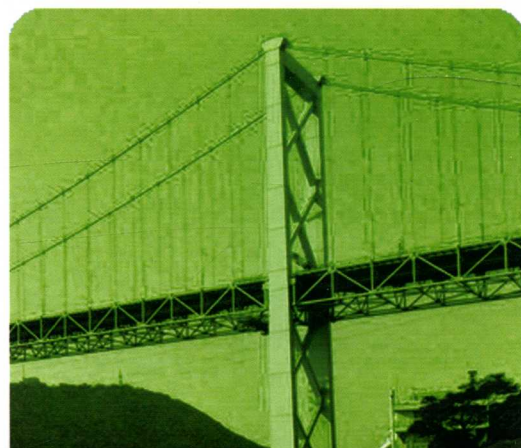
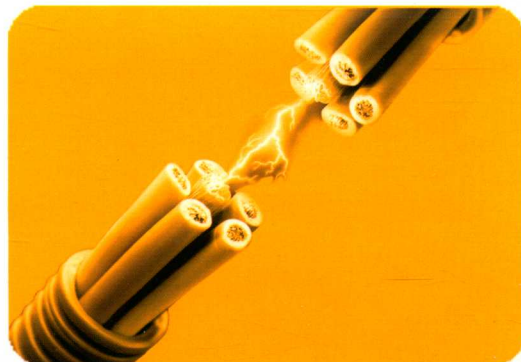




国家电网公司
电力科技著作出版项目



长距离 跨桥高压电缆的应用设计

CHANGJULI

KUAQIAO GAOYA DIANLAN DE YINGYONG SHEJI

龚尊 孟毓 等 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



国家电网公司
电力科技著作出版项目

长距离 跨桥高压电缆的应用设计

CHANGJULI

KUAQIAO GAOYA DIANLAN DE YINGYONG SHEJI

龚 尊 孟 毓 方 浩 尤志魏 编著
袁智强 殷潇波 陆 歆 赵子玉



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

城市电网的快速发展与沿海岛屿的开发建设,带动了高压电缆长距离跨桥输电的应用。本书通过对长距离跨桥高压电缆技术领域的深入研究,并结合应用成果,重点介绍了高压电缆过桥的设计关键技术。

本书共分为6章,具体内容包括桥梁敷设高压电缆概况、高压电缆过大桥设计关键技术、高压电缆应对桥梁伸缩与振动的解决方案、高压电缆对桥梁的影响及处理措施、高压电缆过大桥施工方案设计、桥上高压电缆的运行与维护。

本书可供从事电缆设计、施工和运维的工程技术人员参考,同时也可供各相关院校的师生学习使用。

图书在版编目(CIP)数据

长距离跨桥高压电缆的应用设计 / 龚尊等编著. —北京: 中国电力出版社, 2014.12

ISBN 978-7-5123-6363-2

I. ①长... II. ①龚... III. ①长跨桥—高压电缆—设计 IV. ①TM247.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 189510 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2014 年 12 月第一版 2014 年 12 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 9 印张 215 千字

印数 0001—2000 册 定价 42.00 元

敬 告 读 者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



在公路、铁路及城市道路建设中,为了跨越各种障碍(如河流、海湾、湖泊、谷地或其他交通线路等),就必须修建各种桥梁。到目前为止,我国的桥梁工程无论在建设规模上,还是在科技水平上,均已跻身于世界先进行列。全国各地长度在 1000m 以上的著名大桥数不胜数。

桥梁是连接两侧陆地的通道,由于各种条件限制,我国目前建成的桥梁主要完成了其本身的交通作用,其实,桥梁还可以作为一个非常合适的载体供其他市政管线通过,如水管、电力线路、通信线路等。对于电力输送来说,通过在桥上设置电力电缆能够起到安全、可靠、经济地输送电能的目的。

目前我国正在有计划、有步骤地开展对沿海岛屿的开发利用。随着这些岛屿的开发建设,用电矛盾也成为一个问题,许多岛屿一开始都是采用独立的小发电系统,其发电的单位成本高、可靠性低、环保效果达不到先进的指标等,但一旦与大电网联网后,这些问题即可得到解决。例如海南联网工程为当前国内第一、世界第二个超高压、长距离、较大容量的跨海电缆联网工程。如果能够结合连接这些岛屿的桥梁敷设高压电缆,这样既可以避免海上架空线对周边景观的影响,也可以减轻由敷设海缆带来的巨大投资压力,同时,在设计阶段如果就采取合理措施和采用正确施工方法,则桥上电缆与陆地电缆一样,其本身及对桥梁的安全可靠性是能够得到保障的。

本书结合目前国内外现有桥梁敷设电缆的设计经验,介绍了在桥梁上敷设高压电缆时应注意的一些技术问题,对桥梁电缆的敷设施工、运行亦具有借鉴意义。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏之处,敬请读者批评指正。

编著者

2014.10



前言

第1章	桥梁敷设高压电缆概况	1
第1节	适合电缆敷设的桥梁种类.....	1
第2节	桥梁敷设高压电缆案例.....	7
第2章	高压电缆过大桥设计关键技术	18
第1节	高压电缆截面选择.....	18
第2节	电缆热伸缩对策设计.....	29
第3节	桥上电缆接地系统设计.....	36
第4节	单相接地短路时的金属护套感应电压.....	40
第5节	长距离跨桥电缆无功补偿设计.....	44
第6节	长距离跨桥电缆线路过电压.....	58
第3章	高压电缆应对桥梁伸缩与振动的解决方案	67
第1节	桥梁伸缩与振动.....	67
第2节	高压电缆应对桥梁伸缩的解决方法.....	73
第3节	高压电缆应对桥梁振动的解决方法.....	86
第4章	高压电缆对桥梁的影响及处理措施	88
第1节	电缆火灾成因及桥梁防火措施.....	88
第2节	高压电缆运行对通信、监控线路的干扰及防止对策.....	99
第3节	高压电缆运行对桥梁本体的影响及对策.....	106
第5章	高压电缆过大桥施工方案设计	109
第1节	高压电缆在桥梁上的空间布置.....	109
第2节	桥上电缆敷设施工措施.....	113
第6章	桥上高压电缆的运行与维护	126
第1节	桥上电缆运行与维护方案.....	126
第2节	桥上电缆运行保障.....	129
附录	高压电缆安装在桥梁上的有关规定.....	133
参考文献		135
索引		136

桥梁敷设高压电缆概况

第 1 节 适合电缆敷设的桥梁种类

桥梁的分类方式很多,比如按结构体系、用途、主跨等进行分类。对于桥上敷设电缆来说,电缆设计更关心的是桥梁的结构体系及桥长,因此,本节主要介绍适合电缆敷设的按桥梁结构体系及跨径分类的桥梁。

一、按桥梁结构体系分类

工程结构中的构件主要有拉、压、弯三种基本受力方式,由基本构件组成的各种结构物在力学上归结为梁式、拱式和悬吊式三种基本体系,以及它们的各种组合形式。桥梁结构按基本体系划分,可分为梁式桥、拱式桥、斜拉桥、悬索桥、刚架桥以及组合体系桥。

1. 梁式桥

梁式桥是以受弯为主的主梁作为主要承重构件的桥梁,主梁可以是实腹梁或是桁架梁(空腹梁)。实腹梁外形简单,制作、安装、维修都较方便,因此广泛用于中、小跨径桥梁,但实腹梁在材料利用上不够经济。实腹梁主要用钢筋混凝土、预应力混凝土制作,也可以用钢材做成钢板梁或钢箱梁。实腹梁桥的最早形式是用原木做成的木梁桥和用石材做成的石板桥,由于天然材料本身的尺寸、性能、资源等原因,木桥现在已基本上不采用,石板桥也只用作小跨人行桥。桁架梁中组成桁架的各杆件基本只承受轴向力,可以较好地利用杆件材料强度,但桁架梁的构造复杂、制造费工,多用于较大跨径桥梁。桁架梁一般用钢材制作,也可用预应力混凝土或钢筋混凝土制作,但用得较少。过去也曾用木材制作桁架梁,因耐久性差,现很少使用。

梁式桥的优点:采用钢筋混凝土建造的梁桥能就地取材、工业化施工、耐久性好、适应性强、整体性好且美观,这种桥型在设计理论及施工技术上都发展得比较成熟。杭州钱塘江二桥和江门外海桥就属于梁式桥。

(1) 杭州钱塘江二桥(见图 1-1):位于杭州四堡,平行的公铁两桥的总称。杭州钱塘江二桥为华东路网重要桥梁,双线铁路北接沪杭、宣杭,南连浙赣、甬甬各线。 $2\times 7.5\text{m}$ 的高速公路两侧



图 1-1 杭州钱塘江二桥

无人行道。正桥公铁均为 18 孔一联的预应力混凝土单箱单室连续梁，跨 $45\text{m}+65\text{m}+14\times 80\text{m}+65\text{m}+45\text{m}$ 。引桥均为预应力混凝土箱梁，公路双箱单室，两岸跨度均为 $7\times 32\text{m}$ ；铁路单箱单室，跨度为 $12\text{m}+9\times 32\text{m}+8\times 32\text{m}$ （北）及 $7\times 32\text{m}+7\times 32\text{m}+8\times 32\text{m}+12\text{m}$ （南）。

（2）江门外海桥（见图 1-2）：主桥为 9 孔一联预应力混凝土变截面连续梁桥，根部梁高 5.8m，中部 2.5m。

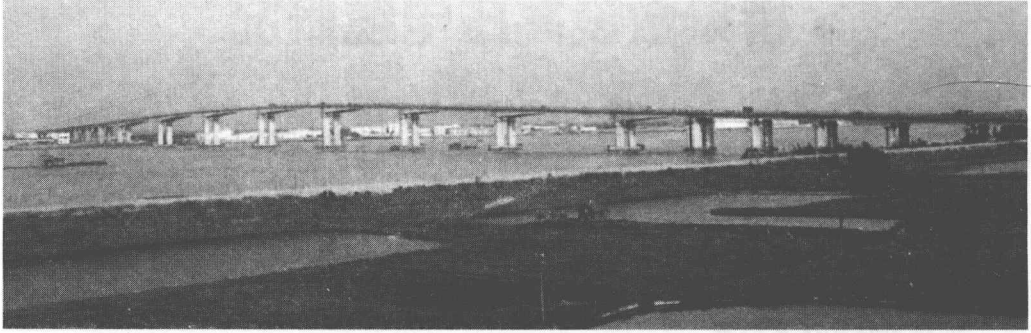


图 1-2 江门外海桥

2. 拱式桥

拱式桥是以承受轴向压力为主的拱（称为主拱圈）作为主要承重构件的桥梁。

（1）按照主拱圈的静力图式，拱桥可分为三铰拱、两铰拱和无铰拱。

1) 三铰拱是静定结构，其整体刚度较低，尤其是挠曲线在拱顶铰处产生折角，致使活载对桥梁的冲击增强，对行车不利。拱顶铰的构造和维护也较复杂。因此，三铰拱除有时用于拱上建筑的腹拱圈外，一般不用作主拱圈。

2) 两铰拱取消了拱顶铰，构造较三铰拱简单，结构整体刚度较三铰拱为好，维护也较三铰拱容易，而支座沉降等产生的附加内力较无铰拱小，因此在地基条件较差和不宜修建无铰拱的地方，可采用两铰拱桥。

3) 无铰拱属三次超静定结构，虽然支座沉降等引起的附加内力较大，但在荷载作用下拱的内力分布比较均匀，且结构的刚度大，构造简单，施工方便，因此无铰拱是拱桥中，尤其是圬工拱桥和钢筋混凝土拱桥中普遍采用的形式。

（2）按照主拱圈的构成形式，拱又可分为板拱、肋拱、双曲拱、箱形拱、桁架拱等。

1) 板拱：拱圈横截面呈矩形实体截面，它横向整体性较好、拱圈截面高度小、构造简单，但抵抗弯矩能力较差，一般用于圬工拱桥。

2) 肋拱：拱圈是由两条或多条拱肋组成，肋与肋之间用横系梁相联系，肋拱形状可以是矩形、工字形、箱形或圆管形，它的抗弯能力较板拱为优，用料较省，但制作较板拱复杂，多用于钢筋混凝土拱桥或钢拱桥。1960 年建成的瑞典恩斯科洛夫约桥，跨径为 278m，为目前最大的钢管拱桥。

3) 双曲拱：20 世纪 60 年代以后，在中国采用的一种拱式桥梁。它在横向除有拱肋外，还有由拱波、拱板等构成的小拱将整个拱圈联结成整体，它在施工时可以将拱肋、拱波预制，安装后再浇筑拱板，减轻吊装重量，并可以不用拱架，或只需用简单支架，为混凝土拱桥提供了一种新的结构形式和简便易行的施工方法。但需采取措施保证拱圈的整体性。1969 年建

成的河南省前河桥跨径为 150m, 为目前跨径最大的双曲拱桥。

4) 箱形拱: 横截面可为整体多室箱形或分离箱形。混凝土或钢筋混凝土箱形拱也可采用无支架施工。它的整体性、横向稳定性和抗扭性能都较双曲拱的结构为好, 但在中、小跨径时不如双曲拱简便和节省钢材。1979 年建成的南斯拉夫克拉克桥, 跨径为 390m, 是当前世界上最大的钢筋混凝土箱形拱桥。

5) 桁架拱: 拱圈由桁架构成, 可做成桁肋拱或肩拱形式。桁架拱的材料用量较经济, 但桁架的某些杆件将承受拉力, 故主要用在钢拱桥或预应力混凝土拱桥中。1976 年建成的美国新河桥, 跨径为 518m, 为目前跨径最大的钢桁架拱桥。

拱桥主拱圈沿桥跨方向的形状, 可以做成横截面尺寸沿拱轴线不变的等截面拱, 或者做成横截面尺寸由拱脚向拱顶逐渐变化的变截面拱。变截面拱能较好地适应拱圈内力的变化, 用料较经济; 等截面拱构造简单、施工方便, 因而采用较普遍。

主拱圈的拱轴线形状, 对拱圈截面的应力大小将产生直接影响。一般尽量使拱轴线与荷载作用下的拱圈压力线相吻合, 以减小截面的弯矩值。当不计拱圈弹性压缩及其他因素的影响时, 拱在均布荷载作用下的压力线为抛物线; 在由拱顶向拱脚按拱轴线形状逐渐增大的分布荷载作用下, 拱的压力线将为悬链线; 而圆弧线线形最简单, 利于施工。故这几种线形成为拱桥中常用的拱轴线形状。

(3) 按照拱上建筑的形式不同分为实腹式拱和空腹式拱。

1) 实腹式拱是将主拱圈以上至桥面间的空间全部用填料填实, 一般用于小跨径的桥梁。

2) 空腹式拱则在主拱圈以上设有横桥向贯通的腹孔, 一般用于中等以上跨径的桥梁。赵州桥是现存修建最早的空腹式拱桥。

在竖直荷载作用下, 作为承重结构的拱肋主要承受压力。拱桥的支座则不但要承受竖直方向的力, 还要承受水平方向的力。因此拱桥对基础与地基的要求比梁桥要高。仅供人行走的拱桥可以把桥面直接铺在拱肋上。而通行现代交通工具的拱桥, 桥面必须保持一定的平直度, 不能直接铺在曲线形的拱肋上, 因此要通过立柱或吊杆将桥面间接支承在拱肋上。

拱式桥的优点: 跨越能力较大; 与钢桥及钢筋混凝土梁桥相比, 可以节省大量钢材和水泥; 能耐久, 且养护、维修费用少; 外形美观; 构造较简单, 有利于广泛采用。

宜宾岷江大桥 (见图 1-3) 主桥为钢筋混凝土箱形拱桥, 最大桥跨径为 100m。分跨布置为 55m+2×100m+55m, 另有 8×20m 石拱桥引孔。

3. 斜拉桥

斜拉桥由主梁、斜向拉紧主梁的钢缆索以及支承缆索的索塔等部分组成。斜拉桥的缆索张拉成直线形, 整个结构为几何不变体, 其刚度比悬索桥大。主梁同弹性支承上的连续梁的性能相似。斜拉桥的跨径一般在梁式桥和悬索桥之间。1975 年法国建成的卢瓦尔河钢斜拉桥, 主跨径为 404m。斜拉桥在构造上有单塔或双塔、单面布索或两面布索、密索或少索等形式, 索的布置也有不同的放射形式, 塔、梁、墩之间铰接或固接等也有多种类型。

将梁用若干根斜拉索拉在塔上, 便形成斜拉桥。与多孔梁桥对照起来看, 一根斜拉索就是代替一个桥墩的 (弹性) 支点, 从而增大了桥梁的跨度。

斜拉桥这种结构形式古已有之, 但是由于斜拉索中所受的力很难计算和很难控制, 所以一直没有得到发展和广泛应用。直到 20 世纪中期, 随着电子计算机的出现, 解决了索力计算难的问题, 以及调整装置的完善, 解决了索力的控制问题, 使得斜拉桥成为近 50 年内发展最



图 1-3 宜宾岷江大桥

快,应用最广的一种桥型。中国长沙湘江北大桥、上海南浦大桥以及东营黄河桥均为斜拉桥。

(1) 长沙湘江北大桥(见图 1-4):长沙湘江北大桥全长 3616.66m,跨越湘江的主桥由双塔单索面预应力混凝土斜拉桥和两侧分别为 $9\times 50\text{m}$ 和 $3\times 50\text{m}$ 的连续梁所组成,两岸引桥长 1330.68m。斜拉桥的主梁为三室闭合箱梁。

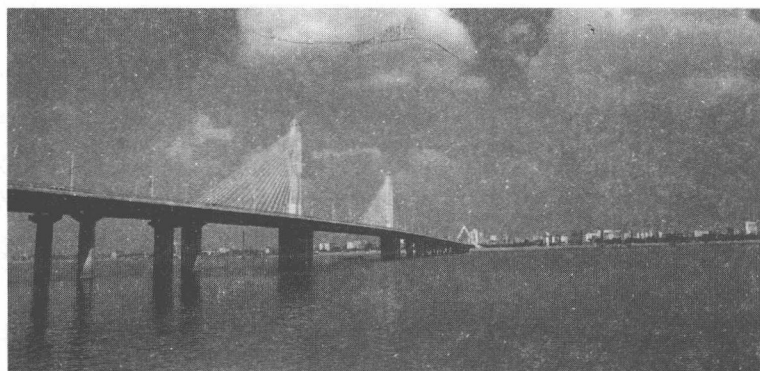


图 1-4 长沙湘江北大桥

(2) 上海南浦大桥(见图 1-5):上海南浦大桥是上海市区跨越黄浦江的第一座大桥。桥长 8346m,主桥长 846m,东引桥长 3746m,西引桥长 3754m,通航净高 46m。主桥为双塔双索面斜拉桥,中跨 423m,桥面宽 30.35m,设 6 条机动车道和两条人行道。加劲梁为钢梁与钢筋混凝土板的叠合梁。

(3) 东营黄河桥(见图 1-6):东营黄河桥是中国修建的第一座钢斜拉桥,全长 2817.46m。主桥为 5 孔连续钢斜拉桥,引桥为 71 孔 30m 先张法预应力混凝土箱梁桥。主梁采用带正交异性钢桥面的分离双边箱截面,索塔为 H 形框架,塔高 69.7m,斜拉索呈扇形布置。

4. 悬索桥

悬索桥又名吊桥,是以承受拉力的缆索或链索作为主要承重构件的桥梁。悬索桥由悬索、

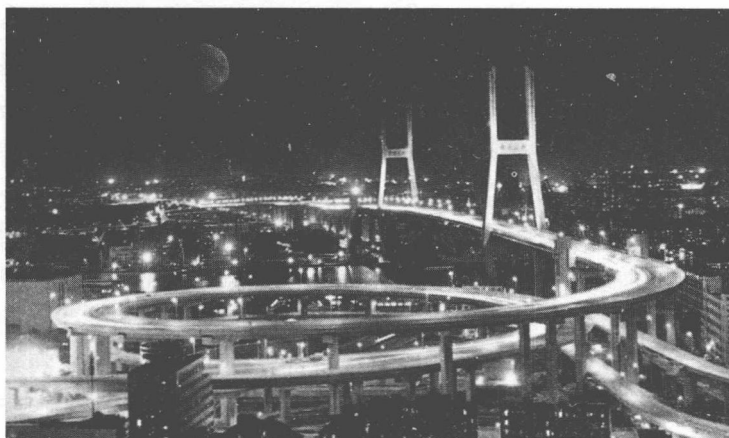


图 1-5 上海南浦大桥

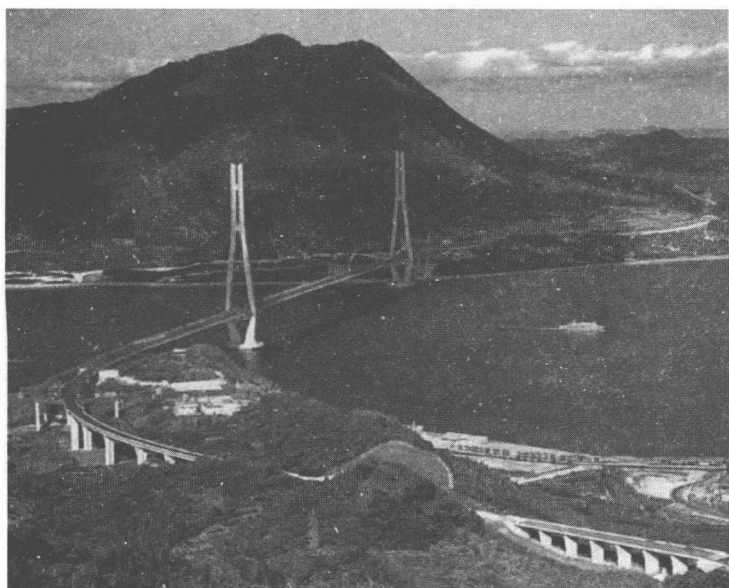


图 1-6 东营黄河桥

索塔、锚碇、吊杆、桥面系等部分组成。悬索桥的主要承重构件是悬索，它主要承受拉力，一般用抗拉强度高的钢材（钢丝、钢绞线、钢缆等）制作。由于悬索桥可以充分利用材料的强度，并具有用料省、自重轻的特点，因此悬索桥在各种体系桥梁中的跨越能力最大，跨径可以达到 1000m 以上。1981 年建成的英国恒比尔悬索桥的跨径为 1410m，是目前世界上跨径最大的桥梁。悬索桥的主要缺点是刚度小，在荷载作用下容易产生较大的挠度和振动，需注意采取相应的措施。

按照桥面系的刚度大小，悬索桥可分为柔性悬索桥和刚性悬索桥。柔性悬索桥的桥面一般不设加劲梁（又称刚性梁），因而刚度较小，在车辆荷载作用下，桥面将随悬索形状的改变而产生 S 形的变形，对行车不利，但它的构造简单，一般用作临时性桥梁。刚性悬索桥的桥面用加劲梁加强，刚度较大。加劲梁能同桥梁整体结构承受竖向荷载。除以上形式外，为增

强悬索桥刚度，还可采用双链式悬索桥和斜吊杆式悬索桥等形式，但构造较复杂。

和拱肋相反，悬索的截面只承受拉力。简陋的只供人、畜行走用的悬索桥常把桥面直接铺在悬索上，通行现代交通工具的悬索桥则不行，为了保持桥面具有一定的平直度，是将桥面用吊索挂在悬索上。和拱桥不同的是，作为承重结构的拱肋是刚性的，而作为承重结构的悬索则是柔性的。为了避免在车辆驶过时，桥面随着悬索一起变形，现代悬索桥一般均设有刚性梁，桥面铺在刚性梁上，刚性梁吊在悬索上。现代悬索桥的悬索一般均支承在两个塔柱上。塔顶设有支承悬索的鞍形支座。承受很大拉力的悬索的端部通过锚碇固定在地基中，个别也有固定在刚性梁的端部者，称为自锚式悬索桥。

悬索桥的优点：相对于其他桥梁结构，悬索桥可以使用比较少的材料来跨越比较长的距离。悬索桥可以建造得比较高，容许船在下面通过，在造桥时没有必要在桥中心建立暂时的桥墩，因此悬索桥可以在比较深或比较急的水流上建造。悬索桥比较灵活，因此它适合建设于大风区和地震区，在这些地区必须更加坚固和沉重才能更加稳定。金门大桥是悬索桥，其全景图如图 1-7 所示。

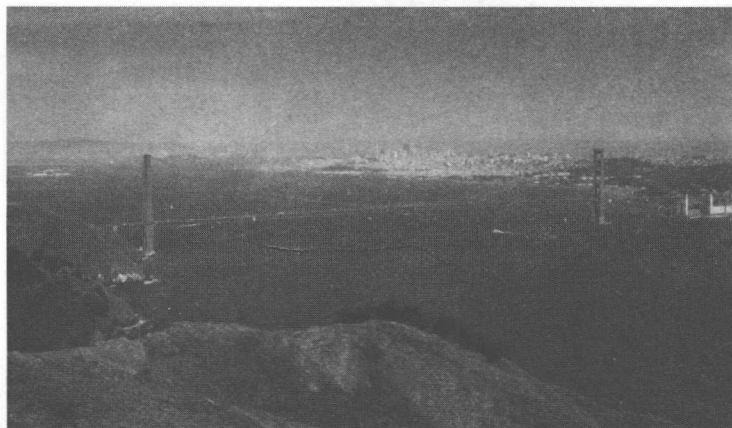


图 1-7 金门大桥

5. 刚架桥

刚架桥的主要承重结构是梁或板和立柱或立墙结合而成的刚架结构，梁和柱之间采用刚性连接。是一种桥跨结构和墩台结构整体相连的桥梁，支柱与主梁共同受力，受力特点为支柱与主梁刚性连接，在主梁端部产生负弯矩，减少了跨中截面正弯矩，而支座不仅提供竖向力还承受弯矩。主要材料为钢筋混凝土，适用于中小跨度，常用于需要较大的桥下净空和建筑高度受到限制的情况，如立交桥、高架桥等。

刚架桥的优点：外形尺寸小，桥下净空大，桥下视野开阔，混凝土用量少。

6. 组合体系桥

除了以上五种基本桥梁体系之外，根据结构的受力特点，还有其他一些由不同结构体系组合而成的桥梁，称为组合体系桥。

从理论上分析，上述几种桥梁都能找到安装电缆的适当空间。但是要保证电缆安装后的安全可靠运行，必须在规划和可行性研究阶段就要考虑大桥与电缆之间的相互影响，大桥上其他公共管线与电缆之间的相互影响。因此，大桥设计部门与电缆设计部门的前期协调和沟

通是必不可少的。

二、按桥梁跨径分类

桥梁按跨径分类是一种行业管理的手段，并不反映桥梁工程设计和施工的复杂性。以下是中国公路工程技术相关标准规定的桥梁按跨径分类的方法。

特大桥：多孔跨径总长 $L > 1000\text{m}$ ，单孔跨径 $L_k > 150\text{m}$ 。

大桥：多孔跨径总长 $100\text{m} \leq L \leq 1000\text{m}$ ，单孔跨径 $40\text{m} \leq L_k \leq 150\text{m}$ 。

中桥：多孔跨径总长 $30\text{m} < L < 100\text{m}$ ，单孔跨径 $20\text{m} \leq L_k < 40\text{m}$ 。

小桥：多孔跨径总长 $8\text{m} \leq L \leq 30\text{m}$ ，单孔跨径 $5\text{m} \leq L_k < 20\text{m}$ 。

按照电缆工程经验来说，对于上述标准的中小桥梁，电缆过桥时需要考虑的问题相对简单，在处理好与桥梁结构、防护及配合等问题后，一般不需要采取过多的措施。但是对于大桥及特大型桥梁来说，还需要处理好桥梁伸缩、振动及电缆与其他管线相互影响、长距离电缆本身的无功配置等问题，这些问题将在以下几个章节中分别论述。

第 2 节 桥梁敷设高压电缆案例

从国内外实际投入的电缆工程来看，电缆过公共桥梁的案例并不少见，已建国内外电缆过桥工程见表 1-1。根据初步统计，上海地区将近 200 座桥梁上敷设有各种规格的电力电缆合计超过 500 条，电缆的电压等级为 10~220kV。从 1912 年起这些电缆陆续投运，尚有电力电缆运行至今。在苏州河的外白渡桥、闸桥、四川路桥、河南路桥、乍浦路桥、浙江路桥、长寿路桥、武宁路桥、西藏路桥等都敷有各种电压等级的电缆。这些敷设在桥上的电缆，电缆本身在桥上没有发生过故障。只有桥体结构损坏，方有可能损坏电缆，或者是外力直接损坏电缆。在桥上曾发生的三次故障，两次是 1937 年乍浦路桥遭日本帝国主义的飞机轰炸，一次是 1977 年河间路桥因煤气管漏气，引起火灾而烧毁桥上的电缆。至今尚无由于电缆故障而影响桥梁结构和人身安全的报道。

在日本东京，市内电缆过桥长度为 500m 以上的桥梁共有 26 座，电压等级自 6.6kV 到 500kV，型式有交联聚乙烯也有充油电缆，迄今为止运行情况良好。如东京市内有三座钢桥新四木桥、新荒川大桥和新二子桥的长度各为 987.1、808.1m 及 732.5m，架设 275kV 充油电力电缆。另有千位桥为 695.3m 钢桥，架设 154kV 充油电缆。

总之，从国内外已有的大量电力电缆敷设和运行经验可以证明，电力电缆过桥在技术上是可行的，各类等级的电力电缆通过各种桥梁是安全可靠的，不影响桥体的结构和人身安全，运行过程也是十分安全的。因此，应充分利用大桥资源，让更多的高压或超高压电缆通过大桥，节省投资，并充分利用桥梁通道资源。

表 1-1 已建部分国内外电缆过桥工程

序号	国家及城市	桥名	桥长	电缆布置方式	电缆形式
1	美国	Viaduct	2000m	电缆用缆绳吊在桥梁下	115kV 3×310mm ²
2	委内瑞拉	波拉马开桥	830m	电缆敷设在铝合金槽内挂在桥下部	230kV 800mm ² 充油电缆
3	日本	大鸣门吊桥	1600m	公路桥下方桥梁桁架结构电缆槽盒内	187kV 2000mm ² 交联电缆
4	日本	瀬户大桥	800×10m	公路桥下方桥梁桁架结构电缆槽盒内	500kV 2500mm ² 充油电缆

续表

序号	国家及城市	桥名	桥长	电缆布置方式	电缆形式
5	香港	青马大桥	2180m	箱梁内	110kV 400mm ² 交联电缆
6	长沙	湘江大桥	800m	混凝土箱梁内	110kV 400mm ² 交联电缆
7	广东	新会崖门大桥	1400m	穿在 PE 管内用角铁固定在栏杆外侧	110kV 400mm ² 交联电缆
8	佛山	东平大桥	560m	箱梁外侧悬挂管线桥架	220kV 2000mm ² 交联电缆
9	上海	东海大桥	25000m	箱梁内、箱梁外侧悬挂管线桥架	110kV 6300mm ² 交联电缆
10	上海	长江大桥	9000m	箱梁内、箱梁外侧悬挂管线桥架	220kV 800mm ² 交联电缆

一、东海大桥实例

东海大桥敷设电缆工程电缆全长 38km，桥上部分 25km，陆上部分 13km。采用 2 回路 110kV 电缆在桥上（陆地上）敷设，桥上敷设长度为 25km，为目前世界上敷设在桥梁上长度最长的高压电缆项目。

东海大桥（见图 1-8）起始于上海南汇区的芦潮港，接沪芦高速公路，跨越杭州湾北部海域，在浙江省嵊泗县崎岖列岛中大乌龟岛登陆，沿大乌龟岛、颍珠山岛至小洋山港区一期交接点，全长约 31km。大桥桥面总宽 31.5m，分上下行双幅桥面。

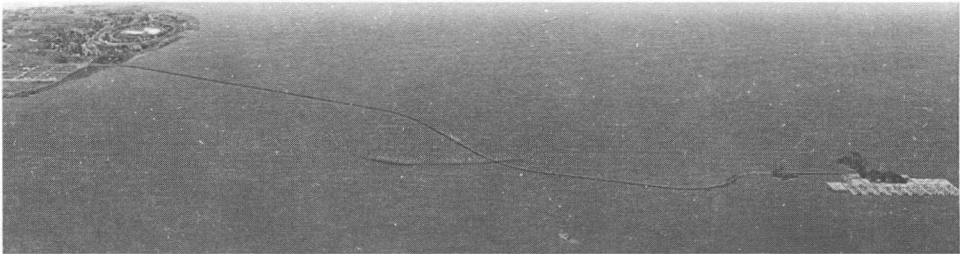


图 1-8 东海大桥全景图

东海大桥分以下 3 段：芦潮港新老大堤之间的陆上段总长 2264m；芦潮港至嵊泗崎岖列岛的大乌龟岛之间的海上段总长 25321.5m；大乌龟—小洋山港区一期交接点的港桥连接段总长约 3469m。

大桥设 5000t 级主航道桥一处、1000t 级辅航道桥一处、500t 级辅航道桥两处，其余均为非通航孔桥。

主航道桥（见图 1-9）为主跨 420m 双塔单索面钢箱—混凝土结合梁斜拉桥；颍珠山桥为主跨 332m 双塔双索面钢梁—混凝土结合梁斜拉桥；三个辅航道桥主跨分别为 120、140、160m；非通航孔桥采用跨径为 50、60、70m 的预应力混凝土连续箱梁，5~7 跨约 300m 一联。

斜拉桥主塔为钢筋混凝土结构，塔身上段采用倒 Y 形构造，下段采用实腹式墩身。塔高 150m，其中桥面以上塔高 110m。塔身截面中塔柱为单箱单室，其余截面为单箱双室。主塔纵向尺寸为 8m，横向尺寸上塔柱 7m，中塔柱 4.2m，下塔柱从 37m 渐变为 28m。

主塔墩采用群桩基础，每墩设 38 根φ2.5m 钻孔桩，桩长为 110m。承台顶设 5.0m 高塔座与塔根相连。

根据 110kV 电缆敷设设计资料，东海大桥 70m 中跨箱梁内的 2 回 110kV 电缆典型敷设现状如图 1-10 所示。箱梁内 110kV 电缆典型布置现状如图 1-11 所示。

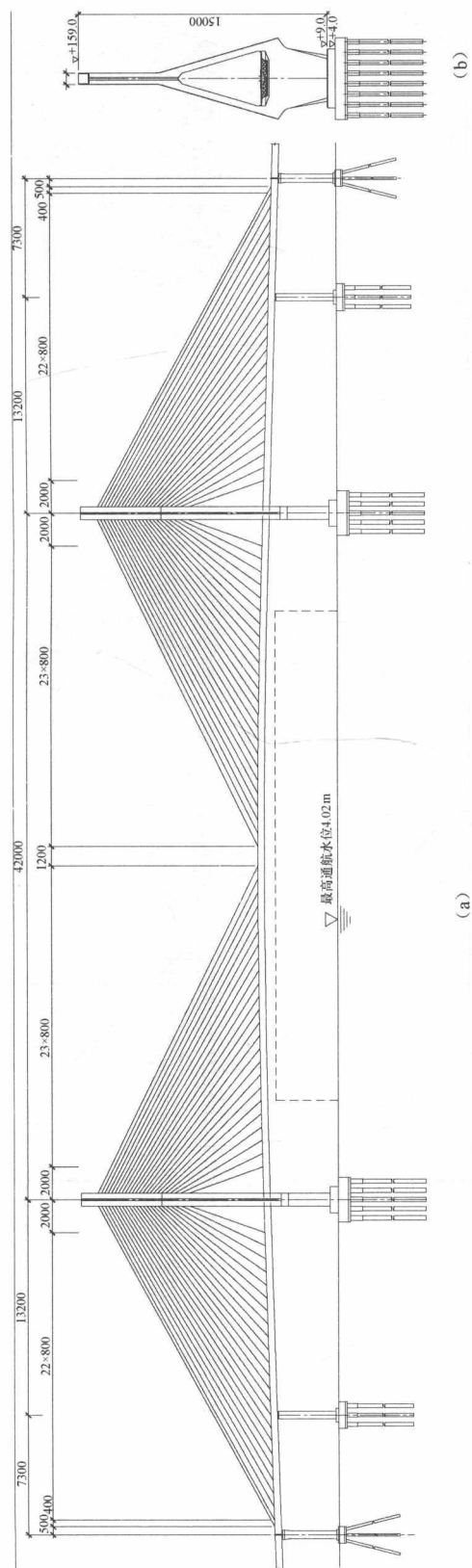


图 1-9 主航道桥桥型布置示意图

(a) 立面布置图; (b) 主塔正立面图

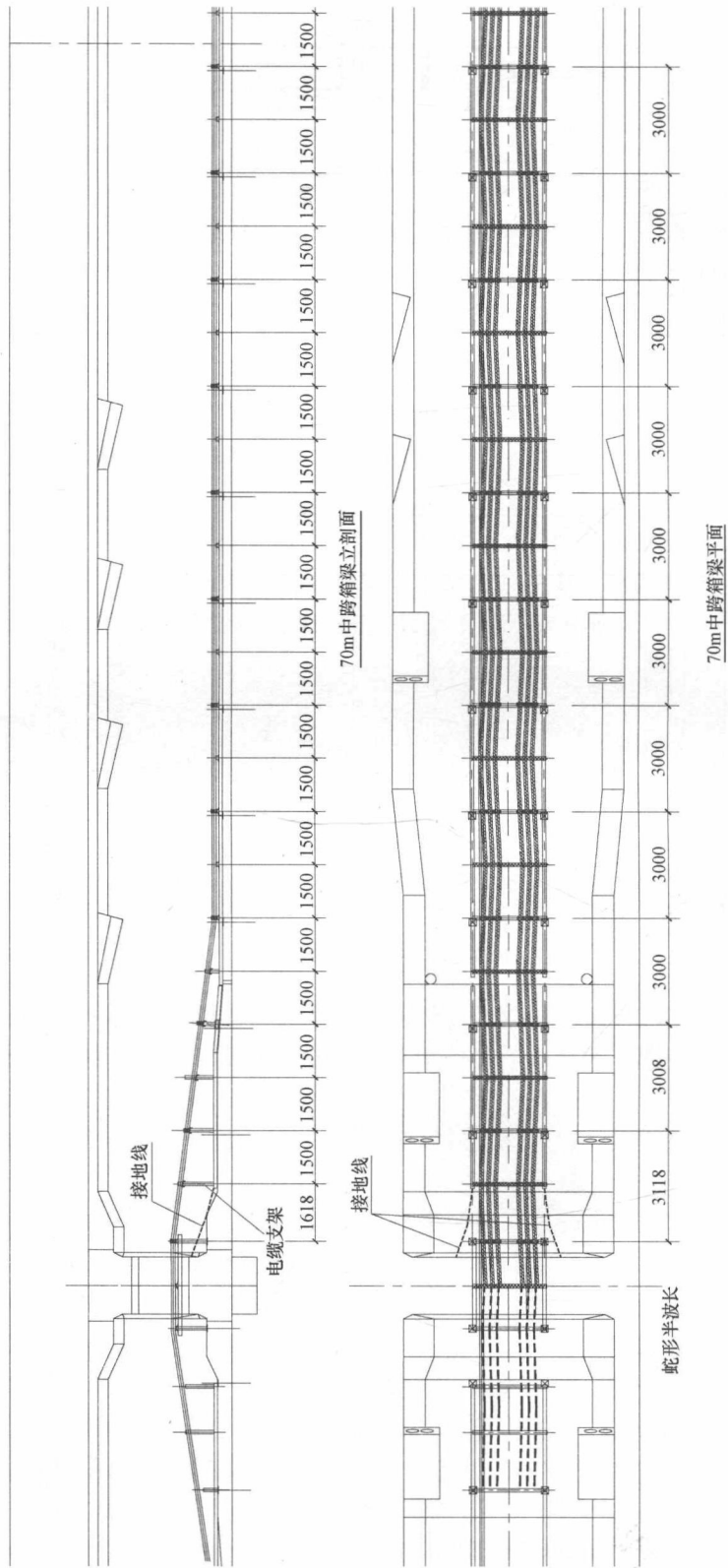


图 1-10 70m 中跨箱梁 110kV 电缆敷设现状

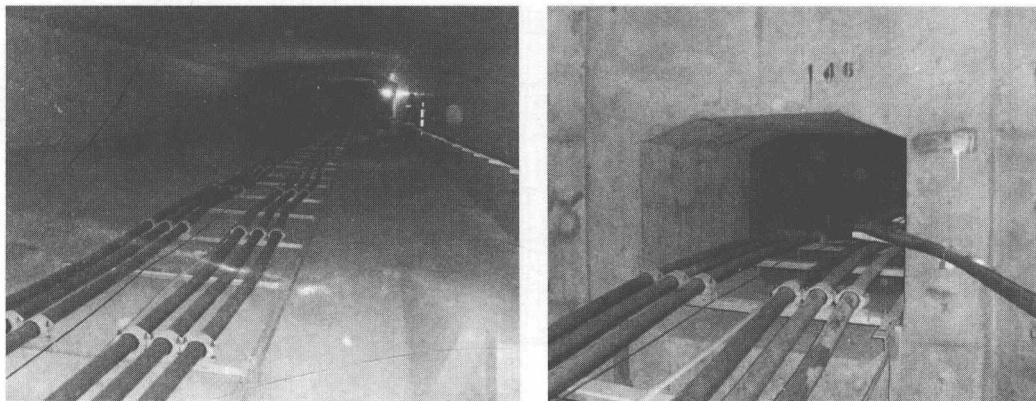


图 1-11 箱梁内 110kV 电缆典型布置现状

桥梁本身的伸缩量相当大，如果不采取吸收伸缩对策，当桥梁产生收缩时，电缆易极度弯曲造成弯折；当桥梁产生拉伸时，将对电缆产生过大的张力。电缆将随着大桥的伸缩反复弯折拉伸，最终造成电缆金属护套断裂、绝缘击穿，达不到电缆设计寿命。

在桥梁伸缩缝处采用专用电缆伸缩装置（OFFSET）通过蛇形敷设的弯曲半径的变化来吸收桥梁的伸缩。通过电缆伸缩装置形状的变化来吸收桥梁伸缩量，避免桥梁伸缩影响电缆运行。在桥上设置电缆伸缩装置必须满足大桥的空间及荷载要求。箱梁 110kV 电缆敷设如图 1-12 所示。

东海大桥所在洋山港的洋山电网由于受电距离长，电缆充电功率大，对系统的无功电压水平影响比较大，而且操作过电压发生概率比较高，影响电缆的安全送电。

洋山港东海大桥敷设的两回 110kV 电缆于 2005 年 10 月顺利送电，其间，电缆经历了大桥桥体移位、大桥被撞击、麦莎台风等恶劣条件的考验，安全运行至今，电缆运行单位也多次上桥对电缆伸缩装置、电缆接头等进行检查，结果均在设计允许的范围内，满足运行要求，证明电缆过桥所采取的措施是有效的。

二、崇明联网实例

随着崇明、长兴岛的发展，岛上电厂已不能满足不断增长的电力需要，急需从大陆输送电能。为了充分利用正在建设中的长江隧道、大桥空间资源，降低工程造价，采纳了 220kV 电缆过长江段利用长江隧道及大桥方案，工程于 2008 年开始建设，2010 年投运。

该长江大桥电缆为国内最长的 220kV 电压等级的过市政大桥及隧道的电缆，电缆从变电站出线后，借越江隧道越过长江后登陆长兴岛，进入长兴 220kV 变电站，再从长兴 220kV 变电站出线后，向北登上长江大桥至崇明，最终进入崇明陈家镇 220kV 变电站。长江大桥路径图见图 1-13，长江大桥路径概况见表 1-2。

表 1-2 长江大桥路径概况表

桥梁长度（km）	9.0	混凝土桥	7.6
		斜拉桥	1.4
隧道长度（km）	7.7		
陆地电缆排管长度（km）	20.3		
电缆线路总长度（km）	37		

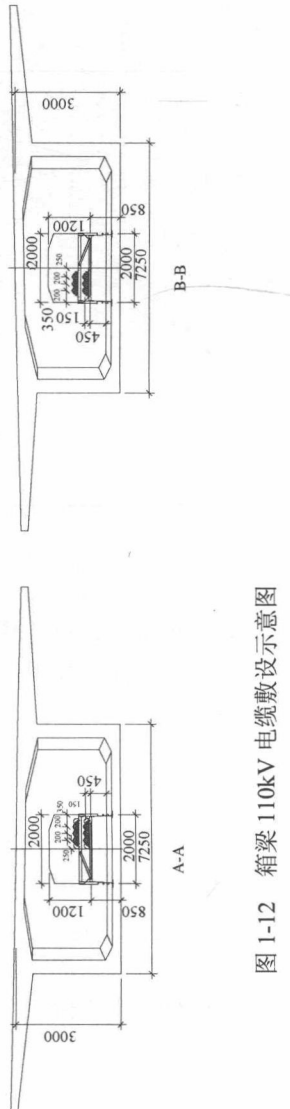


图 1-12 箱梁 110kV 电缆敷设示意图