

地下土木工程空间结构裂缝控制与防水技术岩土工程师考试
PDF转换可能丢失图片或格式，建议阅读原文

https://www.100test.com/kao_ti2020/547/2021_2022__E5_9C_B0_E4_B8_8B_E5_9C_9F_E6_c63_547600.htm 一、前言 钢筋砼结构出现裂缝是不可避免的，在保证结构安全和耐久性的前提下，裂缝是人们可接受的材料特征。近十多年来，随着钢筋砼结构的长大化和复杂化，以及商品砼的大量推广和砼强度等级的提高，结构裂缝出现机率大大增加，有些已危及结构的安全性和耐久性，有的地下工程裂渗已影响其使用功能。建设部对此十分重视，召开多次学术研讨会，工程界各方专家提出许多技术措施，认为控制裂缝是个系统工程。针对地下工程裂渗比较普遍的现象，我国研制许多新型防水材料，建设部提出今后主要开发应用环保型的中、高档防水材料，刚柔结合，全面提高我国防水工程的质量和耐久性。本人根据长期的科学研究和大量工程实践，提出钢筋砼结构裂缝控制和防水一些新技术，供工程界参考，不妥之处请指正。

二、结构裂缝产生的原因 结构裂缝产生的原因很复杂，根据国内外的调查资料，引起裂缝有两大类原因，一种由外荷载（如静、动荷载）的直接应力和结构次应力引起的裂缝，其机率约20%；一种是结构因温度、膨胀、收缩、徐变和不均匀沉降等因素由变形变化引起的裂缝，其机率约80%。裂缝发生与材料、设计、施工和维护有关，现作以下分析。（一）材料缺陷 在变形裂缝中收缩裂缝占有80%的比例，从砼的性质来说大概有：1．干燥收缩 研究表明，水泥加水后变成水泥硬化体，其绝对体积减小。每100克水泥水化后的化学减缩值为7~9ml，如砼水泥用量为350kg/m³，则形成孔缝体积约25

~ 30L/m³之巨。这是砼抗拉强度低和极限拉伸变形小的根本原因。研究表明，每100克水泥浆体可蒸发水约6ml，如砼水泥用量为350kg/m³，当砼在干燥条件下，则蒸发水量达21L/m³。毛细孔缝中水逸出产生毛细压力，使砼产生“毛细收缩”。由此引起水泥砂浆的干缩值为0.1~0.2%；砼的干缩值为0.04~0.06%。而砼的极限拉伸值只有0.01~0.02%，故易引起干缩裂缝。

2. 温差收缩 水泥水化是个放热过程，其水化热为165~250焦耳/克，随砼水泥用量提高，其绝热温升可达50~80℃。研究表明，当砼内外温差10℃时，产生的冷缩值 $c = T / 110 - 5 = 0.01\%$ ，如温差为20~30℃时，其冷缩值为0.02~0.03%，当其大于砼的极限拉伸值时，则引起结构开裂。

3. 塑性收缩 砼初凝之前出现泌水和水份急剧蒸发，引起失水收缩，此时骨料与水泥之间也产生不均匀的收缩变形，它发生在砼终凝之前的塑性阶段，故称为塑性收缩。其收缩量可达1%左右。在砼表面上，特别在抹压不及时和养护不良的部位出现龟裂，宽度达1~2mm，属表面裂缝。水灰比过大，水泥用量大，外加剂保水性差，粗骨料少，振捣不良，环境温度高，表面失水大等都能导致砼塑性收缩而发生表面开裂现象。

4. 自生收缩 密封的砼内部相对湿度随水泥水化的进展而降低，称为自干燥。自干燥造成毛细孔中的水分不饱和而产生负压，因而引起砼的自生收缩。高水灰比的普通砼（OPC）由于毛细孔隙中贮存大量水分，自干燥引起的收缩压力较小，所以自生收缩值较低而不被注意。但是，低水灰比的高性能砼（HPC）则不同，早期强度较高的发展率会使自由水消耗较快，以至使孔体系中的相对湿度低于80%。而HPC结构致密，外界水泥很难渗入补充，在这种

条件下开始产生自干收缩。研究表明，龄期2个月水胶比为0.4的HPC，自干收缩率为0.01%，水胶比为0.3的HPC，自干收缩率为0.02%。HPC的总收缩中干缩和自收缩几乎相等，水胶比越小自收缩所占比例越大。由此可知，HPC的收缩性与OPC完全不同，OPC以干缩为主，而HPC以自干收缩为主。问题的要害是：HPC自收缩过程开始于水化速率处于高潮阶段的头几天，湿度梯度首先引发表面裂缝，随后引发内部微裂缝，若砼变形受到约束，则进一步产生收缩裂缝。这是高标号砼容易开裂的主要原因之一。

5. 减水剂的影响

人们发现，自八十年代中期推广商品（泵送）砼以来，结构裂缝普遍增多，这是为什么呢？除了与砼的水泥用量和砂率提高有关外，人们忽视了减水剂引起的负面影响。例如过去干硬性及预制砼的收缩变形约为 $4 \sim 6 \times 10^{-4}$ ，而现在泵送砼收缩变形约为 $6 \sim 8 \times 10^{-4}$ ，使得砼裂缝控制的技术难度大大增加。研究表明，在砼配合比相同情况下，掺入减水剂的坍落度可增加100~150mm，但是它与基准砼的收缩值相比，却增加120~130%（见图1）。所以，在《砼减水剂》规范GB138076-97中规定掺减水剂的砼与基准砼的收缩比 135%。

研究表明，掺入不同类型的减水剂砼的收缩比是不相同的，一般是：木钙减水剂gt.三聚氰胺减水剂gt.聚丙烯酸减水剂。这说明商品砼浇筑的结构开裂机率大与减水剂带来负面影响有关。其机理尚不清楚。以上是从水泥砼物理化学特性分析其各种收缩现象，早期塑性收缩会导致结构出现表面裂缝，砼进入硬化阶段后，砼水化热使结构产生温差收缩和干燥收缩（包括自干收缩），这是诱发裂缝的主要原因。近十年大量使用商品砼开裂增加，除与单方砼水泥和掺合料用量增

加外，减水剂增加砼收缩值变形的负面影响也是一个重要因素。6. 砼后期膨胀出现裂缝，主要是：（1）水泥中游离CaO过高，Ca(OH)₂体积膨胀所致；（2）水泥中MgO过高，Mg(OH)₂体积膨胀所致；（3）水泥和外加剂碱含量过高，与集料中活性硅等发生碱-集料反应所致；（4）有害离子Cl⁻、SO₄⁼、Mg等侵入砼内部，导致钢筋锈蚀或形成二次钙矾石膨胀破坏所致。7. 结构物在任意内应力作用下，除瞬间弹性变形外，其变形值随时间的延长而增加的现象称为徐变变形。砼拉徐变时对抗裂有利，一般可以提高钢筋砼极限拉伸值50%左右。而砼压徐变很小，一般把收缩变形与徐变变形的计算一并加以考虑。砼收缩经验公式很多，但是，实际工程所处条件变化较多。一般采用如下任意时间砼收缩计算公式。

$$y(t)=3.2410^{-4}(1-e^{-0.01t})M_1.M_2.....M_n$$

式中M₁.M₂.....M_n - 为水泥品种、骨料，水灰比、温度、养护和不同配筋率等修正系数。其中不同配筋率的修正系数见表1。也即限制收缩与自由收缩之比，随配筋率提高而减小。

（二）设计问题 钢筋砼结构是由砼和钢筋共同承担极限状态的承载力，结构设计师根据地基情况，静、动荷载、环境因素、结构耐久性等控制荷载裂缝。这里不作讨论。从国内外有关规范可知，对结构变形作用引起的裂缝问题，客观上存在两类学派：第一类，设计规范规定很灵活，没有验算裂缝的明确规定，设计方法留给设计人员自由处理。基本上采取“裂了就堵、堵不住就排”的实际处理手法。第二类，设计规范有明确规定，对于荷载裂缝有计算公式并有严格的允许宽度限制。对于变形裂缝没有计算规定，只按规范留伸缩缝，即留缝就不裂的设计原则。大量工程实践证明，留缝与否

，并不是决定结构变形开裂与否的唯一条件，留缝不一定不裂，不留缝不一定裂，是否开裂与许多因素有关。我们认为，控制裂缝应该防患于未然，首先尽量预防有害裂缝，重点在防。我国结构工程向长大化、复杂化发展，砼设计强度等级向C40~C60发展，设计师多注重结构安全，而对变形裂缝控制考虑不周，这也是结构裂缝发生增多的原因之一。

（三）施工管理问题 砼配合比设计是否科学合理，水泥与外加剂是否相适应，砂石级配及其含泥量是否符合规范要求，砼坍落度控制是否合理，这些都影响到砼的质量及其收缩变形。砼浇筑震捣不均匀密实，施工缝和细部处理马虎，会带来结构开裂的后患；过震则使浮浆过厚，抹压又不及时，则砼表面出现塑性裂缝，十分难看。边墙拆模板过早（1~3d），砼水化热正处于高峰，内外温差最大；砼易“感冒”开裂。砼养护十分重要，但许多施工单位忽视这一环节，尤其是墙体和柱梁的保温保湿养护不到位，容易产生收缩裂缝。某些露天构筑物尽管当地湿度很大，但由于吹风影响，加速了砼水分蒸发速度，亦即增加干缩速度，容易引起早期表面裂缝，风速对水分蒸发速度的影响见表2。这也许是夏季比秋冬季，南方比北方出现结构裂缝较多的原因。从已建工程调查中发现，底板养护较好，出现裂缝概率较低，而底板上外墙裂缝概率很高约占80%，这与保温保湿养护不足有很大关系。除上述技术因素外，施工管理不严，赶进度，偷工减料，工人素质差，施工马虎等也是造成结构裂缝的人为因素。

（四）对维护缺乏认识 我们发现不少结构是在浇筑完3~6个月，甚至在1~2年内出现裂缝。除荷载问题外，主要是环境温度和风速引起的收缩变形所致。有些地下室不及时复土；上部

结构不及时做好封闭；出入口长期敞开，屋面防水层破坏不及时修补等。这些与施工和业主对结构维护缺乏认识有关。钢筋砼结构与其他物件一样都存在“热胀冷缩”的特征，尤其超长结构更为明显，所以，应重视已浇结构的保温保湿维护工作。

三、有害裂缝与无害裂缝

裂缝按其形状分为表面的、贯穿的、纵向的和横向的等等。裂缝形状与结构受力状态有直接关系。裂缝分为愈合、闭合、运动、稳定的及不稳定的等。例如宽度0.1~0.2mm裂缝，开始有些渗漏，水通过裂缝同水泥结合，形成氢氧化钙和C-S-H凝胶，经一段时间裂缝自愈不渗了。有的裂缝在压应力作用下闭合了。有的裂缝在周期性温差和周期性反复荷载作用下产生周期性的扩展和闭合，称为裂缝的运动，但这是稳定的运动。有些裂缝产生不稳定的扩展，视其扩展部位，应考虑加固措施。根据国内外设计规范及有关试验资料，砼最大裂缝宽度的控制标准大致如下：无侵蚀介质无防渗要求，0.3~0.4mm。轻微侵蚀，无防渗要求，0.2~0.3mm。严重侵蚀，有防渗要求，0.1~0.2mm。判断裂缝有害还是无害，首先视它是否有害结构安全和耐久性，其次是否影响使用功能（如防水，防潮）。例如地下和水工工程，小于0.1~0.2mm裂缝视为无害裂缝，作简单表面封闭即可，再作柔性防水层就更保险了。楼面裂缝0.3~0.4mm，对结构是安全，视为无害裂缝，可不作处理。对于受力的梁、柱，涉及结构安全，裂缝要妥当处理既然变形裂缝一般不影响承载力，但它防水问题就值得研究了，根据工程调查，由裂缝引起的各种不利后果中，渗漏水占60%。水分子的直径约0.310⁻⁶mm，可穿过任何肉眼可见的裂缝，从理论上讲防水结构物是不允许裂缝的，但实际情况不是

这样，工程实践表明，裂缝宽0.2mm，开始漏水量5L/h，一年后只有10mL/h，这说明裂缝逐渐自愈。当然，对有渗水裂缝要及时处理，这并不是难题。工程实践表明，结构裂缝的发生的原因很复杂，也是不可避免的。如对建筑物抗裂要求过严，必将付出巨大的经济代价。科学的要求应是将其有害程度控制在允许范围内。这些关于裂缝的预测、预防和处理工作，统称之为“建筑物的裂缝控制”。我国科技界和工程界正在不断探索，有许多成功经验值得借鉴。百考试题岩土工程师站点 100Test 下载频道开通，各类考试题目直接下载。详细请访问 www.100test.com