

无粘结预应力混凝土在桥梁工程中的应用

徐 岳 王春生

【摘要】回顾了无粘结预应力混凝土结构的发展概况,并着重介绍了无粘结预应力混凝土在桥梁工程中的应用现状。在比较无粘结与有粘结两种预应力混凝土结构的优缺点基础上,指出无粘结预应力混凝土在桥梁工程中的广阔应用前景。分析了我国无粘结预应力混凝土技术的科研与设计施工现状,并指出为推动这项新技术在桥梁工程中的应用,应系统研究无粘结预应力混凝土桥梁的设计理论与方法。

【关键词】无粘结预应力混凝土 梁桥 应用

1 前言

无粘结预应力混凝土结构是后张预应力混凝土结构的一个重要分支,无粘结预应力混凝土这一概念于二十世纪二十年代由德国的R.Farber明确提出并获得专利。无粘结预应力混凝土结构是首先将由单根或多根高强钢丝、钢绞线或钢筋组成的预应力筋沿全长涂刷防锈蚀材料,并用塑料套管或油纸包裹,使其不与周围混凝土发生粘结,之后可以象普通钢筋一样按设计要求放入模板之内,浇注混凝土,待混凝土达到设计强度后,即可张拉锚固。在无粘结预应力混凝土结构中,预应力筋与周围混凝土之间没有粘结,可以纵向自由滑动,预应力筋只有通过锚具才能与混凝土共同工作来承担外荷载。而传统的后张有粘结预应力混凝土结构中预应力筋要通过孔道灌浆来与混凝土结成整体共同受力。可见,与后张有粘结预应力混凝土结构相比,无粘预应力混凝土结构不需预留孔道、穿束、灌浆等复杂工序,从而简化了现场施工工艺、缩短了工期;同时无粘结预应力筋布置比较灵活,尤其在预应力筋排列密集、交叉或不规则时,更能体现其布置的灵活性。若在无粘结预应力混凝土结构中配置一定数

量的有粘结普通钢筋,可以有效地改善无粘结预应力混凝土结构的性能。主要体现在有粘结普通钢筋可以弥补强度的不足,使结构的强度得到保证,而且可以控制裂缝的开展,增加结构的延性,从而使结构具有良好的使用性能。

2 国内外概况

由于无粘结预应力混凝土结构安全可靠、性能良好、施工简便,经济合理,近半个多世纪来已经被很多国家采用。有关资料表明,1965~1989年间,美国共耗用100万吨后张拉预应力钢筋,其中无粘结筋占73万吨,高达73%,采用无粘结预应力技术建造的高层建筑面积达1亿m²以上,目前正以每年1000万m²的速度增长,无粘结预应力混凝土已成为预应力结构的主流。该技术在加拿大、英国、瑞士、德国、澳大利亚、日本、泰国、新加坡等国也得到大量的应用。

我国无粘结预应力混凝土的研究与应用远晚于国外。从七十年代开始,我国建筑部门着手进行无粘结预应力混凝土的基础性研究。经过十几年的努力,完成了结构基本性能系统及配套的施工工艺研究,研制了相应的生产设备和机具,并编制颁布了《无粘结预应力混凝土结构技术规范》^[1](JGJ/T92-93),形成了具有中国特色的“无粘结预应力混凝土结构体系”,建设部已将这

徐 岳:长安大学公路学院教授

王春生:同济大学桥梁系博士生、长安大学公路学院讲师

无粘结预应力

项技术列为重点推广项目,以促进此技术在建筑结构工程中的应用。目前,我国已建成的无粘结预应力楼盖结构的建筑面积达400万 m^2 ,并以每年百万平方米的速度递增。无粘结预应力筋摩擦力小,且易弯成多跨曲线形状,特别适合建造复杂的连续曲线配筋的大跨度楼盖和屋盖。应用最多的是多层及高层建筑中单向、双向连续平板及密肋板。已建成的具有代表性的建筑有北京永安公寓、北京科技活动中心、新世纪饭店(31层)、广州国际大厦(63层)、青岛中银大厦(48层)、上海国际大厦(37层)、金山大厦(48层)、珠海机场候机楼、光大国际贸易中心、济南长途枢纽工程等200多项大型工程。近年来,无粘结预应力混凝土又扩大应用于井字梁、悬臂梁、框架梁、扁梁、受拉结构和预应力拉杆(锚杆)等。无粘结预应力混凝土在我国工业与民用建筑领域已得到广泛的应用,但在我国桥梁工程领域无粘结预应力混凝土的应用才刚刚起步。

3 无粘结预应力混凝土在桥梁工程中的应用

无粘结预应力混凝土按预应力筋所处位置的不同,可以分为体内无粘结预应力混凝土与体外无粘结预应力混凝土两大类。前者是将无粘结预应力筋布置在结构混凝土之内的无粘结预应力混凝土;后者是将无粘结预应力筋(又称之为体外预应力筋)布置在结构混凝土外面,通过锚具、转向块将体外预应力筋同混凝土形成整体共同受力。应该说,无粘结预应力混凝土在桥梁工程中的应用要比有粘结预应力混凝土要早,而且施加预应力的方式是采用体外预应力筋。1937年德国人狄辛格采用体外无粘结预应力筋建成了主跨69m的奥厄桥(悬臂梁桥),比1938年在德国Westphalia州Oelde附近建成的世界上第一座有粘结预应力混凝土桥(跨度33m的跨线桥)早了一年。之后马涅耳在1948年也用同样方法建造了斯

克莱恩马斯河桥(62.7m+62.7m)。随着建桥材料性能、预应力工艺水平及力筋防腐技术的提高与发展,体外预应力在桥梁工程中的应用得到了较快的发展。如二十世纪六十年代的委内瑞拉卡罗尼桥,七十年代后期美国的长礁桥和七英里桥,八十年代初科威特布比延海湾大桥,都是采用体外预应力建造的世界名桥。目前体外预应力是国外节段法施工桥梁常用型式之一。

近几年来,我国交通部门开展了体内无粘结部分预应力板梁结构体系的研究,并修建了近十座试验桥,如四川省的蒲江馭仙桥、蒲江雷河桥和隧宁嘉禾桥为跨度小于20m的无粘结部分预应力空心板桥,深圳皇田机场立交桥跨越广深高速公路时采用6×30m无粘结部分预应力空心板桥,贵州省息峰市阳朗坝大桥采用42×16m无粘结部分预应力空心板,陕西省宝鸡市引渭渠桥为一孔20m无粘结部分预应力空心板,河北省平山县温塘河大桥为6×20m无粘结部分预应力空心板。荷载试验表明均达到设计要求,投入使用后,效果良好。中小跨径的桥梁在公路桥中占有较大的比例,而预应力空心板在中小跨径范围是最具竞争力的。但目前空心板多采用先张法施工,需要庞大的张拉台座,又因桥位相对分散,需要大量的运输费用。若采用无粘结预应力空心板可以节省这两项费用,具有较大的经济意义。

无粘结预应力混凝土结构,不需预留孔道、穿筋及灌浆等复杂工序,简便了操作,加快了施工进度。无粘结预应力筋摩擦损失小,且易弯成曲线形状,适合于连续曲线配筋的桥梁,如已建成的江苏丹阳70m跨无粘结预应力系杆拱桥,福州洪塘大桥40m跨度连续梁(体外预应力),河南金堤河宋海大桥无粘结部分预应力低高度箱梁,甘肃省秦安(18+24+18)m连续空心板梁等。

实践表明,由于采用无粘结部分预应力设计

无粘结预应力

理论,其结构性能较全预应力混凝土结构有较大改善,在使用荷载作用下能较好地控制结构的反拱度,减少因预应力过大而引起的端部纵向裂缝,在承载能力极限状态下,还表现出较好的延性和吸收能量的能力。同时可减少结构的断面尺寸,减轻构件重量,该技术更适合于复杂配筋、断面尺寸较大的结构,如北京紫竹立交主桥单箱三室箱梁顶板配有曲线无粘结预应力筋;甘肃三淮黄河大桥主桥箱梁顶板采用横向曲线无粘结预应力筋;湖南沅陵沅水大桥箱梁顶板横向预应力因采用无粘结预应力筋,顶板减薄4cm,全桥节约混凝土400m³,经济效益可观;汕头海湾大桥预应力混凝土加劲箱梁,横向预应力采用体内无粘结筋,底板纵向预应力采用体外束,从而有效地减小结构尺寸,降低结构自重,同时又保证结构的受力要求。

无粘结预应力技术在桥梁工程领域应用的另一个方面是旧桥加固改造,加固改造的措施为体外应力加固法。国外采用体外预应力加固既有桥梁的实例很多,如法国的阿佛尔(Boivre)桥、美国的黑巷(Black Lane)桥。我国已采用此技术加固多座桥梁,如厦门市国道324线坂头桥加固改造采用这种方法,其费用仅为拆旧建新的1/10,而且施工中不中断交通,取得了良好的社会效益。

4 无粘结预应力与有粘结预应力混凝土结构的比较

4.1 静载强度

静载强度最基本的结构性能指标,在结构设计中应对正截面与斜截面强度分别进行设计。对于无粘结预应力混凝土结构,由于无粘结预应力筋在构件受弯破坏时达不到其屈服应力,因此一般无粘结预应力混凝土梁的正截面强度要比有粘结预应力混凝土梁低10~25%^[3]。对于斜截面强度而言,由于无粘结预应力筋与混凝土之间可以

相互滑动,梁体整体性差,无粘结预应力筋的销栓作用比有粘结预应力筋小,对梁体斜裂缝的约束作用也较有粘结预应力筋弱,从而使无粘结梁抗剪强度比有粘结梁低约17%^[12]。以上分析表明,无粘结预应力混凝土梁的抗弯和抗剪强度较有粘结梁略低。但控制预应力混凝土结构设计的常常是正常使用极限状态下的指标,而且强度的不足可通过配置适量有粘结普通钢筋来弥补,因此不必过分担心无粘结预应力混凝土梁的强度,可见无粘结预应力混凝土在桥梁工程中的应用是可行的。

4.2 裂缝与挠度

试验研究与理论分析表明^[3, 9, 10],纯无粘结预应力混凝土梁的抗裂性能较差,构件破坏时仅有一至二条集中裂缝,呈脆性破坏,构件延性很差,其破坏机构不象梁而象一个带拉杆的扁拱。此种结构在实际工程中很少采用。对于配有一定数量普通钢筋的无粘结部分应力混凝土梁,其裂缝数量较多,裂缝宽度较小,间距均匀,这与有粘结梁十分相似。而且无粘结部分应力混凝土梁的荷载-挠度曲线也呈三折线,结构延性良好,与有粘结梁的变形性能很相近。可见无粘结部分应力混凝土梁具有良好的工作性能,可满足桥梁工程的要求。

4.3 疲劳问题

桥梁要承受车辆等动荷载和重复荷载的作用,因此工程师们对桥梁的疲劳性能很关心。无粘结预应力混凝土梁的疲劳强度主要包括正截面与斜截面疲劳强度。正截面疲劳破坏是由主筋疲劳断裂引起的,文献[11]的试验研究表明无粘结梁的正截面疲劳强度较有粘结梁要低一些,锚具一般也不会发生疲劳破坏,正截面疲劳不控制设计。重庆交通学院研究表明^[14],无粘结梁的斜截面疲劳破坏是由箍筋疲断引起的,且其疲劳强度较低,约为其静载强度的1/2,在使用中可能会

无粘结预应力

发生疲劳破坏。因此可采用“不裂不疲”的原则和按疲劳控制斜截面设计来避免发生疲劳破坏。可见采取适当措施可以解决无粘结预应力混凝土梁的疲劳问题。

4.4 耐久性

耐久性是评价结构性能的一项重要指标。有粘结梁中的混凝土或灰浆对预应力筋提供了碱性防腐,而无粘结梁中的无粘结预应力筋却无这一防护。由于无粘结筋与混凝土之间没有粘结力的约束,只要一个截面受腐蚀而破坏,就会使整个结构失效,因此其耐久性倍受关注。美国的Schupack在调查后指出,在250万吨预应力钢材中,受腐蚀的无粘结筋仅有200根,并未出现过因无粘结筋腐蚀而导致结构倒塌的事故。国内外的工程实践表明无粘结筋具有良好的防腐性能。因此只要构造措施得当,产品质量合格,施工质量可靠,无粘结筋的耐久性是有保证的。然而许多工程事故表明,对管道压浆的后张预应力梁,原先认为管道一经压浆,力筋防腐即有保证,而事故检查结果使此种结构的耐久性受到了怀疑,加上力筋状态不易监察,不易更换,使后张有粘结预应力混凝土结构曾一度受到英国运输部的禁止。

4.5 结构构造

采用先张法施工的有粘结预应力混凝土梁无需强大锚具,无摩擦损失,但力筋无法弯起,梁端抗剪不利,且要承担不利的负弯矩,适用于中小跨度桥梁。采用后张法施工的有粘结预应力混凝土梁的力筋可以布成所需的曲线形状,适用于悬臂施工的各种大跨度桥梁,也用于中小跨度桥梁,但大量的管道对受力与施工都带来不利影响,且管道摩擦损失大,长束、弯束穿束困难。有粘结预应力混凝土梁的力筋应力状态及腐蚀情况不易观察,不易更换。

体内无粘结预应力筋所占面积小,摩擦损失

小,力筋可以布成曲线形状,但力筋需要严密的防腐措施,梁内力筋状态不易检查。体外预应力在构造上除具有体内无粘结预应力混凝土的优点外,还具有应力损失可以补拉,易于更换,梁体无截面削弱等优点,体外预应力也需严密的防腐措施。此外,体内无粘结预应力与体外预应力混凝土结构中需布置有粘结的普通钢筋来限制混凝土裂缝宽度,保证结构的韧性。

4.6 施工工艺

先张法的有粘结梁无需制孔、压浆等工序,但需要强大的张拉台座和较大的预制场地。后张法的有粘结梁可采用多种施工方法,施工工艺复杂。

体内无粘结预应力混凝土梁省去了孔道压浆工序,施工工艺简化,既可预制又可现浇。可以讲体内无粘结预应力混凝土采用普通钢筋混凝土结构的施工方法,却可达到预应力混凝土结构的使用效果。体外预应力无需制孔、压浆等工序,可采用节段及悬臂施工法。

5 问题讨论

(1) 无粘结预应力混凝土技术已开始应用于我国的桥梁结构。这种结构不仅施工方便,而且使用性能良好,已取得显著地综合经济效益,特别是在中小跨度桥梁中具有很强的竞争力。近年来国内交通部门与科研院校对无粘结部分预应力混凝土梁桥进行了研究,取得了一定的研究成果与工程经验,推动了无粘结预应力混凝土在桥梁工程中的应用,但研究缺乏系统性、全面性,仍然没有很好解决无粘结预应力混凝土桥梁的设计方法。

(2) 目前,国内外无粘结预应力混凝土结构设计中,仍基本使用经验统计的方法或借用有粘结预应力混凝土的方法,对一些尚不清楚的问题,采用偏于安全的措施处理,且研究的重点主要集中在承载能力极限状态下无粘结筋的极限应

无粘结预应力

力计算方面,而对通常使用极限状态下,无粘预应力混凝土梁的变形、裂缝、混凝土应力、无粘结筋的应力计算方面研究甚少。但在无粘结预应力混凝土梁桥设计中正常使用极限状态下的各项计算与强度计算同样重要。

(3) 随着无粘结预应力技术在我国广泛应用,建设部颁布了《无粘结预应力混凝土结构技术规程》,此规程对无粘预应力混凝土的应用范围、材料要求、张拉锚固系统、抗裂设计、无粘结预应力筋的极限应力取值、刚度计算、抗冲击承载力计算、抗震设计计算和构造措施、防火及防腐要求、施工方法和质量要求等均做了明确的规定,这对无粘结预应力混凝土结构的设计与施工带来了方便。而此规范主要是针对工民建结构,在桥梁结构中是不能盲目照搬的,因为后者在规范荷载等多方面都不同于前者,更何况《公桥规》中尚无此类条文。这给无粘结部分预应力混凝土桥梁的设计带来了一定的困难。

(4) 为解决上述问题,推动无粘结预应力技术在桥梁工程中的应用,应结合现行《公桥规》对有粘结预应力混凝土结构有关计算原理与方法,较全面、系统地研究无粘结预应力混凝土梁桥正截面强度、斜截面强度、疲劳强度、主梁变形、裂缝、混凝土应力、无粘筋应力计算的原理与方法,并给出相应的实用计算公式,从而形成一套系统的无粘结预应力混凝土梁桥设计理论,为《公桥规》的完善提供有益的参考。

参考文献

- [1] 中华人民共和国行业标准. 无粘结预应力混凝土结构技术规程(JGJ/T92-93). 北京: 中国计划出版社, 1993.
- [2] 中华人民共和国交通部标准. 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范(JTJ023-85). 北京: 人民交通出版社, 1993.
- [3] 陶学康. 无粘结预应力混凝土设计与施工. 北京: 地震出版社, 1993.
- [4] 肖长礼, 等. 后张无粘结部分预应力混凝土公路桥. 北京: 人民交通出版社, 1999.
- [5] 傅温. 高效预应力混凝土工程技术. 北京: 中国民航出版社, 1996.
- [6] 王春生. UPPC梁桥设计理论与方法研究(硕士学位论文). 西安公路交通大学, 2000.
- [7] 徐栋. 节段施工体外预应力桥梁的极限强度分析(博士学位论文). 同济大学, 1998.
- [8] 周履. 无粘结力筋与体外力筋预应力混凝土桥梁的发展历程与现状. 桥梁建设, 1997(3): 1-12.
- [9] 杜拱辰, 陶学康. 部分预应力混凝土梁无粘结筋极限应力的研究. 建筑结构学报, 1985, 6(6): 2-13.
- [10] 刘健行, 张曙. 无粘结部分预应力混凝土梁的极限强度、裂缝和变形的试验研究. 湖南大学学报, 1987, 14(3): 1-15.
- [11] 林太珍, 陈惠玲. 高效预应力混凝土工程实践. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993, 117-121, 208-223.
- [12] 肖光宏, 江炳章, 郭健. 有粘结部分预应力混凝土梁与无粘结部分预应力混凝土梁斜截面抗剪强度的比较. 重庆交通学院学报, 1996, 15(1): 17-21.
- [13] 赵灿晖, 江炳章, 龚尚龙. 无粘结部分预应力混凝土梁的疲劳抗剪强度试验研究. 重庆交通学院学报, 1996, 15(4): 1-7.
- [14] ACI COMMITTEE 318. Building code requirements for reinforced concrete (ACI318-95). American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1995.

中国土木工程学会2000年团体会员工作会议在穗召开

中国土木工程学会2000年团体会员工作会议于2000年12月13日在广州召开, 本次会议是由中国土木工程学会主办, 由广东省土木建筑设计研究院、广东省建工集团、广东省交通集团等单位协办。这次会议的主题是围绕该学会设立的詹天佑土木工程奖的工程做一些学术交流。会议组特

别邀请了交通部总工凤懋润同志及工程院院士——广东省建筑设计研究院总工容柏生等做了学术报告。整个会议期间, 各与会代表发言热烈, 学术讨论气氛浓厚, 会议进行的相当成功。本次会议12月15日结束。

(谢芳)