

文章编号:1673-9469(2010)03-0026-06

基层对水泥砼路面早期性能的影响研究

徐行军

(福建交通职业技术学院,福建 福州 350007)

摘要:混凝土路面板铺筑完成后到开放交通之前,温度和湿度改变引起的变形受到约束时产生的应力超过混凝土此时的抗拉强度,便会产生早期开裂。研究发现,基层对水泥混凝土路面板早期龄期开裂影响显著,本文从混凝土路面板早期开裂的机理出发,以傍晚和早晨施工铺筑的水泥混凝土路面早期72h阶段的温度场监测数据为例,着重探讨基层参数对混凝土路面板早期开裂的影响,并提出相应的防治措施。

关键词:水泥混凝土路面;基层;早期性能;开裂分析;防治措施

中图分类号: U416.216

文献标识码: A

The study on the influence of base on the early - age performance of the cement concrete pavement

XU Xing-jun

(Fujian Communication Technology College, Fujian Fuzhou 350007, China)

Abstract: Before opening the traffic and after the construction of cement concrete pavement slab, the cement concrete pavement slab may produce the early cracking, when the deformation of the temperature and moisture change is restrained; the slab stress exceeds the concrete tensile strength. Research finds that base play significantly effect on the early pavement cracking. Basing on the early cracking mechanism of the cement concrete pavement slab and temperature data measured in the early 72 hours of cement concrete pavement slab that is constructed in the evening and in the morning, this paper discusses the base parameters impact on pavement early cracking and proposes the corresponding preventive measures.

Key words: cement concrete pavement slab; concrete base; the early - age performance; the cracking analysis; preventive measures

水泥混凝土路面板的早期龄期裂缝,是指水泥混凝土路面从浇筑到开放交通、承受车辆荷载之前所出现的裂缝^[1]。导致水泥混凝土路面板早期龄期开裂的原因是复杂多样的,主要可以归结为在温度、湿度的变化使混凝土路面板产生胀缩和翘曲变形,当这些变形受到约束(地基支撑、层间约束、临板钳制等)时,便会使路面板产生张拉应力,若张拉应力超过路面板的抗拉强度,则导致路面板产生早期开裂。在凝结过程中混凝土温度梯度的改变、高温天气铺筑、周围气温的大幅度变化、过量的路面蒸发也会产生开裂^[2]。路面板早期收缩变形受到的约束包括基层对路面的支承

力、层间接触界面的粘结力和摩阻力以及临板的钳制力,是导致路面板早期龄期开裂的变量因素。

1 早期龄期开裂的影响因素

1.1 触发因素

三种环境触发因素—周围气温的大幅度下降、高温天气铺筑、过量路面蒸发,是引发水泥混凝土路面结构早期龄期开裂的前提,而前两个因素占了早期破坏的大多数。

高温天气铺筑。高温铺筑水泥混凝土路面常见于夏季的白天。众所周知,水泥水化反应是一

个放热的过程,混凝土凝结初期,水泥水化反应剧烈,其剧烈程度取决于周围环境温度和湿度。若周围环境温度高,将导致水化反应阶段混凝土温度急剧上升,致使混凝土在一个较高的温度场发生凝结,当周围温度回落,水泥水化反应趋于结束,混凝土路面板温度大幅度下降,从而导致路面板产生收缩。

周围气温的大幅度下降。水泥混凝土路面铺筑完成之后将暴露于周围环境之中,路面板的温度也将随着周围环境温度的变化而发生周期性的变化。当周围气温发生大幅度的下降时,路面板的温度也随之大幅度下降,从而导致路面板产生收缩变形。

周围气温的大幅度下降使得板顶温度迅速降低,由于混凝土材料热传导性能较差,板底温度的降低滞后于板顶,从而给路面结构增加一个负温度梯度(面板顶部温度比底部低)。如果面板刚度足够大,受到的约束足够强,将会引起面板顶部产生拉应力,使之有可能产生自上而下的裂缝。

高路面蒸发率。过高的路面蒸发率是导致水泥混凝土路面产生塑性收缩的主要因素,新拌混凝土在剧烈的水化过程中,出现泌水或因受外界温度、湿度的作用(太阳辐射、风吹),水分从混凝土内部向外迁移,并在表面迅速蒸发,当水分蒸发量超过供应量时,变化发生失水凝缩,从而引起早期裂缝。路面蒸发率取决于周围环境温度、混凝土温度、风速以及相对湿度。

1.2 变量因素

设计变形因素。设计变量因素包括基层厚度、层间接触界面特性、路面板尺寸以及接缝类型。

路面板的变形约束主要来源于基层和临板,基层不仅给路面板提供了一个垂直支承约束,还提供了—个层间水平约束,水平约束包括三个方面:(1)面层收缩变形时层间的摩阻作用。(2)面层部分材料渗入面层的孔隙内产生的咬合作用。(3)上下层材料的黏附作用。路面板尺寸越大,在相同的温度和湿度梯度下产生的应力就越大,接缝间距越大,面板边缘相对于面板中的固定点(通常为面板中心)的移动程度越高,出现的约束应力就越大。

材料变量因素。材料变量因素包括基层的刚度、路面板材料的收缩特性。

基层强度/刚度对路面板早期开裂的影响与基

层厚度类似,即易约束路面板的翘曲变形。路面板材料的收缩特性指在一定的温度改变下路面板收缩变形的程度,路面板材料的收缩特性越差,在相同的温度变化下产生的变形就越大,产生开裂的可能性就越大。影响路面板材料收缩特性的因素包括:水泥用量、水灰比、水泥和集料的收缩系数、集料级配以及外加剂。

施工变量因素。施工变量因素则包括铺筑路面板前的基层表面条件、锯缝的深度以及养护条件等。

水泥处置基层和贫混凝土基层易使基层表面形成粗糙的表面,而透水基层孔隙的存在易使水泥浆渗入基层内部,这些都易使路面板与基层形成过强的约束面。对于沥青处治基层和沥青处治透水基层,由于基层具有很强的吸热能力,在热天铺筑时,这些基层表面的温度可达60℃,不仅影响了新浇混凝土的强度增长也影响了混凝土的收缩率。混凝土路面板铺筑完成后,应及时的锯缝并进行养护,锯缝深度不够或养护条件不足都将导致路面板发生早期开裂。

2 温度翘曲变形和温度梯度取值

水泥混凝土路面板早期龄期变形包括因混凝土内、外湿度条件改变引起的干燥收缩、自收缩、塑性收缩、碳化收缩变形(以前简称收缩变形)和因温度场改变引起的胀缩和温度翘曲变形(本文将温度胀缩变形和温度翘曲变形结合在一起考虑,以下简称翘曲变形)。

水泥水化反应是一个放热的过程,路面板的温度场随着水化凝结的进行发生改变,同时它还受到外界气温以及太阳辐射的影响。由于路面板只是表面暴露于大气中,越接近于顶面,受气温影响越大,加之混凝土自身热传导性能差,因此,路面板温度沿板厚将出现不均匀变化,从而形成一个温度梯度。在温度梯度作用下,路面板将产生翘曲变形。通常,白天板顶升温速度大于板底,路面板向上翘曲,称为正温度梯度翘曲;夜晚板顶降温速度大于板底,路面板向下翘曲,称为负温度梯度翘曲。当翘曲变形受到基层竖向和水平约束时,便会产生温度翘曲应力,翘曲应力的大小取决于温度梯度的大小、路面板变形受约束的程度以及混凝土的模量。

为了深入了解温度翘曲应力对水泥混凝土路面

板早期开裂的影响,本文以福建省福州地区 2009 年 7 月夏季连续高温阶段施工的水泥混凝土路面为对象,对傍晚(19:00)和早晨(7:00)施工铺筑的水泥混凝土路面早期 72h 阶段的温度场和变形进行了连续监测,监测结果如图 1、图 2 所示。

从图中可以看出,水泥混凝土路面铺筑后在头 24h 由于水化热和气温的共同影响,温幅比较大;24h 后,主要受气温等环境因素影响,温幅减小。对比晚上施工和白天施工面板的影响,得到夜晚施工的面板,在混凝土凝结初期,升温速度较慢,升温幅度较低;相反,白天施工的路面板,在气温的影响下,加速了水泥水化反应的进行,因而升温速度快,升温幅度大,这对混凝土早期龄期的影响是非常大的。

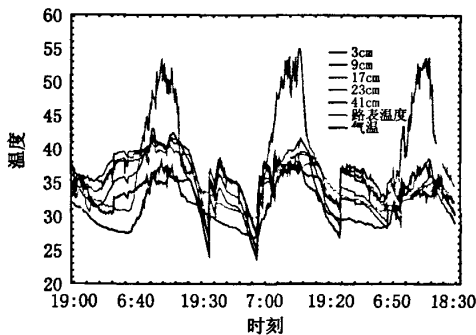


图1 傍晚施工路面板72h温度变化

Fig.1 The temperature of cement concrete pavement slab constructed in the evening during 72h

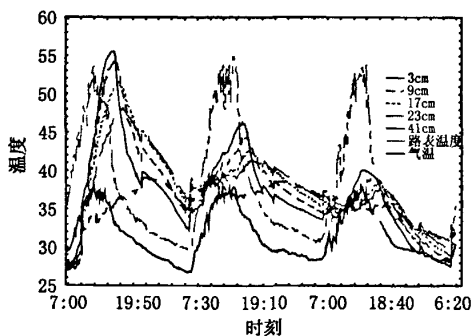


图2 早晨施工路面板72h温度变化

Fig.2 The temperature of cement concrete pavement slab constructed in the morning during 72h

路面板凝固时的温度梯度,可参照图 1、图 2 的监测结果进行取值,混凝土的凝固时间一般为 6 ~ 12h,夏季气温高,一般为 6 ~ 8h^[3],考虑白天气

温又比晚上气温高,因此取傍晚施工的路面板混凝土凝固时间为 8h,早晨施工的路面板混凝土凝固时间为 6h。从图 1、图 2 的监测结果来看,沿板厚方向,温度的变化幅度也是不相同的,路表下 0cm ~ 9cm 区域受气温影响显著,温度梯度值也最大,而底面受气温影响较小,温度梯度值较小,因此在计算时温度梯度应考虑为非线性。

3 早期龄期阶段开裂分析

3.1 计算模型和参数

为防止刚铺筑的路面板发生无序裂缝,通常在混凝土路面板凝结过后,按一定的间距进行锯缝,以释放胀、缩应力。锯缝后的混凝土面板通过锯缝处的断裂释放应力,在正常情况下不会在其他地方发生开裂。但在夏季高温下施工的混凝土面板,在施工结束后的早期阶段,混凝土强度尚很低,若此时降温幅度过大,或层间约束过大,仍有可能因为温度应力过大,引起路面板的开裂。

为探讨基层设计参数对锯缝过后路面板早期开裂的影响,以试验路面温度场监测数据和典型路面结构为例,取路面板尺寸为 5m × 4.5m,板厚取 24cm,弯拉模量取 30 000MPa;基层采用水泥稳定碎石基层,厚度为 20cm,弯拉模量取 5 000MPa;地基反应模量取 0.03MPa/mm,采用三维有限元计算程序 EverFE2.24 进行分析,并做如下假定:

(1)夜晚 19 点施工的路面板铺筑后 12h 进行锯缝,早晨 7 点施工的路面板铺筑后 8h 锯缝。

(2)混凝土早期弹性模量根据 Mosley^[4] 等提出 E_c 与龄期 t 的关系式(1)可推算出如表 1 所示的混凝土弹性模量(混凝土 28d 龄期取 30 000MPa)。

$$E_c = E_{28} [0.52 + 0.15 \ln(t)] \quad (t \leq 28d) \quad (1)$$

表 1 混凝土早期龄期弹性模量
Tab.1 Elastic modulus of concrete at early age

龄期 /h	6	8	10	12	14	16	18
E /MPa	9 361	10 656	11 660	12 480	13 174	13 775	14 305
龄期 /h	20	22	24	26	28	30	32
E /MPa	14 779	15 208	15 600	15 960	16 293	16 604	16 894

(3)水泥混凝土路面板早期龄期的强度增长状况,由于对混凝土各个龄期的强度值进行量测过于复杂。因此,参考余宗明^[5-6]提出的利用三次幂函数曲线来推断混凝土早期强度,如下式所示

$$R_t = at^3 + bt^2 + ct + d \quad (2)$$

以下利用本研究试验路实测的混凝土 3d、7d、14d 抗拉强度值,得到了 425 号普通硅酸盐混凝土分别在 40℃ 和 30℃ 养生条件下的强度增长曲线,如式子(3)、(4)所示,以分别模拟早晨和傍晚施工时混凝土龄期强度的增长过程,并绘制了强度随龄期的增长曲线,如图 3 所示。

$$R_t = 0.000\ 517t^3 - 0.035\ 66t^2 + 0.843t \quad (3)$$

$$R_t = 0.001\ 65t^3 - 0.084\ 60t^2 + 1.126t \quad (4)$$

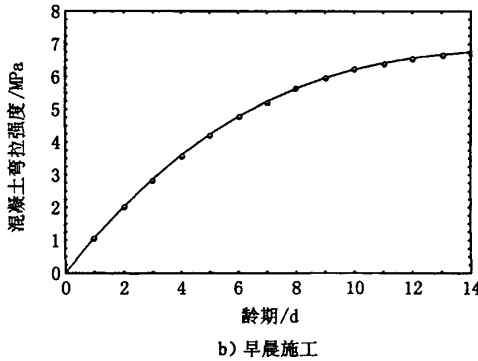
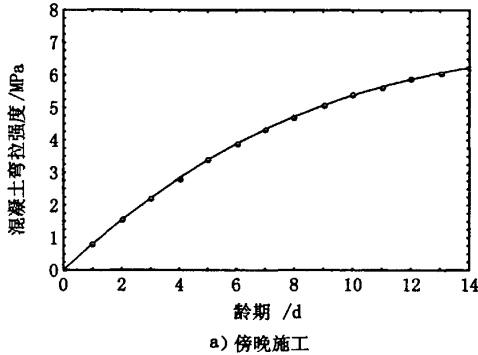


图3 混凝土强度随龄期增长曲线

Fig.3 The curve of concrete strength increasing along with age

3.2 早期龄期阶段开裂的影响

基层的刚度、厚度以及层间接触界面特性是约束水泥混凝土路面板早期龄期变形的主要变量因素。因此,在分析上述各个参数的影响时,固定其中两个参数而变化另一个参数,以探讨基层对路面板早期龄期开裂的影响。

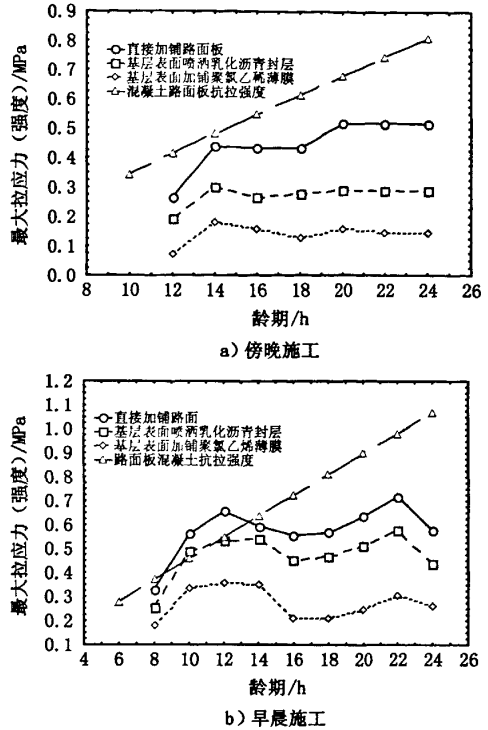


图4 层间接触界面特性对水泥砼路面早期龄期开裂的影响
Fig.4 The influence of characteristic of interlayer contact interface on the early pavement cracking

图 4 显示了固定基层模量为 5 000MPa、基层厚度为 20cm,三种典型层间接接触界面类型(直接加铺路面、基层表面喷洒乳化沥青封层、基层表面加铺聚氯乙稀薄膜),路面板最大拉应力与路面板抗拉强度的对比关系。从图中可以看出层间接接触界面特性对路面的早期龄期开裂影响显著,层间结合越强,路面板产生的应力越大,层间接触界面从完全光滑过渡到接近于完全粘结时,将显著增大路面板发生早期开裂的概率,尤其对于早晨铺筑的路面板。

图 5 显示了固定基层厚度为 20cm,层间接触界面为水泥稳定碎石类型,三种不同基层模量,路面板最大拉应力与路面板抗拉强度的对比关系。从图中可以看出,路面板最大拉应力随基层模量增大而增大,但增幅较小。

相比层间接触界面特性和基层模量,基层厚度对路面板开裂影响很小,随着基层厚度的增加,路面板最大拉应力变化很小,如图 6 所示。

对比傍晚施工和早晨施工的路面板发现,傍晚施工路面板最易发生早期开裂的龄期为浇筑后的 12 ~ 16h,此时,混凝土板受太阳辐射影响仍处

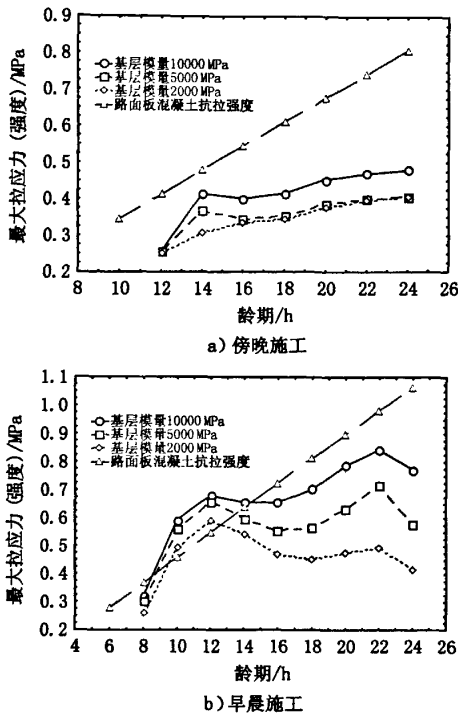


图5 基层刚度对水泥混凝土路面早期龄期开裂的影响

Fig.5 The influence of base stiffness on the early pavement cracking

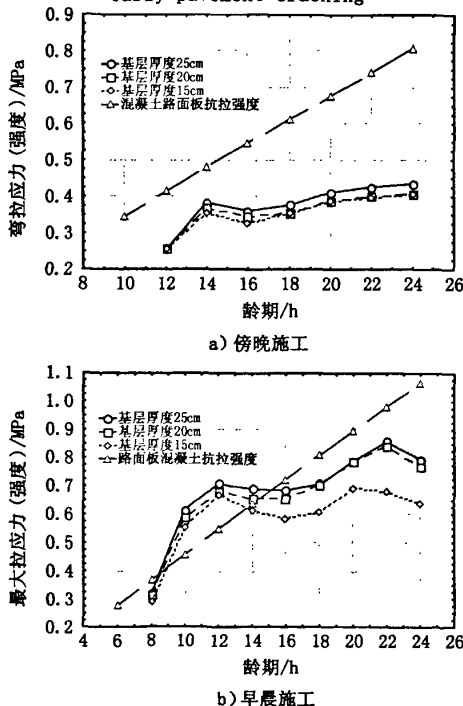


图6 基层厚度对水泥混凝土路面早期龄期开裂的影响

Fig.6 The influence of base thickness on the early pavement cracking

于升温阶段,并在板内形成一个最大正温度梯度;早晨施工路面板最易发生早期开裂的龄期为浇筑后的10~14h,此时,板内温度达到最高后开始降温,并在板内形成一个最大负温度梯度。由于白天施工路面板凝结时的温度要显著大于傍晚施工的路面板,导致白天施工路面板内最大负温度梯度值要显著大于傍晚施工路面板内最大正温度梯度值,因此,白天施工路面板的应力显著大于傍晚施工路面板的应力。对比图4结果可以看出,白天施工且层间结合较强的路面板,其最大拉应力已超过了混凝土的抗拉强度,导致路面板发生早期开裂,而夜晚施工的路面则没有发生早期开裂。因此,应该严格控制白天施工的气温并采取有效的防治措施,并及时的进行养护。

4 防治早期开裂的措施

触发因素和变量因素的共同作用易导致路面板发生早期龄期开裂,因此,应从两个因素方面予以分别考虑。

4.1 避免高温铺筑

高温铺筑不仅会使路面板产生温降收缩,还会使路面板产生翘曲变形,是导致路面早期龄期开裂的最主要触发因素。避免高温铺筑的关键是,控制铺筑路面板时的环境温度。对于夏天铺筑路面板来说,还应尽量避免上午施工,以防止混凝土水化热与环境温度发生“共振”,傍晚施工的路面板,其环境温度也宜控制在35℃以内。

4.2 对基层表面进行减摩处理

引起水泥混凝土路面板早期龄期开裂的主导因素除干缩和温缩外,约束条件是关键因素之一。也就是说,无约束或弱约束条件下,即使有较大的收缩量也不会引起开裂,这是减摩防裂的关键理论基础。鉴于此,可采取对基层表面进行减摩处理或加铺粘结阻隔层,以减弱或消除路面板与基层的粘结,常用的方法有:(1)在基层表面喷洒乳化石沥青。(2)在基层表面铺设一层或两层聚氯乙烯薄膜。(3)加铺2~3cm沥青混凝土粘结阻隔层,简称AC层。

4.3 施工措施

采用合理的施工措施也可以有效避免路面板发生早期开裂^[7]。首先,应尽量保证基层表面的平整光滑,在铺筑路面板之前进行洒水湿润,在降低基层表面温度的同时,减少基层对路面板底面

水分的吸收,避免路面板底面发生失水收缩;其次,应及时的养护。从上述分析可知,路面板在凝结时会形成一个固有温度,固有温度的大小以及沿路面板的分布情况,决定了凝结过后温度梯度值的大小。由于环境温度对板顶的影响程度要显著大于板底,因此,应及时在路表面铺覆盖物,并定时的洒水养护,避免路面板凝结是板内温度过高,温差过大。最后,应及时的锯缝,且保证足够的锯缝深度,使得路面尽早在锯缝处发生断裂。

5 结论

1)导致路面板发生早期龄期开裂的影响因素可分为触发因素和变量因素,而触发因素和变量因素的组合,是导致路面板发生早期裂缝的主导原因。

2)白天铺筑的路面板,其温度梯度值要显著大于夜晚铺筑的路面板,路面板极易发生早期开裂,而夜晚铺筑的路面板则不易开裂。

3)对比基层模量、厚度以及层间接触界面特性对路面板早期开裂的影响发现:层间接触界面状态的影响最为显著,直接加铺的路面板发生早

期开裂的概率明显大于基层表面进行减摩处理的路面板;相比之下,基层的模量和厚度对其影响要小的多,但总的来看,增加基层的模量和厚度,增大了基层对路面板的支承约束,在一定程度上增大了路面板的温度收缩应力和翘曲应力。

参考文献:

- [1] 刘伟. 贫混凝土基层混凝土路面结构设计研究[D]. 西安:长安大学,2003.
- [2] 张洪波. 水泥混凝土面层与贫混凝土基层界面特性研究[J]. 长沙交通学院学报,2005,21(4):27-31.
- [3] 朱梦良. 水泥混凝土路面早期病害防止技术研究[J]. 长沙交通学院学报,1998,14(2):48-53.
- [4] 吴国雄. 水泥混凝土路面开裂机理及破坏过程研究[D]. 成都:西南交通大学,2003.
- [5] 余宗明. 按混凝土强度龄期曲线推算混凝土早期强度[J]. 施工技术,1994(10):5-8.
- [6] 余宗明. 混凝土早期强度推算方法及实用分析[J]. 低温建筑技术,1996(2):6-9.
- [7] 胡昌斌. 福建省重载交通水泥混凝土路面结构研究[R]. 福州:福州大学,2007.

(责任编辑 刘存英)

(上接第21页)

5 结论

1)对于平面规则对称,剪力墙布置均匀,竖向刚度规则的结构,使用刚性楼板假定和弹性楼板假定分析结果差别不大,我们可以采用刚性楼板假定进行分析计算。

2)对于平面不规则或者竖向刚度不规则的结构,使用刚性楼板假定计算偏于不安全,但是因刚性楼板假定和弹性楼板假定计算结果相差较小,因层间位移角体现的是侧向刚度,由主要的抗侧力构件(剪力墙、柱等)提供,楼板对其贡献较小,可以采用刚性楼板假定分析计算,计算前可考虑楼板的减弱对总体刚度的影响,对总体刚度取一个合适的折减系数。但是,楼板局部开洞对位移比影响较大,且对于楼板局部开洞的R.C结构本身存在薄弱部位,应严格控制扭转,所以建议分析时采用弹性楼板假定,考虑其实际变形情况去控制位移比。

3)对于楼板局部开洞的薄弱部位,设计上应采取必要的措施保证刚度的整体性。可采取楼板局部加厚,开洞周围楼板配筋加强(双层双向配筋),增加周边梁的刚度,增设水平支撑,加大柱子

截面,避免竖向刚度的变化。

4)采用弹性楼板假定的结构,建议具体查看是否存在因弹性节点的局部振动而产生计算误差,若存在,在考虑结构分析计算时,应考虑去除个别弹性节点的各项指标。

参考文献:

- [1] GB 50010-2002, 混凝土结构设计规范[S].
- [2] 张敬书,马志敏. 楼板局部开洞对高层建筑结构整体抗震性能影响的分析[J]. 四川建筑科学研究,2009(02):189-193.
- [3] 王庆扬,胡守营. 楼板局部不连续对结构抗震性能的影响分析[J]. 建筑结构,2008(08):50-52.
- [4] 肖志斌,马跃,袁涛. 楼板局部不连续钢筋混凝土结构抗震设计[J]. 工程设计学报,2003(04):208-211.
- [5] 陈岱林,赵兵,刘民易. PKPM结构CAD软件问题解惑及工程应用实例解释[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [6] 李云贵,邵弘,陈岱林. 高层建筑结构分析中对楼板的模型简化[J]. 土木工程学报,1998(05):73-78.
- [7] GB 50011-2001, 建筑抗震设计规范[S].
- [8] JGJ3-2002, 高层建筑混凝土结构技术规程[S].
- [9] 肖奇志,蒋海云. 刚性楼板假定的工作原理及其选用方法[J]. 中外建筑,2007(09):100-101.

(责任编辑 刘存英)