

摘要：介绍了城市轨道交通车站综合接地装置的施工工艺和要点，并将几种接地装置用材及焊接施工方法进行了比较，指出采用铜排、铜包钢接地极和热熔焊接方式进行综合接地装置安装的先进性和必要性，并简要介绍了热熔焊接方式的原理、操作方法及注意事项。

关键词：城市轨道交通；综合接地；施工；热熔焊

0 引言

城市轨道交通车站综合接地装置是指埋设于车站结构底板下一定深度且与土壤充分接触、为车站机电设备防雷接地、电气作业接地、安全保护接地（强电和弱电共用）提供接地引入的永久性装置。

1 车站综合接地装置的构成

车站综合接地装置一般由垂直接地极、水平接地极和接地引入线构成。随着城市轨道交通设备智能化和集成化的提高，设备的接地保护要求也更高，综合接地装置的接地电阻一般要求 $<0.5\Omega$ 。技术的发展使接地装置的材质和安装方式都发生了变化，如垂直接地极，最初是用普通的镀锌角钢或钢管，安装时直接打入土壤，后改变为铜管，现又改为铜包钢柱，并采用钻孔安装方式；水平接地极由最初的扁钢改为扁铜；接地引入线从最初的直接穿车站结构底板引入改为止水绝缘保护后穿车站结构底板引入。这些改变的目的就是为提高接地体的导电性能和耐腐蚀性能，使接地装置的接地电阻更小、使用更耐久。

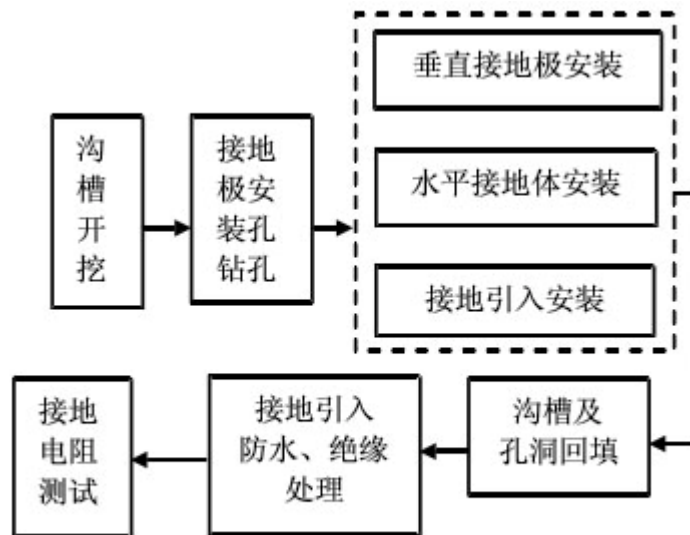


图1 车站接地装置安装工序示意图

2 车站综合接地装置的安装施工

在车站基坑开挖完成后开始安装接地装置，其安装工序见图1。

(1) 沟槽开挖。根据设计安装位置测量、画线定位，用人工或机械开挖。沟槽开挖的深度应符合综合接地装置设计埋深的要求，施工设计图中一般只表明接地装置到车站结构底板下表面的距离，将该距离减去车站底板下垫层厚度即为沟槽开挖深度；沟槽的宽度应能满足在沟内进行施工安装的需要，一般为600~800 mm。

沟槽开挖一般在车站基坑开挖到设计标高后进行，对挖出的土应就地堆存，以便完成接地装置安装后用原土回填（对粘土土质）。如果土质不好（如砂土、土石混合土、岩石），则应将挖出的土运走，并运来土质较好的粘土对沟槽进行回填。

(2) 垂直接地极安装孔钻孔。根据设计的垂直接地极安装位置进行测量、定位，确定钻孔地点，当土壤情况良好（如粘土）且使用角钢或钢管、铜管接地极时，可不进行钻孔；但当土壤情况不好（如含卵石土壤或岩石），或铜包钢

接地极时，为了保证安装过程中不对接地极表面的铜层造成损坏，则必须进行钻孔安装。在沟槽开挖完成后，对需钻孔的土壤可根据土壤情况选择钻孔机械，当土质为粘土时，可用触探仪进行钻孔，对含石头或岩石的土壤，可用小型地质钻孔机械进行钻孔。

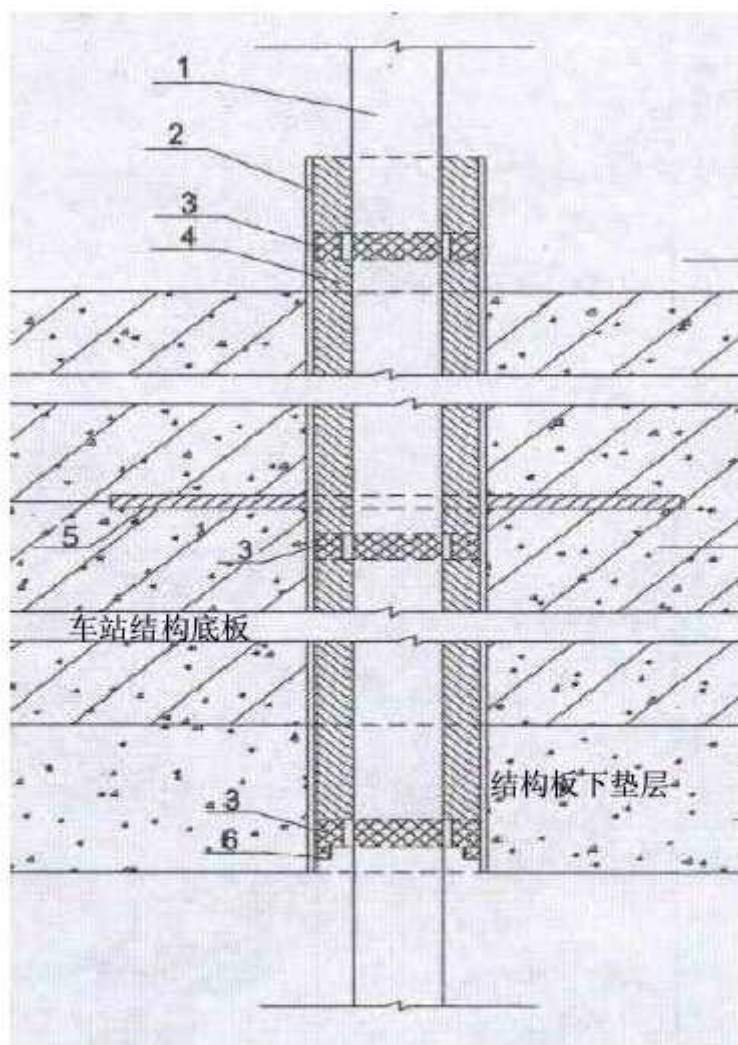
接地极安装孔钻孔应根据垂直接地极的直径和长度来确定钻孔规格，现需要打孔安装的垂直接地极有 $\Phi 50\text{ mm}$ 的铜管和 $\Phi 25\text{ mm}$ 的铜包钢棒，打孔时孔径应比接地极直径稍大 $10\sim 20\text{ mm}$ ，孔深应略大于接地极长度，同时应保证孔的垂直性，以方便接地极的安装。

(3) 安装接地装置。安装时，首先将垂直接地极安装于打好的孔中，注意安装过程中不能造成接地极端头变形损坏，以备后续焊接作业；水平接地极一般为 $50\text{ mm}\times 5\text{ mm}$ 的扁钢或扁铜，为减少腐蚀，水平接地极一般为竖放，通过与垂直接地极和水平接地极的焊接构成一个网形整体；最后按设计图设置接地引入点，即用与水平接地极相同的材料，采用焊接的方式从接地网上向上引出，穿过车站结构地板，为以后的设备留下接入点。

(4) 沟槽及孔洞回填。用细土对垂直接地极与孔壁间的空隙进行回填，以保证垂直接地极与土壤充分接触；然后进行沟槽的回填，对开挖的不含石头的土壤沟槽，可用原土回填，且分层夯实；对开挖的含石头的土壤或岩石沟槽，需另用纯土进行回填并分层夯实。由于后续要进行车站结构地板的施工，应对回填土和回填过程进行控制。

(5) 接地引入线的防水、绝缘处理。该工序一般在车站结构底板垫层施工前进行，主要材料有钢管、止水环、固定块、绝缘固定环、环氧树脂等，安装示意图见图 2。





注：1 接地引入线；2 钢管；3 绝缘固定环；4 环氧树脂；
5 止水环；6 固定块。

图 2 接地引入线的防水与绝缘处理示意图

选用非磁性钢管（一般为 $\Phi 100\text{ mm}$ 将止水环和固定块焊接在一起后进行整体镀锌处理，在车站结构板下垫层施工前将其套在接地引入线外，再用环氧树脂进行浇注，绝缘固定环的作用是防止接地引入线与钢管接触，止水环和环氧树脂有防水的功能，环氧树脂也具有绝缘性。

最后进行接地电阻值的测量，由于车站综合接地装置的施工不太可能以整个车站为工作面一次性完成，在分段完成的情况下，应根据接地体结构和设计电阻值进行测算，得出每段接地体的可控值，即掌握每段接地体的阻值为多少时整个综合接地体的接地电阻值才能满足设计要求，并在每段接地装置和整体安装完成后进行测量。

$$R \approx 0.5\rho l \sqrt{S} \quad (1)$$

注：式（1）在接地装置的垂直接地极埋深较浅时（3 m 以下）适用，当垂直接地极较深尤其是达到 25~35 m 的超深埋深时，此公式不再适用。

式中， ρ 为土壤接地电阻率， $\Omega \cdot \text{m}$ ； S 为接地网面积， m^2 。当每一段接地装置的接地电阻实测值在此估算值范围内，则可保证最后的整体接地电阻值符合设计要求。



接地电阻的测量应使用经过国家计量检定并在使用有效期内的测试仪表进行，典型的表计有 ZC-8 接地电阻测试仪，测试方法主要有 5D/0.5 法（D 为综合接地装置对角线长度）、28°直角法、0.618 法等，应根据施工现场环境选用。

3 接地装置的连续方式与焊接

接地装置安装的重点是接地材料之间的焊接。焊接有 3 种类型。

（1）垂直接地极与水平接地极之间的焊接连接，垂直接地极有 50 mm×5 mm 角钢、Φ50 铜管、Φ25 铜包钢棒等类型，水平接地极有 50 mm×5 mm 扁钢和扁铜等类型。在扁钢与角钢、扁铜与铜管焊接连接等情况下，一般采用普通电焊或气焊方式进行；对扁铜与铜包钢接地极的连接，一般采用热熔焊接方式进行。各种焊接连接方式见图 3—图 5。



图 3 扁钢与角钢接地极间的电焊图



图 4 扁铜与铜管接地极间的气焊图



图 5 扁铜与铜包钢接地极间的热熔焊接图

（2）水平接地极之间的焊接连接，在用电焊或气焊连接时，要求扁钢或扁铜之间采用搭接连接，其搭接长度不小于宽度的 2 倍，焊接时不少于三面施焊；而用热熔焊接连接时，只要求扁钢或扁铜之间对接即可。各种焊接方式见图 6—图 7。



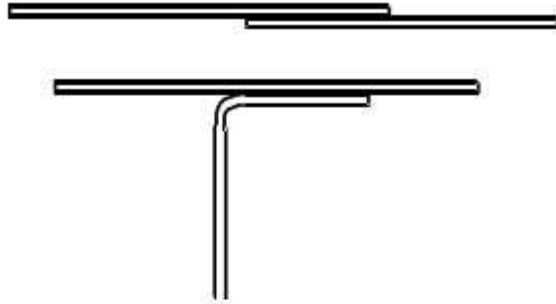


图 6 扁钢或扁铜间的搭接电、气焊连接图



图 7 扁钢或扁铜对接的热熔焊接图

(3) 接地引入点和综合接地体（水平接地极）间的连接也可根据所用材料使用不同电焊、气焊或热熔焊等焊接工艺。各种焊接方式见图 8 和图 9。

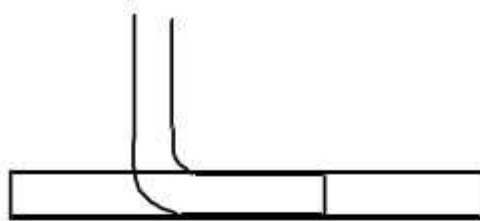


图 8 扁钢或扁铜引入线与综合接地体间的电、气焊接图

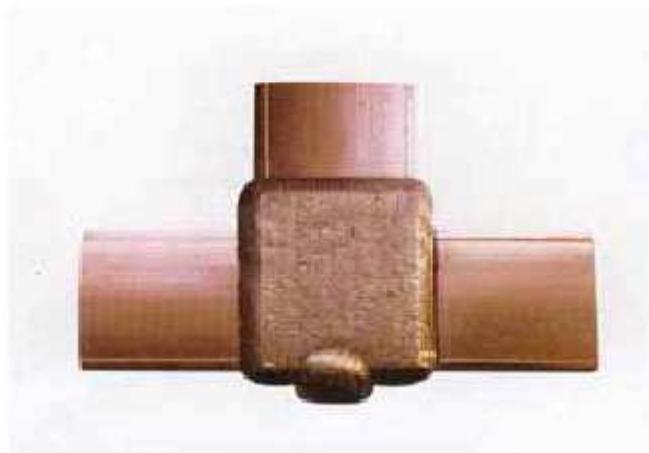


图 9 扁钢或扁铜引入线与综合接地体间的热熔焊接图

4 几种焊接方式的比较

气焊（焊接紫铜）：使用氧气，乙炔，气管，焊枪，S201铜焊丝，气剂301，氧炔焰熔化焊丝及焊接件，焊接部位熔深1~2mm，由于铜耐腐蚀性较强，焊接部位一般不作防腐处理。焊接熔深较浅，虽为搭接三面施焊，铜的导电性较好（铜的电阻率是 $0.017241\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$ ），但气焊连接只是三边熔接，中间部分为接触连接，故导电性不佳，搭接部分通电温升较大。

电焊（焊接钢）：使用普通电焊机和焊条（如E4303），电焊机起降压增流作用，利用电能熔化电焊条和焊接件，冷却后达到焊接的目的，焊接部位熔深2~3mm，由于钢的耐腐蚀性较差，用作接地的钢材都应作镀锌或涂防锈漆等防腐处理，对焊接部位应彻底除渣后涂刷防锈漆和富锌漆作防腐处理，且钢的电阻率为 $0.1\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$ ，虽也为搭接三面施焊，但只是三边熔接，中间部分为接触连接，故导电性不好，对搭接焊接的连接部位通电温升也较大。

热熔焊通过铝与氧化铜的化学反应（放热反应）产生液态高温铜液和氧化铝的残渣，并利用放热反应所产生的高温来实现高性能电气熔接的现代焊接工艺。该焊接适用于铜、钢、铁及铁合金等同种或异种材料间的电气连接，无须任何外加的能源或动力。该焊接方式能实现焊接件之间的整体分子连接，焊接部分没有接触连接情况，通电后基本不会产生温升。

5 无阻连接—热熔焊介绍

热熔焊是通过铝与氧化铜的化学反应（放热反应）产生液态高温铜液和氧化铝的残渣，并利用放热反应所产生的高温来实现高性能电气熔接的现代焊接工艺。

热熔焊接时应特别注意：

（1）防止或驱除水气，这是影响其焊接效果的最主要因素。

（2）另外要保证模具及被焊接物的清洁。如果被焊接物表面有尘土、油脂、氧化物（锈）或其他附着物等必须完全清除并使其洁净光亮后才能进行焊接作业，否则焊接后的焊点的导电性能与机械性能将受到影响。如果模具内遗留的残渣未完全清除，将造成焊点表面不平滑、不光亮。

（3）由于焊接时产生明火，故焊接时应采取充分的防火措施。

6 结束语

城市轨道交通车站综合接地装置为站内设备提供接地保护，安装完成后即被覆盖于车站结构底板下，基本不存在后期整改的可能，故要求安装时在焊接连接、接地电阻值保证等方面做到一次到位。热熔焊接连接方式在保证接地装置的可靠连接方面值得推广，但对分段安装的综合接地装置，在每段的接地电阻值掌握上，还应根据实际安装环境等予以注意。

参考文献：

[1]刘介才. 接地电阻简化计算公式辨析[J]. 建筑电气, 1998, 2.

