

二〇〇〇年的中国研究资料

第五十四集

中国的公路交通

内部资料
不得外传

中国科协二〇〇〇年的中国研究办公室

第 54 集

中国的公路交通

中国公路学会

中国科协 2000 年的中国研究办公室

1985. 9

前 言

现代交通运输，主要有铁路、公路、水运、航空、管道等五种运输方式。从发展历史看，水运历史最为久远，铁路次之。一百年前汽车的发明才揭开了现代公路交通运输史的首页。从这以后，公路运输的面貌日新月异，堪称后来居上。

国外发达国家公路运输的发展大致可以分为三个阶段。上个世纪末到第一次世界大战前是初级发展阶段，公路运输仅是铁路、水运的辅助手段。二次大战前冶金、机械、化工、电气工业的飞速发展促进了汽车工业的发展，而汽车本身的不断完善和公路网建设的不断提高，使得公路运输灵活、机动、快速、直达的特点逐渐展示在人们的眼前。公路运输一跃成为短途运输的主力，而且开始成为铁路、水运的强劲对手。二次大战后，特别是从五十年代起是公路运输发展的新时期，其发展更为迅猛。公路运输的货运量和周转量的增长速度一般都大于国民生产总值和工业总产值的增长速度，也高于其它运输方式。公路运输的发展已远远超过铁路，使得以铁路运输为主的运输结构第一次发生了动摇。公路运输在各种运输方式中逐步发挥主导作用。从七十年代起，大多数发达国家以货运量计的公路运输比重，都已达到了80%以上，而同期的铁路货运量的比重则全面下降。在客运方面的趋势尤为明显。不仅如此，一些发达国家如美、英、法国甚至发展到了拆铁路修公路的地步。苏联的货运向来以铁路为主，但由于“单打一”，特别是没有充分发挥公路运输的作用，铁路负担过重，每年因运输上的原因给工农业生产造成很大的损失。这种情况已引起了计划部门的注意并开始采取措施，大力发展公路运输。至于客运，苏联的公路客运量和周转量则均已超过铁路。

实现各种运输方式之间的综合运输，已成为各国现代交通发展利用中的共同趋势。由各种运输方式组成的综合运输网是发展综合运输的必要条件。当前世界综合运输网总长度达3000万公里，其中公路网占三分之二。公路运输已渗入到社会生活的一切方面，成为必不可少的重要因素。在国民经济和人民生活中，公路运输正发挥着愈来愈重要的作用。

进入本世纪后，随着现代科学技术的飞速发展，大量新技术、新材料、新工艺，特别是电子技术的广泛应用，使作为交通运输总系统组成部分的道路工程、桥梁工程、筑路机械工程和汽车运用工程也有很大发展。同时，随着公路交通的发展，随之而发生的交通事故、噪声和污染一系列问题也接踵而来，一门新兴的学科——交通工程学应运而生。交通工程学作为一门边缘学科，综合了许多学科的内容，运用系统工程学理论和方法对公路交通进行最佳的规划、管理和控制，使其发挥最佳功能，实现安全、高速、舒适、大通行能力、高经济效益和低公害的目的。交通工程学已发展成为综合研究人一车一路一环境的综合性学科。

促使国外公路运输高速度发展的决定因素，是这些国家的生产高度社会化、专业化及商品生产的高度发达。

我国幅员辽阔、资源丰富，人口众多，国内市场潜力极大。但也有资源、工业与人口分布不平衡的不利条件，从而对交通运输提出了更高的要求。

建国以来，我国的公路建设和汽车运输事业有了很大发展。从1950年到1980年的三十年间，公路通车里程增长8.91倍，公路部门货运量增长8.55倍，周转量增长28.3倍，客运量增长96.9倍，旅客周转量增长56.9倍。然而就发展速度来看，仍大大落后于整个国民经济建设的发展速度。交通运输的能力同运输量增长的需要很不适应，拖了整个国民经济建设的后腿，已成为严峻的现实。主要问题是：里程少、标准低、质量差；失养失修和超龄服务情况严重；交通事故率高；汽车工业落后，技术经济指标落后；公路客运紧张，运输管理混乱，经济效益差；新技术应用不多等等。

究其原因，是我国在经济建设的指导思想上一直存在着重视工业、轻视交通的偏向。在运输结构内部则是重铁路忽视公路。公路的优势得不到充分发挥，而铁路长期孤军奋战，其长途运输的优势同样无法充分发挥。

从根本上说，商品经济不发达，造成对公路运输的需求不迫切，这是我国公路运输落后的主要原因。

当前一场新的技术革命正在世界范围内兴起，新技术特别是电子计算机的广泛应用，更给公路运输业注入了新的活力。公路运输的情报、科研、教育、设计、生产、施工、组织与管理等各个部门都在发生着深刻的变化。在新的挑战面前，认真研究和分析我国公路交通的现状，找出与先进国家之间的差距，制订出适合我国国情的策略，从而迅速改变落后的面貌，迎头赶上，是迫切需要的。

按照中国科协的布置，由刘以成同志总负责，我们组织了中国公路学会道路、桥梁、汽车运输、筑路机械和交通工程五个二级学会的一些专家、研究人员和技术人员对国内外公路交通的水平及我国的差距作了论述，有的还对2000年的发展水平作了展望，并提出了相应的对策。

(陈晓东 执笔)

目 录

前 言	陈晓东 (I)
国内外道路工程的发展与我国的对策	曲锦桂 (1)
我国公路桥梁建设发展概况与展望	周上君 戴 竞 (7)
国内外汽车运输	王 雷 (18)
一、国内外公路运输水平与我国的差距概述	杨守立 (18)
二、2000年的公路货物运输	翁 奎 (23)
三、2000年的中国公路旅客运输	赵永铮 (25)
四、节约汽车燃油的有关政策	杨守立 (31)
五、汽车保险业今后的发展设想	杨守立 (36)
六、关于建立我国汽车货运企业计算机管理系统的设想	尚留占 (39)
国内外筑路机械行业的现状和展望	董鸿达 卢寿国 (44)
交通工程学在国内外的发展与我国的对策	陈 森 (52)

国内外道路工程的发展与我国的对策

曲 锦 桂

一、国内外水平与差距

1949年建国前夕,我国公路总里程只有8万公里。建国后对恢复公路交通和建设做了很多工作,在1950~1952年国民经济恢复时期,主要进行了公路全面恢复通车工作,并对重要的主干线进行重点整修,从1953年开始有计划地开始建设干线公路,特别是对边远地区的开发和与巩固国防有重要意义的川藏、青藏、新藏公路和云南、海南岛、闽浙等省区干线公路大力修建,同时大力改善土路,加强路面养护,使路面技术状况进一步得到改善。1958年以后,由于全国广大农村形势的迅速发展,大量修建了县社道路,我国地方道路有了很大的发展。特别是1964年以后由于渣油表面处治技术的试验成功并大力推广,干线公路加铺了黑色路面,使我国公路路面技术状况有了显著提高。随着公路黑色路面里程的迅速增加,到1983年已近18万公里,大大改善了我国公路通行能力。另外,在公路勘测、设计、施工、养护管理方面,也制订了有关的技术标准、规范、管理办法,对公路工程技术监理、工程检查验收、路政管理、材料试验规程、路况登记等等建立了一系列的技术管理的规章制度,使我国公路建设的质量有所提高。现在我国公路总里程已达90多万公里,高级、次高级路面(包括沥青路面和水泥混凝土路面)已近18万公里,碎石路面24.7万公里,简易路面26.4万公里。路线技术标准比建国前有了很大提高。一、二级公路已达1.4万公里,三级公路11万公里,四级公路41万公里。虽然我国建国35年来在公路建设上取得了很大进展,但与世界公路先进国家相比差距很大,主要差距如下:

1、数量少。当前世界工业发达国家,大多均已实现了公路现代化。而其现代化的首要标志就是建成一个具有一定数量的完善的公路网,以保证公路汽车运输畅通无阻。兹

表 1

几个工业发达国家的公路情况

国家	公路总里程 (公里)	高速公路 (公里)	主要道路 或国道 (公里)	路面铺装率 (%)	公 路 密 度	
					公里 / 平方公里	公里/万人
美国	6,365,591	88,641	766,946	82.0	0.68	279.6
英国	352,283	2,573	12,462	96.4	1.45	63.2
法国	802,964	5,264	27,700	95	1.46	149.5
西德	485,392	7,538	32,558	99	1.95	81.7
日本	1,118,008	2,860	40,381	45.9	2.99	95.3
苏联	1,426,700			69.0	0.06	50.7

列举几个工业发达国家1980年的公路基本情况于表1。

从表1数字看,美国是世界上公路里程最多、高速公路也最多的国家。但按公路密度比,则欧洲及日本又高于美国,这主要是国土面积大小与人口密度不同所致。因此,应根据本国不同情况,参照两个数据进行比较,以保证公路汽车运输畅通无阻为原则。对比国外,我国无论总里程,还是公路密度都相差甚远。我国目前还有许多乡、队不能通公路,已有的公路也不能保证畅通。这对我国国民经济发展交通量迅速增长的实际需要是极不适应的。

2、标准低。国外公路现代化的另一标志就是在整个公路网中要有一个以高速公路及高等级公路为骨干、联通主要城市的干线公路网。表1所列各工业发达国家的公路总里程均为等级以内的公路,其干线公路的比例,亦均远高于我国。我国现有91.5万公里公路中,高速公路一公里也没有,还有近40万公里的等外公路,在50多万公里的等级公路中,许多已超过其设计通行能力,以致交通堵塞、阻车严重,事故率高,不能充分发挥汽车的运输效率。

3、质量差。现代化的公路必须保证优质服务于汽车运输,因此,除保证足够的数量和一定的标准外,还要保证一定的质量。美国600多万公里的公路中,高级、次高级路面约有300万公里,铺面率达82%;欧洲的铺面率高达95%以上。日本起步较晚,但五十年代后期即开始迅速发展,目前在密度上已居世界前列,正在努力提高质量。苏联起步更晚。但他们的沥青混凝土和水泥混凝土路面里程从1970年的18万公里(日本)和20万公里(苏联)都迅速增长到1980年的50万公里以上,平均每年增加三万公里以上。我国现有公路中仅有18万公里渣油表面处治路面。近年来,每年仅增加五千公里,且这些路面大部分没有经过正式基建投资修建,而是在多年养护形成的底层上,未经补强即加铺2.5Cm表处而形成的,对目前迅速增长的交通量及汽车吨位的增长是极不适应的,且其中60%以上早已超期服役,因此目前大部分已开始损坏。另外,由于缺乏投资,未能按规定进行建设,许多公路缺乏排水系统,路基病害严重,对比国外的公路质量差距更大。

4、缺乏交通工程设施。多年来由于缺乏投资,有些路线连起码的标志牌都留交养路部门去做,因此严重地影响了公路的通行能力(这方面在交通工程部分中详述)。

5、混合交通。国外各工业发达国家的运输工具已基本实现机动化,而我国则存在着大量非机动车与现代化的汽车混合行驶。在超过一定的交通量时,即严重地影响公路的通行能力,使汽车当牛车走,不能发挥汽车的经济效益。

6、养护管理技术落后。国外七十年代以来,法、英、美、日等许多工业发达国家,均先后建立了比较先进的完善的“路面质量评价系统”,采用高效率、自动记录的各种检测设备,定期采集规定的路面性能的有关数据(各国规定的项目和指标不同),输入计算机,提出相应的维修养护方案据以及时进行维修养护。而我国的道路维修养护技术十分落后,基本是手工操作,平均每公里路需一个人(国外每人养护数十公里)。尤其是在评价系统方面还是空白,不能对现有公路采用现代化的科学手段及时进行检测,早期发现问题,及时进行养护,而是等到路面遭到破坏,甚至严重破坏,再去补修甚至翻修,如能及时检测维修,在原有路面未破坏以前加以补强,则将大大节约维修养护费用。

综上所述,我国公路现有技术状况十分落后,与国外差距很大,这是我国公路汽车运输效率低、成本高、能耗大的重要原因之一。目前我国干线公路上汽车平均车速每小时仅30多公里(国外80~90公里/小时),车吨年产量仅39000吨公里(美国15万吨公里),油耗8.5升/百吨公里。尤其是占我国汽车保有量88%的社会车辆其效率更低。因此,每年造成的浪费是十分惊人的。

二、2000年发展的预测

党的十二大提出本世纪末工农业总产值翻两番的目标,根据各方面专家的预测,各种运输方式承担的总运量将低于工农业总产值的增长速度,但公路运输的客货运量则相反。因为随着我国经济与社会的发展,对内搞活,对外开放,以及对农村和城市的经济管理体制的改革的进行等,我国工农业的结构和分布将有一个较大的变化,商品经济将有一个飞跃的发展,从而促使我国工农业生产更加社会化和专业化,人民的物质和文化生活亦将得到较大的提高。与此同时随着以大、中城市为中心的各种经济区的建立和发展,将逐步形成具有我国特色的城乡结合发展的经济模式。它将使相邻的大、中城市之间,城镇城乡之间的经济联系和人民交往更加密切。以上这些变化,不仅对公路交通的需求大大增加,而且对公路运输的质量,特别是送达速度的要求也将日益提高。因此我们认为公路运输的客货运量的增长速度均将高于工农业总产值的增长速度。即弹性系数大于1。按此公路运量预测的增长速度,公路上交通量的平均年增长率将达6%以上,其中干线公路将达7~10%,县社公路为3~6%,为适应如此迅速增长的交通量,提出2000年公路建设的规划设想如下:

1、到2000年全国公路通车里程达120~150万公里,其中高速公路1000公里,一、二级公路6万公里,县以上公路消灭等外路,形成一个以经济区划为中心,以干线公路为骨干,城乡沟通,布局合理,并能与其他运输方式密切衔接的综合运输网。这些公路的建设方针是:

①按交通量增长的需要,首先改造目前交通量大的卡脖子路段和交通拥挤路段。对平均日汽车交通量达一万辆以上的路段应修筑高速公路。

②接通国道干线的四千多公里断头路,以充分发挥这些线路的作用。

③有重点地建设与铁路分流、疏港、重要物资运输、能源资源开发地区、边远地区以及与国防战略有关的干线公路。

④建设慢车道,解决混合交通问题。

我国当前公路交通的一个严重问题是混合交通。汽车、拖拉机、人力车、兽力车、自行车等在公路上混杂行驶。据广西等14个省、市、自治区28个连续式交通量观测站的观测资料的统计结果,汽车交通量只占混合交通量的32.3%,而慢车交通量却占67.7%。这说明我国公路上慢行车不但普遍存在,而且在交通量中所占比重还相当大。预计到2000年前我国公路上的混合交通状况还会存在。由于公路上交通流中的快车与慢车的速度相差悬殊,产生纵向干扰,这是造成我国公路交通运行质量低,运输成本高,事故多的主要原因。因此,解决混合交通问题是我国目前公路交通中一个十分重要的问题。但采取

单纯按快车道标准加宽为一块板的办法, 既不能很好解决混合交通问题, 又十分浪费。应采取建设慢车道的办法, 与快车道分道行驶, 这些慢车道可按轻交通量进行建设, 这样既可节约投资, 又可达到分道行驶, 以解决混合交通问题。

2、到2000年全国将新建沥青路面31万公里, 改建6.3万公里, 大修14.1万公里。届时我国高级、次高级路面将达到68万多公里。这些沥青路面将有足够的强度, 良好的平整度和防滑能力, 以适应2000年交通量及重型车辆增长的需要, 为国民经济的发展, 人民生活水平的提高, 提供良好的公路交通条件。

前述我国公路铺面率较低, 且已铺路面中高级、次高级路面也很少, 因此大力加强现有公路路面的技术改造是非常需要的。根据论证, 砂石路面的混合交通量为200~360辆/日或汽车交通量为125~250辆/日时, 即应改建为沥青表面处治路面。但考虑到我国资金及沥青材料均比较困难, 因此, 建议当砂石路面的混合交通量达到500辆/日(相当于汽车交通量250~300辆/日)时, 改建为沥青表面处治路面, 其投资五年左右即可收回。据此提出上述2000年路面改造的设想, 其分期计划如表2。

表 2 路面改造分期计划设想

	新建沥青路面 (公 里)	改建沥青路面 (公 里)	大修沥青路面 (公 里)	改造总里程 (公里)
“六五”计划	15,000	4,000	36,000	55,000
“七五”计划	50,000	4,000	37,000	91,000
“八五”计划	100,000	28,000	38,000	166,000
“九五”计划	145,000	27,000	30,000	202,000
合 计	310,000	63,000	141,000	514,000

表 3 路面技术改造所需要的资金和沥青

	所需投资 (亿元)	所需沥青 (万吨)
“六五”计划	28	383.1
“七五”计划	57.8	591.9
“八五”计划	89.5	937.9
“九五”计划	119.2	1,215.2
合 计	294.5	3,128.1

表4所列数字只包括到2000年前的经济效益的结果, 如按沥青路面全部使用期内的经济效益计划(因为在2000年后还有若干年的沥青路面使用期, 这些使用期内的经济效益未包括在表4)则共可节约运输成本347.9万元, 汽油4406.1万吨, 与所需投资金额和沥青数量相比, 则投资的收益成本比为1.18, 沥青的收益成本比为1.41。

3、到2000年县以上公路均应按不同等级公路的要求, 建立完善的交通工程设施。在我国现有公路技术改造中, 采取交通工程措施, 进行综合治理, 也是在一定限度内提高道路通行能力的最经济有效的措施(这一方面在交通工程部分详述)。

表 4

路面技术改造后的经济效益估算

	节约运输成本 (亿元)	节约汽油 (万吨)
“六五”计划期内	39.26	427.8
“七五”计划期内	66.82	694.6
“八五”计划期内	57.17	495
“九五”计划期内	14.25	145.8
合 计	177.50	1,763.2

4、建立完善的道路评价管理系统,以保证道路的好路率,到2000年拟建成“国家—省、市—基层(养路总段)”三级数据库,实行分级管理,并据以提出逐年维修养护方案。

三、对 策

1. 资金来源

1964年以来,由于国家对公路重视不够,公路建设不再由国家投资,以致多年来造成不得不把养路费的一部分挪作新建公路和大修、改建之用,导致以修挤养的困难局面。顾名思义,养路费是用来养路的,而不是用以进行公路的新建、改建和大修工程的。因此这是极不合理的现象,必须改变。事实上,前述公路技术状况的改善可大大节约运输成本和能源,其投资可以在短期内得到偿还。但是这些收益未能返回公路建设部门而是归用路者所得,还有一些计算不出的社会效益,因而产生一种公路建设只消耗不生产的错觉。根据公路受益者出资修路的原则,应该从车主在收益中拿出一部分作为改建与新建的基金,这是公平合理的。为此,我们建议凡拥有汽车的单位按其每月大体运行的里程(对非营业车辆)或营业额(对营业车辆),根据其使用性质征收费率不同的公路建设税,由交通部门掌握使用,作为新建、改建和大修的资金。这种税收对于营业车辆属于利改税的一种方式,对非营业车辆属于车主用路应付的代价。这样一来既可减轻国家投资负担,同时也是用路者应承担的义务。这种税收用于:①干线公路建设;②地方道路以民办公助为主,由地方集资并由交通部门在税收中补助一部分;③重要经济路线的高级公路(包括高速公路)仍应由国家投资(全部或部分吸收外资或侨资)。

2. 沥青材料必须解决

①由国家增加道路沥青的产量。早在1962年中国科学院综合考察委员会报告中就已指出:“作为公路材料使用,渣油的经济效果为330元/吨,作为化工材料使用为87~258元/吨,在冶金部门使用为67~178元/吨,其它部分作为燃料使用为0.3~19.8元/吨”。因此,把现在我国每年用作燃料油的渣油和原油三千多万吨适当压缩,改作生产合格的道路沥青150—200万吨是合理的,也是可能的。

②道路沥青的生产和分配应列入国家产品的生产和分配计划,根据建设规模和发展速度,规定相应的道路沥青产量指标,保证供应。

③合理利用石油资源。我国孤岛、高升等地石油适合于炼制石油沥青。但由于稠度大，运输困难，常被用作燃油烧掉，十分可惜，这是很不合理的。另外各炼油厂的丙烷脱蜡装置尚未充分利用，还可以挖掘潜力，增加丙烷脱蜡沥青的产量。因此如能合理利用孤岛、高升等原油，并充分利用各炼油厂的丙烷脱蜡装置就可以不增加或只增加少量设施，增产足够数量的道路石油沥青，满足公路建设对沥青的需要。

④合理调整道路石油沥青价格。目前沥青的国家牌价偏低，有的炼油厂增产沥青后全厂的利润下降，因而影响增产沥青的积极性。建议国家在统筹安排下，本着优质优价的原则，适当调整沥青的国家牌价，以鼓励增产道路石油沥青。但提价幅度不宜过大。如提价过大，则公路部门无力负担，势必缩减公路建设里程，降低公路路面技术改造速度，这对整个国民经济的发展也是十分不利的。

3. 引进道路评价管理系统。我国过去的公路养护工作是依靠养路人员的经验，对视察到的病害采取处治方法，缺乏科学的量测手段、数据和需要采取养护措施的技术指标。这样养护人员就不可能及时准确地全面地掌握路面的技术状况，特别是对一些整体结构性能差，表面上未反映出有明显症状的一些潜伏病害，就往往被忽略，而不能预先或及时采取合理的经济的养护措施，把养护工作的经济效益提高到最大限度，保证对养护资金的最合理使用。因此需要有一个完善的科学的路面质量评价系统。对此，我国尚属空白，特别是有关设备我国均无生产。因此，亟待引进国外这套技术及设备，再根据我国情况制定我们自己的路面质量评价技术指标和合理的养护措施等软件程序，建立数据库，以提高我国公路养护管理工作的科技水平。

4. 加强科技工作与人才培养

长期以来，人们对公路工程的科技工作更不重视，认为修建公路没有什么技术。事实并非如此，截至七十年代为止，我们只不过积累了一些修建低等级公路的技术经验，到八十年代初我们开始修建一、二级公路就产生了一系列技术问题，开始时造成了不少的设计、施工的质量事故，因此，对高等级公路的建设技术，还有许多需要我们进行科学研究加以解决，例如：高速公路的建设技术、技术标准、半刚性路面结构、如何保证路基稳定、路面抗滑等等。特别是我们过去对工程经济及质量管理重视不够，今后大量修建高等级公路，对此亦应加强研究。但是目前我们的科技力量及设备是十分不足和落后的。因此建议：

- ①引进国外技术及设备尽快充实建立公路科学技术发展中心。
- ②加速扩大培养科技人材（目前我们有些基层单位连一个大学生也没有）。
- ③加强在职科技人员的继续工程教育，出国培训以更新知识，掌握国外先进技术。

我国公路桥梁建设发展概况与展望

负责人 周上君

执笔 戴 竞

世界各国公路交通运输在国民经济中占有重要地位。桥梁是公路的重要组成部分，在高速公路发展的现代，对桥梁的适用、经济、美观要求更高。我国自建国以来，桥梁建设进展迅速，至1983年底，全国公路915,000公里，其中有桥梁138,480座，总长达3,993,000延米。我国贯彻因地制宜、就地取材的方针，技术上发扬我国优良传统与吸取国外先进经验相结合，桥梁建设得以蓬勃发展，在交通运输方面，取得了良好的效益。

一、桥梁建设发展的国内现状

(一) 桥型结构

1. 拱桥

拱桥建筑在我国历史悠久，公元600至610年间修建的赵州石拱桥，至今闻名于世，体现了我国劳动人民的智慧。1959年建成的湖南黄虎港桥，跨径60米，是石拱桥向大跨径迈进的里程碑。1961年建成的云南南盘江桥，跨径112.5米。1971年四川修建的丰都九溪沟桥，跨径116米，是目前世界跨径最大的石拱桥。

为了节省支架的工料，采用以预制混凝土块为砌体，沿拱的中轴线砌筑二条拱肋作为支架，然后横向对称悬臂砌筑拱圈其余部分，称为悬砌拱。广东省1972年建成的东江大桥，为6孔50米混凝土空心预制块悬砌拱桥。

石拱桥开琢石料，费工甚巨，支架用料又多。为了节约人工材料，江苏无锡建桥工人，利用古代修建拱形建筑方法，在1964年新创双曲拱桥型式，以少筋混凝土为砌筑材料，外型美观，节省大量工料，不但国内大量采用，亦深为国际桥梁工程界所赞美。1969年建成的河南前河桥，跨径150米，是现今我国最大跨径双曲拱桥。1972年建成的长沙湘江桥，主跨76米，桥长1,250米，是现今最长的双曲拱桥。双曲拱桥出现裂缝问题，其原因有二：（1）双曲拱是组合结构，连系不坚强，容易出现裂缝。（2）混凝土内构造钢筋过少，受温度和其他外力影响，势必出现裂缝。如设计与施工加以重视，放置足够的构造钢筋，可以防止发生的缺陷。

为了使拱桥结构轻型化和加速施工进度起见，我们建造了多座装配式钢筋混凝土肋拱桥。1961年建成的湖南湘潭桥，为8孔60米肋拱桥，全长605米。1964年建成的江西赣州桥，为9孔60米肋拱，全长687米。此种桥梁技术较先进，曾在国际上交流。

大跨径拱桥大多采用箱型结构，因其受力性能良好，材料强度可充分发挥，有优质

经济的效果。大跨径拱桥的施工方法,常用者有以下数种:

(1) 支架浇筑

1972年建成的四川渡口6号桥,是主跨146米的钢筋混凝土箱型拱桥。采用钢拱架施工,拱圈底板与拱架共同作用,承担下阶段浇筑的腹板与顶板的恒载,使拱架节省50%的钢材。1982年建成的四川渡口7号桥,跨径170米,为我国跨径最大的钢筋混凝土箱型拱桥,其施工方法与6号桥相同。

1982年建成的辽宁丹东沙河口桥,为主跨156米中承式钢筋混凝土拱桥,有两片变截面箱型肋。用半刚性钢骨架作为支架,施工时籍以承担浇筑混凝土的重量与施工荷载,完成后作为箱肋的骨架。

(2) 缆索吊装

1970年以后,大跨径拱桥有些采用塔架缆索吊装施工。1979年建成的四川宜宾金沙江桥,为主跨150米钢筋混凝土箱型拱,即用缆索吊装施工。

(3) 悬臂施工

在国外悬臂施工法已应用于建造大跨径拱桥,1979年浙江嵊县修建两孔92米箱形拱桥,引进国外先进技术,采用钢桁架悬臂拼装法施工。

(4) 转体施工

转体施工法用于拱桥;首创于我国。1976年,四川用此法建成跨径70米钢筋混凝土肋拱桥。贵州在1980年建成跨径90米双曲拱桥。所用材料设备较少,深受国内外桥梁工程界的重视。

2. 钢筋混凝土梁桥

50年代初期钢筋混凝土梁桥多为设支架就地浇筑,结构型式小跨径为板桥,中等跨径为T梁桥,较大跨径为悬臂梁桥。50年代中期,采用工厂预制、工地安装的工艺,对节省材料、提高质量、加速进度起了重大作用。装配式T梁有标准设计图,跨径自10米至20米,全国应用甚广。1969年建成的广西南宁邕江桥,主跨55米,全长395米,是我国最大跨径钢筋混凝土悬臂梁桥。

江苏无锡县于1977年建成锡航桥,跨径50米,为钢筋混凝土多斜撑刚构桥,称为刚架拱。全桥大部分为压弯构件,无拉杆,适应混凝土结构抗压能力强的性能,以节省钢材。最近跨径发展至100米,正在修建中。

3. 预应力混凝土梁桥

预应力混凝土桥具有经济、适用、耐久、美观的优点,世界各国广泛采用。近十多年来我国主要公路上的大中型桥,有70%以上建造预应力混凝土桥,也是今后我国公路桥梁的发展方向。

1975年河南建成的洛阳黄河桥,是67孔50米跨径的预应力混凝土简支梁桥,总长3,429米,是当前我国预应力简支梁桥最长、跨径最大的桥梁。郑州新建黄河公路桥,主跨为70孔50米简支梁桥,总长5549.86米,现正在施工中。

预应力混凝土T型刚构桥适用于悬臂施工法。施工阶段与运营阶段的受力图式基本相同,能充分发挥材料的性能,因而跨径得以增大。建成的重庆长江桥,跨径为86.50+4×138+156+174+104.5米,总长1073米。跨中挂孔长35米。桥面宽21米,由双箱组

成。桥墩高48至62米。基础为钢筋混凝土沉井与大直径钻孔灌注桩。1982年建成四川泸州长江桥，跨径为 $105+3\times 170+105$ 米，全长720米。挂孔40米。桥宽16米，由单箱组成。桥墩为钢筋混凝土箱型空心墩，高50米。基础为直径2.3米钻孔灌注桩，水深10.8米，流速达4.7米/秒，施工甚困难。以上二桥，均为我国著名预应力混凝土T型刚构桥。

我国尚建造多座桁架式预应力混凝土T型刚构桥，自重较轻，节省材料，但施工较复杂。湖北黄陵矶桥，总长196米，跨径为 $53+90+53$ 米，即属于此种结构型式。

T型刚构桥存在的主重问题是中央剪力铰因徐变影响，两侧发生桥面高差，难以调整。如采用挂梁，则桥面出现折线，有碍行车。桥墩基础承受较大弯矩，因而增加了造价，近年较少采用。

预应力混凝土连续梁桥具有跨越能力大、施工方法灵活、结构刚度大、抗震能力强、行车顺适、外型美观等优点，各国公路桥梁广泛采用此种型式。连续梁的施工方法，常用者有四种：（1）预制构件，运工地安装；（2）悬臂浇筑或预制安装；（3）逐孔施工；（4）逐段浇筑顶推。其中以悬臂施工法应用最广。

河北省于1978年建成滦河新桥，在强烈地震区，全桥24孔，跨径40米，以四孔为一联，总长929米，T型梁先预制，运工地安装，在桥墩上用预应力后装法连成整体。全桥为漂浮体系，设盆式橡胶支座，减少地震的破坏作用。

河北省洛河桥，于1977年建成，跨径45米，是预应力混凝土连续梁桥采用悬臂施工法的开端。接着用悬臂拼装法于1979年建成兰州黄河桥，主跨为70米。湖北沙洋汉江桥，主跨111米；哈尔滨松花江桥，主跨90米；湖南常德沅江桥，主跨120米，均为悬臂施工的预应力混凝土连续梁桥。

包头黄河桥于1983年建成，为12孔65米连续梁桥，分为三联，每联4孔，全长810米，施工采用分段顶推法，兼有现浇与预制的优点，结构整体性好，施工设备简单，能保证质量。

广州市正在修建跨越珠江的洛溪桥，采用预应力混凝土连续刚构，梁与桥墩固结，主桥4跨相连，最大跨径180米。建成后将为目前我国最大跨径预应力混凝土梁桥。

4. 预应力混凝土斜张桥

斜张桥是近十余年发展的新桥型，具有刚度大、动力性能好、施工方便、造价经济、外型美观的优点，是大跨径桥梁合理型式之一。近几年来，我国在预应力混凝土斜张桥方面有较大发展。自1975年建成四川云阳试验桥后，相继建造11座斜张桥，其中3座跨径超过200米。济南黄河桥于1981年建成，主跨220米，总长488米。天津永定新河斜张桥主跨260米，现正在施工中。

5. 钢桥

钢材用于重要工业建设与铁路桥梁，而公路桥梁应用较少。但大跨径桥梁与边远地区桥梁亦有采用钢桥，其结构型式有梁、桁架、拱、悬索桥等。

山东平阴黄河桥于1970年建成，为六跨二联连续钢桁架，每联为 $96+112+96$ 米，全长964米。北镇黄河桥于1972年建成，为四孔112米连续钢桁架，全长1391米。二者为我国目前跨径最大钢桁架桥。

钢拱桥适用于跨越大河及深谷。1966年建成的四川渡口2号桥,是跨径180米箱型钢拱桥,拱圈由两个分离箱组成。拱上立柱最高为20米,中间不设横撑。渡口3号桥,是跨径180米钢桁拱,于1970年建成,二者是我国目前跨径最大的拱桥。

1955年建成的武汉江汉桥,为柔性拱刚性梁组合结构,主跨88米,材料较省,外型美观。

我国建造中等跨径公路钢悬索桥,历史较早,至今已建47座,有造价经济、施工简便的优点。四川重庆朝阳桥,于1969年建成,跨径186米,为双链式钢悬索桥。1984年西藏建成达孜悬索桥,跨径达400米。

(二) 基础工程

桥梁基础工程我国采用桩、沉井、钻孔灌注桩、管柱等,以钻孔灌注桩应用最广。

基础打入桩大部分为55厘米径钢筋混凝土空心管桩,在工厂用离心机制造,以射水沉桩法深入河床土层中,亦有用1.2米径钢管桩,藉震动打桩机打入土层中。

1963年在河南省采用农村打井工具“火箭锥”钻桥梁基础桩孔,就地灌注钢筋混凝土桩,称为钻孔灌注桩。由于工具简单,用人工卷扬机操作,很快推广至全国各地,为群众所采用。其后发展用钻机钻孔,桩的直径与长度增大,如郑州黄河桥基桩直径为2.2米,山东北镇桥桩长达107米。

福建乌龙江桥水深流急,基础采用1.55米直径管柱,用震动打桩机打入河床土层中,在管内钻孔,再浇灌混凝土。

沉井适用于河床下30米以内可达较硬地层。冲刷较深的桥梁基础工程,施工方法有筑岛与浮运两种。在通航河道中,采用浮运沉井较有利,以双层钢壳空间填充混凝土制成。筑岛沉井采用气幕法施工,外壁设置竖管及横向环形管,以压缩空气向壁外喷射,使沉井周围土层液化,以加速下沉。如沙洋汉江桥主航道两边两个沉井为钢壳浮运沉井。其余五个为筑岛混凝土空心沉井,呈椭圆形,宽8.6米,长12米,高32米。

(三) 建筑材料

1. 混凝土 钢筋混凝土桥混凝土的抗压极限强度为 $250\text{kg}/\text{cm}^2$,预应力混凝土桥混凝土的抗压极限强度为 $450\text{kg}/\text{cm}^2$ 。

2. 钢材 普通钢筋用16锰钢,抗拉极限强度为 $5,200\text{kg}/\text{cm}^2$,屈服强度为 $3,400\text{kg}/\text{cm}^2$ 。预应力钢丝与钢绞线抗拉极限强度为 $16,000\text{kg}/\text{cm}^2$ 。预应力钢筋用44锰2硅钢,抗拉极限强度为 $7500\text{kg}/\text{cm}^2$ 。

钢桥用16锰钢,屈服强度为 $3,400\text{kg}/\text{cm}^2$,用厚钢板自动焊成规定截面型式如箱型、工型等。部分桥面,用焊成的正交异性板。构件的拼接采用40硼钢制成的高强螺栓,抗拉极限强度为 $12,000\text{kg}/\text{cm}^2$ 。

3. 锚具 预应力混凝土桥的钢束锚具,有弗氏锚、敦头锚、冷铸锚等。预应力钢束的张拉力可达200吨。

4. 支座 公路桥梁现普遍采用橡胶支座,盆式橡胶支座的支承力可达2,000吨。

(四) 设计理论与科学研究

1. 理论研究

桥梁设计理论多年来采用容许应力法,偏于保守。近年对荷载系数、材料匀质系数

等进行分析研究,并测定旧桥承载能力,编制极限状态理论的设计规范。预应力混凝土桥亦采用部分预应力设计理论。

2. 基本数据研究

桥梁基本数据研究工作进行较少,主要有:(1)桩的垂直水平荷载试验;(2)地基锚碇锚固力;(3)钢材焊接性能与高强螺栓摩阻系数;(4)预应力锚具强度,钢丝的松弛与摩阻系数;(5)橡胶支座的承载力;(6)混凝土的收缩与徐变;(7)桥墩的冲刷系数。

3. 模型试验

模型试验工作,主要有:(1)斜张桥风洞试验;(2)桥梁抗震试验;(3)双曲拱桥内力测定;(4)箱梁与正交异性板应力测定;(5)部分预应力构件裂缝的测定;(6)桥墩冲刷深度。

4. 建成桥梁的实地试验

建成桥梁的现场试验,主要有:(1)双曲拱桁架拱、刚架拱箱型梁等应力测定;(2)装配式钢桥荷载分布测定;(3)梁桥地震反应;(4)钢拱桥震动;(5)高强粗钢筋预应力混凝土桥的应力测定;(6)玻璃钢桥应力与挠度测定。

(五) 电子计算机应用

我国公路桥梁设计现已广泛采用电子计算机,有各种专用程序。“公路桥梁上部构造综合程序”功能较大:(1)可用于各种材料的结构;(2)结构体系可分阶段形成;(3)在体系形成的各阶段,考虑了各种荷载的影响,并考虑使用阶段的荷载;(4)活载产生的最大最小内力和位移;(5)根据荷载的组合要求,对各截面的内力进行组合。

大型复杂桥梁采用空间结构程序,优化设计程序,亦在编制中。最近从美国引进电算辅助设计程序(CAD),称为CANDID程序,能自动设计与绘制施工图。

二、国外公路桥梁建设概况

欧、美、日本等国,公路四通八达,高速公路密布于主要干线,所建桥梁标准较高。在跨越海湾深谷地区,桥梁跨径超过1,000米,桥长达十余公里,工程浩大,桥梁除能适应高速密集的运输外,美观方面极为重视,需反映建筑艺术的特点。

(一) 桥型结构

1. 悬索桥

悬索桥具有材料省、施工便利、外型美观的优点,是特大跨径桥梁的主要型式。美国以建造悬索桥闻名于世,金门大桥主跨1,280米,型式优美,至今冠于世界。英国于1981年建成Humber桥,主跨1410米,是当前世界跨径最大的悬索桥,吊索布置成三角形,加劲梁为流线型钢箱,以提高抗风稳定性,并节省钢材。

2. 斜张桥

近几年来各国修建较多的斜张桥。认为跨径在800米以内的公路桥,以斜张桥为经济合理。斜张桥桥面系采用钢结构、预应力混凝土结构、钢与混凝土组合结构三种。组合结构能充分发挥材料性能,优点甚多,大跨径桥采用组合结构较多。

法国1977年建成的Brotonne桥,主跨320米。美国1978年建成的Pasco Kennewick桥,主跨300米。西班牙1983年建成的Barrios De Lu桥,主跨440米。以上三座是有名的预应力混凝土斜张桥。

印度加尔各答Hooghly桥,主跨为457米。加拿大Annacis岛桥,主跨485米,均系钢梁与钢筋混凝土桥面组合结构斜张桥,二者尚在施工中。

法国1975年建成Saint Nazaire钢斜张桥,桥径404米,使用情况良好。

3. 拱桥

大河深谷,地质较好,在国外常修建拱桥,外型甚为美观,且造价经济。大跨径拱桥,为了减轻自重,便利施工起见,采用钢拱桥结构。1931年澳大利亚建成悉尼港钢拱桥,首创503米跨径的纪录。1977年美国Virginia峡谷用全候钢建成跨径519米钢桁拱,是现今世界跨径最大的钢拱桥。

钢筋混凝土拱桥承载能力大,耐久性好,易于养护,具有悠久的历史,至今各国仍广泛采用。1943年瑞典建造Sando桥,跨径已达264米。1964年澳大利亚建成Gladesville桥,跨径达305米。为了节省支架的人工材料,国外采用悬臂施工法,造价大为降低。1980年南斯拉夫建成Krk桥,主桥两孔为390米与244米,长1309.5米,是目前世界跨径最大的钢筋混凝土拱桥。

4. 钢桁架桥

钢桁架桥很早用于桥梁结构,是较陈旧的型式,因其所需人工材料多,养护费用大,外型欠美观,今已逐渐少用。简支钢桁架桥,桥径一般不超过200米,悬臂桁架桥的跨径可以增大。加拿大Quebec桥,为跨径549米悬臂钢桁架桥,至今尚未为其它悬臂桥超过。1979年日本建成大坂Minato桥,跨径为510米。

5. 钢梁桥

近年来由于高强厚钢板,高强螺栓的推广应用,正交异性板的发展,焊接安装工艺的提高,钢桁架桥梁逐渐被钢梁桥所代替。大跨径桥多数采用箱型梁,桥面为钢正交异性板,可节省大量钢材。巴西1979年建成的Costa e Silva桥,是300米跨径钢箱梁桥,属于世界跨径最大的钢梁桥。

6. 预应力混凝土梁桥

预应力混凝土桥在30年代由法国与德国首创,至今普及于全世界,而以西欧诸国建造数量最多,占他们国家桥梁每年修建数量的80%。美国在50代建造预应力梁桥数量增多,加利福尼亚占每年建桥数的61%。

桥梁的跨径是桥梁技术发展的重要标志,简支预应力梁桥美国Mazama桥,跨径为65.25米,奥地利1977年建成的A/m桥,跨径为76米。

大跨径预应力混凝土梁桥,多数为连续结构。1953年至1954年间,西德建成主跨为114.20米Worms桥和主跨122.85米Koblenz桥,为预应力T型刚构桥的创始。其后,跨径更为增大,1964年建成西德Bendorf桥,主跨为208米。1976年日本建成浜名桥,主跨为240米。1977年美国建成太平洋托管地Koror-Babelthuap岛桥,主跨为241米,均为跨中带铰T型刚构桥。

其后T型刚构发展为连续梁桥,采用同样的悬臂施工法。法国Seine河上的Genne-