



29.635743

GZX



冷藏运输 论文集

国际制冷学会 D 2 委员会
1978年9月维也纳学术会议



中国铁道出版社

国际制冷学会D2委员会1978年

维也纳学术会议

冷藏运输论文集

《冷藏运输论文集》编译组 译

中 国 铁 道 出 版 社

1980年·北京

内 容 提 要

本书是根据1978年在维也纳召开的国际制冷学会D2委员会学术会议上宣读的论文译出的，内容反映了当前国际铁路冷藏运输的发展概况和科研动向。对保温车结构，实验室装备，传热系数测定方法，运输工具鉴定方法，易腐货物运输条件和运输组织，以及关于使用新型燃料——冷剂的设想等，都作了较深入的理论阐述和实际情况介绍。本书适合我国冷藏运输科研人员，教学人员和现场工作人员学习参考。

国际制冷学会D2委员会1978年9月维也纳学术会议

冷藏运输论文集

《冷藏运输论文集》编译组 译

中国铁道出版社出版

责任编辑 胡舜珣

封面设计 翟 达

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092毫米 印张：6.25 字数：139千

1980年7月 第1版 1980年7月 第1次印刷

印数：0001—1,700册 定价：0.65元

前 言

国际制冷学会于1978年9月在奥地利维也纳召开了D2委员会学术讨论会。共有二十二个国家，八十六名代表参加会议。中国制冷学会也指派第四学组会员组成代表团，参加了此次学术讨论会。

会上宣读了十八篇论文。这些论文介绍了国际冷藏运输科学研究工作的一般内容、动向和情况，有的论文水平较高，有的内容比较适合我国科研生产实际，对我国发展冷藏运输工作有一定的参考价值和借鉴作用。因此，我们选译了其中十五篇论文的全文，以供读者参阅。此外，中国制冷学会代表团在会议结束后，就地对西欧冷藏运输的情况进行了考察，考察情况一并编在这本册子内。

编译组

1978年12月

编 译 说 明

1. 十五篇论文的顺序系按维也纳会议宣讲的先后安排。

2. 论文作者均译其姓，注明国籍（或国际组织），附以原文姓名。作者的所在单位从略。

3. 原论文有十篇为英文，五篇为法文。英文的附有法文摘要，法文的附有英文摘要。鉴于摘要并无超出原文的新内容，故一律不译，以免重复。

4. 原论文的参考文献颇多，且掺杂各种文字，故从略。

5. 本书编译工作由孙桂初同志负责联系。参加本书译校工作的同志很多，各篇译校人均分别注于篇末。所有英文各篇均经孙桂初同志最后校阅，法文各篇则从专业角度协助译者校正。

6. 谢贤良、王新民、王相宣、周威东同志参加了校阅工作。

7. 关于译名，国外称“加冰冷藏车和机器冷藏车”，根据我国现行规章和习惯，本书改为“加冰保温车和机械保温车”。

1979年4月

目 录

一、用液化天然气或液氢作动力的自行推进式保温车····	1
二、在冷链中,用适当的时-温条件来保持易腐食品 的质量····	14
三、按照易腐货物运送协定检查特种车辆时所取得的 经验····	25
四、热桥和车壁厚度对于保温车在不同试验条件下 所定的总传热系数值的影响····	35
五、冷藏运输车辆的总传热系数的快速测定方法····	44
六、法国安东尼国立试验站对单独制冷机组的试验····	63
七、冷藏集装箱现场简易检查方法(快速鉴定法)····	75
八、西德铁路保温车····	85
九、集装箱检查····	109
十、铁路冷藏运输中制冷系统、空气分配和易腐食 品之间的相互影响····	122
十一、冷藏运输——货物中温度的分布····	129
十二、奥地利维也纳阿森纳尔车辆试验站····	138
十三、确定保温车内部气流方向影响的比较试验: 在40英尺的集装箱内进行····	142
十四、欧洲铁路易腐货物运输····	153
十五、在保温车内进行的模拟货物试验····	174
欧洲铁路冷藏运输概况····	182

一、用液化天然气或液氢作动力的 自行推进式保温车

(美) 怀特劳 (R. L. WHITE LAW)

(一) 前 言

任何铁路货运系统的经济目标都是要求有自动控制的定向运转的车辆或车组，每次运输都能不停顿地从发站直达其到站。从根本上说，所有的车辆都应不必有人员添乘，尤其在人工劳动价格高昂并不断上涨的自由市场经济地区更是如此。只有向无人添乘的经济目标努力，才能使包装货物的运输费用降低到接近管道运输和传送带运输的水平。

这种完全自动化的铁路运输，只有当欧洲象美国一样，在大陆的任何两地之间可以通过铁路毫无阻碍地运输货物，真正成为共同市场的那一天到来的时候，才能完全成功。这一天到来的时候，冷冻食品从产地或包装中心运往分配性冷库（例如大城市）的自动化铁路运输就提出了一个饶有兴味的合理化工程设计问题，这就是在整个运输过程中利用液化天然气或液氢，既作燃料又作冷剂。

这个合理化问题的实质，是要确定：在一定的运输距离和车辆断面的情况下，什么样的速度，什么样的隔热结构和每组的车数三种因素组合起来，可以使指定品名（如冻桔汁、蔬菜、肉等）和给定年运量的货物完成运输任务，并使每吨货物的运费最低。

速度较高就要求较大的动力，也就是要消耗较多的燃料，因此在发站就要往车上储备更多的燃料以满足动力的需

要。

另一方面，如车辆的设计是考虑了使通过隔热结构的热流量正好足够去蒸发动力机械所需的燃料量，那么，速度较高就意味着较薄的隔热结构，因此基建投资就可以较少，而每车的装货容积可以较大。

对于一批指定的货物来说，车辆的断面也是一项需要考虑的参数。如果车辆的最大长、宽、高已定，那么，在装运要求的货物年运量时，究竟采用较大或较小的前端面积、筒形或矩形的断面、单个或成组的车辆，这些都是应该考虑的。

最后，即使列车实现了自动控制，最好还是保留一名乘务员以应付紧急事故。因此乘务员工资对于选用最优速度和每组车数的影响是值得考虑的。

由于伊朗、苏联、阿尔及利亚和北冰洋的大量天然气资源将很快由管道输入整个欧洲，所以液化天然气将是初期最合理的燃料——冷剂，但最终还可能是液氢占上风。

(二) 最佳设计中的主要参数

在用 H_2 或液化天然气作动力的自行推进式保温车系统中，影响冻结食品运输费用的，主要有六项*独立参数。现将这些参数及在分析研究中采用的数值范围列出如下。

(1) 年运量总吨数： $AC=100,000, 1,000,000, 10,000,000$ 吨/年。

(2) 发站至到站的单程距离：

$J=500, 1000, 1500$ 公里。

(3) 平均运行速度：

$V=30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100$ 公里/小时。

* 译注：原文如此。但下文列出的参数有七项。

(4) 隔热层设计速度:

$V_{\text{设}} = 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60$ 公里/小时

(这是在一天温度为 37°C 时通过隔热层所传入的热量, 足够去蒸发推进动力机械所需燃料量的那种速度)。

(5) 一批货物的连挂车数: $N = 1$ 或 2 。

(6) 车辆横断面, 正视: 矩形, 圆柱形。

(7) 隔热结构:

a) 聚氨基甲酸乙酯泡沫, $k = 0.17$ 毫瓦/厘米 $\cdot^{\circ}\text{C}$, 安装费 90 美元/米 3 ;

b) 真空化珍珠岩, $k = 0.052$ 毫瓦/厘米 $\cdot^{\circ}\text{C}$, 安装费 120 美元/米 3 , 包括气密空间和真空的维修和检查。

另外, 还研究了其余两个变数对运输费用的影响:

(1) 没有乘务员 (全部自动化), 或使用一名应付临时事故的乘务员 (半自动化);

(2) 只考虑单方向年运量 (如北运桔汁), 或考虑两个方向的年运量 (如北运桔汁, 南运肉制品)。

(三) 设计中的其他假设和参数 取值 (价格除外)

(1) 两节车组成一组, 前后两端装货, 假定两车用一台普通三轴转向架绞接, 以支持一个车的头部和另一个车的尾部。这样, 每组车就有 $(N + 1)$ 台转向架或 $3(N + 1)$ 根轴, 每根轴都用电力驱动, 或是直接驱动, 或用齿轮传动。

(2) 装卸时间: 每车每次 1 小时。

(3) 从发站至到站用同样的功率和同样的平均速度牵引。就是说, 上坡时降低的速度被下坡时超过的速度所抵消, 而制动的能量损失可以忽略不计, 因为有电子监视和自动功率控制系统来保证全程的安全运行。

(4) 动力机械的功率能在20%的长大坡道上保持设计速度。

(5) 空气动力学阻滞系数是按平均车速时的静止空气计算的。车端部都假定是非流线型的，不管截面是圆形还是矩形。

(6) 车组阻力 (公斤/吨)，包括气流阻力、或车轮和轴承的摩擦阻力在内，是按照列沛茨的动车组公式计算的。这个公式曾被泰西安和密葛诺特所修正。

$$D_t/W = 1.3\sqrt{10N_{ax}/W} + 0.01V + [C_{D_p}A_c + C_{D_f}A_s + C_{D_t}A_tN_t + \Sigma K] \frac{q}{w} \text{ 公斤/吨}$$

(1-1)

式 1-1 中第一项是轴承摩擦阻力，第二项是钢与钢的滚动摩擦阻力，第三项是各种空气动力学阻力的总和。

式中 q —— 动压力， $\rho V^2/2g$ ，帕斯卡；

W —— 车组总重，吨；

V —— 速度，公里/小时；

N_{ax} —— 轴数 = $3(N+1)$ (对 N 个装货车来说)。

关于空气动力学系数符号的意义为：

C_{D_p} , C_{D_f} , C_{D_t} —— 分别为端部外形系数、表面摩擦系数和转向架系数；

A_c , A_s , A_t —— 分别为前部截面、总表面积、车辆头面部面积；

N_t —— 对 N 个装货车来说；

$N_t = (N+1)$ 台转向架。

ΣK —— K_1 为乘务员或设备所需的流线型的凸出部分的阻力。

K_2 为车组头部或尾部未充分流线化的阻力；

K_3 为车辆间连接棚（平滑的或褶皱的）的阻力。

（7）车组最大长度60米；车辆最大长度21米。每车的限界是按照伯尔尼国际净空标准；最大宽度3.15米，转向架中心间距离12.5米；最大高度，高出轨面4.72米，高出轴4米；如图1—1所示（每轴最大载重15吨）。

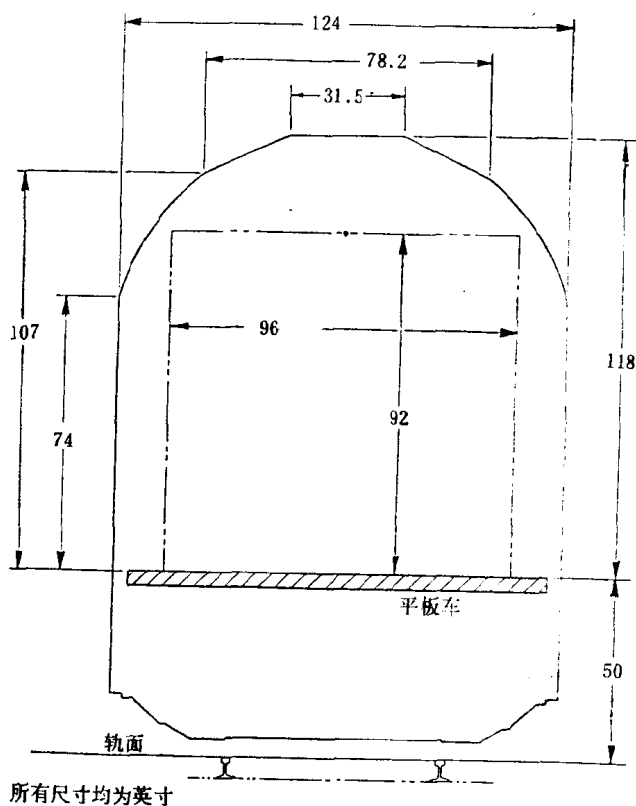


图 1—1 伯尔尼国际限界图

（8）设计外界气温：每组车都安装了足够的隔热结

构，保证在外温 37°C 的日子能蒸发出使车组适应隔热结构的设计速度的推进动力机械所需的燃料，但是动力机组的重量和功率是根据在 15°C 的日子，在20%上坡时能保证选定的运行速度来设计的。

(9) 液氢的有关特性如下：

压力：5 大气压 (气化) 潜热：83.3 卡/克

饱和温度：27K (总) 热值：34000 卡/克

饱和密度：0.070 克/毫升 (净) 热值：28700 卡/克

(10) 液化天然气的有关特性如下：

压力：2 大气压 (气化) 潜热：118 卡/克

饱和温度：136K (总) 热值：13500 卡/克

饱和密度：0.393 克/毫升 (净) 热值：12050 卡/克

(11) 每组车内液氢的储量足够动力机组以运行速度开行时往返全程的需要，此外还考虑了装卸时的蒸发损失，以及在每个单程中有一小时的停留损失。液化天然气的储量也是同样考虑。

(12) 货物比重取0.8克/毫升，所有车辆在运输中取80%的满载率。

(四) 保温车装货间和液氢蒸发率的设计

在装货间周围都用管组围绕起来，用外径 3 厘米、壁厚 0.15 厘米的管子密排成管板，燃料就储存在这样的管组里。每根管子的两端都连接在矩形的主管上，管组底部与液体燃料的储存罐连通，在发车前罐中注满燃料。运行途中，燃料挥发的蒸汽，在主管的顶部聚集起来，直接通往燃气透平发电机组的燃料喷嘴，中间不需要再加燃料泵。

当往返全程的燃料消耗量超过装货间周围管板中的燃料总储量时，这个超耗假设由储存罐携带储备。当管板中的储

量比途中需要量多时，在始发站仍需同样注满，因为只有系统充满时才能发挥均匀的冷效。

车内的管板和 3 毫米厚的外壁板之间的空间内按照要求厚度填充隔热层。

在 27K 下蒸发出来的氢气，先经过发动机排气装置，预热到 100°C 后才进入燃烧室，以使发动机效率达到 25%。同样，对在 136K 下蒸发出来的天然气也是预热到 100°C 。

当发动机功率要求的燃料超过燃料蒸发率时（例如车组加速时），假设有一个管组的液体燃料可以有控制地暴露在大气温度的下，以加速蒸发。

（五）费用估算

把上述参数 (N, V, AC, J 等) 组合起来以使每吨公里的费用最低，这一点能否做到取决于所设定的费用是否符合实际。但要做到这一点，只要求合理地正确地选取各种费用的相对值。至于它们的绝对值，按照目前的增长率，在八十年代内将比现在的价格增高一倍，但不会影响计算的结果。

其他更费人力的运输方式，每吨公里的费用必然会比本方案增长得更快，因为本方案是在价格较低时进行基建投资的，而以后并可每年持续地从该投资中抽回可靠的吨公里收益。

考虑到这些因素，所采取的费用值如下：

A、分期摊销的资本支出

所运输的货物的价值：55 美元/公斤

牵引电动机：70~6.0（功率^{0.33}）美元/马力

（推动轮子的输出功率）

发动机组：200~10（功率^{0.33}）美元/马力

(推动轮子的输出功率)

不用冷剂的系统: 2.20美元/公斤

用冷剂的系统: 6.60美元/公斤

隔热材料: 聚氨基甲酸乙酯90美元/立方米

真空化珍珠岩120美元/立方米

控制系统、每车组: $5,000 + 10$ (功率) 美元

路权: $250,000$ 美元/公里 $\times$ 该种车所运货物总吨公里数
所占的百分数 (设非冷冻货物的运量为1000万吨/年)

摊销因素: 运输途中货物的价值, 每年10%。

路权支出, 每年8%。

车辆的 A/P 系数基本上取每年10%, 车辆寿命取在设计速度下总运行1,600万公里。

停轮时间考虑每年每车在厂段停留1星期。

B、年支出

乘务费: 单人乘务员每车组每年10万美元, 车组每年工作8400小时。

液氢费: $2.10[1 \sim 0.5_{exp}(-4500/(\text{燃料年消耗量}))]$ 美元/公斤

液化天然气费: 0.144(同上因素)美元/公斤

车组维修费: $(500 + 30V)$ 美元/小时

用地保养费: $7500(1 + V/75)^{0.6}$ 美元/公里·年

(如资本支出一样按比例分摊)

C、管理费和中央作业费

这些费用略去不计, 因为无论设计参数如何组合都是相同的。

(六) 用电子计算机进行参数分析

开始用电子计算机分析时考虑了最佳设计的全部参数的各种组合方式，并很快确定了以下各点：

(1) 矩形的装货间截面总是比圆形的经济，因为矩形截面可以更有效地利用车内容积；

(2) 用隔热层设计速度运行，总是比按较低速度设计隔热层而以较高速度运行的要经济；

(3) 用真空化珍珠岩隔热的每吨公里费用要比用聚氨基甲酸乙酯泡沫块时低78%，不论其它参数如何组合都是如此。这主要是因为用真空化珍珠岩时车内装货容积比较大所致；

(4) 增大年运量吨数，可以降低每吨公里的费用（这是所希望的），但不管有无乘务人员，却对速度和每组车数的最优组合方案不发生显著的影响；

(5) 回程有大体相同的货运量可以使全部货物的每吨公里运费降低约40%，这是可以预计到的。

所作的基本分析方案只考虑了单方向货运量（即 $AC_2 = 0$ ）。基于前述的一些看法，该方案只是考虑单辆和两辆的车组，每车采用矩形车体和最大的允许长度，只按隔热层设计速度运行。

该方案分别对单程距离（ J ）的两个不同数和三个不同年运量（ AC_1 ），计算确定了速度和每组车数的最经济的组合方法。

方案分别对车组无人添乘和有人添乘两种情况进行了计算。计算结果列于表 1—1 和表 1—2。表 1—1 是用液化天然气作燃料—冷剂的，表 1—2 是用液氢作燃料—冷剂的。

用液化天然气和真空化珍珠岩*的最优条件 表1—1

单程年 运量, 吨	单程距 离, 公里	无人添乘的单辆车组			有人添乘的两辆车组		
		速度, 公里/时	需要车 组数	运费, 美分/ 吨公里	速度, 公里/时	需要车 组数	运费, 美分/ 吨公里
100,000	500	50	4	0.548	70	2	1.012
		55	3	0.532	75	2	0.976
		60	3	0.545	80	2	1.002
		65	3	0.557	85	2	0.987
	1500	50	12	0.530	70	6	0.900
		55	10	0.513	75	5	0.864
		60	9	0.523	80	5	0.880
		65	8	0.533	85	4	0.863
1,000,000	500	50	42	0.530	70	22	0.995
		55	34	0.514	75	19	0.959
		60	32	0.527	80	19	0.986
		65	30	0.540	85	18	0.971
	1500	50	117	0.512	70	55	0.884
		55	95	0.496	75	49	0.847
		60	90	0.506	80	49	0.863
		65	83	0.516	85	45	0.846
10,000,000	500	50	416	0.433	70	215	0.898
		55	340	0.417	75	194	0.863
		60	323	0.430	80	193	0.889
		65	301	0.443	85	179	0.875
	1500	50	1172	0.414	70	551	0.787
		55	953	0.398	75	492	0.751
		60	901	0.403	80	485	0.768
		65	833	0.406	85	445	0.750

* 使用聚氨基甲酸乙酯泡沫隔热材料 (90美元/米³) 时, 每吨公里运费在各种情况下都约高23%, 而最优速度是80~85公里/时。

(七) 计算结果的分析和结论

表1—1中按照使用液化天然气 (每百万千焦耳2.85美元) 和真空化珍珠岩隔热材料 (120美元/米³) 的计算结果, 可以归纳如下。

用液氢和真空化珍珠岩*的最优条件 表1—2

单程年 运量, 吨	单程距 离, 公 里	无人添乘的车组				有人添乘的两辆车组		
		速度, 公里/时	每组 车数	需要 车组数	运费, 美分/ 吨公里	速度, 公里/时	需要车 组数	运费, 美分/ 吨公里
10,000	500	75	1	5	2.64	95	2	3.06
		80	1	4	2.53	100	2	3.02
		85	1	3	2.49	105	2	3.03
		90	1	3	2.51	110	2	3.32
	1500	90	2	6	2.26	95	5	2.54
		95	2	5	2.22	100	4	2.49
		100	2	4	2.21	105	4	2.48
		105	2	4	2.23	110	4	2.70
1,000,000	500	80	1	37	2.49	95	20	3.02
		85	1	31	2.46	100	17	2.98
		90	1	26	2.47	105	15	2.99
		95	1	23	2.51	110	15	3.26
	1500	90	2	57	2.04	95	48	2.33
		95	2	48	2.01	100	42	2.28
		100	2	42	2.00	105	37	2.26
		105	2	37	2.01	110	37	2.41
10,000,000	500	80	1	369	1.72	95	197	2.18
		85	1	308	1.69	100	172	2.14
		90	1	265	1.69	105	154	2.12
		95	1	233	1.71	110	155	2.27
	1500	90	2	571	1.35	95	483	1.65
		95	2	483	1.33	100	419	1.60
		100	2	419	1.32	105	370	1.57
		105	2	370	1.33	110	369	1.68

* 使用90美元/米³的聚氨基甲酸乙酯泡沫隔热材料时, 每吨公里运费在各种情况下都高一倍, 而最优速度将近为130公里/小时!

(1) 冻结食品的总运费, 在使用无人添乘保温车, 使用液化天然气进行冷却和推动, 运距 500~1500 公里, 年运量 $10^5 \sim 10^7$ 吨的情况下, 每吨公里为 0.55~0.40 美分。这比目前的冻结食品运费(无论汽车还是火车)要低 10 倍或 10 倍以上。

(2) 在铁路线长为 1000 公里的情况下, 假设路权由年运量 1,000 万吨的其他货物所分担, 而且车组无人添乘, 那