

热空气辐射供暖

Л. А. 基 林 著

建筑工程出版社

热空气辐射供暖

屈東海 譯

建筑工程出版社出版

• 1959 •

內容提要 本书簡要地敘述了輻射供暖系統的發展，同時着重論述了熱空氣用作熱媒的輻射供暖系統。此外，在熱損失的確定問題上也有詳盡地分析，並且推薦出新的計算方法。書末附有作者所制訂的輻射供暖系統的計算表與曲綫圖。

本书可供設計与科学研究机构的工程技術人員參考。

原本說明

書 名 ЛУЧИСТОЕ ОТОПЛЕНИЕ НАГРЕТЫМ ВОЗ-
ДУХОМ(Методика расчета)

作 者 Л. А. Тилин

出版者 Государственное издательство литературы
по строительству и архитектуре

出版地点 Москва—1955
及 年 份

熱 空 氣 輻 射 供 暖

屈 東 海 譯

*

1959年1月第1版	1959年1月第1次印刷	2,360冊
------------	--------------	--------

850×1168 • 1/32 • 125千字 • 印張 47/8 • 定價(10)：0.80元

建筑工程出版社印刷厂印刷 • 新华书店发行 • 書号：889

建筑工程出版社出版(北京市西郊百万庄)
(北京市書刊出版業營業許可証出字第052号)

目 录

原 序	5
第一章 輻射供暖系統概述	7
第一节 最初的輻射供暖系統	7
第二节 輻射供暖系統的特点	9
第三节 輻射供暖系統的发展	11
第四节 輻射供暖散热板种类	13
第五节 热空气散热板	18
第六节 热空气散热板的結構、热工与經濟的特点	20
第七节 装設热空气散热板的頂棚輻射供暖系統原理示意图	21
第二章 建筑物热損失計算与热工估計的新方法	23
第一节 輻射供暖系統計算的特点	23
第二节 对流供暖系統計算时輻射供暖計算法的应用	25
第三节 室内空气溫度	28
第四节 室内空气溫度与围护結構平均溫度之間的关系	31
第五节 舒适溫度	33
第六节 当量传热系数	34
第七节 空气溫度、当量传热系数与舒适溫度之間的关系	35
第八节 房間热損失的新計算法	37
第九节 建筑物及其个别房間的热工分析	39
第三章 輻射供暖系統的計算方法	44
第一节 热輻射的理論原理	44
第二节 角曝光 系数	46
第三节 房間的平均輻射溫度	52
第四节 輻射供暖时的室内空气溫度	56
第五节 輻射供暖时的舒适溫度	57
第六节 利用当量传热系数的計算方法	59

第七节	当量墙的热平衡	60
第八节	“空气”的热平衡	63
第九节	舒适温度的选择与房間非散热面的平均温度	63
第十节	计算例题	66
第四章	供暖散热板用的热煤的计算	74
第一节	各种不同供暖系统的热煤	74
第二节	热空气顶棚散热板气道內的主要的热交换方程式	75
第三节	散热板鏡面传递給房間的热量	77
第四节	热空气气道內用做热媒的热空气参数	80
第五节	传热系数与热传播到热空气气道下壁与上壁上的热 传播系数	80
第六节	散热板气道內热空气的平均温度	86
第七节	層間楼板內的散热板	90
第八节	在散热板气道內循环的热空气的重量与体积	91
第九节	热空气散热板輻射供暖系统的质量調节	93
第十节	计算与填表程序	94
第五章	矩形空气管的新計算法	96
第一节	现有計算方法的缺点	96
第二节	圆管和面积与其相同的矩形气道內摩擦損失的比較	97
第六章	热空气輻射供暖設計决定的实例	111
第一节	設計三層砖石建筑物的热空气顶棚輻射供暖系统的 說明	111
第二节	顶棚輻射供暖的計算	114
第七章	按作者所推荐的方法与按C.H.宿林的方法 的輻射供暖計算結果的比較	124
附 录		135
1.	室內空气温度表	135
2.	室內温度曲綫图	140
3.	同时确定散热板占围护結構总面积的百分数、平均温度: 1) 房間內的非散热板表面的平均温度; 2) 所有的围护結 构(包括散热板)的平均温度、室內空气温度用的曲綫图	145

原 序

輻射供暖系統与居住和民用建筑物內通常采用的以放热器为供暖設備的热水供暖系統相比，在热工、卫生、建筑艺术与經濟上具有許多优点，这在供暖或卫生学界均已証实。

这种先进的供暖系統，尽管得到了专家的一致承認，然而直至目前为止，在苏联的建設中还采用得非常少，以致需要做出一定的努力，才能在这个对国民經济具有重大意义的问题上克服落后现象，使苏联的建筑工业获得迅速的发展。

此种供暖系統在其发展道路上与实际运用的过程中所遇到的障碍之一，是它缺乏系統化的、便于在日常設計实践中运用的計算方法。

本书的目的就是介紹此种計算方法。此計算法的每个部分，是在近年来理論与試驗工作以及作者采用的某些实际可能假設的基础上完成的。所有这些計算部分均綜合成統一的、便于理解的简单表式。而这些表式并不需要能进行复杂計算工作的专家来填写，只要交給具有中等技术程度的工作人員即可胜任。书內与书末附录中大量的計算表和图表亦可減輕并簡化計算工作。

本书中有一章是介紹一幢有27間房間的三层砖砌标准住宅結構方案的实例和輻射供暖的簡易計算法。

在此設計的基础上做出了技术經濟計算的近似数字和27間房間三层住宅热空气輻射供暖与热水供暖造价的比較。

本书的主要注意力是集中在以热空气为热媒的輻射供暖上，因为这种供暖系統在苏联的文献中沒有得到广泛的說明。

鉴于作者推荐的計算方法与国内外文献中已知的計算方法有很多的不同，因此，本书中的第七章把作者所推荐的方法与按其他

研究家的方法进行计算所得的结果做了比较。

作者希望本书在刺激辐射供暖的发展与在苏联居住和公共建筑物近代化大规模建设中大量地采用上能是一种兴奋剂。

第一章 輻射供暖系統概述

第一节 最初的輻射供暖系統

目前广泛采用的供暖系統，無論局部供暖系統或集中供暖系統(热水供暖、蒸汽供暖与热风供暖系統)都是利用对流散热的供暖型式。其最重要的特点，是它的热集中取自温度在卫生标准规定的最大容許值以內的不大热面上。放热器主要是借对流散热。其輻射热基本上是不利用的。

但是，我們大家从传热理論中得知，从热体上获得热的最有效方法之一，是合理地利用其所散出的輻射能。同时，卫生学家断定，室內热度柔和而放热面大的供暖，要比热度强烈而放热面小的供暖給人体的感觉舒适得多。

早在古代，人們就已知道在房間內用大面积平面，主要是加热房間围护結構的方法来取暖。此种方法在古罗马时代应用得很广泛，当时称为“赫包卡烏斯特”，即地下火道系統。此种系統以專門炉子的逸出气体来供暖室內地板。

此种形式的供暖系統及这一系統的其他形式存在的時間頗久，直到羅馬帝国崩潰为止。

我們在历史中沒有找到这些供暖系統究竟是在何时才被近代供暖系統所代替，也就是說，在何时我們才以温度較高的、集中的、放热面小的放热器，代替了温度不高的面积大的放热面。

当研究自然规律，尤其是研究热交換规律时，近代人类在寻求对自己住宅最有利的新的供暖形式中，認為有必要最大限度地利用对房間本身起着围护結構作用的大放热面上的輻射热。

上世紀末叶，我国最著名的供暖技术专家之一B.M.查普林教授提出了采用大块放热器以降低放热器表面温度，并加强其輻射

放热的主张。此种放热器是一个大块的混凝土外套，其内部固结有金属的放热器。

1905年 B. A. 雅西莫維奇工程师发展了查普林教授的主张。他推荐了一种新的蒸汽混凝土或热水混凝土的供暖系统，在此系统内放热器为固结在混凝土内的鋼排管，热水或蒸汽沿着此管循环。

可是，尽管这些系统已获得良好的结果，并且最著名的卫生学家以及权威建筑理论家和实践家都广泛承认，但这些系统在我国并未得到应有的推广。许多作者，如格里舍契科-克利莫夫等人，都将此种现象解释为由于当时几乎全部垄断俄国境内卫生技术设备的德国公司的反对，尤其是凯尔廷格等股份公司的反对。革命前手工业方式的施工法、不完善的安装法以及这些系统缺乏依据（哪怕是微小的依据）的计算法，也是当时不能使其获得推广的原因。

然而，查普林教授的主张、雅西莫維奇的建议以及当时俄国制出的许多装置，均应看做是过渡到辐射供暖的初步阶段。

上述的供暖系统首倡者与革新者的著作刊登在1905~1907年间的期刊上。他们很注意国外研究家在为满足供暖需要获得辐射热方法上的一些宝贵特点，并决心从事独立研究以促使这些系统的发展。

国外的研究家中有一位英国工程师，叫巴尔凯尔（Баркер），他在确定各种不同形式的放热面（包括平面放热板）受热系数与放热系数方面，进行了多次试验。在试验平面放热板时，曾采取了消除对流影响的措施，目的是想用辐射放热来影响取暖的房间。在试验时，试验室以通风系统进行了多次换气。

当时发现，室内空气温度的降低并不象原先估计的鼓进室外冷空气时那么快。

这就证实了俄国研究家查普林与雅西莫維奇的想法，即平面放热板的作用似乎与室内空气无关，所散出的辐射热能透过空气而供暖房间。

尽管这些试验不够完善，并且当时俄国技术文献中已经有了

輻射供暖的主張，但巴尔凱爾却在1907年獲得了英國的專利權，英國允許他有权用平面放熱板來裝置供暖系統。他利用了查普林教授所推薦的固結在塊體內的蛇形管作為放熱器。

在最初的輻射供暖裝置中，放熱面的大小與一般放熱器的放熱表面的確定法相同，所採用的放熱面與同一房間內根據水的平均溫度為 50° 時計算所需的放熱器表面相等（即每小時每平方公尺約200千卡放熱量）。

然而，實踐證明，裝設這樣大的放熱面的房間熱得過於厲害，要用0.75的上述放熱面就能使房間具有足夠的溫度，在當時是不難令人信服的。

顯然，由此可得出這樣的結論，即在平均溫度 50° 時，平的放熱面的放熱量會超過放熱器同一放熱面在相同溫度時的放熱量的。試驗證明，平的放熱面的放熱量為270千卡/平方公尺·小時，而原先預料的僅有200千卡/平方公尺·小時。

蛇形管表面的計算很簡單。每1平方公尺的放熱面是以固結在混凝土中的長7公尺、直徑 $\frac{1}{2}$ "，管子間距15公分的蛇形管來計算的。此時，270千卡/平方公尺·小時的放熱量實際上與每1公尺管子40千卡的放熱量是相符的。計算通常是按這些實際數值進行的。

查普林、雅西莫維奇與巴尔凱爾教授的建議，不久便大大地推動了輻射供暖系統的發展和改進。

第二节 輻射供暖系統的特點

目前，大家都確認在創造舒適條件方面主要是使人體周圍的空氣達到一定的溫度、濕度與流動速度。

這三個主要因素實質上是代表着周圍介質的狀況，它們的作用是由其對人體熱平衡與對人體溫度調節機構的影響得出的。

大家都知道，人體具有不隨外界溫度變化而將自己體溫保持在一定水平上的性能。

應當記住，在空間中的任何物體溫度僅在該物體熱平衡處於

平衡状态时，即当物体在一定时期内所吸收的热量与同一时期内所散发热量恰好相等的情况下，方能保持不变。

成年人在做中等体力劳动时，一昼夜内所呼吸的空气量约为16公斤，进餐量为3公斤。上述数量的空气与食物在人体内起化学反应，放出定量的热。

此热量是人体新陈代谢的产物，每昼夜约为2,500千卡。要使人体周围保持热平衡，就应创造出这样的空气环境，即人体在同一时期内亦能均匀地散发2,500千卡的空气环境。

根据H.C.华依别尔格教授的资料，此热量中约12%用于肺部的蒸发，约8%用于加热吸进的空气，约80%用于人体皮肤的辐射和蒸发。

人体将热散发给周围空气，这种空气环境对人体感觉舒适与否，取决于人体的热是如何地传播给周围空气，人体与周围空气之间是在何种条件下完成热交换的。

无数次的试验证明，人体感觉舒适不仅取决于人体是否会将所有的余热散完，而且还取决于如何散法。使主要的热量不是以直接散热方法（即借辐射）散发给周围的冷表面，而是更多地借对流与蒸发散发给周围的冷表面，这一点是非常重要的。但此种情况不仅要对人体的周围空气，而且要对其“周围物体”（意义比较广泛，包括房间的所有围护结构与其中的所有物体）提出一系列的要求。

人体在其周围环境中乃是个散热的热体。除人体周围的对流空气外，室内所有的物体（也包括所有的围护结构）都是吸收人体辐射散热的屏蔽。此种放热最为强烈，因而任何供暖的意义实际上不仅应归结为室内热损失的补偿，而且还应归结为直接散热的减少、人体借辐射散发给周围物体热量的减少。

由此可以认为，在两个系统中，放热器直接供暖室内墙壁的性能比供暖室内空气的性能大的供暖系统是比较有效的。室内如有被热源供暖的围护结构与物体，则对空气的供暖热度可以小些，这对人体的舒适感觉是没有显著影响的。

輻射供暖系統与对流供暖系統的根本的、最重要的区别即在于此。

在对流供暖系統中,放热面通常是密集的金属放热器,此种放热器以其較高的温度补偿围护結構的热損失。其輻射热不足以供暖墙壁,首先被供暖的是室内空气。

在用这种放热器供暖的房間內,空气温度必然会大大超过墙壁、頂棚、地板等内部表面的平均温度。因此,必須保持放热器的温度,使其經常远远超过人体热平衡实际所需的温度范围。

大家都知道,建筑物的墙壁因其内部表面平均温度低,故热阻力亦不高。在这种建筑物內要造成舒适环境,就得提高空气温度。这便使人体对流散热减少,并要借輻射来补偿很高的热損失。

这样一来,輻射散热与对流散热的关系便是舒适的标准。很显然,在这两种散热間是应当存在一定的关系的。例如,輻射散热的增加,必然使对流的热交换有一定的减少;反之,对流传热交换的增加,必然使輻射散热有一定的减少。

对这两种散热量之間在舒适方面內的关系,曾进行了多次的試驗,特別对内部表面平均温度为 7.2° 的有三面外墙的房間也进行了試驗。51次試驗的結果証明,在試驗室內要使人获得正常的感觉(即借輻射来补偿对冷壁所增加的散热),就得将空气温度保持得比标准所需温度高 5° 。这大致是室内墙壁平均温度降低 1° ,室内空气温度升高 $0.5\sim 1.0^{\circ}$ 。

輻射供暖与对流系統不同,大平面放热面(天棚、地板等)的热能射线是直接供暖房間的围护結構的,給“周围物体”表面所造成的平均温度比对流供暖高。

这种情况,对于从生理和卫生意义上說明輻射供暖系統的特征來說,創造了一系列的有利前提。

第三节 輻射供暖系統的发展

近30~50年来,在苏維埃政权的年代里,集中供暖系統在我国获得了巨大的发展。这种发展是与规模空前的工业与民用建設同

时并进的。

目前,还是大量地采用集中供暖系统,可以断言,无论在40~50年前或在目前,热水供暖系统的采用仍占优势,虽然这种供暖系统还远不能全部满足舒适的要求且具有许多其它的严重缺点。

技术在不断革新,这是很自然的事。专家们在竭力论证和推广能消除热水供暖系统缺点的新的、比较先进的供暖系统。研究家的视线都愈益注向以辐射散热原理为基础的供暖系统,因为这种以辐射散热原理为基础的供暖系统与我們一般采用的对流供暖系统相比,无疑问地是向前迈了极大的一步。

辐射供暖系统除卫生上的优点(因对流作用不大故空气的含尘量小、室内水平与垂直方向内的温度分布比较均匀等)之外,还能大大节约金属,有时还能减少初次投资以及管理费用。

辐射供暖系统的放热面是由固结在围护结构内的管子形成的,这种供暖系统的金属消耗量比供暖设备为放热器的热水供暖系统一般要少40~50%。而热空气辐射供暖系统的金属消耗量未必能占一般热水供暖系统金属消耗量的10~15%。

近年来,辐射供暖问题在我国受到很大的重视。许多建筑公司与科学研究机构都在进行认真的研究,研究的结果亦说明了此种供暖的效果是大的。

与施工方法普遍进步的同时,各种辐射供暖也更加广泛地应用到建筑实践中去,而和其它热媒(水、蒸汽)相比,作为加热围护结构的热媒用的热空气也逐渐证实有它的宽广前途。

在这方面,克里木民用建筑公司与罗斯塞瓦斯托波尔公司全体人员创造性的倡议是值得特别重视的,他们在技术科学副博士M.C.查克与工程师司徒定佐夫和查科夫的领导下,给塞瓦斯托波尔市的一座三层住宅设计并装设出天棚辐射供暖系统。此建筑物内的间层楼板是双层的中空钢筋混凝土散热板,在地下室蒸汽热风机室内加热的空气即在此散热板内循环。

中央工业建筑科学研究所的专门出差小组于1952年对此系统进行了研究和调整,并消除了安装上的一些严重缺点。此小组在结

論中亦說明此系統的工作良好，与一般的散热器系統相比能節約13%熱量的優點。

但是，還得指出，令人遺憾的是這種先進的供暖在我國建設中的採用是極其不夠的。

應堅決地建議我國建築者要大規模地採用輻射供暖系統，編制出必需的标准、規程和可靠而易於掌握的計算方法，以及對普遍的設計實踐有用的圖表。必須確定出採用輻射供暖系統最為有效的建築物類型，對輻射系統所有的裝設問題，尤其是放熱面設置地點（在天棚里、地板里或牆壁里）選擇問題做出指示。各種熱媒（水、蒸汽、空氣、電能）的採用問題亦應提出建議。

第四節 輻射供暖散熱板的種類

在輻射供暖系統中散熱板（平面放熱板）就是放熱器（放熱面），房間的一個圍護結構常被用做散熱板。

根據散熱板類型、房屋性質與需熱量的不同，散熱板可占房間一個圍護結構的一部或全部，有時還可占其它圍護結構的一部分，例如，部分牆壁和天棚或地板。

散熱板的製造方法及其結構是多種多樣的，隨熱媒、散熱板材料、形狀与其它條件的不同而異。

下面我們對現有的一些種類不同的放熱板及其規格做一簡要的敘述。

管式散熱板 管式散熱板獲得的方法是將鋼制蛇形管或排管固結在混凝土或鋼筋混凝土樓板內（圖1）以及牆壁內，蒸汽或熱水即沿着其中的蛇形管或排管循環。在大多數的建築物內，輻射

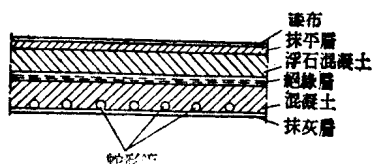


圖 1 頂棚的管式散熱板

供暖都是这种形式。近年来，这种蛇形管辐射供暖系统已在彼列波拉站伏尔加河建筑公司的产育院建筑物内装成（根据巴布罗夫工程师的设计）。

顶棚内的蛇形管是用直径 $\frac{1}{2} \sim \frac{3}{4}$ "的管子制成，焊接的方法常采用气焊或电焊。

这种蛇形管在固结到块体中之前，应进行水压或气压（压缩空气）试验。在这些条件下，蛇形管可保证多年安全工作，不发生任何故障。蛇形管的折旧期，常大大地超过同样管子在对流的热热水供暖系统内工作的折旧期。

蛇形管散热板寿命比较长的原因，是混凝土块体内的管子锈蚀得较少。

还有一种散热板，其蛇形管不是固结在混凝土内而是放在结构凹槽中，外填砂子。这种散热板结构是以上述查普林教授关于大块放热器的建议为基础的。将蛇形管放在填砂子凹槽中的优点是旧蛇形管与排管的修理和更换工作简单得多。

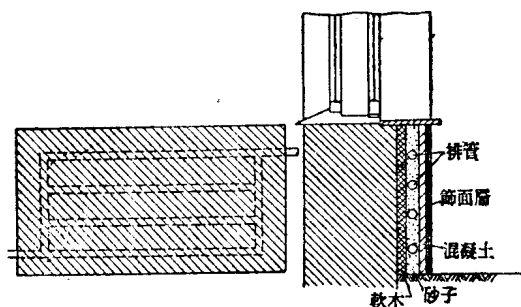


图 2 墙面散热板

热水与蒸汽空气散热板 这些散热板的特点是：散热构件（管子、蛇形管与排管等）并非固结在结构的块体中，而是自由地放在墙壁与楼板的空心结构气道内。在这种散热板内，热媒的热散发给气道内的空气，然后经过楼板再散给室内空气。

此种类型的散热板是介乎热媒为水或蒸汽与热媒为循环的热

空气的散热板之間的一种中間散热板，因而可将其归并在热水空气散热板与蒸汽空气散热板一类。

此种类型的散热板中，本书內所介紹的一种用供供暖学校建筑物底层地板用的独特結構是值得注意的(图3)。

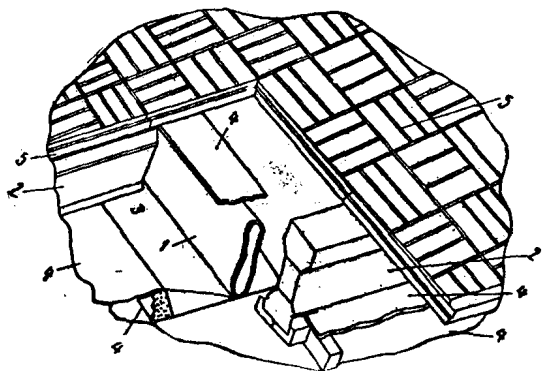


图3 以热水(在专门空心板內循环)
供暖地板时的地板結構

从图3中可以看出，地板是用掺鋸末的混凝土板制成的，此种装置的特点乃是它具有金属的散热空心板1，散热空心板的截面为双椭圆形。地板放在混凝土梁2上，而散热空心板放在所形成的气道3內。为了尽量地减少到地面上去的热損失，在气道底下鋪一层絕緣层4。为了防止地板面上形成局部非常热的地方起见，沿着散热空心板的上部亦鋪設絕緣材料。地板是用混凝土板5鋪成的。将热水送入散热空心板內的供水管与回水管通常是順着房間或沿着房間的側面敷設在地板下的。为了便于接近管子起见，鑲木块下面留出检查孔。最終鋪成的地板高度約比混凝土的澆灌高32公分。房間的地板以及房間本身由气道內的空气来供暖。

为将此种供暖与散热器热水供暖做一比較起见，曾在专設的建筑物內进行了試驗。此建筑物是由尺寸、照度与方位相同的两个房間A和B組成。建筑物的墙为10公分厚的木墙，外包波紋鋼，內复薄木板。

房間 A 裝有如上所述的專門散熱空心板。散熱空心板的總散熱面為 14.75 平方公尺。

房間 B 裝有標準的放熱器，其散熱面與未絕緣導管的散熱面總共為 14.75 平方公尺。熱媒為熱水，房間 A 地板內的散熱空心板與房間 B 內的放熱器各自從帶螺旋狀電熱絲的水箱供給熱水。每個房間所需的能量由計量器來計算。試驗繼續了 168 小時，同時，兩個房間在嚴寒的冬季中斷供暖 16 天之後才予以使用。

當時確定出，在房間 B 內試驗開始後的 6 小時才有舒適的條件，但房間 A 的這種舒適條件僅在 12 小時之後才能得到。房間 A 的耗熱量為 4844 千卡/小時，而房間 B 的耗熱量為 5956 千卡/小時，結果還是輻射供暖優越，可節約 18.7% 的耗熱量。

進入地板下散熱空心板內的熱水溫度約 71° ，地板氣道內的空氣溫度約 40° ，而地板表面的溫度為 24° 。

電氣散熱板與煤氣散熱板^① 在輻射供暖的實踐中，已生產出大量的標準散熱板。這些散熱板用鑄鐵、鋼、石棉等材料製成，裝在頂棚或牆壁的抹灰層內。

用鑄鐵或鋼所製之散熱板尺寸為 0.6×0.9 公尺到 0.6×1.2 公尺，用蒸汽、水或裝在散熱板內的電熱絲來烘熱。此種散熱板通常不占頂棚的整個面積。

還有用輕型石棉板製成的散熱板，石棉板之上復以軟木，然後抹一層灰，抹灰層中固結有用專門絕緣綫製的連續螺旋熱絲。此種散熱板的厚度約 40 公厘，尺寸從 0.3×0.9 公尺到 0.6×1.8 公尺，電壓為 250 伏特。其表面溫度從 39° 到 43° 。裝設這種散熱板時，應使其表面溫度降低到 $27 \sim 32^{\circ}$ 、切斷成組并聯螺旋綫圈內的電流時還能得到占總熱量 25%、50% 與 100% 的熱量。

在某些類型的電氣散熱板內，散熱構件放在玻璃管內，而玻璃管又放在鋼管內。這些管子內填以專門的油灰，然後再固結在頂棚或地板中。

在其它類型的散熱板內，大直徑的管子焊在薄鋼板上（靠牆壁

① 煤氣散熱板也是一種新種類的散熱板，在本小節內并未加以闡述——譯者注。