

变电站钢框架建筑物的设计及应用

李天浩¹, 张秉灿², 翟相鹏³, 张晓阳⁴, 张戊晨¹

(1. 国网河北省电力有限公司经济技术研究院, 河北 石家庄 050021;

2. 中国核电工程有限公司河北分公司, 河北 石家庄 050000;

3. 国网河北省电力有限公司检修分公司, 河北 石家庄 050071;

4. 中国电建集团河北省电力勘测设计研究院有限公司, 河北 石家庄 050031)

摘要:本文介绍了装配式钢框架结构的设计理论方法、设计要点、设计流程,对装配式钢框架结构的工程应用情况和经济效益进行了分析。认为装配式钢框架结构的设计理论方法具有很强的针对性、操作性和实际指导意义,且装配式钢框架结构布置更为灵活,施工工期更短,建设质量更好,更符合“绿色建筑,节能环保”的要求,综合效益更优。

关键词:变电站;装配式;钢框架;结构设计

中图分类号:TU391 **文献标志码:**B **文章编号:**1001-9898(2021)06-0051-04

Design and Application of Steel Frame Building of Substation

LI Tianhao¹, ZHANG Bingcan², ZHAI Xiangpeng³, ZHANG Xiaoyang⁴, ZHANG Wuchen¹

(1. State Grid Hebei Economic Research Institute, Shijiazhuang 050021, China;

2. Hebei Branch of China nuclear power engineering Co., Ltd., Shijiazhuang 050000, China;

3. State Grid Hebei Electric Power Maintenance Branch, Shijiazhuang 050071, China;

4. Power China Hebei Electric Power Design & Research Institute Co., Ltd., Shijiazhuang 050031, China)

Abstract: The article describes the design theory method, design points, and design process of the prefabricated steel frame structure, then analyzes engineering application and economic benefits of prefabricated steel frame structure. It is concluded that the design theory method of prefabricated steel frame structure has strong direction, operability and practical guiding significance, and prefabricated steel frame structure layout is more flexible, the construction period is shorter, the construction quality is better, it is more in line with the requirements of "green building, energy saving and environmental protection", and the comprehensive benefit is better.

Key words: substation; prefabricated; steel frame; structural design

随着我国经济技术的快速发展,传统的钢筋混凝土框架建筑虽然有造价低、易取材、耐久性、耐火性好的优点,但是其施工现场粉尘噪声污染严重、施工周期长、施工材料可回收利用率低等劣势逐渐成为阻碍其发展的主要因素。而以环境污染小、建设效率高、施工质量好、施工材料可回收利用率高、抗震性能优越^[1]为特点的装配式钢框架结构作为一种新兴起的建筑结构形式越来越成为现代化建筑的主要结构形式,尤其是在变电站的建筑物建设中,发挥着越来越重要的作用。

1 装配式钢框架结构建筑物的设计理论

1.1 安全等级和可靠度

钢框架结构设计采用以概率理论为基础、以分项系数表达极限状态的设计方法^[2]。建筑结构安全等级的划分应符合表1的规定。

表1 建筑结构的安全等级

安全等级	破坏后果
一级	很严重;对人的生命、经济、社会或环境影响很大
二级	严重;对人的生命、经济、社会或环境影响较大
三级	不严重;对人的生命、经济、社会或环境影响较小

修回日期:2021-08-14

作者简介:李天浩(1990-),男,工程师,主要从事变电站土建设计技术、输变电工程造价方面工作。

结构构件持久设计状况承载能力极限状态设计的可靠指标,不应小于表2的规定。

表2 结构构件的可靠指标 β

破坏类型	安全等级		
	一级	二级	三级
延性破坏	3.7	3.2	2.7
脆性破坏	4.2	3.7	3.2

1.2 极限状态设计理论

当采用结构的作用效应和结构的抗力作为综合基本变量时,结构按极限状态设计应符合下列规定

$$R - S \geq 0 \quad (1)$$

式中: R 为结构抗力; S 为结构的作用效应。

1.3 分项系数设计方法

1.3.1 承载能力极限状态

结构或结构构件的破坏或过度变形的承载能力极限状态设计,应符合下式规定

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \quad (2)$$

式中: γ_0 为结构重要性系数,见表3; S_d 为作用组合的效应设计值; R_d 为结构或结构构件的抗力设计值。

表3 结构重要性系数 γ_0

结构重要性系数	针对持久设计状况和短暂设计状况 安全等级			针对偶然设计状况 和地震设计状况
	一级	二级	三级	
γ_0	1.1	1.0	0.9	1.0

1.3.2 正常使用极限状态

结构或结构构件按正常使用极限状态设计^[2]时,应符合下式规定

$$S_d \leq C \quad (3)$$

式中: S_d 为作用组合的效应设计值; C 为设计对变形、裂缝等规定的相应限值,按有关结构设计规定取值。

2 装配式钢框架结构建筑物的设计方法

2.1 实际变电站工程构件尺寸的设计方法

实际变电站工程中钢框架结构构件的截面尺寸,要经过以下步骤。

2.1.1 预估变电站框架钢柱的截面尺寸

(1)根据电气一次、二次、通信等相关专业提供的资料、技术规程规范、输变电工程通用设计^[3]以及施工工艺的要求确定结构层高、层数、跨度、柱距,根据结构高度,设防烈度确定结构的抗震等级、钢柱的长细比^[4]及钢材牌号^[5];

(2)根据上一步预估的层高、层数、跨度、柱

距,估计钢柱的截面高度以及轴心受压钢柱的稳定系数 Ψ ^[5];

(3)根据变电站设计规范^[6]以及荷载规范^[7],确定结构的荷载标准值以及荷载分项系数;

(4)根据以上预估的结构空间、平面布局、钢柱的荷载从属面积以及荷载标准值、荷载分项系数,确定每根钢柱的轴向压力设计值^[4];

(5)根据以上预估的钢材牌号以及轴向压力设计值利用公式(4)来确定钢柱的截面面积;

$$N = \Psi f A \quad (4)$$

式中: N 为钢柱的轴向压力设计值; Ψ 为钢柱轴心受压的稳定系数; f 为钢材抗压强度设计值; A 为钢柱的截面面积。

(6)根据以上计算出来的钢柱截面面积,确定钢柱的截面尺寸。钢柱截面尺寸还应符合相关规程规范^[4]规定的要求。

2.1.2 预估框架钢梁的截面尺寸

(1)钢梁的高度一般取跨度的 $1/50 \sim 1/20$,即 $h = (1/50 \sim 1/20)l$,其中, h 为钢梁的高度; l 为钢梁的跨度。

(2)钢梁的宽度一般取高度的 $1/1.5 \sim 1/3$, $b = (1/1.5 \sim 1/3)h$,其中, h 为钢梁的高度; b 为钢梁的宽度。

钢梁腹板、翼缘的厚度还应符合相关规程规范规定的要求。

2.1.3 预估框架楼板的截面尺寸

(1)根据规范要求^[8](根据楼板长边尺寸与短边尺寸的比值)确定楼板为单、双向板。

(2)单向板的厚度可根据经验取楼板短边尺寸的 $1/35$ ^[9]。

(3)双向板的厚度可根据经验取楼板短边尺寸的 $1/40$ 。

除了满足上述要求外,楼板的厚度还应符合相关的规程规范的要求。

2.2 建立软件模型

建立软件模型中的构件定义步骤中,需要将上述步骤中预估好的钢框架结构梁、柱的截面尺寸输入PKPM软件模型中,与此同时,加上荷载规范^[7]中相应的荷载数值,接着定义楼层并进行楼层组装,最后进行结构计算分析。

由于变电站钢框架结构一般层数较少且结构相对规则,所以一般采取SATWE进行结构计算分析。SATWE不仅计算精度高,还提供了多种

构件的简化模型,与此同时,还能进行不同荷载下的荷载效应组合和内力分析,最后进行基础设计。

下面将软件中结构计算分析可能得到的超限类型以及相应的调整方法以列表的形式汇总展示,具体如表 4 所示。

表 4 超限类型及调整方法

超限类型	调整方法
挠度	增大钢梁截面高度、板的厚度、设置次梁
应力比	增大钢柱截面高度、宽度、厚度
刚重比	调整竖向构件的截面尺寸
剪重比	调整结构的整体布局、增大钢柱刚度
周期比	增大结构外围周边构件的刚度
位移比	调整结构的整体布局,减少质心刚心偏差
位移角	增大竖向构件的刚度

3 实际工程应用及经济效益情况

3.1 应用效果

在河北省南部电网的实际变电站工程设计应用中,本文论述的设计方法具有以下特点。

(1)针对性强。针对变电站钢框架结构的每一个结构构件,本文给出尺寸确定方法,能够使设计人员对每一种结构构件快速确定尺寸,最大限度地避免了因为缺乏确定结构构件尺寸的针对性带来的困扰。

(2)实操性强。本文论述的设计方法详细阐述了结构构件尺寸确定、建立模型、调整模型直至输出施工图的每个环节,具有很强的实操性以及工程指导意义,能够指导设计人员进行设计流程操作。

(3)节约工程设计时间成本。论述的设计方法能够使设计人员快速地进行实际工程的结构设计,避免了因为查阅资料、盲目问询带来的时间上的浪费。以河北省南部电网新建的各电压等级变电站建筑物设计情况为统计标本,应用本文论述的设计方法,平均每个工程的设计时间节约 15%~20%。

3.2 经济效益分析

结合河北省南部电网一些常规变电站的通用做法,以单层配电楼建筑物为例,参考现浇钢筋混凝土框架结构,下面从施工工期、施工整洁度、单平造价、材料回收利用率这几个指标以列表的形式对比 2 种建筑物形式的经济效益,具体如表 5 所示。

通过表 5 得知:虽然装配式钢框架结构的单平造价指标要高于钢筋混凝土框架结构,但是采用装配式钢框架的结构在施工工期、施工整洁度、材料回收利用率这几个指标要优于现浇钢筋混

表 5 2 种建筑物形式的经济效益

建筑类型	施工工期	施工整洁度	单平造价/(元·m ⁻²)	材料回收利用率/%
钢筋混凝土框架结构	长	低	3 000~3 500	<5
装配式钢框架结构	短	高	5 000~5 500	90

土框架结构。此外,装配式钢框架结构的立面效果好于钢筋混凝土框架结构,有利于变电站工程的创优。

表 5 只选取了变电站中的配电楼建筑物模块进行对比分析,在宏观经济层面的经济效益分析中,可对整个变电站甚至整个输变电工程的总投资收益率、财务内部收益率、资本金净利润率、财务净现值、投资回收期^[10-12]等宏观经济指标进行对比分析,做到对整个输变电工程整体投资情况以及经济效益的精准把控。

4 结论

本文讨论的装配式钢框架结构的设计理论方法具有很强的针对性、实操性、工程指导价值,且节约了工程设计时间成本。并且与现浇钢筋混凝土框架结构相比,具有很好的工程经济效益。虽然现浇钢筋混凝土框架结构与装配式钢框架结构在各自的发展过程中,对国民经济都起着至关重要的作用。然而随着国民经济的提高、建筑技术的发展以及建筑行业经验的积累,在降噪减排、节能环保、文明施工、模块化建设、经济效益等方面对建筑结构提出了更高的要求。因此,装配式钢框架结构的优势逐渐凸显,在变电站的某些建筑物建设中逐步地取代了现浇钢筋混凝土框架结构,越来越成为变电站建筑物的主要建筑结构形式,符合时代、社会的发展要求。

参考文献:

- [1] 黄利波.装配式建筑在变电站中的应用[J].武汉大学学报,2021,54(S1):123-128.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑结构可靠性设计统一标准:GB 50068—2018[S].北京:中国建筑工业出版社,2018.
- [3] 刘振亚.国家电网公司输变电工程通用设计[M].北京:中国电力出版社,2018.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑抗震设计规范:GB 50011—2010(2016 年版)[S].北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部.钢结构设计标准:GB 50017—2017[S].北京:中国建筑工业出版社,2017.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部.变电站建筑结构设计技术规程:DL/T 5457—2012[S].北京:中国计划出版社,2012.

- [7] 中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑结构荷载规范:GB 50009—2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [8] 中华人民共和国住房和城乡建设部.混凝土结构设计规范:GB 50010—2010(2015年版)[S].北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [9] 周莉莉.多层钢筋混凝土框架结构设计实例详解—手算与PKPM应用[M].北京:中国水利水电出版社,2008.

- [10] 米琳琳,姜静,张瀚天.火灾下钢框架耐火极限有限元分析[J].牡丹江大学学报,2020,29(2):111-115.
- [11] 中华人民共和国国家能源局.输变电工程经济评价导则:DL/T 5438—2019[S].北京:中国计划出版社,2019
- [12] 国家发展改革委建设部.建设项目经济评价方法与参数[M].北京:中国计划出版社,2006.

本文责任编辑:罗晓晓

(上接第11页)

表1 单点高程中误差分布

区域	检查点数量	高程中误差
植被稀疏区域	152	0.33
松树(高5~8 m)	228	0.47
密集灌木(高1.5 m)	364	0.41

1~2个每平方米,与RTK实测数据差值在-50~50 cm,内业可以对拟选塔位模拟塔基地形图供结构人员使用,内业预判塔位合理性,测量人员外业只需实测塔位中心桩,4个塔腿位置,与以往工程中RTK实测20 m×20 m大大减少了外业劳动强度,提高了作业效率。

3.2 断面精度分析

对点云提取断面与工测断面经过线型计算求得差值,经过计算本工程参与检测断面点高程中误差为0.28 m,符合GB 50026—2020《工程测量标准》要求。激光雷达数据同工程测量数据基本吻合,激光雷达数据测得的断面图精度满足线路断面要求见表2。

表2 断面精度

点号	里程/m	点云高程/m	工测高程/m	差值/m	备注
1	0	431.590	431.59	0.000	合格
2	35	432.344	432.50	-0.156	合格
3	128	431.784	431.50	0.284	合格
4	213	429.461	429.74	-0.279	合格
....					
132	24 626	540.454	540.45	0.004	合格
133	24 631	539.999	539.68	0.319	合格
134	24 793	533.063	533.04	0.023	合格

3.3 线高测量精度分析

新建电力线,导线激光反射面较好点云数据能够拟合出线型。多年老线,导线反射面较差,难以返回脉冲激光,无法得到连续点云。10 kV及以下电力线,地上通信线导线截面较小,无法返回脉冲激光,航测内业无法辨识。可辨识出的电力线高程见表3。

经过计算,本工程中电力线点云拟合高程与工测高程中误差为0.18 m,可满足电力选线精度

要求。完成选线工作后,利用点云数据解析跨越点线高,供线路电气专业排塔使用,与以往工程需到现场实测线高相比节省了时间,提高了作业效率。

表3 线高测量

交叉跨越高压线类别	近似差值/m
线路1-110 kV线路	0.15
	-0.42
线路2-220 kV线路	0.33
	-0.20
线路3-1 000 kV特高压线路	0.43
	0.34
线路4-1 000 kV特高压线路	0.36
	0.28
线路5-110 kV线路	0.01
	-0.43
	-0.24
	0.23
	0.17
	-0.34

4 结论

利用机载激光雷达系统进行电力线路设计,只需少量的地面控制点和外业调绘工作,就能获取高精度的地面点三维坐标。设计人员可以在三维场景进行全线漫游,对地物进行三维量测分析,能够更好的避让重要地物,更合理的选择线路路径和塔位,提高全线经济指标,缩短了勘测设计周期。

参考文献:

- [1] 程正逢,梁巧云.航空三维激光扫描与成像技术在送电线路工程中的应用[J].电力勘测设计,2004(1):11-15.
- [2] 张小红.机载激光雷达测量技术理论与方法[M].武汉:武汉大学出版社,2007.
- [3] 王俊刚,李新科.机载激光雷达技术在电网工程建设中的应用[J].广东电力,2009,22(9):46-49.
- [4] 陈功,程正逢等.激光雷达在电力线路工程勘测设计中的应用[J].电力勘测设计,2006(5):53-56.
- [5] 彭磊.三维激光扫描仪在变电站改扩建工程中的应用[J].河北电力技术,2020,39(5):40-42.

本文责任编辑:罗晓晓