

文章编号 :1006 - 7639(2004) - 01 - 0090 - 05

编者按 :本刊从本期开始将不定期推出“学术争鸣”栏目,在探索 and 追求学术真知的过程中,学术争鸣是一种非常有意义的方法。本栏目刊出的文章也许不成熟,也许还有较大争议,但在某些方面可能有新的想法和思路,有进一步探索和认识的必要,因此刊出这类文章以供学术界讨论,以达到鼓励思考、发现新人、培育重大科学发现种子之目的。

河西走廊连通器效应探讨

赵建华

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所,甘肃 兰州 730020)

摘要 :分析讨论了河西走廊连通器的虹吸、连通以及狭管三个效应,并分别给出了其表达式。结果表明,河西走廊连通器的虹吸效应主要是传输各种物质和能量,连通器效应是产生垂直运动、激发重力波和产生翘翘板现象,而狭管效应主要是增强风速。文中还提出了在天气气候诊断分析中的应用问题。

关键词 :河西走廊 连通器效应 虹吸效应 狭管效应

中图分类号 :P432

文献标识码 :B

引言

河西走廊位于我国的西北,其长度约为 1 000 余 km,而宽仅仅数十公里。河西走廊这种明显的长宽对比,加上它独特的地理位置,使得它在历史上成为中国腹地与西域进行交流的十分重要的通道,而且也是中国在西北非常重要的军事要塞。这里从气象学的角度重新审视了河西走廊这种锁扼东西的角色,认为河西走廊似乎更像一个物理上大气流体的连通器。为了验证这种推测,对河西走廊的这种连通器效应进行了较为细致的划分,并分别作了讨论。

1 河西走廊连通器成立的条件推导

连通器在物理上定义为:两端开口且连接同一种静止流体的容器。显然,在这种定义中,流体的相对静止只是为了研究某种平衡方程的一种需要,而非是连通器自身的必要条件。因此,在以下的证明以及对河西走廊连通器的定义上不再考虑这种限制,既是拓展连通器研究的层面。

仔细推敲连通器的定义,可以发现它主要有以

下命题组成:

a. 连通器自身相对实在,既是指它具有某种相对独立的特性。这种独立的特性,使之能够将其连接的流体在其间互相传输,而不与除此连通器系统外的空间中的流体发生交换。即使可以传输,也须相对于其两端的传输为小量;否则会出现同一化现象而使连通器自身失去意义,比如分布均匀的某个场。在这里,这种实在性可以具体化为有实在的形体——而这里所以采用抽象的表述,是因为考虑到高低空急流实际上也只不过是一种自形连通器的缘故;

b. 连通器自身两端开口;

c. 连通同种流体。

对照河西走廊,显然,条件 b 与 c 是自动满足的(将 b 考虑为纯水平性质的一维连通管与拥有垂直向(x,z)的二维连通器。其中的一维连通管是自动满足的;二维连通器,可以假设两端连通的大气柱上某一层面上部两者的大气性质均匀,在连通器中垂向运动时,环境能够准静态地补偿因运动造成的物质损耗,这样使之满足)。因此证明便只集中在连通器自身的相对有形上。而所谓的相对有形不外乎其

具有侧边界(这里排除东西向,而只考虑 $y-z$ 平面,因为左右边界为河西走廊的端口)。对于河西走廊明显的具有 y 边界(群山所夹)与下边界(地表),那么要做的是证明它有上边界,而这点在实际研究中可以分三步:

(1)考虑连通的效应发生在边界层,那么显然上边界因此也自动拥有,此时河西走廊便是连通器。当然,还有两种可能,一是连通器效应仅仅发生在边界层,其两端的大气也不与上部大气交流,即不考虑 Ekman 抽吸作用或是 Ekman 抽吸的条件不满足;二是考虑 Ekman 抽吸时,重点显然在于说明这种抽吸具有局地性,即是证明它在河西走廊上部是不具有的或是可以忽略的。对于这点,需要具体的计算或是数据。

根据流体力学试验^[1],同样的环境下同种流体速度越大其压强越小,速度越小压强越大。这至少可以说明,河西走廊上部的大气与其连通的两端大气具有不相同的性质,这从某个角度上说明了河西走廊连通器的有形存在。既然其压强小,那么总可以使得浮力相对于重力为小的可能增加或是使之更为稳定,因而相比其两端更为不易产生垂直运动或是抑制垂直运动。在这点上,显然是有可能的。

(2)发生在边界层之上。这便需要做出如下的分析,一是河西走廊两侧的山脉有没有超出边界层限制,若有,超出部分相对于我们的研究可不可以忽略,若不可以,便须在河西走廊上部寻找出两侧山体的特征高度作为隔离层即可。根据大气实际上以水平运动为主的特性,只要不发生垂直运动或者垂直运动极小或者当时大气相对静止或者穿过河西走廊的要素并不在垂向上受到强迫,这点也是可以满足的。至于到底以何为其上界,则依具体情况而定。可以考虑逆温层,也可以考虑物质面,譬如在这里只要寻找出相对于河西走廊的地形平行或是交角不大的等熵面即可。而倘若是可以忽视或是它本身在边界层以下,那么它显然便不是这个步骤上的命题了,而归于前面的分析。

(3)在河西走廊及其两端的大气在某种状况下是层结稳定的,类比于边界层,也是可以满足河西走廊连通器的要求。

2 连通器效应

连通器效应分为虹吸效应(呼吸道效应)、连通器效应与狭管效应。

2.1 虹吸效应

虹吸效应可以见下图 1。

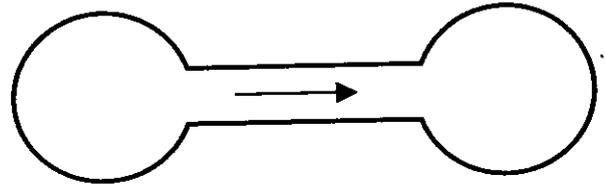


图 1 虹吸效应图示

Fig.1 Siphon effect

虹吸效应的一个典型例子便是小孩常玩的一种吸火现象。(图 2)

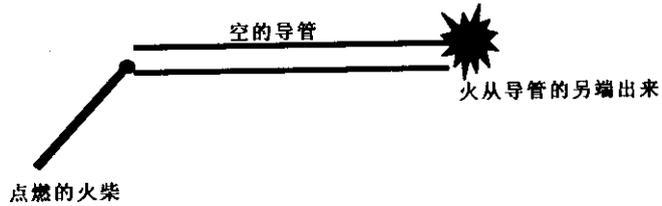


图 2 虹吸效应例子

Fig.2 An example of siphon effect

明显的可以类比出,河西走廊也有这种虹吸效应。当其两端的物理量(能量与物质)存在某种不平衡时,便有可能产生量的吞吐——即便是在逆梯度下或是梯度为零时也有可能发生这种现象,只要有足够的条件(比如当存在某一梯度方向的水汽场时,又存在着足够强的与此梯度方向相反的压力强迫场)。这也可以叫做河西走廊的呼吸道效应。

由此呼吸道效应可以猜测,在西北区东部与新疆间存在着某些量(物质、热量、水汽等)动能与动量也可以,只不过不再以梯度为机制,此时似应叫做呼吸道效应)的吞吐。这些只要给出一定的边界、应用一些基本的积分公式便可算出双方间交换量。这里给出基于自身理解所得到的交换量大小的公式。

2.1.1 考虑简单情形,即不考虑梯度平衡,则容易得:

(1)不计连通管自身储存,则交换量 ΔP 为:

$$\Delta P = (P_a - P_b) \gamma 2$$

a, b 为连通的两端, P 为物理量。

(2)考虑连通管的吸纳力,定义连通管的吸纳力为 S , 则易有:

当 $S \geq \max(P_a, P_b) - \min(P_a, P_b)$ 时,

$$\Delta P = 0$$

当 $S < \max(P_a, P_b) - \min(P_a, P_b)$ 时,

$$\Delta P = \max(P_a, P_b) - \min(P_a, P_b) - S$$

2.1.2 考虑梯度平衡:

(1)同前,先不考虑连通管的吸纳力:

$$(\max(P_a, P_b) - \min(P_a, P_b)) \gamma L = - \int_t \frac{\int_l \nabla P dl}{\int_l dl} dt / \int_t dt$$

其中 $\int_l dl = L$ 为连通管长度, dl 与 dt 分别是对连通管与时间的微分, 积分代表标准梯度, 也即是该物理场的固有梯度, 比如重力场分布, 在其自身梯度上不产生量的输送。

(2) 考虑连通管的吸纳力:

连通管的吸纳力与梯度有关, 也就是梯度的函数, 则得:

$$(\max(P_a, P_b) - \min(P_a, P_b) - f(\nabla P)) \gamma L = - \int_t \frac{\int_l \nabla P dl}{\int_l dl} dt / \int_t dt$$

吸纳力 $f(\nabla P)$, 暂时没有公式(实际上, 将吸纳力定义为梯度的函数是有些草率的。一般而言, 某一效应或是功能, 不外乎由内因、外因以及内外因相互关联、相互影响与相互作用的方式三者决定, 因此, 估计吸纳力可能由连通管的某些属性因子、外在的强迫与相互间的作用方式构成。这需要透彻的认

识与理解以及试验可以定出, 这里尚且不能够)。

2.1.3 考虑连通器整体不绝缘, 那么, 只须在前两者上加以外源项即可。

实际上, 给出微分形式可能更有价值, 权且简单给出如下:

当认为连通器的两端绝缘时, 即认为其两端的物理量变化纯粹由连通器系统内部自我迁移时, 可得如下微分方程:

$$\partial P_a / \partial t = \partial P_b / \partial t - \partial P_c / \partial t$$

其中 c 代表连通管, 也就是河西走廊。

当物理量为质量时, 可用连续性方程; 为热量时, 用热力学方程; 为水汽或是潜热时, 用水物质守恒方程。

2.2 连通器效应

由于连通器有流体静力的潜在假设, 以下的讨论均是在此假设之下的。为简单计, 假设连通器系统不与其外在的环境大气发生联系。

此时, 连通器为 U 形管, 其效应可以见图 3。

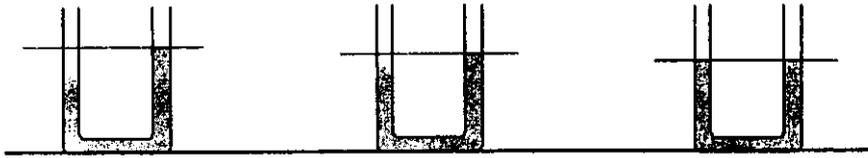


图 3 连通器的动力强迫示意图

Fig. 3 Dynamic force of connected vessels

由图中可见, 在同等高度上的压强不相同——即有压强差时, 便会在压强小的一端产生气压强迫, 而使得其管内的流体产生上升运动, 而另一端则下沉运动。这种强迫会直到两端气压相等时为止。现在推导此时的连通器方程:

在管中取如图示的一段液片, 那么有牛顿第二运动定律可知存在如下方程:

$$\rho_a S_a \Delta h \cdot \frac{\Delta w}{\Delta t} = (P_b - P_a) \cdot S_a - \rho_a S_a \Delta h \cdot g$$

该方程可以进一步简化为:

$$\frac{\Delta w}{\Delta t} = (P_b - P_a) / (\rho_a \cdot \Delta h) - g$$

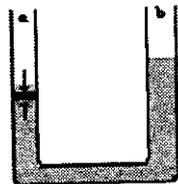


图 4 连通器强迫的动力模型

Fig. 4 The model of dynamic force of connected vessels

考虑一个微小过程, 即使 Δw 、 Δt 以及 Δh 趋于无穷小, 也即是求取极限, 并考虑方向, 那么很容易得到下式:

$$\frac{dw}{dt} = - \partial P / \rho \partial z - g$$

此式与熟知的垂向大气运动方程相同。若忽略大气的水平运动, 而只考虑垂直运动, 并且也不考虑垂向输送, 那么只要知道了气压的显式分布, 就可以求解出此时的垂速大小。

由此式可以推断, 倘若新疆上空维持有一高压存在, 而西北区东部为相对低压区, 可以设想, 这种配置会因为河西走廊的连通器效应而使得东出口大气相对变得不稳定起来, 这是不同于热力不稳定与切变强迫不稳定因素的另一种不稳定, 可以叫做遥迫不稳定。不过, 很明显, 这种不稳定只是重力不稳定中的一种类型。

另外, 倘若西北区东部有充沛的水汽, 又有较有利的环流形式, 由于这种遥相强迫, 会触发、加强乃

至于会产生上升运动,进而降雨。

还需要指出的是,假设连通器两端存在有高低压配置,且大气均为稳定。那么这种遥相强迫中,会产生一种在低压区上升运动(我们再假设低压处的稳定性不强,因而可使得这种遥迫上升运动恰好能够突破这种约束)。这种上升会促使上部大气加压致密,这时,倘若运动并不被调整的足够快,则上部大气因加压使得连通器两端的压差减少,而当压差减小为零时,低压处的上部大气仍然不会产生辐散或者产生的辐散尚不至于抵消这种作用,此时可以推断,受压大气将会产生一种振荡,也即是产生出一种波来,这种波估计应为重力波。当这种波被激发出来后,由于连通器效应,将会传给高压系统处的空气,高压空气也便因此强迫振荡。而倘若此时没有外在影响,并且传递的足够快,那么可以想见,此时便会出现所谓的“跷跷板”现象,这显然是很有趣的现象。由此,连通器似乎具有启发相关纽带的作用。

2.3 狭管效应

也取定常的简单情形予以分析。对于更为一般的情况,则需要用普适的大气运动方程组来讨论。

这里,狭管效应主要涉及到了两个方程,分别是 Bernoulli 方程与连续性方程。

Bernoulli 方程:

$$gz_1 + p_1/\rho_1 + V_1^2/2 + Q_1 = gz_2 + p_2/\rho_2 + V_2^2/2 + Q_2 + gh_f$$

其中诸项分别是位能、压力能、动能、热能以及摩擦损耗能。

一维定常连续性方程为:

$$u_1 S_1 \rho_1 = u_2 S_2 \rho_2$$

其中分别为速度、垂直于轴线向速度的连通管表面积与密度。

在实际的运算中,可以考虑不可压流体,以及绝热无摩擦情形,此时上述两个方程便可以化为十分简单的形式。

其实,也可以用总能量守恒来替代 Bernoulli 方程。

这里简单的讨论一下狭管效应所涉及到的物理过程。

由连续性方程可知,当气流由较宽广的区域流入到狭管中时,便会产生加速运动。对照 Bernoulli 方程可知,此时若考虑绝热与无摩擦以及认为狭管自身水平时,可以推断出,此时的速度增强主要是压力能转换的结果。显然河西走廊是压力能转换为动

能的某种机制,这也便是说,河西走廊风速的增强主要是气压做功引起的——这与大气中的动量方程是相一致的(在这种边界层上,是可以忽略科氏力的,当然摩擦可能不可忽视,但是摩擦一般总是做负功,因此,这里动量的增益便是气压做功所引起)。

另外,当气流加速之后,假设这种加速不会引起最大气流轴的上抬(下降允许),或者说这种上抬的幅度并不大,可以得知,此时将会使得垂直向速度切变增大。由 Richardson 数可知,此时将会促使对流加强或者是湍流增强,若地面为沙区时,便会引起沙尘粒子的上升混合,至少是使得沙尘粒子更容易进入大风区,而促发沙尘暴。当沙尘粒子为大风拖带起来时,再由牛顿摩擦定律^[2]可知,强的风速切变将会产生强的流体内摩擦力,沙尘粒子便会在强摩擦力的拖带下加速运动;由于狭管中的气流具有较大的速度,因而可以输送到更为远的地方。由此可见,狭管效应可能是河西走廊沙尘暴多发的原因之一。

3 河西走廊连通器效应的应用

除了前面涉及到的应用外,可能在青藏高原还有以下两种可能的应用:

一是,在青藏高原上空存在着三种模态的垂直运动^[3-4]:

1. 从 500hPa 到 100hPa 均为上升运动;
2. 从 500hPa 到 100hPa 均为下沉运动;
3. 从 500hPa 到 400hPa 为上升运动;100hPa 到 400hPa 为下沉运动。

这三种垂直运动,都可以用连通器原理来进行诊断分析。而这种诊断分析又与西北干旱天气过程的形成与维持是有关系的。

二是,在连通器的东端出口处(即高原东北侧)由于地形的动力作用常常会形成一个闭合的小高压,但是这个高压并不稳定,在某些时候会逆转为闭合的低压,而造成西北区东部的强降水过程。而这个地区恰好是河西走廊连通器的东端出口处,所以也可能便是本文提到的河西走廊连通器效应的结果。

4 小 结

4.1 推测了河西走廊具有连通器的可能性,河西走廊连通器的条件是流体静力假设、发生在边界层、连通两端的大气柱中分界层上的大气补偿运动准静

态、河西走廊上部大气相对稳定、不计 Ekman 抽吸以及绝缘等等。

4.2 河西走廊连通器效应主要分为虹吸效应(或叫呼吸道效应)、连通器效应与狭管效应。

4.3 虹吸效应主要为两端区域提供各种物质与能量的交换,并有可能影响两地的水汽平衡,并进而影响其雨量的多寡。高低空急流本质上也是一种虹吸效应。

4.4 连通器效应一是制造大气的不稳定;二是产生或是触发或是加强连通区域的垂直运动,这对于降水有莫大的帮助;三是可能激发重力波、产生跷跷板现象;四是连通器效应不必具有实在的实体,大气中的补偿下沉气流与高低压配置亦为连通器的一种变形;五是连通器效应可能是相关关系的一种媒介。

4.5 狭管效应主要的作用便是增强风速;另外,在

河西走廊这个特定区域可能是其多发沙尘暴的一个原因。

4.6 河西走廊连通器效应可以应用于青藏高原上空气流的垂直结构与西北干旱气候的联系以及河西走廊东端出口处地形小高压逆转为小低压、引起西北区东部强降水过程的诊断。

参考文献:

- [1] 宋广庆. 流体力学的创新实验[J]. 科学中国人, 2000(3):17-19.
- [2] 程守洙, 江之永. 普通物理学[M]. 第4版. 北京: 高等教育出版社, 1982. 264-266.
- [3] 钱正安, 吴统文, 梁潇云. 青藏高原及周围地区的平均垂直运动场特征[J]. 大气科学, 2001, 25(4):444-454.
- [4] 孙国武. 南亚高压的结构及其东西振荡[A]. 青藏高原气象科学实验文集(一)[M]. 北京: 科学出版社, 1984. 164-173.

Discussion of Connected Vessels Effect of Hexi Corridor

ZHAO Jian-hua

(Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou 730020, China)

Abstract: Three effects (siphon effect, connected vessels effect and narrow pipe effect) have been analyzed and discussed in Hexi corridor in this paper. The results indicate that: siphon effect mainly supplies the matter and energy transformations, connected vessels effect is to start vertical movement, excited gravity wave probably and produce phenomena of teeter totter, while narrow pipe effect is to increase velocity. Otherwise the uses of Hexi corridor's joint ware effect are discussed also in the end.

Key words: Hexi corridor; siphon effect; connected vessels effect; narrow pipe effect