

空间环境中的 被动温度控制

364107

国防工业出版社

空间环境中的 被动温度控制

〔美〕罗伯特 M·范·弗列特 著

郭 舜 赵玉文 龚 堡 王兴国 马庆芳 译

龚 堡 校

国防工业出版社

1975

内 容 简 介

本书阐述了空间飞行器热设计的基本原理,介绍了被动温控的基本概念和在实际工程中如何选用适当涂层的原则,论述了空间环境及其对材料的影响。

本书供从事空间飞行器(包括卫星)设计、研制和生产的科技人员参考,对有关院校的师生亦有所裨益。

Passive Temperature Control in the
Space Environment
Robert M. Van Vliet
The Macmillan Company 1965

空间环境中的被动温度控制

郭 舜 赵玉文 龚 堡 王兴国 马庆芳 译
龚 堡 校

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
国防工业出版社印刷厂印装

787×1092¹/₃₂ 印张9 189千字

1975年7月第一版 1975年7月第一次印刷 印数:0.001—2.300册

统一书号:15034·1392 定价:0.94元

译者的话

遵循伟大领袖毛主席关于“洋为中用”的教导，我们翻译了《空间环境中的被动温度控制》这本书，供有关方面参考。

空间飞行器能否成功地运行，在很大程度上取决于飞行器上的仪器和设备是否处于适当的温度环境之中。因此，在发展空间技术的同时，温度控制技术也受到了相当的重视。而被动温控技术又是温控技术中最基本的、也是最重要的温控方式。

本书比较全面地介绍了有关空间飞行器被动温度控制的设计计算方法、温控原理、涂层选用、空间环境及其影响等方面的基本概念，对有关读者会有一定的参考价值。

但本书不足之处是关于温控涂层的研制技术方面（包括工艺、检测、环境试验等）论述得较少，而这些方面尤有较大实用价值。此外，由于该书出版较早，未能引进新的资料。特别是近十年来，由于空间技术的迅速发展，被动温控技术，尤其是温控涂层方面已有相当大的进展。还应当指出，被动温控技术，除温控涂层外，还有其它一些措施。例如：多层隔热材料已在飞行器上得到了广泛的应用，相变材料亦进行了不少研究，并得到了实际应用。

本书系根据国外资料翻译的，因此，希望读者遵照伟大领袖毛主席的教导：“对于外国文化，排外主义的方针是错误的，应当尽量吸收进步的外国文化，以为发展中国新文化的借镜；盲目搬用的方针也是错误的，应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化。”对本书内容加以批判地吸收。

鉴于译者水平有限，难免有错误和不当之处，恳请读者批评指正。

序

写这本书的目的是为了把所有涉及到的表面或表面涂层的飞行器温度控制的各种问题编在一起。“温度控制”涂层已经证明，是空间时代出现的、最新而又最重要的学科之一。其重要性是由涂层的许多相互作用所引起的，因为这些涂层确定了空间飞行器的内部环境，从而对每次空间派遣任务都有致命的影响。因此，表面涂层必须象应力与负荷的分布那样，成为空间飞行器的设计要素之一。

为给空间飞船准备一种适当的外部涂层，这就提出了最大的技术难题。这种涂层必须具备特殊的光学和电学性质，而且必须在空间环境中保持这些性质。广阔的空间领域是由极高的真空组成的，但它决不是空的，其间具有高速流星体、强磁场、宇宙与太阳粒子辐射以及范围从伽玛射线到无线电波的电磁辐射。平衡温度从在月球阴影中的高于绝对零度几度，变到再入到地球大气层时的几千度。当涂层暴露于空间环境中时，涂层温控性质的恶化，要引起空间飞行器温度急剧的变化，例如，减少发射率百分之几，就能够改变再入表面温度几百度，以致可能毁坏飞行器。

内部涂层起着较次要的作用，但它对控制热量分布仍是非常重要的。许多“局部”的温控问题，发生在空间飞行器内部，这是因为在空间失重(或零重力)的情况下没有自然对流的缘故。如果没有人工的空气循环，空间飞行器内边的传热则仅仅是靠辐射和传导，而在许多情况下辐射占优势。再因

为涂层可以设计得增强热辐射或减弱热辐射（通过控制发射率），所以内部热分布服从于对表面涂层的控制。

在某些情况下，需要涂层去完成其他的任务，如无线电天线或磁路。这些附加要求中的每一个，都对涂层提出了更为严格的条件，并限制了为了工作可以考虑的材料 的类型。所以，为了可以选择材料，本书将考虑用于温度控制方案的所有不同类型的涂层材料。在某些情况下，将讨论新的或未经试验的材料的预想性质，这对于一些可能的新应用，提供了一种指导。

本书是为引起没有关于涂层和温度控制的预备素养而又在技术上关心的广大读者的注意而编写的。所以，第一章介绍空间热环境，并说明为什么需要温度控制。第二章阐明涂层如何控制温度，以及给出了一个地球卫星的简化的例子。第三章是为那些对更详细了解涂层热性质有兴趣的科学工作者预备的。第四与第五章说明在应用热涂层中的一些工程与实际考虑。第六章描述了空间环境的有害要素，而第七章则讨论环境影响及其控制。

Edward Teller 博士曾注意到，在现代技术竞争中，米制单位是我们对方的秘密武器。这种观点在导弹领域中得到许多科学家的支持，因为我们保持英制单位，就需要两套度量与标准，由于要求极高的精度，这是办不到的，也是很难解决的。鉴于此种原因，作者全书均使用米制单位，希望促进这种单位更普遍地采用。

在另一方面，现在的趋势是倾向于对热平衡使用电子计算机，这好象是更科学的，但是最后的数据必须乘以粗糙近似的数值，这就损失了计算机的精密度。温度控制中有几个

因素是属于这种范畴。发射率与吸收率的测定对于高低温都是特别粗糙的，同时当涂层暴露于空间环境中测量值一般又是变化的。通常工程师们假定，涂层是完全漫反射体（遵循朗伯余弦定律），或涂层是一“灰体”。这些假定对于光滑的低发射率涂层，可以引起误差5%到100%或更大。类似地，对于地球反照曾推导得到了冗长的方程式（反照由于地球气候的改变，可以变化100%或更大），而“计算尺”公式给出的结果与平均值相差在5%以内。所以，本书目标是：首先，去明确影响涂层热性质的所有已知变量，这可推得修正；其次，从许多因素必须近似的观点，去推导与输入数据相一致的方程式。这种途径应导致更迅速也更可靠地解决飞行器的许多热问题。

为了使读者对空间环境中热能相互作用有一些感性认识，作者花了相当长的时间去准备图例，希望这些插图与例子能帮助读者解释一些冗长的方程式和高深的概念。为了更进一步帮助读者理解，作者一般先推导对于较简单情况的方程式，然后说明在更复杂情况下修正的必要性，例如，在讨论复杂的椭圆轨道之前，先推导比较简单的圆轨道反照方程。此外，作者发展了计算温度与传热的简化数学技巧，这特别适用于先进的飞船设计所采用的多层壁结构。为了指导设计者在隔热或控制传热而使用涂层，曾形成了几个经验规则。

热控制、空间环境及可能的环境影响这几个方面，至今在文献中还没有评论过。在进行这类评论时，作者努力按与热控制有关的界线去分类各种物理概念。在这样做时，必须从上下文中取出某些概念与理论或略去详细的论证，因为这些论证对本书是不适合的。作者也还感到，“粗糙的理论总

比没有更好”，所以当文献中没有满意的概念时，也就偶尔去解释物理现象。作为创立一门新的空间科学领域，以期构成其进一步改善和发展的基础的一种尝试，作者假定读者是会接受这样一种做法的。

最后应说明，本书并不想回答有关热控制涂层的所有问题，因为每一新的应用都有其自身的特点，这诸如所允许的最大涂层重量与厚度、涂层系统与底材的适应性以及一大批其他限制参数，它们限制了表面的化学、电学、磁学及光学性质。然而，本书将指明适合于给定应用型式的涂层种类，并因此指出了逐步选择最合适的涂层的方向。本书除了去指导新涂层的研究外，还将帮助读者确定涂层及热控制系统的试验准则。

罗伯特 M·范·弗列特

目 录

译者的话.....	3
序.....	4
第一章 空间飞行器的温度平衡.....	9
第二章 光谱选择性涂层.....	41
第三章 能量传递原理.....	68
第四章 传热中的工程考虑.....	99
第五章 热控系统	126
第一部分 飞行器及其组件.....	127
第二部分 月球站.....	160
第三部分 “星球注视者”气球计划.....	165
第六章 空间环境	177
第七章 环境影响和涂层的稳定性	224
第一部分 辐射吸收.....	225
第二部分 辐射影响.....	246
第三部分 辐射稳定性.....	262
第四部分 真空影响.....	269
第五部分 微流星破坏.....	276
单位换算表	287

空间环境中的 被动温度控制

〔美〕罗伯特 M·范·弗列特 著

郭 舜 赵玉文 龚 堡 王兴国 马庆芳 译

龚 堡 校

国防工业出版社

1975

内 容 简 介

本书阐述了空间飞行器热设计的基本原理,介绍了被动温控的基本概念和在实际工程中如何选用适当涂层的原则,论述了空间环境及其对材料的影响。

本书供从事空间飞行器(包括卫星)设计、研制和生产的科技人员参考,对有关院校的师生亦有所裨益。

Passive Temperature Control in the
Space Environment
Robert M. Van Vliet
The Macmillan Company 1965

空间环境中的被动温度控制

郭 舜 赵玉文 龚 堡 王兴国 马庆芳 译
龚 堡 校

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
国防工业出版社印刷厂印装

787×1092¹/₃₂ 印张9 189千字

1975年7月第一版 1975年7月第一次印刷 印数:0.001—2.300册

统一书号:15034·1392 定价:0.94元

译者的话

遵循伟大领袖毛主席关于“洋为中用”的教导，我们翻译了《空间环境中的被动温度控制》这本书，供有关方面参考。

空间飞行器能否成功地运行，在很大程度上取决于飞行器上的仪器和设备是否处于适当的温度环境之中。因此，在发展空间技术的同时，温度控制技术也受到了相当的重视。而被动温控技术又是温控技术中最基本的、也是最重要的温控方式。

本书比较全面地介绍了有关空间飞行器被动温度控制的设计计算方法、温控原理、涂层选用、空间环境及其影响等方面的基本概念，对有关读者会有一定的参考价值。

但本书不足之处是关于温控涂层的研制技术方面（包括工艺、检测、环境试验等）论述得较少，而这些方面尤有较大实用价值。此外，由于该书出版较早，未能引进新的资料。特别是近十年来，由于空间技术的迅速发展，被动温控技术，尤其是温控涂层方面已有相当大的进展。还应当指出，被动温控技术，除温控涂层外，还有其它一些措施。例如：多层隔热材料已在飞行器上得到了广泛的应用，相变材料亦进行了不少研究，并得到了实际应用。

本书系根据国外资料翻译的，因此，希望读者遵照伟大领袖毛主席的教导：“对于外国文化，排外主义的方针是错误的，应当尽量吸收进步的外国文化，以为发展中国新文化的借镜；盲目搬用的方针也是错误的，应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化。”对本书内容加以批判地吸收。

鉴于译者水平有限，难免有错误和不当之处，恳请读者批评指正。

序

写这本书的目的是为了把所有涉及到的表面或表面涂层的飞行器温度控制的各种问题编在一起。“温度控制”涂层已经证明，是空间时代出现的、最新而又最重要的学科之一。其重要性是由涂层的许多相互作用所引起的，因为这些涂层确定了空间飞行器的内部环境，从而对每次空间派遣任务都有致命的影响。因此，表面涂层必须象应力与负荷的分布那样，成为空间飞行器的设计要素之一。

为给空间飞船准备一种适当的外部涂层，这就提出了最大的技术难题。这种涂层必须具备特殊的光学和电学性质，而且必须在空间环境中保持这些性质。广阔的空间领域是由极高的真空组成的，但它决不是空的，其间具有高速流星体、强磁场、宇宙与太阳粒子辐射以及范围从伽玛射线到无线电波的电磁辐射。平衡温度从在月球阴影中的高于绝对零度几度，变到再入到地球大气层时的几千度。当涂层暴露于空间环境中时，涂层温控性质的恶化，要引起空间飞行器温度急剧的变化，例如，减少发射率百分之几，就能够改变再入表面温度几百度，以致可能毁坏飞行器。

内部涂层起着较次要的作用，但它对控制热量分布仍是非常重要的。许多“局部”的温控问题，发生在空间飞行器内部，这是因为在空间失重(或零重力)的情况下没有自然对流的缘故。如果没有人工的空气循环，空间飞行器内边的传热则仅仅是靠辐射和传导，而在许多情况下辐射占优势。再因

为涂层可以设计得增强热辐射或减弱热辐射（通过控制发射率），所以内部热分布服从于对表面涂层的控制。

在某些情况下，需要涂层去完成其他的任务，如无线电天线或磁路。这些附加要求中的每一个，都对涂层提出了更为严格的条件，并限制了为了工作可以考虑的材料 的类型。所以，为了可以选择材料，本书将考虑用于温度控制方案的所有不同类型的涂层材料。在某些情况下，将讨论新的或未经试验的材料的预想性质，这对于一些可能的新应用，提供了一种指导。

本书是为引起没有关于涂层和温度控制的预备素养而又在技术上关心的广大读者的注意而编写的。所以，第一章介绍空间热环境，并说明为什么需要温度控制。第二章阐明涂层如何控制温度，以及给出了一个地球卫星的简化的例子。第三章是为那些对更详细了解涂层热性质有兴趣的科学工作者预备的。第四与第五章说明在应用热涂层中的一些工程与实际考虑。第六章描述了空间环境的有害要素，而第七章则讨论环境影响及其控制。

Edward Teller 博士曾注意到，在现代技术竞争中，米制单位是我们对方的秘密武器。这种观点在导弹领域中得到许多科学家的支持，因为我们保持英制单位，就需要两套度量与标准，由于要求极高的精度，这是办不到的，也是很难解决的。鉴于此种原因，作者全书均使用米制单位，希望促进这种单位更普遍地采用。

在另一方面，现在的趋势是倾向于对热平衡使用电子计算机，这好象是更科学的，但是最后的数据必须乘以粗糙近似的数值，这就损失了计算机的精密度。温度控制中有几个

因素是属于这种范畴。发射率与吸收率的测定对于高低温都是特别粗糙的，同时当涂层暴露于空间环境中测量值一般又是变化的。通常工程师们假定，涂层是完全漫反射体（遵循朗伯余弦定律），或涂层是一“灰体”。这些假定对于光滑的低发射率涂层，可以引起误差5%到100%或更大。类似地，对于地球反照曾推导得到了冗长的方程式（反照由于地球气候的改变，可以变化100%或更大），而“计算尺”公式给出的结果与平均值相差在5%以内。所以，本书目标是：首先，去明确影响涂层热性质的所有已知变量，这可推得修正；其次，从许多因素必须近似的观点，去推导与输入数据相一致的方程式。这种途径应导致更迅速也更可靠地解决飞行器的许多热问题。

为了使读者对空间环境中热能相互作用有一些感性认识，作者花了相当长的时间去准备图例，希望这些插图与例子能帮助读者解释一些冗长的方程式和高深的概念。为了更进一步帮助读者理解，作者一般先推导对于较简单情况的方程式，然后说明在更复杂情况下修正的必要性，例如，在讨论复杂的椭圆轨道之前，先推导比较简单的圆轨道反照方程。此外，作者发展了计算温度与传热的简化数学技巧，这特别适用于先进的飞船设计所采用的多层壁结构。为了指导设计者在隔热或控制传热而使用涂层，曾形成了几个经验规则。

热控制、空间环境及可能的环境影响这几个方面，至今在文献中还没有评论过。在进行这类评论时，作者努力按与热控制有关的界线去分类各种物理概念。在这样做时，必须从上下文中取出某些概念与理论或略去详细的论证，因为这些论证对本书是不适合的。作者也还感到，“粗糙的理论总

比没有更好”，所以当文献中没有满意的概念时，也就偶尔去解释物理现象。作为创立一门新的空间科学领域，以期构成其进一步改善和发展的基础的一种尝试，作者假定读者是会接受这样一种做法的。

最后应说明，本书并不想回答有关热控制涂层的所有问题，因为每一新的应用都有其自身的特点，这诸如所允许的最大涂层重量与厚度、涂层系统与底材的适应性以及一大批其他限制参数，它们限制了表面的化学、电学、磁学及光学性质。然而，本书将指明适合于给定应用型式的涂层种类，并因此指出了逐步选择最合适的涂层的方向。本书除了去指导新涂层的研究外，还将帮助读者确定涂层及热控制系统的试验准则。

罗伯特 M·范·弗列特

目 录

译者的话	3
序	4
第一章 空间飞行器的温度平衡	9
第二章 光谱选择性涂层	41
第三章 能量传递原理	68
第四章 传热中的工程考虑	99
第五章 热控系统	126
第一部分 飞行器及其组件	127
第二部分 月球站	160
第三部分 “星球注视者”气球计划	165
第六章 空间环境	177
第七章 环境影响和涂层的稳定性	224
第一部分 辐射吸收	225
第二部分 辐射影响	246
第三部分 辐射稳定性	262
第四部分 真空影响	269
第五部分 微流星破坏	276
单位换算表	287