

Study on Grounding System of Steel Structure Fabricated Substation

Jing Jin

Shanghai Electric Power Design Institute CO., LTD, Shanghai
Email: jinjingx@163.com

Received: Dec. 7th, 2016; accepted: Dec. 21st, 2016; published: Dec. 26th, 2016

Copyright © 2016 by author and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Through the two stages of construction of factory prefabrication and site installation, fabricated substation is becoming more and more respected city substation construction side because it can accelerate construction schedule of power grid. Grounding System is important for safe operation, because it is the lightning protection of the substation and the ground connection of electrical equipments. Steel structure Fabricated Substation has offered new idea for optimizing design and saving material. Taking Shanghai Xingbang 110 kV substation as an example, this paper has completed the research of grounding system of steel structure fabricated substation and elaborated the advantage of this system.

Keywords

Steel Structure Fabricated Substation, Lightning Protection, Ground Connection

钢结构预制装配式变电站接地系统研究

靳 静

上海电力设计院有限公司, 上海
Email: jinjingx@163.com

收稿日期: 2016年12月7日; 录用日期: 2016年12月21日; 发布日期: 2016年12月26日

摘 要

预制装配式变电站通过工厂预制和现场安装两个阶段建设, 因其建设周期较传统变电站得到明显缩短,

文章引用: 靳静. 钢结构预制装配式变电站接地系统研究[J]. 电气工程, 2016, 4(4): 232-238.
<http://dx.doi.org/10.12677/jee.2016.44030>

更加适应了电网建设步伐，逐渐成为城市变电站推崇的建设方式。接地网作为变电站设备接地及防雷保护接地系统，对安全运行起着重要的作用。钢结构预制式变电站对于变电站的接地系统设计提供了新的理念，为优化设计方案、节约接地材料提供了条件。本文以上海兴邦110 kV变电站为例，研究钢结构预制装配式变电站的接地系统，阐述该方案的优势。

关键词

预制装配式变电站，防雷，接地

1. 引言

随着资源节约与环境友好型社会建设的逐步推进，变电站建设模式逐步走向减少土地占用、缩短建设周期、与周围环境协调的发展模式。全预制式变电站就是根据节约资源和减少环境污染的前提下提出的一种全新的变电站设计方式[1][2][3]。由于110 kV变电站比较常见，也比较典型，本文以上海兴邦变电站为基础，阐述适用于钢结构装配式变电站的接地系统设计。

2. 防雷装置

防雷装置由接闪器、引下线和接地装置组成。

2.1. 接闪器与引下线

建筑物被分为三类防雷建筑物[4]，通过建筑物年预计雷击次数来判断建筑物属于哪一类建筑物防雷，其区分公式为：

$$N = k \times N_g \times A_e$$

式中： N ——建筑物预计雷击次数(次/a)； k ——校正系数，一般情况下取1； N_g ——建筑物所处地区雷击大地的年平均密度[次/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$)]； A_e ——与建筑物截收相同雷击次数的等效面积(km^2)。

其中：

$$N_g = 0.1T_d = 0.1 \times 49.9 = 4.99$$

T_d ——年平均雷暴日，根据上海地区气象台资料，确定为49.9[d/a]

当建筑物的高 H 小于100 m时，其每边的扩大宽度和等效面积按下式计算：

$$D = \sqrt{H(200 - H)}$$

$$A_e = \left[LW + 2(L + W)\sqrt{H(200 - H)} - \pi H(200 - H) \right] 0.000001$$

式中： D ——建筑物每边的扩大宽度(m)； L 、 W 、 H ——分别为建筑物的长、宽、高(m)。

因为本站 $H = 13.2$ 小于100， $L = 43.75$ ， $W = 22$

取上式，得 $A_e = 0.015$ 。

故 $N = 1 \times 4.99 \times 0.015 = 0.075$ 。

因此，本站归类为第三类防雷建筑物[4]，可作出如下判断：

对于混凝土建筑物，第三类防雷建筑物外部防雷的措施，宜采用装设在建筑物上的接闪网、接闪带或接闪杆，也可采用由接闪网、接闪带或接闪杆混合组成的接闪器。接闪网、接闪带应沿屋角、屋脊、屋檐和檐角等易受雷击的部位敷设，并应在整个屋面组成网格后，用专设引下线沿建筑物四周连接至水平接地网。

对于金属屋面的建筑，除第一类防雷建筑物外，金属屋面的建筑物宜利用其屋面作为接闪器，厚度达到 0.5 mm 的钢结构建筑的屋面夹芯板(或压型钢板)可以作为接闪器。本站金属屋面的钢板厚度达到 0.57 mm，因此可利用金属屋面作为接闪器，不用安装专门的接闪器作为建筑物防雷使用。另外，避雷引下线可以完全利用建筑物钢柱作为防雷引下线，无需再敷设专门的防雷引下线。而同样规模的常规变电站，接闪器及引下线需使用 500 米热镀锌扁钢。

2.2. 接地装置

根据《交流电气装置的接地设计规范》[5]标准，要求 $R \leq 2000/I$ 。《上海电网若干技术原则的规定》中，110 kV 的最大短路电流为 25 kA，则要求 $R \leq 2000/(25 \times 10^3) = 0.1 \Omega$ 。

根据本站的建筑物尺寸、浅层率报告提供的土壤平均电阻率，可以计算得出，若不采用接地装置，接地电阻为 $R_{\text{水平}} = 0.39 \Omega$ ，不满足要求。因此，需要靠变电站接地装置降阻。即以站内水平接地网为主，垂直接地体为辅，组成复合主接地网。

垂直接地体中，对镀铜钢接地棒方案、接地模块方案和离子接地棒方案初期投资进行比较[6] [7] [8]，可知，采用镀铜钢接地棒具有明显的技术和经济效益。

因此，在本变电站接地网设计中采用镀铜钢接地棒方案。

单组 $L = 9 \text{ m}$ ， $\Phi 14.2 \text{ mm}$ 铜覆钢接地极的电阻值为：

$$R_9^1 = \frac{\rho}{2\pi L} \times \left(\ln \frac{8L}{d} - 1 \right) = \frac{16.6}{2\pi \times 9} \times \left(\ln \frac{8 \times 9}{14.2 \times 10^{-3}} - 1 \right) = 2.211 \Omega$$

取利用(屏蔽)系数为 85%，则 20 组接地极的电阻值为：

$$R_{\text{垂直}} = R_9^{20} = \frac{R_9^1}{20 \times 0.85} = \frac{2.211}{20 \times 0.85} = 0.13 \Omega$$

三维立体接地网电阻值

$$R_{\text{三维}} = \frac{R_{\text{水平}} \times R_{\text{垂直}}}{R_{\text{水平}} + R_{\text{垂直}}} \approx 0.098 \Omega$$

由此可见，按照上述计算敷设三维立体接地网，可以使本变电站接地电阻值达到要求。用“●”表示 9 m 垂直接地体，本站的复合接地网如图 1 所示。

通过计算，当故障时，接地网的电位即最大接触电位差 U_{tmax} (340.55 V)和最大跨步电位差 U_{smax} (450.8 V)均满足《交流电气装置的接地设计规范》标准中的计算要求，故此接地网可以满足站内人身和设备的安全。钢结构变电站的防雷装置示意图如图 2 所示。

3. 站内电气设备接地

通常对于混凝土建筑物，为保证站内所有电气设备等电位连接，会在每个布置有电气设备的房间里敷设围绕设备房间内墙的闭合环形接地装置，即该房间的等电位连接带，然后将每个电气设备的接地点接到该等电位连接带，再通过等电位连接带接至水平接地网，以保证站内所有设备安全接地。图 3 截取了主变及散热器室的接地方式，图中虚线示意为热镀锌扁钢。

接地体材料截面积的热稳定校验如下：

$$S_g \geq \frac{I_g}{C_g} \times \sqrt{t_e}$$

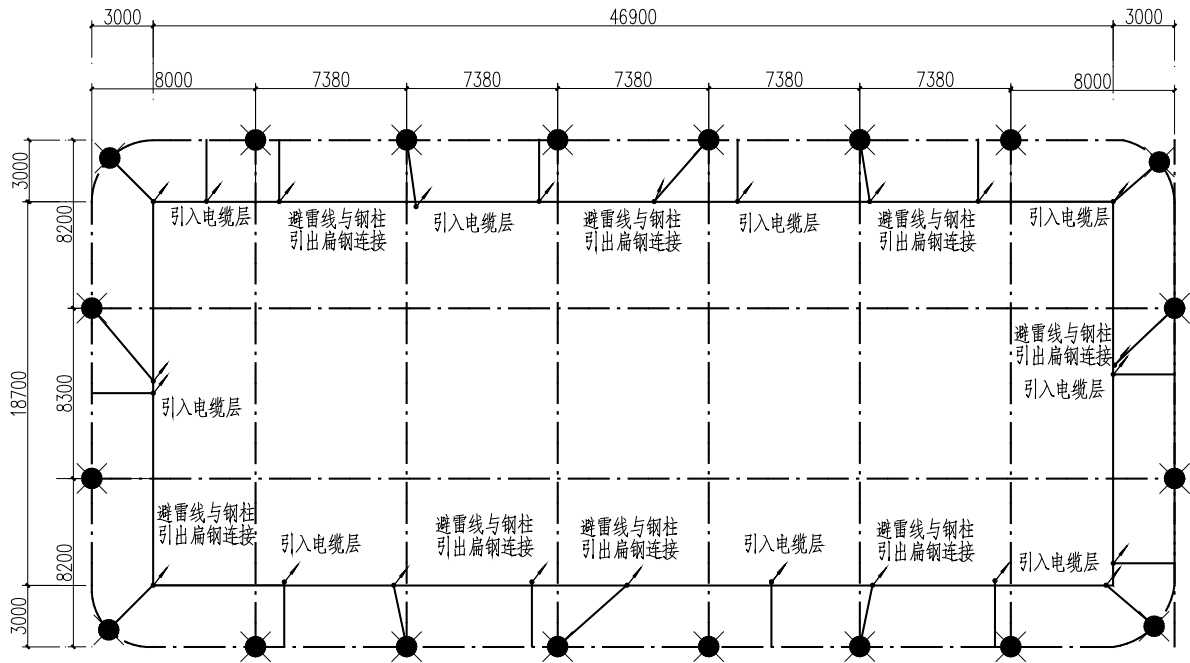


Figure 1. The compound grounding grid
图 1. 复合接地网示意图

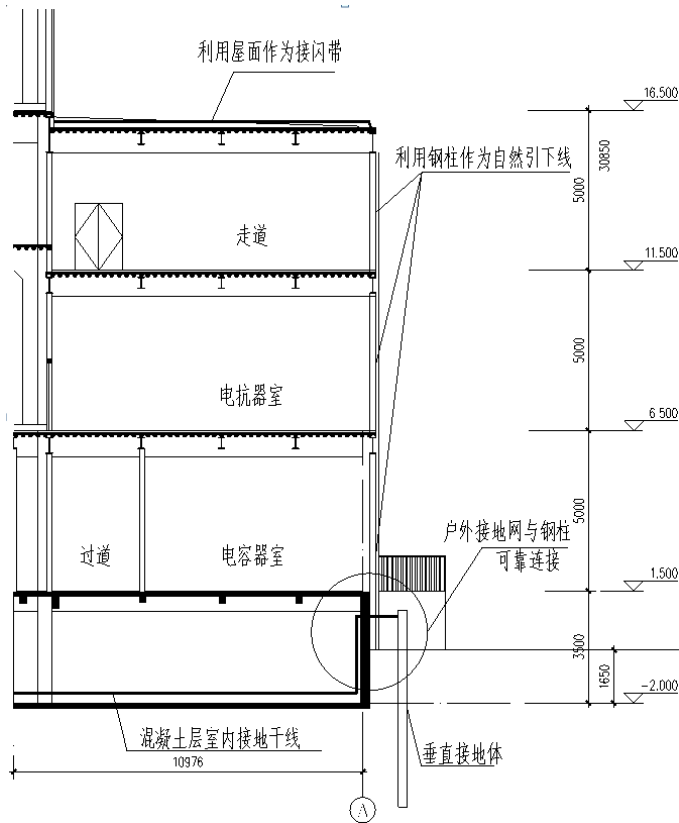


Figure 2. Lightning protection in steel structure fabricated substation composed of flash-grounding device, downlead and grounding device
图 2. 钢结构变电站的防雷装置示意图(由接闪器、引下线和接地装置组成)

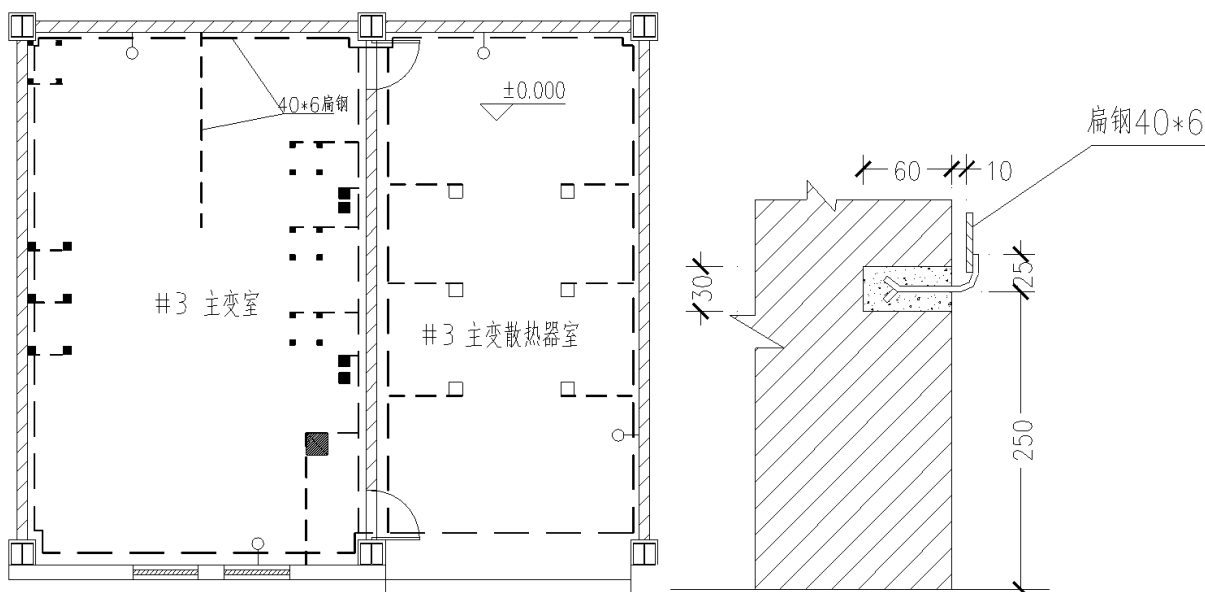


Figure 3. The ground connection of electrical equipments in concrete substation
图 3. 混凝土变电站电气设备接地示意图

式中： S_g ——接地线最小截面； t_e ——短路等效持续时间； I_g ——过流接地线的短路电流稳定值； C_g ——接地线材料的热稳定系数。

3.1. 计算 110kV 接地线截面

变电站 110 kV 取 25 kA；铜 C_g 取 210，钢 C_g 取 70； t_e 取 0.3 秒。

$$\text{热镀锌扁钢截面： } S_{g\text{钢}} \geq \frac{25 \times 103}{70} \times \sqrt{0.3} = 196 \text{ mm}^2$$

$$\text{接地网水平铜截面： } S_{g\text{铜}} \geq \frac{25 \times 103}{210} \times \sqrt{0.3} = 65 \text{ mm}^2$$

3.2. 计算 10 kV 接地线截面

变电站 10 kV 取 16 kA；铜 C_g 取 210，钢 C_g 取 70； t_e 取 0.3 秒。

$$\text{热镀锌扁钢截面： } S_{g\text{钢}} \geq \frac{16 \times 103}{70} \times \sqrt{0.3} = 177 \text{ mm}^2$$

$$\text{接地网水平铜截面： } S_{g\text{铜}} \geq \frac{16 \times 103}{210} \times \sqrt{0.3} = 59 \text{ mm}^2$$

根据计算结果，在常规 110 kV 变电站中，水平接地体取截面 120 mm² 的铜绞线，接地干线取截面 40 × 6 mm² 的扁钢带即可满足热稳定的要求。

全预制式钢结构建筑物的钢梁、钢柱、钢隔墙、钢屋面等各部件之间均电气贯通，所有钢构之间采用铜锌合金焊、熔焊、卷边压接、缝接、螺钉或螺栓连接，若其连接处等效截面均大于 196 mm²，则利用建筑物本身可以完全替代等电位连接网。因此，可利用本站为钢结构建筑物的优势，将设备接地方式做出如下优化：在墙板设计时，墙板与地板连接处预设横向 10 号槽钢并使该槽钢与两端钢柱可靠连接，见图 4。即：墙板用以代替横向等电位连接带，钢柱用以代替等电位连接带之间的纵向连接。因 #10 槽钢的规格为 100 × 5.3 mm，可知其满足热稳定校验。

从表 1 可以看出，同样规模的两个变电站，钢结构站的接地材料仅为混凝土站的 43%，大大节约了

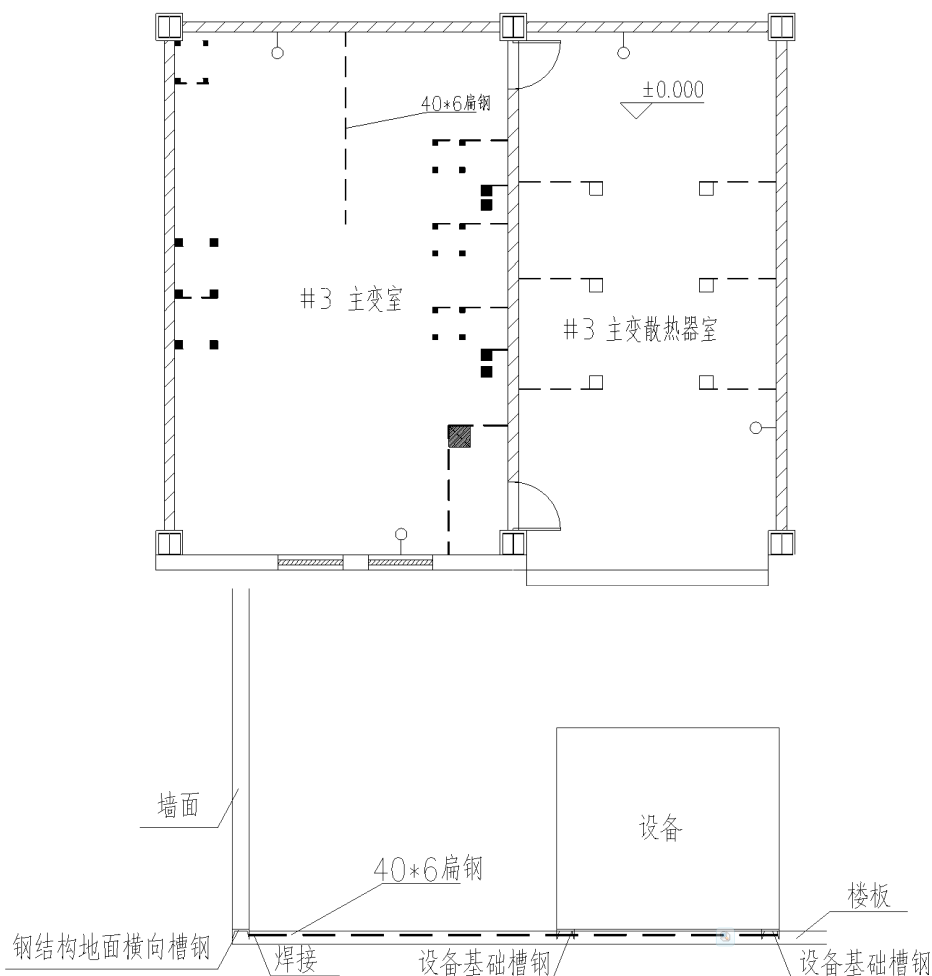


Figure 4. The ground connection of electrical equipments in steel structure fabricated substation
图 4. 钢结构变电站电气设备接地示意图

Table 1. The quantity of grounding material

表 1. 接地材料数量对比表

安装位置	40*6 热镀锌扁钢(米)	混凝土变电站	钢结构变电站
户外电缆沟(为混凝土结构)		100	100
电缆层(为混凝土结构)		400	400
地上一层(钢结构)		650	240
地上二层(钢结构)		300	100
屋顶接闪带及引下线		500	0
共计		1950	840

造价成本，从而压缩了施工周期。工程完成后，对接地电阻进行了现场实测，其接地电阻为 0.09 Ω，满足规范及验收要求。

4. 总结

上海兴邦 110 kV 变电站采用的是装配式全钢结构建筑物，可以利用钢结构建筑物的特点，使得建筑

物的接闪器、引下线、设备房间接地干线无需再单独另外敷设,金属门窗、钢扶梯、配电箱等也无需设置接地线,不仅大大节省了接地材料,同时进一步压缩了装配式建筑物的施工周期。从提早投产日期角度看,一个 110 kV 的变电站,如果早投产一天可以供应 177 万 kWh 左右的电量,由此可见,本接地方案也可带来一定的经济效益。综上,本文是为“钢结构装配式变电站”找到了既符合工程本身、又节省材料的优化设计方案,可将此运用于今后的类似工程中,为加快电网建设步伐做出了贡献。

参考文献 (References)

- [1] 柳国良,张新育,胡光明. 变电站模块化建设研究综述[J]. 电网技术, 2008, 32(14): 36-38.
- [2] 高美金,傅旭华. 标准配送式变电站的特点与建设[J]. 浙江电力, 2014(3): 31-34.
- [3] 王慎全. 预制装配式变电站[J]. 农村电气化, 2008(11): 45-46.
- [4] GB 50057-2010. 建筑物防雷设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2013.
- [5] GB 50065-2011. 交流电气装置的接地设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2011.
- [6] 李玉山,贺宝珍,裴永. 变电站接地网设计研究[J]. 水利水电工程, 2014, 4(34): 69-71.
- [7] 孙燕,张琴. 变电站接地网选用铜覆钢绞线的设计与分析[J]. 电力与能源, 2014, 35(3): 314-320.
- [8] 黄昌威,安韵竹. 变电站接地网不同接地材料接地特性研究[J]. 陕西电力, 2014, 42(11): 9-12.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: jee@hanspub.org