

城市更新背景下的综合杆基础设计要点分析

仇含笑

上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司 上海 200092

【摘要】综合杆作为城市中承载各类设备的杆体，解决了城市道路各类杆件林立的痛点，实现了杆件集约化建设、规范化设置的城市精细化管理目标，打造了和谐有序的道路空间和城市景观。本文以上海市合杆整治工程为例，分析城市更新背景下综合杆基础设计所存在的问题，并对综合杆基础进行优化设计，以提高其抗震性能，减少维修成本，同时满足各种设施安装需求。为类似工程提供借鉴。

【关键词】城市更新；综合杆；独立基础；钢管桩基础

1 引言

随着城市化进程的不断推进和社会经济的发展，综合杆作为一种常见的城市基础设施，承载着通信网络、交通指示、道路照明等重要功能。综合杆的稳定性及安全性对于保障城市运行的顺利进行至关重要。

综合杆的基础设计是确保综合杆结构稳定性及安全性的关键环节。由于目前的综合杆项目通常是对城市基础设施的改造，基础设计不仅需要考虑综合杆的荷载特性和结构要求，还需要充分考虑现场条件、地质情况和施工工期等因素。合理的基础设计可以确保综合杆基础在错综复杂的地下管网中落地实施，同时保证综合杆在各种工况下具有足够的稳定性和抗倾覆能力，保障综合杆的安全运行。

本文将深入分析综合杆基础实施过程中遇到的问题，对综合杆基础设计过程中需要注意的重点进行梳理与总结。通过对独立基础和钢管桩基础两种综合杆基础类型进行分析和比较，本文将明确两类基础各自的适用范围，并对两类基础的承载力以及抗倾覆能力进行分析。根据分析结论，本文将对《综合杆设施技术标准》（DG/TJ08-2362-2021）中的建议基础做法进行优化设计，提高基础的可实施性，同时满足稳定性和安全性，为城市更新背景下的综合杆基础设计提供实践经验和参考依据。

2 综合杆基础实施阶段问题汇总

从2018年开始，上海市开展了两轮架空线入地和合杆整治三年行动计划，对城市上方的架空线及路口繁杂的各类杆件进行集中整治，目前已完成801.6km的整治任务。在专项行动期间，新建综合杆近1.6万根，整合及清除各类杆件4万余根、各类设施设备1.9万套，道路平均减杆率

达60%^[2]。

综合杆上部搭载道路照明、指路标志、信号灯、监控、路名牌、指示牌、电车触网等设施，综合杆基础较现状单一功能的杆件更大。道路合杆整治工程多发生在老旧城区^[3]，在工程实施过程中，综合杆基础的选址及施工困难重重，主要遇到以下几类问题：

2.1 勘察工作难以进行

在一般的建筑工程中，工程实施前需开展勘察工作，查清地基土的类型、承载力及变形特性等，并查明地下水位，明确抗震等级，作为基础设计的重要依据。但综合杆基础一般位于现状道路的人行道内，且地下管线错综复杂，难以布置勘察孔点。大部分情况下只能参考周边地块勘察报告，或采用相应道路的勘察报告。

实际上，道路在实施过程中，已对原不利土层进行了相应处理，且道路下管线在实施过程中，已进行了开挖与回填工作，地基土性质与原勘察报告已有了很大的不同。

2.2 施工条件极为紧张

上海市合杆整治项目大部分为城市更新，在现状道路上实施，实施期间需要确保现状道路通行，一般采取夜间施工，日间对开挖范围进行遮蔽，避免影响交通安全。

根据《综合杆设施技术标准》（DG/TJ08-2362-2021）要求，综合杆中心与侧平石距离为0.4m。综合杆基础设计边线如超过侧平石，则会侵占到机动车道，影响车辆通行。

2.3 地下管线情况复杂

老城区现状道路下管线情况复杂，存在电力、通信、燃气、积水、排水等现状管线，且道路红线宽度较窄，地下空间极为紧张。

在综合杆基础施工过程中, 仅既有路灯杆管线可进行临时改迁, 其余管线均需为周边地块服务, 不得进行改迁或破坏。

2.4 轨交范围埋深受限

合杆整治工程范围大部分在上海市中心区域, 整治道路下方存在多条运营中的轨交线路, 有大量综合杆位于轨交盾构及站体平面投影范围内, 根据相关管理部门要求, 综合杆基础最大埋深不得超过2m, 局部不得超过1m, 给综合杆基础设计带来挑战。

3 综合杆基础设计要点分析

综合杆基础承担着支撑和承载综合杆的重要职能, 合理设计的综合杆基础能够确保综合杆结构在台风、地震等极端工况下保持稳定, 防止综合杆发生倾覆或下沉。

在综合杆基础设计中, 主要采用独立基础和钢管桩基础两种基础类型^[1]。独立基础通过扩大基础底面积, 提供足够的承载力和抗倾覆能力; 钢管桩基础则通过钢管的桩身承载荷载, 并将荷载传递到较深的土层。本文将分别对两类基础的设计要点进行分析, 提出适于工程实施的基础方案。

3.1 独立基础

当综合杆下存在轨交盾构及站体、地下空间顶板、老旧路面、电力排管等难以破除的障碍物, 但施工空间较为宽松时, 宜采用独立基础。

3.1.1 基础尺寸及埋深选择

根据《综合杆设施技术标准》(DG/TJ08-2362-2021)附录E规定^[2], 典型独立基础尺寸为1.5m×1.5m~4.0m, 埋深为2.5m。在实际工程中, 由于地下空间顶板及老旧路面覆土较小, 电力排管、给水管线、通信排管、燃气管线、雨污水管线等埋深较浅, 大部分综合杆基础埋深难以满足2.5m的要求。同时, 在轨交盾构及站体平面投影范围内的综合杆基础, 埋深需满足管理部门要求。

综合杆基础埋深与基底土层相关, 在根据现场情况确定基础埋深后, 按照《建筑地基基础设计规范》(GB 50007-2011)计算地基承载力, 可求得所需的基础尺寸。根据道路勘察报告, 道路下2m以内土层为杂填土, 土质不均, 无法作为综合杆基础持力层。但在工程推进过程中, 发现大部分土层在道路施工阶段已进行地基处理工作, 通过现场试验, 实际承载力达到约80kPa, 满足综合杆基础设计要求。

根据现场实测的地基承载力, 本工程在现状道路下实施的独立基础埋深大部分在2m以内, 独立基础尺寸根据现场实际情况进行调整, 不限于《综合杆设施技术标准》(DG/TJ08-2362-2021)中规定的尺寸。根据上海地区的建设经验, 建议在今后的类似工程中, 在勘察阶段对2m以内土层进行现场试验, 确定土层实际地基承载力, 适当减少基底埋深, 既有利于工程实施, 也可减少工程造价。

3.1.2 抗倾覆设计

综合杆上部搭载照明灯具、标识标牌、通信基站等设施, 与一般建筑工程荷载不同, 主要承受水平方向的风荷载。在基础设计中, 不仅是荷载作用下的基底压力需要满足地基承载力要求, 还要考虑综合杆在风荷载作用下的倾覆稳定性, 并满足相应的抗倾覆要求。

在《综合杆设施技术标准》(DG/TJ08-2362-2021)中, 规定了基础在达到极限倾覆力矩时, 基础侧向土壤达到极限平衡状态, 可依靠基础侧面的土压力保持平衡。根据高瑞霞等人对独立式塔吊基础抗倾覆稳定的研究^[4], 在荷载作用下假定基础地面上的压力分布为直线分布, 得出在满足地基承载力条件下, 抗倾覆稳定系数 $K_t \geq 1$ 恒成立, 在控制基础底面零应力区面积不大于25%的情况下, 抗倾覆稳定系数 $K_t=2$ 。考虑到综合杆基础侧面土体回填施工条件受限, 回填土压实度难以保证, 宜将基础侧面土压力作为安全储备, 采用地基承载力与基础底面零应力区面积双控的原则, 进行独立基础抗倾覆设计。

3.1.3 独立基础优化设计

根据前文分析可知, 独立基础应按式(1)-式(4)进行设计, 其中式(1)、式(2)适用于 $P_{kmin} \geq 0$ 的情况, 式(3)、式(4)适用于 $P_{kmin} < 0$ 的情况, 式(4)为零应力区面积不大于25%的控制要求。

$$P_{kmax} = \frac{F_k + G_k}{bl} + \frac{M_{kx}}{W_x} + \frac{M_{ky}}{W_y} \leq 1.2f_a \quad (1)$$

$$P_{kmin} = \frac{F_k + G_k}{bl} - \frac{M_{kx}}{W_x} - \frac{M_{ky}}{W_y} \quad (2)$$

$$P_{kmax} = \frac{F_k + G_k}{3bl} \leq 1.2f_a \quad (3)$$

$$b'l' \geq 0.125bl \tag{4}$$

P_{kmax} 、 P_{kmin} ——相应于作用的标准组合时，基础底面边缘的最大、最小压力值(kPa)；

b 、 l ——矩形基础底面的宽度、长度(m)；

M_{kx} 、 M_{ky} ——相应于作用的标准组合时，作用于基础底面对 x 、 y 轴的力矩值(kN·m)；

W_x 、 W_y ——基础底面对 x 、 y 轴的抵抗矩(m³)；

b' 、 l' ——偏心合力作用点至 e_x 、 e_y 一侧 x 、 y 方向基础边缘的距离，按 $(0.5b - e_x)$ 、 $(0.5l - e_y)$ 计算(m)；

e_x 、 e_y ——偏心距在 x 、 y 方向的投影长度(m)。

根据《综合杆设施技术标准》(DG/TJ08-2362-2021) 4.2.8规定，计算杆高为10m的五类典型综合杆荷载，计算结果见表1。

表1：五类典型综合杆荷载表

编号	综合杆类型	横臂长度 (m)	F_k	M_{kx} (kN·m)	M_{ky} (kN·m)
1	无横臂杆	-	6.36	13.05	0.71
2	单横臂杆	3-6	8.61	28.41	8.34
3	单横臂杆	6-12	10.65	38.92	28.93
4	单横臂杆	12-16	12.38	56.06	44.69
5	三横臂杆	4-6	11.11	101.00	12.98

为保证基础不占用现有管线位置，基础宽度以上海市常见树穴宽度1.5m为上限。考虑地基承载力为80kPa，根据五类典型综合杆荷载，将《综合杆设施技术标准》(DG/TJ08-2362-2021) 附录E中对应五类典型独立基础优化见表2。

表2：五类典型独立基础优化后尺寸表

编号	综合杆类型	b (m)	l (m)	基础厚度 (m)	基础埋深 (m)
1	无横臂杆	1.2	1.5	0.5	1.2
2	单横臂杆	1.5	1.8	0.5	1.5
3	单横臂杆	1.5	2.4	0.5	1.5
4	单横臂杆	1.5	3.2	0.5	1.5
5	三横臂杆	1.5	3.2	0.5	1.8

从表中可看出，五类典型基础优化后，基础尺寸及基础埋深均有减小。基础优化不仅有效减少了基础建设成本，还明显提升了综合杆在地下情况较为复杂的城市中心区域的适用性，为城市更新注入了新动力。

3.2 钢管桩基础

钢管桩基础有挤土效应小、水平承载力高、施工速度快的特点，当综合杆下施工空间较为紧张，无法满足独立基础的空间需求，经钎探可满足桩基础实施时，采用钢管桩基础。

3.2.1 直径确定及埋深设计

在本工程中，钢管桩直径主要采用Φ325、Φ426、Φ529、Φ630等常见尺寸，桩身长度一般取6~7m。综合杆竖向荷载较小，桩身抗压强度远大于竖向应力，可采用开口桩，竖向承载力由桩身与土体之间的侧摩阻力承担。在对施工噪声及震动控制较为严格的区域，可在钢管桩侧面安装螺纹片，将钢管桩加工为螺旋钢管桩。螺旋钢管桩有施工速度快、环境影响小、施工噪声小及施工用地少的优势^[5]，但造价较高，适用于中心城区重要区域综合杆基础的施工。

3.2.2 桩身抗腐蚀设计

根据上海市《地基基础设计标准》(DGJ 08-11-2018) 7.1.14规定，钢管桩管壁的设计厚度由有效厚度和腐蚀厚度两部分组成。腐蚀厚度可按腐蚀速度与使用年限确定，地下水位以下腐蚀速度一般可取(0.02-0.03) mm/年，且管壁的有效厚度不应小于7mm。本工程设计使用年限为50年，地下水位为地面下1.5m，大部分桩身在地下水位以下，在桩基设计中采取镀锌防腐措施，并预留2mm桩身腐蚀余量，保证钢管桩基础持续稳定工作。

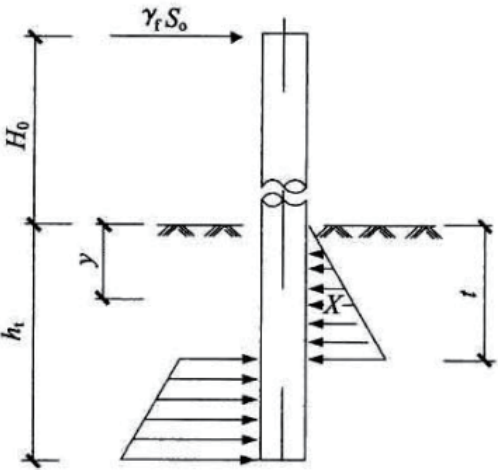


图1：钢管桩基础抗倾覆计算简图

3.2.3 抗倾覆设计

《架空输电线路基础设计技术规程》(DL/T 5219-2014)假定,电杆基础在达到极限倾覆力或极限倾覆力矩时,基础侧向土壤达到极限平衡状态,此时依靠电杆基础侧面的被动土压力平衡,且被动土压力分布假定沿深度线性变化,见图1。

在对钢管桩基础进行抗倾覆设计时,根据土体类型计算空间增大系数,对基础单杆进行抗倾覆计算。钢管桩基础受力类似电力杆塔中的悬垂型杆塔,主要承受水平荷载,倾覆稳定系数取1.1。

3.2.4 典型钢管桩基础设计

根据前述钢管桩基础抗腐蚀及抗倾覆设计,对应五类典型综合杆荷载采用的五类典型钢管桩基础规格见表3。

表3: 五类典型钢管桩规格尺寸表

编号	钢管桩外径 (mm)	有效壁厚 (mm)	实际壁厚 (mm)	桩长 (m)
1	325	8	10	4
2	426	10	12	5
3	529	10	12	6
4	630	10	12	6
5	630	10	12	7

4 结语

根据本文对城市更新背景下的综合杆基础设计要点的分析,得出以下结论。

(1) 规范规定的独立基础埋深较深,在实际工程中,可根据土层实际地基承载力,适当减少基础埋深,保证工

程可实施性。

(2) 综合杆主要承受水平方向的风荷载,综合杆独立基础抗倾覆设计由地基承载力与基础底面零应力区面积双控,确保基础安全。

(3) 根据独立基础地基承载力与倾覆稳定双控计算结果,在规范基础上提出优化后的五类典型独立基础,供类似工程参考。

(4) 钢管桩基础抗倾覆设计参考《架空输电线路基础设计技术规程》(DL/T 5219-2014),采用1.1的倾覆稳定系数。

根据桩基承载力与倾覆稳定双控计算结果,提出五类典型钢管桩基础,供类似工程参考。

参考文献:

- [1] DG/TJ08-2362-2021,《综合杆设施技术标准》[S].上海:同济大学出版社,2021.
- [2] 王磊.上海市道路合杆整治工程创新实践[J].城市道桥与防洪,2020, No. 251 (03): 110-114+17-18.
- [3] 尹伟.浅谈道路合杆整治工程实施问题及解决方案——以上海市道路合杆整治工程为例[J].光源与照明,2022, No. 167 (05): 1-5.
- [4] 高瑞霞,张健,李季,肖兴文,袁子厚.独立式塔吊基础抗倾覆稳定分析[J].世界地震工程,2005, (02): 155-158.
- [5] 葛梦澜.螺旋钢管桩在建筑工程中的设计及应用[J].公路交通科技(应用技术版),2017, v. 13; No. 154 (10): 39-41.
- [6] DGJ 08-11-2018.《地基基础设计标准》[S].上海:同济大学出版社,2019.

作者简介:

仇含笑(1991-),女,汉族,江西上饶人,中级职称,硕士研究生,研究方向:市政工程建设相关研究。