DOI:10.16016/j.1000-5404.1979.03.023

溴钨灯光辐射致狗皮肤烧伤的探讨

卫生系　防原教研室

为了在平时加强对核爆炸烧伤的研究，需要建立一个模拟光辐射的致伤条件。以往国内外在实验研究中曾用凝固汽油、电烙铁或闪光粉所造成的烧伤基本属于火焰烧伤，与核爆炸光辐射烧伤不尽相同，方法也较烦杂。我们在有关部门协同下，试制了5kw溴钨灯所造成的动物光辐射烧伤，与核爆炸光辐射烧伤相类似，方法简便经济。对该灯相对光谱能量分布和光辐射强度进行了分析测量，并观察了不同光辐射强度所致狗皮肤烧伤的局部经过，为研究光辐射烧伤创造了实验条件。

一、相对光谱能量分布

为了解溴钨灯相对光谱能分布，以便与核爆炸火球光谱成份进行比较，采用自动记录式分光光度计进行测量，测量波长在300～1200nm之间，将溴钨灯产生的光电源与标准灯相比按下列公式求出相对光谱能量：

$$E钨 = E标 \frac{i钨}{i标}$$

E钨：溴钨灯的相对能量。

E标：标准灯的相对能量。

i钨：溴钨灯产生的光电流。

i标：标准灯产生的光电流。

波长在1300～2500nm之间的相对光谱能量，按下列理论公式求得：

$$E钨 = \frac{C}{\lambda^6 (e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1)}$$

λ：光的波长，单位为nm。

T：色温为3200k（根据300～1200nm间的光谱能分布计算获得）。

C_2：为1.4388×10^7。

C：从1200nm处的光谱能量分布算出的常数，为$102.06 \times 10^5 \times 121$。

溴钨灯相对光谱能量分布见图1，各光线区所占的光谱能量见表1。

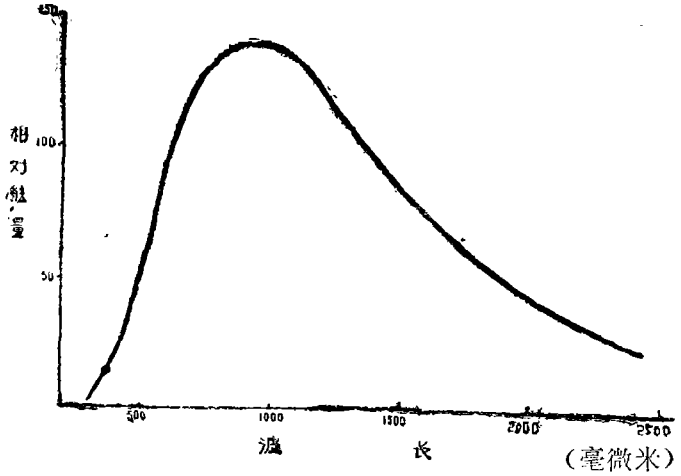


图1　5KW溴钨灯的光谱能量分布

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表1 5KW 溴钨灯相对光谱能量分布

波长范围	紫外线区 (300～400nm)	可见光区 (400～760nm)	红外线区 (760～2500nm)
光谱能量*	12	307	1392
百分数	0.7	17.9	81.4

* 光谱能量是各光线区所占面积，单位为平方厘米

由以上结果可以说明5KW溴钨灯光辐射主要波段在300—2500nm之间，光谱能量最高峰在红外线区，红外线极为丰富，占81.4%，其次为可见光占17.9%，紫外线最少仅占0.7%。

核爆炸之光辐射光谱成份是比较复杂杂的，不但与核武器当量、种类、离爆心距离有密切关系，而且，火球整个发光时间内光谱成份还随火球表面温度改变而变化，火球表面温度越高，紫外线所占比例越大，反之红外线所占比例就小。选定某次空爆离爆心8公里处，火球整个发光时间内光辐射的光谱成份，与5KW溴钨灯的光谱成份进行比较（见表2）：

表2 两种光辐射相对光谱能量的比较

波长范围	紫外线区 <400nm	可见光区 400—800nm	红外线区 >800nm
溴钨灯	0.3	19.4	80.3
火球	9	43	48

由上表可知5KW溴钨灯与火球发出的光辐射中均由紫外线、可见光、红外线等三种光线所组成，但各光线区所占的比例不同，溴钨灯红外线占的百分数比火球大1.7倍，而可见光、紫外线所占的百分数比火球为小。核爆炸光辐射引起动物皮肤烧伤，一般认为主要是红外线所造成的，如两者光冲量和作用时间相同时，因溴钨灯光辐射含红外线比火球为高，所以，溴钨灯所造成动物皮肤烧伤深度应比火球为深。

二、光辐射强度的测量

采用观测太阳光辐射强度的仪器进行测量，该仪器由两部分组成；即感受部分(天空辐射表)和记录部分(微安表)，感受部分由77个锰铜与康铜组成的热电堆，其表面为等面积黑白相间的方格，白方格为氧化镁，黑方格为油烟，当光线投射到感受部分表面，白方格反射光线，黑方格吸收光线并把光能转变为热能，热电堆上就产生微小的温差电流，由微安表直接记录，由于该仪器最大测量值为1.7卡/厘米^2·分，5KW溴钨灯在70—150厘米处的卡数超过该值，所以，在天空辐射表与微安表之间串连一个滑线式可变电阻，整个线路用普通多股铜线连接，测量时感受部分放置在实验台上和固定在铁架上，感受部分表面力求与光源截面平行，测量距离分别为70、80、90、100、110、120、130、140及150厘米等，预热时间为20秒，测量时间为15秒，电源电压为172—195伏特，所得数据按下列公式计算，结果见表3。

表3 各距离上光辐射强度平均值（卡/厘米^2·分）

距离（厘米）	70	80	90	100	110	120	130	140	150
铁架	—	23.01	22.01	17.55	14.88	13.12	11.27	9.81	8.41
台面	41.02	33.65	24.41	17.31	14.97	12.07	9.36	8.09	7.11
总平均值	41.02	28.33	23.21	17.43	14.92	12.59	10.31	8.95	7.76

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

光辐射强度 = 电表刻度读数 × $\frac{0.85 \times 总电阻值}{6.27 \times 1000}$

天空辐射表灵敏度为6.27毫伏·分·厘米²/卡。微安表单位刻度值为 0.85×10^{-6} 安培。

由表3看出，光辐射强度实测值随距离的增加而减少。天空辐射表固定在铁架与放置在台面上测量，除80及90厘米两处相差较大外（为2.40～10.64卡/厘米²·分），其余各点测得结果较接近（相差为0.24～1.91卡/厘米²·分）。其原因可能与各次测量时电源电压和电光源与感受部分表面几何位置不同所造成的。

由于天空辐射表与微安表之间外加补充电阻值比仪器原有的电阻大，考虑到补充电阻值大小是否会影响测量结果的准确性，于是在同一个距离上选用二个不同电阻值，其它条件相同，测量结果见表4。

表4 不同电阻测得光辐射强度值的比较（卡/厘米²·分）

距离（厘米）	98		110		120		130		140		150	
补充电阻(欧姆)	5153	11153	5153	11153	5153	11153	2153	5153	1153	2153	953	1153
光辐射强度	17.26	17.71	13.33	13.92	10.85	12.08	10.58	10.32	8.85	9.14	7.71	7.08

由表4看出，在同一距离补充电阻不同，测得光辐射强度相差很小，补充电阻值相差6000欧姆时，光辐射强度相差在0.45～1.23卡/厘米²·分之间，相差3000欧姆时，为0.26卡/厘米²·分，相差为1000欧姆时，为0.29卡/厘米²·分，相差为200欧姆时，为0.63卡/厘米²·分。由此可见，在同一距离上用不同的电阻值所测得光辐射强度数值相差很小，说明外加补充电阻虽然比仪器原有电阻值大的多，但对测量结果的准确性影响不大。

根据光辐射强度与距离平方成反比的原理，按理论公式推算出光辐射强度，用它来检验实际测量的数值，理论公式：

$$U_{理} = U_{实} \frac{R^2_{实}}{R^2_{理}}$$

R实：实际测量时的距离（厘米）。

U实：R实上测得光辐射强度（卡/厘米²·分）。

R理：按需要选定的距离（厘米）。

U理：选定距离上（R理）欲求的光辐射强度（卡/厘米²·分）。

理论计算时，选定铁架第二次测量的值，取其中两个值为理论计算的基准，一个为近点90厘米处实测值来推算各距离的理论值，另一个为远点150厘米处实测值来推算各距离的理论值，其结果见表5。

表5 光辐射强度实测值与理论值的比较

距离（厘米）			70	80	90	100	110	120	130	140	150
光辐射强度	实测值		—	—	21.07	17.99	15.52	12.52	10.58	9.43	7.98
	理论值	1*	34.83	26.67	21.07	17.07	14.10	11.85	10.10	8.71	7.59
		2*	36.63	28.09	22.10	17.95	14.84	12.44	10.61	9.18	7.98

注："1*" 为由90厘米处实测值所求出的理论值。

"2*" 为由150厘米处实测值所求出的理论值。

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

由表5可知，以90厘米处实测值为基准求出其它各距离的理论值，其结果与实际测量结果相差很小，理论值略低于实测值，范围在0.39～0.92卡/厘米²·分之间，以150厘米处实测为基准，求出其它各距离的理论值，其结果与实际测量结果很接近，有的理论值低于实测值，其范围在0.04～0.68卡/厘米²·分之间，有的理论值高于实测值，其范围在0.03～1.03卡/厘米²·分之间。总之，本实验实际测量的光辐射强度，也是符合光辐射强度与距离平方成反比的原理。

三、5 KW溴钨灯致狗皮肤烧伤的观察

选健康狗5只，体重为11.5—17.5公斤，剪短腰背部的毛，用20%硫化钠脱毛，脱毛面积约为25×33平方厘米，烧伤前用3%异戊巴比妥钠静脉麻醉，剂量为每公斤体重30毫克，烧伤时将狗固定在实验台上，光源与预烧皮肤距离为70厘米，光辐射强度为41.02卡/厘米²·分，光源预热20秒，同时调节灯泡与反射镜之间的距离，使光辐射野亮度最强，烧伤时间分别为3、4、5、7、10、13、15、20、及30秒，不烧部位用石棉布屏蔽，烧伤后观察被烧伤皮肤的变化。

一度：光辐射作用时间3—5秒，光冲量为2.1—3.4卡/厘米²，造成一度烧伤。伤及表皮层，局部红斑、无水肿、软、无痂皮形成，4～6天红斑消失而痊愈，无皮屑脱落，无色素沉着，新生长的毛与伤前相同。

浅二度：作用时间5—7秒，光冲量为34—48卡/厘米²，造成浅二度烧伤。伤及真皮浅层，形成白色透红的痂皮，软、有水肿、无水疱、4天内水肿消退，6天开始痂皮溃破脱落，液体渗出，创面淡红湿润呈细筛状，9天出现新生上皮生长及多数上皮岛，15天左右痊愈。或痂皮干固，新生上皮在痂下生长，干痂脱落而愈合，即为痂下愈合。愈合后有小片白色皮屑脱落，无疤痕遗留，新生长的毛与伤前相同（图2）。

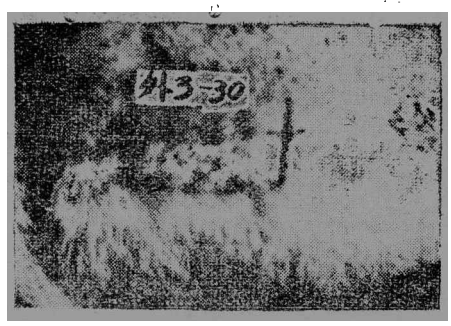


图2　浅二度烧伤已愈合

深二度：作用时间10—15秒，光冲量为6.8—10.3卡/厘米²，造成深二度烧伤。伤及真皮深层，痂皮为黄白色，牛皮纸样感，明显水肿，无水疱，2～3天水肿消退，8天出现小脓疱，10天痂皮开始溃破脱落，至15天痂皮全部脱落，创面鲜红湿润呈粗筛状，18天左右创缘长出新生上皮，创面中央出现上皮岛，上皮岛及新生上皮逐渐扩大，约35天闭合创面而愈合，形成的疤痕有色素沉着或脱失，呈大理石样，表面有片状白色皮屑脱落，新生长的毛稀而细，皮肤增厚，弹性差，疤痕挛缩不明显。上皮岛形成过程：在创面中央出现淡褐色小痂皮，圆形或椭圆形，直径约为0.5厘米，表面干燥略为凹陷，数天之内小痂皮周围颜色逐渐变为淡红色，并向中心发展，表面变平即成上皮岛，或者在创面中间先长出数根短毛，数天之内，以毛根为中心出现淡褐色小痂皮，略为凸起，小痂皮先在毛根处变为淡红色，然后向四周扩展，当小痂皮颜色全部变为淡红色，即成上皮岛（图3）。

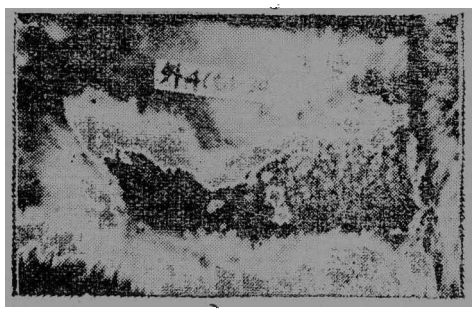


图3　深二度烧伤上皮岛的形成

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

三度：作用时间15—30秒，光冲量为10.3—20.5卡/厘米^2，则造成三度烧伤。伤及皮肤全层，焦痂为灰黄或灰黑色，呈皮革样感，痂下水肿明显，10天痂开始溃破脱落，至15天痂全部脱落。创面呈淡红湿润，均匀一致，无上皮岛形成，创面周围出现新生上皮，略高于创面（图4）。若烧伤面积

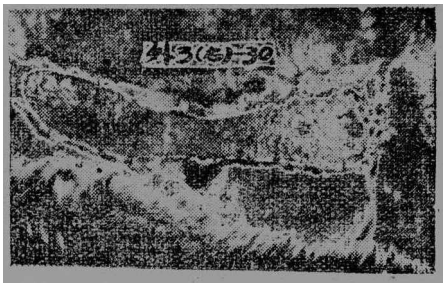


图4 三度烧伤30天时的创面

较小，由创面四周新生上皮长入而愈合，但愈合很慢，需二个月左右才能痊愈，而且形成肥厚的疤痕，无毛生长，有疤痕挛缩现象，由于疤痕挛缩，在正常皮肤与疤痕交界处，容易发生再溃破，形成小溃疡。若面积较大，自愈很慢，烧伤后30天创面面积为原来烧伤面积的14.6%，烧伤后118天为2.2%（图5）。



图5 三度烧伤118天时的创面

当光冲量超过54.4卡/厘米^{2}时，被烧伤皮肤呈黑色焦痂，并出现气泡。气泡呈半球形高出皮肤表面，直径约为0.2—0.5厘米，气泡壁为灰白薄膜，容易破裂，气泡腔无积液，基底干燥无渗液。深二度及三度烧伤时，在烧伤过程中可以直接观察到被烧伤皮肤收缩现象，三度烧伤皮肤收缩较深二度明显。

5KW溴钨灯光辐射致狗皮肤烧伤的局部变化，与核爆炸光辐射烧伤相近似。两者致狗各度皮肤烧伤的光冲量比较见表6。

表6 两种光辐射引起狗皮肤烧伤所需的光冲量（卡/厘米^2）

烧伤深度	溴钨灯	火球*
一度	2.1—3.4	3.0
浅二度	3.4—4.8	4.0—4.5
深二度	6.8—10.3	15.0—22.0
三度	10.3—20.5	>34.0

* 引自《核武器对人员的损伤及其防护》318页

由上表可知，两者引起狗一度、浅二度皮肤烧伤所需光冲量较接近，深二度、三度烧伤溴钨灯光辐射所需光冲量比火球为低，可能与溴钨灯光辐射中红外线的比例较高有关。应该指出，所造成的光辐射烧伤还受很多因素的影响。如5KW溴钨灯的电源电压、实验室的温度和湿度、以及狗皮肤湿度、颜色、毛根的长短等。黑色皮肤比白色的烧伤为深，有一只实验狗皮肤正好有黑与白两种颜色，烧伤时在同一个光辐射野内，烧伤时间及光冲量均相同，结果白色皮肤为一度烧伤，黑色皮肤则为浅Ⅱ度烧伤。毛根长的比短的烧伤为浅。同样，核爆炸光辐射致狗皮肤烧伤，影响的因素也较多，与核武器种类、当量、爆炸方式、气候季节有关，所以表6所列数据仅供参考。

总之，溴钨灯作为光辐射烧伤的致伤手段是可取的。所致狗皮肤烧伤与核爆炸光辐射烧伤相似；可从调整光源与动物距离及作用时间等方面控制光冲量，以造成不同深度的烧伤；实验方法经济、易行、卫生；还可用作研究光辐射造成物资破坏及验证防护效果，诸此优点是凝固汽油、闪光粉等所不能比拟的。但还存在烧伤时动物需要麻醉、烧伤深度中间略深于四周以及辐射野面积较小等缺点，需进一步改进。

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net