的人员分别隶属于油田不同的部门，很少有人对它们进行全面的总结和梳理。另外，近年来出现的油气田地理信息系统新技术，包括更广泛的内容，它为整个油气田的生产和管理服务，已无法把它划归为传统油气田工程测量的某一部分。

本书尝试把油气田工程测量的各部分内容进行全面总结，其目的如下：

(1) 为油气田工程测量同行提供一个交流的基础，为同行间进一步的理论和实践探讨抛砖引玉；

(2) 为新进入或将要进入油田工作的测绘专业大中专毕业生了解油气田工程测量的特点和要求提供一本比较全面的参考书；

(3) 向全国其他行业的测绘同行介绍油气田工程测量的主要内容和特点。

鉴于以上目的，本书在撰写过程中注意了以下两点：

(1) 突出油气田工程测量的特点，对于能够体现油气田工程特点的油气田地面建设测量、管道测量和物探测量等详细论述，而对于地籍测量和变形测量等与普通工程测量难以区别的内容基本不做论述；

(2) 突出新技术的应用。油气田的生产和管理对新技术的吸纳一向十分迅速，如全球定位系统、地理信息系统、数字测图等新技术都较早应用于油气田工程测量。目前已经出版的工程测量教材在新技术的介绍方面相对比较薄弱，本书可弥补这方面的不足。

本书由代敏组织策划，由代敏、宋长松和李本国三人撰写。其中代敏撰写了绪论、第一章、第二章，第三章、第四章的第一节和第四节、第五章和第七章；宋长松撰写了第四章的第二、三、五、六、七节和第八章；李本国撰写了第六章；全书由代敏统稿。另外，史耀民、高峰和李全博等同志为本书提供了部分工程实例；赵盛华、刘磊生等工程师对撰写部分章节给予了帮助。本书初稿完成后，江汉油田设计院的徐起超同志对本书提出了十分有益的建议，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，难免存在缺点错误，欢迎同行和读者批评指正。

绪 论

测量学是一门历史悠久的科学,它是随着人类文明的进步在生产实践中发展起来的。人类历史上的四大古文明都是由大河孕育的,如幼法拉底河和底格里斯河孕育了巴比伦文明,尼罗河孕育了古埃及文明,印度河和恒河孕育了古代印度文明,长江和黄河孕育了中华文明。在人类治理这些大河的过程中,测量学就逐渐发展起来了。我国汉代司马迁的《史记》对夏禹治水有这样的记载:“陆行乘车,水行乘船,泥行乘橇,山行乘犂,左准绳,右规矩,载四时,以开九州,通九道,陂九泽,度九山”,这几句话对当时测量的工具、方法和目的做了简要概括。古代埃及的测量工作是举世闻名的。与黄河、印度河、幼发拉底河等同样孕育了古文明的河流不同,尼罗河的泛滥极有规律,每次洪水泛滥都会带来一层厚厚的淤泥,使河谷区土地极其肥沃,庄稼在这里可以一年三熟。但洪水之后,土地的边界全部被掩埋,重新界定土地边界需要精确的测量,于是在当时显得非常深奥的一门学科——土地测量学诞生了。古代埃及的土地测量对几何学的发展有巨大贡献,古希腊的很多哲学家如泰勒斯、德谟克里特等都到埃及学习过,土地测量学就是这些哲学家学习的重要内容之一。其中一些哲学家从土地测量学中提炼出了一般的几何定律,并最终由欧几里得总结形成了平面几何的经典著作《几何原本》,这本书对西方的科学技术发展史产生了重大影响。

早期的测量工作基本上属于工程测量范畴。

人类对石油和天然气的开采和应用,在人类文明的早期就开始了。约在公元前 2000 年,古代巴比伦王国就建成了世界上第一条沥青道路,那是巴比伦王国的仪仗大道,到现在还能看到斑驳的沥青路面。在我国,早在东汉时期,著名的历史学家班固(公元 32~92)在《汉书·地理志》上就记载了:“高奴有洧水可燃”。1080 年我国著名科学家沈括(公元 1031~1095)对陕北延长一带的石油亲自作了考察,把它科学地命名为“石油”,并且提出了“石油至多,生于地中无穷”的科学论断。我国古代的钻井技术也处于世界领先水平,约在公元 1100 年(宋朝),我国就钻成了超过 1000m 的深井。但早期的油气(包括盐卤)勘探和开采,采用的都是比较简单的技术,测绘工作显得并不十分重要。

1859 年,一个叫德雷克的美国人在宾夕法尼亚州钻出了世界上第一口具有现代工业性质的油井,即“德雷克井”(Drake's well),人们通常把这口井作为近代石油工业的起点(俄罗斯和前苏联一般认为 1848 年在俄国比比·埃巴特所钻油井为世界第一口工业产油井)。从此,人类对石油和天然气的大规模勘探、开采和应用就开始了。同时,测绘技术也开始多方位地服务于石油工业。随着人类对油气勘探开采规模的扩大、技术的进步,石油工业对测绘的要求也越来越高。一般说来,石油天然气的勘探开发对测绘技术的应用主要表现在以下几个方面:

(1) 地质普查的阶段,地质学家利用地形图进行地质填图,也就是把通过勘探、调查和分析获得的地质状况和资源分布情况根据相关规范和图式填绘在地形图上,然后重新编绘出版。重新编绘后的地质图要去掉很多地面信息,以凸现地下资源状况,但要保留基本的坐标格网、河流、城镇等主要地形地物,以及重要的地名等。这个阶段主要是利用国家基础测绘资料,一般不单独测图。

(2) 地球物理勘探阶段, 测绘工作的主要任务是布设物探观测点(简称测点)。某一个方向测点的连线称为物探测线(简称测线)。物探测线中有长达几十公里的单独地震测线和重力剖面线, 也有由许多条测线构成的物探测网。现在广泛使用的三维地震勘探就要求布设复杂的物探测网。随着物探技术的进步, 物探测网的网形越来越复杂, 精度要求也越来越高。

(3) 在钻井阶段, 测绘工作的主要任务是井位测量。地质学家根据物探资料, 初步分析了地下资源情况, 对该地区的地下油气分布有了基本了解, 但还需要进一步作详细勘探, 这就需要钻井。在全面了解了某区块油气分布状况后, 油气开发工程师还要布设一些油气生产井。根据采油工艺的需要, 有时还需要钻一些注水井。地质学家或油气开发工程师在地质图上确定勘探井或生产井位置, 并给出坐标。测绘工作的任务就是根据地质学家给定的坐标在地面上放出井位。钻井完毕后, 还要对这些井位坐标进行复测, 以检验其准确性。目前, 钻井的手段越来越先进, 钻井的设计方案越来越复杂, 这对测量提出了更高的要求。

(4) 在地面建设阶段, 测绘工作的主要任务是为油气田规划设计提供地表(含地下管线)信息以及施工放样。在油气田资源探明以后, 就要进行油气田地面建设, 要修建井场、计量站、集油站等各种站场(厂), 要修建油气田内部道路、井场路、输油输气管道、电力线、职工公寓, 有的油田还要建设大型炼油厂、化工厂、机械厂等等, 所有这些项目的规划设计都要利用测绘资料, 如地形图、纵横断面图、线路走向图等。施工图设计完成后, 测绘工作的任务是为这些工程的施工定线放样。另外, 工程完工后, 根据业主要求提供竣工图。

(5) 在油气田建成后(或在施工过程中), 测绘工作的主要任务是对一些建筑物的变形进行监测。如一些大罐和高层建筑沉降是否均匀, 一些塔式建筑(如火炬、烟囱等)是否有倾斜等等。

(6) 在石油经济的带动下, 某些油气田很快发展成一个颇具规模的城市, 如大庆、克拉玛依、东营等, 油气田的地籍测量已是必不可少。另外, 很多油气田还要求建立地理信息系统。

以上几个方面, 除了地质学家对地形图的应用采用的是国家基础测绘成果外, 其余的就基本包括了油气田工程测量的主要内容。

石油工业对新技术的吸纳和应用一向十分敏感和迅捷, 测绘新技术也很快在油气田工程测量中得到了应用, 主要有以下几个方面:

一是全球卫星定位系统(GPS)。在 20 世纪 80 年代中期, 我国石油物探部门就开始使用 GPS 在沙漠地区布设控制网。目前, 物探测量已普遍采用 RTK 作业, 工作效率大幅度提高。另外, 在井位测量、地面建设和地籍测量中也广泛使用 GPS 作业。

二是遥测遥感技术(RS)。航测影像图经常被用在长距离输油输气管道和架空电力线初勘、油气田矿区整体规划中。在油气田资源勘探中, 遥感也作为一种重要手段被使用。油气藏中的挥发成分(烃类有机物)在各种地质条件的作用下, 以各种方式通过致密覆盖的地层中微小空隙渗透到地表, 被土壤吸附并发生化学作用, 造成土壤矿物成分的变化和植物生长的变异。通过建立一系列探测关于岩石退色、蚀变和地表植物病变等引起的地物地磁波谱特征的遥感模型, 采用各种图像处理方法和提取烃类渗透信息, 可以直接找到油气藏。

三是地理信息系统(GIS)技术。在数字地球时代来临之际, 油气田的勘探、开发和管理对地理信息系统有着越来越迫切的要求。地理信息系统可以提供远比电子地图更多的信息, 但其中相当一部分信息是测绘工作提供的。

另外, 全站仪自动记录、全数字化成图、勘测设计一体化等新技术都在油气田工程测量

得到广泛应用。油气田测绘人员也对这些技术的开发和完善做出了很大贡献。

在过去的 50 多年中,新中国的石油工业走过了一段辉煌的历程。20 世纪 60 年代初期,在党中央和全国人民大力支持下,经过中国石油人,当然也包括油气田测绘工作者的艰苦努力,新中国甩掉了“贫油国”的帽子。如今,随着老油田储量下降,含水量升高,新油田勘探开发难度增加,中国石油工业面临新的困难和挑战。特别是随着经济快速增长,对石油的需求急剧增加。在这种情况下,中国石油人制定了在国内“稳定东部、发展西部”、同时走向国门,“利用(国际国内)两种资源、利用(国际国内)两种资金,大力开发海外油气田”的发展战略。这样的发展战略,给油气田测绘工作者提出了新的要求。一方面,老油气田的勘探、开发和管理更加精细和严密,这就要求测绘成果精度高、查询迅捷方便,提供的信息丰富。地理信息系统就在这种情况下应运而生。另一方面,随着海外油气田的大规模开发,大批油气田测绘工作者活跃在非洲、南亚、中东和南美等重要产油区的土地上。这就要求测绘工作者熟练使用外语、清楚国外测绘规范和作业习惯、了解国外油气田开发对测绘工作的要求,甚至对国外的法律、习俗和环保要求也要有所了解。

石油是当今世界须臾不可离的重要战略物质,石油工业也是我国国民经济最重要的支柱产业之一。我国油气田测绘工作者为中国的石油工业作出了巨大贡献,在新的条件下,必将继续作出重大贡献。本书对目前我国油气田测绘工作的理论、方法和技术做了一些梳理和总结。希望本书能够抛砖引玉,在不久会有更准确、更全面反映我国油气田工程测量水平的著作出版;更相信我国的油气田测绘工作者会继续努力学习新知识和新技术,总结生产实践中的经验,使测绘工作更好地为油气田勘探开发服务。

目 录

绪论

第一章 油气田地面建设对地形图的要求和应用	(1)
第一节 油气田地面建设工程简介	(1)
第二节 油气田地面工程规划设计阶段地形图的作用	(2)
第三节 油气田地面工程规划设计对地形图的精度要求	(4)
第四节 大比例尺数字化地形图的精度分析	(9)
第五节 油气田地面工程规划设计对地形图的图幅格式要求	(18)
第二章 油气田地面建设中的控制测量	(21)
第一节 概述	(21)
第二节 GPS 控制测量	(21)
第三节 全站仪导线(网)测量	(33)
第四节 图根控制测量	(38)
第三章 油气田线路工程测量	(41)
第一节 概述	(41)
第二节 长距离输油输气管道测量	(41)
第三节 油气田内部道路测量	(61)
第四节 油气田架空输电线路测量	(70)
第四章 数字测图及其在油气田工程设计中的应用	(73)
第一节 概述	(73)
第二节 数字测图的一般流程	(75)
第三节 数据采集方法	(75)
第四节 数字测图的外业工作	(78)
第五节 数据处理与图形编辑	(82)
第六节 数字化图存储标准	(86)
第七节 数字化图在油气田地面工程设计中的应用	(92)
第五章 油气田地面建设中的施工测量	(98)
第一节 概述	(98)
第二节 厂、库、站的施工测量	(98)
第三节 输油输气管道施工测量	(104)
第六章 物探测量	(106)
第一节 物探原理及方法简介	(106)
第二节 物探测量的要求	(107)
第三节 物探测量的实施	(109)
第四节 GPS 在物探测量中的应用	(119)

第七章 石油天然气井位测量	(129)
第一节 井位测量的精度要求.....	(129)
第二节 井位控制测量.....	(130)
第三节 井位图根点测量.....	(132)
第四节 井位初测.....	(132)
第五节 井位复测.....	(134)
第八章 油气田地理信息系统	(136)
第一节 地理信息技术.....	(136)
第二节 油气田地理信息系统工程.....	(141)
第三节 工程实例——石油化工企业土地房产信息管理系统.....	(143)
 附录 A 导线网自动记录、自动组网及平差实例.....	(157)
附录 B 拓普康全站仪自动记录的地形测量碎部点原始数据文件实例.....	(171)
附录 C 碎部点原始数据转换后文件实例.....	(174)
附录 D 根据碎部点数据文件计算的用于展点的坐标数据实例.....	(176)
附录 E 油气田工程地形图及图幅格式实例.....	(178)
附录 F (1)管道带状地形图首页实例.....	(179)
附录 F (2)管道带状地形图末页实例.....	(180)
附录 G (1)管道纵断面图首页实例.....	(181)
附录 G (2)管道纵断面图末页实例.....	(182)
附录 H 国外油气田工程地形图及图幅格式实例.....	(183)
附录 J 国外管道测量带状地形图、纵断面图及图幅格式实例.....	(184)
 参考文献	(185)
后记	(186)

第一章 油气田地面建设对 地形图的要求和应用

第一节 油气田地面建设工程简介

油气田地面建设工程分为两部分，一部分是产能工程，一部分是矿建工程。把石油、天然气从地下采出来，经过计量和处理后输送到油库或炼厂，这个过程所采用的设施、装置、建筑及相关的辅助工程称为产能工程；服务于产能工程和石油人工作、生活的水、电、路、讯、房屋建筑等设施称为矿建工程。产能工程可分为采油、采气、注水等几个方面，下面以采油为例介绍其主要内容。

一、采油井场

用于钻井、作业、采油的一块约 $30\text{m} \times 40\text{m}$ 的场地(井场面积取决于井场布置设施的多少，也要适当考虑土地成本，最大可达 $100\text{m} \times 100\text{m}$)，主要布设有采油树、抽油机(或电潜泵)、变压器等设施。如果是自喷井则无需抽油机和变压器。如果是丛式井，则一座井场往往布置多套抽油设备。

二、采油管线

又称为井口管线，主要作用是将从油井采出的原油输送到计量站。

三、计量站

主要作用是汇集来自多口油井的原油，并对每口油井产出的油气水进行计量。主要布设有阀组、计量分离器、加热炉等装置，另外还有值班室。有的采油工艺采取井口计量方式，不设立单独的计量站。

四、集油管线

主要作用是将汇集到计量站的原油输送到接转站(或联合站)，另外，从接转站(或联合站)通向集中处理站的管线也称为集油管线。

五、接转站(或联合站)

接转站的主要作用是接收来自多座计量站的原油，在经过进一步的计量和处理后，送往集中处理站。如果接转站还配有注水设施，则称为联合站。一座联合站的主要设施有：油气水计量装置、接转泵房、注水泵房、储油罐、储水罐、加热炉等。另外，值班室也是必需的。

六、集中处理站

把来自接转站(或联合站)的原油进一步进行油气水分离、除沙、稳定，变成符合质量标准的商品原油并用大罐储存起来，为外输或直接销售做准备。这样的站称为集中处理站。集中处理站主要布设有三相分离器、加热炉、电脱水装置、原油稳定塔和配电设施。

七、外输管线

外输管线的主要作用是把经过集中处理站处理过的商品原油输往炼厂、港口码头或其他

用户。管线沿线布设有加热站、阀室、分输站、清管站、首站和末站等。

在原油的生产过程中，主要是油气水的分离过程中，会有一些气体分离出来，为了处理这些气体，使之为人所用，就要建立轻油回收站。轻油回收站的主要作用是把从原油中分离出来的气体经过压缩、分离、制冷，变成液化气、轻油和干天然气。

以上是原油的生产过程及设施。天然气的生产与原油生产大致差不多，但一般天然气田不设接转站(联合站)，而是从井口到计量站再直接到集中处理站。与原油不同的是，天然气必须经过脱水脱硫，如果是凝析气田，还要进行轻油回收。所以，一般气田都建有脱硫厂。天然气外输多采用管道输送方式，也可采用液化后罐装运输的方式(即 Liquefied Natural Gas, 简称 LNG)。

石油开采的过程中常常需要注水，注水一般用油田伴生水(经过污水处理厂处理)回注，伴生水不够，就要注清水，这就需要钻注水井。

国外油田一般把井场、采油管线、计量站和接转站(联合站)等工程合称为 FSF(Field Surface Facilities)，可译为“油田地面设施”；把集中处理站称为 CPF(Center Process Facilities)，可译为“中心处理站”。

以上指的是陆上油气开采，海洋油气开采则比较复杂，其开采和计量设施都布置在钻井平台上，通过海底管线将油气输送到陆上终端，在陆上终端进一步加工变成商品原油或天然气。有的远离海岸的深海油田直接在海上终端加工原油，再装船外运，不建海底管道。

矿建工程除了为辅助油气生产而修建的道路、电力线、变电所和办公、生活基地外，广义地讲，油田矿区的办公、住宅、医院、学校和所有公共设施都属矿建工程，都应该包括在油气田地面建设工程范围内，这些设施与一般城市的相应设施没有太大区别，故不作详细介绍。

第二节 油气田地面工程规划设计阶段地形图的作用

与一般的工程建设相同，油气田地面工程建设也分为三个阶段，即规划设计阶段、施工阶段和运营管理阶段。

在规划设计之前需要进行勘测，勘测的主要任务是提供地表和工程地质信息，地表信息包括地形、地貌、地物(含地下管线)，一般以地形图、纵横断面图的形式表达；地质信息则包括地耐力、土壤特性、水文特征等，一般以地质报告和相关图表的形式表达。本书只讨论地形图的应用。

一片含油区块经过物探、钻井、测井等勘探手段确定了储量、含油特性、地层压力等参数之后，设计人员和地质师、油气开发工程师一道根据这些参数确定产能规模，如年产 100 万 t，称为 100 万 t 产能。根据产能规模、原油组分等信息，设计人员进行油气田(区块)总图设计，总图设计经过专家审查获得通过后再进行初步设计，随后是施工图设计。这个过程在国外一般称为前期设计、基本设计和详细设计，其含义与国内的相应阶段大致相同，但也有区别。一般来说，国外对设计深度要求较高。

在总图设计(或前期设计)阶段，设计人员根据油田区块大小选择合适比例尺的地形图。《油田地面工程设计手册·通用工程设计》规定，油气田(区块)总图设计主要利用如下测绘资料：

- (1) 国家正式出版地形图，比例尺 1:25000, 1:10000, 1:5000 作为区块总图设计基

础图；

(2) 站(厂)场地形图及测量资料；

(3) 对于已开发油田区块内的油、气、供水、污水管道、供配电线路、通信线路，铁路、道路、排水渠等带状地形图及其他有关图纸资料。

多数情况下，国家测绘部门保存的基础测绘资料(所谓国家正式出版的地形图)，能够满足油气田(区块)总图设计。如果测绘部门保存的地形图不能满足需要，就要实测地形图。在20世纪50、60年代，我国油田开发早期，国家基础测绘资料缺乏，大庆、克拉玛依等油田完成了大量航测工作，为油田规划、设计和管理提供了大量影像图和地形图。在目前国家基础测绘资料较为完备的情况下，由油气田组织航测是不太经济的，所以一般直接选用国家基础测绘资料。即使是选用国家基础测绘资料，也需要测绘人员做很多工作。主要有以下几个方面：

(1) 目前保存在测绘部门的资料大多数是纸质的，而油田设计已采用计算机，这就需要将纸质地形图变成计算机能够处理的图形文件。一般情况下，将地形图扫描变成影像文件即可满足要求，但如果能够将地形图数字化，变成油田设计部门广泛使用的CAD文件，更受欢迎。

(2) 补测变化较大的地形。如果已有地形图测绘年代较早，地形地貌变化较大，对方案设计将造成影响，就要对已有地形图进行修测和补测。在油气勘探和钻井的过程中，也修建了很多临时道路和桥梁，在地形图上这些新增地物也宜表示出来。

(3) 测绘和展绘油气井位置。对于已在实地完钻或正在开钻的油气井和水井，要实测其位置，展绘到地形图上。对于已经设计但还没有开钻的油气井，也要根据地质师或油田开发工程师提供的坐标展绘到地形图上。

地形图经过上述处理后，就基本能够满足设计人员进行油气田规划和方案设计的要求。设计人员根据产能规模、油气特性、地层压力和油井位置，充分考虑地形地貌和地物，依据相关规范，在地形图上布设计量站、接转站(联合站)、集中处理站等油气田地面设施。

在方案设计(或前期设计)完成后，就进入初步设计(或基本设计)阶段，这个阶段一般也只需要比例尺为1:5000或1:10000的油气田地形总图。如果油区范围较小，也可能需要测绘更大比例尺的地形图。无论是测绘哪种比例尺的地形图，对于已钻或拟钻油气井位置和新建道路等地物都要准确反映。如果其中某个设施(如集中处理站、联合站等)规模较大，也需要测绘拟建该设施的站址地形图，比例尺一般为1:500。

在施工图设计阶段，就需要测绘拟建站址的大比例尺地形图，一般是1:500，较小的站场和井场常常需要测绘1:200地形图。有时候受设计图幅限制，要求测绘特殊比例的地形图，如1:300，1:250。有些特殊站址还需要测绘比例尺1:100地形图。

在施工图设计阶段，设计人员根据地形图和各种油气参数，在地形图上进行油气水的计量、处理、储存及相关辅助设施的平面布置和竖向设计。施工图设计要保证平面设计充分利用场地地形，对原有建筑物、运输线路、树林、耕地等，在保证安全生产和不影响投产运行的前提下，尽可能地保留；地形坡度应能与建筑物、运输、排水要求的适宜坡度相配置；建筑物的布置应与周围地形和原有建筑群相适应；挖填方量最小，且接近平衡。

油气田规划设计的所有阶段采用的地形图大都要求准确表示地下管线的位置，有些设计还要求标出地下管线的埋深。

第三节 油气田地面工程规划设计对地形图的精度要求

一、概论

工程测量是为工程建设服务的,其测绘资料必须满足工程建设的要求。这就要求测绘人员明白油气田地面建设工程的性质和特点。油气田及其工程建设一般有如下特点:

(1) 油气田一般由多区块(含油构造)组成,区块有大有小,小的不足 1km^2 ,大的有几百上千平方千米。区块间距离有远有近,近的可连片开发,远的跨县市甚至跨省,规模差别大;

(2) 油气田开发区的地理条件差别大,有平原、丘陵、山区、沙漠和海洋;

(3) 油气田所在地区的经济发展水平差别大,有沿海经济发达地区,也有边远地区,还有戈壁、沙漠等等;

(4) 油气田开发具有滚动性。在勘探得出结论之后,开发一片,建设一片,边生产边建设,滚动前进;

(5) 油气田建设具有阶段性。在开发阶段,除大量的钻井工程外,油、水、电、讯、路、站等系统工程全面展开,地形地物变化快、变化大,并逐步固定化。在运营调整阶段,只有少量的调整及产能改造工程,地形地物变化不大;

(6) 油气田的开发与地方经济相结合,如交通运输业、农业、林业、养殖业、环境保护和治理、防洪排灌等,都必须紧密结合地方规划和要求,争取油气田发展带动地方经济发展。

由于油气田工程建设的这些特殊性,其相应的测绘工作便体现出如下特点:

(1) 测绘面积大小不等。一座采油井场也许只有 $30 \times 40\text{m}^2$,一个含油气区块的面积可能多达数十甚至数百平方千米,

(2) 针对性强。油气田工程测绘是根据油气田工程的具体特点具有针对性地测绘专用地形图,其测图质量标准以能满足工程规划设计为依据。所以,油气田工程测量一般选用行业标准,在没有相应的行业标准或者委托方提出特殊要求时采用国家标准;

(3) 任务急、成图要求快。油气田储量和产能规模一旦确定,就要在尽可能短的时间内完成地面建设,以尽快产出油气,收回勘探开发投资。这就要求测绘人员在很短的时间完成测绘工作,交付设计或其他委托方;

(4) 勘测周期短,很难作长期规划。油气田勘探具有很大的风险性和随机性,一旦发现具有开采价值的油气田或含油气区块,地面建设工作马上开始,测绘工作立即展开,所以在油气勘探形势不明的情况下,无法做测绘的远期规划。

(5) 地形图的使用时间长度不一。一般为施工图设计所测绘的站址地形图使用寿命很短,施工结束(甚至施工平整场地一开始),地形图就无法使用。而为油气田规划所测绘的较小比例尺地形图可以一直使用下去,当然随着油气田地面建设的进行,规划地形图要不断地补充和修测。一般来说,在油田开发初期测绘的地形图使用寿命一般都很短,而在油田建设基本完成后测绘的地形图可以使用较长时间。

根据油气田地面建设工程的特点和规划设计对地形图的应用要求,测绘人员应该辩证地看待测绘的精度问题。如果片面地强调精度,认为越准确越好,就会造成时间与资源浪费。在生产中经常会发生这样的情况:设计人员的要求相对比较简单,如只要草图,或只要求测

绘重要建筑,其余可以忽略。而测绘人员严格执行国家规范中地形图的测图要求,提交测绘成果时间较晚,造成设计工期的滞后,浪费了时间,引起设计人员不满;但也决不能忽视精度,如果忽视精度,就可能造成设计与已有建筑物发生冲突,或计算出来的挖填方与实际不符,甚至根本无法施工。所以,地形图的必要精度应从设计的实际需要出发。

二、油气田地面工程规划设计对地形图平面位置的精度要求

1. 油气田(区块)总图设计对地形图的平面位置精度要求

油气田(区块)总图设计,如果采用国家基础测绘资料,就要对已有地形图进行扫描,形成影像文件。设计人员把这个地形图的影像作为背景,直接在电脑上用 CAD 进行规划设计。影像文件相对于原有地形图有一些变形,这是在扫描、拼接过程中产生的误差。测绘人员要根据地形图上的格网,对影像进行拉伸和纠正,使之尽可能地与原图相符。即便如此,影像图的每 10cm 格网仍有可能相差 1mm;在两张图拼接的地方,每 10cm 格网的误差可能超过 2mm。

如果使用直接测绘的数字化地形图,就不存在扫描和拼接误差,也不存在蓝图和透明图的收缩误差,误差全部来自于野外测量。其点位误差一般小于图上 0.4mm。

油气田(区块)总图设计或方案设计对地形图的平面位置精度要求并不高,设计人员在地形图上初步确定计量站、接转站(联合站)和集中处理站等设施的位置(最终位置还要经实地考察后确定),估算采油管线和集油管线的概略长度。根据设计的常规要求,这种估算的误差不超过 1/300 即可。以 10km 管线估算为例,误差要求不超过 33m,若采用 1:10000 地形图作总图设计,图上误差为 3.3mm,对应的点位中误差为

$$3.3\text{mm}/\sqrt{2} = 2.3\text{mm}$$

所以,一般认为地形图上的点位误差不大于 2mm,即可满足需要。

2. 建筑坐标系原点对地形图平面点位的精度要求

油气田工程的设计人员在拿到地形图后,多数情况下就直接在地形图上进行设计。设计时要依据工艺要求和相关规范、充分考虑地形要素(特别是地形走势),所以,一般情况下,主要建筑物的轴线方向与测量坐标系的轴线方向并不一致,为便于施工设计和施工放样,要为该建筑群体建立一个建筑坐标系(也可称为施工坐标系),使其轴线与主要建筑物的轴线平行或重合。为了使建筑坐标区别于测量坐标,一般用 A、B 分别表示建筑坐标的纵轴和横轴(如图 1-1)。建筑坐标

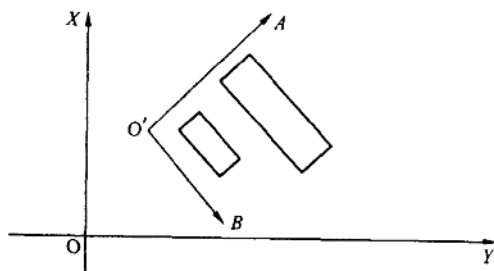


图 1-1 建筑坐标系

A、B 与测量坐标 X、Y 的换算关系必须给出。建筑坐标相对于测量坐标的原点和旋转角都要在地形图上图解或量出。根据《油气田工程测量规范(SY 0054—93)》,地物点平面精度要求地物点相对于临近图根点的点位中误差在图上不得超过 $\pm 0.6\text{mm}$ 。建筑坐标的原点误差应小于地物点相对于临近图根点的点位中误差,一般取 0.2mm。

3. 建筑物的限制间距对地形图平面点位的精度要求

油气田地面工程的设计规范对建(构)筑物的间距要求是非常严格的,特别是防火规范要求。油气田的主要产品原油和天然气及其附属产品多数都是易燃易爆的,设备之间保持安全

距离是最重要的防火措施之一。例如，对于一座储量超过 10000m³ 的油罐，油气田密闭工艺设备要求与之相距不少于 25m，有明火的密闭工艺设备要求与之间距不少于 40m，敞口容器和储油池不少于 35m。又如，平行于道路铺设的原油管道与道路间距不能小于 5m，管线穿越河流处与桥梁距离不能小于 100m。当新建建筑物和原有建筑物发生关系时，还需要用图解的方法，获取他们之间的距离，以判断是否满足限制间距的要求。

在设计时，为了节约用地，一般建筑设计间距尽量地接近容许的最小间距。为了保证最小间距，考虑到各种误差(已有建筑的测量误差和设计新建筑的放样误差)，设计人员给规定间距留有一定的安全值，一般为 1~2m 的余地。在实际生产中，为了保证测量误差不会影响建筑物的设计间距，一般执行《油气田工程测量规范(SY 0054—93)》对地物点点位中误差的规定，具体指标如表 1-1。

表 1-1 图上地物点点位中误差与间距中误差

地区分类	点位中误差(图上 mm)	邻近地物点间距中误差 (图上 mm)
建筑区、平地、丘陵区	±0.6	±0.5
一般地区	±0.8	±0.6

注：山地、森林、街坊隐蔽地区，可按上表放宽 1.5 倍。

油气田工程测图的碎部点精度要求应以表 1-1 为准(设计人员有特殊要求的除外)。

4. 局部解析坐标精度要求

当用地紧张，所设计的建筑物与已有建筑物的间距较小，特别是对已有的油气厂、库、站进行改造扩充时，上述精度要求就不能满足要求。在这种情况下，测绘人员应与设计人员共同商量，确定建筑物、构筑物细部点的取舍和相关精度要求，并根据设计需要，施测一定数量地物点的解析坐标标注在图上，作为新的建筑物设计的依据。一般情况下，油气田测绘人员这时选取国家标准《工程测量规范(GB50026—93)》作为这些细部点解析坐标测量精度要求的依据，该规范规定如表 1-2。

表 1-2 反算距离与实地丈量距离的较差

项目	较差/cm
主要建筑物、构筑物	$7 + S/2000$
一般建筑物、构筑物	$10 + S/2000$

注：S 为两相邻细部点间的距离(cm)。

以比例尺 1:500 地形图为例，如果两相邻细部点(主要建筑物)间距为 30m，其限差要求为

$$7 + \frac{3000}{2000} = 8.5 \text{ (cm)}$$

5. 其他地物点的精度要求

《油气田工程测量(SY 0054—93)》规定，对于图幅内的水塔、贮罐、炼制塔、微波塔、电视塔、高压电塔、高烟囱等中心，旗杆和油、水、气井井口等永久性地物及管道标志桩可施测地物点坐标，楼房角、围墙角的地物点坐标可选择进行测量。地物坐标点测量误差不应大于 ±0.3m。

三、油气田地面工程设计对地形图高程精度的要求

本要求主要体现在油气田地面工程的竖向布置和土石方计算等方面。所谓竖向布置就是

在总平面布置的基础上将厂区的自然地形加以整平改造,以适应生产的要求,保证生产运输有良好的外部衔接条件与环境,并能顺利地排除站场地面雨水,并使土石方量最小,挖填方平衡。

竖向布置方式一般分为两类:即平坡式系统与阶梯式系统。整平后场地标高为平缓连接称为平坡式系统。根据《石油地面工程设计手册·通用工程设计》,平坡式系统适应自然地面坡度不大于2%地区;当场地宽度较小(即小于500m),自然地面坡度虽然达到3%~4%时或处于地形破碎的微丘地区,也可采用平坡式系统。当站(厂)场区各主要整平地面的连接处有陡坡,且高差较大,成阶梯式布局。自然地面坡度大于3%~4%;当站场宽度大于500m,地形坡度大于2.1%或站场由于生产工艺要求,车间之间高差在1.5~4m时,宜采用阶梯式系统。

根据《石油地面工程设计手册·通用工程设计》,平坡式布置除遵循其一般要求外,油气站(厂)场的场区地面应符合下列要求:

(1) 在露天布置生产装置区的设计边界线内,除绿化地外,其余的检修和露天操作场宜铺砌,且高于边界线外场区0.1m。

(2) 循环水和污水处理区内,除人行道、车行道和操作场地应铺砌外,其他空地宜植草皮和铺砌石,且高于外部场区0.1m。

(3) 汽车装卸油设施的场地应采用水泥混凝土地面,以高于场地外部0.2m,场地宜设不小于0.5%的坡度。

(4) 油罐区防火堤内,除人行道外不得铺砌。场地整平应有利于排除罐区内的雨水,宜设不小于0.3%的坡度。

(5) 人行道应高于其附近场区地面0.05m,宜采用水泥混凝土预制块铺设。

阶梯式布置除遵循这种布置的一般要求外,对台阶的高度和安全加固措施有如下要求:

(1) 台阶的高度主要取决于场地自然地形坡度、地质条件、台阶上生产设施与运输方式之间的工艺联系、技术要求等。一般台阶高度为1~4m,不宜大于6m。当台阶总高度大于3m,且有人经常活动的台阶边沿应加设防护栏杆。

(2) 阶梯式布置的人行道纵坡大于8%或跨越台阶时,应设人行阶梯。人行阶梯每级高度为0.15~0.2m,宽度不应小于0.25m。台阶总高度大于3m时,人行阶梯应设休息平台和栏杆。

(3) 阶梯式布置的相邻两台阶之间加固形式,应根据场地条件、地质情况、台阶间高差、荷载和生产卫生要求、景观等因素综合比较,合理确定。

从以上要求可以看出,用于施工图设计的平坦地区地形图的高程中误差一般不能超过 $\pm 0.1\text{m}$,部分地段高程中误差不宜超过 $\pm 0.05\text{m}$,最大误差应在 $\pm 0.2\text{m}$ 以内。

各项竖向布置的高程设计完毕以后,应计算土石方量,以作为进行投资预算,施工准备以及论证设计方案的基础。其计算的允许误差为10%~20%,它要受确定整平坡度、计算土石方量的方法、施工验收的方法、土壤的松散系数以及等高线的高程误差等的影响。一般认为等高线的高程误差对于土石方量的影响小于5%。

《石油地面工程设计手册·通用工程设计》规定:计算土石方量宜采用方格网法,方格网的大小规定如下:

(1) 初步设计时可根据地形复杂情况采用40~100m格距。

(2) 施工图设计可采用40~100m格距,局部地区按需要加密格局。