

铜材接地网的危害

国网电科院 [武汉 430074]

陈健生 [教授级高工]

Copper Grounding Conductor Caused Harm

State Grid Electric power Research Institute Chen Jian Sheng

摘要: 该文论述如何选择电力接地网的材料,对铜接地网存在的危害论证。通过引证美国标准,试验报告及使用经验;阴极保护防腐机理分析;各地接地网的使用试验;中国及外国对土壤水质铜含量的限制;论述铜接地网的危害。铜材接地网最大危害是将对地网附近混凝土钢构架,地下电缆及管道造成严重阳极腐蚀,由于大量铜材埋在地下,将对附近土壤水质造成严重环境污染,如用铜接地网还要采用复杂的防腐措施保护构架钢材。中国使用钢材接地网已有数十年成功经验,不能重复国外走过的弯路。

关键词: 铜接地网 铁接地网 阳极腐蚀 阴极保护 钢铁腐蚀 环境污染 铜含量

Abstract: This article discusses how to choose material of electric power grounding, and copper existent concealed harm from argument .Pass to cite proof American standard, experiment a report and use experience; The cathode protection antiseptic theory is analytical; Connect grounding grid usage of experiment everywhere; China and foreign country are to the restriction of soil fluid matter copper content; Discuss the copper grounding existent concealed harm; The biggest concealed harm is bring serious anode corrosion to ground the frame, underground electric cable, pipe, and the concrete steel with nearby copper grounding. Due to a large number of copper buried in the ground, the soil near the water will cause serious environmental pollution, such as copper grounding grids also the use of complex measures to protect anti-corrosion steel framework. Grounding grid of steel used in China for decades successful experience in the past can not repeat detour abroad.

一. 引言

近几年来,各地在500kv电力接地网中较多使用铜材,用铜材接地网未经严格论证,如果使用铜材缺乏全面正确的了解和论证,必将对变电站和环境污染带来严重危害、下面从五方面发表个人看法,以供参考:一,国外对接地材料尽量少用铜材;二,铜材接地网对附近构架钢材造成严重腐蚀;三,铜材在酸性土壤中防腐性比铁差;四。铜材接地网对阴极保护造成困扰:五,重视铜接地网对水资源土壤的污染。

二, 国外对接地材料尽量少用铜材

中国各地采用铜材接地网的重要理由是:国外都用铜材做接地网。其实欧州德国,俄罗斯等都用钢材接地网,仅美国日本等国使用铜材接地网。这是50年前的事,当时对铜接地网附近混凝土中钢筋阳极腐蚀还未发现,。后来发现铜地网邻近的构架钢筋和钢材腐蚀严重,其原因是铜地网对邻近钢材的阳极腐蚀。30年前的美国 IEEE Std 142{文献 1}及 IEEE Std 80{文献 2}号标准,就对用铜材做接地网进行了很多限制,规定铜材接地网只能用于独立分开的接地网,如邻近钢构架及混凝土最好用钢材接地网,或者对构架钢材采取可靠的阴极保护措施{文献 14}。1991年6月27日出版的美 国 IEEE 142—1991号标准,对接地材料又进一步做了重大修改,建议用不锈钢做接地网的材料。美国 EC&M 在2001年资料中谈到{文献 4}:按照美国标准,铜包钢不是接地材料最好的选择。美国 Franek 公司也提到{文献 5}:用硬钢管作

接地网材料是最好的选择。

其实我国早几年出现这类隐患,据说福达早期 500kv 变电站用铜接地网运行多年后,发现邻近钢材加速腐蚀。我国结构工程师设计构架,构架按规程设计没错,电力工程师设计接地网,互不相干,由于电力工程师设计铜接地网,影响构架加速腐烂,殃及池鱼。我国也有部份工程师提醒过此问题,中科院电工研究所马宏达在“关于防雷接地探讨”中就提出过{文献 17}:“西方国家现在都已改用钢管做接地体了,我们还在宣传用铜做接地体,”同时提出:“要注意接地措施导致的环境污染问题和对附近钢铁构筑物的腐蚀效应问题”。在电力自动化产品信息网中文章“变电站接地系统设计研究”中谈到{文献 18}:“特别说明,铜接地网与变电站混凝土基础内的钢筋,地下的钢管和钢构件会产生电腐蚀,需要采用比较昂贵的阴极保护措施{文献 14},否则会产生相互关联的事故”。

据查证;俄罗斯,德国欧洲很多国家都使用钢材接地网,而不是铜材接地网。根据美国文献 6 的资料;中国,德国,俄罗斯使用钢材接地网已有数十年历史,且取得良好效果。据文献 9《钢材接地网》表明;钢材接地网能迅速被全世界采用,原因如下;1. 钢比铜便宜很多;2. 能减少不同金属的化学电池影响,特别是对铜材;3. 能保护钢结构不受腐蚀;4. 在与铜相同截面时,钢比铜超过两倍的机械强度;5. 在相同体积时,钢的吸热量是铜的 1.36 倍,并能承受更高的熔化温度,钢 1510 度,铜 1083 度,6. 铜用作接地网时,将与埋于地下的邻近钢材管道,管线,钢筋等形成化学电池,对钢材加速腐蚀;7. 根据文献 6 的论证;既使对附近钢材采取阴极保护措施,由于铜接地网的存在,使阴极保护措施变得很坏,效果很差。根据美国国家电气法规 NEC 规定,并没有要求使用铜材接地网,仅要求使用“永久的”金属接地棒及导体用于接地联接。

根据以上论述,国外用铜做接地网是 50 年前部份国家的事,由于发现铜接地网对邻近钢构架的腐蚀问题,就已对铜接地网的使用在标准中进行了限制,1991 年美国 IEEE 标准更推荐了用不锈钢做接地网。2002 年美国已编有“钢接地网设计导则”{文献 11},并对变电站铁接地网进行阴极保护{文献 12, 13}。因而国外对接地网的选材不是大量采用铜接地网,而是尽量少用铜接地网,大量采用钢材接地网。其实我国使用钢材接地网已有 60 年经验,并发展了涂料防腐技术{文献 15},不能再走 50 年前美国等少数国家采用铜接地网走过的弯路。

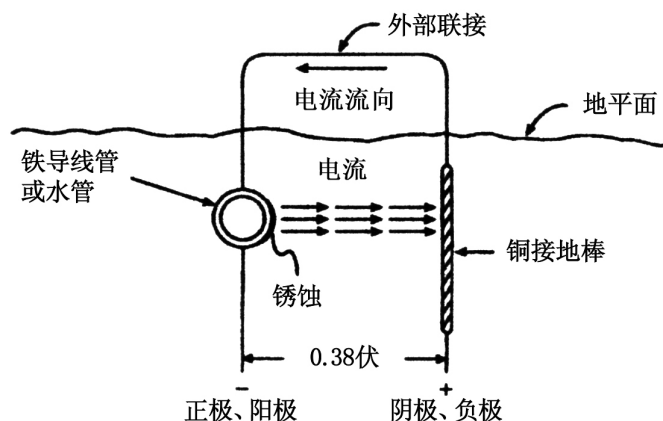
三、钢材接地网对邻近构架钢材造成严重腐蚀

防腐技术中一项重大技术措施是“阴极保护防腐”,也称“牺牲阳极保护”。任何金属材料都有其固有的电极电势,一般用电极电势 E_q 低的全金属做牺牲阳极,保护阴极上电极电势高的金属,形成腐蚀电池,腐蚀阳极上金属,保护阴极上金属。锌的电极电势 $E_q = -0.7618v$, 铁 $E_q = -0.447v$ 铜 $E_q = 0.3419v$ 锌的电极电势比铁低,比铜更低,因而锌可作牺牲阳极保护铁和钢。如果用铜作接地网材料,而接地网附近有很多混凝土和钢构件及地下电缆管道等,这些钢材电极电势比铜低很多,结果形成铁为阳极,铜为阴极的腐蚀电池,其腐蚀电压为 0.75v,再加上构架上母线泄漏电流,经钢材流入地下铜接地网,又形成电解腐蚀。这时钢构架成为牺牲阳极,铜接地网成为被保护阴极,因而加速构架钢材和混凝土内钢筋及地下管道电缆的腐蚀,这就成为变电站的事故隐患。

30 年前美国 IEEE Std 80{文献 2 及 IEEE Std 142{文献 1}号标准中提出:如果用铜材作接地网,必需对邻近构架钢材钢筋采取有效措施防止腐蚀。美国对混凝土内钢筋的阴极保护很重视,有关这方面专利有数十件{文献 14}。美国 EC&M 谈到{文献 4}:铜接地网如果应用错误,能引起邻近构筑物严重腐蚀。美国 Franek 电气公司谈到:用铜作接地网材料,由于涉及到构架腐蚀,不得不考虑其危害。美国 IEEE Std. 80—2000 标准中{文献 2}第 11 章中提到:铜和铜包钢接地网与埋于地下的钢结构钢筋管道,电缆的铅包护套,形成化学电池体系,并将加速这些钢材管道电缆的腐蚀。必需采取可靠措施,如阴极保护,镀锌,绝缘套管等,保护邻近的

钢材管道电缆。也就是说：变电站采用铜接地网时，除了价格比铁贵 5 倍外，还要对变电站的地下钢材钢筋管道电缆等，采取复杂昂贵的保护措施。有人认为，在混凝土构架中，混凝土对钢筋有保护作用，事实上钢筋混凝土仍有部份导电性，有导电性就存在腐蚀，为了防止混凝土中钢筋腐蚀，国外有很多资料{文献 8}及专利。更严重的混凝土中钢筋腐蚀后，很难检测，将形成重大事故隐患。

根据美国标准 ANSI IEEE Std. 142-1991 {文献 1} 第 4 章第 4.5.5. 节的规定；由于两种不同金属电气接触形成化学电池而导致腐蚀，腐蚀的速率取决如下 5 种因素；a. 两金属的电位差，b. 两金属位置接近的比率，c. 电解质的电阻率，d. 环路系统电阻，e. 两电极间导体，构架，管道的杂散电流。用于接地网的铜材，是不易腐蚀的金属，但它能使地下钢铁金属与铜形成电气接触，而造成钢铁严重腐蚀。这些构件为地下管线，水管，建筑钢材，埋地铁箱，电缆铅包等。



附图显示铜与铁电气联接时形成化学电池的效果，铁可能是地下钢铁，管线，或水管，铜是接地网，外部联接可能是管线铁架，或通过接地网直接联接到管线。根据欧姆定律，通过土壤电解质形成环路，产生电流，此时电流从阳极铁离开进入土壤后，即对铁产生腐蚀。据试验：1 安培直流电流经过 1 年将腐蚀掉 20 磅重铁，75 磅重铅，26 磅重锌，如果环路电流加大，将有更多金属被腐蚀掉。两金属间电极电势及其间的电阻，决定其电流大小。根据金属电极电势表，金属在正极端时为阳极，这些金属将被腐蚀，金属在负极阴极端时是负值，这些金属将被保护，因此叫“阴极保护”“金属在阴极，它被保护，因而不腐蚀。有铜接地网存在时，铁在正极端被腐蚀，铜在负极端被保护。镀锌铁棒不用于接地网，因其上锌将很快被腐蚀掉，并露出铁，也将很快被腐蚀。根据文献 6 的测试及文献 10 的说明，如果铜接地网同其他金属，如黑铁，铸铁，可锻铁进行电气互联时，铁金属将成为铜的阴极保护消耗材料。因而铜是坏邻居，当铜接地网存在时，将对同时接地的其他铁金属加速腐蚀。

各地设计时仅简单提出可用铜材作接地网，因铜接地网对邻近钢构架及混凝土中钢筋管道电缆等，发生的严重腐蚀，并没有进行充分论证及采取有效保护措施，这就形成保护了接地网，损坏了构架钢材管道电缆。用铜材作接地网，必然对邻近构架钢材钢筋管道电缆产生严重腐蚀，如果不进行充分论证采取有效措施防止构架钢材管道电缆腐蚀，就断然大量采用铜材接地网，将对变电站产生严重危害，这些变电站都是 500kv 骨干站，且被腐蚀钢筋都在混凝土中，无法检查，其危害非常严重。

四、铜材在酸性土壤中防腐性比铁差

任何金属对不同介质都有不同的腐蚀性能，铜对碱性介质有较好的防腐性能，但对酸性介质防腐性能很差。铜在硫酸中就腐蚀非常快。地面土壤成份是复杂的，有碱性的也有酸性的，由于大气中的酸雨及土壤中植物腐烂，都形成酸性土壤。不能将铜在碱性土壤中比铁耐腐蚀

強三信,就推论到酸性土壤中比铁強三信。根据美国 ERICO 电气公司 2003 年 7 月 7 日提出的“电力接地网使用寿命技术报告”谈到{文献 3}: 该公司用纯度 99.94%的铜(代码 M)和纯度 99.93%的铜(代码 P),在 28 种不同土壤中,进行为期 8 年的耐腐蚀试验,用天平称重计标其腐蚀率,其试验结果如下表:

土壤编号	试验年数	M 年腐蚀量	P 年腐蚀量	M-P 平均年腐蚀重,OZ/ Ft2	每年腐蚀深度,Mils
1	8.1	0.06	0.063	0.0615	0.0000861
20	8.1	0.042	0.039	0.0405	0.0000567
3	8	0.027	0.029	0.028	0.0000392
8	8	0.024	0.019	0.0215	0.0000301
12	8	0.312	0.278	0.295	0.000413
13	8	0.023	0.031	0.027	0.0000378
14	8	0.04	0.025	0.0325	0.0000455
15	8	0.013	0.016	0.0145	0.0000203
16	8	0.057	0.058	0.0575	0.0000805
17	8	0.0037	0.04	0.0385	0.0000539
18	8	0.0076	0.0077	0.00765	0.00001075
19	8	0.039	0.04	0.0395	0.0000553
22	8	0.068	0.07	0.069	0.0000966
23	8	0.118	0.135	0.1265	0.0001771
25	8	0.012	0.011	0.0115	0.0000161
28	8	0.084	0.079	0.0815	0.0001141
33	8	0.137	0.117	0.127	0.0001778
34	8	0.016	0.022	0.019	0.0000266
35	8	0.017	0.016	0.0165	0.0000231
37	8	0.169	0.162	0.1655	0.0002317
38	8	0.025	0.043	0.034	0.0000476
40	8	0.125	0.168	0.1465	0.0002051
42	8	0.047	0.049	0.048	0.0000672
43	8	0.635	0.555	0.595	0.000837
44	8	0.079	0.061	0.07	0.000098
45	8	0.033	0.03	0.0315	0.0000441
4	7.9	0.019	0.019	0.019	0.0000266
32	7.9	0.049	0.018	0.0335	0.0000469

从上表中可看出: 腐蚀最严重的为 43 号土壤,年腐蚀率为 0.595 OZ/ Ft 2, 腐蚀最弱的为 25 号土壤,年腐蚀率为 0.0115 OZ/ Ft 2, 二者相差 50 倍。以上 28 种土壤年平均腐蚀深度为 0.000115 Mils,而腐蚀最严重的 43 号土壤,年腐蚀深度为 0.000833 Mils,比年平均腐蚀深度高出 7 倍,也就是在一般土壤中,铜接地网使用 30 年,在酸性土壤中使用寿命不到 5 年,因酸性土壤对铜的腐蚀比较严重。根据文献 6 的说明; 如果铜埋在地下,与其他金属构件绝缘没有电气联接时,铜仍然被腐蚀。在酸性土壤条件下,相同的环境土壤中,独立铜的腐蚀速度将更大于铁。所谓铜接地网耐腐蚀,实质上是牺牲腐蚀铁而保护了铜。

武汉大学 2001 年 10 月受凯文公司委托,对铜材,镀锌铁片,导电防腐涂料三者进行电解腐蚀试验{文献 16}。将三种试件: 导电防腐涂料涂刷铁片; 镀锌铁片; 紫铜片三者串联,置于 10%浓度硫酸中,用 6 伏直流恒定电压进行电解腐蚀试验。通电三小时后,将试件清洗干燥,用

分析天平称重。试验结果,三者电解腐蚀率:铜片 571 g/m².h, 镀锌铁片 575 g/m².h, 导电防腐涂料铁片 34 g/m².h。以上试验证明:在硫酸中电解腐蚀,铜片铁片相同,铜材不耐酸性腐蚀,如果用导电防腐涂料将铁片涂刷后,其耐硫酸腐蚀是铜的十七倍。

通过上述论证,铜接地网并非在所有土壤中比铁强,在酸性土壤中,铜比铁更易腐蚀,如果对铁采用导电防腐涂料涂刷,比直接用铜有非常优良的防腐性能。

五. 铜材接地网对阴极保护造成困扰

美国德克萨斯州 ELK 公司{文献 6}对铜材接地网影响地下钢铁构件阴极保护的效果进行过试验。检测在如下三个不同铜接地网系统进行; 1. 飞机设备维修工厂的阴极保护及标准的铜接地网。 2. 煤气油料生产设备的阴极保护及其大面积的裸铜材接地网。 3. 大型火力发电厂 1960 年后建立的标准裸铜材接地网。根据上述三个案例检测, 结论如下; 在土壤环境下的钢铁构件及管线, 由于铜接地网的存在, 形成不同金属的互联, 将导致钢铁件腐蚀速度的明显加快。当黑铁, 铸铁, 可锻铁通过土壤导电联接到铜, 黄铜, 铜包钢等接地网时, 即形成非常有效的腐蚀电池。铜对于所有构件的铁材料就是正电子。在此状况下, 铜对所有铁构件不容易极化。因此, 当铁构件在土壤中直接偶合到裸铜接地网时, 所有铁构件即加速被腐蚀。阴极保护通常用于电厂, 变电站, 工厂设备等的地下部份, 防止腐蚀的常用办法。对地下铁构件, 除了用涂料外, 还采用阴极保护的复合方式, 此时形成最小的阴极保护需求电流及低廉的锈蚀保护系统。如果不用钢材接地网, 而采用铜材接地网时, 此时阴极保护系统急速变坏, 或者失效, 此时阴极保护需求电流将增加数倍原定值, 在阴极保护工程设计及电力安全设计中, 将造成很多设计矛盾。当有铜材接地网时, 将形成非常大的负载电流, 加载在阴极保护系统中。在实例中, 阴极保护加压电流系统, 将增加原电流值 90% 以上的电流输出。在地下铁构件管线与铜接地网之间, 形成强大的伏打电池偶合, 阴极保护电流系统将增加大量电流输出, 或停止工作, 此时地下钢铁构件, 将快速被腐蚀。铜是坏邻居, 用铜材接地网时, 铜对铁构件不容易极化, 要使铜极化保护铁构件, 必须对单位面积的电动电势提高 10—20 倍的铁极化电势。这样处理, 非常困难, 唯一可行的办法是拆除原有的铜接地网, 改成不锈钢或铁接地网。

六, 重视铜接地网对水资源土壤的污染

环境污染是关系一个国家长远发展和子孙后代的事, 中国和国外对此都非常重视。全世界对水资源土壤中铜的含量都有严格的控制, 而对铁则没有规定, 也就是说, 对铁的使用是开放的, 对铜的使用是有限制的。当大量铜接地网布满中国各地时, 再来讨论铜接地网对环境污染, 就已经来不及了, 从现在起, 电力行业专家们就应关心重视此事。

铜属微毒类, 微量对人体有益, 过量对人体有害。铜在土中以化合物方式出现, 铜盐使人中毒发生流涎, 恶心, 呕吐, 腹痛, 严重者有头痛, 心跳迟缓, 呼吸困难。铜被腐蚀后可积累在土壤中, 土壤中的腐植酸等, 能与铜形成螯合物而固定铜。铜在水资源土壤及食品中, 与其他重金属镉, 汞, 铅, 铬, 砷等一样受到严格限量: 铜在饮用水中限量为 1.0 mg/L{文献 21}, 铜在农用水中限量为 1.0 mg/L{文献 22}, 铜在土壤中限量为 100—400 mg/kg{文献 20}, 铜在农作物中限量为 10—20 mg/kg{文献 25}, 铜在农作污泥污染物限量为 250—500 mg/kg{文献 23, 24}, 国外都有此相似的限制{文献 26, 27}。既然国家对水资源土壤中铜含量都有严格限制, 电力工业就无权将大量铜埋入地下对水资源土壤造成污染, 这是国家的未来, 这是环境保护的红线, 不能先斩后奏。

七, 结束语

铜材接地网存在很多问题, 关键是对附近构架中的钢材产生严重腐蚀, 对变电站带来严重

危害,国外早已重视此问题,仅美国等用铜材接地网,欧洲德国、俄罗斯都用钢铁接地网。大量铜材埋在地下,对水资源土壤造成严重污染,国家对水资源土壤农作物中铜含量都有严格限制。铜接地网仅在碱性土中防腐蚀性性能比铁好,铜在酸性土中防腐蚀性性能比铁差,盲目使用将带来危害。国外用铜材接地网是50年前的事,美国现有限制使用铜接地网,推荐大量用铁接地网。国外过去用铜材接地网的国家,很多都改用钢铁接地网了。铜材价格比铁高五倍,铜是战略物资,我国是缺铜国家。我国使用铁接地网已有60年经验,近十年又发展很好的导电防腐涂料技术,比铜耐腐蚀高三倍。我国不能重复美国50年前用铜接地网走过的弯路,限制铜材接地网的使用,对电网安全,环保,节约都有利。

Reference :

1. ANSI IEEE Standard 142—1991 “ Recommended Practice for Grounding of Industrial And Commercial Power Systems “ 1991, Chapter 4 P.P.133-136 P.P.139-141
2. ANSI IEEE Standard 80—2000 “ Guide for Safety in AC Substation Grounding “ 2000, Chapter 11.2 ,P.P.46—48,
3. American ERICO Inc. July 7, 2003 ”A Technical Report on The Service Life of Ground Rod Electrode “ { Address; ERICO Inc. 34600 Solon Road, Solon, OH 44139, USA }。
4. American EC&M January 1, 2001 “IEEE Standard 142: Foundation for Grounding”
5. American Franek Electrical Co.。 {Check , September 2007 }
6. American ELK Inc. “The conflict between copper grounding systems and cathodic protection systems “.
7. American ELK Inc. “Electrical grounding and cathodic protection Issues in large generating stations “.
8. Publication No 00-081 “ Materials and methods for corrosion control of reinforced and prestressed concrete structures in new construction “.
9. American January 29,2009 “ Steel as ground material “.
10. American Lightning protection information: “Tower corrosion protection “.
11. Colorado USA : “Steel grounding design guide and application notes “. May 2002.
12. IEEE 1985. “ A cathodic protected electrical substation ground grid “.
13. American BA, Co, “ Corrosion and cathodic protection theory.”,
14. American Patent: ”Method of Installing a Cathode Protection System for a Steel-reinforced Concrete Structure “ Patent Number: USPAT 4900410
15. <Chinese Electric Power > Issue 11s. 1997 “The conductive antiseptic coating for the grounding conductor. “ wuhan High-Voltage Research Institute. Chen Jian Sheng.
16. The data of Kevin Science &Technology Inc. in the ShenZhen China. < Website www.500kv net > October 2001 “ The conductive antiseptic coating experiment report. “ The Wuhan University.
17. Ma Hong Da. China Electrical Engineering Research Institute. “The grounding for lightning protection.”.
- 18., www.EPAPI.com “ The substation grounding grid system design.”.
19. Liu Lian Rui. China North Electrical Co. “ The corrosion protection research for substation grounding conductor. “
20. China Standard GB15618—1995 <土壤环境质量标准> < Quality standard of the soil environment.>.
21. China Standard GB5749—85 <生活饮用水水质标准> < A life drinking water fluid matter

- standard. >.
- 22, China Standard GB5048—92 <农田灌溉水质标准> < Farmland irrigation water standard. >
 - 23, China Standard GB4284—84 <农用污泥污染物控制标准> < Agricultures use dirty mire pollutant a control standard. >.
 - 24, China Standard GB18918—2002 <城镇污水处理厂污染物排放标准> < Exhaustion standard of the factory pollutant of town wastewater treatment.>.
 - 25, China Standard GB15199—1994 <食品中铜限量卫生标准> < Copper capacity hygiene standard in foods >.
 - 26, American Environmental Bureau EPA—40CFR 503 partial <The American living creature dirty mire produce an usage and treatment a report > “
 - 27, The EU : EU 86 /278 Standard

作者简介: 陈健生,1931 年生,男,东北大学电力系毕业,退休前武汉高压研究院研究员(教授级高工),硕士生导师,主研超高压带电作业及电力工程设计运行。国家政府津贴,前为中国电机学会高级会员,任过国际电工委员会 78 分会工作组成员,四次出席 IEC TC78 国际会议,任过国家标准局带电作业标委会委员秘书长,现退休住美国。

联系电话: 美国 001-212-860-7603

E-mail : chen864@gmail.com 中国通信地址: 518052 深圳市 南山区 南新路 3002 号
苏豪名厦 25 楼 D2 室转 陈健生 收