

浅谈发电厂内制氢站电气防爆设计

蒋航，孙磊，刘育

(国电大渡河流域水电开发有限公司，四川成都610041)

摘要：由于发电厂的制氢站大多数存在火灾与爆炸的风险，因而制氢站的安全与发电厂的稳定运行有着密切的联系。根据制氢站对于防爆的特别要求，本文主要以国内某制氢站为例，阐述了发电厂制氢站照明、电缆敷设、防雷及接地、防火封堵等电气部分的设计方法，综合工程设计标准与施工标准，以及设计中的关键问题。

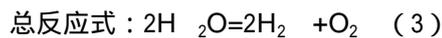
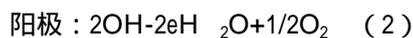
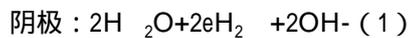
0引言

由于氢气的密度较小，并且其热传导效率非常高，因此发电机组常会利用氢冷却来提升发电机的工作效率。当发电厂发电机组冷却模式为“水氢”或全氢冷时，必须为其提供氢气供应系统。本工程制氢站的关键建筑物有氢气的储存罐间、分解生产间、化学检验间、电气管控间等，其中氢气储存罐间和分解生产间有着非常高的爆炸风险，火灾危险级别较高，爆炸危险类别为Q-2^[1]。

制氢站一旦发生火灾或者爆炸事故，轻则毁坏发电厂设备及建筑物，重则中断电力供应，且恢复时间较长，会对各行业的生产、生活带来极大的干扰作用，同时还会带来巨大的经济损失。因此，在发电厂的安全运行过程中，制氢站的安全设计有着极其重要的作用。

1氢气来源及特性

氢气的来源较多，但多数情况下是利用化石能源、含氢物、化学品生产副产品的氢气回收、电解水制氢等方法制造氢气。在利用化石原料制氢的方式当中，主要包含煤气化制氢法、天然气制氢和甲醇分解的方法；含氢元素物质的制氢手段有电解水和水解硼氢化物等；化学产品生产副产品氢气的回收主要有强碱和轻油裂解。分析以上几种制氢方法的经济性，电解水的制氢方法是成本最低的，电解水的电力资源可来源于太阳能或风能或其它能源。电解水制氢气的机理非常简单，只需要在放有氢氧化钠的电解池中通入直流电，溶液中的水分子会在电极上产生水的电解反应，其电化学反应式为：



水分子在电解池中分解成O₂和H₂

，然后在分离装置进行分离，气体通过分离器后经过洗涤、冷凝、去除水分后，氢气被送到纯化设备中，最终在储存设备中保存。

2发电厂制氢站风险区域的划分

区域的划分是对会产生爆炸风险的地点进行研究和分类的一种手段，有利于适当选取和设置危险区域中的电气装置，从而实现安全运行的目标，并将氢气的级别和温度加入到考查范围中[2]。

在运用可燃物的众多场所中，并不能保障爆炸危险永远不会出现，也不能保证设施永远会变成火源。因此，必须依照制氢站所在区域的爆炸风险程度，对危险区域进行划分。

2.1分区

全球各地对风险区域的分区不尽相同，但大体上可划分为两大体系：中国和大部分欧洲国家所参照的国际电工委员会（IEC）的分区模式；而以欧美等国为代表等国家则常使用北美的划分模式。依据爆炸气体环境出现的概率和持续时间，将危险场所划分为下列几个区域：

0区：爆炸性气体环境连续出现或长时间存在的场所；

1区：在正常运行的情况下，可能出现爆炸性气体环境的场所；

2区：在正常运行时，不可能出现爆炸性气体环境，如果出现也是偶尔发生并且仅是短时间存在的场所[3]。

2.2释放等级

连续级释放源：连续释放或预计长期释放的释放源。比如，持续对空气敞开或长时间对大气开放的易燃液体上方的区域。

2.2.1一级释放源

在正常运转情况下，估计会释放的释放源头。比如：在一般工作的情况下，估计释放可燃物的泵、压缩机或阀门的密闭处；在一般操作情况下，估计可燃物会释放到空气中的样本采集点。

2.2.2二级释放源

在正常的运行状态下，一般不存在释放的可能，但其释放也仅仅是在非常短的时间内完成释放的源头。比如：在装置正常运转的情况下，估计可燃物不可能释放的泵、压缩机和阀门处；在正常运转的情况下，估计可燃物不可能释放的法兰、衔接件和管道处。

2.3制氢站风险区域的划分

在开展危险区域划分的过程中，第一步要鉴别释放源和明确释放源的级别，并研究会影响风险区域的类别和其他要素，然后明确区域种类（0区、1区、2区），最终明确风险区域的范畴。本工程制氢站使用的是电解水的制氢方法，风险区域的划分参照了《爆炸危险环境电力装置设计规范》GB50058-2014的标准在该标准中明确表示其不适合用在使用电能进行制造并与生产过程相关连接的电解、电镀等设备区域。多数情况下会依据《爆炸性环境第14部分：场所分类爆炸性气体环境》GB3836.14-2014和《石油设施电气设备安装区域一级、0区、1区和2区区域划分推荐作法》SYT6671-2006的规定进行风险区域的分类，制氢站的风险物为H₂，释放源为管道的法兰。通过对释放频次、累积释放量和通风率等参数，研究计算并明确风险区域的范畴。

3发电厂制氢站防爆电气设计要点

3.1照明设计要点

3.1.1照明配电箱

依据规范章程规定，在有爆炸风险的场所，不应装设照明配电箱，需要把照明配电箱安装在附近的一般环境中。本工程制氢站照明设计时把照明配电箱安装在电气控制室中，既保证了照明配电箱的安全性，又满足了就近控制的要求。照明配电箱的设置高度常以其底部距离地面1.5m的高度为最佳，在照明配电箱当中对于防爆区照明的回路必须安装有双极开关。选择照明配电箱型号时，应考虑留有适量的备用回路（约占照明配电箱回路数的1/4至1/3）。应急照明充电检测回路可加装单相开关，工作时闭合，检修时打开，接线方式如图1所示。

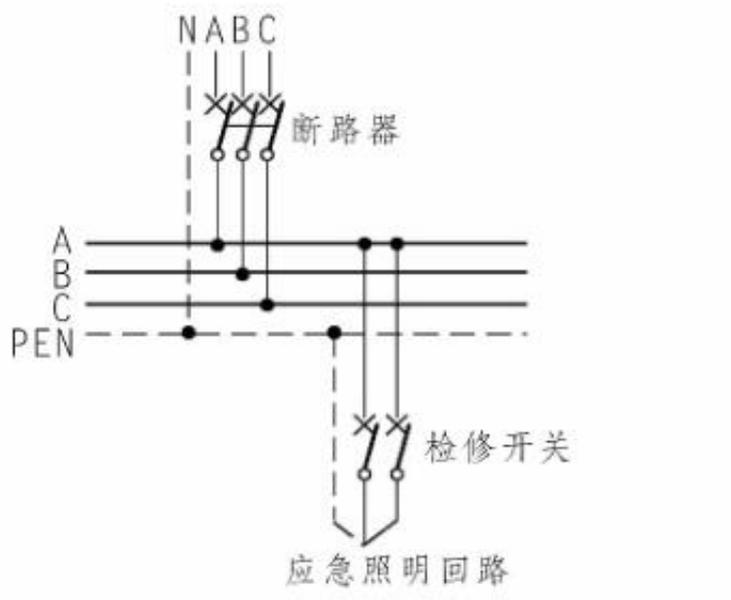


图1 应急照明回路接线方式

3.1.2防爆灯具

对于存在爆炸风险的区域，其光源必须选用具有防爆功能的荧光灯等作为光源，且安装在较低，并严禁安装在氢气释放源头的上方区域。设置在制氢站围墙中、制氢站站外的灯具、吸顶灯、开关等都必须使用具有防爆功能的器具，从而可以有效防止或降低事故所导致的破坏性。

3.1.3灯具开关

在存在爆炸风险的区域中，不可以安装开关及插座，如有必要安装时，必须选择使用具有防爆功能的开关及插座。防爆灯需要配备双极开关，并且该开关需要安装在室外方便实现操控。

3.1.4照明线路

依据制氢站的照明设计规范，处在爆炸风险或极有可能遭受冲击的区域内，照明系统的线路电缆必须使用铜芯导线进行明敷。在管道内铺设多条照明线路的情况下，线路的总条数不可以大于六条。同时在爆炸风险极高的区域中，管道中铺设的导线总数不可以大于四根。而在防爆应急的照明线路当中，照明配电箱的线路总数为4根，在这当中具有防爆功能的照明线路3根（一根为接地线），照明线路1根。安装有防爆光源的线路需要与无防爆功能的线路分开铺设。不同种类照明回路可按图2所示安装。

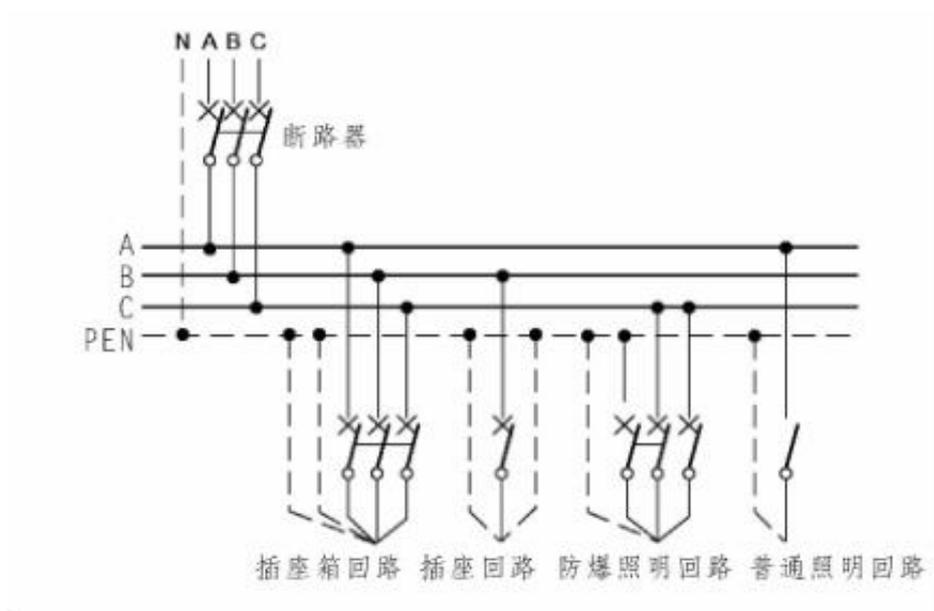


图 2 不同类型回路接线方式

因为在具有防爆功能的线路当中安装有防爆功能的应急照明系统，所以，必须在防爆设计的基础上再安装单相开关，如图2所示。从而照明配电箱到氢气罐之间的照明线路，也必须进行相应的防爆安全设计，可以穿过水煤气管道直接连接到氢气罐室的门口。

3.2 电缆敷设

在电缆铺设的标准中，具有防爆、防火需要的明铺线路，必须使用埋砂铺设的线缆沟。所以，在本工程的制氢站中所使用的线缆沟中必须采用充砂的方法进行线缆的铺设。同时，在具有风险的区域内所采用的线缆中不可有接头存在。在制氢站的电气控制室中，还需要安装一台氢气泄漏报警器，电解室中的风机、贮氢室中的风机都需要与氢气泄漏报警器相连接，当氢气浓度大于0.4%时，连接装置启动。同时，在存在火灾及爆炸风险的区域中，有缆线沟与厂区缆线沟之间的接口必须做好防火墙等措施，从而防止出现火灾与爆炸等事故时导致危险区域的扩大。

3.3 防雷设计

制氢站在很大程度上具有一定的爆炸风险，并且在发生爆炸后会严重影响建筑中的设备，那么，需要采用独立的防雷保护设计，并应采取防止雷电感应的措施。首先，根据避雷针高度和建筑物高度计算保护范围半径，当使用单根避雷针的时候，地面上保护范围计算公式如下：

$$r = 1.5hp \tag{4}$$

式中 r 为保护半径/m; h 为避雷针的高度/m; p 为高度影响系数。

依据标准规定, $h \leq 30$ m 时, $P = 1$; 30 m $< h$

≤ 120 m 时, $P=5.5$; $h > 120$ m 时, 取其等于 120 m。在文中的制氢站中, 其独立避雷针的高度为 30 m。

制氢站内被保护建筑物高度 h_x 水平面上的保护半径按以下公式计算:

$$h_x \geq 0.5h \text{ 时}, r_x = (h - h_x)p = \Delta h p \quad (5)$$

式中 r_x 为避雷针在 h_x 平面上的保护半径/m;
 h_x 为被保护建筑物的高度/m; Δh 为避雷针的有效高度/m。

$$h_x < 0.5h \text{ 时}, r_x = (1.5h - 2h_x)p \quad (6)$$

按照《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》GB/T50064-2014、《氢气站设计规范》GB50177-2005等规定, 避雷针安装位置的确定需遵循以下原则:

- (1) 单独的避雷针以及接地装置与道路或建筑物入口和出口的间距等都不应小于3.5m, 否则需要使用均压方法, 或再铺设沥青等, 同时也能在地面铺设混凝土;
- (2) 独立避雷针接地装置(埋深1.5m)与接地网及地下管道的地中距离不小于3m;
- (3) 避雷针与罐体呼吸阀的水平距离不应小于3m;
- (4) 避雷针的保护范围边缘高出呼吸阀顶部不应小于2m;
- (5) 避雷针与自然通风口的水平距离, 不应小于1.5m, 与强迫通风口的距离不应小于3m, 与放空管口的距离不应小于5m, 避雷针的保护范围应高出管口1m以上。本工程中, 制氢站围墙外侧布置有两个点火油罐, 安装了两支等高避雷针对其进行保护。为了达到联合保护、扩大保护范围的目的, 在满足本制氢站建筑保护范围的条件下, 制氢站区域的避雷针在满足安全距离的情况下可靠近油罐方向, 以进行联合保护。通过计算表明, 联合保护能取得良好的防雷效果。制氢站区域大门旁需安装一套触摸式静电消除器, 用于消除进入制氢站人员身体携带的静电, 减少人体静电对制氢站设备造成的危险。

3.4 接地设计

接地按用途可分为工作接地、保护接地、雷电保护接地、防静电接地4种, 为了保护建筑物和电气设备的安全, 需通过接地装置将雷电流、静电等导入大地。某发电厂土壤电阻率为85~95 $\Omega \cdot m$ 。

3.4.1 设计时需遵照以下原则

- (1) 水平接地体与建筑物外墙的距离不宜小于1.5m;
- (2) 建筑中接地线顺着房屋外墙水平铺设的过程中, 距离地面的间距需要维持200~250mm之间, 不沿墙进行铺设时, 接地线与房屋的外墙需要保持在10~15mm的距离;
- (3) 室内接地体至少两点与室外接地体牢固焊接;
- (4) 垂直接地极的间距不应小于其长度的两倍, 水平接地极的间距不宜小于5m;

(5) 单独的避雷针适合安装单独的接地设备。

当它的接地阻值高于10 Ω 或者其接地设备与主接地设备间距无法达到《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》DL/T620-1997中7.1.11b) 条的标准时，其接地设备会与主接地设备相连接，如图3所示，避雷针利用集中接地设备的引线与接地网相连接；

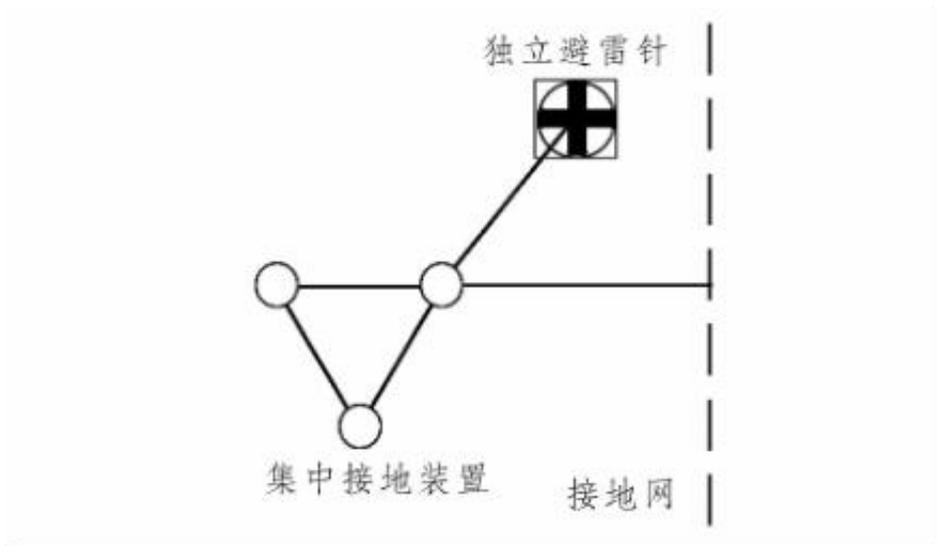


图3 独立避雷针接地布置图

(6) 储存罐的周边需要设立环形闭合接地设施（接地阻值不宜大于30 Ω ），储存罐的接地点需要大于或等于两个，接地点之间的距离不要超过40m；

(7) 人工接地网外缘应闭合，外缘各角应做成圆弧形，圆弧的半径不宜小于均压带间距的一半；

(8) 为便于施工，设计时垂直接地体的位置尽量避免与水平接地体的交接处重合。

3.4.2 对接地装置进行施工时的注意事项

(1) 接地扁钢埋深1.5m；

(2) 在接地线进入建筑入口的地方，需要设立标识。明铺的接地线，在其表面需要涂上1.5~10cm宽的绿、黄条纹；

(3) 无法维持正常电气接触的阀门、法兰、弯头等连接件也需要使用跨接的方法，接地方法中所使用的圆钢，其半径不得小于4mm；

(4) 金属罐罐体钢板的接缝、罐顶与罐体之间以及所有管、阀与罐体之间应保证可靠的电气连接；

(5) 接地设备的周边道路或入口，需要设立帽檐式的均压带，同时在路面上铺设砾石或沥青；

(6) 为了避免接地线遭到机械的损害，需要在接地线与电线管路以及其他会导致接地线受到机械破坏的地方，都需要使用管子或角钢进行保护；

(7) 管道及金属桥台应在其始端、末端、分支处以及每隔50m处设防静电接地，鹤管应在两端接地；

(8) 净距小于100mm的平行或交叉管道，应每隔20m用金属线跨接。

3.5 防火封堵

因为氢气的密度与空气相比而言较小，并且其扩散的速度较快，如果出现氢气泄露的事故极易聚集在设备、容器、房屋的顶部。纯氢气具有在空气当中遇火会燃烧甚至爆炸的风险；当氢气与空气的混合比到达一定程度时，遇火也可能引发爆炸。因此，除执行安全操作外，发电厂做好有效的防火措施至关重要。

需要对电缆通道进行防火封堵的部位如下：

- (1) 各类表盘与配电屏的电缆孔洞及各层楼板的电缆留孔；
- (2) 辅助车间内部电缆通道通向厂区的所有接口；
- (3) 各辅助车间的电缆进入表盘的洞孔；
- (4) 厂区电缆沟道和隧道直线段不大于100m为一个防火分隔点；
- (5) 厂区大型排管的人孔井的管口；
- (6) 厂区电缆构筑物中的高压电缆中间接头和终端头等。

依据上述的规定，制氢站的范围内必须开展封堵的位置有：线缆沟贯穿房屋外墙的洞口、柜底线缆出入口。

因阻火包有着较差的烟密性，浸水之后其防火功能会失效，所以，从安全性与稳定性的角度出发，可以采用阻火包、防火泥、矿棉等一同进行封堵。柜底的线缆出入口需要采用防火涂层板进行封堵，其表面有着一定厚度的防火涂层，间隙处使用防火密封胶进行封堵。为了确保防火涂层板的稳定性，在其下方常采用圆钢进行支持与巩固。

4结论

氢气冷却性良好，同时又是燃点低易爆炸的气体。因而，制氢站设计者要对氢气的性质完全了解，所有的设计思路都要围绕安全这一原则。在首要考虑留出足够安全范围的基础上，再通过减少导线和埋砂进一步增大安全性，最后再选择能在安全范围内能有效工作的电气设备，以保证制氢装置在安全范围内有效可靠发挥其作用。在此设计思路的基础上再去考虑诸如造价、效率、能耗才有意义。

参考文献：

- [1]王立国.发电厂氢系统着火爆炸的防止对策[J].电力安全技术, 2011, 3(5).
- [2]穆冬梅.氢冷发电机供氢系统方案选择[J].中国电力, 2011, 34(6).
- [3]余浩.火电厂供氢系统方案选择[J], 电力勘测设计, 2018, 12(6).

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/156067.html>