

交叉口公交优先与信号控制改进示范方案

1. 问题路段描述

1.1. 问题路段位置

问题路段位于一环路西一段，高升桥路与菊乐路之间。在菊乐路与高升桥路之间有两条支路：燃灯寺街和七道堰街。西一环与高升桥路交叉口通行能力不足导致该路段上自北向南方向交通经常发生阻塞，公交专用道也频繁被社会车辆侵占，使得公交优先没有得到保证。



图 1 问题路段的位置

1.2. 当前问题

图 2 是问题路段和交叉口的当前布局，机动车道右侧的自行车道和人行道由于没有受到影响而在此省略。最右侧的车道为公交专用道，根据规定只限公交车辆和右转社会车辆使用。

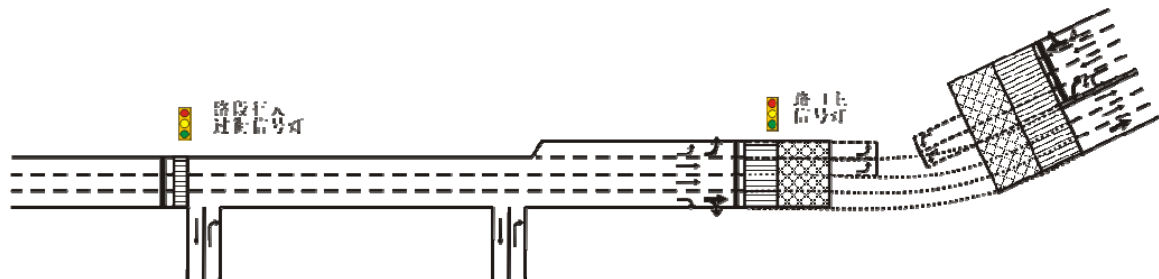


图 2 问题路段及交叉口的当前布局

问题路段上的公交车流很大，因为有约十条公交线通过此外，平均约半分钟就有一辆公交车通过。当前的主要问题是问题路段上的社会车流需求很大，导致公交专用道频繁被社会车辆侵占。有如下因素干扰到了公交车的行驶：

- 干路（西一环南向）阻塞时，来自支路七道堰街和燃灯寺街的车流想要进入干路，却被阻塞在公交专用道上，阻挡公交车辆。
- 社会车辆违规使用公交专用道，干扰公交车辆。
- 由于对向的左弯待转区的阻挡，问题路段上的直行车辆在被迫由三条车道全并为两条车道。并道时，社会车辆会阻挡公交车辆，如图 3 所示。

这里列举的因素不仅会影响公交车辆，它们对其它社会车辆也会产生负面的影响。

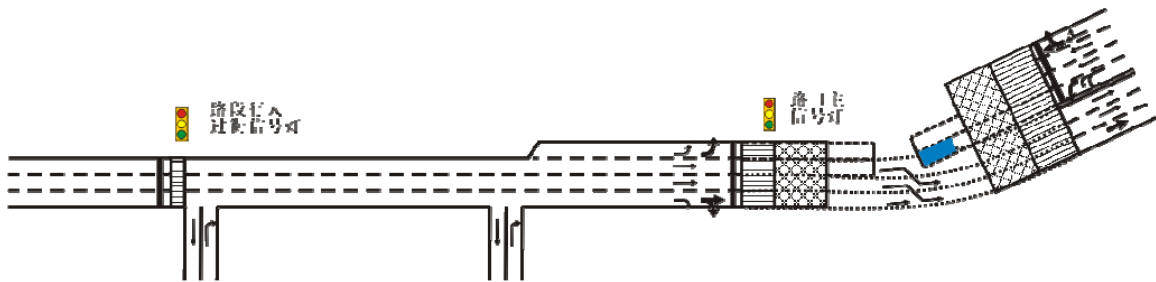


图 3 对向的左弯待转区使问题路段上的直行车辆被迫并道

2. 解决公交专用道被侵占的问题

为了保证公交优先，我们可以用改变路段及交叉口的布局的方法来解决公交专用道被侵占的问题。布局的改变包括以下内容：

- 封闭支路出口，只能进不能出。
- 将公交专用道与社会车辆车道进行物理隔离。
- 取消交叉口内所有的左弯待转区。

图 4 所示的是实施了改变布局后的路段及交叉口布局。同样，自行车道和人行道已被略去。

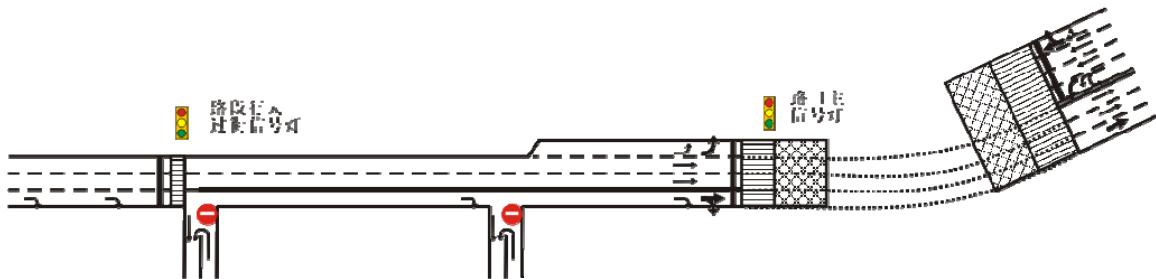


图 4 改变布局后的问题路段及交叉口布局

与现状相比，实施了改变布局的措施后，对公交车辆的干扰会减少，公交优先可以得到保证。表 1 所示的是在早晚高峰期间公交车辆在最接近交叉口的 200 米的路段上的延误统计。

延误是指实际通行时间与不受阻碍时的最快通行时间之差。我们可以看到，在采用了改变布局的措施后，公交车辆的延误可以被减少约一半。这是因为公交车在交叉口的延误由两部分组成：由交叉口主信号灯造成的延误和各种干扰因素造成的延误。对布局的改变能够完全消除各种干扰因素对公交车的干扰，减少公交延误，使公交跑得更快。

延误的标准差是对干扰的随机性的描述。延误的标准差越小，干扰也就越可预测（比如当延误的标准差为零时，公交的行驶时间是一个固定值）。我们可以看到，改变布局后，公交延误的标准差也会减少 30%-40%，公交车会更准时。

表 1 改变布局对公交车辆延误的改善

		现状	改变布局 (占现状的百分比)
早高峰 (测量时段: 8:00-9:30)	延误平均值 (秒/辆)	111	59 (53%)
	延误标准差 (秒/辆)	75	46 (61%)
晚高峰 (测量时段: 16:30-18:30)	延误平均值 (秒/辆)	110	66 (60%)
	延误标准差 (秒/辆)	55	39 (71%)

3. 解决改变布局对社会车辆的负面影响

3.1. 改变布局对社会车辆的负面影响

虽然改变布局可以使公交受益，同时也可以消除以上列举的干扰因素对其它社会车辆的影响，但是如果只改变布局，问题路段进口道上的通行能力会减小。这是因为在现状下由于社会车辆占用公交专用道而得到的额外的通行能力不存在了。

另外，由于左转车辆的需求较大，交叉口处的标志标线没有被遵守。图 5a 所示的是现有标志标线所指示的车道分配。但是司机们似乎是在服从如图 5b 所示的车道分配。在实际情况下，左转车辆也使用了车道 1，而直行车辆也使用了公交专用道（这一点之前已经提过）。由于交叉口给左转车和直行车分配不同的相位，左转车和直行车乱序共用车道 1 会导致互相阻挡现象的产生。这是因为，在直行相位内，车道 1 内的第一辆左转车会将之后的直行车挡住。同样，在左转相位内，车道 1 内的第一辆直行车会将之后的左转车挡住。附件内名为“3D_Anim_Block.gif”的文件展示的就是这样互相阻挡的现象。互相阻挡现象进一步限制了通行能力。

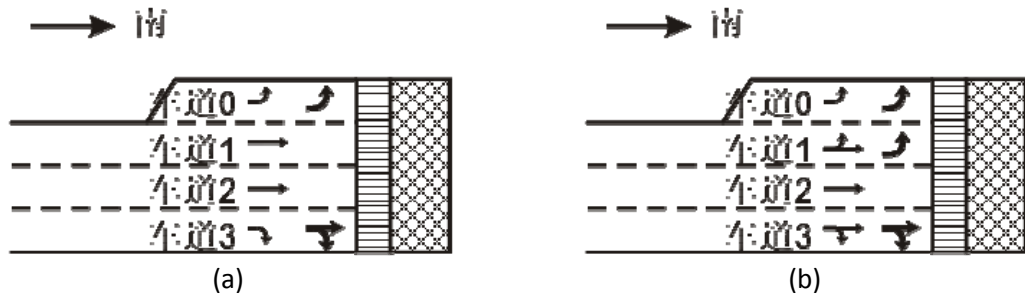


图 5 路段上的车道分配（粗箭头代表公交车）：(a) 标志标线 (b) 实际情况

表 2 所示的是对现状和改变布局后的通行能力的对比。根据分析，如果只改变布局，进口道的通行能力与现有流量相比在早晚高峰时都会下降 11%。

表 2 现状和改变布局后的通行能力比较

		早高峰	晚高峰
现状	总流量(辆/小时)	1586	1145
	左转/直行流量(辆/小时)	906 / 680	428 / 716
	左转比例	0.57	0.37
改变布局	总通行能力(辆/小时)	1405	1019
	与现状相比	- 11%	- 11%
	左转/直行通行能力(辆/小时)	806 / 599	380 / 637
	左转比例	0.57	0.37

3.2. 解决方案

交叉口改变布局后的通行能力可以通过加装一个上游路段信号灯的方法来提高。3.2.1. 节将用最简单的方式介绍上流路段信号灯的基本概念，然后 3.2.2. 节将介绍实际的主信号灯配时，3.2.3. 节将介绍实际方案中稍复杂一些的上游路段信号灯设计。

3.2.1. 上流路段信号灯的基本概念：一条复用车道

上流路段信号灯即是安装在路段上的一组信号灯。它只控制单一方向（前往交叉口方向）的车流。与普通信号灯的不同之处是，它会给不同前进方向（如左转、直行、右转）的车流进行不同的配时。当然，上游路段信号灯需要进行适当的配时才能正常工作，而且还需要适当的标志标线来指示从它到主信号灯之间路段上的车道分配。经过论证，上游路段信号灯可以将不同前进方向的车流进行纵向排队，从而使更多的车道可以在直行相位和/或左转相位内被充分利用，从而提高进口道的通行能力。

以问题路段进口道为例，如果没有上游路段信号灯，车道 0 在直行相位内是无法利用的，车道 1 由于前述的相互阻挡现象只有部分能够被用于放行。而在左转相位内，车道 2 和 3 都是无法利用的，车道 1 只有部分能够被用于放行。但是如果使用了上游路段信号灯，车

道 1 在直行和左转相位内都可以充分放行。像车道 1 这样在单独的直行相位和单独的左转相位内都可以充分放行的车道我们称之为复用车道。

附件中名为“3D_Anim_CN.gif”的文件展示的是上游路段信号灯的运作过程。为了简单起见，我们假设路口仍是四相位信号配时，而上游路段信号灯有两个绿灯相位：一个只放行直行（和右转）车辆，一个只放行左转车辆。上游路段信号灯的信号周期与交叉口主信号灯相同，而且两个信号灯需要适当的同步。我们可以看到上游路段信号灯是如何将车流在车道 1 内纵向排队，从而复用车道 1 的。这样，在一共三条车道的空间内，我们能够做到在直行相位和左转相位内都充分使用两条车道放行。这是上游路段信号灯最简单的运作模式，即只有一条复用车道。如果我们使用更多的复用车道的话还可以获得更大的通行能力。

3.2.2. 当前的交叉口信号灯控制

（西一环与高升桥路）交叉口主信号灯采用的是固定时间的四相位配时，如图 6a 所示。问题路段进口道位于左侧。相位 M1 和 M2 给该进口道红灯，其它相位给进口道绿灯。如果主信号灯的相位被严格遵守的话，问题路段上的阻塞在高峰时段会很严重，因为分配给问题路段上左转车辆的绿灯时间不够长。在交叉口指挥交通的交警于是利用了对向直行车流小的特点，进行了人工指挥：适时的提前放行问题路段上的左转车辆，同时停止对向直行车流的放行。这样的人工指挥等效于图 6b 所示的五相位信号灯配时。与四相位相比，尽管多出了一个相位 M3b，但是进口道分配到的总绿灯时间（图 6a 中的 M3+M4，图 6b 中的 M3+M3b+M4）并没有变化。新的相位 M3b 能够增加问题路段的车辆通行能力，这是因为左转车辆和直行车辆在这个相位内都可以放行。用这种方式，早高峰时问题路段上的车辆通行能力增加了大约 30%，晚高峰时的通行能力增加了大约 10%。但是用这种方式增加问题路段上的车辆通行能力，其代价是减少了对向进口道的可使用绿灯时间和通行能力。

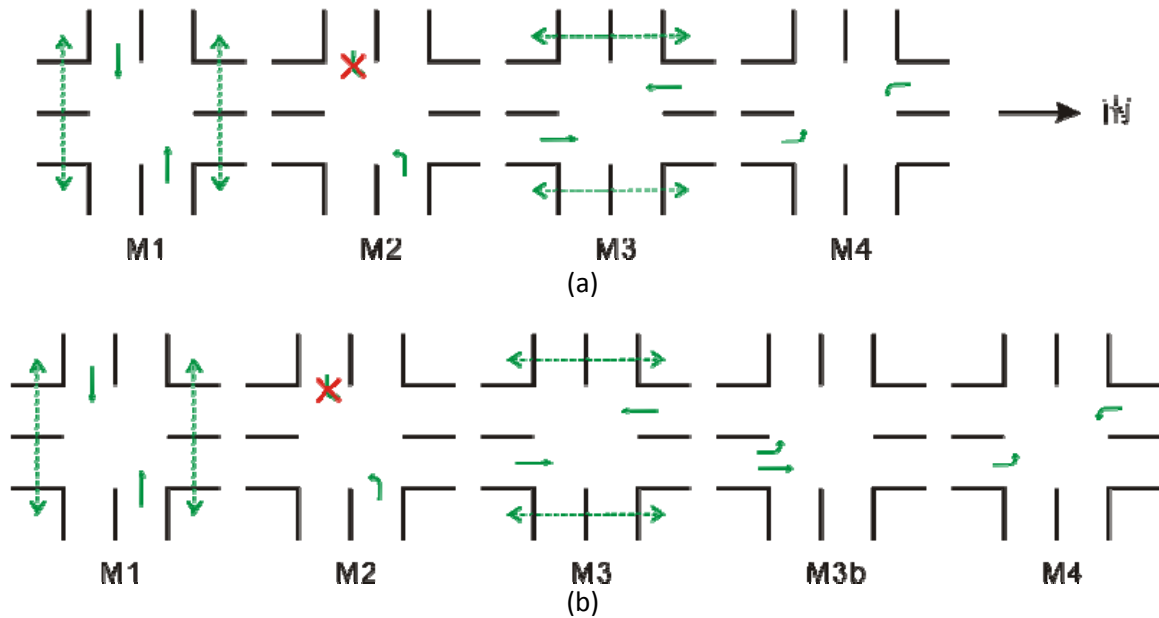


图 6 交叉口主信号灯的配时：(a) 名义上的四相位配时 (b) 实际等效的五相位配时。问题路段进口道位于左侧。单箭头和双箭头分别表示相位允许的车辆和行人的通行方向。

3.2.3. 上流路段信号灯设计方案：一或两条复用车道

如果使用两条复用车道或者主信号灯有五个相位的时候，上流路段信号灯的设计会有点不同。当使用两条复用车道时，上流路段信号灯相位的长度和对应的标志标线都需要做相应的改变。当主信号灯有五个相位时，上流路段信号灯的配时需要被调整成三个绿灯相位而不再是两个。如下是我们提出的两套上流路段信号灯设计方案。

方案一：上流路段信号灯使用一条复用车道和三个绿灯相位（因为主信号灯使用五个相位）。方案一较为简单，因为使用一条复用车道时的车道分配与现状下的实际车道分配是一样的。

方案二：上流路段信号灯被设计成使用两条复用车道和三个绿灯相位。与方案一相比，方案二的好处更多，但是方案的复杂度也更大（方案二下的车道分配与现状不太一样，需要驾驶员适应）。因此我们建议先试行方案一，如果一切顺利，再循序渐进的试行方案二。

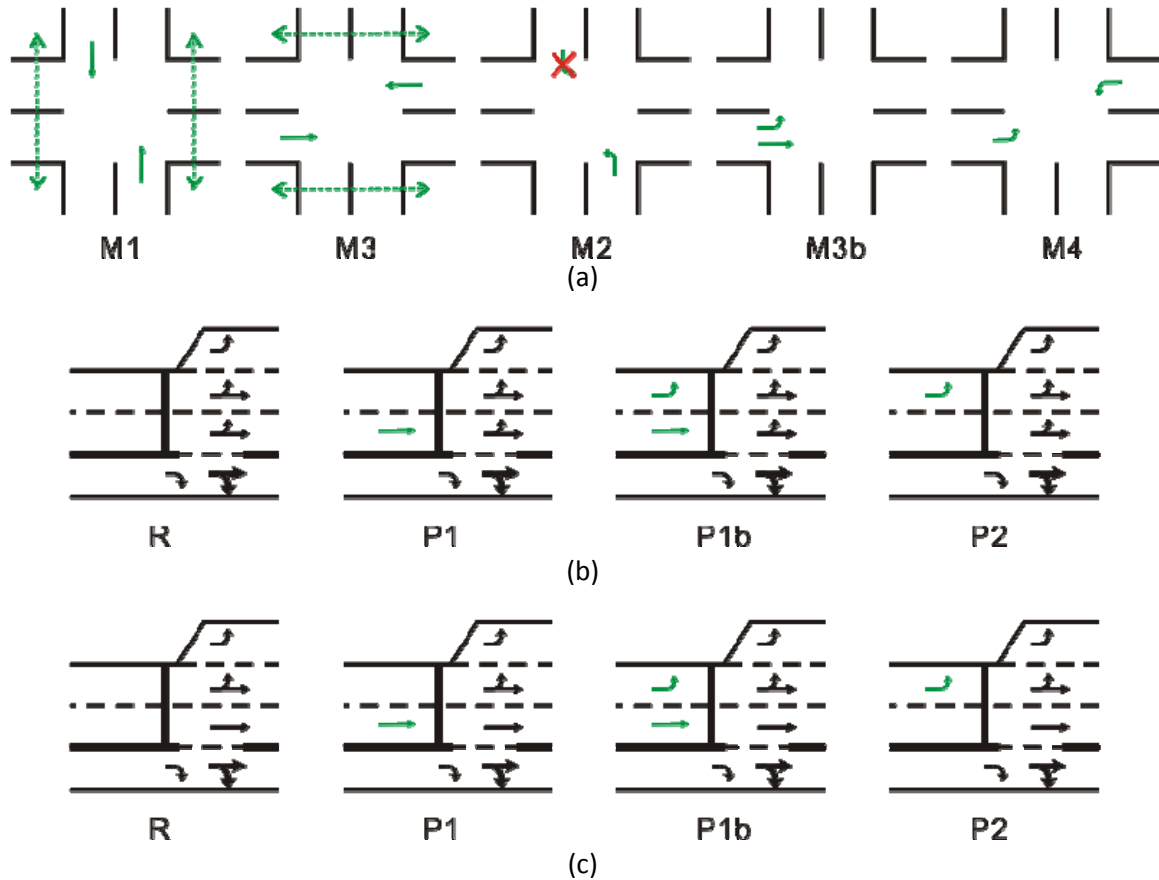


图 7 信号灯配时方案：(a) 五相位的主信号灯配时 (b) 三相位、两条复用车道的上游路段信号灯配时 (c) 三相位、一条复用车道的上游路段信号灯配时

4. 工程细节

- 支路只进不出

在干路与支路交汇处，面对支路方向，设置“禁止驶入”和“掉头”标志。在支路入口处设置提醒标志，如“前方不通一环路，请掉头”。

- 将公交专用道与社会车辆车道进行物理隔离

在公交专用道与社会车辆车道之间设置物理隔离。隔离物应从上游交叉口下游一些处开始，直到问题路段交叉口停止线结束。在隔离物开始处，应设置标志，指示右转车立即进入公交专用道（车道 3）。在上游路段信号灯的下游处应留一段空档给左转公交车。空档的大小应该能使公交车通过。同时，应有标志指示左转公交车使用最左侧的车道 0。在路段行人过街处也应留一段空档，使行人能够通过，但应使机动车辆无法通过。

表 3 上游路段信号灯设计方案

		方案一	方案二
早间时段 (00:00 – 11:59)	描述	主信号灯: 五相位 (图 7a) 上游路段信号灯: 一条复用车道 三相位 (图 7c)	主信号灯: 六相位 (与图 7a 相似) 上游路段信号灯: 两条复用车道 三相位 (图 7b)
	通行能力 提高量	0%	10%
	主信号灯 配时	M1 = 70+3 秒 M3 = 48+3 秒 M2 = 14+3 秒 M3b = 32+2 秒 M4 = 28+2 秒	M1 = 38 秒 M3 = 48 秒 M1 = 41 秒 M2 = 18 秒 M3b = 32 秒 M4 = 28 秒
	上游路段 信号灯 配时	R = 17 秒 P1 = 86+3 秒 P1b = 43+3 秒 P2 = 50+3 秒 与主信号灯时间差: -20 秒	R = 0 秒 P1 = 86 秒 P1b = 43 秒 P2 = 76 秒 与主信号灯时间差: -20 秒
晚间时段 (12:00 – 23:59)	描述	主信号灯: 五相位 (图 7a) 上游路段信号灯: 一条复用车道 三相位 (图 7c)	主信号灯: 五相位 (图 7a) 上游路段信号灯: 两条复用车道 三相位 (图 7b)
	通行能力 提高量	9%	22%
	主信号灯 配时	M1 = 76+3 秒 M3 = 54+3 秒 M2 = 18+3 秒 M3b = 12+2 秒 M4 = 22+2 秒	M1 = 76+3 秒 M3 = 54+3 秒 M2 = 18+3 秒 M3b = 12+2 秒 M4 = 22+2 秒
	上游路段 信号灯 配时	R = 36 秒 P1 = 97+2 秒 P1b = 16+2 秒 P2 = 40+2 秒 与主信号灯时间差: -20 秒	R = 17 秒 P1 = 97+2 秒 P1b = 16+2 秒 P2 = 59+2 秒 与主信号灯时间差: -20 秒

- 取消左弯待转区

将左弯待转区盖住，并依靠交通协管员来阻止左转车辆进入左弯待转区。

- 对交叉口主信号灯进行重新配时

将交叉口的主信号灯按照现状配时成五相位，如图 7a 所示。相位的长度与现状相同，但相位的顺序进行了对换（对比图 6b 与图 7a）。变换相位顺序不会影响到其它的车流或行人，只是为了使上游路段信号灯到主信号灯之间的最小距离变短，从而使上游路段信号灯的可行性增加。

- 添加上游路段信号灯（方案一）

我们需要两个可移动式信号灯（分别指挥车道 1 和车道 2）。可移动式信号灯可以被放在车道分界线上，并用箭头标明哪个灯在控制哪条车道。在上游路段信号灯处，我们需要添加一条新的停止线。在移动式信号灯上，我们还需要适当的标志，来提醒司机使用左侧的两条车道（车道 0 和 1）左转，右侧的两条车道直行（车道 1 和 2）。在上游路段信号灯和主信号灯之间，车道分配方式也需要改变成：车道 0 只能左转；车道 1 既可左转又可直行；车道 2 只能直行。从上游路段信号灯到上游交叉口处，我们需要适当的标志标线将车道 1 标为只能左转，车道 2 只能直行，车道 3 只能右转。这些标志标线应当尽可能的密集，提醒司机换到相应的车道内。提醒司机前方有新的标志标线的提醒性标志也会有帮助。

- 添加上游路段信号灯（方案二）

上游路段信号灯的准备过程与方案一相似。不同之处在于：信号灯的配时不同；从车道分配的角度，所有的三条道都可以左转（车道 0 至 2），而右侧两条车道（车道 1 至 2）可以直行。

- 对燃灯寺街口西一环行人过街信号灯进行重新配时

将路段行人过街信号灯的信号周期长度减半（从 195 秒减至 98 秒），并将行人过街的绿灯时间也减半（从 50 秒减至 25 秒）。新的行人绿灯的长度仍然足够行人通过。这样做，一方面能够减少行人过街的平均等待时间，另一方面能够减少该信号灯对上游路段信号灯通行能力的影响。

5. 概要

我们提出的两套方案都可以解决现存的问题。方案一不用改变现有的车道分配方式，较为容易被接受，所以我们推荐首先试行方案一。方案二的好处更多，但是复杂度也更大。我们推荐在方案一成功的基础上再实施方案二。