

民用建筑不锈钢栏杆设计中的结构问题

□ 施礼德

[摘要] 栏杆在民用建筑设计中一般由建筑专业负责，而建筑专业设计师往往因力学概念薄弱而引用标准图集，虽然图纸有各专业人员会签，但是因为设计周期短，会签往往流于形式，给栏杆的结构安全带来极大隐患。通过介绍具体工程在设计施工过程中遇到的结构安全问题及其处理方法，并指出图集的纰漏之处，供同类工程参考。

[关键词] 不锈钢栏杆；传力路径；焊缝；预埋件

在城市化建设快速发展的进程中，学校、住宅、办公楼等建筑物大量建设，栏杆作为重要的非结构构件，因为涉及建筑的外立面及使用者的安全感，建筑设计师在方案阶段就对其进行了仔细推敲、精心设计。栏杆已由过去传统的木质、砖墙栏杆发展到不锈钢、玻璃等材质各异、造型优美的栏杆，但万变不离其宗，安全是第一原则。国家颁布的相关设计规范对其强度、刚度、高度、间距都有严格的要求。但是在实际设计过程中，栏杆设计通常由建筑专业设计师负责，结构专业设计师一般都更重视主体结构的抗震、基础安全，而建筑专业设计师往往力学概念薄弱，对于千变万化的栏杆形式的传力路径分析力不从心，而且因市场要求设计周期一般都比较短。虽然图纸有各专业人员会签，但是会签往往流于形式，结构工程师基本没有太多时间关注栏杆的结构安全设计，这样给栏杆的结构安全带来极大隐患。通过介绍在具体实际工程的设计施工过程中常见的不锈钢栏杆结构安全问题及其思考处理方法，供同类工程参考。

1 不锈钢栏杆设计的现状

在不锈钢栏杆施工图设计阶段，栏杆大样往往是靠后设计，图纸排序是在后面的，建筑设计师为赶时间节点，一般引用标准图集甚至仅以文字表述来代替大样，以减少绘图工作量。引用最多的是中南标柳州市建筑设计科学研究院主编的《楼梯栏杆》（11ZJ401）和《国家建筑标准设计图集》，以及中国五洲工程设计集团有限公司及中国建筑标准设计研究院有限公司主编的《国家建筑标准设计图集15J403—1 楼梯 栏杆 栏板（一）》全经由住房城乡建设部批准。如图1（注：图中数字如无单位的皆为mm，余图皆同）是某住宅小区栏杆大样，图2是某小学栏杆施工图为了节省画图时间

仅靠文字描述而无大样图，由于中国语言文字博大精深，极其容易产生歧义，这样的设计深度通常达不到现场施工要求，而开发商为追求利润最大化，一般选用尺寸及壁厚都较小的不锈钢材料，现场施工工人素质良莠不齐，大都是从方便施工出发，质量难以保障，为以后的安全埋下了隐患。

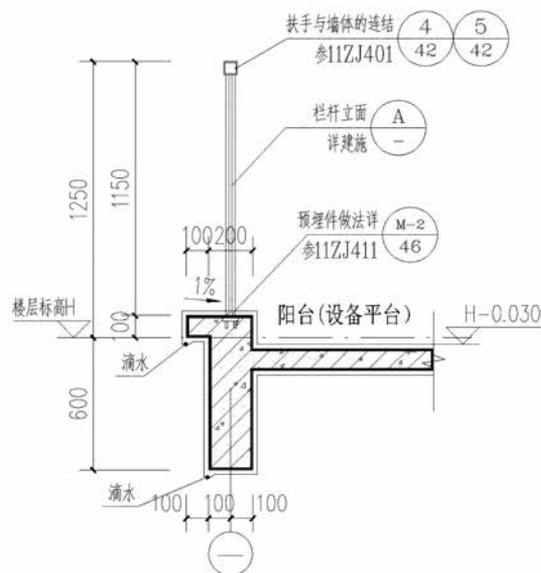


图1 栏杆大样图（标高数字单位为m）

11.0.7 安全防护
室内楼梯栏杆和扶手采用不锈钢做法参11ZJ401-21(15/37)，其中 $\phi 20 \times 1$ 不锈钢管改为 $\phi 20 \times 1.2$ ，所有防护栏杆竖向杆件间距不大于100mm，阳台栏杆、外墙栏杆做法详施工图，栏杆高度为1.2m，靠墙扶手做法参11ZJ401-17(17/37)；护窗栏杆为不锈钢栏杆，护窗栏杆和扶手参11ZJ401-21(15/37)，栏杆高度为900mm，竖向栏杆间距 ≤ 110 mm，不锈钢的壁厚为3mm，防腐304。所有的防护栏杆最薄弱处承受的水平推力 $> 1.5 \text{ kN/m}$ ，所有的楼梯扶手采用成品圆钢，间距为1000。

图2 栏杆说明

[作者简介] 施礼德，南宁市建筑设计研究院有限公司，副总工程师，高级工程师，一级注册结构工程师、注册土木工程师（岩土），硕士。

2 某住宅小区不锈钢栏杆竣工验收不合格的原因

南宁某大型住宅小区在竣工验收阶段发现栏杆用微小的力度推一下即有明显晃动,如图3。



图3 不合格栏杆

经查设计图纸如图4。其引用了《国家建筑标准设计图集15J403—1 楼梯 栏杆 栏板 (一)》的D20大样,如图5,主要受力杆件为镀锌钢管立柱 $\square 42 \times 1.5\text{mm}$,明显偏小。根据中华人民共和国行业标准《建筑防护栏杆技术标准》(JGJ/T 470—2019)的规定^[1],栏杆顶部的水平荷载为 1.0kN/m 。其传力路径为水平推力作用在扶手,然后扶手传到立柱顶部,再由立柱传到根部。传力路径经过的每一根杆件、节点都必须满足刚度、强度的验算。因为该荷载及力相对于混凝土构件不大,所以结构工程师往往忽略栏杆的结构设计。虽然该荷载产生的弯矩、剪力确实很小,但是相对于杆件及壁厚都很小的不锈钢构件就不小了。

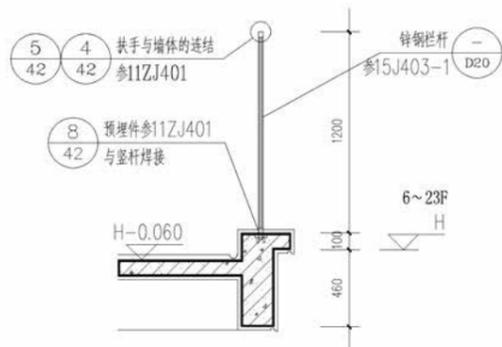


图4 栏杆大样图(标高数字单位为m)

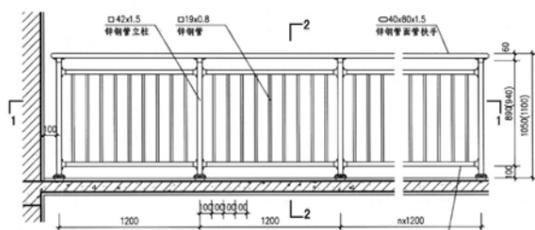


图5 栏杆立面图(数字单位为mm)

根据传力路径提前力学计算模型如图6。立柱的根部的弯矩设计值为 $1.2 \times 1.2 \times 1.5 = 2.16\text{kN}\cdot\text{m}$ 。

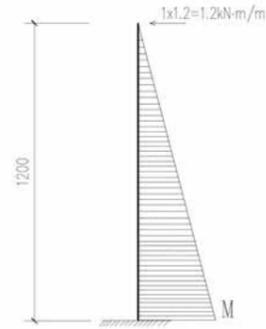


图6 力学模型图

方通 $\square 42 \times 1.5\text{mm}$ 的惯性矩为 $I = (b_1 h_1^3 - b_2 h_2^3) / 12 = (42^4 - 39^4) / 12 = 66521\text{mm}^4$ 。其应力为 $\sigma = M \cdot y / I = 2.16 \times 10^6 \times 21 / 66521 = 682\text{MPa} \gg 175\text{MPa}$ ^[2],根本不能满足不锈钢材料的强度要求。虽然该图集在注里说明“选用本图时应按项目设计实际情况复核结构强度,由生产厂家确保使用安全”,但是其大样里面已经明确标明了立柱的尺寸为 $\square 42 \times 1.5\text{mm}$,实属一大纰漏埋下了极大的安全隐患。该立柱的尺寸经核算为 $\square 70 \times 2.5\text{mm}$ 才能满足强度要求。

需要注意的是在学校等走廊人群密集处,栏杆顶部的水平荷载与一般建筑不一样。根据住房和城乡建设部颁布的中华人民共和国国家标准《中小学校设计规范》(GB 50099—2011)的8.1.6条规定^[3]:“上人屋面、外廊、楼梯、平台、阳台等临空部位必须设防护栏杆,防护栏杆必须牢固,安全,高度不应低于 1.10m 。防护栏杆最薄弱处承受的最小水平推力应不小于 1.5kN/m 。”该条文为强制性条文,必须严格执行,故在实际工程设计计算时须栏杆水平推力取值为 1.5kN/m 。某中学体育看台的栏杆立柱施工图设计时尺寸为 $\square 60 \times 3.0\text{mm}$,建筑师与结构工程师交流讨论时发现偏小,经验算改为 $\square 70 \times 3.0\text{mm}$ 才满足规范要求,避免了设计质量安全事故。

3 某开发商对住宅小区不锈钢栏杆的优化

南宁市五象新区某大型房地产开发商聘请了经验丰富的各专业总工进行安全性及经济性优化把关。他们充分深入了解设计院的图纸及设计过程,认识到图集里面栏杆的力学计算模型只是简单的悬臂构件模型,该模型的力经过传递集中到立柱的根部,造成了该构件根部的尺寸要求偏大,而栏杆构件为了美观不可能根据弯矩包络图及剪力包络图进行变截面设计,所以设计院的图

纸引用图集大样有充裕的经济成本优化空间。如图7常见栏杆,房地产公司总工要求改变栏杆受力的传力路径,克服悬臂力学模型单一的传力路径,水平推力经过面管传到立柱的B点及两边的A点,不再仅仅集中于C点,这样构件受力大大减少,相应截面尺寸要求也降低了很多,其立柱仅为 $\square 40 \times 1.2\text{mm}$ 就满足了计算要求,为开发商节约了大量的经济建造成本,创造了良好的社会效益与经济效益。

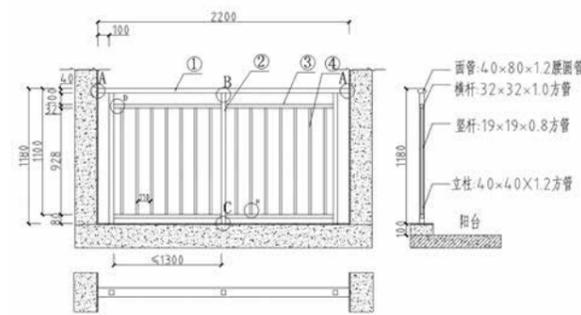


图7 优化栏杆图(数字单位为mm)

4 不锈钢栏杆的其他结构问题及注意点

(1) 不锈钢栏杆都是主体混凝土完工后再进行安装施工。图纸一般都是设计不锈钢栏杆与混凝土板预埋件进行焊接连接,但是钢板预埋件的定位及保护在粗放型的混凝土施工中往往不易保护,或保护成本较高且麻烦,故都是进行后锚固施工。后锚固施工要求比较高,不易保证施工质量。比如后施工锚筋用膨胀螺栓代替,其原理是把膨胀螺栓打到地面或墙面上的孔中,用扳手拧紧膨胀螺栓上的螺母,螺栓往外旋开,而外面的金属套却不动,于是,螺栓底下的大头就把金属套涨开,使其涨满整个孔,此时,膨胀螺栓就抽不出来了。但它的固定并不十分可靠,孔内难清理干净,如果载荷有较大震动,可能发生松脱,造成安全事故。当然也可以选用性能可靠的化学锚栓,但是其价格更加高,施工要求严格。化学锚栓是由乙烯基树脂为主体原料的高强度锚栓,是继膨胀锚栓之后出现的一种新型锚栓。它是通过特制的化学黏接剂,将螺杆菌胶固定于混凝土基材钻孔中,以实现固定件锚固的复合体。根据工程设计要求,在基材(如混凝土)中相应位置钻孔,孔径、孔深及螺栓直径应由专业技术人员或现场试验确定。用冲击钻或水钻钻孔,用专用气筒、毛刷或压缩空气机清理钻孔中的灰尘,孔内不应有灰尘与明水。要保证螺栓表面洁净、干燥、无油污,确认玻璃管锚固包无外观破损、药剂凝固等异常现象,将其圆头朝内放入锚固孔并推至孔内,然后使用电钻及专用安装夹具,将螺杆菌强力旋转插入直至孔底,不应采

用冲击方式。当旋至孔底或螺栓上标志位置时,立刻停止旋转,取下安装夹具,凝胶后至完全固化前避免扰动。

(2) 中华人民共和国国家标准《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)的9.7节关于预埋件及连接件的内容有专门对预埋件的技术要求^[4]。比如锚板厚度应根据受力情况计算确定,直锚筋与锚板应采用T形焊接。当锚筋直径小于 20mm 时宜采用压力埋弧焊;当锚筋直径大于 20mm 时宜采用穿孔塞焊;当采用手工焊时,焊缝高度不宜小于 6mm 。不锈钢栏杆属于轻钢范畴,该规定偏严格,但是有参考意义。比如焊接质量,目前国内焊接从业人员尤其是技术管理人员良莠不齐,管理十分混乱,不锈钢栏杆给人印象就是次要钢构件,其施工的焊接技术人员水平很难达到规范要求。比如中华人民共和国国家标准《钢结构焊接规范》(GB 50661—2011)的3.0.4条明确规定^[5],焊接相关人员的资格应符合下列规定:焊接技术人员应具有中级以上技术职称,并接受过专门的焊接技术培训,且有一年以上焊接生产或施工实践经验;焊接检验人员应接受过专门的技术培训,有一定的焊接实践经验和技术水平,并具有检验人员上岗资格证;焊工应考试合格并取得资格证书,其施焊范围不得超越资格证书的规定。焊接从业人员的专业素质是关系到焊接质量的关键因素,目前国内现状是合格焊工技术人员稀缺,造成不锈钢栏杆施工的焊缝质量一般都不合格,存在很大的安全隐患,需要设计人员及各方参与者格外注意。

5 结语

不锈钢栏杆的设计与施工往往得不到重视,可是其又直接关乎生命安全。我们应该改变现状,重视不锈钢栏杆的设计与施工。通过以上实际工程案例,希望广大建设参与者得到一点启发,避免建设工程质量安全事故。

【参考文献】

- [1]中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑防护栏杆技术标准:JGJ/T 470—2019[S].北京:中国建筑工业出版社,2020:8—8.
- [2]中国工程建设协会.不锈钢结构技术规程:CECS 410:2015[S].北京:中国计划出版社,2015:11—12.
- [3]中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.中小学校设计规范:GB 50099—2011[S].北京:中国建筑工业出版社,2011:35—35.
- [4]中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.混凝土结构设计规范:GB 50010—2010[S].北京:中国建筑工业出版社,2016:137—137.
- [5]中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.钢结构焊接规范:GB 50661—2011[S].北京:中国建筑工业出版社,2012:5—6.