



# 洋山四期工程码头现浇面层混凝土裂缝控制

顾祥奎<sup>1</sup>, 王晓晖<sup>1</sup>, 庄 骅<sup>2</sup>

(1. 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032; 2. 洋山同盛港口建设有限公司, 上海 201308)

**摘要:**为减少和控制码头现浇面层裂缝, 从设计、施工、原材料等方面对裂缝产生的机理进行分析, 并提出通过优化原材料质量减少混凝土收缩量的技术路径和量化要求以及通过完善施工过程管理减少混凝土干燥裂缝的技术措施, 可以有效减少面层混凝土龟裂等不规则裂缝, 结合其他设计构造措施, 达到控制码头面层裂缝的目的。

**关键词:** 洋山四期; 现浇面层; 裂缝; 混凝土收缩; 干燥裂缝

中图分类号: U 656.1<sup>+</sup>53

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)09-0140-07

## Control of concrete cracks in cast-in-place surface of Yangshan phase IV project

GU Xiang-kui<sup>1</sup>, WANG Xiao-hui<sup>1</sup>, ZHUANG Hua<sup>2</sup>

(1. CCCC-Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China;

2. Yangshan Tongsheng Port Construction Co., Ltd., Shanghai 201308, China)

**Abstract:** To reduce and control the cast-in-place crack on the wharf surface layer, we analyze the mechanism of cracks from aspects including design, construction and raw materials, and put forward the technical path and quantitative requirements to reduce the shrinkage of concrete by optimizing the quality of raw materials. Taking perfect construction process management measures for reducing concrete drying cracks, we can reduce effectively irregular cracks in the surface layer concrete., Combining with other design measures, we can control the wharf surface layer crack.

**Keywords:** Yangshan phase IV project; cast-in-place surface layer; crack; shrinkage of concrete; drying shrinkage crack

### 1 工程概况

上海国际航运中心洋山深水港区四期工程水工码头为高桩梁板式结构, 结构分段长 64~90 m, 码头宽 37 m, 轨道间距为 30 m, 码头排架间距为 10 m 或 12 m<sup>[1]</sup>。码头现浇面层混凝土设计厚度为 180~220 mm, 磨耗层厚度为 30 mm。码头一般结构段现浇面层结构见图 1。

### 2 码头面层裂缝特点及分类

#### 1) 面层龟裂。

一般呈网状或发射状, 裂缝较浅而细, 裂缝

长短粗细不一, 裂缝宽度一般均小于 0.2 mm。

#### 2) 局部应力裂缝。

一般由混凝土收缩或者温度变化引起, 常常产生在结构型式突变处或者新老混凝土交界处, 如码头面层各类孔洞四周、现浇横梁两侧、码头前后沿及面板拼缝处等地方。这些裂缝常常有规律地在同一位置出现, 裂缝长度和宽度均大于龟裂的裂缝。

#### 3) 结构受力裂缝。

主要是由于设计配筋不足或者运营超载引起的贯通性的长裂缝, 裂缝宽度大, 对水工结构安全有严重影响。

收稿日期: 2015-06-16

作者简介: 顾祥奎 (1963—), 男, 教授级高级工程师, 从事港口与航道工程设计。

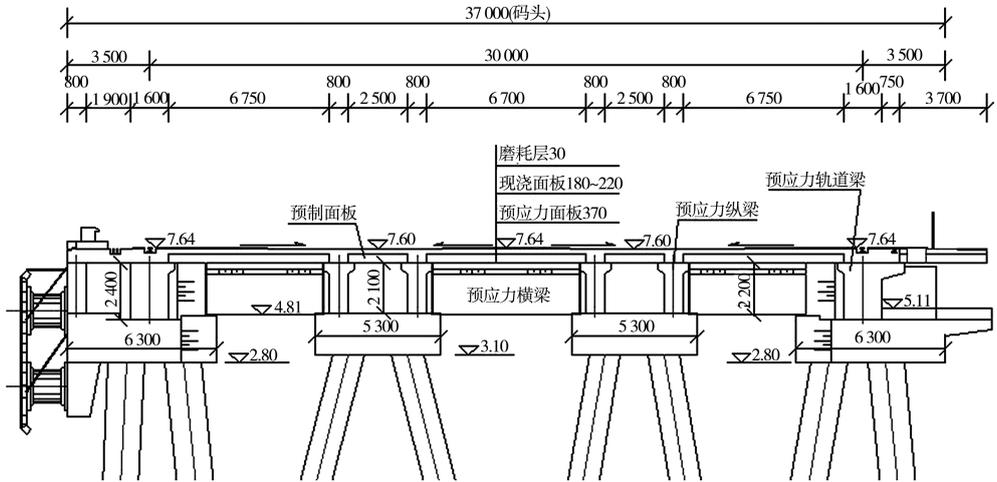


图1 码头一般结构段现浇面层结构 (高程: m; 尺寸: mm)

根据裂缝的性状和成因, 码头面裂缝主要为受力引起的结构性裂缝和混凝土收缩及施工质量引起的不规则裂缝。目前, 高桩码头结构设计理论比较成熟, 受力引起的结构性裂缝基本上可以避免, 而混凝土收缩及施工质量引起的不规则裂缝, 特别是码头面层龟裂现象仍然是普遍存在的困扰工程界的通病。因此本文主要针对混凝土不规则裂缝进行分析。

### 3 码头面层裂缝产生的原因

混凝土材料是由水泥、水、砂、石子、外加剂及掺合料等经相互物理化学作用硬化而成为一种多孔隙的复合材料。混凝土的收缩机理至今尚未统一, 但大多数研究成果认为混凝土是具有大量孔隙的材料, 孔隙的半径不一致, 一般小于  $3 \times 10^{-8} \text{ m}^{[2]}$ 。在混凝土硬化过程中, 水分蒸发引起孔隙壁压力的变化, 导致混凝土体积缩小, 混凝土内除了少部分水提供水泥水化的需要, 其余大部分水分要蒸发掉, 收缩变形同时发生。由于混凝土表面水分损失快, 内部损失慢, 表面收缩受到内部混凝土的约束, 致使表面混凝土承受拉力。当混凝土梁板边界有约束的时候, 混凝土内部也会因约束产生收缩应力。此外, 在混凝土硬化过程中, 水泥会产生水化热, 在混凝土内部形成温差, 与外界温度变化一起共同在混凝土内部形成

温度应力。当混凝土内部的收缩应力和温度应力叠加超过混凝土自身粘结力时, 就会在混凝土内部形成分布很乱的界面微裂缝。这些界面微细裂缝很容易在具有楔形的微裂缝顶端形成应力集中, 随着收缩应力和温度应力的继续增大, 微裂缝进一步延伸、汇合、扩大, 以致最后形成可见的裂缝。

#### 3.1 原材料因素

混凝土拌合物胶体凝固成固态混凝土的过程中, 体积会不断收缩, 大致可以分为3类收缩: 胶凝收缩、干燥收缩和碳化收缩。碳化收缩比较小, 而且过程非常缓慢, 对裂缝形成的影响较小。胶凝收缩是不可避免的, 只能通过减少混凝土中的胶凝物用量和减少胶凝物自身收缩量来减少混凝土收缩量。水泥结晶水化所需要的真正耗水量并不大, 大量拌和用水是为了满足搅拌、运输、泵送、振捣时拌合物和易性的要求。这部分未被水化消耗掉的水, 在浇筑、振捣完成后, 一部分被吸附在混凝土内供长期水化之用, 其余大多通过泌水现象逸出蒸发, 形成泌水的毛细管孔。管孔中的水由于表面张力而在表层混凝土中引起收缩趋势。由于浇筑-振捣引起混凝土的离析, 混凝土表层浆体多而骨料少, 更加剧了这种收缩的趋势。由于浆体上浮而处于结构表层的水分在干燥环境中逐渐逸出挥发, 导致表层混凝土收缩。干

干燥收缩多发生在混凝土表层,是表面龟裂的主要原因<sup>[3]</sup>。

由此可见,混凝土原材料是导致混凝土产生收缩裂缝的关键因素。

### 1) 水泥的品种。

硅酸盐水泥熟料的主要成分有4种,即硅酸三钙( $C_3S$ )、硅酸二钙( $C_2S$ )、铝酸三钙( $C_3A$ )和铝铁酸四钙( $C_4AF$ )。 $C_3S$ 是水泥早期强度的主要来源,水化速度快,水化发热量大; $C_2S$ 是水泥后期强度的主要来源,水化速度很慢,水化发热量最小; $C_3A$ 的水化速度最快,水化发热量最大,水化强度最低,干缩量最大,其收缩率是 $C_3S$ 和 $C_2S$ 的3倍左右<sup>[4]</sup>。快硬水泥在水化热散失前就已凝固,叠加上散热、降温的收缩,就更容易开裂,因此,混凝土早期强度发展速度越快,对长期性能越不利,也越易发生早期干裂。码头面层不同于码头下方现浇桩帽节点等构件,暴露在空气中的范围大,对早期强度要求不高,因此建议慎用早强水泥,适当减少 $C_3S$ 和 $C_3A$ 的比例。此外,为了提高水泥的28d强度,厂家一般将水泥磨得很细,水泥的水化反应会更强烈,早期强度更高,这也容易使混凝土产生收缩裂缝,因此建议水泥颗粒不要太细。

### 2) 粗骨料和细骨料的质量。

我国混凝土质量不如欧美等发达国家的重要原因之一在于对骨料粒型和级配不够重视以及骨料质量较差。粗骨料的级配和粒型不好,必然要加大混凝土胶凝材料总量和用水量,不仅增加混凝土收缩,而且会增加混凝土的渗透性和有害物质侵入混凝土中的扩散系数。衡量良好级配的指标是骨料的堆积密度和表观密度:堆积密度越大,则级配越好,孔隙率越小。我国20年前粗骨料的孔隙率普遍低于40%,近年来质量越来越差,普遍达50%左右。对于面层混凝土,尽量降低粗骨料的孔隙率和针、片状、三角形、长方形的含量很有必要。

粗骨料级配不良,含泥量、片状及细颗粒含量等偏大;细骨料-砂的细度模数偏小,有机物质

含量偏高;等等。这些情况均会导致胶凝物与骨料之间的粘结力降低,使得裂缝更容易出现。

### 3) 混凝土配合比。

配合比设计的主要问题在于:①由于长期以来,混凝土的质量常常以28d强度作为主要衡量指标,因此在工程中逐渐形成单纯追求强度的倾向;②受JTJ 275—2000《海港工程混凝土结构防腐技术规程》的影响,普通混凝土受“最大水灰比”、“最低水泥用量”的限制,而不是“水胶比”、“胶凝物”的概念,水泥用量太大;③没有从控制裂缝的角度出发,提出减少用水量的要求,特别是为了便于泵送混凝土,往往采用较大的坍落度,以致不得不减少粗骨料用量,增加细骨料和水泥、水的用量。过高的含水量意味着混凝土自身蒸发的水量更大,导致混凝土收缩量也更大。

海港工程普通混凝土的强度等级一般高于结构承载力需要,这是为了满足耐久性要求。其实与耐久性能相关的是水灰比,而不是混凝土强度等级。但是,一方面,由于我国目前常用硅酸盐水泥的实际活性要比20多年前高出约2个等级,因此配制相同强度等级的混凝土,现在的水灰比就会增大,而不利于混凝土的耐久性。由于水泥强度的提高,要想配制出强度低于C25或C30,而同时又要水胶比不能高到影响耐久性的混凝土,实际上是不可能的。另一方面,由于在施工过程中不能通过现场检验已浇筑的混凝土拌和物的实际水灰比进行验收,只能通过混凝土试件的强度检测进行验收,导致控制和验收易出现漏洞,因此有必要规定最大水灰比所对应的混凝土最低强度等级,对混凝土质量进行双控<sup>[5]</sup>。

JTJ 275—2000《海港工程混凝土结构防腐技术规程》对高性能混凝土采用了“水胶比”的概念,而对于普通混凝土采用了“水灰比”的概念。由于没有明确配制混凝土时加入的矿物掺和料是否算水泥,因此导致设计配合比时为了满足规范“最低水泥用量”的要求,水泥用量较大。其实国外采用“水灰比”概念的国家,比如英国,

是明确注明矿物掺和料一起计入水泥的。最近实施的 JTS 153—2015《水运工程结构耐久性设计标准》已取消了“水灰比”,全部改用“水胶比”,并明确规定粉煤灰、粒化高炉矿渣和硅灰等活性矿物掺和料可以足量计入胶凝材料。

#### 4) 外加剂。

各种不同功效的减水剂、促凝剂、膨胀剂等外加剂,除具有其特殊的功效外,对混凝土裂缝的影响不尽相同。由于混凝土是地方性材料,对不同外加剂的相容性不同,因此并不存在适用于任何情况的外加剂。根据有关资料,我国实行水泥新标准后,水泥和外加剂的适应性变差,掺有外加剂的混凝土,出现假凝、裂缝等现象时有发生。由于裂缝出现后只能在后续混凝土配合比中调整外加剂,而下一个批次的水泥成分、质量可能又有变化,因此较难积累经验,做到准确适配。也有资料认为:外加剂不是解决裂缝问题的有效途径,因此很多地区(例如北京地区)已经淘汰了相应的做法。

### 3.2 施工因素

混凝土施工质量问题导致现浇面层裂缝的主要体现在:1)搅拌、运输、泵送、振捣等引起混凝土拌合物的离析-泌水现象;2)混凝土养护不到位引起混凝土表面水分挥发太快导致干燥裂缝;3)作为释放混凝土收缩应力的切缝措施设置位置不合理、切缝时机把握不准。离析-泌水导致混凝土表层疏松收缩加大、产生混凝土毛细管孔,其危害性还未得到充分重视。养护的目的是保水,使混凝土表面始终保持饱和水湿润状态,因此养护开始时间、结束时间至关重要。

实践证明,码头现浇面层切缝是释放混凝土收缩应力、减少裂缝的有效措施。混凝土施工中主要有以下问题:

1) 浇筑混凝土前,底层预制面板未充分润湿或存在积水。若底层混凝土未充分润湿,现浇面层混凝土中的部分水份将浸透到底层混凝土中,不仅不利于混凝土之间的结合,而且将造成面层混凝土过干,局部不均匀,难以控制收面时间。

底层混凝土积水,不仅加大面层混凝土水灰比,更可能使混凝土振捣后造成局部混凝土离析或和易性差,容易造成混凝土裂缝。

2) 混凝土搅拌不充分会使原材料分布不均匀,引起拌合物“夹生”、水泥水化不充分等缺陷。拌合物运输时间过长、运输过程中不能持续搅拌,会导致拌合物的早期凝固、活性降低,影响混凝土质量。

3) 混凝土摊铺及振捣不当,振捣不密实、不均匀,采用振动器赶运混凝土、过度振捣等造成混凝土离析。

4) 阴雨天气浇筑面层混凝土,顶面砂浆被冲洗,配合比被改变,造成混凝土粘结力下降。

5) 炎热天气或大风天气浇筑面层混凝土,面层混凝土水分损失过快,使表层混凝土收缩速度过快。

6) 压面方法、时间不当,压面次数不够,使混凝土表层浮浆过厚,混凝土粘结力下降。

7) 养护方式不当、养护时间偏少等造成混凝土粘结力下降,表层混凝土收缩速度过快。

8) 梁槽、板缝未先行浇筑混凝土,梁顶及板缝部位现浇混凝土厚度与现浇面层厚度差异较大,混凝土收缩不均匀,引起现浇面层裂缝。

9) 一次浇筑面积较大,面层混凝土未作切缝处理或切缝不及时(混凝土收缩应力超过自身抗拉强度)。

### 3.3 设计因素

#### 1) 面层混凝土强度过高。

高强度混凝土中的水泥用量更大,混凝土收缩更大,所以更容易出现裂缝。

#### 2) 对面层各孔洞的周围结构加强配筋偏少。

在面层中常常有各种孔洞出现,这些孔洞周围受应力集中效应影响,常常最先出现裂缝,根据工程实践,此处加强配筋应适当加强。特别当码头面层上各种孔洞相距很近时,有时出现在同一跨中,这样会减小面层的刚度,孔洞之间的横向钢筋一旦不能充分补强,便会在各孔洞间形成一条贯通裂缝。

## 4 洋山四期工程应对措施

### 4.1 原材料

减少混凝土收缩量是控制裂缝的关键。技术路径有3个：控制水泥成分、减少水泥用量、减少拌合物用水量。

1) 控制水泥的品种和质量，水泥颗粒不宜过细，水泥中 $C_3S$ 和 $C_3A$ 含量不宜过大。 $C_3S$ 和 $C_3A$ 是水泥早期强度的主要来源，水化速度快，水化发热量大，干缩量大，收缩率高。混凝土早期强度发展速度越快，越易发生早期干裂，对长期性能不利，而且混凝土的微结构也不好。有资料认为，早强混凝土的强度在后期反而会下降。本工程提出了测定混凝土早期强度的量化标准，以检验水泥成分是否合理，要求12 h抗压强度不大于6 MPa或24 h不大于10 MPa。

2) 混凝土的水化和水分蒸发过程也就是收缩过程，通过降低水胶比、减少胶凝物用量、减少水泥用量达到减少用水量的目的。JTS 202—2011《水运工程混凝土施工规范》和JTS 153—2015《水运工程结构耐久性设计标准》都提出了最高水胶比和最低胶凝物用量的标准，一般都能够做到。而中国土木工程学会标准《混凝土结构耐久性设计与施工指南》还提出了控制最大胶凝物用量和用水量的要求，C30混凝土的胶凝物用量不宜大于 $400\text{ kg/m}^3$ ，C40~C50混凝土不宜大于 $450\text{ kg/m}^3$ ，拌和用水量不宜大于 $150\text{ kg/m}^3$ 。要减少胶凝物用量，须优化骨料的级配和粒形。西方发达国家混凝土的用水量都较少，先进的混凝土技术可将用水量减少到 $130\text{ kg/m}^3$ 以下并依然有很好的泵送性，其关键就是骨料的级配和粒形好，不存在针、片状颗粒问题。粗骨料的级配必须为连续级配，尽量降低粗骨料的孔隙率，减少针状、片状等非等径状的石子含量，含泥量小于规范规定；细骨料采用细度模数不小于2.6的中粗砂（江砂或河砂）。作为衡量粗骨料级配好坏的标准，笔者也提出了量化指标，即孔隙率低于40%。但是施工单位反映国内较难买到。业主要求用于码头面层混凝土的粗骨料应该比用于其他构件混凝土的粗

骨料质量更好。减少胶凝物中的水泥用量的方法是大量掺加矿物掺和料（粉煤灰磨和细矿渣）。粉煤灰属于火山灰材料，其用水量小、抗裂性好，能够有效提高混凝土耐久性。用掺合料替代水泥，可以大大减少用水量、降低水化热，避免混凝土龟裂现象。

在浇筑前，设计单位与监理全程参与配合比试配过程。经过多次试配，提出3个配合比进行对比讨论，最终决定采用第3个配合比进行实际施工（表1）。3种配合比的胶凝用量均为 $360\text{ kg/m}^3$ ，掺和料掺量分别为25%、30%和35%，12 h抗压强度分别为6.7、5.5和5.4 MPa，和易性、粘聚性、保水性均良好。

表1 洋山四期码头面层混凝土配合比设计 kg

水泥	砂	石(粒径5~31.5 mm)	水	外加剂 LDY-2S	掺合料	
					粉煤灰 II 级	矿粉 S95
278	796	1 099	142	2.88	37	56
259	796	1 099	142	2.88	37	74
241	796	1 099	142	2.88	37	93

### 4.2 施工

1) 制定现浇面层合理施工顺序。针对高桩梁板式码头现浇面层混凝土容易在梁顶和板缝部位出现裂缝这一特征，首先安排浇筑梁顶和板缝混凝土。同时，尽量加大梁槽、板缝混凝土浇筑与面层混凝土浇筑之间的时间间隔，使梁槽和板缝混凝土得到充分的养护和收缩。一般在梁槽、板缝混凝土浇筑应至少15 d以后再浇筑面层混凝土。

2) 分条浇筑面层混凝土，控制一次浇筑面层混凝土面积。根据混凝土收缩率经验计算公式和有关施工经验，厚度在25 cm左右，边长为5 m左右，且基本接近的矩形混凝土块体，一般不会产生收缩裂缝。基于该原则和本工程码头宽度，建议码头轨道之间分为6条浇筑，每条浇筑带宽度为5 m左右，各浇筑带之间采用间隔跳仓浇筑。

3) 合理并及时切缝。码头面层切缝位置横向在现浇横梁顶两侧和面板拼缝处；纵向切缝布置在各浇筑块的施工缝处，切缝宽度为5 mm，切缝深度为30 mm，采用聚氨酯灌缝（图2）。

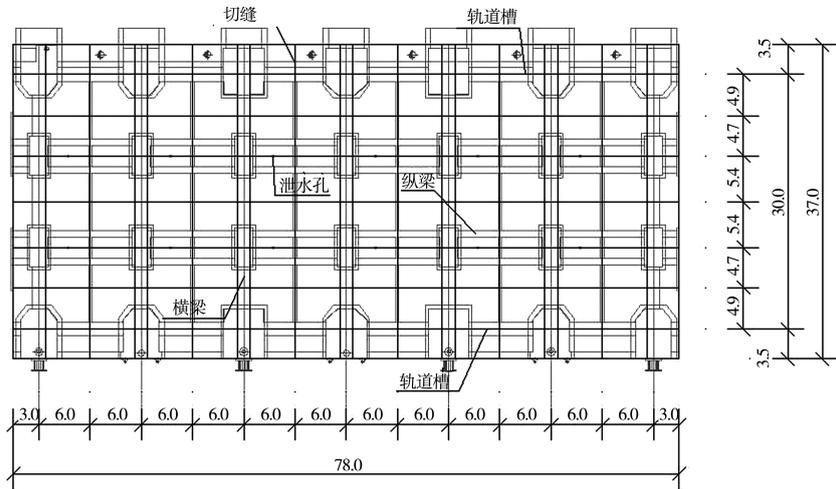


图2 码头面层切缝平面布置(单位:m)

4) 混凝土浇筑前,采用淡水充分润湿预制面板及梁槽板缝顶面,并用海绵吸干积水。

5) 在混凝土下料摊铺过程中,采用人工翻锹均匀摊铺混凝土,严禁采用振动器赶运混凝土,防止混凝土粗骨料和水泥砂浆产生离析现象。

6) 加强混凝土振捣,在钢筋混凝土摊铺完成一段后,首先采用5 cm振捣棒按30 cm×30 cm间距竖向插入面层钢筋中振捣混凝土,再采用木质振捣梁(木质振捣梁可防止损伤已浇筑板块混凝土边缘)振捣混凝土。当混凝土振捣密实后,有凹陷现象时,严禁水泥砂浆找平,必须重新回填混凝土,再振捣密实。

7) 用木制振动梁振动提浆后,用长辊筒辊压整平压浆,最后用铝合金直尺刮平。在混凝土振动、提浆及找平后,如表面有泌水现象,则采用海绵或土工布吸除,严禁采用干灰吸水。混凝土振捣及找平后,先采用机械抹面压光2~3遍,再由人工采用铁抹收面2~3遍,抹面后要求表面基本无铁抹痕迹。

8) 根据环境温度制定和调整混凝土温度控制措施,主要是注意入模温度和养护方法,总的原则是:

- ①升温不要太早和太高;
- ②降温不要太快;
- ③混凝土中心和表层之间,新老混凝土之间

以及表面和气温之间的温度不要太大。

9) 加强养护,在浇筑混凝土初步刮平后立即用塑料薄膜紧密覆盖(与混凝土之间不应留有空隙),防止水分蒸发,待进行最终抹面工序时可卷起塑料薄膜并再次覆盖,终凝后撤除薄膜改用土工布进行加湿养护。养护时间要因时而变,一般不短于14 d,环境温度低、混凝土固化慢时应适度延长,有条件时建议延长到混凝土达到设计强度的70%。

#### 4.3 实施情况

码头现浇面层于2015年12月开始浇筑,经过一段时间以后,码头面层龟裂问题基本上避免了,部分浇筑分条未发现裂缝,说明混凝土原材料比较合理。但是部分分条有横向裂缝,裂缝多数位于预制面板拼缝上方和横梁边缘。经分析有以下几点需要在施工中改进:

1) 混凝土拌制质量还不稳定,坍落度大小偏离较大,要求洋山港基加强原材料控制,提高混凝土质量的稳定性(包括级配碎石、含泥量、坍落度控制等)。

2) 合理划分浇筑段,码头面层结构分段78~90 m,一次性浇筑长度过长,改为分段浇筑。

3) 部分区域的面层钢筋绑扎不紧密、扎丝扣相对钢筋节点偏少,尤其是GFRP筋较难扎紧、易松动,面层抗拉应力减弱。振捣时有振捣棒斜

靠钢筋过久的现象,容易导致钢筋振动引起下方窝水、上方离析,产生横向顺筋裂缝(上层钢筋均为横向钢筋)。要求提高绑扎质量,振捣时振动棒垂直振捣,尽量避免靠着钢筋振捣。

4) 梁顶、板缝浇筑混凝土时间与面层浇筑时间间隔较短,部分预制板拼缝的混凝土面和梁顶混凝土面低于预制板顶面较多,导致现浇面层厚度不一致,使应力在梁顶、板缝集中,另外梁顶板缝高程低、积水集中于此也会减弱该处混凝土强度。

5) 因混凝土离析、布料、振捣不当(振捣不均匀,局部有过振现象),导致混凝土表面粗骨料少。裂缝处钻芯取样结果一般都有碎石集中于芯样下部的情况。建议改善和优化振捣工艺。

6) 季节气温变化及现浇面层顶面和底部气温温差过大。浇筑时应根据气候变化相应改变工艺,尽量避免中午高温期浇筑混凝土;冬天养护时间14 d偏短,养护时间要因时而变,气温低、混凝土强度增长慢时应适度延长养护时间。

7) 切缝时机掌握不好,位置也有待调整。切缝边缘旁仍有裂缝,仅靠切缝无法完全避免裂缝。项目部与设计沟通对切缝位置改进,并随温度变化调整切缝时间。

码头现浇面层施工质量的全过程控制十分重要,有经验的监理和技术人员应在施工时全程旁站观察,指导工人操作,并做详细记录(有条件时录像),以供质量回溯分析,不断总结经验,完善施工工艺。目前码头I标段的面层施工已经基本完成,裂缝控制比较好,II标段已经完成大部分施工,裂缝控制质量明显改善。

## 5 结语

1) 码头面层裂缝是多种因素综合作用产生的,其中,设计的影响因素较易把握,而施工的影响因素随机性比较大,较难把握,因此是裂缝控制的关键。

2) 从原材料方面着手,减少混凝土收缩量。首先,控制水泥的品种和质量,水泥颗粒不宜过细,水泥成分中的 $C_3S$ 和 $C_3A$ 是水泥早期强度的主要来源,收缩量大,应尽量少用,为此提出测定混凝土早期强度的量化标准;其次,通过优化混凝土配合比来减少水泥用量和拌合水用量,达到减少混凝土收缩量的目的,具体做法为:①改善骨料级配和质量,降低孔隙率以减少胶凝物用量;②用掺加粉煤灰、矿粉等掺合料代替部分水泥,以减少水泥用量和拌合用水量。

3) 施工过程质量对现浇面层裂缝的产生主要体现在3个方面:①搅拌、运输、泵送、振捣等引起混凝土拌合物的离析-泌水现象;②混凝土养护不到位引起混凝土表面水分挥发太快导致干燥裂缝;③作为释放混凝土收缩应力的切缝措施设置位置不合理、切缝时机把握不准。其中离析现象以前没有引起足够重视,一些裂缝较多的码头面层钻芯取样中大多有粗骨料集中于下部,胶凝物集中于上部的现象。混凝土养护措施一定要因地制宜,气温低、混凝土强度增长慢时要适当延长养护时间。合理划分现浇混凝土分块宽度和长度,合理掌握切缝位置和时机,也是控制码头面层裂缝的重要措施,应在实践中总结、完善。

## 参考文献:

- [1] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司. 上海国际航运中心洋山深水港区四期工程初步设计[R]. 上海: 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 2014.
- [2] 李雁英. 大面积混凝土结构温度收缩应力与裂缝控制及动力分析[D]. 太原: 太原理工大学, 2008.
- [3] 徐有邻, 顾祥林, 刘刚, 等. 混凝土结构工程裂缝的判断与处理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [4] CCE S01—2004 混凝土结构耐久性设计与施工指南(2005年修订版)[S].
- [5] JTJ 275—2000 海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范[S].

(本文编辑 郭雪珍)