

钢结构工程案例分析(一)

邱鹤年/中冶京诚工程技术有限公司

1 重级工作制吊车梁的抗疲劳要求

吊车梁,尤其是行驶重级工作制吊车的吊车梁,除设计计算、选材方面有验算疲劳的专门要求外,在构造、对施工要求和注意方面,也有很多事项必须向施工、生产单位说明。

首先,属于设计方面必须交代的,如吊车梁的选材,应根据当地日平均最低温度和吊车工作循环次数来确定钢材牌号及质量等级,并选定相应的焊接材料具体型号,以及所依据的标准、名称、代号、年号。

对焊缝具体要求也应明确,不宜选用部分熔合的对接焊缝用于垂直于受力方向的连接,角焊缝表面应做成直线形或凹形。焊脚尺寸的比例:对正面角焊缝宜为 1:1.5(长边顺内力方向);对侧面角焊缝可为 1:1。对翼缘板或腹板的焊接拼接应采用加引弧板和引出板的焊透对接焊缝,引弧板割去处应打磨平整。支座加劲肋上、下端及中间横向加劲肋上端均应刨平,顶紧翼缘。中间横向加劲肋下端不得与受拉翼缘相焊,在距受拉翼缘 50~100mm 处断开,且其与腹板的连接焊缝不宜在下端起落弧。受拉翼缘与支撑不宜焊接。重级工作制吊车梁的受拉翼缘板边缘宜为轧制边或自动气割边,当用手工气割或剪切机切割时应沿全长刨边。吊车梁的受拉部位不得焊接悬挂设备的零件,并不宜在该处打火或焊接夹具。当采用焊接长轨时,压板与钢轨间应留约 1mm 空隙,以利纵向伸缩。

过去曾发生过在吊车梁腹板上焊摩电滑线支架、焊小型吊具,随意引弧打火,引起疲劳裂缝损坏等事故。也有个别工艺管线专业对小管道、小零件没有详细节点交代,由现场处理,出现不当焊接,造成不良后果。

必要的小焊件,可焊在加劲肋上。

2 重型平台柱头的剪切破坏

冶金工厂操作平台为防止冲击,在结构层上铺砂垫层,再砌耐火砖,有的还铺铸钢板防护。平台上通行火车、修炉机、载重车及堆料等负荷,有时还有冲击、碰撞、高温等异常作用,平台结构常有破损情况出现,现在就柱顶承压及抗剪问题给出算例分析。某两端铰接平台支柱,从《热轧 H 型和剖分 T 型钢》GB/T11263-2005 中选用 HW344×354×16×16 ($A=16465\text{mm}^2$, $i_x=144.9\text{mm}$, $i_y=84.8\text{mm}$), 钢号为 Q235B, 柱高 6m, 柱两端有支承,中间无支承,柱顶承受集中荷载设计值 $F=2500\text{kN}$, 采用支承加劲肋—400×25 传递集中荷载, H 型钢腹板中心开槽口, 将支承加劲肋插入, 加劲肋上端与柱顶盖板(—420×420×25)刨平顶紧, 如图 1 所示。加劲肋用 4 条 $h_f=12\text{mm}$ 角焊缝连接。在确定

l_1 长度值时, 还应考虑柱腹板沿角焊缝边缘破坏的可能性, 因规范无相关规定, 暂不考虑应力扩散。现验算柱肢压应力, 平面内、外稳定性, 加劲肋局部压应力, 并与其适用的强度设计值相比较(柱自重忽略不计), 最后求 l_1 。

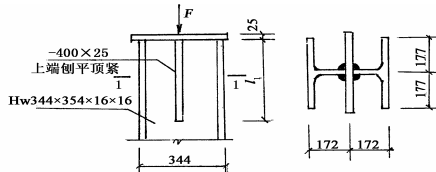


图 1 柱顶承压节点

解: 1. 柱压应力计算(Q235, $t=16\text{mm}$)

$$\sigma = F/A = 2500 \times 10^3 / 16465 = 151.8 < f = 205 \text{ N/mm}^2$$

2. 柱平面内稳定性验算: $\lambda_x = 6000/144.9 = 41.4$, 查《钢结构设计规范》表 5.1.2-1, $b/h = 354/344 = 1.03 > 0.8$, 平面内外均 b 类, 查表 C-2, $\varphi_x = 0.893$ 。

$$N/\varphi_x A = 2500 \times 10^3 / (0.893 \times 16465) = 170 < f = 205 \text{ N/mm}^2$$

3. 柱平面外稳定性验算: $\lambda_y = 6000/84.8 = 70.8$, b 类, $\varphi_y = 0.750$ 。

$$N/\varphi_y A = 2500 \times 10^3 / (0.75 \times 16465) = 202.4 < f = 205 \text{ N/mm}^2$$

4. 支承加劲肋局部压应力

$$\sigma_{ce} = N/A_{ce} = 2500 \times 10^3 / (400 \times 25) = 250 < f_{ce} = 325 \text{ N/mm}^2$$

5. 求 l_1

(1) 按焊缝强度计算

$$l_1 = F / (4 \times 0.7 h_f f_f^w) + 2h_f = 2500 \times 10^3 / (2.8 \times 12 \times 160) + 2 \times 12 = 465 + 24 = 489 \text{ mm}$$

(2) 按焊缝边缘的柱腹板抗剪强度计算

$$l_1 = F / 2t_w f_v = 2500 \times 10^3 / (2 \times 16 \times 125) = 625 > 489 \text{ mm},$$

应取 $l_1 = 625 \text{ mm}$ 。

6. 结果比较如下表所示

分析类别	σ (N/mm ²)	稳定性计算 (N/mm ²)		σ_{ce} (N/mm ²)	计算长度 l_1 (mm)	
		平面内	平面外		按角焊缝	按腹板抗剪
①计算要求	151.8	170	202.4	250	489	625
②实有	205.0	205	205.0	325	625	625
①/②(%)	74	83	98.7	79	78	100

3 共振滋味

某大型轧钢厂的主轧机旁的主电室, 平台上布置多台交直流变流、整流电动机组, 其中有 1 台电机正置于一梁中部, 此电机启动后, 平台周边振动剧烈, 令人难以忍受, 经检查、测试、验算, 结构强度、挠度均符合规范要求, 但梁的自振周期与电机周期接近, 产生了共振。

为改善这一工作条件,在梁下增支一小钢柱,上面楼板的振动情况就好多了,能达到正常工作的条件。由于小钢柱并不妨碍下层工作,所以就保留下来,没有再采取其他措施,但小钢柱的上下支点构造,应进行可靠定位,防止钢柱倾倒。如果平台下电机处不便增支柱,可调整柱的位置或加二柱,或加隅撑,目的是改变梁的自振周期。如为混凝土梁,要考虑新增支座的负弯矩影响,采取必要的加固处理。

振动计算常与实际有较大出入,故在结构布置上尽量不要将1个电机放在1根梁中,可用主次梁体系或空间受力来处理。

4 怎样加层

在已建成使用的钢筋混凝土多层建筑上加层,为减轻负荷常采用门式刚架轻钢结构。门刚结构按地面一般条件设计,将反力传于原结构,对原结构进行验算,必要时进行加固处理;门刚与原顶层结构连接,按单层计算结果,选定锚栓直径和数量,植筋于原屋面板上。这是常见的处理办法。

中国建筑科学研究院编制的《房屋建筑抗震设计常见问题解答》(2004年4月)第6.28条,原文如下:

在现有钢筋混凝土房屋上加层,采用钢结构(包括轻钢结构),可分为两种情况:

(1)若加层结构体系为钢结构,因抗震规范不包括下部为钢筋混凝土,上部为钢结构的有关规定,两种结构的阻尼比不同,上下两部分刚度存在突变,属于超规范、超规程设计,设计时应按国务院《建筑工程勘察设计管理条例》第29条的要求执行,即需由省级以上有关部门组织的建设工程技术委员会进行审定。

(2)若仅屋盖部分采用钢结构,整个结构抗侧力体系仍为钢筋混凝土,则按照抗震规范第六章的有关规定进行抗震设计。此时尚应注意因加层带来结构刚度突变等不利影响,进行验算,必要时对原结构采取加固措施。

加层建筑大都采用轻钢结构,这些都经省级以上有关部门组织的专家委员会审定过吗?绝大多数答案是“没有”。建研院的解答是难以实现的,但问题又确实存在,怎么办?笔者在不同时间、场合请教了两位不同单位的专家,对混凝土结构上用钢结构来加层是如何处理的。两位专家的回答不约而同为“参照现行《建筑抗震设计规范》第5.2.4条处理,增大系数可用3~5”。目前这不失为解决实际问题的办法。

另外,加层设计常遇到不是平顶加层,而是已有部分突出,再进行补充加层,这样新增部分可尽量依靠原突出部分抗震,给加层设计能带来一些方便。

加层设计必须对新旧结构进行整体分析(包括基础),科学检测与鉴定,系统处理,才能不留隐患。

5 擅改设计的案例

1. 曾有设计者找笔者咨询,欲将门式刚架的柱子改为钢筋混凝土柱,希望梁柱仍保持刚接。笔者认为欲将钢梁与

钢筋混凝土柱形成刚节点,目前还未见安全可靠、经济适用的连接方案;采用比较多的是钢筋混凝土柱配铰接屋面梁或屋架,形成排架体系。该同志又提出改下半截柱为混凝土。这样不仅构造上难以处理,更给抗震计算带来困难,二者弹性模量、截面特性、阻尼比值均不同,没有适用规范,也不一定取得优越的经济效果。

2. 我院为某礼堂设计网架屋盖,徐州某网架厂进行施工。该厂有一定设计能力,认为我院设计的网架杆件过大,改为仅按雪载,重新设计加工。完工后,我院原设计人去现场,发现网架杆件比原设计小得多,经询问才知网架厂自行修改,未考虑多种悬挂负荷。后来该网架厂又请另一设计院重新验算加固,结果外观粗细不等,极不流畅,业主勉强接受,网架厂的经济损失很大。

3. 有一位业主主观认为设计单位都是保守的,设计的基础底面积 $3\text{m}\times 5\text{m}$,他给改为 $2.7\text{m}\times 4.5\text{m}$,认为他修改了没出问题。

这些盲目修改设计的做法给结构安全带来了严重的隐患或后果。

6 柱底抗剪

一些国外设计对柱底抗剪十分重视,尤其是在大推力(如大型管道固定支座)作用时,用十字板(— $300\times 300\times 30$)或H型钢(HW300,高300),施工浇灌层时还预留小槽通道,以保证浇注密实,如图2a。

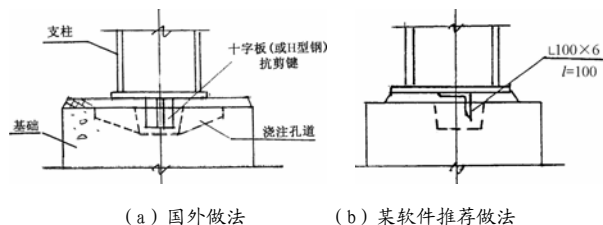


图2 抗剪键

国家建筑标准设计图集《多、高层民用建筑钢结构节点构造详图》01SG519推荐的抗剪键如图3。

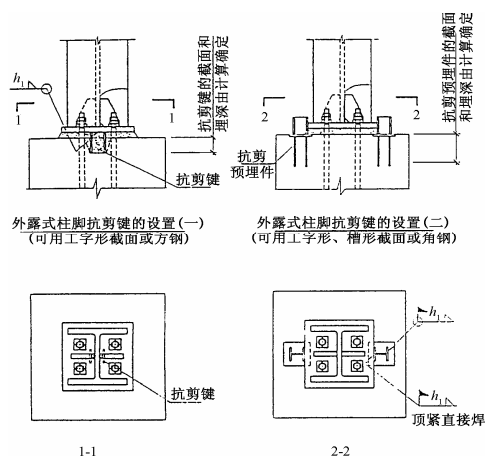


图3 01SG519推荐的抗剪键

某门式刚架制图软件用一短角钢肢来抗剪,如图 2b,过于单薄,不堪一推,而对纵向力几乎没有什么作用,是很不成熟的节点做法。

此外,要保证二次浇灌层密实,可预留灌孔并在柱底板上开排气检查孔。

7 屋面积灰问题

自上世纪 50 年代大跃进以来,积灰引起的屋盖坍塌事故发生多起,后来国家发文要求相应工厂建立清灰制度,不允许积灰超过设计所采用的计算指标。

设计一方也采取了一些措施,如高炉出铁厂采用 45° 坡屋面,不可能出现屋面积灰问题;或采用外排水屋面,不出现背风死角,这样也能减轻积灰压力。

《建筑结构荷载规范》GB50009—2001 的 4.4 节关于积灰的相关规定,是沿用 GBJ9—87 的相应内容,几十年一贯,如高炉都是些中小高炉,属于淘汰范畴。应该根据环保要求,减少污染,提高除尘效率,降低积灰荷载。宝钢严格执行国家环保政策,一般屋面不考虑积灰荷载,但完全做到无灰屋盖,还需要付出更大的努力。

8 防锈与防火

钢结构的抗腐蚀和抗火处理办法可以采用涂防锈油漆和防火涂层。在防锈防火双重功能要求下,又出现了新问题。

(1)钢格栅板、冷弯型钢因边角内凹多,涂刷油漆不便,常采用热镀锌法。先将构件放在酸洗槽中除锈,然后移至水槽中除酸,再置于锌槽中镀锌;设计文件中应有镀锌量指标。如果只注“镀锌”二字,个别施工单位采用电镀法,因构件大、处理不好,构件很快就锈蚀了。

(2)湖南一油漆厂广告,称其底漆为“耐水耐油”,上海某施工单位在涂漆前没有基本除锈污,在“连水带油”的钢材上涂底漆,结果当然失败,只能返工。

(3)《建筑设计防火规范》GB50016—2006 第 3.2.4 条,对一、二级耐火等级的厂房,火灾危险性为丁、戊类或虽为丙类,但有自动灭火装置的单层厂房,其柱、梁均可采用无(防火)保护层的金属结构,如冶金、机械等工厂一般都不做防火处理,因此对钢结构只有除锈、涂漆要求。

有防锈要求的钢材,首先应提出手工除锈或喷射、抛射除锈,手工除锈有 St2、St3 两级,喷射、抛射有 Sa1、Sa2、 $Sa2\frac{1}{2}$ 、Sa3 四级,常用 Sa2、 $Sa2\frac{1}{2}$ 级。然后提出底漆、中间漆、面漆品种(不应指定厂家)、遍数及干漆膜厚度(μm)指标,如设计图对涂层厚度未提出要求时,则按《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205—2001 第 14.2.2 条规定:室外为 $150\mu\text{m}$,室内为 $125\mu\text{m}$ 。

(4)某钢结构设计软件的总说明,首先要求除锈、涂漆,并有具体指标;然后又要求按建筑图确定的耐火极限要求,施工单位去选择适用的防火涂料,既防锈,又防火。这种笼统提法,往往造成失误。

有的防火涂料起防锈作用,就可以不涂油漆,钢材除锈后,即涂防火涂料,既防锈又耐火。

有的防火涂料不起防锈作用,钢材除锈后应涂防锈底漆,然后再涂防火涂料,应选用两者相融的产品,不起化学反应。曾出现过两者互斥脱皮事故。因为防火涂料属消防部门审批,钢结构设计图只能提出两者相融合的要求,不便指定品种厂家。

有的建筑为美观需要,在防火涂层外尚要求涂布面漆,亦应提出两者不起化学反应的要求。

9 门式刚架的一些问题

门式刚架由于耗钢指标低,造价便宜,体型轻巧,工场制作,现场安装,施工快而方便,发展迅猛,也出现了较多的安全质量问题。

我国门刚规程是从美国 MBA 移植而来,但具体条件又不一样。门刚的风载按低矮建筑考虑,风载体型系数较大,而国内一些设计及软件只按荷载规范取值,未能反映对风敏感的特点;国外钢材公差正负约相抵,而我国钢材以负公差为主;国外压型板较厚,蒙皮作用强,而我国选板越来越薄,不但影响蒙皮效应,连基本挠度、强度都很紧张;门刚的女儿墙越来越高,引起雪堆加厚,大大超过了荷载规范最大积雪分布系数 2 的规定。2003 年建设部颁布的《民用建筑技术措施》将门刚放宽的各项指标都进行了紧缩,但由于门刚仍在执行,所以很多设计者仍按门刚取值。诸多原因使门刚的安全度大为降低。近几年来在北方出现暴风雪时,或在南方有台风时,门刚是最经不住考验的建筑。

设计中存在如下问题:

1. 随意修改设计,不按图施工:1)如将刚架梁放在混凝土柱上,任意提高女儿墙,积雪超载;2)不了解隅撑、拉筋作用,自行取消,致使构件失稳;3)任意减薄压型板及冷弯檩条壁厚;4)缩减连续檩条、墙梁的搭接长度,破坏了连续梁的作用,以致弯矩增大;5)将檩条、墙梁支座靠背加劲取消,削弱了檩条、墙梁的抗扭能力;6)偷工减料,抽钢筋,缩尺寸。

2. 设计问题:1)柱脚锚栓均用 M20,不能满足构造要求;2)对墙梁、檩条支承,不考虑受扭作用,采用平板无加劲的托座;3)梁、柱刚节点的节点板过薄,刚度不足;4)未考虑檩条、墙梁在边角等个别部位的特大风载体型系数,造成大风时失稳破坏;5)对刚架梁柱变截面采用突变办法,板厚相差过大;6)建筑、结构和有关专业配合不够,图纸矛盾,问题多。

3. 施工问题:1)结构安装抢进度,不注意设置临时支撑,成片倒塌;2)对多跨刚架的摇摆柱,将节点焊死,改变结构受力状态,发生工程事故;3)忽视隐蔽部位施工质量,如二次浇灌层浇灌不满。