

福建桥梁

陈 阵 黄文机

摘 要 本文阐述福建省 50 年来的建桥史,总结了各种桥型的发展和创断,提出福建省将来的建桥方向

关键词 桥梁简史 桥梁类型 桥梁建设

一、前 言

福建桥梁,在古代有过文明,最著名的有洛阳江桥、安平桥和虎渡桥。

洛阳江桥建于北宋皇佑五年(1053年),桥长 834m,宽 6m。它的筏形基础,种蛎固基,应潮架设的方法被茅以升称赞为开辟了桥梁技术新纪元,誉为北有赵州桥,南有洛阳桥。

安平桥建于宋绍兴八年,1138年始建,长 2491m,宽 3~3.4m,现桥长 2251m,宽 5m。在 1905 年郑州黄河大桥完工之前,它为历史上最长的石梁桥,有赞句:世间有佛宗斯福,天下无桥长此桥。

虎渡桥,原为浮桥,南宋嘉定 7 年,1214 年建,石墩木桥,后改铺石梁,全长 285m,宽 6m,孔径最大 21m,每孔架石梁 3 根,最重达 200 吨,古代十大名桥之一,石梁如何开采,搬运、铺设至今仍是谜。

洛阳桥之巧,安平桥之长,虎渡桥之奇,已载入我国桥梁史册。

二、50 年建桥史

建国前夕,福建桥梁,除古桥外,多数为临时性木桥,石墩台木面,少数为钢筋混凝土桥、石拱桥。长 100m 以上的桥,全省仅有 38 座,到 1998 年底福建有桥梁 295315 米/9064 座,其中大桥、特大桥有 82448 米/385 座。回顾建国 50 年桥梁发展,福建与全国一样,桥型都有着年代的特征。50 年代木桥,60~70 年代拱桥,80 年代梁桥,90

年代斜拉桥,20 世纪末悬索桥、立交桥。建桥都是因地制宜,一个年代不只建一类桥,但都有其桥型高潮。

1. 50 年代

福建省 50 年代所建的桥梁,多为木石混合结构或钢木结构桥,也有钢筋混凝土梁桥,其中上部为胶合木曲弦桁构的仙游枫亭大桥和上部为双悬臂加挂孔的南平水南大桥当时均处于全国领先地位,堪称 50 年代福建桥梁的代表作。这一年代典型桥梁有:

(1) 仙游枫亭大桥

位于福厦公路的仙游枫亭,上部为胶合木曲弦桁构,其材料杆件以烘干松木用钡剂酚醛树脂及苯磺酸为硬化剂胶合而成,跨径为 44m,桥宽为 7+2×1.0m,用木料建桥的跨径为全国之最,木胶合技术当时在全国领先。

(2) 顺昌东门大桥

桥梁全长 363m,跨径 21.5~26.4m 不等,桥宽 8+2×1.5m,上部结构为钉板梁,梁上密布横木,并铺石灰三合土为防水层,大桥的特点是钉板梁高度低,它是科研与生产相结合的工程。

(3) 古田大桥

竹钉板梁桥,福建盛产毛竹,就地取竹材造桥。

(4) 南平水南大桥

大桥位于南平西部,横跨西溪,桥梁全长 289.5m,上部结构为钢筋混凝土悬臂梁桥,它由双(单)悬臂梁加挂梁组成,跨径 33m,桥宽 7+2

×1.5m,下部结构为钢筋混凝土双柱式墩,沉井或明挖基础。在建造悬臂梁桥型中,水南大桥位于全国之前列,桥梁质量优良,至今仍正常营运。

(5)梅列大桥

大桥位于三明市区,跨越沙溪,桥梁全长235.2m,净跨20m,桥宽 $8+2\times 1.5$ m,上部结构为钢筋混凝土装配式T型梁,仅10个月就完成装配化施工,成为福建桥梁工程中多快好省的一个典范,是我省第一座装配化大桥。

2.60~70年代

60~70年代,由于国情、省情,决定了拱桥之风兴起。拱桥是个古老桥型,也是经济、美观桥型,加之注入新材料、新工艺、新技术,这古老桥型不断披上新装。由石拱桥、混凝土拱桥、双曲拱桥、箱形拱桥,到80年代后创建了刚架拱桥,组合拱桥,钢管混凝土拱桥,因地制宜,广泛应用,特别是钢管混凝土的应用,使拱桥突破了大跨径关。福建的拱桥数量多,形式多,施工方法也多,虽然跨径都不大,但结构造型颇有特色,施工工艺也有所创新,闽清大桥、福州解放大桥、南平玉屏山大桥等都具有国内先进水平。典型桥梁有:

(1)华安金山大桥

大桥跨越九龙江北溪,全长161m,主孔跨径99m,采用等截面悬链线空腹式石拱,矢跨比 $1/6$,拱圈厚1.9m,桥面净宽8m,木拱架施工,是我省跨径最大石拱桥。

(2)龙海郭坑大桥

大桥跨越九龙江北溪,全长468.5m,上部结构采用双曲拱,下部为沉井和浅埋基础,重力式墩、组合式台,最大净跨径75m,拱矢度 $1/9$,上部构件预制。采用跨度310m缆索半自动化吊装,这座大桥为我省双曲拱桥的修建及大跨径拱桥缆索吊装积累资料,提供经验。

(3)闽清大桥

闽清大桥是我省第一座跨越闽江的公路特大桥,大桥全长733.7m,桥宽 $9+2\times 1$ m,上部结构为箱形拱,下部结构为沉井基础,腰形石墩,箱形台,最大净跨75m,拱矢度 $1/7$,为空腹式等截面悬链线钢丝网薄壁箱形拱,是我省第一座大跨径箱形拱桥,每箱分3节预制,重30吨,首次采用中国制造的公路缆索架桥设备吊装,它开辟了福建缆索吊装新纪元。

(4)泉州大桥

跨越晋江,为福厦公路上重要桥梁,大桥全长848.5m,桥宽 $12+2\times 2.0$ m,上部结构采用 π 形拱,下部结构为重力式沉井基础和钻孔桩基础,最大净跨50m,拱矢度 $1/6$,大桥特点是拱截面采用 π 形,在50m以下拱桥,它是经济断面形式之一,具有地方特色。

(5)水口电站闽江大桥

跨越闽江,为水口电站建设而修建,主桥为两跨132m,拱矢度 $1/8$,空腹式等截面悬链线箱形拱,它是我省最大跨径的缆索吊装单片合拢,也是一座汽62.5吨,挂200特殊载重大桥。积累了丰富的大型沉井施工经验。

(6)建阳水南大桥

大桥位于建阳城南,跨越建溪支流麻阳溪,大桥全长193.38m,桥面宽 $14+2\times 3.0$ m,全桥设3孔跨径50m,拱矢度 $1/8$,钢筋混凝土刚架拱,墩台均为扩大基础。刚架拱是组合拱,有斜腿刚构优点,为我国创造的新桥型,在中等跨径桥梁中具有相当的竞争力,它是我省首座建造的刚架拱桥,之后还建尤溪西滨大桥等。

(7)南平玉屏山大桥

大桥位于南平市区,跨越建溪,大桥全长281.72m,桥宽 $7+2\times 2.5$ m,上部结构主桥为飞鸟式中承式拱桥,中跨为100m中承式箱形拱,拱矢度 $1/3.73$,边跨为55m上承箱形拱,拱矢度 $1/9$,大桥的特点是边跨采用高低拱,并利用驳岸修饰为半拱,从而形成飞鸟式拱,其结构为国内罕见,造价比采用预应力拉杆系梁同类桥的低,是城市桥梁优选形式。

(8)新岭大桥

大桥位于水口电站库区樟湖板境内,主孔为80m箱形拱,它是我省第一次采用转体法施工建造的拱桥,与缆索吊装比,设备少、工艺简单,应用在山区特定地形中有着明显优势,在我国转体法施工已推广应用于其它桥型,收到巨大效益。

(9)石潭溪大桥

跨越闽江支流石潭溪,桥宽 $9+2\times 1.75$ m,主孔为135m钢管混凝土拱,截面采用钢管多肢桁式,管内灌注混凝土,钢管混凝土拱是我国80年代创造的新桥型,具有较强生命力和应用前景。该桥是我省最大跨径钢管混凝土拱桥。

(10)福州解放大桥

它是在万寿桥即解放大桥上改建的,大桥上

部结构为钢管混凝土拱,下部结构为钻孔桩基础,主孔80m,边孔50m,大桥的特点是5跨钢管混凝土连拱,为我国首座。连拱的构造措施和缆索加悬臂平台施工法,都有独到风格,大桥的建成为福州城增添风采,夜景尤为美观。

3.80年代

80年代倡导悬臂法施工,打破了梁桥的传统施工方法,使梁桥增大跨径成为可能,由T刚、连续梁到双支座连续梁、连续刚构,福建的大跨径梁桥,通过屏山大桥的探索,一举建成乌龙江大桥,T型刚构跨径一跃而达144m,成为全国之最,而且整整保持了一个年代。之后,结合修建工程,对刚构桥不断进行改革创新,截面形式由箱梁、桁架,再到桁梁组合;体系从静定T构,到带铰T构、连续刚构,有上承式,也有下承式;有常规直桥,也有急弯、陡坡、高墩的特殊桥;施工工艺从悬浇到悬拼,还有以吊装、顶推等方法施工,再转换体系为刚构,形成系列刚构桥,誉为福建桥梁之花,受到国内桥梁工程界赞赏。对中等跨径长桥率先采用逐孔滑模法、逐孔节段拼装法,享有盛誉,特别是结合省情而研制出的先简支后连续的准连续T梁桥,具有地方特色,得到广泛应用,取得显著效益。典型桥梁有:

(1)福州闽江大桥

大桥位于福州市区,跨越闽江,跨径50m,全长344m,桥宽 $13+2\times 2.25$ m,本桥的特点是将预制工字梁整片吊装就位后,以预应力与墩固结为T构,T构之间设挂梁,形成T型刚构桥。

(2)乌龙江大桥

大桥位于福州近郊,跨越乌龙江,采用T型刚构,跨径组合为 $53+3\times 144+58$ m,全长552m,桥宽 $9+2\times 1.25$ m。在复杂的地质、水文、气象条件下,基础施工以简易设备准确定位,在公路桥梁中首次引用管柱基础,当时以工程之难、跨径之最、工期之短而闻名全国。

(3)洪山大桥

大桥位于福州西郊,跨越闽江北港,桥梁全长363m,桥宽 $12.2+2\times 1.5$ m,主孔110m。本桥的最大特点是主桥采用上承式预应力混凝土桁架T构,T构之间设挂梁,桁架自重轻,阻风力小,材料用量省,在台风地区桥型选择中具有相当优势。

(4)洪塘大桥、水口闽江大桥

洪塘大桥位于福州市郊,跨越闽江南港,桥梁

全长1849.47m,桥宽 $9+2\times 1.5$ m,主孔由3个下承式预应力混凝土斜拉式桁架T构组成,T构之间以剪力铰相连,中跨120m。这种结构综合了斜拉、桁架和T构的优点,建筑高度低,在平原地区是大跨径桥梁优选形式。之后又在水口电站库区修建水口闽江大桥,全长690.5m,桥宽 $7+2\times 1$ m,主跨160m。它是在洪塘大桥基础上,利用薄臂高墩的柔度,取消跨中剪力铰,使上部结构连续成为连续桁架刚构,这种桥型填补了国内空白,跨径为全国之最。

(5)丘墩大桥

大桥位于尤溪县,跨越尤溪,桥梁全长250m,桥宽 $7+2\times 1.0$ m,是目前国内顶推法施工中最大跨径梁桥,主桥在顶推施工阶段为 $60+76+60$ m,连续箱梁,主墩由撑架、上墩、中墩和基础组成,顶推之后,将撑架、墩和箱梁固结形成由桁梁组成截面的连续刚构,设计和施工都有相当特色。

(6)刺桐大桥

大桥位于泉州市区,跨越晋江,是福厦公路上一座重要桥梁,上部采用预应力混凝土连续刚构,下部为钻孔桩基础。大桥的技术特点:在当时创造了省内连续刚构跨径最大,预应力束张拉最大,悬浇梁最重的三最。建设上特点是首次吸取私人资金,采用BOT方式,19个月建成1535m特大桥,创造了工期最短的纪录。

(7)厦门大桥

大桥位于厦门高崎与集美的海峡上,与高集海堤平行,工程包括主桥、引桥和匝道桥,桥宽23.5m,总长6599m。主桥上部构造为46孔,跨径45m,等截面预应力混凝土连续箱梁,下部为矩形薄壁双柱墩,基础以钻孔桩为主,部分为打入桩和扩大基础。该桥为国内首次采用移动式模架逐孔现浇施工,为桥梁现代化施工开辟了新途径。

(8)洪塘大桥滩孔

洪塘大桥滩孔为跨径40m无粘结预应力混凝土连续桥梁,采用逐孔无粘结节段拼装,这是我国桥梁史上首次引用该项新技术,施工设备比滑模法简易,同样可获得快速建桥的效果,深受赞扬。

(9)福安赛岐大桥

大桥位于赛岐,为国道104与省道310跨越赛江的重要桥梁,桥梁全长487.86m,桥宽 $9+2\times 1.5$ m。主桥上部为 $45+3\times 70+45$ m连续箱

梁,下部结构墩为沉井基础,台为钻孔桩和扩大基础,大桥跨径虽然不大,但为福建桥梁基础深水施工积累了丰富的经验。

(10)漳州西溪大桥

大桥在漳州城东,跨越九龙江西溪,桥长608.66m,桥宽 $12+2\times 1.5$ m,上部为15孔跨径40m预应力混凝土箱形连续梁,下部结构为双柱式墩,肋式台、钻孔桩基础,大桥采用顶推法施工,为福建首例。

(11)莆田濂溪大桥

大桥跨越木兰溪,桥位与河流斜交55度,是座斜桥,虽然采用正做方案,但桥墩设计为单柱式圆形,配以悬臂墩帽,桥台设计为独立前墙正做,配以调治构造物,有其巧妙和特色。

(12)乌龙江二桥

是福泉高速公路福州连接线上跨越乌龙江的一座特大桥,大桥全长2156m,桥宽33.5m。主桥跨径组合为 $60+3\times 110+60$ m,基础为 $4\times \Phi 2.5$ 钻孔桩,在薄壁承台上对应着桩位设备双肢花瓶式薄壁墩,墩上设置支座,成为双支座连续梁,外似连续刚构,实为连续梁。引桥为准连续T梁,盖梁采用无正弯矩设计,下缘为圆弧形,有别于现行盖梁造形,全桥与环境协调,别具一格。

(13)沉洲特大桥引桥

沉洲特大桥是泉厦高速公路上一座重要桥梁,跨越晋江,全长3087.46m,其中引桥长2587.46m。为了降低工程造价,缩短施工周期,设计单位在引桥上做文章,研制出先简支后连续,俗称准连续T梁的结构形式,由于它兼有简支梁和连续梁的优点,且接头采用普通钢筋混凝土、钢纤维混凝土,更加经济、合理、简便。自沉洲大桥创用30m准连续T梁取得成功之后,在福建高速公路上得到广泛应用,取得显著效益,为我省高等级公路上中等跨径长桥的拳头桥型。

(14)漳龙高速公路4公里高架桥

漳龙高速公路4公里高架桥,它由石崆山I号桥、II号桥、建安关桥、九沙溪桥和如山桥等组成,全长3908m,号称4公里高架桥。沿线地形险峻,平均纵坡超过4.5%,平曲线半径最小为250m,全线均为弯桥高墩,最高达80m。下行为超载重车。根据上述的难点和特点,本工程设计的原则与思路是:根据地形分段设计为整幅桥或分离双幅桥并分段布设桥孔,分别选用板梁、T梁、箱

梁。利用有利地形,立架现浇跨径16m板梁,做为预制场。为了减少因水平位移累计而造成伸缩缝失效,选用连续刚构桥型,并注意设计墩身应具有适当刚度,对不同的地形、地物路段分别布设跨径30mT梁的准连续刚构,和不同跨径组合的连续刚构、连续刚构——连续梁。石崆山II号右线高架桥,跨径组合为 $61+111+155+3\times 65$,总长749m,墩高80m,地形最险要,是最艰巨的一联。为了下行超载重车行驶安全,设置了双排防撞栏。此外,对处在边坡和河中的桥墩防撞和稳定都做了专项设计。此桥的设计与施工都有许多非常规内容,科技含量高,在福建桥梁史上写下新的篇章。

此外,福宁高速公路上的下白石桥,主桥中两个主孔跨径为260m,仅次于虎门大桥270m。

4.90年代

到了90年代,进入了斜拉桥建设高潮。斜拉桥是由塔、索、梁组成的新桥型,由于形式的多样和结构的特点,它的适用范围较广,一般的大跨径可与梁桥较量,特大跨径能与悬索桥竞争。我国自四川云阳建成第一座斜拉桥之后,全国已建成斜拉桥50多座,还有在建的多座特大跨径的斜拉桥。福建已建成的福州三县洲闽江大桥和在建的青洲闽江大桥都是高水平的斜拉桥,可以列入全国名桥之内。

(1)三县洲闽江大桥

大桥位于福州市区,跨越闽江,中隔江心岛,江水分南北两汉,设计中利用江心岛设墩,主桥为独塔单索面预应力混凝土斜拉桥,墩、塔、梁固结、倒Y型塔。北汉一跨过江,跨径238m,南汉利用地形布设多孔梁桥,桥梁全长1493m,桥面全宽30m。主梁截面为倒梯箱形,单箱三室,梁高3.28m。主塔为钢筋混凝土结构,下部分为两支向两侧延伸至承台顶部的塔座上,并与承台固结,在塔梁交汇处,两支塔柱之间设置一道高6m箱形横梁,主梁穿过横梁并固结之,这种形式的墩、塔、梁固结,受力复杂,设计与施工都是高难度的,成为控制工程的一个关键。在大桥建设中对墩塔梁固结区的受力特性,进行专题研究,取得了重要科研成果,有效地指导设计与施工,使大桥顺利建成。作为独塔预应力混凝土斜拉桥,它的跨径超过重庆石门大桥,为目前全国之最。

(2)青洲闽江大桥

大桥位于青洲,跨越闽江,目前是福州长乐国际机场专用公路和沿海国道主干线同三高速公路的共用桥。鉴于江面和河道的需要,采用大跨径斜拉桥方案,跨径组合为250+605+250m,两端再各设一孔40m,桥面全宽29m。设计标准为上下行四车道。塔为钻石型,高175.5m。主梁为I字钢梁与钢筋混凝土组成的结合梁。建成之后,它的跨径超过上海杨浦大桥的602m,成为全国同类桥梁之最。

(3)南平九峰山悬索桥:

主跨200m,桥面系由工字钢横梁,纵梁和混凝土空心板组成,其特点是设抗风主索通过桥面中央挑台下的外伸横梁滑槽,固定于两岸墩塔的伸臂框架上,抗风体系简易、可行,已经受了多次十级以上台风考验。

(4)泰宁金湖悬索桥

跨径284m,桥宽6.2m,其特点是加劲梁采用钢筋混凝土桁架,索的一端锚固于悬崖基岩中,另一端支承在山丘的低索塔,全桥重艺术设计,为金湖风景区增添景色。

(5)沙县悬索桥

净跨 2×112 m,为独塔悬索桥,国内罕见,为了适应旅游需要,充分利用索塔周围空间,在塔中设置观光场所。

(6)厦门海沧大桥

厦门海沧大桥跨越厦门岛与海沧开发区之间的西海域,工程项目系由东航道桥、西航道桥、东

西引桥、东渡互通立交和主线桥等组成,东航道桥是海沧大桥的主桥,采用布跨为230+648+230的悬索桥,总长度1108m。桥的特点是加劲钢梁采用三跨连续漂浮体系,设计施工难度大,科技含量高,在同类桥型中,是亚洲第一,世界第二。另一个特点是大桥建设项目首次全面引入景观及环境美化设计,集中体现20世纪末国际桥梁工程技术的先进水平。

5. 基本经验

(1)鉴于福建无大江大河,不追求大跨径,在巧和奇上做文章,追求定位准确。

(2)坚持以桥梁建设带动专题研究,以科研成果指导桥梁建设,路线正确。

(3)现代桥梁文明是由高素质人才运用先进手段来创造的,既抓人、又抓物,措施得当。

从横向比较,我们还存在差距,可谓任重道远。福建今后桥梁目标重点是一向海峡、二向山区。跨海大桥工程的特点是水深、浪大、风急、地质复杂、腐蚀性强、上部难、基础更难。跨谷大桥的特点是地形险峻、地质复杂、无预制场,布孔、桥型、稳定都是工程的关键与难点。

长江后浪推前浪,世上今人胜昔人,我们相信福建桥梁在21世纪一定会克服困难取得更大成绩。

(本文原载福建公路学会2000年会论文集,转载时略有删减)

(上接第26页)

梁及拱肋标高会降低,因此在合拢段混凝土浇筑前对纵梁和拱肋标高进行调整,考虑塔架拉索内力的影响,在主桥边跨压重调整标高比较危险,因此,本桥采取在合拢段拱肋上用千斤顶进行对顶的方法来抬升拱肋及纵梁标高,这样既可达到调整标高的目的,又可避免在边跨压平衡重引起拉索内力增加的不便。

7. 施工体会

本桥施工过程中,全桥受力状况经历了三次转换:1)全桥混凝土现浇过程——荷载落于钢管支架上;2)主桥转体施工过程——全桥荷载由塔架、拉索传递至上转盘;3)合拢段施工——全桥荷载由拱肋及加劲纵梁承受,桥体进入工作状态。因

此,在施工过程中,对全桥的受力状况也要分阶段进行分析,因为在不同的施工阶段,各主要受力杆件上应力分布及全桥整体性能差异相当大,所以,在施工过程中,我们始终与设计及监测单位保持密切联系,及时交换意见,保证在各施工阶段,构件受力情况都能满足要求。

实践证明,根据上海砖莘公路沪杭高速跨线桥工程施工的特点,该桥采用分段现浇,留置后浇带并针对主桥施工状态及工作状态下不同的受力状况分别进行分析,对局部进行加强的施工工艺的运用是非常成功的,使用此种方法,优质、安全地完成了上海市第一座转体桥施工,大大减少了对沪杭高速公路通行的影响,为此类型立交桥施工积累了丰富的经验。