DOI:10.16016/j.1000-5404.1983.01.005

关于TDP辐射器研究的初探

第一附属医院理疗科 吴宗耀

关于TDP（特定电磁波谱）辐射器，在重庆和全国其它地区推广取得了一定的临床效果，但对其辐射的物理本质和使用特性迄今未提出确切的说明。我们对此进行了一系列的研究，现将结果报告如下：

甲、TDP辐射器的结构及其使用方法

TDP辐射器的核心部份是一块涂有33种元素组成的涂料的金属平板，直径约12.5厘米，在其后面用220伏300瓦的电热丝加热，再后为隔电隔热的支架和反射罩。

治疗时以金属辐射板面向患区，距离约25～40厘米，以患者有温热感及皮肤充血为宜，每次照射30～60分钟，治疗数次至数十次不等。

乙、TDP辐射器辐射的波谱

欲了解TDP辐射器辐射的物理本质，有无特异性，首先必须知道它的波谱。

我们在中国科学院上海技术物理研究所的协助下测定了该辐射器辐射的波谱。中国科学院昆明物理研究所曾进行同样的测试，二者结果一致。

一、点测的结果：在上海技术物理研究所测试的框图如图1

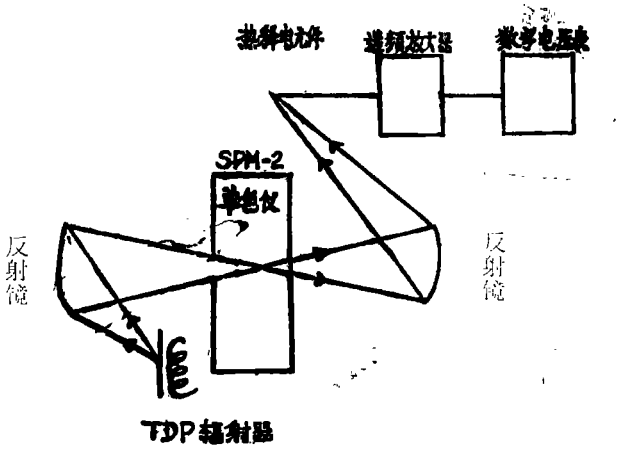


图1 TDP辐射器辐射光谱测量框图

首先使TDP辐射器的辐射线经单色仪分光，然后经热释电元件换能，由数字电压表读数。采用手工选择波长并手抄记录的方法，只能测若干点，故名为点测。结果如图2的曲线1，

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

显示为一种有波动的曲线，有一个最高峰，还有两个波谷。

二、扫描的结果：昆明物理研究所测试的框图同图1，只是记录部份采用函数记录仪扫描，结果见图2的曲线2。曲线2与曲线1类似，有一个最高峰，但有三个波谷。该所对其它类似产品进行了同样的测试，结果也有类似的波峰和波谷，这些波峰和波谷的波长见表1。

表1　各种辐射板的单色辐射强度分布曲线特性

板　号	产　地	表面温度（℃）	最高峰（微米）	第一谷（微米）	第二谷（微米）	第三谷（微米）
1	重庆硅酸盐所	200	5.1	4.3	6	6.6
2	〃	200	5	4.4	6.2	6.8
3	〃	200	5.3	4.4	6.2	6.8
4	〃	200	5.2	4.3	6.2	6.8
5	〃	200	5.2	4.1	6.1	6.8
6	〃	200	5.3	4.3	6.1	6.8
7	〃	200	5.2	4.1	6.2	6.8
8	〃	200	5.3	4.5	6.1	6.8
11	上海YZ—1	100	7.8		6.3	6.7
21	昆明砂轮厂碳化硅	150	5.3	4.1	6.3	6.7
22	昆明砂轮厂碳化硅加涂料	150	5.2	4.1	6.2	6.7

注：各波长均据扫描图的照片测量，约有±（0.1—0.2）微米的误差

三、黑体辐射的波谱：已经证明任何热体皆可辐射红外线，其辐射强度主要与辐射体的温度及表面性质有关。绝对黑体的辐射强度如下：$E_{\lambda T}$（瓦/厘米²）$= 3.7418 \times 10^{-8}\ \lambda$（厘米）$^{-5}\ T(k) \times (\exp \frac{1.4388}{\lambda T} - 1)^{-1}$

据此计算与TDP辐射器工作温度相近的绝对黑体的辐射波谱如图2的曲线3

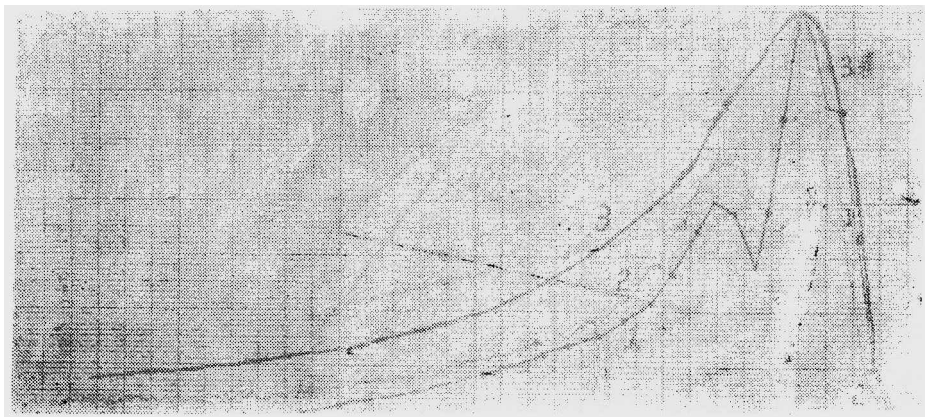


图2　辐射器的单色辐射强度深度

四、各种测量和计算的比较：

计算结果显示绝对黑体辐射波谱是一种单波峰的连续平滑曲线，有一个辐射能量最大的峰值波长，其值为$\lambda_{最大}$（微米）$= 2898/T(k)$。

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

随着波长向两侧延伸，辐射强度逐渐减弱。实测的TDP辐射器辐射的波谱曲线（图2的曲线1）和黑体辐射的曲线（曲线3）形态基本一致，只是在不同波长处有几个辐射强度明显减弱的谷。图2的曲线2与曲线1类似，只是由于测量点较多，故各谷的位置更精确。

分析表1中的波谷的位置可以看出，不论不同序号的辐射器涂料配方如何不同，不论辐射器的工作温度如何不一，三个谷的波长都相当准确地重合，说明这些谷的位置没有特异性，而且这些谷的波长正好是空气中水蒸气和二氧化碳的吸收波长，因此这些谷很可能是测试时大气吸收的结果，而非辐射器辐射本身所固有。

五、讨论：实测结果是TDP辐射器辐射的峰值波长在5.2微米左右，在1.7微米以下的辐射用我们的方法测不出来（即在噪音水平以下）。因此可以说它是一种远红外线辐射器。

实测TDP辐射器辐射的光谱和黑体辐射的光谱十分接近，没有明显的线性光谱。因此可以说它是一种热辐射器，没有特定的电磁波谱辐射。

TDP辐射器的设计者认为本辐射器的特点之一是波谱广泛，包括0.55～25微米。这不能算是一种特异，因为任何热辐射器辐射的波长都比这些广泛得多，理论上可以向长短波无限延伸，问题只是辐射强度能否被测出和有何实用价值。

六、结论：TDP辐射器是一种热辐射型远红外线辐射器，没有特定电磁波谱辐射。

丙、TDP辐射器辐射对皮肤的穿透深度

TDP辐射器辐射作用于人体必须经过皮肤，研究它的作用深度首先需要了解它透过皮肤的量。因为TDP辐射器辐射的主要是远红外线，故我们首先研究了远红外线对皮肤的穿透性。过去关于这一课题的研究很少，而且多是在30年代进行的。

一、材料和方法

我们的测试对象均为人的皮肤。某些是手术切取的皮片，置于普通冰箱冷冻室中。另一些是液氮保存数月的尸体皮，于实验前1～2天取出置于普通冰箱冷冻室中。还有一部份皮肤是在55°C的烤箱中烘烤1～3小时，称为干皮。

皮片均用鼓式切皮机切成不同的厚度。厚度用外经千分尺测量。

透光度用Perkin Elmer-599，Shimazu IR-400，IR-27C型分光光度计测量。角质层面向光源。扫描记录各波段的透过率。

二、结果

各次测得的透光度曲线的形状相似如图3，它们有三个透光度高峰区，各高峰区的位置和透光度见表2。

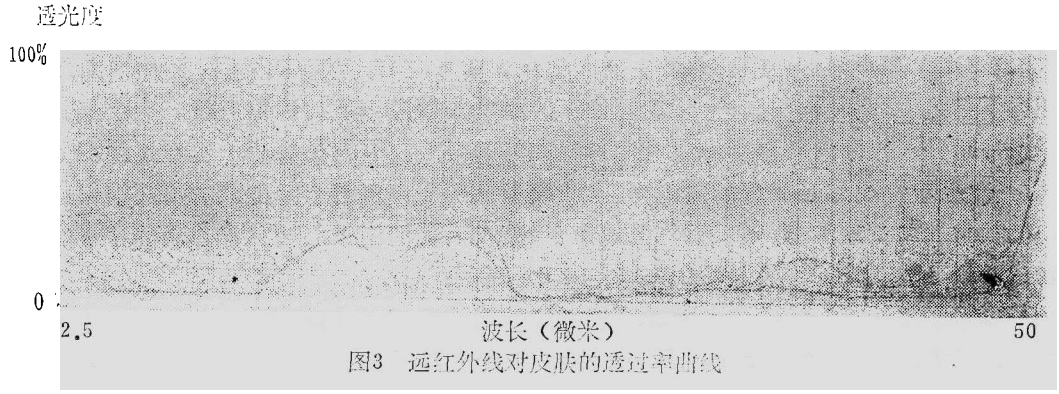


图3 远红外线对皮肤的透过率曲线

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表2　远红外线对皮肤的透过率(%)

皮厚(毫米)	皮片性质	仪器型号	第一波峰 波长(微米)	第一波峰 透过率(%)	第二波峰 波长(微米)	第二波峰 透过率(%)	第三波峰 波长(微米)	第三波峰 透过率(%)
0.02	湿	—599	2.5—2.68	49	3.56—5.7	50	50	65
0.07	湿	—599	2.5—2.8	10	3.5 —6.0	12	50	34
6.078	湿	—599	2.5—2.74	8	3.55—6.06	24	50	57
0.093	湿	—400	2.5—2.17	11	3.56—5.88	17		
0.1244	湿	—400	2.5—2.52	20	3.62—6.0	20		
0.135	湿	SPM-2		3.7		3.3		
0.176	湿	—599	2.5—2.65	1	3.65—4.55	1	>36	>17
0.330	湿	—400	2.5—2.86	1	3.57—6.33	1.1		
0.422	湿	—27C		0	4.2 —6.2	1		
0.426	湿	—400		0		0		
0.07	干	—599	2.5—2.91	36	3.53—5.93	31	50	30
0.078	干	—599	2.5—2.83	29	3.53—5.93	29	50	30
0.176	干	—599	2.5—2.78	4.5	3.37—5.93	5.5	50	15
0.426	干	—400	2.5—2.72	8	3.6 —5.8	8		

注：—599 = Perkin Elmer 599 量程 2.5—50 微米
—27C = 岛津 IR— 27C 量程 2.5—15 微米
—400 = 〃 IR— 400 量程 2.5—15 微米
SPM-2 = 单色仪SPM-2

根据图 3 和表 2 可知：前两个高峰的透光度相差不大，但30微米以后透光度急剧上升，50微米时的透光度远大于前两个高峰。各个标本的透光度高峰的起止位置差别不大。干皮肤的透光度较湿皮肤高些，但在37～50微米段则湿皮肤的透光度较干皮肤高些。

三、讨论

1．有人研究过红外线对于人体皮肤的透过率，但他们只测量到波长15微米，而我们测到了50微米。而且我们发现50微米的光辐射对皮肤的穿透率显著高于2.5微米，对于人体皮肤的57%穿透深度约为0.078毫米，我们未见有过类似报告。

2．根据本研究，在2.5～30微米波段内对皮肤穿透能力最大的是4.0～5.5微米，其20%的穿透深度最高不过0.1224毫米（本研究测得表皮平均厚度约0.09毫米），1%的穿透深度不超过0.4毫米。TDP辐射器辐射的最主要部分在 5 微米左右，故 TDP 辐射器辐射对皮肤的穿透能力不超过上述限度，研究TDP辐射治疗的原发作用应在上述部位进行。

3．由于种种原因皮肤厚度测量难免10～20%的误差。因为没有适于远红外线测量用的积分球，不能完全测出透过皮肤的散射光量，故难以将透光度测得十分准确。不过根据前人的研究，波长愈长与皮肤愈薄，则反射与散射愈少，故本研究的结果仍然具有相当的参考价值。

四、结论

TDP辐射器辐射对人体皮肤的透过率较近红外线的透过率（1·1 微米的 50%透过深度约2.5毫米）低得多，20%的透过深度不超过0.1244毫米，1 %的透过深度不超过 0.4 毫米，研究

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

TDP辐射器的原发作用应在上述部位进行。

丁、TDP辐射器的热效应

一、对象，材料和方法

取雄性家犬二只作为实验对象，体重11kg左右，用戊巴比土钠麻醉，在臀部剃毛，自臀部垂直插入自制铜——康铜热电偶丝至不同深度，热电偶丝的另一端插入室温水杯中作为参考点。预备实验中已经证明测温系统精度不低于±0.3℃。

测温系统安置妥当后用空气栓子杀死动物，静置15小时，连续多次测温证明动物体温稳定后再开始加热。

加热前辐射器先予热 30 分钟，加热时辐射板距皮肤表面21～23厘米，辐射照度约135毫瓦/厘米^2。加热30分钟，其间测量各点温度 4 ～ 6 次。

实验结束后逐条拔出热电偶丝，检查感温点与皮肤表面的距离

二、结果

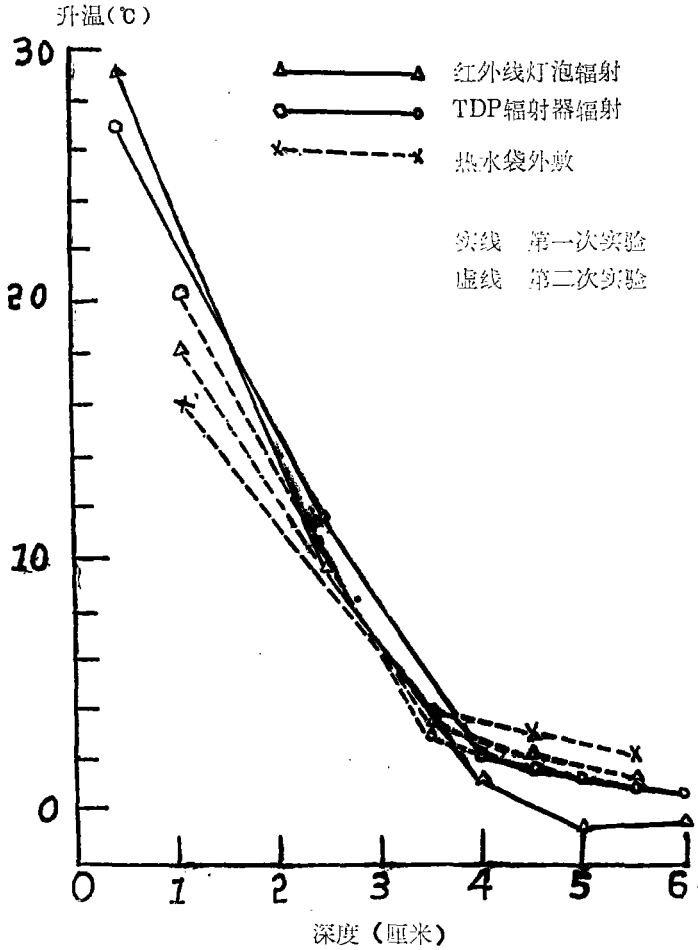


图4 TDP辐射器辐射升温与深度的关系

实验结果见图 4 。从图 4 可以看出，深浅层组织的升温差异显著，TDP辐射器辐射的升温半衰层（升温最高的一点至升温达最高升温一半的某点的距离）约为15.8毫米，校正后的

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

升温半衰层约为12.8毫米，校正的理由从略。

三、讨论与结论

1．TDP辐射器辐射的能量87％在2.5～15微米之间，工业上正是利用这一波段来加热。本研究证明，在医学上TDP辐射器也确实产生显著的热效应。

2．TDP辐射器辐射能量的80％以上在0.1244毫米以内的皮肤中吸收产热，在0.4毫米厚的皮肤深处仅有1％以下的能量透过，组织吸收辐射能而产热之作用极微。但实测该辐射器辐射对于死狗臀部的升温半衰层约为12.8毫米，大于其辐射能穿透半衰层数百倍。显然TDP辐射器辐射对死狗的加热深度与其辐射能的穿透深度关系不大，而主要受组织热传导的影响。

戊、TDP辐射器辐射的能量照度

研究TDP辐射器辐射的临床效果首先要有统一的剂量，剂量不同疗效当然不一。为此我们研究了TDP辐射器辐射的物理剂量——能量照度与各种治疗条件的关系。用FSR-Ⅱ型单相辐射热计和另一种密闭型日光辐射计指示能量照度。测量时室温25～30 C，室内门窗密闭。测得的主要结果如下，测量细节从略：

一、TDP辐射器的启闭特性：接通电源后，约需35～40分钟能量照度方能稳定到最大值，约需20与25分钟方能达到最大值的80％和90％，关断电源后降到最大值的80％和20％的时间分别为2和13分钟。

二、能量照度与灯距的关系：以5厘米为间距，在21.5至60厘米间9点的能量照度分别为130、81.5、54.3、38.3、27.1、21.6、16.0、12.5、10.5毫瓦/厘米^2，即距离每增加5厘米则能量照度减少31±7％。

三、能量照度与电源电压的关系：电源电压分别为248、232、209、191，161伏时，能量照度分别为75.9、62.0、55.0、45.0、32.1毫瓦/厘米^2，即电源电压每增减10％则能量照度相应增减约20％。

四、能量照度与吹风的关系：在同一条件下不吹风，以1900毫米吊扇自直上2米高处向下吹风，以400毫米台扇自1米远处水平吹风时，能量照度分别为21.6、12.5、6.27毫瓦/厘米^2，增减率分别为0％，－42％，－71％。

五、讨论与结论：

1．在室温25～30 C，电源电压220伏，灯距30厘米，室内无风的条件下，TDP辐射器辐射的能量照度约为54毫瓦/厘米^2。

2．影响能量照度最大而最经常的因素是灯距。实际工作中即使最仔细的操作也难免有2～3厘米的误差，相应的能量照度有10～20％的误差。

3．以容许能量照度误差10～20％计算，TDP辐射器治疗时应有20～25分钟的予热时间，电源电压波动不应大于5～10％，灯距变化不大于2～3厘米。

4．南方夏季行此项治疗时室往很热，病人多希望吹风散热，但这样就减低了剂量和疗效，是不足取的办法。

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

己、小结

本研究的结果认为：

1．TDP辐射器是一种热辐射型远红外线辐射器，其峰值波长约为5.2微米。在电源电压220伏时距离30厘米的能量照度约为54毫瓦/厘米^2。

2．TDP辐射器辐射的穿透力极弱，对于0.1244毫米厚的皮肤的穿透率不到20%。但是这种辐射的热作用较深，对于死狗臀部的升温半衰层约为12.8毫米，这是由于浅层吸能产热后热向深部传导之故。

3．为了保证TDP治疗时的剂量误差不大于10～20%，各次治疗时灯距误差不应超过2～3厘米，予热时间不短于20～25分钟，电源电压变化不大于5～10%，不以吹风散热。

附记：本研究受重庆市环境保护局的委托进行。协助光学测量的有本院烧伤科与肝胆科，本校的化学教研室与生化教研室，重庆市药品检验所，208厂与308厂，中国科学院上海技术物理研究所与昆明物理研究所。

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net