

UEA 膨胀剂及 UEA 补偿收缩混凝土在桥梁结构中的应用

鞠金荧

(中交第二公路勘察设计研究院 武汉市 430056)

摘 要: 本文有针对性地介绍了采用 UEA 补偿收缩混凝土技术,以解决混凝土桥梁中二次浇注混凝土所出现的收缩裂缝问题,并列出一一些应用实例。

关键词: 桥梁; 混凝土结构; UEA 补偿收缩混凝土; 分次浇注

收缩是水泥混凝土的通病,使结构产生裂缝,严重的裂缝会使钢筋锈蚀,缩短结构寿命,甚至导致结构破坏,如能改变混凝土的收缩则可彻底解决对应的裂缝问题。我国水泥材料方面有关专家对此进行了多年深入研究,成功研制出多种膨胀水泥和外加膨胀剂,在此基础上开发了结构自防水、抗裂、防渗三大应用技术。由外加膨胀剂配制的膨胀混凝土在许多建筑工程的应用中取得了很好的效果。

1 UEA 膨胀剂及 UEA 补偿收缩混凝土

膨胀混凝土大致分为 2 种类型,补偿收缩混凝土和自应力混凝土。补偿收缩混凝土是一种当膨胀受到约束而产生的压力,能大致地抵消由于混凝土干缩而出现的拉应力的膨胀混凝土。自应力混凝土是一种当膨胀受到约束时导入很高的压应力,在干缩和徐变后,混凝土中仍保持足够的压应力的膨胀混凝土。目前多以在普通混凝土中添加膨胀剂为主的方法配制膨胀混凝土,也有直接用膨胀水泥配制膨胀混凝土,该技术现已是一项成熟的技术。国际上对膨胀混凝土的研究已有 40~50 年历史,特别是对外加剂的研究,其种类很多。20 世纪 60 年代日本研制的 CSA 膨胀剂。90 年代我国陆续研制出以 AEA、CEA、UEA 为主的多种膨胀剂,其中以 AEA、UEA 为主导产品,尤其是 UEA 膨胀剂的优越、稳定的性能成为用途最广、产量最大的产品。1992 年我国制定了《混凝土膨胀剂》(JC 476)建材行业标准,统一

了技术指标、试验方法,将 UEA 膨胀剂列入其中。1998 年对该标准进行了修订,2001 年对该标准进行了第三次修订(JC 476-2001),对膨胀剂的掺量、质量提出了更高的要求。

近十几年来,UEA 膨胀混凝土在建筑上得到广泛的应用,1992 年建设部将《UEA 补偿收缩混凝土防水工法》(YJGF 22-92)列为国家级工法,2002 年建设部修订了《混凝土外加剂应用技术规范》(GB 50119-2003),完善了掺 UEA 的补偿收缩混凝土的配合比设计、构造、施工注意事项。

UEA 膨胀剂属于硫铝酸盐类膨胀剂,它是由硫铝酸盐熟料、明矾石、石膏共同研细制成。UEA 的膨胀机理大致为:水泥中有足够浓度的 CaO 、 Al_2O_3 、 CaSO_4 生成结晶状或凝胶状的钙矾石,吸水膨胀对混凝土产生膨胀压,致使混凝土体积产生膨胀。钙矾石形成的量和速度决定膨胀效能,形成速度过快,大部分膨胀能消耗在混凝土塑性阶段,做无用功;形成速度过慢,前期不能起到补偿收缩的作用。混凝土具有初始强度时所生成的钙矾石数量决定最终膨胀率。不论补偿收缩混凝土还是自应力混凝土都是通过控制膨胀剂掺量的方法,控制钙矾石生成速度和生成量。

掺入 UEA 膨胀剂配制的补偿收缩混凝土,习惯称“UEA 补偿收缩混凝土”。补偿收缩是指通过混凝土的膨胀变形来抵消所出现的收缩变形。膨胀阶段有 4 种变形:(1)膨胀, CaO 、 Al_2O_3 、 CaSO_4 生成

钙矾石后开始膨胀,湿养期间不断加大膨胀,但湿养结束后速度逐渐减慢;(2)弹性压缩,构件内的钢筋和界面的限制给予膨胀以反作用力,由此混凝土中产生压力而出现弹性压缩,但其值很小;(3)塑性收缩,混凝土硬化过程中,因膨胀压产生塑性收缩,随强度的增长而减小;(4)徐变收缩,其值很小。

收缩阶段主要有 2 种变形:(1)收缩,干缩和冷缩形成混凝土的收缩,收缩趋势是先快后慢,收缩量主要发生在混凝土硬结过程和之后的较短时间内;(2)徐变,其值很小,一般不予考虑。

混凝土的膨胀补偿收缩能力与其膨胀效能直接相关,混凝土中的配筋率影响膨胀效能的发挥,随着配筋率增大而膨胀效能降低。据文献[1]介绍,当配筋率 $\mu \leq 0.5\%$ 时,称为小限制补偿收缩,此时在钢筋和基础或构造边界的限制下,虽然混凝土中的压应力较小,但限制膨胀率却较大,补偿收缩的效果最好,通过降低配筋率的方法,可获得更大的膨胀率。当配筋率 $\mu = 0.5\% \sim 2\%$ 时,称为中限制补偿收缩,此时在钢筋和基础或构造边界较强的嵌固限制下,与前者比,混凝土中的压应力较大,但限制膨胀率却较小。要使补偿收缩的效果好,需要增加 UEA 掺量提高膨胀率。当配筋率 $\mu \geq 8\%$ 时,称为大限制补偿收缩,此时在钢筋和基础或构造边界强大的嵌固限制下,限制膨胀率却很小,难以得到补偿收缩的效果,但由于构件约束的作用,使在约束面和混凝土中产生膨胀压,对抗裂有利。

UEA 补偿收缩混凝土,不仅仅是通过膨胀来抵消收缩,由于在其硬化的过程中推迟了收缩的产生过程,期间抗拉强度较大幅度地增长,当混凝土收缩开始时,其抗拉应力已经增长到足以抵抗收缩应力的程度,从而减少了收缩裂缝。

无论哪一种限制的补偿收缩混凝土,对提高早期混凝土强度、增加密实性、增加防水性能、避免或减少开裂都极为有利。中、小限制的补偿收缩情况在桥梁中较普遍。补偿收缩混凝土的应用对解决混凝土的早期开裂、不同龄期先后浇注混凝土之间的接缝开裂等是一项很好的技术手段。在桥梁的大体积混凝土浇注、有约束边界的二次混凝土浇注的方面有广阔的应用前景。

2 UEA 补偿收缩混凝土的设计与施工

UEA 补偿收缩混凝土是在普通水泥混凝土中掺加 UEA 膨胀剂配制的,通常 UEA 膨胀剂的掺量

为水泥用量的 $8\% \sim 12\%$ (重量比),考虑作为填充混凝土时,可将混凝土 UEA 膨胀剂的掺量上限提高到 15% 。配筋率越高相应掺量越大,掺入量替换相应的水泥用量。在此掺量的范围内其膨胀率 $\epsilon = (2 \sim 3) \times 10^{-4}$,配筋率 $\mu = 0.8\%$ 左右,可在结构中建立 $0.2 \sim 0.7$ MPa 的预压应力,此预压应力基本可以补偿混凝土在硬化过程中产生的温差、干缩的拉力和变形,主要补偿混凝土早期 14 d 的冷缩和干缩变形,对混凝土强度影响极小。UEA 膨胀剂随着掺量的增大,强度会略有降低,所以掺量不宜过大,否则强度会明显降低。

补偿收缩混凝土设计区别普通混凝土在于限制膨胀率。限制膨胀率是采用“试验—估算”法确定的,需在施工前进行不同掺量试配,得出最佳配比后在施工中使用。膨胀性能以限制条件下的膨胀率和干缩率表示,混凝土在限制条件下才能产生预压力 ($\sigma_c = 0.2 \sim 0.7$ MPa)。膨胀混凝土性能指标见表 1。

表 1 膨胀混凝土性能指标 (GB 50119—2003)

项目	限制膨胀率 $\times 10^{-4}$	限制干缩率 $\times 10^{-4}$	抗压强度 MPa
龄期	水中 14 d	空气中 28 d	28 d
补偿收缩混凝土	≥ 1.5	≤ 3.0	≥ 25
填充用膨胀混凝土	≥ 2.5	≤ 3.0	≥ 30

UEA 补偿收缩混凝土的配制,应先做普通混凝土配合比设计,用 UEA 膨胀剂等量代换其中的水泥用量即可。设基准混凝土配比水泥用量为 m_{co} 、UEA 替代水泥用量 $m_E = m_{co}k$,则水泥实际用量为 $m_c = m_{co} - m_E$,如果混凝土中还有其他掺合料 m_F 时,应将 m_F 合并 m_{co} 内,作为基准凝剂量计算即可。具体的配合比设计可参考文献[1]。

据文献[1]介绍,对考虑各种不同影响因素的 50 组试验结果绘出的膨胀率与时间的曲线分析,90% 以上的限制膨胀发生在 14 d 以内,说明膨胀稳定期比收缩稳定期短,膨胀稳定期之后膨胀并未停止,只是混凝土的膨胀与压应力下的徐变基本稳定。补偿收缩的作用主要发生在混凝土浇注后的 14 d 内,从而避免了混凝土的早期开裂。

UEA 补偿收缩混凝土施工并不复杂,在施工拌和时掺入 UEA。混凝土内一般可以掺早强剂、缓凝剂、减水剂等外掺剂,也可配制泵送混凝土。但需注意以下几个方面。

(1) 水泥品种,不得采用硫铝酸盐水泥、铁铝酸

盐水泥、高铝水泥。

(2)如混凝土在现场拌制,应比基站拌制延长 30~60 s,泵送混凝土可不延长时间;膨胀剂计量误差控制在±1%以内;混凝土出盘温度不高于 30℃,冬季入模温度不低于 5℃。

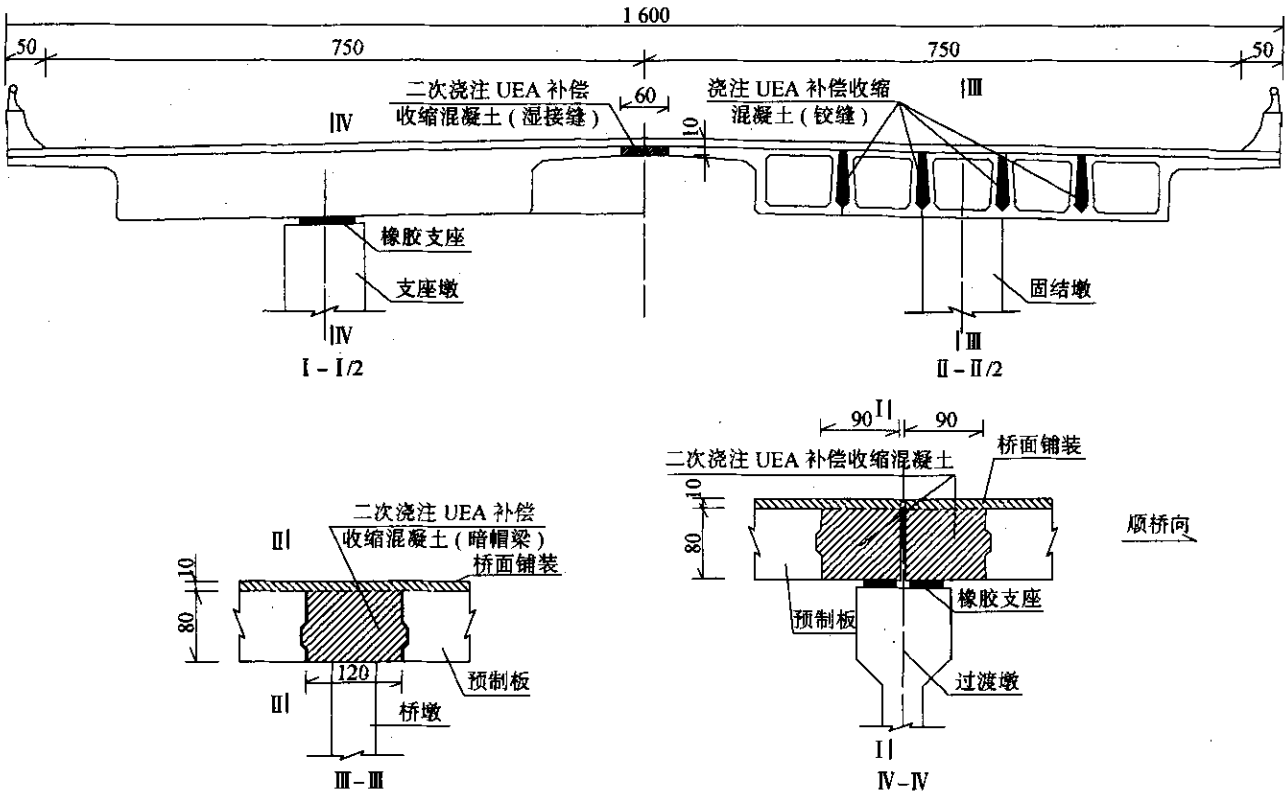
(3)混凝土浇注,除与一般混凝土一样保证振捣密实外,应做到连续浇注,避免因混凝土未连续浇注而形成接缝。二次浇注混凝土,如湿接缝等应对既有混凝土的连接面进行凿毛(按施工缝处理)并做保湿处理。浇注之前宜涂界面胶,然后浇注混凝土。

(4)由于膨胀结晶体钙矾石的形成需要大量的水,混凝土浇注硬结之后的 1~7 d 是形成膨胀的主要阶段,应特别加强浇水养护,7~14 d 仍需继续加

强保湿养护,才能保证继续增长的膨胀效能。如有条件蓄水养护最好,该部分混凝土的临空面尽量用草袋覆盖、定时浇水。3 d 之内不要拆模板。冬季施工应注意保温保湿养护,防止气温骤降对混凝土的影响。如果养护措施不到位,补偿收缩混凝土膨胀能形成会大打折扣,起不到补偿收缩的作用。

3 UEA 补偿收缩混凝土在桥梁上的应用实例

(1)例 1—武汉沌阳高架桥,1997 年建成,该桥长 3.5 km,180 跨,先简支后连续体系。上部构造为先张法空心板、大铰缝、桥中央设湿接缝,下部构造桥墩不设墩帽,纵向孔跨之间设湿接缝(暗帽梁)现浇,大多数湿接缝与桥墩固结,见图 1 所示。



单位:cm

图 1 沌阳高架桥

补偿收缩混凝土中,UEA 的掺量为水泥用量的 11%左右。施工期间加强养护,保持了不间断浇水。全桥虽然 UEA 补偿收缩混凝土浇注量很大,有冬季浇注,也有夏季浇注,时间跨度很大,但交接缝结合的较好,竣工 9 年来桥下未见有漏水痕迹,运营效果很好。

(2)例 2—江苏省宁靖盐(南京—靖江—盐城)和

宁宿徐(南京—宿迁—徐州)高速公路桥梁类型中,有一种结构形式为先简支后形成结构连续的后张法宽幅空心板的连续梁桥,该结构的特点类同图 1 所示构造。建造过程先将空心板吊装落在临时支架上,顺桥向跨孔之间设湿接缝,湿接缝即为 UEA 补偿收缩混凝土,采取二次浇注的办法,使跨与跨成整体后连成一联,最终形成连续梁或连续刚构两种结

构形式。图2为跨径25 m的连续梁桥。该类桥补偿收缩混凝土中UEA的掺量在水泥用量的8%~12%之间,仅用于二次浇注的现浇连续段,取得了预期的

效果。经了解,运营几年来,未见有开裂和渗水情况。类似这样的结构在多条高速公路的桥梁中也有应用。

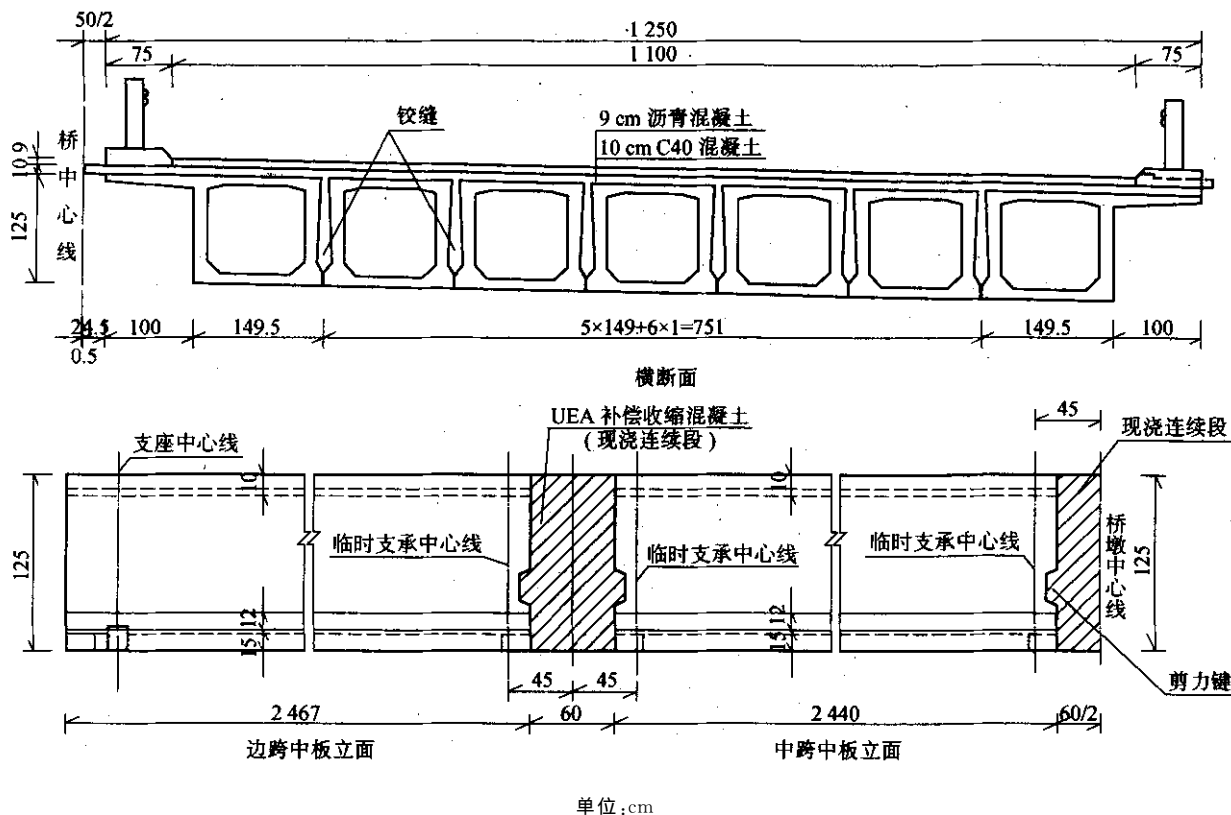


图2 例二的板梁结构

(3)例3—沪宁高速公路的扩建工程。在拼接桥梁和上跨主线的分离式立交桥上,大量采用了UEA补偿收缩混凝土。由于受力、构造和施工的需要,该工程桥梁采取在原桥外侧新建桥梁,并与原桥横向拼接成一体,成为完整的一座桥梁。先将新结构基本建造成并等待一段时间后再进行新旧桥梁之间的构造连接,两者之间的连接构造设计为后浇湿接缝,纵向与桥同长。该工程桥梁众多,一年四季均要施工,对于湿接缝施工如仅按一般要求,很难保证拼接缝处不出现收缩裂缝。应用补偿收缩混凝土基本上能解决这个问题,因此在全线桥梁拼接湿接缝中,均采用了UEA补偿收缩混凝土浇注,图3所示为拼接桥梁的湿接缝构造。

UEA补偿收缩混凝土中,UEA的掺量设计控制在水泥用量的8%~12%,业主编制了“施工指导意见”,重点强调了配比试验以及加强保湿养护等技术要求。通过不断调整UEA掺量,综合温度、材料等

因素,调整混凝土配合比,配制UEA补偿收缩混凝土基本能达到设计要求,完工后和经一年的检验基本未发现混凝土有开裂现象,取得了较好的效果。

(4)例四—武汉市汉江晴川桥。该桥主桥为1跨280 m的下承式钢管系杆拱桥,其中钢管内填充的混凝土采用UEA补偿收缩混凝土,效果很好。

在钢结构与混凝土结构结合处的连接段也有应用UEA补偿收缩混凝土的情况。其他如在桥梁修补、加固方面的应用实例,不一一叙述。

UEA补偿收缩混凝土的配制与UEA掺量、混凝土强度等级、配筋、骨料、施工温度等有关,事先应该做好试验。其他在拌制、振捣、运输等方面均与普通混凝土大致相同,但是保湿养护显得比较重要,尤其在前期14 d内,施工中应给予足够的重视,这关系到补偿收缩混凝土能否形成、能否起到补偿收缩的作用。UEA补偿收缩混凝土造价约比普通混凝土高15~25元/m³,应该能够被广大业者所接受。

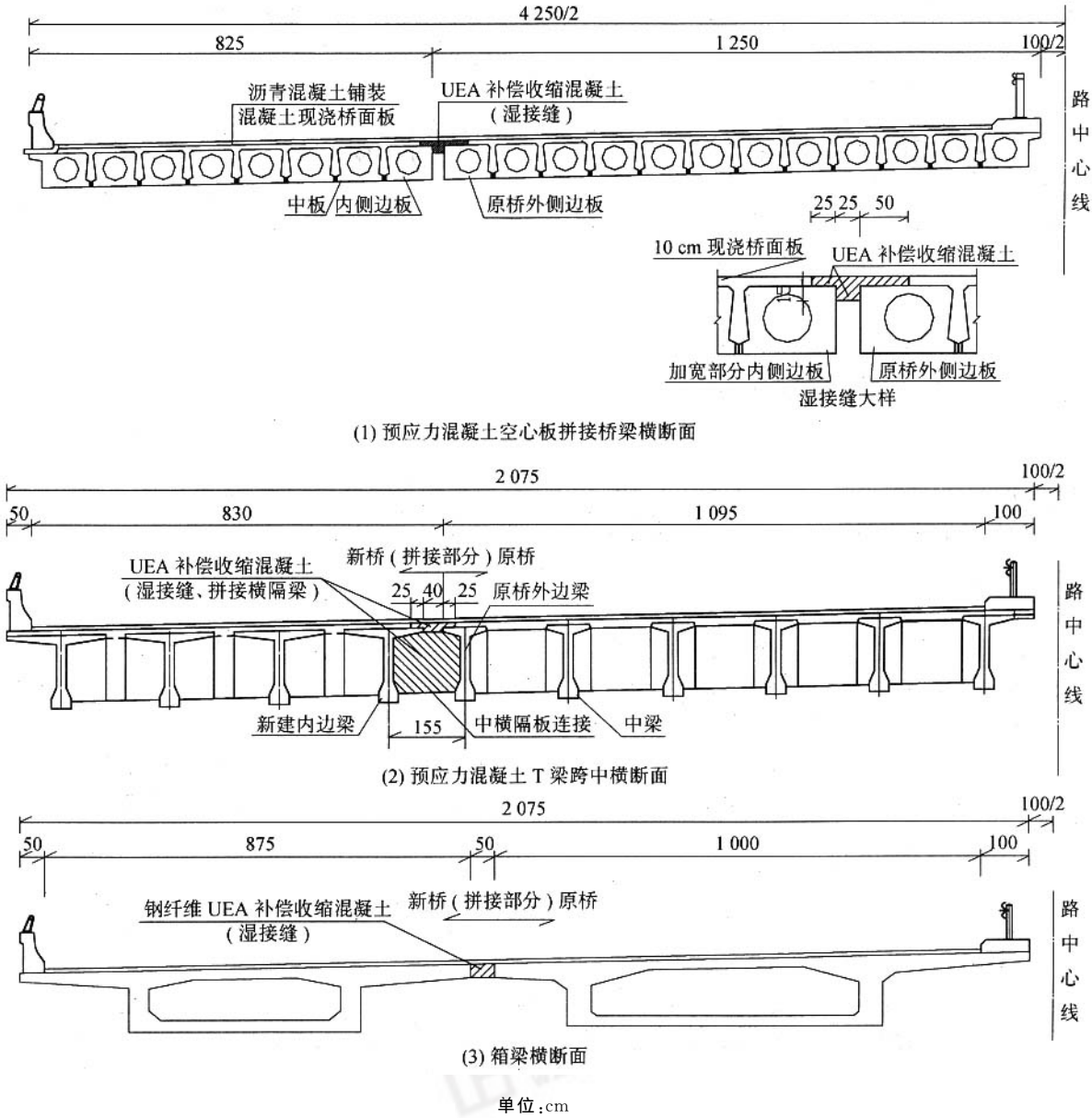


图 3 例三的湿接缝构造

4 结语

混凝土桥梁结构的技术发展对耐久性、施工和使用期间的抗裂、防水的要求不断提高,结构本身也越来越复杂。钢混结合、分次浇注、大体积混凝土、桥梁加固等方面,面对的混凝土收缩裂缝是一个不可忽视的问题,采用 UEA 膨胀剂配制的补偿收缩混凝土、填充混凝土、自应力混凝土对解决自防水、抗裂、防渗等都是很有效的措施。通过将建筑业的 UEA 补

偿收缩混凝土技术引用到桥梁结构中使用,初步实践取得了好的效果。

参考文献:

[1] 膨胀剂及其补偿收缩混凝土[M]. 北京:中国建材工业出版社,2005.
[2] 混凝土外加剂[M]. 北京:化学工业出版社,2005.