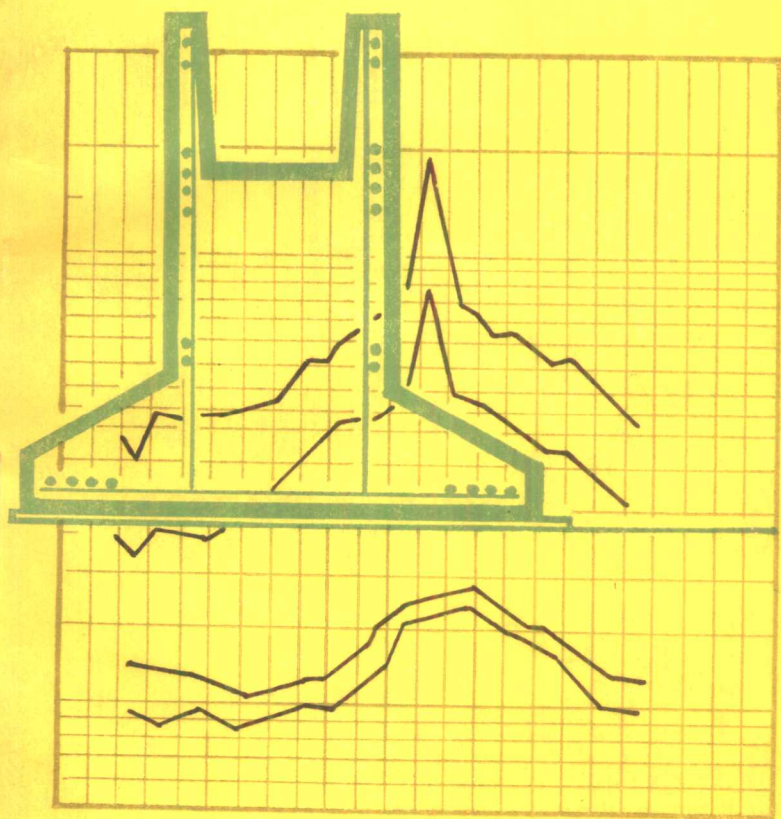


基础接地体 及其应用

林 维 勇



中国建筑工业出版社

基础接地体及其应用

林 维 勇

中国建筑工业出版社

本书介绍近年来国内外利用钢筋混凝土基础的钢筋作为自然接地体的研究成果和实用经验。基础接地体不但可以应用于防雷装置的接地,也可应用于电气装置和其它装置的接地。书中详细阐述了基础接地体的导电特性和实测数据,分析了基础接地体的导电机理,介绍了基础接地体的设计与施工。

基础接地体及其应用

林 维 勇

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本: 787×1092毫米1/32 印张: 5³/₈ 字数: 121 千字

1980年9月第一版 1980年9月第一次印刷

印数: 1—10,600册 定价: 0.44元

统一书号: 15040·3809

前 言

近二十年来，国际上对基础接地体存在的问题进行了许多研究工作。现在，这些问题已经基本上得到解答。所以，有些国家已经在规范中列入怎样应用基础接地体的具体规定，如东德在其1974年版的接地规范^[26、27]中就对基础接地体的应用规定了不少条文。

从六十年代初起，国内不少单位陆续在利用钢筋混凝土基础的钢筋作为自然接地体（自然基础接地体），但未普遍推广应用；尤其是人工基础接地体，应用的就更少了，只是到了最近几年才为人们所注意。显然与国内缺少一份介绍基础接地体的从理论到应用全面系统性的资料有关。

为补此缺，作者编写成这本小册子。目的在于使有关人员阅读后对基础接地体有正确的认识和理解，并提供一些应用上必需的参考资料，供大家根据具体情况和条件推广应用基础接地体。

基础接地体具有经济、节省钢材、寿命长、维修工作量少等优点。

基础接地体的应用可分为两大类型，一是输配电架空线路和通讯架空线路的电杆基础接地体的应用；二是建筑物钢筋混凝土基础接地体的应用。本书重点介绍后一种类型。由于这两种类型具有许多共性，所以，许多试验结果和实践经验可以互相补充，使人能更好地理解其特性。因此，书中也列入一些值得介绍的关于架空线路电杆基础接地体的资料。

基础接地体不但可以应用于防雷装置的接地而且也可以应用于电气装置的接地。此外，也可供其它接地之用。

与基础接地体的应用难以分开的是，利用建筑物的钢筋作为防雷装置的接闪器和引下线以及作为车间的接地干线。为此，书中对这些方面也作了介绍。

由于编者本人的水平和知识有限，错误之处在所难免。特别是编者对一些问题所提出的看法和观点，希望同志们提出批评指正。

编 者

1978年11月于蚌埠

21942

统一书号：15040·3809

定 价： 0.44 元

目 录

前 言

第一章 基本概念	1
第一节 什么是基础接地体	1
第二节 基础接地体的优点	1
第三节 大地中混凝土的导电特性和电阻率	3
第二章 基础接地体的实测接地电阻和试验	8
第一节 车间基础接地体的实测接地电阻	8
第二节 在美国的试验	12
第三节 大型民用建筑物基础的接地电阻	19
第四节 永久冻土层中钢筋混凝土桩基基础的接地电阻	20
第五节 涂沥青防水层的钢筋混凝土的导电特性	21
第三章 基础接地体与腐蚀危险	30
第一节 无筋混凝土用镀锌钢材或裸钢材做人工 基础接地体	30
第二节 在钢筋混凝土中用镀锌钢材增设的人工 基础接地体和接地线	32
第三节 自然基础接地体与大地中的人工和自然 接地体连在一起	34
第四节 直流电流流过基础接地体	36
第四章 地中混凝土导引电流入大地的能力	38
第一节 基础接地体流过工频电流的试验	38
第二节 冲击电流对混凝土试样机械特性影响的试验	44
第三节 冲击电流从钢筋混凝土构件流走的试验	48
第四节 地中混凝土的理论载流能力	51
第五节 地中混凝土载流能力的其它一些数值	57
第五章 混凝土中钢材的理论载流能力	59

第一节	荷载工频电流的能力	59
第二节	荷载雷电流的能力	61
第三节	混凝土中钢材的最高允许温度	62
第六章	混凝土中钢筋绑扎点通过电流的能力	64
第一节	测量厂房钢筋网体电阻的试验	65
第二节	苏联对钢筋绑扎点流过冲击和工频电 流做的试验	66
第三节	日本对钢筋绑扎点进行的冲击试验	67
第四节	如何对待铁丝绑扎的钢筋连接点	70
第七章	基础接地体接地电阻的计算	75
第一节	单个垂直基础接地体的接地电阻	75
第二节	水平基础接地体的接地电阻	85
第三节	整个车间基础接地体的接地电阻	87
第四节	整个工厂基础接地体的接地电阻	92
第五节	专用钢筋混凝土体的接地电阻	93
第八章	基础接地体临近区的电位分布	95
第一节	允许通过人体的电流	95
第二节	单根桩基或倒T形基脚附近的电压分布	102
第三节	单根桩基附近的接触电压系数和跨步电压系数	104
第四节	邻近建筑物和工厂区域内的工频接触电压	106
第五节	车间内的工频接触电压	110
第九章	设计与施工	116
第一节	防雷装置	117
第二节	在电气装置中应用基础接地体	132
第三节	基础接地体设计步骤一例	138
附录一	东德防雷措施技术要求 TGL200-0616/02 (1977年起实行)(摘译)	141
附录二	计算引下线平均电感公式的推导	152
附录三	计算金属或钢筋混凝土屋面电感 公式的推导	156
参考资料		161

第一章 基 本 概 念

第一节 什么是基础接地体

接地体设在地面下的建筑物混凝土基础或电杆混凝土基础内时称这种接地体为基础接地体。基础接地体可分为以下两类：

一、自然基础接地体。利用钢筋混凝土基础中的钢筋或混凝土基础中的金属结构物作为接地体时，这种接地体称为自然基础接地体。

二、人工基础接地体。把人工接地体敷设在无加筋的混凝土基础内时，这种接地体称为人工基础接地体。有时候，在混凝土基础内虽有钢筋但由于不能满足利用钢筋作为自然基础接地体的要求（如由于钢筋直径小或钢筋总表面积不够），也有在这种钢筋混凝土基础内加设人工接地体的情况，这时所加的人工接地体也称为人工基础接地体。

第二节 基础接地体的优点

通常，基础接地体具有以下优点：

一、不用进行挖土和填土。开挖建筑物的土方工作由土建施工人员进行，因此，与通常的人工接地体比较，采用基础接地体时能够省去开挖土方和回填土的工作。

二、节省金属材料。当采用自然基础接地体时，可省去

在土壤中单独装设接地体的金属材料。此外，由于基础接地体的使用期长，不必象通常的人工接地体那样，经过一些年后由于被腐蚀坏又得重新开挖土方敷设新接地体并再回填土。这些费用都可节省，因此，采用基础接地体后可得到高度的经济效果。

三、免受机械损坏。基础接地体受到混凝土的保护，不会由于施工或检修工程管线等开挖土壤时可能受到的机械损伤或破坏。

四、使用期长。基础接地体的导体是埋在混凝土内，所以，不会产生象通常的接地体那样受到土壤的腐蚀而失去作用，因此具有长的使用期。在一般情况下，可以认为具有与建筑物或基础本身一样长的使用期。

五、接地电阻稳定。混凝土在地中有从土壤吸入水分的这种倾向并使本身保持高的含水量。因此，一般说来，基础接地体几乎不受气象变化的影响，即使在冬天和夏天其接地电阻变化极小。

六、最少的维修工作。不需要象一般埋设在土壤中的接地体那样，进行通常的维修工作。例如，美国在1942年建成的800个大小约3米×9米（或12米）的钢筋混凝土炸弹储藏库，利用埋设在每个库基础内的钢筋作为防雷装置的接地^[11]。从1942年建成到1962年进行总结的20年中，维修部门从未更换或修理这800个炸弹储藏库中的任何一个基础接地体。监视人员每隔30至60天对这些基础接地体各进行一次测试，肯定了它们的完好性。

七、提高了安全可靠。接地装置在防雷装置和电气装置的安全可靠性中起着决定性的作用。由于基础接地体具有上述一至六款的优点，因此，采用基础接地体后，可以极大

地提高防雷装置和电气装置的安全可靠性。

八、不必采用镀锌钢材。由于在混凝土内不用考虑防腐问题，所以当采用钢材作为人工基础接地体时，不必采用镀锌钢材，而采用裸钢材就可以。

第三节 大地中混凝土的导电特性 和电阻率

很久以来，许多人认为当混凝土的物理化学过程完成以后由于电导率降到极小值而使混凝土具有很高的电阻。这一认识对于干的混凝土是正确的，对含有水分的混凝土则不是这样。

通过水泥和水相互作用的这一复杂物理化学过程而形成的混凝土，当它保持一定量的水分时具有明显的电导率，即混凝土的湿度对其电阻率的影响起主要作用。

图 1-1 示出，在混凝土的真实湿度的范围内（从水饱和到干涸）其电阻率的变化约为五百二十倍。在重复饱和和干涸的整个过程中，没有观察到各点的位移，也即每一湿度有一相应的电阻率。〔45〕

混凝土中的全部水泥并不马上参与同水的反应。反应是从颗粒的表面开始逐渐透入其深处。同时，在固化后的

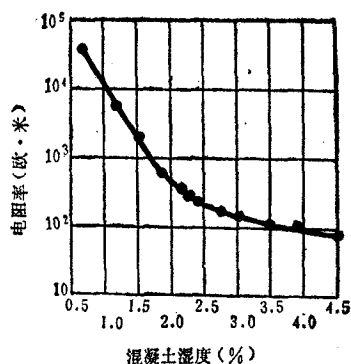


图 1-1 混凝土湿度对其电阻率的影响

混凝土中仅部分水与水泥起化学反应，其它不参与化学反应的自由水则充填在混凝土孔隙中。混凝土深处各层的脱水和干涸要经过数周、数月、数年。所以产生这种情况是由于汽化的湿气要穿过混凝土的许多细小的分支毛细管，这些毛细管是在弱连系的水汽化后形成于水泥颗粒之间的空间中。换言之，在混凝土的结构中具有保持免于完全干涸的作用，即混凝土的稠密性抑止了水分的滤出作用。

另一方面，埋在大块土壤中的混凝土，由于它有许多分支毛细管，所以，具有从毗连的土壤层吸收水分的毛细管作用。此外，由于硅酸盐水泥的成分与土壤水相互作用的结果，在各种情况下，这类混凝土在其面层都具有潮湿的盐性溶液。

除去土壤中的金属性矿物成分外，土壤的电阻率主要是土壤中电解成分的一个函数。这既取决于土壤中电解盐、酸等等成分，也取决于能使其保持在溶解状态下的水分的多少。天然形成的土壤颗粒的大小影响着保存水的能力。温度也影响电解物的电阻率，当温度升高时电阻率降低。如果土壤中没有溶解状态的电解物质，独有水是不会提高大地的导电率的。例如，在美国佛罗里达州中部，那里每年的降雨量很大，但土壤的电阻率却异常高，即使是土壤的含水量达到饱和状态也是这样。这是因为大量的降雨量加上大量的孔隙造成土壤中的天然电解物质被滤去，使土壤成为坏导体。

与上述的土壤特性相类似，混凝土作为一个具有均匀电阻率的“大地”，其有效性在于其固有的硷性组合物和吸水特性。使其达到电解物具有导电率的两个条件，即水分和离子可动性。混凝土在地中倾向于从土壤吸入水分并使自己保持高含水量，因此，就具备了上述的两个条件，结果就有了明显的电导率。从另一角度说，混凝土中的导电单元是它的

液相，因此，混凝土的电阻率主要取决于液相的数量、离子成分和温度。

1970年美国的一篇文献[13]指出，在出版物上发表的混凝土电阻率是60~100欧·米。而该文献所介绍的试验得出，与土壤接触的混凝土的电阻率大约是这些数值的一半（即30~50欧·米）。该文献作者认为，这显然是由于试样比以前的含有较高的水量。

1968年日本的一篇文献[9]指出，对钢筋混凝土管（外径300和350毫米）测量，经计算得出混凝土的电阻率是100欧·米。

1967年西德的一篇文献[20]指出，在计算基础接地体时混凝土的电阻率取100~150欧·米。

1966年苏联的一篇文献[47]指出，从测量输电线路电杆的钢筋混凝土基脚得出混凝土的电阻率是100欧·米。1972年的另一篇文献[49]提出，土壤中混凝土的电阻率取100欧·米。

1968年苏联的另一篇文献[45]介绍了用10×10×10厘米的立方体混凝土试样对其在不同条件下的电阻率进行了研究。其中，关于处在大地土壤中的混凝土的电阻率得出图1-2的曲线并提出表1-1的概数供参考。

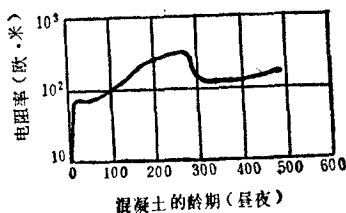


图 1-2 土壤中混凝土电阻率的变化

1975年美国的另一篇文献[18]指出，地中无绝缘层的混凝土的电阻率处于二位数至三位数，平均值是100~300欧·米。

原水电部电力设备接地设计技术规程（SDJ 8-76）^[3]

长期在土壤中的混凝土的电阻率的概数 表 1-1

混 凝 土 的 类 型	电阻率(欧·米), 当龄期为		
	6 个 月	1 年	1 年 半
普通混凝土	100~1400	120~180	160~240
加有按水泥重量计算达 3% 氯化盐添加剂的混凝土	40~160	50~170	60~180

注：混凝土中的水泥采用波特兰水泥。

中的附表 11 提出，混凝土的近似电阻率（欧·米）在水中为 40~55，在湿土中为 100~200，在干土中为 500~1300。

从以上所列出的数值可以看出，对土壤中的混凝土不可能提出一个准确数值的电阻率。

但是，埋在土壤中的混凝土只要各面不为不透水层所包围，就具有导电性并几乎与天气无关。相反地，当混凝土设在天然空气中并完全干涸时就不具有这一导电性。地中的混凝土的导电性还取决于所采用的水泥的质量。例如，用波特兰水泥制成的混凝土，由于硅酸钙成分的含量高，所以比矾土（氧化铝）水泥能较好地起到接地体的作用，矾土水泥仅含有少量的硅酸钙。此外，混凝土的混合比例也具有决定性的作用。随着水泥成分和湿度的提高混凝土的导电性也提高。试验指出，在混凝土中加入金属屑或类似的混合物并不能进一步提高其导电性。^[21]

混凝土冰冻时伴随着其电阻率的提高。但是，这种现象并不是在试样的温度降低到 0°C 以下之后立刻产生，而是随着毛细孔中液相的结冰程度而逐渐变化的。毛细孔的直径越小冷却得越深则毛细孔中的液体变为冰就越多。在 -0.5°C 时混凝土中形成冰的数量仅为 -30°C 时的 21%，在 -4°C 时

为60%，在 -10°C 时为75%。当温度在 -50°C 及以下时还有一些水没有结冰。同时，混凝土的温度在 $-30\sim 50^{\circ}\text{C}$ 时，其电阻率可能比冰冻前大数十倍。^[45]

这点说明了，设在永久冻土层中的建筑物钢筋混凝土桩基基础 and 架空线电杆钢筋混凝土基础之所以具有导电性的原因。

东德从1975年起在执行的电气装置接地规范^[26]中规定，当混凝土采用以硅酸盐为基料的水泥（例如波特兰水泥、矿渣水泥）时，允许采用混凝土基础中的钢筋作为自然基础接地体。当采用以铝酸盐为基料的水泥（例如矾土水泥）或以人造材料为基料的水泥时不允许采用钢筋作为接地体，但供控制回路用的接地体除外。

混凝土的电阻率一般随着温度的升高而下降。其变化可由下式确定。^[19]

$$\rho_t = \rho_0 \frac{273 + \alpha t_0}{273 + \alpha(t - t_0)} \quad (1-1)$$

式中 ρ_t ——与最终温度 t 相对应的混凝土电阻率(欧·米)；

ρ_0 ——与起始温度 t_0 相对应的混凝土电阻率(欧·米)；

t ——最终温度($^{\circ}\text{C}$)；

t_0 ——起始温度($^{\circ}\text{C}$)；

α ——系数，大多数处于 $5\sim 25$ 之间。

第二章 基础接地体的实测

接地电阻和试验

许多年来，人们实测了各种类型基础接地体的接地电阻并进行了许多有关的试验。下面重点介绍一些具有代表性的国内外测试工作。

第一节 车间基础接地体的实测接地电阻

一、内蒙大林型砂厂选砂车间柱子基础的接地电阻

车间建筑结构是装配式，柱子和大型屋面板为预制构件，钢屋架，柱子基础是现场浇灌。利用柱子基础内的钢筋体作为防雷装置的接地装置，不另设人工接地体。利用柱子

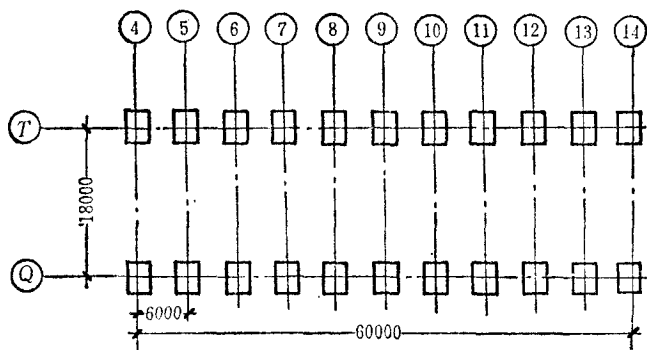
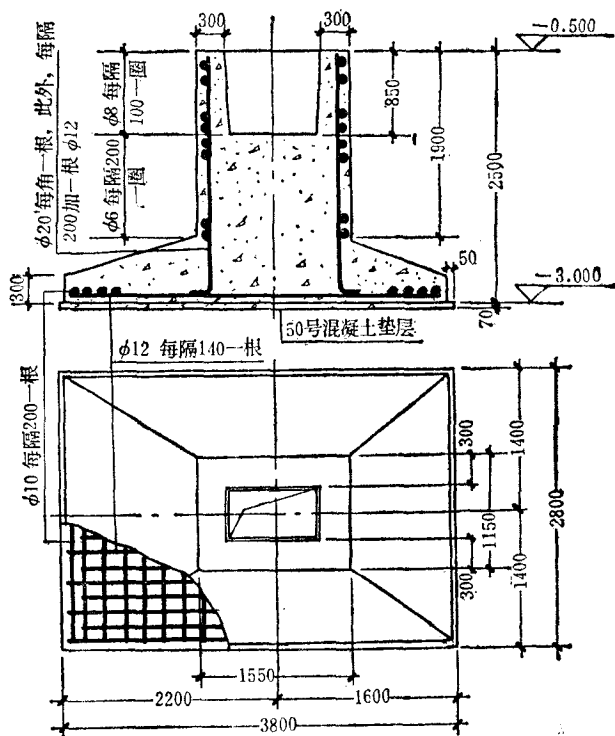


图 2-1 内蒙大林型砂厂选砂车间柱子基础平面布置图

内钢筋体作引下线。为了把建筑构件连接贯通，土建设计提出了必要的预埋件。被利用的柱子基础计有二十二个，其平面布置见图 2-1。这些柱子基础内的钢筋体是通过柱子、屋架、屋面板等连接成一体。进行测试时有一个柱子基础尚未与柱子连接，所以被测试的整个基础接地体只包括了二十一个柱子基础。柱子基础的结构图见图 2-2。其中有两个柱子基础除底板尺寸由 3800×2800 扩大为 4500×3000 毫米外其



注：钢筋保护层为35毫米，混凝土为150号

图 2-2 选砂车间柱子基础平、剖面图