

桥梁钢结构体系及施工技术 (二)

邱式中

(续接上期)

3) 中承式拱桥

通道或系杆位于拱之中间称为中承式拱桥。中承式拱桥即可为推力拱桥也可为无推力拱桥。如主跨504米的悉尼拱桥为中承式桁式系杆拱桥,又如正在建设中的卢浦大桥为主跨550米的中承式肋拱式系杆拱桥。图14为英国麦塞河上跨径330米的中承式桁架拱桥。

4) 钢管拱桥

我国近些年来大跨径钢管混凝土拱桥发展十分迅速,这主要是充分发挥了钢管强度和韧性,尤其钢管重量轻便于安装成为一大特色,许多桥都是一次吊装就位,而钢管与混凝土的箍牢作用又大大提高了承压能力。据不完全统计,在山区承建的下承式推力拱桥已达70座有余,在平原地区的自锚式非推力拱下承式或中承式系杆拱桥也有

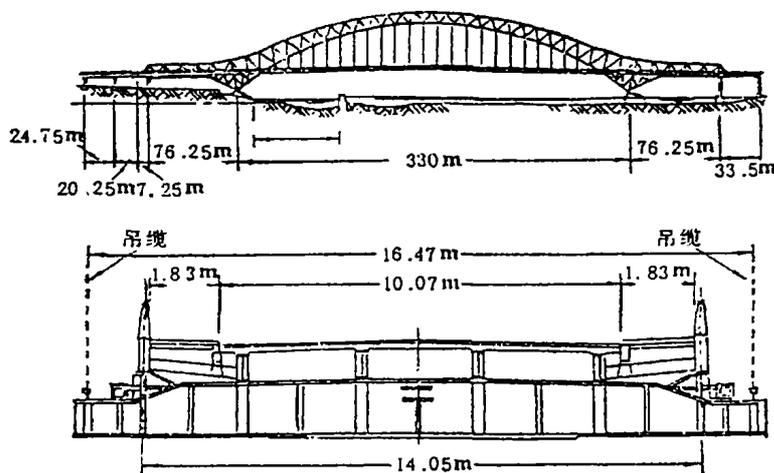


图 14 麦塞河上的桁架式中承式拱桥

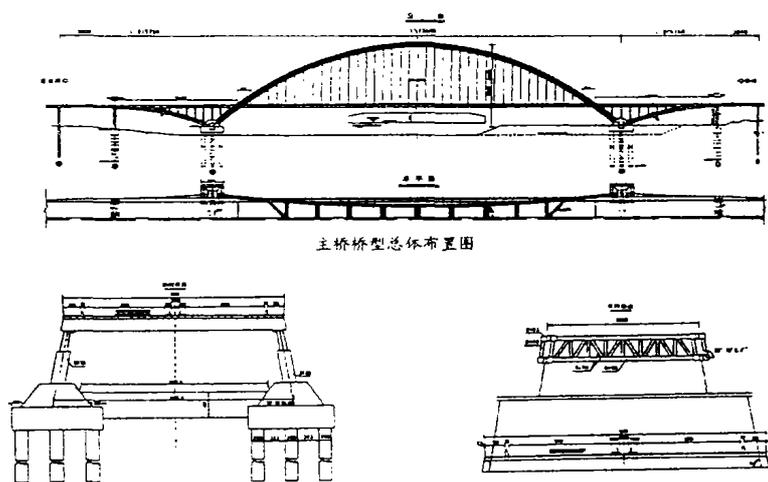


图 15 主跨 235 米的江苏邳州市京航运河钢管混凝土拱桥

邱式中:上海市基础工程公司 教授级高工

《OVM 通讯》29 2002 年第 4 期

10~20座之多。如主跨360米的广州丫髻沙桥、主跨235米的京航运河特大桥等，见图15。

3、斜拉桥

斜拉桥是由塔柱伸出的高强度斜拉索拉住主梁，张紧的拉索形成主梁的弹性支座和对主梁产生的轴向力，从而降低了主梁截面所受弯矩，增加了跨越能力。斜拉桥已成为跨径仅次于悬索桥的一种大型桥梁。同时由于拉索是直线拉紧，不象悬索桥在荷载作用下要产生较大的位移。

斜拉桥是由梁、塔和索组合体系结构，具有下列特点：

- a、可以调整拉索间距与索力大小，以得到最优受力和经济效果。
- b、利用拉索更便于悬臂施工。
- c、比悬索桥刚度大而不需要庞大的锚锭结构。

由于斜拉桥为对内超静定结构，尤其密索、计算复杂和需要高强度的高强钢丝及锚具，故在20

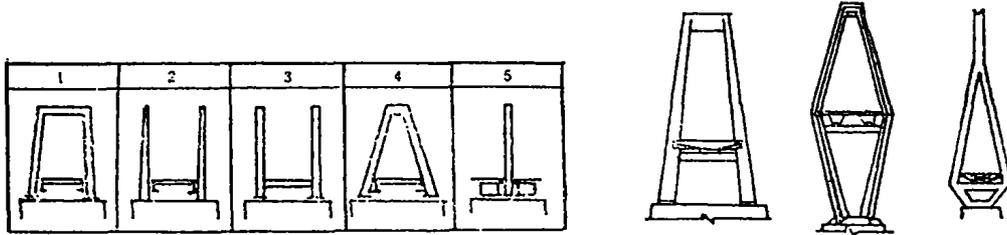


图 16 斜拉桥塔柱型式

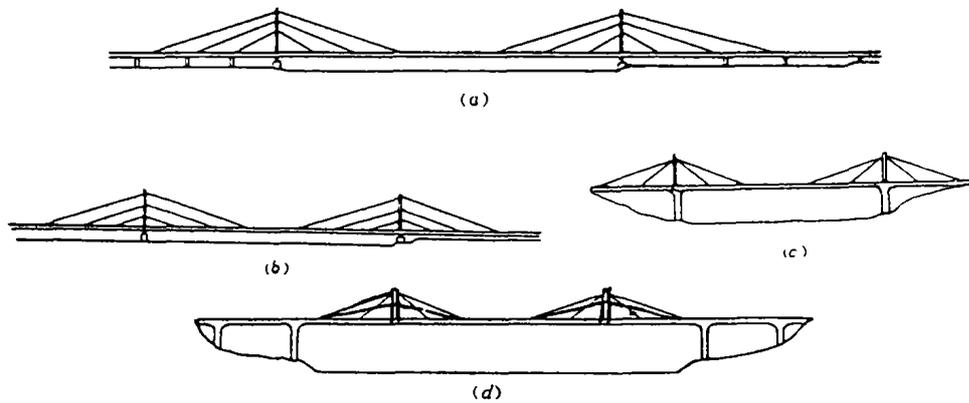


图 17 a、扇形索 b、幅射索
c、平行索 d、星索

单索面	双索面	三索面	多索面	组合	
					辐射形
					竖琴形
					扇形
					星形

图 18 疏索和密索型式

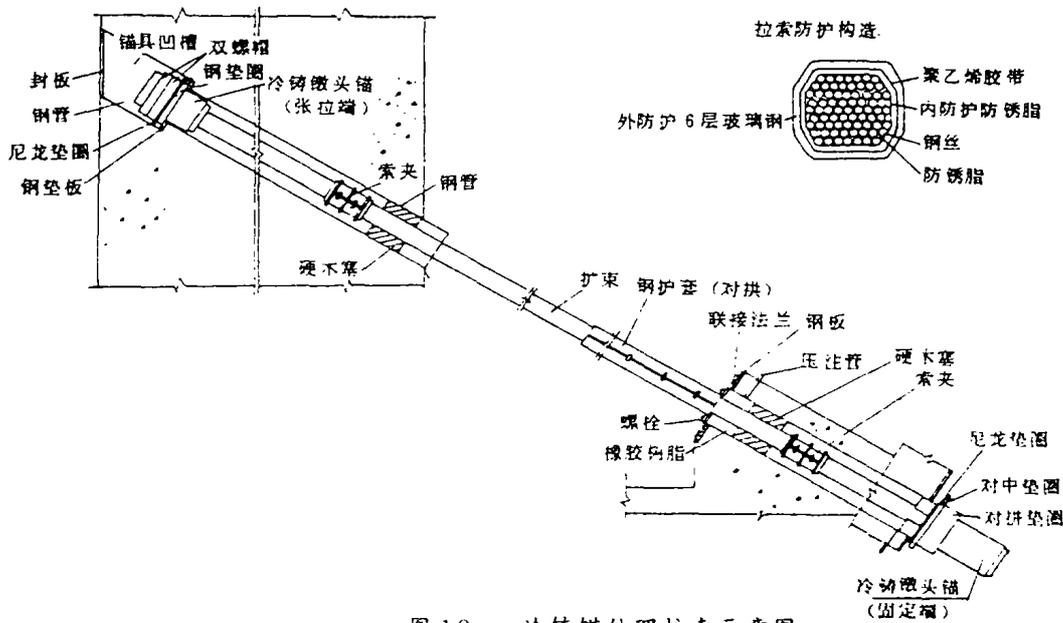


图 19 冷铸锚处理拉索示意图

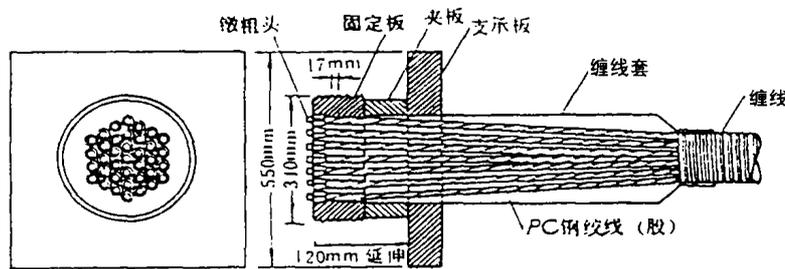


图 20 SEEE 锚处理拉索示意图

世纪 50 年代才建造了第一座钢斜拉桥主跨 182.6 米的瑞典 Stromsund 桥。

1) 塔柱

斜拉桥早期塔柱有钢结构的，后来多为钢筋混凝土结构。因为塔柱是以受压为主的压弯构件，随跨度增大，其受力加大，再加上高耸立的稳定性要求，钢筋混凝土结构更适合，其型式如图 16 所示。

2) 索

索是钢斜拉桥的主要受力部分，由低松弛高强钢丝或钢绞线组成索股，制索可在现场进行，更

可在制索厂进行。制好的索可用索盘运至现场，通过起吊至桥面，将索固定端冷铸锚装进箱梁内，张拉端通过张拉杆由千斤顶拉进塔柱内，按设计要求进行张拉，待全桥拼装结束后，再进行一次整体调索。

索的型式有平行索、扇形索、星索和幅射索，目前一般多用平行索和扇形索，见图 17、18、19、20。

3) 梁

梁是钢斜拉桥主要受力件之一，多采用肋板、箱板和封闭式箱梁结构或叠合梁式结构。如桥梁

钢结构体系中第一部分钢桥的结构及其特点、第三部分钢梁的主要型式所叙述。

4、悬索桥

由受拉的悬索作为主要承重结构的桥称为悬索桥。具体是由两座主塔将主缆索架起，并将缆

索两端锚固于锚墩或锚洞内。用固定在主缆上的吊索（由主缆上索夹与吊索吊杆连接）将主梁悬吊（吊杆的下吊且与主梁车行道板销接）然后形成车行路面，如图 21 所示。目前悬索桥保持着世界上最大跨径记录。

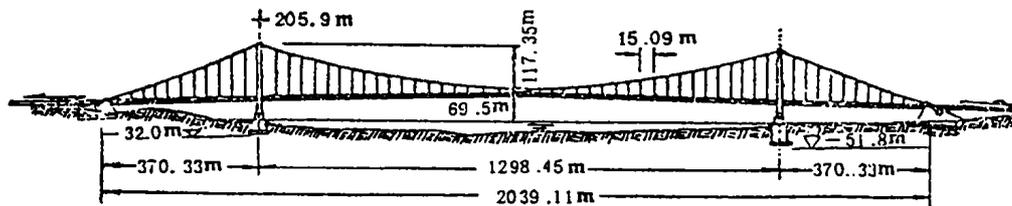


图 21 美国 1969 年建成的佛拉察奴海峡桥

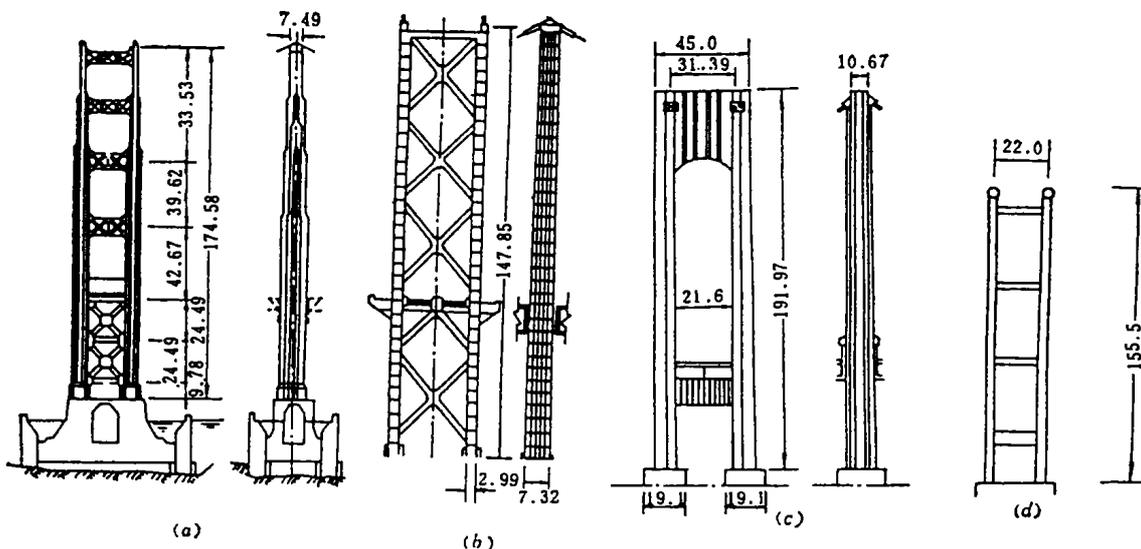


图 22 索塔结构图

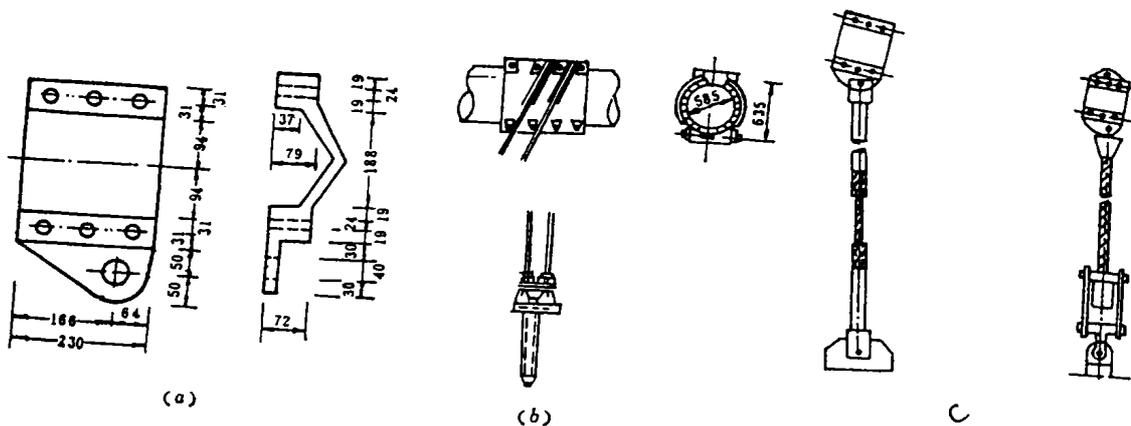


图 23 索夹 a 三角形 b 圆形 c 吊杆

1) 索塔

索塔承受两根悬索传至于水平分力和垂直分力，故必须有两根立柱，为了抗风荷和满足稳定要求两立柱间形成刚性框架，其结构多为钢筋混

凝土结构，也有钢结构的，如图 22 示。

2) 悬索、索夹及吊杆

①悬索

悬索由主索、锚索（边索）组成。大型悬索

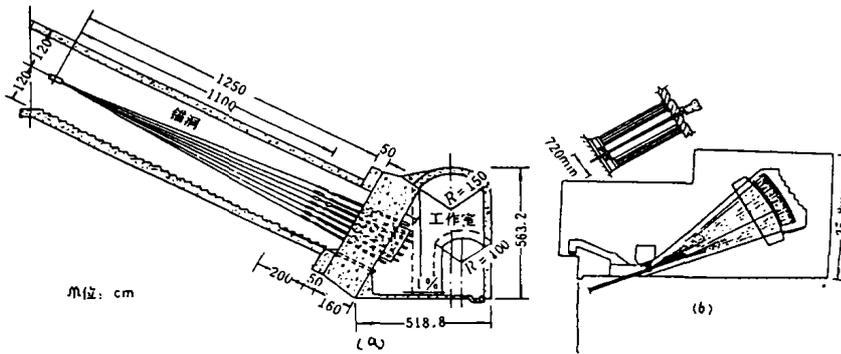


图 24 a、隧洞式 b、重力式



图 25 江阴长江大桥雄姿

桥多采用平行钢丝索组成索股，例如主跨 1385m 的江阴长江大桥，由 127 丝 5.35mm 高强钢丝组成索股。又由 169 根索股组成粗 86.6 厘米的悬索。由于悬索承受拉力随跨度增大而加大，常需要锚固设备，例如主跨 1990m 的明石桥，其拉力可达 12 万吨，又如长江江阴桥其拉力 6.4 万吨，主跨 888m 的虎门桥其拉力达 3.2 万吨。

悬索索股施工有两种方法，一种是空中纺线结 A.S 结，就是在锚道上像纺车一样织成索股，还有一种称预制索股结 P.W.S 结。就是由预制厂制作好索股装索盘运至现场，江阴桥就是由浦江索厂预制成索股后装索盘运至现场。

②索夹、吊杆

主要是传力件，通过吊杆将桥面荷载传至主索上。由圆钢、钢管或高强钢丝束组成。图 23 为索夹和吊杆示意图。江阴大桥由 340 根吊索分别安装在 170 个索夹上，吊索间距为 16 米。

③梁

梁是悬索桥受力构件之一，有加劲梁、钢桁梁、钢箱梁等多种型式。可以简支、连续或悬臂等形式支承在墩台上。如江阴大桥主梁风嘴型箱梁 44 榀：除南比岸各有二个特殊段、一个合拢段外、其余均长 32m 重 410t 左右。

④锚锭结构

是悬索桥受力结构一部分，多为重力式，其基础可为地下墙、沉井。如江阴大桥为 69 × 51 ×

表 1

a	主跨 1990m	日本明石桥	已竣工
b	主跨 1624m	丹麦大海带桥	已竣工
c	主跨 1450m	中国润杨桥	在施工
d	主跨 1410m	英国亨伯桥	已竣工
e	主跨 1385m	中国江阴大桥	已竣工
f	主跨 1377m	中国香港青马桥	已竣工
g	主跨 1298m	美国佛拉查奴桥	已竣工
h	主跨 1280m	美国金门大桥	已竣工

表 2

桥名	位置	完成日期	跨度(m)	矢高(m)	矢跨比	桥面宽度(m)	形式	加劲梁		主塔	主缆(m)	用钢量	备注
								高(m)	宽(m)				
WACKINAC-STRAITS 麦金纳克海峡	美国	1975	549+1158+549	106.68	1/11	16.46	三跨简支	11.58	20.73	157.0	A. S 2 × 622	38118	公路桥
南备户桥	日本	1988	274+1100+274	100.0	1/11	20.0	连续	13.00	30.00	181.0	P. W. S	77900	公铁两用
bosphorus 博斯普鲁斯二桥	土耳其	1988	210+1090+210			39.40	一跨简支	3.00	33.80	110.10	A. S		公路桥
bosphorus 博斯普鲁斯一桥	土耳其	1973	231+1074+225			33.10	一跨简支	3.00	28.20	165.00	A. S 2 × 600	22200	公路桥
GEORGE WASHINGTON 乔治华盛顿桥	美国	1931	186+1067+198	99.6	1/10.8	35.89	三跨简支	12.80	32.31	170	A. S 2 × 914	101866	公路桥
DE-VINTE- CIACC DE-ABRIL 四月二十五日	葡萄牙	1966	483+1013+483	106.50	1/9.5	17.51	连续	10.65	21.00	181	A. S 2 × 586	38030	公铁两用 (铁路未用)
FORTH-ROAD 福恩路桥	英国	1964	409+1006+409	91.44	1/11	36.27	三跨简支	8.37	23.77	149	A. S 2 × 603	30480	公路桥

注: A·S为空中组缆; P·W·S为预制钢索。

表 3

桥名	位置	完成日期	中跨径(m)	矢高(m)	矢跨比	钢索间距	加劲梁高	宽跨比	高跨比	钢索数	钢索直径(cm)	塔高(m)	
达孜桥	西藏		500	33.33	1/15		1.6	1/119	1/259	2		24	桥面结构长415m 为浅加劲桁梁, 钢筋混凝土桥塔
朝阳大桥	四川		186	23.25	1/8	9.76	2.0	1/19	1/93	4	21	29	结合钢箱的双链 吊桥, 钢筋混凝土 桥塔
关头坝桥	甘肃	1984年	180	20.0	1/9	9.4	3.16	1/19	1/57	4		23	结合钢桁梁的双链 吊桥, 钢筋混凝土 桥塔
3004号桥	四川	1969年	185	18.5	1/10	6.00	2.50	1/30.8	1/74	2	21	21.25	钢桥塔
3001号桥	四川	1988年	171.9	18.9	1/9	9.50	4.00	1/18.9	1/43	2		20.20	钢筋混凝土桥塔
禹门河桥	陕西	1968年	144	15.6	1/9	9.50	3.50	1/15	1/41	2	25.5	17.95	钢桥塔
塔科斯桥*	巴基斯坦	1966年	130	14.44	1/9	9.50	3.00	1/13.7	1/43	2	22.4	27.95	钢筋混凝土桥塔
特力索里河大 桥*	尼泊尔	1975年	125	12.50	1/10	8.4	3.00	1/14.9	1/39	2	21.5	14.15	钢筋混凝土桥塔

注: *为我国的外援工程。

表 4

a	主跨 890m	日本多多罗桥	钢	已竣工
b	主跨 856m	法国诺曼底桥	混合	已竣工
c	主跨 628m	中国南京二桥	钢	已竣工(2001 年)
d	主跨 618m	中国武汉三桥	混合	已竣工(2000 年)
e	主跨 605m	中国青州闽江桥	叠合梁	已竣工(2001 年)
f	主跨 602m	中国杨浦大桥	叠合梁	已竣工(1997 年)
g	主跨 590m	日本名港中央大桥	钢	已竣工(1997 年)
h	主跨 590m	中国徐浦大桥	混合	已竣工(1996 年)
j	主跨 518m	中国岩石大桥	混合	已竣工(1994 年)

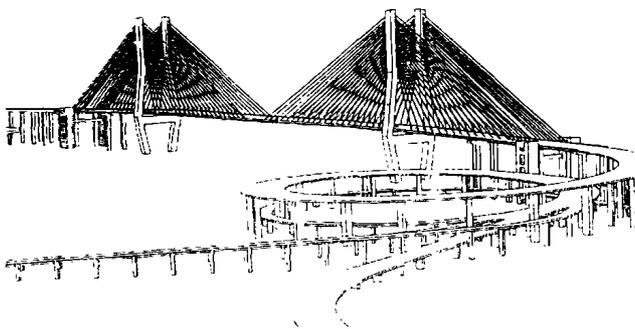


图 26 上海南浦大桥透视图

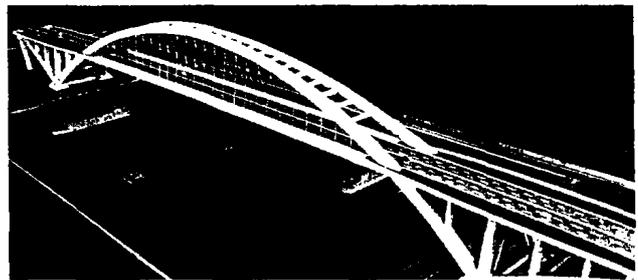


图 27 在建中的上海卢浦大桥

58m大型沉井,虎门桥为地下墙;也有隧洞式结构,主要承受其悬索拉力。如图 24、25。

(三) 世界大跨度钢桥概况

根据桥梁专家李国豪院士在“大跨度桥梁发展概略”一文中指出,影响大跨度桥梁发展的主要因素为:1、结构材料,主要为高强度钢材和高强度混凝土,以及近期发展的碳素纤维;2、结构型式或体系,一般为悬索桥、斜拉桥、拱桥和梁式桥、以及协合式桥型;荷载,对于恒载,特别是风荷和地震的认识;4、分析方法和计算工具(计算机)的发展;5、制造现场施工方法的发展质量的提高。

1、悬索桥

国外悬索桥发展很快,1931 年就有跨度大于

1000 米的大跨径乔治华盛顿桥,根据有关理论公式推导,如果钢材充分发挥性能,其最大跨径可达 3600m。而至今为止已竣工的最大跨径为 1990m,日本的明石桥,为理论跨径 0.39。下面列举几座大跨径悬索桥见表 1。

我国悬索桥起步较晚,主要是钢材缺乏,造价贵,维护也是原因之一,随着深化改革,钢材的迅速发展,这些年来,我国后来居上,跨入到世界先进行列。上述八座世界著名大桥中,我国占了三座我国已竣工主跨 888 米的虎门桥、主跨 452m 的汕头海湾大桥、主跨 648m 的厦门海沧大桥、主跨 1016m 的鹅岩大桥等。现在正有方兴未艾之势。

下面将世界和我国已修建好的一部分资料介

表 5

编号	桥名	建成年份	所在国家	跨径(m)	索塔	梁高(m)	桥面	拉索面
1	Theodor	1958	联邦德国	108.0+260.0-108.0	双柱式	3.2	钢	平行双面
2	Severin	1959	联邦德国	302.0+150.7	梯形门架	4.2	钢	扇形双面
3	Leuerkusen	1964	联邦德国	106.26-280.0-106.26	单柱式	4.2	钢	平行单面
4	Montreal	1966	加拿大	90+240+90	单柱式	3.7	钢	辐射单平面
5	Maxau	1966	联邦德国	175.2+116.8	单柱式	2.85-3.09	钢	扇形单平面
6	Wye	1966	英国	86.868+234.696+86.868	单柱式	3.2	钢	单平面每塔一对索
7	摩耶	1966	日本	69.4+139.4	单柱式	2.8	钢	扇形单平面
8	Friedrich-Ebert	1967	联邦德国	120-280+120	单柱式	2.8	钢	扇形单平面
9	Rees-kalkar	1967	联邦德国	104+255-104	双柱式	3.5	钢	扇形双平面
10	Batman	1967	澳大利亚	54.36+215.0	倒V形	3.9	钢	辐射式双平面
11	尾道	1968	日本	85+215-85	门架式	3.2	钢	扇形双平面
12	Harmsen	1968	荷兰	108+47	单柱式	1.8	钢	平行单平面
13	New-Luangwa	1968	赞比亚	40+222+40	双柱式	1.98	钢筋混凝土	平行式双平面
14	Ludwigshafen	1968	联邦德国	138+138	倒V形	2.5	钢	辐射式斜双平面
15	Kniebrücke	1969	联邦德国	4 × 48.75+320	双柱式	3.0	钢	平行式双索面
16	Papineau-Leblanc	1969	加拿大	89.9+240.9+89.9	单柱式	3.56	钢	辐射式单索面
17	香里	1970	日本	80.5+216+80.5	倒V形	3.00	钢	扇形单平面
18	Duisberg-Neuenkamp	1971	联邦德国	(46.8+50+45+45)+350+(105+60+75.6)	单柱式	3.75	钢	扇形单平面
19	Erskine	1971	英国	110+305-110	单柱式	3.24	钢	单平面每塔一对索
20	Kurt-Schumacher	1972	联邦德国	286.94+(60.1+65.0)	倒V形	4.50	钢	扇形双平面
21	Bratislava	1972	捷克斯洛伐克	74.8+303	倒V形	4.50	钢	辐射式双平面
22	Linz	1972	奥地利	(60+60+72)+215	单柱式	3.10-3.70	钢	平行式单平面
23	Hainburg	1973	奥地利	138+228	倒V形	3.50	钢	辐射式双平面
24	Oberkassel	1973	联邦德国	(5 × 51.55)+257.75	单柱式	3.15	钢	平行式单平面
25	Kohlbrand	1975	联邦德国	97.5+325.0+97.5	倒Y拐脚式	3.52	钢	扇形双平面
26	大黑	1975	日本	165.0+100.0	门架式	2.75	钢	辐射式双平面
27	Speyer	1975	联邦德国	275+(61+61+59)	倒V形	4.20	钢	辐射式双平面
28	Deggenu	1975	联邦德国	290+145	V形单柱式	4.50	钢	辐射式单平面
29	末広	1975	日本	110+250+110	单柱式	2.80	钢	扇形单平面
30	Saint-Nazaire	1975	法国	158+404+158	倒V形	3.40	钢	扇形双平面
31	Askero	1982	瑞典	(4 × 31)+386+(4 × 31)	门架式	3.0	钢	辐射式
32	大和川	1982	日本	149+355+149	单柱式	3.6	钢	平行式单平面
33	Faro	1985	丹麦	120+287+120	倒V形	3.3	钢	扇形双平面
34	Annacis	1986	加拿大	(50+182.75)-465+(182.75+50)	H形	2.1	钢	扇形双平面
35	Second Hooghly	1986	印度	183-457+183	门架式	2.0	钢	扇形双平面
36	曼谷湄南河	1987	泰国	165.6+450-165.6	单柱式	4.0	钢	扇形单平面
37	东营黄河	1987	中国	60.5+136.5-288+136.5+60.5	门架式	2.4	钢	扇形双平面

绍如表 2、表 3。

2、钢斜拉桥

钢斜拉桥自第二次世界大战后迅速发展，现代钢斜拉桥始于 20 世纪 50 年代的瑞典斯托姆松特桥，主跨 182.6m，至今为止，包括混合式斜拉桥、叠合梁式斜拉桥在内的钢斜拉桥大体如表 4。

我国斜拉桥（包括 PC 斜拉桥）在数量上、跨径上均在世界上处于领先地位，钢斜拉桥起步略

晚一些，第一座钢斜拉桥为 1987 年竣工的主跨 288m 的东营黄河桥，相继发展迅速。在 91 年竣工的主跨 423m 的上海南浦大桥（当时名列世界第三），93 年竣工的主跨 602m 的上海杨浦大桥（当时名列世界第一），至今世界上主跨 500m 以上的九座钢斜拉桥中我国占了三座。根据有关著作提出的在 1600m 跨径的钢斜拉桥是有望建成的，而且同悬索桥相比其造价上经济是明显的。我国在

表 6

桥 名	跨径 (米)	车行道宽 (米)	结构型式	建成年代
巫山长江大桥	460	15	中承式	拟建
广州丫髻沙大桥	360	28.5	中承式	2000 年
南宁永和邕江大桥	338	31.5	中承式	拟建
重庆奉节梅溪河大桥	288		上承式	在建
湖北江汉三桥	280	15	下承式	2001 年
南宁三岸邕江大桥	270	32.8	中承式	1998 年
重庆高家花园嘉陵江大桥	270		中承式	拟建
湖北秭归青于河大桥	256		中承式	
湖北江汉五桥	240	24	中承式	2001 年
浙江铜瓦门大桥	238	7	中承式	在建
广珠线沙口大桥	224	17.5	中承式	拟建
广西六景邕江大桥	220	25.1	中承式	1999 年
四川眉山岷江大桥	206	28	中承式	在建
四川绵阳洪江大桥	202	26.5	中承式	1997 年
广东南海三山西大桥	200	15	中承式	1995 年

表 7

a	主跨 549m	加拿大奎北克(Quebec)桥	1918 年竣工
b	主跨 521m	英国苏格兰佛实(Fortu)桥	1889 年竣工
c	主跨 510m	日本大阪南港大桥	1974 年竣工
d	主跨 501m	美国洁尼亚(Gommodorell)桥	1974 年竣工
e	主跨 480m	美国路易斯安娜 (Greater NeworLeaus)桥	1958 年竣工
f	主跨 457m	印度加尔各答(Howran)桥	1943 年竣工

表 8

a	主跨 300m	巴西里约热内卢 Costa.eSL.Lxa 桥	1974 年 竣工
b	主跨 261m	南斯拉夫贝尔格莱德 Sava 桥	1956 年 竣工
c	主跨 259m	德国科隆 Zoo 桥	1966 年 竣工

斜拉桥设计、施工诸方面(包括预应力钢筋混凝土斜拉桥)已处于世界领先地位。

世界上部分钢斜拉桥情况,见表5。

3) 钢拱桥

钢拱桥的拱是悬索桥悬索的倒置,它的截面基本上承受压力,材料的利用也是充分的。世界钢拱桥也在20世纪之后发展起来的,美国1931年建成的新泽西州基凡库主跨510m的钢拱桥,1932年澳大利亚悉尼港的主跨504m的悉尼大桥,以及美国1977年建成的西佛吉尼亚主跨518m的NeWRiverGeoge桥都是世界著名的钢拱桥。

我国拱桥在世界上有很强势力,在拱桥中,石拱桥、中承式钢筋混凝土拱桥已居世界第一,钢拱桥近几年来发展很快,特别一提的是钢管混凝土拱桥,自跨径312m的邕江大桥之后,截止2000年底,据不完全统计建成和在建的钢管混凝土拱桥近90座,其中跨径在200m以上的有15座,其中拟建中的跨径460m的巫山长江大桥、广西永和大桥、杭州钱塘江四桥和郑州黄河二桥等,见表6。

表9

钱塘江桥	桥长1450m,由18孔(2×14.63m+16×6.584m)简支上承式钢板梁和16×65.84m简支桁架梁组成	我国第一座国人设计,杭州1949年建成
武汉长江大桥	主桥长1155.5m,9×128m(3×128m三跨连续梁为一组,共三组)	铁道部大桥局设计施工,1957年竣工
南京长江大桥	主桥长1576m,共10孔,1孔128m简支梁加9孔(3×160m连续梁一组),共三组桁架梁	南京,铁道部大桥局设计施工,1968年竣工
三滩子金沙江桥	主桥长390.4m,主跨192m简支梁桥	四川渡口,铁道部大桥局设计施工,1969年竣工
宜宾金沙江大桥	主桥长1053m,112+176+112三跨连续钢桁架梁桥	铁道部大桥局设计施工,1968年竣工
枝城长江大桥	主桥长1742m,由4×160m+5×128m连续钢桁架梁组成	湖北宜都县,铁道部大桥局设计施工,1971年竣工
北镇黄河古路桥	主桥为4×112m连续钢桁架梁桥	山东滨江市,山东省设计施工
马房北江大桥	主桥长913.6m,14×61m简支下承式钢桁架梁	广东省四会县马房镇,1984年竣工
运河桥	主桥长404.7m,3×128m连续梁桥	1977年竣工
九江长江大桥	主桥长1806.6m,11孔钢梁主孔180+216+180连续刚性钢桁架与柔性钢加劲拱组成,边孔为3×162m连续钢桁架梁	铁道部大桥局设计施工,1992年竣工

我国正在建设中的上海卢浦大桥,主跨550m,现居世界第一位。

4) 钢梁式桥

钢梁式桥采用钢桁架梁也能使主要受轴力的杆件充分发挥材料的作用。一般特大跨度的桁架几乎都采用悬臂梁型式,主要便于整孔浮运吊装,以及静定结构对基础不均匀沉陷的适应性。目前世界大跨度桁架见表7。

实腹梁桥(肋板梁和箱梁),由于靠近中和轴的弯应力小,利用材料的效率比较差,目前这种钢梁跨度分别在300m左右见表8。

我国50年代开始至今大小钢桥建了200多座,武汉长江大桥主跨128m三跨连续梁组成9孔连续梁桥,以及主跨160m的南京长江大桥,皆为铁路、公路二用桁架桥。1927年建成的北镇黄河公路桥,采用了4孔112m连续钢桁架桥,1992年5月建成的主跨216m的九江长江大桥,为连续刚性钢桁架与柔性钢加劲拱组成的大型梁拱桥等。在梁式桥中,

(下转第7页)