

文章编号: 0451—0712(2005)10—0001—05

中图分类号: U445

文献标识码: B

注重技术质量 提高结构耐久性

侯金龙¹, 侯 斌²

(1. 路桥集团第一公路工程局 北京市 100024; 2. 中交公路规划设计院 北京市 100010)

摘 要: 通过多年来大量的工程实践,我国公路桥梁工程的建设水平已提升到一个新的高度,工程技术人员也已掌握了建造各类桥梁的关键技术。随着国家公路主干线的继续建设和完善,仍要兴建为数众多的公路桥梁,以满足国民经济持续增长的需要。但在当前公路桥梁建设的工程实践中,尚存在一些不容忽视的问题,针对这些问题,从如何注重技术质量、提高结构耐久性的角度,阐述了见解,提出了相应对策措施。

关键词: 公路桥梁; 技术质量; 结构耐久性

改革开放以来,随着国家实施积极的财政政策,对交通基础设施投资的加大,我国的公路桥梁建设以前所未有的速度向前发展。由于高等级公路的兴建,桥梁工程的数量随之增加,各种桥型更加丰富,技术不断创新。从 20 世纪 90 年代中期开始,大跨深水桥梁越来越多地出现在我国的大江大河中,近年来,又逐渐掀起近海桥梁工程的建设高潮。在这些桥梁工程的建设过程中,通过大量的工程实践和技术创新,我们已掌握了建造各类桥梁的关键技术,建造水平也跻身于世界先进行列,而且部分桥梁已位居世界领先水平。

成绩的取得固然可喜,但不可否认,我们在公路桥梁工程的建设中,不论是沿袭传统经验,或在新技术、新结构、新工艺和新材料的应用上;也不论是在设计理论,还是在施工的技术和工艺等方面,仍然存在着很多不容忽视的问题,尚有待于我们去不断探索、创新、研究和解决。这些问题如得不到解决,将直接影响到工程的质量,降低桥梁结构的耐久性和可靠度,“百年大计、质量第一”也将成为一句空话,并进而影响到公路建设的长期投资效益和可持续发展的战略目标。

1 预应力技术

在土木工程中,公路桥梁是应用预应力技术最为广泛的结构之一,特别是桥梁的上部,除部分小跨径的梁板采用普通钢筋混凝土结构外,绝大部分

均采用预应力混凝土结构。跨径越大的混凝土桥梁,采用预应力结构的机率越高,桥墩墩身、索塔以及悬索桥锚碇中的主缆锚固系统等也多有采用预应力的工程实例。十几年来,我国的预应力技术发展较快,在吸收世界先进技术并不断创新的基础上,已开发出多种适应我国国情的预应力体系,并大量应用于工程实践中。虽然通过工程实践,多数设计、施工的工程技术人员能比较熟练地掌握和运用预应力技术,但仍有部分人员在对规范的准确理解,以及对新技术、新结构、新工艺、新材料的正确应用方面尚存在一些错误的认识,从而难以保证工程的质量,降低了结构的耐久性。

(1) 张拉阶段初应力的不足,使有效预应力难以按设计要求建立。

对多根力筋的预应力钢束实施张拉时,其程序一般为从零开始,先张拉调整到一定的初应力状态后,再正式分级张拉至设计要求的控制应力。初应力阶段的目的之一是:由于最初张拉时,钢束中各根力筋的松紧、弯曲程度不一致,如果在不一致的情况下正式张拉至控制应力,依此在结构中所建立的预应力值是不准确的,无法保证结构的安全度。因此,在正式分级张拉的初始阶段,就必须使钢束中所有力筋的张紧程度能调整到一致,且应力基本相同,以建立起最终的、准确的、符合设计要求的预应力值。

对于预应力钢束的张拉程序和初应力的建立问题,《公路桥涵施工技术规范》(JTJ 041—2000)中已

有很明确的规定,但在当前的工程实践中,存在的最大问题是:初应力究竟要多大才是适宜的;对不同长度的预应力钢束其初应力的取值大小是否应有区别。根据预应力筋张拉过程中应力与变形的关系,初应力的大小与最终建立的控制应力是密切相关的,如果初应力不足,则使有效预应力难以按设计要求建立,因此其取值的大小不能一概而论,而应根据钢束长度的不同来决定。施工规范中虽然给出了初应力大小的范围,但这仅仅是一个范围,在实际的张拉操作中,应依据实际情况进行取舍。对跨径 30 m 以下的梁,初应力取(10%~15%)控制应力也许是适宜的;30 m~60 m 之间的梁,取(15%~20%)控制应力更为合理;跨径大于 60 m 的结构,则应取上限 25%控制应力作为初应力。这样的取值处理,应更能符合结构的实际情况,保证设计要求的有效预应力的建立。

(2)滥用超张拉方法,会使结构处于不安全的状态。

对预应力混凝土结构而言,最重要的是如何在结构中建立准确的、符合设计要求的有效预应力值。在近年来的工程实践中,有不少工程技术人员在未能真正准确理解施工规范条文含义的情况下,不论工程采用何种预应力体系、何种材料和机具设备,一律采用超张拉方法,而且为了保险起见,对张拉时的控制应力采取了一种“宁大勿小”的错误做法。实际上,在预应力混凝土结构中所建立的有效预应力值距设计值过小或过大都是不利的,而盲目滥用超张拉方法的直接后果,是会给结构带来严重的安全隐患。有效预应力值过小(或张拉阶段预应力值损失过大),结构可能过早出现裂缝,固然是不安全的;而有效预应力值过大,超过设计值愈多,虽然结构的抗裂性较好,但因抗裂度过高,预应力筋在承受使用荷载时经常处于过高的应力状态,与结构出现裂缝的荷载很接近,往往在破坏前没有明显的预兆,即产生脆性破坏,将严重危及结构的使用安全。另一方面,如果控制应力过大,会导致结构的反挠度过大或张拉区出现裂缝,对结构同样也是不安全的。因此,为使预应力能最有效地发挥作用,就必须在结构中建立与设计要求值相符的、准确的预应力值。

超张拉方法并不是在任何场合都适用,更不能盲目滥用,需根据设计要求、规范的有关规定及工程的实际情况来决定是否采用,这就要求包括设计、施工和监理各方的所有工程技术人员对此都应有一个

正确的认识和准确的理解。2000 年发布实施的《公路桥涵施工技术规范》(JTJ 041—2000)对预应力张拉的程序已有较明确的规定,如能严格遵照执行,则预应力混凝土结构的工程质量就能得到保证。

(3)后张预应力孔道的真空辅助压浆新技术应得到推广应用,这对于保证工程质量和提高结构的耐久性大有好处。

后张预应力孔道压浆的主要目的之一是防止预应力筋的腐蚀,这是预应力混凝土结构中非常重要的一个方面。为有效防止预应力筋的腐蚀,首先对结构的细部设计应予以充分重视,加强桥面防水及预应力筋锚固部位的防水处理,以防止侵蚀介质侵入预应力筋中;其次,压入孔道内的水泥浆在结硬后必须有可靠的密实性,且应充满整个孔道,不应有空洞现象产生,能起到对预应力筋有效防护的作用。

由于预应力筋的腐蚀而导致桥梁突然坍塌的典型实例是 1985 年 9 月在英国威尔士的 Ynas—Y—Gwas 桥上发生的事故,加上另有其他几座桥梁亦存在类似问题,为此,英国运输部曾在 1992 年 9 月发布紧急通知,宣布由于后张预应力体系在压浆方法上不能确保其安全性,在安全性得不到保证之前,在英国不得使用压浆的后张预应力混凝土结构。之后,英国混凝土学会会同混凝土桥梁发展研究小组,就后张预应力混凝土桥梁的耐久性问题进行了大量的研究,并在取得研究成果后对后张预应力混凝土结构的防护提出了以下几条技术措施:

①加强桥面及锚头部位的防水处理;

②选择合理的孔道成型材料,形成多层防护体系;

③改进压浆材料及压浆工艺。

只有在满足以上三方面要求的情况下,才允许在英国继续使用有粘结的后张预应力混凝土桥梁。由于这一事件的影响,国际预应力协会(FIP)在 1996 年的学术交流会上,将“后张预应力混凝土结构”列为中心议题进行了研讨,世界各国及一些大的预应力专业公司对于后张预应力体系中的孔道材料、压浆材料和压浆工艺也进行了研究改进。近年来,塑料管道、真空辅助压浆的技术和工艺已逐步应用于工程实践中。

我国后张预应力孔道压浆的工程质量一直是一个薄弱环节,这是因为多年来我们所沿用的传统压浆方法和工艺存在着很多不确定因素。结构的细部设计、孔道材料和成型的方式、水泥浆所用材料品质

的优劣、技术与工艺的合理性、机具设备的可靠性以及施工中的组织与管理是否得当,都会直接或间接地对压浆的质量产生影响,而这些影响最终必然会在结构的耐久性方面反映出来。早期由于技术相对落后,对孔道多采用抽拔管和白铁皮制管的方式成型,随着技术的不断进步,现多采用优质带钢在制管机上卷制而成的波纹状金属螺旋管。虽然金属螺旋管较之抽拔管和白铁皮管有着更好的使用性能,但防腐的长期效果依然较差,在混凝土开裂或使用时间过长的情况下,仍有锈蚀的可能,往往不能对管道内的预应力筋起到良好的防护作用。因此希望有一种不会被侵蚀、能抵抗侵蚀物质侵入、甚至在压浆被破坏后仍能防止侵蚀物质侵入的材料来制成管道。高密度聚乙烯管和聚丙烯管等塑料管道是一种比较理想的材料,具有不腐蚀、能有效地防止氯离子侵入、不导电、有较高的线膨胀系数和较低的弹性模量等基本性能。

成功的压浆必须建立在有可靠的材料品质和性能、以及先进技术和合理工艺的基础上,传统的压浆方法经大量工程实践证明并不是十分可靠,如果水泥浆的性能不佳、操作上稍有疏忽,很容易在管道内产生空洞,即使采用二次压浆的方法,也不能完全保证管道内水泥浆的密实性。而且,水泥浆泌水现象的存在,会在管道内长期积水,有可能使预应力筋和锚具产生锈蚀。真空辅助压浆作为近年来兴起的一项新技术,经国内外一些工程的应用,证明其效果良好,与传统的压浆方法相比有更高的可靠性,确实能起到保证工程质量和提高结构耐久性的作用,因此应在我国的预应力混凝土桥梁结构中大力推广应用。

严格来说,真空辅助压浆技术是传统压浆工艺的一种补充和改进,在推广应用时还有一些技术问题需要得到解决,如:水泥浆性能的改善、专用添加剂的研制和生产、设备的配套、塑料管道的加工生产、对压浆质量进行检测的手段等等,都应进行进一步地研究,以形成一套完整的工艺技术方法。另外,还有必要在推广应用并总结经验的基础上,适时制定塑料波纹管的产品标准,编制真空辅助压浆施工技术规程,以使该项技术能在工程中规范有序地使用。

2 混凝土

(1) 新旧水泥标准的关系和差异。

国家质量技术监督局于 1999 年发布了新的水

泥国家标准,实施新的国家标准以来,在公路桥梁的建设中虽然没有出现大的质量波动,但仍存在不少问题,特别是在学习、理解以及准确掌握使用新标准上尚有一定差距。新的水泥国家标准等同采用国际标准(ISO),实现了与国际标准的接轨,其核心内容是将我国原水泥强度检验方法 GB177 改为 ISO 水泥强度检验方法,即由 GB/T17671—1999《水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)》代替 GB177—85;与此相应,通用水泥标准中的水泥强度和等级也改为 ISO 强度和等级。但应注意到,对原通用水泥标准修订的主要内容是强度试验方法,其他并未做多大的变动;原 GB 方法改成 ISO 方法后,由于水泥试体胶砂组成灰砂比由 1 : 2.5 改为 1 : 3.0,水灰比由 0.44、0.46 改为 0.50,标准砂由 0.25~0.65 mm 改为多级级配砂,我国的原水泥强度要普遍降低一个强度等级,即原 GB625、525、425 分别对应为 ISO52.5、42.5、32.5;由 ISO 方法代替 GB 法后,占我国水泥产量约 30% 的 GB325 水泥若不大幅度提高质量,则将被取消或改为生产砌筑水泥。对于这些改变,一方面将会促进水泥生产厂大幅度提高产品质量;同时也对水泥的使用单位产生很大的影响。如果对新标准不能正确地理解和掌握,对新旧标准之间的关系与差异模糊不清,仅凭以往固有的经验去配制混凝土并用于工程结构中,将会给结构带来潜在的质量安全隐患。因此,在贯彻实施水泥新标准和配制混凝土时,应对以下几点有充分认识。

① 我国的水泥生产企业除部分重点企业外,大多数地方生产厂规模较小,生产装备落后,工艺不配套,水泥产品的质量水平参差不齐。所以在使用不同生产厂、不同品种的水泥产品时,应充分认识到,并不是所有生产厂的水泥一律降低一个等级就过渡到了 ISO 强度等级,而是有的厂、有的品种水泥降低得少,只有 3~5 MPa;有的厂、有的品种水泥则降低得很多,降低 13~14 MPa。这就要求使用者对此应高度重视,谨慎使用。

② 0.50 的水灰比是 ISO 水泥强度检验方法采用的水灰比,也是结构混凝土常用的水灰比,在这种水灰比下,采用原 GB 等级或相应的 ISO 等级的水泥,所配制出的混凝土强度大致相同,但存在一定差异。比如在低等级水泥、小水灰比时,用原 GB 等级水泥配制的混凝土强度略高一些;而在高等级水泥、大水灰比时,用 ISO 等级水泥配制的混凝土强度略高一些。

③为确保工程质量,应对相关的混凝土规范进行相应地修订,以适应新水泥标准的变化。各工程单位应尽快掌握 ISO 强度检验方法,摸索不同生产厂不同水泥品种的原 GB 强度与 ISO 强度之间的关系,加强混凝土配合比的试配工作,以正确指导水泥的合理使用。

(2)混凝土配制中的水泥用量过大,对结构没什么好处,反而会对结构产生不必要的危害。

当前,在公路桥梁工程的建设中,普遍存在混凝土配制中水泥用量过大的现象,其原因主要有:在配合比设计时,为保险起见,通过加大水泥用量来满足混凝土 28 d 抗压强度的要求,并能较顺利地通过混凝土强度的质量检验评定;为达到施加预应力时的混凝土最低强度要求,而采取加大水泥用量的办法提高混凝土的早期强度。这些原因的产生,一方面反映出部分试验人员的技术水平和管理水平较低,缺乏经验,在混凝土配合比设计中,未进行认真严格的计算和一定数量的试配工作,在混凝土的拌制加工时又不能实施有效的管理控制,就只能单一地用增加水泥用量的做法去满足或迎合强度评定的要求;另一方面,也反映出某些工程的业主和监理出于确保质量的愿望,对结构混凝土存在一种保险再保险、强度宁高勿低的心态,对《公路工程质量检验评定标准》中应尽可能以数理统计方法进行混凝土强度评定的规定弃而不用,而是对所有混凝土均采用非统计方法进行评定,使得施工单位只能以增加水泥用量、甚至提高混凝土的强度等级为代价去满足这些不合理的要求,最终导致混凝土超强现象严重。混凝土配合比中的水泥用量过大或混凝土超强太多,不仅使工程成本大幅增加,造成浪费,对混凝土结构而言也并非好事,反而会对结构造成一些不必要的危害。水泥用量过大,则在混凝土中产生的水化热就愈大,因此有可能在混凝土中产生更大的温度应力,如果养护条件稍差,结构就容易出现裂缝;同时,水泥用量大则徐变量也大,这对于结构的抗冻性、抗渗性和耐久性都是不利的。混凝土超强太多,这与设计计算时所采用强度值的有关参数是不相符的,比如,由于混凝土是一种弹塑性材料,其弹性模量(包括疲劳弹性模量)并不是一个常数,而是随着混凝土强度的提高而增高,计算参数的变化,必然会造成结构实际的受力状况与设计的受力状况不一致。

用数理统计的方法对混凝土抗压强度进行评定,是一种更加科学合理的方法,只要强度相同,龄

期相同,材料来源、生产工艺和配合比相同,属于同一批次的,都应采用数理统计方法评定,这样能较真实地反映混凝土抗压强度的实际情况。

3 悬臂施工的预应力混凝土梁式桥

在变截面的预应力混凝土梁式桥中,包括连续梁桥、刚构桥、刚构—连续组合梁桥等,多采用悬臂法施工。我国的公路桥梁采用悬臂施工法时,悬臂浇筑法用得较多,而悬臂拼装法用得相对较少。

悬臂浇筑法在我国的预应力混凝土梁式桥中得到了普遍应用,我们对这种施工工艺也已非常熟悉。但随着上述桥型的桥梁大量修建,特别是大跨度连续梁式桥的日益增多,出现问题的桥梁也越来越多,其突出问题是梁体混凝土的开裂。尽管前些年对该类桥梁的混凝土裂缝问题展开过调查和分析研究,也采取了一些相应的对策和措施,并收到了一定的效果,然而混凝土的裂缝问题并未得到真正的解决,甚至在近年建成的某些桥梁中这种现象还比较严重。裂缝在混凝土结构中普遍存在,对普通钢筋混凝土结构而言是不可避免的,在预应力混凝土结构中也不能完全杜绝,其产生既可能有设计方面的原因,也可能有施工方面的原因。因此有必要在现有认识的基础上,对此做进一步深入的探索,特别对可能会影响结构正常使用或结构耐久性的关键问题要加以研究并解决。

悬臂拼装法在我国的公路桥梁建设中远不如悬臂浇筑法应用广泛,尽管这种施工方法有很多优点,如:梁体节段的预制可实现工厂化生产,施工质量较易控制;上下部结构可平行作业,施工速度快;节段混凝土的龄期较长,徐变收缩变形值较小,可减小结构的附加内力等等。国外的工程实践经验也表明:悬臂拼装对跨径小于 100 m 的多跨长桥是一种效率高而经济的施工方法。但从我国用悬臂拼装法建成的若干座桥梁来看,其效果并不理想,不管是湿接缝还是干接缝,存在的主要问题是由于梁体节段之间的接缝不密贴,使得通过接缝处的预应力筋有过早产生锈蚀的可能,从而降低了结构的耐久性。悬臂拼装法有一个非常重要的特点,即对施工的精度要求很高,桥梁的跨径越大,其影响也越大。精度的要求首先体现在节段的预制上,不论是采用长线台座还是采用短线台座,所制成的节段都必须保证要有较精确的外形尺寸,以及各节段之间的准确定位接合;其次体现在拼装的精度上,包括对桥梁总体线形的控

制。而拼装的精度在很大程度上取决于预制节段的精度,没有预制节段的精度做保证,拼装的精度就无法实现,同时也存在虽然节段的预制尺寸较准确,但由于混凝土是一种弹塑性材料,其龄期、温度的变化和材料的变异性等因素均会影响到节段混凝土的变形,而使原来准确的尺寸变得不准确。在梁体节段不准确的情况下进行拼装施工,其结果可想而知,拼不上或者接缝不密贴是必然的,最终只能在接缝处垫钢片或其他材料进行调整。根据悬臂拼装法精度要求高的特点,不仅在设计时应充分考虑到各种因素的影响,使结构在各阶段的受力状况趋于合理;更重要的是施工阶段,精度要求高意味着施工人员必须具备良好的素质,要有较高的技术水平和管理水平,在施工的组织、工序的衔接安排、机具设备的配套、质量控制等各方面都应有非常严密的管理措施,只有真正达到了这种水平,才能确保工程的质量。鉴于国内在悬臂拼装施工方面的经验、现状和水平,对这种施工方法暂不宜推广应用,而应在吸取国外先进的成功经验、以及对这种桥型和相应的施工方法有充分认识、能确保工程质量的基础上,再进行推广应用。

4 空心薄壁墩墩身的裂缝

对悬索桥、斜拉桥的索塔和其他一些桥梁的高墩,现大多采用空心薄壁结构,虽然这种结构形式有

很多优点,但普遍存在墩身混凝土开裂的问题。裂缝一般位于接近实体混凝土的部位,特别是与承台连接的墩身底部附近更易产生,而且这种裂缝是对称出现的,类似的现象已经数座桥梁所证实。空心薄壁墩墩身为普通钢筋混凝土结构,结构的特性决定了其在与实体混凝土连接的附近容易产生裂缝。例如在与承台连接的墩身底部附近,由于承台一般为大体积混凝土结构,其温度应力的变化、混凝土龄期的不同都会对墩身结构的变形产生影响;加之在连接处构造尺寸上的突变,这些因素使得墩身薄壁结构的变形与承台结构的变形产生了一致。当墩身混凝土因变形过大而产生的拉应力超过其容许值时,裂缝就不可避免而随之产生,对称裂缝的出现更说明了这一点。要解决这个问题,防止出现裂缝,首先要从设计着手,对于空心薄壁结构与实体混凝土连接处,应有一个构造尺寸上的过渡段,即从实体混凝土逐渐过渡到空心结构,而不是从实心混凝土段突变到空心结构;对于空心薄壁结构的配筋,宜布置细而密的防裂钢筋和箍筋,不能仅满足受力钢筋的要求,而忽视构造钢筋的要求。其次,施工时亦应注意选择确定合理的混凝土配合比,水泥用量不可过大,加强对混凝土搅拌和振捣工艺的管理,注意对混凝土的养护,减少其内外温差,或将一定高度的墩身与水泥混凝土同步浇筑。认真做好这些工作,则空心薄壁墩墩身的裂缝就不会发生。

呼 和 浩 特 至 北 京 高 速 公 路 全 线 贯 通

内蒙古呼和浩特市至北京市高速公路集宁区至老爷庙段 2005 年 9 月 19 日试运行通车。至此,呼和浩特市至北京市高速公路全线贯通。

京呼高速公路是国家“五纵七横”国道主干线丹拉线的重要组成部分;呼和浩特市至老爷庙高速公路是内蒙古“三横九纵十二出口”公路主骨架和高速公路网规划的重要干线。京呼高速公路全长 467 km,其中内蒙古境内呼和浩特市至老爷庙段长 209 km,总投资 46 亿元。工程从 2001 年开工建设,其中由呼和浩特市至集宁段已于 2004 年 9 月建成通车。京呼高速公路的全线通车,缩短了内蒙古与首都北京的距离。过去从呼和浩特市到北京的公路只有二级路 110 国道,长 530 多 km,车流量大,经常发生拥堵,从呼和浩特市进京要一天时间。京呼高速公路通车后,呼和浩特市到北京行车只需四五个小时。

京呼高速公路集宁区至老爷庙段,东起内蒙古与河北省交界处的老爷庙,西止乌兰察布市集宁区,全长 89.4 km,为双向四车道、全封闭、全立交高速公路,总投资 18.64 亿元,其中利用世界银行贷款 1 亿美元。工程从 2003 年 4 月开工建设。该工程实现了“工期提前、质量创优、投资节省、安全达标”的建设目标。