

杆槽一体化钢副杆在综合杆上的应用

韩典芳

中电科公共设施运营管理有限公司

摘要：随着5G万物互联时代的临近，城市“一杆多用”将有效推动城市杆体基础设施的共建共享，为发展智慧城市打下基础，综合杆也将是城市物联网发展的关键入口。综合杆的发展是一个逐步演进的过程，随着智慧城市信息采集要求的增加和城市5G微站的需求，加上部分道路远期普通路灯照明更换为投光灯照明，要求城市综合杆能够承载更多的设备设施，东部沿海地区实施综合杆，夏天和秋天经常会有台风，这样对综合杆各个部件的抗力提出了更大的要求。现在综合杆上部副杆常规采用的铝合金副杆，由于材料和焊接方面的限制难以满足更大风压地区的抗力要求。铝合金副杆通过几年的使用，强度不足的问题在台风天气下更显得突出。一些沿海城市部分地区的副杆台风天气过后已经出现铝合金副杆掉落的案例。这就要求我们去利用自身的知识和现有社会上设备的加工能力做出能承载更大设备需求的高强度材料副杆，纯钢副杆能解决铝合金焊接导致的强度不够和焊接热影响区强度折减比较大的问题。

关键词：综合杆；抗力；风压；强度

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.21.053

一、荷载计算

城市照明中，大部分综合杆照明采用的是8~12m高度，副杆高度1.5~5.5m，中杆照明综合杆高度能达到12~14m，副杆最高会达到5.5~7.5m，顶部安装投光灯和基站。国内大部分地区的风压值在0.3~0.55kpa，只有沿海少部分地区的风压值超过0.55kpa，本次荷载计算按照0.35、0.45和0.55kpa来分别计算10m、12m综合杆和14m综合杆中杆在上述三个风压情况下的B类地面粗糙度副杆底部的弯矩，对0.55kpa风压值考虑A类地面粗糙度。

综合杆的受力主要是由风载（可变荷载）和自重（恒载）产生的，其要求如下：

结构及其搭载的设备设施的风压标准值应采用如下的公式计算：

$$W_k = \beta_z \mu_s \mu_z W_0$$

式中： W_k ——风荷载标准值（ kN/m^2 ）；

β_z ——高度Z处的风振系数，风振系数 β_z 的取值参考上海地标《综合杆设施技术标准》DG TJ 08-2362取值均为1.7；

μ_s ——风荷载体型系数，主杆取值为1.1，横臂取值为1.2，副杆取值为0.9，灯臂取值为0.9，灯具取值为1.2，5G基站取值1.2；

μ_z ——风压高度变化系数，按照《建筑荷载设计规范》GB50009的相关取值，地面粗糙度A类按照上图综合杆设施或杆件高度不同取值从1.09~1.39不等；

W_0 ——基本风压（ kN/m^2 ），取0.55 kN/m^2 （按照上海地区）。

根据《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068要求，可变荷载分项系数取1.5，重力荷载分项系数取1.3。

由于副杆弯矩绝大部分由风荷载产生，此处计算仅考虑风荷载产生的弯矩，不考虑灯臂、灯具自重产生的弯矩和自重产生的挠度下产生的二次弯矩效应的影响。计算结果如下：

B类地面粗糙度，风压0.35kpa

1、3.5m副杆弯矩合计： 4.87（kN.m）

2、5.5m副杆弯矩合计： 8.69（kN.m）

3、7.5m副杆弯矩合计： 13.51（kN.m）

B类地面粗糙度，风压0.45kpa

1、3.5m副杆弯矩合计： 6.26（kN.m）

2、5.5m副杆弯矩合计： 11.17（kN.m）

3、7.5m副杆弯矩合计： 17.37（kN.m）

B类地面粗糙度，风压0.55kpa

1、3.5m副杆弯矩合计： 7.66（kN.m）

2、5.5m副杆弯矩合计： 13.65（kN.m）

3、7.5m副杆弯矩合计： 21.23（kN.m）

A类地面粗糙度，风压0.55kpa

1、3.5m副杆弯矩合计： 9.78（kN.m）

2、5.5m副杆弯矩合计： 17.06（kN.m）

3、7.5m副杆弯矩合计： 26.54（kN.m）

二、铝合金、纯钢副杆的优缺点及抗力计算

(一) 铝合金副杆优缺点及最大抗力计算

铝合金材料易加工，能做出不同截面形式，铝合金不会锈化，阳极氧化后外观可以做的比较漂亮，但是民用普通铝合金材料相对于钢材来说强度低很多，铝合金在生产过程中，容易出现缩孔、砂眼、气孔和夹渣等铸造缺陷。如果用电焊、氩焊等设备来修补，由于放热量大，容易产生热变形等副作用，无法满足补焊要求。铝合金的金属疲劳性差，铝合金焊接热影响区的强度折减大，导致焊接后的铝合金抗力变小。铝合金本身价格比较高，不适用对成本要求较高的地区。

1. 铝合金副杆最大抗力计算

用于承重结构的铝合金应采用轧制板、冷扎带、拉制管、挤压管、挤压型材、棒材等锻造铝合金，综合杆副杆结构用铝材宜采用5xxx系列（镁含量较高，镁是增加耐腐蚀性的元素，所以耐腐蚀性较强，硬度较低，延展性非常好）或6xxx系列（镁和硅含量较高，硅是增加强度的元素，硬度高，有较强的耐腐蚀性）的铝合金，下面以各个地区经常使用的副杆铝合金材料6063 状态为T6来计算铝合金的最大抗力，根据《铝合金结构设计规范》GB/T 50429-2007中有关铝合金材料强度设计值的取值，牌号6063状态T6的强度设计值如下：

$f=150\text{Mpa}$ (铝合金材料的抗拉、抗压和抗弯强度设计值)

$f_v=85\text{Mpa}$ (铝合金材料的抗剪强度设计值)

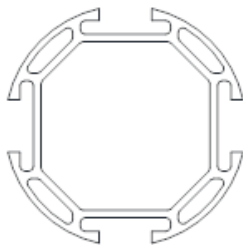
$f_{u,haz}=80\text{Mpa}$ (铝合金材料焊接热影响区抗拉、抗压和抗弯强度设计值)

$f_{v,haz}=45\text{Mpa}$ (铝合金材料焊接热影响区的抗剪强度设计值)

$E=70000\text{MPa}$ (弹性模量)

说明：母材受焊接热影响效应作用的范围，简称HAZ

铝合金副杆截面见下图：



铝合金截面图

铝合金截面是不规则的，截面难以通过常规的计算公式得到相对准确的参数，采用三维建模软件SOLIDWORKS得到相应的截面参数。对于焊接铝合金结构，必须考虑热影响区内因材料强度降低带来的不利影响，在连接和承载力计算中，应对焊件强度进行折减。热影响区的有效厚度削弱系数为0.5，但是由于副杆截面为不规则形状，厚度不一致，导致采用有效截面厚度进行计算相对困难，因此本次计算采用对热影响区强度进行折减来计算副杆抗力，副杆截面参数及计算如下：

铝合金截面直径： $d_1=160\text{mm}$ ，厚度： $t_1=5\text{mm}$

$$A_1=4147\text{mm}^2$$

$$I_{x1}=I_{y1}=9840758\text{mm}^4 \text{ (截面惯性矩)}$$

$$W_1=I_{x1}/80=123009\text{mm}^3 \text{ (抗弯截面系数)}$$

$$\sigma_1=M_1/W_1$$

$$M_1=\sigma_1 W_1=80 \times 123009 / 10^6 = 9.84\text{kN.m}$$

计算铝合金的抗力此处仅铝合金副杆截面能承受的最大弯矩这一项来考虑，不考虑剪力和扭矩的影响。实际上由于剪力和扭矩的存在，铝合金实际能承受的最大弯矩肯定是小于上面计算数值的。

由此可见，铝合金在焊接热影响区不考虑剪力和扭矩的情况下能承受的最大弯矩为9.84kN.m，考虑剪力和扭矩的影响，最大抗力是达不到9.84kN.m这个值的。根据表1的荷载计算可以看出，在B类地面粗糙下，风压0.35kpa副杆高度在小于等于5.5m以下能满足安全使用要求，风压0.45kpa和0.55kpa小于5.5m能满足要求。在A类地面粗糙0.55kpa情况下，副杆铝合金材质没有办法满足安全实用要求。

(二) 纯钢副杆优缺点及最大抗力计算

纯钢副杆的材料与钢铝结合副杆的钢结构部分的材料是相同的，纯钢副杆采用全钢结构，没有铝合金槽，从加工工序上来说少了一道将铝槽固定到钢结构的工序，减少了拉铆螺栓的使用，由于不需要固定铝槽就不需要在钢副杆和铝槽上同时开孔，减少了开孔量，降低了加工成本和时间。由于纯钢副杆采用杆槽一体十结构，槽的强度与杆的强度是一样的，这样杆体和槽就能够承受更大的荷载。

钢副杆最大抗力计算

Q355钢材设计取值见2.2.1条的规定。

钢副杆截面见下图：



钢截面

纯钢截面与钢铝结合副杆的钢截面一样是通过模具冷拔成型，截面成型后各个点厚度由于冷拔工艺的原因厚度各个点会有一些差异，与铝合金副杆和钢铝结合副杆一样采用常规的计算手段对截面参数进行计算比较困难，所以采用三维建模软件SOLIDWORKS建模得到相应的截面参数。钢材的焊接不会对钢材产生类似铝合金那样的热影响区强度折减，所以计算强度取值与按照规范规定的强度设计值一致，截面参数如下：

钢副杆钢截面直径 $d_3 = 160\text{ mm}$ ，槽内管体厚度： $t_3 = 4.2\text{ mm}$ （成型后实际厚度）

$$A_3 = 2732.8\text{ mm}^2$$

$$I_{x3} = I_{y3} = 6898622\text{ mm}^4 \quad (\text{截面惯性矩})$$

$$W_3 = I_{x3} / 80 = 86232\text{ mm}^3 \quad (\text{抗弯截面系数})$$

$$\sigma_3 = M_3 / W_3$$

$$M_3 = \sigma_3 W_3 = 310 \times 86232 / 10^6 = 26.73\text{ kN}\cdot\text{m}$$

计算钢副杆的抗力此处仅钢副杆截面能承受的最大弯矩这一项来考虑，不考虑剪力和扭矩的共同作用。

通过计算得到副杆钢结构部分能承受的最大弯矩 $26.73\text{ kN}\cdot\text{m}$ 可以看出，比钢铝结合副杆抗力提高了 25.5% ，比纯铝合金副杆抗力提高了约 172% 。从表1的荷载计算汇总结果可以看出，纯钢副杆能满足上述地区的安全适用要求。相对于其他两种结构形式，纯钢副杆是承载能力更高、适用范围更广。

三、结论

从上面的副杆计算结果和材料的最大抗力可以看出铝合金副杆仅适用 0.35 kPa 及以下风压的地区，材料本身的局限性大大限制了使用范围，但是对A类地区没有办法满足中杆灯，而且远期预留不足，加上加工工艺复杂、成本高，同样限制了使用范围，圆槽钢副杆能满足

上述计算的3种风压和两类地区。

从对铝合金、纯钢副杆的优缺点、设计强度、抗力计算可以看出，纯钢副杆比铝合金副杆的最大抗力提高了约 172% 。纯钢副杆解决了铝合金副杆的缺点同时提高了结构抗力，使在沿海地区的道路综合杆中杆照明也能满足设计需求，综合杆的适用各种不同的地理环境，对综合杆推广使用提供了基础。钢的弹性模量是铝合金的 2.94 倍左右，在截面相同、受力相同时纯钢副杆的挠度更小，对有挠度要求的5G基站也有好处。纯钢副杆结构抗力的提高，提高了远期加载的能力，减少了由于搭载设施的能力不足需要重新更换副杆的问题，同时杆槽一体同强度，在槽上能加载更多、更大的设备提供了基础。抗力的提高对以后同时搭载投光灯、普通路灯、基站这种特殊综合杆提供基础。

从铝合金副杆，发展到纯钢副杆，新的结构形式被不断开发出来。随着国内智慧城市的发展，综合杆建设的大面积展开，使用了纯钢副杆的综合杆作为一种适用范围比较广泛更广的结构，一定会被越来越多的城市基础设施结构使用，为智慧城市的发展提供坚实的基础。

参考文献

- [1] 金益桓, 李洪亮. 内置一体化卡槽在新型综合杆中的应用[J]. 市政工程, 2022, 07(04): 56-60.
- [2] 苏秋鹏, 刘世伟, 左航. 新型城市道路综合杆的创新与实践[J]. 政技术, 2020, 38(1): 28-30
- [3] 马友金. 道路综合杆抗弯扭试验的研究与应用[J]. 建筑工程技术与设计, 2021, 19: 1269-1270
- [4] 石自友, 段晓君. Q345及45钢冷作强化后的塑性恢复热处理工艺探讨[C]// 2009海峡两岸机械科技论坛论文集. 中国机械工程学会; 云南省机械工程学会, 2009.

作者简介:

韩典芳(1977-09), 男, 汉族, 山东枣庄人, 职称/职务: 中级/部门经理, 学历: 大学本科, 单位: 中电科公共设施运营管理有限公司, 研究方向: 新型城市道路综合杆和智慧灯杆的设计, 以及综合杆和智慧灯杆的布局 and 配置。