

铁路选线设计的 现代理论和方法

詹振炎 著

中国铁道出版社

铁路选线设计的 现代理论和方法

阮保田 著

中国铁道出版社

铁路选线设计的现代理论和方法

詹振炎 著

中国铁道出版社

2001年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书阐述了铁路选线设计的若干现代理论及实现技术,内容包括:离散点及三角网数字地面模型的建立;铁路线路的平面、纵断面和横断面计算辅助设计;线路纵断面优化设计;线路平、纵面整体优化设计;铁路线路三维可视化设计及铁路建设项目经济评价与决策分析方法等。书中内容反映了有关领域的国内外发展动态及中南大学道路与铁道工程研究所近 20 年来的研究成果。

本书可供高等院校交通土建工程专业高年级学生及研究生选读,也可供铁路选线设计技术人员及道路工程 CAD 应用系统软件开发和使用人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

铁路选线设计的现代理论和方法/詹振炎等著. —北京:中国铁道出版社, 2001.5

ISBN 7-113-04076-4

I. 铁… II. 詹… III. 铁路选线—设计
IV. U·212.32

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 04465 号

书 名: 铁路选线设计的现代理论和方法

著作责任者: 詹振炎 著

出版·发行: 中国铁道出版社 (100054, 北京市宣武区右安门西街 8 号)

责任编辑: 王俊法 许士杰

封面设计: 陈东山

印 刷: 北京市燕山印刷厂

开 本: 850 mm×1 168 mm 1/32 印张: 8.375 字数: 200 千字

版 本: 2001 年 5 月第 1 版 2001 年 5 月第 1 次印刷

印 数: 1~1 000 册

书 号: ISBN 7-113-04076-4/TU·656

定 价: 28.00 元

版权所有 盗印必究

凡购买铁道版的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 请与本社发行部调换。

序 言

铁路选线设计是铁路建设的先行,其目的是要确定线路最合适的空间位置,这一位置决定了铁路上建筑物的设置、工程数量的大小和施工的难易,也决定了列车运行的条件和运营成本的高低。因此铁路选线设计是铁路建设总揽全局的核心工作,其技术涉及到多种学科的综合应用。在这一领域采用现代技术对加快设计进度,提高设计质量具有举足轻重的作用。20年来詹振炎教授及其弟子们在铁路选线设计与现代信息技术相结合方面作了大量开创性的工作,多次获得铁道部与建设部的奖励。本书是詹教授廿年来研究成果的总结,对提高我国铁路选线设计的理论和技术水平,将会大有裨益。

本书包括以下主要内容:

1. 快速构建高精度的离散点三角网数字地面模型(DTM)的研究

本书论述了采用航测手段建立地理信息系统,在利用航片或卫片进行数字化成图的基础上,建立满足约束 Delaunay 三角网特性(空外接圆特性和最大的最小角特性)的 DTM 的理论和方法,并论述有效地管理海量地形点数据,采用文件映射技术一次性构建整体无缝的带状 DTM 的新方法。在这一理论指导下,在普通微机上建网速度达 25 000~30 000 个三角形/s,居国际先进水平。该方法已广泛用于铁路和公路设计部门。

2. 采用优化理论进行线路空间位置整体优化的研究

选线设计的任务就在于比选出既满足铁路设计规范要求又使工程运营费最小的设计方案。这是一个多变量多约束的数学规划问题,求解这一问题必须解决目标函数的求导问题。詹教授独辟蹊径,采用一种独创的图形增量求导方法,成功地解决了这一难题。这一方法理论严密,方法易行,已成为当前铁路与公路优化设计普遍采用的基本方法,并纳入研究生教材。按照这一基本理论成功地开发了“铁路线路纵断面优化设计系统”和“铁路线路平纵面整体优化设计

系统”。经权威专家鉴定认为：“该项目工作量较大，具有跨学科综合性的难度，在数学模型的建立方面具有独创性，整个‘系统’在国内处于领先水平，并达到了国际上同类软件的先进水平。”这两项成果分别获 1987 年和 1993 年铁道部科技进步二等奖。

3. 系统介绍了詹教授课题组开发铁路选线 CAD 系统的方法

詹教授以其宽广的专业知识，将铁路复线的各种复杂线型归并为四类，据此开发了“新建单、双线铁路线路机助设计系统”，可以适应复线铁路（含预留 II 线）各种复杂线型的要求。经专家鉴定认为：“该系统技术先进，实用性强，具有国内领先水平。其中新建双线或预留二线的机助设计为国内首创”。已用于西安—南京线、包头—西安线等多条铁路干线的设计，累计超过 2 000 km，该系统获 2000 年建设部全国优秀工程设计计算机软件金奖。

4. 介绍了詹教授等建立线路三维可视化设计系统的独特方法

他们采用双三次混合孔斯 (Coons) 曲面片构建铁路线路的三维模型，依托其开发的数字地面模型，按两种方式 (DTM 和 DEM) 构建三维地形模型，再采用独创的地形裁减算法 (三角网病毒算法)，删除路基覆盖面上的地形，从而建立了两种线路与周围地形的三维整体模型。这两种模型经渲染后均可制成动画，形象生动逼真，使线路设计方案的设计或审查人员能预见到铁路建成后的效果。该系统经专家鉴定，认为达到国内领先水平，已在遂渝线、浙赣复线电气化改造等工程中得到应用，收到十分满意的效果。

上述成果大部分被铁道部定为“九五”重点推广项目，在实际生产中经受了检验。

本书立论正确、论证严谨，对方法的评价客观、科学、实事求是。它的出版无疑对铁路选线设计技术的发展，将起到良好的推动作用。我十分乐意向广大读者尤其是本领域的年轻科技工作者和青年学生推荐这部好书。是为序。

中国工程设计大师

陈云老 2001. 2

前 言

我国铁路营业里程已近 7 万 km, 但距国民经济规划修建 12 万 km 铁路的远景目标还有相当的差距, 铁路勘测设计的任务还十分艰巨。“铁路选线设计”是铁路建设的先行, 为了提高铁路勘测设计的质量, 加快铁路建设的进程, 必须对“铁路选线设计”这一传统技术引入现代科学技术手段, 注入新理论、新方法, 以适应铁路建设的需要, 迎接新世纪知识经济时代的到来。

20 年来笔者和我的研究生们, 在铁道部领导下, 与铁道部第一、第二、第三、第四勘测设计院, 铁道部专业设计院, 西南交通大学, 北方交通大学等单位的工程技术人员和有关专业教师友好合作, 在铁路选线设计新技术上进行了多方面的开发研究, 取得了一批成果。这些成果包括“铁路线路纵断面优化设计”, “人机交互铁路线路平、纵面整体优化设计系统”, “微机数模及地形图成图系统”, “新建单线铁路施工设计纵断面优化及 CAD 系统”, “新建单、双线铁路线路机助设计系统”, “铁路线路三维可视化设计系统”等。这些成果均已通过铁道部部级鉴定, 且均在实际生产中得到推广应用, 经受了实际设计工作的考验。

编写本书的目的就是将我们在开发这些成果中所用到的理论和方法加以总结, 汇编成册, 以此与国内外同行交流, 以期得到进一步的提高。本书除第七章的部分内容外, 其余部分均是我们自己科研成果的归纳与总结, 有些内容是第一次公开发表。先后参加这些科研工作的除本书的编写者外, 还有常新生、张怡、赵湘等, 特别要提到的是: 在“人机交互铁路线路平、纵面整体优化设计”这项科研工作中, 铁道部第二勘测设计院林骏、胡光常、王国昌三位高级工程师作出了重要贡献。

本书共七章, 内容包括: 我国铁路选线设计的发展; 数字地面

模型；铁路线路的计算机辅助设计；铁路线路纵断面的优化设计；平、纵面整体优化设计；铁路线路三维可视化设计；铁路建设项目的经济评价及决策分析方法等。本书可供高等院校交通土建工程专业高年级学生及研究生选读，也可供铁路选线设计技术人员及道路工程 CAD 应用系统软件开发和使用人员参考。

本书由詹振炎主编，第二章和第六章由蒋红斐编写，其余由詹振炎编写。此外，参与了部分编写工作的有王卫东（第一章），宋占峰（第二章），蒲浩（第三章、第六章），全书由詹振炎统稿。在本书编写过程中得到中南大学（铁道校区）各级领导的支持鼓励。本所工作人员张怡、马宁、詹英士给予了热情帮助，也得到中国铁道出版社的大力支持与帮助，编写者在此对各方面的支持表示由衷的谢意。

由于理论水平和实践经验所限，本书在内容和编写方法上难免存在缺点和错误，恳请读者予以批评指正。

中南大学道路与铁道工程研究所 詹振炎

2001年2月

目 录

第一章	我国铁路选线设计的发展	1
第一节	铁路选线设计的回顾	1
第二节	铁路勘测设计的新技术及其发展	6
第二章	数字地面模型	17
第一节	概 述	17
第二节	离散点数字地面模型	20
第三节	离散点三角网数字地面模型	26
第四节	适用于道路设计的三角网数字地面模型	35
第三章	铁路线路的计算机辅助设计	43
第一节	单线铁路线路平面的计算机辅助设计	43
第二节	复线(含预留Ⅱ线)铁路线路平面的计算机 辅助设计	51
第三节	铁路线路纵断面的计算机辅助设计	56
第四节	铁路线路横断面的计算机辅助设计	57
第五节	平、纵、横集成交互设计	72
第六节	设计图、表的生成和输出	79
第四章	铁路线路纵断面的优化设计	88
第一节	概 述	88
第二节	纵断面优化采用的几种计算方法	99
第三节	纵断面优化设计的数学模型	115
第四节	纵断面优化设计的几个具体问题	132
第五章	铁路线路平、纵面整体优化设计	152
第一节	设计变量	152

第二节	平、纵面整体优化的数学模型和优化策略.....	152
第三节	目标函数及其梯度计算.....	156
第四节	平、纵面整体优化设计的几个问题	181
第六章	铁路线路三维可视化设计	186
第一节	三维模型的表示方法.....	186
第二节	地形和线路整体三维模型的建立.....	193
第七章	铁路建设项目的经济评价与决策分析方法	209
第一节	铁路建设项目的经济评价.....	209
第二节	多目标决策方法及其在铁路建设项目决策中的应用.....	227
参考文献		254

第一章 我国铁路选线设计的发展

第一节 铁路选线设计的回顾

一、旧中国铁路选线设计的历程

衣、食、住、行是人类的四大基本需求，行就是交通运输，人作为自然界中最具智慧的生物，他除具有自然属性外，还具有社会属性，人与人之间要交往，生产的物资产品要交流，这些都离不开交通运输的发展，而人又是陆上的生物，故陆地交通在所有交通方式中占有主导地位。

陆上交通是社会经济生活的动脉，在国家的政治、经济、国防等等中从古至今都具有举足轻重的作用。秦始皇统一中国，提出“车同轨”以维护统一的局面；诸葛亮为了军事的需要，制造木牛流马以保证军事运输；唐代以来著名的“丝绸之路”更是联系西域各国的纽带。

到了 19 世纪初，随着世界产业革命和生产发展的需要，以及科学技术的进步，1825 年英国在大林顿到斯托克顿之间修建了长 21 km 的世界第一条铁路，此后，比较发达的欧美资本主义国家竞相效尤，掀起了世界铁路建设的高潮，至 20 世纪初，世界铁路通车里程已达 110 万 km 以上，成为陆上交通的重要支柱。

我国铁道工程的知识是伴随着帝国主义列强对我国的侵略自 19 世纪中叶由西方传教士逐渐介绍过来的，1879 年李鸿章为了将唐山开平的煤运往天津，奏请修建唐山至北塘铁路，遭到顽固王公大臣反对，他们认为“火车烟伤禾稼”“震动寝陵”，铁路“为祖宗所未创，应当予以停止”，1881 年，决定将铁路缩短，仅修建唐山至胥各庄

一段 10 km,并用骡马牵引。一般认为这是我国第一条正式投入运输的铁路,称为唐胥铁路,采用 4 英尺 8.5 英寸(1 435 mm)轨距,以后相沿成为我国的标准轨距。

此后帝国主义列强为了掠夺中国资源的需要,竞相在中国争夺筑路权,在多种不平等条约中,占有在中国某些特定地区的筑路权成为条约的重要内容,一时主权沦丧,路权尽失,所有铁路几乎全为外国人把持,国人自强图存收回路权的呼声日益高涨,最著名的是四川省的保路运动,这一运动触发了辛亥革命,推翻了清王朝,结束了我国两千多年的封建统治。

谈到中国人自己修筑铁路的历史,首先应提到中国的第一位铁路选线设计工程师詹天佑先生,1905 年清政府要修建京张铁路,英、俄两国争修此铁路而相持不下,清政府为了两不得罪,决定自修此路并委派詹天佑负责(詹天佑字眷诚,广东海南县人,幼年就学于美国,毕业于美国耶鲁大学土木工程系铁路工程科)。他临危受命,在当时既无技术人员,又缺乏技术工人、机具的条件下毅然承担重任。当时英国报纸讥讽“中国修建京张铁路之工程师尚未诞生”,而詹天佑认为:“窃谓我国之大,而于一路之工,必需借重外人,引以为耻,更不得不力任其难,勉负众望”。詹天佑率两个助手,全队 12 人以 3 个月时间完成了京张线(图 1-1)的勘测任务。在设计中他坚持采用标准轨距,采用 33 ‰的陡坡和 2-8-8-2 活节大马力机车跨越关沟段的八达岭。在青龙桥车站采用人字形展线,将原来约 2 000 m 的八达岭隧道缩短为 1 090 m,并开凿竖井,增加工作面以缩短工期。在修建中分段施工,并尽早分段运营,以通车运营收入弥补施工款项之不足。在当时的历史条件下,这些决策是难能可贵的创举,至今仍值得我们借鉴。1909 年 11 月京张铁路比计划提前两年建成通车,节余工款白银近 29 万两,节省工程费的 4 %。这一辉煌业绩,维护了民族尊严,振奋了民族精神,增强了中国人自己修建铁路和发展近代科学技术的信心,为以后自建铁路开辟了道路。

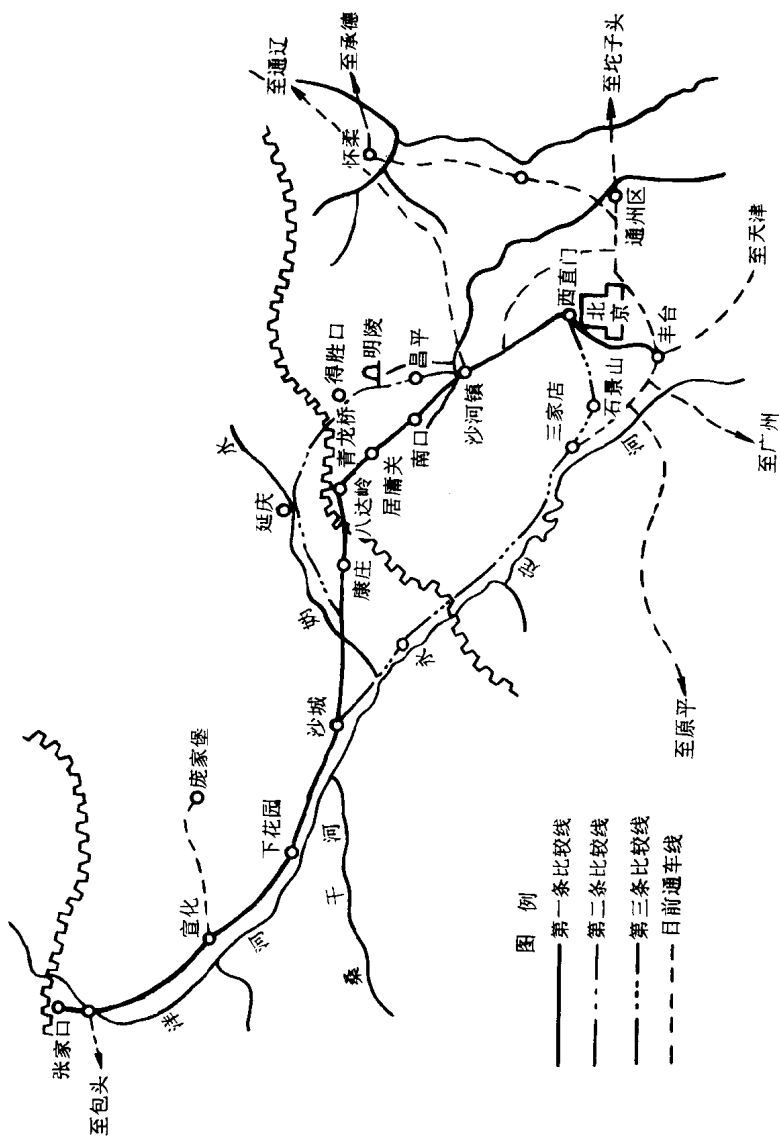


图 1-1 京张铁路设计方案

旧中国的铁路建设多数为外人把持，少数为国人自建，其中也产生了若干优秀的选线设计范例。如粤汉线跨南岭地段，纠正了由外人选定的越岭垭口，使越岭高程降低了 40 余米，提高了选线质量。但在战乱频仍、民不聊生的旧中国，中国选线设计人员的聪明才智终难充分发挥。至 1949 年解放前夕，如将通过车的铁路都计算在内，全国铁路营业里程为 21 810 km（不包括台湾省铁路在内），实际当时能勉强维持通车的铁路仅 11 000 km。

二、新中国铁路选线设计的发展

新中国的成立，百废俱兴，也带来了铁路建设事业的发展。新中国成立后的第一项大型基本建设就是成渝线的建成通车，使四川人民 40 年的梦想在两年内得以实现。此后我国铁路勘测设计事业走向了规范化、标准化、蓬勃发展的道路。

1. 成立了专业的勘测设计队伍

铁道部内设立了铁路设计总局，下辖西北、西南、华北、中南、东北 5 个设计分局，后改为基建总局和第一、二、三、四共四个勘测设计院及一个专业设计院，为铁路的勘测设计建立了一支稳定的专业配套齐全、技术装备精良的队伍。

2. 建立了选线设计研究室

在铁道科学研究院内建立了选线设计研究室，专门从事铁路选线设计理论的研究；在若干铁路院校设立了相应的专业，为铁路勘测设计队伍输送了大批合格人才。

3. 统一了全国的铁路勘测设计标准

制定了属于国家标准的“铁路线路设计规范”，并制定了“铁路勘测设计文件组成与内容”，现在称为“铁路基本建设项目预可行性研究、可行性研究和设计文件编制办法”，规定了铁路勘测设计的阶段和各阶段勘测设计工作应达到的深度与广度。此外，还编制了大量的标准图、通用图和参考图，为加快设计进度、提高设计质量创造了条件。

这些组织上、人才上、技术上的有力保证，使得我国铁路勘测设计工作的面貌发生了根本的转变。至1999年底全国铁路营业里程已近7万km；牵引动力和载运工具迈上了现代化新台阶；蒸汽机车已被淘汰，重载运输有了长足进展，客运提速全面推进，高速铁路建设正在进行。所有这些进步都凝聚着广大铁路勘测设计人员的心血和汗水。在这7万km的铁路中，有一万多公里的电力牵引铁路；有在复杂地质险峻山区修建的宝成线（图1-2）、成昆线（图1-3）、襄渝线、侯月线、南昆线等；有通过腾格里沙漠地区

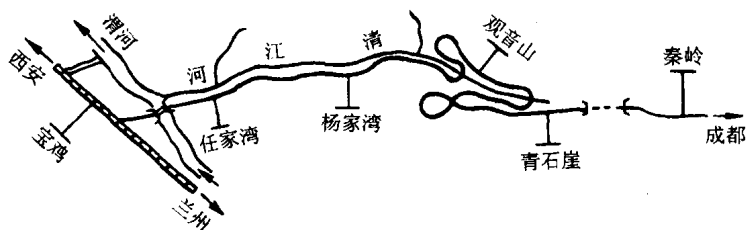


图1-2 宝成线秦岭展线

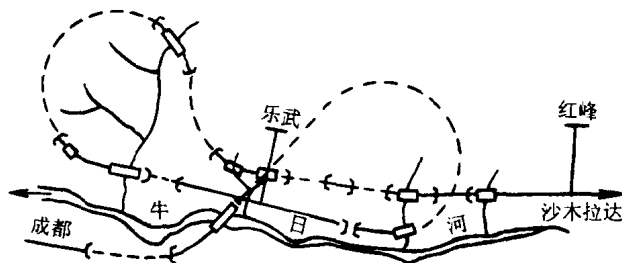


图1-3 成昆线沙木拉打北口展线

的包兰线和穿过察尔汗盐湖地区的青藏线西格段等。我国是一个多山的国家，国土面积的70%为山区和丘陵，在修路过程中遇到了崩塌、滑坡、泥石流、软土、膨胀土、高地应力、高瓦斯等一系列复杂的地质问题。这些问题都在实践中一一解决，并积累了许多宝贵的经验。同时也开发、研究、引进了一大批行之有效的铁路勘测设计的新技术、新工艺和新设备。这些新技术的采用，使铁路

勘测设计手段发生了质的飞跃,和建国初期外业测绘靠人工跑尺,内业设计靠手工计算(算盘、计算尺、对数表)、人工绘图的时代已不可同日而语了。

第二节 铁路勘测设计的新技术及其发展

一、勘测设计的新技术

测绘技术、勘探技术和信息技术等的迅速发展,使我国铁路勘测设计的面貌焕然一新,目前已经采用并正逐步完善的新技术有:

(一) 铁路勘测新技术

1. 航测与遥感技术

航空摄影测量、航空勘察遥感技术是铁路勘测中编制各种地形图,建立测区数字地面模型以及工程地质判释、水文调查的有力手段。目前我国铁路设计所需的各种比例尺地形图已可大部分由航测来完成,并与地理信息系统(GIS)相结合,建立了适用于道路设计的数字化测图系统。遥感(RS)技术在铁路勘察中也取得了长足的进步。它是一门综合性探测技术,从高空接受物体辐射的电磁波信息,揭示物体的性质、形状和变化动态。遥感图像是显示地面信息最充分的信息源。在铁路勘测设计中通过对航片、卫片的判释来进行水文调查、工程地质调查、地亩调查等工作,可以提高效率,节约开支。我国铁路设计部门在京九铁路勘测中应用“铁路工程地质遥感图像判释技术”对沿线的地层岩性、地质构造、水文地质、河网水系等进行判释,为线路选线、隧道、桥梁等设计提供了直观的资料。为优化川汉铁路枝城至万县线路方案,应用陆地 TM 图像结合国测 1:50 000 全色航片的判释,对鄂西北、川东近 4 万 km² 范围内的地层岩性、地质构造及不良地质进行了判释,优化了设计。现正向由人工判释向计算机自动判释方向发展,建立遥感图像自动判释专家系统。

2. 卫星定位技术

全球卫星定位系统（简称 GPS）是准确定出所建工程地理坐标的先进技术。它接收卫星发送的信号，经过便携机或微机处理后，得到地面点坐标；它采用相位差分方法，可以在几分钟内得到厘米级精度的位置坐标，测量快而精确，具有全天候、连续性、精度高的特点；它在铁路勘测中具有广泛的用途，如线路、大型桥梁、特长大隧道的定位等。我国铁路设计部门引进并开发了海拉瓦全数字摄影工作站，应用全球卫星定位技术，先后完成了京沪高速铁路、温福线（沿海）铁路、焦晋高速公路、京珠高速公路等项目的测量；完成了商丘、娄底等 10 座城市 $1\,200\text{ km}^2$ 的 1:100 和 1:500 图的航测外控测量任务，精度超过常规测量 10 倍以上。此外在特大桥和特长隧道施工控制网的测量中采用全球卫星定位技术，提高工效 10~20 倍以上。

GPS 和前述的 GIS、RS 合称为“3S”技术，是我国测绘领域当前最前沿、最实用的技术。它构成了集测绘、编辑图形及其它文件输出为一体的数字化测图系统，为铁路选线设计提供了铁路自动化设计所必需的、翔实的数字化地形图、地质图等资料。

3. 全站站测绘技术

铁路勘测经历了经纬仪测角、钢尺量距到电磁波测距的广泛应用之后，已到了全面推广全站测绘仪的时期。本类型的仪器都配有专用的电子手簿或嵌于主机中的记录模块（REC），自动记录观测数据；数据可通过阅读器读出，也可直接传输到计算机中。仪器中还固化了坐标输入、设置测站坐标、方向定位、自由设站、高程传递、放样和距离联测等专用测量程序。操作人员只需通过主机板键，经菜单方式直接调用。仪器通过双轴补偿系统和预置参数，可对主要的测角误差、视准误差和指标差予以消除。仪器测量速度快、操纵方便，能提高精度；突出的特点是避免了人工测、记、传输数据中产生的错误，实现了数据的自动记录和传输，为后续设计工作创造了自动化设计和优化设计的基础。