

科研資料選編

超 高 压 输 变 电 工 频 电 场 对 生 态 的 影 响 专 辑

武汉医学院卫生系
武 汉 供 电 局
水电部武汉高压所

一九八二年五月

前 言

为适应四化建设的需要,我国第一条500KV超高压输变电线路(平武线)已开始运行。随着建设事业的发展,将会出现更高的运行电压。过去国内未进行过高压电场对机体影响的研究,从劳动保护观点出发,电力部门迫切需要获得这方面的科研资料,以便制订超高压线路与变电站允许场强标准。为此在水电部、卫生部及湖北省电力局的大力支持下,由水电部武汉高压所、武汉供电局、武汉医学院劳卫职业病学教研室共同组成了科研协作组,开展了此项科研工作。现将一年多来的科研总结,结合综述及有关的主要译文、文摘汇编成册,供同道者参考。由于时间仓促,水平有限,难免有错漏之处,敬请批评指正。

目 录

综 述

- 对进行工频(50 赫)强电场的生态影响科学试验的一点看法..... 张邦远 (1)
工频(50 赫) 500 千伏超高压输电线路电场对机体的影响及其防护措施..... 黄方经 (4)

论 文

- 高压电场实验装置及其应用..... 黄方经 章孟本 (10)
工频场强表的研制..... 周翠城 蔡爱娇 蒋 虹 (15)
电场对生物的影响..... 董胜璋 (25)
高压电作业人员健康检查报告..... 章孟本 (31)
高压电作业人员脑血流图探讨..... 刘克俭 (36)
高压电磁场对人和动物心电图影响的探讨..... 毛福英 李尉尉 (40)
高压电作业工人血液中电解质影响的初步探讨..... 彭开良 穆雅莹 (43)

译 文

- 意大利 ENEL 电气试验研究所对高压电场的研究 (46)
对小动物进行 50 赫高场强暴露试验装置的设计和建造 (52)
小猪 60 赫电场生物效应的暴露试验设备(节译) (58)
对电力工业中职业性接触高压电场的工人进行流行病学研究的可能性(节译)..... (64)
在每日短时间辐射下低频电场对机体的影响..... (70)
低频电场(50赫)对机体功能状态的影响..... (73)

文 摘

- 对魁北克水电站从事 735 千伏电力传输系统电维修工人健康情况的研究..... (76)
长期接触电场..... (77)
Bonneville 电力局高压电作业工人的职业健康研究..... (78)
多伦多大学关于加拿大安大略省维修高压设备和输电线路人员健康的流行病学研究... (79)
超低频电磁场的生物效应..... (80)
关于电场生物学效应的流行病学调查方案..... (81)

对进行工频(50HZ)强电场的生态 影响科学试验的一点看法

张邦远

(武汉供电局)

1980年12月,《电力技术》发表了国际大电网(CIGRE)会议公报,文中提到:由于对电场影响问题进行了广泛深入的国际合作性研究,目前已取得原则上一致意见,与会专家们其中包括苏联专家都同意:“现有高压线下的电场对人体无害”;“过去对电场的危险影响作了过高的估计”;“对电场临界值的规定(即不得超越的界线)应远高于现有的电场,因而有很大的安全阀限”。

这篇公报的发表,在国内引起了争论,有的人认为:国际大电网已公开发表了“现有高压线下的电场对人体无害”的公报,因此可不必担心电场的影响问题了,也不必再研究电场对人体的影响问题了。而有的人则认为:应该进行冷静的思考而不要搞文字上的游戏,文件中只提“现有高压线下的场强对人体无害”,却未提“强电场对人体无害”。况且,电场对人体无害不应仅限于高压线下。再且,苏联于1972年国际大电网会议中提到500KV变电站值班工是在较长时期中停留在较高场强情况下,巡视高压配电装置而出现神经、心血管系统疾患以及轻微的血象变化,从而他们规定了场强的允许值,这是主要根据工人的主观感觉而提出的,是欠科学的一个极限值,就这方面说,公报中提“现有高压线下的电场对人体无害”是不全面的。

该公报一方面认为“现有高压线下电场对人无害”,另一方面认为“对电场的临界值的规定(即不得超越的界限)应远高于现在的电场因而有很大的安全阀限”。这说明还是承认电场对人体有害,只是在现有高压线下的地面场强不大,而不致对人产生有害影响而已。

尽管人们对CIGRE科研机构发表的公报,在见解上有分歧。但毕竟,此文件对于那些过于担心电场对人体可能产生危害作用、因而反对架设超高压线路的舆论来说,起了缓和作用,解除了人们思想上不必要的顾虑并解决了为此而引起的纠纷。

但仅仅满足于这样解决问题是不够的,下面仅就国际上有关电场对生物影响的研究概况并结合我国情况,谈谈个人对进行这方面研究的一点看法。

苏联自1972年KcrobKova、Asanova等发表“电场对人体有直接影响”的论文以来,相继作了许多研究工作。如列宁格勒劳动卫生研究所对300名以上成年人在5~20KV/m电场中进行了试验,结果表明电场对中枢神经系统并未引起任何功能影响,但发现血液形态学有变化。结论是1,500KV变电所的电场对人体有一定影响。2,电场对人体影响的程度,可以用电场强度值(E)来估价,当 $E \leq 5KV/m$ 时,电场对人体没有影响。3,在变电所中的电场,超过这个临界值时,需加屏蔽装置。在此研究基础上,苏联制定了“在交流400,500和750KV输电线和变电所工作的劳保条例”的卫生法规。其中规定:场强临界值为5KV/m。

在 $E \leq 5 \text{KV/m}$ 为无影响区; $E \geq 5 \text{KV/m} \sim 25 \text{KV/m}$ 为有影响区, 并规定在 $E > 25 \text{KV/m}$ 区工作时, 一定要有防护措施。

1977年, 苏联 *KazaRaH* 等用 200 只大鼠分别暴露于 $1 \sim 15 \text{KV/m}$ 的场强中, 每天暴露 2 小时。作用 4 个月后发现 7KV/m 和 15KV/m 场强组动物有某些不良影响如: 体重、活动能力、反射潜伏时、拮抗肌时值, 生化指标 (血胆碱酯酶、血糖、血尿素氮等)、甲状腺功能, 血液成分以及器官组织微量元素 (铁、铜、铜等) 的分布和平衡有改变。这种改变随电场强度的增加而更趋明显。

西班牙 *Fole* 报导说, 有 8~9 个变电站工人被转移到 500KV 变电站工作, 他们在新变电站中有几个工人反映有头痛、嗜睡、恶心、疲劳等症状。而西班牙的 *N·马尔森保* 医生对 76 名带电作业工人进行体检的结果, 并未发现他们的健康有任何影响, 仅工人主诉有头昏眼冒金花、全身无力、食欲不振, 恶心、呕吐和睡眠不安等现象。他的结论是: 电磁场对工人没有产生永久性的病理影响, 因为并未发现生物化学方面的变化。但他又指出: “我们不要忘记, 正如我们原先提出过的, 我们的超高压只有 400KV”。

美国的 *W·戈文浩* 文于 1962 年开始的对电力系统 765KV 线路上进行等电位作业或间接作业、工龄达 18~28 年的 10 名工人所进行的历时九年的医学跟踪研究, 结论是: 10 名工人的健康并未遭受电场的影响。

美国的一个海军基地, 对 $45 \sim 75 \text{HZ}$ 的电磁场效应, 作了大量的研究, 研究项目包括: 遗传和染色体畸变, 生育率与性行为、人体主要器官的生理和功能等共 15 项。研究地点分布在 35 个不同地区, 共进行了七年迄今尚不能对工频电磁对生物的影响下结论。至于对“在高压线下生活, 我们终将变成小矮人”的舆论, 究竟是否由于电场引起, 尚须进行分析性的研究。

美国还有一些学者如 *Marino* 和 *Barger* 等认为电场对动物的影响与频率关系很大。高频电磁场的生物效应已很清楚了, 但低频电磁场对人类是否有不良影响, 尚须作刻入研究。

美国 *A·C 法格罗德* 说: 美国 500KV 变电所和高压线已运行多年, 并未听说有什么申诉; 但他又说: “我们强烈地感到在超高压和特高压环境中, 电场对人的不良影响的研究应该继续下去”。

日本的福冈次尼认为: 日本在设计 500KV 线路时, 在距地 1 米处, 只允许有 3KV/m 场强值, 因带电部分对地距离较大, 所以不考虑研究电场的影响问题, 并认为导电靴和全屏蔽服的使用对防护电场影响是有效的。

德国的 *J·博特* 说: “我们 380KV 线路已运行了 15 年、220KV 线路运行了 43 年, 个别地方场强略高于 5KV/m , 但未听到工人有什么不良影响的反映。然而, 在更高的电压等级运行时, 对这个问题 (电场) 进行详细的研究是明智的。为了使这种研究可以互相观摩, 我们有兴趣从作者那里得到关于场强对人体影响的测量方法和过程的详情”。

德国的 *H·辛格* 尔使被试者 45' 在 0 电场中, 45' 在 15KV/m 电场中, 然后又在 0 电场中, 反复循环试验并测量被试者的心电图、脑电图、血压、脉搏等, 没有发现任何明显的变化。只是在电场中反应时间延长了。最后他也认为还需要对更多的人花更长的时间来进行研究。

德国 *R·浩夫* 教授在实验室中用模拟 50HZ 电磁场, $E = 20 \text{KV/m}$ 、 $B = 0.3$ 毫高斯 (磁场), 通过人体的位移电流为 $200 \mu\text{A}$, 对平均年龄 25 岁左右的男女大学生志愿者 100 名每 10 人一组进行试验, 结果是: 1, 反应时间长短与电场作用无关; 2, 血液成分仅嗜中性白

细胞和网织细胞有所增加,但仍在生理范围内;3;胆固醇、三酸甘油酯波动在1%~3%范围内,不能说明有显著变化;4,心电图、脑电图、血压等均无显著变化。最后他说:“所有的问题离完全解决为时尚远,为了有利于保护环境,绝对有必要加强对电磁场生物影响的研究工作”。

意大利D·卡尔梯尼和C·马拉奇梯认为:意大利目前运行的最高电压是420KV,未发现有任何有害或烦恼的申诉。但由于:1,要进行更高等级的超高压设备,必将出现更高的场强;2,受“电场对人体有影响”的舆论影响和3,要引进在高压线路上带电作业的技术。因此,有必要进行电场对生物影响的科学研究,他们的研究已于1971年开始,并已纳入意大利《1000KV规划》的研究课题中。

许多国际包括:德国、加拿大、法国、意大利、瑞典和英国等都有电场影响的研究计划。各国的电力研究部门都希望建立国际情报交流,以避免不必要的重复研究;并鼓励各地区努力研究电场的作用问题。

以上所列例子说明:电磁场对生物可能产生影响的问题已引起各国的普遍重视。就目前所观察到的生物生理效应来说,似乎是不大的,而大多数文献倾向于没有影响,即使有影响也属生理性的,是可逆的。但是,目前说明没有影响的实验并不是很充分和令人信服的,有的学者指出,目前许多试验由于忽略了总的环境因素,使人很难分清到底什么因素产生生理效应,因而使这些研究带有许多局限性。许多学者主张,应制订一个统一的研究规划,严格控制试验条件,从医学、环境、工程等方面进行综合观察,以便更好地了解 and 估价不致引起生物效应的最高场强到底是多少。这一主张充分说明,关于电磁场对生物机体的影响问题,是一个极待研究的课题。正如德国R.洁夫教授在结论中所说的:“离完全解决问题的目标尚远”。这是问题的一个方面。

另一方面,从目前国内外提高运行电压的动向来看,就国际上来说,当前500KV和750KV的超高压输电线路在国外已相当发达;有的国家并计划向1000KV、1200KV和1500KV特高压发展。根据计算和测量,国外运行的500KV、750KV高压配电装置下方的场强值分别为5~14KV/m和6~20KV/m。但随着特高压输电的发展,势必出现更高的场强值。

就国内情况说,我国超高压运行电压为220KV和330KV。国内不少地区进行了场强测量,从数据来看,大部分地区的场强值小于5KV/m。而我们在330KV刘家峡水电站和汤峪、秦安两变电所进行的测定,其场强值为3~8KV/m,最大值达13~14KV/m;在220KV马口、关山两变电所分别测定其场强值为3~6KV/m,最大值达11.5KV/m。目前,500KV超高压线路已投入运行,其地面场强值对人体和生态是否会产生影响,尚是一个未知数。

国内关于强电场对生物影响的研究,才开始不久。近几年,从我们(包括武汉高压研究所、武汉供电局和武汉医学院)进行的试验结果来看,对电场的生物效应问题目前尚不能轻易地下结论,仍需要进行更深入的研究。实践证明:正确的结论应是建立在自己可靠的科学试验基础之上的。此项科研任务,不仅不应削弱;相反,随着我国四化建设的需要,必须加强这一课题的研究工作,以适应电力发展的需要。

(参考文献 略)

(董胜璋协助整理)

工频(50赫)500千伏超高压输电线路电场 对机体的影响及其防护措施

黄方经

武汉医学院卫生系劳动卫生学教研室

关于交流电场对人体影响的医学研究是从一九六二年开始的,一般认为场强相同时,频率高则对人类可能造成严重危害。而对工频(50赫)则认为没有测量意义^[1]。自从一九七二年国际大电网会议时,苏联 Korobkova(1972)^[2]提出了经常暴露在电场中的工作人员出现神经系统与心血管疾患以及一些轻微的血象变化。并规定了暴露电场的极限值和暴露时间引起了各种争论^[3]。目前,各国学者对电场的影响研究范围已经从人体扩展到生物界,甚至对微生物是否有影响也进行了研究^{[3][4]},但看法仍不一致。

随着工业发展对电能的需要。除了扩建电力设备外,必须不断提高运行电压。国外正计划向 1200KV 超高压发展^[5]。根据计算 220、500、750KV 架空线路下面的电场强度分别为(2.2—2.6)、(5—3)、(7.5—3)KV/M(千伏/米)。这比晴天时自然电场强度 0.1~0.15KV/M 大几十倍^[6],所以对高压输电设备所产生的电磁场对生物,特别是对变电站的工人与带电作业人员是否产生影响的问题,越来越关心了。现将近来各家研究结果概述如下:

一、对人体的影响

美国 Kouwenhoven(1967)^{[1][6][7]}从一九六二年起对美国电力系统 10 名工人作追踪研究 9 年,进行 7 次严格的体检,还作血象及血生化研究,对肝、肾、甲状腺等功能试验,并测定磷酸钙、葡萄糖、胆固醇、全蛋白、白蛋白等方面的测定,记录睡眠的深熟程度、听力检查,胸部和手部 X 光照片、测定精子的数日,但没有发现任何异常。

法国 Strumza^[4]将可能因高压输电线对人健康的影响作 3 $\frac{9}{12}$ 年的研究,调查了居住在 200~400KV 高压设备附近的 70 名工作人员及家属,和居住在远离高压设备 125 米以外的 74 户人家,总共 525 人的生活医疗条件基本相同,分析其病历、就诊次数与用药量方面没有发现区别。

苏联 Asanova(1967)^[2]调查结果指出经常暴露在 400 和 500KV 变电站工作人员有神经系统症状、食欲不振、性机能减退、脉搏加快、血压偏高、以及血象及生物生理指标的某些变化。Думанский(1977年)^[8]认为场强 15—16KV/M 时,大多数受试者主诉颈部和枕部有轻度与明显疼痛感、疲乏感、食欲减退等。

西班牙 Folc(1972)^[6]研究 400KV 高压线路工作十余年的 3 名工人,发现有头昏、脑胀、眼花、无力、食欲不振、呕吐、睡眠障碍等,其电场强度相当于 13KV/M。

以上各家调查情况出入很大,可能数目太少,而且很多是凭个人主观感觉,很难排除其他因素的影响。

西德 Hlauf(1973年)^[7]在模拟实验室中 50 周交流电场($E=20KV/M$)和磁场($B=0.3$ 高斯)对志愿人员平均 25 岁的男女大学生进行实验,实验前经过体检排除个人因素,试验时静坐,脚踏地,自由阅读,电磁场的开闭皆系自动化,室温 $22^{\circ}C$,相对湿度 50%,每次试验都在一天的同一时间进行持续 3 小时。结果:血象变化在正常范围,心电图、脑电图、脉率、血压等皆正常。胆固醇、三酸甘油脂,也在正常变动范围内,故认为在工频(50周)电磁场下,对人体没有任何有害的作用。

而德国一位电气工程师 Egon Eckert^[27]以忧虑的心情观察到,在德国每年有数千婴儿不知原因的突然死亡。后来 Egon Ecker 发现,这些突然死亡的婴儿都是住在电气铁路附近,以及无线电或广播站与雷达或高压线路附近。

此外,本世纪以来所进行的一系列研究清楚地说明,大气中的电离作用产生阳离子或阴离子。一般说来,二者的数量是相等的。但是由于各种因素,使其比例发生变化,电气设备就是一种会“吞噬”阴离子,而瀑布与海浪喷洒出来的水珠、穿过松林的风以及地球的天然射线等会产生阴离子。问题在于随着人类生活日益现代化,大气中丧失阴离子也就越来越多,许多实验已证明,丧失阴离子对人类生活的影响、意义重大,人类和动物没有阴离子就不能生存。例如,如果将动物置于没有阴离子的大气中,2—8天之内就会死亡。阴离子对空气中氧气、病毒和细菌的产生,以及机体的电磁水平都起作用。而且,氧气需要通过阴离子的作用才能吸附于血红蛋白上。所以,预示暴风雨即将来临的天气,会引起人体不适,因为暴风雨来临之前,大气中的阳离子就会过多。当暴风雨降临时,而产生了大量的阴离子,使人感到舒适。城市居民喜欢到农村,你们寻求的不是氧而是人们呼吸所不可缺少的阴离子,阴离子的数量减少,就会导致机体患病。

但 Eismann^[3]在自愿受试者中,通过人体 200 微安电流(相当于人体在高压线附近的电场中的电流值)的人员进行试验,也没有发现什么改变。

第二次预防电场危害国际会议上^[4],Phillipov 报告了暴露为 $0\sim30KV/M$ 志愿人员试验情况,指出超过 $5KV/M$ 时,才会出现神经、心血管和消化系统紊乱,以及血象变化,如网织细胞及嗜中性细胞增加,故建议超过 $5KV/M$ 场强时,应限制暴露时间否则应采用保护措施。

加拿大魁北克水电研究院^[9]最近也进一步指出交流稳态感应电流及暂态电流都可能产生影响,虽然这些电流不产生直接危害。但对于变电站工作人员,由于经常受到电击所产生的疼痛,也可能会形成应激反应综合症。

在美国有两位医学研究者^[3]近年来要求纽约公用服务委员会在超高压线路电磁场对人体影响程度未确定前,行止发给 765KV 输电线路运行证书。在印第安人莫拉加部落指出^[3],由于超高压输电线路产生的电磁场使儿童和家畜受到影响。故美国国内报界要求公众注意高压输电线路对环境的影响。

我国 330KV(1976年)刘家峡的 2 个变电所,有 100 余工人,均主诉有程度不等的神衰症疾群,心血管疾病增多等反应,沈阳职防院^[10]曾对东北三省十二个电业局带电作业人员和检修、运行人员作反复对比体检也有类似结论,认为对神经系统及心血管系统有一定的影响。我国第一条 500KV 超高压输电线路即将在我省建成,近期亦即将运行,尽管高压电场对人体影响争论较大,但对于高压电场下人体可能受到电击的影响与低压电场下的电流有所不

同。高压电场下^[11]由于人体接触放电时就已出现毛发竖立、身体(特别是手臂)与衣服间的针刺感、头对帽子、脚对鞋间的放电现象。这些放电虽不会引起直接的生理危害,但如操作人员是在高空作业,尤其当思想准备不足时,遇到这些小间隙放电、电击等,有可能使人由高空坠落。此外,高压下的这些放电现象即使不很强烈,但已使人感到烦恼,重复放电多时,甚至使人无法进行工作。我国曾在330KV线路下作静电感应调查试验中,发现在高压线路下,如果人手紧握解放牌卡车门的把手时,当流过人体的电流达0.75mA时,才开始有感觉;0.9mA时刺激感才明显。当人扛角钢(或金属管等),特别是换人时,虽然电流也没有超过1mA,但针刺感明显,甚至承受不住;当用绝缘梯登高到靠近电流互感器端子箱或变压器瓦斯继电器时,即有很强烈的麻电感觉,这些都反映了高压场强存在影响的一些现象,根据70年代有关国内外资料^[9,11,15],对工人在500KV超高压电场下有何生理生化方面的变化,意见不一,国内资料还有待积累。1980年8月在巴黎举行的国际大电网会议,其中包括苏联专家在内,一致认为“电场的危险效应以前估计过高了”“认为”高压线下的现存电场对人体无害”并要求广泛宣传^[28]与收集这问题经宣传后,人们的反应、评论情况。一九八〇年九月廿三日在芝加哥召开的第二届国际带电作业技术会议^[26]上由4名教授代表三个国家四个医学研究单位作了高压电场下对生态的影响试验研究分析报告认为没有发展超出正常范围的影响。该报告是否专指使用屏蔽服装者,尚未说明。因此,进行这方面的研究工作,是有实际意义的。

二、对动物的影响

为了解决工频(50周)超高压电场对机体影响的争论,国外也做了不少实验研究,重点在不同场强对动物的影响。

Knicherboher^[4]^[3]的报告中指出1,000KV/M电场可使实验动物(鼠)麻痹,700KV/M可致烦躁不安,并使全身毛发竖立。200KV/M时稍有不妥,160KV/M则无明显不妥。22只小鼠在160KV/M中经过1,482小时(平均每天暴露 $6\frac{1}{2}$ 小时)后,除暴露于强电场下的后代雄鼠的体重较对照组为轻外,试验组鼠的一般习性和生殖力没有发现明显的差别,因而他驳斥了“在高压线下面生活,终将变成矮人”的论调。

Marino和Berger等人^[3]认为电场对动物的影响与频率关系很大。大雄鼠在场强为6—197KV/M(20KV/M)的板式电容均匀电场连续暴露30天,与对照组比较没有生物学上的差异,只是血清蛋白与非蛋白蛋白的比稍有改变,有16%的试验大鼠因受垂直电场的影响,右眼患有继发性青光眼,认为是由于血液发生变化而引起的,对这一问题尚有争论,由于暴露前没有作过眼科检查,其青光眼比例较高可能是其他原因。美国Leardini^[3]曾检查几个450KV配电装置工人中均诉说有视力减低、恶心和头晕现象,其结果与苏联作者报导相似。他与法国M、V、Strumza教授合作,在实验室进行了3年试验,将大鼠置于17KV/M场强的电场下4—23个月与对照组之间没有任何生物学上的变化。但暴露组的体重稍重于对照组。

意大利为了实施“1,000KV计划”,ENEL一个包括电站和线路的超高压试验计划的研究建造和运行^[16],从一九七三年至一九七六年对大白鼠、兔、狗等进行较全面试验,试验场强为25KV/M(相当于实际应用的最大强度)及100KV/M,结果指出,动物的心搏出量、心律、动脉血压的平均值皆无明显变化,血象除狗的血红蛋白和红血球下降外其余亦无变

化。生化指标都在正常范围。雄性鼠的睾丸结构和功能未见异常,也无畸形,对暴露100KV/M鼠的肝、肾、肺、心、脾、脑垂体、甲状腺、肾上腺、前列腺、精囊、睾丸、淋巴腺和胃等器官进行称重和作解剖学、组织学上的研究,甚至用各种染色技术,都没有发现任何器官有特殊变化。Meda^[3]曾报告在此场强下1,000小时暴露的小鼠、大鼠及豚鼠的多形核中性白细胞增多,淋巴细胞减少,心电图上PR间隙延长,QRS混合增宽,通过统计学处理认为有显著差异,但仍在正常范围内。

西德Silny^[8]等在鼠身上移植电极或在猫身上先连接好电极,用仪器记录下各种生理指标,大鼠实验364次,猫48次实验,发现心率变快,脑电图波形频率和振幅减弱,皮温增高直肠温下降。但仍在正常范围内。

法国国家阿尔佛尔兽医学校的教授和医生们对鼠及家兔在不同时间置入50KV/M电场下进行试验(连续24小时或在5天延续70小时暴露在电场中为短期暴露,每日8小时为期30—100日暴露为长期暴露),除暴露第一周是适应电场环境、健康的动物重量曲线正常,饮食正常。暴露2个月的动物病后恢复能力较差。家兔短期暴露后,血象没有任何变化。长期暴露者也无任何明显统计学上变化。但暴露组动物的白细胞总数显著地增加,而对照组的变化非常小,暴露组白细胞分类,淋巴细胞和中性细胞的减少而有所变化。也有因红细胞减少而显著贫血的,生化指标中尿素增加,轻微的过钙血症与低血糖,雄鼠生殖周期没有变化,幼鼠无畸形,总之没有发现什么影响,但所出现的差异,则有待进一步的研究。

苏联Козаян等(1977年)^[17]用200只大鼠分别暴露在1KV/M、2KV/M、4KV/M、7KV/M及12KV/M场强中每日进行短时(2小时)作用4个月后,认为7KV/M及15KV/M场强即可引起实验大鼠某些不良影响,如体重、活动能力、反射潜伏时、拮抗肌时值,血胆碱酯酶、血糖、余氮、尿素含量、甲状腺功能,外周末梢血液成份,以及器官组织间微量元素(铁、铜、钼)的分布与平衡的改变。这种改变,并且随电场强度的增加,改变就更明显,并且认为这是最敏感的指标。通过实验,他们认为每天2小时作用下的阈强度值为7KV/M,而阈下值为4KV/M,结合志愿者实验表明5KV/M没有引起变化。因此,建议在50周电场短时逗留所容许的强度为5KV/M,时间不超过2小时。

纽约州Syracuse退伍军人管理局医院外科医生Robert Becker将大鼠长期置于电场内,一些大鼠患上肿瘤,另一些大鼠眼睛有炎症。所有大鼠的病情都严重恶化,血液计数蛋白质和脂肪都有改变^[27]。

此外,法国Riviere^[6]将大肠杆菌及其他细菌置于各种电磁场影响下的试验样品和置于电场以外相同条件下对比试验的样品的突变率与生长率都没有改变,即采用200KV/M强电场,140高斯强磁场也是如此。

当然,用动物做试验的结果,不能完全推论到人身上,因为两者的心理状态和生理状态不同,形态也不同,进入电场后引起电场畸变^{[18][19]}又因动物身上的毛由于电场的存在,随电场频率而振动,也会引起动物的不安,加之试验条件,所采用指标的不同,所得结论有出入,故需进一步做些工作。

三、防护措施^{[20][25]}概略介绍几个主要原则。

1. 采用分装导线,适当增大导线截面,降低导线表面的电场强度,减少导线电晕。

2. 提高导线对地的高度,以减少导线对地面的静电和电磁感应。
3. 架设超高压架空线路时,应避免通过居民区。
4. 安装屏蔽线。对通讯线加以屏蔽。
5. 根据屏蔽的方法,在电力线周围种树,可有效地使感应电压降低。
6. 线路工及检修工及其他变电站工作人员必须遵守安全操作规程。
7. 个人防护用品如穿用屏蔽服、绝缘鞋等,并应经常检查其屏蔽、绝缘效果,以保证安全生产。

8. 超高压输电设备,在人通常不必去的地方应用屏蔽网、罩等档起来。

9. 场强的安全标准,各国规定不一,而且根据静电对人不起不舒服感觉而定,并非根据生态变化而定。美国关于地面场强值没有见到规定、日本在线路下规定为 3KV/M 、变电所为 8KV/M ,苏联 5KV/M 。而我国电科院认为若跨农田倾向于 8.7KV/M ,对地高度为 12M ;跨公路则为 6.88KV/M ,对地高度为 14M ^[24]。此标准究竟是否合适,尚须进一步研究后订出标准。

关于不同场强下允许逗留的时间,苏联认为: 5KV/M 可长期接触、 10KV/M 不能超过180分钟、 15KV/M 不能超过90分钟、 20KV/M 不能超过10分钟、 25KV/M 不能超过1分钟。

参 考 文 献

[1.] 译自哈莱、康伯格 架空输电线路对人体的影响 EPRI 新闻美国电力研究协会 500 千伏输变电技术 总 282 号 运行检修—012 号 500 千伏输变电专业技术情报网 1079 P91—97

[2.] Korol ora 500 和 750 千伏变电所内电场对维护人员的影响及其防护方法 译自国际大电网会议一九七二年第 2—06 号报告 静电感应论文集西安交大科研处科技情报室 1978 年 9 月 p41—57

[3.] Are there biological and psychological effects due to extra high voltage installation? IEEE PAS—97 NO.1 Jan—Feb, 1978, p. 8—16

[4.] cabanes J, Effects of electric and magnetic Fields on Living organisms and in ParticuLar on men general review of the Literature 法国《电气综论》1976—7 特刊

[5.] 戈丹、D、弗雷兰德 特高压输电线的进展 超高压输变电技术总 289 号综合 008 超高压输变电专业技术情报网 p1—28

[6.] 李如虎 国外关于场强对生物影响的研究情况介绍 电力技术报导(高电压技术专辑)湖南省电力中心试验研究所 1979年2月 P,83—88

[7.] Hauf, Influence of 50Hz alternating electric and magnetric fields on human beings RGE—FRA ISSN 0035—3116 1976—7

[8] 蔡荣译 Думанский 低频电磁场(50Hz)对机体功能状态的影响,ГРФ,и Сан(12), 32, 1977

[9.] 周青山译自超高压变电所和线路强电场对人与动物影响的研究 俄国《国外动力》杂志 1977 年第 3 期 500 千伏输变电技术总 171 号高压—043 号 静电感应译文集 500 千伏输变电专业技术情报网 P.1—14.

[10.] 沈阳职防院关于高压场强对人体作用与影响的研究(内部资料) 1980

[11.] 西安交通大学高压教研组 500 千伏变电站静电感应及东北 500 千伏变电站模拟试验水力电力部东北电力设计院出版 1978 年 11 月长春

[12.] 西安交通大学译 1976 年国际大电网会议论文中有关变电所静电感应部分选择

1976 年国际大电网会议论文集。

〔13.〕 西安交大译 高电压设备附近电场的测量及对其生物生理效应的评价 1976 年国际大电网会议论文集 p.93—102

〔14.〕 西安交大译 极低频电场的生物效应—美国的一些研究结果译自国际大电网会议 1978 年论文集

〔15.〕 1977 年 Electric utility engineering conference biological effects of electric fields 1977 年 3 月 13—25.

〔16.〕 Cerretelli P, Research carried out in Italy by ENEL on the effects of high voltage electric fields RGE special Issue—July 1976 p. 65—73.

〔17.〕 蔡荣太译 Козьярн 等 在每日短时间辐射下低频电磁场对机体的影响 Гиг и Сан (4):18, 1977

〔18.〕 王凤川译 电场对生物的影响—用鼠进行试验 同 (9) p. 15—27

〔19.〕 林立双译 500 千伏输电线的静电感应对生体的影响 (《日本电气学会杂志 1973 年 90 卷 4 期》) 同 (18) 期刊总 190 号 高压—062 号 p. I—1—I—11

〔20.〕 张德窝译 试验证明屏蔽保证了工作在超高压线路上人员的安全 (美国《电世界》1967 年 1 月 162 卷 No2) 同 (18) 期刊总 266 号 运行检修 007—4 号 p. 51—53

〔21.〕 成立中等译 超高压线路在设计中要考虑安全有效带电维修作业的因素 (美国《电气照明与电力》1969 年 4) 同 (20) p. 54—60

〔22.〕 林立双译 输电线的感应危害及防止对策 (OHM 电气杂志 1973 年 2 月号 p. 134—136) 同 (19) p. I—12—I—18

〔23.〕 周青山译 330 千伏变电站运行人员的安全保护 (苏联《动力工作杂志》1973, NO 8 同 (9) p. 28—36

〔24.〕 水电部电科院高压所 500 千伏线路下空间场强和静电感应 北京清河 1978 年 12 月 p1—28

〔25.〕 西安交大译 电场的生物学的影响—电气人员对这个问题能说什么? 电气综论 RGE 法国 1976 年 7 月特刊 同 (72) p. 3—10

〔26.〕 王义基介绍美国电气和电子工程师学会主办第二届国际带电作业技术会议的报告 1980 年 (内部资料)

〔27.〕 上一医科技情报研究室编译 人类环境中的电污染 (原载 1980 年 8 月 6 日 “The Hindn”) 医学科技动态 1981。

〔28.〕 国际大电网会议秘书长给中国电机工程协会毛鹤年的信 1980 年 9 月 25 日

高压电场实验装置及其应用

黄方经 章孟本 张邦远 李汉生 周琴娥 蒋虹 蔡爱姣

(武汉医学院卫生系劳动卫生学教研室) (武汉供电局) (电力部武汉高压研究所)

一、高压电场实验装置

人类和其他生物一样，常受到自然界和人为电磁场的作用，并随着电磁场的类型与强度而产生有利的、或不利的影晌。

随着电力工业的发展，电力的传输已进入了超高压和特高压的新阶段。因此，生物受电磁场的影响正在增加，但关于这种作用的生物效应，自一九七二年国际大电网会议以来，各家意见不一，而我国还很少有实验数据可用。随着500千伏输变电工程的出现，已引起有关部门的重视。我省第一条500千伏线路即将运行。为了研究高压电场的生物效应，我们在高压电场实验室基建尚未完成之前，建立了小型的生态实验室。并开展了初步的研究工作，现将该实验装置介绍如下：

(一) 设计的依据：

根据超高压输电线路地面附近由于静电感应起作用的电场可以看成是一个均匀的电场，而在实验室内将输电线路与高压设备附近的现场情况进行模拟。

(二) 实验室的设备安装与布置，

实验室为6.6米×5.8米×3米，实验装置由一组直径(d)为1.5米的平行平板电极、试验变压器，操作台及动物实验笼等部分组成。

模拟电场由平行铝制平板电极产生；上电极经由X-4.5型的绝缘子悬挂在天花板上，下电极接地，为了能任意调节上、下电极之间的距离，在绝缘子与上极板间装有花兰螺丝，由升压器给上电极充电，当达到100千伏时，上、下极板间距为1.0米时，电极间的电场强度为100千伏/米，作用在接地电极上放置的实验笼中的动物。对照组的动物，以同样类型的实验笼安放在实验室的另一角落，经测定该处场强数值接近于0。若实验需要不同电场强度时，可通过调整上、下极板间的距离及所加的电压而获得。电场实验装置布置如图1、

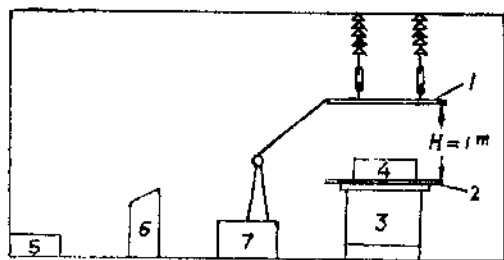


图1 电场实验装置布置图

1—上极板，2—下极板，3—试验台，4—试验组，
5—对照组，6—操作箱，7—升压器。

(三) 动物实验区内场强实测值：

在进行动物电场暴露实验中，为了使试区范围内的电场分布基本上均匀，不因动物进入

而引起电极附近电场的畸变,上下电极间距离应根据暴露不同动物而进行调整,使其满足这个要求。经过计算与用 50 赫场强表(电力部武汉高压研究所研制)在极间进行测量,当极板间距离为 1 米,电压为 20 千伏时,电场在横断面上的测量值列入表 1。电场强度的分布及测点示于图 2。

表 1	电 场 实 测 值									
测 点 编 号	4	3	2	1	0	1'	2'	3'	4'	
电场强度千伏/米	16.4	19.2	20.4	20.4	20.0	20.4	20	19.2	16	
$\Delta E\% = \frac{E_x - E_0}{E}$	18	4	2	2	0	2	0	4	20	

从测量结果可以看出,由电极中心到边缘部分,除极板边缘部分 4、4' 测点外,电场在 3' 空间的分布偏差值 $\Delta E < 5\%$,图 3 中表明均匀电场的区域在 3 与 3' 之间。

(四) 动物实验笼的设计:

为了使动物试区内电场的分布尽量均匀,我们选定的试区范围直径为 1 米,设计加工的有机玻璃板制成的圆形试验笼直径为 715mm,高度为 300mm。在试验过程中,为了使动物有少量的自由活动区域,又考虑到动物的习性,将笼子分成 10 格,中

隔板亦用有机玻璃制成,使动物均匀地分布在整個试区中,便于观察动物在电场中的反应和表现。试验笼每格可放小白鼠 2 只,大白鼠 1 只,调正中隔板可以放入 2—3 只白兔。

为了防止动物在试验中爬出笼外,并使笼内通风良好,笼上盖一有孔塑料盖板,并在笼下缘有一排一定间隔的小孔。

(五) 排除电场的干扰因素:

为了使试验过程中高压电场对生态影响的因素单一化,故将实验装置的引线采用管子,连接部分用金属球,使试验过程中不产生电晕及噪声。(对可能产生臭氧及氮氧化物进行多次测定,均未检出。)以排除其他干扰因素。

二、动 物 试 验:

动物试验所选用的临床生化指标有,血红蛋白、白细胞计数及分类,全血胆碱酯酶、GPT、胆固醇、三酸甘油酯,血清乳酸脱氢酶同功酶等项。

大白鼠试验在这次急性试验完毕后处死取血,并解剖检查肉眼病理观察,必要时作病理切片检查。对重要脏器:心、肺、肝、脾、肾称重,作脏器系数计算。

(一) 动物的选择及暴露场强与暴露时间的确定:

动物选用小白鼠(体重 18~25 克雌雄各半),以及大白鼠(体重 150—250 克,雌雄各半),

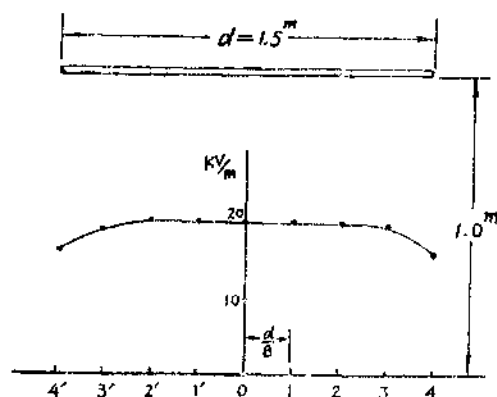


图 2 电场强度的分布及测点示意图

各 40 只，分别按体重进行随机分组（10 只为一组）。

以小白鼠 20 只置于前述场强（40KV/M）下，模拟线路工及变电站巡视工作人员每天在高压电场下实际接触时间——2 小时，共暴露一个月，另用 10 只小白鼠作为对照组。大白鼠则试验组与对照组皆为 10 只，暴露时间与方法同小白鼠。在试验 2 小时过程中动物不吃不喝，任其在暴露场强下的特制试验笼内自由活动。

（二）观察结果：

1. 动物行为表现：在整个试验过程中，试验组动物与对照组动物在行为表现上未发现明显特殊差异。

2. 体重变化：以

大白鼠为例，试验组与对照组之间稍有不同（图 3），但当试验结束时，总的体重皆增加，两组平均增重亦无显著差异。（试验组 62 克，对照组为 62.5 克）。因为影响体重变化的因素很多，这将在今后长期试验过程中，继续进行观察。

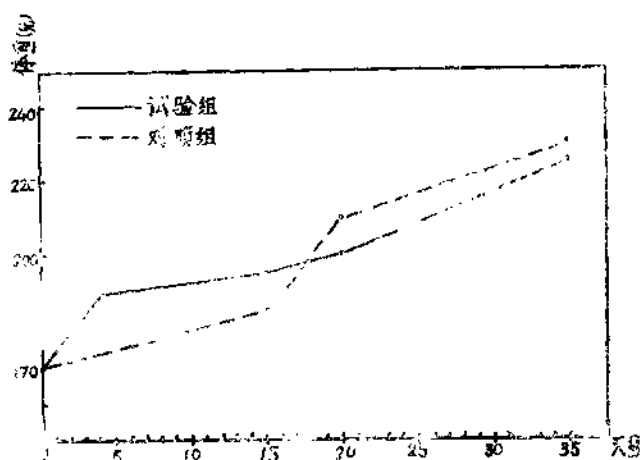


图 3. 试验动物与对照组体重变化

表 2. 小白鼠试验前后血象指标变化

血 象 指 标	对 照 组	试 验 组
血红蛋白 (g%)	14.3 (13~16)	12.8 (12.5~14)
白细胞总数 (个/立方毫米)	14,477 (9,850~19,900)	11,824 (9,900~12,500)
中性	42.1 (29~49)	47 (26~63)
淋巴	56 (42~70)	52 (35~73)
单核	0~2	0~2
嗜酸	0~1	0~1
嗜碱	0	0

小白鼠在试验过程中有 2 只因呼吸道炎症（肺实变）死亡，一只外伤死亡，余皆存活。平均体重皆有所增加，两组间亦无明显差异。

3. 血象：小白鼠从尾部取血，测定血红蛋白、白细胞总数及分类，以其自身暴露电场前后对比。虽然中性白细胞有所增高，但经过统计学处理并无明显差异，且其变化仍在正常范围内（表 2）。

大白鼠断头取血，血象内容同小白鼠，以试验组与对照组相比。虽然中性白细胞有所增高，但经统计学处理，并无明显差异。

4. 血液生化指标：大白鼠断头取血，两组动物除作血胆碱脂酶测定

并不显著外，其余指标仅 GPT 有显著差异，其原因有待进一步探讨。有文献报告大鼠 GPT 正常值为 150 ± 50，存在个体差异，但试验结果超过 200 单位者占 50%，而对照组超过 200 者占 20%。这种情况亦有待较多组别对比观察（表 3）。

表3、大白鼠生化指标两组变化情况

组别 生化指标	对 照 组	试 验 组	差异显著性
全血胆碱酯酶 (微克分子/0.02ml, 37°C, 30')	0.29	0.4	$P > 0.05$ 不显著
GPT (单位)	178.2 (140~220)	230.7 (90~275)	$P < 0.01$ 显著
三酸甘油酯 (mg%)	48.8 (27.6~136)	34.8 (20~54)	$P > 0.05$ 不显著
胆固醇 (mg%)	96.8 (80.6~135.2)	105 (96.2~135.2)	$P > 0.05$ 不显著
乳酸脱氢酶 (总酶)(单位)	1023.12 (362.5~1357.5)	1250.00 (1000~1587.5)	$P > 0.05$ 不显著

5. 大白鼠内脏剖检：未发现肉眼可见病理变化，其心、肺、肝、脾、肾等主要脏器平均系数列于表4，对照组有肺部瘀血情况，故较试验组稍重。其余经统计学处理后皆无显著性差异。

表4 大白鼠主要脏器平均系数

名 称	对 照 组	试 验 组
心	0.34	0.35
肺	0.78	0.66
肝	3.22	3.33
脾	0.26	0.22
肾	0.59	0.61

三、小 结：

从上述动物试验中可以看到在场强为 $40KV/M$ 下，暴露时间各为：大白鼠 56 小时，小白鼠 70 小时，大白鼠观察的生化指标没有显著的变化。我们认为：

(1) 这次试验是初期试验，仅历时 35 天，每天 2 小时，筹备仓促，时间不长，星期天又除外，故每只动物暴露仅 60 小时左右，对间量虽短，发现暴露组动物体重在实验过程中有所减轻，但到实验完了时又有所增重。

(2) 这次试验，适逢暑天，未能进行交配试验，以了解子体身材大小、雌雄性别比例等方面的情况，拟下阶段试验中进行。

(3) 动物暴露的电场强度虽在 $40KV/M$ 场强下，但动物与人体形象不一样，不能完全代表人。它们四脚爬行，贴近地面，从实测中得知通过小白鼠的位移电流仅 3—4 微安，大白鼠仅 5—6 微安。

(4) 试验的手段还比较落后,对在电场下还不能直接观测动物的心电图、脑血流图等,还需进一步要求电子研究部门协作。

注:参加此项科研工作者尚有董胜璋、刘克俭、李惠珍、彭德慧、穆雅笙、张裕曾、王玉贞等。

参 考 文 献

- [1] Cerretelli, P et al Research carried out in Italy by ENEL on the effects of high voltage electric fields RGE—Speacial issue—July 1978. P, 65—74.
- [2] Are there biological and psychological effects due to extra high voltage installation? IEEE PAS—97 NO·1 Jan—Feb 1978 P, 8—16.
- [3] 李如虎等 国外关于场强对生物影响的研究情况介绍电力技术报导(高电压技术专辑)湖南省电力中心试验研究所 1979. 2.
- [4] 虞慧娟译 电流对人体和动物的影响(美国《345 千伏以上输电线参考资料》) 500 千伏输变电技术 总 282 号 P, 79—90 1979. 2.
- [5] Cabanes J. Effects of electric and magnetic fields on living organisms and in particular on men general review of literature 法国《电气综论》 1976—7 特刊。